



اثر کاربرد کودهای زیستی و کود شیمیایی نیتروژنه بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط تنش کمبود آب

سیده سمیرا طباطبایی^۱، محسن جهان^۲، کمال حاج محمدنیا قالی باف^{۳*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۶

چکیده

کودهای زیستی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین عناصر غذایی در کشاورزی پایدار محسوب می‌شوند. بدین منظور پژوهشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۴ انجام شد. سطوح آبیاری در ۳ سطح شامل: ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیازآبی لوبیا به‌عنوان عامل اصلی و نوع کود شامل: کود زیستی نیتروکسین، کود زیستی بیوفسفر، کود شیمیایی نیتروژنه (اوره) و شاهد (بدون کود) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج آزمایش نشان داد که کودهای موردبررسی بر عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته لوبیا تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.05$) و بر تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه لوبیا تأثیر بسیار معنی‌داری ($P \leq 0.01$) داشتند. در این میان، کود زیستی نیتروکسین بیشترین تأثیر را نشان داد و صفات موردبررسی را به ترتیب ۹۲/۴، ۱۰۱/۷، ۴۷/۳ و ۳۸/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. اثر سطوح آبیاری نیز بر تمام صفات لوبیا خیلی معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، به طوری که کمترین مقدار صفات مذکور در تیمار ۵۰ درصد نیازآبی لوبیا مشاهده شد و نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیازآبی به ترتیب ۶۸/۱، ۳۵/۸، ۵۶/۳ و ۳۸/۱ درصد کاهش نشان داد. اثر متقابل کود و آبیاری تنها بر عملکرد ماده خشک لوبیا معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود، به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد ماده خشک به ترتیب در نتیجه کاربرد کود نیتروکسین با تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی (۷۷۴۱ کیلوگرم در هکتار) و شاهد (بدون کود) در شرایط ۵۰ درصد نیازآبی (۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. به طور کلی، کاربرد نیتروکسین منجر به بهبود معنی‌دار تمام صفات لوبیا شد و در اثر کاربرد بیوفسفر نیز در مقایسه با کود شیمیایی اوره، اکثر صفات لوبیا تفاوت معنی‌دار نداشتند، بنابراین می‌توان جهت تولید محصول سالم لوبیا با عملکردی برابر با نظام‌های رایج از این کودهای زیستی بهره جست.

واژه‌های کلیدی: بیوفسفر، حبوبات، کود اوره، نیازآبی، نیتروکسین.

مقدمه

vulgaris L.) گیاهی یک‌ساله، دولپه‌ای و گرمادوست از تیره نخود است که امروزه در بسیاری از مناطق دنیا از جمله ایران کشت می‌شود. ارزش غذایی این محصول به علت دارا بودن پروتئین (حدود ۲۵ درصد) و کربوهیدرات (حدود ۶۰ درصد)، فیبر فراوان و برخی ویتامین‌ها (نظیر فولیت)، مواد معدنی (نظیر مس، کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و روی)،

حبوبات یکی از مهم‌ترین منابع غذایی سرشار از پروتئین (۱۸ تا ۳۲ درصد) است و به‌عنوان دومین منبع تأمین نیاز غذایی انسان در بین گیاهان زراعی از جایگاه خاصی برخوردار است. طبق مطالعات انجام‌شده ترکیب مناسبی از پروتئین حبوبات با غلات می‌تواند سوء تغذیه و کمبود اسیدهای آمینه را برطرف کند (Parsa and Bagheri, 2008). لوبیا (*Phaseolus*)

همزیستی با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium*) به دست آورد (Mulas et al. 2011).

به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن‌ها با کودهای زیستی به‌عنوان یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار در سال‌های اخیر، برای نیل به حفظ حیات طبیعی، تنوع زیستی و پایداری منابع آب‌و‌خاک اهمیت یافته است. در تحقیق چوب‌فروش خوئی و همکاران (Choobfroush Khoei et al., 2014)، کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش معنی‌دار ($P \leq 0.05$) عملکرد دانه و افزایش بسیار معنی‌دار ($P \leq 0.01$) وزن صد دانه، قطر طبق، قطر ساقه، ارتفاع بوته و شاخص برداشت در آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus L.*) در منطقه خوی گردید. بیشترین افزایش مربوط به کود زیستی نیتراژین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter*، *Azospirillum* و *Pseudomonas*) بود که به ترتیب باعث افزایش ۸۵، ۱۹، ۸، ۱۱، ۹ و ۴ درصد این صفات نسبت به تیمار شاهد شد.

