Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 4 (52)

Received:
2023-07-31

Accepted:
2023-12-01

Pages: 55-65

The Effect of Two Types of Agricultural Waste Biochar on Some Physical Properties and Water Repellency of Soil

Asieh Naroui[1], Javad Zamani[2*], Shapour Koohestani[3] and Farideh Abbaszadeh Afshar[2]

1) Ph.D. Student, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2) Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
3) Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
*Corresponding author email: zamani@ujiroft.ac.ir

Abstract:

Background and purpose: In recent decade, biochar application as a soil amendment has received attention from many researchers around the world. With respect to report of different impacts of biochars on soil properties and crop type the use of biochar in soil as an amendment must be scientifically and practically studied in relation to the type of soil, type of biochar and type of plant to investigate and determine its positive or negative effects. The aim of this study was to investigate the effect of biochar derived from pistachio waste and date palm leaves on some physical properties and water repellency of soil.

Materials and Methods: For this purpose, two types of soil (i.e. sand and sandy loam) were combined with two types of biochar, date palm leaf biochar (DPLB) and pistachio harvesting waste biochar (PHWB), at 4 application levels (1, 2, 3, and 5% by weight), also the treatment without biochar application was considered as a control. These biochars were mixed with soil and after a two-month incubation period, then physical properties of soil such as bulk density, specific surface area, hygroscopic moisture, water repellency, and dispersible clay were measured and the obtained results were statistically analyzed.

Results: The results showed that the application of biochars generally decreased the bulk density (BD) and increased the specific surface area (SSA) and hygroscopic moisture content (HMC) in the both soils. Although the application of DPLB caused decrease in dispersible clay (DC) of the soils but PHWB increased this parameter compared to the control. Application of 5% DPLB in both soils reduced DC by 60% but on the other hand, PHWB increased DC by 43% and 114% in sandy soil and sandy loam soil, respectively. In general, the low levels of biochar application (1% level) caused a significant decrease in the water repellency of sandy loam soil compared to the control, and increasing the levels of biochar application, resulted in an increase in soil hydrophobicity. The effect of DPLB application in sandy loam soil on water repellency was not significant, and the application of PHWB had a different effect on water repellency of sandy soil. Increasing levels of PHWB caused a significant decrease in water repellency of sandy soil, so that the application of 5% of PHWB reduced this index by 31% in this soil. It seems that PHWB has increased the SSA of sandy soil and on the other hand, the greater tendency of this biochar to absorb water on the surface (increased HWC), has increased the tendency of sandy soil to suck the water, so decreased the water repellency of this soil.

Conclusion: In general, the effects of the studied biochars on the physical properties of the both soils were positive, and the reduction of the BD and DC also the increasing of the SSA and HWC could be considered as an increasing in the soil quality, but this doesn't mean that the application of biochars can have positive effects on plant growth in the soil, because the aspects of the impact of these amendments on other soil properties (i.e. chemical properties) should also be considered. So, considering that the effect of biochar can be greatly influenced by the combination of biochar properties and soil conditions, effective use of biochar in agricultural soils requires prior evaluation of the biochar effect based on soil and plant conditions.

Keywords: Pistachio biochar, Palm leaf, Sandy soil, Sandy loam, Hydraulic properties

10.30495/WSRCJ.2023.74395.11396

مقاله پژوهشی

تاثیر دو نوع بیوچار ضایعات کشاورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و آبگریزی خاک

آسیه ناروئی[1]، جواد زمانی بابگهری[2*]، شاپور کوهستانی[3] و فریده عباس‌زاده[2]

۱) دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.
۲) استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.
۳) استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: zamani@ujiroft.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: در دهه اخیر استفاده از بیوچار به عنوان اصلاح کننده خاک، مورد توجه پژوهشگران متعددی در سراسر جهان قرار گرفته است. با توجه به گزارش تاثیرات متفاوت بیوچارها بر ویژگی‌های خاک و نوع محصول حتما باید تاثیرات کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده در ارتباط با نوع خاک و نوع محصول مورد بررسی علمی و عملی قرار گیرد تا تأثیرات مثبت و یا منفی آن بررسی و مشخص شود. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر بیوچار حاصل از ضایعات پسته و برگ خرما بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و آب‌گریزی خاک بود.

روش پژوهش: برای این منظور دو نوع خاک (شنی و لوم شنی) با بیوچار برگ خرما و بیوچار تفاله پسته در ۴ سطح (۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی) با هم ترکیب شدند و سطح بدون کاربرد بیوچار هم به عنوان شاهد درنظر گرفته شد. بعد از ترکیب بیوچارها با خاک، به مدت دو ماه در شرایط گلخانه‌ای خوابانیده و آنکوبه‌شدند و سپس ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند چگالی ظاهری، سطح ویژه، رطوبت هیگروسکوپی، آبگریزی و رس قابل پراکنش در آن‌ها اندازه‌گیری شد و نتایج بدست آمده مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد بیوچارها به طور کلی موجب کاهش چگالی ظاهری و افزایش سطح ویژه و درصد رطوبت هیگروسکوپی در هر دو خاک مورد مطالعه شده بود. اما در مورد درصد رس قابل پراکنش هرچند کاربرد بیوچار برگ خرما کاهش این پارامتر را در پی داشت، اما بیوچار ضایعات پسته موجب افزایش این پارامتر در مقایسه با شاهد شد. کاربرد ۵ درصد بیوچار خرما در هر دو خاک موجب کاهش حدود ۶۰ درصدی پراکنش رس شد اما در مقابل، بیوچار ضایعات برداشت پسته به ترتیب موجب افزایش حدود ۴۳ و ۱۱۴ درصدی پراکنش رس در خاک شنی و لوم شنی شده بود. به‌طورکلی سطوح کم کاربرد بیوچارها (سطح ۱ درصد) موجب کاهش معنی‌دار آب‌گریزی خاک لوم‌شنی در مقایسه با شاهد شده بود و افزایش سطوح بیوچارها، افزایش آب‌گریزی خاک را در پی داشت. تاثیر کاربرد بیوچار برگ خرما در خاک لوم‌شنی بر آب‌گریزی معنی‌دار نبود و کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته تاثیر متفاوتی بر آبگریزی خاک شنی داشت؛ افزایش سطوح بیوچار ضایعات پسته کاهش معنی‌دار آب‌گریزی خاک را موجب شد به طوری که کاربرد ۵ درصد از بیوچار ضایعات برداشت پسته مقدار این شاخص را در خاک شنی ۳۱ درصد کاهش داده بود. به نظر می‌رسد بیوچار ضایعات برداشت پسته با افزایش سطح ویژه خاک شنی و از طرفی تمایل بیشتر این ماده به جذب سطحی آب (افزایش رطوبت هیگروسکوپی)، موجب افزایش تمایل خاک شنی به جذب آب و درنتیجه کاهش آب‌گریزی خاک شده است.

