دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
دوره پانزدهم، شماره پنجاه و دو، ۱۴۰۲

# اثر نظام‌های زراعی با سطح‌های مختلف کاربرد نهاده بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در منطقه بیرانشهر لرستان

هادی خاوری[۱]، علی خورگامی[۲]، رضا میر دریکوند[۲]، کاظم طالشی[۲]

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶

**چکیده**

در دنیای کنونی، کاهش حاصلخیزی خاک محدودیت اصلی بیوفیزیکی برای بهبود عملکرد محصولات زراعی است و در نتیجه به‌عنوان یک تهدید بالقوه برای رسیدن به امنیت غذایی به‌شمار می‌رود. در این راستا آزمایشی با هدف بررسی کارایی نهاده‌های کشاورزی در نظام‌های زراعی مختلف در جهت تولید پایدار محصول لوبیا قرمز در کشور، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در منطقه بیرانشهر لرستان در غرب کشور ایران اجرا شد. پنج نظام زراعی با سطح‌های مختلف کاربرد نهاده شامل: اکولوژیک، تلفیقی، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پُرنهاده و ارقام لوبیا قرمز شامل: افق، دادفر، گلی و یاقوت بودند. مقادیر مختلف کاربرد نهاده در نظام‌های زراعی شامل مدیریت زراعی، مصرف کود و سم بود. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین سرعت رشد نسبی در رقم یاقوت در نظام زراعی پُرنهاده؛ بیشترین میانگین سرعت جذب خالص در رقم دادفر در نظام زراعی پُرنهاده؛ بیشترین میانگین شاخص سطح برگ در رقم دادفر در نظام زراعی تلفیقی؛ بیشترین میانگین سرعت رشد محصول در رقم دادفر در نظام زراعی تلفیقی و بیشترین میانگین تجمع ماده خشک در رقم یاقوت در نظام زراعی تلفیقی مشاهده شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه در رقم یاقوت (۳۰۹۲/٤ کیلوگرم در هکتار) در نظام زراعی تلفیقی مشاهده شد. عملکرد دانه در رقم یاقوت نسبت به ارقام افق، دادفر و گلی در نظام زراعی تلفیقی به ترتیب به میزان ۳۱/۰۱، ۱۵/۸۰ و ۲۱/٤۹ درصد افزایش نشان داد. یافته‌ها نشان داد که نظام زراعی تلفیقی می‌تواند هم‌تراز با نظام زراعی پُرنهاده (متکی بر نهاده‌های شیمیایی)، شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و ویژگی‌های زراعی ارقام لوبیا قرمز را نسبت به نظام‌های زراعی اکولوژیک، کم‌نهاده و متوسط نهاده به بالاترین سطح خود برای افزایش بهره‌وری و سودآوری در مزرعه برساند.

**واژه‌های کلیدی**: امنیت غذایی، بهبود عملکرد، تولید پایدار، حاصلخیزی خاک، نهاده کشاورزی.

**خاوری، ه.، ع. خورگامی، ر. میر دریکوند، ک. طالشی. ۱۴۰۲. اثر نظامهای زراعی با سطحهای مختلف کاربرد نهاده بر شاخصهای فیزیولوژیک رشد و عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در منطقه بیرانشهر لرستان. ۱٤(۵۲): ۵۰-۳۵.**

۱- گروه زراعت، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران. مسئول مکاتبات: E mail: Ali_khorgamy@yahoo.com
۲- گروه زراعت واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران

**مقدمه**

برخی از کشورهای در حال توسعه در حال حاضر با بحران-های غذایی مواجه هستند که به‌طور جدی امنیت ملی و ثبات اجتماعی را تهدید می‌کند و مانع از دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل می‌شود (یو و همکاران، ۲۰۲۲؛ ندونگو و همکاران، ۲۰۲۱). طی سال‌های اخیر، تأمین امنیت غذایی و تغذیه انسان‌ها تحت تأثیر عوامل مختلف و پیچیده‌ای قرار گرفته است که نیاز به یک رویکرد جامع به کشاورزی و سیستم‌های تولید غذایی در مزرعه ضروری به نظر می‌رسد (پینگالت و همکاران، ۲۰۲۰؛ کیهارا و همکاران، ۲۰۲۰). امروزه، استفاده بی-رویه از نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی، به‌ویژه کودهای شیمیایی (نیتروژن و فسفر) و سموم (علف کش‌ها و آفت کش-ها) منجر به آلودگی چشمگیر خاک، هوا و آب شده است. این نهاده‌ها نه تنها برای کشاورزان به لحاظ اقتصادی پرهزینه هستند، بلکه منابع تجدیدناپذیر مانند نفت و گاز طبیعی را نیز کاهش می‌دهند (تیواری و همکاران، ۲۰۲۲؛ ندونگو و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده زیاد و طولانی مدت از این کودها و سموم شیمیایی، اثرات مضری بر ریزجانداران خاک می‌گذارد، وضعیت حاصلخیزی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد، در نتیجه عملکرد محصول را کاهش می‌دهد و همچنین محیط زیست را آلوده می-کند (آنتیل و راج، ۲۰۲۰؛ تیواری و همکاران، ۲۰۲۲).

از این رو، فعالیت کشاورزی انسان در شکل‌گیری اکوسیستم‌ها تأثیری اجتناب‌ناپذیر دارد، و حاصلخیزی خاک بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه بر خواص بیولوژیکی آن تأثیر دارد. همچنین استفاده از سیستم‌های کشت نامناسب می‌تواند منجر به تخریب خاک و محیط زیست شود. تغییر در خصوصیات خاک ممکن است باعث تغییر در فراوانی، فعالیت و تنوع خاک شود. کشاورزی متعارف (با تکیه بر نهاده-های شیمیایی) می‌تواند بر ریزجانداران مفید خاک تأثیر مستقیم بگذارد، موجب مرگ و میر آن‌ها و کاهش دسترسی به مواد غذایی برای گیاهان زراعی در خاک شود (کیهارا و همکاران، ۲۰۲۲؛ ولز و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین کشاورزی جزء جدا نشدنی اقتصاد و تولید است، اما این بر عهده انسان‌ها است که تصمیم بگیرند که آیا خاک را برای افزایش تولید محصول فقط برای یک سال یا برای چشم انداز بیشتر کشت می‌کنند. در مقیاس جهانی، مدیریت معقول خاک و محیط زیست به گونه‌ای که تخریب نشود و در عین حال امکان به دست آوردن نتایج تولید محصول خوب (به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی) را فراهم کند، مهم است (اگنگن‌هو و امئده، ۲۰۱۷؛ کاروری، ۲۰۲۲).

استفاده از قارچ‌های میکوریزا آربسکولار (AMF) و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) از جمله ریزوبیوم همزیست با لوبیا *Rhizobium phaseoli* (گوپتا و پاندی، ۲۰۲۰؛ آلمیدا لیته و همکاران، ۲۰۲۲؛ رازکاتیانا و همکاران، ۲۰۲۰) و کودهای آلی بیوچار (کوماری و همکاران، ۲۰۲۲؛ ولز و همکاران، ۲۰۱۸؛ فارس و آکابا، ۲۰۲۲) و ورمی‌کمپوست (بل-مسکین و همکاران، ۲۰۲۰؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۸؛ فارس و همکاران، ۲۰۲۰) در مزرعه، اغلب با افزایش نرخ رشد و نمو و عملکرد اقتصادی گیاهان زراعی به‌ویژه لوبیا همراه است.

در حال حاضر در مقیاس جهانی سیاست کشاورزی بر سیستم تولید پایدار تأکید دارد. مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک (ISFM) به عنوان مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریت حاصلخیزی خاک تعریف می‌شود که شامل استفاده از کود، نهاده‌های آلی، بذر (ژرم‌پلاسم) بهبود یافته، همراه با دانش نحوه انطباق این شیوه‌ها با شرایط اقلیمی محلی در به حداکثر رساندن بهره‌وری گیاهان زراعی از عناصر غذایی استفاده شده در مزرعه و بهبود عملکرد محصولات است. تمام نهاده‌ها باید با رعایت اصول صحیح زراعی مدیریت شوند. هدف از مدیریت حاصلخیزی خاک (ISFM) کم‌هزینه نمودن تولید و افزایش بهره‌وری محصول از طریق مدیریت مصرف کودها، نهاده‌های آلی و استفاده از بذر بهبود یافته است که همراه با دانش مرتبط و مورد نیاز، توسط کشاورزان به‌کارگیری می‌شوند (ادم و همکاران ۲۰۲۳؛ ندونگو و همکاران، ۲۰۲۱؛ کیهارا و همکاران، ۲۰۲۲؛ اگنگن‌هو و امئده، ۲۰۱۷).

پژوهش‌های اخیر شواهد امیدوار کننده‌ای از نحوه به-کارگیری (ISFM) برای حل چالش‌های امنیت غذایی و تولید پایدار محصولات زراعی که در حال حاضر اکثر کشاورزان با آن مواجه هستند را نشان می‌دهد. بسیاری از پژوهش‌ها در طی سال‌های اخیر، از جمله مطالعات بلند مدت، افزایش بازده محصولات زراعی و مزایای استفاده از اعمال مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک (ISFM) را گزارش می‌دهند (کاروری، ۲۰۲۲؛ کیهارا و همکاران ۲۰۲۲؛ واویر و همکاران، ۲۰۲۱؛ اگنگن‌هو و امئده، ۲۰۱۷؛ کیهارا و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس تحقیقات اخیر، کاهش حاصلخیزی خاک محدودیت اصلی بیوفیزیکی برای بهبود عملکرد محصولات زراعی است و در نتیجه به‌عنوان یک تهدید بالقوه برای رسیدن به امنیت غذایی به شمار می‌رود. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی کارایی نهاده-

های کشاورزی در نظام‌های زراعی مختلف تولید است که می‌تواند بر پذیرش مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک (ISFM) توسط کشاورزان و همچنین تأثیر مثبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد لوبیا قرمز به عنوان یک محصول زراعی مهم در کشور بگذارد.

