19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

اثرات هم‌افزای بیوچار نخل خرما و کود دامی بر بهبود خاک شور و رشد ذرت

(*Zea mays L.*)

محمدرضا ریگی

دانشکده علوم محیطی، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، پست الکترونیکی: mr.rigi@saravan.ac.ir

چکیده

بهبود بهره‌وری خاک‌های شور در مناطق خشک نیازمند راه‌کارهای مدیریتی یکپارچه است. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف بیوچار حاصل از ضایعات نخل خرما و کود دامی (گاوی) بر خصوصیات یک خاک شور با بافت سبک و عملکرد گیاه ذرت اجرا شد. آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در گلخانه انجام گردید. فاکتور اول شامل سه سطح بیوچار (صفر، ۲ و ۴ درصد وزنی) و فاکتور دوم شامل سه سطح کود دامی پوسیده (صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم بر کیلوگرم) بود. نتایج نشان داد که هر دو اصلاح‌کننده به تنهایی اثرات مثبتی بر خاک و گیاه داشتند، اما بیشترین تاثیر ناشی از اثر متقابل آن‌ها مشاهده شد. بیشترین وزن خشک کل ذرت به میزان ۵۱ گرم در گلدان و کمترین میزان هدایت الکتریکی خاک (۵/۹ دسی‌زیمنس بر متر) در تیمار ترکیبی ۴ درصد بیوچار و ۳۰ گرم بر کیلوگرم کود دامی به دست آمد که نشان‌دهنده هم‌افزایی مثبت و معنی‌دار ($p<0.05$) بین این دو اصلاح‌کننده است. در این تیمار، زیست‌توده ذرت بیش از ۱۲۰درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. مطالعه نشان داد که کاربرد تلفیقی بیوچار و کود آلی، در نسبت‌های بالاتر، می‌تواند یک استراتژی مدیریتی بسیار کارآمد برای کاهش تنش شوری و افزایش همزمان حاصلخیزی و تولید در خاک‌های حاشیه‌ای مناطق خشک باشد.

واژگان کلیدی: بیوچار، کود آلی، تنش شوری، ذرت، خصوصیات خاک.

مقدمه

شوری خاک و فقر مواد آلی دو عامل محدودکننده اصلی در کشاورزی پایدار مناطق خشک می‌باشند. خاک‌های این مناطق که غالباً دارای بافت سبک می‌باشند، به دلیل ظرفیت پایین نگهداری آب و عناصر غذایی، اثرات منفی تنش شوری را با شدت بیشتری بر گیاهان زراعی تحمیل می‌کنند (FAO, 2021). استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی یک راه‌کار شناخته شده برای بهبود این شرایط است. کودهای دامی (مانند کود گاوی) منبعی غنی از عناصر غذایی و مواد آلی هستند که می‌توانند حاصلخیزی و فعالیت بیولوژیکی خاک را افزایش دهند. با این حال، مواد آلی موجود در آن‌ها به سرعت تجزیه شده و اثرات بلندمدت محدودی دارند. در مقابل، بیوچار حاصل از ضایعات کشاورزی مانند نخل خرما، به دلیل ساختار آروماتیک پایدار، می‌تواند کربن را برای مدت طولانی در خاک تثبیت کرده، ظرفیت نگهداری آب را افزایش دهد و به جذب نمک‌های اضافی کمک کند (Al-Wabel et al., 2013). درحالی‌که اثرات هرکدام از این دو اصلاح‌کننده به صورت مجزا به طور گسترده مطالعه شده است، از طرفی مطالعات کمی در مورد اثرات متقابل آن‌ها در سطوح کاربردی مختلف، به ویژه در شرایط تنش شوری صورت گرفته است. این احتمال وجود دارد که بیوچار با ایجاد یک چارچوب فیزیکی پایدار و بهبود رطوبت خاک، کارایی کود دامی را افزایش دهد و از سوی دیگر، کود دامی با تأمین نیتروژن و فعال‌سازی جمعیت میکروبی، به کارایی بیوچار در چرخه عناصر غذایی کمک کند. لذا، این تحقیق با هدف بررسی اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف بیوچار و کود دامی بر اصلاح خاک شور و رشد گیاه ذرت انجام گردید.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده با بافت لوم شنی و شوری اولیه ۱۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر از اراضی کشاورزی منطقه سراوان (استان سیستان و بلوچستان)، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برای آنالیزهای اولیه مورد استفاده قرار گرفت. بیوچار از پیرولیز آهسته ضایعات هرس برگ نخل خرما در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. کود دامی مورد استفاده، کود گاوی کاملاً پوسیده با شوری ۸/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کربن آلی ۴۵ درصد بود (جدول ۱).

