19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

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

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

کارایی بیوچار و ریزجلبک در کاهش رسوب‌زایی خاک جنگلی متاثر از آتش

مهسا کوهستانی[۱]، سپیده ابریشم‌کش[۲*]، نفیسه یغمائیان[۳]، نسرین قربان‌زاده[۳]

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی ارشد، استادیار و دانشیار گروه علوم و مهندسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

mahsakordoo1380@gmail.com*

چکیده

آتش‌سوزی یکی از عوامل اصلی فرسایش خاک در اکوسیستم‌های جنگلی است. این پژوهش با هدف بررسی کارایی بیوچار و ریزجلبک *Scenedesmus sp.* در کنترل رواناب و رسوب یک خاک جنگلی متأثر از آتش‌سوزی با بافت لومسیلتی انجام شد. تیمارها عبارت بودند از : ۲ و ۵ ٪ بیوچار، ریزجلبک، ۲ و ۵٪ بیوچار با ریزجلبک و تیمار شاهد. مقدار رواناب و رسوب در آزمایشگاه، تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ۵۵ میلی‌متر بر ساعت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که همه تیمارها تأثیر معنی‌دار بر کاهش تولید رسوب داشتند و به‌غیر از ۲ درصد بیوچار، همه تیمارها موجب کاهش معنی‌دار رواناب نیز شدند. اما تیمار ریزجلبک با ۸۰ درصد کاهش، بهترین عملکرد را در کاهش رسوب‌زایی نشان داد و ترکیب بیوچار با ریزجلبک، کارایی بیوچار را در کاهش رواناب و به‌ویژه رسوب افزایش داد. ریزجلبک‌ها با تولید پلیمرهای خارج‌سلولی و تشکیل پوسته‌های زیستی، و بیوچار از طریق بهبود نفوذپذیری می‌توانند موجب کنترل رواناب و فرسایش شوند. بنابراین بسته به هدف موردنظر (کاهش رواناب یا کاهش رسوب و یا هر دو)، بیوچار و ریزجلبک به صورت منفرد و یا ترکیبی، می‌توانند در بازسازی خاک‌های جنگلی پس از آتش‌سوزی موثر باشند اما نیازمند مطالعه طولانی‌مدت‌تر در عرصه‌های جنگلی با ویژگی‌های متفاوت است.

