تأثیر بکارگیری توامان بیوچار نخل خرما و نانو ذرات سیلیکات بر کارایی مصرف آب، رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی *(Phaseaolus VulgarisL)* (مطالعه موردی: شهر اهواز)

افشین زین‌الدین۱، عبدالرحیم هوشمند[۲*]، پروانه تیشه زن[۳] و ناصر عالم زاده انصاری[۴]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز. (hooshmand_a@scu.ac.ir)

۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: بازنگری: پذیرش:

چکیده

رشد جمعیت مصرف آب آبیاری را در جهان افزایش داده است. اصلاح کننده‌های بیوچار و نانوذرات تأثیر زیادی در تولید پایدار محصولات کشاورزی داشته و می‌تواند خطرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تلفیقی بیوچار و نانو ذرات سیلیکا بر کارایی مصرف آب گیاه لوبیا چشم‌بلبلی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تکرار انجام شد. کرت اصلی بیوچار برگ نخل خرما در سه سطح به‌ترتیب بدون بیوچار، ۲/۵ و پنج درصد و کرت فرعی تیمار نانو ذرات سیلیکا در سه سطح به‌ترتیب صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. نتایج نشان داد به‌کارگیری تیمارها و اثر متقابل آن‌ها روی بهره‌وری مصرف آب از نظر عملکرد و تولید بیوماس، وزن تر و خشک گیاه، تعداد و وزن غلاف، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، ارتفاع و طول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب از نظر عملکرد و تولید بیوماس مربوط به اثر متقابل دو تیمار بیوچار پنج درصد و نانوذره ۵۰ میلی‌گرم و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان وزن تر و خشک بوته مربوط به اثر متقابل دو تیمار بیوچار پنج درصد و نانوذره ۵۰ میلی‌گرم بود که نسبت به شاهد سبب افزایش ۴۹/۳ درصدی وزن تر و ۴۵/۵ درصدی وزن خشک بیوماس گردید. بیشترین میزان ارتفاع بوته در تیمار تلفیقی نانو ذره و بیوچار و کمترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین تعداد و وزن غلاف در تیمار تلفیقی (نانوذره ۵۰ میلی‌گرم و بیوچار پنج درصد) نسبت به شاهد رخ داد که در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. با توجه به نتایج، می‌توان تیمار تلفیقی بیوچار پنج درصد و نانوذره ۵۰ میلی‌گرم را برای افزایش بهره‌وری مصرف آب و عملکرد لوبیا به کشاورزان در منطقه خوزستان توصیه نمود. این پژوهش گامی مهم برای یافتن راهکارهای نوین برای افزایش بهره‌وری مصرف آب و عملکرد محصول در شرایط محدودیت منابع آبی است و می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات بیشتر در این حوزه باشد.

کلید واژه‌ها: تعداد غلاف ، عملکرد ، بهره وری مصرف آب ، محتوای کلروفیل.

مقدمه

به‌دلیل تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های آلاینده و رشد مداوم جمعیت جهان، دسترسی به آب و کیفیت آب کاهش یافته است. از سوی دیگر، تقاضای آب کشاورزی که ۷۰ درصد مصرف آب در سراسر جهان را به خود اختصاص می‌دهد، بی وقفه در حال افزایش است. کمبود آب می‌تواند اثرات مخربی بر گیاهان داشته باشد، عملکرد و بهرهوری محصول را کاهش دهد و خسارات اقتصادی هنگفتی به بار آورد. بنابراین، کمبود آب به‌عنوان یک معضل فوری جهانی و زیست‌محیطی مطرح بوده و خواهد بود. خشکی تنش غیرزیستی اصلی است که باعث عدم تعادل بین جذب آب ریشه و از دست دادن آب از طریق تعرق شده که منجر به کم آبی گیاه می‌شود. علاوه بر این، برخی از تنش‌های دیگر مانند دمای بالا معمولاً با تنش خشکی هم‌زمان گشته و گیاهان در معرض انواع تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. در بین این تنش‌ها تنش ناشی از کم آبی جدی‌ترین مسأله‌ای است که رشد گیاه و تولید محصول را محدود می‌کند (Salekdeh et al., 2009). ایران از لحاظ منابع آبی با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر و یک سوم متوسط بارندگی جهان، جزء مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید (Heidari Sharif Abad, 2009). آب برای رشد گیاهان، فرایندهای متابولیکی و سلامت عمومی آن‌ها ضروری است .تنش کمبود آب، که معمولاً به آن تنش خشکی(Drought stress) یا آبی گفته می‌شود، یکی از مهمترین عوامل استرس زا در کاهش رشد گیاه، عملکرد محصول و کیفیت تولید غذا است (Gholinezhad et al., 2022). امروزه، کشاورزی حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد آب

شیرین موجود را، مصرف می‌کند، به عبارتی چیزی حدود ۷۵ درصد آن برای آبیاری محصولات کشاورزی مصرف می‌شود.

با توجه به مدیریت نامناسب منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک و رویارویی کشاورزان این مناطق با پدیده بحران آب، این ضرورت احساس می‌شود که بتوان با ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب، آسیب‌های ناشی از کمبود آب و تنش خشکی در تولید محصولات کشاورزی را به حداقل رساند. یکی از راهکارهایی که می‌تواند به افزایش مقاومت گیاه به خشکی و بالابردن کارایی مصرف آب کمک نماید استفاده از اصلاح کننده‌های مانند بیوچار و نانوذرات در کشاورزی است .

بیوچار نوع جدیدی از مواد کربنی است که از تجزیه حرارتی در دمای پایین مواد خام آلی تحت شرایط بی هوازی یا با اکسیژن محدود تولید می‌شود (Keiluweit et al., 2010).

لوبیا چشم بلبلی گیاهی است با نام علمی Vigna sinensis از خانواده Fabaceae علفی و یکساله با رشد کم، بوته‌ای و تا حدی رونده. دارای یک ریشه اصلی به طول ۶۰ الی ۸۰ سانتی‌متر است. که در مناطق گرمسیری رشد می‌کند. میوه آن نیام شکل بوده که مصرف خوارکی دارد کشت آن در هوای گرم صورت می‌گیرد. این گیاه علاوه بر خواص خوارکی، برخی از خواص درمانی را نیز برای آن ذکر کرده‌اند

در سال‌های اخیر، مواد بیوچار پتانسیل قابل توجهی در زمینه علوم محیطی و کشاورزی نشان داده‌اند .با این حال، موضوع اصلی در کاربردهای مختلف بیوچار، تجزیه و تحلیل ترکیب بیوچار است . به‌طور کلی، اجزای بیوچار از منابع مختلف را می‌توان به سه نوع تقسیم کرد: کربن ثابت (FC)، مواد فرار (VM) و خاکستر (Yang et al., 2020). مطالعه‌های مختلف نشان داده که بیوچار عملکرد محصول را افزایش داد و کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد (Chen et al., 2007). بیوچار به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک می‌تواند کربن را از جو جدا کند (Zhang et al., 2014). علاوه بر این، بیوچار دارای ویژگی پایداری بالاتر در برابر تجزیه است و توانایی خوبی برای جذب یون‌ها در مقایسه با سایر اشکال مواد آلی خاک دارد.(Liang etal., 2006)

امروزه استفاده از نانوذرات جایگاه برجسته‌ای در علوم مختلف از جمله علوم گیاهی و کشاورزی پیدا کرده است. López-Moreno et al (2016) دریافتند که نانو ذرات مجموعه‌های اتمی یا مولکولی با حداقل ابعاد بین ۱–۱۰۰ نانومتر بوده که خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی در مقایسه با توده مواد خود دارند (Monica and Cremonini, 2009).

نانو ذرات به‌دلیل اندازه کوچک در مقایسه با ذرات متداول، از سطح بیشتری برخوردارند و این ویژگی امکان افزایش حلالیت و واکنش پذیری سطحی را فراهم می‌نماید (Ruffini and Cremonini, 2009).

تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد. علاوه بر انحلال پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی در این نانو ذرات پدیدار می‌گردد (Mazaherinia et al., 2010).