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، بیوچار و کود دامی (گاوی) پوسیده مورد استفاده

ویژگی	خاک	بیوچار نخل خرما	کود دامی
بافت خاک	لوم شنی	-	-
pH	۸/۴	۹/۹	۷/۸
EC (dSm^{-1})	۱۲/۱	۴/۵	۸/۵
کربن آلی (٪)	۰/۳۱	۶۲/۱	۴۵
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۳	۰/۷	۱/۸
فسفر ($mgKg^{-1}$)	۵/۱	۱۴۵	۸۰۰
پتاسیم ($mgKg^{-1}$)	۱۱۵	۱۱۰۰	۳۲۰۰

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. هر گلدان حاوی ۵ کیلوگرم خاک بود. فاکتور اول، بیوچار (B) در سه سطح شامل B0: صفر درصد (شاهد)، B2: ۲ درصد وزنی (۱۰۰ گرم بر گلدان) و B4: ۴ درصد وزنی (۲۰۰ گرم بر گلدان) و همچنین فاکتور دوم کود دامی (F) در سه سطح شامل F0: صفر گرم بر کیلوگرم (شاهد)، F15: ۱۵ گرم بر کیلوگرم (۷۵ گرم بر گلدان) و F30: ۳۰ گرم بر کیلوگرم (۱۵۰ گرم بر گلدان) بود. ترکیب این سطوح، ۹ تیمار (B0F0, B0F15, B0F30, B2F0, B2F15, B2F30, B4F0, B4F15, B4F30) را ایجاد کرد. اصلاح‌کننده‌ها به طور کامل با خاک هر گلدان مخلوط شدند. در هر گلدان چهار بذر ذرت (رقم ۷۰۴) کشت و پس از استقرار به دو بوته تنک شد. گلدان‌ها به مدت ۱۲۰ روز در شرایط گلخانه‌ای با آبیاری توسط آب مقطر تا حد ظرفیت زراعی نگهداری شدند. در پایان دوره، پارامترهای خاک (فسفر، نیتروژن، کربن آلی خاک و شوری) با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و اندام‌های

هوایی و ریشه گیاه ذرت نیز جدا شده، پس از شستشو در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. تجزیه و تحلیل واریانس برای یک طرح فاکتوریل و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن ($p<0.05$) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثرات اصلی بیوچار (B)، کود دامی (F) و همچنین اثر متقابل آن‌ها (B×F) بر شوری خاک معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برای وزن خشک کل گیاه ذرت

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
بیوچار (B)	۲	۸۵۰/۴	۴۲۵/۲	۱۶۳/۵**
کود دامی (F)	۲	۶۲۰/۸	۳۱۰/۴	۱۱۹/۴**
اثر متقابل (B×F)	۴	۴۸۰/۱	۱۲۰/۰	۴۶/۱**
خطا	۱۸	۴۶/۸	۲/۶	
کل	۲۶	۲۰۱۸/۱		

** نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

نتایج نشان داد که با افزایش سطح هر دو اصلاح‌کننده، شوری خاک کاهش یافت. کمترین میزان شوری خاک به میزان ۵/۹ دسی‌زیمنس بر متر، در تیمار ۴ درصد بیوچار و ۳۰ گرم بر کیلوگرم کود دامی مشاهده شد (جدول ۳). این کاهش شدید ناشی از دو مکانیزم است: ۱) اثر رقیق‌سازی و جذب سطحی نمک‌ها توسط بیوچار و ۲) بهبود رشد گیاه و افزایش جذب و خروج نمک از خاک که این اثر در حضور همزمان هر دو اصلاح‌کننده به حداکثر خود رسید. این اثر هم‌افزایی مثبت با نتایج مطالعه Akhtar و همکاران (2014) و همچنین Enaime و Lübken (2021) همخوانی دارد که تأثیر ترکیبی اصلاح‌کننده‌های آلی را در کاهش شوری خاک گزارش کرده‌اند.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و کود دامی بر خصوصیات خاک

