University of Tehran Press

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

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

Effect of Biochar Application on Lettuce Yield and Water Productivity in Deficit Irrigation Conditions

Jaefar Nikbakht[1]✉ | Arezoo Parvizi[2] | Taher Barzegar[3]

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir
2. Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: a.parvizi@znu.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Agricultural Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: tbarzegar@znu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 27 May 2022
Received in revised form:
15 September 2022
Accepted: 29 September 2022
Published online:
25 December 2022

Keywords:
Drought stress,
Irrigation water managment,
Plant wet mass,
Soil moiture content.

ABSTRACT

This study was done as a pot experiment to investigate the effect of biochar applying in drought stress conditions on yield and water productivity of French lettuce. It was carried out from November 2019 to February 2020 in the greenhouse of Zanjan University Research Farm as a factorial experiment based on randomized complete blocks design with three replications. The experimental treatments included biochar at three levels (zero (B0), one (B1) and two (B2) percent w/w) and irrigation at two levels (70 (I70) and 100 (I100) percent of crop water requirement). The water requirements of the control treatment crops were determined by weight method. Based on the results, application of deficit irrigation significantly reduced means of plant canopy diameter, shoot dimeter, plant hight, chlorophyll content, relative water content and plant wet mass (yield) compared to the control treatment (8.0, 19.8, 26.1, 13.6, 6.20 and 21.1 percent, respectively). Application of one and two percent biochar significantly increased means of plant canopy diameter (13.1 and 7.8 percent, respectively), shoot dimeter (31.9 and 15.5 percent, respectively), plant hight (26.1 and 12.5 percent, respectively), chlorophyll content (25.5 and 13.7 percent, respectively), relative water content (11.61 and 5.30 percent, respectively), plant wet mass (yield) (23.6 and 12.1 percent, respectively) and water productivily (24.6 and 12.3 percent, respectively) compared to the control treatment (B0). Based on the results of the treatments interaction effects, maximum and minimum mean of water productivity were in I70B2 and I70B0 (27.30 and 20.02 kg.m-3, respectively) as well as in the yield they were in I100B2 and I70B0 (15.54 and 10.39 t.ha-1, respectively).

Cite this article: 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. DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.342723.997

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.342723.997

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

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

اثر کاربرد بیوچار بر عملکرد و بهره‌وری آب کاهو در شرایط کم‌آبیاری

جعفر نیکبخت[۱]✉ | آرزو پرویزی[۲] | طاهر برزگر[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: a.parvizi@znu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: tbarzegar@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

کلیدواژه‌ها:
تنش خشکی،
محتوای رطوبت خاک،
مدیریت آب آبیاری،
وزن تر گیاه.

چکیده

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش گلدانی به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد بیوچار در شرایط تنش خشکی بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه کاهو فرانسوی در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار از آذرماه تا اسفندماه ۱۳۹۸ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل بیوچار در سه سطح (صفر (B0)، یک (B1) و دو (B2) درصد وزنی خاک) و آبیاری در دو سطح (۷۰ (I70) و ۱۰۰ (I100) درصد نیاز آبی) بود. نیاز آبی تیمار شاهد به روش وزنی تعیین شد. براساس یافته‌ها، کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار میانگین قطر تاج گیاه، میانگین قطر ساقه، میانگین ارتفاع گیاه، میانگین شاخص کلروفیل برگ، میانگین محتوای نسبی آب برگ و میانگین وزن تر گیاه (عملکرد) نسبت به تیمار شاهد (به‌ترتیب به میزان ۸/۰، ۱۹/۸، ۲۶/۱، ۱۳/۶، ۶/۲۰ و ۲۱/۱ درصد) شد. کاربرد یک و دو درصد بیوچار موجب افزایش معنی‌دار میانگین قطر تاج گیاه (۱۳/۱ و ۷/۸ درصد به‌ترتیب)، میانگین قطر ساقه (۳۱/۹ و ۱۵/۵ درصد به‌ترتیب)، میانگین ارتفاع گیاه (۲۶/۱ و ۱۲/۵ درصد به‌ترتیب)، شاخص کلروفیل برگ (به‌ترتیب ۲۵/۵ و ۱۳/۷ درصد)، میانگین محتوای نسبی آب برگ (به‌ترتیب ۱۱/۶۱ و ۵/۳۰ درصد)، میانگین وزن تر گیاه (عملکرد) (۲۳/۶ و ۱۲/۱ درصد به‌ترتیب) و بهره‌وری آب (به‌ترتیب ۲۴/۶ و ۱۲/۳ درصد) نسبت به B0 شد. براساس نتایج تأثیر متقابل تیمارهای آزمایش، بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین بهره‌وری آب در تیمارهای I70B2 و I70B0 (به‌ترتیب ۲۷/۳۰ و ۲۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و میانگین عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای I100B2 و I70B0 (۱۵/۵۴ و ۱۰/۳۹ تن در هکتار) بود.

استناد: نیکبخت، ج.، پرویزی، آ. و برزگر، ط (۱۴۰۱). اثر کاربرد بیوچار بر عملکرد و بهره‌وری آب کاهو در شرایط کم‌آبیاری. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲ (۴)، ۸۵۹-۸۷۱. DOI: http://doi.org/10.22059/jwim.2022.342723.997

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

محدودیت منابع آب، شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر بخش وسیعی از گستره ایران و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، لزوم کاربرد راه‌کارهایی هم‌چون روش‌های نوین آبیاری، کشت ارقام اصلاح‌شده گیاهان و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری، جهت ارتقای بهره‌وری آب را ایجاب می‌کند. یکی از روش‌های افزایش بهره‌وری آب، کم‌آبیاری است که در آن آبیاری‌های اضافی بی‌اثر در تولید، حذف می‌شود (Nikbakht *et al*., 2020). در پژوهش‌های متعدد، اثر کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب موردآزمایش قرار گرفته است. در پژوهش Jiménez-Arias *et al*. (2019)، با اعمال دو سطح آبیاری (۹۵ درصد ظرفیت زراعی (کنترل) و ۷۰ درصد کنترل) مقادیر وزن تازه، محتوای نسبی آب برگ (چهار هفته بعد از اعمال تنش خشکی) و بهره‌وری مصرف آب (سه هفته بعد از اعمال تنش خشکی) گیاه کاهو به‌ترتیب ۲۹۰ و ۱۸۵ گرم (وزن تازه)، ۹۱ و ۸۰ درصد (RWC) و ۷/۳ و ۴/۰ کیلوگرم بر مترمکعب (WUE) به‌دست آمد. در آزمایش گلدانی Paim *et al*. (2020)، مقدار عملکرد (زیست‌توده) به‌دست آمده در اثر اعمال سطوح متفاوت آبیاری (آبیاری تا ۱۰۰ درصد نقطه اشباع خاک (کنترل)، ۹۰ و ۸۰ درصد کنترل و قطع آبیاری تیمار کنترل چهار روز قبل از برداشت) به‌ترتیب ۸۴، ۱۰۵، ۷۵ و ۱۰۲ گرم بود. Taheri *et al*. (2020) در پژوهشی، تأثیر سطوح متفاوت آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) بر گیاه کاهو را بررسی کردند. براساس نتایج، میانگین عملکرد کل، میانگین ارتفاع گیاه، میانگین قطر تاج گیاه و میانگین بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۷، ۱۰، شش و سه درصد (I80) و ۳۵، ۱۹، ۱۴ و هشت درصد (I60) کاهش یافت. در آزمایش گلدانی انجام یافته توسط Tafi *et al*. (2021)، میانگین عملکرد کل و بهره‌وری مصرف آب کاهو تحت تأثیر سطوح متفاوت آبیاری (۱۰۰، ۸۵ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) به‌ترتیب ۷۹/۸۲ گرم بر بوته و ۲۷/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب (I100)، ۵۹/۵ گرم بر بوته و ۲۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب (I85) و ۵۳/۲۸ گرم بر بوته و ۱۷/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب (I75) به‌دست آمد.

