

Investigation of Modified Biochar, Nanoclay and Polyvinyl Acetate on Soil Stabilization and Wind Erosion Control of Sandy and Loamy Sand Soils

FATEMEH NOORALIVAND¹, AHMAD FARROKHIAN FIROUZI*

1. Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: July. 5, 2019- Revised: Dec. 30, 2019- Accepted: Jan. 8, 2020)

ABSTRACT

Wind erosion is one of the most important environmental issues in the world. This phenomenon could have hazardous effect on weather, water quality and human health. In recent years, the use of mulch has been considered for controlling wind erosion and soil stabilization. The aim of this study was to use Montmorillonite Nano clay, Polyvinyl Acetate polymer and wheat straw biochar as a natural mulch for controlling wind erosion and soil stabilization. A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The factors included (1) mulch (three types), (2) mulch concentration (Nanoclay: 0, 16 and 32, Polyvinyl Acetate polymer: 0, 8, and 16 and biochar: 0, 65 and 200 g/m²) and (3) time duration (21, 42 and 63 days). Two soil samples (sandy and loamy sand) were collected from the dust source of southeast of Ahvaz (center Number.4). Trays with a 500×300×50 mm were filled by the soils. Then, the emulsion of Nanoclay, and Polyvinyl Acetate were sprayed uniformly on the soil surface. The biochar also was uniformly mixed with the soils. The trays were placed on wind tunnel channel and wind erosion test was performed at a speed of 20 m/s for 5 minutes. Then, aggregate stability (MWD), penetration resistance (PR), shear strength (SS) and their changes were measured at all duration times. The amount of soil loss at first duration time in nanoclay, polymer and biochar treatments were decreased in sandy soil 98%, 97% and 43.65%, and in loamy sand soil 97%, 95% and 58%, respectively as compared to the control treatment. Maximum MWD, PR and SS was obtained in the nanoclay treatment. In general, the results showed that the use of nanoclay, polymer and biochar materials significantly reduced wind erosion at different duration times, compared to the control treatment.

Keywords: Aggregate stability, Mulch, shear strength, wind tunnel.

بررسی زغال زیستی اصلاح شده، نانورس و پلی‌وینیل استات بر تثبیت خاک و کنترل فرسایش بادی خاک شنی و شنی لومی

فاطمه نورعلی‌وند^۱، احمد فرخیان‌فیروزی^{۱*}

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸)

چکیده

فرسایش بادی یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی جهان محسوب می‌شود. این پدیده می‌تواند اثرات مخربی بر کیفیت آب، هوا و سلامت انسان داشته باشد. در سال‌های اخیر استفاده از خاک‌پوش در کنترل فرسایش بادی و تثبیت خاک مورد توجه قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش استفاده از نانورس مونت‌موریلونایت، پلیمر پلی‌وینیل استات و زغال زیستی کاه گندم به منظور دستیابی به یک خاک‌پوش طبیعی برای کنترل فرسایش بادی در خاک‌های شنی و شنی لومی بصورت آزمایشگاهی با آزمایش‌های تونل باد بود. به این منظور آزمایش فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل (۱) نوع خاکپوش (نانورس مونت‌موریلونایت، پلیمر پلی‌وینیل استات و زغال زیستی کاه گندم)، (۲) غلظت خاکپوش (نانورس: ۰، ۱۶ و ۳۲، پلیمر پلی‌وینیل استات: ۰، ۸ و ۱۶ و زغال زیستی: ۰، ۶۵ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع) و (۳) زمان (۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز) بودند. دو نمونه خاک (شنی و شنی لومی) از کانون گرد و غبار جنوب شرق اهواز (کانون شماره ۴) نمونه‌برداری شد. سینی‌های آزمایش (با ابعاد ۵۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر) تا لبه با خاک پر شدند. سپس، سوسپانسیون نانورس و پلی‌وینیل استات به صورت یکنواخت روی خاک اسپری شد. بیوچار نیز به صورت یکنواخت با خاک‌ها مخلوط شد. پس از گذشت مدت زمان مورد نظر سینی‌ها در تونل با سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند و سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک (پایداری خاک‌دانه‌ها، مقاومت نفوذی و مقاومت برشی) و تغییرات آن‌ها نسبت به زمان اندازه‌گیری شد. مقدار هدررفت خاک در زمان اول در خاک شنی در تیمار نانورس، پلیمر و زغال زیستی نسبت به شاهد به ترتیب ۹۸، ۹۷ و ۴۳ درصد و در خاک شنی لومی ۹۷، ۹۵ و ۵۸ درصد کاهش یافت. بیشترین میانگین وزنی قطر خاک‌دانه، مقاومت نفوذی و برشی خاک در تیمار نانورس به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد خاک‌پوش‌های نانورس، پلیمر و زغال زیستی به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار فرسایش بادی در زمان‌های مختلف در مقایسه با خاک شاهد شد.

واژه‌های کلیدی: خاکپوش، تونل باد، پایداری خاک‌دانه، مقاومت برشی.

مقدمه

و غبار در استان خوزستان از نظر تکرار و استمرار در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است. این پدیده کاهش کیفیت زندگی، تهدید سلامت مردم، کاهش کیفیت هوا و کاهش ایمنی راه‌های مواصلاتی را در پی داشته است. بر اساس گزارش ارائه شده توسط اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب باختری، کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان در قالب ۷ محدوده با سطحی معادل ۳۵۰۰۰۰ هکتار شناسایی شدند (Dargahian et al., 2017).

برای مبارزه با فرسایش بادی دو روش اساسی وجود دارد؛ (۱) احداث بادشکن‌های زنده و غیر زنده برای کاهش سرعت باد در نزدیکی سطح زمین تا حدی که سرعت باد کمتر از سرعت آستانه فرسایش گردد. (۲) کنترل عواملی که بر خصوصیات خاک

مهم‌ترین عواقب فرسایش بادی عبارتند از کاهش مواد مغذی، ضخامت خاک و محتوای مواد آلی که در نهایت منجر به کاهش باروری خاک می‌شود (Zhang et al., 2018; Liu et al., 2018). این مسئله به‌ویژه در مناطق خشک به دلیل فقر پوشش گیاهی، کمبود هوموس، خشک و ریزدانه بودن خاک جدی‌تر است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک فرسایش بادی منبع اصلی گرد و غبار در جو می‌باشد. شدت فرسایش بادی در استان‌های جنوبی به حدی است که بسیاری از مناطق به کانون‌های محلی و داخلی برای انتشار گرد و غبار تبدیل شده‌اند. از این رو کنترل فرسایش بادی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Movahedan et al., 2012). بروز پدیده گرد

ویژگی‌های مکانیکی و مهندسی یک خاک رسی بررسی کردند. مقادیر مختلف نانورس (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد وزنی) به خاک رس اضافه شد و آزمایش پروکتور، حدود آتربرگ، آزمون مقاومت فشاری، مقاومت برشی و آزمون CBR انجام شد. نتایج نشان داد که نانوذرات رس باعث بهبود خصوصیات خاک شدند.

نتایج مطالعات نشان داده است که خاک‌های با مواد آلی بالا در برابر فرسایش مقاوم هستند زیرا مواد آلی می‌تواند سبب افزایش پایداری خاک‌دانه و ظرفیت نگهداشت آب خاک شود (Johannes *et al.*, 2017). بنابراین، در نظر گرفتن اقداماتی که مقدار ماده آلی خاک را افزایش می‌دهد، بایستی مورد توجه قرار گیرد. زغال زیستی یک باقی‌مانده‌ی جامد حاوی کربن است که در شرایط گرمایی ویژه (اغلب کمتر از 700°C) و نبود یا کمبود اکسیژن تولید می‌شود. پس از افزوده شدن به خاک، بر اثر هوادهی و قرار گرفتن در معرض فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با گذشت زمان به ذرات کوچک‌تر (ذرات به اندازه سیلت یا کوچک‌تر) تبدیل شده و به این ترتیب می‌تواند به‌عنوان جزء جامد خاک توزیع اندازه ذرات خاک را تغییر دهد (Brodowski *et al.*, 2007). زغال زیستی با افزایش کربن آلی، تخلخل، سطح ویژه خاک و بهبود فعالیت میکروبی خاک، می‌تواند خاک‌دانه‌سازی را در خاک تحت تأثیر قرار داده و ساختمان خاک را بهبود بخشد (Downie *et al.*, 2009; Chan *et al.*, 2007). با این حال، سوال این است که با توجه به این اثرات مثبت بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، آیا می‌توان از آن به‌عنوان یک اصلاح‌کننده در کنترل فرسایش بادی استفاده کرد. مطالعات اندکی بر استفاده از بیوجار برای کنترل فرسایش انجام شده است (Wang *et al.*, 2013). Herath *et al.* (2013) اثر زغال زیستی ذرت را بر خصوصیات دو خاک آلفی‌سول و اندی‌سول بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد افزودن زغال زیستی ذرت موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاک‌دانه و در نهایت افزایش نگهداشت آب در دو نوع خاک رده آلفی‌سول و اندی‌سول گردید.