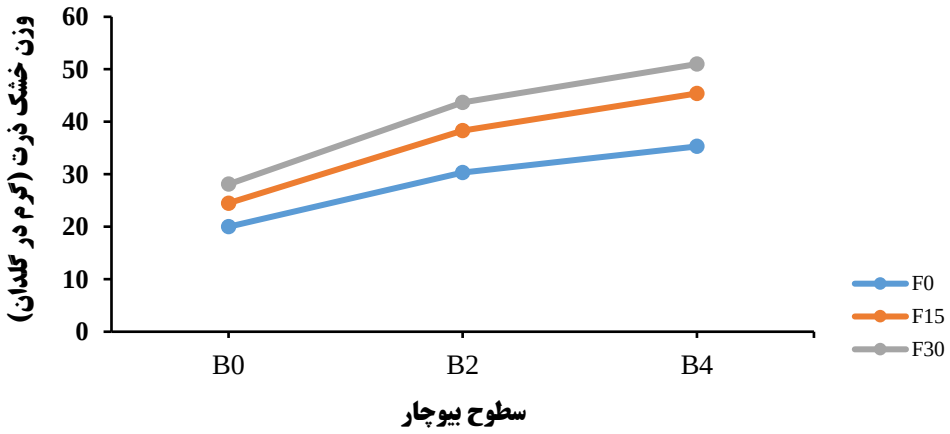
تیمار	شوری (dSm^{-1})	کربن آلی (٪)	فسفر قابل دسترس ($mg\ Kg^{-1}$)
B0F0	۱۱/۸a	۰/۳۲i	۵/۲ h
B0F15	۱۱/۵ab	۰/۴۵h	۸/۱g
B0F30	۱۱/۲b	۰/۵۹g	۱۱/۵f
B2F0	۹/۵c	۰/۵۱gh	۸/۹g
B2F15	۸/۸d	۰/۶۸f	۱۴/۲e
B2F30	۸/۱e	۰/۸۱d	۱۸/۱c
B4F0	۷/۹e	۰/۷۲ef	۱۲/۸f
B4F15	۶/۸f	۰/۹c	۲۰/۵b
B4F30	۵/۹g	۱/۰۵a	۲۴/۶a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح ٪۵ تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف، نشان‌دهنده تأثیر مثبت بیوچار و کود دامی بر حاصلخیزی خاک است (جدول ۳). بیوچار به عنوان یک منبع پایدار از کربن آلی، باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شود. این نتیجه با یافته‌های Joseph (2015) مطابقت دارد که نشان داد بیوچار به دلیل مقاومت بالا در برابر تجزیه، می‌تواند نقش مهمی در ترسیب کربن و بهبود حاصلخیزی خاک ایفا کند. بیوچار، به دلیل داشتن فسفر قابل استخراج و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، توانایی تثبیت فسفر در خاک را دارد. این یافته با نتایج مطالعه Beesley و همکاران (2010) همخوانی دارد که نشان دادند بیوچار می‌تواند فسفر را در خاک تثبیت کرده و دسترسی گیاه به آن را افزایش دهد. کود دامی، به عنوان یک منبع غنی از فسفر، باعث افزایش فسفر

قابل دسترس خاک شد. این اثر در سطوح بالاتر کود دامی بسیار چشمگیر بود (جدول ۳). این نتیجه با یافته‌های Xu و همکاران (2016) مطابقت دارد که گزارش کردند کودهای آلی منبع مهمی برای تأمین فسفر در خاک‌های فقیر هستند. در تیمار تلفیقی B4F30، بیوچار با تثبیت فسفر و کود دامی با تأمین فسفر تازه، موجب افزایش معنی‌دار فسفر قابل دسترس گردید. این اثر با نتایج مطالعه Novak و همکاران (2009) همخوانی دارد که تأثیر ترکیبی بیوچار و کودهای آلی را در افزایش فسفر خاک گزارش کرده‌اند.

اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر وزن خشک کل ذرت نیز معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که شیب افزایش وزن خشک در پاسخ به کود دامی، در سطوح بالاتر بیوچار بسیار تندتر است. به عبارت دیگر، در غیاب بیوچار (B0)، افزایش کود دامی از F0 به F30 تأثیر متوسطی داشت، زیرا تنش شوری همچنان عامل محدودکننده اصلی بود. اما در تیمار ۴ درصد بیوچار (B4)، که تنش شوری را کاهش داده و رطوبت را حفظ کرده بود، گیاه توانست از پتانسیل کامل تغذیه‌ای کود دامی استفاده کند و به طور قابل توجهی سبب رشد ذرت گردید. این یافته با نتایج مطالعه Li و Tasnady (2023) مطابقت دارد که گزارش کردند کودهای آلی باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. بیشترین وزن خشک (۵۱ گرم بر گلدان) در تیمار ۴ درصد بیوچار و ۳۰ گرم بر کیلوگرم کود دامی (B4F30) به دست آمد، درحالی‌که کمترین مقدار (۲۰ گرم بر گلدان) در شاهد مطلق (B0F0)، می‌باشد. این یک نمونه بارز از هم‌افزایی مثبت است (شکل ۱).