یکی دیگر از راه‌کارهایی مورداستفاده در سال‌های اخیر برای افزایش بهره‌وری مصرف آب، افزودن بیوچار به خاک به‌عنوان منبع حفظ و تأمین مواد آلی برای رشد گیاه و اصلاح‌کننده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد (Dehghani Ahmadabadi *et al*., 2021). بیوچار محصولی غنی از کربن است که از حرارت دیدن زیست‌توده‌هایی مانند چوب، کود دامی یا برگ، در یک محفظه در بسته، بدون هوای در دسترس یا حاوی مقادیر کم آن حاصل می‌شود. به لحاظ تخصصی‌تر، بیوچار از تجزیه حرارتی مواد آلی تحت شرایط محدودیت اکسیژن و در دماهای کم‌تر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید (Bitarafan *et al*., 2018). با توجه به پایداری بیوچار در برابر تجزیه، به‌نظر می‌رسد که این ماده با داشتن منافذ متعدد (در مقیاس میکرومتر) می‌تواند به‌طور مستقیم توانایی نگهداری آب در خاک را به‌صورت بلندمدت افزایش دهد (Gavili *et al*., 2016). طی آزمایشی Woldetsadik *et al*. (2018) اثر کاربرد چهار سطح بیوچار (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) در دو خاک با بافت متفاوت (S1 سیلتی لوم و S2 لوم شنی) را بر روی کاهو بررسی کردند. در این آزمایش، وزن تر گیاه در خاک S1 به‌ترتیب ۱۵۵، ۱۷۰، ۲۱۰ و ۲۰۵ گرم در گلدان و در خاک S2 به‌ترتیب ۲۸، ۱۰۳، ۱۱۵ و ۱۲۵ گرم در گلدان به‌دست آمد. طی پژوهش Yoo *et al*. (2021) اثر دمای تولید بیوچار از ضایعات غلات بر عملکرد و اجزای عملکرد کاهو را بررسی کردند. نتایج این آزمایش نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه، طول و عرض برگ به‌ترتیب درتیمارهای کاربرد پنج درصد بیوچار تولیدشده در دمای ۵۰۰ درجه (بیش‌ترین) و کاربرد پنج درصد ضایعات غلات (کم‌ترین) مشاهده شد که مقدار این صفات به‌ترتیب ۱۰۷/۲۴±۳/۰۵ و ۳۲/۷۸±۷/۷۴ گرم در گیاه (وزن تر ساقه)، ۹/۳۱±۰/۶۹ گرم و ۲/۹۲±۰/۹۰ (وزن خشک ساقه)، ۱۹/۷۲±۰/۷۲ و ۱۲/۸۸±۲/۵۴ سانتی‌متر (طول برگ) و ۱۲/۶۷±۰/۳۰ سانتی‌متر (عرض برگ) بود. Asri (2022) با

بررسی اثر اختلاط سطوح متفاوت بیوچار (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار) حاصل از باقیمانده اجزای گوجه‌فرنگی با خاک بر وزن تر و خشک کاهو، نتیجه گرفت بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر گیاه به‌ترتیب در تیمارهای B30 و B10 (به‌ترتیب ۴۰ و ۳۶ گرم در گیاه) و بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک گیاه به‌ترتیب در تیمارهای B0 و B30 (به‌ترتیب ۵/۱ و ۳/۷ گرم در گیاه) بود.

کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی از خانواده Asteraceae، از جمله سبزی‌های برگی و آبدار است که آب در فرایندهای فیزیولوژیک اساسی این گیاه نظیر فتوسنتز، واکنش‌های متابولیک، حفظ آماس، فرم و استحکام مکانیکی آن نقش اصلی را ایفا می‌کند (Valizadeh Ghale Beig *et al*., 2015). در سال‌های اخیر با افزایش تقاضای بازار و محدودیت فصلی برای کشت مزرعه‌ای، کشت کاهو در گلخانه افزایش یافته است. برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب، لازم است از مواد و راه‌کارهای مدیریتی مناسب استفاده به عمل آید. بررسی منابع علمی نشان داد که استفاده از بیوچار در بستر کشت کاهو در شرایط کم‌آبیاری و کشت در گلخانه کم‌تر موردبررسی قرار گرفته است که لزوم بررسی این مسئله را ایجاب کرد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر استفاده از سطوح متفاوت بیوچار طبیعی در شرایط کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کاهو فرانسوی بود.

۲. مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از آذرماه تا اسفندماه ۱۳۹۸ به‌صورت آزمایش گلدانی (حجم گلدان ۲۰ لیتر، قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و عمق ۳۵ سانتی‌متر) در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان بر روی گیاه کاهو فرانسوی (*Lactuca sativa* L.) اجرا شد. پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل کم‌آبیاری در دو سطح ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (به‌ترتیب I70 و I100) و مقدار بیوچار در سه سطح صفر، یک و دو درصد وزنی خاک (به‌ترتیب B0، B1 و B2) (Gavili *et al*., 2016) بود. تیمار I100B0 به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. خاک مورداستفاده در آزمایش، از خاک مزرعه تهیه شد که پس از سرندکردن با الک ۱/۵ سانتی‌متری، با نسبت مساوی (۵۰:۵۰) با ماسه مخلوط شده و پس از اختلاط کامل با بیوچار در گلدان‌ها ریخته شد (در هر گلدان ۱۵ کیلوگرم). جدول (۱) مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه را نشان می‌دهد. قبل از ریختن خاک در گلدان‌ها، ابتدا در کف گلدان‌ها به عمق سه تا پنج سانتی‌متر شن بادامی ریخته شد. بیوچار مورد استفاده در این پژوهش از بیوچار طبیعی تهیه‌شده از معدن بیوچار کوهبنان استان کرمان تهیه شد. اعمال سطوح آبیاری پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی (۱۸ روز پس از کشت) شروع شد. جهت تعیین نیاز آب آبیاری تیمارها، از طریق رابطه یک، نیاز آب آبیاری سه گلدان تیمار شاهد تعیین شده، سپس میانگین آن محاسبه شد. در این پژوهش دور آبیاری سه روز بود. جدول (۲) مشخصات آب مورداستفاده در آزمایش را نشان می‌دهد.