مواد پلیمری آلی به‌عنوان تثبیت‌کننده‌های جدید خاک برای کنترل فرسایش بادی شن‌های روان اخیراً مورد توجه قرار گرفته‌اند (Namdar khojasteh *et al.*, Ayeldeen *et al.*, 2016; Pradhan and John, 2009; 2017). پلیمر می‌تواند یک پوسته را روی سطح شن ایجاد کند که باعث افزایش ثبات خاک‌دانه‌ها، کاهش تبخیر آب و بهبود توانایی خاک در برابر فرسایش بادی می‌شود (Liu *et al.*, 2012). پلی‌وینیل استات به‌عنوان نوع جدیدی

موثرند (ثبات دانه‌بندی ذرات خاک و مقدار مواد آلی). احداث بادشکن نسبتاً پر هزینه و زمان‌بر است و در کوتاه مدت قادر به کنترل سریع فرسایش بادی نیست. با توجه به هزینه‌های بالای کنترل فرسایش بادی و سختی شرایط کار و اثرات زیست‌محیطی خاکپوش‌ها (Strong *et al.*, 2016) انتخاب روش‌های موثر برای تثبیت این مناطق در کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، لازم و ضروری خواهد بود (Keesstra *et al.*, 2018).

در سال‌های اخیر برای تثبیت سطحی خاک‌ها در مقیاس وسیع، از مواد طبیعی و یا شیمیایی برای پوشاندن سطح خاک و جلوگیری از جابجایی آن توسط بادهای با شدت مختلف استفاده می‌شود. این مواد که به طور کلی مالچ (خاکپوش) نامیده می‌شوند اغلب در مکان‌های بسیار خشک که امکان تثبیت پوشش گیاهی چه از طریق طبیعی و چه از طریق دخالت‌های انسانی وجود نداشته باشد، اهمیت می‌یابند. هدف اصلی در این روش‌ها تثبیت خاک جهت کنترل فرسایش بادی و دستیابی به مواد افزودنی است که بتواند بر روی خاک قشر یکنواخت به‌هم‌چسبیده‌ای به‌وجود آورد که مقاوم به باد و باران باشد، ضررهای زیست‌محیطی نداشته باشد، و بر محصولات اثرات سوء نداشته و مواد غذایی خاک را کاهش ندهد (Movahedan *et al.*, 2012). با توجه به هزینه زیاد خاکپوش‌های نفتی و آثار مخرب آن‌ها در محیط زیست، لازم است که یک جایگزین مناسب و پایدار در زمینه تثبیت خاک پیدا شود. از جمله خاک‌پوش‌هایی که برای این منظور مناسب هستند عبارتند از خاک‌پوش‌های معدنی (نانوذرات رس) و خاک‌پوش‌های آلی (زغال زیستی و پلیمرهای آلی) که می‌توانند به‌عنوان اقدامات مفید و سازگار با محیط زیست برای کنترل فرسایش خاک در نظر گرفته شوند.

استفاده از نانو ذرات رس مقاومت برشی خاک را بهبود می‌بخشد (Khalid *et al.*, 2015). از خاک‌پوش‌های رسی می‌توان به‌عنوان یک ماده سیمانی به‌منظور چسباندن ذرات بستر و ایجاد یک بستر مناسب برای تثبیت زیستی استفاده کرد. کانی‌های رسی خاک و ویژگی‌های فیزیکی از جمله بافت، تأثیر اساسی بر پایداری خاک‌دانه‌ها دارند. نانورس‌ها جزء نانوذرات سیلیکاتی هستند که عموماً از خاک رس مونت‌موریلونیت یا اسمکتیت تهیه می‌شوند. به‌کارگیری نانورس‌ها در تثبیت خاک نسبت به روش‌های دیگر به لحاظ فنی و صرفه اقتصادی بسیار مطلوب به‌نظر می‌رسد. رس مونت‌موریلونیت یک نانورس منحصر به‌فرد با ساختار صفحه‌ای است که دارای ضخامت یک نانومتر یا کمتر است. Abisha *et al.* (2017) اثر نانو ذرات را بر تثبیت و بهبود

پیکنومتر و چگالی ظاهری خاک به روش حجمی اندازه‌گیری شد. پس از تعیین چگالی حقیقی و ظاهری خاک، تخلخل کل خاک محاسبه شد.

روش تهیه خاک پوش‌ها

در این پژوهش سه نوع خاک پوش شامل زغال زیستی اسیدی کاه گندم، پلیمر پلی‌وینیل استات و نانورس مونت موریلونایت با نمونه شاهد (بدون هیچ تیماری) مقایسه شدند. پلیمر پلی‌وینیل استات با ترکیب شیمیایی $(C_4H_6O_2)_n$ ، چگالی یک گرم بر سانتی‌متر مکعب و محلول در آب از پژوهشگاه پتروشیمی ایران و نانورس مونت موریلونایت با ضخامت صفحات ذرات نانورس ۱/۱۸ نانومتر از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان خریداری شد. زغال زیستی مورد استفاده در این پژوهش از کاه گندم تهیه شد. مواد اولیه تهیه زغال زیستی (کاه گندم) قبل از گرم‌کافت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و سپس به منظور تسهیل فرآیند تجزیه به قطعات کوچک (کم‌تر از ۲ سانتی‌متر) خرد شد. سپس نمونه در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی تحت گاز نیتروژن (شرایط بدون اکسیژن) با نرخ افزایش ۵ درجه سلسیوس در هر دقیقه به مدت ۳ ساعت پیرولیز شد (Jingquan et al., 2014). زغال زیستی تولید شده در محفظه‌های بسته در دمای اتاق برای مراحل بعدی نگهداری شد (Mandal and Singh, 2017). سطح ویژه زغال زیستی قبل و بعد از اصلاح شیمیایی به روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم (Sears, 1956; Dume et al., 2016) اندازه‌گیری شد.

اصلاح شیمیایی زغال زیستی

نتایج پژوهش Chu et al. (2018) نشان داد که اصلاح اسیدی زغال زیستی باعث افزایش سطح ویژه و تخلخل زغال زیستی خواهد شد. به منظور اصلاح اسیدی زغال زیستی از روش Peng et al. (2017) استفاده شد. زغال زیستی در محلول ۴۲/۵ درصد اسید فسفریک با نسبت ۱:۲ (اسید:زغال زیستی) به مدت ۱۲ ساعت غوطه‌ور شد. مخلوط زغال زیستی و اسید در آن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه پیرولیز شد. پس از سرد شدن در دمای اتاق، به منظور حذف اسید فسفریک اضافی، زغال زیستی اصلاح شده با آب دیونیزه شسته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آن خشک شد.

آزمایش تونل باد

در این پژوهش جهت ارزیابی خاک پوش‌ها در کنترل فرسایش بادی از تونل باد آزمایشگاهی از نوع مدار باز استفاده شد. جریان باد در این نوع تونل، از مسیری مستقیم عبور کرده و هوا هیچ‌گونه

از مواد تثبیت کننده خاک که در تثبیت شن‌های روان استفاده شده است، یک ماده محلول در آب است که می‌تواند به غلظت‌های مختلف رقیق شود، یک محصول سازگار با محیط زیست است و هیچ‌گونه آلودگی اضافی ندارد و زیست‌تخریب‌پذیر است. حضور پلی‌وینیل استات باعث تشکیل یک پوسته الاستیک و چسبناک در سطح خاک در شرایط طبیعی می‌شود (Movahedan et al., 2012).