گیاهان در طبیعت به‌طور مداوم در معرض انواع تنش‌های زنده و غیرزنده قرار می‌گیرند. از بین این تنش‌ها، تنش خشکی یکی از نامطلوب‌ترین عوامل رشد و بهره‌وری و تهدیدی جدی برای تولید محصول پایدار و امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود (Anjum et al. 2011). خشک‌سالی دامنه‌گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاه، از متابولیسم سلولی تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد محصول را در برمی‌گیرد. رشد، عملکرد، تمامیت غشاء سلولی، محتوای رنگ‌دانه‌ها، روابط آب، تنظیم اسمزی و فعالیت‌های فتوسنتزی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرند. باوجود این، حساسیت گیاهان به تنش خشکی بسته به شدت تنش، گونه‌های گیاهی و مراحل رشد و نمو متفاوت است (Demirevska et al. 2009). تنش خشکی از طریق کاهش محتوای آب خاک منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش آماس سلولی و در نهایت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت رشد و نمو سلول‌ها می‌شود (Anjum et al. 2011). دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارایی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. تنش آب از یک‌سو، خصوصیات کمی و کیفی گیاه را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، به دلیل بالا بودن قیمت آب، خرید آب برای کشاورزان را به یک معضل بزرگ تبدیل کرده است (Rosales et al. 2012).

آنتی‌اکسیدانت‌ها و پلی‌فنل‌ها است (Kumar et al. 2013; Rosales et al. 2012; Wani et al. 2013). لوبیا در بین حبوبات از نظر سطح زیر کشت در جهان مقام اول و در ایران پس از نخود (۶۳/۵ درصد) و عدس (۱۶/۷ درصد) با ۱۳/۷ درصد مقام سوم را دارا است (Ahmadi et al., 2017).

کشاورزی ارگانیک یک سیستم کشاورزی تلفیقی مبتنی بر اصول و قوانین طبیعی بوده که در آن کیفیت محصولات مهم‌تر از کمیت آن‌ها است. در کشاورزی ارگانیک به‌جای استفاده از نهاده‌های خارجی نظیر کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی، از تناوب زراعی با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، بقایای گیاهی، کودهای دامی، کودهای آلی، کودهای زیستی و کنترل زیستی آفات استفاده می‌شود تا ضمن ذخیره مواد غذایی در خاک، علف‌های هرز و آفات کنترل شده و تنوع زیستی در مزارع افزایش یابد (Griffe et al. 2003). یکی از امکانات زیستی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده از ریزجانداران مفید خاکزی است که می‌توانند به روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از جمله این موجودات می‌توان به ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه اشاره کرد (Vessey, 2003). گونه‌های متعلق به جنس‌های سودوموناس (*Pseudomonas sp.*)، ازوتوباکتر (*Azotobacter sp.*)، آزوسپیریلوم (*Azospirillum sp.*) و باسیلوس (*Bacillus sp.*) از این جمله‌اند (Tilak et al. 2005).

در بین عناصر غذایی، نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف و ضروری برای گیاهان به‌شمار می‌رود که کمبود آن تداخل فراوانی را در رشد و نمو گیاهان وارد می‌کند. ماده خشک گیاهی تقریباً دارای ۲ تا ۴ درصد نیتروژن است. این عنصر جزء اصلی ترکیبات حیاتی چون اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و ترکیباتی مانند آدنوزین تری فسفات (ATP) که منبع انرژی شیمیایی برای سلول است، می‌باشد. نیتروژن معمولاً به شکل کودهای شیمیایی تهیه و مصرف می‌شود (Chandrasekar et al., 2005). استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه یکی از دلایل اصلی آلودگی چرخه آب در طبیعت است، علاوه بر این، پرهزینه و گران بوده و همچنین موجب افت کیفیت محصولات کشاورزی، به هم خوردن تعادل غذایی خاک و کاهش میزان حاصلخیزی خاک شده است (Kumar et al. 2009). در چنین شرایطی، لوبیا قادر است قسمت عمده‌ای از نیتروژن موردنیاز خود را از طریق رابطه‌ی

زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)، کود زیستی بیوفسفر (حاوی باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، کود شیمیایی نیتروژنه (به شکل اوره) و شاهد (بدون مصرف کود) به‌عنوان عامل فرعی بودند. قبل از انجام آزمایش، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌گیری و به همراه نمونه کود دامی (کود گاوی) میزان عناصر و خصوصیات فیزیکی- شیمیایی آن‌ها تعیین گردید (جدول ۱).

عملیات آماده‌سازی زمین در اواخر فروردین سال ۱۳۹۴ انجام شد، به این صورت که، ابتدا زمین موردنظر دو بار دیسک عمود برهم زده شد و سپس توسط لولر تسطیح گردید. در ادامه، به کمک فاروئر جوی و پشته‌هایی بافاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. ابعاد هر کرت ۵×۲/۵ متر و داخل هر کرت ۵ ردیف کاشت قرار داشت. فاصله بین بلوک‌ها ۱ متر و بین هر دو کرت متوالی، ۰/۵ متر فاصله جهت جلوگیری از تداخل عامل‌های آزمایشی در نظر گرفته شد. سپس محل عامل‌های آزمایشی به‌صورت تصادفی مشخص شد.

