

Effects of deficit irrigation combined with the use of biochar and compost on the growth, yield, and water use efficiency of green pepper

Aref Karamollacheab¹ , S.Majid Mirlatifi^{2*} , Ali Mokhtassi-Bidgoli³ 

¹ MSc Graduate. Irrigation and Drainage, Water Engineering and Management Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Water Engineering and Management Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

Agriculture plays a crucial role in fulfilling human needs, but it is also the world's largest consumer of freshwater. This has a significant impact on water resources worldwide, particularly in arid and semi-arid regions. With the growing global population, agricultural production must be increased to meet demand. This has led researchers to explore various methods, including deficit irrigation techniques, soil nutrient enhancement, and water retention agents, to improve crop performance and productivity. Numerous studies have investigated these methods to enhance crop performance and reduce water consumption. Previous research has also highlighted the potential benefits of biochar application at a 2% level to improve plant performance. This study aimed to evaluate the effects of continuous deficit irrigation (CDI) along with the use of compost as a soil nutrient enhancer and biochar as a water retention agent on the performance, growth, and productivity of bell pepper plants. The study examined the effects of these treatments individually and in combination, as well as the combined effects of biochar and sugarcane bagasse compost at 1.5%, 2%, and 2.5% weight levels and their interactions with CDI on water savings and performance improvement of bell pepper plants in a sandy soil.

Materials and Methods

To investigate the research objectives, during 2023, in the research greenhouse of Tarbiat Modares University, a factorial experimental design was implemented in the form of a randomized complete block design with three factors and a total of 48 treatments in four blocks with a total of 192 pots. The first factor included three levels of irrigation: 100% (D100), 75% (D75), and 65% (D65) of the plant's water needs. The second factor was sugarcane bagasse biochar with four levels: 0% by weight (B0), 1.5% by weight (B1.5), 2% by weight (B2), and 2.5% by weight (B2.5). The third factor is sugarcane bagasse compost with four levels: 0% by weight (C0), 1.5% by weight (C1.5), 2% by weight (C2), and 2.5% by weight (C2.5). In this research, plant growth rate and plant diameter were investigated, and fruit characteristics such as fruit drop, fruit length, fruit flesh thickness, and fruit fresh weight were investigated. In order to evaluate the functional characteristics of the plant, the number of fruits per plant and the total weight of the fruit per plant, as well as the productivity using the ratio of the total weight of the fruit produced per plant to the volume of water used in each pot, were investigated. The watering of bell pepper plants was done in this way. During the 3-day watering cycle, the amount of water used in each pot was calculated and added to the pot, and this cycle continued until the end of pepper cultivation.

Results and Discussion

The results showed that the application of biochar and compost at all levels, along with full irrigation, had a positive and significant effect on the physical characteristics of the fruit (diameter, length, flesh thickness, and fresh weight) compared to the control treatment. The lowest value for fruit characteristics was observed in the control group, with 65% plant water requirement. The results for the plant characteristics showed that C2B2.5, C2.5B2, and C2.5B2.5 treatments showed a significant difference in plant height compared to the control treatment. C2.5B2 and C2.5B2.5 treatments also showed the greatest increase in stem diameter and had a significant difference compared to other treatments. Also, the results for the number of fruits per plant and yield showed that the C2.5B2 treatment had a significant difference compared to other treatments. It caused a 156% increase in plant yield compared to the control treatment. The lowest number of fruits and plant yield was observed in the control treatment. In addition, the C2.5B2 treatment achieved an average productivity of 39.3 kg/m³, which was significantly higher than the other treatments, representing a 139% increase over the control. The control treatment had the lowest productivity with an average productivity of 16.43 kg/m³, which was significantly lower than the other treatments. The results of the variance analysis related to fruit characteristics showed that the triple effect of

biochar, compost, and deficit irrigation was significant at the 1% level, but the triple effect of biochar, compost, and deficit irrigation on plant characteristics and functional characteristics, and productivity was not significant.

Conclusion

The present study demonstrated that the combined application of biochar and compost in bell pepper cultivation offers substantial advantages. This innovative approach not only significantly enhances crop yield but also improves productivity by optimizing water use. Applying 2% biochar and 2.5% compost to bell pepper plants, along with continuous irrigation up to 75% of the plant's water requirement, can yield promising results for sandy soils. These findings are particularly crucial for arid and semi-arid regions facing water scarcity. In a world facing water shortages, this method can contribute to water conservation and sustainable agricultural development.

Keywords: Activated carbon- Irrigation management- Organic compounds- Productivity

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Tarbiat Modares for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Aref Karamollacheab: Writing - original draft preparation; **Seyed Majid Mirlatifi:** Conceptualization, methodology; **Ali Mokhtassi-Bidgoli:** Formal analysis and Software

*Corresponding Author, E-mail: mirlat_m@modares.ac.ir

Citation: Karamollacheab, A., Mirlatifi, S.M., & MokhtassiBidgoli, A. (2025). Effects of deficit irrigation combined with the use of biochar and compost on the growth, yield, and water use efficiency of green pepper. *Water and Soil Management and Modeling*, 5(3), 20-36.
doi: 10.22098/mmws.2024.15604.1489

Received: 15 August 2024, Received in revised form: 10 September 2024, Accepted: 10 September 2024, Published online: 23 September 2025

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 3, pp. 20-36.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تأثیر کم آبیاری توأم با مصرف بیوچار و کمپوست بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل سبز

عارف کرملاجعب^۱، سید مجید میرلطیفی^{۲*}، علی مختصی بیدگلی^۳

^۱ کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

افزایش بهره‌وری آب کشاورزی یک امر ضروری برای استفاده بهینه از منابع آب است. به این منظور به کار بردن روش‌های کم آبیاری و استفاده از کودهای آلی یک راهبرد مهم برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری است. از این رو در این پژوهش به بررسی اثر کم آبیاری توأم با مصرف بیوچار و کمپوست بر رشد، عملکرد و بهره‌وری آب گیاه فلفل دلمه‌ای پرداخته شد. در سال ۱۴۰۲ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، طرحی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه فاکتور و جمعاً ۴۸ تیمار در چهار بلوک و با مجموع ۱۹۲ گلدان اجرا شد. فاکتور اول سه سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (D100)، ۷۵ درصد (D75) و ۶۵ درصد (D65) نیاز آبی گیاه، فاکتور دوم بیوچار با چهار سطح صفر درصد (B0)، ۱/۵ درصد (B1.5)، دو درصد (B2) و ۲/۵ درصد (B2.5) وزنی خاک و فاکتور سوم کمپوست با چهار سطح صفر درصد (C0)، ۱/۵ درصد (C1.5)، دو درصد (C2) و ۲/۵ درصد (C2.5) وزنی خاک بود. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف آبیاری و بیوچار و کمپوست بر خصوصیات میوه، گیاه، عملکرد و بهره‌وری آب تأثیر معنی‌دار در سطح پنج درصد داشت. در بین تمام تیمارها بیش‌ترین مقدار تعداد میوه و عملکرد در تیمار C2.5B2 برابر با ۱۷/۸ میوه در بوته و ۲/۱ کیلوگرم در بوته مشاهده شد که به ترتیب افزایش ۱۲۲ و ۱۵۶ درصدی را نسبت به تیمار شاهد (C0B0) نشان دادند. بیش‌ترین بهره‌وری آب محصول به میزان ۳۹/۳ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار C2.5B2 مشاهده شد که افزایش ۱۳۹ درصدی را نسبت به تیمار C0B0 نشان داد. در بین تیمارهای کمپوست و آبیاری تیمار D75C2 و D75C2.5 به ترتیب به میزان ۳۵/۴۳ و ۳۵/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب بیش‌ترین تأثیر را بر بهره‌وری داشتند که افزایش ۸۰/۶۳ و ۷۹/۲۶ درصدی را نسبت به تیمار D100C0 نشان دادند. بر اساس نتایج، اعمال آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد کمپوست و بیوچار به ترتیب به میزان ۲/۵ و دو درصد وزن خاک، بهترین نتیجه را برای کشت فلفل دلمه‌ای ایجاد کرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، ترکیبات آلی، کربن فعال، مدیریت آبیاری

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mirlat_m@modares.ac.ir

استناد: کرملاجعب، عارف، میرلطیفی، سید مجید، و مختصی بیدگلی، علی (۱۴۰۴). تأثیر کم آبیاری توأم با مصرف بیوچار و کمپوست بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل سبز. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵ (۳)، ۳۶-۲۰.

doi: 10.22098/mmws.2024.15604.1489

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۲۰ تا ۳۶.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

کشاورزی به دلیل تأمین نیازهای اولیه از قبیل غذا، پوشاک و مسکن، فعالیت کلیدی برای انسان به شمار می‌رود. هر یک درصد افزایش در عملکرد کشاورزی به کاهش ۰/۶ تا ۱/۲ درصدی تعداد خانوارهای فقیر مطلق در جهان تبدیل خواهد شد (Thirtle et al., 2001). از نظر جهانی، کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین است و تقریباً ۷۰ درصد از مصرف آب را به خود اختصاص داده است، از این رو بر تغییرات منابع آب در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر به‌سزایی دارد (Chapagain and Hoekstra, 2006; FAO, 2017). از طرفی پیش‌بینی می‌شود که رشد جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۱ میلیارد نفر برسد. افزایش جمعیت نیاز به افزایش حدود ۷۰ درصدی در تولید مواد غذایی و افزایش ۱۵ درصدی برداشت آب برای پاسخگویی به تقاضا دارد (FAO, 2009)، که باعث افزایش رقابت برای منابع آب توسط کاربران می‌شود. برای کاهش اثرات کمبود آب، پژوهش‌گران در تلاش‌اند تا با رویکردهای مختلف، بهره‌وری آب را افزایش دهند تا اثرات کمبود آب کاهش یابد.