Song et al. (2019) اثر پلیمر پلی‌وینیل استات را بر نگهداشت آب، مقاومت برشی خاک، مقدار فرسایش آبی و جوانه‌زنی بذر بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تبخیر از سطح خاک به تدریج با افزایش غلظت پلیمر کاهش می‌یابد و خاک می‌تواند با حفظ رطوبت بیشتر رشد پوشش گیاهی را بهبود دهد. مقاومت خاک در برابر فرسایش با افزایش مقاومت برشی به طور مؤثر بهبود یافت. هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثربخشی سه خاک پوش مختلف شامل نانورس مونت موریلونایت، پلیمر پلی‌وینیل استات و زغال زیستی کاه گندم در کاهش فرسایش بادی و تثبیت خاک‌های شنی و شنی‌لومی در سه زمان (۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز) با استفاده از آزمایشات تونل باد بوده است. همچنین برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک (پایداری خاک‌دانه‌ها، مقاومت نفوذی و مقاومت برشی) و تغییرپذیری زمانی آن‌ها به منظور بررسی تاثیر تیمارها در جنبه‌های مختلف کیفیت خاک اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. فاکتورها شامل خاک پوش (زغال زیستی اسیدی کاه گندم، پلیمر پلی‌وینیل استات و نانورس مونت موریلونایت)، غلظت خاکپوش (دو سطح) و زمان (۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز) بودند. خاک مورد نیاز برای این مطالعه از جنوب شرق اهواز (منطقه بحرانی و غبارخیز استان خوزستان، کانون شماره ۴) جمع‌آوری شد. کانون ریزگرد جنوب شرق اهواز با مساحت ۱۱۲۶۳۶ هکتار، از فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر اهواز آغاز و در امتداد بزرگراه اهواز-ماهشهر در مختصات جغرافیایی 47° ، 48° تا 17° ، 49° طول شرقی و 45° ، 30° تا 15° ، 31° عرض شمالی ادامه می‌یابد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شدند. pH و هدایت الکتریکی خاک در سوسپانسیون ۲:۱ (خاک:آب) به ترتیب با استفاده از pH متر و EC سنج و درصد کربن آلی از روش والکی بلک (Walkly and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. پایداری خاک‌دانه به روش الک خشک، چگالی حقیقی خاک به روش

سینی‌ها در تونل با سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. حداکثر سرعت باد در منطقه طبق گزارشات سازمان هواشناسی استان، به‌طور میانگین ۱۹/۲ متر بر ثانیه است (Mehrabi *et al.*, 2015). برای شبیه‌سازی یک سرعت باد همگن و ثابت که بیشتر از سرعت باد منطقه مورد مطالعه است، سرعت باد توسط یک بادسنج دیجیتالی کنترل شد. مقدار فرسایش مربوط به هر نمونه با وزن کردن نمونه قبل و بعد از قرار گرفتن در تونل باد محاسبه شد و بر حسب گرم بر متر مربع در ثانیه گزارش شده است.

بررسی اثر خاک‌پوش‌ها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک

برای بررسی اثر مالچ‌های کاربردی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک، خاک‌های مورد مطالعه در ظروف پلاستیکی با ابعاد ۲۲۰ × ۱۳۰ × ۵۰ میلی‌متر ریخته شد. سپس مشابه آزمایش تونل باد، تیمارها شامل سه خاک‌پوش با دو غلظت و دو خاک با بافت (شنی و شنی‌لومی) تهیه شد و در سه زمان مختلف ۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز ویژگی‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند (شکل ۱).

برگشتی به داخل تونل ندارد. در واقع فن موجود در تونل‌های مدار باز، هوا را مستقیماً از محیط اطراف مکیده و پس از عبور از منطقه آزمایش از انتهای تونل خارج می‌سازد. همچنین به علت باز بودن قسمت‌های ورودی و خروجی، نیاز به در نظر گرفتن تمهیداتی جهت تمیز نمودن تونل نمی‌باشد.

سه خاک‌پوش با دو غلظت، دو خاک (شنی و شنی‌لومی) و سه زمان مختلف ۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز (Jien and Wang, 2013) در سه تکرار برای هر تیمار، در مجموع ۱۰۸ نمونه، برای ارزیابی فرسایش بادی مورد بررسی قرار گرفتند. سینی‌های تونل باد با ابعاد ۵۰ × ۳۰ × ۵۰ (میلی‌متر) با خاک‌های مورد مطالعه (شنی و شنی‌لومی) تا لبه پر شد. خاک‌پوش نانورس (۱۶ و ۳۲ گرم بر متر مربع) و پلیمر پلی‌وینیل استات (۸ و ۱۶ گرم بر متر مربع) روی سینی‌های تونل باد به‌صورت یکنواخت اسپری شد. خاک-پوش زغال زیستی (۶۵ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع) با خاک تا عمق ۳ سانتی‌متری مخلوط شد. سپس با اسپری آب روی سطح خاک رطوبت در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی ثابت نگهداشته شد (شکل ۱).

پس از گذشت مدت زمان مورد نظر (۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز)



شکل ۱- نمایی از دستگاه تونل باد مورد استفاده (الف)، سینی‌های حاوی خاک پس از اعمال تیمارها (ب)، ظروف پلاستیکی با ابعاد ۲۲۰ × ۱۳۰ × ۵۰ میلی‌متر حاوی خاک پس از اعمال تیمارها (ج).

اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی کارایی خاکپوش‌ها برای بهبود پیوند ذرات و تشکیل و ثبات خاکدانه‌ها، پایداری خاکدانه با استفاده از روش الک خشک تعیین شد (Kemper and Rosenau, 1986). به این منظور ۵۰ گرم خاک روی یک سری الک (به‌ترتیب از بالا به پایین ۱، ۵، ۲۵، ۱۵۰، ۱۲۵، ۹۰، ۵۳، ۰/۵ میلی‌متر) به‌صورت یکنواخت ریخته شد و در دستگاه شیکر به مدت ۲ دقیقه تکان داده شد و در پایان خاک‌دانه‌های باقی‌مانده روی هر الک توزین شد. در نهایت، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، به عنوان شاخص پایداری خاک (رابطه ۱) محاسبه شد:

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

در پایان دوره آزمایش، برای اندازه‌گیری مقاومت برشی لایه سطحی خاک از پره برشی (Eijkelkamp 14.10 POCKET) در شرایط نزدیک به اشباع استفاده شد (VANE TESTER) در شرایط نزدیک به اشباع استفاده شد (Zimbone *et al.*, 1996). پره برشی در داخل خاک تا جایی که پره‌ها کاملاً در داخل خاک قرار بگیرند وارد می‌شود، سپس در جهت عقربه‌های ساعت چرخانده شده و تا برش کامل خاک ادامه می‌یابد. حداکثر تنش وارده روی صفحه مندرج در بالای پره برشی ثبت می‌گردد. با توجه به پره مورد استفاده می‌توان مقدار مقاومت برشی را محاسبه کرد. این وسیله قادر به اندازه‌گیری تنش‌های بین ۰ تا ۲۵۰ کیلوپاسکال می‌باشد. مقاومت فروروی خاکپوش‌ها با استفاده از نفوذسنج دستی (ELE, EL29-3933) که قادر به اندازه‌گیری مقاومت فروروی از صفر تا ۶۰۰۰ کیلوپاسکال است،

که در آن X_i میانگین قطر خاکدانه‌ها روی هر الک (میلی - متر) و W_i نسبت جرم خشک خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه بر حسب گرم به جرم کل خاک (۵۰ گرم) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

اثر خاک‌پوش‌ها بر فرسایش بادی و خصوصیات خاک به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. فاکتورها شامل خاک‌پوش (زغال زیستی اسیدی کاه گندم، پلیمر پلی‌وینیل استات و نانورس مونت‌موریلونایت)، غلظت خاک‌پوش (دو سطح) و زمان (۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز) بودند. تمام داده‌ها در Microsoft Office Excel طبقه‌بندی شده و برای رسم نمودارها مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۱) و ویژگی‌های زغال زیستی تولید شده قبل و بعد از اصلاح اسیدی در جدول (۲) ارائه شده است. اصلاح اسیدی باعث کاهش pH و افزایش EC، سطح ویژه و درصد خاکستر زغال زیستی شد. کاهش pH ممکن است برای استفاده زغال زیستی در خاک‌های قلیایی مفید باشد. افزایش EC به معنی افزایش مقدار مواد مغذی محلول در آب در زغال زیستی اسیدی است (Sahin et al., 2017). رها شدن گازها و بخارات از سطح زغال زیستی اصلاح شده، به علت واکنش اسید فسفریک با گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار زغال زیستی، منجر به تشکیل منافذ ریز و افزایش سطح ویژه می‌شود (Peng et al., 2017 and Chu et al., 2018). همان طوری که ملاحظه می‌گردد اصلاح بیوچار سبب شده است سطح ویژه آن از ۴۵/۴ به ۲۲۱ متر مربع بر گرم برسد.

