

مقاله علمی - پژوهشی

## تأثیر کودهای زیستی بر بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در دو رقم لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) در شرایط کم‌آبیاری

احمد قاسمی پیربلوطی<sup>۱</sup>، محمد رفیعی‌الحسینی<sup>۲\*</sup>، فرود صالحی<sup>۳</sup> و مهدی قبادی نیا<sup>۴</sup>

### چکیده

لوبیا به دلیل داشتن پروتئین، از مهم‌ترین منابع غذایی است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، استفاده از رویکردهای مدیریتی مانند کاربرد کودهای زیستی و کم‌آبیاری اهمیت دارد. این آزمایش در جهت بررسی تأثیر کم‌آبیاری به همراه کودهای زیستی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ارقام لوبیا به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۳ انجام شد. سطوح آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا به عنوان عامل اصلی و عامل فرعی فاکتوریل کودهای زیستی (در چهار سطح شامل مایکوریزا آربوسکولار، باکتری ریزوبیوم، باکتری آزوسپریلیوم و تیمار شاهد) و رقم (در دو سطح شامل لوبیاچیتی و لوبیا قرمز) بود. استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش شاخص سطح برگ (LAI) در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط (۸۰ درصد نیاز آبی) گردید. استفاده از مایکوریزا و ریزوبیوم در شرایط تنش متوسط (۸۰ درصد نیاز آبی) منجر به افزایش ۵ درصدی سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR) نسبت به شاهد شد. هر سه کود زیستی در آبیاری نرمال و تنش متوسط منجر به افزایش معنی‌دار شاخص سرعت رشد محصول (CGR) شدند. ۶۰ درصد نیاز آبی منجر به کاهش ۵۵ درصدی سرعت رشد نسبی (RGR) نسبت به آبیاری نرمال شد. کودهای زیستی ریزوبیوم و مایکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در غلاف (۱۲/۵ و ۱۳/۲ در صد) و وزن صد دانه (۱۳/۲ و ۱۳/۵ درصد) نسبت به تیمار شاهد شدند و این میکروارگانیسم‌ها موجب افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط شدند. به‌طور کلی استفاده از کودهای زیستی می‌تواند با کاهش اثرات تنش خشکی منجر به بهبود صفات رشدی و عملکرد دانه در لوبیا گردد. لذا به پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، روش کم‌آبیاری به همراه استفاده از کودهای زیستی در سایر محصولات زراعی موردبررسی قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** کودهای زیستی، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR)، سرعت رشد محصول (CGR)، لگوم

### مقدمه

زیر کشت و تولید را در بین حبوبات دارد (رشیدی و همکاران، ۱۴۰۱ و احتشامی و همکاران، ۱۳۹۲). ارقام و توده‌های لوبیا از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی در ایران هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به لوبیا قرمز، لوبیا سفید و لوبیاچیتی اشاره کرد (رشیدی و همکاران، ۱۴۰۱). با توجه به میانگین بارندگی سالانه ۲۶۰ میلی‌متری در ایران و قرار گرفتن حدود ۹۰ درصد از اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک بروز تنش خشکی در این مناطق در دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است (کریم‌زاده سورشجانی و همکاران، ۱۳۹۷). کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به یک بحران تبدیل شده، لذا مصرف آب در کشاورزی نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق دارد. یکی از تکنیک‌های کاهش مصرف آب

لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) از مهم‌ترین لگوم‌ها و منبع غنی از پروتئین و کربوهیدرات و مواد معدنی است و بیشترین سطح

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد،

شهرکرد، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(\* نویسنده مسئول: m\_rafiee\_1999@yahoo.com)

<sup>۳</sup> دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش

کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد،

ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۲

از مهم‌ترین ریزجانداران خاکری در بوم‌نظام‌های زراعی محسوب می‌شود که به یک راسته (*Phylum monophyletic*) با نام علمی *Mycota glomero* متعلق می‌باشند و مهم‌ترین نقش آن‌ها افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌ویژه فسفر در گیاه میزبان و همچنین افزایش مقاومت در برابر تنش‌های خشکی و شوری است (Schussler et al., 2001) در مطالعه‌ای گزارش شد کاربرد کود زیستی در کشت ذرت منجر به افزایش رشد رویشی و عملکرد اقتصادی شد (Saleem et al., 2011). باکتری‌ها و قارچ‌های محرک رشد گیاه می‌توانند با افزایش تثبیت نیتروژن، حل فسفات کم محلول، افزایش دسترسی گیاه به عناصر کم‌مصرف مثل آهن، افزایش تولید فیتوهورمون‌ها مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جبریلین‌ها و کاهش تولید اتیلن، مستقیماً باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شوند لذا یکی از استراتژی‌های مقابله با خشکی و شوری که چندی است مورد توجه قرار گرفته، تلقیح بذر گیاهان زراعی با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاکری است (Ehteshami et al., 2014). امروزه روش‌های نوین و فناوری بنام پرایمینگ زیستی (شامل: استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید از قبیل نیتروکسین و سوپر نیترو پلاس جهت تلقیح بذر) یک راهکار برای افزایش رشد و مقاومت گیاهان به تنش‌ها استفاده می‌شوند (انصاری و همکاران، ۱۴۰۳). بررسی شاخص‌های رشد، اطلاعات مفیدی در خصوص کارکرد گیاه که تابعی از ژنوتیپ و محیط است فراهم می‌سازد که می‌توانند در تصمیمات مدیریتی در رسیدن به افزایش تولید محصول و شناخت موانع موجود در کشاورزی استفاده شوند (Pourhadian et al., 2022). در بین شاخص‌های رشد، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت فتوسنتز خالص (NAR)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) از اهمیت زیادی برخوردار هستند (سرمدنی و کوچکی، ۱۳۹۰). تنهایی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی مایکوریزا و فسفات بارور ۲ در شرایط تنش خشکی، منجر به افزایش اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص سطح برگ (LAI) لوبیا قرمز گردید. بررسی

در کشاورزی و افزایش راندمان مصرف آب<sup>۱</sup>، کم‌آبایی<sup>۲</sup> است که به‌طور کلی به‌عنوان یک عمل آبیاری تعریف می‌شود که به‌موجب آن گیاه با آب کمتر از نیاز کامل برای رشد بهینه آبیاری می‌شود. کم‌آبایی به‌عنوان روشی برای بهینه کردن مصرف آب و کاهش هزینه تولید و جهت دستیابی به تولید بیشتر در محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Chai et al., 2016). تنش‌های محیطی مخصوصاً تنش خشکی سالانه منجر به کاهش قابل‌توجه عملکرد در لوبیا می‌شود. پژوهشگران بیان کردند تنش خشکی مهم‌ترین عامل در کاهش عملکرد لوبیا در سراسر جهان است (Teran and Singh, 2002; Szilagyi, 2003). جرمن و تران گزارش کردند که تنش خشکی در لوبیا باعث کاهش زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه می‌شود (German and Teran, 2006). در بررسی اثر کم‌آبایی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) بر اجزای عملکرد به روش آبیاری تیپ (Tape) در لوبیاچیتی، کاهش صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه مشاهده شد (Darabi et al., 2022). در پژوهش میرزایی و همکاران (۱۳۹۹) قطع آبیاری در مرحله گلدهی و دانه‌بندی لوبیاچیتی، اثر معنی‌داری بر کاهش ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت. راهکارهای مدیریتی مناسب می‌تواند با بهبود شرایط محیطی و دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی در کاهش اثرات مضر تنش‌های محیطی مؤثر بوده و منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه شود (رشدی و همکاران، ۱۴۰۱ و عسگری و غفوری، ۱۴۰۲). از این میان استفاده از کودهای زیستی با تولید مواد فعال زیستی علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک می‌تواند منجر به بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی شود (Ehteshami et al., 2014). همچنین استفاده از کودهای زیستی موجب بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی، تولید متابولیت‌ها، هورمون‌های گیاهی و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند (پیرسته انوشه و همکاران، ۱۳۸۹). مایکوریزا آربسکولار

<sup>۱</sup>Water Use Efficiency (WUE)<sup>۲</sup>Regulated Deficit Irrigation (RDI)

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۳ انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی تنش کم‌آبی در سه سطح شامل (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی فاکتوریل کود بیولوژیک (در چهار سطح شامل: وزیکولار، میکوریزا، آربوسکولار (Mycorrhizal) *Arbuscula* سویه (*Glomus intraradices*، باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium Leguminosarum*))، باکتری آزوسپریلیوم (*Azospirillum brasilense*) به همراه شاهد (عدم استفاده از کود زیستی)) و رقم (در دو سطح شامل: لوبیا قرمز رقم یاقوت و لوبیاچیتی رقم کوشا) بود. میکوریزا از شرکت زراعی ارگانیک همدان در بسته‌های ۱۰ کیلویی (شامل: خاک، بقایای ریشه و اندام‌های میکوریزا) تهیه شد و باکتری‌های ریزوبیوم و آزوسپریلیوم به صورت مایع تلقیح یک لیتری از بخش بیولوژیک مؤسسه تحقیقات آب و خاک کرج و بذور لوبیا از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی تهیه شدند. بعد از شخم زمین، به منظور خرد کردن کلوخه‌ها دو بار دیسک به صورت عمود برهم زده شد. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. نتایج تجزیه خاک در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

روند تجمع ماده خشک در گیاه ابزار مهمی جهت مطالعه اثرات عوامل محیطی و ژنتیکی بر عملکرد نهایی است که امکان تعیین واکنش گیاه را نسبت به عوامل مؤثر بر عملکرد مقدور می‌سازد (Ghassemi-golozani et al., 2009). مطابق مطالعات قنبری و همکاران (۱۳۹۳) افزایش تنش رطوبتی در مراحل رشد رویشی لوبیا منجر به کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و وزن خشک اندام هوایی شد.

با توجه به اهمیت ارقام لوبیاچیتی و لوبیا قرمز و حساسیت این گیاه به کمبود آب و همچنین اثرات مفید کودهای زیستی در کاهش اثرات تنش خشکی، این آزمایش باهدف بررسی تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات شاخص‌های رشد شامل: شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت جذب خالص (NAR)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) و همچنین اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ارقام لوبیا در شرایط مختلف کم‌آبی اجرا گردید. لذا با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، به نظر می‌رسد این تحقیق با استفاده از تکنیک‌های کم آبیاری و کاربرد کودهای زیستی مانند میکوریزا و نیز باکتری‌های همزیست با ریشه گیاهان زراعی، می‌تواند کارایی تولید در گیاهان زراعی به‌ویژه حبوبات را در مقابله با کم‌آبی ارتقا دهد.

