Vol 14, No. 2, Summer 2024

University of Tehran Press

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

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

Investigating the effects of biochar on irrigation water use efficiency and nitrogen use efficiency in Karla plant under water stress conditions

Halimeh Piri[1] | **Esmaiel Mir**[2]

1. Corresponding Authro, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: H_piri2880@uoz.ac.ir
2. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: e_mir@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 1 January 2024
Received in revised form
9 March 2024
Accepted 5 April 2024
Published online 5 September 2024

Keywords:
Fruit sugar
Soil nitrogen
Soil salinity
Yield

ABSTRACT

In this research, the effect of biochar on the efficiency of irrigation water consumption and the efficiency of nitrogen consumption at different levels of water and nitrogen fertilizer for karla plant was investigated in Zahedan. The experiment was carried out in the greenhouse conditions in a factorial manner and in the form of a completely random design with three replications (planted in February 2018 and harvested in April 2019). The treatments include three irrigation water treatments (I1) 50, (I2) 75 and 100 (I3) percent of irrigation water, four biochar treatments (zero (B1), 1.25 (B2), 2.5 (B3) and 5 (B4) weight percentage of pot soil) and three nitrogen fertilizer treatments (50 (N1), 75 (N2) and 100 (N3) percent of plant fertilizer requirement). Water stress levels during the growing season were measured by weighing the pots daily. Harvesting was done once a week. A total of five harvests were done. The yield and efficiency of irrigation water consumption and the efficiency of nitrogen consumption and soil salinity were calculated at the end of the growing season in each treatment. Also, soil nitrogen and fruit sugar were measured in each harvest. The results showed that the effects of irrigation water and biochar levels on the measured parameters were significant at the probability level of one and five percent. The highest amount of yield (15.5 tons per hectare) was obtained from the treatment of 100% of the amount of irrigation water, which was not significant with the treatment of 75% of irrigation water. The use of biochar up to 2.5 percent by weight of the soil increased the yield. More use of biochar (5% by weight of soil) decreased plant yield. The highest water consumption efficiency (3.14 kg/m3) and nitrogen consumption efficiency (94.55 kg/kg) were obtained with the use of 75% nitrogen fertilizer (150 kg/ha) and 2.5% by weight of biochar. The use of the appropriate amount of biochar reduced the negative effects of moisture stress in comparison with the control. Therefore, it is recommended to use it for the plant and especially in the conditions where the plant is under drought stress or in greenhouses and storages in order to reduce the amount of water consumed and improve the performance of the plant, although it is suggested to test in The farm should also be completed.

Cite this article: Piri, H., & Mir, E. (2024). Investigating the effects of biochar on irrigation water use efficiency and nitrogen use efficiency in Karla plant under water stress conditions. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (2), 357-373. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.370473.1132

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.370473.1132

دوره چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

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

بررسی اثرات بیوچار بر کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه کارلا تحت شرایط تنش آبی

حلیمه پیری[۱]✉ | اسماعیل میر[۲]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: h_piri2880@uoz.ac.ir

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: e_mir@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۶/۱۵

کلیدواژه‌ها:

شوری خاک

عملکرد

قند میوه

نیتروژن خاک

چکیده

در این پژوهش اثر بیوچار بر کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف نیتروژن در سطوح مختلف آبی و کود نیتروژن برای گیاه کارلا در شهرستان زاهدان موردبررسی قرار گرفت. آزمایش در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً کاملاً کاملاً تصادفی با سه تکرار (کاشت بهمن‌ماه ۱۳۹۸ و برداشت فروردین‌ماه ۱۳۹۹) انجام شد. تیمارها شامل سه تیمار آب آبیاری ((I1)۵۰، (I2)۷۵ و (I3)۱۰۰ درصد مقدار آب آبیاری، چهار تیمار بیوچار (صفر (B1)، ۱/۲۵ (B2)، ۲/۵ (B3) و ۵ (B4) درصد وزنی خاک گلدان) و سه تیمار کود نیتروژن (۵۰ (N1)، ۷۵ (N2) و ۱۰۰ (N3) درصد نیاز کودی گیاه) بود. سطوح تنش آبی در طول فصل رشد با توزین روزانه گلدان‌ها اعمال شد. برداشت هر هفته یک‌بار انجام شد. در مجموع پنج بار برداشت انجام شد. عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف نیتروژن و شوری خاک در پایان فصل کشت در هر تیمار محاسبه شد. هم‌چنین مقدار نیتروژن خاک و قند میوه نیز در هر برداشت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد اثرات سطوح آب آبیاری و بیوچار در سطح احتمال یک و پنج درصد بر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد (۱۵/۵ تن در هکتار) از تیمار ۱۰۰ درصد مقدار آب آبیاری حاصل شد که از این نظر با تیمار ۷۵ درصد آب آبیاری معنی‌دار نبود. استفاده از بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی خاک باعث افزایش عملکرد شد. استفاده بیش‌تر بیوچار (۵ درصد وزنی خاک) باعث کاهش عملکرد گیاه شد. بیش‌ترین کارایی مصرف آب (۳/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب) و کارایی مصرف نیتروژن (۹۴/۵۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) با مصرف ۷۵ درصد کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به‌دست آمد. استفاده از مقدار مناسب بیوچار سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد شد. بنابراین کاربرد آن برای گیاه و به‌ویژه در شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی است و یا در گلخانه‌ها و خزانه‌ها به‌منظور کاهش میزان آب مصرفی و بهبود عملکرد گیاه قابل‌توصیه می‌باشد، هرچند پیشنهاد می‌شود آزمایش در شرایط مزرعه نیز انجام شود.

استناد: پیری، حلیمه و میر، اسماعیل (۱۴۰۳). بررسی اثرات بیوچار بر کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه کارلا تحت شرایط تنش آبی. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۲)، ۳۷۳-۳۵۷. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.370473.1132

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

رشد سریع جمعیت چالش زیادی را از نظر امنیت غذایی ایجاد کرده است. یکی از راه‌کارهای مهم مدیریتی برای افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی، فراهم نمودن مقدار کافی عناصر موردنیاز گیاه با مصرف کودهای شیمیایی است (Chen *et al.*, 2021). نیتروژن از بین عناصر غذایی اصلی موردنیاز گیاه، اثر عمده‌ای بر رشد و عملکرد گیاه دارد (Hussein and Alva, 2014). پژوهش‌ها نشان داده است کود نیتروژن می‌تواند با پاسخگویی به نیاز ۴۸ درصد جمعیت جهان، نقش مهمی در تضمین امنیت غذایی داشته باشد (Rockstrom *et al.*, 2019). کود نیتروژن رشد گیاه و رشد اندام‌های هوایی و ریشه را بهبود بخشیده و باعث افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کیفی گیاه می‌شود (Chandrasekar *et al.*, 2005). درصورتی‌که نیتروژن ازدست‌رفته خاک جبران نشود، به‌تدریج حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد، مقادیر زیاد نیتروژن خاک هم در صورتی‌که مقدار سایر عناصر غذایی کم باشد، دوره رشد گیاه را طولانی کرده و رسیدن محصول را به تأخیر می‌اندازد (Owuor *et al.*, 2011).

اگرچه استفاده از کود نیتروژن می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاهان شود، اما کاربرد آن در اراضی کشاورزی باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (Xu *et al.*, 2016). تجمع نیترات در گیاه و شست‌وشوی نیتروژن نیتراتی به آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین آلودگی‌های محیطی حاصل از مصرف اضافی نیتروژن می‌باشد (Yang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2012). هم‌چنین افزایش مصرف نیتروژن باعث کاهش کیفیت خاک و اسیدی‌شدن آن و کاهش راندمان مصرف نیتروژن و افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Feng and Zhu, 2017; Pratiwi *et al.*, 2016). بنابراین، تعیین مقدار بهینه مصرف نیتروژن با توجه به نیاز گیاه و با توجه به شرایط خاک به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک که نیتروژن خاک کم می‌باشد، ضروری است (Mazid Miah *et al.*, 2016). مدیریت نیتروژن تحت تأثیر مقدار آب کاربردی از مباحث مهم در راستای افزایش بهره‌وری مصرف نیتروژن و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی است (Rodrigues *et al.*, 2006).

