

بررسی اثر کاربرد خاک پوش‌های بیوجار، رس بنتونیت و پلیمر پلی‌وینیل استات بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی رسوبات بادرفتی

شمس اله ایوبی^{۱*}، زانیار فیضی^۲، محمدرضا مصدقی^۳ و علی اصغر بسالت پور^۴

۱- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>در پژوهش حاضر تأثیر خاک پوش‌های رس بنتونیت، پلی‌وینیل استات و بیوجار خرما بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی رسوبات بادرفتی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه تیمارهای رس بنتونیت، پلی‌وینیل استات و بیوجار خرما، به ترتیب ۲۰، ۷ و ۲۰ گرم از تیمارهای ذکر شده با یک لیتر آب مخلوط شد. هر یک از تیمارهای تهیه شده بر روی سه سینی پر شده از ماسه بادی با سطحی برابر یک متر مربع پاشیده شدند. پس از بررسی نمونه‌ها در زمان‌های ۱، ۲، ۴، ۱۰ و ۲۰ هفته و بعد از اعمال تیمارها، برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی رسوبات بادی مورد بررسی قرار گرفت. خاک پوش‌های پلی‌وینیل استات و رس بنتونیت تأثیر معنی‌دار مثبتی بر شاخص پایداری خاکدانه‌ها و مقاومت برشی نشان دادند و بیوجار رفتار ضعیف‌تری نمایان ساختند. در مجموع، رس بنتونیت و در مرتبه بعدی پلیمر پلی‌وینیل استات با ایجاد شرایط مناسب فیزیکی می‌توانند به عنوان خاک پوش مورد استفاده قرار گیرند؛ هرچند استفاده کاربردی از آن‌ها نیاز به پژوهش‌های پیش‌تری دارد.</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۰۷</p> <p>کلمات کلیدی: رسوبات بادی، پلیمر، ویژگی‌های فیزیکی، فرسایش بادی، مقاومت برشی</p>
	<p>* عهده دار مکاتبات Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir</p>

مقدمه

روند روزافزون تخریب منابع طبیعی در بسیاری از نقاط جهان، تهدیدی جدی برای بشریت محسوب می شود. فرسایش بادی به عنوان یکی از مظاهر این تخریب، کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته را تحت تأثیر قرار داده است (۲۷). در واقع در قرن حاضر، فرسایش بادی یکی از مهم ترین چالش های موجود در راستای دستیابی به توسعه پایدار و مدیریت بهینه زمین های کشاورزی است که در نتیجه عوامل اقلیمی و انسانی به وجود آمده و به عنوان یکی از مهم ترین چالش های محیط زیست جامعه جهانی شناخته می شود (۱). فرسایش بادی به طور جدی منابع خاک و محیط زیست را تهدید می کند و در اراضی کشاورزی به عنوان یک معضل شناخته شده است (۲۲).

از آنجا که شن های روان مزارع، نهرها، قنات ها، خطوط ارتباطی، روستاها و شهرها را تهدید می کنند، بنابراین تثبیت و جلوگیری از پیشرفت آن ها ضروری است (۲۴). روش های تثبیت شن های روان، شامل عملیات مکانیکی، شیمیایی و زیستی و از جمله استفاده از خاک پوش است. خاک پوش، به مواد طبیعی یا مصنوعی گفته می شود که بتواند پوشش محافظی به صورت یک لایه مجزا و گسترده روی زمین ایجاد نماید و سطح رویی خاک را از گزند عوامل مختلف از جمله: باد، باران و... مصون دارد (۲۴). در این روش مواد شیمیایی، آب، نفت، و یا سایر مواد شیمیایی بر روی شن ها پاشیده شده و به این ترتیب از حرکت و فرسایش آن ها جلوگیری می شود (۲۴).

در سال های اخیر استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است. یکی از ویژگی های بارز پلیمرها این است که باعث اتصال ذرات به یکدیگر می شوند و خاکدانه های درشت تری را ایجاد می نمایند که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه ها می گردند (۲۰). یکی از خاک پوش های از نوع کاه و

کلشی، بیوچار است که در سال های اخیر کاربرد زیادی در کشاورزی پیدا کرده است. شکل پایدار زغال تولید شده از گرمادادن مواد طبیعی آلی تحت دمای زیاد و اکسیژن کم و یا بدون اکسیژن (پیرولیز) را بیوچار یا زغال زیستی گویند (۴). بیوچار دارای یک ساختمان منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی است که موجب افزایش باروری خاک و عملکرد محصولات به ویژه در خاک های تخریب یافته می شود (۳۲). یکی از شناخته شده ترین خاک پوش های رسی، رس بنتونیت است که کاربردهای زیادی در بخش های مختلف دارد. واژه بنتونیت برای اولین بار در سال ۱۸۹۰ برای رس های یافت شده در فورت بنتون واقع در ایالت وایومینگ آمریکا به کار برده شد.

فرح پور و همکاران (۱۳۸۴) تأثیر پلیمر جاذب رطوبت PR3005A بر برخی ویژگی های فیزیکی، مانند نگهداری آب، تخلخل و هدایت هیدرولیکی دو نوع خاک با بافت های لومی و لوم شنی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که ماده مورد نظر می تواند میزان نگهداری رطوبت را در خاک های درشت بافت افزایش دهد و مشکل نفوذپذیری خاک های ریزبافت را برطرف نماید و به طور کلی با بهبود شرایط فیزیکی خاک مانع از تنش های رطوبتی شود و در نهایت، باعث افزایش موفقیت برنامه های آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک گردد (۱۱).

پژوهش ها نشان داده است که افزودن خاک پوش نانورس به خاک، میزان مقاومت فروسنجی، خاصیت چسبندگی و تراکم پذیری خاک را افزایش می دهد؛ به گونه ای که با افزودن یک درصد وزنی ماده ی نانورس به خاک درصد تغییرات مقاومت فشاری برابر ۱۴/۱۳ خواهد بود؛ بنابراین استحکام خاک از حالت سخت به حالت بسیار سخت رسید (۵). حضیری و زارع ارنانی (۲۰۱۳) از خاک پوش های طبیعی با ترکیب رس و آهک به عنوان تثبیت کننده ماسه های روان استفاده نموده و تأثیر

با توجه به کاربرد خاکپوش‌ها در پژوهش‌های مختلف به عنوان کنترل‌کننده فرسایش بادی، لازم است تاثیر فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بر سطح رسوبات بادی بررسی شود تا از نظر مکانیزمی تاثیر فرساینده‌گی باد و همچنین احتمال امکان بروز رواناب و افزایش بروز سیل در سطح آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور این پژوهش با هدف بررسی تاثیر سه خاکپوش بیوچار، پلی‌وینیل استات و بنتونیت بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی رسوبات بادی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

