

اثر کاربرد سوسپانسیون بیوجار هسته‌ی زیتون بر ویژگی‌های فیزیکی و هدررفت خاک حساس به فرسایش

عباس شعبانی‌روفچائی: دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه گیلان

سپیده ابریشم‌کش*: استادیار گروه علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه گیلان

محمود شعبانپور: دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه گیلان

نوع مقاله: پژوهشی

محمود فاضلی: استادیار گروه علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه گیلان

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۲

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۹۹/۸/۱۴)

چکیده

اخیراً بیوجار به عنوان یک ماده‌ی اصلاحی، به منظور بهبود کیفیت خاک و کاهش فرسایش قابل توجه قرار گرفته‌است. در این پژوهش، بیوجار هسته‌ی زیتون در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تولید و مشخصه‌یابی شد. نمونه خاک رس‌سیتی حساس به فرسایش به صورت دست‌نخورده از منطقه‌ی رودبار در جنوب استان گیلان تهیه شد. سپس سطوح یک و دو درصد بیوجار در دو دامنه‌ی اندازه ذرات ۲۵۰-۵۰۰ و ۵۳-۲۵۰ میکرون، به صورت تزریق سوسپانسیون به ستون‌های فلزی حاوی خاک دست‌نخورده اضافه شد. نتایج نشان داد که تزریق این سوسپانسیون می‌تواند به افزایش پایداری خاکدانه، هدایت هیدرولیکی و به تأخیر افتادن تشکیل رواناب و کاهش رواناب و رسوب منجر شود. بیوجار با اندازه ذرات بزرگ‌تر (۲۵۰-۵۰۰ میکرون) در مقایسه با ذرات کوچک‌تر (۲۵۰-۵۳ میکرون)، در بهبود هدایت هیدرولیکی و افزایش زمان تأخیر رواناب نقش مؤثرتری داشت. از لحاظ کاهش تولید رسوب، بیوجار با اندازه ذرات کوچک‌تر (۲۵۰-۵۳ میکرون) و بزرگ‌تر (۲۵۰-۵۰۰ میکرون)، به ترتیب در سطح یک و دو درصد تأثیر بیشتری داشت؛ در حالی که بر میانگین وزنی قطر خاکدانه و مقدار رواناب تأثیر معنی‌داری نداشت. سطح دو درصد در مقایسه با سطح یک درصد بیوجار، در افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی و زمان تأخیر رواناب تأثیر بیشتری داشت. اما به طور کلی از لحاظ کاهش تولید رواناب و رسوب، تفاوتی بین دو سطح کاربرد مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تزریق سوسپانسیون بیوجار در خاک‌های حساس به فرسایش می‌تواند علاوه بر جلوگیری از دست‌خوردگی در هنگام اضافه کردن بیوجار، به بهبود کیفیت و کاهش فرسایش‌پذیری منجر شود. اما می‌بایست از اندازه ذرات و سطح کاربرد بهینه‌ی بیوجار براساس هدف نهایی استفاده شود.

واژگان کلیدی: اندازه ذرات بیوجار، پایداری خاکدانه، پسماند، توقف کربن، رواناب.

۱- مقدمه

از دیاد جمعیت، صنعتی شدن سریع و شهرنشینی، به تولید گسترده‌ی ضایعات آلی از قبیل پسماندهای زراعی، شهری، صنعتی، جنگلی و غیره منجر می‌شود. بخش کوچکی از پسماندهای زراعی و جنگلی مجدداً و در فعالیت‌های خانگی و

کشاورزی مانند پخت و پز، تغذیه دام، تولید کمپوست و گاز زیستی^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gabhane et al, 2016). اما بخش عمده پسماندهای آلی، اغلب سوزانده یا در مزارع و محل‌های دفن زباله رها می‌شود که این مسئله آلودگی خاک، آب و هوا را در پی دارد. استفاده از پسماندهای آلی برای تولید بیوچار، می‌تواند راه‌حلی برای مسائل موجود باشد. بیوچار ماده‌ای غنی از کربن است که تحت شرایط بی‌هوازی یا محدودیت اکسیژن، از تجزیه حرارتی (پیرولیز)^۲ زیست توده‌های مختلف تولید می‌شود (Lian et al, 2011). هسته‌ی زیتون نیز یکی از پسماندهای مهم در صنعت کشت و کار زیتون است که حدود ۱۳/۶ درصد از وزن میوه‌ی زیتون را تشکیل می‌دهد (Navarro, 1999). کشور ایران با داشتن ۱۳۱۰۰۰ هکتار باغ زیتون و در مجموع ۶۵۰۰۰ تن محصول، یازدهمین کشور جهان از نظر سطح زیر کشت این محصول است (Hemmati et al, 2013)؛ بنابراین، سالانه میزان قابل توجهی هسته‌ی زیتون در آن تولید می‌شود.

کاربرد بیوچار از طریق تأثیر بر تثبیت کربن در خاک، به عنوان یکی از بهترین راهکارها برای مقابله با تغییر اقلیم پیشنهاد شده است (Lehmann et al, 2006). علاوه بر این، بیوچار مزایای بالقوه‌ای دارد؛ مانند بهبود باروری و ظرفیت نگهداری آب در خاک، تقویت جوانه‌زنی بذر، افزایش رشد گیاهان و مقاومت آنها در برابر بیماری، جذب آلاینده‌های سمی و غیره (Roberts et al, 2015 & Kelly et al, 2014). به عنوان مثال، بیان شده است که بیوچار می‌تواند به افزایش واکنش (Laird et al, 2010 & Wang et al, 2014)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Laird et al, 2010 & Jien and Wang, 2013)، مقدار عناصر غذایی قابل استخراج (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) (Ding et al, 2016)، کربن آلی (Jones et al, 2012)، جمعیت میکروبی (Domene et al, 2015) و زیست توده میکروبی (Pietri and Brookes, 2008) در خاک منجر شود و عملکرد گیاه را بهبود بخشد (Zhang et al, 2010 & Rogovska et al, 2014 & Liu et al, 2014).

در مورد اثرات بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و فرسایشی خاک، مطالعات اندکی صورت گرفته است که بیشتر به سال‌های اخیر بازمی‌گردد. در مطالعه‌ای از Peng و همکاران (۲۰۱۶)، اثر سطوح ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار (تولیدی از کاه برنج در دمای پیرولیز ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) همراه با کود NPK در یک خاک لوم بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که این سطوح کاربرد بیوچار می‌تواند به طور میانگین، زمان شروع رواناب را به ترتیب ۱۴، ۱۲ و ۲۷ ثانیه به تأخیر بیندازد و در نتیجه، بهبود پایداری خاکدانه‌ها به کاهش ۲۱/۳۴ درصد از پتانسیل فرسایش بین شیاری منجر شود. Iranmanesh و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود در مورد اثر بیوچار (تولیدی از پوست گردو در دمای پیرولیز ۳۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) بر روی پایداری خاکدانه‌ها و فرسایش بادی، به این نتیجه رسیدند که بیوچار بعد از گذشت ۶۰ روز، به طور معنی‌دار به افزایش مقدار خاکدانه‌های با اندازه‌ی ۰/۱-۰/۵ میلی‌متر و کاهش خاک از دست رفته در تونل بادی منجر می‌شود.

روش‌های مختلفی برای کاربرد بیوچار وجود دارد؛ مانند پخش در سطح خاک، مخلوط کردن یکنواخت با خاک، کاربرد به صورت شیاری، نواری، نواری به صورت عمیق، قرار دادن به صورت نقطه‌ای و غیره. در روش پخش در سطح خاک، به میزان زیادی بیوچار نیاز می‌باشد تا کل زمین را پوشش دهد (Das et al, 2020). با وجود توجهات

¹ Biogas

² Pyrolysis

جهانی به استفاده از بیوپار در خاک، در تعداد بسیار اندکی از مطالعات به اثر اندازه ذرات و شیوه‌ی افزودن این ماده به خاک پرداخته شده‌است. در اکثر پژوهش‌ها نیز بیوپار بدون انتخاب کلاس‌های خاص اندازه ذرات، با خاک مخلوط شده که دلیل احتمالی این امر، هزینه‌ی اضافه شده برای تقسیم‌بندی ذرات این ماده است. با این حال، اگر بتوان اثرات دلخواه را با مقدار کمتری از ذرات بیوپار از یک کلاس اندازه خاص به دست آورد، می‌توان این هزینه‌ها را جبران یا از هرگونه عوارض جانبی منفی جلوگیری کرد. علاوه بر این، پژوهش‌های مربوط به اندازه ذرات بیوپار می‌تواند در مورد مکانیسم‌های مختلفی که به طور همزمان رخ می‌دهد، بینش ارزشمندی ارائه دهد که این امر در پژوهش‌های با استفاده از بیوپار تفکیک نشده از نظر اندازه، پوشیده می‌ماند (Verheijen et al, 2019). اندازه ذرات بیوپار تعیین می‌کند که این ماده تا چه حد و با کدام ذرات در خاک در تعامل باشد (Sarfranz et al, 2020). نتایج پژوهش Fazeli و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که اندازه ذرات بیوپار با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن، می‌تواند بر تعامل این ماده با محیط هدف و عملکرد نهایی آن مؤثر واقع شود. آنها نتیجه گرفتند که با اقدامات پس‌پارولیز از قبیل جداسازی بیوپار با اندازه ذرات مختلف، می‌توان به بهینه‌سازی عملکرد آن برای یک کاربرد خاص پرداخت.

