فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۳۱۳-۳۲۶
https://doi.org/10.22034/14.66.313

مقاله پژوهشی

مطالعه اثرات کاربرد بیوچار و فسفر بر خصوصیات بیوشیمیایی بافت ریشه و برگ گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) رشدیافته در خاک متأثر از نمک

پیمانه محمدی خانقاه [۱]، سعید خماری [۲*] و اسماعیل گلی کلانپا [۳]

[۱] گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۲] گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۳] گروه آموزشی علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی کاربرد بیوچار و فسفر بر خصوصیات بیوشیمیایی جو رشدیافته در خاک متأثر از نمک، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل انواع بیوچار در چهار سطح (عدم کاربرد بیوچار - شاهد، بیوچار ساده، بیوچار تغییریافته با اسید فسفریک و بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک) و فسفر در سه سطح (شاهد، کاربرد فسفر (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، کاربرد فسفر اضافه (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)) بودند. صفات پراکسید هیدروژن ریشه و برگ، مالون دی‌آلدهید ریشه و برگ، پرولین ریشه و برگ و قند محلول ریشه و برگ و وزن تر ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین پراکسید هیدروژن برگ و میزان کلروفیل **b** در شرایط کاربرد بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد، کمترین میزان کلروفیل **b** در بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد عدم کاربرد فسفر بیوچار مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن ریشه در تیمار کاربرد فسفر اضافه که بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود و حدود ۹۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود، بیشترین میزان کلروفیل کل و پرولین برگ، در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد. کمترین پراکسید هیدروژن برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود. بیشترین میزان قند محلول برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه بدست آمد. همچنین بیشترین میزان قند محلول ریشه در تیمار شاهد، بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید برگ در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه، بیشترین میانگین مالون دی‌آلدهید ریشه با کاربرد فسفر اضافه بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در شرایط کاربرد فسفر اضافه در کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه جو به عنوان بهترین تیمار معرفی می‌شود.

واژگان کلیدی: بیوچار، قند محلول، پرولین، پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدهید

مقدمه

شوری تحت عنوان غلظت نمک‌های محلول موجود در آب یا

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Saeid.khomari@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

محلول‌های خاک گفته می‌شود. شوری خاک اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که یون‌های نمک‌های محلول در خاک تجمع می‌کنند، مشکل‌سازمی‌شود. هنگامی‌که گیاهان در این مناطق آبیاری می‌شوند، تبخیر و تعرق،آب خالص را به عنوان بخار از خاک خارج کرده و املاح در خاک غلیظ می‌شوند. با ادامه آبیاری بدون فرصتی برای تخلیه نمک‌های انباشته‌شده توسط سیستم زهکشی، شوری خاک افزایش می‌یابد. بنابراین شوری زیاد خاک یک مشکل رایج و خشک مناطق در نیمه‌خشک است که در آن آبیاری انجام می‌شود و تبخیر و تعرق اغلب بیشتر از مقدار آبیاری است (Arif *et al*., 2020). با کاهش عرضه آب شیرین در برخی مناطق، رقابت شدیدی بین کشاورزی، صنعت و تقاضای آب خانگی وجود دارد (El Ghazali, 2020). یکی از مشکلات موجود در بخش کشاورزی شوری خاک است که در بیش از یک میلیارد هکتار از اراضی جهان و در بیش از ۱۰۰ کشور گسترش یافته است. بنابراین شوری خاک تهدید مهمی برای تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی جهان است (Singh, 2022). گزارش شده است که شوری فرآیندهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Yadav *et al*., 2019). همچنین تنش شوری به‌دلیل اختلال در تغذیه، کاهش فتوسنتز (Rajaie *et al*., 2024) و افزایش تخریب غشای سلولی سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شود (Desoky *et al*., 2020). بنابراین برای تثبیت رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش شوری، شناخت تکنیک‌های زراعی مناسب اهمیت فراوانی دارد (Zorb *et al*., 2019). همچنین تنش شوری تمام مراحل رشد از جوانه‌زنی تا تولید توده زنده گیاه، دانه و میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pakar *et al*., 2016). جو (*Hordeum vulgare* L.) در بین غلات به لحاظ اهمیت، رتبه چهارم را در جهان به خود اختصاص داده است. این گیاه دارای سابقه کاشت طولانی در مناطق وسیعی از کره زمین بوده و دارای قدمتی معادل کشاورزی است (Niazi *et al*., 2020). به نظر بسیاری از پژوهشگران یکی از متحمل‌ترین گیاهان زراعی به تنش شوری است. با این وجود تنش شوری تولید این گیاه را در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند (Noreen *et al*., 2021).

در سیستم‌های کشاورزی پایدار استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست‌محیطی را دارا باشد، امری ضروری است (Bakhtiari *et al*., 2020). بیوچار نوعی اصلاح‌کننده خاک است که سبب تحول عظیمی در افزایش مقاومت گیاه به تنش شده است (Ali *et al*., 2017). بیوچار، ماده کربنی است که از گرمادهی بقایای گیاهی و ضایعات در محیط حاوی اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن به دست می‌آید (Razzaghi *et al*., 2020). تجزیه گرمایی زیست‌توده در محیط فاقد اکسیژن را گرماکافت می‌نامند (Ali *et al*., 2017). بیوچار پایداری بالایی داشته و به منظور مدیریت ضایعات و کاهش تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک و تولید انرژی شود (Razzaghi *et al*., 2020). خصوصیات منحصر به فرد بیوچار آن را به عنوان گزینه مناسبی برای مصرف در خاک مطرح ساخته است (Ali *et al*., 2017). بیوچار خصوصیات مختلف فیزیکی از جمله ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی، شیمیایی (اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان موادآلی) و زیستی خاک (فعالیت، تنوع و جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیمی) را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (Ali *et al*., 2017; Razzaghi *et al*., 2020). بیوچار و سلنیوم با تعدیل اثر تنش کادمیوم سبب بهبود صفات گشنیز (*Coriandrum sativum*) شدند (Rafighzadeh *et al*., 2024). مصرف خاکی بیوچار جهت افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) توصیه می‌شود (Tadayonnejad *et al*., 2021). گزارش‌های زیادی اثر مثبت بیوچار بر وزن تر و خشک گیاه (Agbna *et al*., 2017; Tanure *et al*., 2019)، عناصر غذایی (بهاروندی و همکاران، ۱۴۰۲)، فتوسنتز (Agbna *et al*., 2017) و ارتفاع گیاه (Carter *et al*., 2013) را بیان کرده‌اند. بنابراین، بیوچار پتانسیل این را دارد که بهترین روش مدیریتی برای خاک‌های با حاصلخیزی پایین باشد (El-Naggar

