Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

Investigating the effect of biochar obtained from *Azolla filiculoides* on the morphophysiological characteristics of *Kochia prostrata* L. under drought stress

Fateme Heydari[1], Ghasem Ali Dianati Tilaki[2*], Yahya Kooch[3], Mahdi Abdollahi[4]

[1] Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, Email: f.heydari@modares.ac.ir
[2] Department of Range Management, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, Email: dianatig@modares.ac.ir
[3] Department of Range Management, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, Email: yahya.kooch@modares.ac.ir:
[4] Department of Polymer Reaction Engineering, Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Email: abdollahim@modares.ac.ir

Article type:
Research article

Article history
Received: 30.07.2022
Revised: 01.10.2022
Accepted: 07.10.2022
Published:23.09.2023

Keywords
Azolla filiculoides
Biochar
Kochia prostrate
Photosynthesis
Water stress

Abstract

Water stress is one of the most important abiotic stresses that harms the growth of plants in arid and semi-arid regions. Plant traits reflect their response and adaptation to environmental changes, which play an essential role in predicting various environmental effects on plants and plant processes. In order to investigate the effect of biochar on the morpho-physiological characteristics of the species (*Kochia prostrata* L.) in water shortage conditions, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three replications in greenhouse condition. Drought stress treatments included four levels (25, 50, 75, and 100% of the field capacity), and biochar treatment included four levels (control, 5 g, 15 g, and 30 g). Morphological traits (plant height, root length, aerial biomass weight, and root biomass weight) and physiological traits (photosynthesis, plant water potential, stomatal conductance, and transpiration) of the target species were assayed under drought and biochar treatments. Results showed that the interaction effect of drought stress and biochar on all characteristics except for plant height was significant. Moreover, the main effect of drought stress on all characteristics except for photosynthesis and water potential and also the main effect of biochar on all characteristics except for root length) were significant. The treatment with 30 grams of biochar caused an increase in morphological characteristics (root length, plant height, and plant biomass) by 22%, 36%, and 50%, respectively, compared to the control; this treatment also caused a significant increase in photosynthesis and stomatal conductance by 107% and 32%, respectively compared to control. According to the findings, the biochar treatment of 15 grams resulted in a better performance and can be suitable to increase the efficiency in the species under study. The results obtained from this research can be an essential step toward the practical use of biochar in restoration and improvement of rangelands.

Cite this article as: Heydari, F., Dianati Tilaki, Gh.A., Kooch, Y., Abdollahi, M. (2023). Investigating the effect of biochar obtained from *Azolla filiculoides* on the morphophysiological characteristics of *Kochia prostrata* L. under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(3): 1-17.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1964411.1813

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

بررسی تاثیر بیوچار حاصله از *Azolla filiculoides* بر مشخصه‌های مورفو فیزیولوژیکی گونه *Kochia prostrata* L. تحت تنش خشکی

فاطمه حیدری[۱]، قاسمعلی دیانتی تیلکی[۲*]، یحیی کوچ[۳]، مهدی عبداللهی[٤]

[۱] گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، رابانامه: f.heydari@modares.ac.ir
[۲] گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، رابانامه: dianatig@modares.ac.ir
[۳] گروه مرتع داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، رابانامه: yahya.kooch@modares.ac.ir
[٤] گروه مهندسی فرایندهای پلیمریزاسیون، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رابانامه: abdollahim@modares.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۵/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۰۷/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۷/۱۵
تاریخ چاپ: ۱٤۰۲/۰۷/۰۱

واژه‌های کلیدی:
آزولا
بیوچار
تنش خشکی
فتوسنتز
Kochia prostrata

چکیده

تنش آبی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تاثیر نامطلوبی بر رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد و صفات گیاهی منعکس‌کننده واکنش و سازگاری گیاهان به تغییرات محیطی هستند که نقش مهمی در پیش‌بینی اثرات مختلف محیطی بر گیاهان و فرآیندهای گیاهی ایفا می‌کنند. در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر بیوچار بر مشخصه‌های مورفوفیزیولوژیک گونه(*Kochia prostrata*.L) در شرایط کم آبی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای تنش کم‌آبی شامل چهار سطح [۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه] و تیمار بیوچارتولید شده از آزولا شامل چهار سطح (شاهد ، ۵ گرم، ۱۵ گرم و ۳۰ گرم) بودند. مشخصه‌های مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن زیست توده اندام‌های هوایی، وزن زیست توده ریشه) و مشخصه‌های فیزیولوژیکی (فتوسنتز، پتانسیل آبی گیاه، هدایت روزنه‌ای و تعرق)گونه مورد نظر تحت دو تیمار خشکی و بیوچار قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و بیوچار بر تمامی مشخصه‌ها (بجز ارتفاع گیاه) معنی‌دار شد. اثر اصلی تنش خشکی بجز مشخصه‌های (فتوسنتز و پتانسیل آبی) و اثر اصلی بیوچار بجز مشخصه (طول ریشه) بر سایر مشخصه‌ها اثر معنی‌داری داشتند. تیمار ۳۰ گرم بیوچار باعث افزایش مشخصه‌های مورفولوژی (طول ریشه، ارتفاع گیاه، زیست‌توده گیاهی) به ترتیب به میزان ۲۲، ۳٦ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد شد و همچنین تیمار ۳۰ گرم بیوچار باعث افزایش معنی‌دار مشخصه فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای به میزان ۱۰۷ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد گردید. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان اذعان کرد که تیمار بیوچار ۱۵ گرم در بین سطوح مختلف عملکرد بهتری نشان داده است و می‌تواند مقدار مناسبی برای افزایش کارایی گونه مورد مطالعه باشد. نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند گامی مهم، در جهت استفاده کاربردی از بیوچار در احیا و اصلاح مراتع باشد.

استناد: حیدری، فاطمه؛ دیانتی تیلکی، قاسمعلی؛ کوچ، یحیی؛ عبداللهی، مهدی. (۱٤۰۲). بررسی تاثیر بیوچار حاصله از *Azolla filiculoides* بر مشخصه‌های مورفو فیزیولوژیکی گونه *Kochia prostrata* L. تحت تنش خشکی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۸ (۳)، ۱۷-۱.

Doi: 10.30495/iper.2022.1964411.1813

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل تنش‌زای محیطی است که اثرات مخربی بر مراحل رشد و نمو گیاهان، ساختار و فعالیت‌های گیاهی وارد می‌کند که این اثرات در کاهش جذب مواد غذایی توسط ریشه کمک می‌کنند و در نتیجه پتانسیل تولیدی مرتع را کاهش می‌دهند (Blum, 2012). پدیده خشکی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Asadzade, 2006). در سال‌های اخیر به دلیل اهمیت مسئله خشکی و تاثیر زیادی که بر عملکرد اکوفیزیولوژیک، رشد و عملکرد گیاه دارد پژوهش‌های متعددی در مورد آن بر روی گونه‌های مختلف مرتعی همچون علف گوسفندی (*Festuca ovina*)، فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea*) (Tavanapoor et al., 2019). اسپرس درختی (*Taverniera cuneifolia*) (Alvani et al., 2017). سه گونه مرتعی از جنس Bromus در کشور صورت گرفته است (Akhavan Armaki et al., 2012). همچنین پژوهش‌هایی مبنی بر نقش منفی تنش خشکی بر روی رشد گیاهان و میزان زیست‌توده می‌توان یافت (Rizwan et al., 2015; Guzmán et al., 2016).