یک راه‌کار جدید برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی‌مدت کربن در خاک استفاده از بیوچار است. بیوچار، زغال غنی از کربن است که به‌دنبال تجزیه حرارتی زیست‌توده در شرایط کم و یا عدم حضور اکسیژن ایجاد می‌شود (Azeem *et al.*, 2016). بیوچار با توانایی بالا در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آب‌شویی، آن‌ها باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Berek *et al.*, 2011). بیوچار با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن و آب و بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Hagner *et al.*, 2016; Liang *et al.*, 2006). این ماده به‌دلیل سرعت تجزیه بسیار کُند نسبت به سایر مواد آلی، ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسیدکربن و متان دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی‌مدت در خاک ذخیره کند (Lehmann and Joseph, 2009). اختلاط بیوچار با خاک کشاورزی پتانسیل زیادی برای مدیریت پسماندهای گیاهی و حیوانی دارد و آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد (Masto *et al.*, 2013). مطالعات زیادی در مورد اثر بیوچار بر قدرت نگهداری آب و رشد گیاهان انجام شده است که به‌دلیل شرایط مختلف (شامل انواع خاک و تیمارهای بیوچار) نتایج متفاوتی به‌دست آمده است (Watera *et al.*, 2011; Sohi *et al.*, 2010). Guvili *et al.* (2016) گزارش کردند افزودن بیوچار گندم باعث افزایش غلظت منگنز، سدیم، کلسیم، فسفر و نیتروژن در خاک شد. Oladele *et al.* (2019) بیان کردند اثر متقابل کود نیتروژن و بیوچار باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش عملکرد برنج شد. Bednik *et al.* (2020) در مطالعه‌ای نشان دادند بیوچار به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای مقدار کربن آلی خاک را افزایش داد، اما رشد چمن در تیمار شاهد بیش‌تر از تیمار بیوچار بود. با این وجود، برخی پژوهش‌ها نشان داده است که بیوچار تأثیری بر افزایش نیتروژن خاک ندارد (Erika *et al.*, 2016; Ramlow *et al.*, 2019). این مشاهدات متناقض به‌روش تولید و مواد اولیه بیوچار و شرایط خاک بستگی دارد (Li *et al.*, 2018; Fiorentino *et al.*, 2019).

کارلا (*Momordica charantia* L.) یک سبزی یکساله گرمسیری و نیمه‌گرمسیری از خانواده Cucurbitaceae است که دارای خواص تغذیه‌ای و دارویی ویژه‌ای بوده و به‌صورت سبزی یا دارو استفاده می‌شود. از همه بخش‌های این گیاه، از جمله برگ و میوه به‌صورت استفاده در سالاد و سوپ و ترشی و کنسروشده استفاده می‌شود. در پژوهش‌های بسیاری تأثیر مثبت کارلا بر پیشگیری و درمان بیمارهای مختلف همچون دیابت (Kim *et al*., 2020) و سرطان (Sur *et al.*, 2021) و خاصیت ضد میکروبی و ضد انگلی (Saeed *et al*., 2018) و ضد التهابی (Hsu *et al*., 2012) آن تأکید شده است. مناطق عمده کشت این گیاه شرق آفریقا، آسیا و آمریکای جنوبی است. سالانه حدود ۳۴۰۰۰۰ هکتار، به‌صورت تجاری، در آسیا زیر کشت این محصول می‌رود (McCreight *et al*., 2013). اما، با وجود تقاضای روزافزون، کشت آن به دلایلی همچون بازدهی کم ارقام موجود، بیماری‌ها، شوری خاک و رشد کم این گیاه در شرایط تنش، چشم‌گیر نمی‌باشد (Le, 2018). بنابراین با توجه به این‌که بررسی پژوهش‌های گذشته نشان داد بیوچار بر رشد و عملکرد گیاهان و بهره‌وری مصرف آب تحت شرایط تنش آبی تأثیر مثبت دارد، در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر کاربرد بیوچار بر میزان عملکرد گیاه کارلا تحت شرایط مختلف تنش آبی و سطوح مختلف کود نیتروژن پرداخته شد تا ضمن بررسی تأثیر بیوچار بر کارایی مصرف آب، کارایی مصرف کود نیتروژن نیز موردبررسی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ۲۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۸ در گلخانه با ابعاد ۶۰×۹ متر در شهرستان زاهدان انجام شد. میانگین دمای گلخانه در طول دوره رشد گیاه (۹۰ روز) ۲۱/۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن ۴۶ درصد بود. شهرستان زاهدان در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۷۲ متر از سطح دریا در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این منطقه براساسبراساس اقلیم‌نمای آمبرژه دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد.

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از مراحل آماده‌سازی زمین نمونه‌های مرکب خاک از اعماق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد. خصوصیات کیفی آب نیز در آزمایشگاه تعیین شد. برای تهیه بیوچار در این پژوهش از کاه و کلش گندم استفاده شد. ابتدا کاه و کلش بسته‌بندی شده و سپس در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط بدون اکسیژن حرارت داده شد. نتایج تجزیه آب و خاک و بیوچار مورداستفاه در جدول (۱) آورده شده است.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil of the research greenhouse and applied biochar

	Soil texture	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	Organic carbon (%)	Total Nitrogen (%)	Absorbed potassium ($meq\ lit^{-1}$)	Absorbed phosphorus ($meq\ lit^{-1}$)
Soil	Loam sand	8.26	0.58	0.08	0.01	0.64	0.52
Biochar	-	7.5	6.4	46.5	26.8	89.9	9.8
Water	-	7.92	0.84	-	-	0.41	0.26

پژوهش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی در گلخانه اجرا شد. تیماها شامل سه تیمار کود نیتروژن (۵۰ (N1)، ۷۵ (N2) و ۱۰۰ (N3) درصد نیاز کودی گیاه و N3 (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، چهار سطح بیوچار B1 (صفر درصد)، B2 (۱/۲۵ درصد وزنی خاک گلدان)، B3 (۲/۵ درصد وزنی خاک گلدان) و B4 (۵ درصد وزنی خاک گلدان) و هم‌چنین سه سطح میزان آب آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (به‌ترتیب I1، I2 و I3) بود. سطوح تیمارهای بیوچار براساس پژوهش‌های سایر پژوهش‌گران درنظر گرفته شد (Guvili *et al*., 2016). با توجه به این‌که هر تیمار سه تکرار داشت، تعداد ۱۰۸ گلدان پلاستیکی با ارتفاع ۳۰ و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. یک گلدان شاهد نیز برای تعیین ظرفیت

زراعی در ابتدای کاشت در نظر گرفته شد. خاک و بیوچار پس از عبور از الک ۲ میلی‌متر در سطوح تعیین‌شده با یکدیگر مخلوط شدند و سپس گلدان‌ها با مخلوط خاک و بیوچار پر شد. سپس کود نیتروژن از منبع اوره به مقداری که در هر تیمار بیان شد به‌صورت سرک در سه مرحله یک‌سوم همزمان با کاشت، یک‌سوم مرحله رویشی (شاخه‌دهی) و یک‌سوم زمان گلدهی (۵۰ درصد گلدهی گیاه)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم از نوع سولفات‌پتاسیم و کود فسفر از نوع سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با کاشت به خاک اضافه شد. گلدان شاهد به‌صورت کامل اشباع شد. سپس روی گلدان جهت جلوگیری از تبخیر آب پوشانده شد. خروج آب ثقلی از انتهای گلدان در بازه‌های زمانی مشخص تا زمانی که خروج آب ثقلی متوقف شود، اندازه‌گیری‌شد. وزن گلدان در این حالت به‌عنوان وزن در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. سایر گلدان‌ها بر این اساس آبیاری شدند. سپس، در هر گلدان پنج عدد بذر گیاه کارلا رقم هندی کشت شد. پس از جوانه‌زدن و استقرار، تعداد گیاه در هر گلدان به سه عدد کاهش یافت. کلیه گلدان‌ها تا زمان استقرار گیاه به‌صورت کامل و تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. سپس گلدان‌ها هر هفته قبل از هر نوبت آبیاری توزین شده و کمبود آب در هر گلدان تا حد رطوبت زراعی گیاه محاسبه و بر مبنای تیمار آبی آن در اختیار گیاه قرار می‌گرفت.

۲. ۱. نمونه‌برداری گیاهی

اولین برداشت محصول تقریباً پس از ۵۰ روز از تاریخ کاشت یعنی ۱۱ فروردین‌ماه ۱۳۹۹ انجام شد و تا اواسط اردیبهشت‌ماه ادامه داشت. برداشت هر هفته یک‌بار انجام شد. در مجموع پنج بار برداشت انجام شد. عملکرد در پایان فصل کشت از طریق جمع عملکرد در هر برداشت تعیین شد. قند میوه در هر برداشت از روش Dubois *et al.* (1956) اندازه‌گیری شد. نیتروژن کل خاک نیز با استفاده از کجلدال اندازه‌گیری شد (Jackson, 1958).

۲. ۲. کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE)

عبارت است از نسبت محصول تولیدشده به مقدار آب آبیاری داده شده؛ از رابطه (۱) به‌دست آمد (Payero, 2009).

$$IWUE = \frac{Yield}{IR}$$ رابطه ۱)

در این رابطه، IWUE: کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y: مقدار محصول برداشت‌شده (کیلوگرم)، IR: مقدار آب آبیاری (مترمکعب).

۲. ۳. کارایی مصرف نیتروژن (NUE)

کارایی مصرف نیتروژن از رابطه زیر محاسبه شد (El-Eyuoon and Mamdouh, 2017; Fan *et al*., 2004):

$$NUE = \frac{Yield}{\text{amount of nitrogen applied}}$$ رابطه ۲)

در این رابطه، NUE: کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)، amount of nitrogen applied: مقدار نیتروژن استفاده‌شده (کیلوگرم) و Yield: عملکرد (کیلوگرم).