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

et al., 2019).

فسفر از عناصر غذایی ضروری برای محصولات کشاورزی است و کاربرد آن برای دستیابی به تولید مطلوب در این محصولات بسیار مهم است (Mosapour *et al.*, 2024). این عنصر، تشکیل‌دهنده مولکول‌های حیاتی DNA، RNA و ATP است. همچنین فسفر در فتوسنتز، تنفس و توسعه رشد نقش بسزایی دارد (Havlin *et al.*, 2005). از آنجا که فسفر به‌شدت در معرض واکنش با ترکیبات خاک است و در خاک غیرمتحرک است تنها از مسیر انتشار و برخورد مستقیم ریشه جذب گیاه می‌شود. به همین علت ریشه گیاه باید برای جذب فسفر موردنیاز خود در میان خاک رشد کند. فسفر به‌سرعت از سطح ریشه جذب می‌شود و به‌همین علت منطقه‌ای به شعاع ۱/۲ تا یک میلی‌متر اطراف ریشه فاقد فسفر است بنابراین استفاده از کودهای فسفری در ریزوسفر گیاه در طول دوره رشد به‌شدت توصیه می‌شود (Mikkelsen, 2013). در این پژوهش کوشش شد تا ضمن کاشت گیاه زراعی جو در خاک متأثر از نمک، تأثیر احتمالی کاربرد توأم بیوچار و فسفر بر فعالیت بیوشیمیایی بافت ریشه و برگ در کاهش یا حذف آسیب‌های تنش شوری بر این گیاه زراعی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی خصوصیات بیوشیمیایی بافت ریشه و برگ گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) رشدیافته در خاک متأثر از نمک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار و اجرای آن به شکل گلدانی در مجموعه گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی و مجموعه‌های آزمایشگاهی دانشگاه در سال ۱۴۰۱ انجام شد. در این راستا، برخی آزمایش‌های مقدماتی طراحی و اجرا شد، از جمله: نمونه‌برداری از خاک‌های مشکل‌دار (متأثر از نمک) واقع در مناطق مختلف دشت اردبیل به منظور انتخاب خاک مورد آزمایش، تعیین غلظت بهینه بیوچار جهت اختلاط با خاک متأثر از نمک، تعیین دو سطح فسفر اضافه بر میزان اولیه فسفر خاک و غیره. برای اعمال تنش شوری به صورت طبیعی از خاکی که دارای شوری بالایی بود استفاده گردید که برخی از خصوصیات خاک در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای آزمایشی شامل انواع بیوچار در چهار سطح (عدم کاربرد بیوچار – شاهد، بیوچار ساده، بیوچار تغییریافته با اسید فسفریک و بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک) و فسفر در سه سطح (شاهد، کاربرد فسفر (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، کاربرد فسفر اضافه (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)) بودند. برای اجرای این پژوهش، خاک شور از زمین اطراف فرودگاه اردبیل جمع‌آوری شده و به گلخانه شماره ۲ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل گردید. گلدان‌های پلاستیکی (مقادیر خاک برای هر گلدان آزمایشی ۳/۵ کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد که ۳ کیلوگرم خاک شور و ۰/۵ کیلو ماسه بادی را شامل بود) در شرایط آزمایشگاه و با حفظ رطوبت تیمارها در حد ۶۰ درصد رطوبت مزرعه روش وزنی نگهداری گردید. قطر گلدان‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. در طول مدت انکوباسیون هر یک ساعت گالن‌های حاوی سوسپانسیون به خوبی تکان داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت بیوچارها از محلول اسیدی جدا و با پارچه توری فیلتر شدند و با آب شهری و سپس با آب‌مقطر شسته شدند تا خنثی گردند. سپس بیوچارها در ظروف فلزی پهن گردیدند و در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا کاملاً خشک شوند. بعد از خشک‌شدن بیوچار مورد نیاز برای مخلوط‌کردن با خاک با درصدهای مشخص از هر نوع بیوچار آماده شد. بعد از مخلوط‌کردن بیوچار و خاک، یک ماه بعد اقدام به کشت شد. قبل از کاشت، نیم کیلو از خاک هر گلدان به منظور آنالیز عناصر برداشته و در جای تاریک و سرد نگهداری گردید تا اینکه کشت در تاریخ ۱۴۰۱/۰۲/۲۸ انجام گرفت. برخی از ویژگی‌های BET بیوچار اصلاح‌شده در جدول ۲ بیان شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیوجار ساده و بیوجار تغییریافته با اسید فسفریک و اسید نیتریک (SEM-EDS) در شکل ۱ آورده شده است.