ربعیان و همکاران (Rabieyan et al., 2009) اظهار داشتند که مصرف کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و باکتری‌های حل‌کننده فسفات خاک، علاوه بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم پیروز، موجب تعدیل تنش کم‌آبایی و کاهش اثر منفی آن شد. در پژوهش دیگری کود زیستی نقش مؤثری در بهبود عملکرد جو (*Hordeum vulgare*) در شرایط کمبود آب در مراحل انتهایی رشد داشت (Dadnia, 2018). با توجه به مطالب مذکور، این پژوهش با هدف بررسی واکنش رشدی لوبیا به کاربرد کودهای زیستی و کود شیمیایی نیتروژنه تحت شرایط تنش کمبود آب انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد در سال ۱۳۹۴ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل: آبیاری به میزان ۱۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌عنوان عامل اصلی و کود

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه خاک مزرعه و کود دامی مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physico-chemical properties of the soil and manure fertilizer samples used in experiment

		هدایت	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
	بافت	اسیدیته	الکتریکی	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
	Texture	pH	EC (dS.m ⁻¹)	O.C (%)	K (%)	P (%)	N (%)
Soil	خاک Silty-loam	7.68	1.57	0.45	0.0024	0.0046	0.053
Manure	کود دامی	-	5.6	20	0.041	0.718	1.14

کشت بذور لوبیا رقم «درخشان» با دست با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر انجام شد.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا مرحله ۵ برگی هر هفت روز یک‌بار به‌روش نشتی انجام گرفت و بعدازاین مرحله متناسب با سطح تیمار آبیاری، آبیاری توسط کنتور اعمال و ثبت شد. با توجه به نیاز آبی لوبیا رقم درخشان در طول فصل رشد (۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار) با منظور نمودن مدار آبیاری متوسط ۷ روزه و تعداد ۱۷ نوبت آبیاری، حجم آبیاری برای تیمار ۱۰، ۷۵ و ۵۰

یک هفته قبل از کاشت، کود دامی به مقدار ۲۰ تن در هکتار به‌طور یکسان به همه کرت‌ها اضافه و با خاک مخلوط شد. به‌منظور کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر (10^7 cfu/ml)، از روش بذر مال استفاده گردید و بر اساس توصیه شرکت سازنده، بذرهاى تلقیح شده پس از خشک شدن در سایه، بلافاصله مورد کشت قرار گرفتند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). کود نیتروژنه اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان استارتر قبل از کشت به کرت‌های مربوطه اضافه شد. در تاریخ ۴ اردیبهشت ۱۳۹۴،

عملکرد دانه در اثر کود زیستی نیتروکسین با میانگین ۲۶۸۵/۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و پس از آن کود زیستی بیوسففر، کود شیمیایی نیتروژنه و شاهد به ترتیب با ۲۱۵۱/۶، ۱۷۵۴/۹ و ۱۳۹۶/۰ کیلوگرم در هکتار بودند (جدول ۳). عملکرد دانه حاصل از تلقیح با نیتروکسین با عملکرد دانه حاصل از تلقیح با بیوسففر، اختلاف معنی‌داری نداشت. عملکرد دانه در نتیجه تلقیح با نیتروکسین به ترتیب ۲۱ و ۳۱ درصد بیشتر از عملکرد دانه در نتیجه کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه و شاهد بود (جدول ۳). جهان و همکاران (Jahan et al. 2011) در بررسی اثر گیاهان پوششی و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum*) گزارش کردند که کودهای زیستی نیتروکسین، بیوسففر و بیوسولفور به ترتیب باعث افزایش ۲۶، ۲۲ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. نتایج پژوهشی نشان داد که تلقیح بذرها با آفتابگردان با کود زیستی باکتریایی موجب افزایش عملکرد دانه (۷/۸ درصد) گردید (Shoghi Kalkhoran et al., 2011). بسیاری از محققین به نقش مثبت ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه، بر عملکرد محصولات زراعی مختلف اشاره کرده‌اند (Adesemoye et al., 2010; Yadegari et al. 2010). اثر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه لوبیا معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۲)، به طوری که با کاهش تأمین نیاز آبی لوبیا از ۱۰۰ به ۵۰ درصد، میانگین عملکرد دانه از ۳۰۷۳/۷ به ۹۷۸/۹ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۳). در این ارتباط اسدی و همکاران (Asadi, et al., 2013) با بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی در لوبیاچیتی نشان دادند که بیشترین تأثیر خشکی بر تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه بود.

تعداد غلاف در بوته

عامل کودی تعداد غلاف در بوته لوبیا را به طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). به طوری که، بیشترین میانگین تعداد غلاف در بوته مربوط به کود زیستی نیتروکسین (۱۰/۳۳) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۵/۱۲) بود (جدول ۳). تعداد غلاف در بوته در نتیجه تلقیح با نیتروکسین و بیوسففر، به ترتیب ۲۳ درصد و ۱۳ درصد بیشتر از تعداد غلاف در بوته در نتیجه کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه بود. در آزمایشی اثرات تلقیح باکتری از توباکتر روی رشد گیاه سویا (*Glycine max*) بررسی شد و نتایج حاکی از آن بود

درصد نیاز آبی به ترتیب معادل ۳۰۰، ۲۲۵ و ۱۵۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. برای حصول تراکم مناسب (۲۰ بوته در مترمربع) در مرحله ۲ تا ۴ برگی، عملیات تنک انجام گرفت. به منظور کنترل علف‌های هرز، ۶ نوبت وجین دستی به ترتیب ۲۲، ۲۸، ۴۶، ۵۵، ۸۹ و ۹۵ روز پس از کشت انجام شد. گیاه لوبیا در طول دوره رشد خود با هیچ‌گونه آفت یا بیماری مواجهه نشد و هنگام آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