جدول ۲- ویژگی‌های زغال زیستی قبل و بعد از اصلاح شیمیایی

ویژگی زغال زیستی	اولیه	اصلاح شده
pH	۱۰/۶۷	۴/۴۵
EC(ds/m)	۴/۶۴	۱۵/۵۵
عملکرد (%)	۳۵	-
خاکستر	۴۳/۵	۵۹/۷۵
سطح ویژه (m ² /g)	۴۵/۴	۲۲۱

عملکرد: نسبت وزن زغال زیستی تولید شده در واحد وزن خشک ماده اولیه

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی خاک	شنی	شنی لومی
pH	۸/۳۶	۸/۳۵
EC(ds/m)	۰/۳۶۲	۱۸/۱۱۵
جرم مخصوص ظاهری (gcm ⁻³)	۱/۷۴	۱/۴۷
جرم مخصوص حقیقی (gcm ⁻³)	۲/۴	۲/۴
تخلخل (%)	۲۷	۳۹
کربن آلی (%)	۰/۰۲۹	۰/۲۰۲
مقاومت فروروی (kPa)	۱۷۷	۳۵۰
مقاومت برشی (kPa)	۳۴	۴۷
فرسایش بادی (g/m ² /s)	۷/۹	۴/۳

مقاومت فروروی در شرایط هوا خشک و مقاومت برشی در رطوبت نزدیک به اشباع اندازه‌گیری شد.

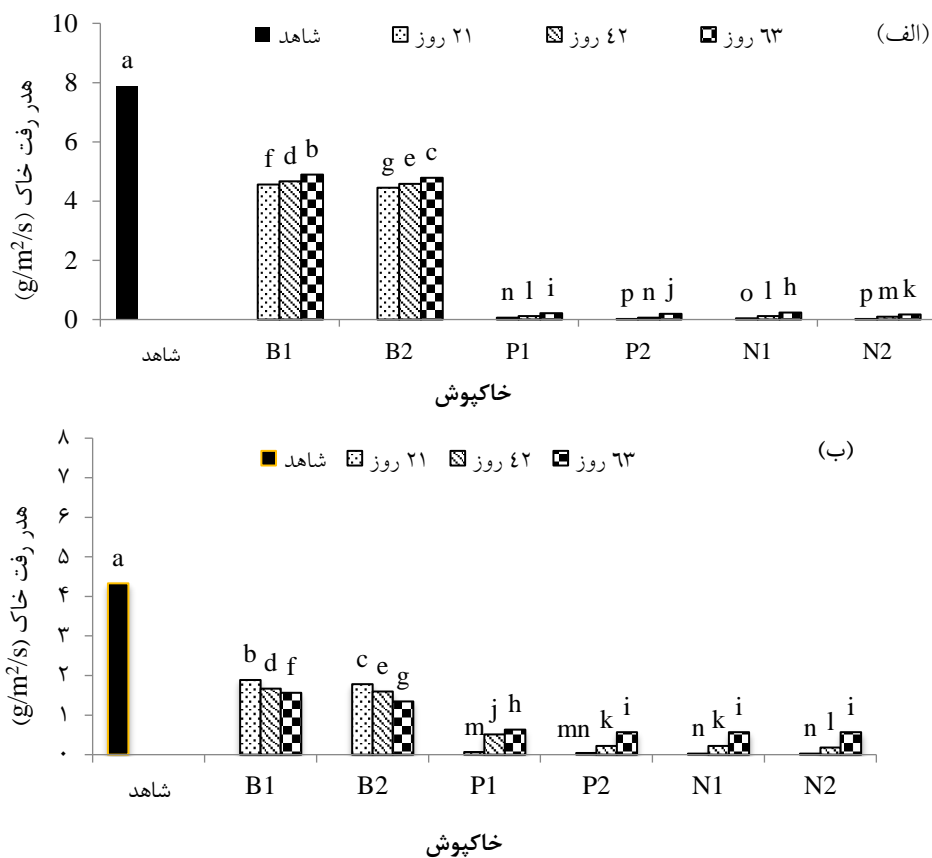
اثر خاک‌پوش‌ها بر هدررفت خاک

نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارها بر هدررفت خاک نشان داد که تأثیر زمان، خاک‌پوش و غلظت بر فرسایش بادی در سطح احتمال یک درصد در هر دو بافت شنی و شنی لومی معنی‌دار می‌باشد. همچنین اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد در هر دو بافت معنی‌دار شد. نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، خاک‌پوش و غلظت خاک‌پوش بر مقدار هدررفت خاک در شکل (۲) آمده است. در بافت شنی (شکل ۲، الف) بین سطوح مختلف خاک‌پوش‌ها در هر سه زمان تفاوت معنی‌دار وجود دارد و با افزایش غلظت خاک‌پوش هدررفت خاک کاهش یافت اما در زمان اول تاثیر سطح دوم پلیمر و نانورس با

هم اختلاف معنی‌دار نداشت. نتایج آزمون مقایسه میانگین تاثیر خاک‌پوش‌ها در کاهش هدررفت خاک در خاک شنی لومی (شکل ۲، ب) نشان می‌دهد که بین سطوح مختلف خاک‌پوش نانورس و پلیمر در زمان دوم تفاوت معنی‌دار است اما بین زمان‌های اول و سوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ در حالی که سطوح مختلف زغال زیستی در هر سه زمان با هم و با دو خاک‌پوش دیگر اختلاف معنی‌دار دارند. در خاک شنی و شنی لومی نانورس مونت موریلونایت و پلیمر پلی‌وینیل استات بیشترین تاثیر را در کاهش هدررفت خاک در مقایسه با زغال زیستی داشتند. مقدار هدررفت خاک در زمان اول در خاک شنی در خاک‌پوش‌های نانورس، پلیمر و زغال زیستی اسیدی کاه گندم در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۹۸، ۹۷ و ۴۳ درصد و در خاک شنی لومی ۹۷، ۹۵ و ۵۸ درصد

کاهش یافت. تأثیر زغال زیستی در کاهش هدررفت خاک در هر سه زمان و در هر دو سطح معنی‌دار بود. هرچند نتایج نشان می‌دهد با گذشت زمان تأثیر خاک‌پوش‌ها در کاهش هدررفت خاک روند کاهشی داشته است اما این نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که خاک‌پوش‌های زغال زیستی، پلیمر و نانورس پس از گذشت ۶۳ روز هدررفت خاک را به‌ترتیب به‌طور میانگین به مقدار ۳۷، ۹۵ و ۹۷ درصد در خاک شنی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داده‌اند. همچنین این خاک‌پوش‌ها نیز به‌ترتیب مقدار هدررفت خاک را در خاک شنی لومی به مقدار ۶۹، ۸۴ و ۸۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش دادند. بیشترین کاهش هدررفت خاک پس از گذشت ۲۱ روز مشاهده شده است که این یافته نشان‌دهنده تأثیر سریع خاک‌پوش‌های پلیمر و نانورس در کنترل فرسایش بادی است لذا ترکیب این دو خاک‌پوش با زغال زیستی می‌تواند در کوتاه‌مدت و بلندمدت فرسایش بادی را کنترل نماید. پس از خشک شدن سوسپانسیون حاوی پلیمر یک لایه نسبتاً سخت در سطح خاک ایجاد شد. لایه سطحی در خاک شنی، کاملاً همگن، نسبتاً سخت و بدون ترک ولی در خاک شنی لومی لایه تشکیل

شده حاوی ترک‌های ریز بود در نتیجه راندمان پایین‌تری در برابر فرسایش بادی داشت. در واقع زنجیره‌های پلیمری اضافه شده با ایجاد این لایه نازک در سطح خاک، مقاومت خاک را در برابر باد افزایش می‌دهند. نانورس مونت موریلونایت نیز می‌تواند به‌صورت پل بین ذرات خاک قرار گرفته و آن‌ها را به‌هم متصل کند و تولید خاک‌دانه را افزایش دهد. خاک‌پوش رس و پلیمر پلی وینیل استات قادر به تولید قوی‌ترین چسبندگی بین ذرات ریز و افزایش تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگتر هستند (Yakupoglu et al., 2015). مطالعات نشان داد که مهم‌ترین ویژگی خاک که باعث کاهش فرسایش خاک توسط باد می‌شود، پایداری خاک‌دانه و مقاومت برشی است (Mamedov et al., 2017; Xie et al., 2013). در مقایسه با این دو روش، زغال زیستی توانایی برقراری اتصال قوی بین ذرات شن را نداشت، ولی حضور مواد آلی در تیمار زغال زیستی در مقایسه با شاهد، خاک‌دانه‌سازی را افزایش داد و باعث کاهش فرسایش نسبت به خاک شاهد شد و این کاهش در خاک شنی-لومی بیشتر از شنی بود.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، خاکپوش و غلظت بر هدررفت خاک، الف: شنی و ب: شنی لومی (حروف غیرمشترک بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است). (B2 و B1: ۶۵ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع، P2 و P1: ۸ و ۱۶ گرم بر متر مربع و N2 و N1: ۱۶ و ۲۲ گرم بر متر مربع).