یکی از راه‌های بسیار مفید در جهت کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی، اتلاف آب از طریق فرونشست – تبخیر و افزایش ذخیره‌سازی آن، استفاده از برخی مواد افزودنی نظیر: کود دامی، بقایای گیاهی، کمپوست و استفاده از مواد جاذب رطوبت (سوپرجاذب) می‌باشد که قابلیت نگهداری و ذخیره سازی آب در خاک را افزایش می‌دهند و در مواقع کم آبی (تنش) در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Polat et al., 2004; Nazarli et al., 2010; Fallahi et al., 2015). بسته به شرایط محیطی هر یک از این مواد می‌توانند نقش مهمی را در روابط آب و خاک ایفا کنند. بهبود عملکرد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش رشد و سلامت گیاهان را باعث می‌شوند (Rajapaksha et al., 2016; Rashti et al., 2019). بیوچار (زغال زیستی)، زغال تهیه شده از ضایعات کشاورزی (کاه و کلش، تفاله و...) و زیست‌توده‌های گیاهی است که در طی فرایند پیرولیز (سوختن کند مواد آلی در شرایط کمبود یا نبود اکسیژن) تولید می‌شود. بیوچار یکی از مهمترین اصلاح کننده‌های خاکی با منشا زیستی (ضایعات و کاه و کلش زیست توده‌های گیاهی و کشاورزی، ، فضولات دامی و طیور و ...) است که به دلیل عدم تجزیه سریع آن در خاک و افزایش و حفظ رطوبت و مواد غذایی در خاک در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Wang et al., 2016). مدت زمان ماندگاری بیوچار در خاک را در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال ذکر کرده اند (Lehman et al., 2003). از دیگر مشخصه‌های بارز بیوچار می‌توان به بالا بودن تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب در خاک اشاره کرد که بسیاری از ویژگی‌های خاک را بهبود می‌بخشد (Sohi, 2010; Agegnehu, 2017). پژوهش‌های متعددی در ارتباط با اثرات مثبت بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه صورت گرفته است اما ضروری است که چگونگی تعامل این ماده با خاک و تاثیر آن‌ها بر مشخصه‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاهان چوبی هم مورد مطالعه قرار گیرد زیرا بررسی این شاخص‌ها می‌تواند به درک عمیق‌تر و ساز و کارهای مرتبط با رشد و سازگاری منجر شود و به عنوان یک معیار مناسب جهت انتخاب محیط‌های مناسب کشت مورد استفاده قرار گیرد (Vemmos, 1994). Abbasnasab و همکاران (۲۰۲۱) اثر بیوچار بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گونه علف پشمکی (*Bromus tomentellus*) و یونجه (*Medicago sativa*) را مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد که بیوچار می تواند اثر مثبتی بر صفات

مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان مرتعی داشته باشد. نتایج تحقیق Tavanapoor و همکاران (۲۰۱۹) به اهمیت بیوچار به عنوان اصلاح کننده ویژگی خاک و بهبود رشد و عملکرد گونه‌های مرتعی *Festuca ovina* و *Festuca arundinacea* تحت تنش خشکی اشاره کردند و دریافتند که بیوچار علاوه بر بهبود شرایط نامساعد ایجاد شده توسط تنش خشکی شده، سبب افزایش مشخصه‌های مورفولوژیک (وزن زیست توده اندام‌های هوایی گیاه، طول ریشه، ارتفاع گیاه) و بهبود شاخص‌های حاصلخیزی خاک (کربن آلی، نیتروژن آلی، تنفس میکروبی، کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و ..) شد. Gavili و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر بیوچار کود گاوی و تنش خشکی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که بیوچار میزان آب مصرفی، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی را کاهش داد در حالی که سبب افزایش هدایت روزنه ای، شاخص سبزینگی و سطح برگ شد.

گونه علف جارو (*Kochia prostrata*) یکی از گونه‌های مهم خانواده تاج خروسیان (*Amaranthaceae*)، متحمل به شوری است و مکانیسم‌های لازم جهت استقرار در مراحل خشک و نیمه خشک را دارا می‌باشد. این گونه مرتعی، منبع خوبی از علوفه دام را از طریق تولید زیست توده با مصرف آب شور فراهم کند. از مهمترین صفات این گیاه می‌توان به: خوش خوراک بودن، ارتفاع بوته، نسبت برگ به ساقه، تعداد ساقه‌های فرعی زیاد و عملکرد علوفه تر و خشک قابل قبول در شرایط تنش شوری اشاره کرد. ریشه این گیاه می تواند تا عمق ۶,۵ متر افزایش یابد. علاوه بر این، این گونه توان رقابتی بالا و سازگاری و رشد سریع در شرایط جدید محیطی دارد که می‌توان این گیاه را به عنوان یک گزینه مناسب برای تولید علوفه مطرح کرد (Nabati et al., 2011). علت انتخاب این گونه در این پژوهش را می‌توان تولید علوفه قابل قبول در شرایط سخت محیطی و کاهش فرسایش (به دلیل سیستم ریشه ای قوی و تولید ساقه‌های فرعی زیاد) به عنوان گزینه مناسب جهت اصلاح و احیا مراتع عنوان کرد.

مطالعات در زمینه تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های کمی و کیفی گونه‌های مرتعی بسیار نادر می‌باشد و از طرفی نتایج حاصل از آزمایش‌های مرتبط با بیوچار بسته به نوع زیست توده بکار رفته، شرایط و دمای پیرولیز و نوع خاک محل آزمایش متفاوت است. در این پژوهش اثرات بیوچار حاصله از *Azolla filiculoides* بر مشخصه‌های مورفوفیزیولوژیکی گونه *kochia prostrata* بررسی گردید. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثر آینده نگری کاربرد بیوچار بر رشد گیاه کوخیا ، صفات مورفولوژیکی ریشه، خواص فیزیولوژیکی، در شرایط خشکی انجام شد. خشکی و کم آبی در ایران از مهم ترین مسائل و مشکلات کشاورزی، مرتع می باشد. تحقیق حاضر بر افزایش تحمل گونه علف جارو به تنش خشکی تاکید دارد که کاربرد بیوچار در بهبود مشخصه‌های مورفوفیزیولوژی گونه‌های گیاهی و مشخصه‌های خاکی و تعدیل آثار تنش می تواند در بحث احیا و اصلاح مراتع به عنوان یک مدیریت مناسب محسوب شود. لذا شناسایی گیاهان و ارقام با مقاومت بالا در برابر تنش خشکی و همچنین بکارگیری موادی چون بیوچار از مهم ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی است و هدف از این بررسی اثر بیوچار بر مشخصه‌های مورفوفیزیولوژی گونه علف جارو در شرایط تنش آبی است.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش: این پژوهش در سال ۱۳۹۹ با هدف بررسی اثرات سطوح مختلف بیوچار تحت شرایط تنش خشکی بر مشخصه‌های

مورفوفیزیولوژیک گونه جارو علفی (*Kochia prostrata*) اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس به اجرا درآمد. بذر گونه مورد مطالعه از مناطق رویشی گونه *K. Prostrata* که در ۲۰ کیلومتری آمل مسیر جاده هراز شناسایی شده و پس از رسیدن بذر از مراتع روستای امامزاده حسن لهاش که دارای ارتفاع از سطح دریا حدود (۱۳٤۸ متر) و بارندگی متوسط سالانه (۳۲۰ میلی‌متر) و درجه حرارت متوسط سالانه ٦/۸ درجه سانتی گراد به مقدار کافی جمع آوری گردید.