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

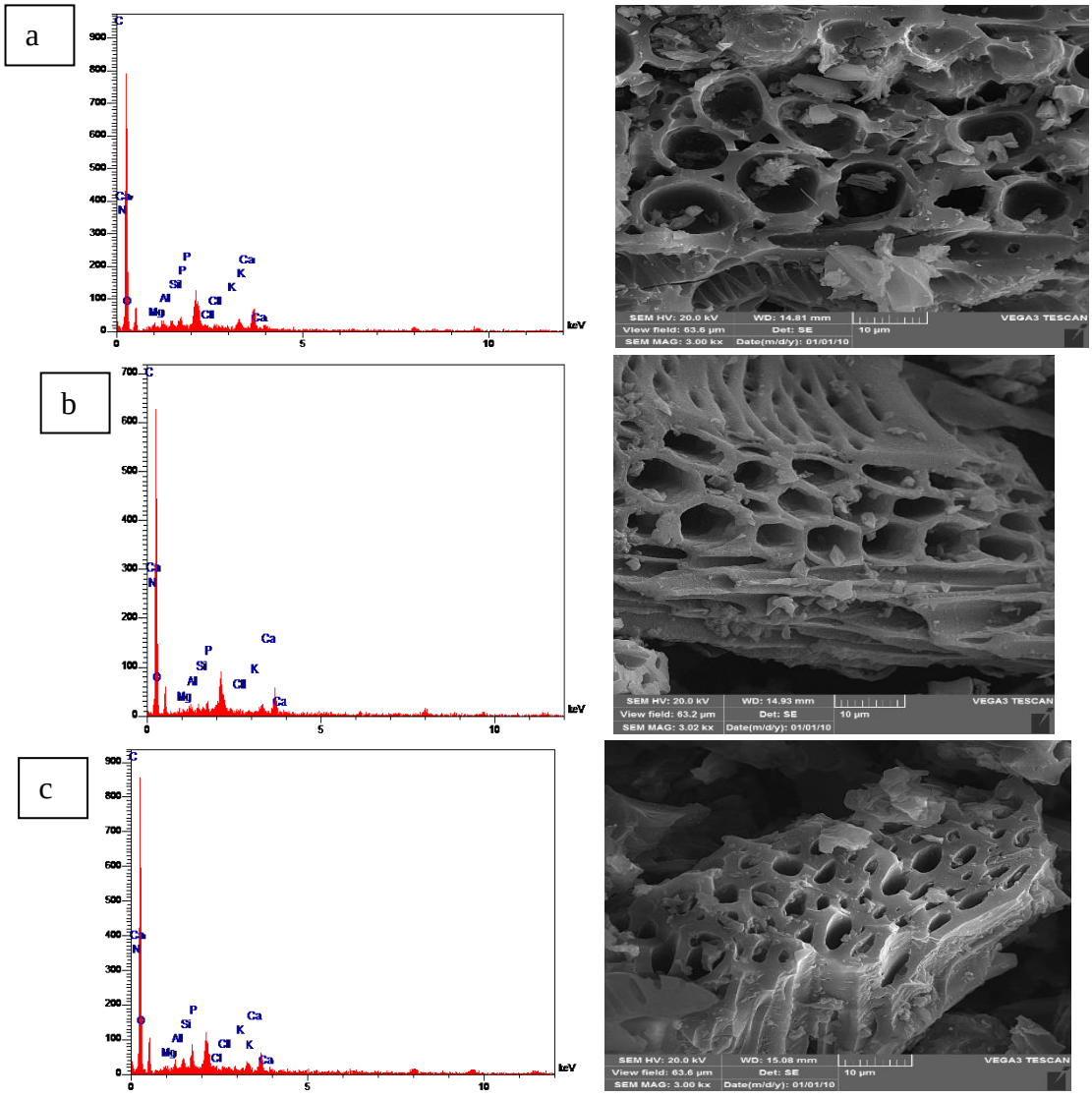
جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش

N_{total}	T.N.V	OC	pH	ECe	بافت خاک	K	P	Ca	Na
	(%)			(ds/m)		(mg/kg)		(mg/L)	
۰/۰۵۲۱	۳۲/۱	۰/۹۷۵	۷/۱۶	۵/۰۷	لومی رسی	۳۳۲/۷	۴/۵۲	۳۵/۶	۷۲/۵

جدول ۲- ویژگی‌های BET بیوچار اصلاح‌شده

نوع بیوچار	سطح ویژه بیوچار (m^2/g)	حجم منافذ (cm^3/g)	متوسط قطر منافذ (nm)
بیوچار ساده	۲/۶۱ ±۰/۵۸	۰/۰۰۴ ±۰/۰۰۰۵	۶/۳۷ ±۰/۴۱
بیوچار تیمارشده با اسید فسفریک	۹/۷۳±۰/۸۵	۰/۰۰۸۶ ±۰/۰۰۰۳	۳/۵۲ ±۰/۳۱
بیوچار تیمارشده با اسید نیتریک	۵/۷۵ ±۰/۳۹	۰/۰۱۱±۰/۰۰۰۸	۷/۸۴ ±۰/۳۰

میانگین‌ها به صورت (mean ± S.E.) نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و نمودارهای آن در انواع اسید مودیفاید (SEM-EDS) (a) بیوچار ساده، (b) فسفریک اسید و (c) نیتریک اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

(۱۹۷۳) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدهید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. مقدار پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش پراکسید هیدروژن با یدید پتاسیم (KI) تعیین شد (Alexieva *et al*., 2001).

کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال‌بودن آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver 9.4) انجام گرفت. با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد. همچنین برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel (2013) استفاده گردید.

نتایج و بحث

پراکسید هیدروژن برگ: مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) پراکسید هیدروژن برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده بیوچار و همچنین اثر متقابل بیوچار × فسفر قرار گرفت اما اثر ساده فسفر معنی‌دار نشد.