مدیریت آب آبیاری در عصر کم‌آبی باید با بیش‌ترین کارآمدی، با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب و به حداکثر رساندن بهره‌وری آن انجام شود (Feres and Soriano, 2006). کم‌آبیاری (DI)^۱ یک روش آبیاری است که در آن محصولات با مقادیر آبی کمتر از نیاز آن‌ها برای رشد بهینه آبیاری می‌شوند. DI شامل کم‌آبیاری مداوم (CDI)^۲ و کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI)^۳ است. رویکرد CDI مبتنی بر تحمیل کمبود آب به‌طور یکنواخت در کل دوره کاشت، داشت و برداشت محصول است، در نتیجه از تنش شدید آب در هر مرحله رشد که ممکن است بر عملکرد تأثیر بگذارد اجتناب می‌شود. از طرفی رویکرد RDI یک نوع کم‌آبیاری مبتنی بر مرحله رشد است که شامل تحمیل کمبود آب در مراحل خاص فنولوژیکی (زمانی که محصولات زراعی نسبت به تنش آبی حساسیت کم‌تری دارند) است (Chai et al., 2015).

یکی دیگر از عملیات مدیریت آب آبیاری برای افزایش کارایی مصرف آب، افزودن موادی به خاک است که به‌عنوان جاذب رطوبت عمل کرده و بازدهی آب‌خاک را افزایش دهند. موادی که ضمن افزایش کارایی مصرف آب و کاهش تلفات آن، به خاک و محیط‌زیست هم آسیبی وارد نکند (Bitarafan et al., 2018). از ترکیب‌هایی که اخیراً در سطح جهانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان به اصلاحات ارگانیک خاک (منابع مهم کربن و نیتروژن) مانند بقایای مزرعه، بیوپار، کمپوست و مخلوط بیوپار-کمپوست

که برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌باشند، اشاره کرد (Obadi et al., 2020).

مناطق خشک با بارندگی کم یا خاک‌های فقیر از نظر مواد مغذی مانند خاک شنی به احتمال زیاد بیش‌ترین سود را از افزودن بیوپار (BC)^۴ به خاک خواهند برد (Gebremedhin and Haileselassie, 2015). با توجه به سطوح دارای بار منفی و مساحت سطح بالا، اصلاحات بیوپار ظرفیت نگهداری آب، حفظ آب و نیازهای آبیاری را افزایش می‌دهد و متعاقباً از محصولات در برابر کمبود آب محافظت می‌کند (Hafeez et al., 2017). از سوی دیگر، کمپوست (Comp)^۵ یک عنصر کلیدی در پرورش سبزیجات است. این ماده یک مکمل حیاتی برای خاک است و یک راه ساده برای افزودن هوموس غنی از مواد مغذی است که به رشد گیاه کمک می‌کند. با توجه به افزایش هزینه‌های کود معدنی و حتی بدتر شدن چشم‌انداز با توجه به ذخایر محدود نیتروژن، فسفر و سایر مکمل‌های عنصری، ترکیب مفیدی از BC و Comp تأیید شده است (Prost et al., 2013; Schulz et al., 2013; Schulz and Glaser, 2012).

فلفل (*Capsicum annuum L.*) به‌عنوان یک گیاه بسیار حساس به تنش آبی در نظر گرفته می‌شود (Dağdelen et al., 2004; Guang-Cheng et al., 2010; Lodhi et al., 2014). تأثیر تنش آبی بر رشد و عملکرد فلفل بحث‌برانگیز است. اگرچه اثرات نامطلوب تنش آبی بر رشد و عملکرد فلفل توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (Abayomi et al., 2012; Ahmed et al., 2014; Alherbi et al., 2014). هیچ اثری از تنش آبی پیدا نکردند (Ruiz-Lau et al., 2011).

علاقه فزاینده‌ای به رویکردهای اصلاح آبی یکپارچه برای بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری محصول وجود دارد (Akhtar et al., 2014). ترکیبی از بیوپار و کمپوست در بادمزمینی و ذرت و فلفل قلمی شیرین مورد مطالعه قرار گرفته است (Agegnehu et al., 2015; Obadi et al., 2020). بالین‌حال اثرات کاربرد ترکیبی بیوپار و کمپوست به‌طور کامل درک نشده است (Trupiano et al., 2017). برای مثال Ebrahimi et al. (2021) استفاده از بیوپار خرما و پسته به همراه ورمی کمپوست را در شرایط کم‌آبیاری برای گیاه بادمجان موردبررسی قرار دادند که نشان دادند بهره‌وری بادمجان در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و استفاده از این دو ماده افزایش قابل‌توجهی خواهد داشت. عملکرد گیاه در شرایط آبیاری کامل با ۷/۳ کیلوگرم در بوته بهترین نتیجه را ارائه داد.

^۴ Biochar

^۵ Compost

^۱ Deficit irrigation

^۲ Continuous deficit irrigation

^۳ Regulated deficit irrigation

همچنین Zahra et al. (2021) نیز در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر بیوچار و کمپوست در سطح پنج تن در هکتار برای گیاه ذرت انجام دادند نشان دادند که استفاده از بیوچار و کمپوست به‌صورت ترکیبی عملکرد دانه ذرت را تا ۴۶/۲۹ درصد افزایش داد. علاوه بر این اکثر نتایجی که برای استفاده از بیوچار و کمپوست به‌صورت جداگانه برای گیاهان مورد مطالعه به‌دست آمده استفاده از بیوچار ۲ درصد پیشنهاد شده است. از این‌رو با در نظر گرفتن این موضوعات، مطالعه حاضر با اهداف زیر اجرا شد: (۱) تعیین اثرات کم‌آبیاری توأم با استفاده از بیوچار و کمپوست به‌صورت ترکیبی و جدا از هم بر رشد، عملکرد و بهره‌وری گیاه فلفل دلمه‌ای (۲) بررسی استفاده از ترکیب بیوچار و کمپوست به‌صورت ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد وزنی و تعامل این ترکیبات با یکدیگر به همراه کم‌آبیاری CDI بر صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در ۱۷ کیلومتری غرب تهران با عرض جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۲۵۰ متر از سطح دریا در بازه زمانی اردیبهشت‌ماه تا شهریورماه ۱۴۰۲ انجام شد. مطالعات آزمایشگاهی در آزمایشگاه گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی انجام شد. این پژوهش به‌صورت گلدانی اجرا شد و گلدان‌های مورد استفاده در این طرح از نوع پلاستیک بازیافتی به قطر ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر انتخاب شدند. گیاه فلفل دلمه‌ای به‌صورت نشا از رقم ۹۳۲۵ سیمنس از کشور هند زیر نظر بایر آلمان تهیه شد.

طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه فاکتور و مجموع ۴۸ تیمار در چهار بلوک و با مجموع ۱۹۲ گلدان اجرا شد. فاکتور اول سه سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (D100)، ۷۵ درصد (D75)، و ۶۵ درصد (D65) نیاز آبی گیاه و فاکتور دوم بیوچار با چهار سطح صفر درصد وزنی (B0)، ۱/۵ درصد وزنی (B1.5)، دو درصد وزنی (B2)، ۲/۵ درصد وزنی (B2.5) و فاکتور سوم کمپوست با چهار سطح صفر درصد وزنی (C0)، ۱/۵ درصد وزنی (C1.5)، دو درصد وزنی (C2)، ۲/۵ درصد وزنی (C2.5) بود.

۲-۲- تهیه بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر

باگاس یکی دیگر از محصولات جانبی صنعت قند است. این بقایای فیبری ناهمگن است که پس از خرد شدن ساقه‌های نیشکر برای استخراج شکر باقی می‌ماند. به‌طور معمول، از فرآوری ۱۰۰ تن نیشکر در یک کارخانه، ۳۰ تا ۳۴ تن باگاس به دست می‌آید. باگاس خشک از ۴۵ درصد سلولز، ۲۸ درصد همی سلولز، ۲۰ درصد لیگنین، ۵ درصد شکر، ۱ درصد مواد معدنی و ۲ درصد خاکستر تشکیل شده است (Solomon, 2011). باگاس از نظر جزئی شبیه به چوب است با این تفاوت که رطوبت بالایی دارد. بنابراین، در حال حاضر به‌عنوان سوخت زیستی و در ساخت محصولات خمیر و کاغذ، پرکننده برای مصالح ساختمانی و به‌عنوان بستری برای رشد قارچ استفاده می‌شود. با این حال سالانه مقدار قابل توجهی از باگاس بلااستفاده خواهد ماند با توجه به فراوانی باگاس، ایجاد ارزش افزوده از این ماده می‌تواند به بهبود اقتصاد و محیط زیست کمک شایانی کند. (Nikodinovic-Runic et al., 2013) باگاس مورد استفاده در این پژوهش از شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی استان خوزستان تهیه و به بیوچار تبدیل شد. برای تبدیل باگاس به بیوچار از کوره نیمه‌صنعتی مورد استفاده در شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) استفاده شد و دمای آن روی ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. پس از تولید بیوچار برای بررسی کیفیت و اندازه‌گیری میزان کربن، نیتروژن و هیدروژن به آزمایشگاه شیمی آب‌و خاک شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) انتقال داده شد و مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین کمپوست مورد استفاده از سایت تولید کمپوست کشت و صنعت امام خمینی (ره) برداشت شد که خصوصیات بیوچار و کمپوست و خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۳- آبیاری

برای محاسبه میزان آب مورد نیاز هر گلدان، ابتدا مقدار رطوبت وزنی ظرفیت زراعی به روش صفحات فشاری تعیین شد و سپس هر تیمار به اندازه ظرفیت مزرعه مربوط به آن آبیاری شد. مقدار آب مورد نیاز گیاه یا ET برای دور بعدی آبیاری از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_{i+1} = W_{P(i)} + W_{w(i)} - W_{d(i)} - W_{P(i+1)} \quad (1)$$

که در آن، ET_{i+1} : میزان آبیاری (میزان تبخیر-تعرق دوره)، $W_{P(i)}$: وزن گلدان قبل از آبیاری در مرحله قبلی، $W_{w(i)}$: وزن آب آبیاری شده در مرحله قبلی، $W_{d(i)}$: وزن آب زهکش شده بعد از آبیاری قبلی و $W_{P(i+1)}$: وزن گلدان قبل از آبیاری فعلی است. قابل ذکر است گلدان‌ها هر سه روز یک‌بار وزن می‌شدند و مقدار آب مورد نیاز هر تیمار اضافه می‌شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار، خاک و کمپوست مورد استفاده

Table 1- Chemical properties of biochar, soil, and compost used

Property	Unit	Soil	Compost	Biochar
Carbon	%	0.46	17.4	56.9
Nitrogen	%	0.063	0.9	3.47
Organic matter	%	0.46	30	-
Electrical conductivity EC	dS/m	2.55	1.53	-
pH	-	8.44	7.27	-
Carbon to nitrogen ratio (C/N)	-	7.30	19.33	16.40
Bulk density	g/cm ³	1.49	-	-
Soil texture		Sandy (95% Sand, 2% Silt, 3% Clay),		

۲-۴- آنالیز آماری

داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹.۴ تجزیه و تحلیل شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون نرمالیتی انجام گرفته شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس با مدل خطی عمومی (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

طبق نتایج به دست آمده استفاده از بیوچار و کمپوست به همراه آبیاری کامل تأثیر معنادار در سطح پنج درصد بر روی خصوصیات میوه، گیاه و عملکرد فلفل را نشان داد. همچنین مشاهده شد که استفاده از بیوچار و کمپوست به صورت ترکیبی به همراه کم آبیاری تأثیر معنادار در سطح پنج درصد بر بهره‌وری گیاه فلفل دلمه‌ای خواهد داشت و باعث افزایش بهره‌وری می‌شود.