## مواد و روش‌ها

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

شوری	اسیدیته خاک	کربن آلی	نیترژن	فسفر	پتاسیم	روی	منگنز	آهن	مس
دسی‌زیمنس بر متر	درصد	درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم
۰/۵۷	۷/۶۳	۱/۰۷	۰/۱۱۵	۴۴/۹	۴۱۹	۰/۹۹	۸/۱۵	۳/۱۴	۱/۱
ظرفیت زراعی	پژمردگی دائم	جرم مخصوص ظاهری خاک	شن	سیلت	رس	درصد	گرم بر سانتی‌متر مکعب	درصد	گرم بر سانتی‌متر مکعب
۰/۲۲	۰/۱۲	۱/۲۲	۲۰/۵	۴۱	۳۸/۵				

به‌منظور کاربرد باکتری‌های ریزوبیوم و آزوسپریلیوم در تیمارهای مربوطه، بذرها یک ساعت قبل از کشت مایه‌زنی شد، به این صورت که در تیمارهای تلقیحی هر کیلوگرم از بذر مصرفی با ۱۵ میلی لیتر از محلول ۲۰ درصد شکر مرطوب شد و سپس با ۷ گرم از مایه تلقیح باکتری (تهیه شده از موسسه تحقیقات آب و خاک کرج) آغشته شده و به‌خوبی بهم زده شد و پس از خشک شدن در سایه اقدام به کشت گردید (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۴). اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

هر کرت فرعی شامل ۴ ردیف کاشت به طول ۳ متر و با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود. کاشت ارقام بذرها لوبیا به‌صورت دستی و یک ردیف روی پشته با فاصله ۵ سانتی‌متر در تاریخ دهم خرداد ۱۴۰۳ انجام شد. دو ردیف کناری و ۳۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. طی فصل رشد عملیات لازم از جمله مبارزه با آفات، امراض، علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. به‌منظور اعمال تیمارهای مربوط به مایکوریزا، قبل از کاشت خاک‌آلوده به آریسکولار مایکوریزا به میزان ۱۰ گرم مایکوریزا در مترمربع، در زیر بذور قرار گرفت (نجاتی سینی و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول ۲ - مقادیر پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در سال ۱۴۰۳

ماه	متوسط دما درجه سانتی‌گراد	متوسط دمای حداکثر درجه سانتی‌گراد	متوسط دمای حداقل درجه سانتی‌گراد	متوسط تبخیر از تشت تبخیر کلاس A میلی‌متر
خرداد	۲۰/۲۷	۳۱/۴۴	۸/۴۱	۱۰/۱۷
تیر	۲۳/۸۴	۳۵/۷۳	۱۲/۳۸	۱۲/۵۴
مرداد	۲۵/۴۸	۳۷/۵۳	۱۳/۷۳	۱۲/۶۹
شهریور	۲۰/۴۳	۳۳	۸/۶۳	۱۰/۵۶
مهر	۱۶/۸۹	۲۸/۵۱	۳/۷۷	۸/۰۸

برای هر بار آبیاری با استفاده از روابط (۲-۲) و (۳-۲) عباسی و همکاران (۱۴۰۱) محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی بین تیمارها توزیع شد.

$$V = (\theta_{FC} - \theta_{Soil}) \cdot A \cdot d \cdot P_w \quad (2)$$

$$P_w = (N_p)(Se)(W) / (S_p)(S_r) \quad (3)$$

در این رابطه،  $\theta_{Soil}$  درصد رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری (این رطوبت نزدیک حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول است)،  $d$  عمق ریشه برحسب متر،  $A$  سطح کرت برحسب مترمربع  $P_w$  (درصد مساحت خیس شده)  $N_p$  (تعداد قطره‌چکان‌ها) برای هر گیاه،  $Se$  (فاصله قطره‌چکان‌ها از یکدیگر)،  $w$  (حداکثر قطر دایره خیس شده)،  $S_p$  (فاصله بوته‌ها روی ردیف)،  $S_r$  (فاصله بین ردیف‌ها) و  $V$  حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب است. با اندازه‌گیری و محاسبات موارد فوق  $P_w$  در این آزمایش به مقدار ۶۱ درصد محاسبه شد. این حجم آب محاسبه شده جهت تیمار آبیاری کامل بود و حجم آب تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری، نسبت به حجم آبیاری کامل تناسب گرفته شد و اعمال گردید. لازم به ذکر است

برای تعیین زمان آبیاری و میزان تخلیه آب خاک، میزان رطوبت خاک به‌صورت روزانه در تیمار شاهد با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج SM150 ساخت شرکت دلتا-تی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری و با در نظر گرفتن ضریب تخلیه مجاز ۴۵ درصد (FAO, 2013)، رطوبت پایینی سهل‌الوصول ( $\theta_{MAD}$ ) تعیین و با رسیدن رطوبت خاک به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول، آبیاری انجام شد (رابطه ۲-۱) (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲).

$$\theta_{MAD} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \quad (1)$$

در این رابطه  $\theta_{FC}$ ، درصد رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی،  $\theta_{PWP}$ ، درصد رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم،  $MAD$ ، ضریب تخلیه مجاز (۴۵ درصد) است. درصد رطوبت حجمی خاک مزرعه در نقاط ظرفیت زراعی  $FC$  و پژمردگی دائم  $PWP$  برای اعماق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری به‌وسیله دستگاه صفحات فشاری عزیزاده (۱۳۷۸) تعیین شد. تیمارهای آبیاری بعد از تنک کردن و دستیابی به تراکم مورد نظر و در ابتدای مرحله (V4) اعمال شد (محلوجی و همکاران، ۱۳۷۹). حجم آب مورد نیاز

اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه)، کاه و کلش از دانه‌ها جداسازی شد و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در واحد سطح محاسبه گردید.

$$HI=(GY/BY). 100 \quad (A)$$

در این رابطه HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیکی است (Ntanos and Koutroubas, 2002). قبل از تجزیه واریانس، وضعیت نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون‌های کولموگوروف اسمیرنوف و بارتلت تأیید گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9/4 انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ (LAI)

اثرات کم آبیاری، کودهای زیستی و برهمکنش کم آبیاری در کودهای زیستی بر شاخص سطح برگ در ارقام لوبیا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل کم آبیاری و کودهای زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش شاخص سطح برگ در آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نسبت به شاهد گردید. ولی در شرایط تنش ۶۰ درصد آبیاری اختلاف معنی‌داری بین کاربرد کودهای زیستی و تیمار شاهد مشاهده نشد (شکل ۱). طباطبائی و همکاران گزارش کردند که استفاده از کودهای بیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد و کاربرد کود اوره منجر به افزایش حداکثری شاخص‌های رشدی مانند ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، سرعت جذب خالص و عملکرد دانه لوبیا می‌شود (طباطبائی و همکاران، ۱۴۰۰).

که به دلیل کیفیت مناسب آب و خاک و همچنین کوچک بودن اندازه کرت‌ها نیاز آبی و نیاز آبیاری یکسان در نظر گرفته شد. جهت سنجش شاخص‌های رشد و تعیین روند رشد، نمونه‌برداری از مرحله  $V_3$  حدود ۲۰ روز پس از کاشت (نمونه‌برداری اول) تا ۸۰ روز پس از کاشت (نمونه‌برداری آخر) به فاصله هر ۱۴ روز انجام شد. در هر مرحله با رعایت حاشیه، ۰/۲ مترمربع (۵ بوته) از هر کرت آزمایشی برداشت شد و سطح برگ جدا شده از ساقه توسط کاغذ شطرنجی طول و عرض برگ‌ها اندازه‌گیری و LAI از رابطه (۲-۴) با تقسیم سطح برگ به مساحت زمین اشغال شده محاسبه گردید (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۹۰). وزن تر ساقه و برگ جداگانه توزین و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و با ترازوی دقیق وزن شد و برای ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، ابتدا از وزن خشک اندام‌های هوایی به دست آمده در هر بار نمونه‌برداری استفاده و ماده خشک کل گیاه (TDM) در این فاصله زمانی محاسبه شد؛ و سپس با استفاده از معادلات ۲-۵ تا ۲-۷ مقادیر سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، و سرعت جذب خالص (NAR) محاسبه گردید (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۹۰).

$$LAI = LA/GA \quad (4)$$

$$CGR = (W_2 - W_1 / T_2 - T_1) \times (1/GA) \quad (5)$$

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1 / T_2 - T_1) \quad (6)$$

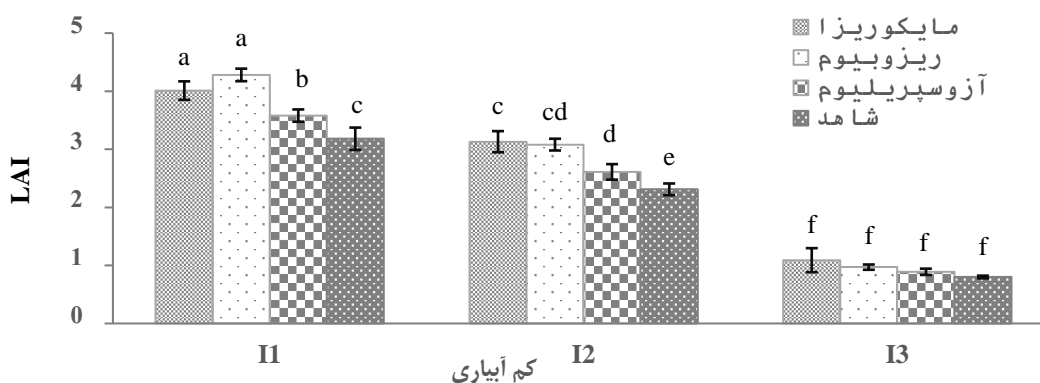
$$NAR = CGR / LAI \quad (7)$$

در روابط فوق LAI (شاخص سطح برگ)، CGR (سرعت رشد محصول،  $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) برحسب گرم بر مترمربع در روز و RGR (سرعت رشد نسبی،  $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ ) برحسب گرم بر گرم در روز، NAR (سرعت آسمیلاسیون خالص،  $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) برحسب گرم بر مترمربع در روز، LA (سطح برگ) و GA (مساحت زمین اشغال شده توسط گیاه)،  $W_2$  و  $W_1$  به ترتیب، وزن خشک کل اولیه و ثانویه (گرم)،  $T_2$  و  $T_1$  زمان نمونه‌برداری اولیه و ثانویه (روز) است. به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد تیمارها، یک مترمربع با رعایت حاشیه از هر کرت برداشت و بعد از اندازه‌گیری