نتایج گویای آن است که بیشترین پراکسید هیدروژن برگ در شرایط کاربرد بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار بیوچار تغییریافته با اسید فسفریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه و کاربرد فسفر اضافه نداشت (شکل ۲). کمترین پراکسید هیدروژن برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود (شکل ۲). مصرف خاکی بیوچار باعث افزایش عملکرد، غلظت عناصر غذایی و میزان پراکسید هیدروژن مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) شد (Tadayonnejad *et al*., 2021). کاربرد بیوچار به همراه لجن فاضلاب سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گندم گردید که این افزایش در نتیجه توانایی کلات‌سازی یون‌ها (۶۶/۸ درصد) و نیز رفع رادیکال‌های آزاد (۵۲ درصد) بوده است (تقی‌زاده طبری و همکاران، ۱۳۹۹).

پراکسید هیدروژن ریشه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) پراکسید هیدروژن ریشه بطور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده فسفر قرار گرفت اما اثر ساده بیوچار و همچنین اثر متقابل بیوچار × فسفر معنی‌دار نشد.

براساس شکل ۳ کاربرد فسفر باعث افزایش میزان پراکسید هیدروژن ریشه شد بطوریکه بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن ریشه در تیمار کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود و حدود ۹۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. افزایش وزن تر ریشه در اثر بیوچار (شکل ۱۰) نشان‌دهنده افزایش رشد ریشه است که به نوبه خود منجر به جذب فسفر می‌شود و در شرایط تنش شوری منجر به افزایش محتوای پراکسید هیدروژن خواهد شد. افزایش میزان فسفر می‌تواند میزان پروئین‌های محلول را افزایش و در نتیجه میزان پراکسیداسیون لیپیدی ر افزایش دهد که با نتایج Heshmati و همکاران (۲۰۱۶) در گلرنگ مطابقت دارد.

کلروفیل b: ارزیابی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کلروفیل b به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل بیوچار × فسفر قرار گرفت اما اثرات ساده بیوچار و فسفر معنی‌دار نشد (جدول ۳). همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان کلروفیل b در شرایط کاربرد بیوچار تغییریافته با اسید فسفریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بدست آمد (شکل ۴). کمترین میزان کلروفیل b در بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد عدم کاربرد فسفر بیوچار مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود (شکل ۴). در بررسی تأثیر بیوچار در گیاه نعناع فلفلی گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک میزان فسفر گیاه را تحت تأثیر قرار داد و باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Rezaeian, 2014).

کلروفیل کل: بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ساده بیوچار و فسفر بر مقدار کلروفیل کل معنی‌دار نیست، اما اثر متقابل آن‌ها بر کلروفیل کل معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شرایط کاربرد بیوچار تغییریافته با اسید فسفریک در تیمار عدم کاربرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

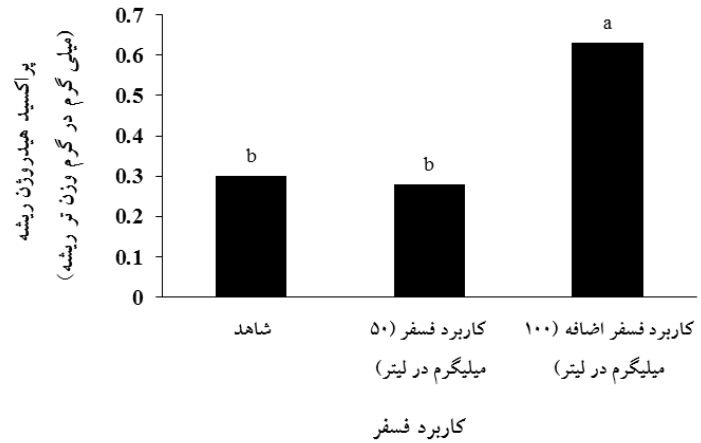
جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات بیوشیمیایی گیاه جو رشدیافته در خاک متأثر از نمک تحت تأثیر غلظت‌های مختلف بیوچار و فسفر

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		H_2O_2 برگ	H_2O_2 ریشه	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین برگ	قند محلول ریشه	قند محلول برگ	MDA ریشه	وزن تر ریشه
بیوچار	۳	۰/۰۳**	۰/۲۱ ns	۱۷/۷۵ ns	۶۱/۲۱ ns	۰/۰۳۷ *	۲۳۳۱۲/۱ **	۱۶۷۰۰۹/۷۹ *	۴۳/۶۳ ns	۲/۰۵ *
فسفر	۲	۰/۰۱ ns	۰/۴۶ *	۳۸/۳۹ ns	۱۳۶/۴۲ ns	۰/۰۴۵ *	۲۴۸۰/۳ ns	۵۳۶۵۷/۹۶ ns	۳۸۱/۴۰**	۰/۹۵ ns
فسفر × بیوچار	۶	۰/۰۲ **	۰/۲۷ ns	۴۲/۶۷ *	۱۲۶/۶۶ *	۰/۰۵ **	۶۵۱۹/۹ ns	۱۲۵۸۲۹/۳۳ *	۲۳/۸۷ ns	۱/۰۰۲ ns
خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۰۵	۰/۱۲	۱۲/۵۶	۴۴/۸۳	۰/۰۰۷	۳۲۵۱/۲۹	۴۱۷۶۸/۱	۲۴/۵۶	۰/۵۷
ضریب تغییرات		۱۷/۱۷	۲۴/۱۶	۱۸/۳۳	۲۱/۲۹	۲۶/۵۲	۷/۲۱	۱۱/۲۲	۲۴/۹۰	۱۵/۶۲

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.