برای تحلیل واریانس نتایج حاصل از تیمارهای مختلف از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد.

در پایان برای بررسی تأثیر مقادیر مختلف بیوچار و نیتروژن در سطوح مختلف آبی بر شوری خاک، نمونه‌های خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و از طریق عصاره‌گیری گل اشباع و EC سنج هدایت‌الکتریکی خاک اندازه‌گیری شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در جدول (۲) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد اثر کم‌آبیاری، نیتروژن و بیوچار بر پارامترها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بوده است. جدول‌های (۳) تا (۶) مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل آب آبیاری، بیوچار و نیتروژن را بر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهند.

Table 2. Analysis of variance of the effect of irrigation water, biochar and nitrogen on yield, IWUE, NUE, soil nitrogen and fruit suger of Karela

Sources of variation	df	EC	yield	Soil nitrogen	Fruit suger	IWUE	NUE
Irrigation water amount (A)	2	8.56^{*}	24503.21^{**}	148.7^{*}	$0{,}012^{*}$	189.15^{**}	3157.46^{**}
Biochar (B)	3	21.42^{*}	23740.54^{*}	98.4^{*}	$0{,}024^{*}$	101.24^{*}	5627.67^{*}
A×B	6	15.36^{*}	3541.46^{*}	126.4^{*}	$0{,}018^{*}$	67.51^{*}	1459.34^{*}
Nitrogen (N)	2	23.47^{*}	14832.47^{*}	$164{,}8^{*}$	$0{,}065^{*}$	2.27^{*}	2745.91^{*}
A×N	4	18.56^{*}	$3168{,}37^{*}$	85.6^{*}	0.16^{*}	74.53^{*}	1467.18^{*}
B×N	6	10.23^{*}	542.12^{**}	48.6^{*}	0.81^{*}	27.85^{*}	1840.15^{*}
A×B×N	12	17.28^{*}	402.36^{**}	35.4^{*}	7.33^{*}	16.78^{**}	1582.27^{**}
Error	24	5.75^{ns}	4.13^{ns}	6.8^{ns}	58.72^{ns}	3.24^{ns}	10.85^{ns}
CV (%)	-	8.2	10.4	9.7	8.94	10.1	9.5

Note: * and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

۳. ۱. عملکرد

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر آب آبیاری در سطح یک درصد و اثر بیوچار و نیتروژن در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد محصول معنی‌دار بود. مطابق جدول (۳) کاهش مقدار آب آبیاری باعث کاهش عملکرد شد. بیش‌ترین مقدار عملکرد از تیمار ۱۰۰ درصد آب آبیاری (۱۵/۵ تن در هکتار) به‌دست آمد که با تیمار ۷۵ درصد آب آبیاری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. این کاهش می‌تواند به‌دلیل کاهش جذب عناصر غذایی موردنیاز گیاه از خاک و هم‌چنین کاهش جذب دی‌اکسیدکربن به‌دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط خشکی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌های تولیدشده طی فرایند فتوسنتز باشد که درنهایت موجب کاهش عملکرد گیاه شده است. هم‌چنین پژوهش‌گران بیان داشتند گیاهان خانواده کدوییان به‌دلیل رشد سریع به‌ویژه در مراحل اولیه رشد و داشتن برگ‌های بزرگ و سیستم ریشه‌ای سطحی به مقدار زیادی آب برای رشد و نمو نیاز دارند. این عوامل باعث می‌شود که کمبود رطوبت خاک باعث کاهش عملکرد کدوییان شود (Leskovar and Piccinni, 2005). Guvili *et al.* (2016) در پژوهش خود راجع به اثرات بیوچار گاوی و تنش رطوبتی بر اسفناج به نتایج مشابه دست یافتند و بیان داشتند، اعمال سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، آب مصرفی، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی گیاه در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه شد. استفاده بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی باعث افزایش عملکرد شد (جدول ۳). استفاده بیش‌تر از بیوچار (تیمار ۵ درصد وزنی بیوچار) باعث کاهش عملکرد شد که احتمالاً به‌دلیل افزایش شوری حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوچار می‌باشد. Sun *et al.* (2019) هفت سطح بیوچار را بر روی گیاه گندم موردارزیابی قرار دادند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد کاربرد پنج تا ۲۰ تن در هکتار بیوچار باعث افزایش عملکرد گندم شد، اما کاربرد بیش‌تر از آن موجب کاهش عملکرد گندم شد. پژوهش‌گران بیان داشتند افزایش عملکرد در اثر کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند به‌دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در زیست‌توده که طی فرایند تجزیه حرارتی به بیوچار تبدیل شده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن باشد (Major *et al.*, 2010). Zhang *et al.* (2012) نیز در پژوهش خود بیان نمودند کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار باعث افزایش عملکرد ذرت به مقدار ۱۱/۶ و ۱۸/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. Akhtar *et al.* (2014) بیان کردند کاربرد بیوچار باعث مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی به تنش خشکی گردید و عملکرد گیاهان تحت تنش تیمارشده با بیوچار به‌دلیل افزایش کارایی مصرف آب و محتوای نسبی آب در این تیمارها افزایش

یافت. Genesio *et al.* (2015) در یک تحقیق چهار ساله با بررسی تأثیر بیوچار بر کمیت و کیفیت محصول انگور در شرایط دیم در ایتالیا مشاهده کردند، مقدار عملکرد انگور در تیمارهای حاوی بیوچار ۶۶ درصد افزایش یافت. اثرات کود نیتروژن بر مقدار عملکرد نشان داد با افزایش مصرف کود نیتروژن، مقدار عملکرد افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار عملکرد در تیمار N_3 (مصرف کامل نیتروژن) ۱۵/۳ تن در هکتار به‌دست آمد. تأثیر مثبت کود نیتروژن بر عملکرد گیاه در سایر پژوهش‌ها نیز بیان شده است (Xu and Mou, 2016). اثرات مثبت کوددهی نیتروژن احتمالاًبه‌دلیل اهمیت نقش فیزیولوژیکی آن در ساختار مولکول پورفیرین است. زیرا این مولکول در ساختارهای مهم متابولیکی مثل کلروفیل و سیتوکروم یافت می‌شود که برای فتوسنتز و تنفس ضروری هستند. هم‌چنین نیتروژن برای سنتز آنزیم‌ها و پروتئین‌ها ضروری است. کاربرد بهینه نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی، اندام‌های سبزینه‌ای و عملکرد گیاه می‌شود (Yang *et al.*, 2013). افزایش مصرف کود نیتروژن، باعث افزایش شاخه‌های فرعی بارور حاوی گل‌های ماده، افزایش تعداد و وزن میوه و در نهایت افزایش عملکرد نهایی خواهد شد. افزایش عملکرد ناشی از توسعه بیش‌تر میوه است که علت آن افزایش جذب مواد غذایی خاک، افزایش مقدار کلروفیل، تجمع مواد فتوسنتزی و توزیع برای توسعه تخمک‌ها می‌باشد (Aiyelaagbe and Kitomo, 2000).

اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد با کاهش مصرف بیوچار و آب آبیاری عملکرد کاهش یافت. بیش‌ترین عملکرد از تیمار ۱۰۰ درصد آب آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به‌دست آمد. اما از این نظر با تیمار ۷۵ درصد آب آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار تفاوت معنی‌دار نداشت. در تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری مقدار عملکرد در سطح ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار نسبت به سایر سطوح بیوچار بیش‌تر بود. می‌توان بیان داشت استفاده از بیوچار با به‌کاربردن آب آبیاری مناسب، باعث فراهم‌شدن آب و مواد غذایی و در نتیجه رشد بهینه گیاه گردیده است. Ibrahim *et al.* (2015) به افزایش بیش‌تر عملکرد کاه و کلش در تیمارهای حاوی بیوچار و آبیاری براساسبراساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با تیمارهای بدون بیوچار و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه اشاره کردند. Pourmansour *et al.* (2018) رشد محصول گندم در سطوح مختلف بیوچار و تنش آبی را در شرایط گلخانه موردبررسی قرار دادند. ایشان بیان داشتند ۷۵ درصد آبیاری و ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار تأثیر مثبت بر عملکرد و بهبود شرایط گیاه داشت و افزودن مقادیر بیش‌تر بیوچار به‌دلیل شورشدن خاک سبب کاهش عملکرد می‌شود. بیوچار با کاهش تبخیر آب و نگهداری رطوبت در محیط ریشه به‌دلیل سطح ویژه بالا و بهبود بافت خاک موجب رشد بهتر ریشه شده و درنتیجه اثرات منفی تنش کاهش می‌یابد (Bagheri *et al.*, 2021).