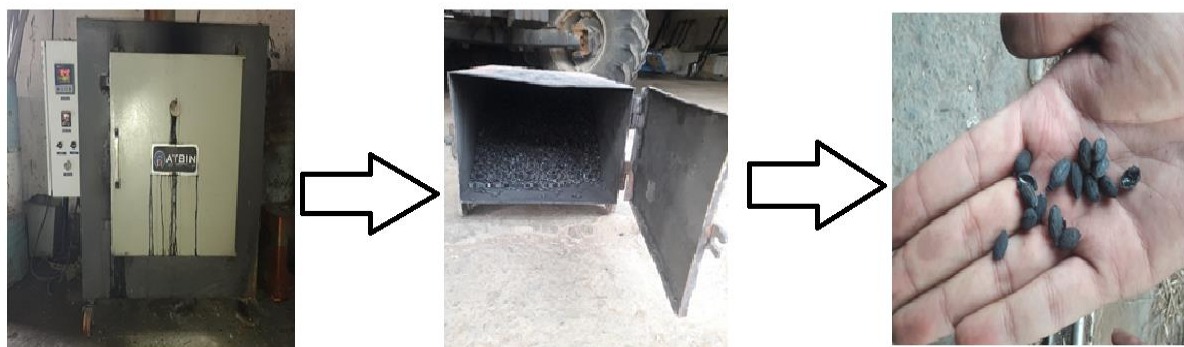
Liu و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که بیوپار با اندازه ذرات بزرگ، در بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک به صورت بهتر عمل می‌کند؛ در حالی که Lebrun و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که افزایش اندازه‌ی این ذرات به کاهش ظرفیت نگهداری آب منجر می‌شود. Li و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر چهار سطح کاربرد ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد بیوپار (تولیدی از شاخه‌های هرس شده سیب در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) با سه اندازه ذرات مختلف (۱-۲، ۱-۲۵، ۰/۲۵ و کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) را بر روی ویژگی‌های فیزیکی و فرسایشی یک خاک لوم سیلت در یک انکوباسیون ۸ ماهه بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بیوپار با اندازه ذرات ۱-۲ میلی‌متر موجب بیشترین افزایش پایداری خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در آب شد؛ در حالی که بیوپار با اندازه ذرات کوچک‌تر در افزایش زمان تأخیر رواناب، کاهش رواناب و میزان فرسایش خاک تأثیر بیشتری داشت. علاوه بر اندازه ذرات بیوپار، شیوه‌ی افزودن آن به خاک نیز می‌تواند اثرات متفاوتی بر تغییر ویژگی‌های خاک داشته باشد. شیوه‌ی مخلوط کردن یکنواخت بیوپار با خاک سطحی - که در اکثر مطالعات استفاده شده‌است - نیز می‌تواند ساختمان طبیعی را به هم بزند و افزودن آن به صورت سوسپانسیون آبی، یک روش جدید تزریق این ماده به خاک است (Abrishamkesh et al, 2020). در پژوهشی از Abrishamkesh و همکاران (۲۰۲۰)، افزودن دو نوع بیوپار (تولیدی از سرشاخه‌های هرس‌شده‌ی درخت زبان گنجشک و پوسته‌ی شلتوک برنج در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) به صورت سوسپانسیون آبی، سبب افزایش کربن آلی و بهبود هدایت هیدرولیکی خاک شد.

هسته‌ی زیتون معمولاً استفاده‌ی خاصی ندارد و در طبیعت رها می‌شود؛ بنابراین، استفاده از آن به عنوان ماده‌ی اولیه در تولید بیوپار، می‌تواند راهکار بسیار خوبی برای مدیریت ضایعات، همچنین توقف طولانی‌مدت کربن و بهبود ویژگی‌های خاک باشد. بنابراین، اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱- تولید بیوپار از هسته‌ی زیتون و مشخصه‌یابی آن؛ ۲- بررسی پیامدهای افزودن بیوپار با اندازه‌های مختلف به صورت سوسپانسیون بر ویژگی‌ها و هدررفت یک خاک حساس به فرسایش.

۲- مواد و روش

۲-۱- تولید بیوچار و بررسی ویژگی‌های آن

هسته‌های زیتون از یک کارخانه‌ی روغن‌کشی تهیه و در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شد. سپس به ظروف فلزی مخصوص منتقل شد و در کوره القائی الکتریکی قرار گرفت. عمل پیرولیز در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت و ۴۵ دقیقه انجام شد (شکل ۱). بازده تولید بیوچار، بر اساس وزن بیوچار تولیدی از هر واحد وزن ماده‌ی اولیه (هسته‌ی زیتون) محاسبه شد. ویژگی‌های هسته‌ی زیتون، شامل واکنش و قابلیت هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۵ (پودر هسته‌ی زیتون: آب) تعیین و این ویژگی‌ها برای بیوچار در نسبت ۱:۲۰ (بیوچار: آب) بررسی شد (Rajkovich et al, 2012). مقدار کربن، هیدروژن و نیتروژن بیوچار نیز به وسیله‌ی دستگاه آنالیز عنصری مدل Eager 300 for EA 1112 اندازه‌گیری شد. طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه هسته‌ی زیتون و بیوچار با استفاده از دستگاه طیف-سنگ مدل Jasco FTIR-4700، در عدد موجی ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ سانتی‌متر با وضوح دو عدد موجی بررسی شد.



شکل ۱: مراحل تولید بیوچار

۲-۲- نمونه‌برداری از خاک و بررسی ویژگی‌های اولیه

خاک مورد استفاده در این پژوهش، از جنوب شهرستان رودبار واقع در استان گیلان برداشت شد. از نظر موقعیت، نقطه برداشت نمونه‌ها در بین طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۶/۴ ثانیه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۷/۱ ثانیه واقع شده است.

در این پژوهش به منظور افزودن بیوچار به خاک به صورت سوسپانسیون آبی و بدون به هم زدن ساختار طبیعی خاک، از نمونه‌های دست نخورده از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای این منظور، استوانه‌های فلزی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به آرامی توسط پتک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک وارد شد. سپس به وسیله‌ی کاردک، خاک پیرامون و زیر هر یک از استوانه‌ها از آن جدا شد و برای جلوگیری از ریزش خاک و حفظ ساختار آن، بلافاصله یک عدد زیر گلدانی در زیر هر یک از استوانه‌ها قرار گرفت. در شکل ۲، نمایی از روش تهیه‌ی نمونه‌ها و استوانه‌های فلزی حاوی خاک دست‌نخورده‌ی مورد استفاده در این تحقیق دیده می‌شود.

(ب)



(الف)



شکل ۲: الف) نمایی از روش نمونه برداری و ب) نمایی از استوانه‌های فلزی حاوی خاک دست‌نخورده در آزمایشگاه

سپس نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده برای تعیین ویژگی‌های اولیه‌ی خاک مورد پژوهش نیز از منطقه‌ی مورد مطالعه برداشت شد. واکنش و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌ی اشباع خاک، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، بافت به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان (Reynolds, 2002) و جرم ویژه ظاهری به روش استوانه (Hartge and Blake, 1986) تعیین شد. از روش الک تر نیز برای ارزیابی توزیع اندازه خاکدانه‌های مرطوب استفاده شد (Nimmo and Perkins, 2002)؛ بدین ترتیب که بعد از هواخشک کردن و عبور خاک از الک چهار میلی‌متر، ۵۰ گرم آن به مدت ۲۴ ساعت توسط آب مرطوب شد. سپس در یک ظرف محتوی آب شهر و روی یک سری الک با قطر منافذ ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ قرار گرفت و به مدت ۱۰ دقیقه، الک کردن با ۳۵ دور در دقیقه (در امتداد ۳۸/۱ میلی‌متر) انجام شد. خاک باقیمانده بر روی هر الک نیز به دقت خارج و در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد (Van Banvel, 1949).

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که در رابطه بالا، X_i : برابر با میانگین قطر خاکدانه‌هایی است که بر روی هر الک باقی مانده است (میانگین الک بالا و پایین)، W_i : نسبت وزن خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل خاک به کار برده شده در ابتدای آزمایش و n تعداد الک به کار برده شده است.

ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۱ ذکر شده است. خاک مورد مطالعه، قلیایی و دارای بافت رس‌سیلت و کربن آلی ناچیز است. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ی آن نیز بسیار کم (ساختمان ضعیف) می‌باشد. خاک مورد مطالعه با هدایت هیدرولیکی ۰/۷ سانتی‌متر بر ساعت، مقدار آب‌گذری متوسط تا کم داشت. این خاک مقدار زیادی سیلت دارد که می‌تواند حساسیت خاک را برای به وجود آمدن سله سطحی در آن افزایش دهد. مطالعات نشان داده است که حجم بالای سیلت خاک می‌تواند ساختار آن را تضعیف کند و به ایجاد سله سطحی منجر شود (Evans and Buol, 1968 & Cary and Evans, 1974).

جدول ۱: ویژگی‌های اولیه‌ی خاک و بیوچار مورد مطالعه

بیوچار	هسته‌ی زیتون	خاک	
۳۵	-	-	بازده تولید (درصد)
۸/۸۲	۵/۲۲	۷/۴۷	واکنش
۴/۵۵	۸/۴۰	۲/۸۷	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
۷۹/۷۹	۵۵/۴۷	۰/۱۹	کربن آلی (درصد)
۲/۳۱	۷/۴۱	-	هیدروژن (درصد)
۰/۵۵	۰/۴۱	-	نیتروژن (درصد)
-	-	۵/۷	شن (درصد)
-	-	۴۱	سیلت (درصد)
-	-	۵۳/۳	رس (درصد)
۰/۶۲	۰/۵۱	۱/۳۳	جرم ویژه ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
-	-	۰/۴۵	میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر)
-	-	۰/۷۰	هدایت هیدرولیکی (سانتی‌متر بر ساعت)