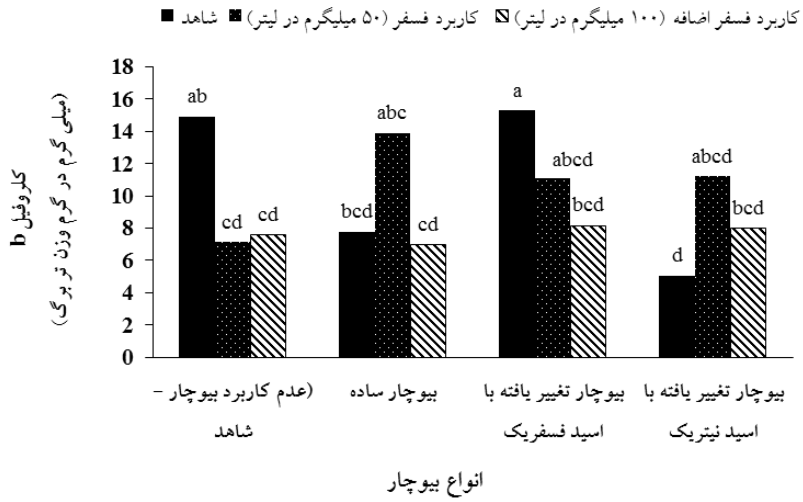
شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان پراکسید هیدروژن برگ گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر فسفر بر میزان پراکسید هیدروژن ریشه گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان کلروفیل b برگ گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان کلروفیل کل برگ گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

فسفر اضافه نداشت (شکل ۵). کمترین میزان کلروفیل کل در بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد عدم کاربرد فسفر مشاهده شد که حدود ۴۵/۵۶ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد فسفر بود (شکل ۵). فسفر به‌سرعت از سطح ریشه جذب می‌شود و به همین علت منطقه‌ای به شعاع ۱/۲ تا یک میلی‌متر اطراف ریشه فاقد فسفر است بنابراین استفاده از کودهای فسفری در ریزوسفر گیاه در طول دوره رشد به‌شدت توصیه می‌شود (Mikkelsen, 2013). افزایش وزن تر ریشه در اثر بیوجار منجر به افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه محتوای کلروفیل خواهد شد. در هنگام تنش شوری، یون فسفات با یون کلسیم موجود در خاک به سرعت رسوب می‌کند و از دسترس گیاه خارج می‌شود و در نتیجه میزان جذب عناصر کاهش یافته و کلروفیل کاهش می‌یابد در شرایط تنش شوری، افزایش یون‌های سدیم و پتاسیم می‌تواند دلیل اصلی کاهش جذب فسفر در گیاهان تیمارشده با بیوچار باشد (Farhangi-Abriz and Torabian,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

2018). میزان کلروفیل کل در اثر کاربرد بیوچار تحت تأثیر رطوبت نسبی، پایداری غشای برگ و میزان نیتروژن برگ‌ها است و از آنجایی که بیوچار با بهبود خصوصیات خاک در افزایش صفات ذکرشده مؤثر است، می‌تواند در افزایش کلروفیل کل نیز تأثیر داشته باشد (تقی‌زاده طبری و همکاران، ۱۳۹۹). بیوچار باعث افزایش محتوای کلروفیل کل در گیاه شنبلیله (*Trigonella corniculata*) شد (Younis *et al.*, 2015).

پرولین برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمارهای بیوچار و فسفر و اثر متقابل تنش بیوچار × فسفر بر پرولین برگ معنی‌دار بود. بیشترین میزان پرولین برگ در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد (شکل ۶). کمترین میزان پرولین برگ در بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد (عدم‌مصرف فسفر اضافه) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد فسفر اضافه در بیوچار ساده نداشت (شکل ۶). استفاده از بیوچار و اسید سالیسیلیک در بهبود اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی در گیاه سرخارگل مفید بود (Emami, 2022). کاربرد بیوچار برگ نخل خرما موجب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت می‌شود و این افزایش موجب کاهش تنش و درنتیجه کاهش پرولین می‌گردد (Nowroozi, 2017).

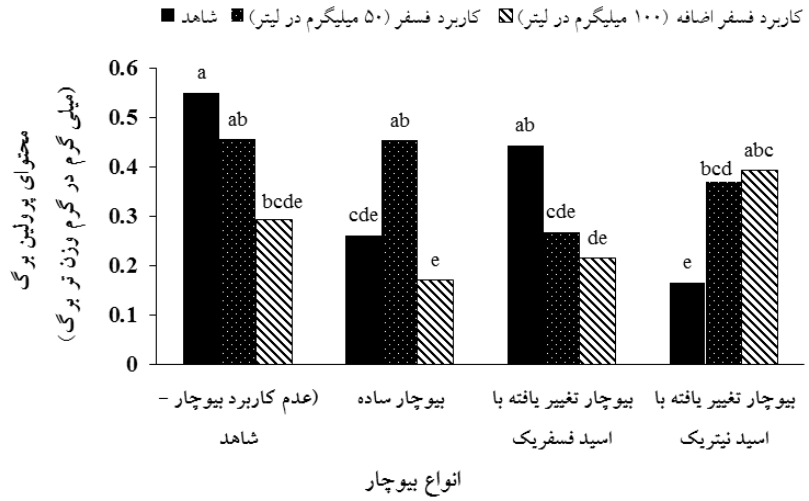
قند محلول ریشه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها می‌توان اظهار داشت که قند محلول ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده بیوچار قرار گرفت اما اثر ساده فسفر و اثر متقابل بیوچار × فسفر معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین میزان قند محلول ریشه در تیمار شاهد شد (شکل ۷). کمترین میزان قند محلول ریشه در بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک مشاهده شد که حدود ۷۸/۵۸ درصد کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۷). بیوچار با جذب سدیم خاک سبب کاهش نمک در خاک و افزایش مواد مغذی برای رشد گیاه می‌شود (Talaat *et al.*, 2015). در آزمایشی که بر روی انگور انجام دادند مشاهده کردند که با کاربرد بیوچار میزان قند کاهش می‌یابد (Rasouli *et al.*, 2009). بیوچار سبب تنظیم اسمزی و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌گردند. این کار می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل بیوچار و زنجیرهای قطبی پروتئین‌ها و در نهایت پایدارسازی پروتئین‌ها انجام پذیرد.