اثرات متقابل آب آبیاری و کود نیتروژن نشان داد بیش‌ترین مقدار عملکرد ۱۵/۶ تن در هکتار در تیمار I_3N_3 به‌دست آمد که از این نظر با تیمار I_2N_3 تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۵). با کمبود شدید رطوبت خاک، جذب نیتروژن توسط گیاه دچار اختلال می‌گردد و نیتروژن موردنیاز برای مراحل بحرانی رشد حتی در صورت افزایش نیترات خاک فراهم نمی‌گردد و در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد، آبیاری سبب افزایش جذب نیتروژن می‌شود و افزایش تنش آب به‌خودی‌خود توانایی گیاه را از نظر استخراج نیترات خاک محدود می‌سازد (Magyes *et al.*, 2004). هم‌چنین برهم‌کنش کود نیتروژن و تنش آبی نشان داد در سطوح تنش آبی شدید استفاده کامل کود نیتروژن (تیمار N_3) باعث کاهش عملکرد گیاه کارلا شد. در تیمار I_1 (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) مصرف کود نیتروژن تا سطح ۷۵ درصد باعث افزایش عملکرد شد. افزایش همزمان رطوبت خاک و نیتروژن احتمالاً به‌دلیل جذب بیش‌تر نیتروژن توسط گیاه تأثیر بیش‌تری بر افزایش عملکرد داشته است. پژوهش‌گران معتقدند کاهش تعرق در این شرایط روند عادی زیست گیاه را مختل و منجر به ظهور اثرات بازدارنده از جمله کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2010; Sadras, 2005). در این پژوهش نیز افزایش مصرف نیتروژن در شرایط تنش خشکی شدید منجر به اختلال در روند جذب نیتروژن و احتمالاً دیگر عناصر غذایی، کاهش تعرق گیاه و در نهایت افت عملکرد گیاه شده است. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و

نیتروژن بیانگر آن است که کارلا در تیمار آبیاری مطلوب به نحو معنی‌دار و مؤثرتری توانسته است از نیتروژن مصرفی جهت افزایش عملکرد استفاده نماید. این موضوع نشان می‌دهد که شرط لازم برای بهره‌وری مناسب از کود نیتروژن و افزایش کارایی مصرف آن، وجود رطوبت کافی در منطقه فعالیت ریشه گیاه است تا نیتروژن موجود در خـاک بتواند به‌راحتی در اختیار گیاه قرار گرفته و در جهت تحریک رشد رویشی، فتوسنتز و افزایش عملکرد دانه استفاده شود. Malakoti and Homaei (2003) بیان کردند که رطوبت مناسب خاک باعث گسترش ریشه گیاه شده و مواد غذایی از جمله نیتروژن از سطح بیش‌تری از خاک دریافت می‌شود، از طرفی جریان آب در خاک باعث انتقال مواد غذایی به طرف ریشه‌ها می‌شود. بنابراین می‌توان گفت کاربرد مقادیر مناسب کود نیتروژن می‌تواند مقابله با تنش آبی را افزایش دهد، اما مصرف مقادیر بیش‌تر از نیاز نیتروژن در شرایط تنش رطوبتی بر عملکرد تأثیر نامطلوب دارد.

اثرات متقابل کود نیتروژن و بیوچار نشان (جدول ۶) داد بیش‌ترین مقدار عملکرد از تیمار B3N2 (۱۶/۸ تن در هکتار) و کم‌ترین آن از تیمار B4N3 (۷/۸ تن در هکتار) به‌دست آمد. استفاه از بیوچار تا ۲/۵ درصد وزنی در تیمارهایی که نیتروژن به‌طور کامل استفاده نمی‌شد، باعث افزایش عملکرد شد. در تیمارهای B4N3 و B4N2 به‌دلیل بالابودن مقدار بیوچار که باعث افزایش شوری خاک می‌شود، میزان عملکرد کاهش یافت. به‌طوری‌که مقدار عملکرد در این دو تیمار از تیمارهای فاقد بیوچار کم‌تر بود. Badu *et al.* (2018) نیز در پژوهش خود راجع به کاربرد بیوچار و نیتروژن روی گیاه ذرت به نتایج مشابه‌دست یافتند. ایشان بیان داشتند استفاده از بیوچار و نیتروژن باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت شده، آلودگی زیست‌محیطی را کاهش داده و از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. Kondrlova *et al.* (2018) در مطالعه خود بیان کردند که کاربرد ده تن در هکتار بیوچار همراه با کود نیتروژن و یا ۲۰ تن در هکتار حتی بدون کود نیتروژن در خاک بافت لوم، عملکرد گیاه جو را افزایش داد. افزایش عملکرد در شرایط استفاده از بیوچار و نیتروژن را می‌توان به قدرت بیوچار در کاهش هدرروی نیتروژن و افزایش نگهداری نیتروژن در خاک نسبت داد.

۳. ۲. نیتروژن خاک

اثرات مقدار آب آبیاری، بیوچار و نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر نیتروژن خاک تأثیرگذار بود (جدول ۲). با کاهش عمق آب آبیاری مقدار نیتروژن خاک افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار نیتروژن خاک (۴/۵۲ درصد) در تیمار I1 و کم‌ترین (۳/۱۶ درصد) آن در تیمار I3 مشاهده شد. Gao *et al.* (2020) نشان دادند با کاهش عمق آب آبیاری، مقدار نیتروژن خاک به‌دلیل کاهش سطح آب‌شویی افزایش یافت. Sun *et al.* (2016) نیز در پژوهش خود به نتایج مشابه دست یافتند و بیان کردند بیوچار با کاهش آب‌شویی و نگهداری نیتروژن در خاک باعث افزایش نیتروژن خاک می‌شود (Sun *et al.*, 2016). اثر مقدار بیوچار بر نیتروژن خاک نشان داد با کاهش بیوچار مصرفی مقدار نیتروژن خاک کاهش یافت (جدول ۳). تیمار B4 با ۵/۱۲ درصد بیش‌ترین و تیمار B1 با ۳۸/۲ درصد کم‌ترین مقدار نیتروژن خاک را دارا بودند. در پژوهشی بیان شد که بیوچار به‌دلیل دارابودن ظرفیت جذب بالا، شست‌وشوی عناصر غذایی مانند نیترات را در خاک کاهش داده و باعث افزایش نیتروژن خاک می‌شود (Li *et al.*, 2020). بیوچار به‌دلیل پایداری زیاد در خاک، کم‌تر تجزیه شده و نیترات کم‌تری آزاد می‌کند (Singh *et al.*, 2010). پژوهش‌گران علت افزایش نیتروژن خاک در اثر استفاده از بیوچار را به مقدار زیاد کربن قابل تجزیه در این ماده نسبت داده‌اند که باعث تجمع بیش‌تر نیترات در خاک می‌شود (Ippolito *et al.*, 2014). با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نیتروژن خاک افزایش یافت. افزایش نیتروژن از سطح N1 به سطح N2 و N3 به‌ترتیب ۵۸/۶۳ و ۹۱/۳۶ درصد نیتروزن خاک را افزایش داد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری و افزایش بیوچار نیتروژن خاک افزایش یافت. تیمار I1B4 با ۵/۰۲ درصد بیش‌ترین مقدار نیتروژن خاک را دارا بود که با تیمار I2B4

(۴/۸۶ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار I3B1 با ۲/۴۵ درصد کم‌ترین مقدار نیتروژن خاک را داشت. نیتروژن عنصری متحرک است و به همین دلیل در شرایط کاهش مقدار آب آبیاری، مقدار نیتروژن کاهش می‌یابد. افزودن بیوچار به خاک با افزایش نگهداشت آب در خاک، موجب کاهش آب‌شویی نیترات و افزایش نیتروژن خاک می‌شود (Knowles *et al*., 2011). اثرات متقابل آب آبیاری و نیتروژن (جدول ۵) نشان داد کاهش عمق آب آبیاری و افزایش کود نیتروژن باعث افزایش نیتروژن خاک شد. تیمار I1N3 با ۵/۲۵ درصد بیش‌ترین و تیمار I3N1 با ۲/۶۸ درصد کم‌ترین مقدار نیتروژن خاک را داشت. اثر متقابل بیوچار و کود نیتروژن (جدول ۶) نشان داد افزایش بیوچار و افزایش کود نیتروژن مقدار نیتروژن خاک را افزایش داد. تیمار B4N3 با ۵/۲۶ درصد بیش‌ترین مقدار نیتروژن خاک را داشت که از این نظر با تیمار B3N3 (۵/۰۵ درصد) تفاوت معنی‌دار نداشت. نتایج پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌گران همخوانی داشت (Knowles *et al*., 2011). بیوچار دارای قابلیت جذب آنیونی بوده و سطح ویژه زیادی دارد و قادر است یون‌های نیترات را جذب کند و باعث نگهداری آن در خاک شود (Zhang *et al*., 2015). Hosseinnejad Mir *et al*. (2021) نیز در پژوهش خود بیان کردند نیتروژن خاک در تیمارهای حاوی حداکثر بیوچار و نیتروژن بیش‌تر از سایر تیمارها بود.