۳-۱- خصوصیات میوه

طبق نتایج به دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قطر میوه دلالت بر اثر تمامی منابع تغییرات به غیر از اثر اصلی بلوک در سطح آماری یک درصد معنادار است (جدول ۲). با توجه به بررسی اثر سه گانه بیوچار و کمپوست و آبیاری (شکل ۱) مشاهده شد تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و کمپوست و بیوچار به ترتیب به اندازه ۲ و ۲/۵ درصد وزنی با میانگین ۷/۷۹ سانتی متر اندازه گیری شد که رشد ۸ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد. همچنین کمترین قطر میوه در تیمار ۶۵ درصد آبیاری و سطح بیوچار و کمپوست صفر درصد وزنی با میانگین ۵/۶۴ سانتی متر مشاهده شد که کاهش ۱۶/۲ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. این نتایج با نتایج Ebrahimi et al. (2021) که به این نتیجه رسیده بودند ورمی کمپوست و بیوچار قطر میوه بادمجان را افزایش خواهد داد مشابه است.

طبق نتایج به دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به طول میوه اثر اصلی آبیاری و بیوچار و کمپوست به صورت

جداگانه و ترکیب با یکدیگر در سطح آماری یک درصد معنادار شد (جدول ۲). با توجه به بررسی اثر سه گانه بیوچار و کمپوست و آبیاری (شکل ۱) مشاهده شد تیمار D100C2B2.5 با میانگین طول میوه ۸/۱۱ سانتی متر، رشد ۴/۸ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. همچنین کمترین طول میوه در تیمار D65C0B0 با میانگین ۷/۳۴ سانتی متر مشاهده شد که کاهش ۵/۷۳ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. از طرفی نتایج نشان داد کاهش میزان آبیاری به اندازه ۷۵ درصد میزان تبخیر- تعرق گیاه به همراه استفاده از بیوچار و کمپوست در ترکیب با یکدیگر و یا به صورت جداگانه می‌تواند تأثیر مثبتی بر روی طول میوه داشته باشد. علاوه بر این مشاهده شد طول میوه تحت کم آبیاری ۷۵ درصدی و استفاده از بیوچار و کمپوست نسبت به شاهد مقداری افزایش خواهد داشت. نتایج به دست آمده با نتایج Al-Harbi et al. (2020) که نشان دادند استفاده ترکیبی از بیوچار و کمپوست در سطوح دو درصد وزنی خاک ارتفاع میوه را در شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل افزایش می‌دهد مشابه است. طبق نتایج به دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ضخامت گوشت میوه دلالت بر تأثیر معنادار تمام فاکتورها در سطح یک درصد دارد (جدول ۲). با توجه به بررسی اثر سه گانه بیوچار و کمپوست و آبیاری (شکل ۲) مشاهده شد تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و کمپوست ۲ و بیوچار ۱/۵ درصد وزنی با میانگین ضخامت گوشت میوه ۵/۷۵ میلی متر و تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و کمپوست و بیوچار ۲/۵ درصد وزنی با ضخامت گوشت میوه ۵/۷۵ میلی متر اندازه گیری شد که رشد ۳۴ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. همچنین کمترین ضخامت گوشت میوه در تیمار ۶۵ درصد آبیاری و سطح بیوچار و کمپوست صفر درصد وزنی با میانگین ۳/۲۰ میلی متر مشاهده شد که کاهش ۲۵/۵۶ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. همچنین مشاهده شد که در رژیم آبیاری ۷۵ درصد تبخیر- تعرق گیاه توأم با مصرف بیوچار و کمپوست ضخامت گوشت میوه را نسبت به شاهد ۱۰۰ درصد آبیاری افزایش داده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، بیوپچار و کمپوست بر خصوصیات میوه، خصوصیات گیاه، عملکرد و بهره‌وری
Table 2- Analysis of variance (mean square) of the effect of Deficit irrigation, biochar, and compost on fruit characteristics, plant characteristics, yield, and productivity

Characteristics, yield, and productivity										
Source of Variation	df	Mean Square (MS)								
		Fruit Diameter	Fruit Length	Flesh Thickness	Fruit Weight	Fruit Number	Yield	Water Productivity	Plant Height	Stem Diameter
Block	3	0.12 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.07 ^{**}	0.53 ^{**}	392.60 ^{**}	5.05 ^{**}	3873.95 ^{**}	6406.54 ^{**}	9.16 ^{**}
Irrigation	2	796.13 ^{**}	404.17 ^{**}	20.07 ^{**}	1008.64 ^{**}	283.32 ^{**}	5.28 ^{**}	452.05 ^{**}	573.75 ^{**}	109.21 ^{**}
Compost	3	40.53 ^{**}	3.05 ^{**}	6.48 ^{**}	500.99 ^{**}	206.93 ^{**}	3.57 ^{**}	1200.55 ^{**}	429.53 ^{**}	23.05 ^{**}
Irrigation×Compost	6	8.79 ^{**}	1.40 ^{**}	0.11 ^{**}	0.45 ^{**}	7.58 ^{**}	0.13 ^{**}	26.36 ^{**}	0.94 ^{ns}	0.04 ^{ns}
Biochar	3	43.59 ^{**}	10.19 ^{**}	3.18 ^{**}	571.99 ^{**}	208.01 ^{**}	3.63 ^{**}	1142.03 ^{**}	209.41 ^{**}	11.69 ^{**}
Irrigation×Biochar	6	0.97 ^{**}	1.24 ^{**}	0.05 ^{**}	0.21 ^{**}	3.85 ^{**}	0.07 ^{**}	8.39 ^{ns}	0.87 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Compost×Biochar	9	20.91 ^{**}	2.00 ^{**}	0.10 ^{**}	34.76 ^{**}	10.35 ^{**}	0.15 ^{**}	54.54 ^{**}	32.64 ^{**}	0.48 ^{**}
Irrigation ×Compost ×Biochar	18	3.68 ^{**}	0.49 ^{**}	0.03 ^{**}	0.38 ^{**}	1.00 ^{ns}	0.01 ^{ns}	7.43 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Error	141	0.8	0.06	0.001	0.05	1.53	0.02	10.05	1.71	0.08
Coefficient of Variation (CV%)	0	0.43	0.32	0.32	0.2	9.58	10.27	11.55	0.97	1.97

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنادار، معنادار در سطح پنج درصد و یک درصد احتمال هستند.

همخوانی دارد که هنگام استفاده از کودهای آلی با محتوای نیتروژن بالا، افزایش اندازه میوه را در فلفل قرمز مشاهده کرد. کاربرد بیوپچار و کمپوست به صورت جداگانه یا ترکیبی به همراه آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد و ۶۵ درصد باعث افزایش خصوصیات میوه فلفل دلمه‌ای شد. کم‌ترین ارزش خصوصیات میوه در گروه شاهد مربوط به آبیاری ۶۵ درصد تبخیر-تغرق گیاه مشاهده شد. فرآیند آبیاری به‌ویژه در طول رشد گل و میوه حیاتی است. گیاهانی که در معرض تنش آبی قرار دارند طول عمر خود را کوتاه می‌کنند و سعی می‌کنند چرخه زندگی خود را به سرعت تکمیل کنند و در نتیجه حداقل گلدهی و باردهی را به همراه داشته باشند (Adeoye, 2014). این نتایج نشان داد که گیاهان فلفل می‌توانند از مزایای کودهای بیوپچار و کمپوست در طول رشد میوه استفاده کنند. از سوی دیگر، اسیدهای آلی و کودهای آلی (به عنوان مثال، بیوپچار و کمپوست) به عنوان پیش‌ساز یا فعال‌کننده فیتوهورمون‌ها، مواد رشد و ترکیبات ثانویه در گیاهان عمل می‌کنند؛ بنابراین، افزایش اندازه میوه ممکن است با افزایش در دسترس بودن این منابع تسهیل شود (Vernieri et al., 2006). استفاده از بیوپچار باعث افزایش سرعت فتوسنتز برگ‌ها و تسهیل انتقال محصولات فتوسنتزی به میوه می‌شود، که برای کیفیت میوه نیز مفید است. علاوه بر این استفاده از بیوپچار وضعیت آب خاک و در نتیجه وضعیت آب گیاه را بهبود می‌بخشد که این می‌تواند در افزایش کیفیت فیزیکی میوه تأثیرگذار باشد (Akhtar et al., 2014). بنابراین بهبود کیفیت فیزیکی میوه در تیمارهای دارای بیوپچار و کمپوست در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه، می‌تواند به این دلیل باشد که در این تیمارها بیوپچار و کمپوست قابلیت نگهداری آب را افزایش داده است و در نتیجه در شرایط اعمال کم آبیاری گیاه توانسته است آب بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد حفظ کند و از گیاه در مقابل تشدید تنش محافظت کند، در نتیجه کیفیت فیزیکی میوه کم‌تر تحت تأثیر قرار گرفت.