نانو ذرات به‌دلیل داشتن سطح ویژه بالا و واکنش شیمیایی دارای اثر متفاوتی نسبت به ذرات میکرو هستند (Du et al., 2018) داده‌های موجود نشان می‌دهد که زیست سازگاری برخی از نانوذرات و میکروذرات با مقدار یون‌های آزاد شده ارتباط دارد (Zuverza-Mena et al., 2015) . به‌طور کلی، فناوری نانو با بهینه کردن مصرف نهاده‌های کشاورزی همچون آب، کود، سم و کاهش پساب و آلودگی‌ها، می‌تواند سهم به‌سزایی در تولیدات کشاورزی داشـــته باشـــد. برخی از گزارش‌ها ، اثرهای سودمند کاربرد نانو مواد در کشاورزی، مربوط به استفاده از نانوذرات سیلیس می‌باشد.

Yang et al. (2020) در مطالعه‌ای اثر بیوچار را بر عملکرد کینوا تحت اثرات ترکیبی تنش شوری و خشکی مورد بررسی قرار دادند . گیاه کینوا تحت سه تیمار آبیاری یعنی آبیاری کامل(FI)، کم آبیاری (DI) و آبیاری متناوب در ناحیه ریشه (ARD) ، دو تیمار آب شور (صفر و ۴۰۰ میلی‌مولار) و دو سطح بیوچار (صفر و پنج درصد وزنی) قرار گرفتند . نتایج نشان داد که ترکیب تنش خشکی و شوری در مقایسه با تنش خشکی یا شوری مستقل، رشد و عملکرد کینوا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال، اصلاح خاک با بیوچار تأثیر مثبتی در کاهش اثرات مستقل و ترکیبی خشکی و شوری روی گیاهان کینوا داشت. بهره وری مصرف ذاتی آب (WUE_i) و عملکرد در ARD به‌طور قابل توجهی در مقایسه با DI به‌خصوص تحت تنش شوری افزایش یافت ،

Osooli et al. (2022) به بررسی اثر بیوچار حاصل از منابع مختلف بر عملکرد و بهره وری مصرف آب (WUE) گندم پرداختند . مقایسه میانگین عملکرد و بهره وری مصرف آب نشان داد که در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه، بیشترین عملکرد و بهرهوری مصرف آب (در هر دو سال) در بیوچار گندم با مقدار سه درصد و با اندازه ذرات بیوچار ۰/۵ تا یک میلی‌متر مشاهده شد. ضمناً نتایج نشان داد که علاوه بر نوع بیوچار، اثر متقابل مقدار و اندازه ذرات بیوچار، اثر تعیین کننده‌ای در افزایش میزان عملکرد و بهره وری مصرف آب داشت.

با توجه به نوظهور بودن فناوری نانو و روند روبه رشد تحقیقات در زمینه نانو و بیوچار ، لذا در این تحقیق، به بررسی اثرات ترکیبی

نانو سیلیکا و بیوچار بر عملکرد و بهره‌وری آب لوبیا چشم بلبلی در منطقه اهواز پرداخته شد.

Chen et al. (2023) طی پژوهشی با اعمال تیمارهای BC ، TiO2 NPs وBC + TiO2 NPs روی گندم نشان دادند که راندمان مصرف آب درهر سه تیمار بهترین نتایج را به همراه داشت ولیکن در مقایسه با شاهد، بیشترین راندمان مصرف آب در کاربردهای جمعی BC و NPs معادل ۱۱۰ درصد و کمترین راندمان مصرف آب در تیمار شاهد مشاهده شد . راندمان مصرف آب با به‌کارگیری BC به تنهایی ۴۹ درصد و با اعمال NPs ، ۸۲ درصد افزایش یافت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت کشت گلدانی در فضای باز بین مجتمع گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد به‌منظور بررسی اثر تلفیقی بیوچار و نانوذرات سیلیکا بر بهره‌وری مصرف آب و عملکرد لوبیا چشم بلبلی آزمایشی به شکل فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تکرار در سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای مورد استفاده شامل تیمار نانو ذرات سیلیکا در سه سطح صفر و۵۰ و۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (N_3،N_2،N_1) و تیمار بیوچار برگ نخل خرما در سه سطح BC_1 (بدون بیوچار)، BC_2 (۲/۵ درصد) و BC_3 (پنج درصد) بود. نانو ذرات سیلیکا به‌صورت دستی و با تهیه محلول مورد نظر در سه مرحله ابتدا، میانه و انتهای فصل رشد به خاک اضافه گردید و بیوچار نیز به‌صورت وزنی قبل از کاشت با خاک گلدان‌ها ترکیب گردید. مشخصات نانو مواد و بیوچار مورد استفاده در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. پس از استقرار گیاه در گلدان، آبیاری واحدهای آزمایشی با استفاده از مخزن و به روش قطره‌ای اعمال شد.

نانو ذرات

در این آزمایش از نانو ذرات سیلیکات (Sio2) استفاده شد. (جدول ۱) .

بیوچار

بیوچار مورد استفاده در این آزمایش یک ماده آلی غنی از کربن است که از شاخ و برگ نخیلات در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بدون حضور اکسیژن تهیه شده است. بیوچار مورد استفاده حاصل ضایعات نخل‌خرما بود که در اثر هرس سالیانه حاصل‌می‌شود. برگ نخل خرما تهیه و پس از خشک شدن با کمک قیچی دستی به ابعاد کمتر از چهارسانتی‌متر خرد شدند. برگ‌های خشک شده نخل‌در پاکت‌های آلومینیومی که کاملاً مسدود شده و صرفاً یک سوراخ به قطر حدود یک میلی‌متر به منظورخروج گاز حاصل از فرآیند گرماکافت درآن‌ها تعبیه شده بود قرارداده شدند و سپس در یک کوره الکتریکی تهویه‌دار به مدت دو ساعت در دمای۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برای تهیه بیوچار قرار داده شد تا فرآیند گرما کافت انجام شود. بیوچارتولید شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شد ودر تیمارهای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند .

مشخصات بیوچار مورد استفاده در جدول (۲) و شکل (۱) قابل مشاهده است.

گیاه لوبیا

در این آزمایش از لوبیا چشم بلبلی رقم محلی (سوسنگردی) مورد استفاده قرار گرفت .

کشت و آبیاری

ابتدا بذرهای لوبیا چشم بلبلی پس از مرطوب نمودن در سینی‌های کشت، حاوی کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۱ کشت شدند بذور پس از سبز شدن و رشد اولیه، نشاهای منتخب (در مرحله ۵ –۴ برگی حقیقی) برای کشت از خزانه به گلدان‌هایی به ظرفیت ۱۱ کیلوگرم که به‌طور یکسان از خاک مزرعه پر شده بودند منتقل شدند.

در هر گلدان ابتدا چهار نشاء کشت شد که پس از رشد و چهار برگی شدن بهترین و قوی‌ترین بوته انتخاب و بقیه بوته‌ها حذف شدند، در ابتدای کشت ضمن آبشویی و تقلیل و تنظیم شوری خاک، تجزیه آزمایشگاهی خاک مشخص گردید (جدول ۳).

جدول ۱ – مشخصات نانو مواد سیلیکا

Table 1- Specifications Silicon oxide nanoparticle

Color	White	Purity	99.9%
Density	2.4 g/cm^3	Particle size	20-15 nm
Melting point	1610 C°	Formula	SiO2
Boiling point	2230 C°	Molecular Weight	60.8 g/mol

جدول ۲ – برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچار مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Some chemical characteristics of biochar used in the experiment

PH	EC	C	H	O	N	S	Ca	Mg	K	Na
	dS m^{-1}	(%)				ppm				
9.6	3.5	72.3	2.11	4.5	0.42	1.02	581	1.93	2.23	0.48

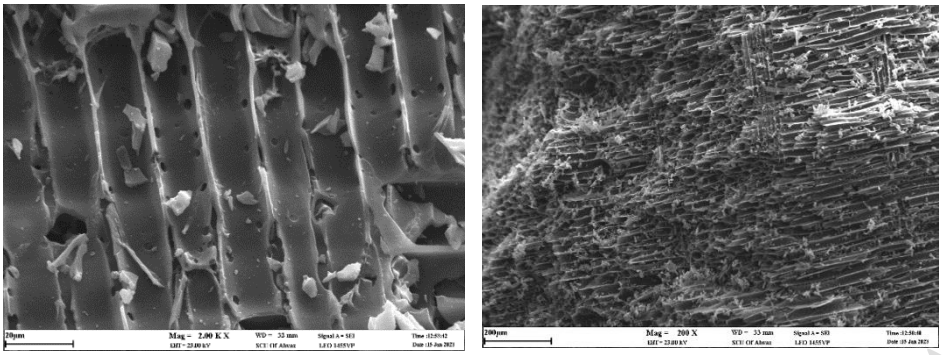


Fig. 1- SEM images of biochar (magnified 200 times)