تولید بیوچار: بیوچار حاصل از *Azolla filiculoides* از مرداب‌های بندر انزلی تهیه گردید و به آزمایشگاه کیفیت علوفه مرتع دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد و پس از شستشو و تمیز سازی آزولا مرحله خشک شدن آزولا صورت گرفت و جهت انجام فرآیند پیرولیز به شرکت الماس فجر کیاسر منتقل شد. بیوچار مورد استفاده از گیاه آبزی آزولا در شرایط محدود اکسیژن با دمای پیرولیز ٤۸۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ٤٥ دقیقه در کوره پیرولیز قرار گرفت، با اندازه ذرات کمتر از دو میلی‌متر از کارخانه الماس فجر تهیه گردید. ویژگی‌های شیمیایی بیوچار مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: ویژگی‌های شیمیایی بیوچار مورد استفاده

ویژگی‌بیوچار	pH	Ec	کربن	نیتروژن	مواد آلی	خاکستر	هیدروژن	پتاسیم
مقدار		دسی زیمنس بر متر		درصد				
	۷/۷٥	۲/٥۲	۰/۳۱	۰/۲۳	٥۳/٦	۳٥	۲/۲۱	۰/٤۷

کاشت بذر و اعمال تیمار: نمونه‌های خاکی به صورت تصادفی از ایستگاه تحقیقاتی مرتع پشرت با مختصات جغرافیایی (مختصات جغرافیایی ٥۳° و ٤٥' و ٤۸,۸۰" تا ٥۳° و ٤۷' و ۱۷,۱۲" طول شرقی و ۳٦° و ۲۹' و ٥۱,۷۲" تا ۳٦° و ۱٥' و ۳,٦٤" عرض شمالی) از عمق ۰-۳۰ سانتی¬متری برداشت و به آزمایشگاه خاک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. از گلدان‌هایی با قطر تقریبی ۱٥سانتی‌متر و ارتفاع ۱٥سانتی‌متر استفاده شد. سپس بذور گونه مورد مطالعه به تعداد ۲٥ عدد بذر در هر یک از گلدان‌ها با ۲٥۰۰ گرم خاک بستر پر شده بود، در گلخانه مرتعداری دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس با موقعیت جغرافیایی (۳٦,٥۲° طول شرقی و ٥۲,۰٤° عرض شمالی) و ارتفاع از سطح دریا ۱۸- متر کاشت شدند. با تیمار بیوچار آزولا در سطوح صفر، ٥، ۱٥ و ۳۰ گرم (۰، ۰/۲۰، ۰/٦ و ۱/۲۰) درصد حجم گلدان در ۳ تکرار مخلوط شدند. (Xu et al., 2015). از همان ابتدا کار (پس از کشت بذرها) تنش اعمال شد.

تنش خشکی در چهار سطح مختلف به‌ترتیب شاهد، تنش ملایم، تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب ۱۰۰، ۷٥، ٥۰ و ۲٥ درصد ظرفیت زراعی اعمال گردید. جهت تعیین و اعمال تنش خشکی، تعیین دو نقطه پتانسیلی مهم خاک (ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی) نیاز می باشد .برای این منظور اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری خاک، درصد ذرات و بافت خاک با استفاده از منحنی شاخص رطوبتی نمونه خاک مورد مطالعه مشخص شد (Saxton et al., 1986). جهت کنترل رطوبت خاک در هر گلدان و اعمال تیمار خشکی از روش وزن مرجع عمل شد، به این صورت که با تعیین رطوبت خاک مشخص (۱۰۰

گرم بستر خاک گلدان به مدت ٢٤ ساعت در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد قرار داده شد و سپس توزین شده و از اختلاف وزن نمونه خاک اولیه از خاک ثانویه تقسیم بر خاک ثانویه، درصد رطوبت خاک به دست آمد) و میزان خاک خشک و تعیین رطوبت قابل دسترس خاک، وزن این میزان آب، وزن گلدان، وزن نهال (بذر)، وزن مرجع برای سطوح تنش خشکی مشخص و با توزین گلدان‌ها و براساس اختلاف از وزن مرجع تعیین شده به هر یک از گلدان‌ها آب داده شد (Dianatitilaki, et al., 2016).

مشخصه‌های بافت خاک (شن، رس و سیلت) با استفاده از روش هیدرومتری سنجش شد (Bouyoucos, 1962). مقدار نیتروژن و کربن خاک به‌ترتیب از روش کجلدال و والکی بلک اندازه‌گیری شدند (Bremnner and Mulvaney 1982; Walkley and Black, 1934). منیزیم، پتاسیم و کلسیم قابل جذب از روش عصاره گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شدند (Bower et al., 1952). واکنش خاک (pH) با استفاده از دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی خاک از طریق گل اشباع بدست آمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

شن	رس	سیلت	بافت	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی	Ec	pH	کربن آلی	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	منیزیم قابل جذب
درصد				درصد حجمی		میکروزیمنس بر سانتی متر		درصد			(پی پی ام)	
٤٤	٢٦	٣٠	لومی	١٩/٩	١٠/٨	١٣٧/٧	٨/٢٤	٠/٧٢	٠/٠٥٥	١٦	٢١١/٦٦	٢/١٦

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژی: اندازه‌گیری میزان تبادلات گازی برگ از قبیل فتوسنتز[1]، تعرق[2] و هدایت روزنه‌ای[3] (هر یک ده تکرار) توسط دستگاه پرتابل اندازه‌گیری تبادلات گازی Model LCpro+, ADC (BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK) در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا در روز آفتابی و بدون ابر آزمایش انجام شد.

برای اندازه‌گیری پتانسیل آبی گیاه[4] (Ψ) از دستگاه Pressure chamber, Skye, SKPM 1400, UK استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری پتانسیل آبی از هر تکرار ۲ نهال و از هر نهال ۵ برگ از توسعه یافته‌ترین برگ‌ها استفاده شد. اندازه‌گیری این پارامتر هم همانند سایر پارامترهای فیزیولوژی گیاه در یک روز آفتابی و از ساعت ۱۱-۹/۵ انجام شد (Xiaoling et al., 2011).

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژی و رشد گونه *Kochia prostrata*: در انتهای دوره آزمایش، پارامترهای مورفولوژی از قبیل ارتفاع گیاه، زیست توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی، طول ریشه اندازه گیری شد .ارتفاع گیاهان (از ناحیه یقه) به وسیله خط کش اندازه گیری شد. همچنین در انتهای آزمایش، از هر تیمار ، سه تکرار جهت اندازه گیری زیست توده اندام‌های هوایی و زمینی، طول ریشه از گلدان‌ها خارج شد. بعد از بیرون آوردن گیاهان از گلدان، برای اندازه گیری زیست توده هوایی، گیاهان از قسمت یقه قطع و سپس ریشه‌ها را از خاک خارج کرده و پس از شست و شوی ریشه و تمیز کردن آن از خاک، طول

[1] Net photosynthesis rate
[2] Transpiration
[3] Stomata conduntance
[4] Water potential

ریشه به وسیله خط کش اندازه گیری شد. پس از آن جهت اندازه گیری زیست توده اندام‌های هوایی و ریشه‌ها در آون دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ٤٨ ساعت (قرار داده شد و بعد از توزین با ترازوی دیجیتال) با دقت ۰,۰۰۱گرم اندام‌های هوایی و زمینی تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل و همچنین مقایسه داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو ویلک و همگنی واریانس با آزمون لون تست گردید. به منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مورد مطالعه در ارتباط با تیمار بیوچار و تنش خشکی اعمال شده، از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به منظور مقایسه چندگانه میانگین به کار گرفته شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری در بسته نرم افزاری SPSS نسخه ۲۲ انجام پذیرفت.