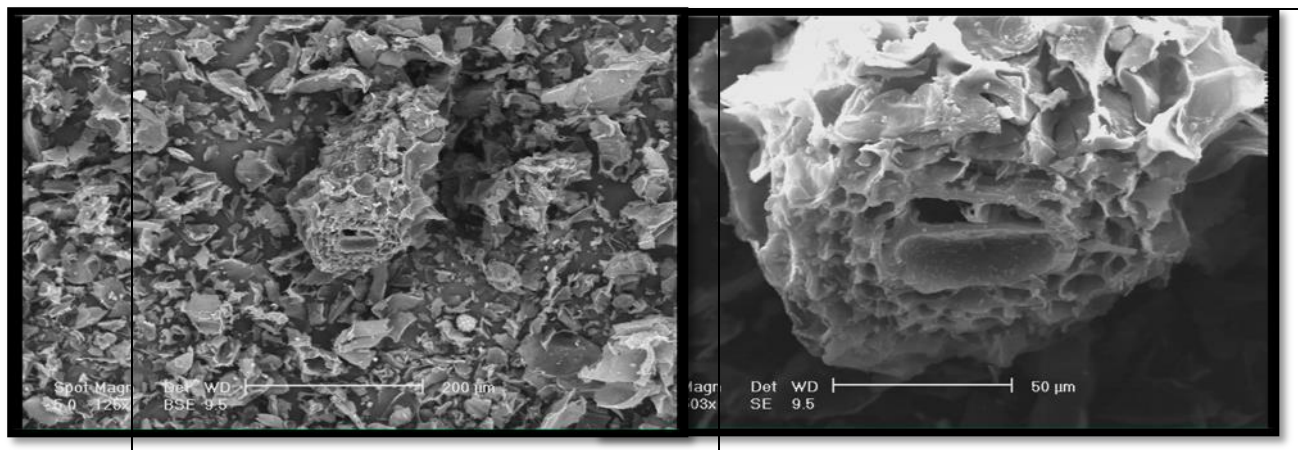
تهیه و آماده‌سازی تیمارها

ماسه بادی مورد نیاز برای انجام این پژوهش از شهرستان بادرود با عرض شمالی ($33^{\circ} 42' 50.8''$) و طول شرقی ($52^{\circ} 01' 23.2''$) واقع در استان اصفهان نمونه‌برداری شد و حدود یک تن ماسه بادی به آزمایشگاه منتقل گردید. تیمارهای انتخابی در این پژوهش شامل رس بنتونیت، پلی‌وینیل استات، بیوچار خرما و شاهد بود. برای تهیه بیوچار خرما در گام نخست بقایای درخت خرما شامل تنه، شاخ و برگ و لیف درخت خرما از منطقه خور و بیابانک واقع در ۳۵۰ کیلومتری شهر اصفهان جمع‌آوری شد. سپس قطعات بقایای خرما در سینی‌های مخصوص دستگاه پیرولیز ریخته شد و درون دستگاه پیرولیز در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت تحت شرایط تزریق گاز ازت قرار گرفت و بیوچار به مقدار لازم برای انجام این پژوهش تهیه گردید. به منظور بررسی مورفولوژی ذرات بیوچار از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، استفاده شد که تعدادی از تصاویر مربوط به آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

مثبت افزایش نسبت رس در افزایش شاخص مقاومت فشاری مشاهده کردند (۱۷).

بریان (۱۹۶۸) با بررسی شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک در برابر آب و باد، بهترین شاخص را پایداری خاکدانه‌ها برشمرد (۸). پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد حاکی از آن است که فرآیند فرسایش‌پذیری خاک، کاملاً تحت تاثیر توزیع اندازه خاکدانه‌های خشک قرار دارد (۲۴). در واقع خاکدانه‌سازی فرآیندی وابسته به مکان و زمان و متأثر از کاربری و مدیریت خاک است. اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تهویه، مقاومت خاک، فرسایش و توانایی خاک برای انتقال آب، املاح، گازها و گرما اثر قابل توجهی دارد. بنابراین پایداری خاکدانه‌ها به عنوان شاخص کلیدی برای ارزیابی ساختمان، کیفیت و سلامت خاک در نظر گرفته می‌شود (۱۶).

بعد فرکتالی، ابزار مناسبی برای برآورد پایداری خاکدانه‌ها است و سنجش ترکیبی از بی‌نظمی و خردشوندگی، در امتداد تمام مقیاس‌های مکانی در بردارنده یک جسم، ارائه می‌دهد (۱۴). دلیل اصلی استفاده از شاخص فرکتالی، ثابت مقیاس‌نبودن احتمال شکست خاکدانه‌هاست و ایده اصلی روش فرکتالی، بیان مقیاس‌گذاری بین اندازه یک ذره و تعداد آن ذره است که توان تابع نمایی این رابطه می‌تواند به عنوان متغیر ساختمانی که به سایر ویژگی‌های خاک نیز مربوط است، استفاده شود (۱۰). کمی‌کردن ساختمان خاک بر مبنای نظریه فرکتال، یکی از جنبه‌های مهم ارزیابی تاثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست است (۳۳). احمدی و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه رسیدند که بعد فرکتالی خردشوندگی (D_n) و جرمی همبستگی مثبت و معنی‌داری با عامل فرسایش‌پذیری، فرسایش پاشمائی و فرسایش بین‌شیاری دارد؛ به گونه‌ای که بیان داشتند پیش‌بینی فرسایش خاک با استفاده از ابعاد فرکتالی می‌تواند قابل اعتمادتر باشد (۲).



شکل (۱) تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از ساختار بیوچار درخت خرما در مقیاس های مختلف
 Figure (1) Scanning electron micrographs of structure of palm biochar in various scales



شکل (۲) شمایی از طرز تهیه و اعمال تیمارها: الف) بقایای خرما، ب) سینی های حاوی بیوچار، ج) سینی های حاوی رس و پلی وینیل استات
 (د) سینی های حاوی پلی وینیل استات

Figure (2) Illustration of the preparation and application of treatments: a) palm residues, b) trays containing biochar, c) trays containing bentonite and d) Trays containing polyvinyl acetate

آن در یک لیتر آب حل گردید و در مورد تیمار بیوچار خرما، مقدار ۲۰ گرم از آن در یک لیتر آب مخلوط شد. برای بررسی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی تیمارهای فرسایش بادی، ظروف پلاستیکی با ابعاد ۱۳×۱۰×۵ سانتی متر تهیه شد و تالبه بالایی آن توسط ماسه بادی پر

پلی وینیل استات و رس بنتونیت نیز تهیه و برای اعمال تیمارهای آزمایش، هر یک از آنها با نسبت معینی با آب مخلوط شدند. بدین صورت که برای اعمال تیمار رس بنتونیت مقدار ۲۰ گرم از آن در یک لیتر آب مخلوط شد. برای تهیه تیمار پلی وینیل استات ۷ گرم از

شدن، با رزین اپوکسی اشباع شده و پس از سخت شدن، توسط دستگاه برش مقطع نازک، برش داده شدند و سطح آن‌ها با پودرهای نرم کراندوم تا حد زیادی صیقل داده شد و نمونه‌های نازک شده روی اسلایدهای شیشه-ای چسبانده شدند. پس از آن دوباره نمونه‌ها با پودرهای کراندوم زیر در ابتدا نازک شد و سپس تا رسیدن به ضخامت ۳۰ میکرونی با پودرهای نرم ساییده و صیقل داده شدند. پس از انجام مراحل آماده‌سازی، به منظور بررسی و تهیه عکس از مقاطع نازک، از میکروسکوپ پلاریزان به روش استوپز استفاده شد (۲۵).

