Vol 14, No. 3, Autumn 2024

University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management Online ISSN: 2382-9931

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

The effect of Deficit Irrigation and Biochar on Morphological characteristics of coriander in a fine-grained soil

Elnaz Moslemli[1] | Javad Behmanesh[2]✉ | Vahid Rezaverdinejad[3]

1. Irrigation and Drainage Group, Water Engineering Department, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: elnazmoslemlii1999@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Urmia University,Urmia. Iran. E-mail: j.behmanesh@urmia.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: v.verdinejad@urmia.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 14 January 2024
Received in revised form
6 April 2024
Accepted 24 July 2024
Published online 23 November 2024

Keywords:
Green house cultivation
Growth index
Plant Growth
Water productivity
Water stress

ABSTRACT

Biochar as a soil amendment improves soil physical and chemical properties. Drought stress is one of the most important factors that limit plants growth. In order to study the effect of biochar on growth and morphological characteristics of coriander in a fine-grained soil under water stress, one factorial experiment in Randomized Complete was carried out in the research greenhouse of Urmia University, Iran. Experimental treatments included three levels of deficit-irrigation 100, 75 and 50 percent of water requirement of coriander (a1, a2 and a3) and three levels of application of biochar 0, 2.5 and 5 percent by weight percentage of each pot (b1, b2 and b3). The results of analysis of variance and comparison of the mean of measured traits (fresh and dry weight of plant, leaves, stems and roots) showed that these traits were significantly different under the influence of different levels of irrigation and biochar application. So that the highest value of each of these traits was observed in the treatment of complete irrigation and application of 2.5 percent by weight of biochar (a1b2) and the lowest value was observed in the irrigation treatment of 50 percent of water requirement and without biochar (a3b1). The highest water productivity based on fresh (3.26 kg/m^3) and dry (0.49 kg/m^3) of the coriander was obtained from a2b2 treatment. So, it can be concluded that the application of the appropriate amount of biochar reduces the negative effects of moisture stress and improves plant growth and development indicators compared to the control treatment. Therefore, it is recommended to use it for the plant in conditions where the plant is under drought stress or in greenhouses in order to reduce the amount of water consumed and improve the growth and performance of the plant.

Cite this article: Moslemli, E., Behmanesh, J., & Rezaverdinejad, V. (2024). The effect of Deficit Irrigation and Biochar on Morphological characteristics of coriander in a fine-grained soil. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (3), 777-788. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.371077.1136

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.371077.1136

دوره چهاردهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات مرفولوژیک گیاه گشنیز در یک خاک ریزدانه

الناز مسلم‌لی[۱] | جواد بهمنش[۲]✉ | وحید رضاوردی‌نژاد[۳]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: elnazmoslemlii1999@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: j.behmanesh@urmia.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: v.verdinejad@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

کلیدواژه‌ها:

بهره‌وری آب

تنش آبی

رشد گیاه

شاخص رشد

کشت گلخانه‌ای

چکیده

بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. تنش رطوبتی نیز یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان است این پژوهش به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات مرفولوژیک گیاه گشنیز در یک خاک ریز دانه بر پایه فاکتوریل به‌صورت کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی و پژوهشی دانشگاه ارومیه انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گشنیز (a1، a2، a3) و سه سطح کاربرد بیوچار صفر (بدون کاربرد بیوچار) ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان (b1، b2، b3) بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات موروفولوژیکی اندازه‌گیری‌شده (وزن تر وخشک گیاه، برگ، ساقه و ریشه) نشان داد که این صفات تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد بیوچار اختلاف معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار هر یک از این صفات در تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار (a1b2) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون بیوچار (a3b1) مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب براساس وزن تر (۳/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب) و خشک (۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب) گیاه از تیمار a2b2 به‌دست آمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد مقدار مناسب بیوچار سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی و بهبود شاخص‌های رشدونمو گیاه در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود. بنابراین کاربرد آن برای گیاه در شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی است و یا گلخانه‌ها به‌منظور کاهش میزان آب مصرفی و بهبود رشد و عملکرد گیاه توصیه می‌شود.

استناد: مسلم‌لی، الناز؛ بهمنش، جواد و رضاوردی‌نژاد، وحید (۱۴۰۳). اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات مرفولوژیک گیاه گشنیز در یک خاک ریزدانه. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۳)، ۷۷۷-۷۸۸. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.371077.1136