**مواد و روش‌ها**

این آزمایش طی دو سال زراعی متوالی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه‌ای واقع در منطقه بیرانشهر استان لرستان با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۵۷ متر از سطح دریا، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نظام‌های زراعی مختلف شامل (اکولوژیک =C1، تلفیقی=C2، کم‌نهاده=C3، متوسط نهاده=C4 و پُرنهاده=C5) و ارقام مختلف لوبیا قرمز شامل (افق=G1، دادفر=G2، گلی=G3 و یاقوت=G4) بودند. مقادیر مختلف مصرف نهاده در نظام‌های زراعی شامل مصرف کود، سم و عملیات مدیریت زراعی در جدول ۳ ارائه شده است. زمین محل اجرای آزمایش در سال زراعی قبل به کشت گیاه شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) اختصاص داشت. قبل از انجام آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر دو سال زراعی از دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

**جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش**

| سال زراعی | عمق خاک (سانتی‌متر) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$) | کربن آلی O.C | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | آهن | منگنز | روی | مس | شن | لای | رس | رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه (درصد) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (٪) | (٪) | (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | | | | | | (٪) | | | |
| ۱۳۹۹-۱۴۰۰ | ۰-۳۰ | ۷/۲۳ | ۱/۰۹ | ۱/۱۶ | ۰/۰۹۱ | ۸/۴۶ | ۲۳۸ | ۴/۳۵ | ۵/۳۴ | ۰/۷۳ | ۰/۹۲ | ۱۶ | ۴۴/۶ | ۳۹/۴ | ۲۲/۴۳ | لومی-رسی |
| | ۳۰-۶۰ | ۷/۱۱ | ۰/۸۶ | ۰/۶۸ | ۰/۰۱۵ | ۴/۵۱ | ۱۸۷ | ۲/۶۲ | ۵/۱۱ | ۰/۶۹ | ۰/۸۳ | ۱۹/۶۳ | ۴۸/۷۲ | ۳۱/۶۵ | ۱۹/۲۳ | لومی-رسی |
| ۱۴۰۰-۱۴۰۱ | ۰-۳۰ | ۷/۵۲ | ۱/۰۴ | ۱/۰۹ | ۰/۰۶۲ | ۸/۲۹ | ۲۴۷ | ۳/۳۶ | ۶/۷۱ | ۱/۰۸ | ۱/۲۵ | ۲۳ | ۴۲ | ۳۵ | ۲۹ | لومی-رسی |
| | ۳۰-۶۰ | ۷/۶ | ۰/۷۹ | ۰/۶۲ | ۰/۰۱۲ | ۶/۴ | ۲۰۲ | ۲/۸ | ۴/۸ | ۰/۷۶ | ۰/۹۸ | ۲۹/۵ | ۳۶/۴ | ۳۴/۱ | ۲۳/۳ | لومی-رسی |

کود زیستی میکوریزا آربسکولار با پتانسیل ۱۰۰ قطعه تکثیر (پروپاگول) در هر گرم، از گونه‌های مختلف (*Glomus etunicatum, G. Intraradices, G. mossea*) با نام تجاری مایکوروت از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان (دانش‌بنیان)، مایه‌تلقیح مایع ریزوبیوم همزیست لوبیا (*Rhizobium phaseoli* Rb-133) با تراکم جمعیت $5\times10^8$ CFU بر گرم به ازای هر میلی‌لیتر از مؤسسه تحقیقات خاک‌وآب کشور (بخش تحقیقات بیولوژی خاک)، بیوچار تهیه شده از چوب درخت انار (*Punica granatum* L.) از شرکت تعاونی-تولیدی فصل-پنجم (فرح‌بخش)، ورمی‌کمپوست از شرکت نوآوران کشت‌و-صنعت ساینا (سبزینه‌کشت) و کود کامل ریزمغذی با نام تجاری (NutriPad) ساخت شرکت پادنا کود (PADENA fertilizer) ایران (جدول ۲)؛ و بذور ارقام لوبیا قرمز شامل رقم افق (منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین المللی Morado، فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود تیپ ۲، مناسب برای برداشت مکانیزه، زودرس، متوسط دوره رشد و نمو ۸۵ روز، مقاوم به آفت کنه دو نقطه ای، مقاوم به بیماری های ویروسی، بازار پسندی مطلوب، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در مناطق با سرمای زود هنگام پاییزه در کشور)، رقم دادفر (منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین المللی Red Mexican ، فرم بوته رونده و

رشد نامحدود تیپ ۳، متوسط دوره رشد و نمو ۱۰۱ روز، مقاوم به آفت کنه دو نقطه ای، مقاوم به بیماری های ویروسی، بازار پسندی مطلوب، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در اقلیم معتدل و سرد کشور)، رقم گلی (منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین المللی Red Mexican ، فرم بوته رونده و رشد نامحدود تیپ ۳، متوسط دوره رشد و نمو ۹۵ روز، مقاوم به آفت کنه دو نقطه‌ای، مقاوم به بیماری های ویروسی، بازار پسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در تمامی مناطق رایج تولید لوبیا در کشور) از پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان بروجرد، و رقم یاقوت (منشأ، خالص شده از توده‌های بومی ایران، کلاس تجاری بین المللی Morado، فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود تیپ ۲، مناسب برای برداشت مکانیزه، متوسط دوره رشد و نمو ۸۷ روز، مقاوم به آفت کنه دو نقطه ای، مقاوم به بیماری های ویروسی، بازار پسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در تمامی مناطق رایج تولید لوبیا در کشور) از شرکت خدمات توسعه کشاورزی زنجان کشت خیرآباد تهیه گردید.

**جدول ۲- مشخصات بیوچار، ورمی‌کمپوست و کود کامل ریزمغذی مورد استفاده در آزمایش**

| نام تجاری | محتوا | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بیوچار | ماده آلی (درصد) | نسبت کربن/ نیتروژن C/N | کربن آلی (درصد) | اسیدیته pH | منگنز (%) | هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$) | نیتروژن (درصد) | فسفر (درصد) | پتاسیم (درصد) | کلسیم (درصد) | خاکستر (درصد) |
| | ۱۳/۸۹ | ۱۰/۲۰ | ۸/۰۶ | ۸/۲ | ۵/۷۷ | ۰/۲ | ۰/۷۹ | ۰/۱۴ | ۰/۱۷ | ٤/۲٦ | ۲٤/٦ |
| ورمی-کمپوست | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$) | کربن آلی (درصد) | نیتروژن (درصد) | فسفر (درصد) | پتاسیم (درصد) | | | | | |
| | ۸/۲۳ | ۲/٤٤ | ۸/٦۷ | ۰/٤۷۳ | ۰/۲٤ | ۰/۵۵ | | | | | |
| نوتری‌پاد ۲۰-۲۰-۲۰ | عناصر غذایی کم‌مصرف (پی پی ام) | | | | | | | عناصر غذایی پر مصرف (درصد) | | | |
| | آمینو اسید | روی | مولیبدن | منیزیم | آهن | مس | بور | پتاسیم | فسفر | نیتروژن | |
| | ۸۰۰۰ | ۹۰۰ | ۵۰ | ۳۰۰ | ۱۲۰۰ | ۳۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ | |

به‌منظور آماده‌سازی بستر کاشت، پس از برداشت محصول شبدر برسیم، زمین موردنظر توسط گاوآهن برگردان‌دار در اواخر اردیبهشت ماه در هر دو سال زراعی اجرای آزمایش به یک صورت شخم زده شد. پس از تسطیح زمین، واحدهای آزمایشی با ابعاد ٦×۲/۵ متر و جوی و پشته‌ها توسط نهرکن با عرض ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. جهت جلوگیری از تداخل اثر تیمارها، فاصله بین واحدهای آزمایشی یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط حساس جوانه‌زنی گیاه لوبیا، آبیاری پیش از کاشت (خاک‌آب) انجام شد. پس از گذشت چهار روز با گاوروشدن زمین، بذور در سال زراعی اول در تاریخ ١٤ خرداد ١٤٠٠ و در سال زراعی دوم در تاریخ ۱۳ خرداد ۱۴۰۱ به روش هیرم‌کاری (نم‌کاری)، به‌صورت دستی در خطوطی با طول شش متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و با تراکم ٤٠ بوته در مترمربع در عمق پنج تا هفت سانتی‌متری خاک کشت شدند. ماده تلقیح پودری مایکوروت (حاوی گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا آربسکولار) به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت کوددهی نواری و طبق دستورالعمل شرکت سازنده استفاده شد؛ به این صورت که پس از ایجاد شیار مقدار مشخص شده از ماده تلقیح در طول خط کاشت و با عمق دو سانتی‌متری زیر بذور ریخته شد (در حدود ۰/٦۲۵ گرم به ازای هر بذر) و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. مایه‌زنی با مایه‌تلقیح مایع ریزوبیوم همزیست لوبیا

