

Original article

Effect of organic fertilizers on yield and growth indices of forage pea (*Pisum arvense* L.) under drought stress and supplementary irrigation conditions**Vahideh Ghorbani Ghoshchi¹, Jalal Jalilian^{2*}, Razieh Khlilzadeh³**¹. M.Sc. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran². Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran³. Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Received 30 May 2024; Revised: 15 July 2024; Accepted 21 July 2024

Extended abstract**Introduction**

Drought is one of the most severe environmental stresses affecting plant productivity. Drought stress disrupts molecular, biochemical, physiological, and morphological processes, as well as plant performance and quality (Ortiz et al., 2015). Supplemental irrigation is an effective strategy to mitigate water stress, improve water-use efficiency, reduce yield loss, and support sustainable production in arid and semi-arid regions. In general, supplemental irrigation significantly enhances the effectiveness of improved cultivars, chemical fertilizers, and herbicides (Tadayon and Emam, 2008). Long-term use of chemical fertilizers has negative consequences on the soil, ecosystems, and human health. Therefore, biological and organic fertilizers are increasingly used as alternatives to chemical fertilizers in sustainable agriculture. Vermicompost, produced by earthworms decomposing organic wastes such as animal manure and plant residues, has high porosity, good aeration, and high water-holding capacity. It also provides essential nutrients for plant growth (Arancon et al., 2004). Animal manure is another type of organic fertilizer that increases soil organic matter, enhances microbial activity, improves soil structure, enriches the plant nutrient supply, increases humus content, and enhances nutrient absorption (Albiach et al., 2001; Hamed et al., 2022). Forage pea is one of the oldest crops in the world, an annual plant belonging to the Fabaceae family and the Papilionaceae subfamily, and an important crop for forage production (Bishnoi et al., 2021). The importance of leguminous plants lies in their essential role in providing the required forage and nitrogen supply. Considering the excessive use of chemical fertilizers and the problems associated with them, there is a need to replace part of these fertilizers with non-chemical, particularly organic, alternatives. Moreover, few studies have investigated the effects of applying organic fertilizer and providing supplemental irrigation on forage pea growth and performance, which prompted the present study.

Materials and methods

To study the effect of organic fertilizers (10 t ha⁻¹ of vermicompost, 20 t ha⁻¹ of animal manure and without organic fertilizer (control)) and supplemental irrigation (one irrigation at 50% flowering stage, two irrigations at 50% flowering and 50% podding stages and no-irrigation (control)) on morphophysiological characteristics and grain filling components of forage pea, a factorial experiment

* Corresponding author: Jalal Jalilian; E-Mail: j.jalilian@urmia.ac.ir

arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications was carried out at the experimental farm of the Kora Sani Agricultural Services Center, Salmas County, West Azerbaijan Province, Iran, in 2022. At the end of the podding stage, the number of leaves, leaf length, leaflet length, leaflet width, and number of sub-branches were recorded. At the end of the growing season, after removing the marginal bushes, one square meter was taken from each plot, and plant height, total dry weight, stem dry weight, leaf dry weight, and grain yield were measured. The following equations were used to determine crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), total dry matter (TDM), and leaf area index (LAI):

$$\text{LAI} = e^{(a+bt+ct^2)}; \text{GR} = (b+2ct+3dt^2) \times e^{(a+bt+ct^2+dt^3)}; \text{RGR} = (b+2ct+3dt^2); \text{TDM} = e^{(a+bt+ct^2+dt^3)}$$

In these equations, a, b, c, and d are the coefficients of the equation, and t is the distance between sampling stages. Analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons were performed using SAS software (version 9.4). The main effects and interactions were evaluated using the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and discussion

Supplemental irrigation (one irrigation at 50% flowering stage and two irrigations at 50% flowering and podding stages) and the use of organic fertilizers (vermicompost and animal manure) improved the yield, morphological traits, and growth indices (TDM, LAI, RGR, and CGR) in forage pea. Using vermicompost and two irrigation at 50% flowering and podding stages resulted in the highest plant dry weight, plant height, number of leaves, and grain yield. The highest seed yield (876.8 kg ha⁻¹) was achieved with two supplemental irrigations and vermicompost application, while the lowest (161.1 kg ha⁻¹) was observed with no fertilizer application and no irrigation. Furthermore, under supplemental irrigation combined with vermicompost application, as well as under non-irrigation and animal manure application, the most pronounced effect was observed in increasing the LAI.

Conclusion

According to the findings of this study, applying two supplemental irrigations in combination with animal manure and vermicompost is recommended to improve yield, yield components, and growth indices. This management practice can mitigate the adverse effects of drought stress and enhance the growth and productivity of forage pea.

Keywords: Drought stress, Forage pea, Leaf area index, Manure, Vermicompost

تأثیر کودهای آلی بر عملکرد و شاخص‌های رشدی نخود علوفه‌ای (*Pisum arvense* L.) تحت شرایط تنش خشکی و آبیاری تکمیلی

وحیده قربانی قوشچی^۱، جلال جلیلیان^{۲*}، راضیه خلیل زاده^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی بوده که منجر به کاهش رشد و تولید گیاهان در سرتاسر جهان می‌گردد. استفاده از کودهای آلی می‌تواند در بهبود مقاومت گیاهان به تنش خشکی مؤثر باشد. به‌منظور بررسی تأثیر کودهای آلی بر خصوصیات مورفولوژیکی، آنالیزهای رشدی و عملکرد گیاه نخود علوفه‌ای در شرایط تنش خشکی و آبیاری تکمیلی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه مرکز خدمات کشاورزی کره‌سنی شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل کودهای آلی در سه سطح (کاربرد ورمی‌کمپوست به مقدار ده تن در هکتار، کاربرد کود دامی به مقدار بیست تن در هکتار و عدم کاربرد کود (شاهد)) و آبیاری تکمیلی در سه سطح (یک‌بار آبیاری در مرحله پنجاه‌درصد گلدهی، دو بار آبیاری در مراحل پنجاه‌درصد گلدهی و پنجاه‌درصد غلاف‌دهی و بدون آبیاری (شاهد)) بودند. نتایج نشان داد تنش ناشی از کم‌آبی سبب کاهش عملکرد و شاخص‌های رشدی گردید. از طرفی کاربرد کودهای آلی عملکرد و شاخص‌های رشدی را بهبود بخشید. بیشترین عملکرد دانه (۸/۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد ورمی‌کمپوست و پایین‌ترین آن (۱/۱۶۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون کاربرد کود و عدم آبیاری به دست آمد. کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست در شرایط بدون آبیاری، عملکرد دانه را به ترتیب ۱۰۶/۸ و ۹۹ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود افزایش دادند. بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد که انجام آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای آلی را می‌توان جهت بهبود رشد و تولید نخود علوفه‌ای تحت شرایط دیم توصیه کرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱	

مقدمه

گیاهان در طول رشد و نمو در شرایط طبیعی و کشاورزی در معرض تنش‌های محیطی مختلف قرار می‌گیرند. در این میان، خشکی یکی از شدیدترین تنش‌های محیطی است که بر بهره‌وری گیاه تأثیر می‌گذارد (Brodersen et al., 2019). صفات و فرآیندهای مختلف مولکولی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، اکولوژیکی و عملکرد و کیفیت گیاه تحت شرایط تنش خشکی مختل می‌شوند (Ortiz et al., 2015). مراحل رشدی گیاه، سن گیاه، نوع گونه گیاهی، شدت و مدت تنش و نیز وجود تنش‌های دیگر از عوامل

کلیدی هستند که بر واکنش گیاه به خشکی تأثیر می‌گذارند (Battaglia et al., 2020). کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود تحت شرایط تنش کم‌آبی در مطالعات قبادی و همکاران (Ghobadi et al., 2014) نشان داده شده است. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2006) گزارش کردند که ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، اندام هوایی و ریشه گیاه نخود تحت تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. اعلام گردیده است که تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های رشدی گیاه نخود از قبیل شاخص سطح

Yadav et al., 2019)، ماده خشک کل و عملکرد دانه نخود (Yadav et al., 2017) گردید.

یکی دیگر از کودهای آلی مورد استفاده در کشاورزی پایدار کودهای دامی است که به عنوان مهم ترین منابع غذایی گیاه به شمار می‌روند. کاربرد کودهای دامی موجب افزایش ماده آلی خاک، بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌ها، بهبود ساختمان خاک (Hamedi et al., 2022)، افزایش تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش هوموس و ماده آلی خاک، بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش دوام و پایداری ساختار خاک می‌شوند (Albiach et al., 2001). رضایی چپانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015) اظهار داشتند که کاربرد تلفیقی کود دامی، زیستی و شیمیایی سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد نخود گردید. نعمتی و همکاران (Nemati et al., 2017) بیان داشتند که عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص گیاه نخود با کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی افزایش یافت.