رابطه ۱) $$CWR = PW_{i-1}(FC) - PW_i$$

که در آن، CWR: نیاز آب آبیاری هر گلدان در هر دور آبیاری (کیلوگرم)؛ $PW_{i-1}(FC)$: وزن گلدان پس از آبیاری در دور آبیاری i-1 تا حد رطوبت مزرعه (کیلوگرم)، PW_i: وزن گلدان قبل از آبیاری i (کیلوگرم). برای تعیین شرایط ظرفیت زراعی گلدان‌های شاهد، پس از پرکردن گلدان‌ها و قبل از کشت بذرها، خاک سه گلدان شاهد تا حد اشباع آبیاری شده و روی آن‌ها با پلاستیک مشکی پوشانده شد. بعد از زهکشی و تخلیه آب آزاد از انتهای گلدان‌ها، وزن گلدان‌ها اندازه‌گیری و به‌عنوان وزن گلدان‌ها در شرایط ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. برای حذف اثر وزن گیاه بر نیاز آبی گیاه، تعیین ظرفیت مزرعه خاک گلدان‌های شاهد در طول آزمایش چند مرحله انجام شد. در طول دوره رشد گیاه، دو نوبت کود NPK با غلظت یک گرم در هر لیتر آب به‌صورت کودآبیاری به گلدان‌ها داده شد.

Table 1. Physical and chemical properties of farm soil

Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil Texture	OM (%)	K	Na ($mg.kg^{-1}$)	Ca	N (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH
37	38	25	Clay Loam	0.94	200	130	120	0.1	1.49	7.42

Table 2. Results of chemical analysis of well water used

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	SAR $(meq.L^{-1})^{0.5}$	Na	K	Ca	Mg	Cl	Co_3	HCo_3
			($mg.L^{-1}$)						
6.5	2.35	0.66	50	0.0	258.45	103.7	582.2	0.0	195.2

جهت ارزیابی اثر تیمارهای آزمایش بر گیاه، ۱۰ روز قبل از برداشت کاهوها، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه درصد نسبی محتوای آب برگ، ابتدا قطعه‌ای از برگ‌های میانی گیاه برش داده شده و با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس قطعات بریده‌شده درون پتری‌دیش‌های درب‌دار حاوی آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت در محیط تاریک قرار داده شد. سپس برگ‌ها از آب مقطر خارج شده، رطوبت اضافی سطح آن‌ها توسط دستمال‌کاغذی خشک شده و جهت به‌دست‌آوردن وزن آماس، توزین شدند. در نهایت قطعات برگ به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خشک‌شدن، توزین شده و در نهایت محتوای نسبی آب برگ با رابطه (۲) محاسبه شد (Nikbakht *et al*., 2020).

$$RWC = \frac{M_{Wet} - M_{Dry}}{M_{Turgidity} - M_{Dry}} \times 100$$ رابطه ۲)

در رابطه (۲)، RWC: محتوای نسبی آب برگ (درصد)، M_{wet}: وزن تر برگ (گرم)، M_{dry}: وزن خشک برگ (گرم)، $M_{Turgidity}$: وزن آماس برگ (گرم) می‌باشد. پس از تکمیل رشد گیاهان (۶۵ روز پس از کشت)، بوته‌ها از محل طوقه برش داده شده، سپس وزن تر بخش هوایی گیاه به‌وسیله ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. قطر ساقه در محل طوقه با کمک کولیس دیجیتال و قطر و ارتفاع بخش هوایی بوته به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس گیاهان برای تعیین وزن خشک، به‌مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت مقدار بهره‌وری آب گیاه با رابطه (۳) محاسبه شد.

$$WP = \frac{TPWM}{TUW}$$ رابطه ۳)

که در آن، WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، TPWM: وزن تر کل گیاه (کیلوگرم) و TUW: کل آب مصرف‌شده (مترمکعب) (Nikbakht *et al*., 2020). پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزارهای SAS9.3 و SPSS22.0 داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

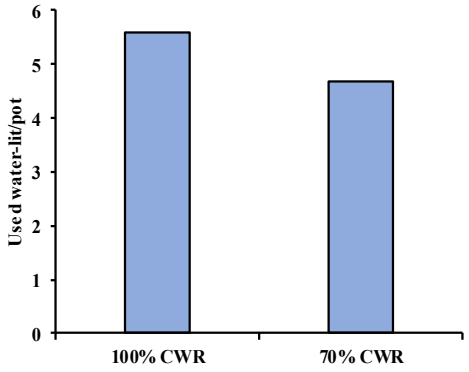

Figure 1. Total amount of water used during the lettuce growth period.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات موردارزیابی در پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول (۳)، اثر سطوح متفاوت آبیاری بر کلیه صفات موردارزیابی به‌جز وزن خشک گیاه و بهره‌وری آب، اثر استفاده از مقادیر مختلف بیوچار بر کلیه صفات موردارزیابی به‌جز وزن خشک گیاه و اثر متقابل سطوح متفاوت آبیاری و بیوچار بر وزن تر و خشک گیاه و بهره‌وری آب معنی‌دار شد.

Table 3. Variance analysis of evaluated traits in lettuce

Source of variances	df	Plant wet mass	Plant dry mass	Plant diameter	Plant hight	Shoot diameter	Chlorophyll index	Relative water content	Water productivity
Rep	2	44.3^{ns}	6.2^{ns}	0.14^{ns}	0.24^{ns}	0.46^{ns}	0.53^{ns}	4.11^{ns}	1.72^{ns}
Irr	1	2396.6^{***}	0.29^{ns}	6.6^{***}	33.6^{***}	21.8^{***}	22.9^{***}	172.9^{***}	0.245^{ns}
Bio	2	980.7^{***}	0.40^{ns}	5.8^{***}	11.5^{***}	17.2^{***}	24.3^{***}	202.3^{***}	39.8^{***}
Irr×Bio	2	129.4^{**}	3.1^{ns}	0.32^{ns}	0.36^{ns}	0.48^{ns}	0.33^{ns}	7.79^{ns}	7.63^{**}
Error	10	28.6	0.79	0.65	0.19	0.14	0.49	8.84	1.20
C.V. (%)	-	4.4	4.2	5.0	2.9	3.1	3.9	4.6	4.6

ns, *, **, *: No significant and significant at 0.1%, 1% and 5% levels, respectively.**

۳. ۱. تأثیر کم‌آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده

نتایج تأثیر سطوح متفاوت آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس یافته‌های آزمایش، در اثر اعمال ۳۰ درصد تنش خشکی به گیاهان کاهو، میانگین قطر تاج گیاه ۱/۲۳ سانتی‌متر (۸/۰ درصد)، میانگین قطر ساقه ۲/۲۲ سانتی‌متر (۱۹/۸ درصد)، میانگین ارتفاع گیاه ۲/۷۴ سانتی‌متر (۲۶/۱ درصد)، شاخص کلروفیل برگ ۲/۲۶ واحد (۱۳/۶ درصد)، میانگین محتوای نسبی آب برگ ۶/۲۰ درصد و میانگین وزن تر گیاه (عملکرد) ۲/۵۶ تن در هکتار (۲۱/۱ درصد) نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) کاهش معنی‌دار یافت.