محاسبه بُعد فرکتال

بُعد فرکتال، می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک، فرسایش، فرآیندهای هیدرولوژیک و بیان کمی ساختمان خاک مورد استفاده قرار گیرد که در این جا، خاکدانه‌ها جسمی شبه-فرکتالی در نظر گرفته می‌شوند. در این پژوهش از پارامترهای فرکتالی مدل جرمی یانگ و همکاران (۲۰۰۶) برای محاسبه بُعد فرکتال خاکدانه‌ها استفاده شد (۳۳):

$$\frac{M(r < R_i)}{M_T} = \left(\frac{R_i}{R_{max}}\right)^{3-D_m} \quad (2)$$

که در آن $M(r < R_i)$ جرم تجمعی خاکدانه‌ها از کوچک‌ترین کلاس تا کلاس R_i ، M_T جرم کل خاکدانه‌ها، R_i قطر ذرات (mm) در کلاس R_i ، R_{max} بزرگ‌ترین قطر خاکدانه‌ها در بزرگ‌ترین کلاس، D_m بعد فرکتالی ذرات است. با لگاریتم‌گیری از دو طرف رابطه ۲، رابطه خطی زیر حاصل می‌شود:

$$\text{Log} \frac{M(r < R_i)}{M_T} = 3 - D_m \log \left(\frac{R_i}{R_{max}}\right) \quad (3)$$

بعد فرکتال از شیب این خط استخراج می‌شود.

اندازه‌گیری مقاومت برشی و هدایت هیدرولیکی اشباع

برای اندازه‌گیری مقاومت برشی (چسبندگی) لایه روین خاک، از پره برشی در شرایط خشک استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که پره برشی در جهت

گردید. در این بخش از پژوهش برای هر تیمار ۳ تکرار و ۵ زمان مختلف (۱، ۲، ۴، ۱۰ و ۲۰ هفته) در نظر گرفته شد که در مجموع ۶۰ نمونه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های تهیه‌شده، پس از گذشت ۱، ۲، ۴، ۱۰ و ۲۰ هفته از تهیه‌ی آن‌ها برای انجام دادن آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی مورد استفاده قرار گرفتند.

اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

به منظور ارزیابی کارآیی خاک‌پوش‌های مورد مطالعه در اتصال ذرات و تشکیل و پایداری ساختار خاکدانه‌ها، پایداری خاکدانه‌های تشکیل شده به روش الک خشک، اندازه‌گیری شدند. برای این منظور در انتهای هر زمان آزمایش، ابتدا نمونه‌ها از الک ۴ میلی-متری عبور داده شد و سپس نمونه‌ها توسط دستگاه الک لرزان از سری الک‌هایی به قطر ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ میلی‌متری عبور داده شدند. در این پژوهش زمان تکان دادن الک‌ها برای هر نمونه خاک ۲ دقیقه با سرعت دورانی افقی ۵۰ دور در دقیقه در نظر گرفته شد. در نهایت، پس از جداسازی ذرات شن، شاخص پایداری خاکدانه‌ها، یعنی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از رابطه زیر محاسبه شد (۱۸):

(۱)

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \bar{X}_i$$

که در این رابطه \bar{X} میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی الک، w_i نسبت وزن خاکدانه‌ها روی هر الک به وزن کل می‌باشند.

بررسی تشکیل خاکدانه

به منظور بررسی تشکیل خاکدانه، قسمتی از سه نمونه‌هایی که پیش از این مالچ‌پاشی شده بودند، انتخاب و در زیر میکروسکوپ بیناکولار قرار داده شدند و سپس از آن‌ها عکس برداری گردید. هم‌چنین به منظور بررسی خاکدانه‌های تشکیل شده در اثر افزودن خاک‌پوش‌های مورد مطالعه، بررسی‌های میکرومورفولوژیک انجام شد. برای این منظور، تعدادی خاکدانه درشت از ظروف نمونه‌برداری خارج و برای هوا-خشک شدن در معرض هوای آزاد قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از هوا-خشک-

پیوند بین ذرات خاک، موجب افزایش مقاومت ذرات در برابر فرسایش شود (۲۰).

بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها در زمان‌های مختلف دیده شد (شکل ۳)؛ به طوری که کاربرد تیمارهای منتخب سبب افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌های تشکیل شده، در زمان‌های مختلف در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در بین تیمارهای انتخابی، تأثیر تیمار رس بنتونیت بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها بیش‌تر از سایر تیمارهای آزمایش بود؛ به گونه‌ای که پایداری خاکدانه‌ها را نسبت به شاهد در هفته‌های اول، دوم، چهارم، دهم و بیستم، به ترتیب ۴۵/۰۹، ۴۲/۴۹، ۴۰/۵۵، ۳۸/۴۲ و ۳۴/۲۹ درصد افزایش داد. دو عامل اساسی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها نقش دارد. این دو عامل، وجود عوامل چسباننده ذرات به یکدیگر و زمان لازم برای تأثیر عوامل یادشده است. هرچه میزان فعالیت دو عامل مذکور محدودتر باشد و یا اعمالی سبب کاهش آن‌ها شود، خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک نیز، کاهش می‌یابد. با توجه به عدم چسبندگی بین ذرات و نبود خاکدانه به مفهوم عام در حالت طبیعی، افزودن خاک پوش‌های رس بنتونیت و پلی‌وینیل استات باعث چسبندگی ذرات ریز و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر می‌شود (۲۸). در مقایسه با این دو تیمار، خاک پوش بیوجار خرما دارای قدرت پیوندی قوی بین ذرات ماسه بادی نبود، ولی به نوبه‌ی خود در استحکام خاکدانه‌ها و جلوگیری از تخریب آن‌ها موثر بود. مولکول‌های پلیمر پلی‌وینیل استات، مانند یک پل، بین ذرات خاک قرار می‌گیرند و پیوندهایی در بین آن‌ها ایجاد می‌کنند (۲۸). به نظر می‌رسد هرچند پلی‌وینیل استات در مراحل اولیه موفق‌تر عمل می‌کند، ولی با گذشت زمان و سست شدن پیوندهای آن با ذرات خاک، از اثرات آن کاسته شده اما رس بنتونیت هم‌چنان نیروهای خود را حفظ می‌نماید.

عقربه‌های ساعت چرخانده شد و تا برش (گسیختگی) خاک، ادامه یافت که این کار حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه طول می‌کشد. حداکثر قرائت و تنش برشی وارده روی صفحه مدرج در بالای پره برشی ثبت می‌شود. این وسیله قادر به اندازه‌گیری مقاومت برشی (چسبندگی) در دامنه ۰ تا ۱۰۰ کیلوپاسکال است (۷). به منظور مطالعه اثر خاک-پوش‌های رس بنتونیت، پلی‌وینیل استات و بیوجار خرما بر هدایت هیدرولیکی اشباع نمونه‌های خاک در زمان‌های ۱، ۱۰ و ۲۰ هفته پس از اعمال تیمارها، از روش بار ثابت استفاده شد (۲۳).