۳. ۳. قند میوه

کاهش آب آبیاری باعث افزایش مقدار قند میوه شد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار قند میوه در تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری (۱/۳۵ میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی با وجود کاهش میزان تولید مواد نورساختی، محتوای قندهای محلول به‌دلیل تغییر شکل بیش‌تر نشاسته و یا دیگر شکل‌های ذخیره‌ای به قند، تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره یاخته‌ای، تغییر در میزان انتقال قندها و یا مصرف کم‌تر کربوهیدرات‌ها توسط بافت‌ها افزایش می‌یابد (Maness, 2010). افزایش بیوچار باعث افزایش قند میوه شد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار آن از تیمار ۵ درصد بیوچار (۱/۳۷ میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار قند نیز در تیمار عدم استفاده از بیوچار (۱/۱۵ میلی‌گرم بر گرم) حاصل شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد با کاهش آب آبیاری و افزایش بیوچار مقدار قند میوه افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار آن در تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و ۵ درصد وزنی بیوچار (۱/۴۲ میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد. مقدار قند در تیمار ۷۵ درصد آب آبیاری و ۵ درصد مصرف بیوچار با تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار تفاوت معنی‌دار نداشت. اثرات ساده کود نیتروژن (جدول ۳) بر مقدار قند نشان داد با کاهش مقدار نیتروژن مصرفی مقدار قند افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار در تیمار N1 (۱/۴۱ میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان‌دهنده ارتباط منفی درصد قند با میزان کود نیتروژن مصرفی می‌باشد. علت این امر را می‌توان به نقش اصلی نیتروژن در تثبیت اسیدهای امینه نسبت داد. این فرایند نیاز به مصرف برخی متابولیت‌های چرخه کربس داشته و چرخه کربن در ادامه نیازمند به جایگزین‌شدن این ترکیب‌ها بوده که مستلزم مصرف کربوهیدرات‌ها و مشتقات آن‌ها می‌باشد. هم‌چنین احیای نیترات و نیتریت احتیاج به نیروی احیاکننده دارد که از طریق تنفس و فتوسنتز تأمین می‌شود. اگر از طریق تنفس تأمین گردد، هیدرات‌های کربن کاهش یافته و در صورتی‌که از راه فتوسنتز تأمین گردد مقدار کمتری دی‌اکسیدکربن احیا شده و به هیدرات‌های کربن تبدیل می‌شود. اثرات متقابل آب آبیاری و کود نیتروژن (جدول ۵) نشان داد با کاهش مقدار آب آبیاری و نیتروژن مصرفی، درصد قند گیاه افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار قند در تیمار I1N1 (۱/۶۵ میلی‌گرم در گرم) مشاهده شد که از این نظر با تیمار I1N2 (۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم) تفاوت معنی‌دار نداشت. کم‌ترین مقدار نیز در تیمار I3N3 (۱/۱۴ میلی‌گرم بر گرم) بود که با تیمار I2N2 (۱/۱۶ میلی‌گرم بر گرم) تفاوت نداشت. اثرات متقابل کود نیتروژن و بیوچار (جدول ۶) نشان داد با افزایش مصرف بیوچار و کاهش نیتروژن مقدار قند گیاه افزایش یافت. تیمار B4N1 با ۱/۵۵ میلی‌گرم بر گرم بیش‌ترین و تیمار B1N3 با ۱/۰۳ میلی‌گرم بر گرم کم‌ترین مقدار قند را دارا بودند.

Table 3. Mean comparison of the measured yield, IWUE, NUE, soil nitrogen and fruit suger of Karela

Treatments	Yield (ton ha^{-1})	Soil nitrogen (%)	Fruit suger (mg.gr^{-1})	IWUE (kg.m^{-3})	NUE (kg.kg^{-1})
I_3	15.51a	3.16b	1.12c	2.13c	84.32a
I_2	14.42ab	4.28a	1.24b	2.64a	78.41ab
I_1	8.45c	4.52a	1.35a	2.31b	56.78c
B4	10.74dc	5.12a	1.02d	1.47d	68.33cd
B_3	16.34a	4.25b	1.15c	2.26a	94.58a
B_2	15.12ab	3.11c	1.28b	2.08b	87.52ab
B_1	11.31c	2.38d	1.37a	1.55c	75.58c
N3	15.35a	5.32a	1.16c	2.12a	76.53b
N2	12.82b	4.41b	1.22a	1.86b	85.33a
N1	9.43c	2.78c	1.41b	1.43c	84.12a

* Within columns and for each treatment, means with same letters are not different at significance level of 0.05

Table 4. Interaction effect of irrigation water amount and biochar levels on yield, IWUE, NUE, soil nitrogen and fruit suger of Karela

Treatments	Yield (ton ha^{-1})	Soil nitrogen (%)	Fruit suger (mg.gr^{-1})	IWUE (kg.m^{-3})	NUE (kg.kg^{-1})
I3B4	10.22f	3.61c	1.09e	1.42i	71.36d
I_3B_3	17.73a	3.42cd	1.06f	2.44cd	91.28a
I_3B_2	15.51b	3.07d	1.02g	2.13e	84.32ab
I_3B_1	12.65c	2.45f	1.01g	1.73g	76.57c
I2B4	8.44g	4.86a	1.26b	1.54gh	74.33c
I_2B_3	16.26a	4.06b	1.18c	2.97a	82.64b
I_2B_2	13.91e	3.15d	1.11d	2.55c	79.32bc
I_2B_1	10.84f	2.56ef	1.04f	1.98f	73.46cd
I1B4	6.53h	5.03a	1.42a	1.79g	62.72e
I_1B_3	7.22gh	4.32ab	1.27b	1.98f	75.83c
I_1B_2	10.55f	3.65c	1.19c	2.89b	66.14e
I_1B_1	8.41g	2.64e	1.13d	2.31d	58.92f

* Within columns and for each treatment, means with same letters are not different at significance level of 0.05

Table 5. Interaction effect of irrigation water amount and Nitrogen levels on yield, IWUE, NUE, soil nitrogen and fruit nitrogen of Karela

Treatments	Yield (ton ha^{-1})	Soil nitrogen (%)	Fruit suger (mg.gr^{-1})	IWUE (kg.m^{-3})	NUE (kg.kg^{-1})
I_3N_3	15.63a	4.23b	1.14d	2.13a	78.42b
I_3N_2	12.34b	3.85c	1.16d	1.91b	81.54a
I_3N_1	9.51c	2.68d	1.21c	1.52c	86.23a
I_2N_3	14.26a	5.14a	1.27c	2.92a	74.65b
I_2N_2	9.17c	4.56b	1.31bc	1.48c	83.14a
I_2N_1	8.11d	3.87c	1.39b	1.21d	80.48a
I_1N_3	6.54e	5.25a	1.45b	0.98e	68.72c
I_1N_2	7.87d	4.36b	1.58a	1.16d	78.36b
I_1N_1	6.75e	3.92c	1.65a	0.99e	75.42b

* Within columns and for each treatment, means with same letters are not different at significance level of 0.05

Table 6. Interaction effect of Biochara amount and Nitrogen levels on on yield, IWUE, NUE, soil nitrogen and fruit suger of Karela

Treatments	Yield (ton ha^{-1})	Soil nitrogen (%)	Fruit suger (mg.gr^{-1})	IWUE (kg.m^{-3})	NUE (kg.kg^{-1})
B4N3	7.81ef	5.26a	1.32c	2.05ef	69.52
B4N2	8.23e	4.85b	1.45b	2.01f	78.25b
B4N1	10.25d	3.42d	1.55a	2.31d	72.41c
B3N3	10.81d	5.05a	1.2d	2.33d	83.69ab
B3N2	16.83a	4.33b	1.26cd	3.14a	94.55a
B3N1	12.44c	3.52d	1.3c	2.51c	90.13a
B2N3	14.35b	4.25b	1.07ef	2.89b	80.14b
B2N2	12.16c	4.03c	1.13e	2.48c	86.74a
B2N1	10.11d	2.95e	1.18d	2.29d	83.79ab
B1N3	8.97e	3.45d	1.04g	2.15e	75.94c
B1N2	8.61e	3.26d	1.05gf	2.14e	79.58b
B1N1	8.45e	2.69e	1.07f	2.12e	78.69b

* Within columns and for each treatment, means with same letters are not different at significance level of 0.05