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

یکی از مشکلات اساسی در اقلیم گرم و خشک ایران، کمبود آب می‌باشد. با توجه به کاهش سرانه آب تجدیدشونده به‌دلیل رشد جمعیت و کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر و احتمال تداوم آن در آینده، لازم است تمهیداتی جهت مقابله با بحران آب اتخاذ نمود. بخش وسیعی از زمین‌های زیرکشت محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است و این گیاهان در معرض شرایط نامطلوب محیطی مانند شوری و خشکی قرار دارند (Feizizadeh *et al*., 2012). آزمایش‌های متعدد تحت شرایط مختلف توسط پژوهش‌گران در سراسر دنیا نشان داده است که در بعضی مراحل رشد می‌توان از روش‌های کم‌آبیاری استفاده کرد بدون آن‌که باعث افت معنی‌داری در کیفیت و کمیت محصول گردد (Fakhrabadi *et al*., 2021). یک ایده که به‌تازگی برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی‌مدت کربن در خاک پیشنهادشده استفاده از بیوچار است (Azeem *et al*., 2016). بیوچار یک ماده آلی غنی از کربن است که در اثر آذرکافت حرارتی زیست‌توده‌ها مانند ضایعات کشاورزی در شرایط بی‌هوازی تولید گردیده و قابلیت ماندگاری زیادی در خاک دارد (Beesley *et al*., 2015). زغال زیستی می‌تواند اثر منفی تنش خشکی را کاهش داده و عملکرد و کارایی مصرف آب را بهبود ببخشد (Faloye *et al*., 2019). Obadi *et al*. (2023) به بررسی اثرات کاربرد بیوچار بر صفات مرفوفیزیولوژیکی و عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری و خشکی در گلخانه‌ای در عربستان تحت تیمارهایی شامل دو کیفیت، آب شیرین (۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر) و آب شور (۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح کم‌آبیاری شامل ۸۰، ۶۰، ۴۰ درصد و دو تیمار بیوچار صفر و ۵ درصد وزنی خاک پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که شوری و کمبود آب بر صفات مرفوفیزیولوژیکی و عملکرد تأثیر منفی دارد و در مقابل آن کاربرد بیوچار تمامی صفات را بهبود بخشید. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که بیوچار همراه با کم‌آبیاری و آب شیرین می‌تواند ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی را بهبود بخشد و رشد گیاه گوجه‌فرنگی را حفظ کرده و بهره‌وری را در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش دهد. Wang *et al*. (2023) به بررسی ترکیبات مختلف بیوچار (BC) و نیتروژن (N) بر عملکرد کشت مخلوط ذرت و سویا و تعیین کاربرد بهینه BC و N برای به حداکثر رساندن اثر سیستم کشت مخلوط در قالب یک آزمایش میدانی دو ساله در شمال‌شرق چین تحت تیمارهای BC (صفر، ۱۵، ۳۰ تن در هکتار) و N (۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) بر رشد گیاه، عملکرد، راندمان مصرف آب و کارایی بازیابی نیتروژن پرداختند. نتایج حاصل نشان داد کاربرد مناسب و به اندازه BC می‌تواند تأثیرات مثبتی به‌همراه داشته باشد، در حالی‌که اگر بیش از اندازه از BC استفاده شود اثرات منفی از خود بر جا می‌گذارد. ترکیبی از BC ۱۷/۱–۱۸/۷۵ تن در هکتار به‌همراه N ۱۶۰/۶۵–۲۰۲/۰۵ کیلوگرم در هکتار برای به‌دست‌آوردن بازدهی بالا، کارایی و کیفیت مصرف آب و کود نیتروژن در دانه ذرت در سیستم کشت مخلوط توصیه می‌شود. Keller *et al*. (2023) به بررسی اثرات بیوچار بر کیفیت خاک، رشد و عملکرد لوبیا چیتی و سورگوم–سودان در خاک لوم شنی طی مطالعه میدانی دو ساله در مرکز علمی لاس کروسس بر روی لوبیا (PB) و سورگوم–سودان (SS) تحت تیمار بیوچار (صفر، ۲/۲ و ۱۱/۲ مگا گرم بر هکتار PB) و (صفر، ۳/۴ و ۶/۷ مگا گرم بر هکتار SS) پرداختند. نتایج تفاوت معنی‌داری در پارامترهای رشد و عملکرد گیاه در دو فصل رشد برای هر دو PB و SS نشان داد. اگرچه نرخ بیوچار بر اکثر پارامترهای خاک تأثیر نمی‌گذارد، اما تغییرات قابل‌توجهی در خواص خاک در طول زمان وجود دارد. Hannachi *et al*. (2023) به بررسی تأثیر بیوچار بر خصوصیات فیزیولوژی، رشد و عملکرد بادمجان (Bonica F1) تحت تنش خشکی و شوری به‌صورت جداگانه و اثر متقابل در قالب آزمایش گلدانی در تونس تحت تیمارهای NaCl (۳۰۰ میلی‌مولار)، سه رژیم آبیاری (کامل، کم‌آبیاری، آبیاری متناوب خشک‌کردن ریشه) و بیوچار (۶ درصد وزنی) پرداختند. یافته‌ها نشان دادند که خشکی و تنش به‌صورت اثر متقابل تأثیر منفی بیش‌تری بر عملکرد Bonica F1 در مقایسه با خشکی یا شوری منفرد