شکل ۱- تصاویر sem بیوچار (با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر)

جدول ۳ – برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Some physical and chemical properties of the soil used in the experiment

parameter	value	parameter	value
Organic materials %	75	Clay %	9
bulk density (g/cm^3)	1.43	Silt %	34
Porosity %	46	Sand %	57
Nitrogen %	0.05	soil texture	sandy loam
field capacity %	19.1	Electrical conductivity (dS/m)	4.63
wilting point %	7.91	Acidity (unitless)	7.35

برای به‌دست آوردن نیاز آبی لوبیا می‌بایست این گیاه در محیطی کشت گردد که بتوان بیلان آبی را کنترل کرد . به‌منظور دست‌یابی به این هدف، از سه عدد میکرو لایسیمتر استفاده گردید. برای تعیین میزان آب آبیاری میکرولایسیمترها از روش وزنی Pelesco و Alagao (2014) استفاده شد و میزان آب آبیاری به‌صورت زیر محاسبه گردید:

$$WU=(WL+W2)-(W1+WD) \qquad (۱)$$

WU = آب مصرفی(گرم)

W1 = وزن میکرولایسیمتر پس از آبیاری(گرم)

W2 = وزن آب آبیاری (گرم)

WL = وزن میکرولایسیمتر قبل از آبیاری (گرم)

WD = وزن زهاب (گرم)

Tüzel et al. (2006) اعلام کردند به‌منظور اطمینان از تأمین آب بهینه برای گیاهان بهتر است میزان زهکشی ۲۵-۲۰ درصد در نظر گرفته شود.

یکی از شاخص‌های مورد استفاده در مباحث عملکرد گیاه و آب مصرفی، که مبنایی اقتصادی دارد، بهره‌وری از آب است که به‌صورت نسبت عملکرد محصول به‌مقدار آب مصرفی تعریف می‌شود. آب مصرفی شامل بارش، آبیاری یا آبیاری به‌علاوه بارش می‌باشد. بهره‌وری از آب مصرفی بیان‌گر میزان تولید به ازای واحد آب است.

شاخص بهره‌وری از آب مصرفی برای عملکرد به قرار زیر می‌باشد

$$wp_y = \frac{Y}{I} \qquad (۲)$$

wp_y = بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب.

Y = عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم .

I = میزان آب آبیاری برحسب مترمکعب .

شاخص بهره‌وری از آب مصرفی برای کل قسمت‌های هوایی گیاه به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$wp_B = \frac{B}{I} \qquad (۳)$$

wp_B = بهره‌وری آب آبیاری برای کل قسمت‌های هوایی گیاه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب .

B = عملکرد کل قسمت هوایی گیاه بر حسب کیلوگرم .

I = میزان آب آبیاری برحسب مترمکعب .

یکی از پارامترهای مهم درتحلیل‌های زراعی، تعیین و مقایسه شاخص برداشت است. از شاخص برداشت برای مقایسه میزان محصول تولیدی (عملکرد اقتصادی) و عملکرد بیولوژیکی گیاه استفاده می‌شود . این شاخص توسط Donald و Hamblin (1976) به‌شکل زیر ارائه گردیده است .

$$H_i = \mathrm{Y}(P_s + \mathrm{Y})^{-1} \quad (۴)$$

H_i = شاخص برداشت .
Y = عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)
P_s = عملکرد قسمت هوایی گیاه (کیلوگرم در هکتار)

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل در برگ‌ها از دستگاه کلروفیل متر دستی استفاده شد .بدین منظور از هر بوته آخرین برگ توسعه یافته انتخاب شده و از آن برگ نیز، از هفت نقطه‌ی جداگانه عدد SPAD قرائت شد و میانگین هفت نقطه به‌عنوان عدد کلروفیل در آن بوته لحاظ گردید.

برای اندازه‌گیری پارامتر محتوای نسبی آب برگ (RWC) برگی از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته از هر گلدان، به‌طور تصادفی انتخاب شد .به‌منظور تازه نگه داشتن نمونه‌ها تا زمان انتقال به آزمایشگاه، نمونه‌ها را در پلاستیک در بسته قرار داده و با ظرف حاوی تکه‌های یخ به سرعت به آزمایشگاه، انتقال و وزن تر (W_f) آن‌ها اندازه‌گیری گردید .برای محاسبه‌ی وزن اشباع (W_s) ، نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای اتاق و نور کم روی آب مقطر شناور شدند .بعد از طی مدت زمان آب‌گیری، برگ‌ها به آرامی خشک و بلافاصله توزین گردید سپس برگ‌ها در آون با دمای ۳۶ درجه ی سانتی‌گراد به مدت ۹۲ ساعت خشک شدند تا وزن خشک (W_d) آن‌ها به‌دست آید .برای اندازه‌گیری وزنی RWC با استفاده از روش ارائه شده توسط Schlemmer et al (2005) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_s - W_d} \quad (۴)$$

که در آن W_f، وزن تر برگ ، W_d، وزن خشک برگ و W_s وزن اشباع برگ است.

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر گیاهی شامل Na، K، Ca+Mg و پرولین، با تهیه نمونه‌ای از برگ گیاه در هر مرحله و آماده کردن عصاره اشباع از آن در آزمایشگاه و استفاده از روش‌های آزمایشگاهی نسبت به اندازه‌گیری عناصر فوق اقدام شد .

تحلیل‌های آماری

تجزیه و تحلیل آماری متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای رسم شکل و جداول نیز از نرم‌افزار Word و Excel استفاده گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های کشت گیاه در جداول (۴) تا (۵) نشان داده شده و بر اساس این جداول می‌توان روی نتایج به صورت زیر بحث نمود.

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که اثر تیمارها و اثرات متقابل آن‌ها بر بهره وری مصرف آب از نظر تولید بیوماس(WP_B) و بهره‌وری مصرف آب از نظر محصول (WP_y) در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها (مقایسه میانگین دانکن) در جداول (۵) و (۶) و شکل‌های (۲) و (۳) نشان می‌دهد که بیشترین میزان WP_B و WPy به‌ترتیب (۶۶/۳ و ۱۳/۷) مربوط به اثر متقابل دو تیمار نانوذره و بیوچار (N_2B_3) می‌باشد و تیمار (N_1B_1) نیز با (۴۱/۳ و ۶/۱) کیلوگرم بر مترمکعب ، حداقل عملکرد را داشت .

Elshayb et al (2022) ضمن پژوهش در خصوص افزایش بهره‌وری مصرف آب گیاه برنج تحت شرایط کم آبیاری نشان دادند که ترکیب بیوچار در کنار نانوذرات اکسیدروی بر صفات فیزیولوژیکی مانند محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ، همچنین اجزای مرتبط با عملکرد (به‌عنوان مثال، تعداد خوشه‌ها) اثر مثبت و معنی‌داری داشت و باعث به حداکثر رسانیدن راندمان مصرف آب (WUE) گردید که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت دارد .

جدول ٤ – نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات)

Table 4 - Results of analysis of variance (mean square)

Sources Change	df	Height (cm)	leaf length (cm)	Chlorophyll content Spad value	RWC %	Na %	K %	Ca+Mg (meq/g)	Prolin (mg/g)	Fresh weight of biomass (g)
Block effect	4	653.691**	2.8**	109.94**	177.7**	0.0000395^{ns}	0.059^{ns}	112.44^{ns}	3252.9^{ns}	7186.1**
Nano particle effect (n)	2	1125.4**	5**	72.22**	169.38**	0.002**	3.914**	4242.9**	7370.30**	17776.7**
Biochar effect (n)	2	1542.2**	5**	92.90**	169.61**	0.002**	2.989**	597.15**	17263.4**	7685.3**
n*b	4	2213.3**	3.5**	124.5**	183.16**	0.003**	3.290**	3373.6**	23057.0**	21115.5**
error	32	45.02	0.2	7.48	12.09	0.000003	0.005	9.22	228.75	636.5
Coefficient of variation (%)		10.3	5.9	6.8	5.7	48	21.8	35.3	15.3	17.7

ادامه جدول ٤ – نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات)

Table 4- Continues - the results of analysis of variance (mean square)

Sources Change	df	Dry weight of biomass (g)	number of pods	sheath weight	sheath length	Number of seeds in a pod	H_i (Kg/ha)	Wpy (Kg/m3)	WPb (Kg/m3)
Block effect	4	301.21**	11.621^{ns}	208.05^{ns}	7.458**	3.676**	0.000032^{ns}	2.56^{ns}	121.47^{ns}
Nano Particle effect (n)	2	505.91**	45.018**	1187.3**	15.006**	4.006**	0.000358**	14.65**	347.40**
Biochar effect (n)	2	240.5**	31.67**	769.3**	11.67**	2.083**	0.001**	9.49**	164.39**
n*b	4	758.87**	139.05**	3294.2**	9.004**	2.625**	0.002**	40.66**	500.19**
error	32	26.7	0.84	15.3	0.5	0.2	0.000001	0.19	10.3
Coefficient of variation (%)		17.7	11.7	12.1	6.4	7.2	6	12.1	16.9

*is significant at the five percent probability level, ** is significant at the one percent probability level and ns: no significant difference.