واژگان کلیدی: پلیمر خارج‌سلولی، پوسته زیستی، رواناب، شبیه‌ساز باران، فرسایش

مقدمه

گرمایش جهانی کنونی، افزایش دما و خشکسالی‌های شدید، خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها را به شکل چشم‌گیری افزایش می‌دهد (Zhang and Biswas 2017). افزایش خطر آتش‌سوزی نه‌تنها پوشش گیاه جنگلی را تحت‌تأثیر قرار خواهد داد، بلکه بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک نیز تأثیر می‌گذارد (Romeo et al. 2020). آتش‌سوزی در جنگل‌ها یکی از دلایل اصلی تخریب خاک و از دست رفتن مواد مغذی از طریق فرّار شدن و فرسایش خاک است (Gómez-Rey et al., 2013). راهکارهایی که جهت کنترل فرسایش در عرصه‌های جنگلی سوخته انجام می‌گیرد را می‌توان بر اساس نحوه عملکردشان به سه دسته اصلی تقسیم کرد: افزایش پوشش محافظ زمین به‌طور مستقیم با ایجاد یک لایه از بقایای گیاهی بر روی سطح زمین از طریق کاربرد بقایای آلی (مالچ‌پاشی)؛ افزایش پوشش محافظ زمین به‌طور غیرمستقیم از طریق تقویت بازیابی پوشش گیاهی؛ حفظ رواناب توسط موانع فیزیکی بر روی شیب یا آبراهه (Girona-García et al., 2021). علاوه بر روش‌های ذکرشده؛ استفاده از بیوچار در عرصه‌های جنگلی بسیار مختل‌شده (مانند سایت‌های احیای معادن) در حال حاضر در حال اجرا است و ممکن است بیوچار در محیط‌های پس از آتش‌سوزی نیز نقش مهمی ایفا کند (Girona-García et al., 2021). بقایای قطع درختان و برداشت انتخابی (یعنی بقایای هرس) ممکن است همچنان خطر آتش‌سوزی ایجاد کنند، تبدیل بقایای هرس در محل یا خارج از محل به بیوچار، با هدف استفاده مجدد، به عنوان جایگزینی برای سوزاندن بقایای هرس جمع‌آوری شده (که مستعد فرسایش و از دست رفتن مواد مغذی هستند) یا رها کردن مواد برای تجزیه شدن پیشنهاد شده است (Scott and Page-Dumroese, 2016). از سایر روش‌های بازیابی خاک پس از آتش‌سوزی می‌توان به رهیافت‌های بیوتکنولوژیکی مانند استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی و غیربومی اشاره کرد (Munoz-Rojas et al., 2021). جوامع پوسته زیستی[1] با زندگی بر روی چند سانتی‌متر بالایی خاک به‌عنوان ابزاری زیستی، پتانسیل کاربرد جهت بازسازی اکوسیستم‌ها پس از آتش را نشان داده‌اند (Chamizo et al., 2020). پوسته‌های زیستی جوامعی از موجودات فتوسنترکننده (شامل سیانوباکتری، خزه، گلسنگ و یا ریزجلبک[2])، باکتری، آرکی و قارچ‌های همراه هستند؛ که اگرچه در بیوم‌های خشک شایع هستند اما در اکوسیستم‌های متعددی می‌توانند وجود داشته‌باشند (Rodriguez-Caballero et al., 2018). ریزجلبک‌ها گروهی گسترده از میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکننده شامل سیانوباکتری‌های پروکاریوتی و هم گونه‌های یوکاریوتی مانند جلبک‌های سبز، دیاتوم وگلنوئیدها می‌باشند (Andersen, 2013). ریزجلبک‌ها از طریق فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسید کربن موجب ذخیره کربن و با تولید پلیمرهای خارج‌سلولی[3] (EPS) ساختمان خاک را بهبود می‌بخشند (Chamizo et al., 2018). ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع مهمی از کربن آلی در خاک شناخته شده و نقشی کلیدی در ارتقای پایداری اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند (Renuka et al., 2018). در این راستا بررسی کارایی روش‌های جدید مانند کاربرد بیوچار و ریزجلبک‌ها به صورت منفرد و ترکیبی بر میزان هدررفت خاک و تولید رواناب می‌تواند به توسعه روش‌ها و فناوری‌های کنترل فرسایش و تولید رسوب پس از آتش‌سوزی کمک کند. . بنابراین پژوهش با هدف بررسی اثر دو سطح ۲ و ۵٪ بیوچار تولیدی از بقایای چوبی و ریزجلبک *Scenedesmus sp.* بر تولید رسوب و رواناب یک خاک جنگلی متاثر از آتش انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از منطقه جنگلی تحت تاثیر آتش‌سوزی در رودبار استان گیلان انجام شد. در محل نمونه‌برداری، سه نقطه در بخش‌های تحت‌تاثیر آتش به عنوان خاک سوخته انتخاب و نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی خاک به طور تصادفی در سه-تکرار انجام‌شد. نمونه‌های خاک با یکدیگر مخلوط و یک نمونه مرکب از آن تهیه شد. نمونه خاک مرکب به آزمایشگاه ارسال و ویژگی‌های اولیه شامل توزیع اندازه ذرات اولیه و مقدار کربن آلی، واکنش و قابلیت هدایت الکتریکی آن به روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک در میکروپلات‌های آزمایشی با ابعاد ۴۰×۴۵×۴ سانتی‌متر تحت تیمارهای اصلاحی منفرد و ترکیبی بیوچار تولیدی از بقایای چوبی سرشاخه‌های هرس‌شده درخت کاج و ریزجلبک *Scenedesmus sp.* قرار گرفتند. تیمارهای این پژوهش عبارتند از تیمارهای منفرد بیوچار در دو سطح ۲ و ۵ درصد جرمی، تیمار منفرد ریز-

[1] Biological crust
[2] Micro algae
[3] Exopolysaccharides

جلبک، تیمارهای ۲ و ۵٪ جرمی بیوچار در ترکیب با ریزجلبک و تیمار شاهد (بدون بیوچار و ریزجلبک) که اختصارا به‌ترتیب B(2%)، B(5%)، S، SB(2%)، SB(5%) و C نام‌گذاری شدند. میکروپلات‌های حاوی خاک به‌مدت شش ماه در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۷۰-۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شدند. پس از پایان دوره انکوباسیون، میکروپلات‌ها تحت باران شبیه‌سازی‌شده با شدت ۵۵ میلی‌متر قرار گرفتند. پس از خروج اولین قطره رواناب از ناودان میکروپلات، در زمان-های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه، رواناب و رسوب جمع‌آوری و توزین شدند. داده‌های رواناب و رسوب به-صورت یک طرح فاکتوریل با دو فاکتور (۱-نوع تیمار و ۲-زمان) در قالب کاملا تصادفی در سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون توکی و در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد.