پس از تکمیل اولین برگ حقیقی، نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI) هر ۷ روز یک‌بار و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای به روش تخریبی از ۵ بوته لوبیا انجام گرفت. برای محاسبه شاخص سطح برگ بر اساس میانگین طول مدت‌زمان ($t_2 - t_1$) از معادله متوسط ذیل (معادله ۱) استفاده شد (Sarmadnia and Koocheki, 1989).

$$LAI = (1/GA)[(LA_2 + LA_1)/2] \quad [1]$$

که در معادله فوق، LA: سطح برگ (مترمربع) و GA: سطح زمین (مترمربع) است. اندازه‌گیری سطح برگ بوته‌ها به کمک دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, Delta T, UK) انجام شد.

در انتهای فصل رشد، همزمان با زرد شدن بوته‌ها و خشک شدن غلاف‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا شامل: تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه از ۱۰ بوته به طور تصادفی و عملکرد دانه نیز از سطحی معادل ۵ مترمربع محاسبه شد. وزن خشک با قرار دادن نمونه‌های گیاهی در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی دیجیتال به دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. جهت تجزیه واریانس و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش و رسم نمودارها و شکل‌ها از نرم‌افزارهای Slide، Minitab Ver. 16 و Write Ver. 2 و Microsoft Excel 2010 استفاده شد. در پایان، مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود عامل کودی اثر معنی‌داری ($P \leq 0/05$) بر عملکرد گیاه لوبیا داشت. بیشترین

جوانه‌های مولد گل تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و ریزش گل‌ها باعث کاهش تولید غلاف می‌شود (Rezvani, Moghaddam and Sadeghi Samarjan, 2008). در تحقیق دیگری گزارش شده است که تنش خشکی تعداد غلاف در بوته لوبیا را ۶۰ درصد کاهش داد (Szilagyi, 2003). یکی از دلایل کاهش تعداد غلاف در بوته در شرایط تنش خشکی، می‌تواند کاهش طول دوره رشد گیاه باشد که در نتیجه آن تولید مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Rezvani, Moghaddam and Sadeghi Samarjan, 2008).

که کاربرد از توپاکتر به تنهایی موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد گرهک در گیاه، تعداد غلاف در گیاه و عملکرد دانه شد (Ardekani et al. 2007).

اثر آبیاری بر تعداد غلاف در بوته نیز معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، به طوری که با کاهش نیاز آبی میانگین تعداد غلاف در بوته به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). تعداد غلاف‌ها یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در تعیین عملکرد لوبیا است که به صورت ژنتیکی بوده، ولی تحت تأثیر شرایط محیطی به ویژه گرما و خشکی قرار می‌گیرد (Salehi, 2015). در واقع با کاهش رطوبت و تنش خشکی طی مراحل زایشی،

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در لوبیا تحت تأثیر انواع کود و سطوح آبیاری

Table 2. Analysis of variance (MS) characteristics examined of bean affected fertilizers type and irrigation levels

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	(Mean of squares)		میانگین مربعات		
			عملکرد دانه Seed yield	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	وزن صد دانه 100 seeds weight	عملکرد ماده خشک Dry mater yield
Replication	تکرار	2	1.69 ^{ns}	2.94 ^{ns}	2.91 ^{ns}	3.13 ^{ns}	2.08 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	193.93 ^{**}	93.90 ^{**}	94.33 ^{**}	94.13 ^{**}	1112.06 ^{**}
Ea	خطای اول	4	1.18	2.07	2.09	2.12	4.91
Fertilizer (F)	کود	3	12.21 [*]	12.93 [*]	13.00 ^{**}	12.70 ^{**}	13.32 ^{**}
I*F	آبیاری*کود	6	2.68 ^{ns}	1.89 ^{ns}	1.90 ^{ns}	1.76 ^{ns}	2.87 [*]
Eb	خطای دوم	18	0.95	1.42	1.78	1.33	2.05
CV (%)	ضریب تغییرات		8.74	6.55	7.32	5.98	7.12

ns, *, **, Non significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

اثر آبیاری نیز بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین (۳۸/۸۱) و کمترین (۱۶/۹۷) میانگین تعداد دانه در غلاف لوبیا به ترتیب مربوط به گیاهان تحت تأثیر ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی بود. سزیلاگی (Szilagyi, 2003) نیز با بررسی تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا مشاهده نمود که تنش خشکی تعداد دانه در غلاف را ۲۶ درصد کاهش داد.

وزن صد دانه

اثر عامل کودی بر وزن صد دانه لوبیا معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، به طوری که بیشترین (۳۲/۴۵) گرم و کمترین (۲۳/۳۹) گرم

تعداد دانه در غلاف

اثر عامل کودی بر تعداد دانه غلاف در لوبیا معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$)، به طوری که در بین سطوح کودی، بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به گیاهان تلقیح شده با نیتروکسین و کمترین آن مربوط به گیاهان شاهد به ترتیب با میانگین ۳۵/۷ و ۲۴/۲ بود. تعداد دانه در غلاف در نتیجه تلقیح با نیتروکسین، به ترتیب ۱۵ و ۱۹ درصد بیشتر از تعداد دانه در غلاف در نتیجه کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه و شاهد به دست آمد (جدول ۳). در تحقیق یوسف‌پور و یدوی (Yousefpoor and Yadavi, 2014)، کاربرد کودهای زیستی به صورت منفرد و ترکیبی افزایش تعداد دانه پر در طبق آفتابگردان را باعث شد.