در سایه انجام گردید. به منظور مایه‌زنی بذرها، قبل از کاشت میزان بذر مورد نیاز برای هر واحد آزمایشی محاسبه و در داخل ظروف پلاستیکی ریخته شد. سپس برای چسبندگی بیشتر با سلول‌های باکتری، با مایع صمغ عربی به نسبت ۲۰ میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم بذر آغشته شدند. مایه‌تلقیح مایع ریزوبیوم به نسبت ۵۰ میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم بذر اضافه شد و برای تکمیل مایه‌زنی به‌طور کامل مخلوط شد و در نهایت بذرها پس از گذشت مدت ۳۰ دقیقه با خشک شدن نسبی کشت شدند. بیوچار به میزان ۱۰ تن در هکتار (موسوی و همکاران، ۱۴۰۲) و ورمی‌کمپوست به میزان ۱۵ تن در هکتار (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۴) استفاده شد، به این صورت که مقدار مشخص شده از این کودهای آلی برای تیمارهای مربوطه قبل از کاشت تا عمق ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک مخلوط گردید. همچنین کود کامل ریز مغذی با غلظت دو در هزار به صورت محلول‌پاشی مورد استفاده قرار گرفت. آبیاری با روش نشتی (فارویی) در طی مراحل رشد و نمو بر اساس شرایط اقلیمی منطقه و نیاز زراعی گیاه انجام شد. برای محاسبه نیاز آبی ارقام لوبیا قرمز در منطقه مورد آزمایش از نرم افزار بهینه‌سازی و برنامه ریزی مصرف آب کشاورزی (OPTIWAT) استفاده شد. (حجم آب مصرفی برای لوبیا قرمز در منطقه مورد آزمایش با میانگین ضریب گیاهی kc (۰/۸۶۱) در شرایط مساعد زراعی (عدم تنش) در حدود ۱۴۳۱۲ تا ۱۹۷۳۵ متر مکعب برای روش آبیاری سطحی محاسبه شد. اولین آبیاری پس از خروج جوانه‌ها و استقرار کامل گیاهچه‌ها در ۱۰ روز پس از کاشت و مراحل بعدی آبیاری با توجه به مراحل مختلف نمو بوته‌ها از ۷ روز (مراحل اولیه رشد) تا ۵ روز (از زمان شروع مرحله گلدهی به‌طور تقریبی ۵۹ روز پس از کاشت تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و برداشت محصول) یک‌بار انجام شد. میانگین حجم آب مصرفی در طی دوره رشد و نمو ژونوتیپ‌های لوبیا قرمز با احتساب مرحله خا-کآب (آبیاری قبل از کاشت) در حدود ۱۷۲۰۸/۶ مترمکعب در هکتار و میانگین تعداد دفعات آبیاری تا پایان فصل رشد ۱۷ مرحله بود. روش اعمال تیمارها و مدیریت زراعی در نظام‌های زراعی مختلف شامل (عملیات تهیه زمین، میزان مصرف کودهای شیمیایی، زیستی و آلی؛ تعداد دفعات مبارزه با علف‌های هرز، بیماری‌ها و آفات گیاهی و فواصل زمانی آبیاری) در جدول ۳ ارائه شده است.

**جدول ۳- میزان نهاده‌های مصرفی و مدیریت زراعی در نظام‌های زراعی مختلف**

| | | اکولوژیک | تلفیقی | کم‌نهاده | متوسط نهاده | پُرنهاده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| عملیات خاک‌ورزی | شخم (تعداد) | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ |
| | دیسک (تعداد) | - | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ |
| | لولر (تعداد) | - | ۱ | - | ۱ | ۲ |
| | نهرکن (تعداد) | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| کود شیمیایی | نیتروژن (از منبع اوره ٤٦ درصد) | - | ۱۵۰ | ۱۰۰ | ۱۵۰ | ۳۰۰ |
| | فسفر (سوپرفسفات تریپل ٤٦ درصد) | - | ۱۰۰ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۲۰۰ |
| | پتاسیم (سولفات پتاسیم گرانوله ۵۰ درصد) | - | ۱۰۰ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۱۵۰ |
| | محلول‌پاشی کود کامل ریزمغذی (غلظت دو در هزار) | – | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ |
| کود زیستی | میکوریزا آربسکولار (کیلوگرم در هکتار) | ۲۵۰ | ۲۵۰ | - | - | - |
| | ریزوبیوم (میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم بذر) | ۵۰ | ۵۰ | - | - | - |
| کود آلی | بیوچار (تن در هکتار) | ۱۰ | ۱۰ | - | - | - |
| | ورمی‌کمپوست (تن در هکتار) | ۱۵ | ۱۵ | - | - | - |
| مبارزه با علف‌های هرز | شیمیایی (علف‌کَش) | - | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ |
| | مکانیکی (وجین دستی) | ۳ | ۱ | ۲ | ۱ | - |
| مبارزه با آفات | شیمیایی (آفت‌کَش) | – | ۱ | ۱ | ۲ | ۳ |
| مبارزه با بیماری‌ها | شیمیایی (قارچ‌کَش) | – | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ |
| دور آبیاری | فاصله به روز | ۷ | ٦ | ۷ | ٦ | ۵ |

پس از تکمیل اولین برگ حقیقی در بوته‌ها، نمونه برداری برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد (سرعت رشد نسبی، سرعت جذب خالص، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک) به صورت هر هفت روز یک‌بار به روش تخریبی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای از تعداد پنج بوته لوبیا در هر کرت آزمایش انجام شد. وزن ماده خشک با قرار دادن اندام‌های هوایی نمونه-های گیاهی هر کرت به صورت جداگانه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت و توزین آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم محاسبه شد (طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). سطح برگ بوته‌ها در مرحله شروع غلاف‌دهی با استفاده از دستگاه (Leaf Area Meter, Delta T, UK) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه شاخص‌های رشد بر اساس میانگین طول مدت زمان (t2-t1) به ترتیب بر اساس معادلات: RGR= (lnW2–lnW1)/(t2–t1) برای محاسبه سرعت رشد نسبی؛ NAR=[(W2–W1)/(t2–t1)][(lnLA2–lnLA1)/(LA2–LA1)] برای محاسبه سرعت جذب خالص؛ CGR= (1/GA)[(W2–W1)/(t2–t1)] برای محاسبه سرعت رشد محصول؛ محاسبه شد. حداکثر شاخص سطح برگ نیز توسط رابطه (LAImax= (1/GA)[(LA2+LA1)/2]) محاسبه گردید. که در معادلات فوق W: وزن خشک اندام‌هوایی (گرم)، t: زمان (روز)، LA: سطح برگ (متر مربع) و GA: سطح زمین (مترمربع) می‌باشند (طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). در پایان فصل رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی همه ارقام، برداشت محصول با در نظر گرفتن اثر حاشیه (حذف دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر خط کاشت) بوته‌ها به صورت کف‌بُر در سطح چهار متر مربع انجام شد و پس از خشک‌شدن کامل بوته‌ها در شرایط نور طبیعی مزرعه، عملکرد دانه (با رطوبت ١٤ درصد) در هر سال زراعی اندازه‌گیری شد. برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون بارتلت استفاده شد و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver 9.1.3 تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح آماری پنج درصد با گزاره LSMEANS برش‌دهی اثر متقابل در ویژگی‌هایی که اثر برهمکنش آنها معنی‌دار بود، انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2019 استفاده شد.

## نتایج و بحث

### سرعت رشد نسبی (RGR)

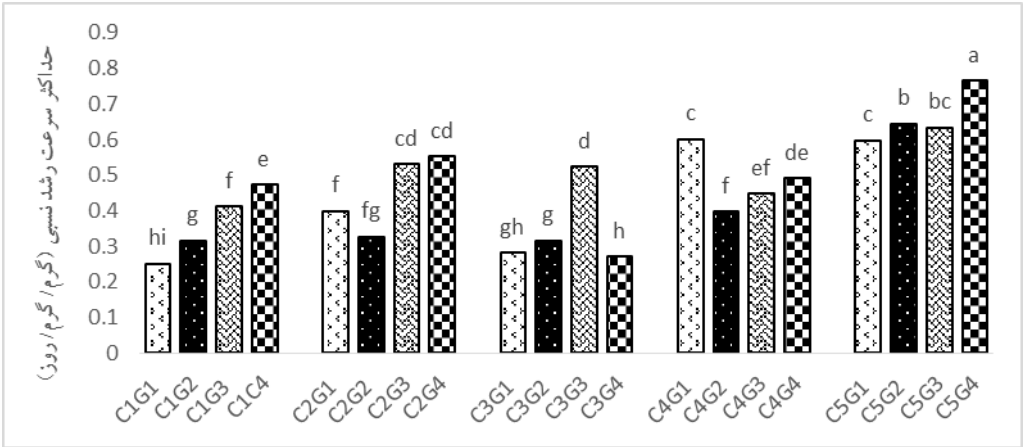
سرعت رشد نسبی (RGR) بیان کنندهٔ وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصلهٔ زمانی است. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر نظام زراعی در سطح احتمال یک درصد، رقم در سطح احتمال پنج درصد و اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم در سطح احتمال یک درصد **بر** سرعت رشد نسبی معنی‌دار گردید (جدول ٤).

**جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر نظام زراعی و رقم لوبیا بر ویژگی‌های مورد بررسی**

| منابع تغییر | درجه آزادی | سرعت رشد نسبی | سرعت جذب خالص | حداکثر شاخص سطح برگ | سرعت رشد محصول | تجمع ماده خشک | عملکرد دانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال (Y) | ۱ | ۰/۰۲۵ ns | ۱/۱٤ ns | ۰/۰۱٤ ns | ٤/۹۰ ns | ٤۹/۰۰ ns | ۵۳۰٦/۷۰ ns |
| بلوک (B) | ٤ | ۰/۱۳۷ ns | ۳/۰۸ ns | ۰/۲۸۸ ns | ۹/٦۳ ns | ۵٤/۳۸ ns | ۱۳۵٤/۰۷ ns |
| نظام‌زراعی (C) | ٤ | ۱/۷۳ ** | ۱٤/٦۸ * | ۱/۲۹ * | ۲٤/۳۰ * | ۲۹۵/۵۳ * | ۳٤۱٤۹۸۰/۹۵ ** |
| رقم (G) | ۳ | ۰/۷۵۰ * | ۱۳/۷۵ * | ۲۸/۳۳ ** | ۳۸/۹۲ ** | ۳۸۹/۲۲ ** | ۱۳٤۲٦٤۸/۹۳ ** |
| C×G | ۱۲ | ۱/٤۸ ** | ۲٦/٤۳ ** | ۵/۰۱ ** | ٤۵/۳۹ ** | ۱٦۸/۰۷ * | ۱۰۲۷۳۹۰/۹٤ ** |
| Y×C | ٤ | ۰/۱۵۲ ns | ۳/۵۱ ns | ۰/۰۵۱ ns | ٦/۲۲ ns | ۲۳/۳۹ ns | ۱۱۷۰۸/۹۱ ns |
| Y×G | ۳ | ۰/۲۸٤ ns | ۹/۱۷ ns | ۰/۰۰۷ ns | ۸/۰۹ ns | ۱۳/٤۸ ns | ٦٤۰۹/۵۰ ns |
| Y×C×G | ۱۲ | ۰/۱۸۲ ns | ۰/۸۲۳ ns | ۰/۰۹۲ ns | ۲/۳۸ ns | ٤۳/٦۰ ns | ۱٤۰۱٦/۲۵ ns |
| خطا | ۷٦ | ۰/۱۲۱ | ۲/۵٤ | ۰/٤۷٤ | ۱۱/۰۲ | ۱۲/۳۱ | ۲۸۲۳۲/۳٤ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۸/۵٦ | ٦/۱۳ | ۱۳/۲۰ | ٦/۸۱ | ۸/۷۹ | ۱٤/٦٤ |

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

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نظام زراعی و رقم، بیشترین میانگین سرعت رشد نسبی در بوته لوبیا قرمز رقم یاقوت (۰/۷٦٦ گرم/گرم/روز) در نظام زراعی پُرنهاده و کمترین میانگین آن به ترتیب در رقم افق (۰/۲۵۱ گرم/گرم/روز) در نظام زراعی اکولوژیک و رقم یاقوت (۰/۲۷۰ گرم/گرم/روز) در نظام زراعی کم‌نهاده (هر دو در یک کلاس آماری) به‌دست آمد (شکل ۱). سرعت رشد نسبی در رقم یاقوت نسبت به ارقام افق، دادفر و گلی در نظام زراعی پُرنهاده به ترتیب به میزان ۲۹/۷٦، ۱۸/۷۵ و ۲۲/۳۹ درصد افزایش یافت (شکل ۱). سرعت رشد نسبی بعد از مرحله جوانه‌زنی روند افزایشی دارد و با افزایش سن گیاه و رسیدن به مرحله زایشی روند کاهشی را در پی می‌گیرد، این امر می‌تواند به‌دلیل افزوده شدن بخش‌هایی مانند بافت‌های ساختمانی به گیاه باشد که به لحاظ متابولیکی فعال نبوده و همچنین نقشی در انجام فتوسنتز ندارند (نوریانی، ۱۳۹۷). هرچند که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش می‌یابد اما از سرعت رشد نسبی به‌دلیل افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های در حال رشد کاسته می‌شود. روند کاهشی سرعت رشد نسبی با رسیدن گیاه به مراحل پایانی رشد و رسیدگی دانه‌ها همچنین می‌تواند به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش تعداد برگ‌هایی است که موجب سایه‌اندازی بر روی برگ‌های قبلی می‌شوند (طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). محققان گزارش کردند که به‌کارگیری پتانسیل کودهای زیستی میکوریزا و *ریزوبیوم* در زراعت لوبیا علاوه بر این که می‌تواند تنوع را در اکوسیستم افزایش دهد می‌تواند موجب استفاده بهتر گیاه از منابع شده که همین امر موجب بهبود خصوصیات رشد و افزایش عملکرد اقتصادی آن می‌شود (مرزبان و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین پژوهشگران گزارش کردند که سرعت رشد نسبی لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی تثبیت کننده نیروژن و حل کننده فسفات قرار گرفت به‌طوری که در اوایل فصل رشد بیشترین سرعت رشد نسبی لوبیا در تیمار کود زیستی تثبیت کننده نیتروژن مشاهده شد (طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). اطمینانی و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که استفاده از کودهای آلی بیوچار و کمپوست موجب افزایش سرعت رشد نسبی و وزن خشک لوبیا شد. دیگر پژوهشگران بیان داشتند که مصرف ورمی‌کمپوست با تأثیر مثبت و معنی‌داری که در طی دوره رشد لوبیا دارد می‌تواند موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک رشد به‌ویژه سرعت رشد نسبی این گیاه شده که در نهایت عملکرد اقتصادی آن را افزایش خواهد داد (نوریانی، ۱۳۹۷)، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.




**شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم بر حداکثر سرعت رشد نسبی ارقام لوبیا قرمز**

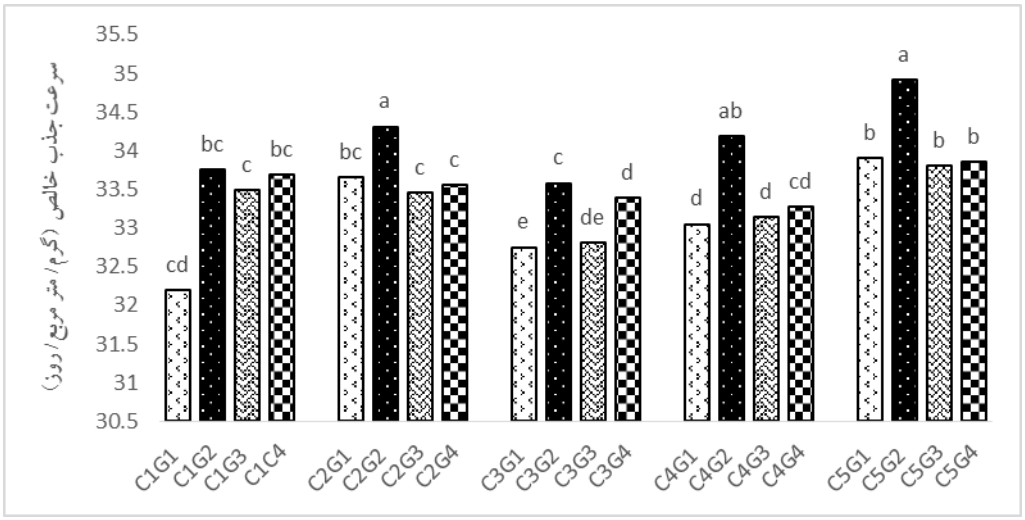
**Cنظام‌های زراعی (اکولوژیک C1، تلفیقی C2، کم‌نهاده C3، متوسط نهاده C4 و پُرنهاده C5) و G ارقام لوبیا قرمز (افق G1، دادفر G2، گلی G3 و یاقوت G4)**

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

**سرعت جذب خالص (NAR)**

سرعت جذب خالص نشان‌دهنده مقدار مواد ساخته شدهٔ خالص (مواد فتوسنتزی) در واحد سطح برگ در واحد زمان می-

باشد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ٤) نشان داد که اثر نظام زراعی و رقم در سطح احتمال پنج درصد و اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر سرعت جذب خالص در بوته ارقام لوبیا قرمز معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نظام زراعی و رقم نشان داد که سرعت جذب خالص در بوته ارقام لوبیا قرمز در نظام‌های زراعی مورد بررسی دارای تفاوت معنی‌داری است، به‌طوری که رقم دادفر (۳٤/۹۱ گرم/متر مربع/روز) در نظام زراعی پُرنهاده بیشترین، و رقم افق (۳۲/۷۵ گرم/متر مربع/روز) در نظام زراعی کم‌نهاده کمترین میانگین سرعت جذب خالص را نشان دادند (شکل ۲). سرعت جذب خالص در رقم دادفر نسبت به ارقام افق، گلی و یاقوت در نظام زراعی پُرنهاده به ترتیب به میزان ۲/۹۷، ۳/۲۸ و ۳/۱۳ درصد افزایش نشان داد. این رقم در نظام‌های زراعی اکولوژیک، تلفیقی، کم‌نهاده و متوسط نهاده نیز نسبت به سایر ارقام بیشترین سرعت جذب خالص را به خود اختصاص داد (شکل ۲).




**شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم بر سرعت جذب خالص ارقام لوبیا قرمز**

**Cنظام‌های زراعی (اکولوژیک C1، تلفیقی C2، کم‌نهاده C3، متوسط نهاده C4 و پُرنهاده C5) و G ارقام لوبیا قرمز (افق G1، دادفر G2، گلی G3 و یاقوت G4)**

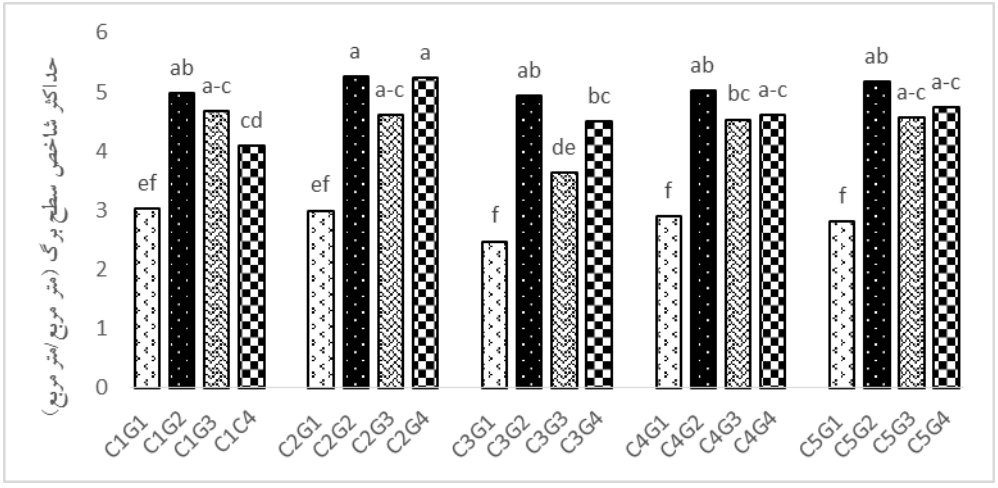
**میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند .**