در رژیم آبیاری ۶۵ درصد نیز مشاهده شد افزودن هم‌زمان بیوپچار و کمپوست در سطوح ۲ و ۵/۲ درصد ضخامت گوشت میوه را به اندازه ۹/۳۰ درصد نسبت به شاهد آبیاری ۱۰۰ درصد افزایش داده است. نتایج مربوط به ضخامت گوشت میوه مشابه نتایج به دست آمده از پژوهش (Al-Harbi et al., 2020) است که گزارش کردند استفاده از بیوپچار و کمپوست باعث افزایش ضخامت گوشت میوه فلفل دلمه‌ای شد. طبق نتایج به دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن میوه دلالت بر تأثیر معنادار تمام فاکتورها در سطح یک درصد دارد (جدول ۲). با توجه به بررسی اثر سه‌گانه بیوپچار و کمپوست و آبیاری (شکل ۲) مشاهده شد تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و کمپوست دو، بیوپچار دو و ۵/۲ درصد وزنی با میانگین وزن میوه ۱۲۰/۶ و ۱۲۰/۷ گرم، رشد ۱۴/۲ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد و در سطح پنج درصد معنادار هستند. همچنین کم‌ترین وزن میوه در تیمار ۶۵ درصد آبیاری و سطح بیوپچار و کمپوست صفر درصد وزنی با میانگین ۹۷/۷ گرم مشاهده شد که کاهش ۷/۵ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. در تیمار آبیاری ۷۵ درصد مشاهده شد که تیمارهای بیوپچار و کمپوست وزن میوه را نسبت به شاهد آبیاری ۱۰۰ درصد افزایش داده‌اند. به طوری که تیمار C2B2 و C2B2.5 بیش‌ترین افزایش وزن میوه به میزان ۱۱/۳ درصد نسبت به شاهد آبیاری ۱۰۰ درصد نشان دادند. همچنین در تیمار آبیاری ۶۵ درصد مشاهده شد که مصرف توأم بیوپچار و کمپوست وزن میوه را نسبت به شاهد آبیاری ۱۰۰ درصد افزایش داده است به طوری که تیمار C2.5B2 بیش‌ترین افزایش را در بین دیگر تیمارها به اندازه ۸/۴ درصد داشته است. در بررسی (Ebrahimi et al., 2021) استفاده از بیوپچار و ورمی کمپوست باعث افزایش وزن میوه بادمجان شد و اثرات کم آبیاری بر روی وزن میوه را کاهش داد.

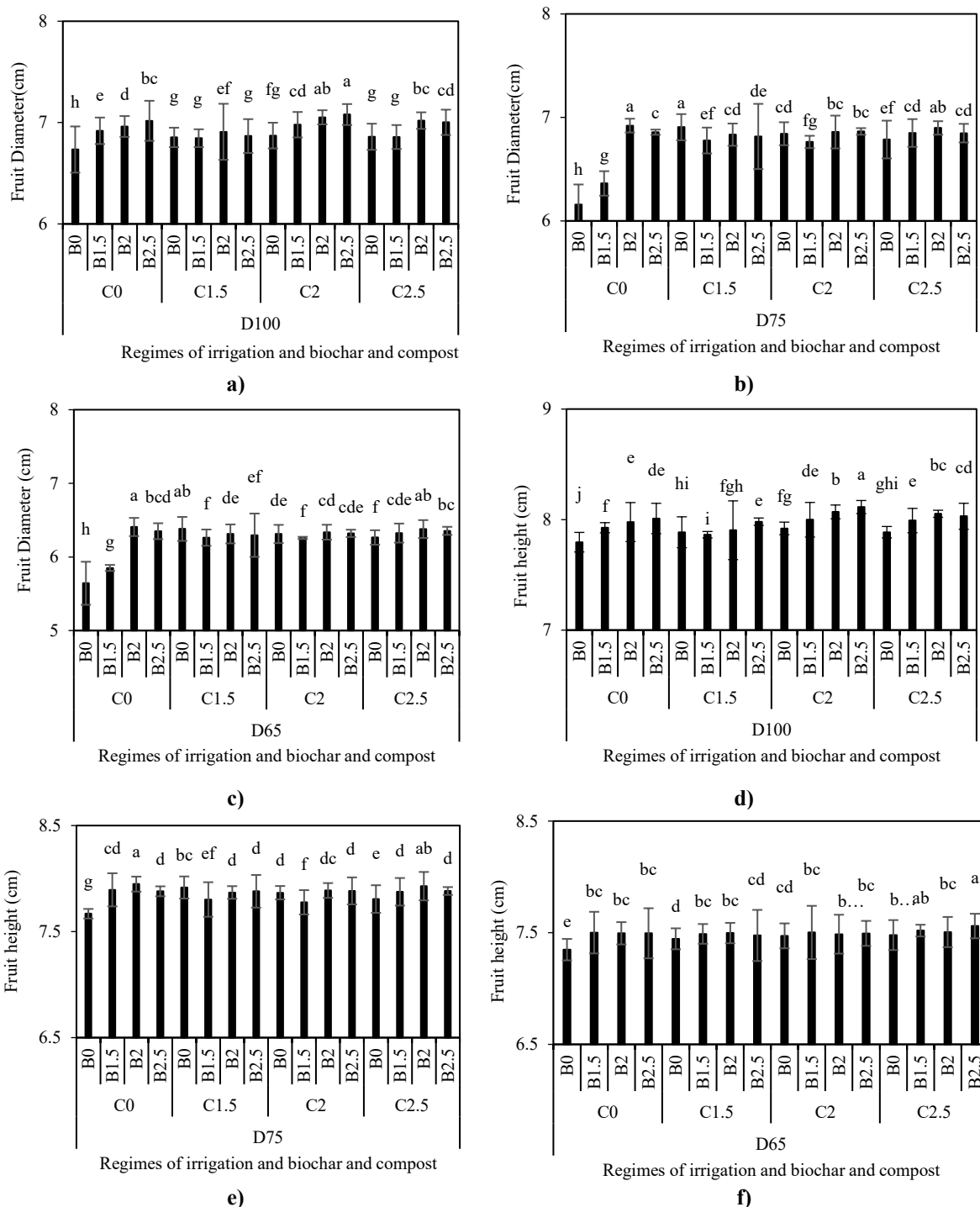
خصوصیات میوه تحت تأثیر استفاده از بیوپچار و کمپوست اختلاف معنادار در سطح پنج درصد نسبت به شاهد بدون بیوپچار و کمپوست داشت. این نتایج با نتایج (Khandaker et al., 2017)

۳-۲- خصوصیات گیاه

طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، بیوپچار و کمپوست مشاهده شد اثر اصلی بیوپچار، کمپوست و آبیاری و اثر متقابل دوگانه بیوپچار و کمپوست و اثر اصلی بلوک بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنادار بود. احتمالاً عدم وجود معناداری در اثر متقابل بیوپچار و آبیاری، کمپوست و آبیاری و اثر متقابل سه گانه بیوپچار، کمپوست و آبیاری احتمالاً به دلیل تأثیر بلوک در طول مرحله رشد است (جدول ۲). زیرا در بلوک شیب گرمایی زیادی وجود داشت و به دلیل این شیب تغییرات دمایی، اثر سه گانه بر رشد معنادار نبود. با توجه به نتایج به دست آمده از تأثیر بیوپچار و کمپوست بر ارتفاع بوته فلفل دلمه ای مشاهده شد تیمارهای C2.5B2.5، C2.5B2 و C2.5B2.5 به ترتیب با میانگین ۱۳۹/۹، ۱۴۰/۷۱ و ۱۴۰/۱۸ سانتی متر اختلاف معنادار در سطح پنج درصد با سایر تیمارها داشته اند. همچنین مشاهده شد کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار C0B0 با میانگین ۱۲۶/۲ سانتی متر است. نتایج به دست آمده مشابه با نتایج Zahra et al. (2021) است؛ ایشان گزارش کردند که استفاده از بیوپچار و کمپوست به صورت ترکیبی تأثیر بیشتری نسبت به استفاده بیوپچار و کمپوست به صورت جداگانه و تیمار بدون اصلاحات ارگانیک بر روی ارتفاع گیاه ذرت خواهد داشت. ارتفاع بوته که نشانگر رشد گیاه و تولید زیست توده است، در تیمارهای دارای کمپوست و بیوپچار در تمام سطوح بالاتر از تیمار شاهد بدون بیوپچار و کمپوست بود. همان گونه که توسط Hussain et al. (2017) گزارش شد، ارتفاع بوته احتمالاً به دلیل نقش بیوپچار و کمپوست در افزایش مواد معدنی عمدتاً در دسترس بودن فسفر افزایش یافته است که رشد ریشه و جذب مواد مغذی را افزایش می دهد. اثر ترکیبی فراهمی زیستی مواد معدنی و هورمون های گیاهی مانند اکسین ها و جیبرلین ها بر رشد گیاه مؤثر است (Souri and Sooraki, 2019). نتایج این پژوهش با نتایج Ebrahimi et al. (2021) مشابه بودند. آن ها گزارش کردند که استفاده از بیوپچار و ورمی کمپوست باعث افزایش ارتفاع گیاه در سطوح مختلف کم آبیاری شد. کمپوست مواد غذایی مورد نیاز گیاه

را در خاک افزایش می دهد و سپس رشد ریشه و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش می دهد که منجر به افزایش ارتفاع گیاه می شود. همچنین پژوهش ها نشان داده است که استفاده از بیوپچار عمدتاً به دلیل افزایش در دسترس بودن مواد مغذی و بهبود خواص فیزیکی خاک و حفظ آب بیش تر می تواند رشد گیاه را افزایش دهد (Roghanian et al., 2012). می توان نتیجه گرفت که افزایش ارتفاع گیاه در تیمارهایی که از ترکیب بیوپچار و کمپوست استفاده شده است، احتمالاً به دلیل کاهش هدر رفت آب توسط بیوپچار و تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه توسط کمپوست است.