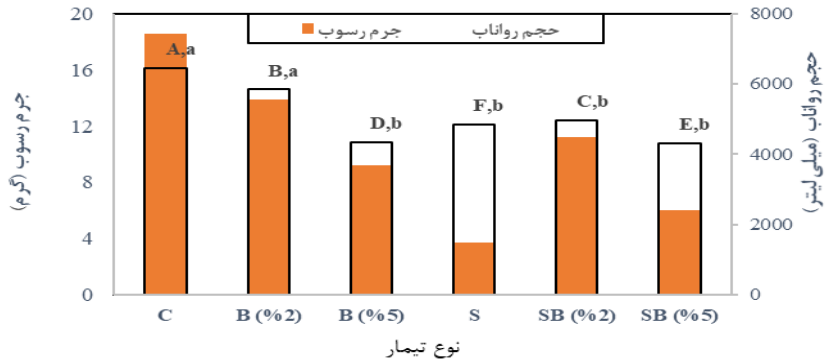
نتایج و بحث

خاک متاثر از آتش (سوخته) مورداستفاده در این پژوهش دارای دارای بافت لوم‌سیلتی و pH قلیائی بود. ویژگی‌های اولیه خاک موردنظر در جدول ۱-۳ ارائه شده است.

شکل ۱- ویژگی‌های اولیه خاک موردمطالعه

شن	سیلت	رس	واکنش	قابلیت هدایت الکتریکی	کربن آلی
(%)	(%)	(%)	-	($dS\ m^{-1}$)	(%)
۲۹/۲	۵۴/۸	۱۶	۸/۱۶	۱/۰۵	۱/۹۵

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای منفرد و ترکیبی بیوچار و ریزجلبک بر حجم رواناب و جرم نشان داد که اثر تیمار و زمان بر حجم رواناب و جرم رسوب و اثر متقابل تیمار و زمان بر جرم رسوب در سطح احتمال پنج درصد ($p<0.05$) معنادار بود. تاثیر تیمارهای مختلف در کاهش رواناب و رسوب کل و تغییرات زمانی تولید رسوب به‌ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. مقایسه میانگین رواناب و رسوب کل (شکل ۱)، نشان داد که تیمار C، بیش‌ترین مقدار تولید رواناب و رسوب را دارا است که نشان‌دهنده عدم‌کنترل مؤثر رواناب و رسوب در تیمار شاهد است. به جزء تیمار B(2%)، سایر تیمارهای بیوچار و ریزجلبک، شامل B(5%)، S و SB(5%) موجب کاهش معناداری ۲۳ تا ۳۳ درصد مقدار رواناب در مقایسه با تیمار شاهد شدند، اما تفاوت معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. همه تیمارهای منفرد و ترکیبی بیوچار و ریزجلبک، تاثیر معنی‌دار بر کاهش تولید رسوب داشتند و موجب کاهش ۲۵ تا ۸۰ درصدی تولید رسوب در مقایسه با تیمار شاهد شدند. بیشترین تاثیر کاهشی تولید رسوب را تیمار S با ۳/۷۱ گرم تولید رسوب و کاهش ۸۰ درصد نسبت به شاهد داشت و ترتیب سایر تیمارهای بیوچار و ریزجلبک از لحاظ کنترل تولید جرم رسوب به ترتیب عملکرد عبارتند از SB(5%) ، B(5%)، SB(2%) و B(2%) .