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و کود زیستی بر حداکثر مقادیر شاخص سطح برگ، سرعت آسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی در لوبیا

RGR	CGR	NAR	LAI	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۰۰۷ <sup>ns</sup>	۷/۳۱ <sup>ns</sup>	۴/۲۴ <sup>ns</sup>	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۲	بلوک
۰/۰۳ <sup>**</sup>	۳۶۳۵/۹ <sup>**</sup>	۲۸۳ <sup>**</sup>	۲۳/۶ <sup>**</sup>	۲	کم آبیاری
۰/۰۰۰۱	۹/۳	۸/۱۹	۰/۰۹	۴	خطای اصلی
۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۱۳۳/۲۲ <sup>**</sup>	۲/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۶۶ <sup>**</sup>	۳	کود زیستی
۰/۰۰۰۶ <sup>ns</sup>	۳/۸۹ <sup>ns</sup>	۰/۹۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۵ <sup>ns</sup>	۱	رقم
۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۳۰/۹۰ <sup>*</sup>	۳۰/۶ <sup>**</sup>	۰/۲۳ <sup>**</sup>	۶	کم آبیاری × کود زیستی
۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۱/۷۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۲	کم آبیاری × رقم
۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۱/۶۵ <sup>ns</sup>	۴/۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۳	کود زیستی × رقم
۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۱/۷۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۶	کم آبیاری × کود × رقم
۰/۰۰۰۲	۵/۸۹	۴/۴۴	۰/۰۷	۴۲	خطای فرعی
۱۶	۱۳/۲۷	۱۶	۱۴/۵		ضریب تغییرات (%)

<sup>ns</sup>، <sup>\*</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب غیر معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

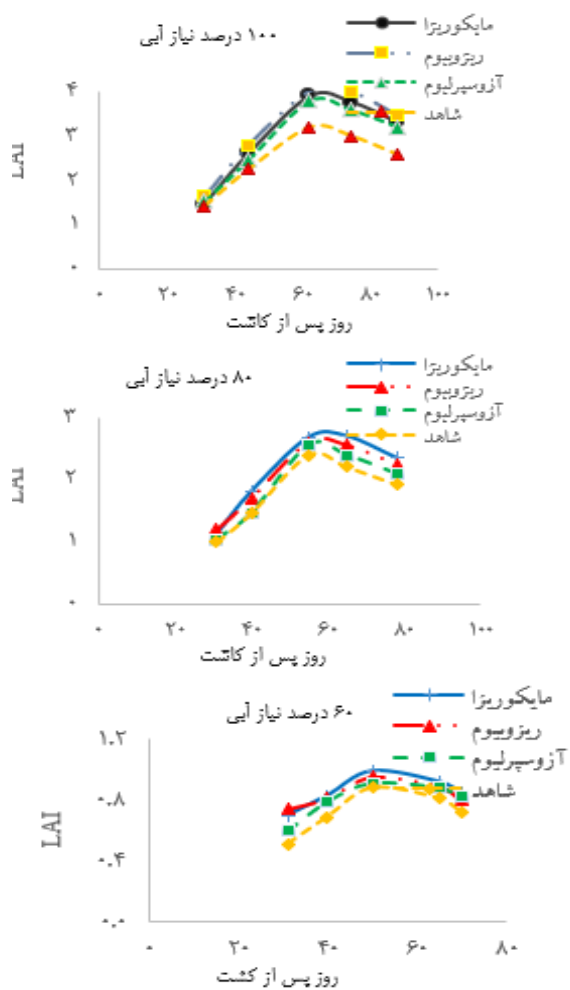


شکل ۱ - مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کود زیستی بر شاخص سطح برگ لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub>، I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا)). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند (p ≤ 0/05)

شاخص سطح برگ مشاهده گردید (شکل‌های ۲، ۳). شاخص سطح برگ خوب متناسب با توان فتوسنتزی گیاه است که تولیدکننده حداکثر ماده خشک در محصولات زراعی و باغی است (سرمندیا و کوچکی، ۱۳۹۰). استفاده از کودهای زیستی با فراهم کردن مداوم مواد غذایی در طول فصل رشد باعث افزایش رشد گیاه و افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (Sadeghi et al., 2015). با افزایش تنش خشکی اختلاف شاخص سطح برگ در تیمار کاربرد کودهای زیستی با تیمار شاهد کاهش یافت به نحوی که در هر دو رقم روند و مقدار مشابه بود.

اثر کودهای زیستی بر روند شاخص سطح برگ در ارقام لوبیا نشان داد که استفاده از کودهای زیستی در هر دو رقم در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، منجر به افزایش شاخص سطح برگ نسبت به تیمار شاهد (بدون کود) شد. کاربرد میکوریزا و ریزوبیوم نسبت به آزوسپریلیوم اثر افزایشی بیشتری بر شاخص سطح برگ داشت. حداکثر شاخص سطح برگ در همه تیمارهای کودهای زیستی ۶۲ روز پس از کاشت بدست آمد و بعد از این مرحله با افزایش سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور به داخل تاج پوشش، به دلیل زرد شدن، پیری و ریزش برگ‌های تاج پوشش، روند نزولی در منحنی

منجر به کاهش رشد و در نتیجه کاهش سطح برگ می‌شود که نتیجه آن کاهش جذب نور، کاهش فتوسنتز و کاهش وزن خشک اندام هوایی است (Ourcut and Nilsen, 2009). صادقی و همکاران در مطالعه‌ای گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی با افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی منجر به افزایش سطح برگ در گیاه شد.

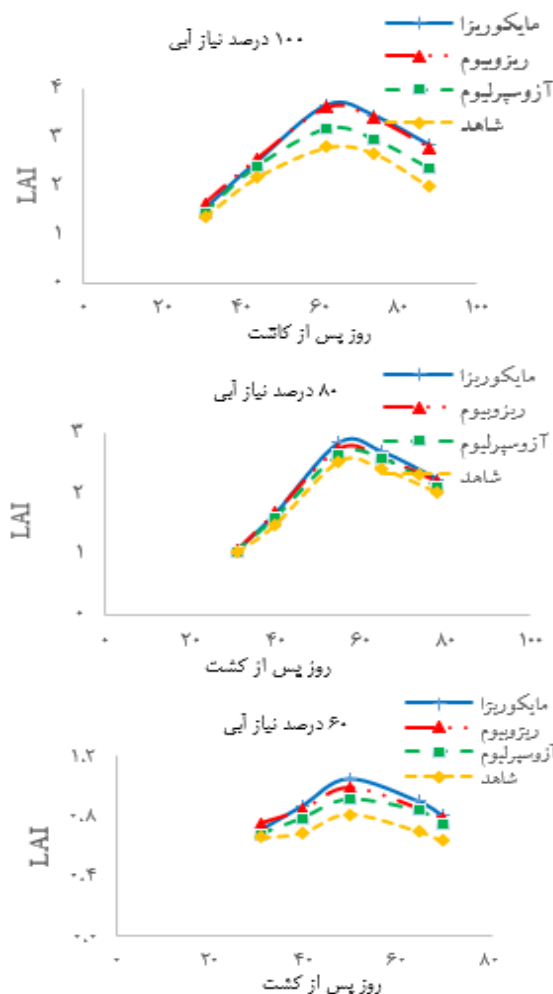


شکل ۳- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در لوبیاچیتی در سطوح کم آبیاری

### سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR)

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر کم آبیاری و اثر متقابل کم آبیاری در کود زیستی بر NAR در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل کم آبیاری

استفاده از کودهای زیستی با افزایش تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه مانند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند عاملی جهت افزایش رشد گیاه بوده و با افزایش گسترش ریشه گیاه منجر به افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان شود (Hamidi, 2006). پژوهشگران گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی، پیری زودرس و ریزش برگ

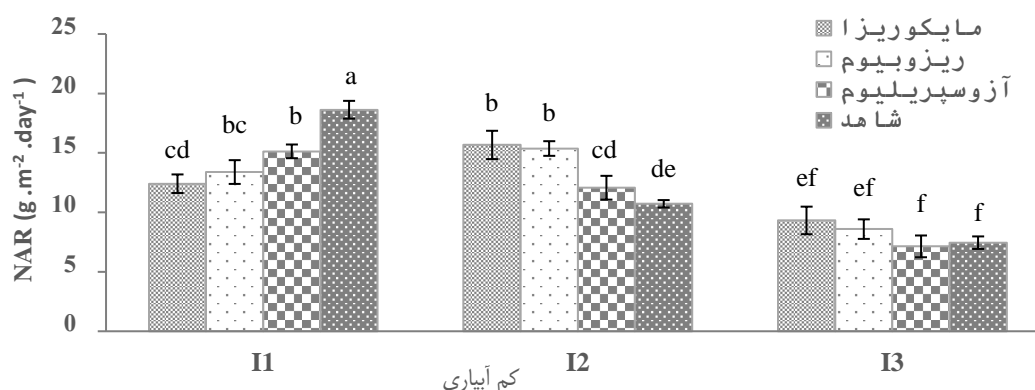


شکل ۲- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در لوبیا قرمز در سطوح کم آبیاری

اگرچه تنش شدید با کاهش ۶۰ تا ۷۰ درصدی شاخص سطح برگ منجر به خسارت شدید به لوبیا شد، با این حال می‌توان گفت که کاربرد کودهای زیستی می‌تواند در افزایش شاخص سطح برگ نسبت به تیمار شاهد مؤثر باشد (اشکال ۲ و ۳).

نور خورشید باشند. باگذشت زمان و افزایش رشد گیاه برگ‌های بیشتری در سایه قرار می‌گیرند که منجر به روند نزولی NAR در ادامه مراحل رویشی می‌گردد (سرمدنی و کوچکی، ۱۳۹۰). استفاده از این شاخص معیار مناسبی جهت بیان ویژگی‌های رشدی گیاه است.