جدول ۵ – نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن

Table 5 - Average comparison results by Duncan's method

nano particle (mg/lit)	Biochar %	df	Height (cm)	leaf length (cm)	Chlorophyll content Spad value	RWC %	Na %	K %	Ca+Mg (meq/g)	Prolin (mg/g)	Fresh weight of biomass (g)
0	0	4	125.03^{f}	10.002^{c}	56.311^{c}	71.214^{c}	0.07401^{a}	0.0910^{e}	32.9651e	442.305^{a}	317.26^{a}
	2.5		145.03^{de}	11.002^{b}	61.112^{b}	76.115^{c}	0.04801^{c}	1.3003^{d}	43.2887^{d}	372.374^{c}	359.77^{b}
	5		160.03^{bc}	12.002^{a}	64.913^{b}	82.817^{b}	0.04001^{d}	1.5303^{c}	54.8110^{c}	325.545^{d}	395.57^{b}
50	0	4	140.03^{e}	11.002^{b}	61.512^{b}	78.516^{b}	0.05501^{b}	1.2903^{d}	37.2975^{e}	403.151^{b}	374.57^{b}
	2.5		155.03^{cd}	10.994^{b}	63.213^{b}	81.216^{b}	0.03101^{f}	1.3803^{d}	56.2312^{c}	331.666^{d}	437.73^{a}
	5		180.04^{a}	10.994^{b}	68.514^{a}	86.517^{a}	0.02601^{g}	1.9404^{a}	88.6177^{a}	312.362d^{e}	473.83^{a}
100	0	4	155.03^{cd}	12.002^{a}	63.713^{b}	82.717^{b}	0.03701^{e}	1.8174^{b}	85.4471^{b}	365.523^{c}	436.48^{a}
	2.5		165.03^{bc}	12.000^{a}	64.513^{b}	83.617^{b}	0.021^{h}	1.9604^{a}	89.0178^{a}	295.359^{e}	454.09^{a}
	5		170.03^{ab}	12.000^{a}	68.414^{a}	84.817^{b}	0.011^{i}	1.9804^{a}	91.0182^{a}	264.253^{f}	470.29^{a}

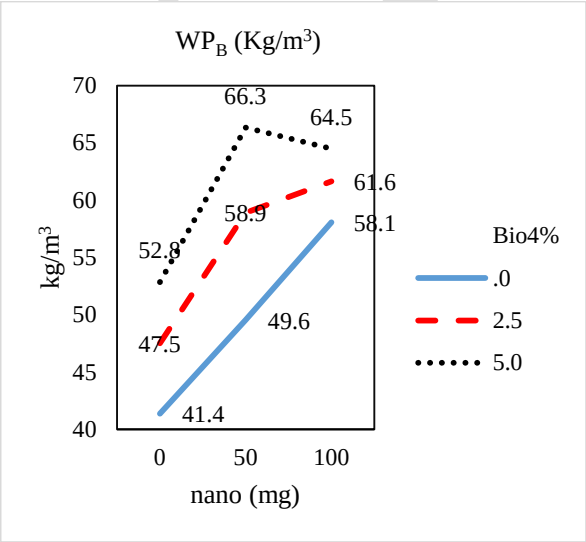
نسخه های قبل از چاپ

جدول ٦ – نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن

Table 6 - Average comparison results by Duncan's method

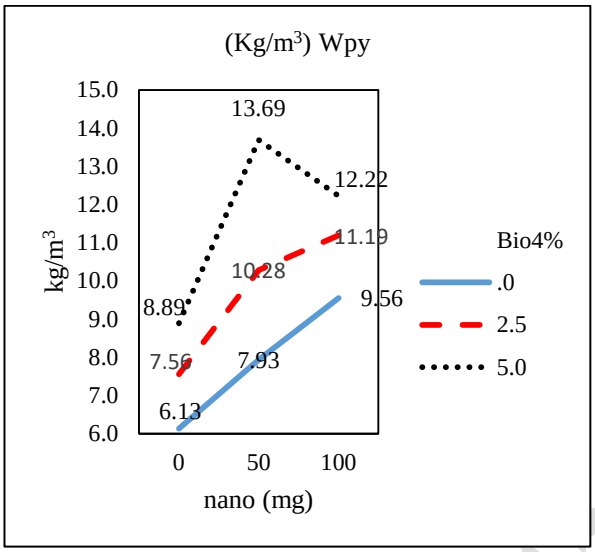
nano particle (mg/lit)	biochar %	df	Dry weight of biomass (g)	number of pods	sheath weight	sheath length	Number of seeds in a pod	H_i (Kg/ha)	Wpy (Kg/m3)	WPb (Kg/m3)
0	0	4	66.9134 e	14.00 f	55.211 g	14.003 b	10.45c	0.14823 h	6.1346 g	41.386 e
	2.5		75.0150 d	17.00 e	68.014 f	16.003 a	11.00 bc	0.15899 g	7.5571 f	47.532 d
	5		80.7161 d	19.00 d	80.016 e	17.003 a	11.74 ab	0.16824 e	8.8907 e	52.844 c
50	0	4	76.3153 d	17.00 e	71.414 f	17.003 a	12.00 a	0.16013 f g	7.9349 f	49.554 c d
	2.5		90.2537 b	22.00 c	92.519 d	17.003 a	11.00 bc	0.17512 d	10.2798 d	58.917 b
	5		97.3737 a	28.01 a	123.225 a	17.003 a	12.00 a	0.20710 a	13.6916 a	66.340 a
100	0	4	87.0174 b	20.00 d	86.017 e	17.003 a	12.00 a	0.16462 e f	9.5575 e	58.056 b
	2.5		91.2182 a	24.00 b	100.720 c	17.003 a	12.00 a	0.18154 c	11.1911 c	61.646 a b
	5		95.7191 a	25.01 b	110.022 b	17.003 a	12.00 a	0.18959 b	12.2247 b	64.480 a

In each column, averages with common letters are not statistically significant at the 1% probability level using Duncan's test.



شکل ۲ – نمودار اثر متقابل بیوچار و نانو ذرات سیلیکا بر بهره‌وری آب برای کل اندام‌های هوایی

Fig. 2 - Diagram of interaction effect of biochar and silica nanoparticles on water efficiency for the whole Aerial organs



شکل ۳ – نمودار اثر متقابل بیوچار و نانو ذرات سیلیکا بر بهره‌وری آب برای عملکرد

Fig. 3- Diagram of interaction effect of biochar and silica nanoparticles on water efficiency for yield

Soliman et al. (2023) ضمن انجام پژوهشی با به‌کارگیری از تیمارهای بیوچار (BC) و نانوذرات سلنیوم- کیتوزان(Se-NPs) و تیمار ترکیبی آن‌ها در خاک‌های تحت تنش شوری مشاهده نمودند که استفاده از تیمار ترکیبی (Se-NPs+ BC) بالاترین راندمان مصرف آب (WUE) را نسبت به استفاده تکی از تیمارها و تیمار شاهد دارد .

Chen et al. (2023) طی پژوهشی با اعمال تیمارهای BC ، TiO2 NPs وBC + TiO2 NPs روی گندم نشان دادند که راندمان مصرف آب درهر سه تیمار بهترین نتایج را به همراه داشت ولیکن در مقایسه با شاهد، بیشترین راندمان مصرف آب در کاربردهای جمعی BC و NPs معادل 110 درصد و کمترین راندمان مصرف آب در تیمار شاهد مشاهده شد . راندمان مصرف آب با به‌کارگیری BC به تنهایی ۴۹ درصد و با اعمال NPs تنها ۸۲ درصد افزایش یافت.