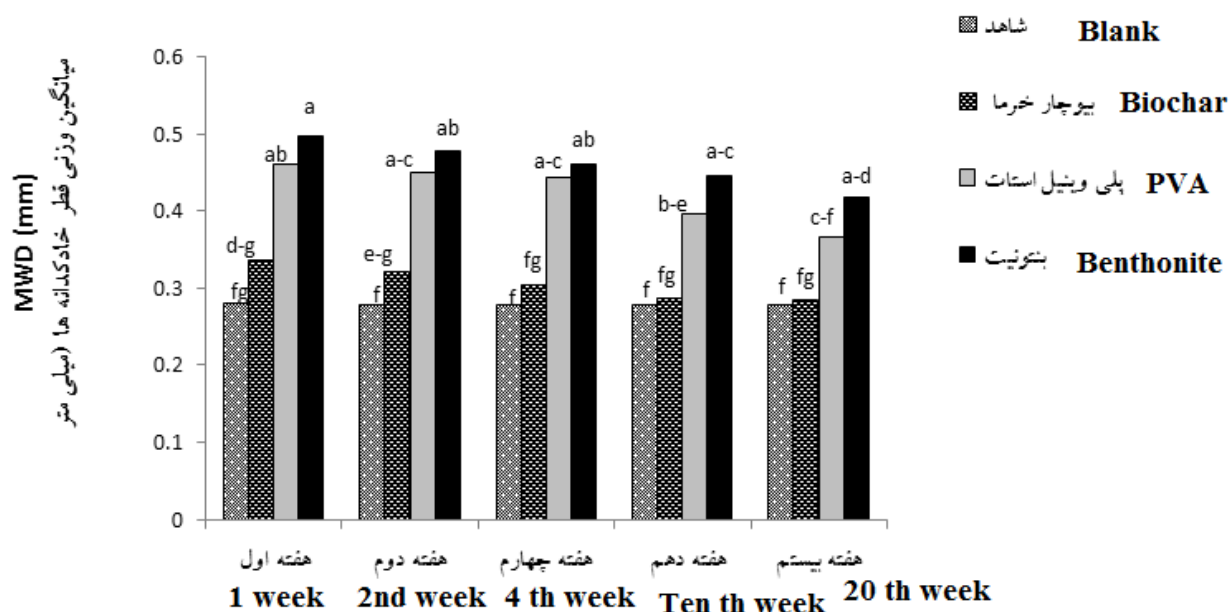
تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌های این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. فاکتور A زمان و فاکتور B تیمار خاک پوش در نظر گرفته شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD (سطح ۵ درصد) انجام شد. شکل‌ها به وسیله نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

اثر خاک پوش‌ها بر پایداری خاکدانه‌ها و خاکدانه‌سازی

در سال‌های اخیر، استفاده از مواد پلیمری مصنوعی به منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها و تثبیت خاک، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های بارز این پلیمرها این است که با ایجاد شبکه در سطح خاک همانند پلی بین ذرات خاک عمل کرده، باعث اتصال ذرات به یکدیگر می‌شوند و خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌نمایند که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردند (۲۰). در واقع مواد پلیمری محلول در آب پس از رقیق شدن در آب، بر روی خاک پاشیده می‌شود و در معرض هوا، تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری می‌دهد که در نتیجه می‌تواند با ایجاد



شکل (۳) تأثیر خاک پوش‌های مختلف (رس بنتونیت، پلی‌وینیل استات و بیوجار خرما) بر پایداری خاکدانه‌های خشک با گذشت زمان

Figure (3) Impacts of different mulches (bentonite clay, polyvinyl acetate and palm biochar) on dry aggregate stability during the time of incubation

اثر خاک پوش‌ها بر بُعد فرکتال خاکدانه‌ها

بُعد فرکتالی، ابزار مناسبی برای برآورد پایداری خاکدانه‌هاست و سنجش ترکیبی از بی‌نظمی و خردشوندگی، در امتداد تمام مقیاس‌های مکانی در بردارنده یک جسم ارائه می‌دهد (۱۴). دلیل اصلی استفاده از شاخص فرکتالی، ثابت مقیاس نبودن احتمال شکست خاکدانه‌هاست و ایده اصلی روش فرکتالی، بیان مقیاس‌گذاری بین اندازه یک ذره و تعداد آن ذره است که توان تابع نمایی این رابطه می‌تواند به عنوان متغیر ساختمانی که به سایر ویژگی‌های خاک نیز مربوط است، استفاده شود (۱۰). کمی کردن ساختمان خاک بر مبنای نظریه فرکتال، یکی از جنبه‌های مهم ارزیابی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست است (۳۴).

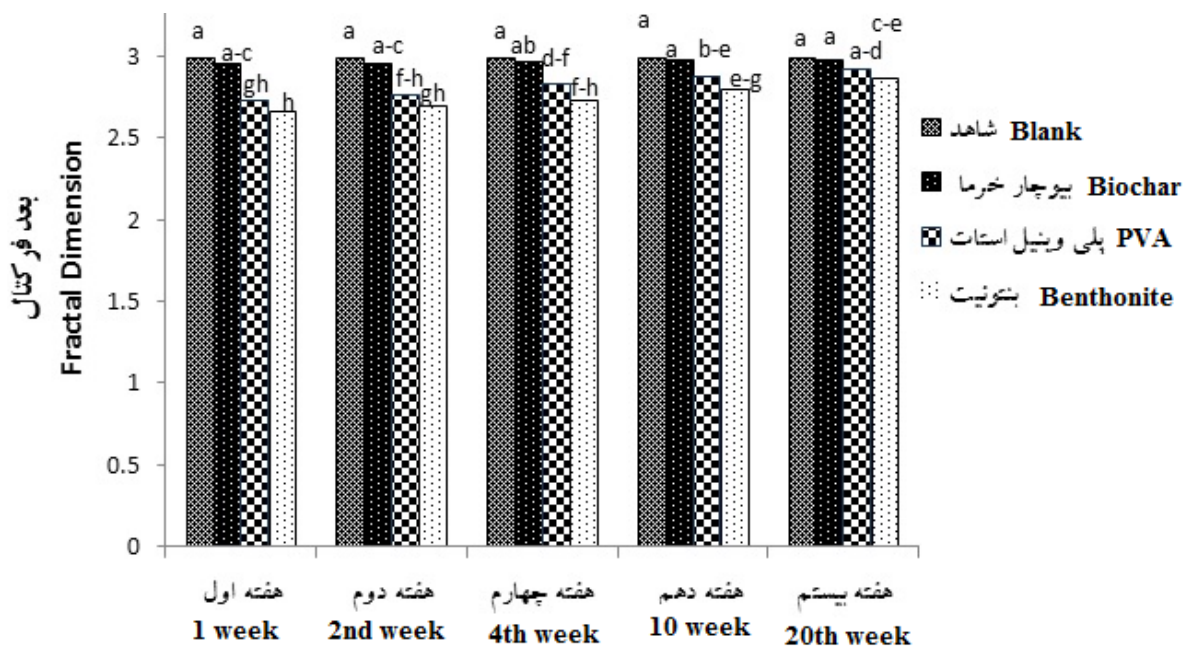
بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر بُعد فرکتال در زمان‌های مختلف دیده شد (شکل ۴)؛ به طوری که کاربرد

در پژوهشی، سعیدی (۱۳۹۴) گزارش کرد که با افزودن خاک پوش‌های ترکیبی PistachioPAM و PistachioPVAc به خاک، پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافت (۲۵). هم‌چنین کارواکا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش نمودند که مواد آلی خاک تأثیر زیادی بر پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری آبی خاک دارد (۹). نیامانگارا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در اثر افزودن ترکیبات آلی به یک خاک شنی، پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت نگهداری آب به طور معنی‌داری افزایش یافت (۲۱). برزگر و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند اصلاح‌کننده‌های آلی علاوه بر هم‌آوری ذرات خاک، با کاهش pH و آزاد کردن کاتیون‌های محلولی چون کلسیم از طریق افزایش دی‌اکسید کربن ناشی از تنفس میکروبی، حلالیت کربنات کلسیم را افزایش داده و سبب هم‌آوری و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (۶).