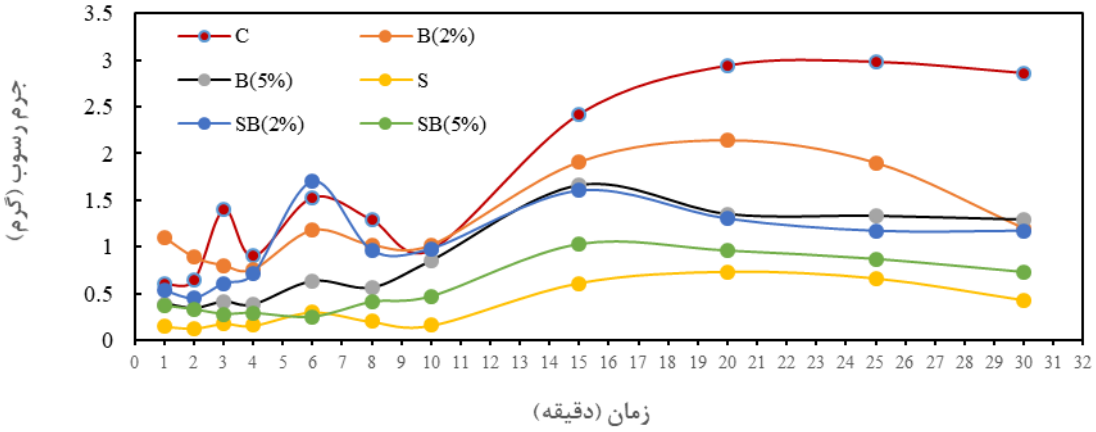


شکل ۱- اثر تیمارهای بیوچار و ریزجلبک بر میزان رواناب و رسوب.

C: تیمار شاهد (بدون بیوچار و ریزجلبک)، S: تیمار دارای ریزجلبک، B(5%) و B(2%): به‌ترتیب تیمار دارای ۲٪ و ۵٪ بیوچار، SB(2%) و SB(5%): به‌ترتیب تیمار دارای بیوچار ۲٪ و ۵٪ بیوچار به‌همراه ریزجلبک.

حروف انگلیسی بزرگ و کوچک مشترک به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار جرم رسوب و حجم رواناب در سطح یک‌درصد می‌باشد.

بررسی الگوهای رفتاری زمانی تولید رسوب (شکل ۲) نشان می‌دهد که تیمار شاهد (C) با رفتار پرنوسان و غیرقابل‌پیش‌بینی، اوج اولیه در دقیقه ۶ و افزایش شدید از دقیقه ۱۰ به بعد تا رسیدن به حدود ۳ گرم، نامطلوب‌ترین عملکرد را داشته است. تیمارهای B(2%) و B(5%) به ترتیب با افزایش تدریجی مقدار رسوب تا دقیقه ۱۵ و رسیدن به اوج ۱/۹ و ۱/۶ گرم به‌ترتیب برای B(2%) و B(5%)، رفتار نسبتاً پایداری در انتها نشان دادند. از سوی دیگر، تیمار S با بهترین عملکرد منفرد، رفتار پایدار و کنترل‌شده و افزایش بسیار ملایم جرم رسوب تا ۰/۶ گرم، مؤثرترین تیمار منفرد محسوب شد، درحالی‌که تیمارهای ترکیبی SB(5%) با ۱/۰۳ گرم و SB(2%) با ۱/۶ گرم اوج تولید رسوب همچنان عملکرد خوبی را در کاهش رسوب در مقایسه با شاهد نشان دادند.



شکل ۲- تغییرات زمانی تولید رسوب در تیمارهای بیوچار و ریزجلبک.

C: تیمار شاهد (بدون بیوچار و ریزجلبک)، S: تیمار دارای ریزجلبک، B(5%) و B(2%): به‌ترتیب تیمار دارای ۲٪ و ۵٪ بیوچار، SB(2%) و SB(5%): به‌ترتیب تیمار دارای بیوچار ۲٪ و ۵٪ بیوچار به‌همراه ریزجلبک.

کاربرد تیمارهای بیوچار و ریزجلبک نتایج قابل‌توجهی در کنترل رواناب و فرسایش به همراه داشت. تیمار ریزجلبک با حفظ پایداری در تمام دوره و محدود کردن تولید رسوب، برترین کارایی را در کنترل رسوب از خود نشان داد و کارایی تیمارهای بیوچار در کاهش تولید رسوب در ترکیب با ریزجلبک به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. به‌طوری‌که کاربرد بیوچار ۲٪ به صورت منفرد تاثیر معنی‌دار در کاهش رواناب نداشت، اما در ترکیب با ریزجلبک موجب کاهش معنی‌دار مقدار رواناب تولیدی شد. نقش ریزجلبک‌ها در کاهش فرسایش خاک در سایر مطالعات نیز تایید شده است. صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2020) بیان کردند که در مزارع کشاورزی متروک تیمارشده با ریزجلبک‌های سیانوباکتریایی *Nostoc sp.* و *Oscillatoria sp.*، مقدار هدررفت خاک ناشی از رواناب تا ۳۶ درصد کاهش یافت. ریزجلبک‌ها، پلیمرهای خارج‌سلولی (EPS) با مقادیر و ترکیبات متفاوتی تولید می‌کنند (Xiao and Zheng, 2016) که به‌عنوان عوامل اتصال‌دهنده ذرات خاک می‌توانند عمل کنند (Rossi et al., 2018) و خاک‌هایی که دارای خاکدانه‌های پایدار هستند در برابر نیروهای فرسایشی مانند باد و آب کمتر آسیب‌پذیرند (Johnson et al., 2016). از سوی دیگر، ریزجلبک‌های تولیدکننده ماده پلیمری خارج سلولی (EPS) می‌توانند ظرفیت نگهداری آب و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را بهبود بخشند. این مواد پلیمری دارای خاصیت رطوبت‌گیری بوده و قادرند آب را از بارش باران و همچنین از منابع غیربارشی مانند مه، شبنم و بخار آب جذب کنند (Colica et al., 2014). بیوچار نیز با افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه (Khademalrasoul et al., 2019) و افزایش نفوذپذیری و تخلخل خاک