براساس نتایج مندرج در جداول (۴) و (۵) می‌توان بیان کرد تیمارهای نانوذرات و بیوچار در سطح یک درصد روی ارتفاع گیاه معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل تیمارها نیز بر میزان ارتفاع گیاه تأثیر معنی دار داشته است (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع گیاه ۱۸۰ سانتی‌متر مربوطه به تیمار (نانو ذره ۵۰ میلی‌گرم و بیوچار پنج درصد) و کمترین میزان ارتفاع گیاه ۱۲۵/۰۳سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد است .

Yahyapoor et al. (2023) با هدف بررسی اثر اصلاح کننده‌های خاک بر اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه کلزا، (Brassica napus L.) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام دادند که نتایج آن نشان داد کاربرد تمامی اصلاح کننده‌های خاک موجب بهبود اجزای عملکرد، عملکرد و محتوای روغن دانه کلزا در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف اصلاح کننده‌ها شدند که با نتایج این آزمون مطابقت دارد .

استفاده از NPs (نانوذرات دی اکسید تیتانیوم) به‌صورت محلول پاشی و BC، ارتفاع گیاه و همچنین محتوای کلروفیل را با کاهش آسیب اکسیداتیو و تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی انتخاب شده در برگ‌های گندم نسبت به گیاهان شاهد افزایش داد (Chen et al., 2023).

Abbasnasab et al. (2021) نشان دادند که بیوچار باعث افزایش ارتفاع گونه‌های علف پشمکی و یونجه شده که این افزایش در بیوچار سطح ۰/۵ درصد وزنی بیشتر از بیوچار در سطح یک درصد است . Fatemi et al (2017) نشان دادند که تیمار محلول پاشی با سه میلی‌مولار نانو ذرات سیلیسیم دربیشترصفات مرفولوژیک موجب بهبود شرایط رشدی گیاه گشنیز درشرایط تنش‌گردید .

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که به‌کارگیری تیمارها و اثرات متقابل آن‌ها روی وزن تر و خشک گیاه در سطح یک درصد اثر معنی‌داری دارد . با توجه به جداول (۵) و (۶) (مقایسه میانگین دانکن) می‌توان بیان داشت که تیمار تلفیقی نانو ذره و بیوچار (N_2B_3) با میزان وزن تر ۴۷۳/۸ گرم و وزن خشک ۹۷/۴ گرم بیشترین اثر را بر بیوماس خشک و تر داشته است . نتایج مندرج در جداول (۵) و (۶) نشان داد تیمار تلفیقی نانوذره ۵۰ میلی‌گرم و بیوچار پنج درصد سبب افزایش ۴۹/۳درصدی وزن تر و ۴۵/۵ درصدی وزن خشک بیوماس نسبت به تیمار شاهد شده است .

طی پژوهشی با هدف بررسی پالایش خاک‌های شور و قلیایی آلوده به فلز کادمیوم به وسیله گیاه فلفل دلمه سبز تحت دو ماده

اصلاحیه خاک شامل بیوچار و نانو ذره زئولیت آزمایشی انجام شد. طی آن نشان داده شد که بیوماس تر و خشک فلفل دلمه سبز با استفاده از بیوچار و زئولیت به‌ترتیب۷۹/۲ درصد و۱۸/۳درصد افزایش یافت (Gharahi, 2021).

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که تیمارهای کاربردی و اثرات متقابل آن‌ها روی تعداد غلاف و وزن غلاف در سطح یک درصد معنی‌دار شده است . نتایج جدول (۶) (مقایسه میانگین دانکن) نشان داد که به‌کارگیری تیمار تلفیقی نانو ذره و بیوچار (N_2B_3) به‌ترتیب موجب افزایش ۱۰۰ درصدی تعداد غلاف و ۱۲۰ درصدی وزن غلاف نسبت به تیمار شاهد شده است . Sheikhnazari et al (2022) با هدف بررسی تأثیر دوزهای نیتروژن همراه با کاربرد بیوچار و همچنین کود روی به‌صورت نانوذرات بر ویژگی‌های کمی و کیفی برنج نشان دادند که، کاربرد نیتروژن به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد همزمان بیوچار پوسته برنج + نانوذرات روی به‌عنوان دوز بهینه نیتروژن و گزینه ایده آل کود برای افزایش عملکرد(تعداد دانه در بوته) و غنی سازی محصول می‌باشد .

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که اثر تیمارهای نانو ذره و بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان طول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شده است ، نتایج مندرج در جدول (۵) (مقایسه میانگین دانکن) نشان می‌دهد بیشترین طول برگ به‌میزان ۱۲ سانتی‌متر مربوط به اثر متقابل دو تیمار (N_3B_2) است که موجب افزایش طول برگ شده است .

Muhammad Rizwan et al. (2019) طی تحقیقی ضمن بررسی اثربخشی محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی (ZnO) (NPs) به‌تنهایی (۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) یا همراه با کاربرد خاکی بیوچار (۱/۰ درصد وزنی بر وزن) روی بیوماس و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی گیاه ذرت در خاک آلوده به کادمیوم نشان دادند که نانوذرات ZnO به‌تنهایی یا در ترکیب با بیوچار باعث بهبود ارتفاع بوته‌های ذرت، تعداد برگ، بیوماس خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت کلروفیل و ویژگی‌های تبادل گاز می‌شوند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

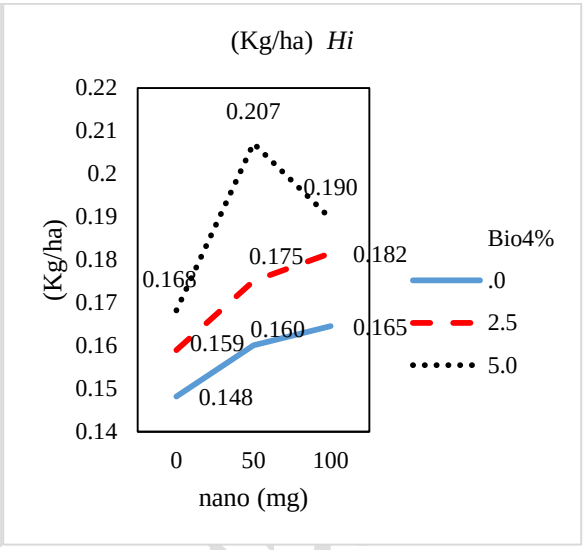
با توجه به به‌کارگیری تیمارهای نانوذره و بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها ، میزان شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین جدول (۶) و شکل (۵) نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت معادل $H_i = 0.2\ {}^{kg}/_{ha}$ مربوط به تیمار ترکیبی نانوذره و بیوچار (N_2B_3) می‌باشد .

تحت آزمایش میدانی Chen et al (2023) ضمن استفاده از تیمارهای BC (اضافه شده از قبل به خاک) و نانوذرات TiO_2 برگی، و همچنین BC همراه با نانوذرات TiO_2 به خاکهای آلوده به کادمیوم، مشاهده شد که استفاده از تیمارهای ترکیبی BC و NPs با کاهش آسیب اکسیداتیو و تغییر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی موجب افزایش ارتفاع گیاه ، محتوای کلروفیل و در نهایت شاخص برداشت H_i گردید که اثرگذاری آن با نتایج این تحقیق نیز مطابقت دارد.

نتایج نشان داد که به‌کارگیری تیمارهای نانو ذره سیلیکا و بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها روی میزان سدیم و پتاسیم اثر معنی‌داری داشته به نحوی که بیشترین میزان سدیم مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار ترکیبی نانو ذره و بیوچار (Na=0.01) بوده است و در مورد پتاسیم به شکل معکوس مطابق جدول مقایسه میانگین دانکن جدول (۵) بالاترین میزان آن مربوط به تیمار ترکیبی نانو ذره و بیوچار (N_3B_2) و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد می‌باشد. سمیت سوخت و سازی یون سدیم (+Na) تا حد زیادی نتیجه برتری آن در رقابت با یون پتاسیم (+K) برای اعمال سلولی است. نسبت‌های بالای یون سدیم به یون پتاسیم (+Na/+K) می‌تواند باعث تخریب فرایندهای آنزیمی در سیتوپلاسم سلول شود (Khan et al., 2009). تنش یونی با کاهش محتوای کلروفیل ارتباط داشته و باعث جلوگیری از فتوسنتز گیاه و القای پیری و مرگ برگ پیش از بلوغ می‌شود. تنش یونی باعث کاهش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه کاهش عملکرد زیستی گیاه می‌شود (Mohsenzadeh et al., 2003).