بقولات بعد از غلات دومین گروه مهم محصولات غذایی هستند که با داشتن توانایی منحصربه‌فرد در تثبیت زیستی نیتروژن در گره‌های ریشه خود از طریق باکتری‌های ریزوبیوم قادرند به خوبی در اکوسیستم‌ها رشد کنند (Prasad et al., 2019). کشت بقولات علوفه‌ای یک‌ساله در مناطق دیم در سال‌های آیش به دلیل ویژگی‌های مطلوب از قبیل دوره رویشی کوتاه، تثبیت نیتروژن، تحمل به تنش‌های محیطی و نیاز کودی پایین بسیار مطلوب است (Lamei et al., 2012). نخود علوفه‌ای یکی از قدیمی ترین محصولات زراعی در جهان، یک گیاه یک‌ساله متعلق به خانواده لگومینوز و زیرخانواده Papilionaceae و یک محصول قابل توجه برای تولید علوفه و جایگزینی برای جو و ماشک در تغذیه دام است (Bishnoi et al., 2021). در بسیاری از مناطق دنیا، نخود علوفه‌ای به صورت چرای مستقیم، علوفه‌ی سبز، علوفه‌ی خشک، دانه و گیاه پوششی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه با دارا بودن دوره رشدی کوتاه و توانایی تثبیت نیتروژن به عنوان یک گیاه مناسب در تناوب زراعی کشت می‌گردد (Cacan et al., 2019).

با توجه به اهمیت گیاهان بقولات از جمله نخود علوفه‌ای در جبران بخشی از کمبود علوفه‌ی کشور، همچنین مصرف این گیاه به صورت‌های مختلف از قبیل کود سبز، چرای

برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص می‌گردد (Saman et al., 2007).

آبیاری تکمیلی یکی از روش‌های مؤثر در جبران کمبود تنش کم‌آبی، بالا بردن کارایی مصرف آب، جلوگیری از کاهش عملکرد و دستیابی به تولید پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. به طور کلی اثر مهم آبیاری تکمیلی شامل بهبود عملکرد، ثبات تولید در سال‌های مختلف و بهبود شرایط جهت استفاده از ارقام اصلاح شده، کودهای شیمیایی و علف‌کش‌ها بدون توجه به پراکنش بارندگی‌های فصلی است (Tadayon and Emam, 2008). در پژوهشی عنوان گردید که آبیاری تکمیلی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود گردید (Oweis et al., 2004). افزایش ماده خشک کل، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و عملکرد دانه نخود تحت تأثیر آبیاری تکمیلی گزارش شده است (Moemeni et al., 2013).

کاربرد بیش از حد از کودهای شیمیایی در درازمدت اثرات سوئی بر سلامت انسان، خاک و محیط زیست دارد. از این رو، در کشاورزی پایدار از به کار بردن کودهای شیمیایی به علت تأثیر منفی بر تعادل زیستی اجتناب می‌شود و در راستای افزایش حاصلخیزی و سلامت خاک، حفظ محیط زیست، ایجاد چرخه برای تأمین عناصر غذایی و افزایش کیفیت محصولات، از کودهای زیستی و آلی استفاده می‌شود (Paczka et al., 2021). یکی از کودهای آلی قابل استفاده در کشاورزی پایدار، ورمی‌کمپوست است که در نتیجه فرآیندهای هضم و تبدیل ضایعات آلی از قبیل کودهای دامی و بقایای گیاهی ضمن عبور از دستگاه گوارش کرم‌های خاکی تولید می‌شود (Arancon et al., 2004). ورمی‌کمپوست دارای ویژگی‌هایی از قبیل ظرفیت بالای تهویه، خلل و فرج زیاد، زهکشی مناسب، پتانسیل بالای نگهداری آب، میزان کافی عناصر غذایی است. هم‌چنین استفاده از ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار سبب افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌شود (Arancon et al., 2004). عنوان شده است که مصرف سه تن در هکتار ورمی‌کمپوست، سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود گردید (Jat and Ahlawat, 2006). هم‌چنین اعلام گردیده است که ورمی‌کمپوست سبب افزایش سطح برگ در گیاه نخود گردید (Amiri et al., 2017). ورمی‌کمپوست سبب افزایش سرعت رشد نسبی نخود (Seth and Kumar, 2017).

مستقیم، علوفه خشک و تر و نیز نقش آن در کاهش فرسایش خاک و تأمین نیتروژن جهت بهبود رشد گیاه بعد از خود و نیز با عنایت به مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و مشکلات ناشی از آن‌ها و لزوم جایگزینی بخشی از آن‌ها توسط کودهای غیرشیمیایی به‌ویژه کودهای آلی، در کنار مطالعات اندک انجام گرفته در خصوص واکنش‌های رشد و عملکرد نخود علوفه‌ای به کاربرد کودهای آلی و آبیاری تکمیلی سبب گردید تا این پژوهش طراحی و اجرا گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۴۰۱ در مزرعه مرکز خدمات کشاورزی کره‌سنی شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شهرستان سلماس دارای مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا است. تیمارهای آزمایشی شامل کودهای آلی در سه سطح (کاربرد ورمی کمپوست به مقدار ده تن در هکتار، کاربرد کود دامی به مقدار بیست تن در هکتار و عدم کاربرد کود آلی (شاهد)) و آبیاری تکمیلی در سه سطح (یک‌بار آبیاری، معادل ۳۰۰ مترمکعب در هکتار در مرحله پنجاه‌درصد گلدهی، دو بار آبیاری، معادل ۶۰۰ مترمکعب در هکتار در مراحل پنجاه‌درصد گلدهی و پنجاه‌درصد غلاف‌دهی و بدون آبیاری (شاهد)) بود. خاک مزرعه آزمایش لومی با میزان $pH=7/9$ هدایت الکتریکی $1/24$ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی $1/3$ درصد، نیتروژن $0/3$ درصد و عصاره اشباع ۴۴ درصد بود. همچنین ورمی‌کمپوست مورد استفاده دارای $pH=8/01$ هدایت الکتریکی $2/68$ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت کربن به نیتروژن $16/04$ ، کربن آلی $20/38$ درصد و نیتروژن $1/27$ درصد است.

در اوایل پاییز زمین موردنظر ابتدا شخم زده شد و سپس اقدام به دیسک‌زنی، تسطیح زمین و ایجاد جوی پشته گردید. ۲۷ کرت آزمایشی به ابعاد $6 \times 1/5$ مترمربع آماده گردید و کودهای آلی بر اساس نقشه طرح هم‌زمان با آماده‌سازی و قبل از کاشت با خاک مزرعه در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری مخلوط گردیدند. کاشت به‌صورت دستی در ۲۴ اسفند به‌صورت خشکه‌کاری انجام گرفت. در طول فصل رشد بر اساس نیاز وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. تیمارهای آبیاری بر اساس نقشه طرح انجام گرفت. زمان

برداشت ۱۶ تیر (مرحله رسیدگی) بود. در مرحله پایان غلاف‌دهی، صفات تعداد برگ، طول برگ، طول برگچه، عرض برگچه و تعداد شاخه فرعی اندازه‌گیری شدند. در پایان فصل رشد پس از حذف بوته‌های حاشیه، از هر کرت یک مترمربع برداشت شد و صفات ارتفاع بوته، وزن خشک کل، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید.

شاخص‌های رشدی

۱۵ روز پس از سبز شدن و هر ده روز یک‌بار ۵ بوته به روش تخریبی جهت بررسی شاخص‌های رشدی برداشت و به مدت ۷۲ ساعت تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی در آون تهویه‌دار در دمای ۷۵ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم توزین گردید. وزن خشک کل، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی با استفاده از روابط ۱ تا ۴ و به‌صورت زیر برآورد شدند (Seyed Sharifi et al., 2014).

$$TDM=e^{(a+bt+ct^2+dt^3)} \quad [1]$$

$$LAI=e^{(a+bt+ct^2)} \quad [2]$$

$$CGR=(b+2ct+3dt^2) \times e^{(a+bt+ct^2+dt^3)} \quad [3]$$

$$RGR=(b+2ct+3dt^2) \quad [4]$$

در این روابط a ، b ، c و d ضرایب معادله و t فاصله بین مراحل نمونه‌برداری است.

برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

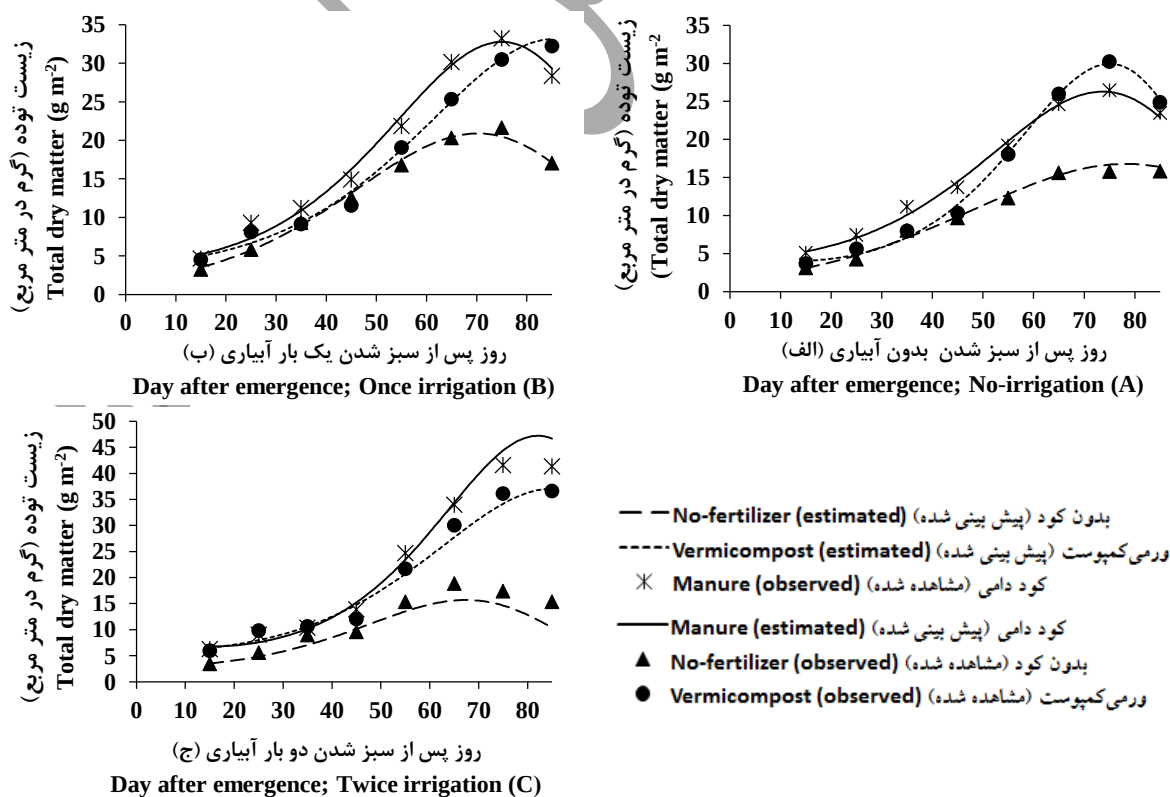
نتایج و بحث

زیست‌توده

نتایج حاصل از روند تغییرات زیست‌توده گیاه نخود علوفه‌ای در طول دوره رشد نشان می‌دهد که تجمع ماده خشک این گیاه در تمام تیمارهای موردبررسی از یک الگوی نسبتاً یکسانی برخوردار است (شکل ۱-الف تا ۱-ج). بدین‌صورت که روند تغییرات زیست‌توده در ابتدای فصل رشد (۱۵ روز بعد از سبز شدن) در حد پایین بوده ولی با گذشت زمان به سبب افزایش سطح برگ و به‌تبع آن افزایش فتوسنتز، تجمع ماده خشک نیز بیشتر گردیده و در ۷۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسیده است. از طرفی در انتهای فصل رویشی به‌واسطه کاهش ظرفیت فتوسنتزی، پیری و ریزش برگ‌ها منحنی روند زیست‌توده گیاه حالت کاهشی به خود

و پس از رسیدن به حداکثر خود در انتهای مراحل رشد به دلیل افزایش سن برگ‌ها و ریزش آن‌ها از میزان زیست‌توده گیاهی کاسته می‌شود (Narimani et al., 2019). عنوان شده است که کاهش زیست‌توده گیاهی تحت تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ظرفیت فتوسنتزی و کاهش تولید آسیمیلات به دلیل محدودیت‌های ناشی از کم‌آبی بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد (Lawlor and Cornic, 2002). اوئیس و همکاران (Oweis et al., 2004) بیان داشتند که تنش کم‌آبی باعث کاهش زیست‌توده بقولات می‌گردد، ولی افزایش تعداد دفعات آبیاری تکمیلی محتوای زیست‌توده گیاهی را بهبود می‌بخشد. حامدی و همکاران (Hamed et al., 2022) اظهار داشتند که کودهای آلی از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک و تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه می‌توانند سبب بهبود فتوسنتز شده و در نتیجه موجب افزایش زیست‌توده گیاهی گردند. در پژوهشی مشخص گردید که کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست سبب بهبود تجمع زیست‌توده در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی گردید (Zalaghi et al., 2019).

گرفته است (شکل ۱-الف تا ۱-ج). اثر تیمارهای آبیاری نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی در مقایسه با عدم آبیاری سبب بهبود و افزایش ماده خشک تولیدی گردید (شکل ۱-ب و ۱-ج). تحت شرایط بدون آبیاری کاربرد ورمی‌کمپوست بیش‌ترین تأثیر را در افزایش ماده خشک تولیدی داشت (شکل ۱-الف). این در حالی است که تحت شرایط دو بار و یک‌بار آبیاری تکمیلی کاربرد کود دامی بیش‌ترین تأثیر را در بهبود زیست‌توده گیاهی دارا بود (شکل ۱-ب و ۱-ج). به‌طوری‌که در ۷۵ روز پس از سبز شدن بالاترین زیست‌توده گیاه $41/55$ گرم در مترمربع در حالت دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد کود دامی به دست آمد (شکل ۱-ج). پایین‌ترین میزان زیست‌توده گیاهی ($15/8$ گرم در مترمربع) نیز تحت شرایط بدون آبیاری و بدون استفاده از کود مشاهده گردید (شکل ۱-الف). نمودار روند تجمع زیست‌توده در اکثر گیاهان زراعی به‌صورت سیگموئیدی است. بدین‌صورت که سرعت تجمع زیست‌توده در ابتدای مراحل رشد به‌صورت اندک و تدریجی است و با گذشت زمان و بیشتر شدن تعداد برگ و شاخه و به‌تبع آن افزایش فتوسنتز شیب تجمع زیست‌توده نیز افزایش می‌یابد



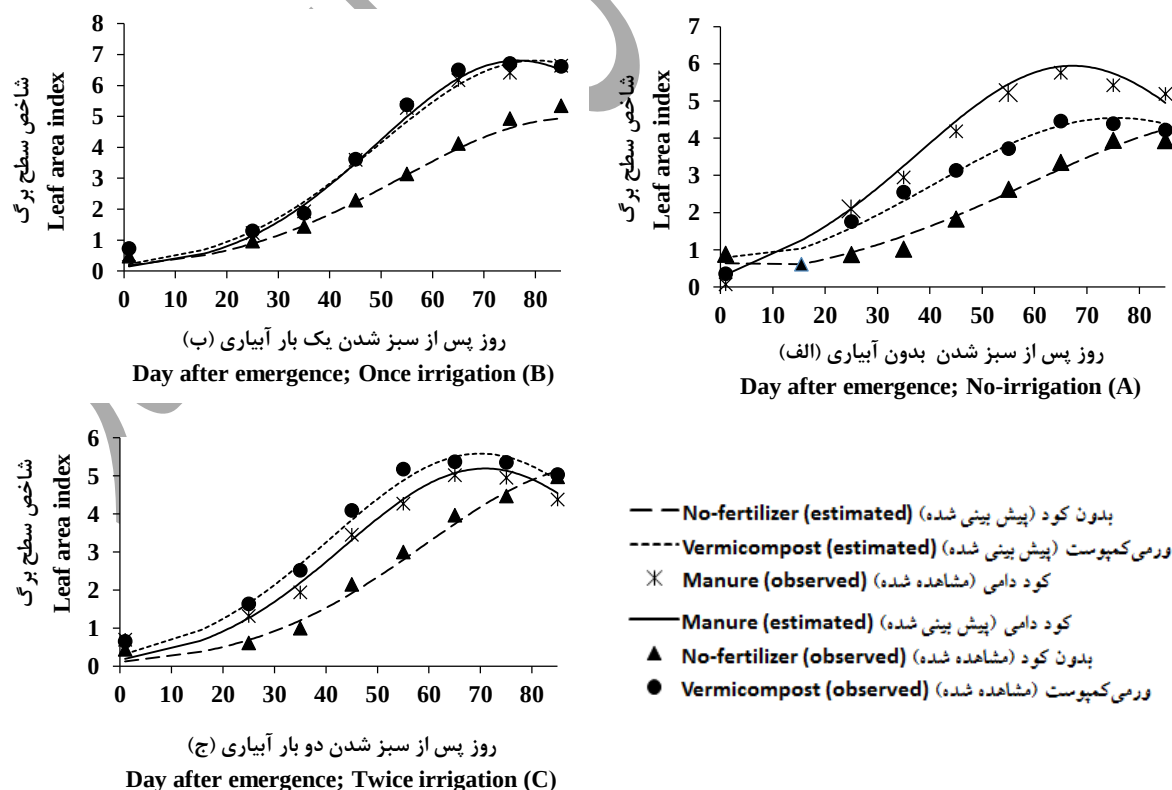
شکل ۱. تأثیر کاربرد کودها بر روند تجمع زیست‌توده نخود علوفه‌ای تحت تیمارهای آبیاری تکمیلی

Fig. 1. Effect of fertilizer application on the biomass accumulation process of forage pea under supplementary irrigation treatments