روند تغییرات سرعت جذب خالص در طول فصل رشد تحت تأثیر نظام‌های زراعی و رقم قرار گرفت. تغییرات سرعت جذب خالص در طول فصل رشد وابستگی زیادی را به مدیریت زراعی و تغذیه‌ای در نظام‌های زراعی نشان داد به طوری‌که نظام‌های زراعی پُرنهاده و تلفیقی بیشترین سرعت جذب خالص را نشان دادند. سرعت جذب خالص برآوردی از میانگین شدت فتوسنتز برگ‌ها در یک جامعه گیاهی است و زمانی به حداکثر مقدار خود خواهد رسید که برگ‌های گیاه در مراحل اولیه رشد در معرض نور خورشید قرار داشته باشند و در سایه قرار نگیرند (نوریانی، ۱۳۹۷؛ طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که سرعت جذب خالص در طی مراحل رشد تحت تأثیر سن برگ، عناصر غذایی در دسترس بوته‌ها و در نتیجه سرعت فتوسنتز خالص قرار می‌گیرد که این عوامل می‌توانند نقش تعیین کننده‌ای در افزایش شیب نزولی و یا صعودی سرعت جذب خالص داشته باشند. در این خصوص محققان گزارش کردند که تغییرات سرعت جذب خالص لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی تثبیت کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات روند مثبت و معنی‌داری را نسبت به شرایط عدم‌کاربرد کودهای زیستی داشته است (طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). دیگر پژوهشگران بیان داشتند که شاخص‌های فیزیولوژیک رشد لوبیا قرمز تحت تأثیر کاربرد بیوچار و کمپوست نسبت به شرایط عدم کاربرد این کودهای آلی، افزایش معنی‌داری داشته است، این پژوهشگران همچنین بیان داشتند که با استفاده از مواد آلی می‌توان از کاهش مواد مغذی موجود در خاک تا حد قابل توجهی جلوگیری کرد (اطمینانی و همکاران، ۲۰۲۱). نوریانی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش نمودند که افزایش

کاربرد ورمی‌کمپوست از ٤ تن به ۱۲ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های فیزیولوژیک رشد لوبیا نسبت به تیمار شاهد شد، این محققان همچنین بیان داشتند که کاهش سرعت جذب خالص در تیمار شاهد در لوبیا می‌تواند به دلیل تولید شاخص سطح برگ بیشتر و در نتیجه سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر و در نهایت کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ باشد، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

**حداکثر شاخص سطح برگ (LAI max)**

شاخص سطح برگ بیان کنندهٔ سطح یک طرف برگ به سطح زمین پوشیده شده توسط محصول است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر نظام زراعی در سطح احتمال پنج درصد، اثر رقم و همچنین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر حداکثر شاخص سطح برگ در بوته ارقام لوبیا قرمز معنی‌دار شد (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که نظام‌های زراعی مختلف توانایی متفاوتی در تولید شاخص سطح برگ در بوته ارقام لوبیا قرمز داشت. به‌طوری‌که بیشترین شاخص سطح برگ به ترتیب در رقم دادفر (۵/۲۵ متر مربع/متر مربع) و رقم یاقوت (۵/۲۳ متر مربع/متر مربع) در نظام زراعی تلفیقی (هر دو در یک گروه آماری)، و کمترین میانگین آن در رقم افق (۲/٤۷ متر مربع/متر مربع) در نظام زراعی کم‌نهاده مشاهده شد (شکل ۳). همچنین مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که حداکثر شاخص سطح برگ در رقم دادفر نسبت به ارقام افق، گلی و یاقوت در نظام زراعی تلفیقی به ترتیب به میزان ۱۷/۵۵، ۱۳/۸۸ و ۳/۸۲ درصد افزایش یافت (شکل ۳).




**شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم بر حداکثر شاخص سطح برگ ارقام لوبیا قرمز**

**Cنظام‌های زراعی (اکولوژیک C1، تلفیقی C2، کم‌نهاده C3، متوسط نهاده C4 و پُرنهاده C5) و G ارقام لوبیا قرمز (افق G1، دادفر G2، گلی G3 و یاقوت G4)**

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

روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام لوبیا قرمز در نظام-های زراعی مختلف به صورت افزایشی مشاهده شد که نشان دهنده نقش مثبت و معنی‌دار مدیریت نهاده‌های کشاورزی و کاربرد کودهای زیستی و آلی در نظام زراعی تلفیقی در این آزمایش است، به‌طوری که در این نظام زراعی فراهمی عناصر غذایی از منابع مختلف موجب توسعه مطلوب‌تر شاخه و برگ‌ها در سطح خاک شد که از طریق بهره‌گیری از جذب نور کافی موجب افزایش شاخص سطح برگ در ارقام لوبیا قرمز گردید. محققان گزارش کردند که افزایش شاخص سطح برگ در لوبیا تحت تأثیر کودهای زیستی می‌تواند مربوط به گسترش سیستم ریشه‌ای این گیاه باشد و این که گیاه می‌تواند با توسعه ریشه‌های خود به حداکثر توانایی برای جذب آب و مواد غذایی برسد که در نتیجه موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱٤۰۰). دیگر محققان گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی و به خصوص میکوریزا به طور معنی‌داری موجب افزایش شاخص سطح برگ لوبیا قرمز شد. این محققان

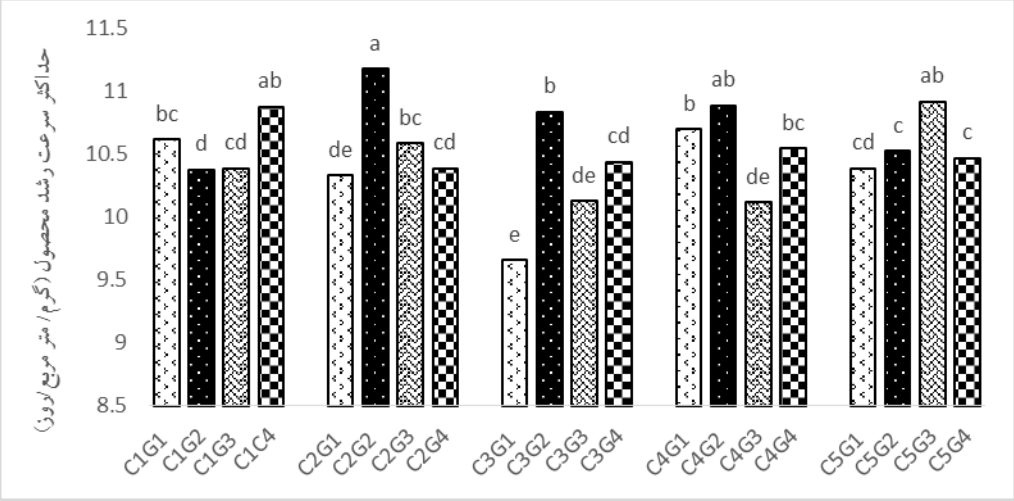
همچنین عنوان کردند که قارچ‌های میکوریزا با گسترش ریسه-های خود، در نهایت موجب جذب بهتر آب و مواد غذایی از خاک توسط گیاه شده و گیاه توانسته است با تولید شاخص سطح برگ بیشتر، میزان فتوسنتز و عملکرد خود را افزایش دهد (تنهایی و همکاران، ۱۳۹۷).

پورهادیان و همکاران (۱٤۰۰) گزارش کردند که مصرف بهینه کودهای شیمیایی و ریزوبیوم همزیست لوبیا توانست به دلیل تأمین مواد غذایی، شرایط مناسب را برای استفاده گیاه از سایر عوامل محیطی فراهم کرده که این امر موجب افزایش سطح برگ و تعداد برگ شده و افزایش شاخص سطح برگ را سبب شده است.

نوریانی (۱۳۹۷) گزارش نمود که افزایش شاخص سطح برگ در لوبیا سبز در سطوح بالاتر ورمی‌کمپوست می‌تواند به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی کم‌مصرف و پُرمصرف باشد که موجب افزایش تعداد، اندازه و طول عمر برگ‌ها شده است. همچنین اطمینانی و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی اثر کود آلی بیوچار بر خصوصیات رشد لوبیا قرمز گزارش کردند که با کاربرد بیوچار خصوصیات رشد و شاخص سطح برگ لوبیا قرمز افزایش یافته است، این محققان دلیل این امر را اثرات مثبت کاربرد کود آلی بیوچار بر توسعه شاخه و برگ‌های لوبیا در نتیجه بهبود جذب مواد مغذی از خاک عنوان کردند، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

**سرعت رشد محصول (CGR)**

سرعت رشد محصول بیان کنندهٔ افزایش وزن در یک جامعه گیاهی در واحد سطح در واحد زمان می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ٤) نشان داد که اثر نظام زراعی در سطح احتمال پنج درصد، اثر رقم و همچنین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر سرعت رشد محصول ارقام لوبیا قرمز معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که ارقام لوبیا قرمز دارای سرعت رشد متفاوتی در نظام‌های زراعی مورد بررسی می‌باشند، به این صورت که بیشترین میانگین سرعت رشد محصول در رقم دادفر (۱۱/۱۸ گرم/ متر مربع/روز) در نظام زراعی تلفیقی و کمترین میانگین آن در رقم افق (۹/٦٦ گرم/ متر مربع/روز) در نظام زراعی کم‌نهاده به دست آمد (شکل ٤). همچنین مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که ارتفاع بوته در رقم دادفر نسبت به ارقام افق، گلی و یاقوت در نظام زراعی تلفیقی به ترتیب به میزان ۸/۲۲، ۵/۵۷ و ۷/٦۰ درصد افزایش یافت (شکل ٤).