(Gholamahmadi et al., 2023) می‌تواند موجب کاهش فرسایش خاک شود. لی و همکاران (Li et al.,2019) در مطالعه‌ای در مورد اثرات کاربرد بیوچار گزارش دادند که کاربرد بیوچار موجب کاهش حجم کل رواناب تا ۱۲/۲ درصد و مهار فرسایش شد. در مورد اثرات کاربرد مخلوط بیوچار و ریزجلبک، مطالعه هو و همکاران (Hu et al., 2019) نشان داد که اثرات ترکیب بیوچار، ریزجلبک (سیانوباکتری *Anabaena sp.*) و کود آلی بر به عنوان یک اصلاح‌کننده مختلط، مقدار کربن آلی عصاره خاک را بهبود بخشید و اثربخشی این مخلوط بیشتر از هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده آن در صورت استفاده منفرد بود.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نقش برجسته جنگل‌ها در حفظ پایداری محیط زیست، کنترل فرسایش و رسوب در جنگل‌های سوخته امری ضروری است. نتایج پژوهش حاضر، کارایی کاربرد منفرد و ترکیبی بیوچار چوبی و ریزجلبک *Scenedesmus sp.* بر کاهش رواناب و رسوب در خاک جنگلی سوخته را به‌روشنی نشان داد. اما انتخاب نوع تیمار، سطح کاربرد و کاربرد منفرد و یا ترکیبی آن باید بر اساس هدف اصلی (کنترل رواناب یا رسوب یا هر دو) باشد. در مقایسه با بیوچار، ریزجلبک احتمالا با محافظت بیشتر سطح خاک و مشارکت در تشکیل پوسته‌های زیستی می‌تواند کاهش رسوب را به‌طور پایدارتری کاهش دهد و ترکیب بیوچار با ریزجلبک می‌تواند باعث تقویت اثر بیوچار در کاهش رواناب و رسوب شود.

فهرست منابع

Andersen, R.A. (2013). The microalgal cell, in: Richmond, A., Hu, Q. (Eds.), Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, pp. 3–20.

Chamizo, S., Adessi, A., Certini, G., De Philippis, R. (2020). Cyanobacteria inoculation as a potential tool for stabilization of burned soils. Restoration Ecology, (28), S106-S114.

Chamizo, S., Mugnai, G., Rossi, F., Certini, G., De Philippis, R., (2018). Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: Gaining insights for applicability in soil restoration. Frontiers in Environmental Science (6): 49.

Colica, G., Li, H., Rossi, F., Li, D., Liu, Y., De Philippis, R., 2014. Microbial secreted exopolysaccharides affect the hydrological behavior of induced biological soil crusts in desert sandy soils. Soil Biology and Biochemistry, 68, 62-70.

Gholamahmadi, B., Jeffery, S., Gonzalez-Pelayo, O., Prats, S. A., Bastos, A. C., Keizer, JJ, Verheijen, F. G. A. (2023). Biochar impacts on runoff and soil erosion by water: A systematic global scale meta-analysis. Science of The Total Environment. 871, 161860.

Girona-García, A., Vieira, D. C. S., Silva, J., Fernández, C., Robichaud, P. R., Keizer, J. J. (2021). Effectiveness of post-fire soil erosion mitigation treatments: A systematic review and meta-analysis. Earth-Science Reviews, 217, 103611.