داشت. در حالی‌که افزودن بیوچار به خاک باعث بهبود و کاهش اثرات مستقل و مرکب با تنش خشکی و شوری شد. به‌طورکلی بیوچار در ترکیب با آبیاری متناوب خشک‌کردن ریشه می‌تواند رویکرد کارآمد برای حفظ بهره‌وری محصول باشد. Afaf *et al.* (2023) به بررسی اثرات کاربرد بیوچار تحت تنش خشکی بر حاصل‌خیزی خاک برای بهبود رشد و بهره‌وری گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای آبیاری ۴۵ و ۷۵ درصد محتوای آب خاک، بیوچار (صفر و ۲۰ گرم بر کیلوگرم) و تیمار شاهد با آبیاری ۱۰۰ درصد و بدون بیوچار به‌صورت آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد تمامی تیمارها به‌ویژه تیمار ۴۵ درصد با افزودن بیوچار از تنش خشکی خلاص شدند. استفاده ار بیوچار بر روی تمام پارامترهای مورفولوژیکی گیاه (بوته، سطح برگ، تعداد شاخه، وزن تر و خشک، ارتفاع بوته) به‌جز ارتفاع بوته به طور معنی‌داری افزایش یافت. Nikbakht *et al.* (2022) به بررسی تأثیر کاربرد بیوچار در شرایط تنش خشکی بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه کاهوی فرانسوی به‌صورت گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان پرداختند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی تحت تیمارهای بیوچار صفر، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک و آبیاری ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی صورت گرفت. نتایج حاصل نشان داد اثر متقابل تیمارهای آزمایش، فقط بر دو صفت عملکرد و بهره‌وری آب معنی‌دار شد. Fakhri *et al.* (2022) به بررسی تأثیر رژیم آبیاری، الگوی کشت و کاربرد بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه آویشن تحت تیمارهای آبیاری در سه سطح (آبیاری تمامی جویچه‌ها، آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک در میان ثابت و یک در میان متغیر) بیوچار شامل عدم مصرف بیوچار (شاهد) و مصرف بیوچار (هشت تن در هکتار) و الگوی کشت دو سطح (یک ردیفه، دو ردیفه) پرداختند. این آزمایش در دو سال زراعی و طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد برخلاف کاهش رشد و عملکرد ماده خشک آویشن، تیمارهای آبیاری جویچه‌ای به‌صورت یک درمیان متغیر با کاهش مصرف آب باعث افزایش قابل‌توجه درصد عملکرد اسانس شد. استفاده از بیوچار در شرایط آبیاری یک در میان ثابت و هم‌چنین آبیاری تمامی جویچه‌ها نیز باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس شد. Fakhrabadi *et al.* (2021) به بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر رشد و غلظت عناصر غذایی در گیاه ریحان تحت تنش آبی به‌صورت فاکتوریل در شرایط گلخانه‌ای در کرج تحت تیمارهای آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و بیوچار (صفر، ۵ و ۱۰ درصد حجمی گلدان) پرداختند و نشان دادند کاربرد بیوچار باعث افزایش رشد اندام هوایی گیاه ریحان می‌شود. اثر متقابل بیوچار و کم‌آبیاری نیز معنی‌دار شده و نشان می‌دهد در صورت کاربرد بیوچار در تنش آبی می‌توان از کاهش زیاد عملکرد گیاه جلوگیری کرد. Miri *et al.* (2020) به بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار ضایعات برداشت پسته بر ویژگی‌های رشدی و بهره‌وری آب ذرت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تأثیر کاربرد بیوچار، بسته به نوع خاک متفاوت است. کاربرد بیوچار در خاک لوم سیلتی باعث افزایش وزن اندام هوایی گیاه و افزایش بهره‌وری آب شد. حال آن‌که در خاک شنی نتیجه برعکس بود. گشنیز گیاهی از خانواده چتریان با نام علمی Coriandrum sativum است. گیاهی یک‌ساله به ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و با طول دوره رشد ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز و گرمادوست است که در انواع خاک می‌روید (Beigi, 1997). از خواص دارویی گیاه گشنیز می‌توان به مواردی مثل ضدنفخ، نیروبخش، ضدتشنج، هضم‌کننده غذا و ضد کرم، استفاده در بیماری‌های چشم، دهان، دندان، دیابت و ... (Karimian and Kiamanesh, 2014) و هاضمه، اشتهاآور، برطرف‌کننده دردهای عضلانی و آرامش‌بخش اشاره کرد (Bastami *et al.*, 2015). با توجه به شرایط اقلیمی و کاهش نزولات جوی، حفظ منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. کنترل و مدیریت میزان آب مصرف‌شده در کشاورزی و استفاده از تکنیک کم‌آبیاری جهت ذخیره آب به‌کمک پلیمرهای سوپرجاذب و اصلاح‌کننده خاک به طوری‌که عملکرد و کیفیت محصول پایین نیاید مورد توجه پژوهش‌گران متعددی قرار گرفته است، بنابراین سعی در به‌کارگیری شیوه‌های نوین

جهت استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک به‌همراه کم‌آبیاری پرداختند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کاربرد بیوچار در شرایط تنش آبی بر روی خصوصیات مرفولوژیک گیاه گشنیز در گلخانه انجام شد. ازآنجایی‌که این محصول در مزرعه در استان کشت زمستانه نمی‌شود اما بنا به اهمیت دارویی آن، استفاده از تخم آن به‌عنوان ادویه لذا کشت گلخانه‌ای آن در زمستان می‌تواند نیاز به آن را مرتفع سازد.

۲. مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر کم‌آبیاری و اثر متقابل آن با بیوچار، روی رشد و عملکرد گیاه گشنیز آزمایشی در زمستان ۱۴۰۱ و بهار ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام گردید. گلخانه تحقیقاتی به‌صورت شمالی–جنوبی، در طول و عرض جغرافیایی ۴۴/۹۷ درجه شرقی، ۳۷/۶۵ درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح دریا آزاد واقع شده است. با به‌کارگیری دستگاه هواشناسی در گلخانه Humidity/Barometer Monitor مدل MHB-382SD و Solar Power Meter مدل SPM.1116SD هر ۱۰ دقیقه به طور خودکار دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و فشار هوا ثبت گردید. مطابق جدول (۱) حداکثر و حداقل دما و متوسط پارامترهای دما، رطوبت، فشار و مجموع نور در گلخانه در طول دوره رشد گیاه گشنیز نشان داده شده است.

Table 1. Meteorological parameters in the greenhouse during the growth of the coriander

Min Tep (˚C)	Max Tep (˚C)	Ave Humidity (%)	Ave Tep (˚C)	Ave Pressure (hpa)	Total of Radiation (LUX)
5.5	57.5	28.9	25.3	861.9	6306318

برای کشت محصول، از خاک مزرعه روستای باراجوق واقع در جاده سنتو استفاده شد. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده گردید و سپس به‌کمک مثلث بافت سازمان حفاظت خاک آمریکا بافت خاک لوم رسی سیلتی مشخص شد. برخی از مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده در جدول (۲) آمده است.