تنش خشکی باعث تخریب و تجزیه مولکول‌های کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز (Nikbakht *et al*., 2022) و هم‌چنین کاهش فشار آماس سلولی و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها می‌شود (Salari *et al*., 2020). گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیش‌تری وارد آن‌ها شود که این موضوع موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌شود (Parkhideh *et al*., 2018).

طی پژوهشی بر روی گیاه کاهو Zoratipour *et al*. (2019) نتیجه گرفتند اعمال ۲۰ و ۴۰ درصد تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار میانگین قطر ساقه به میزان ۱۷/۶ و ۱۷/۶ درصد (به‌ترتیب)، میانگین طول بوته ۶/۱ و ۹/۸ درصد (به‌ترتیب) و میانگین وزن تر بوته به میزان ۱۵/۵ و ۴۰/۵ درصد (به‌ترتیب) نسبت به تیمار شاهد شد. Ghonjalipour Goshki *et al*. (2021) طی آزمایشی مشاهده کردند میانگین محتوای نسبی آب برگ و میانگین وزن تر اندام هوایی گیاه کاهو با اعمال تنش‌های خشکی ملایم و شدید نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۵ و هشت درصد (تنش ملایم) و ۳۲ و ۲۴ درصد (تنش شدید) کاهش یافت. بر پایه نتایج پژوهش Chaski and Petropoulos (2022) با اعمال سطوح متفاوت آبیاری (دیم، ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) بر کاهو، ارتفاع گیاه، به‌ترتیب ۲۸/۱±۳/۱، ۲۸/۳±۳/۷ و ۲۶/۹±۳/۱ سانتی‌متر، شاخص کلروفیل برگ به‌ترتیب ۲۶/۷±۱/۵، ۲۸/۱±۲/۱ و ۱۹/۵±۱/۶، وزن گیاه به‌ترتیب ۴۰۲/۷±۱۲، ۴۳۷/۴±۱۰/۶ و ۳۶۳/۱±۱۸/۳ گرم، سطح برگ به‌ترتیب ۵۹۰۵/۴±۱۷۳/۶، ۶۶۴۷/۶±۱۰۸/۳ و ۵۲۰۹/۱±۱۳۴/۹ سانتی‌متر مربع و شاخص وزن خشک گیاه (وزن خشک بر وزن تر گیاه) به‌ترتیب ۸/۳±۳/۹، ۵/۰±۰/۳ و ۳/۸±۰/۸ درصد به‌دست آمد. Bozkurt *et al*. (2009) با تأمین نیاز آبی گیاه کاهو براساس صفر، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵

درصد تبخیر تجمعی از تشت کلاس A در فاصله دو آبیاری، نتیجه گرفتند میانگین عملکرد گیاه به‌ترتیب ۲۵۳/۰، ۴۴۴/۴، ۵۲۳/۶ و ۵۲۹/۸ گرم در گیاه، میانگین ارتفاع گیاه به‌ترتیب ۳۴/۰، ۳۷/۶، ۳۹/۸ و ۳۹/۱ سانتی‌متر، میانگین قطر گیاه به‌ترتیب ۲۸/۷، ۴۱/۸، ۴۴/۲ و ۴۶/۷ سانتی‌متر، میانگین قطر طوقه به‌ترتیب ۶۶/۳، ۱۰۴/۳، ۱۱۸/۳ و ۱۲۰/۱ میلی‌متر و میانگین وزن خشک گیاه به‌ترتیب ۴/۳، ۸/۴، ۹/۴ و ۸/۹ گرم شد. در آزمایش Valizadeh Ghale Beig *et al.* (2015)، اعمال ۴۰ درصد تنش خشکی به گیاهان کاهو باعث کاهش معنی‌دار میانگین محتوای نسبی آب برگ (۶/۶ درصد) و شاخص کلروفیل (۷/۹ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد. در آزمایش Badvi *et al.* (2015) میانگین وزن تر شاخساره، میانگین وزن خشک شاخساره و میانگین بهره‌وری مصرف آب خالص در سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۹۵/۷، ۸۹/۲ و ۸۰/۳۳ گرم در بوته، ۱۵/۷۳، ۱۴/۲۳ و ۱۳/۲۹ گرم در بوته و ۱۳/۳۶، ۱۴/۷۷ و ۱۷/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد.