شاخص سطح برگ

روند تغییرات شاخص سطح برگ نیز مشابه روند تغییرات زیست‌توده است. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ در تمامی تیمارهای مورد مطالعه تا حدوداً ۷۰ روز بعد از سبز شدن افزایش یافته و سپس از روند کاهشی برخوردار بوده است (شکل ۲-الف تا ۲-ج). در کل آبیاری تکمیلی نسبت به عدم آبیاری سبب افزایش شاخص سطح برگ گردیده است. هم-چنین تحت شرایط دو بار آبیاری تکمیلی و نیز یک‌بار آبیاری تکمیلی کاربرد ورمی‌کمپوست مطلوب‌ترین اثر را در بهبود شاخص سطح برگ نشان داد (شکل ۲-ب و ۲-ج). از طرفی تحت شرایط بدون آبیاری کاربرد کود دامی تأثیر بالایی در افزایش شاخص سطح برگ داشته است (شکل ۲-الف). نتایج نشان داد که تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست تحت شرایط یک‌بار آبیاری تکمیلی حداکثر شاخص سطح برگ (۶/۵) (شکل ۲-ب) و تیمار عدم استفاده از کود و عدم آبیاری تکمیلی حداقل شاخص سطح برگ (۳/۳۴) (شکل ۲-الف) را به خود اختصاص دادند. گیاهان تحت شرایط تنش کم‌آبی از طریق پیری و ریزش زودهنگام برگ‌ها و یا از طریق لوله کردن آن‌ها

شاخص سطح برگ خود را کاهش می‌دهند (Zhang et al., 2018). گزارش گردیده است که تحت تنش خشکی شاخص سطح برگ گیاه نخود کاسته می‌شود (Pardo et al., 2000). دلیل کاهش سطح برگ تحت شرایط عدم آبیاری نسبت به آبیاری تکمیلی را می‌توان به کاهش مواد فتوسنتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ و افزایش پیری برگ در شرایط تنش نسبت داد (Betran et al., 2003). سامان و همکاران (Thaman et al., 2007) گزارش دادند که فراهمی رطوبت در مرحله گلدهی گیاه نخود نقش مهمی را در بهبود شاخص سطح برگ و دوام آن و نیز افزایش فتوسنتز جاری برگ دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که کودهای آلی از طریق فراهم کردن عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن سبب افزایش رشد رویشی گیاه گردیده و در نتیجه موجب افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ می‌شوند (Tahami Zarandi et al., 2010). افزایش شاخص سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی با کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست گزارش گردیده است (Zalaghi et al., 2019).



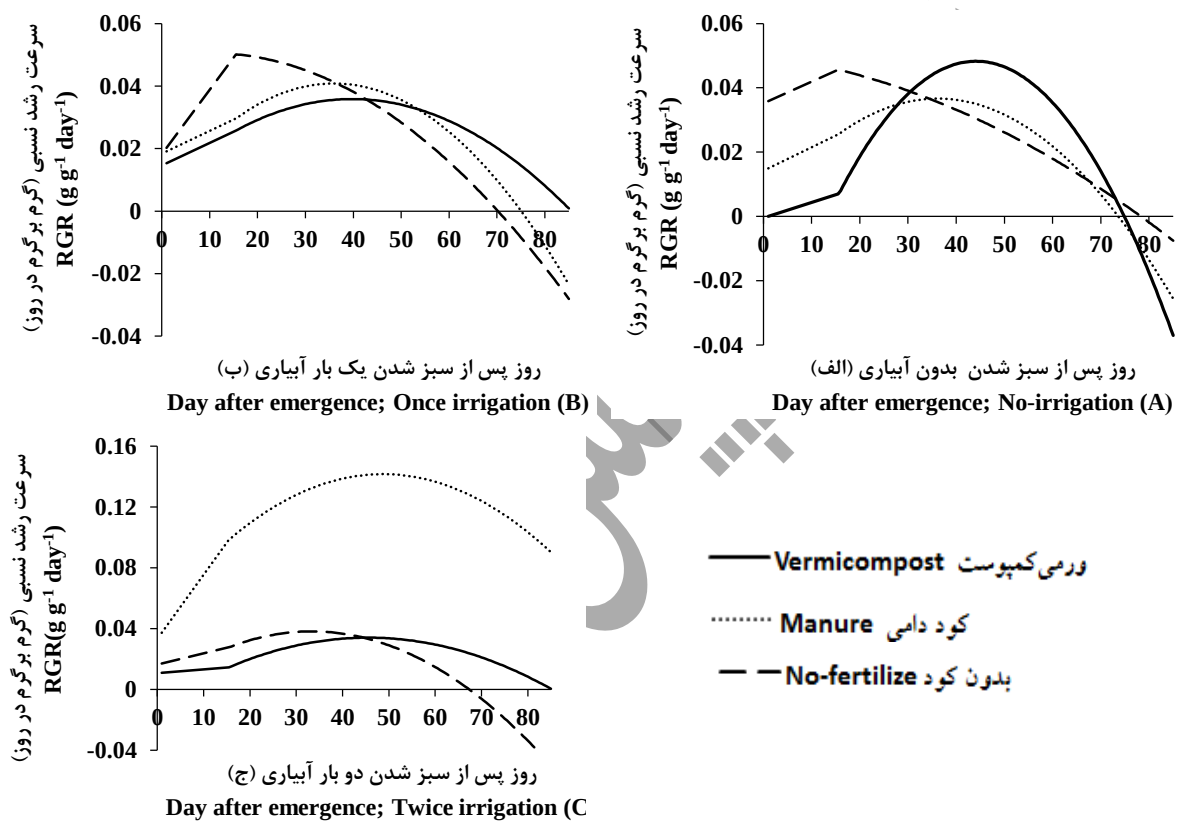
شکل ۲. تأثیر کاربرد کودها بر شاخص سطح برگ نخود علوفه‌ای تحت تیمارهای آبیاری تکمیلی

Fig. 2. Effect of fertilizer application on leaf area index of forage pea under supplementary irrigation treatments

سرعت رشد نسبی

بررسی روند تغییرات سرعت رشد نسبی گیاه نخود علوفه‌ای تحت شرایط تیمارهای آبیاری و کودهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل ۵۰ درصد گل-دهی و ۵۰ درصد غلاف‌دهی میزان سرعت رشد نسبی را در مقایسه با تیمار یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و عدم آبیاری بهبود بخشید. از طرفی کاربرد کودهای

دامی و ورمی کمپوست نیز در مقایسه با عدم کاربرد کود سبب بهبود این شاخص گردید. همان‌طور که در شکل ۳-الف و ۳-ب مشاهده می‌گردد سرعت رشد نسبی گیاه در شرایط عدم کاربرد کود از همان ابتدا روند نزولی را داشت در صورتی که با کاربرد کود دامی این شاخص تا ۳۵ روز و با کاربرد ورمی کمپوست تا ۴۵ روز پس از سبز شدن افزایش نشان داد و سپس حالت نزولی به خود گرفت (شکل ۳-الف و ۳-ب).



شکل ۳. تأثیر کاربرد کودها بر روند سرعت رشد نسبی نخود علوفه‌ای تحت تیمارهای آبیاری تکمیلی

Fig. 3. The effect of fertilizer application on the relative growth rate (RGR) of forage pea under supplementary irrigation treatments

آبیاری، کود ورمی کمپوست و در شرایط یک و دو بار آبیاری تکمیلی کود دامی مطلوب‌ترین تیمارها برای بهبود سرعت رشد نسبی گیاه نخود علوفه‌ای مشاهده شدند (شکل ۳-الف تا ۳-ج). پاروادا و همکاران (Parwada et al., 2022) در مطالعه‌ای بر روی گیاه نخود بیان داشتند که در انتهای فصل رشد به دلیل افزایش تنفس گیاه و منحرف شدن انرژی از مسیرهای رشدی گیاه، میزان سرعت رشد نسبی افت بیشتری را نشان می‌دهد. همچنین در پایان دوره رشدی به دلیل رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها و افزایش تنفس آن‌ها و از طرفی