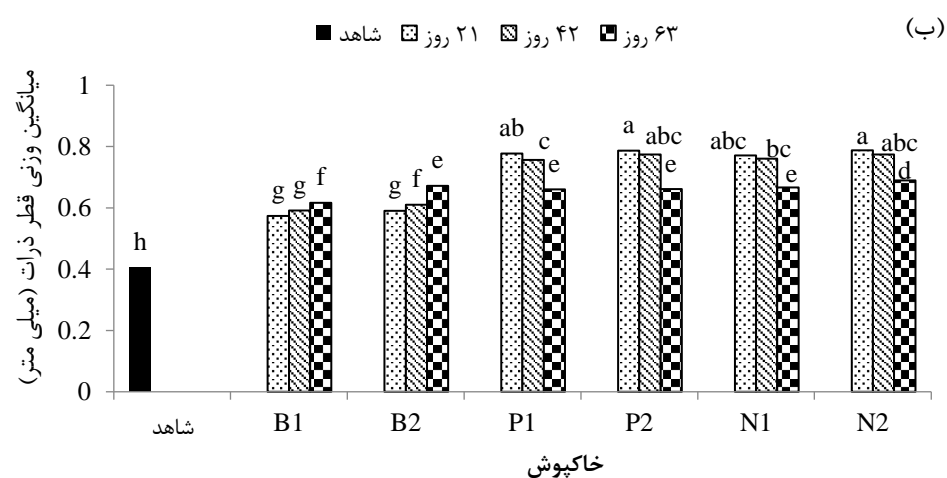
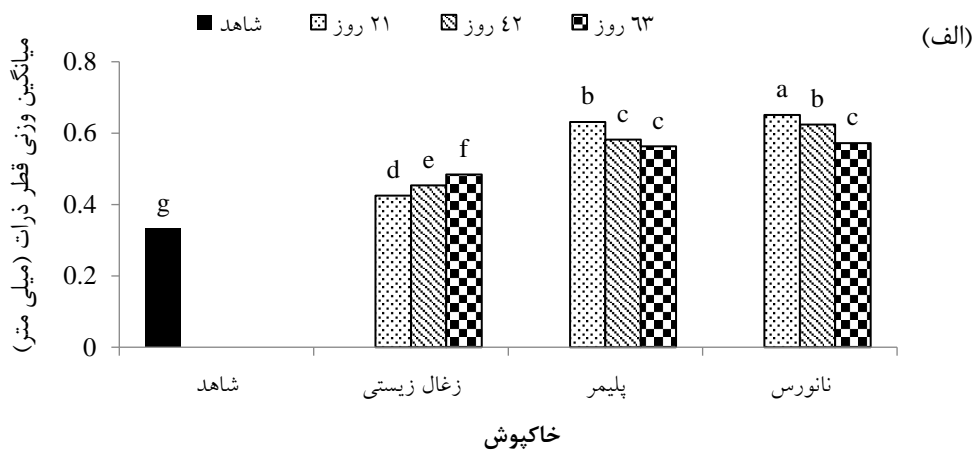
اثر خاکپوش‌ها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک

اثر خاکپوش‌ها بر پایداری خاک‌دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در بافت شنی اثر عامل‌های زمان، خاک‌پوش و غلظت در سطح یک درصد و اثر متقابل زمان و خاکپوش در سطح احتمال ۵ درصد بر میانگین وزنی قطر ذرات معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل زمان و غلظت، خاک‌پوش و غلظت و اثر متقابل سه‌گانه بر میانگین وزنی قطر ذرات معنی‌دار نشد. نتایج تجزیه واریانس در بافت شنی لومی نیز نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر سه‌گانه زمان، خاک‌پوش و غلظت در سطح احتمال یک درصد بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها می‌باشد. همچنین اثر متقابل عامل زمان و خاکپوش در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل خاکپوش و غلظت و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد بر میانگین وزنی قطر ذرات معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و خاکپوش در بافت شنی (شکل ۳. الف) نشان می‌دهد تمام خاک‌پوش‌ها در هر سه فاصله زمانی مورد مطالعه میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها را افزایش داده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد تفاوت بین خاک‌پوش نانورس در زمان اول، دوم و سوم معنی‌دار بوده و بیش‌ترین میانگین وزنی قطر ذرات در زمان اول با میانگین ۰/۶۵ مشاهده شد. در خاک-پوش پلیمر زمان اول با زمان دوم و سوم اختلاف معنی‌دار داشت اما زمان دوم و سوم از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌دار ندارند و بیش‌ترین میانگین وزنی قطر ذرات در زمان اول مشاهده شد. در مورد زغال زیستی نیز در هر سه زمان اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین در بافت شنی لومی (شکل ۳. ب) نشان می‌دهد تفاوت بین خاک‌پوش نانورس در زمان اول و دوم معنی‌دار نیست ولی با زمان سوم اختلاف معنی‌دار دارند. در خاک‌پوش پلیمر بین سه زمان در غلظت اول اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین میانگین وزنی قطر ذرات در خاک‌پوش پلیمر در زمان اول مشاهده شد اما این اختلاف با خاک‌پوش نانورس تفاوت معنی‌دار ندارد. در مورد زغال زیستی نیز در هر سه زمان اختلاف معنی‌دار مشاهده شد اما تفاوت دو غلظت معنی‌دار نبود و با گذشت زمان میانگین وزنی افزایش یافت. پس از اعمال تیمارها، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار میانگین وزنی قطر ذرات در هر دو بافت به ترتیب در تیمار زغال زیستی و تیمار نانو رس مشاهده شد. پایداری خاک‌دانه‌ها در خاک‌های اصلاح شده با زغال زیستی، پس

از ۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز در بافت شنی به ترتیب ۳۱، ۴۲ و ۴۶ درصد و در بافت شنی لومی به ترتیب ۴۵، ۵۰ و ۶۵ درصد نسبت به خاک شاهد افزایش یافت. در خاک‌های اصلاح شده با نانو رس پس از ۲۱، ۴۲ و ۶۳ روز در بافت شنی به ترتیب ۹۸، ۹۵ و ۷۴ درصد و در بافت شنی لومی ۹۴، ۹۱ و ۷۰ درصد نسبت به خاک‌های شاهد افزایش یافت. دو عامل مهم در تشکیل و پایداری خاک‌دانه وجود عوامل چسباندنده بین ذرات و زمان لازم برای تأثیر این عوامل است. افزودن نانورس و پلیمر پلی‌وینیل استات باعث اتصال ذرات و تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگتر گردید و پایداری خاک‌دانه نسبت به شاهد افزایش یافت. پلیمر می‌تواند یک پوسته را روی سطح شن ایجاد کند که باعث افزایش ثبات خاک‌دانه‌ها، کاهش تبخیر آب و بهبود توانایی خاک در برابر فرسایش بادی می‌شود (Liu et al., 2012). اضافه کردن پلیمر به خاک با افزایش واکنش‌های شیمیایی و برقراری پیوندهای یونی بین پلیمر و ذرات خاک باعث تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگتر می‌شود (Kenneth and Nwankwo, 2001).