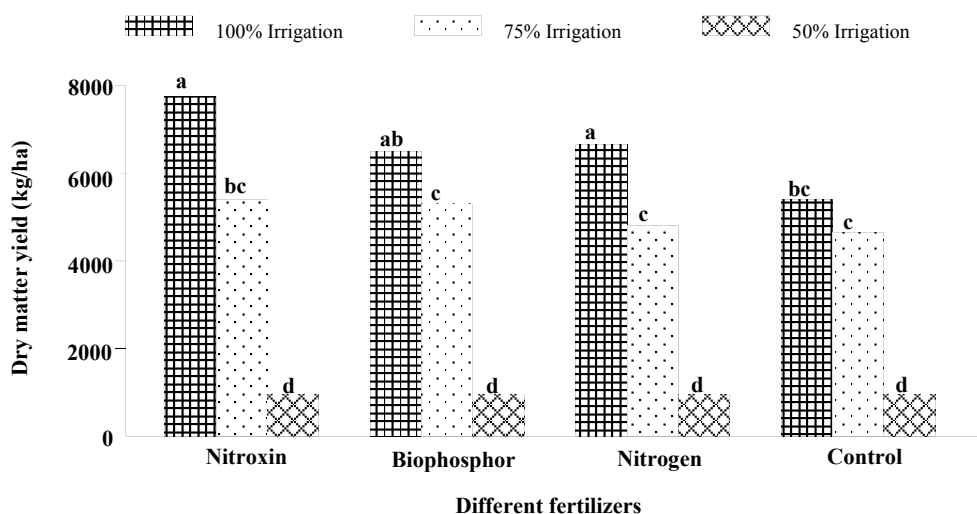
عملکرد ماده خشک

واکنش متقابل کود و آبیاری تنها بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۲)، به طوری که بیشترین عملکرد ماده خشک (۷۷۴۱ کیلوگرم در هکتار) در نتیجه تلقیح با کود زیستی نیتروکسین و تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی به دست آمد، اگرچه، با ماده خشک حاصل از تلقیح با بیوفسفر و اوره در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد ماده خشک نیز بدون مصرف کود (شاهد) در شرایط ۵۰ درصد نیازآبی (۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (شکل ۱).

در آزمایشی روی گندم (*Triticum aestivum*) مشاهده شد که واکنش متقابل تلقیح با کودهای زیستی و کاهش نیازآبی روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه معنی‌دار شد. به طوری که کاربرد کود زیستی با تأمین ۸۰ درصد نیازآبی در بیشتر صفات مورد بررسی تفاوت آماری با آبیاری کامل نشان نداد (Abdelraouf et al. 2013). در آزمایش جهان و همکاران (Jahan et al. 2011) روی کنجد، کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به ترتیب باعث افزایش ۴۴ و ۲۸ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد شدند.

وزن صد دانه به ترتیب در نتیجه تلقیح با کود نیتروکسین و شاهد حاصل شد. وزن صد دانه در نتیجه تلقیح با نیتروکسین و بیوفسفر، به ترتیب ۹ و ۵ درصد بیشتر از وزن صد دانه در نتیجه کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه بود (جدول ۳). تلقیح بذر آفتابگردان با نیتروکسین و فسفات بارور ۲ سبب افزایش معنی‌داری وزن هزار دانه این گیاه شد. افزایش وزن هزار دانه آفتابگردان به دنبال کاربرد کودهای زیستی به تأثیر باکتری‌ها بر تثبیت نیتروژن و توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای و به تبع آن جذب بهتر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نسبت داده شده است (Yousefpoor and Yadavi, 2014).

عامل آبیاری نیز بر وزن صد دانه لوبیا اثری معنی‌دار ($P \leq 0.01$) داشت (جدول ۲)، به طوری که بیشترین (۳۴/۱۵ گرم) و کمترین وزن صد دانه (۲۰/۸۰ گرم) به ترتیب در نتیجه اعمال سطوح ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد نیازآبی حاصل شد (جدول ۳). در تنش کم‌آبی به علت کاهش انتقال مواد به سمت دانه و همچنین کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها، از وزن آن‌ها کاسته می‌شود. برخی مطالعات نشان داده است که غلاف‌های در حال پر شدن نسبت به غلاف‌های جوان از نظر دریافت مواد فتوسنتزی در اولویت هستند و مواد فتوسنتزی بیشتر به آن‌ها اختصاص می‌یابد (Parsa and Bagheri, 2008).



شکل ۱. اثر متقابل کودهای مختلف و سطوح آبیاری بر عملکرد ماده خشک لوبیا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند).

Fig. 1. Interaction between different fertilizer and irrigation levels on dry matter yield of bean (the means followed by similar letter at least are not significantly different).