فرکتالی، میانگین وزنی قطر خاکدانه ها و به تبع آن پایداری ساختمان خاک کاهش می یابد (۱۵). فیلگویرا و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیان کردند که با افزایش پایداری خاکدانه ها، بُعد فرکتال کاهش پیدا می کند (۱۲).

سعیدی (۱۳۹۴) گزارش کرد استفاده از خاک پوش های Pistachio PAM و Pistachio آثار قابل توجهی بر بُعد فرکتالی خاکدانه ها دارد؛ به گونه ای که خاکدانه های تشکیل شده در اثر پخش خاک پوش Pistachio PVAc با کم ترین خردشدگی، کم ترین مقدار بُعد فرکتال را به خود اختصاص داده اند. خاک پوش های ترکیبی مورد مطالعه با ایجاد پل هایی بین ذرات خاک، سبب چسبیدن آن ها به هم شدند که این امر باعث ایجاد خاکدانه های درشت و کاهش بُعد فرکتال و در نتیجه کاهش فرسایش بادی گردید (۲۵).

تیمارهای مورد مطالعه سبب کاهش معنی دار بُعد فرکتال در زمان های مختلف نسبت به تیمار شاهد گردید. در بین تیمارهای انتخابی، تأثیر تیمار رس بنتونیت بر کاهش بُعد فرکتال بیش تر از سایر تیمارهای منتخب بود؛ به طوری که بُعد فرکتال را نسبت به شاهد، در هفته های اول، دوم، چهارم، دهم و بیستم، به ترتیب ۱۰/۵۷، ۹/۶۹، ۸/۶۹، ۶/۶۸ و ۶/۰۲ درصد کاهش داد. گولسر (۲۰۰۶) بیان نمود که بین بُعد فرکتالی و پارامترهای ساختمانی خاک همبستگی وجود دارد. وی در آزمایشی به این نتیجه رسید که بُعد فرکتالی با افزایش مقدار کربن آلی خاک کاهش می یابد و نتیجه گیری کرد که کاهش بُعد فرکتالی ممکن است نشان دهنده ی بهبود ویژگی های ساختمانی خاک باشد؛ بدین گونه که با افزایش بُعد



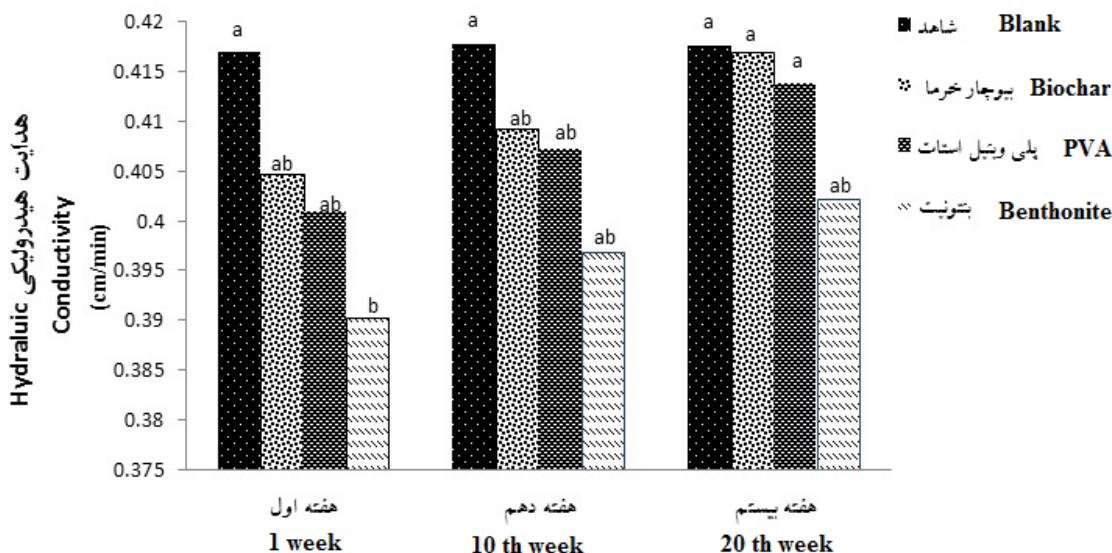
شکل (۴) تأثیر خاک پوش های مختلف (رس بنتونیت، پلی وینیل استات و بیوجار خرما) بر بُعد فرکتال خاکدانه ها با گذشت زمان
 Figure(4) Impacts of different mulches (bentonite clay, polyvinyl acetate and palm biochar) on fractal dimensuion during the time of incubation

اثر خاک پوش ها بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

در این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر هر یک از خاک پوش های بیوچار خرما، پلی وینیل استات و رس بنتونیت در نمونه های تیمار شده بر نفوذ پذیری آبی خاک و توان خاک برای جذب جریان های سیلابی به درون خاک برای جلوگیری از ایجاد سیلاب، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) نمونه ها اندازه گیری شد.

بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی داری بین تیمار های مختلف از نظر تأثیر بر K_s در زمان های مختلف دیده نشد (شکل ۵)؛ به طوری که کاربرد تیمار های منتخب سبب کاهش معنی دار K_s در زمان های مختلف، نسبت به تیمار شاهد نگردید. از طرفی، با گذشت زمان، K_s تیمار های مختلف، به دلیل افزایش منافذ درشت افزایش یافتند. در بین تیمار های مختلف، K_s نمونه های تیمار شده با بیوچار خرما بیش تر از سایر نمونه ها بود. بیوچار خرما با نقشی که در تشکیل

خاکدانه ها و افزایش منافذ درشت خاک دارد، باعث افزایش K_s خاک می شود. نتایج پژوهش گائولو و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد افزودن بیوچار خاکستر چوب به خاک رسی موجب بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب، K_s و تهویه خاک مورد نظر می شود (۱۳). بویل و همکاران (۱۹۸۹) دریافتند که افزودن مواد آلی مانند کود های حیوانی، مانده های گیاهی و پلیمر های صنعتی موجب پایداری خاکدانه ها و تشکیل خاکدانه های مناسب تر در خاک های تیمار شده با این مواد می شود (۳۰). این پژوهشگران بیان نمودند که کاربرد بیوچار سبب کاهش K_s می شود. هم چنین آن ها دریافتند که کاربرد بیوچار در خاک های درشت بافت سبب افزایش نگهداشت آب و مقدار آب قابل دسترس خاک شده و به دنبال آن، افزایش تولید محصول گیاه و کاهش مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری را موجب می شود.