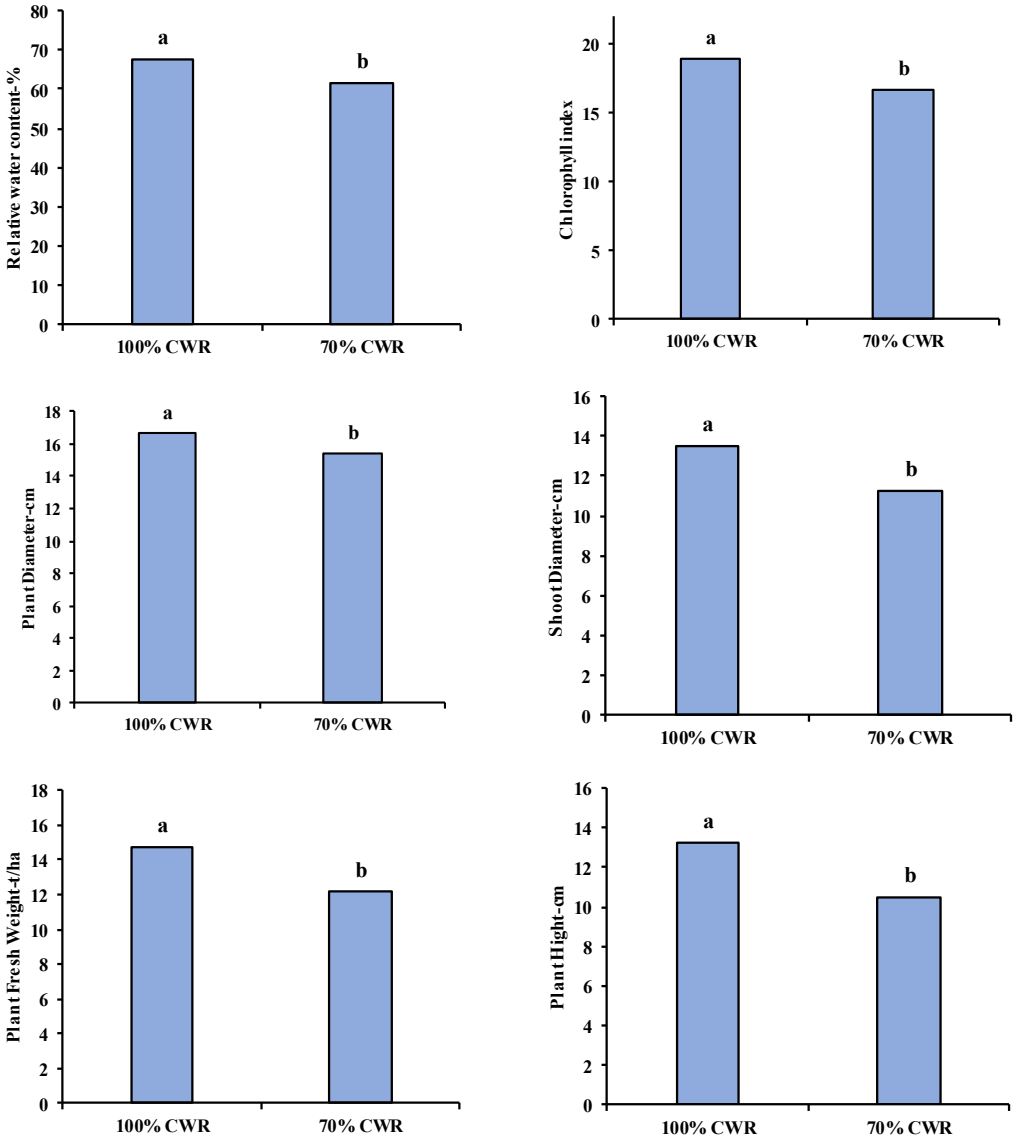

Figure 2. Effect of irrigation treatments on chlorophyll index, relative water content, shoot diameter, plant diameter, plant hight and wet mass (yield) in lettuce

۳. ۳. تأثیر بیوچار بر صفات اندازه‌گیری‌شده

نتایج پژوهش حاضر (شکل ۳) نشان داد کاربرد یک و دو درصد بیوچار موجب افزایش معنی‌دار میانگین قطر تاج گیاه به میزان به‌ترتیب ۱/۹۷ و ۱/۱۷ سانتی‌متر (۱۳/۱ و ۷/۸ درصد به‌ترتیب)، میانگین قطر ساقه به‌ترتیب ۳/۴۰ و ۱/۶۶ سانتی‌متر (۳۱/۹ و ۱۵/۵ درصد به‌ترتیب)، میانگین ارتفاع گیاه به‌ترتیب ۲/۷۴ و ۱/۳۱ سانتی‌متر (۲۶/۱ و ۱۲/۵ درصد به‌ترتیب)، شاخص کلروفیل برگ به‌ترتیب ۴/۰۲ و ۲/۱۶ واحد (به‌ترتیب ۲۵/۵ و ۱۳/۷ درصد)، میانگین محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب ۱۱/۶۱ و ۵/۳۰ درصد، میانگین وزن تر گیاه (عملکرد) به‌ترتیب ۲/۸۴ و ۱/۴۶ تن در هکتار (۲۳/۶ و ۱۲/۱ درصد به‌ترتیب) و میانگین بهره‌وری آب به‌ترتیب ۵/۱۷ و ۲/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب (به‌ترتیب ۲۴/۶ و ۱۲/۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد (صفر درصد بیوچار) شد.

هم‌چنین براساس نتایج، افزایش مقدار بیوچار مورداستفاده در خاک گلدان‌ها از یک درصد وزنی به دو درصد، باعث افزایش معنی‌دار میانگین قطر تاج گیاه به میزان ۰/۸۰ سانتی‌متر (۴/۹ درصد به‌ترتیب)، میانگین قطر ساقه ۱/۷۵ سانتی‌متر (۱۴/۲ درصد)، میانگین ارتفاع گیاه ۱/۴۴ سانتی‌متر (۱۲/۱ درصد)، شاخص کلروفیل برگ ۱/۸۶ واحد (۱۰/۴ درصد)، میانگین محتوای نسبی آب برگ ۶/۳۰ درصد، میانگین وزن تر گیاه (عملکرد) ۱/۳۸ تن در هکتار (۱۰/۲ درصد) و میانگین بهره‌وری آب ۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب (۱۰/۹ درصد) شد.

بیوچار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن (۸۹ درصد) می‌باشد که ساختار آن قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی می‌باشد. بنابراین کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند سبب افزایش تعداد ریزجانداران مفید خاک، کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل و هوادهی خاک و در نتیجه حاصل‌خیزی خاک شود (Poormansour *et al*., 2019b). با توجه به پایداری بیوچار در برابر تجزیه، به‌نظر می‌رسد که این ماده با داشتن منافذ متعدد (در مقیاس میکرومتر) می‌تواند به‌طور مستقیم توانایی نگهداری آب در خاک را به‌صورت بلندمدت افزایش دهد (Gavili *et al*., 2016).

در پژوهشی Galadima *et al*. (2020) اثر کاربرد بیوچار به‌دست آمده از ضایعات گوجه‌فرنگی و دمای تهیه آن (۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) را بر کاهو بررسی کردند. براساس نتایج، میانگین ارتفاع گیاه به‌ترتیب ۱۴، ۱۵ و ۱۲ سانتی‌متر (به‌ترتیب تیمارهای کنترل، B300 و B500)، شاخص کلروفیل برگ به‌ترتیب ۳۱، ۳۵ و ۳۴ میکرومول بر مترمربع و میانگین عملکرد به‌ترتیب ۹۴/۴۹، ۸۱/۷۱ و ۱۰۱/۱۶ گرم در گیاه به‌دست آمد. Valizadeh Ghale Beig *et al*. (2021) با کاربرد سطوح متفاوت بیوچار (صفر، پنج و ۱۰ گرم بیوچار در کیلوگرم خاک) حاصل از پسماند گل شاخه‌بریده گلایول در بستر کشت کاهو رقم سیاهو، میانگین سطح برگ را به‌ترتیب ۲۸۱/۵۳، ۳۱۵/۴۶ و ۲۵۵/۱۲ سانتی‌مترمربع، میانگین ارتفاع بخش هوایی را به‌ترتیب ۱۶/۴۰، ۱۵/۷۰ و ۱۴/۵۰ سانتی‌متر، میانگین وزن تر بخش هوایی را به‌ترتیب ۱۲۷/۷۶، ۱۴۸/۰۴ و ۱۰۶/۴۵ گرم و میانگین وزن خشک بخش هوایی را به‌ترتیب ۱۶/۸۷، ۱۹/۳۹ و ۱۰/۹۴ گرم به‌دست آوردند. میانگین وزن تر ساقه و میانگین وزن خشک ساقه و میانگین محتوای نسبی آب برگ کاهو با کاربرد صفر، یک، دو و سه درصد بیوچار توسط Jabborova *et al*. (2021) به‌ترتیب ۸/۱، ۹/۴۸، ۱۰/۸۰ و ۱۱/۷۲ گرم (میانگین وزن تر ساقه)، ۰/۷۱، ۰/۷۸، ۰/۸۸ و ۰/۹۸ گرم (میانگین وزن خشک ساقه) و ۸۹، ۹۱، ۹۳ و ۹۴ درصد (میانگین RWC) به‌دست آمد. در پژوهشی Rivera *et al*. (2022) با کاربرد سطوح متفاوت بیوچار (صفر، سه، شش، نه و ۱۲ تن در هکتار) حاصل از ضایعات شاخه‌های رز در یک خاک آمبری‌سل نتیجه گرفتند شاخص کلروفیل برگ به‌ترتیب ۱۶، ۲۲، ۲۱، ۱۶/۵ و ۱۶/۵، میانگین وزن تر برگ به‌ترتیب ۷۶/۹۶، ۱۰۳/۸۳، ۱۹۲/۵۷، ۱۹۴/۳۳ و ۱۵۳/۳۳ گرم و میانگین وزن خشک به‌ترتیب ۱/۴۹، ۱/۴۳، ۱/۶۹، ۱/۶۰ و ۱/۶۰ گرم شد.