Safari et al. (2015) پلیمر آبیونی پلی‌اکریل‌آمید را در یک آزمایش گلخانه‌ای مورد استفاده قرار دادند و نتایج این تحقیق نشان داد که این پلیمر به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میانگین وزنی قطر ذرات در خاک لومی‌رسی شد. رس مونت‌موریلونایت می‌تواند به‌صورت پل بین ذرات خاک قرار گرفته و آن‌ها را بهم متصل کند و تولید خاک‌دانه را افزایش دهد. خاک‌پوش زغال زیستی گاه گندم ارتباط کمتری با ذرات شن برقرار کرد ولی نسبت به شاهد پایداری خاک‌دانه را افزایش داد. افزایش میانگین وزنی قطر خاک‌دانه نشان‌دهنده توانایی زغال زیستی در بهبود نیروی چسبندگی بین ذرات خاک است (Zaher et al., 2005). با گذشت زمان تأثیر زغال زیستی بر پایداری و تشکیل خاک‌دانه در خاک شنی لومی به‌علت برقراری ارتباط بیشتر با ذرات خاک، بیشتر شد و مقدار فرسایش بادی با گذشت زمان به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت. Alkhasha et al. (2018) گزارش کردند که پلیمر پلی‌اکریل‌آمید و مخلوط پلیمر و بیوجار خرما به‌طور قابل توجهی درصد پایداری خاک‌دانه را در خاک شنی لومی افزایش می‌دهد. در هر دو خاک با گذشت زمان و سست شدن پیوند ذرات با نانورس و پلی‌وینیل استات از اثرات آن‌ها اندکی کاسته شد. به‌طوری که در زمان سوم، در دو تیمار نانورس و پلیمر نسبت به زمان اول، پایداری خاک‌دانه کاهش یافت.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان و خاکپوش (الف: بافت شنی) و اثرات متقابل زمان، خاکپوش و غلظت (ب: بافت شنی لومی) بر پایداری خاکدانه، (حروف غیرمشترک بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است) (B2 و B1: ۶۵ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع، P1 و P2: ۸ و ۱۶ گرم بر متر مربع و N1 و N2: ۱۶ و ۳۲ گرم بر متر مربع).

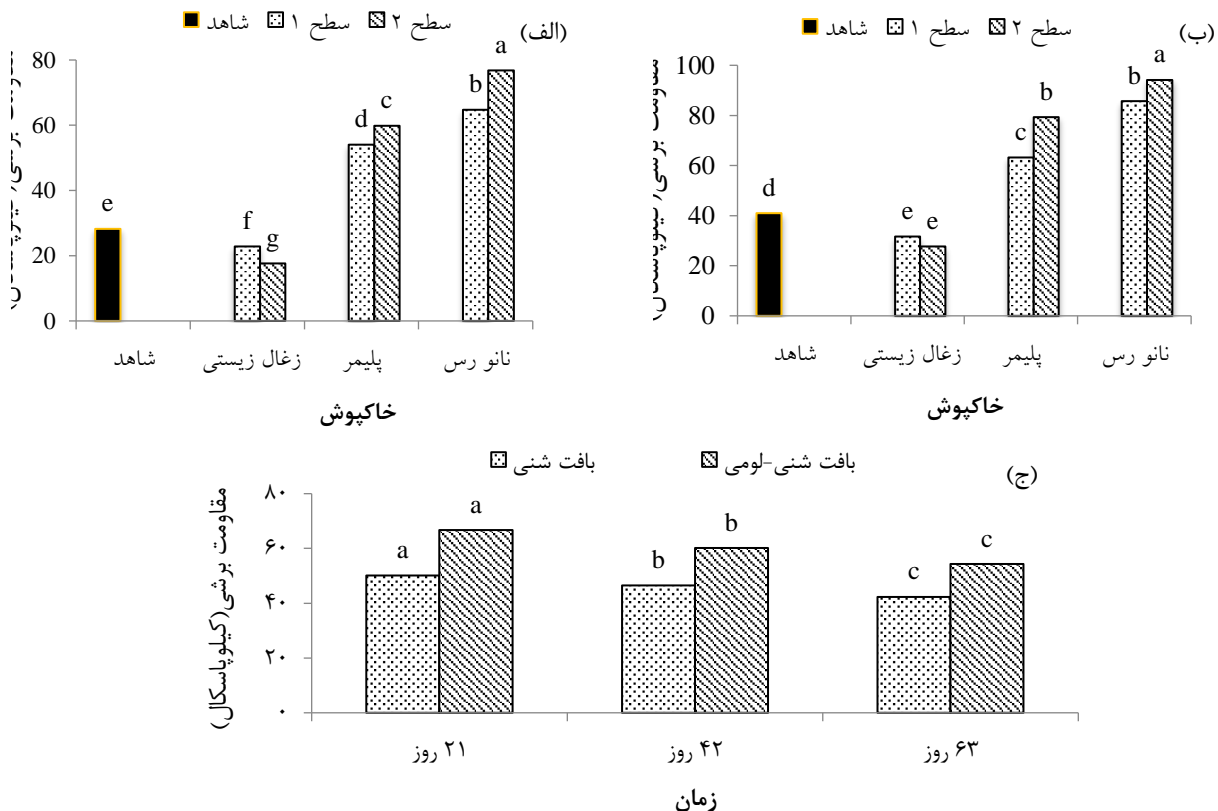
هر دو بافت مربوط به خاک‌پوش زغال زیستی بود که کاهش آن نسبت به شاهد معنی‌دار بود. مطابق نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر مقاومت فروری خاک، در بافت شنی تأثیر فاکتورهای زمان و خاک‌پوش در سطح احتمال یک درصد و اثر غلظت در سطح احتمال ۵ درصد بر مقاومت فروری خاک معنی‌دار شد. اثر متقابل زمان و خاک‌پوش و اثر متقابل خاک‌پوش و غلظت در سطح یک درصد و اثر سه‌گانه فاکتورها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اما اثر متقابل زمان و غلظت معنی‌دار نگردید. نتایج تجزیه واریانس در بافت لوم‌شنی نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار فاکتورهای زمان، خاکپوش و غلظت بر مقاومت فروری خاک در سطح احتمال یک درصد بود. اثر متقابل زمان و خاکپوش و اثر متقابل خاکپوش غلظت در سطح یک درصد و اثر متقابل زمان و غلظت در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل سه‌گانه معنی‌دار نشد. مطابق نتایج مقایسه میانگین (شکل ۵) استفاده از خاک‌پوش پلیمر و نانورس باعث افزایش معنی‌دار مقاومت فروری خاک در مقایسه با خاک‌های شاهد شده است. در خاک شنی بیش‌ترین