۳-۲- اعمال تیمارها و انکوباسیون

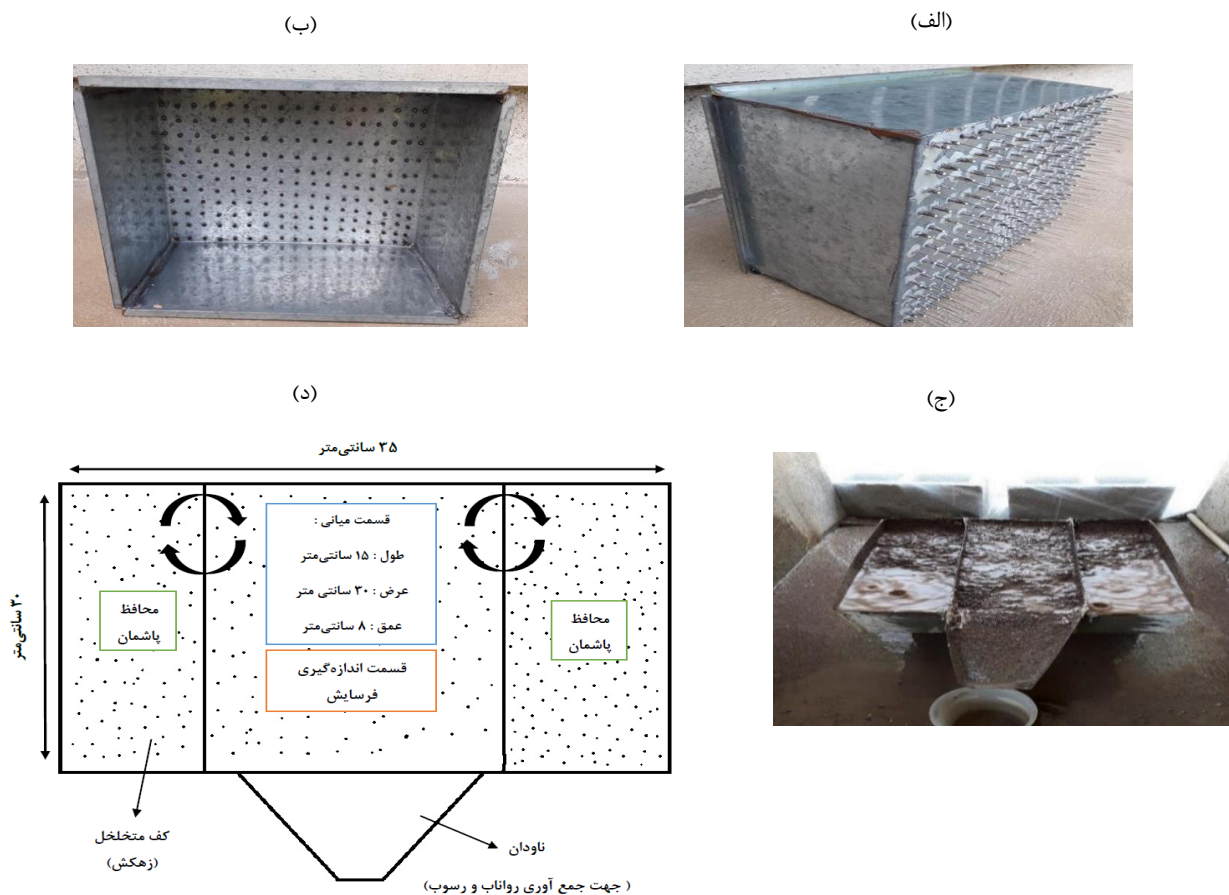
بیوچار هسته‌ی زیتون به وسیله‌ی آسیاب و توسط سری الک ۵۳، ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرون، به دو دامنه اندازه ذرات ۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون تقسیم شد. سپس بیوچار در دو دامنه اندازه ذرات ۲۵۰-۵۳ و ۲۵۰-۵۰۰ میکرون، به صورت سوسپانسیون‌های آبی در دو سطح کاربرد یک و دو درصد وزنی و در چهار تکرار به ستون‌های فلزی حاوی خاک دست‌نخورده افزوده شد. با در نظر گرفتن جرم ویژه ظاهری ۱/۳۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و عمق ۱۰ سانتی‌متر، سطوح کاربرد یک و دو درصد بیوچار به ترتیب با سطوح ۱۳/۳ و ۲۶/۶ تن در هکتار متناظر می‌باشد. علاوه بر ستون‌های تیمار شده با بیوچار، چهار ستون فلزی حاوی خاک دست‌نخورده‌ی بدون بیوچار نیز به عنوان تیمار شاهد (بدون بیوچار) در نظر گرفته شد. ستون‌های خاک به مدت ۱۰ ماه (۳۰۰ روز) در گلخانه در دامنه‌ی دمایی ۲۵-۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت و در طی این مدت، رطوبت این ستون‌ها - به وسیله‌ی آبیاری در ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه - حفظ شد. در پایان دوره‌ی انکوباسیون ده ماهه، نمونه‌های خاک از استوانه‌ها استخراج و ویژگی‌های فیزیکی و مرتبط با هدررفت آن بررسی شد. سپس در بخش تعیین ویژگی‌های اولیه‌ی خاک، هدایت هیدرولیکی و پایداری مرطوب خاکدانه به روش ذکر شده اندازه‌گیری شد.

۴-۲- تعیین مقدار هدررفت خاک

برای بررسی تأثیر بیوچار بر هدررفت خاک، از یک شبیه‌ساز باران واقع در ارتفاع ۳/۵ متری سطح زمین استفاده شد که مخزنی به طول ۴۰، عرض ۳۰ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر داشت و به آب شهر متصل بود. کف مخزن به فواصل ۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر مشبک و بر روی هر یک از سوراخ‌ها، سر سرنگ‌هایی با قطر قطره ۲/۶ میلی‌متر (سر سرنگ شماره- ۲۲) تعبیه شد. نمایی از مخزن باران‌ساز مورد استفاده در شکل ۳، الف و ب مشاهده می‌شود.

برای تعیین سهم فرایندهای ناشی از بارندگی در تولید رسوب، از سینی پاشمان استفاده شد؛ به این صورت که پلات شبیه‌ساز باران، یک سینی پاشمان با طول ۳۵، عرض ۳۰ و عمق ۸ سانتی‌متر با شیب ۲ درصد بود (شکل ۳). این سینی سه بخش مجزا داشت که اندازه‌گیری رواناب و رسوب از قسمت بزرگ‌تر میانی (با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی‌متر) انجام شد و قسمت‌های کناری به عنوان محافظ پاشمان عمل کرد (شکل ۳، ج و د). نمونه‌های خاک پس از عبور از الک ۴ میلی-متر، به سینی پاشمان منتقل و تا حد ممکن سطح خاک مسطح شد. اشباع کردن نمونه‌ها با آب شهر به مدت ۲۴ ساعت و به آرامی از زیر سینی انجام و برای جلوگیری از تبخیر آب نیز سطح خاک با استفاده از نایلون پوشیده شد. روز بعد پس از اطمینان از اشباع کامل خاک، اجازه داده شد تا آب ثقلی نمونه‌ها از طریق سیستم زهکشی، خارج و آزمایش مربوطه پس از قطع خروج زه‌آب انجام شود.

با وجود پایین بودن میانگین بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، وقوع رگبارهای شدید یکی از علل اصلی درصد بالای فرسایش در این مناطق است (Cerde, 2002). بنابراین با توجه به ویژگی‌های بارشی منطقه‌ی نمونه-برداری خاک مورد مطالعه، همچنین به منظور ارزیابی میزان کارایی بیوچار برای کاهش قابل توجه هدررفت خاک، بارانی با شدت ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت برای آزمون شبیه‌سازی باران انتخاب شد. هر نمونه خاک، به مدت ۱۸ دقیقه در زیر بارشی به شدت ۱۰۰ میلی‌متر در ساعت قرار گرفت و یک بشر پلاستیکی در زیر ناودان سینی قرار داده شد. با شروع بارندگی، زمان آغاز و مدت زمان سپری‌شده برای خروج اولین قطره‌ی آب از داخل ناودان سینی به عنوان زمان تأخیر، اندازه‌گیری و تشکیل رواناب ثبت شد. بعد از گذشت ۱۸ دقیقه، بلافاصله وزن بشرهای پلاستیکی محتوی رواناب و رسوب اندازه‌گیری شد. سپس ظروف حاوی رواناب در داخل آون قرار گرفت و پس از تبخیر کامل آب درون ظرف، جرم رسوب مانده در ته ظرف اندازه‌گیری شد. سپس کاهش وزن ایجاد شده بر اثر تبخیر درون آون، با حجم رواناب ایجاد شده برابر در نظر گرفته شد.



شکل ۳: الف) نمای جانبی، ب) داخلی مخزن باران‌ساز، ج) تصویر واقعی و د) تصویر شماتیک باران‌ساز

۵-۲- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری اثرات کاربرد بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی، به صورت آزمایش فاکتوریل ($2 \times 2 \times 4$) در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور انجام شد که شامل اندازه ذرات بیوچار (بیوچار با اندازه ذرات ۲۵۰-۵۰۰ و ۵۳-۲۵۰ میکرون) و سطوح کاربرد آنها (۱ و ۲ درصد) در چهار تکرار بود. تجزیه و تحلیل آماری ویژگی‌های مربوط به هدر-رفت خاک نیز به صورت آزمایش فاکتوریل ($2 \times 2 \times 3$) و در سه تکرار انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با کمک نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTAT-C و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها توسط روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

۳- یافته‌ها (نتایج)