شکل (۵) تأثیر خاک پوش های مختلف (رس بنتونیت، پلی وینیل استات و بیوچار خرما) بر هدایت هیدرولیکی اشباع با گذشت زمان
Figure (5) Impacts of different mulches (bentonite clay, polyvinyl acetate and palm biochar) on saturated hydraulic conductivity during the time of incubation

اثر خاک پوش ها بر مقاومت برشی خاک

مقاومت برشی سطح خاک به عنوان شاخص مناسبی برای فرسایش پذیری خاک شناخته شده است. مقاومت برشی سطح خاک، همان مقاومت اصطکاکی ناشی از لغزیدن ذرات روی همدیگر، حرکت غلتک مانند بین دانه های مجاور و قفل شدن دانه ها در یکدیگر است (۱۹). بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر مقاومت برشی (چسبندگی) در زمان های مختلف دیده شد (شکل ۶)؛ به طوری که کاربرد تیمارهای منتخب سبب افزایش معنی دار مقاومت برشی نمونه ها در زمان های مختلف نسبت به تیمار شاهد گردید. در بین تیمارهای انتخابی، تأثیر افزایش رس بنتونیت بر مقاومت برشی بیش تر از سایر تیمارهای آزمایشی بود، به گونه ای که مقاومت برشی را نسبت به شاهد در هفته های اول، دوم، چهارم، دهم و بیستم، به ترتیب ۴۴/۶، ۴۴/۶، ۴۲/۶۶، ۳۷/۳۳ و ۳۱/۳۳ درصد افزایش داد. چسبندگی خاک می تواند بر مقاومت خاکدانه ها در برابر جداسازی تأثیر گذار باشد. هنگامی که چسبندگی افزایش می یابد، ویژگی های ذرات منفرد کم اهمیت می شوند و مقاومت برشی خاک چسبنده می تواند جداسازی ذرات خاک را تحت تأثیر قرار دهد (۳۰).

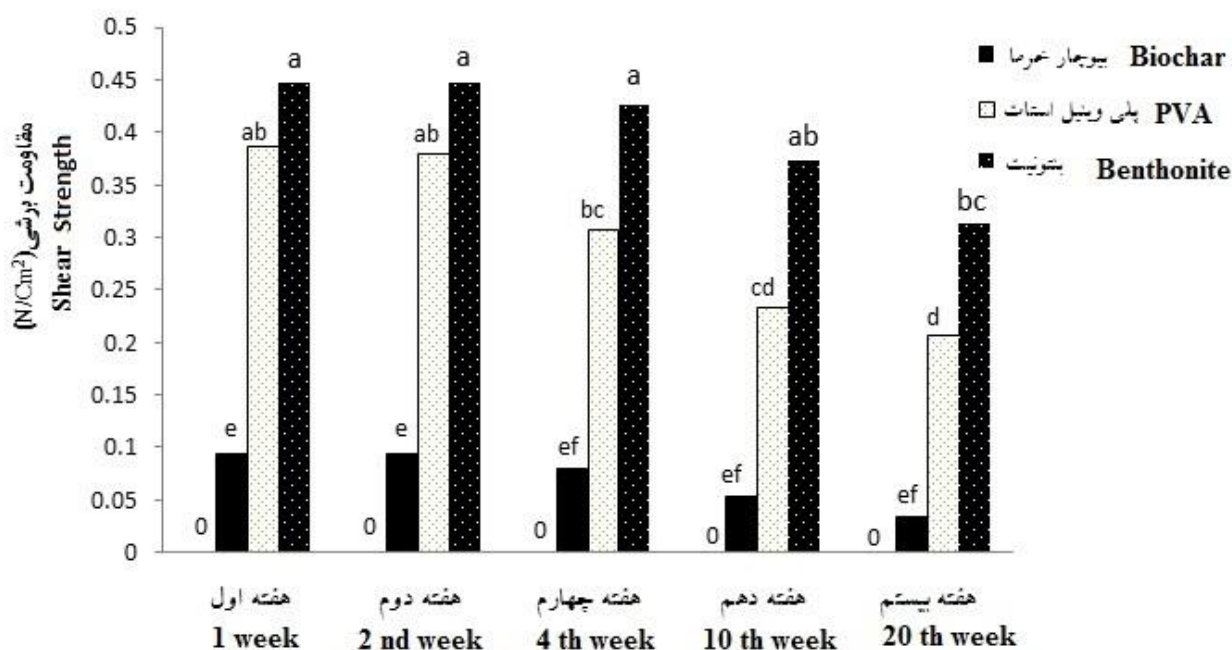
در خاک های درشت بافت، به علت این که ذرات اتصال کمی با هم دارند، در نتیجه پیوندهای چسبندگی بین ذرات ضعیف بوده و مقاومت آن ها کم است؛ از این رو افزودن خاک پوش های رس بنتونیت، پلی وینیل استات و بیوچار خرما به خاک ها سبب به وجود آمدن پیوندهای فیزیکی-مکانیکی بین خاک پوش و ذرات خاک می شود که نتیجه آن به هم پیوستگی ذرات منفرد و در نهایت تشکیل لایه به هم پیوسته و افزایش مقاومت برشی است. این افزایش بستگی به ماهیت خاک پوش افزوده شده به خاک دارد؛ به گونه ای که در خاک پوش رس بنتونیت به علت مقدار رس و ماهیت چسبندگی آن، خاکدانه های پایدارتر ایجاد شده و منجر به افزایش

مقاومت برشی نمونه ها می شود. بررسی تأثیر افزودن رس به ماسه بادی بر پارامتر مقاومت برشی نشان داد که مقدار چسبندگی با افزودن رس به ماسه بادی افزایش قابل توجهی می یابد. نتایج حاصل با یافته های تیواری و موری (۲۰۰۵)، شاننیوگ (۲۰۰۹) و خلیل مقدم و همکاران (۲۰۰۹) در مورد تأثیر افزایش میزان رس در خاک های شنی بر پارامترهای مقاومت برشی هم خوانی دارد.

راچ و همکاران (۲۰۰۳) از سه نوع تثبیت کننده برای تثبیت خاک استفاده کردند. آن ها پلیمرها را با نسبت های مختلف به خاک رس افزودند. نتایج تغییرات قابل ملاحظه ای را در افزایش مقاومت برشی نشان داد (۲۳). هان و همکاران (۲۰۰۶) مقاومت و پایداری ماسه بیابانی تثبیت شده را مورد بررسی قرار دادند. آن ها از چهار نوع پلیمر امولسیون پلی استات، پلی وینیل الکل، کلرید کلسیم و اوره استفاده کردند. نتایج آزمایش، افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت برشی نمونه های تثبیت شده را نشان داد (۱۶). خانباشی و همکاران (۲۰۰۵) پلیمر محلول در آب را به عنوان تثبیت کننده ماسه ای مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش، آن ها از وینیل اکریلیک و اتیرین اکریلیک استفاده کردند. نتایج نشان داد مقاومت برشی خاک با افزایش مقدار پلیمر، افزایش می یابد (۳).