Table 2. Physical properties of soil

Soil texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	ρ_b (gr/cm^3)
Silty clay loam	36.7	44.15	19.15	1.2

برای تهیه بیوچار از چوب آلو استفاده گردید که در فشار دو بار، تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت توسط فرایند پیرولیز آهسته تولید شد. فرایند تولید بیوچار توسط شرکت مهندسین مشاور خاک آزما نگین (کانیو) انجام گرفت. خصوصیات بیوچار مورد استفاده در جدول (۳) آمده است.

Table 3. Characteristics of the biochar use it

Rep	Property/Description	Unit	Result
1	Organic materials	%	13.89
2	Ratio C/N	-	10.20
3	OC	%	8.06
4	Mg	%	5.77
5	pH	-	8.2
6	EC	%	0.2
7	N	%	0.79
8	P	%	0.14
9	K	%	0.17
10	Ca	%	4.26
11	Cinder	%	24.6

این پژوهش بر پایه فاکتوریل به‌صورت کاملاً تصادفی به‌صورت گلدانی با دو فاکتور کم‌آبیاری و بیوچار و سه تکرار و در مجموع نُه تیمار و ۲۷ گلدان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری، آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) و کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گشنیز (a1، a2، a3) و سه سطح کاربرد بیوچار صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان (b1، b2، b3) است. آزمایش به‌صورت گلدانی در گلدان‌های استوانه‌ای به ارتفاع ۲۰، قطر ۲۳ سانتی‌متر به‌همراه ۴ کیلوگرم خاک انجام شد. به‌منظور آماده‌سازی خاک برای کشت، با توجه به سطوح وزنی بیوچار (صفر، ۲/۵، ۵ درصد) به خاک اضافه و ترکیب گردید و سپس هر گلدان به‌صورت دستی پرشد. فاصله بین دو ردیف گلدان ۵۰ سانتی‌متر و فاصله هر گلدان از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. جدول (۴) تصویر شماتیک طرح آزمایشی را نشان می‌دهد.

Table 4. Schematic placement of experimental treatments

First rep	a1b1	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2	a2b3	a3b1	a3b2	a3b3
Second rep	a3b1	a3b2	a3b3	a1b1	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2	a2b3
Third rep	a2b1	a2b2	a2b3	a3b1	a3b2	a3b3	a1b1	a1b2	a1b3

بذر گشنیز جوانه زده‌شده به‌صورت دستی در عمق ۲ سانتی‌متری کشت شد. برای کاشت لایه نازکی از خاک سطح هر گلدان برداشته و بذرهای جوانه زده بر روی خاک قرار داده و سپس خاک برداشته‌شده بر روی بذرها ریخته و سطح خاک به‌کمک آب‌پاش نمدار شد. بعد از کاشت، در مراحل ابتدایی کاشت در حد مرطوب‌شدن سطح خاک (حدود ۱۵۰ یا ۲۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان) آبیاری صورت گرفت. بذرها بعد از سه الی چهار روز جوانه زد؛ تیمارهای آبیاری برای هر گلدان اعمال شد. حدود ۱۵ روز به‌منظور جلوگیری از خفگی ریشه، آبیاری در حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر برای ۱۰۰ درصد، ۱۵۰ میلی‌لیتر برای ۷۵ درصد و ۱۰۰ میلی‌لیتر برای ۵۰ درصد صورت گرفت. بعد از ثبات ریشه‌ها در خاک به‌کمک دستگاه TDR مدل Spectium (USA) رطوبت به‌صورت حجمی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. سپس آبیاری (به‌صورت دستی) براساس کمبود رطوبتی (رسانیدن رطوبت به حد ظرفیت زراعی) در تیمار آبیاری کامل و اعمال کم‌آبیاری در بقیه تیمارها صورت گرفت. مقدار رطوبت به‌کمک دستگاه TDR در همه تیمارها اندازه‌گیری شد. سپس محاسبات لازم در همه تیمارها برای رساندن رطوبت به ظرفیت زراعی انجام گردید. در انتها تیمارهای آبیاری به حجم‌های محاسبه‌شده اعمال گردید و آبیاری صورت گرفت. براساس اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش جرمی و به‌کمک دستگاه TDR، رطوبت FC در حدود ۳۲ درصد حجمی به‌دست آمد. در پایان فصل رشد، سه بوته از هر تیمار آزمایشی به‌طور کامل برداشت شد و وزن تر کل گیاه، ساقه، برگ، ریشه، با ترازوی دیجیتالی مدل AND EK-610 با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. بعد از اندازه‌گیری نمونه‌ها در داخل فویل‌های آلومینیومی گذاشته و به‌مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک‌شدن کامل نمونه‌ها، از آون خارج کرده و وزن خشک اندازه‌گیری شد. بهره‌وری آب (WP)، مقدار ماده گیاهی تولیدشده به‌ازای واحد مصرف آب است. برای محاسبه بهره‌وری از رابطه (۱) استفاده شد.

$$WP = \frac{Y}{ET}$$ رابطه ۱)

که در آن، Y میزان عملکرد (Kg/m^2) و ET کل آب مصرفی را بیان می‌کند (m^3/m^2). به‌علت عدم زهکشی از انتهای گلدان‌ها، لذا کل مقدار آب داده‌شده صرف تبخیر و تعرق از گیاه شده است. در این پژوهش از وزن تر و خشک کل گیاه گشنیز برای بیان عملکرد و مجموع تبخیر–تعرق در طول دوره رشد به‌عنوان ET استفاده شده است.

$$ET\text{-}I' = \pm\Delta S$$ رابطه ۲)