۳. ۴. کارایی مصرف آب آبیاری

با کاهش آب آبیاری تا سطح ۷۵ درصد کارایی مصرف آب آبیاری افزایش یافت (جدول ۳). کاهش بیش‌تر آب آبیاری تا سطح ۵۰ درصد باعث کاهش کارایی مصرف آب آبیاری شد. علت آن بیش‌تربودن نرخ کاهش عملکرد در مقایسه با کاهش آب مصرفی در تیمار ۵۰ درصد نسبت به تیمار ۷۵ درصد می‌باشد. مصرف بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی باعث افزایش کارایی مصرف آب آبیاری شد. بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب آبیاری در تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار (۲/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. افزایش بیوچار به ۵ درصد وزنی به‌دلیل افزایش شدت تنش‌های وارده سبب کاهش کارایی مصرف آب شد. افزودن بیوچار باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. در نتیجه اصلاح خاک با بیوچار منجر به افزایش تولید محصولات زراعی از طریق حفظ بیش‌تر آب ناشی از بارندگی‌ها و کاهش دفعات آبیاری می‌شود (Streubel *et al*., 2011). Faloye *et al*. (2019) در پژوهشی بیان داشتند که بیوچار می‌تواند اثر منفی تنش خشکی را کاهش داده و با افزایش عملکرد گیاه، کارایی مصرف آب آبیاری را بهبود ببخشد. Miri *et al*. (2021) سطوح مختلف بیوچار ضایعات برداشت پسته را بر ویژگی‌های رشدی و بهره‌وری آب ذرت موردبررسی قرار دادند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد که تأثیر کاربرد بیوچار، بسته به نوع خاک متفاوت است، چنان‌که 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. اثرات ساده کود نیتروژن (جدول ۳) نشان داد با افزایش کود نیتروژن کارایی مصرف آب افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب از تیمار N_3 (۲/۱۲ کیلوگرم بر متر مکعب) به‌دست آمد. کاهش مصرف کود نیتروژن باعث کاهش کارایی مصرف آب شد. Zhang *et al*. (2016) نیز در پژوهش خود به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند کارایی مصرف آب با افزایش کود نیتروژن افزایش می‌یابد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد با کاهش آب آبیاری تا سطح ۷۵ درصد و افزایش بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی باعث افزایش کارایی مصرف آب آبیاری شد. بیش‌ترین مقدار آن از تیمار ۷۵ درصد آب آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار (۲/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل شد که از این نظر با تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار (۲/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. افزایش کارایی مصرف آب با بالابودن عملکرد و هم‌چنین کاهش میزان آب مصرفی در تیمارها مرتبط است. کاهش مقدار آب آبیاری فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه را آسیب رسانده و باعث کاهش ویژگی‌های رشدی و عملکرد گیاه می‌شود. بیوچار با داشتن سطح ویژه بالا، کمبود رطوبت آب را جبران کرده و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. افزایش کارایی مصرف آب با کاربرد بیوچار در مطالعات سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است. Uzoma *et al*. (2011) گزارش کردند کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی کارایی مصرف آب ذرت را به‌ترتیب شش، ۱۳/۹ و ۹/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. Bagheri *et al*. (2021) در پژوهشی بیان داشتند کاربرد بیوچار در تیمارهای ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه، با جبران کاهش رطوبت خاک باعث افزایش کارایی مصرف آب شدند.

اثرات متقابل کود نیتروژن و آب آبیاری (جدول ۵) نشان داد بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار I_2N_3 (۲/۹ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد که از این نظر با تیمار I_3N_3 تفاوت معنی‌داری نداشت. هرچند افزایش تنش‌های آبی و نیتروژن سبب کاهش عملکرد شد، اما بسته به سطح تنش کارایی مصرف آب ممکن است بهبود یابد. در تنش‌های ملایم کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (DiPaolo and Rinaldi, 2008). زمانی‌که آب عامل محدودکننده رشد گیاه نباشد، مصرف مقادیر بالای نیتروژن برای گیاه مفید است. درحالی‌که در شرایط تنش آبی، مصرف کود نیتروژن رشد رویشی گیاه را افزایش می‌دهد، با افزایش رشد رویشی میزان تبخیر و تعرق گیاه افزایش می‌یابد و رطوبت خاک از این طریق تخلیه می‌شود و این کار موجب کاهش عملکرد به‌ازای هر واحد نیتروژن مصرفی می‌شود. بنابراین در صورت عدم دسترسی به آب کافی و مواجه‌شدن گیاه با کمبود آب، کاهش مصرف نیتروژن باعث کاهش هزینه‌ها شده و از مصرف بی‌رویه نهاده کودی که تأثیری هم در

افزایش عملکرد ندارد، جلوگیری می‌شود (Lak *et al.*, 2007). اثر متقابل کود نیتروژن و بیوچار (جدول ۶) نشان داد بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار B3N2 (۳/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد. با کاهش مقدار بیوچار و نیتروژن کارایی مصرف آب کاهش یافت. در تیمار B4 افزایش کود نیتروژن باعث کاهش کارای مصرف آب شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد در این تیمار در سطح ۵۰ درصد مصرف نیتروژن به‌دست آمد. در تیمار B3 نیز مصرف کامل نیتروژن باعث کاهش کارایی مصرف آب شد. کاهش عملکرد در این تیمارها باعث کاهش کارایی مصرف آب شد.

۳. ۵. کارایی مصرف نیتروژن

با کاهش عمق آب آبیاری کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳). کاهش عمق آب آبیاری از ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمارI3) به تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی (I2 و I1) به‌ترتیب ۷/۱ و ۳۲/۶۶ درصد کارایی مصرف نیتروژن را کاهش داد. افزایش بیوچار مصرفی تا سطح تیمار B3 (۲/۵ درصد وزنی خاک گلدان) باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن شد، اما مصرف بیش‌تر آن (تیمار B4) کارایی مصرف نیتروژن را کاهش داد (جدول ۳). تیمار B3 با دارابودن ۹۵/۵۸ کیلوگرم برکیلوگرم بیش‌ترین و تیمار B4 با ۶۸/۳۳ کیلوگرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن را دارا بودند. Chen *et al.* (2021) تأثیر بیوچار و مدیریت آبیاری بر هدرروی نیتروژن در شالیزار را موردبررسی قرار دادند و بیان کردند که بیوچار سبب افزایش عملکرد برنج، بهبود کارایی مصرف آب و بهبود راندمان جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود. با کاهش مقدار نیتروژن مصرفی تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (تیمار N2) کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت. کاهش بیش‌تر مقدار نیتروژن (تیمار N1) کارایی مصرف نیتروژن را کاهش داد، اما از این نظر با تیمار N2 تفاوت معنی‌داری نداشت. یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در اثر افزایش مصرف نیتروژن، فزونی سرعت از دست‌رفتن عنصر مذکور از طریق آب‌شویی و تصعید یا عدم استفاده مؤثر از آن می‌باشد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد تیمار I3B3 بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن (۹۱/۲۸ کیلوگر بر کیلوگرم) و تیمار I1B1 با ۵۸/۹۲ کیلوگر بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن را دارا بود. اثرات متقابل آب آبیاری و نیتروژن (جدول ۵) نشان داد تیمار I3N1 بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن را داشت که از این نظر با تیمار I3N2 تفاوت معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل نیتروژن و بیوچار (جدول ۶) نشان داد تیمار B3N2 با ۹۴/۵۵ کیلوگرم بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن و تیمار B4N3 با ۶۹/۵۲ کیلوگرم بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن را داشتند. Zibaei *et al.* (2019) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که افزودن بیوچار به خاک همراه با نیتروژن باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن در گیاه اسفناج شد. در اثر افزودن بیوچار به خاک، دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی افزایش یافته و درنتیجه عملکرد گیاه افزایش می‌یابد (Chen *et al.*, 2021). با افزایش عملکرد، مقدار نیتروژن برداشت‌شده از خاک که از مؤلفه‌های نیتروژن بازیافت‌شده می‌باشد، افزایش می‌یابد و افزایش بازیافت نیتروژن به‌نوبه خود به معنی بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد (عباسعلیان و همکاران، ۲۰۲۱).

۳. ۶. شوری خاک

اثرات بیوچار، نیتروژن، آب آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بر شوری خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شکل (۱) اثرات ساده و شکل (۲) اثرات متقابل تیمارها را بر توزیع شوری در عمق صفر–۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک در پایان فصل کشت نشان می‌دهد. همان‌طورکه از شکل (۱) مشاهده می‌شود کاهش عمق آب آبیاری شوری خاک را افزایش داد. افزودن بیوچار و نیتروژن به خاک نیز شوری خاک را افزایش داد. اثرات متقابل تیمارها (شکل ۲) نشان داد با افزایش عمق آب آبیاری و کاهش مصرف نیتروژن مقدار شوری خاک کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار شوری در تیمار

I1N3 و کم‌ترین مقدار آن در تیمار I3N1 مشاهده شد. با افزایش بیوچار و کاهش آب آبیاری شوری خاک افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار شوری در تیمار I1B4 و کم‌ترین مقدار آن در تیمار I3B1 مشاهده شد. اثر متقابل بیوچار و نیتروژن بر شوری خاک را نشان می‌دهد. با افزایش بیوچار و افزایش نیتروژن شوری خاک افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار شوری در تیمار N3B4 و کم‌ترین مقدار آن در تیمار N1B1 مشاهده شد. شوری بالای بیوچار از عوامل اصلی شوری خاک می‌باشد. افزایش شوری در تیمارهای حاوی بیوچار می‌تواند ناشی از مواد و گروه‌های عامل حاصل از تخریب حرارتی ترکیبات موجود در مواد اولیه و نیز حضور احتمالی مقادیری از خاکستر همراه با بیوچار باشد. Chintala *et al.* (2014) نیز بیان کردند افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک در اثر کاربرد بیوچار به‌دلیل حضور نمک‌های محلول در بیوچار و زیادتر بودن قابلیت هدایت الکتریکی آن نسبت به قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌باشد. در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد افزودن ۳ و ۵ درصد وزنی بیوچار به خاک باعث افزایش شوری خاک شد (Younis *et al.*, 2015).