**شکل ٤- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم بر حداکثر سرعت رشد محصول ارقام لوبیا قرمز**

**Cنظام‌های زراعی (اکولوژیک C1، تلفیقی C2، کم‌نهاده C3، متوسط نهاده C4 و پُرنهاده C5) و G ارقام لوبیا قرمز (افق G1، دادفر G2، گلی G3 و یاقوت G4)**

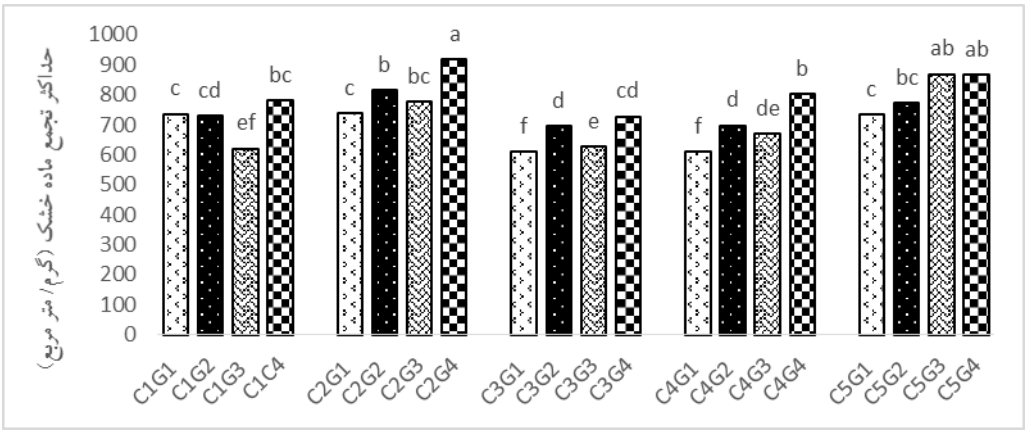
**میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.**

روند تغییرات سرعت رشد محصول در نظام‌های زراعی مختلف دارای تفاوت معنی‌داری بود. به‌طوری که ارقام لوبیا قرمز در نظام زراعی تلفیقی بیشترین کارایی را از نظر سرعت رشد محصول نسبت به سایر نظام‌های زراعی نشان دادند. به نظر می-

رسد که با کاربرد کودهای زیستی و آلی در کنار مصرف متعادل نهاده‌های شیمیایی، عناصر غذایی مورد نیاز در طی مراحل رشد بوته‌ها فراهم شده و این امر موجب کاهش رقابت برای جذب عناصر غذایی شده است و در نتیجه موجب بهبود شاخص‌های رشد مانند شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک شده است که این امر موجب افزایش سرعت رشد محصول و عملکرد دانه می‌شود. طباطبایی و همکاران (١٤٠٠) گزارش کردند که تلقیح با کودهای زیستی تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات توانست شاخص‌های رشد لوبیا قرمز شامل ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. همچنین محققان گزارش کردند که کاربرد بیوچار اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه لوبیا دارد (اطمینانی و همکاران، ٢٠٢١). دیگر پژوهشگران گزارش کردند که سرعت رشد نسبی لوبیا تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و منابع مختلف نیتروژن آلی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این پژوهشگران دلیل این امر را افزایش کارایی فتوسنتزی و توسعه برگ‌ها در بوته‌ها عنوان کردند (سانداوال و همکارارن، ٢٠٢٣)، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

**تجمع ماده خشک (TDM)**

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها اثر نظام زراعی در سطح احتمال پنج درصد، اثر رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم در سطح احتمال پنج درصد بر تجمع ماده خشک در ارقام لوبیا قرمز معنی‌دار گردید (جدول ٤). مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم نشان داد که بیشترین میانگین تجمع ماده خشک در رقم یاقوت (٩١٧/٢٧ گرم/ متر مربع) در نظام زراعی تلفیقی و کمترین میانگین آن به ترتیب در رقم افق (٦٠٨/٨٧ گرم/ متر مربع) در نظام زراعی کم‌نهاده و رقم افق (٦١٠/٠٧ گرم/ متر مربع) در نظام زراعی متوسط نهاده به دست آمد (شکل ٥). نظام‌های زراعی مورد بررسی نیز به لحاظ تجمع ماده خشک بیشتر، پاسخ‌های متفاوتی نشان دادند. در یک رتبه‌بندی به لحاظ تجمع ماده خشک بیشتر در نظام‌های زراعی به ترتیب می‌توان رقم یاقوت در نظام زراعی تلفیقی، رقم گلی در نظام زراعی پُرنهاده و ارقام دادفر و افق در نظام زراعی تلفیقی را عنوان نمود (شکل ٥). تجمع ماده خشک در رقم یاقوت نسبت به ارقام افق، دادفر و گلی در نظام زراعی تلفیقی به ترتیب به میزان ٢٤/٢٢، ١٢/٦٣ و ١٨/١٢ درصد افزایش نشان داد (شکل ٥).




**شکل ٥- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم بر حداکثر تجمع ماده خشک ارقام لوبیا قرمز**

**Cنظام‌های زراعی (اکولوژیک C1، تلفیقی C2، کم‌نهاده C3، متوسط نهاده C4 و پُرنهاده C5) و G ارقام لوبیا قرمز (افق G1، دادفر G2، گلی G3 و یاقوت G4)**

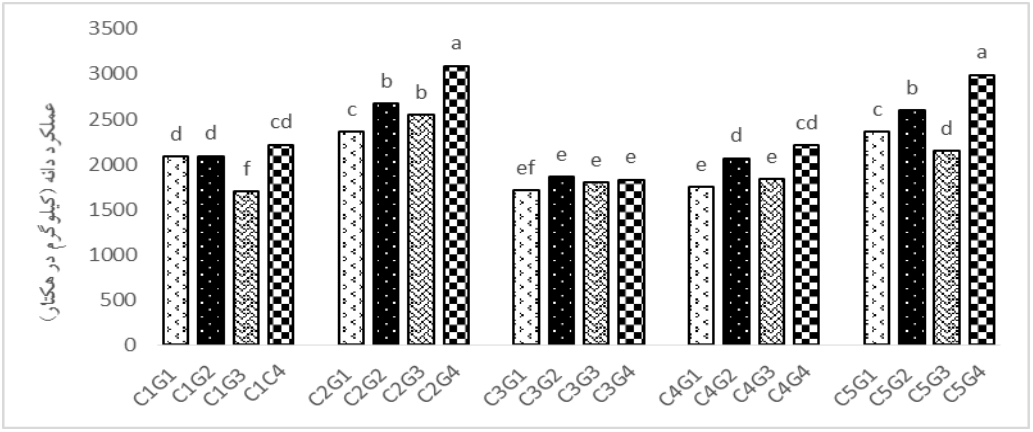
**میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.**

روند تغییرات تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در ارقام مورد بررسی تحت تأثیر نظام‌های زراعی مختلف تولید قرار گرفت. تولید بیشتر ماده خشک در نظام زراعی تلفیقی می‌تواند به‌دلیل افزایش تأمین مواد فتوسنتزی و در نتیجه برقراری تعادل بین اندام‌های رویشی و زایشی در گیاه باشد که می‌تواند موجب توسعه اندام‌های هوایی گیاه مانند شاخه و برگ‌ها شود که موجب افزایش تجمع ماده خشک و بهبود تولید زیست‌توده در لوبیا می‌گردد. صفاپور و همکاران (٢٠١١) گزارش کردند که تلقیح کودهای زیستی میکوریزا و *ریزوبیوم* همزیست لوبیا موجب بهبود خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام

لوبیا قرمز در مقایسه با شرایط عدم تلقیح گردید. همچنین محققان گزارش کردند که روند تغییرات شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی، سرعت رشد محصول و عملکرد زیست‌توده ارقام سویا تحت تأثیر تلقیح باکتری همزیست ( *Brady rizobium japonicum*) نسبت به تیمار عدم تلقیح افزایش یافت و روند این تغییرات از الگوی یکسانی تبعیت می‌کند (ملک و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین گزارش شده است که کاربرد بیوچار و تلقیح میکوریزا می‌تواند موجب بهبود جذب عناصر غذایی موجود در خاک گردد و خصوصیات رشد، صفات زراعی و ترکیبات بیوشیمیایی دانه ماش را بهبود بخشد (توران، ۲۰۲۱). پژوهشگران در بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی لوبیا گزارش نمودند که اثر استفاده از ورمی‌کمپوست در زراعت این گیاه بر خصوصیات رشد، سرعت فتوسنتز و تجمع ماده خشک مؤثر است. و همچنین موجب بهبود صفات عملکرد و اجزای عملکرد و افزایش غلظت پتاسیم و کلسیم در بافت برگ و ریشه این گیاه می‌گردد (بیک-خورمیزی و همکاران، ۲۰۱۶)، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