اثر خاک‌پوش‌ها بر مقاومت فروری و برشی خاک

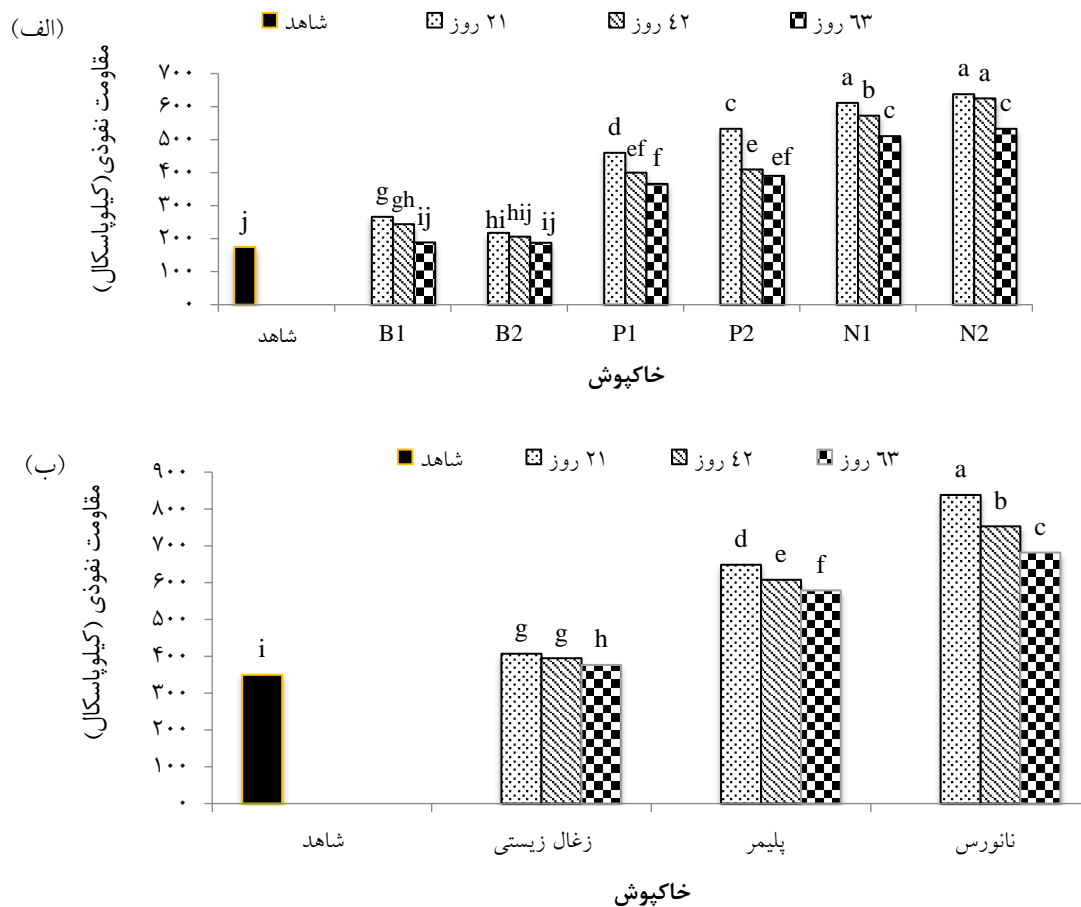
نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر مقاومت برشی و فروری خاک نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار فاکتورهای زمان، خاکپوش و غلظت بر مقاومت برشی خاک در سطح احتمال یک درصد در هر دو بافت بود. همچنین تأثیر متقابل غلظت و خاک‌پوش در سطح یک درصد در هر دو بافت معنی‌دار شد. اما اثر دوگانه زمان و خاک‌پوش، زمان و غلظت و اثر سه‌گانه عامل‌ها در هر دو بافت معنی‌دار نشد. مطابق نتایج مقایسه میانگین اثر زمان بر مقاومت برشی (شکل ۴. ج) با گذشت زمان کاهش مقاومت برشی در هر دو بافت معنی‌دار بود و بیش‌ترین مقاومت برشی در زمان اول (۲۱ روز) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت و خاک‌پوش بر مقاومت برشی خاک نشان می‌دهد که در بافت شنی (شکل ۴. الف) و شنی لومی (شکل ۴. ب) بیش‌ترین مقاومت برشی در خاک‌پوش نانورس مشاهده شد که با افزایش غلظت خاک‌پوش به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت. کم‌ترین مقدار مقاومت برشی در

افزایش مقاومت برشی شد. اما با گذشت زمان، تابش خورشید، اکسیداسیون، شستشو، و سایر عوامل طبیعی ممکن است سبب تغییر اجزای شیمیایی مواد تثبیت کننده شده و کارایی آن‌ها را اندکی کاهش دهند. در نتیجه مقاومت فروروی و برشی در خاک-های تیمار شده با نانو رس و پلیمر با گذشت زمان کاهش یافت (Gong *et al.*, 2016). افزایش زغال زیستی به خاک به علت افزایش ماده آلی و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک (Jien and Wang, 2013) می‌تواند علت کاهش مقاومت برشی و نفوذی خاک اصلاح شده با زغال زیستی نسبت به تیمارهای دیگر باشد. نتایج پژوهش Zong *et al.* (2014) نشان داد که افزودن زغال زیستی کلش گندم، چوب و لجن فاضلاب باعث کاهش چسبندگی، افزایش معنی‌دار درجه اصطکاک داخلی و در نهایت کاهش مقاومت برشی خاک شد.

مقاومت فروروی در سطح دوم خاک‌پوش نانو رس مشاهده شد و در زمان دوم اندکی کاهش یافت اما این کاهش معنی‌دار نبود. کم‌ترین مقدار مقاومت فروروی مربوط به خاک‌پوش زغال زیستی بود که بین سطوح مختلف آن در سه زمان مورد آزمایش به علت عدم برقراری اتصال قوی بین ذرات ماسه و زغال زیستی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بافت شنی لومی بیش‌ترین مقدار مقاومت فروروی در خاک‌پوش نانورس، در زمان اول و در مرتبه دوم در خاک‌پوش پلیمر مشاهده شد. مقاومت فروروی با گذشت زمان کاهش معنی‌داری داشت. با اضافه کردن پلیمر به خاک، به علت غشاء مشبک ایجاد شده توسط پلیمر و در نتیجه افزایش نیروی اتصال بین ذرات خاک، انسجام خاک افزایش می‌یابد و بهبود چسبندگی بین ذرات باعث افزایش مقاومت برشی و فروروی خاک می‌شود (Song *et al.*, 2019). رس به علت خاصیت چسبندگی بیشتر باعث ایجاد خاک‌دانه‌های پایدارتر و در نتیجه



شکل ۴- اثر متقابل غلظت و خاکپوش (الف: شنی و ب: شنی لومی) و مقایسه میانگین اثر زمان (ج) بر مقاومت برشی خاک (سطح ۱ و ۲ به ترتیب در خاکپوش نانورس: ۱۶ و ۳۲، در خاکپوش پلیمر: ۸ و ۱۶ و در خاکپوش زغال زیستی ۶۵ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع، حروف غیرمشترک بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان، خاکپوش و غلظت بر مقاومت فروروی خاک (الف: شنی) و اثرات متقابل زمان و خاکپوش بر مقاومت فروروی خاک (ب: شنی لومی) (حروف غیرمشترک بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (الف) و یک درصد (ب) است). (B1 و B2: ۶۵، P1 و P2: ۸ و ۱۶، N1 و N2: ۱۶ و ۳۲ گرم بر متر مربع).

نتیجه‌گیری

خاک‌دانه نشان نداد به همین دلیل بهترین نتیجه را از نظر کنترل فرسایش خاک در زمان‌ها مورد بررسی به‌دست نیاورد. کم‌ترین هدررفت خاک پس از گذشت ۲۰ روز مشاهده شد که این یافته نشان دهنده تاثیر سریع خاکپوش‌های پلیمر و نانورس در کنترل فرسایش بادی است. نتایج نانو رس و پلیمر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، بنابراین با توجه به غیراقتصادی بودن پلیمرها و از دست دادن کارایی در طول زمان که متاثر از عوامل محیطی است با به‌کارگیری مواد طبیعی مانند نانو رس و زغال زیستی می‌توان با بهبود ویژگی‌های خاک، مقدار هدررفت خاک را کاهش داد. با در نظر گرفتن مجموع جوانب مورد بررسی به نظر می‌رسد خاک‌پوش نانو رس در کوتاه مدت بهترین خاک‌پوش برای کنترل فرسایش بادی است. با توجه به اثرات طولانی مدت زغال زیستی در خاک، ترکیب نانو رس با زغال زیستی احتمالاً می‌تواند در کوتاه‌مدت و بلندمدت فرسایش بادی را کنترل نماید. به‌منظور بهینه نمودن شرایط اجرایی، آزمایش‌های بیشتری باید در مقیاس صحرایی انجام شود.