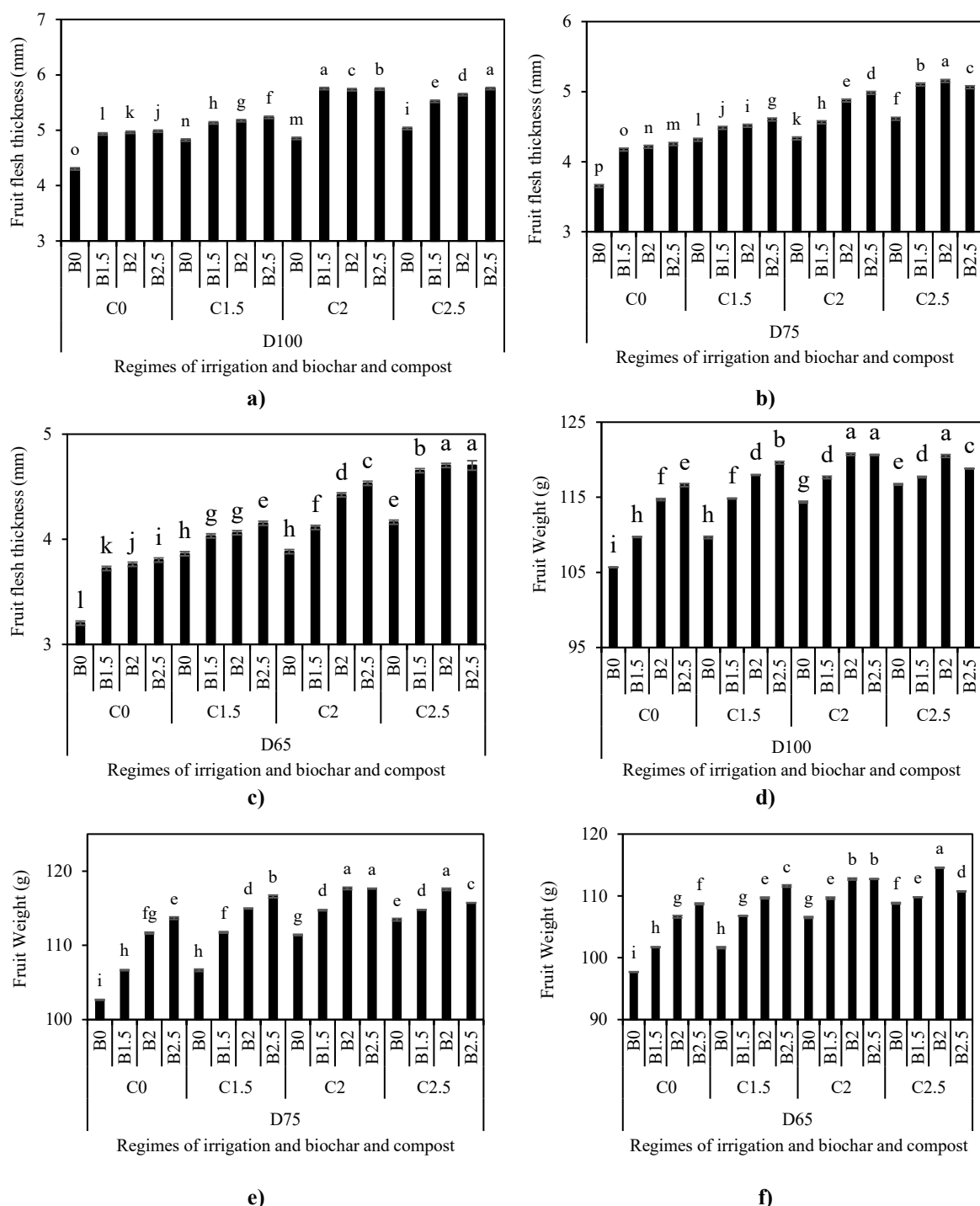
نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، بیوپچار و کمپوست نشان داد، اثر اصلی بیوپچار، کمپوست و آبیاری و اثر متقابل دوگانه بیوپچار و کمپوست و اثر بلوک بر قطر بوته در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). احتمالاً عدم وجود معناداری در اثر متقابل بیوپچار و آبیاری، کمپوست و آبیاری و اثر متقابل سه گانه بیوپچار، کمپوست و آبیاری به دلیل تأثیر بلوک در طول مرحله رشد است. زیرا در بلوک شیب گرمایی زیادی وجود داشت و به دلیل این شیب تغییرات دمایی، اثر سه گانه بر رشد معنادار نبود. با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۳) مشاهده شد استفاده از بیوپچار و کمپوست به صورت ترکیبی و جداگانه توانسته تأثیر مثبتی بر قطر بوته گیاه داشته باشد. بیش ترین افزایش قطر بوته مربوط به تیمارهای C2.5B2.5 و C2.5B2 با میانگین ۱۵/۹ و ۱۵/۷۶ میلی متر که اختلاف معنادار در سطح پنج درصد با سایر تیمارها داشتند، مشاهده شد کمترین میزان قطر بوته مربوط به تیمار C0B0 با میانگین ۱۳/۱۶ میلی متر است. علاوه بر این مشاهده شد. استفاده از بیوپچار و کمپوست به صورت ترکیبی می تواند تأثیر بهتری نسبت به استفاده از بیوپچار و کمپوست به صورت جداگانه داشته باشد. این نتایج مشابه با نتایج Doaa and Ashmawi (2022) است، که نشان داده بودند بیوپچار و کمپوست و فلدسپات پتاسیم می تواند قطر بوته چشم بلبلی را افزایش می دهد.



شکل ۱- قطر (الف، ب و ج) و طول (د، ه و پ) میوه فلفل دلمه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری و بیوجار و کمپوست (الف و د- آبیاری ۱۰۰ درصد، ب و ه- آبیاری ۷۵ درصد، ج و پ- آبیاری ۶۵ درصد)

توضیحات شکل: حروف مشترک در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد احتمال می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 1- Diameter (a, b, and c) and length (d, e, and f) of bell pepper fruit in different regimes of irrigation, biochar, and compost (a, and d - 100% irrigation, b and e - 75% irrigation, c and f) - Irrigation 65%)



شکل ۲- ضخامت گوشت (الف، ب و ج) و وزن (د، ه و پ) میوه فلفل دلمه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری و بیوپچار و کمپوست (الف و د- آبیاری ۱۰۰ درصد، ب و ه- آبیاری ۷۵ درصد، ج و پ- آبیاری ۶۵ درصد)

توضیحات شکل: حروف مشترک در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معناداری در سطح پنج درصد احتمال می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

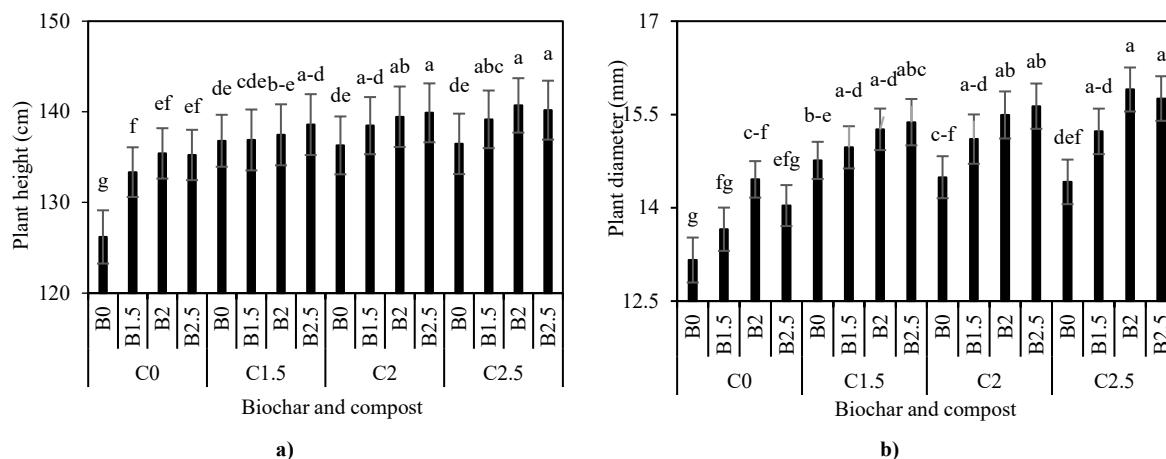
Figure 2- Weight (d, e, and f) and flesh thickness (a, b and c) of bell pepper fruit in different regimes of irrigation, biochar, and compost (a and d - 100% irrigation, b and e - 75% irrigation, c and f- Irrigation 65%)

et al., 2023). علاوه بر این، کاربرد بیوپچار می‌تواند فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را تحریک کرده و محیط بیولوژیکی خاک را بهبود ببخشد، که برای افزایش رشد و عملکرد ریشه بسیار

بیوپچار غنی از عناصر معدنی است و سطح ویژه بالایی نیز دارد که می‌تواند به‌طور مستقیم مواد مغذی را از خاک جذب کند و شستشوی مواد مغذی را کاهش دهد (Li et al., 2023; Lv

هورمون‌های رشد و اسیدهای هیومیک است که می‌تواند رشد محصول را افزایش دهد (Arancon et al., 2010). شایان‌ذکر است که استفاده از بیوپچار و کمپوست به‌صورت ترکیبی در این مطالعه منجر به افزایش رشد گیاه نسبت به کاربرد این دو ماده به‌صورت جداگانه شد. بنابراین کاربرد بیوپچار و کمپوست به‌صورت ترکیب با یکدیگر اثر هم‌افزایی داشتند.

Manzoor et al., 2022; Wu et al., 2022; Wan et al., 2023). از طرفی مطالعات نشان دادند که استفاده از مواد آلی همچون کمپوست نه‌تنها فعالیت آنزیمی دخیل در سنتز کلروفیل، رشد گیاه و رسیدن میوه را فعال می‌کند، بلکه در دسترس بودن مواد مغذی در خاک را نیز افزایش می‌دهد (Zuo et al., 2018; Liu et al., 2022). همچنین مطالعات تأکید کرده‌اند که کمپوست حاوی مقادیر بالایی از سیتوکینین‌ها،



شکل ۳- اثر متقابل بیوپچار-کمپوست بر قطر (ب) و ارتفاع بوته (الف)

توضیحات شکل: حروف مشترک در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معناداری در سطح پنج درصد احتمال می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 3- Biochar-compost interaction effect on plant height (b) and diameter (a)

et al., 2020) مشابه بودند زیرا آن‌ها نیز گزارش کردند استفاده از بیوپچار و کمپوست به‌صورت جداگانه و ترکیبی تعداد میوه در بوته را در گیاه به‌صورت معنادار در سطح پنج درصد نسبت به شاهد بدون بیوپچار و کمپوست افزایش داد.