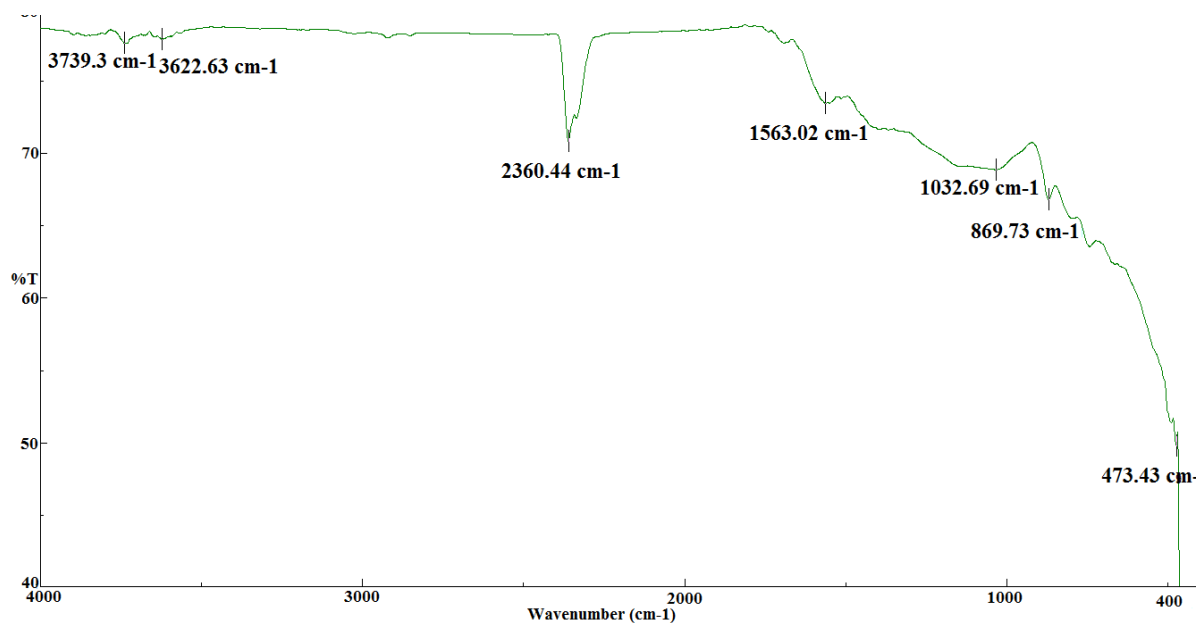
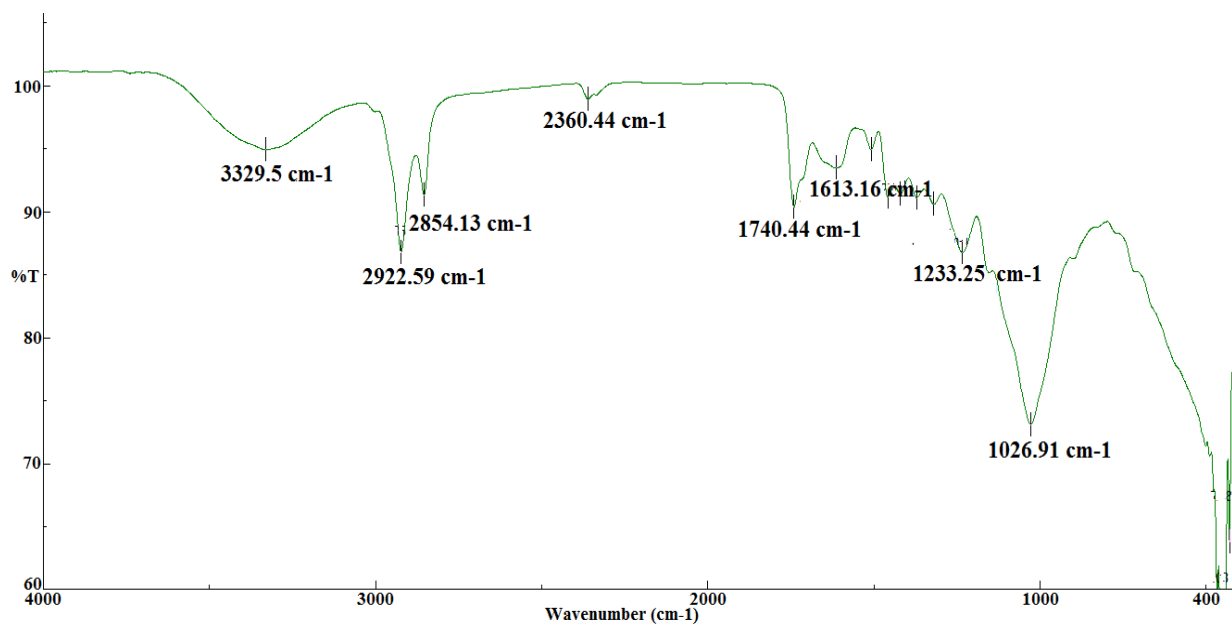
۳-۱- ویژگی‌های اولیه بیوچار

مقایسه‌ی ویژگی‌های هسته‌ی زیتون و بیوچار تولیدی از آن، نشان داد که پیرولیز سبب شده تغییر قابل ملاحظه‌ای در ویژگی‌های هسته‌ی زیتون ایجاد شود. بیوچار هسته‌ی زیتون با واکنش قلیایی دارای واکنش، کربن، نیتروژن و جرم ویژه ظاهری بیشتر است و در مقایسه با هسته‌ی زیتون، قابلیت هدایت الکتریکی و هیدروژن کمتری دارد. در اثر تبدیل هسته‌ی زیتون به بیوچار، میزان کربن و هیدروژن به ترتیب در حدود ۴۴ درصد افزایش و ۶۹ درصد کاهش

یافت. نسبت مولی هیدروژن به کربن در هسته‌ی زیتون ۱/۶ بود که در بیوپچار هسته‌ی زیتون بر اثر پیرولیز به ۰/۳۴ کاهش یافت. کمتر بودن نسبت مولی هیدروژن به کربن، بیانگر حضور کربن آروماتیک بیشتر و در نتیجه مقاومت بیشتر در برابر تجزیه است (Schmith and Novak, 2000). بیوپچار، H/C کمتر از ۰/۷ دارد که موجب تأیید تعریف از بیوپچار می‌شود. پایداری کربن در بیوپچار با نسبت مولی H/C نشان داده می‌شود (Leng et al, 2019). به منظور تضمین ساختار حلقه‌ای آروماتیک یکپارچه و تمایز بیوپچار از مواد اولیه‌ی خام یا سایر موادی که فقط به مقدار جزئی کربونیزه می‌شوند، حداکثر مقدار قابل قبول H/C برابر با ۰/۷ است (IBI, 2015). مقدار $H/C \leq 0.7$ بر اساس نتایج چندین مطالعه انکوباسیونی و نتایج مدل‌سازی آنها حاصل شد و بیانگر آن است که با اطمینان ۹۵ درصد، پس از گذشت صد سال ۵۰ درصد کربن بیوپچار می‌تواند در خاک باقی بماند (Budai et al, 2013). از مقادیر H/C بین ۰/۴ تا ۰/۷ و کمتر از ۰/۴، به ترتیب برای توصیف حالت پایدار و بسیار پایدار کربن موجود در بیوپچار استفاده می‌شود (Budai et al, 2013). بنابراین، با توجه به مقدار عددی ۰/۳۴ برای نسبت هیدروژن به کربن بیوپچار تولیدی از هسته‌ی زیتون، می‌توان نتیجه گرفت کربن موجود در آن بسیار پایدار است، می‌تواند برای مدت زمان طولانی در خاک باقی بماند و در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر، نقش مؤثری داشته باشد.

طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز ($FTIR^1$) هسته‌ی زیتون و بیوپچار آن، در شکل ۵ نشان داده شده‌است. در طیف‌سنجی هسته‌ی زیتون، یک پیک قوی در ناحیه فرکانس ۱۰۲۶ سانتی‌متر دیده می‌شود (شکل ۵، الف) که این پیک می‌تواند از گروه هیدروکسیل (OH) نشأت گرفته باشد؛ زیرا این گروه عاملی در ناحیه فرکانس ۱۲۰۰-۱۰۰۰ سانتی‌متر، از خود پیک قوی نشان می‌دهد. اما بعد از فرایند تبدیل زیست‌توده به بیوپچار، پیک مربوط به گروه هیدروکسیل به طور قابل توجه کاهش می‌یابد که بیانگر کاهش هیدروژن و اکسیژن در فرایند پیرولیز می‌باشد. گروه عاملی نیتریل‌ها ($C \equiv N$)، پیک تیزی را با شدت متوسط، تقریباً در فرکانس ۲۵۰۰-۲۰۰۰ سانتی‌متر ایجاد می‌کند که به صورت پیکی کوچک در هسته‌ی زیتون دیده می‌شود. اما در طیف‌سنجی بیوپچار، پیک مربوط به گروه نیتریل‌ها ($C \equiv N$) با شدت بسیار بیشتر دیده می‌شود که بیانگر افزایش مقدار کربن و نیتروژن در طی فرایند پیرولیز می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج حاصل از تجزیه‌ی عنصری هسته‌ی زیتون و بیوپچار آن همخوانی دارد که بیانگر افزایش محتوای نیتروژن و کربن و کاهش هیدروژن بیوپچار در مقایسه با هسته‌ی زیتون می‌باشد (جدول ۱). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تبدیل هسته‌ی زیتون به بیوپچار سبب شده‌است ترکیبات آلی فرار کاهش یابد و بر مقدار کربن و نیتروژن افزوده شود.

¹ Fourier Transform Infrared Spectroscopy



شکل ۴: طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز هسته‌ی زیتون (بالا) و بیوجار (پایین)

۲-۳- بررسی تأثیر بیوجار بر ویژگی‌های فیزیکی و هدررفت خاک

نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر تزریق سوسپانسیون بیوجار بر ویژگی‌های فیزیکی و هدررفت خاک، در جدول ۲ ذکر شده‌است.

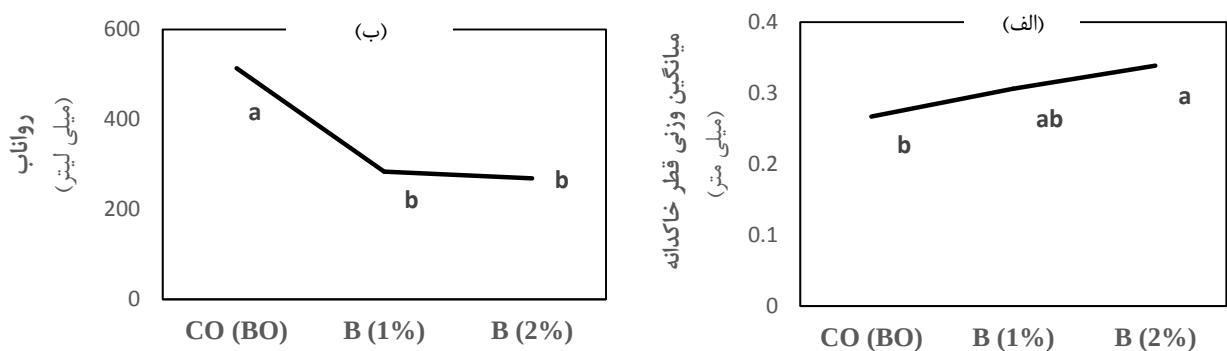
جدول ۲: تجزیه‌ی واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تزریق سوسپانسیون بیوجار بر ویژگی‌های فیزیکی و هدررفت خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین وزنی قطر خاکدانه	هدایت هیدرولیکی	درجه آزادی	زمان تأخیر رواناب	رواناب	رسوب
اندازه ذرات بیوجار	۱	۰/۰۰۴۲۶ ^{ns}	۰/۹۸۸۵ ^{**}	۱	۱۳۸۷۲/۰۰ ^{**}	۶۸/۵۴۰ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}
سطح کاربرد بیوجار	۱	۰/۰۰۰۰۱۱ ^{ns}	۳/۷۵۳۹ ^{**}	۱	۷۷۷۶۳/۰۰ ^{**}	۶۵۶/۲۴۷ ^{ns}	۰/۰۰۶۷۶ ^{ns}
اندازه ذرات × سطح کاربرد	۱	۰/۰۰۰۰۳۳ ^{ns}	۴/۰۵۲۳ ^{**}	۱	۱۶۸۷۵/۰۰ ^{**}	۴۲۱۴/۲۸۸ ^{ns}	۹/۲۶۶ [*]
خطا	۱۵	۰/۰۰۲۰۹	۰/۰۹۵	۱۰	۷۷۱/۲۶	۲۳۷۴/۶۸	۱/۲۳۹
ضریب تغییرات	-	۱۴/۷۱	۴۰/۷	-	۸/۶۲	۱۵/۰۴	۱۴/۲۳

ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

۳-۲-۱. تأثیر اندازه ذرات و سطح کاربرد بیوجار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه

اثر هیچ یک از منابع تغییرات بر میانگین وزنی قطر خاکدانه معنی‌دار نبود (جدول ۲)؛ این بدان معناست که بیوجار با اندازه ذرات و سطوح کاربرد متفاوت، از لحاظ تأثیرگذاری بر پایداری خاکدانه تفاوتی با یکدیگر نداشتند. اما نتایج مقایسه‌ی میانگین این تیمارها در مقایسه با شاهد نشان داد که با وجود فقدان تفاوت معنی‌دار بین دو سطح کاربرد بیوجار، میانگین وزنی قطر خاکدانه در سطح دو درصد بیوجار به طور معنی‌دار بیش از تیمار شاهد (بدون بیوجار) است (شکل ۵).