به‌طور کلی بر اساس نتایج این پژوهش خاک‌پوش نانورس و پلیمر، بیش‌ترین پایداری خاکدانه، مقاومت فروروی و مقاومت برشی و کم‌ترین مقدار فرسایش خاک را در هر دو بافت نسبت به زغال زیستی نشان دادند. مکانیسم کنترل فرسایش بادی توسط پلیمر و نانورس به‌صورت افزایش پایداری خاک‌دانه در حالت خشک و اتصال خاک-دانه‌های خاک سطحی از طریق تشکیل یک لایه سطحی مقاوم در برابر نیروی باد است. ذرات منفرد به دلیل اتصال به یکدیگر و تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر در برابر فرسایش بادی مقاوم هستند. رس مونت‌موریلونایت می‌تواند به‌صورت پل بین ذرات خاک قرار گرفته و آن‌ها را به‌هم متصل کند و تولید خاک‌دانه را افزایش دهد. افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات سبب افزایش مقاومت ذرات در برابر نیروی باد و در نتیجه کاهش فرسایش بادی خواهد شد. خاک‌پوش زغال زیستی به‌علت عدم برقراری اتصال قوی بین ذرات خاک مخصوصاً در خاک شنی (احتمالاً به‌علت کوتاه بودن زمان آزمایش) نسبت به دو خاک‌پوش دیگر افزایش قابل ملاحظه‌ای در پایداری

REFERENCES

- Abisha, M.R., Anushia, S., Jenitha Singh, J., Dynisha, S. and Lavanya, S.A. (2017). Stabilization of weak clay soil using nanoclay. *International Journal Ijariie*, 3(5), 1476-1482.
- Alkhasha, A., Al-Omran, A. and Aly, A. (2018). Effects of Biochar and Synthetic Polymer on the Hydro-Physical Properties of Sandy Soils. *Sustainability*, 10(12), 4642.
- Ayeldeen, M., Negm, A., El Sawwaf, M. and Gädda, T. (2016). Laboratory study of using biopolymer to reduce wind erosion. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12(3), 228-240.
- Brodowski, S., Amelung, W., Haumaier, L. and Zech, W. (2007). Black carbon contribution to stable humus in German arable soils. *Geoderma*, 139, 220-228.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, Meszaros, L. I., Downie, A. and Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45, 629-634.
- Chu, G., Zhao, J., Huang, Y., Zhou, D., Liu, Y., Wu, M., Peng, H., Zhao, Q., Pan, B. and E.W. Steinberg, C. (2018). Phosphoric acid pretreatment enhances the specific surface areas of biochars by generation of micropores. *Environmental Pollution*, 240:1-9.
- Dargahian, F., Lotfinasab Asl, S., Khosroshahi, M. and Gohardoost, A. (2017) Determining the share of internal and external resources of dust in Khuzestan province. *Journal of Iran Nature*, 2(5), 36-41. (In Farsi).
- Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. (2009). *Physical properties of biochar*. (Pp. 13-32). In J. Lehmann and S. Joseph (Ed.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan: London, UK.
- Dume, B., Mosissa, T. and Nebiyu, A. (2016). Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10(3): 77-85.
- Gong, W., Zang, Y., Liu, B., Chen, H., Wu, F., Huang, R. and Wang, Sh. (2016). Effect of using polymeric materials in ecological sand-fixing of Kerqin Sandy Land of China. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(43): 1-7.
- Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestian, M. and Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil properties in two contrasting soils. *An Alfisol and an Andisol. Geoderma*, 209-210: 188-197.
- Jingquan, S., Fei, L., Zhongqi, L., Lingyan, Zh. and Zhengguo, S. (2014). Biochars derived from various crop straws: Characterization and Cd (II) removal potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 106, 226-231.
- Jien, Sh. H. and Wang, C. Sh. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233.
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, PC. and Boivin, P. (2017). Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*. 302, 14-21.
- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z. and Cerdà A. (2018). The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science Total Environment*. 610, 997-1009.
- Kenneth, N. and Nwankwo, P.E. (2001). Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control. Wisconsin Department of Transportation. Report No. WI-06-98.28p.
- Kemper, WD. and Rosenau, RC. (1986). Aggregate stability and size distribution. In Klute A, (Ed.), (Pp. 425-442). *Methods of Soil Analysis*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Khalid, N., Mukri, M., Kamarudin, F., Abdul Ghani, A. H., Fadzil Arshad, M., Sidek, N., Ahmad Jalani, A.Z. and Bilong B. (2015). Effect of Nanoclay in Soft Soil Stabilization. *Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference 2014*, Springer, Singapore (pp.905-914)
- Liu, J., Shi, B., Lu, Y., Jiang, H., Huang, H., Wang, G. and Kamai, T. (2012). Effectiveness of a new organic polymer sand-fixing agent on sand fixation. *Environment Earth Science*, 65, 589-595.
- Liu, L., Zhang, Z., Zhang, K., Liu, H., and Fu, S. (2018). Magnetic susceptibility characteristics of surface soils in the Xilingele grassland and their implication for soil redistribution in wind-dominated landscapes: A preliminary study. *Catena*, 163, 33-41.
- Mandal, A. and Singh, N. (2017). Optimization of atrazine and imidacloprid removal from water using biochars: Designing single or multi-staged batch adsorption systems. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(3), 637-645.
- Mamedov, AI., Huang, Ch., Aliev, FA. and Levy, G.J. (2017). Aggregate stability and water retention near saturation characteristics as affected by soil texture, aggregate size and polyacrylamide application. *Land Degradation and Development*, 28(2), 543-552.
- Mehrabi, sh., Soltani, S. and Jafari, R. (2015). Investigation of the Relationship between Climate Parameters and Dust phenomenon (Case Study: Khuzestan Province). *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Hydrology and Soil Science*, 19(71), 69-80.
- Movahedan, M., Abbasi, N., and Keramati, M. (2012). Wind erosion control of soils using polymeric materials. *Eurasian Journal of soil science*, 2, 81-86.
- Namdar Khojasteh, D., Bahrami, H. A., Kianirad, M. and Sprigg, W. (2017). Using Bio-mulch for Dust Stabilization (Case Study: Semnan Province, Iran). *Nature Environment and Pollution*

- Technology*, 16(4), 1313-1320.
- Peng, H.B., Gao, P., Chu, G., Pan, B., Peng, J.H. and Xing, B.S. (2017). Enhanced adsorption of Cu (II) and Cd (II) by phosphoric acid-modified biochars. *Environment Pollution*, 229, 846-853.
- Pradhan, G. and John, D. (2009). *Erosion wear behaviour of bio-waste reinforced polymer composites*. B.Sc. Thesis, National Institute of Technology Rourkela, India, 53p.
- Safari, N., Aliasgharzad, N. and Asghari, S. (2015). The effects of polyacrylamide on the parameters of physical quality in a clay loam soil selected from semiarid region. *Journal Soil Environment*, 1, 10-17.
- Sahin, O., Taskin, M.B., Kaya, E.C., Atakol, O., Emir, E., Inal, A. and Gunes, A. (2017). Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3), 447-456.
- Sears, G.W. 1956. Determination of Specific Surface Area of Colloidal Silica by Titration with Sodium Hydroxide. *Analytical Chemistry*. 28(12):1981-1983.
- Strong, CL., Leys, JF., Raupach, MR., Bullard, JE., Aubault, HA., Butler, HJ. and McTainsh, GH. (2016). Development and testing of a micro wind tunnel for on-site wind erosion simulations. *Environmental Fluid Mechanics*, 16(5), 1065-1083.
- Song, Z., Liu, J., Bai, Y., Wei, J., Li, D., Wang, Q., Chen, Zh., Kanungo, D. P. and Qian, W. (2019). Laboratory and Field Experiments on the Effect of Vinyl Acetate Polymer-Reinforced Soil. *Applied Sciences*. 9(1), 208.
- Wang, C., Walter, M. and Parlange, J-Y. (2013). Modeling simple experiments of biochar erosion from soil. *Journal of Hydrology*, 499(30), 140-145.
- Walkly, A. and Black, IA. (1934). An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society of America Journal*, 37, 29-38.
- Xie, S., Qu, J., Zu, R., Zhang, K., Han, Q. and Niu, Q. (2013). Effect of sandy sediments produced by the mechanical control of sand deposition on the thermal regime of underlying permafrost along the Qinghai-Tibet Railway. *Land Degradation and Development*, 24(5), 453-462.
- Yakupoglu, T., Oztas, T., Kiray, F. and Demirkol, B. (2015). Effect of Some Polymers on Soil-water Losses and Sediment Size depending on Initial Aggregate Size under Sequential Simulated Rainfall. *Procedia Environmental Sciences*, 29-21.
- Zimbone, S.M., Vickers, A., Morgan, R.P.C. and Vella, P. (1996). Field investigation of different techniques for measuring surface soil shear strength. *Soil Technology*, 9, 101-111.
- Zhang, J., Yang, M., Deng, X., Liu, Z., Zhang, F. and Zhou, W. (2018). Beryllium-7 measurements of wind erosion on sloping fields in the wind-water erosion crisscross region on the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, 615, 240-252.
- Zaher, H., Caron, J. and Ouaki, B. (2005). Modeling aggregate internal pressure evolution following immersion to quantify mechanisms of structural stability. *Soil Science Society of America journal*. 69 (1), 1-12.
- Zong, Y., Chen, D. and Lu, S. (2014). Impact of biochar on swell-shrinkage behavior, mechanical strength and surface cracking of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(6), 920-926.