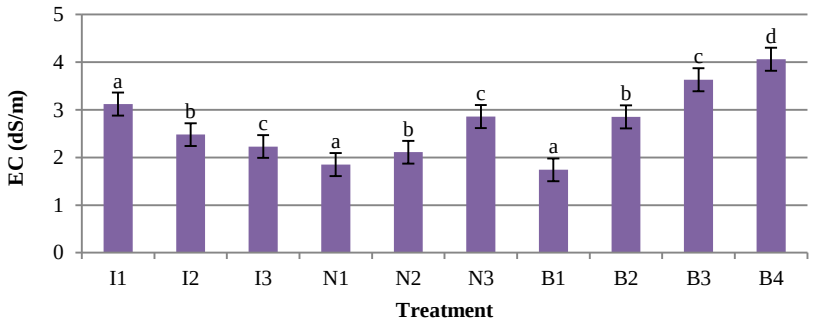
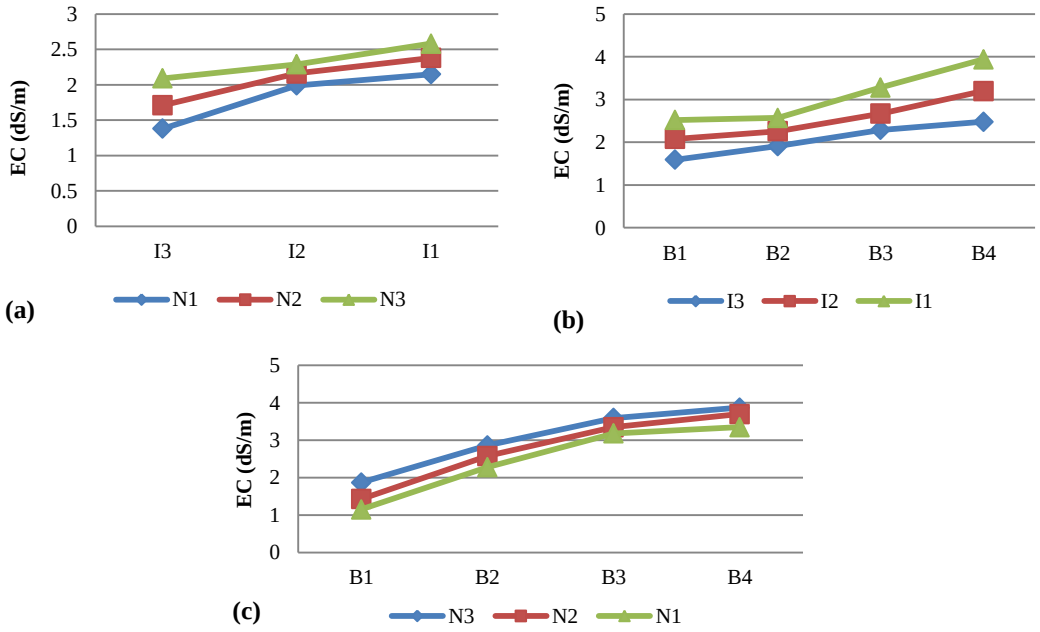


Figure 1. Effect of irrigation water, biochar and nitrogen treatments on soil EC



Figurer 2. Interaction effect of irrigation water and nitrogen (a), irrigation water and biochar (b) and biochar and nitrogen (c) on Soil EC

۴. نتیجه‌گیری

بیوچار از جمله مواد آلی است که به‌علت دارابودن خاصیت پایداری بالا، در سال‌های اخیر در شرایط تنش آبی موردتوجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. در پژوهش حاضر اثرات بیوچار بر عملکرد و کارایی مصرف آب و کارایی مصرف کود نیتروژن گیاه کارلا در سطوح مختلف آبی و کود نیتروژن موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد اثر مقدار آب مصرفی بر پارامترهای کمی کارلا تأثیر معنی‌دار داشت، اما از این نظر بین تیمار ۱۰۰ و ۷۵ درصد آب آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت. بیوچار با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بهبود اسیدیته خاک، بهبود عناصر غذایی خاک، افزایش قدرت نگهداری عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب برای میکروارگانیسم‌های خاک می‌تواند بر رشد گیاه اثر مثبت داشته باشد. مصرف بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی، در شرایط تنش آبی، باعث افزایش عملکرد کارلا شد. مصرف بیش‌تر بیوچار (۵ درصد وزنی) به‌دلیل افزایش شوری خاک، باعث کاهش عملکرد کارلا شد. افزودن بیوچار به خاک در شرایط کم‌آبی به‌دلیل داشتن منافذ زیاد و بالابردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، باعث افزایش کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن شد. این کار در مناطق خشک و نیمه‌خشک میزان آب مصرفی را کاهش داده و باعث صرفه‌جویی می‌شود. کاربرد هم‌زمان بیوچار و کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن شد. بیش‌ترین کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن با مصرف ۷۵ درصد کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به‌دست آمد. به‌طورکلی، استفاده از بیوچار سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و افزایش تحمل گیاه کارلا در برابر تنش آبی شد. پیشنهاد می‌گردد که جهت اجرایی‌نمودن نتایج این پژوهش، آزمایش در شرایط مزرعه‌ای نیز انجام شده و جنبه‌های فنی و اقتصادی نیز موردمطالعه قرار گیرد. هم‌چنین با توجه به اهمیت دارویی گیاه کارلا، پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌های بیش‌تری در زمینه کاشت این گیاه در منطقه انجام گیرد.

۵. تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. کد پژوهانه IR-UOZ-GR-1837.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abbasalian, H., Soltani, J., Hashemi, S.E., Borzouei, A., & Ahmadvand, M. (2021). A study on the effect of biochar and wheat straw application on nitrogen fertilizer utilization in barley using 15N isotope technology. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 99(2),47-56.

Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, S., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants. A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105.

Ali, K., Arif, M. & Jan, T. (2015). Integrated use of biochar: A tool for improving soil and wheat quality of degraded soil under soil wheat-maize cropping pattern. Pakestan Journal of Botany, 47(1), 233-240.

Akhtar, S. S., Andersen, M. N., & Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agriculture of Water Management*, 138, 37-44.

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.

Bagheri, S., Hassandokht, M.R., Mirsoleimani, A., & Mousavi, A. (2021). Effect of palm leaf biochar application on some physiological and biochemical characteristics of melon plants (Cucumis melo cv. Samsouri) under drought stress. *Processing of plant*, 10(45), 301-285.

Balogh, A., Pepo, P., & Hornok, M. (2006). Interactions of crop year, fertilization and variety in winter wheat management. *Cereal Research Communications* , 34, 389-392.

Bednik, M., Medy´nska-Juraszek, A., Dudek, M., Kloc, S., Kret, A., Łabaz, B., & Waroszewski, J. (2020). Wheat Straw Biochar and NPK Fertilization Efficiency in Sandy Soil Reclamation. *Agronomy*, 10(4), 496.

Chandrasekar, B. R., Ambrose, G., & Jayabalan, N. (2005). Influence of biofertilizers and nitrogen source level on the growth and yield of Echinochloa frumentacea (Roxb) Link. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1, 223-234.

Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Malo, D.D., & Julson, J.L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60, 393-404.

Condon, A. G., Richard, R. A., Rebetzke, G. J., & Farquhar, G. D. (2004). Breeding for high wateruse efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55,2247-245

Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21, 433-446.

Dwyer, L.M., Ma, B.L., Gregorich, E., & Tollenaar, M. (1993). Field maize N levels and relationships to growth and yield. P. 133. In Agronomy abastract. ASA, Madison, WI

Kondrlova, E., Horak, J., & Igaz, D. (2018). Effect of biochar and nutrient amendment on vegetative growth of spring barley (‘*Hordeum vulgare*’ L. var. Malz). *Australian Journal of Crop Science*, 12(2), 178-184.

El-Eyuoon, A., & Mamdouh, E. (2017). Biochar effects on nitrogen and phosphorus use efficiencies of zucchini plants grown in a calcareous sandy soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (4), 912-921.

Erdal, I., Ertek, A., Senyigit, U., & Coyuncu, M. A. (2007). Combined effects of irrigation and nitrogen on some quality parameters of processing tomatoes. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(1), 57- 62

Miri, F., Zamani, J., & Zarebanadkouki, M. (2021). 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).