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا تحت تأثیر انواع کود و سطوح آبیاری

Table 3. Mean comparison on yield and yield components of bean affected fertilizers type and irrigation levels.

Treatments	تیمارها	عملکرد دانه	تعداد غلاف	تعداد دانه	وزن	عملکرد ماده
		Seed yield (kg/ha)	در بوته	در غلاف	صد دانه	خشک
			Pod number per plant	Seed number per pod	100 seeds weight (g)	Dry mater yield (kg/ha)
Irrigation آبیاری						
100% water requirement	۱۰۰٪ نیاز آبی	3073.7 ^a	9.50 ^a	38.81 ^a	34.15 ^a	6522 ^a
75% water requirement	۷۵٪ نیاز آبی	2238.2 ^b	7.42 ^b	30.89 ^b	29.60 ^b	4910 ^b
50% water requirement	۵۰٪ نیاز آبی	978.9 ^c	6.10 ^c	16.97 ^c	20.80 ^c	940 ^c
Fertilizer کود						
Nitroxin	نیتروکسین	2685.4 ^a	10.33 ^a	35.70 ^a	32.45 ^a	5946 ^a
Biophosphor	بیوفسفر	2151.6 ^{ab}	8.44 ^{ab}	30.41 ^{ab}	29.28 ^{ab}	4325 ^b
Nitrogen	نیتروژن	1754.9 ^{bc}	6.38 ^{bc}	26.69 ^{bc}	26.95 ^{bc}	3252 ^c
Control	شاهد	1396.0 ^c	5.12 ^c	24.23 ^c	23.39 ^c	1531 ^d

برای هر عامل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($P \leq 0.05$).

For each factor and in each column, means followed by similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$)

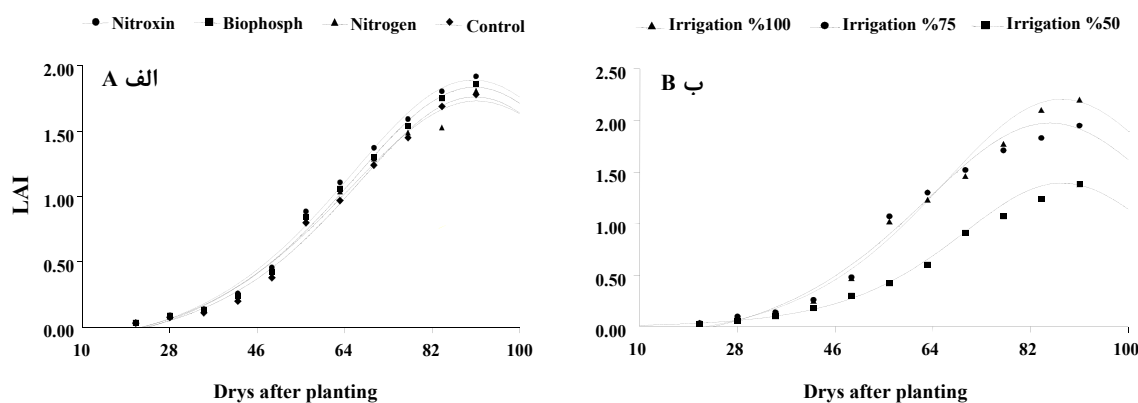
می‌تواند مطابقت این زمان با حداکثر تشعشع دریافتی و دمای مناسب برای رشد باشد. پس از رسیدن سطح برگ به مقدار حداکثر، گیاه لوبیا سطح سبز خود را به دلیل خشبی شدن ساقه‌های سبز، خشک شدن برگ‌ها و همچنین ریزش برگ‌ها به‌سرعت از دست داد (شکل ۲-الف). جهان و همکاران (Jahan et al. 2011) گزارش کردند که بیشترین مقادیر شاخص سطح برگ کنجد در هر دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی، در نتیجه‌ی استفاده از کودهای زیستی حاصل شد. همچنین کودهای زیستی نسبت به شاهد در هر دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ را تسریع کردند.

روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر آبیاری در شکل ۲-ب نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین شاخص سطح برگ در طی فصل رشد مربوط به عامل ۱۰۰ درصد نیازآبی به میزان ۲/۳ بود. در مطالعه روی عدس (*Lens culinaris*) مشخص شد که با کمبود آب، سطح برگ به‌شدت کاهش یافت. تولید و توسعه‌ی برگ به کمبود آب بسیار حساس است و علت آن، نیاز مبرم فرآیندهای تقسیم سلولی و رشد به فشار آماس سلولی است که آب نیروی محرکه آن است (Pagter et al. 2005).

شاخص سطح برگ (LAI)

روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر عامل‌های کودی مختلف در شکل ۲-الف نشان داده شده است و همان‌گونه که مشاهده می‌شود در همه عامل‌های مورد آزمایش با گرم شدن هوا دوره‌ی گسترش سریع برگ از حدود ۵۰ روز پس از کشت آغاز شد و با روند افزایشی ادامه یافت و به حداکثر رسید. بعدازاین مرحله با افزایش سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور به داخل تاج‌پوش، به نظر می‌رسد فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و به دلیل زرد شدن و ریزش برگ‌های تاج‌پوش، روند نزولی در منحنی شاخص سطح برگ مشاهده گردید. حداکثر شاخص سطح برگ، در عامل‌های کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر ۹۰ روز پس از کاشت ایجاد شد (شکل ۲-الف).