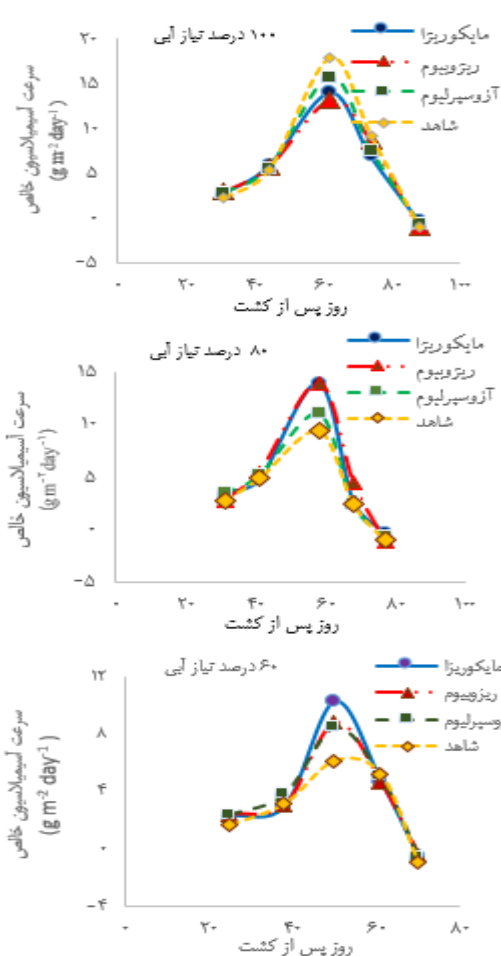
در کود زیستی نشان داد که در آبیاری نرمال حداکثر NAR مربوط به تیمار عدم کاربرد کود زیستی بود درحالی‌که در تنش متوسط استفاده از کودهای زیستی منجر به افزایش معنی‌دار سرعت جذب خالص نسبت به تیمار شاهد شد. در تنش شدید هیچ تفاوت معنی‌داری بین کودهای زیستی و تیمار شاهد مشاهده نشد (شکل ۴). سرعت اسیمیلاسیون خالص تخمینی از مقدار مواد ساخته شده خالص (غالباً فتوسنتزی) در واحد سطح برگ در واحد زمان است و زمانی حداکثر است که تمام برگ‌ها در معرض



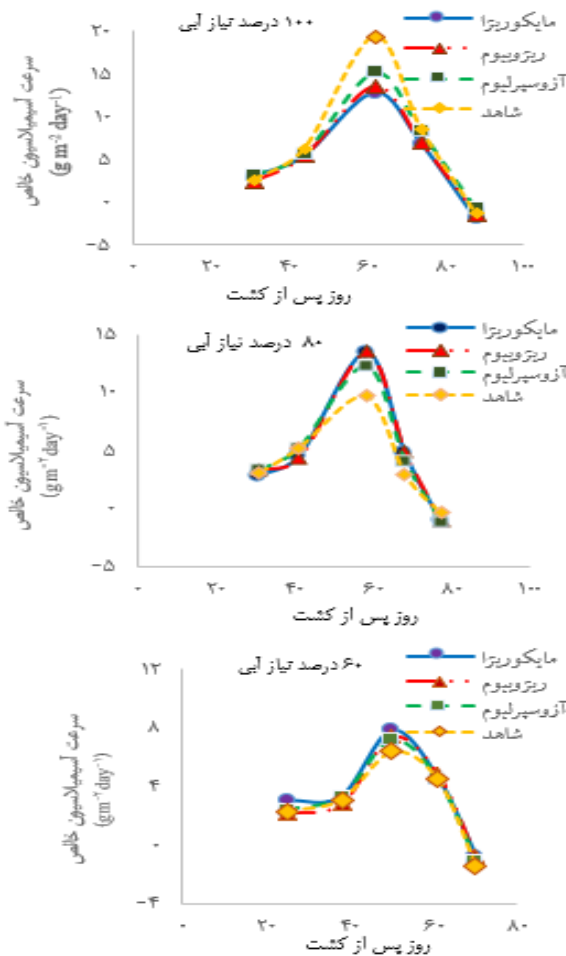
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کود زیستی بر سرعت اسیمیلاسیون خالص لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا)). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)

(۱۳۸۷) گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته لوبیا در واحد سطح، به دلیل افزایش اندام‌های هوایی و قرار گرفتن برگ‌های پایینی در سایه و کاهش رسیدن تشعشع به کانوپی، سرعت جذب خالص کاهش می‌یابد. با افزایش تنش روند متفاوتی از کاربرد کودهای زیستی بر NAR در ارقام لوبیا مشاهده شد به‌نحوی که در تنش متوسط در لوبیاچیتی هر سه کود زیستی منجر به افزایش سرعت جذب خالص در مقایسه با تیمار شاهد شدند (اشکال ۵ و ۶). کاترجی در مطالعه‌ای تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان توسط کودهای زیستی را مسئول افزایش رشد و نمو در ذرت دانست. در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد استفاده از کودهای زیستی منجر به افزایش شاخص‌های رشد شامل ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص لوبیا شد می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۴۰۰).

روند تغییرات سرعت جذب خالص ارقام لوبیا تحت تأثیر کودهای زیستی و مقدار آب آبیاری در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده است. در ارقام لوبیا در ابتدای فصل رشد روند تغییرات سرعت جذب خالص به‌صورت مشابه روند افزایش دارد و حداکثر NAR بعد از ۶۲ روز پس از کاشت اتفاق افتاد و سپس با گذشت زمان روند تغییرات کاهشی بود که احتمالاً به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم و همچنین مسن شدن برگ‌ها و در نتیجه کاهش کارایی فتوسنتز گیاه است. مطابق روند سرعت جذب خالص در شرایط آبیاری نرمال کاربرد کودهای زیستی هیچ اثری بر NAR نداشته و حتی در تیمار شاهد عدم استفاده از کود زیستی NAR در سطوح بالاتری قرار گرفته است. احتمالاً به دلیل این‌که در تیمار بدون کود روند رشد با شیب ملایم صورت گرفته و زمان بیشتری برای توسعه برگ‌ها دارد، در این حالت برگ‌های کمتری در سایه قرار می‌گیرند و روند کاهش NAR کمتر خواهد بود. درینی و همکاران



شکل ۶- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص لوبیاچیتی در سطوح کم آبیاری

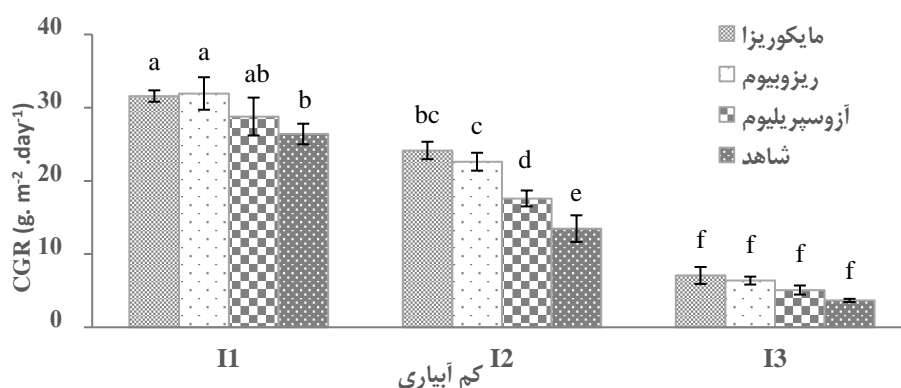


شکل ۵- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص لوبیا قرمز در سطوح کم آبیاری

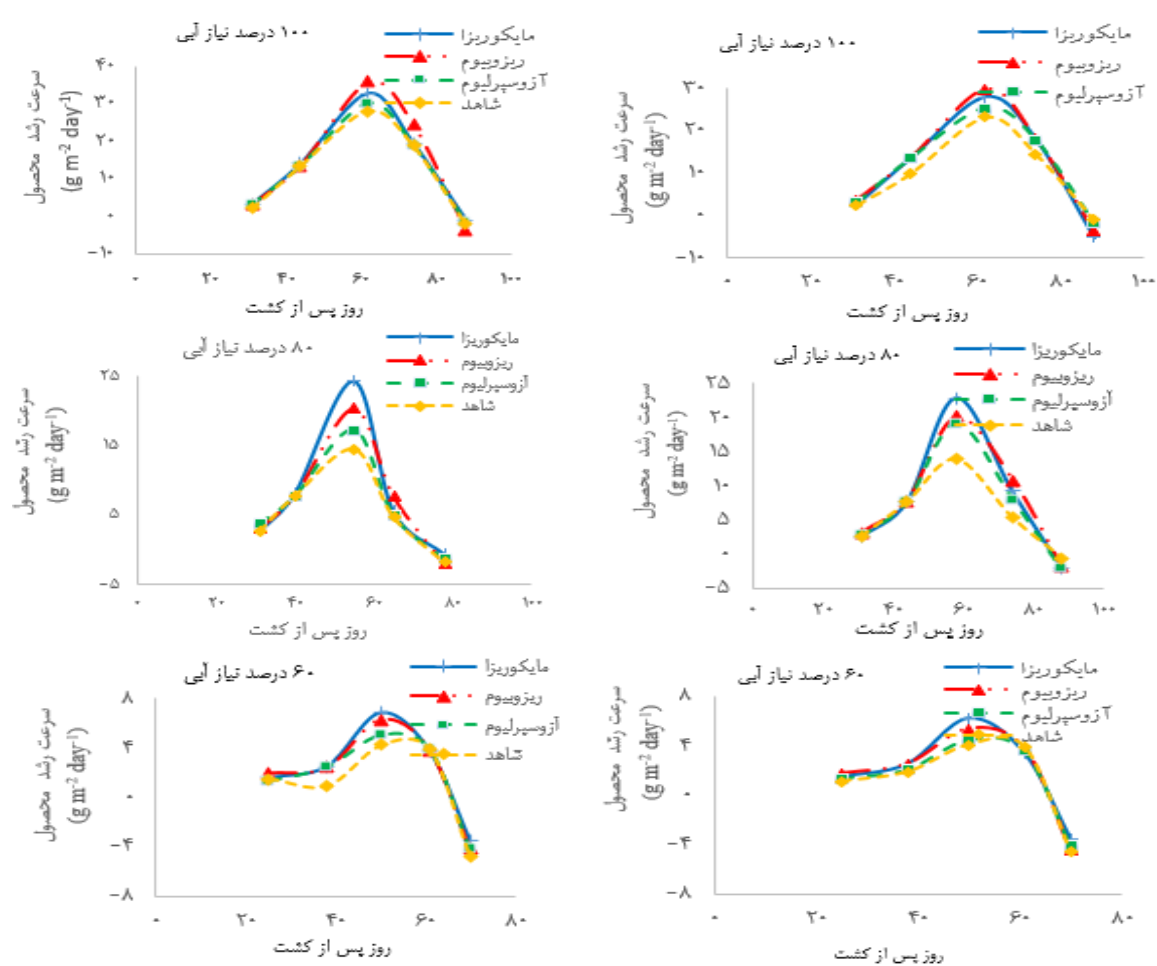
آزوسپریلیوم و تیمار شاهد شد. باین‌حال در آبیاری نرمال و ۶۰ در صد اختلافی بین کودهای زیستی مشاهده نشد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده تنش شدید بیش از توان تحمل لوبیا بوده و منجر به کاهش شدید در سرعت رشد محصول شده است (شکل ۷). سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع ماده خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. سرعت رشد گیاه نشان‌دهنده خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه است که ارتباط نزدیکی با تشعشع و دمای هوا دارد (Sadeghi et al. 2015).