Gómez-Rey, M. X., Otero, X. L., López, R. (2013). Long-term effects of biochar on soil quality and fertility. Agriculture, Ecosystems & Environment, 178, 1-10.

Hu, J., Guo, H., Xue, Y., Gao, M. T., Zhang, S., Tsang, Y. F., Li, J., Yanan, W., Wang, L. (2019). Using a mixture of microalgae, biochar, and organic manure to increase the capacity of soil to act as carbon sink. Journal of Soils and Sediments. 19, 3718–3727.

Johnson, J.M.F., Strock, J.S., Tallaksen, J.E., Reese, M. (2016). Corn stover harvest changes soil hydrology and soil aggregation. Soil and Tillage Research. 161, 106–115.

Khademalrasoul, A., Kuhn, N. J., Elsgaard, L., Hu, Y., Iversen, B. V., & Heckrath, G. (2019). Short-term effects of biochar application on soil loss during a rainfall-runoff simulation. Soil science, 184(1), 17-24.

Li, Y., Zhang, F., Yang, M., Zhang, J., Xie, Y. (2019). Impacts of biochar application rates and particle sizes on runoff and soil loss in small, cultivated loess plots under simulated rainfall. Science of The Total Environment. 649, 1403–1413.

Muñoz-Rojas, M., Machado de Lima, N. M., Chamizo, S., Bowker, M. A. (2021). Restoring post-fire ecosystems with biocrusts: Living, photosynthetic soil surfaces. Current Opinion in Environmental Science & Health, 23, 100273.

Rodriguez-Caballero, E., Belna, J., Büdel, B., Crutzen, P. J., Andreae, M. O, Pöschl, U., Weber, B. (2018). Dryland photoautotrophic soil surface communities endangered by global change. Nature Geoscience, 11,185-189.

Rossi, F., Mugnai, G., De Philippis, R. (2018). Complex role of the polymeric matrix in biological soil crusts. Plant and Soil, 429, 19–34.

Romeo, F., Marziliano, P. A., Turrión, M. B., Muscolo, A. (2020) Short-term effects of different fire severities on soil properties and Pinus halepensis regeneration. J for Res 31(4):1271–1282.

Sadeghi, S.H., Kheirfam, H., Zarei Darki, B., 2020. Controlling runoff generation and soil loss from field experimental plots through inoculating cyanobacteria. J. Hydrol. 585, 124814.

Scott, D. A., Page-Dumroese, D. S. (2016). Biochar as a soil amendment: A review of the literature. Forest Ecology and Management, 380, 1–10.

Xiao, R., Zheng, Y. (2016). Overview of microalgal extracellular polymeric substances (EPS) and their applications. Biotechnology Advances, 34, 1225–1244.

Zhang, Y., Biswas, A. (2017) The effects of forest fire on soil organic matter and nutrients in boreal forests of North America: a review. Adaptive Soil Management , 465–476.

Efficiency of biochar and microalgae in reducing sediment generation of fire affected forest soil

Mahsa Koohestani[1*], Sepideh Abrishamkesh[2], Nasrin Ghorbanzadeh[3], Nafiseh Yaghmaean[3]

1, 2 and 3: MSc Student, Assistant Professor, and Associate Professor, respectively, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

*mahsakordoo1380@gmail.com

Abstract

wildfire is one of the main factors causing soil erosion in forest ecosystems. This study aimed to evaluate the effectiveness of biochar and microalgae *Scenedesmus sp.* in controlling runoff and sediment from a wildfire-affected forest soil with silt loam texture. The treatments consisted of: 2% and 5% biochar, microalgae, 2% and 5% biochar combined with microalgae, and a control treatment. Runoff and sediment amounts were measured in the laboratory under simulated rainfall with an intensity of 55 mm per hour. The results showed that all treatments had a significant effect on reducing sediment production, and except for 2% biochar, all treatments also caused a significant reduction in runoff. However, the microalgae treatment with an 80% reduction showed the best performance in reducing sedimentation, and the combination of biochar with microalgae enhanced biochar's efficiency in reducing runoff and particularly sediment. Microalgae can control runoff and erosion through the production of extracellular polymers and formation of biological crusts, while biochar works by improving soil permeability. Therefore, depending on the desired objective (runoff reduction, sediment reduction, or both), biochar and microalgae, either individually or in combination, can be effective in restoring forest soils post fires. However, longer-term studies in forest areas with different characteristics are needed.

Keywords: Extracellular polymer, Biological crust, Runoff, Rainfall simulator, Erosion