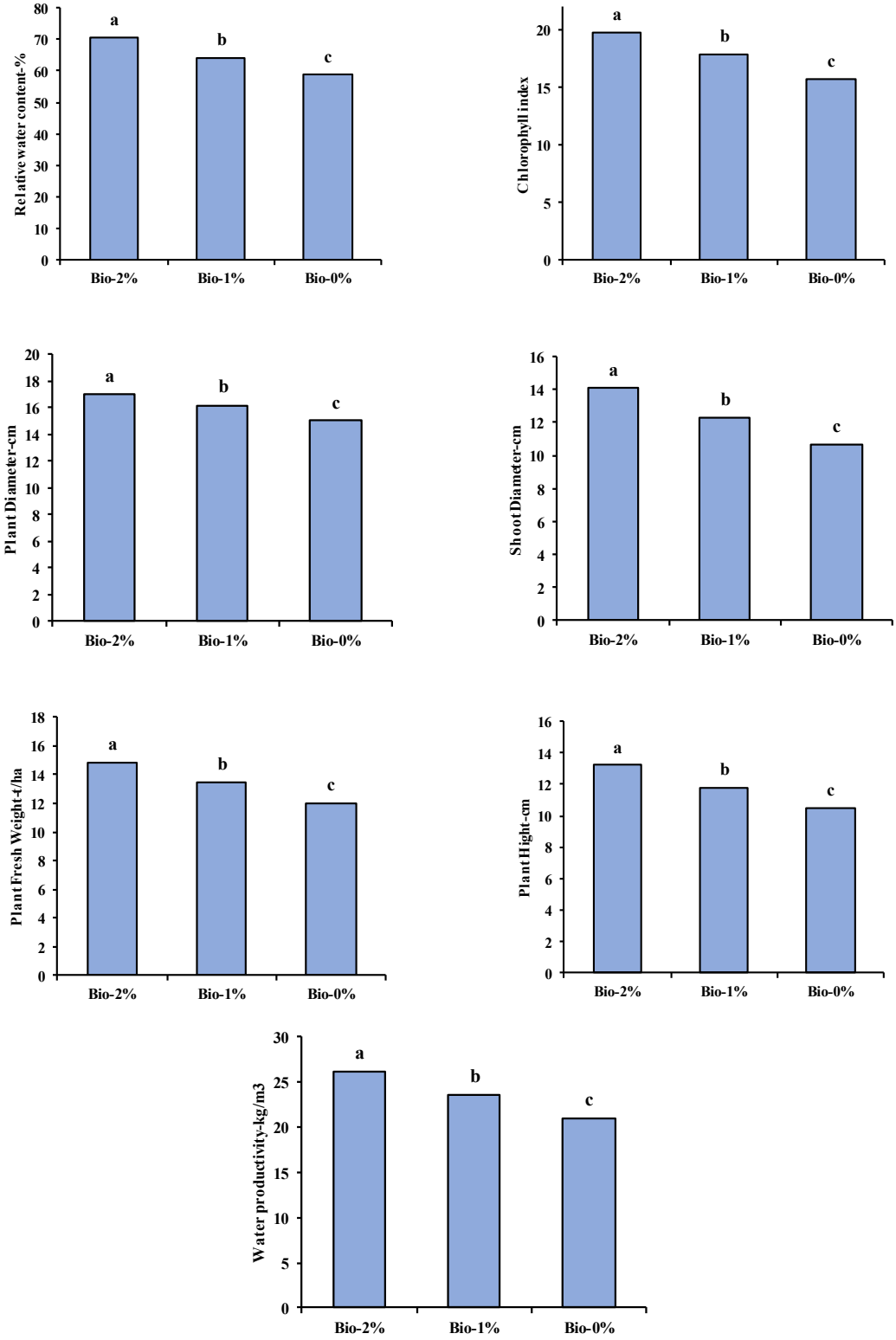

Figure 3. Effect of biochar treatments on chlorophyll index, relative water content, shoot diameter, plant diameter, plant hight, wet mass (yield) and water productivity in lettuce.

۳. ۴. تأثیر متقابل کم‌آبیاری و بیوچار بر صفات اندازه‌گیری‌شده

با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده شد اثر متقابل تیمارهای آزمایش فقط بر دو صفت وزن تر گیاه و بهره‌وری آب معنی‌دار شد که نتایج تأثیر تیمارها بر میانگین صفات فوق در شکل چهار مشاهده می‌شود. مشاهده می‌شود در هر سطح آبیاری، استفاده از بیوچار باعث افزایش معنی‌دار میانگین عملکرد کاهو شد که I100، افزایش میانگین عملکرد با کاربرد دو و یک درصد وزنی بیوچار به‌ترتیب ۱/۹۰ و ۱/۳۶ تن در هکتار (۱۳/۹ و ۱۰/۰ درصد به‌ترتیب) و در I70 به‌ترتیب ۳/۷۹ و ۱/۵۵ تن در هکتار (۳۶/۳ و ۱۴/۹ درصد) بود. براساس یافته‌ها، در I70، با وجود اعمال ۳۰ درصد تنش خشکی به گیاه، افزودن دو درصد بیوچار به خاک باعث افزایش عملکرد گیاه و کاهش اختلاف (غیرمعنی‌دار) آن با دو تیمار I100B0 و I100B1 به‌ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۸۴- کیلوگرم در هکتار (۳/۸ و ۵/۶- درصد به‌ترتیب) شد.