نتایج به‌دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد میوه دلالت بر تأثیر معنادار تمام فاکتورها به غیر از اثر متقابل سه‌گانه بیوپچار و کمپوست و آبیاری در سطح یک درصد دارد (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده از اثر دوگانه بیوپچار و کمپوست بر عملکرد فلفل دلمه‌ای (شکل ۵) مشاهده شد تیمار C2.5B2 با میانگین ۲/۱ کیلوگرم در بوته اختلاف معنادار در سطح پنج درصد با سایر تیمارها داشته و نسبت به تیمار C0B0 با میانگین ۰/۸۲ کیلوگرم در بوته افزایش ۱۵۶ درصدی را نشان داد. در رتبه بعدی تیمارهای C2B2 و C2B2.5 با میانگین ۱/۸۹ کیلوگرم در بوته بیش‌ترین عملکرد را نشان داده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده در رابطه با تعداد میوه و عملکرد (شکل ۴ و ۵) مشاهده می‌شود که افزایش عملکرد رابطه مستقیمی با افزایش تعداد میوه دارد. با توجه به نتایج مربوط به تعداد میوه و رشد گیاه مشاهده می‌شود که با افزایش نرخ اختلاط بیوپچار و کمپوست هر

۳-۳- خصوصیات عملکردی و بهره‌وری

طبق نتایج به‌دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تعداد میوه دلالت بر تأثیر معنادار تمام فاکتورها به غیر از (آبیاری-بیوپچار و تأثیر متقابل سه‌گانه) در سطح یک درصد دارد. اثر متقابل دوگانه آبیاری و بیوپچار در سطح پنج درصد معنادار شد (جدول ۲). با توجه به بررسی اثر دوگانه کمپوست و بیوپچار (شکل ۴) تیمار C2.5B2 به اندازه ۱۷/۸۳ عدد مشاهده شد که نسبت به شاهد (C0B0) افزایش معنادار در سطح پنج درصد داشت. کم‌ترین مقدار میوه مربوط به تیمار شاهد (C0B0) بود. همچنین مشاهده شد استفاده از بیوپچار و کمپوست به‌صورت ترکیبی باعث افزایش معنادار در سطح پنج درصد تعداد میوه نسبت به استفاده از بیوپچار و کمپوست به‌صورت جداگانه شد که می‌توان این افزایش را به خاطر قابلیت افزایش حفظ آب بیوپچار و تأمین مواد غذایی و میکروارگانیزم‌های مهم موردنیاز گیاه توسط کمپوست دانست. زیرا با افزایش نرخ ترکیب بیوپچار و کمپوست تعداد میوه در بوته نیز افزایش یافته است که نشان دهنده تقویت گیاه به‌دلیل وجود آب و مواد مغذی بیش‌تر نسبت به نرخ‌های بدون بیوپچار است. نتایج به‌دست آمده از افزایش تعداد میوه در بوته با نتایج (Obadi

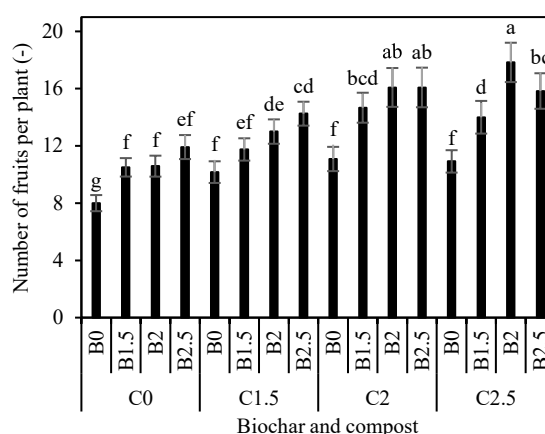
طبق نتایج به دست آمده از اثر متقابل بیوپار و رژیم آبیاری بر عملکرد فلفل (شکل ۵) مشاهده شد تیمارهای D100B2 و D100B2.5 با میانگین ۱/۹۵ کیلوگرم در بوته اختلاف معنادار در سطح پنج درصد نسبت به سایر تیمارها داشتند. تیمار D65B0 با میانگین عملکرد ۰/۸۶ کیلوگرم در بوته کمترین عملکرد را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمد مشاهده شد که استفاده از بیوپار در سطوح ۱/۵، ۲، ۲/۵ درصد وزنی و آبیاری ۷۵ درصد تبخیر-تعرق ضمن صرفه جویی در مصرف آب باعث افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد (D100B0) شد (شکل ۵). (Artiola et al., 2012; Basso et al., 2013; Novak et al., 2009) افزایش ظرفیت نگهداری آب را به دلیل ظرفیت جذب بالا و ساختار متخلخل بیوپار گزارش کردند. علاوه بر این، استفاده از بیوپار به طور قابل توجهی وضعیت آب گیاه را افزایش می دهد. بهبود وضعیت آب گیاه می تواند به افزایش عملکرد میوه در گیاهان تیمار شده با بیوپار کمک می کند.

۳-۳-۱- بهره‌وری

نتایج به دست آمده در تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بهره‌وری دلالت بر تأثیر معنادار اثر اصلی فاکتورها و بلوک و اثر متقابل بیوپار و کمپوست در سطح یک درصد دارد. همچنین اثر متقابل آبیاری و کمپوست در سطح پنج درصد معنادار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج (شکل ۶) به دست آمده مشاهده شد تیمارهای C2.5B2، به ترتیب با میانگین ۳۹/۳ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر معنادار در سطح پنج درصد بر بهره‌وری داشته است. تیمار C0B0 با میانگین بهره‌وری ۱۶/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین بهره‌وری را در بین تمامی تیمارها داشت. افزایش سطح ویژه بیوپار می تواند توانایی این سطوح را برای حفظ غشای محلول در آب افزایش دهد و ظرفیت نگهداری آب را افزایش دهد. در نتیجه تبخیر-تعرق واقعی آب را کاهش دهد. این مکانیسم احتمالاً نحوه افزایش بهره‌وری در گیاه فلفل را توضیح دهد (Ali et al., 2020). (Akhtar et al., 2014) و (Usman et al., 2016) یافته‌های مشابهی را گزارش کردند که بهره‌وری گوجه‌فرنگی بعد از افزودن بیوپار به طور قابل توجهی افزایش یافته بود. کاربرد بیوپار و کمپوست به صورت ترکیبی نشان داد پتانسیل افزایش بهره‌وری بیش‌تری نسبت به استفاده از بیوپار و کمپوست به صورت جداگانه دارد. این افزایش بهره‌وری به دلیل نقش بیوپار و کمپوست در افزایش عملکرد و تعداد میوه و وزن میوه بوده است. بیوپار و کمپوست به صورت ترکیبی پتانسیل بیش‌تری در حفظ آب خاک دارند.

مطابق نتایج به دست آمده از اثر متقابل آبیاری و کمپوست (شکل ۶) مشاهده شد تیمارهای D75C2 و D75C2.5 به ترتیب

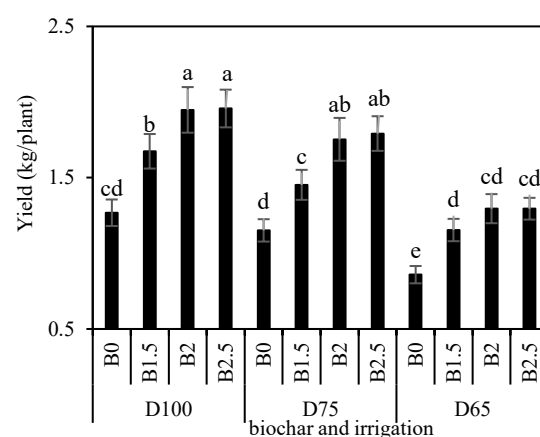
دو عامل افزایش پیدا کردند. افزایش عملکرد گیاه را می توان به دلیل بهبود وضعیت گیاه تحت تأثیر تلفیق بیوپار و کمپوست دانست. (Obadi et al., 2020) نتایج مشابهی گزارش کردند که کاربرد تلفیقی بیوپار و کمپوست احتمالاً باعث افزایش رشد گیاهان فلفل و تعداد میوه و در نتیجه افزایش عملکرد شد. این ممکن است به این دلیل باشد که بیوپار به عنوان یک بستر حفظ نیتروژن عمل می کند که با حفظ و جلوگیری از شسته شدن نیتروژن در خارج از دسترس گیاه، اثربخشی بیوپار و کمپوست تلفیقی را افزایش می دهد (Yilangai et al., 2014).



شکل ۴- اثر متقابل بیوپار-کمپوست بر تعداد میوه در بوته

توضیحات شکل: حروف مشترک در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معناداری در سطح پنج درصد احتمال می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 4- The interaction effect of biochar-compost on the number of fruits per plant



شکل ۵- اثر متقابل بیوپار-آبیاری بر عملکرد

توضیحات شکل: حروف مشترک در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معناداری در سطح پنج درصد احتمال می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 5- Interaction effect of biochar-irrigation on yield

شکل ۶- اثر متقابل الف) کمپوست-آبیاری ب) بیوچار-کمپوست و بر بهره‌وری فلفل دلمه‌ای

توضیحات شکل: حروف مشترک در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معناداری در سطح پنج درصد احتمال هستند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 6- The interaction effect of a) compost-irrigation b) biochar-compost on the productivity of sweet pepper

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از بیوچار و کمپوست به‌صورت ترکیبی در کشت فلفل دلمه‌ای مزایای قابل‌توجهی را به همراه دارد. این رویکرد نوین نه‌تنها منجر به افزایش چشمگیر عملکرد این محصول می‌شود، بلکه با بهینه‌سازی مصرف آب، بهره‌وری را نیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای ارتقا می‌دهد. و ادغام بیوچار و کمپوست در کنار آبیاری مداوم، رویکردی پایدار و کارآمد برای ارتقای عملکرد و بهره‌وری فلفل دلمه‌ای در گلخانه‌ها به‌شمار می‌رود.