نتایج

مشخصه‌های فیزیولوژی گونه *Kochia prostrata*

فتوسنتز: مشاهدات بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، بیانگر آن است که اثر بیوچار و اثرات متقابل بیوچار × تنش خشکی (در سطح یک درصد) بر روی مشخصه فتوسنتز تاثیر معنی داری داشت در حالی که تنش خشکی بر این مشخصه اثر معنی داری را نشان نداد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به اثر متقابل بیوچار (۳۰ گرم) و تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین۰/۹۱ میکرومول دی اکسید کربن در متر مربع در ثانیه بوده است (شکل ۱). نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد بیوچار سبب افزایش میزان فتوسنتز می شود در حالی که تنش خشکی اثر معنی داری را بر فتوسنتز گونه مورد مطالعه نشان نداد (جدول ۳).

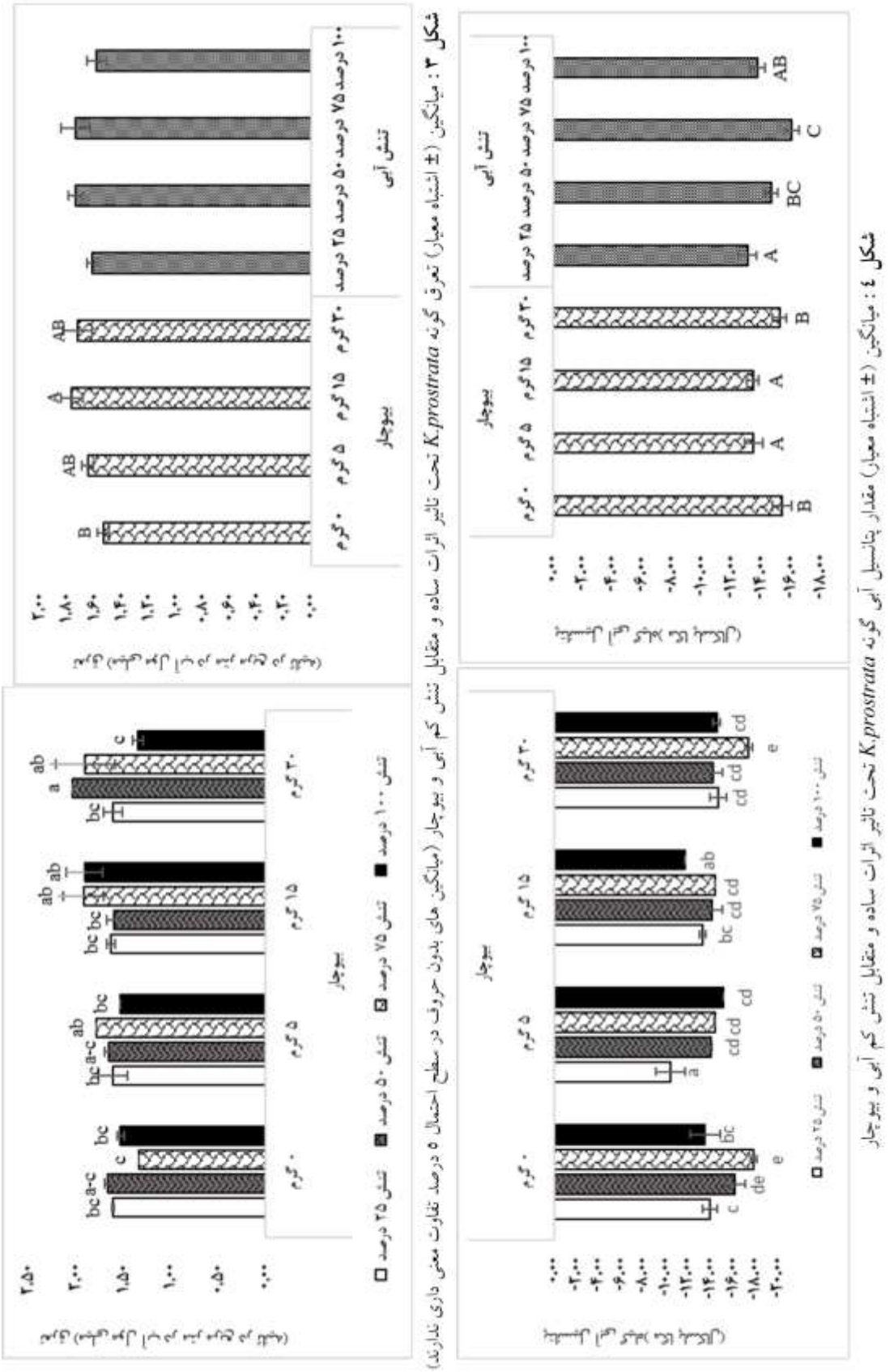
هدایت روزنه‌ای: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای بیوچار واثرات متقابل بیوچار × تنش خشکی (در سطح یک درصد) بر مشخصه هدایت روزنه ای معنی دار بود در حالی که اثر تیمار تنش خشکی معنی دار نشد (جدول ۳). در بین سطوح بیوچار بیشترین میزان هدایت روزنه ای مربوط به تیمار بیوچار ۳۰ گرم با میانگین ۰/۰۷۹ میلی مول آب بر متر مربع بر ثانیه به دست آمد که با سطوح بیوچار ۱۵ گرم تفاوت معنی‌داری را نشان داد و کمترین میزان هدایت روزنه ای از تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) حاصل گردید (شکل ۲).

تعرق: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش شده نشان داد که کاربرد بیوچار باعث افزایش تعرق گردید. بیشترین میزان تعرق از ترکیب تیمار ۱۵ گرم بیوچار با میانگین ۱/۷٦۹ میلی مول آب در متر مربع در ثانیه به دست آمد (شکل ۳). اثرات متقابل بیوچار و تنش خشکی (در سطح یک درصد) و اثر ساده بیوچار (در سطح ۵ درصد) توانست تاثیر معنی‌داری را بر این متغیر داشته باشد در حالی‌که اثر تنش خشکی بر این متغیر معنی‌دار نبود (جدول۳).

پتانسیل آبی گیاه: اثرات اصلی تنش خشکی و بیوچار و اثرات متقابل بیوچار × تنش خشکی در سطح یک درصد تاثیر معنی داری بر مشخصه پتانسیل آبی گیاه معنی داشتند (جدول ۳). پتانسیل آبی گیاه تحت تیمار ۵ و ۱۵ گرم بیوچار کاهش پیدا کرد. بیشترین میزان پتانسیل آبی مربوط به تیمار تنش خشکی ۷۵ درصد بدون حضور بیوچار با میانگین ۱۷/۸۳- مگاپاسکال است و کمترین این میزان مربوط به تیمار تنش ۲۵ درصد با بیوچار ۵ گرم با میانگین ۱۰/۳٦- مگاپاسکال گزارش شده است (شکل ٤).