### سرعت رشد محصول CGR

سرعت رشد محصول تحت تأثیر کم آبیاری و اثر کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و اثرات متقابل کود زیستی در کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر سرعت رشد محصول معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری در کود زیستی بر CGR ماکزیمم نشان داد که با افزایش تنش رطوبتی، CGR کاهش یافت. همچنین در تنش متوسط مایکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار در CGR در مقایسه با



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کود زیستی بر سرعت رشد محصول لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>3</sub>، I<sub>2</sub>، I<sub>1</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا)). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)



شکل ۹- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در لوبیا چیتی در سطوح کم آبیاری

شکل ۸- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در لوبیا قرمز در سطوح کم آبیاری

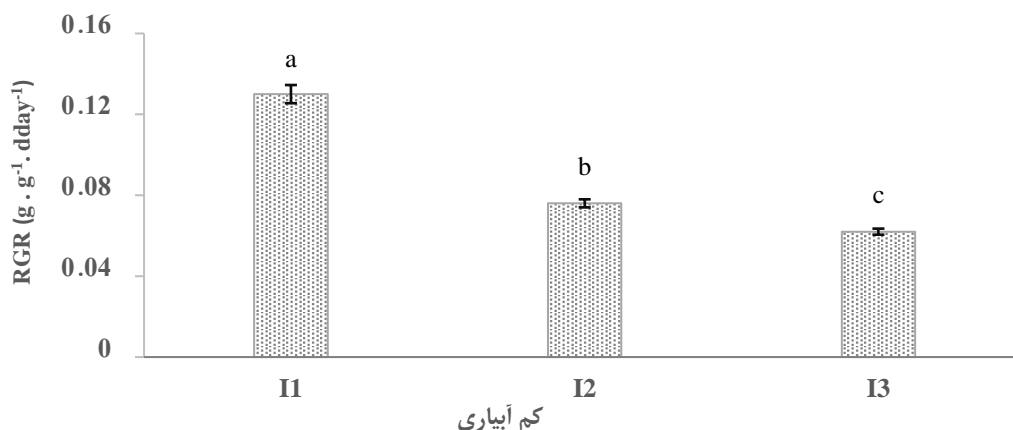
سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است. گیاهانی که در شرایط تغذیه‌ای مطلوب قرار دارند سرعت رشد نسبی بیشتری در اواخر فصل رشد خواهند داشت که منجر به کاهش ملایم‌تر روند سرعت رشد نسبی می‌شود و بهبود تغذیه می‌تواند در افزایش بافت‌های فتوسنتز کننده و افزایش RGR مؤثر باشد (Sadeghi et al., 2015).

روند تغییرات سرعت رشد نسبی لوبیاچیتی و قرمز با کاربرد کودهای زیستی تحت تأثیر آبیاری در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. مطابق شکل‌ها سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه در تمام کودهای زیستی و شرایط آبیاری روند کاهشی نشان داد هرچند که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش یافت، زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نیستند و نقشی در فتوسنتز ندارند. منفی شدن RGR در مراحل پایانی رشد نشان‌دهنده رسیدگی فیزیولوژیک، افزایش تنفس و سن، ریزش برگ‌ها و کاهش فتوسنتز است می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۴۰۰). با این حال تفاوت‌هایی بین ارقام لوبیا و شرایط متفاوت آبیاری قابل مشاهده است. در همین ارتباط در آبیاری نرمال در هر دو رقم بیشترین مقدار RGR مربوط به تیمار شاهد و کاربرد آزوآسپریلیوم مشاهده شد در حالی که استفاده از ریزوبیوم و میکوریزا منجر به کاهش RGR، نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱۱ و ۱۲). در شرایط تنش متوسط در لوبیا قرمز کاربرد ریزوبیوم RGR را نسبت به سایر تیمارها بهبود بخشید (شکل ۱۱). در حالی که لوبیاچیتی به کاربرد میکوریزا واکنش بهتری نشان داد (شکل ۱۲). همچنین مقایسه نمودارها در آبیاری نرمال و تنش متوسط نشان داد که تنش متوسط آبیاری منجر به افزایش ۴۰ و ۳۰ درصدی RGR در کودهای زیستی میکوریزا و ریزوبیوم در مرحله گلدهی به ترتیب در لوبیاچیتی و لوبیا قرمز نسبت به آبیاری نرمال شد. (اشکال ۱۱ و ۱۲).

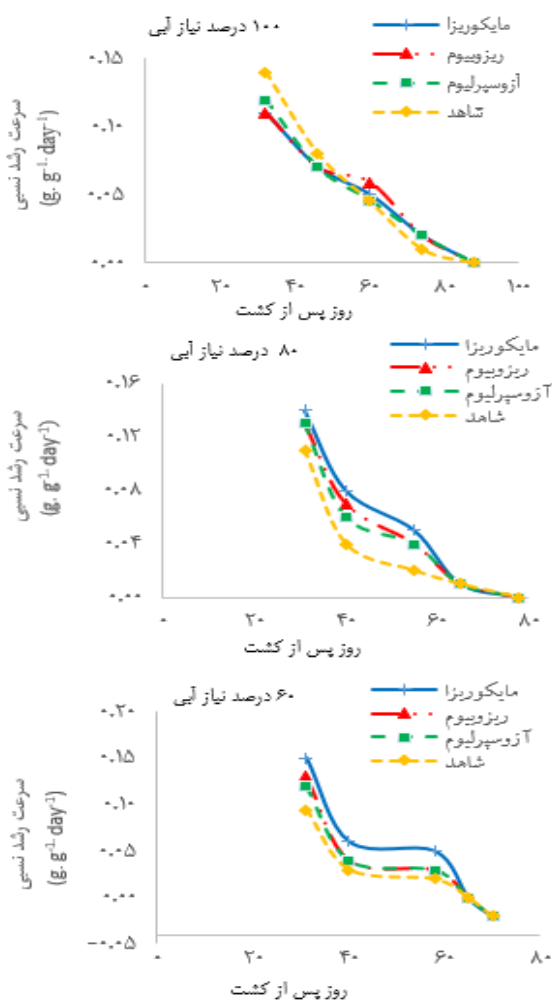
روند سرعت رشد محصول با گذشت زمان افزایش یافت و پس از رسیدن به مقدار حداکثر، روند کاهشی پیدا کرد و در پایان فصل رشد به دلیل ریزش برگ‌ها منفی شد. در تنش شدید به دلیل ریزش بیشتر برگ‌ها، منفی شدن CGR محسوس‌تر بود (اشکال ۸ و ۹). در مطالعه‌ای گزارش شد تنش خشکی با کاهش پتانسیل آبی گیاه منجر به افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز می‌شود که در نتیجه کاهش سرعت رشد محصول را در پی دارد می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۴۰۰). بررسی روند شاخص سرعت رشد محصول در هر دو رقم و شرایط یکسان رطوبتی روند مشابهی داشت (اشکال ۸ و ۹) با این حال بین ارقام لوبیاچیتی و لوبیا قرمز تفاوت‌هایی مشاهده شد از جمله در آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد سرعت رشد حداکثر لوبیاچیتی نسبت به لوبیا قرمز حدود ۱۵ درصد بیشتر بود همچنین در آبیاری ۸۰ درصد، کودهای زیستی در لوبیاچیتی منجر به افزایش قابل توجه در سرعت رشد محصول نسبت به تیمار شاهد عدم کاربرد کود زیستی شدند (شکل ۸). در حالی که در لوبیا قرمز، میکوریزا و سپس ریزوبیوم بیشترین سرعت رشد محصول را داشتند (شکل ۸). وو و همکاران گزارش کردند استفاده از کودهای بیولوژیک عامل مهمی در بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاهان است که منجر به افزایش سرعت رشد محصول می‌شود. در آبیاری ۶۰ درصد سرعت رشد محصول در هر دو رقم لوبیا به شدت کاهش یافت و استفاده از کودهای زیستی نتوانست روند متفاوتی ایجاد کند (Wu et al., 2005).

### سرعت رشد نسبی RGR

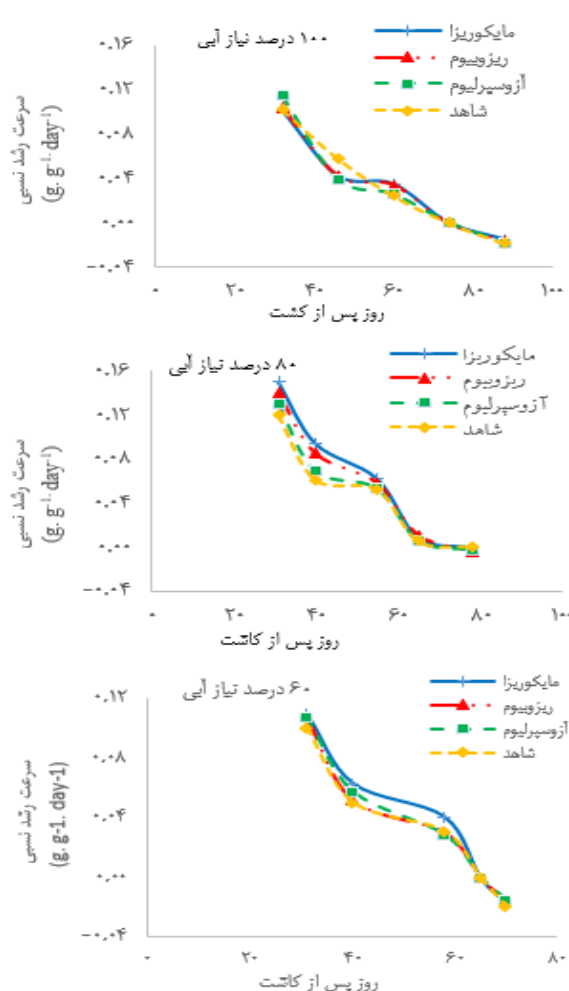
مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثر کم آبیاری بر RGR در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌داری RGR شد به نحوی که تنش شدید با کاهش ۵۵ درصدی نسبت به آبیاری نرمال پایین‌ترین سطح آماری را نشان داد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر سرعت رشد نسبی لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)