قند محلول برگ: ارزیابی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که قند محلول برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش بیوچار اثر متقابل بیوچار × فسفر قرار گرفت اما اثر ساده فسفر معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین میزان قند محلول برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود اما اختلاف معنی‌داری با بیوچار تغییریافته با اسید فسفریک نداشت و بین تیمارهای دیگر از نظر کمترین میزان قند محلول برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۸). اگرچه تأثیر بیوچار بر خصوصیات بیوشیمیایی و میزان قند گیاهان کمتر مورد بررسی قرار گرفته با این وجود برخی از مطالعات افزایش قند محلول را در اثر استفاده از بیوچار بیان کردند (Rozylo *et al.*, 2017). میزان قندهای محلـول برگ، با مصرف کودهای فسفردار و زیستی (بـارور-۲)، تحـت شرایط کـم آبی افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند تحمل به تنش را در گلرنگ افزایش دهد (Heshmati *et al.*, 2016). بیوچار نیز با بهبود وضعیت خاک سبب افزایش صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و فنل کل و کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و قند محلول در گیاه گشنیز شد (Rafighzadeh *et al.*, 2024).

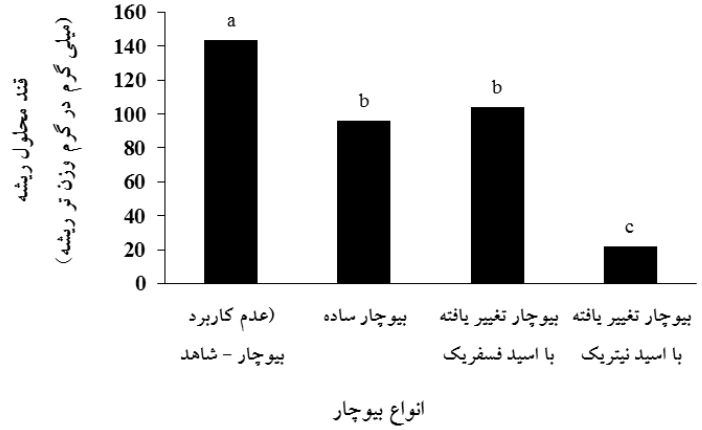
مالون دی‌آلدهید ریشه: براساس نتایج جدول ۳، مالون دی‌آلدهید ریشه بطور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده فسفر قرار گرفت اما اثر ساده بیوچار و همچنین اثر متقابل بیوچار × فسفر معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین مالون دی‌آلدهید ریشه با کاربرد فسفر اضافه به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۹). بطوریکه کمترین میانگین مالون دی‌آلدهید ریشه در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۹). مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان پرولین برگ گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

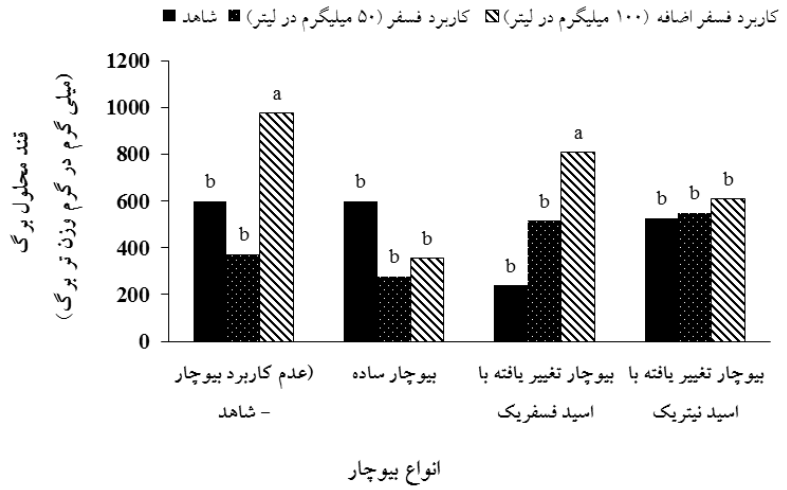


شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار بر میزان قند محلول ریشه گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

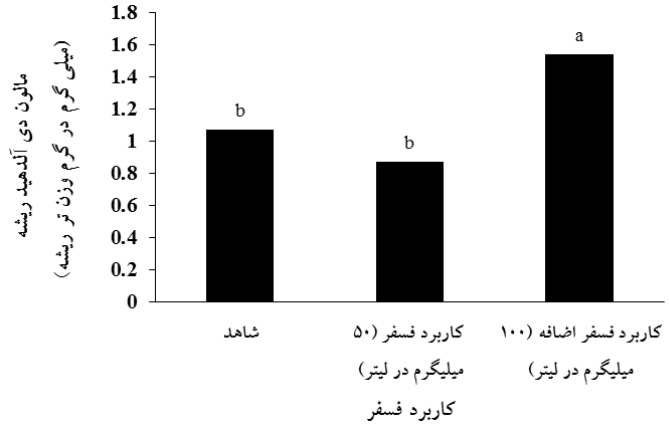
بکارگیری کود زیستی موجب کاهش ۷۹/۵ درصدی مالون دی‌آلدهید نسبت به تیمار شاهد در شرایط بدون تنش شد (Heshmati *et al.*, 2016). مالون دی‌آلدهید محصول نهایی پراکسیداسیون لیپید است که به‌عنوان یک نشانگر برای تولید رادیکال‌های آزاد و آسیب غشاء تحت اثر شرایط تنش غیرزنده کاربرد دارد بنابراین تجمع افزایش‌یافته پراکسیداسیون لیپید، نشان‌دهنده بالارفتن انواع اکسیژن فعال است (Parvanova *et al.*, 2004). افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک چه به‌صورت کود شیمیایی و چه به صورت کود زیستی در افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پرولین و مالون دی‌آلدهید تأثیر مثبت گذاشته است، که افزایش آنها در گیاه می‌تواند از طریق تنظیم اسمزی موجب پایداری سلول‌ها و حفظ تورژسانس سلولی گردد (Heshmati *et al.*, 2016).