نتایج: به طور کلی اثرات بیوچارهای مورد مطالعه بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در هر دو خاک مثبت بود و کاهش چگالی ظاهری و رس قابل پراکنش و افزایش سطح ویژه و رطوبت هیگروسکوپی می‌تواند افزایش کیفیت خاک را نشان دهد، اما این نتایج بدین معنی نیست که کاربرد بیوچارها می‌تواند اثرات مثبتی بر رشد گیاه در خاک داشته باشد و باید جنبه‌های تاثیر این مواد بر ویژگی‌های دیگر خاک (یعنی ویژگی‌های شیمیایی) نیز مدنظر باشد. بنابراین اثر بیوچار می‌تواند تا حد زیادی تحت تأثیر اثر ترکیبی بیوچار بر شرایط خاک قرار گیرد، برای استفاده مؤثر از بیوچار درخاک‌های کشاورزی، قبل از استفاده تجاری و عملی از بیوچار در خاک، پیشنهاد می‌شود تأثیر بیوچار با توجه به شرایط خاک و گیاه مورد مطالعه دقیق قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: بیوچار پسته، برگ خرما، خاک شنی، لوم شنی، ویژگی‌های هیدرولیکی

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ٤ (٥٢)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۹/۱۰

صفحات: ٦٥-٥٥

10.30495/WSRCJ.2023.74395.11396

مقدمه

بیوچار ماده‌ای جامد، سیاه رنگ و غنی از کربن پایدار است و می‌تواند از طیف وسیعی از زیست‌توده شامل ضایعات محصولات کشاورزی، مواد چوبی، کود دامی و سایر ضایعات آلی (به عنوان مثال لجن فاضلاب) (Luo et al., 2016)، در اثر سوزاندن، این مواد در شرایط بدون اکسیژن یا با اکسیژن کم، در دماهای متوسط تا زیاد (۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) تولید شود (Miri and Zamani, 2020). درحقیقت به ذغال حاصل از سوزاندن زیست‌توده در این شرایط (تحت پیرولیز)، بیوچار یا ذغال زیستی گفته می‌شود که برخی آن را طلای سیاه برای کشاورزی نیز می‌نامند (Raček et al., 2020).

به دلیل ویژگی‌های خاص از جمله سطح ویژه بالا و ساختار منافذ غنی، بیوچار می‌تواند به عنوان یک اصلاح‌کننده خوب برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد استفاده قرار گیرد و به‌عنوان یک راه‌حل برای بسیاری از گیاهان در مقابله با خشکی کاربرد دارد. بیوچار معمولا دارای بیش از ۸۰ درصد کربن است و با توجه به اینکه این ماده پایدار با داشتن منافذ متعدد (در مقیاس میکرون) توانایی نگهداشت آب و مواد مغذی را دارد، از این‌رو می‌تواند مستقیماً موجب تاثیر بر ویژگی‌های رطوبتی خاک نظیر نفوذپذیری و جذب‌پذیری آب توسط خاک (آبگریزی) شود (Lehmann et al., 2003؛ Pietikainen et al, 2000؛ Laird et al, 2010؛ Major et al., 2010) و یا حتی می‌تواند با تاثیر بر ساختار خاکدانه‌های خاک به طور غیرمستقیم بر ویژگی‌های رطوبتی خاک نیز موثر باشد.

محققین گزارش کردند ساختار بیوچار در طول فرایند گرماکافت (پیرولیز) متخلخل می‌شود، سطح ویژه آن زیاد شده و چگالی ظاهری آن کاهش می‌یابد؛ بنابراین بیوچار به دلیل داشتن تخلخل و سطح ویژه زیاد، می‌تواند باعث تغییر در توزیع اندازه منافذ و کاهش چگالی ظاهری خاک شود (Downie et al.,2012; Miri et al., 2020)، اما بندرت و در برخی مواقع ممکن است با پر کردن منافذ، چگالی ظاهری خاک را افزایش دهد (Verheijen et al., 2010) که این موضوع بسته به نوع بیوچار، نوع ماده اولیه مورد استفاده، شرایط تولید بیوچار و نوع خاک، می‌تواند متفاوت باشد. آندرنلی و همکاران (۲۰۱۶) در این رابطه بیان داشتند اثرات اصلاح‌کنندگی بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، علاوه بر شرایط گرماکافت به نوع ماده آلی اولیه، نوع خاک و مقدار مصرف بیوچار نیز وابسته است (Andrenelli et al., 2016). در همین زمینه اوبانگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که ویژگی‌های رطوبتی خاک لوم شنی بیشتر تحت تأثیر بیوچار نسبت به خاک لوم رسی تغییر پیدا کرده است. در واقع خاک‌های درشت‌بافت با توجه به اینکه سطح ویژه کمتری دارند، می‌توانند بیشتر تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرار گیرند و معمولاً میزان نسبی تغییر ویژگی‌های این نوع خاک‌ها در اثر کاربرد این ماده، بیشتر است (Ouyang et al., 2013). مشاهده شده که ذرات ریز بیوچار در پتانسیل ماتریک کم (مکش‌های بالا)، آب بیشتری را حفظ کرده و با افزایش پتانسیل ماتریک، ذرات درشت‌تر بیوچار تأثیر بیشتری در حفظ آب دارند. همچنین گزارش‌شده است که با افزایش مقدار بیوچار، عملکرد ماده خشک گیاه نیز افزایش می‌یابد (Francis Monnite, 2016).

کیتی و همکاران (۲۰۱۵) اثر منبع بیوچار و مقادیر مصرف آن روی نگهداشت رطوبت خاک را با منحنی‌های خیس شدگی خاک مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه این محققین بیوچار کود دامی در مقایسه با بیوچار تراشه چوب تأثیر متفاوتی در نگهداشت رطوبت خاک داشت (Katy et al., 2015) و با کاربرد بیوچار کود دامی، آب بیشتری در یک پتانسیل آبی معین در خاک نسبت به بیوچار تراشه چوب نگهداری شد. همچنین، نتایج آن‌ها نشان داد که همه‌ی بیوچارها ممکن است نگهداشت رطوبت خاک را در طیف گسترده‌ای از شرایط رطوبتی خاک و در همه مقادیر بهبود نبخشند، که این موضوع باید مدنظر قرار گیرد. پژوهشگرانی نیز اثرات کوتاه‌مدت بیوچار تولیدشده از برگ خرما را بر حفظ رطوبت خاک در خاک لوم شنی مورد مطالعه قرار دادند و مشخص شد به‌طورکلی، تیمارهای ۶ و ۱۲ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش ۷/۹۶ و ۱۸/۶ درصدی آب قابل‌دسترس نسبت به تیمار بدون مصرف بیوچار شده بود (Nowruz, 2017).

امجدیان و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد همه‌ی سطوح بقایای پسته (صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد) آب‌گریزی خاک را افزایش داد (Amjadian et al., 2018). یزدان‌پناه و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند با توجه به سطح ویژه کم ذرات شن، آب‌گریزی در خاک‌های شنی بیشتر تحت تأثیر کاربرد و ورود مواد، اتفاق می‌افتد (Yazdanpanahi et al., 2019). سپهرنیا و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند با افزایش ماده آلی به خاک، آب‌گریزی خاک بیشتر می‌شود. آب‌گریزی سبب کاهش نفوذ و افزایش رواناب می‌شود و می‌تواند با افزایش فرسایش سبب تخریب منابع خاک شود که می‌توان گفت آب‌گریز بودن اصلاح-کننده‌ها می‌تواند فواید کاربردی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Sepehrnia et al., 2016). تحقیقات پیشین مربوط به کاربرد بیوچار در خاک بیشتر بر تاثیر آن‌ها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و تاثیر آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاه معطوب بوده است و تحقیقات کمتری در زمینه‌ی تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و به طور ویژه بر آبگریزی خاک بخصوص در ایران صورت گرفته است. لذا پژوهش حاضر تأثیر کاربرد دو نوع بیوچار (بیوچار برگ خرما و بیوچار ضایعات پسته) را بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی در دو نوع خاک مختلف از نظر بافت (شنی و لوم شنی) مورد بررسی قرار داده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل نمونه برداری

جهت انجام این تحقیق، نمونه‌برداری از خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، از دو منطقه و با دو بافت مختلف (شنی و لوم‌شنی) انجام شد. خاک لوم شنی از ایستگاه تحقیقاتی شهید بهشتی دانشگاه جیرفت (28°36’02”N - 57°48’54”E) برداشت و نمونه‌برداری برای خاک با بافت شنی از مزرعه آموزشی این دانشگاه (28°36’04”N - 57°49’54”E) انجام شد. جدول ۱ برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش انجام تحقیق