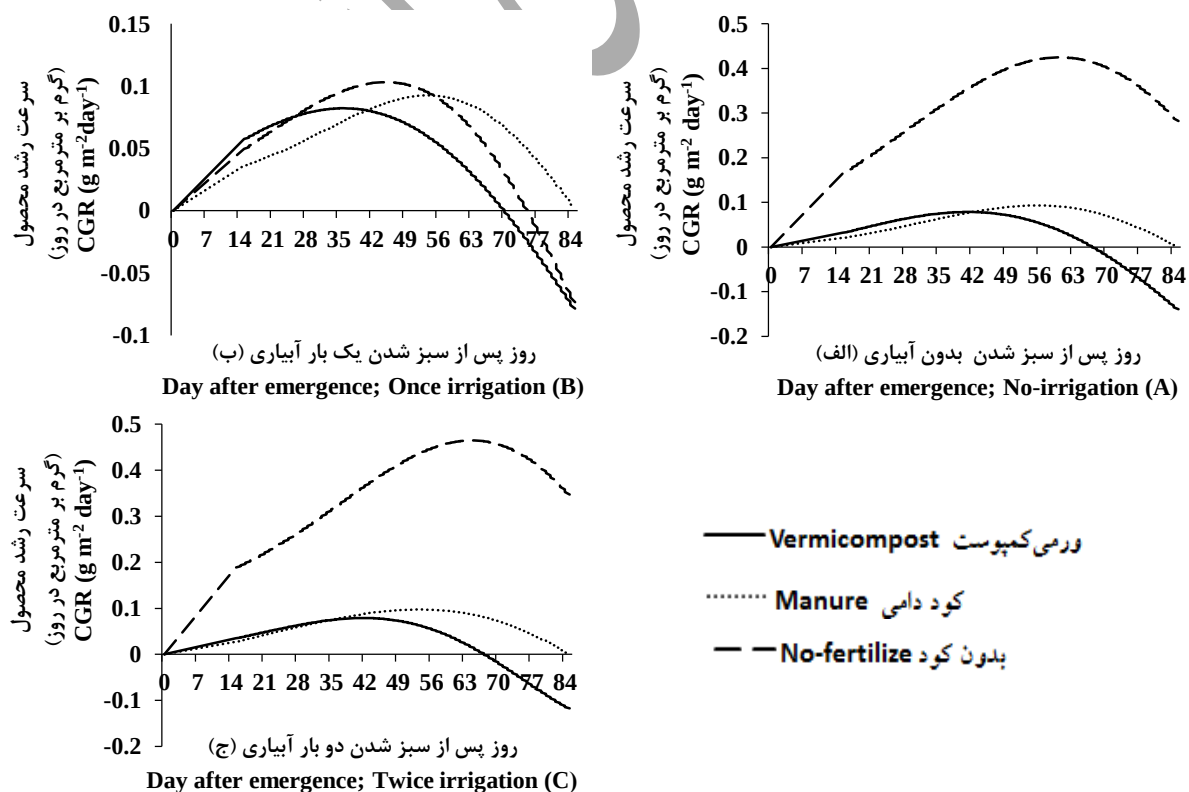
از طرفی در شرایط دو بار آبیاری (شکل ۳-ج) سرعت رشد نسبی در تیمار عدم کاربرد کود تا ۳۳ روز پس از سبز شدن افزایش داشته که نشان‌دهنده تأثیر دو بار آبیاری تکمیلی در مقایسه با یک بار آبیاری و نیز شرایط بدون آبیاری بر این گیاه است. همچنین کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست نیز در این شرایط سبب بهبود سرعت رشد نسبی گردیده است، به‌طوری‌که با استفاده از این کودها سرعت رشد نسبی تا ۵۰ روز پس از سبز شدن افزایش یافته و سپس از روند نزولی برخوردار بوده است (شکل ۳-ج). در کل تحت شرایط بدون

به خاطر پیری و ریزش برگ‌ها سرعت رشد نسبی عدد منفی را نشان می‌دهد (Rezaeyan Zadeh et al., 2011). حسن-پور (Hassanpoor, 2023) گزارش کرد که تنش خشکی باعث کاهش سرعت رشد نسبی گیاه نخود گردید. صفایی و همکاران (Safaei et al., 2017) بیان داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش سرعت رشد نسبی گیاه گلرنگ گردید. افزایش سرعت رشد نسبی گونه‌های مختلف پیاز تحت تأثیر کاربرد کودهای ورمی‌کمپوست و دامی گزارش شده است (Singh and Singh, 2014).

سرعت رشد محصول

روند سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به صورت آهسته بود. سپس ۲۵ روز پس از سبز شدن افزایش قابل توجهی را به واسطه افزایش سطح برگ و افزایش دریافت تشعشعات فتوسنتزی و در نتیجه افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک دارا بود و پس از آن حالت نزولی پیدا کرد و حتی در برخی تیمارها در اواخر دوره رشد منفی شد (شکل ۴-الف تا ۴-ج). حالت نزولی روند سرعت رشد محصول در اواخر دوره رشد را می‌توان به وقوع پیری، کاهش سطح برگ و مقدار

فتوسنتز، نسبت داد. باین وجود کاربرد تیمارهای کودی سبب بهبود طول دوره سرعت رشد محصول گردید. به طوری که تحت شرایط بدون آبیاری سرعت رشد محصول در تیمار عدم مصرف کود ۴۰ روز بعد از سبز شدن شروع به کاهش کرد، در صورتی که در تیمارهای کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست به ترتیب ۶۰ و ۵۵ روز پس از سبز شدن این کاهش اتفاق افتاد (شکل ۴-الف). همچنین تحت شرایط یک بار آبیاری تکمیلی این کاهش سرعت رشد محصول در شرایط بدون کاربرد کود، کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست به ترتیب ۴۰، ۵۰ و ۵۵ روز پس از سبز شدن مشاهده گردید (شکل ۴-ب). در نهایت در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی ۴۵ روز بعد از سبز شدن افت روند سرعت رشد محصول اتفاق افتاد. باین حال این میزان در تیمار کود دامی به ۶۵ روز و در تیمار ورمی-کمپوست به ۵۵ روز افزایش پیدا کرده است (شکل ۴-ج). همچنین بهترین تأثیر مطلوب در افزایش سرعت رشد محصول هم در شرایط بدون آبیاری و هم در شرایط انجام آبیاری تکمیلی مربوط به تیمار کاربرد کود دامی است (شکل ۴-الف تا ۴-ج). مطالعات نشان داده است که تحت شرایط تنش خشکی سرعت رشد محصول گیاه نخود کاهش می‌یابد



شکل ۴. تأثیر کاربرد کودها بر روند سرعت رشد محصول نخود علوفه‌ای تحت تیمارهای آبیاری

Fig. 4. The effect of fertilizer application on the crop growth rate (CGR) of forage pea crop under irrigation treatments

چشم‌بلبلی گردید (Zalaghi et al., 2019). افزایش محتوی ماده آلی، بهبود سیستم ریشه‌ای، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود ساختار فیزیکی خاک از عوامل افزایش سرعت رشد محصول تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی است (Parsa et al., 2011).

وزن خشک، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آبیاری و کود بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). هم‌چنین صفات ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، ساقه و کل و تعداد شاخه فرعی اولیه تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری در کود تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱).

(Pardo et al., 2000). کاهش سرعت رشد محصول در اثر تنش خشکی را می‌توان به کاهش فشار تورژسانس، بسته شدن روزنه‌ها و نهایتاً افت جذب عناصر غذایی نسبت داد که مجموع این عوامل سبب کاهش کارایی ظرفیت فتوسنتزی گیاه شده و در نتیجه سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (Pardo et al., 2000). انوار و همکاران (Anwar et al., 2003) نشان دادند که آبیاری تکمیلی سبب افزایش حداکثر سرعت رشد محصول در گیاه نخود گردید. دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی و نهایتاً گسترش کانوپی گیاه دلیل بیشتر بودن سرعت رشد محصول در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط بدون آبیاری عنوان شده است (Kibe et al., 2006). در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد دامی و ورمی‌کمپوست سبب بهبود سرعت رشد محصول گیاه لوبیا

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر آبیاری و کود بر وزن خشک، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی نخود علوفه‌ای.

Table 1. Analysis of variance of irrigation and fertilizer on dry weight, plant height and number of sub-branches of forage pea

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن خشک کل	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	تعداد شاخه فرعی اولیه
Source of variations	df	Plant height	Total dry weight	Leaf dry weight	Stem dry weight	Number of sub-branches
(Block)	2	1343.7 ^{ns}	28635.6 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.74 ^{ns}	0.13 ^{ns}
(Irrigation)	2	124789.8 ^{**}	4605602.8 ^{**}	5.51 ^{**}	8.52 ^{**}	6.49 ^{**}
(Fertilizer)	2	203876.8 ^{**}	2377616.6 ^{**}	5.39 ^{**}	23.41 ^{**}	6.61 ^{**}
آبیاری × کود	4	29723.5 ^{**}	869083.1 ^{**}	0.803 ^{**}	2.67 ^{**}	0.84 ^{**}
(Irrigation * Fertilizer)						
(Error)	16	3043.8	14498.01	0.14	0.32	0.047
C.V.(%)	-	8.75	6.08	9.17	10.48	8.42

^{ns}, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

برگ (۵/۸۴ گرم) در ترکیب تیماری استفاده از ورمی-کمپوست تحت شرایط دو بار آبیاری به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را با کاربرد کود دامی در چنین سطح آبیاری نشان نداد (جدول ۲). تیمار بدون آبیاری و بدون استفاده از کود پایین‌ترین وزن خشک برگ (۲/۸۳ گرم) را به خود اختصاص داد (جدول ۲). از طرفی حداکثر وزن خشک کل (۳۷۲۲/۲۲ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد ورمی‌کمپوست و حداقل آن (۱۲۶۶/۸۳ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری بدون آبیاری تکمیلی و بدون استفاده از کود حاصل شد (جدول ۲).

کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها و نیز انجام آبیاری تکمیلی در مقایسه با عدم انجام آبیاری سبب بهبود وزن خشک ساقه، برگ و کل گیاه نخود علوفه‌ای گردید. بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ساقه در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست تحت شرایط دو بار آبیاری (۸/۶ گرم) و یک بار آبیاری (۷/۶۸ گرم) مشاهده گردید (جدول ۲). کم‌ترین وزن خشک ساقه (۳/۶۹ گرم) نیز متعلق به ترکیب تیماری عدم کاربرد کود در شرایط یک بار آبیاری تکمیلی بود که با ترکیبات تیماری دو بار آبیاری و عدم کاربرد کود و عدم مصرف کود و نیز کاربرد کود دامی در شرایط بدون آبیاری از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). هم‌چنین بالاترین وزن خشک

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر ترکیبات تیماری بر وزن خشک، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی نخود علوفه‌ای.

Table 2. Mean comparison the effects of irrigation × fertilizer on dry weight, plant height and number of sub-branches of forage pea

ترکیبات تیماری Combination of treatments	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک کل Total dry weight Kg ha ⁻¹	ارتفاع بوته Plant height mm	تعداد شاخه فرعی اولیه Number of sub-branches
بدون آبیاری × بدون کود No-irrigation * No-fertilizer	3.97 ^d	2.83 ^e	1266.83 ^f	469.8 ^{cd}	1.16 ^f
بدون آبیاری × کود دامی No-irrigation * Manure	4.05 ^d	3.33 ^{de}	1372.22 ^{ef}	490.8 ^{cd}	2.4 ^d
بدون آبیاری × ورمی کمپوست No-irrigation * Vermicompost	5.06 ^c	4.32 ^{bc}	1450 ^{def}	551.87 ^c	2.4 ^d
یک بار آبیاری × بدون کود Once irrigation * No-fertilizer	3.69 ^d	3.61 ^{cd}	1550 ^{de}	423.07 ^d	1.63 ^e
یک بار آبیاری × کود دامی Once irrigation * Manure	5.74 ^{bc}	3.71 ^d	1550 ^{de}	715.33 ^b	2.26 ^d
یک بار آبیاری × ورمی کمپوست Once irrigation * Vermicompost	7.68 ^a	4.71 ^b	2322.22 ^c	808.87 ^b	2.8 ^c
دو بار آبیاری × بدون کود Twice irrigation * No-fertilizer	4.07 ^d	3.68 ^{cd}	1594.44 ^d	507 ^{cd}	2.33 ^d
دو بار آبیاری × کود دامی Twice irrigation * Manure	6.06 ^b	5.57 ^a	2972.22 ^b	777.4 ^b	3.3 ^b
دو بار آبیاری × ورمی کمپوست Twice irrigation * Vermicompost	8.63 ^a	5.84 ^a	3722.22 ^a	927.73 ^a	5.06 ^a
LSD _{5%}	0.98	0.66	208.41	95.49	0.37

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each column show non-significant difference

عدد) از ترکیب تیماری بدون آبیاری و بدون مصرف کود و بیش‌ترین آن از ترکیب تیماری مصرف ورمی کمپوست در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی (۵/۰۶ عدد) حاصل گردید (جدول ۲). کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست نسبت به عدم کاربرد آن‌ها ارتفاع بوته را در شرایط بدون آبیاری به ترتیب ۴/۴ و ۱۷/۴ درصد افزایش دادند (جدول ۲). هم‌چنین تعداد شاخه فرعی اولیه تحت شرایط بدون آبیاری با کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست ۱۰۶ درصد بهبود یافت (جدول ۲).

تنش‌های محیطی از طریق تأثیر منفی بر کلروپلاست گیاه موجب کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه در تولید کربوهیدرات‌ها می‌شوند که در نهایت کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را سبب می‌شود (Togun et al., 2004). از طرفی تنش خشکی سبب کاهش رشد و توسعه برگ‌ها می‌شود که آن نیز به نوبه خود منجر به کاهش سطح برگ و کاهش کارایی مصرف نور شده و در نهایت موجب محدود شدن فتوسنتز و کاهش وزن خشک گیاه می‌گردد (Ashraf and Foolad, 2007). پژوهش‌های گوناگون تأثیر آبیاری در

بر اساس نتایج مشخص گردید که کاربرد کود دامی در مقایسه با عدم کاربرد آن تحت شرایط بدون آبیاری، وزن خشک ساقه، برگ و کل را به ترتیب ۲، ۱۷/۶ و ۸/۳ درصد افزایش داد (جدول ۲). از طرفی مشاهده گردید که استفاده از ورمی کمپوست در شرایط بدون آبیاری وزن خشک ساقه را به ۲۷/۴ درصد، وزن خشک برگ را ۵۲/۶ درصد و وزن خشک کل را ۱۴/۴ درصد در مقایسه با شرایط بدون کاربرد کود بهبود بخشید (جدول ۲).

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد انجام آبیاری تکمیلی و استفاده از کودهای دامی و ورمی کمپوست در مقایسه با شاهد باعث افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی اولیه گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که حداکثر ارتفاع بوته (۹۲۷/۷۳ میلی‌متر) با استفاده از ورمی کمپوست تحت شرایط دو بار آبیاری تکمیلی به دست آمد. تیمارهای عدم استفاده از کود در هر سه سطح آبیاری و نیز استفاده از کود دامی در شرایط بدون آبیاری دارای پایین‌ترین ارتفاع بوته بودند (جدول ۲). کم‌ترین تعداد شاخه فرعی اولیه (۱/۱۶)

توسط ورمی کمپوست عنوان شده است (Arguello et al., 2006).

عملکرد دانه و خصوصیات برگ

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر اصلی آبیاری، کود و اثر متقابل بین آن‌ها بر ویژگی‌های مرتبط با برگ شامل طول برگ، طول برگچه، عرض برگچه، تعداد برگ و عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳).

افزایش ماده خشک تولیدی در گیاه نخود را نشان داده‌اند (Mohammadi et al., 2006). همچنین افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد نیام در گیاه و عملکرد دانه در چهار رقم نخود دیم در اسلام‌آباد غرب با انجام آبیاری تکمیلی مشاهده گردید (Jalilian et al., 2005). گزارش گردیده است که کودهای دامی سبب افزایش ارتفاع گیاه، وزن تازه و خشک، تعداد شاخه در هر بوته می‌گردد (El-Bassiouny and Shukry, 2001). بهبود قابلیت تحریک‌کنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک و توانایی آن‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز از دلایل افزایش ارتفاع بوته

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و کود بر صفات برگ و عملکرد دانه نخود علوفه‌ای.

Table 3. Analysis of variance of irrigation and fertilizer on leaf traits and grain yield of forage pea

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول برگ	طول برگچه	عرض برگچه	تعداد برگ	عملکرد دانه
Source of variations	df	Leaf length	Leaflet length	Leaflet width	Number of leaves	Grain yield
(Block) بلوک	2	25.07 ^{ns}	7.205 ^{ns}	2.47 ^{ns}	28.09 ^{**}	6403.05 ^{ns}
(Irrigation) آبیاری	2	2590.87 ^{**}	45.12 ^{**}	123.98 ^{**}	283.45 ^{**}	324208.72 ^{**}
(Fertilizer) کود	2	4219.58 ^{**}	334.96 ^{**}	127.42 ^{**}	609.48 ^{**}	141055.57 ^{**}
آبیاری × کود (Irrigation * Fertilizer)	2	545.48 ^{**}	106.41 ^{**}	25.22 ^{**}	48.28 ^{**}	23072.21 [*]
(Error) خطای آزمایش	16	36.28	4.47	1.92	3.63	4971.6
C.V.(%) ضریب تغییرات	-	4.77	6.02	6.43	5.85	16.39

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

کود دامی در مقایسه با عدم کاربرد آن در شرایط بدون آبیاری طول برگ را ۲۶/۶ درصد و تعداد برگ را ۵۲/۲ درصد افزایش داد (جدول ۴). از طرفی مصرف ورمی کمپوست در شرایط بدون آبیاری طول برگ و تعداد برگ را به ترتیب ۱۸/۴ و ۱۰۴/۴ درصد نسبت به عدم مصرف ورمی کمپوست بهبود بخشید (جدول ۴).