وزن تر ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که وزن تر ریشه تحت تأثیر اثر ساده بیوچار قرار گرفت اما اثر ساده فسفر و همچنین اثر متقابل بیوچار × فسفر معنی‌دار نشد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود بیشترین میزان وزن تر ریشه در تیمار بیوچار تغییریافته

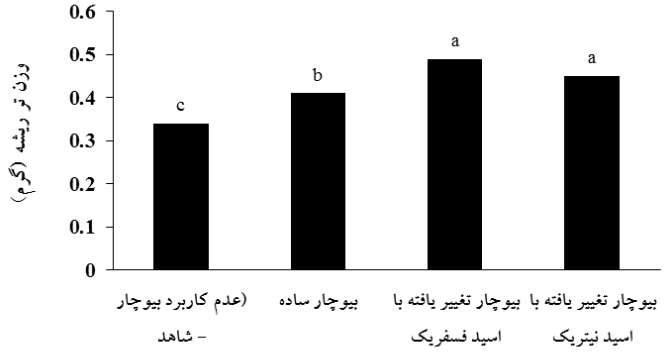
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان قند محلول برگ گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۹- مقایسه میانگین تأثیر فسفر بر میزان مالون دی‌آلدهید ریشه گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر بیوچار بر وزن تر ریشه گیاه جو رشدیافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

با اسید فسفریک مشاهده شد که حدود ۴۴/۱۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین کمترین میزان وزن تر ریشه در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۱۰). در تحقیقی که Kamara و همکاران (۲۰۱۵) بر روی تأثیر بیوچار تولیدشده از ساقه برنج بر رشد و محصول برنج صورت دادند؛ گزارش کردند که ۵ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک سبب افزایش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک برنج شده است.

نتیجه‌گیری

یکی از رویکردهای مهم برای کاهش اثرات سوء تنش شوری در گیاهان، اصلاح کیفیت خاک است. از آنجایی که مواد آلی از گذشته به عنوان عامل کلیدی در کیفیت خاک مطرح بوده، موجب افزایش و بهبود رشد گیاهان می‌شود. یکی از مواد آلی که به عنوان اصلاح‌کننده خاک شناخته می‌شود استفاده از بیوچار است. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر مثبت بیوچار و فسفر در کاهش اثرات تنش شوری اعمال‌شده به گیاه است. در مجموع، پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین پراکسید هیدروژن برگ و میزان کلروفیل b در شرایط کاربرد بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد، بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن ریشه در تیمار کاربرد فسفر اضافه، بیشترین میزان کلروفیل کل و پرولین برگ، در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد. بیشترین میزان قند محلول برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه بدست آمد. همچنین بیشترین میزان قند محلول ریشه در تیمار شاهد، بیشترین میزان مالون دی آلدهید برگ در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه، بیشترین میانگین مالون دی‌آلدهید ریشه با کاربرد فسفر اضافه بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت کاربرد بیوچار تغییریافته با اسید نیتریک در شرایط کاربرد فسفر اضافه در کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه جو به عنوان بهترین تیمار معرفی می‌شود.

منابع

بهاروندی، فهیمه، فیضیان، محمد، عبدی، صمد، و عالی‌نژادیان بیدآبادی، افسانه (۱۴۰۲). اثر نوع بیوچار و زیست‌توده بر رشد گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در خاک آلوده به کادمیم. *پژوهش‌های خاک*، *۳۷*(۱)،۳۳-۴۹. doi: 10.22092/ijsr.2023.358547.664

تقی‌زاده طبری، زهرا، اصغری، حمیدرضا، عباس‌دخت، حمید، و باباخانزاده سجیرانی، اسماعیل (۱۳۹۹). بررسی اثر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، *۳۶*(۱)، ۹۸-۱۱۱. doi: 10.22092/ijmapr.2020.127841.2642

Agbna, G. H., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N. A., Guangcheng, S., & Timm, L. C. (2017). Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae, 222*, 90-101. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004

Alexieva, V., Sergei, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell Environment, 24*, 1337-1344.

Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Ibrahim, M., Riaz, M., & Shahzad, A. N. (2017). Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research, 24*(14), 12700-12712. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8904-x

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry, 156*, 64-77.

Bakhtiari, M., Mozafari, H., Asl, K. K., Sani, B., & Mirza, M. (2020). Bio-organic and inorganic fertilizers modify leaf nutrients, essential oil properties, and antioxidant capacity in medic savory (*Satureja macrantha* L.). *Journal of Biological Research-Bollettino della Societa Italiana di Biologia Sperimentale, 93*(1). https://doi.org/10.4081/jbr.2020.8477

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., & Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy, 3*(2), 404-418. https://doi.org/10.3390/agronomy3020404

Desoky, E. S. M., Saad, A. M., El-Saadony, M. T., Merwad, A. R. M., & Rady, M. M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 30*, 101878. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101878

El Ghazali, G. E. B. (2020). Structural characteristics and adaptations to salinity and drought: A review. *International Journal of Science, 9*, 28-33.

El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., & Ok, Y. S. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma, 337*, 536-554. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034

Emami, T. (2022). Effect of biochar and salicylic acid on physiological traits and yield of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) under non-stress and drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, *4*(1), 229-243. doi: 10.22034/csrar.2022.320762.1172

Farhangi-Abriz, S, & Torabian, S. (2018). Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(12), 11556-11564. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1446-z

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall.

Heath, R. L, & Packer, L. (1968). Photo peroxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid per oxidation. *Biochemistry Biopsy, 125*, 189-198.

Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., & Fathi Amirkhiz, K. (2016). Effect of chemical and biological phosphorus on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(19), 203-214.