که در آن، ET تبخیر–تعرق، I' حجم آب داده‌شده، $\pm\Delta S$ اختلاف رطوبت بین دو بازه زمانی است. واحد تمام عبارت‌ها در یک دوره مشخص، برحسب میلی‌متر (mm) می‌باشد. با توجه به این‌که آبیاری براساس نیازی آبی صورت می‌گرفت

حجم آب زهکشی صفر شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. در تحلیل داده‌ها، تجزیه واریانس ساده برای صفات اندازه‌گیری‌شده انجام و سپس میانگین صفات موردمطالعه با استفاده از آزمون SNK در سطح ۱ و ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

Table 5. ANOVA (mean squares) of measured data

	df	Mean squares									
		Wet Weight (gr)				Dry Weight (gr)				Water Efficiency (kg/m^3)	
		The whole plant	Stem	Leaf	Root	The whole plant	Stem	Leaf	Root	Based on wet weight	Based on dry weight
Irrigation (I)	2	53.84**	0.036**	0.013**	0.14**	1.17**	0.00058**	0.00078**	0.018**	0.46**	0.0088**
Biochar (B)	2	20.57**	0.029**	0.019**	0.077**	0.27**	0.00043**	0.00085**	0.012**	0.79**	0.026**
Irrigation*Biochar (I*B)	4	0.53**	0.018**	0.0054**	0.0018^{ns}	0.036**	0.00036**	0.00022**	0.0024^{ns}	0.0084**	0.00054^{ns}
Error	18	0.0039	0.0014	0.00057	0.0012	0.0041	0.000044	0.00015	0.0014	0.00022	0.00024
C.V (%)	-	0.53	9.42	17.72	5.76	3.67	16.22	13.67	18.39	0.54	3.78

ns, ** and *: non-significant, significant at p≤01/0 and p≤05/0, respectively

Table 6. The effect of the amount of irrigation and biochar on measured data water efficiency

Treatments	df	Mean squares									
		Wet Weight (gr)				Dry Weight (gr)				Water Efficiency (kg/m^3)	
		The whole plant	Stem	Leaf	Root	The whole plant	Stem	Leaf	Root	Based on wet weight	Based on dry weight
Irrigation	100%(a1)	13.86a	0.47a	0.19a	0.69a	2.08a	0.05a	0.04a	0.25a	2.61c	0.39c
	75%(a2)	12.31b	0.38b	0.11b	0.66a	1.79b	0.04b	0.02b	0.21a	2.90a	0.43a
	50%(a3)	9.06c	0.34c	0.11b	0.46b	1.36c	0.03b	0.02b	0.21a	2.81b	0.41b
Biochar	0%(b1)	10.11c	0.31c	0.09b	0.52c	1.56c	0.03c	0.02c	0.16c	2.27c	0.35c
	2.5%(b2)	13.16a	0.46a	0.18a	0.70a	1.97a	0.05a	0.04a	0.24a	3.19a	0.47a
	5%(b3)	11.97b	0.41b	0.14a	0.59b	1.78b	0.05a	0.03b	0.21b	2.87b	0.42b

In each column, different letters indicate a significant difference at the level of 1% probability.

Table 7. The mutual effect of the amount of irrigation and biochar on measured data

Irrgation	Biochar	Wet Weight (gr)				Dry Weight (gr)			
		The whole plant	Stem	Leaf	Root	The whole plant	Stem	Leaf	Root
a1	b1	11.81e	0.44a	0.11cb	0.60dc	1.76dc	0.04bac	0.02de	0.18ba
	b2	15.20a	0.49a	0.23a	0.77a	2.33a	0.06a	0.05a	0.30a
	b3	14.59b	0.48a	0.22a	0.69bac	2.16b	0.05ba	0.04b	0.25ba
a2	b1	10.73f	0.29bc	0.08c	0.57d	1.68d	0.03bc	0.02de	0.17b
	b2	13.61c	0.48a	0.16b	0.75ba	1.87c	0.05ba	0.03c	0.24ba
	b3	12.41d	0.37ba	0.09cb	0.66bdc	1.84dc	0.05ba	0.02de	0.21ba
a3	b1	7.77i	0.22c	0.07c	0.38e	1.24f	0.02c	0.01e	0.13b
	b2	10.49g	0.41a	0.14cb	0.58d	1.51e	0.04bc	0.03dc	0.19ba
	b3	8.92h	0.38ba	0.12cb	0.42e	1.34f	0.04bc	0.02de	0.16a

In each column, different letters indicate a significant difference at the level of 1% probability.

۳. نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس صفات مورد ارزیابی در پژوهش در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول (۵)، اثر سطوح متفاوت آبیاری، اثر استفاده از مقادیر مختلف بیوچار بر کلیه صفات ارزیابی و بهره‌وری آب و اثر متقابل سطوح متفاوت آبیاری و بیوچار بر کلیه صفات ارزیابی به‌جز وزن تر و خشک ریشه و بهره‌وری آب براساس وزن خشک گیاه درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با توجه به معنی‌داری احتمال یک درصد، اثرات ساده هر کدام از دو فاکتور آبیاری و کاربرد بیوچار و اثر متقابل (برهم‌کنش) مقدار آبیاری و بیوچار بر روی تمامی پارامترهای بررسی شد.

۳. ۱. نتایج آنالیز واریانس تأثیر آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار آبیاری بر همه صفات اندازه‌گیری‌شده و بهره‌وری آب در احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

۳. ۲. تأثیر بیوچار بر صفات اندازه‌گیری‌شده

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار بیوچار بر همه صفات اندازه‌گیری‌شده و بهره‌وری آب در احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). معنی‌داری در احتمال ۱ درصد نشان می‌دهد که بیوچار به‌دلیل خاصیت جذب آب و حفظ رطوبت خاک نقش مؤثری در بالابردن بهره‌وری آب می‌تواند داشته باشد.