**عملکرد دانه**

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ٤) اثر نظام زراعی، رقم و همچنین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارقام لوبیا قرمز به لحاظ عملکرد دانه در نظام‌های زراعی مختلف، پاسخ‌های متفاوتی را نشان می‌دهند به‌طوری‌که بیشترین میانگین عملکرد دانه به ترتیب در رقم یاقوت (۳۰۹۲/٤ کیلوگرم در هکتار) در نظام زراعی تلفیقی و رقم یاقوت (۲۹۹۱/۵ کیلوگرم در هکتار) در نظام زراعی پُرنهاده (هر دو در یک گروه آماری)، و کمترین میانگین آن در رقم گلی (۱٦۹۵/۹ کیلوگرم در هکتار) در نظام زراعی اکولوژیک مشاهده شد (شکل ٦). عملکرد دانه در رقم یاقوت نسبت به ارقام افق، دادفر و گلی در نظام زراعی تلفیقی به ترتیب به میزان ۳۱/۰۱، ۱۵/۸۰ و ۲۱/٤۹ درصد افزایش یافت (شکل ٦). نظام‌های زراعی توانایی تولید عملکرد دانه متفاوتی را در این آزمایش نشان دادند. به‌طوری‌که عملکرد دانه در رقم یاقوت در نظام زراعی تلفیقی نسبت به نظام‌های زراعی اکولوژیک، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پُرنهاده به ترتیب به میزان ۱۳/۹۷، ۱٦/۹۰، ۱۳/۹۷ و ۳/۳۷ درصد افزایش نشان داد. عملکرد دانه در رقم گلی در نظام زراعی تلفیقی نسبت به نظام-های زراعی اکولوژیک، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پُرنهاده به ترتیب به میزان ۱۵/۰۱، ۱٤/۱۷، ۱۳/۸٤ و ۱۱/۸۲ درصد افزایش یافت (شکل ٦). عملکرد دانه در رقم دادفر در نظام زراعی تلفیقی نسبت به نظام‌های زراعی اکولوژیک، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پُرنهاده به ترتیب به میزان ۱۲/۷٦، ۱٤/۳۵، ۱۲/۹۲ و ۲/۸۹ درصد افزایش نشان داد. همچنین عملکرد دانه در رقم افق در نظام زراعی تلفیقی نسبت به نظام‌های زراعی اکولوژیک، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پُرنهاده به ترتیب به میزان ۱۱/۳۱، ۱۳/۷٦، ۱۳/٤۸ و ۳/۰٤ درصد افزایش نشان داد (شکل ٦).




**شکل ٦- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نظام زراعی و رقم بر عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز**

**Cنظام‌های زراعی (اکولوژیک C1، تلفیقی C2، کم‌نهاده C3، متوسط نهاده C4 و پُرنهاده C5) و G ارقام لوبیا قرمز (افق G1، دادفر G2، گلی G3 و یاقوت G4)**

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

کاربرد کودهای زیستی حاوی میکوریزا از طریق رشد بهتر ریشه‌ها و شاخسار، سبب تعادل بین نمو رویشی و زایشی ارقام لوبیا قرمز می‌شود و با بهبود ویژگی‌های اجزای عملکرد، می‌تواند عملکرد اقتصادی را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (خاوری و شاکرمی، ۱۳۹۹). تلقیح با ریزوبیوم می‌تواند تا حدی نیاز نیتروژن مورد نیاز برای رشد طبیعی و بهره‌وری بالای لوبیا را تأمین کند به‌طوری که شاهد افزایش گره‌سازی، زیست‌توده، تثبیت نیتروژن و اثر بخشی همزیستی گیاهان میزبان بر عملکرد اقتصادی از ویژگی‌های آن است (کارولین فیوریا و همکاران، ۲۰۲۱). کاربرد بیوچار به‌طور بالقوه می‌تواند تولید محصول را افزایش دهد. این خاصیت به بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی موجود در بیوچار نسبت داده می‌شود (سان و همکاران، ۲۰۱۹). کاربرد بیوچار و ورمی-کمپوست به تنهایی می‌تواند ظرفیت نگهداری کود در خاک را برای بهبود سرعت فتوسنتز در مرحله گل‌دهی افزایش دهد و در نتیجه موجب افزایش عملکرد اقتصادی محصول شود (سان و همکاران، ۲۰۲۰). ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد (خاک اصلاح نشده) تعداد گره، ارتفاع بوته، وزن برگ، کلروفیل، کارتنوئید و عملکرد اقتصادی لوبیا را افزایش می‌دهد (بلمسکین و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهش‌های مزرعه‌ای انجام‌شده اثر مثبت و معنی‌دار کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ریزوبیوم (سیاح-جانی عباسی و همکاران، ۲۰۲۰؛ خاوری و شاکرمی، ۱۳۹۹؛ رسچیا و همکاران، ۲۰۱۸؛ رازاکتانیا و همکاران، ۲۰۲۰) و کودهای آلی بیوچار (کوماری و همکاران، ۲۰۲۲؛ ولز و همکاران، ۲۰۱۸) و ورمی‌کمپوست (بلمسکین و همکاران، ۲۰۲۰؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۸) در زراعت حبوبات به‌ویژه ارقام لوبیا قرمز گزارش شده است، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد که شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز تحت تاثیر نظام زراعی تلفیقی نسبت به نظام‌های زراعی اکولوژیک، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پُرنهاده برتری معنی‌داری نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که نظام زراعی تلفیقی می‌تواند علاوه بر کاهش معنی‌دار مصرف نهاده-های شیمیایی (کود و سم) موجب افزایش حاصلخیزی خاک و تولید پایدار محصول ارقام لوبیا قرمز در بلندمدت در مقایسه با دیگر نظام‌های زراعی مورد بررسی گردد. کاهش مصرف نهاده-های شیمیایی و استفاده از کودهای زیستی و آلی با عرضه متعادل عناصر ریزمغذی مکمل، موجب افزایش بهره‌وری ارقام لوبیا قرمز در نظام زراعی تلفیقی شد، که به‌طور مثبت و معنی‌داری خصوصیات فیزیولوژیک رشد و عملکرد اقتصادی را افزایش داد که در نتیجه محصول نهایی ما می‌تواند دارای مقبولیت اقتصادی و زیست‌محیطی برای کشاورزان و مصرف‌کنندگان آن باشد. هم-چنین، افزایش شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در همه ارقام نشان داد که نظام زراعی تلفیقی می‌تواند نقش مفیدی در تقویت کارآیی توزیع و انتقال مواد فتوسنتزی (آسیمیلات‌ها) تولید شده در بین اندام‌های گیاه به ویژه اندام‌های تولید کننده عملکرد اقتصادی داشته باشد که این امر نشان دهنده توانایی بیشتر نظام-زراعی تلفیقی برای تولید پایدار لوبیا قرمز متناسب با اهداف آزمایش در جهت بهبود امنیت غذایی انسان‌ها و افزایش سلامت محصول تولید شده در مزرعه است. در نتیجه پیش‌بینی می‌شود که نتایج این مطالعه می‌تواند برای شکل‌دادن به روش‌های مدیریتی جدید در جهت افزایش تولید پایدار محصول لوبیا قرمز در کشور مفید باشد و می‌تواند استفاده بیش از حد کودها و سموم شیمیایی را کاهش دهد، با این مفهوم که تنها اقتصادی بودن محصول تولیدی دارای اهمیت نمی‌باشد و روش‌های مدیریت زراعی باید در جهت جلوگیری از کاهش حاصلخیزی خاک در بلندمدت و علاوه بر این حفظ منافع اجتماعی و زیست‌محیطی، بر اساس منابع موجود و قابل دسترس برای کشاورزان، بهینه‌سازی و بازسازی شوند، که در نتیجه می‌تواند به افزایش بهره‌وری و سودآوری مزارع تولید لوبیا قرمز در بلند مدت در کشور کمک کند.

## منابع

بهبودی، ف.، ا. اله دادی و ا. محمدی گل تپه. ۱۳۹٤. اثر ورمی‌کمپوست با منشأ کود گاوی آغشته به نانو ذرات اکسید مس و اکسید روی بر برخی خصوصیات زراعی لوبیا چیتی. مجله چژوهش‌های کاربردی زراعی. جلد ۲۸، شماره ۱۰٦: ۱۳٤-۱۲٦.

پورهادیان، ح.، ن. هداوند و ح. کاظم‌اصلانی. ۱٤۰۰. برهمکنش کود نیتروژن و ریزوبیوم بر توانایی فتوسنتزی و زراعی لوبیا قرمز رقم صیاد در شهرستان ازنا. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۱۱، شماره ۲: ۵۰-۳۷.

تنهایی، ر.، ع. یدوی. م. موحدی‌دهنوی و ا. صالحی. ۱۳۹۷. تاثیر قارچ میکوریزا و کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز در شرایط تنش خشکی. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۲۸، شماره ۳: ۲۹۱-۲۲۷.

خاوری، ه.، و ق. شاکرمی. ۱۳۹۹. ارزیابی اثر کودهای زیستی بر ویژگی‌های کلیدی وابسته با رشد گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله پژوهش‌های کاربردی زراعی. جلد ۳۳، شماره ۳: ۲۲-۱.

طباطبایی، س.س.، م. جهان و ک. حاج محمدنیا قالی‌باف. ۱۴۰۰. اثرات ریزوباکتری‌های تحریک کننده رشد و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش کمبود آب. مجله پژوهش‌های حبوبات ایران. جلد ۱۲، شماره ۲: ۱۵۱-۱۶۴.

مرزبان، ز.، م. عامریان و م. ممرآبادی. ۱۳۹۳. خصوصیات زراعی ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی در پاسخ به مصرف قارچ میکوریزا و باکتری مزوریزوبیوم به صورت کشت مخلوط و خالص. مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۸، شماره ۲: ۱۸۰-۱۶۵.

ملک، م.م.، س. گالشی. ا. زینلی. ح. عجم‌نوروزی و م. ملک. ۱۳۹۱. بررسی اثر شاخص سطح برگ، ماده خشک و سرعت رشد محصول بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سویا. مجله تولید گیاهان زراعی. جلد ۵، شماره ٤: ۱۷-۱.

موسوی، س.ا.، ع. شکوه‌فر. ش. لک. م. مجدم و م. علوی فاضل. ۱۴۰۲. تأثیر کاربرد همزمان نبتروکسین و بیوچار بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت رژیم‌های آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۱۷، شماره ۲: ۱۴۷-۱۶۸.

نوریانی، ح. ۱۳۹۷. تأثیر تنش خشکی و استفاده از کود ورمی‌کمپوست روی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۸، شماره ٤: ۱۱۵-۱۰۳.