Kamara, A., Kamara, H. S., & Kamara, M. S. (2015). effect of rice straw biochar on soil quality and the early growth and biomass yield of two rice varieties. *Agricultural Sciences, 6*, 798-806.

Mikkelsen, R. L. (2013). A Closer Look at Phosphorus Uptake by Plants. International Plant Nutrition Institute (IPNI) 13049, Notrh America.

Mosapour, M, & Feizian, M. (2024). The effect of humic acid and biochar in sheep manure on the concentration of some nutrient elements in aerial parts and the yield of the summer savory plant (*Satureja hortensis* L.). *Plant Process and Function, 13*(59), 24.

Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). Physiological and biochemical characteristics of barley as affected by biofertilizer, crop residues and water stress. *Plant Process and Function*, *9*(36), 279-298.

Noreen, S., Sultan, M., Akhter, M. S., Shah, K. H., Ummara, U., Manzoor, H., & Ahmad, P. (2021). Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 158*, 244-254.

Nowroozi, M. (2017). Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention.

Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition, 2016 - Taylor & Francis.*

Parvanova, D., Ivanov, S., Konstantinova, T., Karanov, E., Atanassov, A., Tsvetkov, T., Alexieva, V., & Djilianov, D. (2004). Transgenic tobacco plants accumulating osmolytes show reduced oxidative damage under freezing stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 42*, 57-63.

Rafighzadeh, F., Ghanbari Jahromi, M., & Diyanat, M. (2024). Effect of biochar and selenium on alleviating oxidative stressed induced by cadmium on coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Plant Process and Function, 13*(60), 9.

Rajaie, M., Tahmasebi, S., & Dastfal, M. (2024). Evaluation of physiological indices and yield in promising cultivars and lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) under field saline condition. *Plant Process and Function, 13*(60), 5.

Rasouli, V, & Golmohammadi, M. A. J. I. D. (2009). Evaluation of drought stress tolerance in grapevine cultivars of Qazvin Province. *Seed and Plant Improvement Journal*, (2).

Razzaghi, F., Obour, P. B., & Arthur, E. (2020). Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma, 361*, 114055. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055

Rezaeian, A. (2014). Effect of Biochar and mycorrhiza on absorption, transport and accumulation of cadmium in the peppermint plant. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Shahrod. (In Persian)

Rozylo, K., Swieca, M., Gawlik-Dziki, U., Stefaniuk, M., & Oleszczuk, P. (2017). The potential of biochar for reducing the negative effects of soil contamination on the phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Science, 26*(1), 34-46.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management, 38*, 39-67. https://doi.org/10.1111/sum.12772

Tadayonnejad, M., Dehqani, M., Parsadoust, F. (2021). Effect of salinity stress and phosphorus application in different stages of wheat growth on biomass and some of its physiological characteristics. *Plant Process and Function, 10* (44), 119-132.

Talaat, N. B., Ghoniem, A. E., Abdelhamid, M. T., & Shawky, B. T. (2015). Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. *Plant Growth Regulation, 75*(1), 281-295.

Tanure, M. M. C., da Costa, L. M., Huiz, H. A., Fernandes, R. B. A., Cecon, P. R., Junior, J. D. P., & da Luz, J. M. R. (2019). Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research, 192*, 164-173. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.007

Yadav, S. P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A review. *International Journal of Chemical Studies, 7*, 1793-1798.

Younis, U., Malik, S. A., Qayyum, M. F., Shah, M. H. R., Shahzad, A. N., & Mahmood, S. (2015). Biochar affects growth and biochemical activities of fenugreek (*Trigonella corniculata*) cadmium polluted soil. *Journal of Applied Botany and Food Quality, 88*(1).

Zorb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology, 21*, 31-38. https://doi.org/10.1111/plb.12884

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]

Investigation of the Effects of Biochar and Phosphorus Application on the Biochemical Characteristics of Root and Leaf Tissues in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Grown in Salt-Affected Soil

Peymaneh Mohammadi Khanqah [1], Saeid Khomari* [2], Esmail Goli Kalanpa [3]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(Received: 2024/09/30, Accepted: 2025/02/11)

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of biochar and phosphorus application on the biochemical characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in salt-affected soil. The experiment was arranged as a factorial based on a completely randomized design (CRD) with three replications in the research greenhouse of Mohaghegh Ardabili University during 2022. The experimental treatments included four types of biochar (no biochar as control, raw biochar, phosphoric acid-modified biochar, and nitric acid-modified biochar) and three levels of phosphorus (no phosphorus, 50 mg/L, and 100 mg/L). Measured parameters included hydrogen peroxide content, malondialdehyde (MDA), proline, soluble sugars in roots and leaves, and root fresh weight. The results showed that the highest leaf hydrogen peroxide content and chlorophyll b were observed in the treatment with nitric acid-modified biochar without additional phosphorus. The lowest chlorophyll b content was recorded in the same biochar treatment under no phosphorus application, which was approximately 20.64% lower than the nitric acid-modified biochar treatment with no extra phosphorus. The highest root hydrogen peroxide content was observed in the 100 mg/L phosphorus treatment, showing a significant increase of about 91% compared to the control. The maximum total chlorophyll and leaf proline contents were recorded under the control treatment with no phosphorus application. The lowest leaf hydrogen peroxide content (20.64% less than the highest) was observed in the control biochar treatment with high phosphorus. The highest leaf soluble sugar content was obtained in the control biochar with high phosphorus, while the maximum root soluble sugar was found in the control treatment. The highest leaf MDA content was recorded in the treatment without additional phosphorus, while the highest average root MDA content occurred in the high phosphorus treatment. Overall, the application of nitric acid-modified biochar in combination with high phosphorus levels was identified as the most effective treatment in mitigating the adverse effects of salinity stress on barley plants.

Keywords: Biochar, Soluble sugar, Proline, Hydrogen peroxide, Malondialdehyde

Corresponding author, Email: Saeid.khomari@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.313]