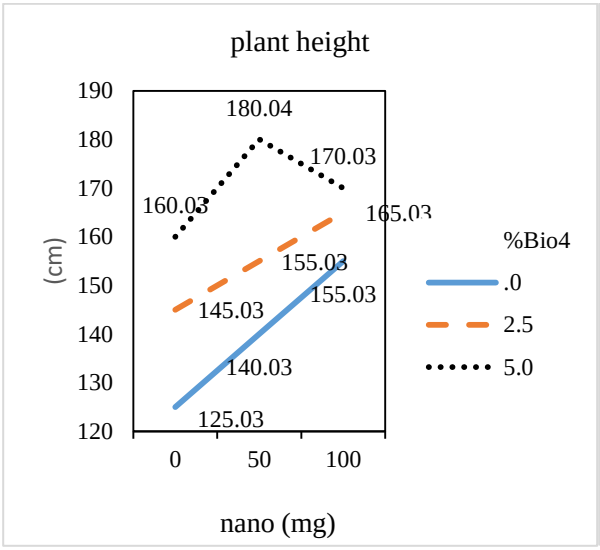
طی تحقیق Soliman et al. (2023) با به‌کارگیری از تیمارهای بیوچار (BC) و نانوذرات سلنیوم- کیتوزان(Se-NPs) و تیمار ترکیبی آن‌ها در خاک‌های تحت تنش شوری ، ضمن محدود شدن انتقال + Na به سمت بافت‌های برگ، گیاهان از آسیب سلولی ناشی از نمک محافظت شدند و در مقایسه با تیمار شاهد غلظت + Na تجمع کرده در برگ‌ها ۵۰ درصد کاهش یافت .

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۴) مشاهده شد که اثرات نانوذرات، بیوچار و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد برمیزان کلسیم - منیزیم گیاه معنی‌دار بود و مطابق جدول (۵) (مقایسه میانگین دانکن) مشاهده شد که استفاده از نانو سیلیس با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با پنج درصد، درصد وزنی بیوچار نتایج بهتری را به‌همراه داشته است . کلسیم در حفظ ساختار و عملکرد غشای سلولی، استحکام دیواره سلول، تنظیم انتخابی انتقال یون و کنترل تبادل یونی آنزیم‌های دیواره سلول نقش مهم و ضروری دارد (Liang, 1999). افزایش کلسیم در نتیجه استفاده از سیلیکون توسط Liang et al (2005) و Miyake و Takahashi (1986) گزارش شده است . استفاده ترکیبی از نانوذرات و بیوچار باعث افزایش قابل توجه میزان کلسیم - منیزیم گیاه در مقایسه با تیمار شاهد شد که با نتایج تحقیق Soliman et al. (2023) مطابقت دارد .



شکل ٤ – نمودار اثر متقابل بیوچار و نانو ذره سیلیکا بر ارتفاع گیاه

Fig. 4 - Diagram of interaction effect of biochar and silica nanoparticles on plant height



شکل ٥ – نمودار اثر متقابل بیوچار و نانو ذره سیلیکا بر شاخص برداشت

Fig. 5 - Diagram of interaction effect of biochar and silica nanoparticles on harvest index

بر اساس نتایج جدول (۴) تیمار نانو ذرات سیلیکا و بیوچار بر میزان محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌دار داشت. مطابق جدول (۵) استفاده ترکیبی از نانوذرات سیلیکا و بیوچار باعث بهبود و افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد شده است. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیترنانو ذره و پنج درصد وزنی بیوچار بوده است. اثر مثبت ترکیبی بیوچار با نانو ذرات بر رطوبت نسبی در پژوهش Elshayb et al (2022) و Muhammad Rizwan et al (2019) گزارش شده است .

نتایج داده‌ها در جدول (۴) نشان داد که اثرات نانوذرات، بیوچار و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد برمیزان پرولین گیاه معنی‌دار بود . به نحوی که کمترین میزان آن مربوط به تیمار ترکیبی نانو ذره ۱۰۰ میلی‌گرم و و بیوچار پنج درصد وزنی است و بیشترین آن مربوط به تیمار شاهد است . افزایش پرولین در گیاهان در هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی است. پرولین با سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی و جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها ، باعث افزایش تحمل گیاه در برابرتنش‌ها می‌شود (Khan et al., 2009).

Boroujerdnia et al. (2016) طی تحقیقی باعنوان اثر تنش خشکی بر میزان پرولین و قندهای محلول در لوبیا نشان دادند که اثر رقم و تنش خشکی بر RWC% ،پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل، فروکتوز، گلوکز و ساکارز در سطح یک درصد معنی‌دار بود به نحوی که تنش خشکی باعث کاهش RWC% و ساکارز وافزایش مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل، فروکتوز، گلوکز و پرولین نسبت به شاهد گردید که نتایج آن مشابه این تحقیق می-باشد .

با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها در جدول (۴) ، مشاهده شد که اثر نانوذرات، بیوچار و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر میزان محتوای کلروفیل برگ گیاه معنی‌دار بود. نتایج جدول (۳) مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیشترین میزان محتوای کلروفیل برگ مربوط به تیمار ترکیبی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره سیلیکا و پنج درصد وزنی بیوچار بوده است . طی تحقیقی کاربرد تیمارهای ترکیبی NPs (نانوذرات دی اکسید تیتانیوم) و BC همکمپوست شده ، محتویات کلروفیل و کاروتنوئید بالاتری را نشان می‌دهد ، در این پژوهش سطوح کلروفیل a ، b و کلروفیل کل در تیمار BC + NPs بالاترین میزان بود، در حالی که این سطوح در گروه شاهد کمترین بود که نتایج آن مشابه آزمایش Chen et al (2023) است .

نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که به‌کارگیری تیمارها و اثرات متقابل آن‌ها ، باعث افزایش بهره وری مصرف آب (WUE) از نظر عملکرد و تولید بیوماس گیاهی گردید و بر صفات فیزیولوژیکی مانند محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، ارتفاع بوته و طول برگ، همچنین اجزای مرتبط با عملکرد (به عنوان مثال، تعداد و وزن غلاف‌ها) اثر مثبت و معنی‌داری داشته و منجر به افزایش آن‌ها شد. اثر متقابل دو تیمار موجب افزایش ۳۷ درصدی شاخص کارایی آب

مصرفی برای کل قسمت‌های هوایی گیاه شد و به‌ترتیب به میزان ۴۹/۳ و ۴۵/۵ درصد موجب افزایش وزن تر و خشک بیوماس نسبت به تیمار شاهد گردید . استفاده ترکیبی از نانوذرات سیلیکا و بیوچار اثرات مثبتی بر غلظت پتاس ، کلسیم + منیزیم در برگ داشت. در نهایت نتایج نشان داد که به‌طور کلی تیمار ترکیبی Bc+Sio2 می‌تواند گزینه مناسبی برای افزایش عملکرد و بهره وری مصرف آب در گیاه لوبیا باشد.

این پژوهش نشان داد که استفاده تلفیقی از بیوچار و نانوذرات سیلیکا می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت لوبیا چشم بلبلی داشته باشد. به‌طور خاص، به‌کارگیری توامان بیوچار پنج درصد و نانوذرات سیلیکا (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) ، بهترین نتایج را در افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد محصول نشان داد. این تیمار توام ، منجر به افزایش قابل توجه در وزن تر و خشک گیاه، تعداد و وزن غلاف، و سایر پارامترهای رشد شد. همچنین، افزایش محتوای نسبی آب و کاهش تنش های محیطی (شوری یا خشکی) از دیگر نتایج مثبت این تیمار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این ترکیب می‌تواند راهکاری مؤثر برای مقابله با چالش‌های ناشی از محدودیت آب در کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک باشد. با بهبود کارایی مصرف آب و افزایش عملکرد محصول، این روش می‌تواند به پایداری تولید کشاورزی در شرایط کم آبی کمک کند.