۳. ۳. تأثیر متقابل آبیاری و بیوچاربر صفات اندازه‌گیری‌شده

نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر همه صفات اندازه‌گیری‌شده در احتمال یک درصد به‌جز وزن تر و خشک ریشه و بهره‌وری آب براساس وزن خشک کل گیاه معنی‌دار شد (جدول ۵). معنی‌داری در احتمال یک درصد نشان می‌دهد که بیوچار به‌دلیل حفظ رطوبت در خاک توانسته اثرات ناشی از تنش را کنترل کند.

۳. ۴. نتایج مقایسه میانگین

۳. ۴. ۱. وزن تر و خشک گیاه

نتایج مقایسه میانگین به‌روش SNK در سطح یک درصد نشان داد؛ با توجه به جدول (۶) وزن تر و خشک گیاه در تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب کاهش یافت. هم‌چنین با توجه به جدول (۶) افزودن بیوچار باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. نتایج بیانگر آن است (جدول ۷) که بیش‌ترین وزن تر و خشک گیاه مربوط به تیمار کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار در هر گلدان بود. بیش‌ترین وزن تر و خشک گیاه مربوط به تیمار a1b2 به‌ترتیب برابر ۱۵/۲۰ و ۲/۳۳ گرم و کم‌ترین وزن تر و خشک گیاه مربوط به تیمار a3b1 به‌ترتیب برابر ۷/۷۷ و ۱/۲۴ گرم بود. بنابراین می‌توان گفت استفاده از سطوح بالا بیوچار می‌تواند تأثیرات منفی بر رشدونمو گیاه داشته باشد و هم‌چنین کاربرد بیوچار در تنش شدید آبی (۵۰ درصد آب آبیاری) می‌تواند باعث بهبود رشدونمو گیاه نسبت به تیمار شاهد گردد. در پژوهش‌های Arabbafrani *et al.* (2020)، Tanure *et al.* (2019)، Gamareldawla *et al.* (2017) و Rahimy (2016) نیز نشان داد کاربرد بیوچار باعث بهبود و افزایش وزن تر و خشک گیاه نسبت به شاهد شد که نتایج این پژوهش‌گران با نتیجه پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

۳. ۴. ۲. وزن تر و خشک ساقه

نتایج مقایسه میانگین به‌روش SNK در سطح یک درصد نشان داد؛ با توجه به جدول (۶) وزن تر ساقه در تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین مقدار و ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب کاهش یافت و هم‌چنین وزن خشک ساقه در تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین مقدار و تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری نداشت. با توجه به جدول (۶) افزودن بیوچار باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه نسبت به تیمار شاهد شد و هم‌چنین وزن خشک ساقه در تیمار کاربرد ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوچار تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج بیانگر آن است (جدول۷) که بیش‌ترین وزن تر و خشک ساقه مربوط به تیمار کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار در هر گلدان بود. بیش‌ترین وزن تر و خشک ساقه مربوط به تیمار a1b2 به‌ترتیب برابر ۰/۴۹ و ۰/۰۶ گرم و کم‌ترین وزن تر و خشک ساقه مربوط به تیمار a3b1 به‌ترتیب برابر ۰/۲۲ و ۰/۰۲ گرم بود. بیش‌ترین وزن تر و خشک ساقه مربوط به تیمارهایی است که در آن‌ها بیوچار استفاده شده است و نقش بیوچار را در افزایش وزن تر و خشک ساقه را نشان می‌دهد. هم‌چنین باعث کاهش اثرات تنش رطوبتی و افزایش ارتفاع گیاه گردید. نتیجه حاصله با نتیجه پژوهش‌گران Fakhrabadi *et al.* (2021) و Nikbakht *et al.* (2022) مطابقت دارد.

۳. ۴. ۳. وزن تر و خشک برگ

نتایج مقایسه میانگین به‌روش SNK در سطح یک درصد نشان داد؛ با توجه به جدول (۶) وزن تر و خشک برگ در تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین مقدار و ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری نداشت. با توجه به جدول (۶) افزودن بیوچار باعث افزایش وزن تر و خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد و هم‌چنین وزن تر برگ در تیمار کاربرد ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوچار تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج بیانگر آن است (جدول۷) که بیش‌ترین وزن تر و خشک برگ مربوط به تیمار کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار در هر گلدان بود؛ بیش‌ترین وزن تر و خشک برگ مربوط به تیمار a1b2 به‌ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۰۶ گرم و کم‌ترین وزن تر و خشک برگ مربوط به تیمار a3b1 به‌ترتیب برابر ۰/۰۷ و ۰/۰۱ گرم بود. در سطوح آبیاری یکسان، بیش‌ترین وزن تر برگ مربوط به تیمارهایی است که در آن بیوچار استفاده‌شده، که اثرات وارد از تنش به گیاه را کاهش داده است. نتیجه حاصله با نتیجه پژوهش‌گران Fakhrabadi *et al.* (2021) مطابقت دارد.