شکل ۱۲- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص لوبیاچیتی در شرایط کم آبیاری



شکل ۱۱- تأثیر کودهای زیستی بر روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص لوبیا قرمز در شرایط کم آبیاری

## اجزای عملکرد

در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل کم آبیاری در کود زیستی بر تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل کم آبیاری در رقم بر تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

کم آبیاری و کود زیستی اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه داشت (جدول ۴). اثر رقم بر تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه

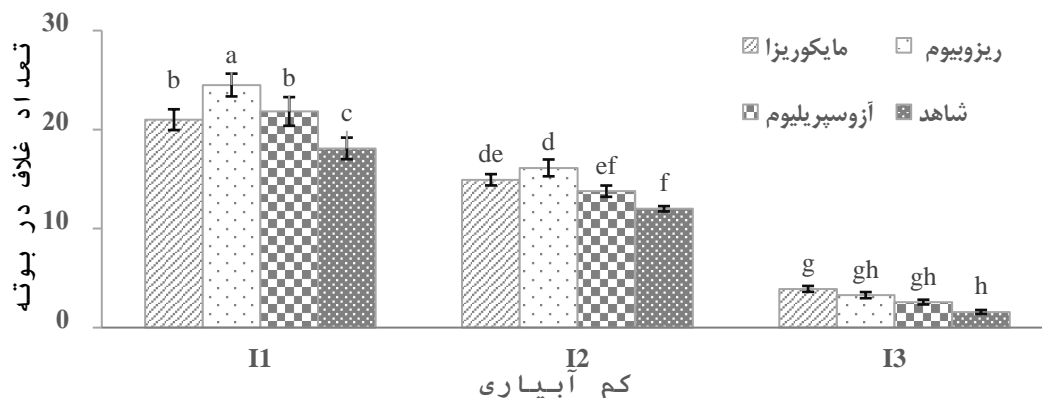
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و کود زیستی بر اجزاء عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت لوبیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
بلوک	۲	۱/۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۳ <sup>ns</sup>	۸۳۸۳/۴ <sup>ns</sup>	۳۶۴۱۷/۹ <sup>ns</sup>	۶/۷ <sup>ns</sup>
کم آبیاری	۲	۱۷۱۲/۶۰ <sup>**</sup>	۶۶/۵ <sup>**</sup>	۱۷۳۶ <sup>**</sup>	۶۴۰۳۲۷۲۹/۵ <sup>**</sup>	۲۸۳۸۳۷۳۴۲ <sup>**</sup>	۸۸۲۴/۹ <sup>**</sup>
خطای اصلی	۴	۱/۵۹	۰/۰۵۵	۱/۰۱	۳۵۸۲۸/۷	۲۲۳۷۸۳	۴/۳۱
کود زیستی	۳	۳۱/۷۴ <sup>**</sup>	۰/۴۸ <sup>**</sup>	۱۶/۱ <sup>**</sup>	۱۱۳۵۴۵۷/۱ <sup>**</sup>	۳۹۳۰۸۶۴ <sup>**</sup>	۶۰/۳۱ <sup>**</sup>
رقم	۱	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>	۱۶۰ <sup>**</sup>	۷۶۱۰۳۳۰/۷ <sup>**</sup>	۳۵۵۸۲۲۲ <sup>**</sup>	۷۷۰/۹ <sup>**</sup>
کم آبیاری × کود زیستی	۶	۴/۰۶ <sup>*</sup>	۰/۰۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۶۵ <sup>ns</sup>	۲۴۱۵۲۹/۴ <sup>**</sup>	۳۸۸۵۱۸ <sup>ns</sup>	۷/۵ <sup>ns</sup>
کم آبیاری × رقم	۲	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۹۱ <sup>*</sup>	۲۰/۸ <sup>**</sup>	۲۷۹۱۳۸۸/۹ <sup>**</sup>	۱۴۳۰۰۳۲ <sup>**</sup>	۱۹۰/۶۴ <sup>**</sup>
کود زیستی × رقم	۳	۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۴/۹ <sup>ns</sup>	۵۱۱۸۹/۷ <sup>ns</sup>	۱۶۱۳۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۳۸ <sup>ns</sup>
کم آبیاری × کود × رقم	۶	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۱/۱ <sup>ns</sup>	۱۷۳۷۲/۸ <sup>ns</sup>	۲۷۳۳۹۲ <sup>ns</sup>	۱/۸۳ <sup>ns</sup>
خطای فرعی	۴۲	۱/۸۳	۰/۰۴	۱/۸۲	۶۴۴۰۶/۳	۳۲۲۵۴۶	۱۱/۹۴
ضریب تغییرات (%)	۱۰/۱۳	۵/۸۴	۹/۱۷	۱۴/۶۷	۱۰/۵۶	۱۴/۷	

ns: نسی و \*\* به ترتیب غیر معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

بوته شد این در حالی بود که تنش شدید در همه تیمارها با کاهش ۷۵ درصدی نسبت به آبیاری نرمال کمترین تعداد غلاف در بوته را داشت (شکل ۱۳).

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار آبیاری نرمال به همراه کود ریزوبیوم بود و تنش متوسط در همه کودهای زیستی با کاهش ۱۶ درصدی نسبت به آبیاری نرمال منجر به کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کود زیستی بر تعداد غلاف در بوته لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>3</sub>، I<sub>2</sub>، I<sub>1</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا)). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)

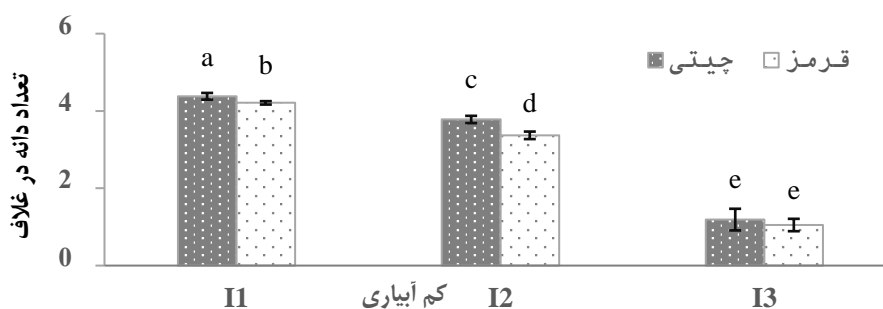
میانگین اثر کودهای زیستی بر تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه نشان داد استفاده از مایکوریزا و ریزوبیوم منجر به افزایش معنی دار نسبت به آزوسپرلیوم و تیمار شاهد شد درحالی که مایکوریزا و ریزوبیوم در یک سطح آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۵). در آبیاری نرمال و تنش متوسط، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه در لوبیاچیتی بیشتر از لوبیا قرمز بود (شکل ۱۴ و ۱۵).

در مطالعه طباطبایی و همکاران (۱۳۹۹) استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر باعث افزایش اجزای عملکرد لوبیا (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه) در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گردید. در پژوهشی تلقیح بذور ژنوتیپ های لوبیاچیتی با ریزوبیوم موجب افزایش معنی دار تعداد غلاف در بوته شد (Khavari and Shakarami, 2019). نتایج مقایسه

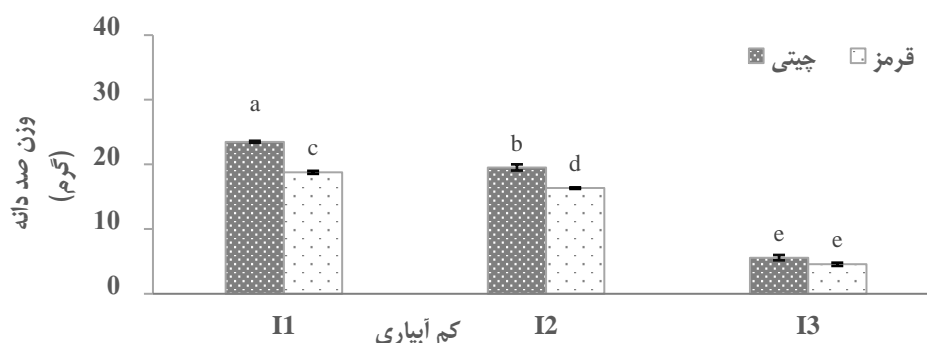
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در دو رقم لوبیا

شاخص برداشت (HI)	عملکرد بیولوژیک کیلوگرم بر هکتار	وزن صد دانه گرم	تعداد دانه در غلاف	کودهای زیستی
۲۵/۷ <sup>a</sup>	۵۷۲۴/۴ <sup>ab</sup>	۱۵/۵۵ <sup>a</sup>	۳/۱۷ <sup>a</sup>	مایکوریزا
۲۵/۶ <sup>a</sup>	۵۸۷۱/۷ <sup>a</sup>	۱۵/۵۱ <sup>a</sup>	۳/۱۵ <sup>a</sup>	ریزوبیوم
۲۳/۵ <sup>b</sup>	۵۳۴۵/۵ <sup>b</sup>	۱۴/۱ <sup>b</sup>	۲/۹۰ <sup>b</sup>	آزوسپرلیوم
۲۱/۳ <sup>c</sup>	۴۸۰۳/۷ <sup>c</sup>	۱۳/۷ <sup>b</sup>	۲/۸۰ <sup>c</sup>	شاهد

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ هستند



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و رقم بر تعداد دانه در غلاف لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>3</sub>، I<sub>2</sub>، I<sub>1</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند (p ≤ 0/05)