شکل ۱: میانگین (± اشتباه معیار) مقدار فتوسنتز گونه *K.prostrata* تحت تاثیر تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار (میانگین های بدون حروف در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند)

شکل ۲: میانگین (± اشتباه معیار) شاخص هدایت روزنه ای گونه *K.prostrata* تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار (میانگین های بدون حروف در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند)



شکل ۳: میانگین (± اشتباه معیار) تعرق گونه *K.prostrata* تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار (میانگین های بدون حروف در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند)

شکل ٤: میانگین (± اشتباه معیار) مقدار پتانسیل آبی گونه *K.prostrata* تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار

جدول ۳: تجزیه واریانس اثرات یک طرفه و متقابل بیوچار و خشکی بر مشخصه‌های فیزیولوژی گونه *K. prostrata*

مشخصه	بیوچار			تنش آبی			بیوچار × تنش آبی		
فیزیولوژی گیاه	درجه آزادی	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مقدار F	میانگین مربعات
فتوسنتز	۳	۲۲۸/۱۷۰**	۰/۳٦۸	۳	۲/٤۲٥ ns	۰/۰۰٤	۹	٦/۸۱٥**	۰/۰۱۱
پتانسیل آبی گیاه	۳	۱۰/۲۷۲**	۱۳/٦۹٥	۳	۱٤/٥٤۱**	۱۹/۳۸٦	۹	٤/۳۳٦**	٥/۷۸۱
تعرق	۳	۳/۳۲۱*	۰/۰۱۳	۳	۲/٤۹۸ ns	۰/۰۱۰	۹	٤/۳٦۳**	۰/۰۱۷
هدایت روزنه ای	۳	۷/۳۱٥**	۲۹/۹۳٤	۳	۰/٦۷٤ ns	۲/۷٥۸	۹	٤/۳۷۰**	۱۷/۸۸٥

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. *: معنی‌داری در سطح ۰/۰٥ ns: عدم تفاوت معنی‌دار

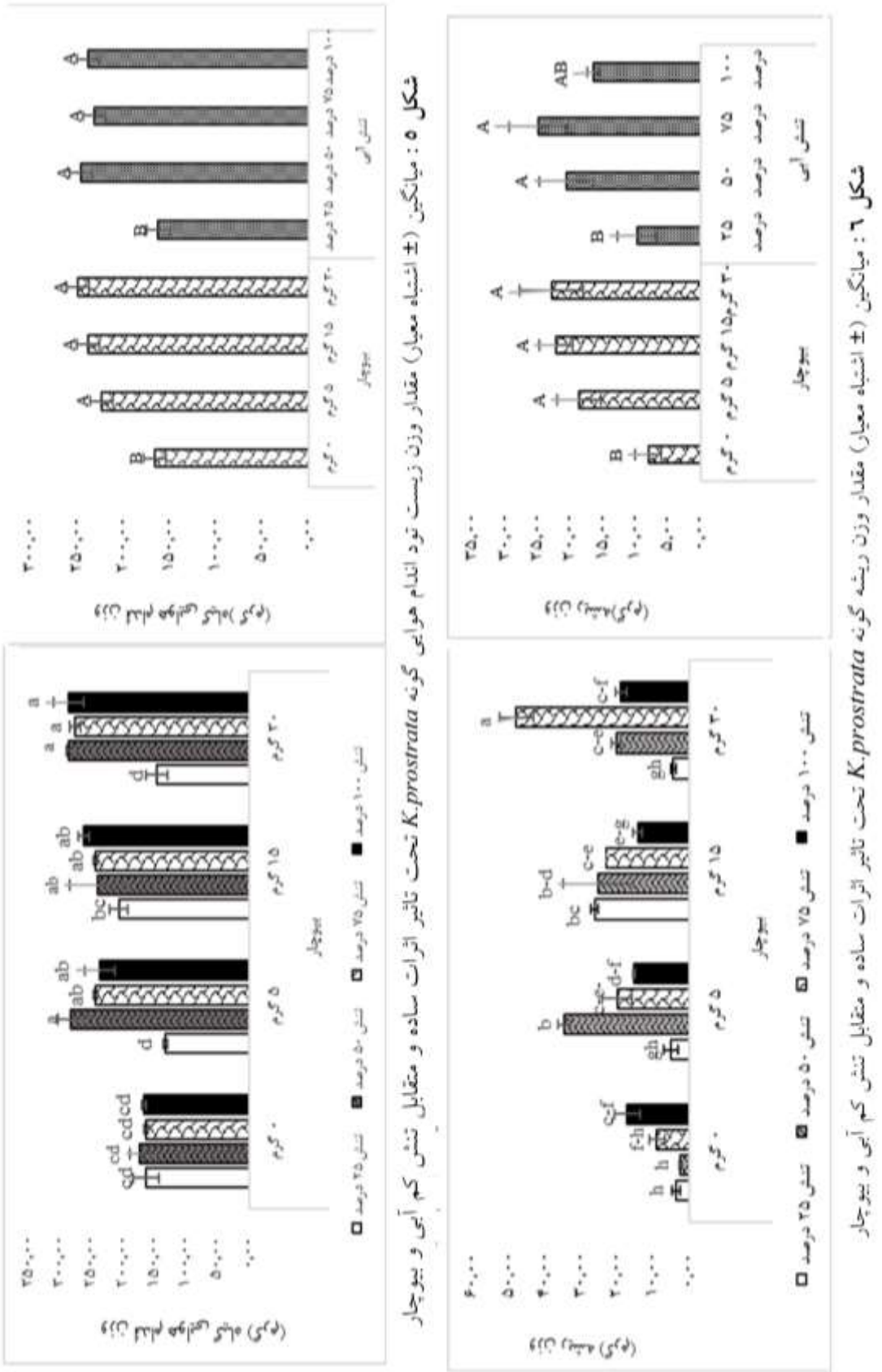
مشخصه‌های مورفولوژیک گونه *Kochia prostrata*

زیست توده اندام هوایی گیاه: اثرات اصلی بیوچار و تنش خشکی در سطح یک درصد و اثر متقابل بیوچار × تنش خشکی در سطح پنج درصد بر مشخصه زیست توده اندام هوایی گونه مورد مطالعه اثر معنی‌داری را نشان دادند(جدول ٤). کمترین میزان زیست توده اندام هوایی با میانگین ١٦٦/٦٦ گرم مربوط به تیمار بدون بیوچار و بیشترین میزان با میانگین ٢٤٩/١٦ گرم مربوط به تیمار بیوچار ۳۰ گرم بود. کمترین میزان وزن زیست توده اندام گیاهی تحت تنش رطوبتی مربوط به تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین ١٦٢/٥٠ گرم بود و بیشترین میزان وزن زیست توده اندام هوایی گیاه از ترکیب تیمار ۳۰ گرم و بدون تنش با میانگین ٢٨٦/٦٦ گرم به دست آمد (شکل٥).

وزن زیست توده ریشه: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی نشان داد که کاربرد بیوچار سبب افزایش زیست توده ریشه گردید. اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارهای بیوچار و تنش خشکی در سطح یک درصد بر مشخصه زیست توده ریشه معنی دار بود. بیشترین میزان زیست توده ریشه مربوط به تیمار بیوچار ۳۰ گرم با سطح رژیم رطوبتی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ٤٨ گرم به دست آمد (شکل ٦).