Adem, M., H. Azadi, V. Spalevic, M. Pietrzykowski, and J. Scheffran. 2023. Impact of integrated soil fertility management practices on maize yield in Ethiopia. Soil tillage res. 227(1): 105595.

Agegnehu, G., and T. Amede. 2017. Integrated Soil Fertility and Plant Nutrient Management in Tropical Agro-Ecosystems: A Review. Pedosphere. 27(4): 662-680.

Almeida Leite, R., L. César Martins, L. Santos França Ferreira, E. Silva Barbosa, B. Rodrigues Alves, J. Zilli, A. Araújo, and E. ConceiçãoJesus. 2022. Co-inoculation of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* promotes growth and yield of common beans. Appl. Soil Ecol. 172(2): 104356.

Antil, RS., and D. Raj. 2020. Integrated Nutrient Management for Sustainable Crop Production and Improving Soil Health. In: Meena, R. (eds) Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_3.

Belmeskine, H., W.A. Ouameura, N. Dilmia, and A. Aouabed. 2020. The vermicomposting for agricultural valorization of sludge from Algerian wastewater treatment plant: impact on growth of snap bean *Phaseolus vulgaris* L. Heliyon. 6(8): 04679.

Beykkhormizi, A., P. Abrishamchi, A. Ganjeali, and M. Parsa. 2016. Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. J. Plant Nutr. 39(6): 883-893.

Etminani, A., KH. Mohammadi, and S.F. Saberali. 2021. Effect of organic and inorganic amendments on growth indices and seed yield of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) in competition with Amaranthus retroflexus. J. Plant Nutr. 44(3): 421-437.

Gupta, Sh., and S. Pandey. 2020. Enhanced salinity tolerance in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) plants using twin ACC deaminase producing rhizobacterial inoculation. Rhizosphere. 6(1): 100241.

Karoline Fioria, A., G. de Oliveira Gutuzzo, A. Wilson dos Santos Sanzovo, D. de Souza Andrade, A.L. Martinez de Oliveira, and E. Pains Rodrigues. 2021. Effects of Rhizobium tropici azide-resistant mutants on growth, nitrogen nutrition and nodulation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Rhizosphere 18: 100355.

Karuri, H. 2022. Root and soil health management approaches for control of plant-parasitic nematodes in sub-Saharan Africa. J. Crop Prot. 152(3): 105841.

Kihara, J., P. Boloa, M. Kinyuaa, S.S. Nyawira, and R. Sommer. 2020. Soil health and ecosystem services: Lessons from sub-Sahara Africa (SSA). Geoderma. 370(2): 114342.

Kihara, J., J. Manda, A. Kimaro, E. Swai, C. Mutungi, M. Kinyua, P. Okori, G. Fischer, F. Kizito, and M. Bekunda. 2022. Contributions of integrated soil fertility management (ISFM) to various sustainable intensification impact domains in Tanzania. Agric. Syst. 203(1): 103496.

Kumari, S., V. Kumar, R. Kothari, and P. Kumar. 2022. Effect of supplementing biochar obtained from different wastes on biochemical and yield response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.): An experimental study. Biocatal. Agric. Biotechnol. 43(1): 102432.

Ndung'u M., L.W. Ngatia, R.N. Onwonga, M.W. Mucheru-Muna, R. Fu, D.N. Moriasi, and K.F. Ngetich. 2021. The influence of organic and inorganic nutrient inputs on soil organic carbon functional groups content and maize yields. Heliyon. 7(2): e07881.

Phares, C.A, and S. Akaba. 2022. Co-application of compost or inorganic NPK fertilizer with biochar influences soil quality, grain yield and net income of rice. J. Integr. Agric. 21(12): 3600–3610.

Phares, C.A., A. Kofi, K.A. Frimpong, A. Danquah, A. Asare, and S. Aggor-Woananu. 2020. Application of biochar and inorganic phosphorus fertilizer influenced rhizosphere soil characteristics, nodule formation and phytoconstituents of cowpea grown on tropical soil. Heliyon. 6(10): 1–10.

Pingault, N., P. Caron, A. Kolmans, S. Lemke, C. Kalafatic, S. Zikeli, A. Waters-Bayer, C. Callenius, and Y-j. Qin. 2020. Moving beyond the opposition of diverse knowledge systems for food security and nutrition. J. Integr. Agric. 19(1): 291-293.

Razakatiana, A.T.E., J. Trap, R.H. Baohanta, M. Raherimandimby, C. Le Roux, R. Duponnois, H. Ramanankierana, and T. Becquer. 2020. Benefits of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on *Phaseolus vulgaris* planted in a low-fertility tropical soil. Pedobiologia (Jena). 83(1): 150685.

Recchia, G.H., E.R. Konzen, F. Cassieri, D.G.G. Caldas, and S.M. Tsai. 2018. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Leads to Differential Regulation of Drought-Responsive Genes in Tissue-Specific Root Cells of Common Bean. Front Microbiol. 9. doi:10.3389/fmicb.2018.01339.

Safapour, M., M.R. Ardakani, S. khaghani, F. Rejali, K. Zargari, M. Changizi, and M. Teimuri. 2011. Response of Yield and Yield Components of Three Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes to Co-Inoculation with Glomus intraradices and *Rhizobium phaseoli.* Am Eurasian J Agric Environ Sci. 11(3): 398-405.

Seyahjani Abbasi, E., M. Yarnia, F. Farahvash, M.B. Khorshidi Benam, and H. Asadi Rahmani. 2020. Influence of Rhizobium, Pseudomonas and Mycorrhiza on Some Physiological Traits of Red Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under different irrigation conditions. Legum. Res. 43(1): 83-86.

Sharma, A., R.P. Sharma, V. Katoch, and G.D. Sharma. 2018. Influence of vermicompost and split applied nitrogen on growth, yield, nutrient uptake and soil fertility in pole type french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in an Acid Alfisol. Legum. Res. 41(1): 126-131.

Sondawale, P., A.B. Kamble, and D.A. Sonawane. 2023. Response of rabi French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to sources of organic nitrogen. J. Pharm. Innov. 12(1): 1943-1953.

Sun, H., H. Zhang, W. Shi, M. Zhou, and Ma. Xiaofang. 2019. Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. Plant Soil Environ. 65(2): 83–89.

Sun, Y., N. Zhang, J. Yan, and S. Zhang. 2020. Effects of Soft Rock and Biochar Applications on Millet (*Setaria italica* L.) Crop Performance in Sandy Soil. Agronomy. 10(5): 669.

Tewari, G. S., N. Pareek, R. Chandra, K. P. Raverkar, and V. K. Singh. 2022. Influence of nutrient mobilizers on productivity and nutrient uptake in blackgram (*Vigna mungo* L.) crop under the Tarai region of Uttarakhand. Legum. Res. 45(9): 1106-1113.

Turan, V. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and pistachio husk biochar combination reduces Ni distribution in mungbean plant and improves plant antioxidants and soil enzymes. Physiol. Plant. 173(1): 418-429.

Velez, T.I., N.I. Moonilall, S. Reed, K. Jayachandran, and L.J. Scinto. 2018. Impact of melaleuca quinquenervia biochar on *Phaseolus vulgaris* growth, soil nutrients, and microbial gas flux. J. Environ. Qual. 47(6): 1487–1495.

Wawire, A. W., Á. Csorba, J. A. Tóth, E. Michéli, M. Szalai, E. Mutuma, and E. Kovács. 2021. Soil fertility management among smallholder farmers in Mount Kenya East region. Heliyon. 7(3): e06488.

Yu, Y., L., Wang, J. Lin, and Z. Li. 2022. Optimizing Agricultural Input and Production for Different Types of at-Risk Peasant Households: An Empirical Study of Typical Counties in the Yimeng Mountain Area of Northern China. Int. J. Environ. Res. Public Health. 19: 13938. https:// doi.org/10.3390/ijerph192113938.

# Effect of cropping systems with different levels of agrarian input on physiological growth indices and grain yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars

H. Khavari[1], A. Khourgami[1], M. Reza Mir Drikvand[1], K. Taleshi[1]

Received: 2023-07-16 Accepted: 2023-11-17

**Abstract**

In today's world, the reduction of soil fertility is the main biophysical limitation to improve yield of crops production and thus it is considered as a potential threat to achieve food security. In order to investigate the efficiency of agrarian inputs in different cropping systems for the sustainable production of red bean, this experiment was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design with three replications during growing season of 2020-2021 and 2021-2022 at the experimental field of beiranshahr city of Khorramabad in Lorestan Province, in the west of Iran. Five cropping systems with different levels of input use included Ecological, integrated, low input, medium input and high input and four red bean cultivars included Ofogh, Dadfar, Goli and Yaghot. The results showed that the highest average of Relative growth rate (RGR) in Yaghot variety in high input cropping system; The highest average of net assimilation rate (NAR) in Dadfar variety in high input cropping system; The highest average of leaf area index (LAI) in Dadfar variety in the integrated cropping system; The highest average of crop growth rate (CGR) observed in Dadfar variety in the integrated cropping system and the highest average of Total dry matter accumulation (TDM) was observed in the Yaghot variety in the integrated cropping system. The highest seed yield observed in Yaghot cultivar in integrated cropping system (3092.4 kg/ha$^{-1}$). seed yield in Yaqut cultivar increased by 31.01, 15.80 and 21.49 percent, respectively, compared to Ofogh, Dadfar and Goli cultivars in the integrated cropping system. Obtained results of this experiment showed that the integrated cropping system can bring the physiological growth indices and agricultural characteristics of red bean cultivars to the highest level compared to the ecological, low-input and medium-input cropping systems for Increase productivity and profitability in the farm.

**Keywords:** Food Security, Yield Improvement, Sustainable Production, Soil Fertility, Agrarian Input

1- Department of Agronomy, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.