شکل ۵: الف) تأثیر سطح کاربرد بیوجار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه و ب) تأثیر سطح کاربرد بیوجار بر تولید رواناب
CO(B0): تیمار شاهد بدون بیوجار، B(1%) و B(2%): سطح یک و دو درصد بیوجار
(حروف مشابه، بیانگر فقدان تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.)

سطح کاربرد دو درصد بیوجار نسبت به تیمار شاهد، توانست ۲۶/۸ درصد میانگین وزنی قطر خاکدانه را افزایش دهد. نتایج مطالعه‌ی حاضر با نتایج دیگر مطالعات در مورد نقش بیوجار در افزایش پایداری خاکدانه‌ها همخوانی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد بیوجار می‌تواند پایداری مرطوب خاکدانه‌ها را بین ۳ تا ۲۲۶ درصد افزایش دهد (Blanco-Canqui, 2017). تنوع بالای تأثیرگذاری بیوجار در افزایش پایداری خاکدانه را می‌توان به تفاوت در بافت خاک و اندازه ذرات بیوجار در مطالعات مختلف نسبت داد (Baiamonte et al, 2015 & Blanco-Canqui, 2017)؛ به

عنوان مثال، نتایج مطالعه‌ای از Zhang و همکاران (۲۰۱۹) در مورد اثر کاربرد سطوح ۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ مگاگرم در هکتار بیوچار تولیدی از کاه گندم نشان داد که با افزایش سطح کاربرد بیوچار، پایداری خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر به طور معنی‌داری افزایش یافت و حداکثر افزایش پایداری آن، در سطح ۲۰ مگاگرم در هکتار بیوچار مشاهده شد. در این تحقیق مشخص شد که این ماده با همآوری ذرات خاک می‌تواند باعث افزایش مقدار خاکدانه‌های درشت شود. در پژوهشی دیگر، کاربرد بیوچار (تولیدی از نی مرداب در دو دمای پیرولیز ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) سبب شد میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در یک خاک لومی، افزایش معنی‌داری داشته باشد (Liu et al, 2020).

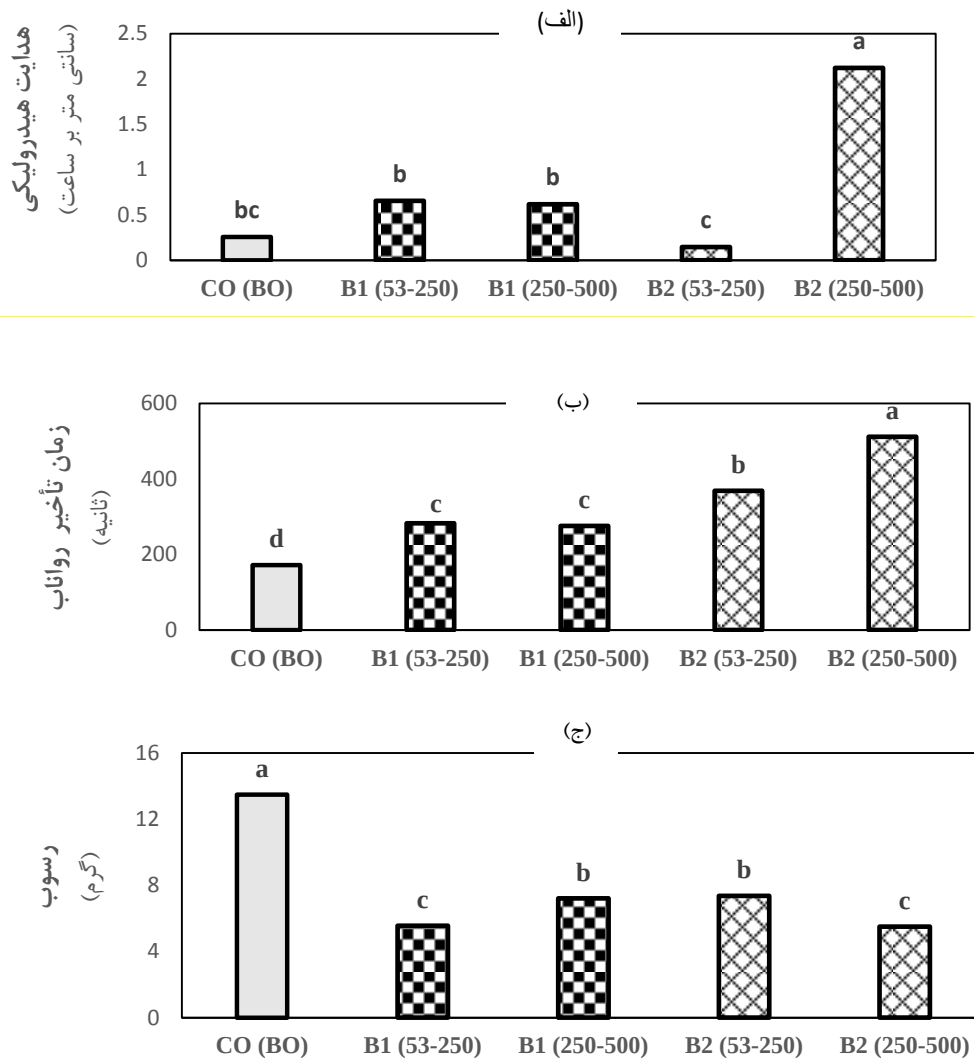
پایداری خاکدانه، عاملی کلیدی است که خاک را قادر می‌سازد در برابر تنش‌های مکانیکی مانند بارندگی، رواناب سطحی و فرسایش آبی مقاومت کند (Canasveras et al, 2010). شکسته شدن خاکدانه‌ها باعث می‌شود ذرات ریزی شکل گیرد که مستعد فرسایش بادی و آبی است و در صورت نفوذ آن در خاک، می‌تواند با مسدود کردن منافذ به تشکیل سله سطحی منجر شود (Yan et al, 2008). افزایش پایداری خاکدانه در نتیجه‌ی کاربرد بیوچار می‌تواند ناشی از افزایش کربن آلی در نتیجه‌ی افزودن بیوچار باشد. از بسترهای عرضه شده توسط ماده آلی ناپایدار موجود در سطوح بیوچار، به عنوان ماده‌ی غذایی برای میکروارگانیسم‌های خاک استفاده می‌شود که محیط را برای رشد آنها مطلوب می‌سازد. سپس افزایش دفع ترشحات میکروارگانیسم‌ها، به نوبه‌ی خود باعث به وجود آمدن خاکدانه‌های پایدار در خاک می‌شود (Liang et al, 2010). اکسیداسیون سطح بیوچار نیز عامل دیگری است که می‌تواند به خاکدانه‌سازی خاک کمک کند. Jien and Wang (۲۰۱۳) دریافتند که سطح ذرات اکسیده شده‌ی بیوچار می‌تواند ذرات رس را جذب و به خاکدانه‌سازی کمک کند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، خاک مورد استفاده در این پژوهش میزان زیادی رس دارد. زمانی که میزان رس در خاک زیاد باشد، نقش ماده آلی کامل می‌شود. ذرات رس سطح ویژه‌ی زیاد و در نتیجه انرژی آزاد فراوانی برای پایداری دارد. این انرژی باید به کمترین سطح خود برسد که فلوکوله شدن ذرات رس و تشکیل خاکدانه‌ها - که سطح کمتری در واحد حجم دارند - به کاهش این انرژی کمک می‌کند (Ghorbani et al, 2019).

۲-۲-۳- تأثیر اندازه ذرات و سطح کاربرد بیوچار بر هدایت هیدرولیکی خاک

اثر اندازه ذرات، سطح کاربرد و اثرات متقابل اندازه و سطح کاربرد بیوچار بر هدایت هیدرولیکی ($p < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲). هدایت هیدرولیکی خاک در سطح یک درصد بیوچار در هیچ یک از دو دامنه‌ی اندازه‌ای ۵۳ تا ۲۵۰ و ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (بدون بیوچار) نداشت. اما کاربرد دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون، موجب افزایش معنی‌دار ۷۲۴ درصد هدایت هیدرولیکی خاک نسبت به تیمار شاهد شد؛ در صورتی که کاربرد دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۶، الف).