با این حال، برای تعمیم این نتایج و کاربرد گسترده‌تر این روش، انجام آزمایش‌های بیشتر در شرایط مزرعه‌ای و بررسی اثرات بلندمدت این تیمارها بر خاک و گیاه توصیه می‌شود. همچنین، ارزیابی اقتصادی استفاده از این روش برای اطمینان از مقرون به صرفه بودن آن برای کشاورزان ضروری است. در مجموع، این پژوهش گامی مهم در جهت یافتن راهکارهای نوین برای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد محصول در شرایط محدودیت منابع آبی است و می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات بیشتر در این حوزه باشد

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت مالی واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم به شماره (SCU.WI.1402.144) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

1- Abbasnasab, Z. and Abedi, M., 2021. Effect of biochar on some morphological and physiological traits in Medicago sativa and Bromus tomentellus. *Journal of Plant Process and Function*, *10*(41), pp.145-156. Dor: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.4.4. (in Persian).

2- Boroujerdnia, M., Bihamta, M. R., Alami Said, K. H., and Abdossi, V., 2016. 'The effect of drought stress on proline contents and soluble sugars in bean (Phaseolus vulgaris L.) '. *9th Congress of Horticultural Sciences, vegetable poster papers, January 2014.* (in Persian).

3- Chen, F., Li, Y., Irshad, M.A., Hussain, A., Nawaz, R., Qayyum, M.F., Ma, J., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M. and Ali, S., 2023. Effect of titanium dioxide nanoparticles and co-composted biochar on growth and Cd uptake by wheat plants: A field study. *Environmental Research*, *231*, p.116057. doi: 10.1016/j.envres.2023.116057.

4- Chen, J., Zhu, D. and Sun, C., 2007. Effect of heavy metals on the sorption of hydrophobic organic compounds to wood charcoal. *Environmental Science & Technology*, *41*(7), pp.2536-2541. Doi: 10.1021/es062113+.

5- Donald, C.M. and Hamblin, J., 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in agronomy*, *28*, pp.361-405. Doi: 10.1016/S0065-2113(08)60559-3.

6- Du, W., Tan, W., Yin, Y., Ji, R., Peralta-Videa, J.R., Guo, H. and Gardea-Torresdey, J.L., 2018. Differential effects of copper nanoparticles/microparticles in agronomic and physiological parameters of oregano (Origanum vulgare). *Science of the Total Environment*, *618*, pp.306-312. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.042.

7- Elshayb, O.M., Nada, A.M., Sadek, A.H., Ismail, S.H., Shami, A., Alharbi, B.M., Alhammad, B.A. and Seleiman, M.F., 2022. The integrative effects of biochar and ZnO nanoparticles for enhancing rice productivity and water use efficiency under irrigation deficit conditions. *Plants*, *11*(11), p.1416. doi: 10.3390/ plants11111416

8- Fatemi, H., Esmaielpour, B., Soltani-Toolarood, A., Nematolah Zadeh, A. 2017. 'Effects of silicon nano-particle nutrition on growth and physiological characteristics of Coriandrum sativum L. under lead stress', *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(5), pp. 853-870. doi: 10.22092/ijmapr.2017.114488.2068. (in Persian).

9- Gharahi, N., 2021. "Effect of Biochar and Zeolite on Cadmium Uptake in Green bell Pepper (Capsicum Annuum) and Leaching in Saline-alkaline Soil" Journal of Water and Soil Resources Conservation. 2(11), pp. 69-78. Doi: 10.30495/wsrcj.2021.19214. (in Persian).

10- Gholinezhad E, Darvishzadeh R, Abhari A. 2022. Estimates of Variance Components and Heritability of Seed Yield and Yield Components in Commercial Sesame

11- Heidari Sharif Abad, H., 2009. 'Reducing drought damage in plants.' *The first regional conference on salinity and drought stress in crops. Karaj - Quds city.* pp:14 30

12- Keiluweit M P, Nico S, Johnson MG. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). Environmental Science and Technology, 44(4): 1247-1253. Doi: 10.1021/es9031419.

13- Khan, M. A., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Mujtaba, S. M., Islam, E., Mumtaz, S., Ashraf, M. Y., 2009. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (Triticum aestivum L.). Pakistan Journal of Botany. 41(2): 633.

14- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B.J.O.J.F.J.J.E.G., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J. and Neves, E.G., 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of America journal*, *70*(5), pp.1719-1730. Doi: 10.2136/sssaj2005.0383.

15- Liang, Y., 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and soil*, *209*, pp.217-224.

16- Liang, Y.C., Sun, W.C., Si, J. and Römheld, V., 2005. Effects of foliar-and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in Cucumis sativus. *Plant Pathology*, *54*(5), pp.678-685. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2005.01246.x.

17- López-Moreno, M.L., Avilés, L.L., Pérez, N.G., Irizarry, B.Á., Perales, O., Cedeno-Mattei, Y. and Román, F., 2016. Effect of cobalt ferrite (CoFe2O4) nanoparticles on the growth and development of Lycopersicon lycopersicum (tomato plants). *Science of the Total Environment*, *550*, pp.45-52. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.063

18- Mazaherinia S, Astaraei AR, Fotovat A and Monshi A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, 7(1):36- 40.

19- Miyake, Y. and Takahashi, E., 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. *Soil science and plant nutrition*, *32*(2), pp.321-326. DOI: 10.1080/00380768.1986.10557510

20- Mohsenzadeh, S., Aschtiani, S. F., Malboobi, M. A., and Ghanati, F., 2003. 'Effects of drought and chlorocholine chloride on seedling growth and photosynthesis of two cultivars of wheat (Triticum aestivum L.). (in Persian).

21- Monica RC and Cremonini R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2):161-165.

22- Muhammad Rizwan, M.R., Shafaqat Ali, S.A., Muhammad Zia-ur-Rehman, M.Z.U.R., Muhammad Adrees, M.A., Muhammad Arshad, M.A., Qayyum, M.F., Liaqat Ali, L.A., Afzal Hussain, A.H., Chatha, S.A.S. and

Muhammad Imran, M.I., 2019. Alleviation of cadmium accumulation in maize (Zea mays L.) by foliar spray of zinc oxide nanoparticles and biochar to contaminated soil. Doi: 10.1016/j.envpol.2019.02.031.

23- Osooli, H., Karimi, A., Shirani, H. 2022. 'Effect of Biochar Obtained from Different Sources on Yield and Water Use Efficiency of Wheat', *Journal of Water Research in Agriculture*, 35(4), pp. 357-371. doi: 10.22092/jwra.2021.354825.873. (in Persian).

24- Pelesco, V.A. and Alagao, F.B., 2014. Evapotranspiration rate of lettuce (Lactuca sativa L., Asteraceae) in a non-circulating hydroponics system. *Journal of Society and Technology*, *4*(1), pp.1-6.

25- Ruffini, C.M. and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62 (2): 161 -165 .

26- Salekdeh, G.H., Reynolds, M., Bennett, J. and Boyer, J., 2009. Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. *Trends in plant science*, *14*(9), pp.488-496.

27- Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S., 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy journal*, *97*(1), pp.106-112. Doi: 10.2134/agronj2005.0106.

28- Sheikhnazari, S., Niknezhad, Y., Fallah, H. and Tari, D.B., 2022. Effect of application of nitrogen doses along with biochar and zinc nanoparticles on quantitative and qualitative characteristics of rice (Oryza sativa L.). DOI: 10.22067/jcesc.2022.75649.1150. (in Persian).

29- Soliman, M.H., Alnusairi, G.S., Khan, A.A., Alnusaire, T.S., Fakhr, M.A., Abdulmajeed, A.M., Aldesuquy, H.S., Yahya, M. and Najeeb, U., 2023. Biochar and selenium nanoparticles induce water transporter genes for sustaining carbon assimilation and grain production in salt-stressed wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(3), pp.1522-1543.

30- Tüzel, I.H., Meric, K.M. and Tüzel, Y., 2006, April. Crop coefficients in simplified hydroponic systems. In *International Symposium on Greenhouse Cooling 719* (pp. 551-556). Doi: 10.17660/ActaHortic.2006.719.64.

31- Yahyapoor, H., Niknezhad, Y., Fallah, H., Dastan, S. and Tari, D.B., 2023. Effect of soil amendments on yield components, yield and seed oil percentage of canola (Brassica napus L.). *Journal of Plant production Sciences*. 1 (13). pp. 15-29. Doi: 10.2./jpps.2023.705321.

32- Yang, A., Akhtar, S.S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M.A., He, X., Zhang, Z. and Jacobsen, S.E., 2020. Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in quinoa. *Agronomy*, *10*(6), p.912.doi:10.3390/agronomy10060912.