نمونه‌های خاک مورد بررسی پس از خشک شدن در هوا، از الک ۴ میلی‌متری برای ترکیب با بیوچارعبور داده شدند. همچنین بخشی از خاک‌ها برای انجام آزمایش‌ها و تعیین ویژگی‌های اولیه خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در آن تعیین شد (جدول ۱). بیوچارهای تهیه شده در این تحقیق با توجه به روش توضیح‌داده شده در مطالعه‌های قبل (میری و همکاران، ۲۰۲۰)، در شرایط اکسیژن محدود، و با قرار گرفتن به مدت دو ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، تولید شدند. ابتدا تیمارهای مورد مطالعه در چهار سطح (۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی بیوچار) با خاک ترکیب شدند. برای این منظور نمونه خاک‌ها به همراه بیوچارها درون پلاستیک به منظور یکنواخت شدن و آنکوبه شدن به مدت یک ماه قرار داده شدند و در این مدت خاک‌ها ضمن آبیاری با آبفشان، یک روز در میان با زیر و رو شدن، به هم خورده تا بیوچارها به حد کافی با خاک ترکیب، آنکوبه و پایدار شوند. علاوه بر سطوح مورد نظر تیمارها، خاکِ بدون بیوچار نیز به عنوان شاهد در این مدت برای حفظ شرایط یکسان، زیر و رو و به یک میزان آبیاری شد. در انتها نیز به مدت یک ماه بدون مخطوط شدن به حال خود رها و انکوبه شدند. بعد از آن ویژگی‌هایی از خاک شامل: چگالی ظاهری (Klute, 1986)، سطح ویژه با استفاده از اتیلن گلیکول مونواتیل اتر (Burt, 2004)، رطوبت هیگروسکوپی (Wuddivira et al., 2012)، رس قابل پراکنش (Burt et al., 1993) و شاخص آبگریزی با اندازه‌گیری جذب‌پذیری ذاتی خاک نسبت به اتانول و آب (Hallett and Young, 1999) در تیمارهای مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. شاخص آب‌گریزی (R) حاصل نسبت مقادیر جذب‌پذیری اتانول به آب در یک خاک بوده ($R= 1.95\frac{S_E}{S_w}$) که در این رابطه S_E و S_w به ترتیب جذب‌پذیری خاک نسبت به اتانول و آب می‌باشد) و افزایش آن بیانگر کاهش نسبی جذب آب به دلیل پوشش‌های آب‌گریز می‌باشد. تیلمن و همکاران (۱۹۸۹) شاخص R را برای محاسبه آب‌گریزی خاک توصیه کردند. ثابت ۱/۹۵ در رابطهٔ بالا به دلیل تفاوت کشش سطحی و لزوجت بین اتانول و آب در نظر گرفته‌شده است. اتانول به دلیل کشش سطحی کم و غیرقطبی بودن، مستقل از آب‌گریزی خاک در تمامی خاک‌ها نفوذ می‌کند. ازاین‌رو جذب پذیری اتانول تنها از تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک تأثیر می‌پذیرد، حال‌آنکه جذب پذیری آب تحت تأثیر وجود ترکیبات و گروه‌های آب‌گریز در سطح خاک نیز قرار می‌گیرد. در خاک‌های آب‌دوست، R برابر یک است. در واقع خاک‌هایی که در آن‌ها جذب‌پذیری آب بیشتر از جذب‌پذیری اتانول باشد ($S_W > S_E$)، خاک‌های آب‌دوستی هستند، یعنی در این خاک‌ها مقدار شاخص آب‌گریزی R کمتر از ۱/۹۵ می‌باشد و با زیاد شدن آب‌گریزی خاک، به دلیل کاهش S_W در مقایسه با S_E، شاخص آب‌گریزی افزایش می‌یابد (شروع آب‌گریزی از R=1.95 می‌باشد) و در خاک‌های آب‌گریز حقیقی مقدار R بسیار زیاد می‌شود (Tillman *et al.*, 1989).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. مقایسه میانگین‌ها و آنالیزهای آماری بین تیمارها (۹ تیمار) در هر دو خاک به صورت مجزا انجام و اثر متقابل خاک و بیوچار مدنظر نبود. محاسبات آماری داده‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش با استفاده نرم‌افزار آماری «SAS» در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (SAS9.1) و بعد از مشخص شدن معنی‌داری پارامترها، میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD مقایسه شدند.

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورداستفاده در این مطالعه

ویژگی‌ها	واحدها	نوع خاک	
		خاک شنی	خاک لوم شنی
شن	%	۹۰/۶۱	۶۰/۵۲
سیلت	“	۷/۳۹	۱۴/۰۰
رس	“	۲/۰۰	۲۵/۴۸
بافت خاک	--	Sand	Sandy Loam
ظرفیت نگهداشت آب	%	۱۳/۳	۲۲/۵
ماده آلی	%	۰/۴۳	۰/۹
نیتروژن کل	mg kg^{-1}	۱۱۸/۲	۲۸۶/۵
فسفر قابل‌جذب	“	۱/۰۹	۱/۱۹
پتاسیم قابل‌جذب	“	۱۲۱	۱۲۳
کربنات کلسیم معادل	%	۲/۶۷	۱۳/۱
اسیدیته (pH)	--	۷/۵۱	۷/۴۸
هدایت الکتریکی (EC)	dS m^{-1}	۱/۰۷	۳/۴۶
نسبت کربن به نیتروژن	--	۲۰/۹۷	۱۸/۱۳

جدول ۲. تجزیه واریانس داده‌های ویژگی‌های فیزیکی در دو خاک مورد مطالعه

نوع خاک	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات†				
			چگالی ظاهری	سطح ویژه	رطوبت هیگروسکوپی	آب‌گریزی	رس قابل پراکنش
شنی	تیمار	۸	۰/۰۱۹۷**	۸۸/۹۹۰**	۰/۱۶۵۱**	۰/۳۰۲۱**	۱۸۸/۷۵**
	خطا	۱۸	۰/۰۰۲۲	۲/۷۶۷۲	۰/۰۰۸۰	۰/۰۳۳۸	۰/۷۹۹۵
	میانگین		۱/۱۵۶	۱۰/۹۴	۰/۴۵۴	۲/۶۱	۱۷/۳۵
	CV%		۴/۱۲	۱۵/۲۰	۱۹/۷۰	۷/۰۵	۵/۱۵
لوم شنی	تیمار	۸	۰/۰۰۸۳**	۳۰/۵۶۸^{ns}	۰/۲۰۸۲**	۱/۰۲۷۲**	۸۴/۲۵۷**
	خطا	۱۸	۰/۰۰۰۸	۳۲/۶۹۳	۰/۰۳۲۵	۰/۱۸۰۷	۰/۹۵۵۹
	میانگین		۰/۹۹۹	۱۴/۴۳	۱/۶۴۶	۲/۸۵	۷/۳۰
	CV%		۲/۷۶	۳۹/۶۳	۱۰/۹۶	۱۴/۹۴	۱۳/۳۹

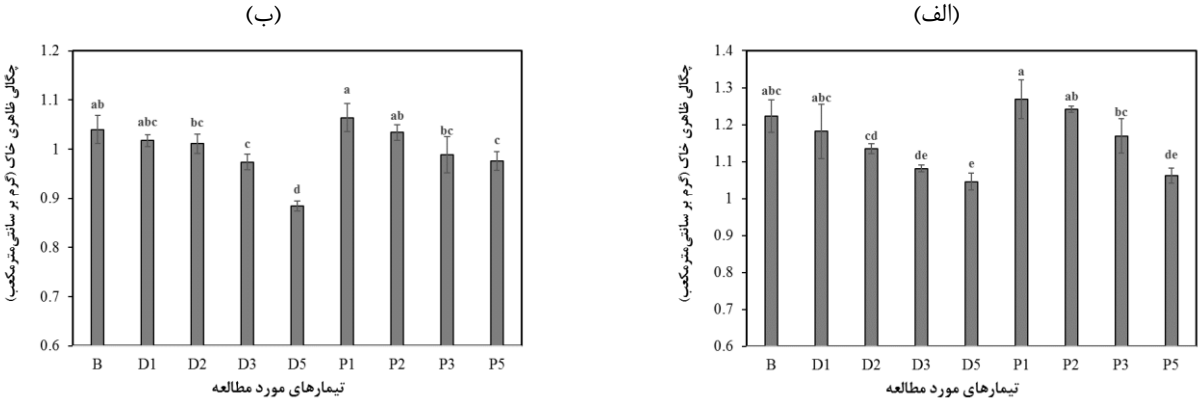
† ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ درصد