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات دیگر - که افزودن بیوچار باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک شده‌است - همخوانی دارد؛ به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که توسط جین و وانگ (Jien and Wang, 2013) انجام شد، سطوح کاربرد ۲/۵ و ۵ درصد بیوچار (تولیدی از چوب درختان سوبابل در دمای پیرولیز ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) در مدت زمان انکوباسیون ۱۰۵ روز توانست به ترتیب موجب افزایش ۸۰ و ۹۸ درصدی هدایت هیدرولیکی در یک خاک

رس سیلت شود. همچنین در مطالعه‌ی آسای و همکاران (Asai et al, 2009) مشخص شد که کاربرد ۴، ۸ و ۱۶ مگاگرم در هکتار بیوپچار چوب به ترتیب موجب افزایش ۵۱، ۳۱ و ۱۷۶ درصدی هدایت هیدرولیکی یک خاک لوم رس شد. در برخی از مطالعات نیز بیوپچار نتوانست تأثیر معنی‌داری بر افزایش یا کاهش هدایت هیدرولیکی داشته باشد؛ به عنوان مثال، نتایج مطالعه‌ی Moragues-Saitua و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که کاربرد ۳/۵ و ۱۰ مگاگرم در هکتار و ۱۰ و ۲۰ مگاگرم در هکتار بیوپچار به ترتیب در دو خاک لوم و لوم شن، هیچ تأثیر معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی خاک نداشت. نتایج یک پژوهش دیگر نیز نشان داد که تأثیر بیوپچار بر هدایت هیدرولیکی خاک، به سطح کاربرد و اندازه ذرات بیوپچار بستگی دارد (Lim et al, 2016). نتایج پژوهش Lim و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که بیوپچار با اندازه بزرگ (۶۰ درصد ذرات دارای قطر بیش از یک میلی‌متر) نسبت به اندازه ذرات کوچک (۶۰ درصد ذرات دارای قطر کمتر از یک میلی‌متر)، به میزان بیشتری به کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شنی منجر می‌شود. همچنین آنها در پژوهش خود دریافتند که با افزایش سطح کاربرد بیوپچار، میزان هدایت هیدرولیکی به مقدار بیشتری کاهش می‌یابد. پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده‌اند که افزودن این ماده در خاک‌هایی با بافت شنی، معمولاً به کاهش هدایت هیدرولیکی منجر می‌شود (Brockhoff et al, 2010 & Pathan et al, 2003). در یک مطالعه‌ی متاآنالیز در مورد اثرات بیوپچار بر ویژگی‌های آبی خاک چنین نتیجه‌گیری شد که کاربرد بیوپچار در خاک‌های درشت بافت از طریق تبدیل منافذ درشت (منافذ عبور آب) به منافذ متوسط و ریز (منافذ ذخیره‌ی آب)، موجب کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت می‌شود؛ در حالی که کاربرد بیوپچار در خاک‌های ریز بافت می‌تواند با تبدیل منافذ بسیار ریز به منافذ ریز و درشت و افزایش تشکیل خاکدانه‌های درشت، موجب باز شدن مسیر عبور آب و افزایش هدایت هیدرولیکی و کاهش رواناب می‌شود (Edeh et al, 2020). افزایش هدایت هیدرولیکی در خاک ریز بافت نیز می‌تواند به کاربرد ذرات بیوپچار با اندازه‌ی بزرگ‌تر نسبت به ذرات خاک باشد که باعث افزایش تخلخل می‌شود (Herath et al, 2013 & Wong et al, 2018)؛ از این رو، هدایت هیدرولیکی افزایش می‌یابد. خاک مورد استفاده در این پژوهش، دارای بافت رس سیلت و هدایت هیدرولیکی نسبتاً کم بود (جدول ۱) مستعد افزایش هدایت هیدرولیکی در اثر افزودن بیوپچار است. افزایش هدایت هیدرولیکی می‌تواند به تشکیل خاکدانه‌های درشت در خاک‌های ریز بافت اصلاح شده توسط بیوپچار نیز نسبت داده شود (Wong et al, 2017). افزایش پایداری خاکدانه‌ها در اثر کاربرد بیوپچار (شکل ۶)، می‌تواند دلیل دیگری برای بهبود هدایت هیدرولیکی در خاک مورد پژوهش باشد.



۳

شکل ۶: اثر متقابل اندازه و سطح کاربرد بیوچار بر (الف) هدایت هیدرولیکی، (ب) زمان تأخیر رواناب و (ج) تولید رسوب CO(B0): تیمار شاهد بدون بیوچار، B1(53-250) و B2(53-250): سطح یک و دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون، B1(250-500) و B2(250-500): سطح یک و دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون (حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد).

۳-۳-۳. تأثیر اندازه و سطح کاربرد بیوچار بر هدررفت خاک

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که هیچ یک از منابع تغییرات، بر تولید رواناب تأثیر معناداری ندارد؛ این بدان معناست که تفاوتی بین اثر بیوچار با اندازه ذرات متفاوت و بین سطوح کاربرد آن از لحاظ تولید رواناب وجود نداشت. اثر اندازه ذرات و سطح کاربرد بیوچار بر زمان تأخیر رواناب ($p < 0.01$) معنی‌دار بود. اثر متقابل اندازه ذرات و سطح کاربرد بیوچار بر زمان تأخیر رواناب ($p < 0.01$) و تولید رسوب ($p < 0.05$) نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). بین اندازه و سطوح کاربرد بیوچار با یکدیگر از لحاظ تأثیر بر حجم رواناب تولیدی، تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. اما تولید رواناب در تیمارهای بیوچار در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بیوچار) به طور معنی‌دار کمتر بود (شکل ۵، ب) و میزان تولید رواناب در سطوح کاربرد یک و دو درصد بیوچار نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۴۴ و ۴۷ درصد کاهش یافت.

زمان تأخیر رواناب و تولید رسوب در تمامی تیمارهای بیوچار به طور معنی‌دار به ترتیب بیشتر و کمتر از تیمار شاهد (بدون بیوچار) بود. در سطح کاربرد یک درصد، دو اندازه ذرات بیوچار در مقایسه با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را از لحاظ تأثیر بر زمان تأخیر رواناب نشان ندادند (شکل ۶، ب). در سطح کاربرد یک درصد، بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون به کاهش بیشتر تولید رسوب منجر شد. در سطح کاربرد دو درصد، بیوچار با اندازه ذرات ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون نسبت به اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون، به ترتیب به افزایش و کاهش بیشتر زمان تأخیر رواناب و تولید رسوب منجر شد (شکل ۶، ب و ج).

در این پژوهش، بیوچار در تمامی اندازه و سطوح کاربرد توانست تأخیر زمانی قابل‌توجهی در تشکیل رواناب ایجاد کند، اما این افزایش در سطح کاربرد دو درصد بیوچار با اندازه ذرات بزرگ‌تر (۲۵۰-۵۰۰ میکرون) به مراتب بیشتر بود (شکل ۶، ب) که توانست با افزایش ۱۹۷ درصدی، تشکیل رواناب را نسبت به تیمار شاهد به میزان ۳۳۹ ثانیه به تأخیر بیندازد و کاهش قابل توجه حدوداً ۵۹ درصدی تولید رسوب را در پی داشته باشد. از لحاظ کاهش تولید رسوب، بیوچار با اندازه ذرات کوچک‌تر (۲۵۰-۵۳ میکرون) و بزرگ‌تر (۲۵۰-۵۰۰ میکرون) به ترتیب در سطح کاربرد یک و دو درصد تأثیر بیشتری را از خود نشان دادند (شکل ۶، ج).

نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های دیگر در مورد پتانسیل استفاده از بیوچار در کنترل و کاهش فرسایش خاک همخوانی دارد. Peng و همکاران (۲۰۱۹) اثرات کاربرد ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار تولیدی از کاه گندم در دمای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را بر روی یک خاک لوم سیلت بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که کاربرد ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار می‌تواند به طور میانگین، زمان شروع رواناب را به ترتیب ۱۴، ۱۲ و ۲۷ ثانیه به تأخیر بیندازد. همچنین نتایج نشان داد که بیوچار توانست میزان تلفات خاک را نسبت به تیمار شاهد کاهش دهد که بیشترین کاهش آن در سطح کاربرد ۳۰ تن در هکتار مشاهده شد. همچنین نتایج مطالعه‌ی Peng و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که کاربرد بیوچار، پتانسیل فرسایش بین‌شیاری را به میزان ۲۱/۳۴ درصد کاهش داد که یکی از دلایل آن می‌تواند بهبود پایداری خاکدانه‌ها و میزان کربن آلی خاک در آن مطالعه باشد. در پژوهشی، Sadeghi و همکاران (۲۰۲۰) اثر کاربرد ۸۰۰ گرم بر مترمربع بیوچار را در کنترل فرسایش بررسی کردند. این بررسی تحت بارش بارانی با شدت ۵۰ میلی‌متر در ساعت و در دو خاک با بافت‌های رس سیلت و رس انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن بیوچار به خاک باعث کاهش حجم رواناب، ضریب رواناب و هدررفت خاک رسی نسبت به تیمار شاهد می‌شود، اما با وجود کاهش پارامترهای فوق در خاک رس سیلت در مقایسه با تیمار شاهد، این کاهش معنی‌دار نبود.

کاربرد بیوچار می‌تواند با افزایش زبری سطح و بهبود خصوصیات خاک، بر فرسایش آبی تأثیر بگذارد (Blanco-Canqui, 2019). افزایش زبری در سطح خاک پس از افزودن بیوچار، می‌تواند در تشکیل رواناب تأخیر ایجاد کند. Abrol و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در یک خاک لوم آهکی مشاهده کردند که ذرات درشت بیوچار چوب در سطح خاک باعث ایجاد زبری، افزایش زمان نفوذ آب و کاهش تلفات خاک می‌شود. از سوی دیگر، با بهبود ویژگی‌های مربوط به فرسایش‌پذیری خاک شامل پایداری خاکدانه‌ها، آبگریزی، تخلخل، ماده آلی، هدایت هیدرولیکی و نفوذ آب می‌تواند به کاهش فرسایش آبی منجر شود. بهبود پایداری خاکدانه‌ها در اثر کاربرد بیوچار می‌تواند فرسایش آبی را به طور مستقیم کاهش دهد؛ زیرا خاکدانه‌های پایدار نسبت به خاکدانه‌های ضعیف، در برابر جدا شدن