تغذیه گیاهان فلفل دلمه‌ای با ۲ درصد بیوچار و ۲/۵ درصد کمپوست در کنار اعمال کم‌آبیاری مداوم تا ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، بهره‌وری را به شکل معناداری (در سطح پنج درصد) به میزان ۱۳۹ درصد افزایش داد. لیکن این شرایط تأثیر متوسطی بر عملکرد و رشد فلفل دلمه‌ای در شرایط گلخانه گذاشت. این جنبه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود آب مواجه هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در شرایطی که کمبود آب به‌طور فزاینده‌ای به یک چالش جهانی تبدیل شده است، این روش می‌تواند راهکاری ارزشمند برای حفظ منابع آبی و کشاورزی پایدار باشد. برای درک بهتر تأثیر عملی کاربرد بیوچار و کمپوست بر افزایش عملکرد و بهره‌وری محصولات کشاورزی، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های مزرعه‌ای گسترده‌تری با تمرکز بر ارزیابی عملکرد مختلف محصولات زراعی در شرایط مختلف آب و هوایی و خاک انجام شود. همچنین، انجام تحلیل‌های اقتصادی دقیق از جمله محاسبه نسبت هزینه به فایده، می‌تواند به ارزیابی اقتصادی این فناوری کمک کرده و تصمیم‌گیری بهینه کشاورزان را تسهیل کند.

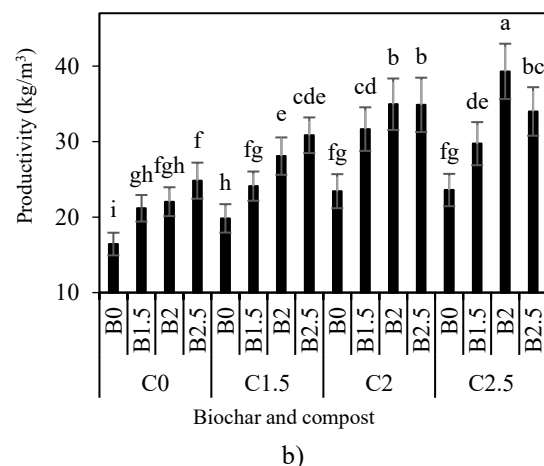
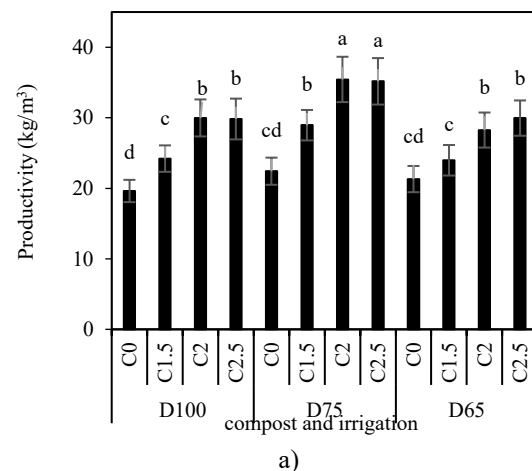
سپاس‌گزاری

از مدیریت و پرسنل بخش معاونت کشاورزی شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) به‌برای همکاری در تولید و آنالیز بیوچار و کمپوست مورد استفاده در این پژوهش سپاسگزاریم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

با میانگین ۳۵/۴۳ و ۳۵/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف معنادار در سطح پنج درصد با سایر تیمارها دارد. کم‌ترین میزان بهره‌وری مربوط به تیمار D100C0 بوده که ضمن مصرف آب بیش‌تر نسبت به سایر تیمارها عملکرد پایینی داشته است. همچنین مشاهده شد تیمارهای D75C1.5، D100C2.5، D100C2 و D65C2.5 و D65C2 اختلاف معناداری (در سطح پنج درصد) با یکدیگر نداشته‌اند. پس می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کمپوست در سطح دو درصد و آبیاری ۶۵ درصد تبخیر-تعرق ضمن کاهش میزان آبیاری می‌تواند بهره‌وری را نیز افزایش دهد. نتایج (Sharaei et al. (2006 نشان داد کاهش میزان آب آبیاری در گوجه‌فرنگی ابتدا بهره‌وری آب را افزایش داده و کاهش بیش‌تر آن، باعث کاهش بهره‌وری آب شده است. (Stikic et al. (2003 نیز در بررسی بر روی گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند کم‌آبیاری بهره‌وری آب را نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش می‌دهد. از آنجایی‌که بهره‌وری را می‌توان با افزایش عملکرد یا کاهش مصرف آب و آب آبیاری کاربردی بهبود بخشید، پرورش‌دهندگان می‌توانند از این عوامل برای کاهش مصرف آب گیاهان و درعین حال حفظ عملکرد و کیفیت استفاده کنند (Krnak et al., 2002).



دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌ها بنا به درخواست معقول از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

عارف کرملایچ: نگارش پیش‌نویس اولیه؛ سید مجید میرلطیفی: مفهوم سازی، روش‌شناسی؛ علی مختاری بیدگلی: تحلیل آماری و نرم‌افزار.

منابع

بیطرفان، زهرا، اصغری، حمیدرضا، حسلو، طاهره، غلامی، احمد، و مرادی، فواد، (۱۳۹۷). تأثیر بیوجار بر میزان تریکونلین بذر اکوتیپ‌های گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L) در شرایط کم‌آبیاری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۴(۱): ۱۶۵-۱۵۵. doi: 10.22092/ijmapr.2018.115556.2147

شرایعی، پروین، سیحانی، علیرضا، رحیمیان، محمدحسین، (۱۳۸۵). تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری و کود پتاسیم بر کارایی مصرف آب و کیفیت میوه گوجه فرنگی رقم پتو ارلی سی اچ. تحقیقات مهندسی صنایع غذایی، ۷(۲)، ۷۵-۸۶.

References

- Abayomi, Y. A., Aduloju, M. O., Egbewunmi, M. A., and Suleiman, B. (2012). Effects of soil moisture contents and rates of NPK fertilizer application on growth and fruit yields of pepper (*Capsicum* spp.) genotypes. *International Journal of AgriScience*, 2: 651-663. doi: 10.4236/jacen.2023.122015
- Adeoye, P. (2014). Effect of Irrigation Intervals on Growth and Yield of Bell Pepper (*Capsicum annuum*) in a Tropical Semi-arid Region. *American Journal of Experimental Agriculture*, 4: 515-524. doi: 10.9734/AJEA/2014/7788
- Agegehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Muirhead, B., Wright, G., and Bird, M. I. (2015). Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213: 72-85. doi: 10.1016/j.agee.2015.07.027
- Agegehu, G., Bird, M. I., Nelson, P. N., and Bass, A. M. (2015). The ameliorating effects of biochar and compost on soil quality and plant growth on a Ferralsol. *Soil Research*, 53(1): 1-12. doi: doi.org/10.1071/SR14118
- Ahmed, A., Yu, H., Yang, X., and Jiang, W. (2014). Deficit Irrigation Affects Growth, Yield, Vitamin C Content, and Irrigation Water Use Efficiency of Hot Pepper Grown in Soilless Culture. *HortScience*, 49: 722-728. doi: 10.21273/HORTSCI.49.6.722
- Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N., & Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37-44. doi: 10.1016/j.agwat.2014.02.016
- Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N., and Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138: 37-44. doi: 10.1016/j.agwat.2014.02.016
- Al-Harbi, A. R., Obadi, A., Al-Omran, A. M., and Abdel-Razzak, H. (2020). Sweet peppers yield and quality as affected by biochar and compost as soil amendments under partial root irrigation. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(7): 452-460. doi: 10.1016/j.jssas.2020.08.002
- Alherbi, A., Saleh, A. M., Alomran, A., and Wahb-Allah, M. (2014). Response of bell-pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and deficit irrigation strategy under greenhouse conditions. *Acta horticulturae*, 1034: 443-445. doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1034.54
- Ali, A. B., Elshaikh, N. A., Hussien, G., Abdallah, F. E., & Hassan, S. (2020). BIOCHAR ADDITION FOR ENHANCED CUCUMBER FRUIT QUALITY UNDER DEFICIT IRRIGATION. *Bioscience Journal*, 36(6). doi: 10.14393/BJ-v36n6a2020-47814
- Arancon, N., Edwards, C., Webster, K., Buckerfield, J. (2010). The potential of vermicomposts as plant growth media for greenhouse crop production. *Vermiculture Technol.* 9, 103-128. doi: 10.1201/b10453-10
- Artiola, J., Rasmussen, C., and Freitas, R. (2012). Effects of a Biochar-Amended Alkaline Soil on the Growth of Romaine Lettuce and Bermudagrass. *Soil Science*, 177: 561-570. doi: 10.1097/SS.0b013e31826ba908
- Basso, A., Miguez, F., Laird, D., Horton, R., and Westgate, M. (2013). Assessing potential of biochar for increasing water - holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy*, 5. doi: 10.1111/gcbb.12026
- Bitarafan, Z., Asghari, H.R., Hasanloo, T., Gholami, A., and Moradi, F. (2018). Biochar effect on seed trigonelline content of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under deficit irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 34(1): 155-165. doi: 10.22092/ijmapr.2018.115556.2147 [In Persian]
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.-L., Waskom, R. M., Niu, Y., and Siddique, K. H. M. (2015). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1): 3. doi: 10.1007/s13593-015-0338-6