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد بیوچارها موجب ایجاد تفاوت معنی‌دار در چگالی ظاهری هر دو خاک مورد مطالعه شد (جدول ۲). بر اساس آنالیز و مقایسه میانگین‌ها با افزایش سطح بیوچارها (ضایعات برداشت پسته و برگ نخل) در خاک شنی و لوم شنی چگالی ظاهری خاک کاهش یافت. از این لحاظ کاهش حاصل از کاربرد ۵ درصد از هر دو نوع بیوچار و نیز کاربرد ۳ درصد از بیوچار برگ نخل معنی‌دار بود.

بررسی دقیق‌تر میانگین داده‌های حاصل از تأثیر بیوچارها بر چگالی ظاهری در دو خاک، نشان داد که بیوچار برگ خرما مقدار این پارامتر را بیشتر از بیوچار ضایعات برداشت پسته کاهش داده بود (شکل ۱). این موضوع به‌گونه‌ای بود که سطح ۵ درصد از کاربرد بیوچار خرما موجب کاهش حدود ۱۴/۵ و ۱۵ درصدی چگالی ظاهری به ترتیب در دو خاک شنی و لوم شنی شده بود، حال‌آنکه کاهش این ویژگی در اثر کاربرد سطح ۵ درصد بیوچار ضایعات پسته در دو خاک شنی و لوم شنی به ترتیب حدود ۱۳ و ۶/۲ درصد بود.

چگالی حقیقی ذرات بیوچار در مقایسه با ذرات معدنی خاک کم است و بر اساس آنالیزهای انجام‌شده، چگالی ذرات این ماده به‌طور متوسط بین ۱/۵ تا ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد که در مقایسه با مقدار متوسط، این ویژگی در مورد ذرات معدنی خاک (۲/۴ تا ۲/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) عدد کوچک‌تری می‌باشد (Blanco-Canqui, 2017) لذا بخشی از کاهش چگالی ظاهری خاک‌ها حاصل از کاربرد این بیوچارها را می‌توان به تأثیر مستقیم کاهش جرم حجمی خاک ارتباط داد؛ در واقع کاربرد این مواد در خاک مانند بسیاری دیگر از مواد آلی، حالتی از رقیق‌سازی جرمی در خاک را در پی دارد. بیوچار همچنین به دلیل داشتن سطح ویژه و تخلخل بالا، می‌تواند باعث تغییر در توزیع اندازه منافذ و قابلیت فشرده شدن خاک و در نتیجه کاهش چگالی ظاهری شود (Downie et al.,2012; Major et al., 2010). نتایج تحقیقات برودووسکی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد بیوچار موجب تقویت خاکدانه‌سازی در خاک نیز می‌شود و بیوچار قابلیت چسباندن خاکدانه‌های ریز به یکدیگر و ایجاد خاکدانه‌های درشت‌تر را دارد که این موضوع نیز خود می‌تواند با افزایش حجم جرمی خاک، چگالی ظاهری خاک



شکل ۱. تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر چگالی ظاهری در خاک شنی (الف) و لوم شنی (ب)

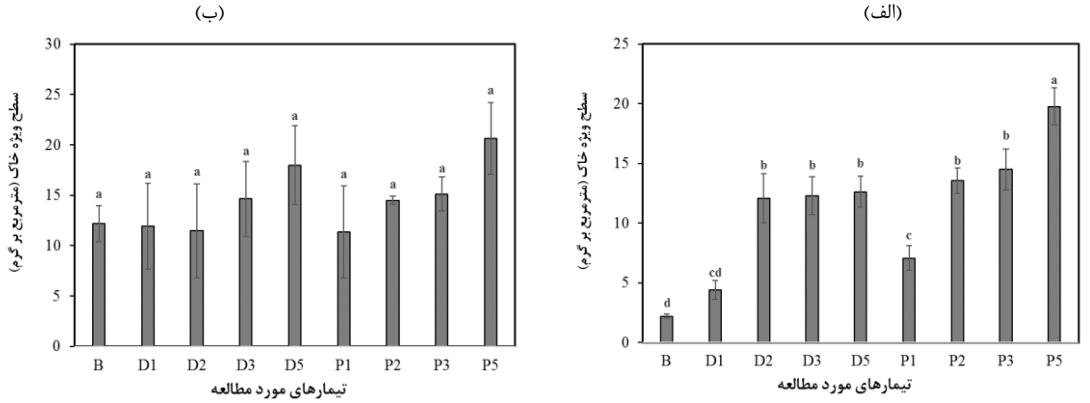
(B، تیمار شاهد، D1، D2، D3 و D5 کاربرد بیوچار برگ خرما و P1، P2، P3 و P5 کاربرد بیوچار برداشت ضایعات پسته به ترتیب در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی)

را کاهش دهد (Brodowski et al., 2007). در این رابطه بلانکو - چانکیوی (۲۰۱۷) نیز بیان داشته که بیوچار به‌طور غیرمستقیم و با بهبود خاکدانه‌سازی و تخلخل خاک می‌تواند موجب کاهش چگالی ظاهری خاک شود که این موضوع معمولاً در زمان‌های طولانی‌تر اتفاق می‌افتد (Blanco-Canqui, 2017)، و با توجه به بافت خاک‌های مورد مطالعه و نیز مدت زمان انکوباسیون در پژوهش حاضر، دلیل اصلی کاهش چگالی ظاهری در اثر کاربرد بیوچارها تاثیر رقیق‌سازی جرمی ناشی از کاربرد بیوچارها تشخیص داده شد.

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که کاربرد بیوچارها تأثیر معنی‌داری بر مقدار سطح ویژه در خاک شنی داشت. افزایش سطح کاربرد بیوچار خرما و پسته باعث افزایش معنی‌دار سطح ویژه خاک شنی شده بود (شکل ۲. الف). تمام سطوح کاربرد بیوچارها به‌جز سطح ۱ درصد از بیوچار خرما، افزایش معنی‌دار ($P<0.01$) سطح ویژه در خاک شنی را در پی داشت و با افزایش سطح کاربرد بیوچارها، سطح ویژه این خاک نیز افزایش نشان داد. نتایج این بخش از تحقیق نشان می‌دهد که، خاک درشت‌بافت‌تر بیشتر تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرارگرفته است و از طرفی بیوچار ضایعات پسته در خاک شنی اثر بیشتری نسبت به بیوچار خرما داشته است. این موضوع می‌تواند ناشی از سطح ویژه بیشتر در این بیوچار باشد. کاربرد سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصدی از بیوچار برگ خرما به ترتیب افزایش حدود ۱۰۰، ۴۴۸، ۴۵۸ و ۴۷۴ درصدی سطح ویژه خاک شنی را موجب شد، حال‌آنکه این مقادیر برای بیوچار ضایعات برداشت پسته حدود ۲۲۱، ۵۱۶، ۵۵۹ و ۷۹۷ درصد بود. به‌طورکلی افزایش مقدار سطح ویژه خاک با زیاد شدن درصد کاربرد بیوچار می‌تواند به دلیل وجود منافذ ریز در بیوچارها و اندازه ریز آن‌ها باشد. قربانی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که سطح ویژه خاک به‌شدت متأثر از مصرف بیوچار می‌باشد (Ghorbani et al., 2018). لِیرد و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که با اضافه کردن بیوچار به‌اندازه ۲۰ گرم در کیلوگرم در یک خاک رسی (۲ درصد وزنی)، سطح ویژه‌ی خاک از ۱۳۰ به ۱۵۰ مترمربع در گرم افزایش یافت (Laird et al., 2010). سطح ویژه زیاد مخلوط خاک و بیوچار با داشتن توانایی در جذب موادی شامل گازها و عناصر تغذیه‌ای درون خاک، می‌تواند سبب بهبود بهره‌وری زراعی خاک اصلاح‌شده با بیوچار نیز شود (Singh et al., 2015) که این موضوع از اثرات مثبت کاربرد بیوچارها در خاک می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که با افزایش سطح بیوچار خرما و پسته در هر دو خاک شنی و لوم شنی مقدار رطوبت هیگروسکوپی خاک به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۱). بر اساس نتایج، رطوبت هیگروسکوپیک خاک با کاربرد بیوچارها مورد مطالعه افزایش یافت (شکل ۳).