مقاوم‌تر هستند (Xiang-Hong et al, 2012 & Jien and Wang, 2013). Soinne و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد بیوچار با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش پراکندگی ذرات رس به کاهش فرسایش آبی منجر می‌شود. همچنین تغییر در توزیع اندازه‌ی خاکدانه‌ها در اثر کاربرد بیوچار، به تغییر توزیع اندازه‌ی منافذ و در نتیجه افزایش منافذ درشت منجر می‌شود (Asai et al, 2009). نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد بیوچار هسته‌ی زیتون توانست میزان کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. کربن آلی باعث ثبات خاکدانه‌ها (Mahmoodabadi, 2011) و کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. از آنجا که بیوچار دارای غلظت بالای کربن است (۹۰-۵۰ درصد) (Laird, 2008 & Matovic, 2011)، کاربرد آن می‌تواند تشکیل خاکدانه‌های خاک، تشکیل منافذ درشت و نفوذ آب را تقویت کند. یکی دیگر از عواملی که بر تولید رواناب تأثیر می‌گذارد، هدایت هیدرولیکی است؛ افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می‌تواند به طور مستقیم، میزان آب موجود برای تشکیل رواناب را کاهش دهد. اکثر مطالعات نشان داده‌اند که پس از کاربرد این ماده به ویژه در خاک‌های ریز بافت، هدایت هیدرولیکی افزایش می‌یابد (Blanco-Canqui, 2017). Jien and Wang (۲۰۱۳) گزارش دادند که با افزایش در هدایت هیدرولیکی، هدررفت خاک در اثر کاربرد بیوچار نیز کاهش یافته‌است. در این پژوهش، سطح دو درصد بیوچار هسته‌ی زیتون با اندازه ذرات ۲۵۰ تا ۵۳ میکرون، بیشترین تأثیر را بر افزایش هدایت هیدرولیکی خاک و زمان تأخیر رواناب داشت (شکل ۶ الف، ب). این نشان می‌دهد که در این مطالعه، بهبود پارامترهای مرتبط با هدررفت خاک می‌تواند تا حدودی ناشی از افزایش هدایت هیدرولیکی در اثر کاربرد بیوچار باشد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که بیوچار هسته‌ی زیتون با داشتن مقدار قابل توجه کربن پایدار، می‌تواند در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر و مبارزه با پدیده‌ی گرم شدن کره‌ی زمین مؤثر باشد. تزریق سوسپانسیون بیوچار هسته‌ی زیتون در خاک رس سیلت حساس به فرسایش، بر بهبود خاکدانه‌سازی، هدایت هیدرولیکی و کاهش هدررفت خاک نیز اثرات مثبتی داشت. اما بررسی اثرات سطح و به ویژه اندازه‌ی ذرات بیوچار هسته‌ی زیتون نشان داد که اندازه و سطوح کاربرد مختلف یک نوع بیوچار، تأثیر مشابهی را بر ویژگی‌های مختلف ساختمانی، هیدرولیکی و فرسایش‌پذیری یک خاک خاص ایجاد نمی‌کند. بنابراین، بسته به هدف موردنظر از کاربرد بیوچار (به عنوان مثال: تقویت خاکدانه‌سازی، بهبود هدایت هیدرولیکی، کاهش هدررفت خاک و ...)، می‌بایست به توصیه‌ی اندازه و سطح کاربرد مناسب آن پرداخت. بیوچار با اندازه ذرات بزرگ‌تر، در افزایش هدایت هیدرولیکی و به تأخیر انداختن تشکیل رواناب تأثیر بیشتری دارد. هر دو سطح کاربرد بیوچار نیز به یک اندازه در کاهش تولید رواناب مؤثر بودند؛ اما سطح دو درصد در مقایسه با سطح یک درصد، تأثیر بیشتری را بر افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه، بهبود هدایت هیدرولیکی و تأخیر در تشکیل رواناب از خود نشان داد. بنابراین، در حالی که سطح ۱ درصد برای کاهش هدررفت آب و تقلیل میزان تولید رواناب به معادل ۱۳/۳ تن در هکتار از بیوچار هسته‌ی زیتون کفایت می‌کند، برای بهبود سرعت عبور آب در پروفیل خاک و به تأخیر افتادن زمان تشکیل رواناب، کاربرد سطح ۲ درصد معادل ۲۶/۶ تن در هکتار بیوچار با اندازه ذرات بزرگ‌تر منطقی‌تر به نظر می‌رسد.

منابع

1. Abrishamkesh, S.; Fazeli Sangani, F.; Ramezanpour, H.; Noroozi, M.; & A. Shabany, 2020. Effect of biochar suspension application on physicochemical properties of two erosion-prone soils, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 1(10), 58-78.
2. Abrol, V.; Ben-Hur, M.; Verheijen, F. G.; Keizer, J. J.; Martins, M. A.; Tenaw, H.; & E. R. Graber, 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: rainfall simulation experiment, *Journal of Soils and Sediments*, 16(12), 2709-2719.
3. Asai, H.; Samson, B. K.; Stephan, H. M.; Songyikhangsuthor, K.; Homma, K.; Kiyono, Y.; & T. Horie, 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield, *Field crops research*, 111(1-2), 81-84.
4. Baiamonte, G.; De Pasquale, C.; Marsala, V.; Cimò, G.; Alonzo, G.; Crescimanno, G.; & P. Conte, 2015. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments, *Journal of Soils and Sediments*, 15(4), 816-824.
5. Blake, G. R., & K. H. Hartge., (1986). Bulk Density, P 363-375. In: Klute A.(Ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA Madison.WI.
6. Blanco-Canqui, H., 2017. Biochar and soil physical properties, *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687-711.
7. Blanco-Canqui, H., 2019. Biochar and water quality, *Journal of Environmental Quality*, 48(1), 2-15.
8. Brockhoff, S. R.; Christians, N. E.; Killorn, R. J.; Horton, R.; & D. D. Davis, 2010. Physical and mineral- nutrition properties of sand- based turfgrass root zones amended with biochar, *Agronomy Journal*, 102(6), 1627-1631.
9. Budai, A.; Zimmerman, A. R.; Cowie, A. L.; Webber, J. B. W.; Singh, B. P.; Glaser, B.; & M. Camps Arbestain, 2013. Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability, International Biochar Initiative, 1-10.
10. Cañasveras, J. C.; Barrón, V.; Del Campillo, M. C.; Torrent, J.; & J. A. Gómez, 2010. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy, *Geoderma*, 158(1-2), 78-84.
11. Cary, J. W., & D. D. Evans., (1974). Soil crusts. BULL Tecfinance No. 214, University of Arizona, Tucson.
12. Cerdà, A., 2002. The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain, *Journal of Arid Environments*, 52, 319-337.
13. Das, S. K.; Ghosh, G. K.; & R. Avasthe, 2020. Valorizing biomass to engineered biochar and its impact on soil, plant, water, and microbial dynamics: a review, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-17.
14. Ding, Y.; Liu, Y.; Liu, S.; Li, Z.; Tan, X.; Huang, X.; & B. Zheng, 2016. Biochar to improve soil fertility, *A review. Agronomy for sustainable development*, 36(2), 36.
15. Domene, X.; Hanley, K.; Enders, A.; & J. Lehmann, 2015. Short-term mesofauna responses to soil additions of corn stover biochar and the role of microbial biomass, *Applied Soil Ecology*, 89, 10-17.
16. Edeh, I. G.; Mašek, O.; & W. Buss, 2020. A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties—New insights and future research challenges, *Science of The Total Environment*, 714, 136-857.
17. Evans, D. D., & S. W. Buol., (1968). Micromorphological study of soil crusts. *Soil Science Society of America Journal*. 32(1), 19-22.
18. Fazeli, M.; Abrishamkesh, S.; & G. Owens, 2020. Physicochemical characteristics of biochars can be beneficially manipulated, *Bioresource Technology*, 306, 123-157.

19. Gabhane, J.; Tripathi, A.; Athar, S.; William, S. P.; Vaidya, A. N.; & S. R. Wate, 2016. Assessment of bioenergy potential of agricultural wastes: a case study cum template, *J Biofuels Bioenergy*, 2(2), 122-131.
20. Gee, G. W., & J. W. Bauder., (1986). Particle size analysis. In: Klute A (Ed.), *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. Agron. Monogr. 9, 2nd edn. ASA and SSSA, Madison, WI, Part 1. 404p.
21. Ghorbani, M.; Asadi, H.; & S. Abrishamkesh, 2019. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil, *International soil and water conservation research*, 7(3), 258-265.
22. Hemmati, A.; Tabatabaeefar, A.; & A. Rajabipour, 2013. Comparison of energy flow and economic performance between flat land and sloping land olive orchards, *Energy*, 61, 472-478.
23. Herath, H. M. S. K.; Camps-Arbestain, M.; & M. Hedley, 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol, *Geoderma*, 209, 188-197.
24. International Biochar Initiative., 2015. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil, IBI biochar standards.
25. Iranmanesh, M.; Gharahi, N.; & M. Pajooresh, 2019. The Effect of Vegetation Pattern, Biochar and Powdery Walnut Shell on Wind Erosion, Using Wind Tunnel, *Iranian Desert Management*, 7(13), 135-148.
26. Jien, S. H., & C. S. Wang., (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil, *Catena*, 110, 225-233.
27. Kelly, C. N.; Peltz, C. D.; Stanton, M.; Rutherford, D. W.; & C. E. Rostad, 2014. Biochar application to hardrock mine tailings: soil quality, microbial activity, and toxic element sorption, *Applied Geochemistry*, 43, 35-48.
28. Laird, D. A., 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality, *Agronomy journal*, 100(1), 178-181.
29. Laird, D. A.; Fleming, P.; Davis, D. D.; Horton, R.; Wang, B.; & D. L. Karlen, 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil, *Geoderma*, 158(3-4), 443-449.
30. Lebrun, M.; Miard, F.; Nandillon, R.; Hattab-Hambli, N.; Scippa, G. S.; Bourgerie, S.; & D. Morabito, 2018. Eco-restoration of a mine technosol according to biochar particle size and dose application: study of soil physico-chemical properties and phytostabilization capacities of *Salix viminalis*, *Journal of Soils and Sediments*, 18(6), 2188-2202.
31. Lehmann, J.; Gaunt, J.; & M. Rondon, 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review, *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427.
32. Leng, L.; Xu, X.; Wei, L.; Fan, L.; Huang, H.; Li, J.; & W. Zhou, 2019. Biochar stability assessment by incubation and modelling: Methods, drawbacks and recommendations, *Science of the Total Environment*, 664, 11-23.
33. Li, Y.; Zhang, F.; Yang, M.; & J. Zhang, 2019. Effects of adding biochar of different particle sizes on hydro-erosional processes in small scale laboratory rainfall experiments on cultivated loessial soil, *Catena*, 173, 226-233.
34. Lian, F.; Huang, F.; Chen, W.; Xing, B.; & L. Zhu, 2011. Sorption of apolar and polar organic contaminants by waste tire rubber and its chars in single-and bi-solute systems, *Environmental pollution*, 159(4), 850-857.
35. Liang, B.; Lehmann, J.; Sohi, S. P.; Thies, J. E.; O'Neill, B.; Trujillo, L.; & F. J. Luizão, 2010. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil, *Organic Geochemistry*, 41(2), 206-213.
36. Lim, T. J.; Spokas, K. A.; Feyereisen, G.; & J. M. Novak, 2016. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties, *Chemosphere*, 142, 136-144.