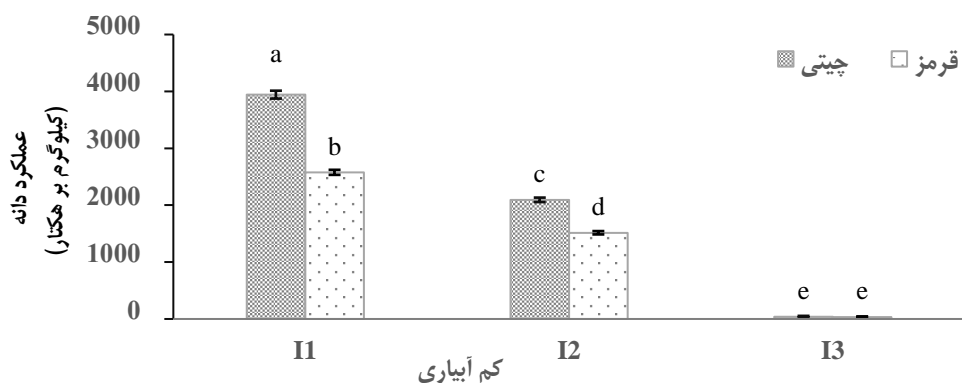


شکل ۱۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و رقم بر وزن صد دانه لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>3</sub> و I<sub>2</sub>، I<sub>1</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند (p ≤ 0/05)

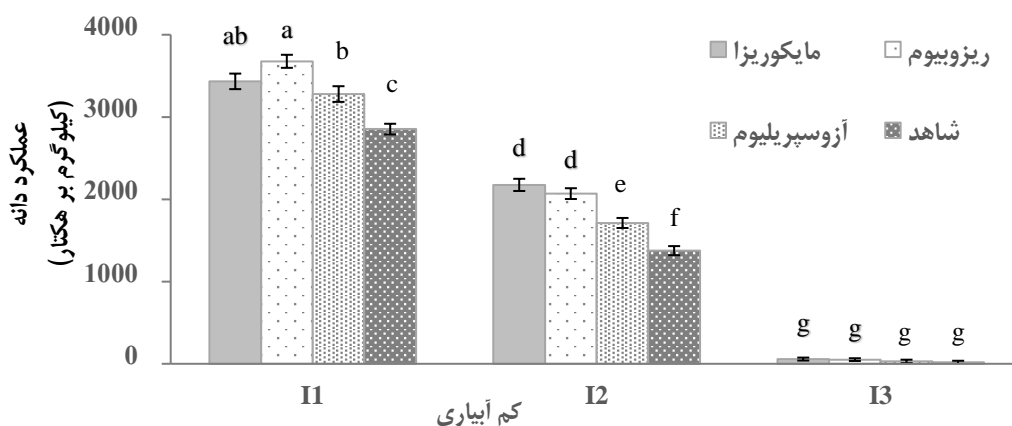
### عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر کم آبیاری، رقم و اثر متقابل کم آبیاری در رقم بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت و همچنین اثر متقابل کود زیستی در کم آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر کود زیستی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری در رقم نشان داد عملکرد دانه در لوبیاچیتی در آبیاری نرمال ۳۵ درصد بیشتر از عملکرد لوبیا قرمز بود همچنین در تنش متوسط عملکرد لوبیاچیتی ۲۵ درصد بیشتر از لوبیا قرمز بود. این در حالی

است که در تنش شدید اختلاف معنی‌داری بین عملکرد لوبیاچیتی و لوبیا قرمز مشاهده نشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که لوبیاچیتی در مقایسه با لوبیا قرمز حساسیت بیشتری به کمبود آب در دوره رشد دارد و کاهش عملکرد لوبیاچیتی در شرایط کم‌آبی محسوس‌تر از لوبیا قرمز است. در پژوهش قلندری و همکاران (۱۳۹۸)، عملکرد دانه لوبیاچیتی در تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب ۳۶ و ۷۱ درصد کاهش داشت (شکل ۱۶). استفاده از کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم در مقایسه با تیمار آروسپریلیوم و شاهد، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط شدند (شکل ۱۷).



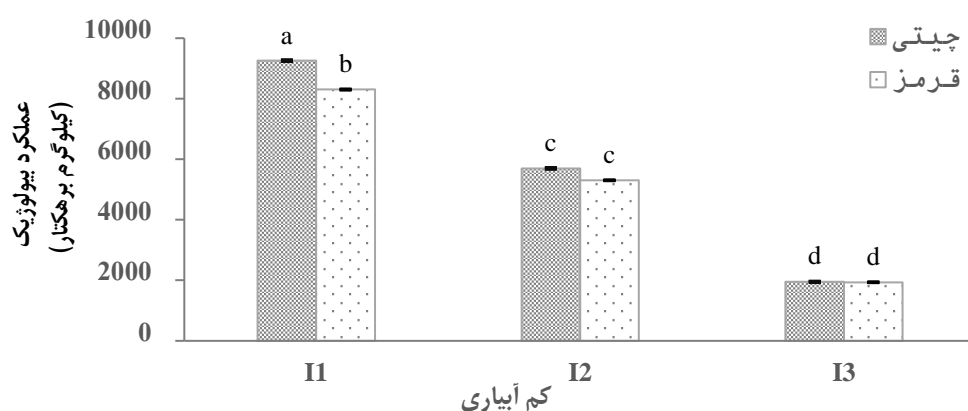
شکل ۱۶-مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری در رقم بر عملکرد دانه لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)



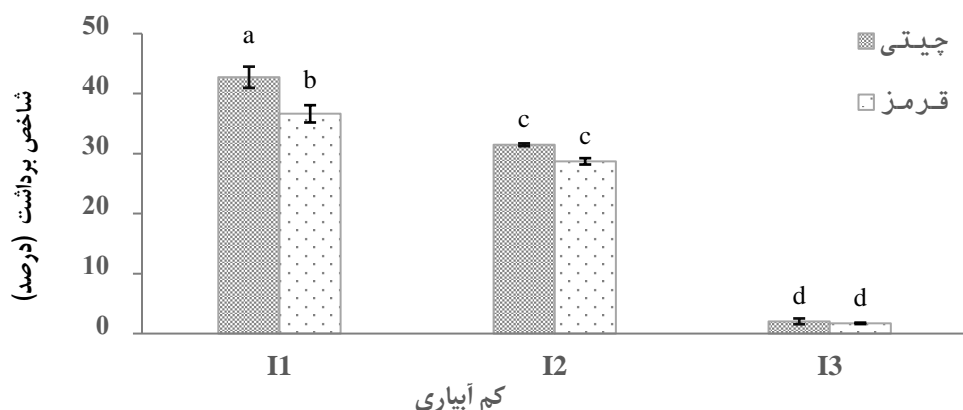
شکل ۱۷-مقایسه میانگین اثر متقابل کود زیستی در کم آبیاری بر عملکرد دانه لوبیا. (کم آبیاری (I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)

در عملکرد دانه لوبیا قرمز شد (Tanhaei et al., 2022). در مطالعه‌ای عنوان شد استفاده از ریزوبیوم در لوبیاچیتی منجر به افزایش ۳۱ درصدی عملکرد دانه در رقم کوشا شد که می‌تواند به‌عنوان راهکاری در افزایش عملکرد لوبیا در نظر گرفته شود و همچنین استفاده از مایکوریزا عملکرد دانه را حدود ۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Khavari and Shakarami, 2019). استفاده از کودهای زیستی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود زیستی) گردید (جدول ۵).

در یک مطالعه پژوهشی، استفاده از ریزوبیوم و گونه‌های قارچ مایکوریزا موجب بهبود خصوصیات مهم کمی و کیفی لوبیاچیتی در شرایط کم‌آبیاری شدند (Hazrati Gejlar et al., 2018). گزارش شده است که استفاده ترکیبی از کودهای زیستی نسبت به عدم تلقیح آن‌ها منجر به افزایش ۵۰ درصدی عملکرد نخود در شرایط آبیاری نرمال و افزایش ۷۵ درصدی در شرایط تنش آبی شده است (خالق نژاد و جباری، ۱۳۹۳). نتایج یک آزمایش نشان داد که کاربرد کودهای زیستی (قارچ مایکوریزا و باکتری) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی باعث افزایش قابل توجهی



شکل ۱۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک لوبیا. (کم‌آبیاری (I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)



شکل ۱۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و رقم بر شاخص برداشت لوبیا. (کم‌آبیاری (I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی لوبیا). ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند (p ≤ 0/05)

اسدی رحمانی، ه.، افشاری، م.، خاوازی، ک.، نورقلیپور، ف. و اوتادی، ا. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر سویه‌های ریزوبیومی بومی خاک‌های ایران بر عملکرد و خصوصیات کیفی لوبیا. مجله علوم خاک و آب. ۱۹: ۲۲۱-۲۱۳.

انصاری، س. ف.، سودایی زاده، ح.، یزدانی بیوکی، ر. و حکیم زاده، م. ع. ۱۴۰۳. اثر بیوپرایمینگ بذر بر صفات کمی و کیفی گیاه زینان رومی تحت تنش شوری و تغذیه کودی. مجله مدیریت آب در کشاورزی. ۱۱(۳): ۱۹۸-۱۸۳.

پیرسته انوشه، ه.، امام، ی. و جمالی رامین، ف. ۱۳۸۹. مقایسه اثر کودهای زیستی با کودهای شیمیایی بر رشد، عملکرد و درصد روغن آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در سطوح مختلف تنش خشکی. <https://civilica.com/doc/663144>

تنهایی، ر.، موحدی، م.، یدوی، ع.، موحدی دهنوی، م. و صالحی، ا. ۱۳۹۷. تأثیر قارچ میکوریزا و کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز در شرایط تنش خشکی. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۸(۳): ۲۸۷-۳۰۲.

خالق‌نژاد، و.، جباری، ف. ۱۳۹۳. بررسی اثر تلقیح بذر نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) با کودهای زیستی ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر شاخص‌های رشد و تخصیص مواد فتوسنتزی در شرایط دیم و فاریاب. پژوهش‌های حبوبات ایران. ۵(۱): ۴۵-۵۶. doi: 10.22067/ijpr.v1393i1.46094

خاوری، ه. و شاکرمی، ق. ۱۳۹۷. تعامل بین قارچ و باکتری محرک رشد و نقش آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.). پژوهش‌های حبوبات ایران. ۹(۲): ۱۷۸-۱۹۰. doi: 10.22067/ijpr.v9i2.62663

درینی، ف.، مدنی، ح. و شیرزادی، م. ح. ۱۳۸۷. مقایسه روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیک رشد لوبیا چشم‌بلبلی و لوبیا تپاری محلی جیرفت در تراکم‌های گیاهی مختلف. یافته‌های نوین کشاورزی. ۲: ۱۰۵-۱۲۰.

رشیدی، ز.، بنایان اول، م.، عزیزی، خ. و نصیری محلاتی، م. ۱۴۰۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و کارایی مصرف تابش در سه نوع لوبیا قرمز، سفید و چیتی. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۹(۳): ۱۴۳-۱۶۴.