اثر آبیاری، تیمارهای کودی و اثر متقابل بین آن‌ها سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری در صفات طول و عرض برگچه گردید. بدین‌صورت که انجام آبیاری تکمیلی در مقایسه با شرایط بدون آبیاری و نیز کاربرد کودهای دامی و ورمی کمپوست نسبت به عدم کاربرد آن‌ها موجب افزایش طول و عرض برگچه گیاه نخود علوفه‌ای گردید. استفاده از کودهای دامی و ورمی کمپوست طول برگچه را به ترتیب ۲۷ و ۴۲/۲ درصد و عرض برگچه را نیز به ترتیب ۴۰/۵ و ۳۴/۲ درصد در مقایسه با حالت بدون کاربرد کود افزایش دادند. از طرفی انجام

تعداد برگ و طول برگ تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای دامی و ورمی کمپوست بهبود یافتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ (۴۳/۶ عدد) در ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی به دست آمد که با ترکیبات تیماری یک بار آبیاری تکمیلی و کاربرد ورمی کمپوست و نیز دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد کود دامی تفاوت معنی‌داری را از لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۴). ترکیب تیماری استفاده از ورمی کمپوست در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی حداکثر طول برگ (۱۷۰/۷۳ میلی‌متر) را به خود اختصاص داد که با ترکیب تیماری مصرف ورمی کمپوست در شرایط یک بار آبیاری تکمیلی (۱۶۰/۹۳ میلی‌متر) اختلاف معنی‌داری را نداشت (جدول ۴). کم‌ترین تعداد برگ (۱۸ عدد) و طول برگ (۹۳/۲۶ میلی‌متر) تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی و بدون کاربرد کود مشاهده گردید (جدول ۴). طبق نتایج حاصل از این پژوهش کاربرد

آبیاری تکمیلی به تعداد دو بار و یک بار طول برگچه را به ترتیب ۱۳/۳ و ۴/۸ درصد و عرض برگچه را به ترتیب ۴۰/۹ و ۱۷ درصد در مقایسه با شرایط بدون آبیاری بهبود بخشید. نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که بیش‌ترین طول برگچه در ترکیبات تیماری کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی (۴۱/۸۶ میلی‌متر) و بدون آبیاری تکمیلی (۴۲/۶ میلی‌متر) مشاهده گردید (جدول ۴). حداکثر

عرض برگچه نیز متعلق به ترکیبات تیماری کاربرد کود دامی (۲۸/۲ میلی‌متر) و ورمی‌کمپوست (۲۶/۰۶ میلی‌متر) در شرایط دو بار آبیاری بود (جدول ۴). کم‌ترین طول برگچه (۱۹ میلی‌متر) و عرض برگچه (۱۰/۱۳ میلی‌متر) را ترکیب تیماری شاهد (بدون آبیاری و بدون کود) به خود اختصاص داد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری در کود بر ویژگی‌های برگ و عملکرد دانه نخود علوفه‌ای.

Table 4. Mean comparison the effects of irrigation × fertilizer on leaf traits and grain yield of forage pea

ترکیبات تیماری Combination of treatments	طول برگ Leaf length	طول برگچه Leaflet length	عرض برگچه Leaflet width	تعداد برگ Number of leaves	عملکرد دانه Grain yield
	-----mm-----				Kg ha ⁻¹
بدون آبیاری × بدون کود No-irrigation * No-fertilizer	93.26 ^f	19 ^d	10.13 ^d	18 ^e	161.1 ^e
بدون آبیاری × کود دامی No-irrigation * Manure	118.13 ^{cd}	37.8 ^b	22.76 ^b	27.4 ^{cd}	333.3 ^d
بدون آبیاری × ورمی‌کمپوست No-irrigation * Vermicompost	110.46 ^{de}	42.6 ^a	21.26 ^{bc}	36.8 ^b	320.63 ^d
یک بار آبیاری × بدون کود Once irrigation * No-fertilizer	106.13 ^e	30.66 ^c	19.53 ^c	25.86 ^d	278.13 ^{de}
یک بار آبیاری × کود دامی Once irrigation * Manure	127.66 ^{bc}	36.2 ^b	21.73 ^{bc}	26.26 ^d	384.7 ^{cd}
یک بار آبیاری × ورمی‌کمپوست Once irrigation * Vermicompost	160.93 ^a	37.33 ^b	22.13 ^b	43.06 ^a	471.47 ^{bc}
دو بار آبیاری × بدون کود Twice irrigation * No-fertilizer	112.93 ^{de}	36 ^b	22.06 ^b	30.4 ^c	478.63 ^{bc}
دو بار آبیاری × کود دامی Twice irrigation * Manure	136.2 ^b	34.8 ^b	28.2 ^a	41.6 ^a	656.87 ^b
دو بار آبیاری × ورمی‌کمپوست Twice irrigation * Vermicompost	170.73 ^a	41.86 ^a	26.06 ^a	43.6 ^a	876.83 ^a
LSD _{5%}	10.42	3.66	2.4	3.29	122.04

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each column show non-significant difference

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست افزایش یافت (جدول ۴). بر این اساس بالاترین عملکرد دانه (۸۷۶/۸۳ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد ورمی‌کمپوست و پایین‌ترین آن (۱۶۱/۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون کاربرد کود و عدم اعمال آبیاری تکمیلی حاصل گردید (جدول ۴). بر اساس نتایج مشاهده گردید که کاربرد کود دامی در شرایط بدون آبیاری، یک بار آبیاری و دو بار آبیاری عملکرد دانه را به ترتیب ۱۰۶/۸، ۳۷/۱ و ۳۷/۲ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود

افزایش داد (جدول ۴). هم‌چنین کاربرد ورمی‌کمپوست نیز تحت تیمار بدون آبیاری، یک بار آبیاری و دو بار آبیاری عملکرد دانه را به ترتیب ۹۹، ۶۹/۵ و ۸۳/۲ درصد در مقایسه با حالت بدون استفاده از کود بهبود بخشید (جدول ۴). هیوان و همکاران (Huyuan et al., 2007) در پژوهشی نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش طول و عرض برگ گندم گردید. گزارش شده است که عملکرد دانه نخود در شرایط آبیاری تکمیلی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از تیمارهای بدون آبیاری تکمیلی است (Maleki et al., 2014). اعمال آبیاری تکمیلی در دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی موجب

تکمیلی (یک بار در ۵۰٪ مرحله گلدهی و دو بار در مراحل ۵۰٪ گلدهی و غلافدهی) و کاربرد کودهای آلی (ورمی-کمپوست و کود دامی) سبب بهبود این شاخص‌ها در گیاه نخود علوفه‌ای گردید. به‌طوری‌که حداکثر وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، تعداد برگ و عملکرد دانه تحت شرایط استفاده از ورمی‌کمپوست و دو بار آبیاری در مراحل ۵۰٪ گلدهی و غلافدهی مشاهده گردید. از طرفی تحت شرایط بدون آبیاری، کاربرد ورمی‌کمپوست و در شرایط آبیاری‌های تکمیلی، کود دامی بیش‌ترین تأثیر را در افزایش ماده خشک تولیدی داشت. همچنین تحت شرایط آبیاری‌های تکمیلی کاربرد ورمی‌کمپوست و در شرایط بدون آبیاری کاربرد کود دامی مطلوب‌ترین اثر را در بهبود شاخص سطح برگ نشان داد. بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش انجام دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست را به دلیل بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های رشدی می‌توان در جهت تعدیل اثرات ناشی از تنش خشکی و بهبود رشد و عملکرد نخود علوفه‌ای توصیه کرد.

افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه نخودفرنگی شد (Mohammed et al., 2021). استفاده از ورمی-کمپوست میزان عناصر غذایی در منطقه ریشه را بهبود می‌بخشد و منجر به افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده و از این طریق رشد رویشی و تعداد برگ‌های گیاه افزایش می‌یابد (Eskandari and Astaraei, 2007). شادکام و مهاجری (Shadkam and Mohajeri, 2019) افزایش تعداد برگ گیاه به‌لیمو را با کاربرد تلفیقی کود دامی و ورمی‌کمپوست نشان دادند. افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی گیاه نخود با کاربرد ورمی‌کمپوست نشان داده شده است (Jat and Ahlawat, 2004).

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی عملکرد، صفات مورفولوژیکی و روند تغییرات شاخص‌های رشدی (زیست‌توده کل، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول) نشان داد که انجام آبیاری

منابع

- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F., 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 76, 125-129. [https://doi.org/10.1016/S09608524\(00\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S09608524(00)00090-0)
- Amiri, H., Ismaili, A., Hosseinzadeh, S.R., 2017. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). *Compost Science and Utilization*. 25, 152-165. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1249313>
- Anwar, M.R., McKenzie, B.A., Hill, G.D., 2003. Phenology and growth response to irrigation and sowing date of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a cool-temperate subhumid climate. *The Journal of Agricultural Science*. 141(3-4), 273-284. <https://doi.org/10.1017/S0021859603003629>
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*. 93, 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.014>
- Arguello, J.A., Ledesma, A., Núñez, S.B., Rodríguez, C.H., Goldfarb, M.D.C., 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of Rosado Paraguay' garlic bulbs. *Horticultural Science*. 41, 589-592. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.589>
- Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 5, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Battaglia, M., Lee, C., Thomason, W., Van Mullekom, J., 2020. Effects of corn row width and defoliation timing and intensity on canopy light interception. *Crop Science*. 59, 1718-1731. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0337>
- Betran, F.J., Beck, D., Bänziger, M., Edmeades, G.O., 2003. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. *Field Crops Research*. 83, 51-65.