در این رابطه هرچند سطح ۱ درصد از بیوچار پسته موجب کاهش جزئی (غیر معنی‌دار) در مقدار این ویژگی در خاک لوم شنی شده بود اما به نظر می‌رسد که تأثیر این بیوچار بر افزایش مقدار رطوبت هیگروسکوپی خاک بیش از بیوچار برگ خرما به ویژه در خاک شنی می‌باشد. بررسی مقایسه میانگین‌ها در این بخش نشان داد که بیوچار برگ خرما تنها در سطح کاربرد ۵ درصد در خاک شنی موجب افزایش معنی‌داری رطوبت هیگروسکوپی این خاک شد ($P<0.01$) و سطوح دیگر از این بیوچار در این خاک و نیز تمام سطوح کاربرد این بیوچار در خاک لوم شنی در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. حال‌آنکه تمام سطوح کاربرد بیوچار پسته در خاک شنی و نیز کاربرد ۳ و ۵ درصد از این بیوچار در خاک لوم شنی موجب افزایش معنی‌دار مقدار رطوبت هیگروسکوپی خاک در مقایسه با شاهد شده بود (شکل ۳. الف). این نتایج نشان می‌دهد با توجه به اینکه مقدار رطوبت هیگروسکوپی خاک شنی کمتر از خاک لوم شنی است،

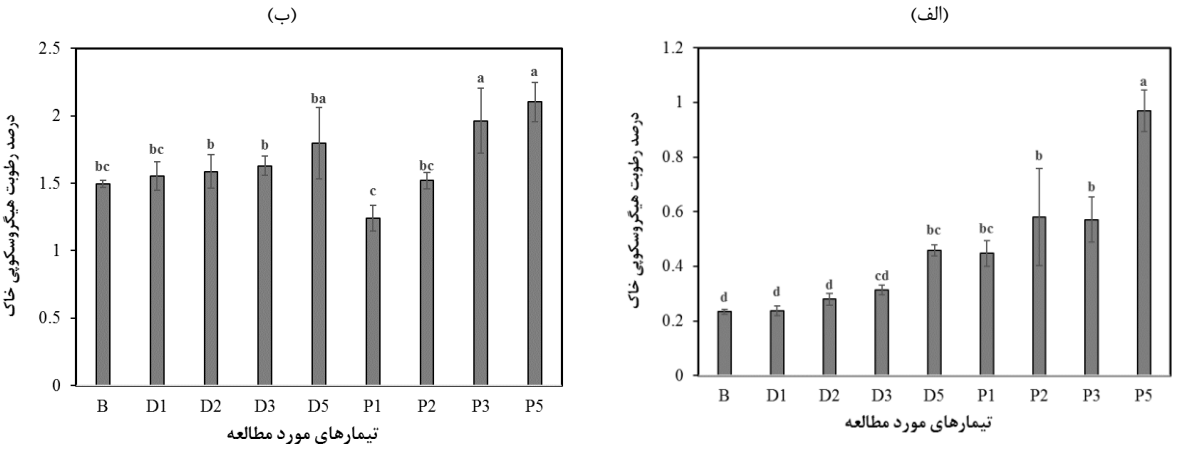


شکل ۲. تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر سطح ویژه در خاک شنی (الف) و لوم شنی (ب)

(B، تیمار شاهد، D1، D2، D3 و D5 کاربرد بیوچار برگ خرما و P1، P2، P3 و P5 کاربرد بیوچار برداشت ضایعات پسته به ترتیب در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی)

تأثیر مواد جاذب الرطوبتی مانند بیوچار می‌تواند تأثیر بیشتر بر این خاک داشته باشد و در این میان بیوچار پسته احتمالاً به دلیل نگهداشت بیشتر رطوبت در مکش‌های بالا، تأثیر بیشتری بر این ویژگی در هر دو خاک دارد. کاربرد ۵ درصد از بیوچار ضایعات پسته و بیوچار برگ خرما در خاک شنی موجب افزایش حدود ۳۱۵ و ۹۶ درصدی رطوبت هیگروسکوپی در مقایسه با شاهد شده بود (افزایش رطوبت هیگروسکوپی از ۰/۲۳ درصد به ترتیب به حدود ۰/۹۷ و ۰/۴۶ درصد)؛ اما مقایسه این مقادیر در خاک لوم شنی با کاربرد ۵ درصد از بیوچار ضایعات پسته و بیوچار برگ خرما به ترتیب حدود ۴۱ و ۲۰ درصد بود. ذرات بیوچار می‌توانند به‌طور مؤثری آب را در خود جذب کنند، اما معمولاً خاک‌های ریزبافت‌تر واکنش کمتری به کاربرد بیوچار نشان می‌دهند (Blanco-Canqui, 2017) و تأثیر بر ویژگی‌های رطوبتی خاک‌های درشت‌بافت (شنی) بیشتر قابل‌مشاهده است. این موضوع می‌تواند از نتایج مفید استفاده از مواد آلی مانند بیوچار در خاک باشد که می‌تواند نقص در نگهداشت آب توسط خاک‌های درشت‌بافت را تا حدی کاهش دهد. در همین زمینه اویانگ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که ویژگی‌های رطوبتی خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی تغییرات بیشتری تحت تأثیر بیوچار دارد؛ درواقع خاک‌های درشت‌بافت بیشتر می‌توانند تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرار گیرند. خادم و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند رفتار رطوبتی خاک در مکش‌های ماتریک زیاد تحت کنترل بافت خاک و منافذ ریز آن قرار دارد، ولی در مکش‌های کم، تحت کنترل ساختمان خاک و منافذ درشت آن می‌باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که بیوچارها به دلیل داشتن منافذ ریز در بین ذرات خود می‌توانند موجب تأثیر بر رفتار رطوبتی خاک به ویژه در مکش‌های غیراشباع در محدوده رطوبت هیگروسکوپی شده باشند. نوروزی (۱۳۹۵) نیز اثرات کوتاه‌مدت بیوچار تولیدشده از برگ خرما را بر حفظ رطوبت خاک در یک خاک لوم شنی مورد مطالعه قراردادند، نتایج آن‌ها نشان داد به‌طورکلی، تیمارهای ۶ و ۱۲ تن در هکتار از این بیوچار موجب افزایش ۷/۹۶ و ۱۸/۶ درصدی آب قابل‌دسترس نسبت به تیمار بدون مصرف بیوچار شد (Nowruzi, 2017).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد بیوچارها به‌طور معنی‌داری بر مقدار آب‌گریزی خاک تأثیر گذاشت (جدول ۱). هرچند از لحاظ شاخص آب‌گریزی، خاک‌های موردمطالعه در محدوده‌ی خاک‌های آب‌دوست قرار نداشتند (مقدار شاخص R در خاک شنی حدود ۲/۹ و در خاک لوم شنی ۳/۷۳ بود)، اما به‌طور کلی سطوح کم کاربرد بیوچارها (سطح ۱ درصد) موجب کاهش معنی‌دار آب‌گریزی خاک لوم‌شنی در مقایسه با شاهد شده بود و افزایش سطوح بیوچارها، افزایش آب‌گریزی خاک را در پی داشت، اما تاثیر کاربرد بیوچار برگ خرما در خاک لوم‌شنی بر آب‌گریزی معنی‌دار نبود و کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته تاثیر متفاوتی بر آبگریزی خاک شنی داشت؛ افزایش سطوح بیوچار ضایعات پسته کاهش آب‌گریزی خاک را موجب شد (شکل ۴. الف) و سطوح کاربرد ۲، ۳ و ۵ درصد موجب کاهش معنی‌دار آب‌گریزی خاک نسبت به شاهد شد به طوری که کاربرد ۵ درصد از بیوچار ضایعات برداشت پسته مقدار شاخص آب‌گریزی خاک را در خاک شنی از ۲/۹۰ به ۱/۹۸ (۳۱ درصد کاهش) کاهش داده بود (شکل ۴). به نظر می‌رسد که بیوچار ضایعات برداشت پسته به دلیل افزایش مؤثر سطح ویژه در خاک شنی و از طرفی تمایل بیشتر این ماده به جذب سطحی آب (افزایش رطوبت هیگروسکوپی، (شکل ۳. الف))، موجب افزایش تمایل خاک شنی به جذب آب و درنتیجه کاهش آب‌گریزی خاک شده است. یزدان پناه و همکاران (۱۳۹۸)