Fan, X., Lin, F., & Kumar, D. (2004). Fertilization with a new type of coated urea evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 853-865.

Feng, Z., & Zhu, L. (2017). Impact of biochar on soil N 2 O emissions under different biochar-carbon/fertilizer-nitrogen ratios at a constant moisture condition on a silt loam soil. *Science of the Total Environment*, 584-585.

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.

Foster, E. J., Neil Hansenc, B., Matt Wallenstein, B. D., & Cotrufoa, F. (2016). Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233,404-414.

Gokila, B., & Baskar, K. (2015). Influence of biochar as soil amendment on yield and quality of maize. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 5,152-155.

Genesio, L., Miglietta, F., Baronti, S., & Vaccari, F. (2015). Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four years field experiment in Tuscany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 201, 20-25.

Guvili, A., Mousavi, A. A., & Kamkar Haghighi, A. (2016). Effect of cattle manure biochar and moisture stress on growth characteristics and spinach water use efficiency in greenhouse conditions. *Water Research in Agriculture*, 30(2), 259-243. (In Persian).

Hagner, M., Kemppainen, R., Jauhiainen, L., Tiilikkala, K., & Setälä, H. (2016). The effects of birch (Betula spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. *Soil and Tillage Research*, 163, 224–234.

Hosseinnejad Mir, A., Hashemi Garmdareh, S. E., Liaghat, A., & Karimi, S. (2021). Evaluation of Effluent Drained Nitrate Concentration in Soil Amended with Forage Maize Biochar Under Cultivatio of Bell Pepper. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15(6), 1338-1347. (In Persian).

Ibrahim, O. M., Bakry, A. B., El Kramany, M. F., & Elewa, T. A. (2015). Evaluating the role of biochar application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. *Global Journal of Advanced Research*, 2 (2), 411-418.

Ippolito, J.A., Stromberger, M.E., Lentz, R.D., & Dungan, R.S. (2014). Hardwood biochar influences calcareous soil physicochemical and microbiological status. *Journal of Environmental Quality*. 43, 681-689.

Jackson, M.L. (1958). Soil chemical analysis, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey. USA. pp: 498.

Jemal, K., & Abebe, A. (2016). Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass (*Cymbopogon citracut* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 4(2), 149-157.

Keyvan, S. (2010) The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 8 (3), 1051-1060.

Knowles, O.A., Robinson, B.H., Contangelo, A., & Clucas, L. (2011). Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment*, 409, 3206-3210.

Kumar, S., Masto, R., E. Lal, C. R., Sarkar, P., George, J., & Selvi, V. A. (2013). Biochar preparation from Parthenium hysterophorus and its potential use in soil application. *Journal of Ecological Engineering*, 55(3), 67-72.

Lak, Sh., Naderi, A., Siadat, A.A., Ayene Band, A., NoorMohammadi, Gh., & Moosavi, H. (2007). The effect of different levels of irrigation, Nitrogen and plant density on yield, yield components and photosynthetic materials retransmission of corn grains in climatic conditions Khuzestan, *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 42, 1-14. (In Persian).

Leskovar, D. I., & Piccinni, G. (2005). Yield and leaf quality of processing spinach under deficit Irrigation. *Hort Science*, 40, 1868-1870.

Li, Y., Tsend, N., Li, T., Liu, H., Yang, R., Gai, X., Wang, H., & Shan, S. (2020). Microwave assisted hydrothermal preparation of rice straw hydrochars for adsorption of organics and heavy metals. *Bioresource Technology*, 273, 136-143.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luiza˜o, F.J., Petersen, J., & Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.

Liu, Z., Cheng, X., Sun, D., Meng, J., & Chen, W. (2017). Maize stover biochar increases urea (15 N isotope) retention in soils but does not promote its acquisition by plants during a 4-year pot experiment. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77(4),382-389.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333, 117-128.

Malakoti, M., & Homaei, M. (2003). Arid and semiarid soils fertility problems and solutions. Tarbiat Modarres University Press.

Maness, N. (2010). Extraction and analysis of soluble carbohydrates. P: 341-370. In: Sunkar, R. (ed.) Plant stress tolerance, methods and protocols. Springer science & bussines media (Hummana press). pp: 386.

Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., & Suzuki, A. (2010). Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105,1141-1157.

Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J., & Ram, L.C. (2013). Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. *Catena*, 111, 64-71

Nigus, A., Karimian, M., Maftoun, A., Ronaghi, Y., Psie, A., Endalkachew Kissi, E., Misganaw, M., & Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 12 (3), 369-376.

Njoku, C., Uguru, B. N., & Chibuike, C. C. (2016). Use of biochar to improve selected soil chemical properties, carbon storage and maize yield in an Ultisol in Abakaliki Ebonyi State, Nigeria. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 2, 15-22.

Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A., & Fasina, A. (2019). Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. *Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(3), 295-308.

Owuor, P.O., Kamau, D. M., Kamunya, S. M., Msomba, S. W., Uwimana, M. A., Okal, A.W., & Kwach, B. O. (2011). Effects of genotype, environment and management on yields and quality of black tea. *Genetics, Biofuels and Local Farming Systems*, 7, 277-307.

Parvizi, Y., Ronaghi, A., Maftoun, M., & Karimain, A. (2004). Growth, nutrient status and chlorophyll meter reading in wheat as affected by nitrogen and manages. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35, 1387-1399.

Pourmansour, S., Rezaghi, F., Sepsakhah, A., & Mousavi, S. A. (2018). Investigating the growth and yield of wheat under different levels of biochar and low-irrigation under greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management*, 9(1), 15-28. (In Persian)

Rathke, GW., Christen, O., & Diepenbrok, W. (2005). Effect of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crop Research*. 94 (2-3), 103-113.

Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*, 113, 170-177.

Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L., & Kathuria, A. (2010). Influence of biochar on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*. 39(4), 1224-1235.

Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R., & Donald, L.S. (2010). A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Adv. Agron. Academic*, Press, pp. 47-82.

Stagnari, F., Bitetto, V.D., & Pisante, M. (2007). Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Science Horticulture*, 114, 225-233.

Streubel, J.D., Collins, H.P., Garcia-Perez, M., Tarara, J., Granatstein, D., & Kruger, C.E. (2011). Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rate of application. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 1402-1413.

Sun, H., Shi, W., Zhou, M., Ma, X., & Zhang, H. (2019). Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. *Plant, Soil and Environment*, 65, 83-89.

Sunitha, H.M. (2006). Effect of plant population, nutrition, pinching and growth regulators on plant growth, seed yield and quality of African marigold (*Tagetes erecta* L.) (Doctoral dissertation, UAS, Dharwad):120.

Wang, Q., Li, F., Zhang, E., Li, G., & Vance, M. (2012). The effects of irrigation and nitrogen application rates on yield of spring wheat (longfu-920), and water use efficiency and nitrate nitrogen accumulation in soil. *Australian Journal of Crop Science*, 6,662-672.

Waters, D., van Zwieten, L., Singh, B.P., Downie, A., Cowie, A.L., & Lehmann, J. (2021). Biochar in soil for climate change mitigation and adaptation. *Soil Health Clim Change*, 29, 345-368, 2011.

Chen, X. (2021). Biochar as a tool to reduce environmental impacts of nitrogen loss in water-saving irrigation paddy field. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125811.

Xu, C., & Mou, B. (2016). Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141, 12-21.

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 and Manag*, 27, 205-212.

Yang, S. M., Malhi, S. S., Song, J. R., Xiong, Y. C., Yue, W. Y., Lu, L. L., Wang J. G., & Guo T. W. (2006). Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. Nutr. *Cycling Agroecosys*, 76, 81-94.

Younis, U., Athar, M., Malik, S.A., Raza Shah, M.H., & Mahmood, S. (2015). Biochar impact on physiological and biochemical attributes of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) in nickel contaminated soil. *Global Journal of Environmental Science Management*, 1(3), 245-254.

Zhang, A.P., Liu, R.L., Gao, J., Zhang, Q.W., Xiao, J.N., Chen, Z., Yang, S.Q., Hui, J.Z., & Yang, L.Z. (2015). Effects of Biochar on Nitrogen Losses and Rice Yield in Anthropogenic Alluvial Soil Irrigated with Yellow River Water. *Journal of Agro-Environment Science*, 33, 2014.12.017.

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., & Zhang, X. (2012). Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant Soil*, 351, 263-275.

Zheng, P., Bai, X., Long, J., Li, K., & Xu, H. (2016). Nitric oxide enhances the nitrate stress tolerance of spinach by scavenging ROS and RNS. *Scientia Horticulturae*, 213, 24-33.

Zibaei, Z., Ghasemi-Fasaei, R., & Ostovar, P. (2019). Effects of Crop Residues, Rice Husk Biochar, and Urea Application on Growth, Chemical Composition, and Nitrogen Use Efficiency of Spinach in a Calcareous Soil. *Soil Research*, 33(1),76-88. (In Persian).