شکل ۱. اثر متقابل بیوچار و کود دامی بر میانگین وزن خشک کل ذرت

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد تلفیقی بیوچار و کود دامی، به ویژه در سطوح بالاتر، یک استراتژی مدیریتی بسیار کارآمد برای کاهش تنش شوری، افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد گیاهان زراعی حساس مانند ذرت است. بیوچار با بهبود شرایط فیزیکی و کاهش تنش شوری، بستر را برای کارایی حداکثری کود دامی به عنوان منبع تغذیه‌ای فراهم می‌کند. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد تلفیقی ۴ درصد بیوچار به همراه ۳۰ گرم بر کیلوگرم کود دامی به عنوان بهینه‌ترین تیمار برای احیای خاک شور و دستیابی به حداکثر تولید ذرت در شرایط مشابه توصیه می‌گردد. این اثرات متقابل نشان‌دهنده این است که استفاده همزمان از اصلاح‌کننده‌های پایدار مانند بیوچار و اصلاح‌کننده‌های تغذیه‌ای مانند کود دامی، می‌تواند یک رویکرد جامع و پایدار برای مدیریت اراضی حاشیه‌ای در مناطق خشک باشد. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آتی در مقیاس مزرعه‌ای و با دوره‌های زمانی طولانی‌تر انجام گیرد تا پایداری و کارایی این روش در شرایط واقعی ارزیابی شود.

فهرست منابع

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

Al-Wabel, M. I., Al-Omran, A., El-Naggar, A. H., Nadeem, M., Usman, A. R. (2013). Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. Bioresource technology, 131, 374-379.

Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J. L. (2010). Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. Environmental pollution, 158(6), 2282-2287.

Enaime, G., Lubken, M. (2021). Agricultural waste-based biochar for agronomic applications. Applied Sciences, 11(19), 8914.

FAO. (2021). Global Map of Salt-Affected Soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Routledge.

Li, S., Tasnady, D. (2023). Biochar for Soil Carbon Sequestration: Current Knowledge, Mechanisms, and Future Perspectives. C 2023, 9, 67.

Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., Niandou, M. A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil science, 174(2), 105-112.

Xu, G., Zhang, Y., Shao, H., Sun, J. (2016). Pyrolysis temperature affects phosphorus transformation in biochar: Chemical fractionation and 31P NMR analysis. Science of the Total Environment, 569, 65-72.

Synergistic Effects of Date Palm Biochar and Farmyard Manure on Saline Soil Improvement and Maize (*Zea mays* L.) Growth

Mohammadreza Rigi

Faculty of Environmental Sciences, Planning and Sustainable Development, University of Saravan

Abstract

Improving the productivity of saline soils in arid regions requires integrated management strategies. This study aimed to evaluate the main and interaction effects of different levels of biochar derived from date palm residues and farmyard manure (cattle manure) on the properties of a light-textured saline soil and the performance of maize (Zea mays L.). A pot experiment was conducted in a factorial arrangement based on a completely randomized design (CRD) with two factors and three replications in a greenhouse. The first factor consisted of three levels of biochar (0, 2, and 4% w/w), and the second factor included three levels of well-decomposed farmyard manure (0, 15, and 30 g/kg). Results showed that both amendments individually had positive effects on soil and plant growth; however, the greatest impact was observed from their interaction. The highest total dry weight of maize (51 g/pot) and the lowest soil electrical conductivity (5.9 dS/m) were recorded in the combined treatment of 4% biochar and 30 g/kg farmyard manure, indicating a significant and positive synergy ($p < 0.05$) between these two amendments. In this treatment, maize biomass increased by more than 120% compared to the control. This study demonstrated that the combined application of biochar and organic manure, especially at higher application rates, can serve as an efficient management strategy to mitigate salinity stress while simultaneously enhancing soil fertility and crop productivity in marginal soils of arid regions."

Keywords: Biochar, Salinity Stress, Maize (*Zea mays L.*), Soil Properties, Organic Fertilizer