شکل ۳. تأثیر تیمارهای موردمطالعه بر رطوبت هیگروسکوپی در خاک شنی (الف) و لوم شنی (ب)

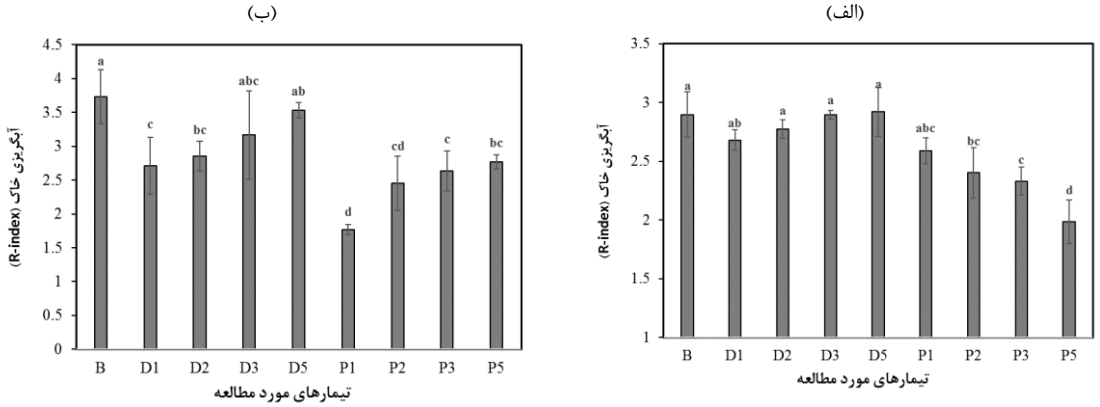
(B، تیمار شاهد، D1، D2، D3 و D5 کاربرد بیوچار برگ خرما و P1، P2، P3 و P5 کاربرد بیوچار برداشت ضایعات پسته به ترتیب در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی)

گزارش کردند با توجه به سطح ویژه کم ذرات شن، آب‌گریزی در خاک‌های شنی بیشتر تحت تأثیر کاربرد و ورود مواد، اتفاق می‌افتد، یعنی اگر مواد اضافه شده آب‌گریز باشند خاک‌های شنی به‌راحتی می‌توانند تحت تأثیر افزودن این مواد آب‌گریز شوند و اگر مواد مورد استفاده آب‌دوست باشند، می‌توانند موجب کاهش آب‌گریزی این خاک‌ها شوند که در ارتباط با تحقیق حاضر به نظر می‌رسد که بیوچار پسته به دلیل آب‌دوست بودن و سطح ویژه بالا، موجب کاهش آب‌گریزی خاک شنی شده بود. همچنین آن‌ها بیان کردند علاوه بر سطح ویژه بیوچارها، ماهیت و دمای تولید بیوچارها نیز از عوامل تأثیرگذار بیوچارها بر آب‌گریزی خاک می‌باشند (Yazdanpanahi et al., 2019).

سپهرنیا و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند با افزایش ماده آلی آب‌گریزی خاک بیشتر می‌شود. ترکیان (۱۳۹۴) گزارش کرد که افزودن ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث افزایش آب‌گریزی خاک شد، درحالی‌که افزودن بیوچار تغییر معنی‌داری در آب‌گریزی خاک ایجاد نکرد. این یافته می‌تواند به این دلیل باشد که در فرایند پیرو لیز و تولید بیوچار، دمای زیاد باعث از بین رفتن مواد آب‌گریز ترکیب آلی اولیه شده است. نتایج تحقیق امجدیان و همکاران (۱۳۹۷) متفاوت از تحقیق حاضر بود و این پژوهشگران نشان دادند که کاربرد همه‌ی سطوح بقایای پسته (صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد)، موجب افزایش آب‌گریزی خاک شده بود، هرچند که بافت خاک‌های موردمطالعه در این تحقیق رس سیلتی، لوم شنی و لوم بود و از طرفی تبدیل بقایای گیاهی (به‌ویژه پسته) به بیوچار در دماهای بالا می‌تواند موجب آب‌دوست شدن آن‌ها شود (Amjadian et al., 2018). به‌طورکلی بیوچارهایی که در دمای کم تولید می‌شوند معمولاً آب‌گریز می‌باشند اما افزایش دمای تولید بیوچار می‌تواند با حذف گروه‌های آب‌گریزی از سطح آن‌ها موجب آب‌دوست شدن آن‌ها شود (Das and Sarmah, 2015). در این رابطه زمانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیان داشتند که بیوچارها تولیدشده در دمای کمتر از ۴۵۰ درجه سلسیوس موجب بهبود زهکشی آب خاک و نیز افزایش آب قابل‌دسترس گیاه می‌شوند، در حالی که بیوچارها تولیدشده در دماهای پایین‌تر گاهی اوقات می‌توانند آب‌گریزی را در پی داشته باشند (Zamani et al., 2018).

تأثیر بیوچار بر مقدار آب‌گریزی به شرایط خاک هم بستگی دارد، یعنی اگر خاکی آب‌گریز باشد افزودن موادی مانند بیوچار اگر آب‌گریزی کمتری نسبت به خاک داشته باشند می‌تواند کاهش آب‌گریزی را در پی داشته باشد. به‌عنوان مثال نتایج تحقیقی که توسط گروهی از محققان بر روی خاک‌های آلوده به نفت انجام شد، نشان داد که بیوچار آب‌گریزی این خاک را کاهش می‌دهد. بیوچارهای مورد مطالعه در این تحقیق از چوب راش و ذرت در دماهای ۳۵۰، ۵۵۰ و ۷۵۰ تولیدشده بودند که بیوچار چوب راش نسبت به بیوچار ذرت آب‌گریزی را بیشتر کاهش داد. آن‌ها بیان داشتند که ذرات ریزتر بیوچار در کاهش آب‌گریزی مؤثرترند و با توجه به مکان‌های جذب و گروه‌های عامل آب دوست، مقادیر بیشتر از بیوچار می‌تواند آب‌گریزی را بیشتر کاهش دهد (Ebrahimzadeh Omran et al., 2020).