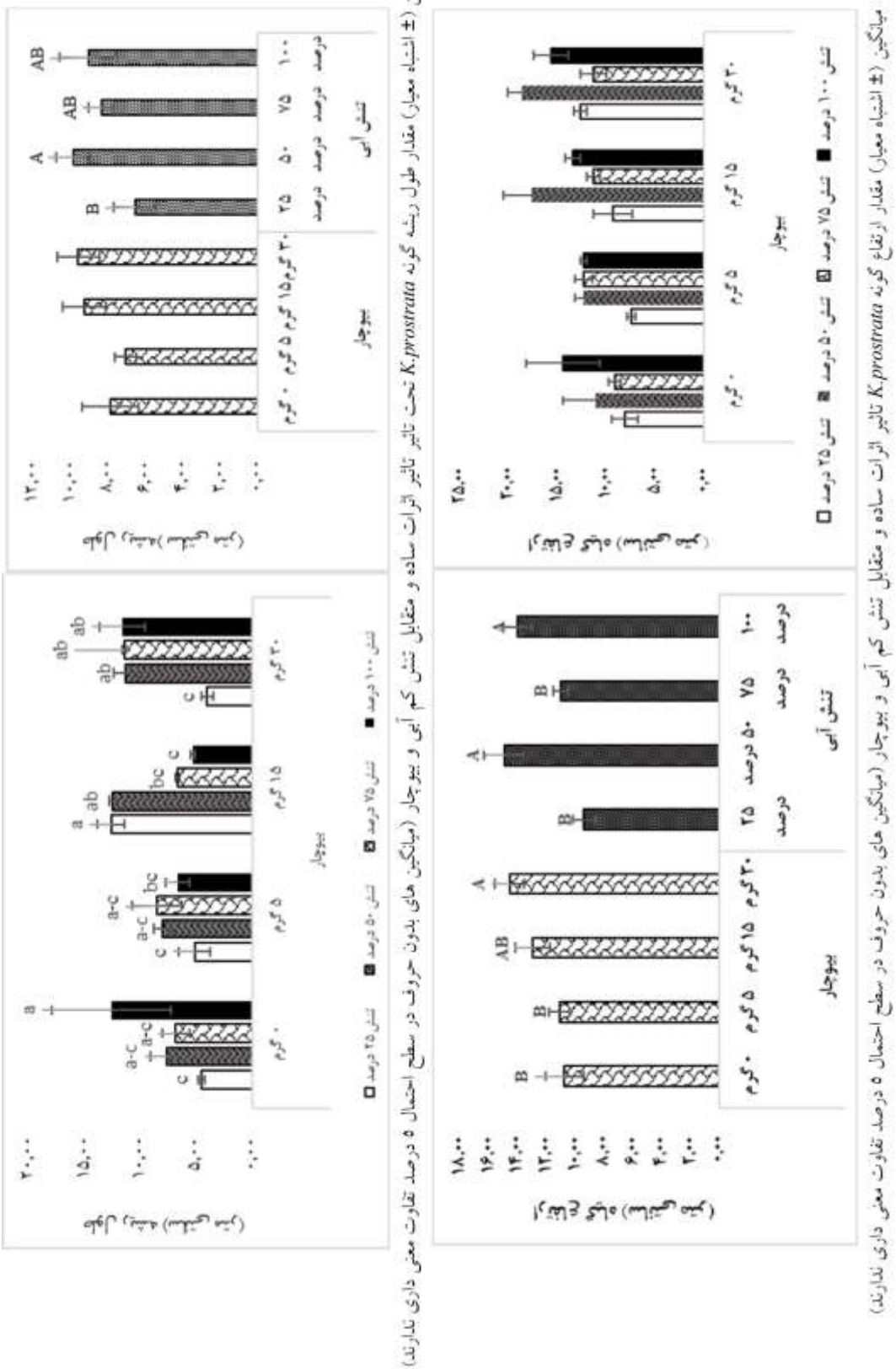
طول ریشه: اثرات اصلی تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی × بیوچار در سطح یک درصد تاثیر معنی داری بر متغیر طول ریشه داشت در حالی که اثر اصلی بیوچار بر این متغیر معنی‌دار نبود (جدول ٤). بیشترین مقدار طول ریشه مربوط به نمونه شاهد (بدون بیوچار و بدون تنش) با میانگین ١٢/٦٦ سانتی متر حاصل گردید و کمترین مقدار طول ریشه هم مربوط به تیمار ترکیب تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) با تیمار بیوچار ۳۰ گرم با میانگین ٤ سانتی متر به دست آمد (شکل ۷).

ارتفاع گیاه: با توجه به جدول ٤، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی بیوچار (در سطح ٥ درصد) و تنش خشکی (در سطح یک درصد) اثر معنی‌داری بر مشخصه ارتفاع گیاه داشت در حالی که اثر متقابل بیوچار × تنش خشکی بر این مشخصه معنی دار نبود (جدول٤). در بین سطوح رژیم رطوبتی بیشترین میزان ارتفاع گیاه با میانگین ١٨/٦٦ سانتی متر مربوط به تیمار ٥٠ درصد ظرفیت زراعی و بیوچار ۳۰ گرم و کمترین میزان ارتفاع با میانگین ۷/٤۳ سانتی متر مربوط به تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و بیوچار ٥ گرم حاصل گردید (شکل ۸).



شکل ۵ : میانگین (± اشتباه معیار) مقدار وزن زیست توده اندام هوایی گونه *K.prostrata* تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار

شکل ۶ : میانگین (± اشتباه معیار) مقدار وزن ریشه گونه *K.prostrata* تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار



شکل ۸ میانگین (± اشتباه معیار) مقدار ارتفاع گونه *K.prostrata* تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار (میانگین های بدون حروف در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند)

شکل ۷. میانگین (± اشتباه معیار) مقدار طول ریشه گونه *K.prostrata* تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تنش کم آبی و بیوچار (میانگین های بدون حروف در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند)

جدول ٤: تجزیه واریانس اثرات یک طرفه و متقابل بیوچار و خشکی بر مشخصه‌های مورفولوژی گونه *K. prostrata*

مشخصه‌های مورفولوژی	بیوچار			تنش آبی			تنش آبی ×بیوچار		
	درجه آزادی	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مقدار F	میانگین مربعات
ارتفاع گیاه	۳	٤/۲۷۹*	۲/٥۷۰	۳	۷/۹۹۷**	٤/۸۰٤	۹	۱/۰٤۷ns	۰/٦۲۹
طول ریشه	۳	۲/۸٤۰ns	۱/۲۸۱	۳	٥/۳٥۲*	۲/٤۱۳	۹	٥/۲۹۷**	۲/۳۸۸
زیست توده اندام هوایی گیاه	۳	۱۱/۱٦٥**	۱۳۰۲۳/۲۳۹	۳	۱٥/۳۷۷**	۱۷۹۳٦/٥٤۸	۹	۲/٥۳۸*	۲۹٦۰/۳٤۹
زیست توده ریشه	۳	۲٥/۹۰۳**	۱۰/۰٦۰	۳	۲۱/۲۱٤**	۸/۲۳۹	۹	۱۳/٥۱۱**	٥/۲٤۷

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. *: معنی‌داری در سطح ۰/۰٥ ns: عدم تفاوت معنی‌دار

بحث

مشخصه‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گونه *Kochia prostrat*

تحت تیمار بیوچار: در این بررسی تحت شرایط تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. در حالی که بیوچار به افزایش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق کمک کرد . اختلال در گرادیان رطوبتی گیاه و اختلال در جذب آب بر اثر کاهش هدایت روزنه‌ای یا بسته شدن روزنه‌ها سبب کاهش رشد گیاه گردید (Nohong and Nompo, 2015). گیاه تحت شرایط تنش به منظور مقابله با اثرات منفی تنش خشکی, هدایت روزنه ای را کاهش داده تا از تشدید شرایط تنش و تبخیر بیشتر آب جلوگیری کند که مطابق با نتایج (Akhtar et al., 2014) می‌باشد.

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که سرعت فتوسنتز تحت تنش خشکی تغییر معنی داری را نشان نداد که علت این امر را می توان به مقاومت و سازگاری این گیاه به تنش خشکی نسبت داد. کاربرد بیوچار تحت تنش سرعت فتوسنتز گیاه را بالا برد که نتایج ما همسو با نتایج Abbasnasab و همکاران (۲۰۲۱) بر روی گونه یونجه (*Medicago sativa*) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus*) می باشد.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که پتانسیل آبی گیاه با افزایش شدت تنش کاهش یافت و اعمال بیوچار در دو سطح ۵ و ۱۵ گرم سبب کاهش کاهش پتانسیل آبی گیاه شده است که نتایج ما همسو با نتایج Tavanapoor و همکاران (۲۰۱۹) نیست.