37. Liu, S.; Kong, F.; Li, Y.; Jiang, Z.; Xi, M.; & J. Wu, 2020. Mineral-ions modified biochars enhance the stability of soil aggregate and soil carbon sequestration in a coastal wetland soil, *Catena*, 193, 104618.
38. Liu, Z.; Chen, X.; Jing, Y.; Li, Q.; Zhang, J.; & Q. Huang, 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil, *Catena*, 123, 45-51.
39. Liu, Z.; Dugan, B.; Masiello, C. A.; & H. M. Gonnermann, 2017. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties, *Plos one*, 12(6), e0179079.
40. Matovic, D., 2011. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective, *Energy*, 36(4).
41. Mahmoodabadi, M., 2011. Consecutive Application of Organic Matter and Sodcity on Secondary Particle Size Distribution, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 1(2), 83-98.
42. Moragues-Saitua, L.; Arias-González, A.; & N. Gartzia-Bengoetxea, 2017. Effects of biochar and wood ash on soil hydraulic properties: A field experiment involving contrasting temperate soils, *Geoderma*, 305, 144-152.
43. Navarro, L. R., 1999. La manzanilla fina sevillana, *Grasas y aceites*, 50(1), 60-66.
44. Nelson, D. W., & L. E. Sommers., (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical Methods*. 5, 961-1010.
45. Nimmo, J. R., & K. S. Perkins., (2002). Wet Aggregate Stability. In: Dane, J.H. and Topp, G.C. *Methods of soil analysis. Physical methods*, Soil science society of america, Inc, Madison, Wisconsin, USA, Part 4, 321p.
46. Pathan, S. M.; Aylmore, L. A. G.; & T. D. Colmer, 2003. Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments, *Journal of environmental quality*, 32(2), 687-693.
47. Peng, X.; Tong, X.; Hao, L.; & F. Wu, 2019. Applicability of biochar for limiting interrill erosion and organic carbon export of sloping cropland in a semi-arid area of China, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 68-76.
48. Peng, X.; Zhu, Q. H.; Xie, Z. B.; Darboux, F.; & N. M. Holden, 2016. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol, *Catena*, 138, 30-37.
49. Pietri, J. A., & P. C. Brookes., (2008). Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(7), 1856-1861.
50. Rajkovich, S.; Enders, A.; Hanley, K.; Hyland, C.; Zimmerman, A. R.; & J. Lehmann, 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil, *Biology and Fertility of Soils*, 48(3), 271-284.
51. Reynolds, W. D., 2002. Hydraulic Conductivity., In: Dane, J.H. and Topp, G.C. *Methods of soil analysis. Physical methods*, Soil science society of america, Inc, Madison, Wisconsin, USA, Part 4, 802p.
52. Roberts, D. A.; Cole, A. J.; Paul, N. A.; & R. De Nys, 2015. Algal biochar enhances the re-vegetation of stockpiled mine soils with native grass, *Journal of environmental management*, 161, 173-180.
53. Rogovska, N.; Laird, D. A.; Rathke, S. J.; & D. L. Karlen, 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability, *Geoderma*, 230, 340-347.
54. Sadeghi, S. H.; Kiani-Harchegani, M.; Hazbavi, Z.; Sadeghi, P.; Angulo-Jaramillo, R.; Lassabatere, L.; & H. Younesi, 2020. Field measurement of effects of individual and combined application of biochar and polyacrylamide on erosion variables in loess and marl soils, *Science of The Total Environment*, 138866.

55. Sarfraz, R.; Yang, W.; Wang, S.; Zhou, B.; & S. Xing, 2020. Short term effects of biochar with different particle sizes on phosphorous availability and microbial communities, *Chemosphere*, 126862.
56. Soinne, H.; Hovi, J.; Tammeorg, P.; & E. Turtola, 2014. Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability, *Geoderma*, 219, 162-167.
57. Van Bavel, C. H. M., 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation, *Soil Science Society of America Journal*, 14, 20-21.
58. Verheijen, F. G.; Zhuravel, A.; Silva, F. C.; Amaro, A.; Ben-Hur, M.; & J. J. Keizer, 2019. The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment, *Geoderma*, 347, 194-202.
59. Wang, Y.; Yin, R.; & R. Liu, 2014. Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 110, 375-381.
60. Wong, J. T. F.; Chen, Z.; Chen, X.; Ng, C. W. W.; & M. H. Wong, 2017. Soil-water retention behavior of compacted biochar-amended clay: a novel landfill final cover material, *Journal of soils and sediments*, 17(3), 590-598.
61. Wong, J. T. F.; Chen, Z.; Wong, A. Y. Y.; Ng, C. W. W.; & M. H. Wong, 2018. Effects of biochar on hydraulic conductivity of compacted kaolin clay, *Environmental pollution*, 234, 468-472.
62. Xiang-Hong, L.; Feng-Peng, H.; & Z. Xing-Chang, 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau: results from incubation experiments, *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(6).
63. Yan, F. L.; Shi, Z. H.; Li, Z. X.; & C. F. Cai, 2008. Estimating interrill soil erosion from aggregate stability of Ultisols in subtropical China, *Soil and Tillage Research*, 100(1-2), 34-41.
64. Zhang, A.; Cui, L.; Pan, G.; Li, L.; Hussain, Q.; Zhang, X.; & D. Crowley, 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China, *Agriculture, ecosystems & environment*, 139(4), 469-475.
65. Zhang, J.; Huang, Y.; Lin, J.; Chen, X.; Li, C.; & J. Zhang, 2019. Biochar applied to consolidated land increased the quality of an acid surface soil and tobacco crop in Southern China, *Journal of Soils and Sediments*, 1-12.

Effect of olive kernel biochar suspension on physical properties and loss of an erosion-prone soil

Abbas Shabani Rofchae: MSc Graduate, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Sepideh Abrishamkesh¹ : Assistant professor, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Mohammad Shabanpour: Associate professor, Soil Science department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht

Mahmood Fazeli: Associate professor, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Article History (Received: 2020/11/04

Accepted: 2021/01/11)

Extended abstract

1- Introduction

Main portion of organic wastes usually is burned or left in fields or landfills, which leads to pollution of soil, water, and air. The use of organic wastes for biochar production can be considered as a solution for the above-mentioned problems. Biochar is a rich carbon material which is produced via pyrolysis of various biomasses in anaerobic or limited oxygen condition. Inspire of world attention to biochar application in soil, effects of particle size, and method of biochar application has also been studied in a few pieces of research. Biochar is mixed with surface soil without the selection of a given class of particle size in most researches. Furthermore, olive kernel is considered as the main waste in agro-industrial integration, which often has no special use and is left in nature. Therefore, the use of olive kernel as a feedstock for biochar production can be a great approach for the management of these wastes and improvement of soil quality. Therefore, the purpose of this research is: 1- biochar production of olive kernel and its characterization and 2- A study of biochar addition effects with different particle sizes as the suspension on soil physical and erosion related properties of an erosion-prone soil.

2- Methodology

An erosion-prone slit clay soil was sampled as undisturbed via metal cylinders (diameter and height of 25 and 15 cm, respectively) from 0 to 10 cm of soil located at Rudbar, Southern of Guilan, Biochar was produced of olive kernel at 650 C° and 2 hours and 45 minutes. Biochar yield was calculated based on produced biochar per unit weight of feedstock (olive kernel). pH and electrical conductivity of olive kernel was determined at 1:5 (olive kernel powder : water) and 1:20 (biochar : water). Carbon, hydrogen, and nitrogen content and Fourier Transform Infrared Spectroscopy of olive kernel and biochar were assessed through Elemental Analysis and Fourier Transform Infrared Spectroscopy, respectively. Biochar was milled, and with particle size of 53-250 and 250-500 micron at 1 and 2 weight percent as a water suspension was injected to cylinder containing undisturbed soil. Four cylinders without biochar was also considered as a control treatment. Soil cylinders were located at a greenhouse at 20-25 C° for 10 months (300 days) and their moisture was held approximately at 70 percent of field capacity. At the end of the tenth-month of incubation, samples were provided of cylinders, and some soil properties and soil loss were studied.

3- Results

The studied soil had a silt clay texture. Containing an abundant amount of silt can increase sensitivity of soil to surface crust formation. Carbon and hydrogen content was increased and

¹ Corresponding Author: sabrishamkesh@guilan.ac.ir

decreased 44 and 69 percent, respectively as a result of olive kernel transformation to biochar. Result of Fourier transform infrared spectroscopy also showed olive kernel transformation to biochar has led to decrease of volatile organic components and increase of carbon and nitrogen content.

Results of this study showed that biochar with coarser particle size (250-500 micron) led to more increase of hydraulic conductivity compared to ones with finer particle size (53-250 micron). Although, biochar application result in aggregate stability improvement and runoff production decrease, biochar with particle size of 53 to 250 and 250 to 500 micron had no significant difference compared to each other. Runoff delay time and sediment yield were more and less, respectively in all biochar treatments in comparison with control (without biochar). The most increase of runoff delay time (5.65 minutes) was also was observed at 2 percent biochar application level of 250 to 500 micron. Biochar with particle size of 53 to 250 and 250 to 500 micron result in more decrease of sediment yield at 1 and 2 percent biochar application levels, respectively.

4- Discussion & Conclusions

Generally, the results of this research showed that the transformation of organic wastes such as olive kernel can be considered as a useful approach to manage this kind of wastes. Olive kernel biochar with having less hydrogen to carbon molar ratio compared to feedstock (olive kernel) has long-term persistence in soil. Furthermore, olive kernel biochar application as a suspension in an erosion-prone clay slit has positive effects on improvement of aggregation and hydraulic conductivity, and potential erosion decline. Therefore, biochar production of olive kernel and its application as a suspension not only prevent soil degradation in time of application in soil but also lead to long-term carbon sequestration, improvement of important properties influencing soil quality, and sustainable use of unused wastes. A Study of biochar particle size and application-level also showed a specific type of biochar does not exert similar effects on different properties of a given soil, and particle size and level of biochar application must prescribe according to the desired goal.

Key Words: Biochar Particle Size, Aggregate Stability, Waste, Carbon Sequestration, Runoff.