نتایج بررسی های میکرومر فولوژیکی

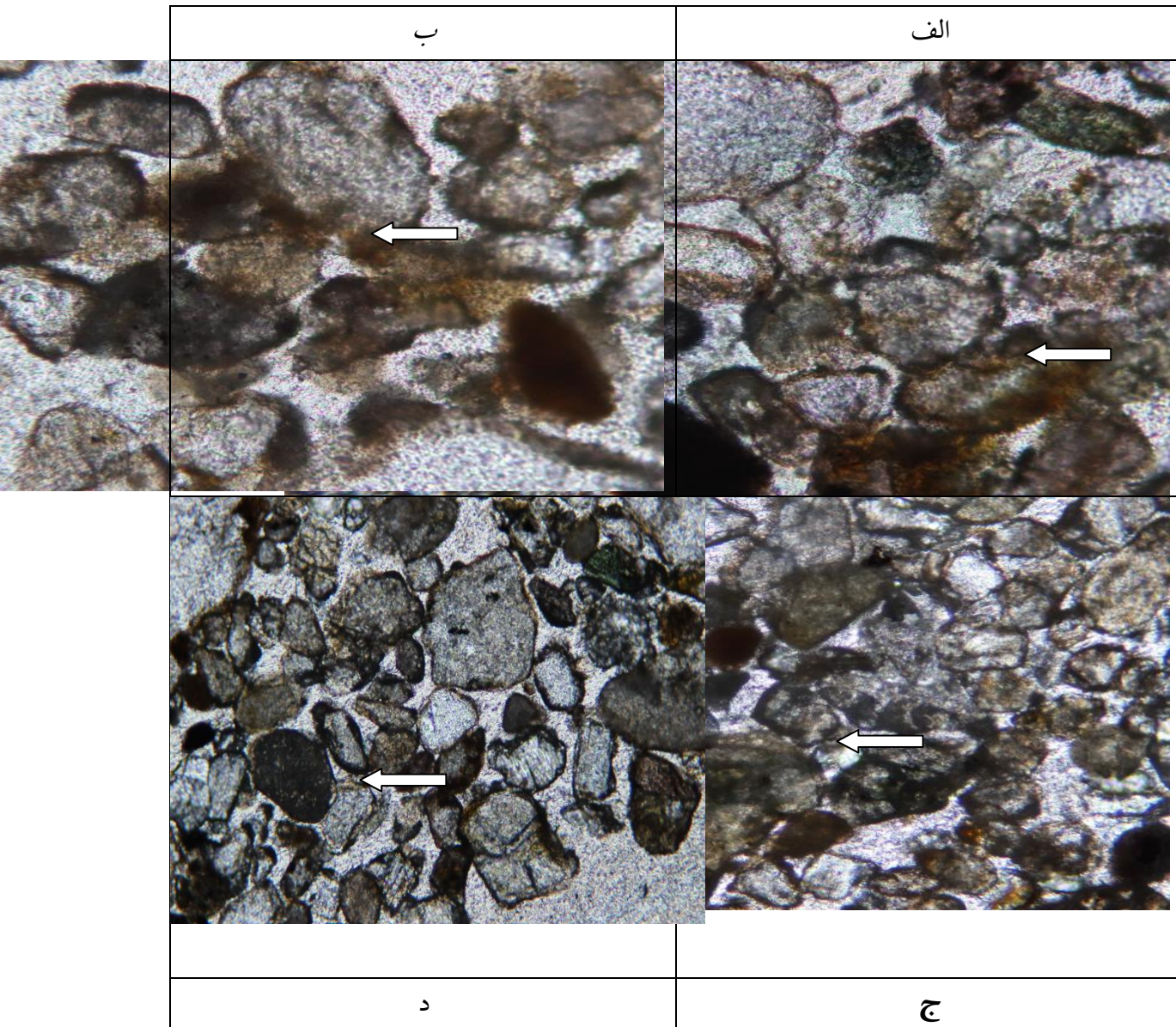
با توجه به نتایج مشاهده شده و اندازه گیری فرسایش بادی، انتظار می رفت که با افزودن خاک پوش ها اندازه ذرات ماسه بادی و پیوستگی آن ها دچار تغییراتی شده باشد. پس از بررسی خاکدانه ها با میکروسکوپ بینا کولار مشخص شد ذرات منفرد ماسه بادی، به علت افزودن خاک پوش ها به یکدیگر، چسبیده و توده بزرگ تری را تشکیل داده اند. به ترتیب اندازه خاکدانه ها در تیمارهای بنتونیت، پلی وینیل استات و بیوچار بزرگ تر شده بود. هم چنین از تصاویر چنین برداشت می شود که خاک پوش بنتونیت یکنواختی، تراکم و چسبندگی بهتری در ذرات منفرد ماسه بادی ایجاد کرده است (شکل ۷).



شکل (۶) تأثیر خاک‌پوش‌های مختلف (رس بنتونیت، پلی‌وینیل استات و بیوجار خرما) بر مقاومت برشی با گذشت زمان
Figure (6) Impacts of different mulches (bentonite clay, polyvinyl acetate and palm biochar) on shear strength during the time of incubation

آورده است (شکل ۷-ج)؛ ولی با توجه به تصویر مقطع نازک تهیه‌شده، پس از گذشت بیست هفته از اعمال تیمار پلی‌وینیل استات، اثر تیمار پلی‌وینیل استات کم‌تر شده و ذرات ماسه بادی پراکنده‌تر شده‌اند (شکل ۷-د). تیسدل و اودز (۱۹۸۲) معتقدند سلسله مراتبی در تشکیل خاکدانه‌ها وجود دارد. به این معنی که ذرات اولیه به وسیله مواد پیونددهنده، به هم می‌چسبند و خاکدانه‌های کوچک را به وجود می‌آورند. خاکدانه‌های کوچک نیز، به نوبه‌ی خود به وسیله عوامل پیونددهنده، بهم متصل شده و خاکدانه‌های میانی و به همین گونه خاکدانه‌های درشت ایجاد می‌شوند. این گونه خاکدانه‌سازی را زنجیره خاکدانه‌سازی می‌نامند (۲۶).

مشاهده‌های انجام گرفته براساس مقاطع نازک تهیه‌شده از نمونه‌های تیمار شده، بیان‌گر چگونگی اتصال ذرات منفرد خاک به وسیله ذرات رس بنتونیت و پلی‌وینیل استات بود. تصاویر حاصل از مقاطع نازک تیمارهای رس بنتونیت و پلی‌وینیل استات نشان داد، پس از پخش خاک‌پوش‌ها بر روی سطح نمونه‌ها، ذرات خاک به هم متصل شده و باعث تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تری شد. مشاهده‌های انجام گرفته بر اساس مقطع نازک تهیه‌شده از نمونه تیمار شده بیان‌گر چگونگی اتصال ذرات منفرد خاک به وسیله رس بنتونیت بود (شکل ۷-الف). رس بنتونیت در برخی بخش‌های مقطع به صورت پل‌های اتصال‌دهنده بین ذرات خاک قرار گرفتند که این امر زمان شروع و پیشرفت در خاکدانه‌سازی را تأیید می‌کند (شکل ۷-ب). تصویر مقطع نازک از نمونه‌ی تیمار شده با پلی‌وینیل استات پس از گذشت یک هفته نمایان‌گر آن بود که ذرات خاک به هم چسبیده و خاکدانه‌های بزرگ‌تری را به وجود



شکل (۷) تصویر میکروسکوپ پلاریزان از مقاطع نازک ذرات ماسه بادی پیوندشده توسط رس بنتونیت (الف و ب) و تیمار پلی وینیل استات پس از یک هفته (ج) و پس از ۲۰ هفته (د)

Figure (7) Micrographs of thin section by polarized microscope obtained for loessial sand linked with clay bentonite (a and b), PVA after 1 week (c) and 20 weeks (d)

بنتونیت بر هدایت هیدرولیکی اشباع نمونه‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر این ویژگی در زمان‌های مختلف دیده نشد. بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها در زمان‌های مختلف دیده شد؛ به طوری که کاربرد

نتیجه‌گیری

نتایج میکرومورفولوژیک بر اساس مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌های تیمار شده، بیان‌گر چگونگی اتصال ذرات منفرد خاک به وسیله ذرات رس بنتونیت و پلی‌وینیل استات بود. بررسی تأثیر هر یک از خاک پوش‌های بیوچار خرما، پلی‌وینیل استات و رس

برشی نمونه‌ها در زمان‌های مختلف، نسبت به تیمار شاهد گردید. در تفسیر نتایج باید به مقادیر کاربرد تیمارها دقت کافی شود؛ با توجه به این که انتخاب غلظت‌ها بر اساس منابع علمی قبلی صورت گرفته بود. با در نظر گرفتن مجموع جوانب مورد بررسی، به نظر می‌رسد رس بتونیت بهترین خاک‌پوش باشد؛ البته جنبه‌های دیگر این خاک‌پوش نیز، باید مورد مطالعه قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود سایر جنبه‌های مهم این خاک‌پوش‌ها در راستای مبارزه با فرسایش، مورد توجه و تحقیق قرار بگیرد.