در تحقیق حاضر کمترین میزان سرعت تعرق تحت تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) با میزان ۱/٦۱ میلی مول آب بر متر مربع بر ثانیه گرید که این کاهش نشان دهنده کاهش تعرق با افزایش شدت تنش است که مطابق با نتایج Abbaspour و Rezaei (۲۰۱٤) است. بسیاری از محققان اظهار داشتند که کاهش سرعت تبادل گازی به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای در طی اعمال تنش خشکی ایجاد می‌شود و در نتیجه کاهش سرعت تعرق را در پی دارد. زمانی که گیاه تحت تنش خشکی و کمبود آب قرار می‌گیرد پتانسیل آب برگ به علت بسته شدن روزنه‌ها کاهش پیدا می کند و همین امر سرعت تعرق را کاهش می‌دهد (Fateh, 2012). نتایج حاصل از این تحقیق به نقش مثبت بیوچار در افزایش

تبادلات گازی اشاره دارد که نتایج حاصل از تحقیق حاضر همسو با نتایج Akhtar و همکاران (۲۰۱۵) بر روی گونه گندم است.

در پژوهش اخیر، تنش موجب کاهش شدید وزن زیست توده اندام هوایی گیاهی شد، در این رابطه نتایج Tavanapoor و همکاران (۲۰۱۹) و Zoghi و همکاران، (۲۰۱۹) موید این مطلب بود که با اعمال تنش خشکی وزن زیست توده اندام هوایی گیاه کاهش یافت. در واقع دلیل این کاهش را می توان به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش انتقال مواد به گیا و ... نسبت داد که با نتایج Rodrigues و همکاران(۲۰۱۰) منطبق است. در این بررسی با اعمال اصلاح کننده بیوچار وزن زیست توده اندام هوایی گونه جارو علفی (*K.prostrata*) در شرایط تحت تنش و بدون تنش افزایش یافت.نتایج Tavanapoor و همکاران (۲۰۱۹) و Zoghi و همکاران، (۲۰۱۹)، Saxena و همکاران (۲۰۱۳) و Carter و همکاران (۲۰۱۳) موید این مطلب است که افزودن اصلاح کننده بیوچار علاوه بر بهبود مشخصه مورفولوژیکی (وزن زیست توده اندام هوایی) در کاهش و تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش خشکی نقش بسزایی دارد.

در مطالعه کنونی ارتفاع گیاه در تیمار تنش خشکی کاهش یافت ولی کاربرد بیوچار سبب کاهش اثر تنش بر این ویژگی شدند. محققان اعلام کردند که بیوچار با دسترس قرار دادن مواد غذایی در اختیار گیاه و افزایش میزان نگهداشت آب در خاک سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Rehman et al., 2016). نتایج حاصل با نتایج Tavanapoor و همکاران (۲۰۱۹) در گونه‌های فستوکای پابلند *Festuca arundinacea*، گونه علف گوسفندی *Festuca ovina*، Zoghi و همکاران (۲۰۱۹) بر ارتفاع نهال بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M)، Abbasnasab و همکاران (۲۰۲۱) بر روی ارتفاع گونه‌های علف پشمکی (*Bromus tomentellus*) و یونجه (*Medicago sativa*) مطابقت داشت. به نظر می رسد رابطه مثبتی بین رشد گیاه و بیوچار اضافه شده به سطح خاک وجود دارد (Bhattarai et al., 2015). در واقع اثرات مثبتی که بیوچار بر عملکرد محصول و رشد گیاه دارد عمدتا مربوط به بهبود وضعیت نگهداری آب در خاک و افزایش دسترسی به مواد مغذی بیشتر است (Jeffery et al., 2011; Hossain et al., 2011).

طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، بیوچار بر طول ریشه گونه *K. prostrata* تاثیر معنی‌داری ندارد هر چند که با افزایش دوز بیوچار طول ریشه هم افزایش پیدا کرده است که با گزارش Olmo و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت داشت که علت تغییر در مورفولوژی ریشه در اثر کاربرد بیوچار را می توان به دلیل تغییر در مشخصه‌های خاکی نسبت داد (Olmo et al., 2016) و تحت تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) طول ریشه کاهش یافت.

در پژوهش اخیر تنش موجب کاهش زیست توده ریشه شد. در این رابطه نتایج Abbasnasab و همکاران (۲۰۲۱) بر روی گونه یونجه (*Medicago sativa*) موید این مطلب بود که با افزون بیوچار زیست توده ریشه گیاه افزایش پیدا می کند که با نتایج تحقیق Van Zwieten و همکاران (۲۰۱۰) بر روی گونه‌های گیاهی مورد آزمایش تربچه (*Raphanus sativus*)، گندم (*Triticum aestivum*) و سویا (*Sorghum bicolor*) منطبق است. چگونگی تاثیرات بیوچار بر گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های آن به عوامل مختلفی مانند: شرایط تولید بیوچار و پیرولیز آن، نوع مواد اولیه بیوچار، میزان مصرف آن، نوع گونه گیاهی و ویژگی‌های خاک و شرایط محیط بستگی دارد (Chan et al., 2012; Schulz et al., 2012; Jeffery et al., 2009).

نتیجه‌گیری نهایی

در پژوهش صورت گرفته می توان اظهار داشت که تنش خشکی سبب کاهش مشخصه‌های مورفولوژی و فیزیولوژی (بجز مشخصه پتانسیل آبی گیاه) گونه *K.prostrata* در این تحقیق شد. این در حالیست که افزودن اصلاح کننده بیوچار به خاک نه تنها سبب بهبود مشخصه‌های ذکر شده شد بلکه اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش داد. در کل بیوچار با بهبود شرایط نامساعد ایجاد شده توسط تنش خشکی توانست نقش مهمی را ایفا کند. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در ارتباط با تاثیر بیوچار بر مشخصه‌های مورفوفیزیولوژیک گونه مورد مطالعه می توان این نتیجه را گرفت که تیمار بیوچار ۱۵ گرم در بین سطوح مختلف عملکرد بهتری را نشان داده است که می تواند مقدار مناسبی برای افزایش کارایی گونه مورد مطالعه باشد. لذا با عنایت به نتایج به دست آمده از این پژوهش می توان پیشنهاد نمود که استفاده از بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک می‌تواند یک استراتژی ارزشمند برای تضمین ثبات عملکرد و رشد طبیعی گیاه در شرایط کوتاه مدت کمبود آب و مناطق نیمه خشک محسوب شود. در نهالستان‌های مناطق کم باران به منظور بهبود ویژگی‌های رویشی و عملکرد نهال‌های گونه کوخیا از تلفیق بیوچار با خاک جهت بهبود مشخصه‌های رشد استفاده نمود.

References

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): 145-156.

Abbaspour, H. and Rezaei, H. (2014). Effect of Gibberellic Acid on Hill Reaction Rate, Photosynthetic Pigments and Phenolic Compounds in *Dracocephalum moldavica* L. under Drought Stress Conditions. Journal of Plant Research. 27(5):893-903

Agegnehu, G., Srivastava, A. K., and Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. Journal of Applied Soil Ecology. 119: 156-170.

Akhavan Armaki, M., Azarnivand, H., Asareh, M., Jafari, A., and Tavili, A. (2012). Effects of water stress on germination indices in three species of Bromus. Iranian Journal of Range and Desert Research 18(4): 558-568. doi: 10.22092/ijrdr.2012.102192

Akhtar, S. S., Andersen, M. N. and Fulai, L. (2015). Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress, Journal of Agricultural Water Management 158: 61-68.