۳. ۴. ۴. وزن تر و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین به‌روش SNK در سطح یک درصد نشان داد. با توجه به جدول (۶) وزن تر وخشک ریشه در تیمار آبیاری کامل بیش‌ترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب کاهش یافت و هم‌چنین بین تیمار آبیاری کامل و ۷۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به جدول (۶) افزودن بیوچار باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. نتایج بیانگر آن است (جدول ۷) که بیش‌ترین وزن تر و خشک گیاه مربوط به تیمار کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار در هر گلدان بود. بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به تیمار a1b2 به‌ترتیب برابر ۰/۷۷ و ۰/۳۰ گرم بود. نتایج نشان می‌دهد با تشدید تنش آبی، وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت؛ به‌طوری‌که کم‌ترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به تیمار a3b1 به‌ترتیب برابر ۰/۳۸ و ۰/۱۳ گرم بود؛ بدین معنی که در تنش شدید رشد ریشه گیاه کاهش یافته و متوقف می‌شود. نتیجه حاصله با نتیجه پژوهش‌گران Fakhrabadi *et al.* (2021) مطابقت دارد. Beria *et al.* (2016) کاربرد بیوچار باعث می شود که مقدار جذب عناصر سنگین مانند سرب و کادمیوم کاهش یابد و موجب افزایش رشد ریشه ذرت شود. Chan *et al.* (2018) کاربرد بیوچار بر روی خصوصیات فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک، تهویه و ظرفیت نگهداشت آب در خاک اثر مثبت دارد و سبب بهبود رشد ریشه می‌شود.

۳. ۴. ۵. بهره‌وری آب (براساس وزن تر و خشک گیاه)

نتایج مقایسه میانگین به‌روش SNK در سطح یک درصد نشان داد؛ با توجه به جدول (۶) بهره‌وری آب در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین مقدار و در تیمارهای ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و آبیاری کامل به‌ترتیب کاهش یافت. هم‌چنین با توجه به جدول (۶) افزودن بیوچار باعث افزایش بهره‌وری آب نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین افزایش بیوچار از ۲/۵ درصد به ۵ درصد وزنی به‌دلیل افزایش شدت تنش‌های وارده به گیاه باعث کاهش بهره‌وری آب شد. نتایج بیانگر آن است (شکل ۱) که بیش‌ترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار در هر گلدان بود؛ بیش‌ترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار a2b2 به‌ترتیب برابر ۳/۲۶ و ۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار a1b1 به‌ترتیب برابر ۱/۹۸ و ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار نشان داد با کاهش آب آبیاری تا سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و مصرف کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار باعث افزایش بهره‌وری آب شد؛ با نتیجه پژوهش‌گران Mir *et al.* (2021) مطابقت دارد. Uzoma *et al.* (2011) گزارش کردند کاربرد بیوچار کود گاوی، سبب افزایش کارایی مصرف آب ذرت نسبت به تیمار شاهد شد و این نتیجه با نتایج حاصل مطابقت دارد و هم‌چنین Aghayari *et al.* (2016) افزایش بهره‌وری آب در اثر کم‌آبیاری و کاربرد بیوچار را گزارش کرده‌اند.

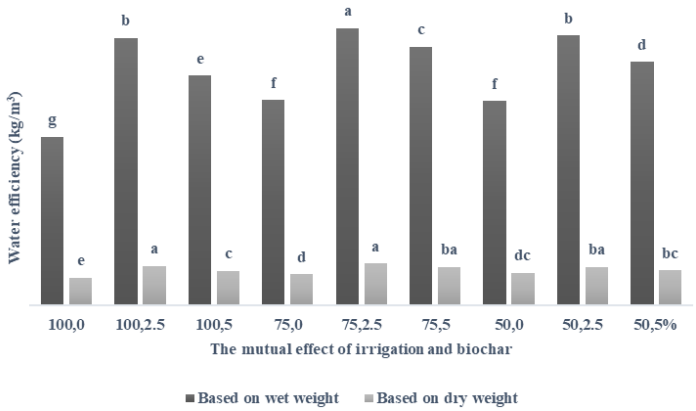

Figure 1. The mutual effect of the amount of irrigation and biochar on water efficiency

۴. نتیجه‌گیری

کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن تر وخشک همه صفات اندازه‌گیری‌شده (گیاه، ساقه، برگ و ریشه) گیاه گشنیز داشت و بیش‌ترین مقدار این صفات در آبیاری کامل به‌دست آمد و نشان‌دهنده حساسیت گیاه گشنیز نسبت به تنش خشکی است. کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن تر وخشک همه صفات اندازه‌گیری‌شده (گیاه، ساقه، برگ و ریشه) گیاه گشنیز داشت و بیش‌ترین مقدار این صفات در کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به‌دست آمد و نشان‌دهنده این است که استفاده از مقدار مناسب بیوچار باعث کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی و بهبود شاخص‌های رشدونمو گیاه گشنیز شود و هم‌چنین استفاده بیش‌تر بیوچار (۵ درصد وزنی) سبب کاهش صفات اندازه‌گیری نسبت به‌کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار شد. بنابراین استفاده مقدار مناسب آن تأثیر مثبت دارد و در صورت استفاده بیش‌تر به‌دلیل قدرت جذب بالای آن اثرات منفی بر دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی را به‌همراه دارد. به‌منظور بررسی بهترین تیمار آزمایشی، بهره‌وری آب براساس وزن تر و خشک گیاه گشنیز در تیمارهای مختلف محاسبه و نتایج نشان داد؛ با مصرف بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی، در شرایط تنش آبی (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) باعث افزایش بهره‌وری آب گیاه گشنیز شد. مصرف بیوچار در شرایط کم‌آبی به‌دلیل داشتن منافذ زیاد و بالابردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود. به‌کمک بیوچار می‌توان در مناطق خشک و نیمه‌خشک میزان آب مصرفی را کاهش داده و به اندازه آبیاری کامل محصول تولید نمود. با توجه به این‌که این آزمایش در مقیاس کوچک و در داخل گلدان انجام شده است؛ به‌طورکلی نمی‌توان گفت بهره‌وری آب در شرایط مزرعه نیز به همین منوال باشد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Afaf, A., ALosaimi, J., Alharby, H., & Alayafi, A. (2023). The Importance of Initial Application of Biochar On Soil Fertility to Improve Growth and Productivity of Tomato Plants (*Solanum lycopersicum* L.) Under Drought Stress. Gesunde pflanzen.