سیاس‌گذاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران کشور برای اجرای این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

تیمارهای منتخب سبب افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌های تشکیل‌شده، در زمان‌های مختلف در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در بین تیمارهای انتخابی، تأثیر تیمار رس بتونیت بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها بیش‌تر از سایر تیمارهای آزمایشی بود؛ به طوری که پایداری خاکدانه‌ها را نسبت به شاهد در همه زمان‌ها افزایش داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر بُعد فرکتال در زمان‌های مختلف دیده شد؛ به گونه‌ای که کاربرد تیمارهای منتخب سبب کاهش معنی‌دار بُعد فرکتال در زمان‌های مختلف نسبت به تیمار شاهد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر مقاومت برشی (چسبندگی) در زمان‌های مختلف دیده شد؛ به طوری که کاربرد تیمارهای منتخب، سبب افزایش معنی‌دار مقاومت

منابع

- Ahmadi, H. 1999. Applied Geomorphology. Tehran University Press.
- Ahmadi, A., M. R., Neyshabouri, H. Rouhipour and H. Asadi. 2011. Fractal dimension of soil aggregates as an index of soil erodibility. Journal of Hydrology, 400: 305–311.
- Al-Khanbashi, A., E. L. Gamal., 2003. Modification of Sandy Soil Using Water Borne
- Atkinson, C. J., D. Fitzgerald, and N. A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil, 337: 1–18.
- Bahrai, M.A., and A. Shahnazari. 2016. Experimental studies for stabilization of sand dunes using Nano clays. Soil and Water Journal, 72: 1107–1113 (In Persian).
- Barzegar, A. R., P. Rengasamy and J. M. Oades. 1995. Effect of clay type and rate of wetting on the mellowing of compacted soils. Geoderma, 68: 39–49.
- Bisal, F. and J. Hsieh. 1966. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. Soil Science Society America Journal, 102: 143–146.
- Bryan, R. B. 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. Geoderma, 2: 5–26.

9. Caravaca, F., A. Lax and J. Albaladej. 2001. Soil aggregate stability and organic matter in clay and fine silt fraction in urban refuse-amended semiarid soils. *Soil Science Society America Journal*, 65: 1235–1238.
10. Caruso, T., E. K. Barto, M. R. K. Siddiky, J. Smigelski and M. C. Rillig. 2011. Are power laws that estimate fractal dimension a good descriptor of soil structure and its link to soil biological properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 359–366.
11. Farhpour, M., F. Ghaayur, H. Sharbaf, and A. Yusefiadeh. 2006. Comparison of some hydro mulches and oil mulches as adsorbents sand dunes. PP. 121–134.
12. Filgueira, R. R., L. L., Fournier, C. I., Cerisola, p Gelati and M. G. Garcia. 2006. Particle size distribution in soils a critical study of the fractal model validation. *Geoderma*, 134: 327–334.
13. Gao Lu, S., S. F., Fang, and Z. Y. Tong, 2014. Effect of rice husk biochar and charcoal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil. *Catena*, 114: 37–44
14. Gregory, A. S., N. R. A. Bird, C. W. Watts, and A. P. Whitmore. 2012. An assessment of a new model of dynamic fragmentation of soil with test data. *Soil Tillage and Research*, 120: 61–68.
15. Gulser, C. 2006. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. *Geoderma*, 131: 33–44.
16. Han. Z., Z., Wang and Y., Dong. 2006. Chemical stabilization of mobile dune fields along a Highway in the Taklimakan Desert. *Soil Technology*, 21: 321–332.
17. Hazirei, F., and M. Zare Ernani, 2013. Investigation of Effect of Clay-Lime Mulch for Sand Dunes Fixation. *Journal of Water and Soil*, 27: 373–380.
18. Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. PP. 210–221. *In: Evans, D. D., J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark (Eds.). Methods of soil Analysis, Publisher, Madison, Wisconsin, USA.*
19. Lopez, M. V., J. L. Arrue, and J. Álvaro-Fuente. 2008. Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. *Geoderma*, 145: 390–396.
20. Mohavehdan, M., N. Abbasi, M. Keermaati. 2014. Experimental studies of ploy vinyl acetate on soil erodibility of sand deposits. *Soil Conservation Journal*, 20: 55–76 (In Persian).
21. Nyamangara, J., J. Gotosa and S. E. Mpfu. 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbawa. *Soil Tillage and Research*, 62: 157–162.
22. Qiang Deng, Z., L. M. P. Joao and H. Shin Jung. 2008. Sedimenttransport rate based model for rainfall-induced soil erosion. *Catena*, 76: 54–62.

23. Rauch, A. F., J. S. Harman and L. F. Katz. 2003. measured effects of liquid soil stabilizers on engineering properties of clays. PP. 33–41. Tranaportion Research Record 1787, TRB, National Research Council, Washington, DC.
24. Refahi, H. 2010. Wind erosion and its control. Tehran University Press. 320 P.
25. Saidi, N. 2016. Stabilization of sand dunes in Rafsanjan plain using compound mulches. MSc Thesis. Vali-Asr Rafsanjan University.
26. Stoops, G., 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. SSSA. Inc, Madison, Wisconsin.
27. Subramaniam, N. and G. P. Chinappa. 2002. Remote sensing and GIS techniques for land degradation assessment due to water erosion. pp. 815–819. In: 17th WCSS, Thailand .
28. Telysheva, G., and G. Shulga. 1995. Silicon containing polycomplexes for protection against wind erosion of sandy soil. *Journal of Soil Science*, 62: 221–226.
29. Vyas, S., N. Phougat, and M. Ratnam. 2011. Stabilization of dispersive soil by blending polymers. *Soil Science Society America Journal*, 54: 176180.
30. Wang, H., L., Zhang, W. Dawes, R. C., Liu. 2001. Improving water use efficiency of irrigated crops in the north China plain-measurements and modeling, *Agricultural Water Management*, 48: 151–167.
31. Wong, M. H., 1979. Sewage sludge as conditioner for improving soils affected sulfur dioxide. *Catena*, 23: 717–724.
32. Yang, Q., H. Zuo, X. Xiao, Sh. Wang, J. Chen. 2012. Modelling the effects of plastic mulch on water, heat and CO₂ fluxes over cropland in an arid region. *Journal of Hydrology*, 102: 452–453.
33. Yang, Y., and X. Liu. 2006. Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilongjiang region of North China. *Soil Tillage and Research*, 38: 231–243.
34. Zi-cheng, Z., H. Shu-qine and L. Ting-xuan. 2011. Fractal dimensions of soil structure and soil anti-erodibility under different land use patterns. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 5496–5504.