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

Alvani, F., and Dianati Tilaki, G., and SADATI, E. (2017). The effects of priming with acid ascorbic on physiological traits of *Taverniera cuneifolia* seeds under drought stress. Journal of Rangeland. 11(3): 294-305.

Asadzadeh, A., (2006). The effect of using superabsorbent hydrogels in reducing the drought stress of olive fruit trees, 160p.

Bhattarai, B., Neupane, J., Dhakal, S. P., Nepal, J., Gnyawali, B., Timalsina, R. and Poudel, A. (2015). Effect of Biochar from different origin on physio-chemical properties of soil and yield of garden pea (*Pisum sativum* L.) at Paklihawa, Rupandehi. Nepal World Journal of Agricultural Research 3: 129-138.

Blum, A., (2011). Plant water relations, plant stress and plant production, pp. 11-52.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. International Journal of Agronomy. 54(5): 464-465.

Bower, C.A., Reitemeier, R.F., and Fireman, M., (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Journal of Soil Science. 73: 251–262.

Bremnner, J.M., and Mulvaney, C.S., (1982). Nitrogen-total. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (Methodsofsoilan2). 595–624 pp.

Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., and Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (Brassica chinensis). International Journal of Agronomy. 3(2): 404-418.

Chan, K. Y., and Xu, Z. (2012). Biochar: nutrient properties and their enhancement. In Biochar for environmental management. Routledge. (99-116pp)..

Dianatitilaki G, Pichand M, and Sadati S E. (2016). Effects of drought stress and seed hydro-priming on some morphological, physiological and biochemical traits of *Cymbopogon olivieri* Boiss. Journal of Rangeland. 9(4): 304-318. https://www.sid.ir/en/journal/ ViewPaper.aspx?id=568243

Fallahi, H. R., Kalantari, R. T., Aghhavani-shajari, M., and Soltanzade, M. G. (2015). Effect of super absorbent polymer and irrigation deficit on water use efficiency, growth and yield of cotton. Journal of Notulae Scientia Biologicae. 7(3): 338-344.

Fateh, H., Siosemardeh, A., Karimpoor, M. and Sharafi, S. (2012). Effect of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of barley. International Journal Farming and Allied Science. 1(2): 33-41.

Gavili, E., and Mousavi, S., and Kamgar haghighi, A. (2016). Effect of Cattle Manure Biochar and drought Stress on the growth characteristics and water use efficiency of spinach under greenhouse conditions. Iranian journal of water research in agriculture (formerly soil and water science). 30(2): 243-259.

Guzmán, C., Autrique, J. E., Mondal, S., Singh, R. P., Govindan, V., Morales-Dorantes, A., and Peña, R. J. (2016). Response to drought and heat stress on wheat quality, with special emphasis on bread-making quality, in durum wheat. Journal of Field Crops Research. 186: 157-165.

Hossain, A., Sarker, M. A. Z., Hakim, M. A., Lozovskaya, M. V. and Zvolinsky, V. P. (2011). Effect of temperature on yield and some agronomic characters of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. International Journal of Agricultural Research Innovation and Technology 1: 44-54.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M. and Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 144: 175-187.

Lehmann J., da Silva J.P., Jr C., Steiner C., Nehls T., Zech W., and Glaser B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Journal of Plant and Soil, 249:343–357.

Nabati, J., and Kafi, M., and Rezvani Moghadam, P., and Masoumi, A., and Zare wehrjerdi, M. (2011). Effect of Salinity on Morphological characteristics, yield and yield components of Kochia (*Kochia Scoparia* L.). Iranian journal of field crop science (Iranian journal of agricultural°sciences). 42(2): 735-743. https://www.sid.ir/en/journal /ViewPaper. aspx?id=262093

Nazarli, H., Zardashti, M. R., Darvishzadeh, R., and Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. Journal of Notulae Scientia Biologicae. 2(4): 53-58.

Nohong, B. and Nompo, S. (2015). Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. American Merican-eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 9(5): 14-21.

Olmo, M., Villar, R., Salazar, P. and Alburquerque, J. A. (2016). Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. Journal of the Plant Soil 399: 333-343

Polat, E., Karaca, M., Demir, H., and Onus, A. N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 12(1): 183-189.

Rajapaksha A.U., Chen S.S., Tsang D.C., Zhang M., Vithanage M., Mandal S., Gao B., and Bolan N.S., Ok Y.S. (2016). Engineered / designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. . Journal of Chemosphere, 148:276–291.

Rashti, M. R., Esfandbod, M., Phillips, I. R., and Chen, C. (2019). Biochar amendment and water stress alter rhizosphere carbon and nitrogen budgets in bauxite-processing residue sand under rehabilitation. Journal of Environmental Management. 230: 446-455.

Rehman, M.Z.U., Rizwan, M., Ali, S., Fatima, N., Yousaf, B., Naeem, A., Sabir, M., Ahmad, H.R. and Ok, Y.S., (2016). Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (*Zea mays* L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake Journal of. Ecotoxicology and Environmental Safety, 133:218-225.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S. A. and Abbas, F. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. Journal of Environmental Science and Pollution Research. 22(20): 15416-15431.

Rodrigues, J. G., P. M J. Edvardo, B. Forner, and F. Angeles. (2010). Citrus rootstock response to water stress. Journal of Scientia Horticulturae. 126: 95-102.

Saxena, J., Rana, G., and Pandey, M. (2013). Impact of addition of biochar along with Bacillus sp. on growth and yield of French beans. Journal of Scientia Horticulturae.162: 351-356.

Saxton, K. E., Rawis, W. J., Romberger, J. S., papendick, R. I., (1986). Estimating Generalized Soil-Water Characteristics from Texture, Journal of Soil Science Society of America, 50 (4): 1031-1036.

Schulz, H. and Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175: 410-412.

Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., and Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. Journal of Advances in Agronomy. 105: 47-82.

Tavanapoor, R, Dianatitilaki G., and Abedi, M. (2019). Influence of Biochar on soil characteristics and drought tolerance of two species *Festuca ovina* L. and *Festuca arundinacea* Schreb. M.Sc. thesis, Department of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J. and Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Journal of Plant and Soil. 327(1): 235-246.

Vemmos, S. N. (1994). Net photosynthesis, stomatal conductance, chlorophyll content and specific leaf weight of pistachio trees (cv. Aegenes) as influenced by fruiting. Journal of Horticultural Science. 69(5): 775-782.

Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Journal of Soil Science. 37(1): pp.29-38

Wang, L., Sun, X., Li, S., Zhang, T., Zhang, W., and Zhai, P. (2014). Application of organic amendments to a coastal saline soil in north China: effects on soil physical and chemical properties and tree growth. PloS one, 9(2): e89185.

Xiaoling, L., Ning, L., Jin, Y., Fuzhou, Y., Faju, C., and Fangqing, C. (2011). Morphological and photosynthetic responses of riparian plant *Distylium chinense* seedlings to simulated Autumn and Winter flooding in Three Gorges Reservoir Region of the Yangtze River, China. Journal of Acta Ecologica Sinica. 31(1): 31-39.

Xu, C. Y., Hosseini-Bai, S., Hao, Y., Rachaputi, R. C., Wang, H., Xu, Z., and Wallace, H. (2015). Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. Journal of Environmental Science and Pollution Research. 22(8): 6112-6125.

Zoghi, Z., Hosseini, S. M., Kouchaksaraei, M. T., Kooch, Y., and Guidi, L. (2019). The effect of biochar amendment on the growth, morphology and physiology of *Quercus castaneifolia* seedlings under water-deficit stress. European Journal of Forest Research. 138(6): 967-979.