رس قابل پراکنش یک شاخص از پایداری ساختمانی خاک محسوب می‌شود (Igwe et al., 1995) که بررسی آن تحت تأثیر تیمارهای مختلف می‌تواند نشان از تأثیر مثبت یا منفی آن تیمار بر پایداری خاک و نیز مقاومت آن در مقابل فرسایش به‌ویژه فرسایش آبی باشد. در این تحقیق مقدار رس قابل پراکنش به‌عنوان درصدی از کل رس خاک محاسبه شد. نتایج آنالیزهای آماری و جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای موردمطالعه در این بخش تأثیر معنی‌داری بر درصد رس قابل پراکنش در هر دو خاک شنی و لوم شنی داشت. کاربرد بیوچار برگ خرما و افزایش سطوح کاربرد این بیوچار در هر دو خاک باعث کاهش رس قابل پراکنش در خاک شد،

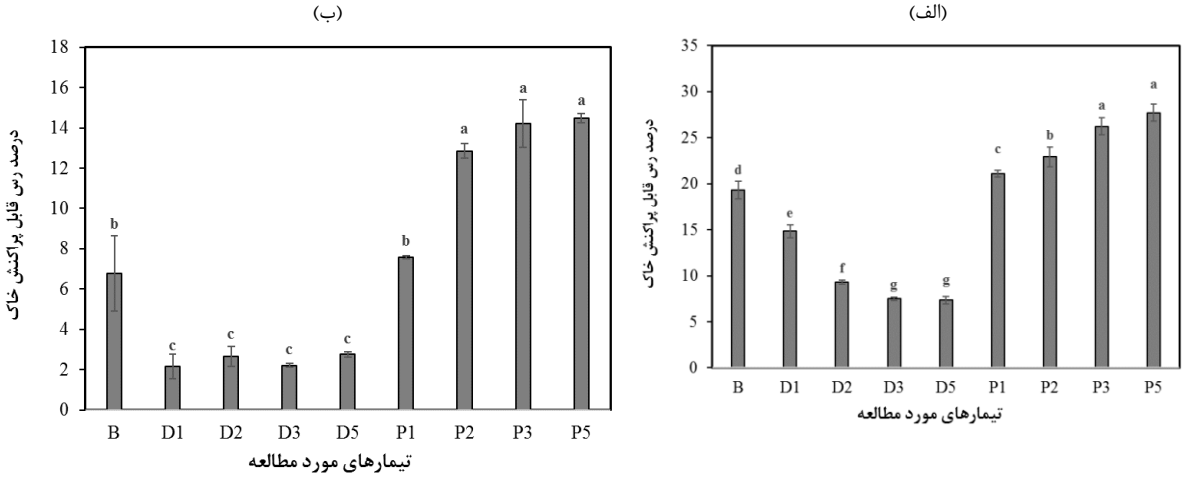


شکل ۴. تأثیر تیمارهای موردمطالعه بر شاخص آب‌گریزی (R-index) در خاک شنی (الف) و لوم شنی (ب)

(B، تیمار شاهد، **D1**، **D2**، **D3** و **D5** کاربرد بیوچار برگ خرما و **P1**، **P2**، **P3** و **P5** کاربرد بیوچار برداشت ضایعات پسته به ترتیب در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی)

اما در مقابل تأثیر کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته بر این ویژگی خاک متفاوت بود و افزایش سطوح کاربرد این بیوچار به طور معنی‌داری سبب افزایش درصد رس قابل پراکنش در هر دو خاک شد. تمام سطوح کاربرد بیوچار ضایعات پسته در هر دو خاک به‌جز سطح ۱ درصد در خاک لوم شنی در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) افزایش معنی‌دار در درصد رس قابل پراکنش را نشان دادند، اما در ارتباط با بیوچار برگ خرما تمام سطوح موجب کاهش معنی‌دار این ویژگی در مقایسه با شاهد شدند هر چند تفاوت بین پراکنش رس در خاک لوم شنی تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد بیوچار خرما معنی‌دار نبود اما در ارتباط با این ویژگی در خاک شنی افزایش سطوح کاربرد بیوچار خرما، روند کاهشی و معنی‌داری را نشان داد. احتمالاً بخشی از ذرات بیوچار پسته به‌ویژه در خاک شنی در آزمایش تعیین رس قابل پراکنش به‌عنوان رس‌های قابل پراکنش وارد محاسبات شده و کمی به مقدار تعیین‌شده این ویژگی افزوده است، زیرا خاک‌های شنی (درشت‌بافت) معمولاً به سادگی امکان تشکیل خاکدانه و در نتیجه نگهداشت مواد آلی اضافه شده را در بین ذرات خود ندارند.

کاربرد ۵ درصد از بیوچار خرما در هر دو خاک موجب کاهش حدود ۶۰ درصدی پراکنش رس شد. این موضوع نشان می‌دهد که این تیمار می‌تواند مقاومت خاکدانه‌ای و پایداری آن را در مقابل با فرسایش افزایش دهد، اما در مقابل، بیوچار ضایعات برداشت پسته به ترتیب موجب افزایش حدود ۴۳ و ۱۱۴ درصدی پراکنش رس در خاک شنی و لوم شنی شده بود. هرچند اثر اصلاحی بیوچار در خاک شنی برای بهبود شرایط خاکدانه‌ای مد نظر نمی‌باشد، اما این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار ضایعات پسته می‌تواند کاهش پایداری خاکدانه‌های خاک لوم شنی در مقابل با فرسایش را در پی داشته باشد که این موضوع یکی از نقاط منفی در کاربرد این بیوچار در خاک محسوب می‌شود. مطالعه‌ای که روی خاک‌های آلفی‌سول (با بافت لوم شنی) در جنوب غربی نیجریه در چهار سطح بیوچار (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) انجام شد، نتایج آن نشان داد کرت‌های تیمار شده با بیوچار نسبت پراکندگی رس را در مقایسه با شاهد کاهش داد. در واقع بیوچار اعمال شده ساختار خاک را تثبیت کرد و نسبت پراکندگی خاک را کاهش داده بود (Adekiya et al., 2020). افزودن مواد آلی برای تثبیت خاک در برابر تخریب فیزیکی و فرسایش مفید تشخیص داده می‌شوند و خاک‌های با نسبت پراکندگی رس بالا از نظر ساختاری ضعیف هستند و به راحتی فرسایش می‌یابند (Adekiya et al., 2016). محققین نشان دادند که افزودن بیوچار باعث افزایش مواد آلی و در نتیجه کاهش تلفات خاک با افزایش اندازه خاکدانه‌ها و همچنین تثبیت خاکدانه‌ها می‌شود. کاهش تلفات خاک با افزایش نرخ بیوچار به دلیل افزایش مواد آلی، تثبیت بهتر و بهبود خواص فیزیکی خاک را در پی دارد (Jien et al., 2013). گیلمن (۱۹۷۴) گزارش کرد وجود بار خالص سطحی روی بیوچارها نیروهای دافعه بین ذرات باردار مشابه (رس‌ها) ایجاد می‌کند و در نتیجه پراکندگی کلوئیدهای خاک را افزایش می‌دهد، این موضوع نیز می‌تواند یک احتمال در دلیل افزایش مقدار پراکنش رس در خاک‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر بعد از کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته باشد، چرا که افزایش این پارامتر در هر خاک با کاربرد سطوح مختلف این بیوچار مشاهده شد و افزایش سطوح کاربرد نیز موجب افزایش مقدار پراکنش رس در هر دو خاک شده بود.