- Chapagain, A., and Hoekstra, A. (2006). Water Footprints of Nations. 16 .
- Dağdelen, N., Yilmaz, E., Fuat, S., and Gürbüz, T. (2004). Effects of Water Stress at Different Growth Stages on Processing Pepper (*Capsicum annum* Cv . Kapija) Yield Water Use and Quality Characteristics. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7. doi: 10.3923/pjbs.2004.2167.2172
- Doaa, M., and Ashmawi, A. E. (2022). Effect of Feldspar, Compost and Biochar on Cultivating Cowpea (*Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata*) Plant and Soil Sandy Clay Loam Properties. *Asian Soil Research Journal*, 6(1): 42-57. doi: 10.9734/asrj/2022/v6i130123
- Ebrahimi, M., Souri, M. K., Mousavi, A., & Sahebani, N. (2021). Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under deficit irrigation. *Chemical and biological technologies in agriculture*, 8(1), 1-14. doi: 10.1186/s40538-021-00216-9
- Ezzo, M., Glala, A. A., Habib, H., & Helaly, A. (2010). Response of Sweet Pepper Grown in Sandy and Clay Soil Lysimeters to Water Regimes. *J. Agric. & Environ. Sci*, 8.
- FAO. (2009). How to feed the world in 2050. Retrieved from Rome :
- FAO. (2017). Water for Sustainable Food and Agriculture (978-92-5-109977-3). Retrieved from Rome :
- Fereres, E., and Soriano, M. A. (2006). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 147-159. doi: 10.1093/jxb/erl165
- Gebremedhin, and Haileselassie, B. (2015). Effect of Biochar on Yield and Yield Components of Wheat and Post-harvest Soil Properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 06. doi: 10.4172/2471-2728.1000158
- Guang-Cheng, S., Na, L., Zhan-Yu, Z., Shuang-En, Y., and Chang-ren, C. (2010). Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 126(2): 172-179. doi: 10.1016/j.scienta.2010.07.003
- Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeen, K., Shahzad, S., Jahan, S., and Rasul, F. (2017). Effect of biochar on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) MERR. Under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 49: 7-13 .
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A., Solaiman, Z., Alghamdi, S., Jawad, A., Ok, Y. S., and Siddique, K. (2017). Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*, 17: 685-716. doi: 10.1007/s11368-016-1360-2
- Khan, M., Farooque, A., Hoque, M., Rahim, M., & Haque, M. (2009). Effect of irrigation levels at different growth stages on growth parameters and yield of four selected chilli accessions. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(1), 143-155. doi: 10.3329/bjar.v34i1.5764
- Khandaker, M., Rohani, F., Dalorima, T., and Mat, N. (2017). Effects of Different Organic Fertilizers on Growth, Yield and Quality of *Capsicum Annuum* L. Var. Kulai (Red Chilli Kulai). *Biosciences, Biotechnology Research Asia*, 14: 185-192. doi: 10.13005/bbra/2434
- Kirnak, H., Tas, I., Kaya, C., and Higgs, D. (2002). Effects of deficit irrigation on growth, yield, and fruit quality of eggplant under semi-arid conditions. *Australian Journal of Agricultural Research - AUST J AGR RES*, 53. doi: 10.1071/AR02014
- Li C, Zhao C, Zhao X, Wang Y, Lv X, Zhu X, Song X. Beneficial Effects of Biochar Application with Nitrogen Fertilizer on Soil Nitrogen Retention, Absorption and Utilization in Maize Production. *Agronomy*. 2023; 13(1):113. doi: 10.3390/agronomy13010113
- Liu, X., Zhang, J., Wang, Q., Chang, T., Shaghaleh, H., Hamoud, Y. A. (2022). Improvement of photosynthesis by biochar and vermicompost to enhance tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield under greenhouse conditions. *Plants* 3214. doi: 10.3390/plants11233214
- Lodhi, A., Kaushal, A., and Singh, K. G. (2014). Impact of Irrigation Regimes on Growth, Yield and Water Use Efficiency of Sweet Pepper. *Indian Journal of Science and Technology*, 7: 790-794. doi: 10.17485/ijst/2014/v7i6.2
- Lv Y, Xu L, Guo X, Liu J, Zou B, Guo Y, Zhang Y, Li H, Zheng G, Guo Y, et al. Effect of Biochar on Soil Physiochemical Properties and Bacterial Diversity in Dry Direct-Seeded Rice Paddy Fields. *Agronomy*. 2023; 13(1):4. doi: 10.3390/agronomy13010004
- Manzoor, Ma, L., Ni, K., Ruan, J. (2022). Effect of integrated use of rapeseed cake, biochar and chemical fertilizers on root growth, nutrients use efficiency and productivity of tea. *Agronomy* 12, 1823. doi: 10.3390/agronomy12081823
- Nikodinovic-Runic, J., Guzik, M., Kenny, S. T., Babu, R., Werker, A., and O Connor, K. E. (2013). Chapter Four - Carbon-Rich Wastes as Feedstocks for Biodegradable Polymer (Polyhydroxyalkanoate) Production Using Bacteria. In S. Sariaslani & G. M. Gadd (Eds.), *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 84, pp. 139-200): Academic Press.
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J., Steiner, C., Das, K. C., and Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Ann. Environ. Sci*, 3: 2-3 .

- O'Sullivan, J. (1979). RESPONSE OF PEPPERS TO IRRIGATION AND NITROGEN. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(4), 1085-1091. doi: 10.4141/cjps79-168
- Obadi, A., AlHarbi, A., Abdel-Razzak, H., and Al-Omran, A. (2020). Biochar and compost as soil amendments: effect on sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) growth under partial root zone drying irrigation. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(13): 508. doi: 10.1007/s12517-020-05529-x
- Prost, K., Borchard, N., Siemens, J., Kautz, T., Séquaris, J.-M., Möller, A., and Amelung, W. (2013). Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. *Journal of environmental quality*, 42(1): 164-172. doi: 10.2134/jeq2012.0064
- Rasal, D., Kanwar, H., Kirti, S., Pawar, R., Sharma, A., and Gir, V. (2017). Effect of drip irrigation and polyethylene mulching on growth and yield of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under mid hill zone of Himachal Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6: 2798-2802 .
- Roghanian, S., Mirseyed, H., Savaghebi, G., Halajian, L., Jamei, M., and Etesami, H. (2012). Effects of composted municipal waste and its leachate on some soil chemical properties and corn plant responses. *International Journal of Agriculture: Research and Review* .
- Ruiz-Lau, N., Lara, M. d. F., Minero-García, Y., Zamudio, E., Guzmán Antonio, A., Ileana, E., and Martínez-Estevéz, M. (2011). Water Deficit Affects the Accumulation of Capsaicinoids in Fruits of *Capsicum chinense* Jacq. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 46. doi: 10.21273/HORTSCI.46.3.487
- Schulz, H., and Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3): 410-422. doi: 10.1002/jpln.201100143
- Schulz, H., Dunst, G., and Glaser, B. (2013). Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4): 817-827. doi: 10.1007/s13593-013-0150-0
- Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S., Eker, S., & Kapur, B. (2011). Yield and quality response of drip-irrigated pepper under Mediterranean climatic conditions to various water regimes. *African Journal of Biotechnology*, 10(8), 1329-1339.
- Sharayei, P., Sobhani, A.R., and Rahimian, M.H. (2006). Effect of Different Levels of Irrigation Water and Potassium on water Productivity and Quality of Tomato (Peto early CH). *Journal of Agricultural Engineering Research*. 27(7): 75-86 [In Persian]
- Solomon, S. (2011). Sugarcane By-Products Based Industries in India. *Sugar Tech*, 13(4): 408-416. doi: 10.1007/s12355-011-0114-0
- Souri, M. K., and Sooraki, F. (2019). Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *Journal of Plant Nutrition*, 42: 650-656. doi: 10.1080/01904167.2019.1568461
- Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, L., and Zdravković, J. (2003). Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Journal of Plant Physiology*: 164-171 .
- Thirtle, C., Irz, X., Lin, L., and Wiggins, S. (2001). The Relationship Between Changes in Agricultural Productivity and the Incidence of Poverty in Developing Countries. Department for International Development .
- Trupiano, D., Cocozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F., Lustrato, G., Lonardo, S., Fantasma, F., Tognetti, R., and Scippa, G. (2017). The Effects of Biochar and Its Combination with Compost on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth, Soil Properties, and Soil Microbial Activity and Abundance. *International Journal of Agronomy*, 2017. doi: 10.1155/2017/3158207
- Usman, A. R. A., Al-Wabel, M. I., Ok, Y. S., Al-Harbi, A., Wahb-Allah, M., El-Naggar, A. H., Ahmad, M., Al-Faraj, A., and Al-Omran, A. (2016). Conocarpus Biochar Induces Changes in Soil Nutrient Availability and Tomato Growth Under Saline Irrigation. *Pedosphere*, 26(1): 27-38. doi: 10.1016/S1002-0160(15)60019-4
- Vernieri, P., Borghesi, E., Tognoni, F., Ferrante, A., Serra, G., and Piaggese, A. (2006). Use of Biostimulants for Reducing Nutrient Solution Concentration in Floating System. *Acta horticulturae*, 718: 477-484. doi: 10.17660/ActaHortic.2006.718.55
- Wan, H., Liu, X., Shi, Q., Chen, Y., Jiang, M., Zhang, J., et al. (2023). Biochar amendment alters root morphology of maize plant: its implications in enhancing nutrient uptake and shoot growth under reduced irrigation regimes. *Front. Plant Sci.* 14. doi: 10.3389/fpls.2023.1122742
- Wu, D., Zhang, W., Xiu, L., Sun, Y., Gu, W., Wang, Y., et al. (2022). Soybean yield response of biochar-regulated soil properties and root growth strategy. *Agronomy* 12, 1412. doi: 10.3390/agronomy12061412
- Yilangai, R., Manu, S., Pineau, W., Mailumo, S., and Okeke-Agulu, K. (2014). The Effect of Biochar and Crop Veil on Growth and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in Jos, North

- central Nigeria. *Current Agriculture Research Journal*, 2: 37-42. doi: 10.12944/CARJ.2.1.05
- Zahra, M. B., Aftab, Z.-E. H., Akhter, A., and Haider, M. S. (2021). Cumulative effect of biochar and compost on nutritional profile of soil and maize productivity. *Journal of Plant Nutrition*, 44(11): 1664-1676. doi: 10.1080/01904167.2021.1871743
- Zuo, Y., Zhang, J., Zhao, R., Dai, H., Zhang, Z. (2018). Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity. *Scientia Horticult.* 233, 132–140. doi: 10.1016/j.scienta.2018.01.023