[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00061-3)

- Bishnoi, R., Marker, S., Kumar, K.Y., Taranum, S.A., 2021. Genetic variability parameters for quantitative traits in farmers' pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) varieties. *Biological Forum—An International Journal*. 13, 320-325.
- Brodersen, C.R., Roddy, A.B., Wason, J.W., McElrone, A.J., 2019. Functional status of xylem through time. *Annual Review of Plant Biology*. 70, 407-433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100455>
- Cacan, E., Kökten, K., Bakoğlu, A., Kaplan, M., Bozkurt, A., 2019. Evaluation of some forage pea (*Pisum arvense* L.) lines and cultivars in terms of herbage yield and quality. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 23, 254-262. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.446423>
- El-Bassiouny, H.M., Shukry, W.M., 2001. Cowpea growth pattern, metabolism and yield in response to IAA and biofertilizers under drought conditions. *Egyptian Journal of Biology*. 3, 117-129.
- Eskandari, M., Astaraei, A., 2007. Effect of different organic materials on plant growth characteristics and total biomass and grain weight of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 5, 19-28. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v5i1.892>
- Ghobadi, M., Salahi, H., Ghobadi, M.E., Mansoorifar, S., 2014. The effect of supplementary irrigation and methods of nitrogen application on grain yield and its components in chickpea. *Journal of Crops Improvement*. 16, 585-598. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2014.53260>
- Hamed, B., Ghasemi Pirbalouti, A., Rajabzadeh, F., 2022. Manures, vermicompost, and chemical fertilizer impacts on the yield and volatile compounds of the damask rose (*Rosa damascena* Mill.) flower petals. *Industrial Crops and Products*. 187, 11547. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115470>
- Hassanpoor, E., 2023. Investigation of growth analysis and yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and nitrogen fertilizer. *Iranian Journal of Plant and Biotechnology*. 18, 75-96. [In Persian with English Summary].
- Huyuan, F., Xue, S., Wang, L.X., 2007. The interactive effects of enhanced UV-B radiation and soil drought on spring wheat. *South African Journal of Botany*. 73, 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.03.008>
- Jalilian, J., Modares Sanavi, S.A.M., Sabaghpour, S.H., 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield components and protein content of four chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars under dry land condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 12, 1-9. [In Persian with English Summary].
- Jat, R.S., Ahlawat, I.P.S., 2004. Effect of vermicompost, biofertilizer and phosphorus on growth, yield and nutrient uptake by gram (*Cicer arietinum*) and their residual effect on fodder maize (*Zea mays*). *Indian Journal of Agricultural Science*. 74, 359-361.
- Jat, R.S., Ahlawat, I.P.S., 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture*. 28, 41-54. https://doi.org/10.1300/J064v28n01_05
- Kibe, A.M., Singh, S., Kalra, N., 2006. Water–nitrogen relationships for wheat growth and productivity in late sown conditions. *Agricultural Water Management*. 84, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.010>
- Lamei, J., Alizadeh, K., Teixeira da Silva, J.A., Taghadisi, M.V., 2011. Vicia panonica: A suitable cover crop for winter fallow in cold regions of Iran. *Plant Stress*. 6, 73-76.
- Lawlor, D.W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25, 275-294. <https://dx.doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Maleki, A., Pournajaf, M., Naseri, R., Rashnavadi, R., Heydari, M., 2014. The effect of supplemental irrigation, nitrogen levels and inoculation with rhizobium bacteria on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3, 902-909.
- Moemeni, F., Ghobadi, M., Jalali-Honarmand, S., Shekaari, P., 2013. Effect of supplementary irrigation on growth analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*. 5, 1595-1600.

- Mohammadi, G.H., Ghasemi Golezani, K., Javanshir, A., Moghaddam, M., 2006. The influence of water limitation on the yield of three chickpea cultivars. *Journal of Water and Soil Science*. 10, 109-120. [In Persian].
- Mohammed, N.T., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M.E., Rasaei, A., 2021. Effects of exogenous application of plant hormones on yield and physiological characteristics of pea under supplemental irrigation. *Journal of Vegetables Sciences*. 5, 175-190. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.531953.1167>
- Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Ebadi, N., 2019. Effects of supplementary irrigation and nano iron oxide on growth indices, radiation absorption and yield of wheat under rainfed condition. *Iranian Dryland Agronomy Journal*. 7, 159-188. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/idadj.2019.123211.233>
- Nemati, A., Rafieiolhossaini, M., Danesh-shahraki, A., 2017. The effect of bacterial inoculation and cow manure on physiological indices, grain yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 9, 339-351. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.462>
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A., Azcón, R., 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology*. 174, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019>
- Oweis, T., Hachum, A., Pala, M., 2004. Water use efficiency of winter-sown chickpea under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. 66, 163-179. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.10.006>
- Paczka, G., Mazur-Paczka, A., Garczynska, M., Hajduk, E., Kostecka, J., Bartkowska, I., Butt, K.R., 2021. Use of vermicompost from sugar beet pulp in cultivation of peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*. 11, 919. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100919>
- Pardo, A., Amato, M., Chiarandà, F.Q., 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant growth and water distribution. European Journal of Agronomy*. 13, 39-45. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00056-3)
- Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaiean, A., Nezami, A., 2011. Effects of supplemental irrigation on yield and growth indices of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad region. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9, 310-321. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v9i3.11960>
- Parwada, C., Parwada, T.F., Chipomho, J., Mapope, N., Chikwari, E., Myumi, C., 2022. Evaluation of *Cicer arietinum* (chickpea) growth performance and yield in different soil types in Zimbabwe. *Journal of Current Opinion in Crop Science*. 3, 16-27. <https://doi.org/10.62773/jcocs.v3i1.148>
- Prasad, D., Verma, O.P., Lal, K., Verma, H., Jaiswal, A., Yadav, M.K., 2019. Identification of elite genotypes for certain quantitative traits in field pea (*Pisum sativum* L. var. arvense). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8, 498-505.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., Amirnia, R., 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions. *Research in Field Crop Journal*. 3, 55-69. [In Persian with English Summary].
- Rezaeyan Zadeh, E., Parsa, M., Ganjali, A., Nezami, A., 2011. Responses of yield and yield components of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) to supplemental irrigation in different phenology stages. *Water and Soil*. 25(5), 1080-1095. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i.11219>
- Safaei, M., Rahimi, A., Torabi, B., Khoram, A., 2017. Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*. 9(3), 805-820. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.51879>
- Saman, M., Sepehri, A., Ahmadvand, G., Sabaghpour, S.H., 2007. Effect of irrigation at podding and seed filling on growth and yield of

- chickpea genotypes. *Agricultural Research*. 7, 55-72. [In Persian with English Summary].
- Seth, M., Kumar, R., 2019. Growth indices, nutrient uptake and productivity of wheat+ chickpea as influenced by soil moisture regimes and sources of nutrients. *Journal of Crop and Weed*. 15, 65-71.
- Seyed Sharifi, R., Raei, Y., Weisany, W., 2014. Study of physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) hybrids under different plant densities. *International Journal of Biosciences*. 5, 100-109. <https://doi.org/10.12692/ijb/5.3.100-109>
- Shadkam, Z., Mohajeri, F., 2019. The interaction between irrigation interval with manure and vermicompost on vegetative characteristics and yield of lemon verbena (*Lippia citriodora* L.). *Bi-Quarterly Journal of Plant Production*. 9, 67-82. [In Persian with English Summary].
- Singh, B.V., Singh, R., 2014. Effect of sources of nutrients on physiological growth parameters and yield of onion varieties. *Annals of Plant and Soil Research*. 16, 362-366.
- Tadayon, M.R., Emam, Y., 2008. Effect of supplemental irrigation and nitrogen on mean grain weight, test weight and grain yield of wheat under dryland conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 39, 99-112. [In Persian].
- Tahami Zarandi, S.M.K., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., 2010. Comparison the effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentage of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*. 2(1), 63-74. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7603>
- Thaman, M., Sepehri, A., Ahmadvand, G., Sabbaghpour, S.H., 2007. Effect of irrigation in pod formation and seed filling on growth and yield of five chickpea cultivar. *Journal of Agricultural Research, Water, Soil and Plant in Agriculture*. 7, 41-59.
- Togun, A.O., Akparobi, S.O., Ekanayake, I.J., 2004. Field studies on chlorophyll a fluorescence for low temperature tolerance testing of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2, 166-170.
- Yadav, J.K., Sharma, M., Yadav, R.N., Yadav, S.K., Yadav, S., 2017. Effect of different organic manures on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6, 1857-1860.
- Zalaghi, A., Marashi, S.K., Mojadam, M., 2019. Evaluation effect of different level of vermicompost and manure on physiological parameters of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Nutrition Science*. 5, 42-50.
- Zhang, Y., Hansen, N., Trout, T., Nielsen, D., Paustian, K., 2018. Modeling deficit irrigation of maize with the DayCent model. *Agronomy Journal*. 110, 1754-1764. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.10.0585>