با توجه به شکل (۴)، بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین بهره‌وری آب در تیمارهای I70B2 (۲۷/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و I70B0 (۲۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. مشاهده می‌شود افزودن مقادیر متفاوت بیوچار به خاک در هر دو سطح آبیاری باعث افزایش معنی‌دار میانگین بهره‌وری آب شد که در I100 افزایش، به‌ترتیب ۳/۰۶ (دو درصد بیوچار) و ۲/۲۰ (یک درصد بیوچار) کیلوگرم بر مترمکعب (۱۳/۹ و ۱۰/۰ درصد به‌ترتیب) و در I70 به‌ترتیب ۷/۲۸ و ۲/۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۶/۳ و ۱۴/۹ درصد به‌ترتیب) بود.

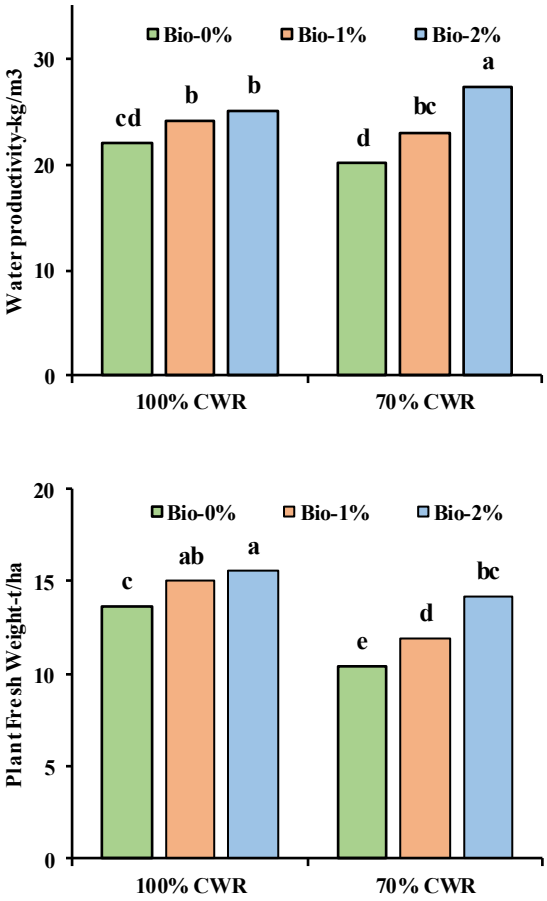

Figure 4. Interaction effect of irrigation and biochar treatments on wet mass and water productivity in lettuce

نتایج تأثیر متقابل تیمارهای اعمال‌شده بر کدو حلوایی در پژوهش Safahani Langeroodi *et al.* (2019) نشان داد حداکثر و حداقل میانگین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۱۴۵۰ و ۵۴۲ کیلوگرم بر هکتار) به‌ترتیب در تیمارهای I1B20 (آبیاری در ۴۰ درصد MAD و ۲۰ تن در هکتار بیوچار) و I4B0 (آبیاری در ۹۰ درصد MAD و صفر تن در هکتار بیوچار) و میانگین بهره‌وری آب (به‌ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌ترتیب در تیمارهای I2B20 (آبیاری در ۶۰ درصد MAD و ۲۰ تن در هکتار بیوچار) و I4B0 بود. در آزمایش دو ساله (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) Danso *et al.* (2019) بر روی ذرت، حداکثر و حداقل میانگین عملکرد دانه ذرت (به‌ترتیب ۵/۴۶ و ۳/۶۴ تن در هکتار) به در ترتیب در تیمارهای ۳۰ تن در هکتار بیوچار- انجام آبیاری و صفر تن در هکتار بیوچار- شرایط دیم و میانگین بهره‌وری آب (به‌ترتیب ۱/۰۹ و ۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌ترتیب در تیمارهای ۳۰ تن در هکتار بیوچار- شرایط دیم و صفر تن در هکتار بیوچار-انجام آبیاری حاصل شد. یافته‌های Poormansour *et al.* (2019a) نشان داد حداکثر و حداقل میانگین عملکرد تر لوبیا فابا (به‌ترتیب ۳۱/۳۸ و ۱۲/۷۴ گرم در گلدان) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه- ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه- صفر درصد بیوچار و میانگین بهره‌وری آب (به‌ترتیب ۱/۳۲ و ۰/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌ترتیب از تیمارهای ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه- ۲/۵ درصد وزنی بیوچار و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه- صفر درصد وزنی بیوچار حاصل شد. براساس نتایج Bagheri *et al.* (2021)، حداکثر و حداقل میانگین وزن متوسط میوه طالبی رقم سمسوری (به‌ترتیب ۱۳۴۴ و ۷۲۹ گرم) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه- ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در متربع (I3B3) و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه- صفر کیلوگرم بیوچار در متربع (I1B1) و میانگین بهره‌وری آب (به‌ترتیب ۱۳/۵۵ و ۷/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمارهای I3B3 و I1B1 بود.

۴. نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی تأثیر استفاده از بیوچار بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه کاهو فرانسوی در شرایط تنش خشکی ناشی از کم‌آبیاری، پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش گلدانی در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا شد. نتایج پژوهش نشان داد کم‌آبیاری اثر معنی‌دار کاهشی بر قطر تاج گیاه، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ و وزن تر گیاه (عملکرد) در مقایسه با تیمار شاهد داشت. با کاربرد یک و دو درصد بیوچار در خاک قطر تاج گیاه، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به تیمار شاهد (صفر درصد بیوچار) افزایش معنی‌دار داشت. نتایج اثر متقابل تیمارهای آزمایش، فقط بر دو صفت عملکرد و بهره‌وری آب معنی‌دار شد که بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای I100B2 (۱۵/۵۴ تن در هکتار) و I70B0 (۱۰/۳۹ تن در هکتار) و بهره‌وری آب در تیمارهای I70B2 (۲۷/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و I70B0 (۲۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود.

۵. تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم معدن بیوچار طبیعی کوهبنان که بیوچار موردنیاز این پژوهش را فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورداستفاده

Asri, F. Ö. (2022). Effects of biochar and fertilizer application on soil properties and nutrient status of lettuce. *Chilean Journal of Agricultural Research,* 82(3), 469-483.

Badvi, H., Alemzade Ansari, N., Mahmoodi sorestani, M., & Eskandari, F. (2015). Effects of drought stress and mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics of lettuce (Lactuca sativa L.). *Plant Productions,* 38(3), 27-39. (In Persian).

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. *Journal of Plant Process and Function, 10(45)*, 285-302. (In Persian).

Bitarafan, Z., Asghari, H., Hasanloo, T., Gholami, A., & Moradi, F. (2018). Biochar effect on seed trigonelline content of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under deficit irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *34(1)*, 155-165. (In Persian).