شکل ۵. تأثیر تیمارهای موردمطالعه بر درصد رس قابل پراکنش در خاک شنی (الف) و لوم شنی (ب)

(B، تیمار شاهد، D1، D2، D3 و D5 کاربرد بیوچار برگ خرما و P1، P2، P3 و P5 کاربرد بیوچار برداشت ضایعات پسته به ترتیب در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی)

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک به جز سطح ویژه در خاک لوم شنی در هر دو خاک مورد مطالعه بعد از کاربرد بیوچارها بهبود پیدا کرده بود. اگر چه ترکیب بیوچار برگ خرما تأثیر چندانی بر شاخص آب‌گریزی در خاک‌ها نداشت، اما کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته موجب کاهش معنی‌دار این شاخص در خاک لوم شنی در تمامی سطوح کاربرد بیوچار شده بود؛ همچنین این بیوچار موجب کاهش آبگریزی در خاک شنی نیز شده بود و افزایش سطوح کاربرد آن در این خاک موجب کاهش بیشتر بیوچار شد. کاهش چگالی ظاهری و آبگریزی خاک و نیز افزایش سطح ویژه و مقدار رطوبت هیگروسکوبی می‌توان نشان از افزایش کیفیت فیزیکی خاک باشد اما این موضوع نمی‌تواند نشان‌دهنده تاثیر مثبت این بیوچارها بر ویژگی‌های رشدی گیاه باشد و برای آن باید تاثیرات بیوچارها بر ویژگی‌های رشدی گیاهان نیز مدنظر باشد. شاید بتوان کاربرد بیوچار را از لحاظ زیست‌محیطی و نیز تأثیر بر فرایند گرمایش هوا یک تکنیک مناسب برای دفن مواد زائد در خاک دانست، اما توجه به تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و آب‌گریزی خاک و تاثیر آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاه نیز همواره باید مدنظر قرار گیرد. مطالعۀ حاضر نشان می‌دهد تاثیر بیوچارهای مختلف بر ویژگی‌های خاک می‌تواند متفاوت باشد و برای توصیه کاربرد یک نوع بیوچار در خاک، حتماً باید مطالعات ابتدایی برای تعیین تأثیر آن بر ویژگی‌های خاک مدنظر قرار گیرد.

Reference:

Adekiya, A.O., Agbede, T.M., Olayanju, A., Ejue, W.S., Adekanye, T.A., Adenusi, T.T., & Ayeni, J. F. (2020). Effect of biochar on soil properties, soil loss, and cocoyam yield on a tropical sandy loam Alfisol. *The Scientific World Journal*, Volume 2020, Article ID 9391630, https://doi.org/10.1155/2020/9391630.

Adekiya, A.O., Ojeniyi, S.O., & Owonifari, O.E. (2016). Effect of cow dung on soil physical properties, growth and yield of maize (Zea mays) in a tropical Alfisol. *Scientia Agriculturae*, *15*(2), 374-379.

Amjadian, M., Moosavi, A.A., & Ronaghi, A. (2018). Effect of pistachio residue and salinity on dynamic and static water repellency of three texturally different calcareous soils. *Iranian Journal of Soil Research*, *32*(3), 403-416.

Andrenelli, M.C., Maienza, A., Genesio, L., Miglietta, F., Pellegrini, S., Vaccari, F.P., & Vignozzi, N. (2016). Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, *163*, 190-196.

Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, *81*(4), 687-711.

Brantley, K.E., Brye, K.R., Savin, M.C., & Longer, D.E. (2015). Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. *Open Journal of Soil Science*, *5*(01),1.

Brodowski, S., Amelung, W., Haumaier, L., & Zech, W. (2007). Black carbon contribution to stable humus in German arable soils. *Geoderma*, 139(1-2), 220-228.

Burt, R. (2004). *Soil survey laboratory methods manual.* Soil survey investigations report No. 42, Version 4.0. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center.

Burt, P.J., & Kolczynski. R.J. (1993). Enhanced image capture through fusion. *In* 1993 (4th) international Conference on Computer Vision (pp. 173-182).

Das, O., & Sarmah, A.K. (2015). The love–hate relationship of pyrolysis biochar and water: a perspective. *Science of the Total Environment*, 512, 682-685.

Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2012). Physical properties of biochar. *In:* Biochar for environmental management (pp. 45-64). Routledge.

Ebrahimzadeh Omran, S., Shorafa, M., Zolfaghari, A.A., & Soltani Toolarood, A.A. (2020). The effect of biochar on severity of soil water repellency of crude oil-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 6022-6032.

Ghorbani, M., & Amirahmadi, E. (2018). Effect of rice husk biochar on some physical characteristics of soil and corn growth in a loamy soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 32(3), 305-318.

Gillman, G.P. (1974). The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. *Soil Research*, 12(2), 173-176.

Hallett, P., & Young, D.I.M. (1999). Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science.* 50:35- 40.

Igwe, C.A., Akamigbo, F.O.R., & Mbagwu, J.S.C. (1995). The use of some soil aggregate indices to assess potential soil loss in soils of south-eastern Nigeria. *International agrophysics*, *9*(2).

Jien, S.H., & Wang, C.S. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*. 110, 225-233.

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Method*s. 5:687-732.

Laird, D.A., Fleming, P., Davis, D.D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D.L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 443-449.

Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, *249*, 343-357.

Luo, X., Chen, L., Zheng, H., Chang, J., Wang, H., Wang, Z., & Xing, B. (2016). Biochar addition reduced net N mineralization of a coastal wetland soil in the Yellow River Delta, China. *Geoderma*, *282*, 120-128.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, *333*, 117-128.

Miri, F., & Zamani Babgohari, J. (2020). Effects of pyrolysis temperatures on some properties of Biochar of pistachio waste. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture), 43*(1), 87-101. (In Persian).

Monnie, F. (2016). Effect of Biochar on Soil Physical Properties, Water Use Efficiency, and Growth of Maize in a Sandy Loam Soil" Afribary (2021). Accessed September 25, 2023. https://afribary.com/works/effect-of-biochar-on-soil-physical-properties-water-use-efficiency-and-growth-of-maize-in-a-sandy-loam-soil.

Nowroozi, M. (2017). Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention in sandy loam soil. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 6(2), 137-150.

Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., & Zhang, R. (2013). Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(4), 991-1002.

Pietikäinen, J., Kiikkilä, O., & Fritze, H. (2000). Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*, *89*(2), 231-242. (In Persian)

Raček, J., Ševčík, J., Chorazy, T., Kucerik, J. & Hlavínek, P. (2020). Biochar: the new black gold? Sludge Processing, available on: https://www.sludgeprocessing.com/features/biochar-the-new-black-gold.

Raiesi, F., & Besharati, H. (2018). The effects of corn biochar on the chemical and microbiological characteristics of two calcareous clay and sandy soils. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *8*(1), 25-47. (In Persian)

Sepehrnia, N., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., & Lichner, L. (2016). Extent and persistence of water repellency in two Iranian soils. *Biologia*, 71(10), 1137-1143.

Singh, B.P., Fang, Y., Boersma, M., Collins, D., Van Zwieten, L., & Macdonald, L.M. (2015). In situ persistence and migration of biochar carbon and its impact on native carbon emission in contrasting soils under managed temperate pastures. *PLoS One*, *10*(10), e0141560.

Tillman, R.W., Scotter, D.R., Wallis, M.G., & Clothier, B.E. (1989). Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Australian Journal of Soil Research*. 27(4):637-644.

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M., & Diafas, I. (2010). Biochar application to soils. *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR*, 24099 (162), 2183-2207.

Wuddivira, M.N., Robinson, D.A., Lebron, I., Bréchet, L., Atwell, M., De Caires, S., Oatham, M., Jones, S.B., Abdu, H., Verma, A.K., & Tuller, M. (2012). Estimation of Soil Clay Content from Hygroscopic Water Content Measurements. *Soil Science Society of America Journal (SSSAJ)*, 76(5): 1529-1535.

Yazdanpanahi, A., Ahmadaali, K., Zare, S., & Jafari, M. (2019). Studying the effects of two different biochars on soil water repellency. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, *9*(1), 19-34. (In Persian)

Zamani, J., Miri, F., & Zarebanadkouki, M. (2018). Biochar preparation from pistachio wastes: effect of temperature on its physicochemical properties. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 18468).