Arab Bafrani, Z., Ghaneei-Bafghi, M.G., & Shirmardi, M. (2020). Effect of wood residues of pistachio biochar on Growth Characteristics of Safflower. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(3), 2020.(In Persian with English abstract).

Azeem, M., Hayat, R., Hussain, Q., Ahmed, M., Imran, M., & Crowley, D. (2016). Effect of biochar amendment on soil microbial biomass, abundance, and enzyme activity in the mash bean field. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 8, 1-13.

Aghayari, F., Khalili, F., & Ardakani, M.R. (2016). Effect of different irrigation methods and superabsorbent polymer on yield and water productivity of corn. *Journal of Plant EcoPhysiology*, 8(24), 35-48. .(In Persian with English abstract).

Biria, M., Moezzi, A., & Ameri Khah, H. (2016). Effect of Sugarcane bagasse biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soils. *Journal of Water and Soil*, 31(2), 609-626. (In Persian with English abstract).

Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J.L., Harris, E., Robinson, B., & Sizmur, T. (2015). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental pollution*, 159(12), 3269-3282.

Bastami, A., Majidian, M., Mohsenabadi, G.R., & Bakhshi, D. (2015). Effects of fertilizer treatments on yield quantity and quality of coriander. *Journal of Crop Improvement*, 17(1), 93-107. (In Persian)

Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2018). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.

Fakhri, K., Sayfzadeh, S., Sarajooghi, M., Valad Abadi, S.A., & Hadidi Masouleh, I. (2022). Fesibility Study on Increasing Water Use Efficiecy in (*Thymus vulgaris* L.) in Different Planting Pattern and Partial with Using Biochar. *Journal of Plant EcoPhysiology*, 17(2), 169-186. (In Persian with English abstract).

Fakhrabadi, H., & Khoshsimaie Chenar, M. (2021). The Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative and Qualitative Characteristics of Basil. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*,15(4), 941-954. (In Persian with English abstract)

Faloye, O. T., Alatise, M. O., Ajayi, A. E., & Ewulo, B. S. (2019). Effects of biochar and inorganic fertiliser applications on growth, yield and water use efficiency of maize under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 217, 165-178.

Feizizadeh, B., Abdali, H., Rezaei Banfsheh, M., & Mohammadi, G.H. (2012). Zoning of susceptible area to rainfed wheat in the Eastern Azerbaijan province by Geospatial analysis of GIS. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 96, 75-91. (In Persian with English abstract).

Gamareldawla, H.D., Agbnaa, B., She Donglia, Liu Zhipengc, Nazar A. Elshikh, shao Guanghenga, Luis Carlos Timm. (2017). Effect of irragation and biochar on the growth, yeild and quality of tomato. 245, 667-675.

Hannachi, S., Signore, A., & Mechi, L. (2023). Alleviation of Associated Drought and Salinity Stress' Detrimental Impacts on an Eggplant Cultivar ('Bonica F1') by Adding Biochar. Plants 2023, 12, 1399.

Keller, L., Idowu, O., Ulery, A., Omer, M., & Brewer, C. (2023). Short-Term Biochar Impacts on Crop Performance and Soil Quality in Arid Sandy Loam Soil. *Agriculture*, 13, 782.

Karamian, M., & Kiamanesh, P. (2014). Introduction of medicinal plants Coriandrum sativum L and Anethum graveolend L from Umbelliferae. (In Persian)

Mir, E., Piri, H., & Naserin, A. (2021). Effects of Different Levels of Wheat Biochar and Water Stress on Quantitative and Qualitative Characteristics of Carla (Bitter Melon) in Potted Conditions. 12/ *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)*, 35(2). (In Persian with English abstract)

Miri, F., Zamani, J., & Zarebanadkouki, M. (2020). The Effect of Different Levels of Pistachio Harvesting Wastes Biochar on Growth and Water Productivity of Maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of soil and water research*, 52(1), 227-236. (In Persian with English abstract)

Nikbakht, J., Parvizi, A., & Barzegar, T. (2022). Effect of Biochar Application on Lettuce Yield and Water Productivity in Deficit Irrigation Conditions. *Journal of Water and Irrigation Management*, 12(4), 859-871. (In Persian with English abstract)

Obadi, A., Alharbi, A., Alomran, A., Alghamdi, A., Louki, I., & Alkhasha, A. (2023). Effect of Biochar Application on Morpho-physiological traits, Yield, and Water Use Efficiency of Tomato Crop under Water Quality and Deficit. *Plants*, 12(12), 2355.

Omid Beigi, R. (1997).(ed.). Approaches to the production and processing of medicinal plants. Volume 2, Designers Publications. 349 p.

Rahimy, A. (2016). The Adsorption kinetics of some pollutant elements by biochar of rice husk and russian olive leave. M.Sc. Thesis in Soil Chemistry and Fertility. Shahrood University of Technoligy.

Tanure, M.M.C., da Costa, L.M., Huiz, H.A., Fernandes, R.B.A., Cecon, P.R., Junior, J.D.P., & da Luz, J.M.R. (2019). Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192, 164-173.

Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manage*, 27, 205-212.

Wang, L., Yu, B., Ji, J., Khan, I., Li, G., Rehman, A., Liu, D., & Li, S. (2023). Assessing the impact of biochar and nitrogen application on yield, water-nitrogen use efficiency and quality of intercropped maize and soybean. *Frontiers in plant scienc*, 14, 1171547.