بیشترین شاخص سطح برگ در طی فصل رشد به میزان ۲/۰ در اثر عامل کود زیستی نیتروکسین مشاهده شد و گیاهان شاهد کمترین شاخص سطح برگ (۱/۷) را در طی فصل رشد داشتند. این موضوع بیانگر آن است که لوبیا توانسته بین روزهای ۲۰ تا ۹۰ روز پس از کاشت به‌سرعت سطح سبز خود را افزایش دهد و به حداکثر مقدار آن برای جذب تشعشع برساند (شکل ۲-الف). یکی از دلایل رسیدن به سطح سبز حداکثر در این دامنه‌ی زمانی، می‌تواند مربوط به گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه لوبیا باشد. علت دیگر



شکل ۲. تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا طی فصل رشد در شرایط: (الف) عامل‌های کودی و (ب) آبیاری‌های مختلف.
 Fig 2. LAI changes of bean during the growing season in: (A) fertilizer factors, and (B) different irrigation.

حاکمی از آن است که این صفات به‌طور مستقیم بر عملکرد تأثیر دارند. از طرف دیگر تولید ماده خشک بالا به‌خصوص قبل از وقوع رشد زایشی، باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه می‌شود و گیاه قادر خواهد بود مواد فتوسنتزی لازم را برای پر شدن دانه‌ها تولید نماید و در نهایت عملکرد افزایش یابد (Amiri et al. 2015).

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است. صفاتی نظیر تعداد غلاف در بوته ($r=0/976^{**}$)، تعداد دانه در غلاف ($r=0/97^{**}$) و وزن صد دانه ($r=0/975^{**}$) بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه نشان دادند. وجود همبستگی بالا بین عملکرد دانه و صفات ذکر شده

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا تحت تأثیر انواع کود و سطوح مختلف آبیاری

Table 4. Correlation coefficients among yield and yield components of bean affected fertilizers type and irrigation different levels.

Characters	صفات	1	2	3	4	5
1 Seed yield	عملکرد دانه	1				
2 Pod number per plant	تعداد غلاف در بوته	0.976 **	1			
3 Seed number per pod	تعداد دانه در غلاف	0.976 **	1.00 **	1		
4 100 seeds weight	وزن صد دانه	0.975 **	1.00 **	1.00 **	1	
5 Dry mater yield	عملکرد ماده خشک	0.950 **	0.968 **	0.968 **	0.967 **	1

** Significant at the 0.01 probability level.

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

کیلوگرم در هکتار)، ۲۱ درصد بیشتر از کاربرد اوره ($1754/9^{bc}$ کیلوگرم در هکتار) و ۳۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد (1396^c کیلوگرم در هکتار) بود. در اثر کاربرد بیوفسفر و نیز کود اوره، اغلب صفات لوبیا شامل عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه تفاوت معنی‌دار نداشتند، بنابراین می‌توان با استفاده از کودهای زیستی، ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها، محصول سالم لوبیا را با عملکردی برابر با نظام‌های رایج تولید کرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش، حاکمی از اثر مثبت کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بر اکثر ویژگی‌های رشدی گیاه لوبیا بود. به‌طوری‌که کود زیستی نیتروکسین نسبت به کود شیمیایی نیتروژنه (وره) و شاهد، برتری معنی‌داری داشت. برای مثال، عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین صفت در نتیجه تلقیح با کود زیستی نیتروکسین ($2685/4^a$ کیلوگرم در هکتار)، ۱۱ درصد بیشتر از تلقیح با بیوفسفر ($2151/6^{ab}$)