33- Zhang X, He L, Sarmah A, Lin K, Liu Y, Li J and Wang H, 2014. Retention and release of diethyl phthalate in biochar mended vegetable garden soils. Journal of Soils and Sediments 14: 1790– 1799.

34- Zuverza-Mena, N., Medina-Velo, I.A., Barrios, A.C., Tan, W., Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey, J.L., 2015. Copper nanoparticles/compounds impact agronomic and physiological parameters in cilantro (Coriandrum sativum). *Environmental Science: Processes & Impacts*, *17*(10), pp.1783-1793.

EXTENDED ABSTRACT

The effect of the combination of date palm biochar and silicate nanoparticles on water use efficiency, growth and yield of cowpea (Phaseaolus VulgarisL) (Case study: Ahvaz city)

A. Zeinodin[1], A. R. Hooshmand[2*], P. Tishehzan[3] and N. Alemzadeh Ansari[4]

1- Ph.D. student of irrigation and drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
2- Corresponding Author, Professors of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.*
2- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
3- Associate Professor of department of horticulture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Keyword: number of pods, yield, water use efficiency, chlorophyll content.

Introduction

This research was conducted in order to investigate the combined effect of biochar and silica nanoparticles on the yield and water efficiency of cowpea plants in the form of split plots in the form of a randomized complete block design with five replications. The main plot of date palm leaf biochar at three levels, including no biochar, 2.5 and 5%, and the secondary plot of silica nanoparticles treatment at three levels, respectively, included zero, 50 and 100 mg/liter. The highest efficiency of water consumption in terms of yield and biomass production was related to the interaction effect of two treatments of 5% biochar and 50 mg nanoparticles, and the lowest was observed in the control treatment. The highest amount of fresh and dry weight of the plant was related to the interaction effect of two treatments of 5% biochar and 50 mg nanoparticles, which caused an increase of 49.3% fresh weight and 45.5% dry weight of biomass compared to the control.

One of the solutions that can help to increase the plant's resistance to drought and increase the efficiency of water consumption is the use of modifiers such as biochar and nanoparticles in agriculture. Biochar is a new type of carbon material that is produced from thermal decomposition at low temperature of organic raw materials under anaerobic conditions or with limited oxygen. In recent years, biochar materials have shown significant potential in the field of environmental science and agriculture. However, the main issue in different applications of biochar is the analysis of biochar composition.

Various studies have shown that biochar increases crop yield and improves soil quality. Biochar as a soil conditioner can remove carbon from the atmosphere. In addition, biochar has a higher stability against decomposition and has a good ability to absorb ions compared to other forms of soil organic matter. In a study, the effect of biochar on the yield of quinoa under the combined effects of salinity and drought stress was investigated.

Considering the emerging nature of nano technology and the growing trend of research in the field of nano and biochar, therefore, in this research, the combined effects of nano silica and biochar on the performance and water productivity of cowpeas in Ahvaz region were investigated.

This research was carried out as pot cultivation in the open space between the greenhouse complex of Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Agriculture

The treatments used included the treatment of silica nanoparticles at three levels of zero, 50, and 100 mg/liter and the biochar treatment of date palm leaves at three levels of BC0, BC1, and BC2. . After establishing the plant in the pot, the experimental units were irrigated using a tank and drip method.

The biochar used in this experiment is an organic material rich in carbon, which is prepared from the leaves of the Nekhilat at a temperature of 500 degrees Celsius without the presence of oxygen. The specifications of the biochar used can be seen in tables (1) and (2).

In this experiment, cowpeas of the local variety (Sosangerd) were used.

Table 1- Specifications Silicon oxide nanoparticle

Color	White	Purity	99.9%
Density	2.4 g/cm2	Particle size	20-15 nm
Melting point	1610 C°	Formula	SiO2
Boiling point	2230 C°	Molecular Weight	6008 g/mol

Table 2- Some chemical characteristics of biochar used in the experiment

PH	Ec	C	H	O	N	S	Ca	Mg	K	Na
	ds m^{-1}			(%)				ppm		
9.6	3.5	72.3	2.11	4.5	0.42	1.02	581	1.93	2.23	0.48

Table 3- Some physical and chemical properties of the soil used in the experiment

parameter	value	parameter	value
Organic materials %	75	Clay %	9
bulk density (g/cm^3)	1.43	Silt %	34
Porosity %	46	Sand %	57
Nitrogen %	0.05	soil texture	sandy loam
field capacity %	19.1	Electrical conductivity (dS/m)	4.63
wilting point %	7.91	Acidity (unitless)	7.35

To obtain the water requirement of beans, this plant should be grown in an environment that can control the water balance. In order to achieve this goal, three micro lysimeters were used.

In order to measure the concentration of chlorophyll in the leaves, a hand-held chlorophyll meter was used. For this purpose, the last developed leaf was selected from each plant, and from that leaf, the SPAD number was read from seven separate points, and the average of seven The point was considered as the number of chlorophyll in that plant.

To measure the relative leaf water content parameter, a leaf from fully developed young leaves from each pot was randomly selected. In order to keep the samples fresh until the time of transfer to the laboratory, the samples was placed in a plastic bag and quickly transported to the laboratory with a container containing ice cubes and their wet weight was measured. To calculate the saturation weight The samples were floated on distilled water for two hours at room temperature and low light.

Statistical analysis

Statistical analysis of variables was done using SPSS software, and Word and Excel software were used to draw figures and tables.

Results and Discusspn

The results of table (3) show that the effect of the treatments and their mutual effects on water use efficiency in terms of biomass production and water use efficiency in terms of product are significant at the level of 1%. Elshayb et al (2022), while researching on the increase of water consumption efficiency of rice plants under low irrigation conditions, showed that the combination of biochar along with zinc oxide nanoparticles on physiological traits such as Chlorophyll content, relative water content, plant height and leaf area index, as well as components related to yield had a positive and significant effect and maximized water use efficiency , which is consistent with the results of this research.

The results of table (4) show that the use of treatments and their mutual effects on the fresh and dry weight of the plant have a significant effect at the level of 1%.

Table 4 - Results of analysis of variance (mean square)

Sources Change	df	Height (cm)	leaf length (cm)	Chlorophyll content Spad value	RWC %	Na %	K %	Ca+Mg (meq/g)	Prolin (mg/g)	Fresh weight of biomass (g)
Block effect	4	653.691**	2.8**	109.94**	177.7**	0.0000395^{ns}	0.059^{ns}	112.44^{ns}	3252.9^{ns}	7186.1**
Nano particle effect (n)	2	1125.4**	5**	72.22**	169.38**	0.002**	3.914**	4242.9**	7370.30**	17776.7**
Biochar effect (n)	2	1542.2**	5**	92.90**	169.61**	0.002**	2.989**	597.15**	17263.4**	7685.3**
n*b	4	2213.3**	3.5**	124.5**	183.16**	0.003**	3.290**	3373.6**	23057.0**	21115.5**
error	32	45.02	0.2	7.48	12.09	0.000003	0.005	9.22	228.75	636.5
Coefficient of variation (%)		10.3	5.9	6.8	5.7	48	21.8	35.3	15.3	17.7

*is significant at the five percent probability level, ** is significant at the one percent probability level and ns: no significant difference.

Conclusions

The results of the present research showed that the use of treatments and their mutual effects increased the efficiency of water use in terms of yield and plant biomass production and on physiological traits such as chlorophyll content, relative water content, plant height and leaf length, as well as components related to performance had a positive and significant effect and led to their increase. The interaction effect of two treatments caused a 37% increase in the efficiency index of water consumption for all aerial parts of the plant and increased the fresh and dry weight of biomass by 49.3% and 45.5%, respectively, compared to the control treatment. Finally, the results showed that, in general, the combined treatment of Bc+Sio2 can be a suitable option for increasing the yield and efficiency of water consumption in bean plants.

Acknowledgement

This article has been support of the university's research unit through the third author's Grant (SCU.WI.1402.144) by which the authors thank and appreciate the university's vice chancellor for research.

References

1- Elshayb, O.M., Nada, A.M., Sadek, A.H., Ismail, S.H., Shami, A., Alharbi, B.M., Alhammad, B.A. and Seleiman, M.F., 2022. The integrative effects of biochar and ZnO nanoparticles for enhancing rice productivity and water use efficiency under irrigation deficit conditions. *Plants, 11*(11), p.1416. https://doi.org/10.3390/ plants11111416

نسخه نهایی قبل از چاپ