سرمدنیا، غ. و کوچکی، ع. ۱۳۹۰. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جهاد دانشگاه مشهد ۴۰۰ صفحه.

مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری در رقم بر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط، لوبیاچیتی افزایش معنی‌داری نسبت به لوبیا قرمز داشت. این در حالی است که در تنش شدید اختلاف معنی‌داری بین ارقام لوبیا مشاهده نشد (اشکال ۱۸ و ۱۹). در مطالعه‌ای کاربرد میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در لوبیا قرمز شد (خاوری و شاکرمی، ۱۳۹۷).

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم تأثیر مثبت و معنی‌دار بر شاخص‌های رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در شرایط کم آبیاری در ارقام لوبیا داشت. احتمالاً این میکروارگانیسم‌ها در منطقه ریزوفسفر از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن، افزایش جذب آب و مواد غذایی، علاوه بر تأمین عناصر غذایی برای رشد، با تأثیر بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث بهبود شاخص‌های رشدی لوبیا در مقایسه با شاهد می‌شوند. همچنین استفاده از قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم به‌طور معنی‌داری اثرات زیان‌آور تنش خشکی را بر لوبیا کاهش دادند. این اثرات که در بهبود رشد لوبیا تأثیر داشتند در سطح تنش متوسط بهتر از تنش شدید بودند که نشان‌دهنده استفاده از آن‌ها به‌عنوان یک تکنیک بیولوژیکی در کاهش اثرات تنش است. پیشنهاد می‌شود روش‌های کم آبیاری به همراه استفاده از کودهای زیستی در سایر محصولات زراعی در پژوهش‌های آینده مورد مطالعه بیشتر قرار گیرد.

## منابع

احتشامی، س. م.، پور ابراهیمی فومنی، م. و رضانی ح. ۱۳۹۲. تأثیر سویه‌های مختلف *Pseudomonas* بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گیاهچه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در سطوح مختلف شوری. پژوهش در گیاهان زراعی. ۱(۲): ۳۳-۲۲.

- محلوجی، م.، س. ف. موسوی و کریمی، م. ۱۳۷۹. اثر تنش رطوبتی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه لوبیاچیتی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴(۱): ۵۷-۶۷.
- میرزایی، م. ص.، مجنون حسینی، ن. و میراب زاده، م. ۱۳۹۹. اثرات قطع آبیاری در مراحل مختلف رشدی و کاربرد کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris L.*) علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۱(۴): ۱۱۰-۱۰۱.
- نجاتی سینی، ح.، برزگر، ر.، سودانی مشائی، ص. و قاسمی قهساره، م. ۱۴۰۱. تأثیر قارچ میکوریزا و باکتری باسیلوس به همراه کود آلی بر رشد و جذب عناصر غذایی فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annum L.*). روابط خاک و گیاه. ۱۳(۴): ۸۹-۱۰۴.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Lian, H., Waskom, R. M., Niu, Y. and Kadambot, H. M. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 36: 2-21.
- Darabi, F., Sharifipour, M. and Nasrolahi, A.H. 2022. Effect of deficit irrigation on yield components and water productivity of pinto beans using drip tape irrigation in khorramabad climatic. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*. 44: 1-14.
- Ghassemi-Golozani, K., Ghanehpour, S. and DabbaghMohammadi-Nasab, A. 2009. Effect of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7: 442-447.
- German, C. and Teran, H. 2006. "Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars". *Crop Science*. 46: 2111-2120.
- Hamidi, A. 2006. The application of biofertilizers on yield and forage Agroecologic aspects of late corn silage hybrids. Ph.D. thesis of Agriculture, Department of Agriculture, Tarbiat Modarres University, p. 181.
- Hazrati Gejlar, N., Jalilian, J. and Pirzad, A. 2018. Effect of rhizobium and mycorrhiza on some physiological traits, yield and qualitative characteristics of pinto beans in deficit irrigation condition. *Journal of Crop Production and Processing*. 9: 93-108.
- Khavari, H., & Shakarami, G. 2019. Response of yield and yield components of six genotypes of pinto beans (*Phaseolus vulgaris L.*) inoculation طباطبایی، س.، جهان، م. و حاج محمدنیا قالی‌باف، ک. ۱۴۰۰. اثرات ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) در شرایط تنش کمبود آب. پژوهش‌های حبوبات ایران، ۱۲(۲): ۱۵۱-۱۶۴. [SID. https://sid.ir/paper/1137495/fa](https://sid.ir/paper/1137495/fa)
- طباطبایی، س.، جهان، م. و حاج محمدنیا قالی‌باف، ک. ۱۳۹۹. اثر کاربرد کودهای زیستی و کود شیمیایی نیتروژنه بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) تحت شرایط تنش کمبود آب. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱۳(۱): ۱۴۵-۱۵۴.
- عباسی، م.، ملکی، ع.، میرزایی، ح. م. و رستمی‌نیا، م. ۱۴۰۱. برهمکنش همزیستی میکوریزایی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ماش تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۵(۲): ۴۲۶-۴۰۷.
- عسگری، ا. و غفوری، ع. ۱۴۰۲. اثر بیوچار بر بهبود تحمل تنش شوری و برخی صفات رشدی در گیاه پنبه. مجله پژوهش‌های پنبه ایران، ۱۱(۱): ۱-۱۲.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. رابطه آب‌و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ هشتم. ۴۸۴ صفحه.
- فرشی، ع.، سیادت، ح.، دربندی، ص.، انصاری، م.، خیرابی، ج.، میرلطیفی، م.، سلامت، ع. و سادات‌میری، م. ح. ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۷۸ صفحه.
- قلندری، س.، کافی، م.، گلدانی، م. و باقری، ع. ۱۳۹۸. اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris L.*). ۱(۱۰): ۱۱۴-۱۲۵.
- قنبری، ع.، موسوی، س. ح. و کشاورز، س. ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش کمبود آب. مجله به‌زراعی نهال و بذر. ۲: ۱۹۹-۲۲۳.
- کریم‌زاده سورشجانی، ه.، نظامی، ا.، کافی، م. و تدین، م. ۱۳۹۷. بررسی کارایی مصرف نور و شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا (*vulgaris Phaseolus L.*) در شرایط کم‌آبیاری. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۶(۳): ۵۲۵-۵۴۰.

- Schussler, A., Schwarzott, D. and Walker, C.H. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105 (12): 1413-1421.
- Szilagyi, L. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian. The Journal of Plant Physiology*. 9: 320-330.
- Tanhaei, R., Yadavi, A.R., Mvahedi Dehnavi, M., Salehi, A., Rafiee, S. and Hamidian, M. 2022. The effect of mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing bacteria on physiological traits and grain yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in different irrigation regimes. *Crop Production Journal*. 15 (4): 39-62.
- Teran, H. and Singh, S.P. 2002. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Science*. 42: 1. 64-70.
- Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheng KC, and Wong, M.H. 2005. Effect of biofertilizers containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125:155-166.
- with *Rhizobium phaseoli*. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(2), 132-148.
- Ntanos, D.A., and Koutroubas, S.D. 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*. 74: 93-101.
- Ourcut, D. and Nilsen, E. T. 2009. Salinity and drought stress. In *Physiology of Plants under Stress*. 177-235.
- Pourhadian, H., Hadavand, N. and Kazemaslani, H. 2022. The effect of row spacing and plant density on growth and yield indices of red bean seed in Azna climatic conditions in Lorestan Province. *Journal of Crop Production & Processing*, 12(2).
- Saleem, R., Ahmed, Z.I., Ashraf, M., Arif, M., Azim Malik, M., Munir, M. and Azeem khan, M. 2011. Response of maize-legume intercropping system to different fertility sources under rainfed conditions. *Sarhad The Journal of Agriculture*. 27(4): 503-511.
- Sadeghi, S., Heidari, G. and Sohrabi, Y. 2015. Effect of biological fertilizer and fertilization management on some growth indices of two maize varieties. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 25(3):43-60.

## Effect of Biofertilizers on Improving Physiological Growth Indices, Yield Components and Grain Yield of Two Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars under Deficit Irrigation Conditions

A. Ghaseme Pirbaloti<sup>1</sup>, M. Rafieiohossaini<sup>2\*</sup>, F. Salehi<sup>3</sup> and M. Ghobadinia<sup>4</sup>

### Abstract

Common bean, due to its high protein content, is one of the most important food crops. Considering the climatic conditions of Iran, the adoption of management approaches such as the application of biofertilizers and deficit irrigation is of particular importance. This experiment was conducted in 2024 at the research farm of Shahrekord University to investigate the effect of deficit irrigation combined with biofertilizers on physiological growth indices, yield components, grain and biological yield, and harvest index of common bean cultivars. The experiment was arranged as a split-factorial design based on a randomized complete block design with three replications. Irrigation levels, including 100%, 80%, and 60% of crop water requirement, were considered as the main factor. The factorial sub-factors consisted of biofertilizers at four levels (arbuscular mycorrhiza, *Rhizobium* bacteria, *Azospirillum* bacteria, and a control treatment) and cultivar at two levels (red bean and pinto bean). Application of biofertilizers increased leaf area index (LAI) under normal irrigation and moderate water stress (80% of water requirement). The use of mycorrhiza and *Rhizobium* under moderate stress conditions resulted in a 5% increase in net assimilation rate (NAR) compared with the control. All three biofertilizers significantly increased crop growth rate (CGR) under normal irrigation and moderate stress conditions. Irrigation at 60% of water requirement caused a 55% reduction in relative growth rate (RGR) compared with normal irrigation. The biofertilizers *rhizobium* and *mycorrhiza* increased the number of seeds per pod by 12.5% and 13.2%, respectively, and the 100-seed weight by 13.2% and 13.5%, respectively, compared with the control. These microorganisms also enhanced grain yield under normal irrigation and moderate water stress conditions. Overall, the use of biofertilizers can alleviate the adverse effects of drought stress and improve growth traits and grain yield in common beans. Therefore, it is recommended that future studies evaluate the combined use of deficit irrigation and biofertilizers in other field crops.

**Keywords:** Biofertilizers, Crop Growth Rate (CGR), Leaf Area Index (LAI), Legum, Net Assimilation Rate (NAR)

<sup>1</sup> Ph.D. student, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (\*Corresponding Author Email: m\_rafiee\_1999@yahoo.com)

<sup>3</sup> Associate Professor, Field and Horticulture Sciences Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Isfahan, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 19 Apr 2024

Accepted: 23 May 2025