Bozkurt, S., Mansuroglu, G. S., Kara, M., & Onder, S. (2009). Responses of lettuce to irrigation levels and nitrogen forms. *African journal of agricultural research,* 4(11), 1171-1177.

Chaski, C., & Petropoulos, S. (2022). The Effects of biostimulant application on growth parameters of lettuce plants grown under deficit irrigation conditions. *Biology and Life Sciences Forum,* 16(1), 1-6.

Danso, E.O., Yakubu, A., Kugblenu Darrah, Y., Arthur, E., Manevski, K., Sabi, E.B., Abenney-Mickson, S., Ofori, K., Plauborg, F., & Andersen, M.N. (2019). Impact of rice straw biochar and irrigation on maize yield, intercepted radiation and water productivity in a tropical sandy clay loam. *Field Crops Research, 243*, 1-11.

Dehghani Ahmadabadi, M., Shahnazari, A., Ghadami Firouzabadi, A., & Ardakani, M. (2021). The effect of irrigation management on growth and water use efficiency of maize plant under different levels of biochar. *Water Management in Agriculture*, *8(1)*, 67-76. (In Persian).

Galadima, M. M., Aziz, A. L. A., Yilmaz, E., & İlker, U. Z. (2020). Effect of biochar applications on certain quality parameters and lettuce yield (Lactuca sativa L.). *Mediterranean Agricultural Sciences,* 33(3), 417-424.

Gavili, E., Mousavi, S.A.A., & Kamgar Haghighi, A.A. (2016). Effect of Cattle Manure Biochar and Drought Stress on the Growth Characteristics and Water Use Efficiency of Spinach under Greenhouse Conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, *30(2)*, 243-259. (In Persian).

Ghonjalipour Goshki, M., Abdollahi, F., & Sadeghi Lari, A. (2021). Effect of Mycorrhiza Fertilizer on Physiological Traits and Economical Yield of Lettuce (Lactuca sativa L.) under Water Stress Conditions. *Journal of Vegetables Sciences,* 5(1), 157-173. (In Persian).

Jabborova, D., Kadirova, D., Narimanov, A., & Wirth, S. (2021). Beneficial effects of biochar application on lettuce (Lactuca sativa L.) growth, root morphological traits and physiological properties. *Annals of Phytomedicine,* 10(2), 93-100.

Jiménez-Arias, D., Garcia-Machado, F. J., Morales-Sierra, S., Luis, J. C., Suarez, E., Hernández, M., Valdés, F., & Borges, A. A. (2019). Lettuce plants treated with L-pyroglutamic acid increase yield under water deficit stress. *Environmental and experimental botany,* 158, 215-222.

Nikbakht, J., Mohammadi, E., & Barzegar, T. (2020). Effect of Salicylic Acid foliar application under deficit irrigation conditions on yield and water use efficiency in cucumber (Cucumis sativus cv. Kish F1). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51(3)*, 553-561. (In Persian).

Nikbakht, J., Mohammadi, F., & Barzegar, T. (2022). Effect of using transparent plastic mulch in deficit irrigation conditions on yield and water productivity green beans. *Water Management in Agriculture*, *8(2)*, 151-166. (In Persian).

Paim, B. T., Crizel, R. L., Tatiane, S. J., Rodrigues, V. R., Rombaldi, C. V., & Galli, V. (2020). Mild drought stress has potential to improve lettuce yield and quality. *Scientia Horticulturae,* 272(109578), 1-7.

Parkhideh, J., Barzegar, T., Nekonam, F., & Nikbakht, J. (2018). The evaluate of growth, yield and physiological responses of bitter apple (Citrullus colocynthis) under deficit irrigation stress condition. *Journal of Crops Improvement*, *20(2)*, 357-369. (In Persian).

Poormansour, S., Razzaghi, F., & Sepaskhah, A.R. (2019a). Wheat straw biochar increases potassium concentration, root density, and yield of faba bean in a sandy loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(15), 1799-1810.

Poormansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A., & Moosavi, A. (2019b). Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management, 9(1)*, 15-28. (In Persian).

Rivera, J., Reyes, J., Cuervo, J., Martínez-Cordón, M., & Zamudio, A. (2022). Effect of biochar amendments on the growth and development of 'Vera'crisp lettuce in four soils contaminated with cadmium. *Chilean journal of agricultural research,* 82(2), 244-255.

Safahani Langeroodi, A.R., Campiglia, E., Mancinelli, R., & Radicetti, E. (2019). Can biochar improve pumpkin productivity and its physiological characteristics under reduced irrigation regimes? *Scientia Horticulturae*, *247*, 195-204.

Salari, M., Sodaeizadeh, H., Hakimzadeh Ardakani, M., & Yazdani-Biouki, R. (2020). Investigating of kaolin in increasing of drought tolerance of Basil (*Ocimum basilicum* var. purpurascens). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13(1),* 171-183. (In Persian).

Tafi, S., Hooshmand, A., & Alemzadeh Ansari, N. (2021). Effect of irrigation regimes and silica nanoparticles on yield and yield components in Vivian lettuce. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage,* 15(2), 379-387. (In Persian).

Taheri, H., Soltani Mohammadi, A., & Alamzade Ansari, N. (2020). Effect of superabsorbent polymer on yield, yield components and water use efficiency of lettuce. *Irrigation Sciences and Engineering,* 43(1), 117-129. (In Persian).

Valizadeh Ghale Beig, A., Nemati, S., Emami, H., & Aroie, H. (2021). The effect of glayol biochar on some of morphological traits and heavy metals uptake in lettuce (Lactuca sativa L. cv Syaho). *Iranian Journal of Horticultural Science,* 51(4), 773-784. (In Persian).

Valizadeh Ghale Beig, A., Nemati, S., Tehranifar, A., & Emami, H. (2015). Effects of A200 superabsorbent, bentonite and water stress on physiological traits and vitamin C of lettuce under greenhouse cultivation. *Journal of Soil and Plant Interactions,* 6(1), 157-168. (In Persian).

Woldetsadik, D., Drechsel, P., Marschner, B., Itanna, F., & Gebrekidan, H. (2018). Effect of biochar derived from faecal matter on yield and nutrient content of lettuce (Lactuca sativa) in two contrasting soils. *Environmental Systems Research,* 6(1), 1-12.

Yoo, J. H., Luyima, D., Lee, J. H., Park, S. Y., Yang, J. W., An, J. Y., Yun, Y. U. & Oh, T. K. (2021). Effects of brewer's spent grain biochar on the growth and quality of leaf lettuce (Lactuca sativa L. var. crispa.). *Applied Biological Chemistry,* 64(1), 1-10.

Zoratipour, E., Soltani Mohammadi, A., & Alamzadeh Ansari, N. (2019). Evaluation of yield and water productivity of lettuce under drought and salinity stress in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *13(2),* 450-461. (In Persian).