منابع

- Abdelraouf, R.E., El-Habbasha, S.F., Hozayn, M., Hoballah, E., 2013. Water stress mitigation on growth, yield and quality traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) using biofertilizer inoculation. *Journal of Applied Sciences Research*. 9(3), 2135-2145.
- Adesemoye, A.O., Torbert, H.A., Kloepper, J.W., 2010. Increased plant uptake of nitrogen from 15N-depleted fertilizer using plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied Soil Ecology*. 46, 54-58.
- Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Hosseinpoor, R., Abdeshah, H., Kazemian, A., Rafiei, M., 2017. *Agricultural Statistics during 2016-7*, Ministry of Jihad-e Keshavarzi, Iran. Vol. 1: Crops. Retrieved Sep. 19, 2018, from <http://amar.maj.ir>. [In Persian].
- Amiri, S.R., Parsa, M., Bannayan Aval, M., Nassiri Mahallati, M., Deihimfard, R., 2015. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Mashhad climatic conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*. 6(1), 66-77. [In Persian with English Summary].
- Amiri Dehahmadi, S.R., Parsa, M., Nezami, A., Gangeali, A., 2010. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*. 2(1), 69-84. [In Persian with English Summary].
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*. 6(9), 2026-2032.
- Ardekani, M.R., Sani, B., Noor Mohammadi, Gh., Khosravi, H., Farahbakhsh, A., 2007. Comparison of inoculum efficiency of bio fertilizers on production performance and yield of soybeans. *Proceeding 2nd National Conference on Ecological Agriculture in Iran*. Gorgan, p. 231. [In Persian with English Summary].
- Asadi, B., Ghadiri, A., Asteraki, H., 2013. Evaluation of drought stress tolerance indices in Chitti bean genotypes. *The 5th Iranian Pulse Crops Symposium*, Karaj. pp. 334-337. [In Persian with English Summary].
- Chandrasekar, B.R., Ambrose, G., Jayabalan, N., 2005. Influence of biofertilizers and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochloa frumentacea* (Roxb) Link. *Journal of Agricultural Technology*. 1(2), 223-234.
- Choobforoush Khoei, B., Roshdi, M., Jalili, F., Ghaffari, M., 2014. The effect of biofertilizers on the yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) nuts in the Khoys region. *Iranian Journal of Agronomy (Pajouhesh & Sazandegi)*. 103, 132-139. [In Persian with English Summary].
- Dadnia, M., 2018. Relation of water deficit stress and biofertilizer on some of antioxidant enzymes activity and their role on grain yield variation in barley (*Hordeum vulgare*). *Iranian Journal of Plant Ecophysiology*. 33, 1-10. [In Persian with English Summary].
- Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., Feller, U., 2009. Drought stress effects on Rubisco in wheat changes in the Rubisco large subunit. *Acta Physiologiae Plant*. 31, 1129-1138.
- Griffe, P., Metha, S., Shankar, D., 2003. *Organic production of medicinal, aromatic and dye-yielding plants (MADPs): Forward*, Preface and Introduction, FAO.
- Jahan, M., Amiri, M.B., Ehyaei, H.R., 2011. Interaction of cover plants (chickling pea and Iranian clover) and biofertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) in ecological farming system with emphasis on minimum tillage. 1st Special Conference about Apportunity Methods for Sustainable Agriculture. Khuzestan Payam Nour University. [In Persian with English Summary].
- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., 2012. *Soil Fertility and Biological Fertilizers (Agro-ecological Approach)*. Ferdowsi University of Mashhad Press. 252 p. [In Persian with English Summary].
- Kalamian, S., Modares Sanavi, A.M., Sepehri, A., 2005. Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stages in leafly and commercial hybrids of maize. *Iranian Journal of Water, Soil and Plant in Agriculture*. 5(3), 38-51. [In Persian with English Summary].
- Kumar, B., Pandey, P., Maheshwari, D.K., 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and

- growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. *European Journal of Soil Biology*. 45, 334-340.
- Kumar, S., Verma, A.K., Das, M., Jain, S.K., Dwivedi, P.D., 2013. Clinical complications of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption. *Nutrition*. 29, 821-827.
- Mulas, D., Garcia-Fraile, P., Carro, L., Ramirez-Bahena, M.H., Casquero, P., Velazquez, E., Gonzalez-Andres F., 2011. Distribution and efficiency of *Rhizobium leguminosarum* strains nodulating *Phaseolus vulgaris* in Northern Spanish soils: Selection of native strains that replace conventional N fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*. 43, 2283-2293.
- Pagter, M., Bragato, C., Brix, H., 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites Australia* to water deficit. *Aquatic Botany*. 81, 285-299.
- Parsa, M., Bagheri, A., 2008. Pulses. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press. 522p. [In Persian].
- Rabieyan, Z., Rahimzadeh Khoei, F., Kazemi Arbat, H., Yarnia, M., 2009. Effect of biofertilizers on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cv. Pirouz under different levels irrigation. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 2(6), 93-96. [In Persian with English Summary].
- Rezvani Moghaddam, P., Sadeghi Samarjan, R., 2008. Effect of different planting dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) ILC3279 cultivars in the climatic conditions Neyshabur. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 2, 315-325. [In Persian with English Summary].
- Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A., 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemical*. 56, 24-34.
- Salehi, F., 2015. Principles of breeding and cultivation of common bean. Agricultural and Natural Resources Research Education Publication. 265p. [In Persian with English Summary].
- Sarmadnia, Gh. H., Koocheki, A., 1989. Crop Physiology. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press, 400p. [In Persian with English Summary].
- Shoghi Kalkhoran, S., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Akbari, P., 2011. Effect of nitrogen fertilizer and biofertilizer application on yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 12 (4), 467-481. [In Persian with English Summary].
- Szilagyi, L., 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 8, 320-330.
- Tilak, K.V., Ranganayaki, N., Pal, K.K., De, R., Saxena, A.K., ShekharNautiyal, C., Mittal, S., Tripathi, A.K., Johri, B.N., 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*. 89, 136-150.
- Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil*. 255, 571-586.
- Wani, I.A., Sogi, D.S., Wani, A.A., Gill, B.S., 2013. Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *LWT-Food Science and Technology*. 53, 284-278.
- Yadegari, M., Asadirahmani, H., Noormohammadi, G., Ayneband, A., 2010. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. *Iranian Journal of Plant Nutrition*. 33, 1733-1743. [In Persian with English Summary].
- Yousefpoor, Z., Yadavi, A.R., 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Iranian Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*. 24(1), 95-112. [In Persian with English Summary].