



"مقاله پژوهشی"

اثر خاک پوشش های مختلف بر برخی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی رسوبات بادرفتی

سلیمان زارع^۱، جلال محمدی^۲، مریم ممبنی^۳، رهام شکوهی^۴ و قاسم قوهستانی^۵

۱- استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، (نویسنده مسوول: zaresalman@ut.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست کرج

۳- دانش آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست کرج

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۲۷

صفحه: ۱۰۵ تا ۱۱۹

چکیده

استفاده از انواع خاک پوشش های سازگار با محیط زیست، یکی از روش هایی است که به منظور کاهش فرسایش بادی و تثبیت ماسه های روان به کار می رود. به منظور آماده سازی بستر تیمارها در محیط آزمایشگاهی از ماسه های بادی بیابان ریگ بلند کاشان استفاده شد. برای انجام آزمایش ها از سینی های فلزی با ابعاد ۲×۳۰×۱۰ سانتی متر و برای پاشش تیمارهای بنتونیت، زئولیت، ملاس و لیگنوسولوز استفاده شد و تأثیر این خاک پوشش ها بر برخی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی رسوبات بادرفتی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت بر اساس نتایج تجربی و پس از ایجاد مدل رگرسیون بین متغیرهای طراحی مخلوط و پاسخ، مقدار بهینه هر کدام از خاک پوشش ها در نرم افزار Design of Expert به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده وجود مواد زئولیت، لیگنوسولوز و ملاس به صورت ترکیب در هر خاک پوشش اختلاف معنی داری از نظر ویژگی های مقاومت فشاری، برشی، ضربه ای، سایشی و تشکیل سله با سایر خاک پوشش ها و نمونه شاهد ایجاد می کند. بررسی انجام شده در حالت حداکثر و میانه نشان داد که مقدار بنتونیت و ملاس با یکدیگر برابر (۱۵ گرم) می باشند و در مقدار زئولیت و لیگنوسولوز با یکدیگر تفاوت دارند، به طوری که مقدار زئولیت و لیگنوسولوز در حالت حداکثر ۵ و ۱۵ گرم و در حالت میانه ۱۵ و ۰ گرم می باشند. هر کدام از مواد به تنهایی پاسخ های مختلفی را در برابر مقاومت های مختلف نشان می دهد اما آنچه نتایج این تحقیق نشان می دهد ترکیب این مواد با یکدیگر باعث بهبود شاخص های پایداری خاک شده است. به طوری که مقدار مقاومت فشاری را ۳/۲ کیلوگرم بر سانتی مترمربع، مقاومت برشی را ۷/۹ نیوتن بر سانتی مترمربع، ضربه ای را ۰/۸، سایشی را ۴۵ و ضخامت سله ایجاد شده را ۲۰ میلی متر نسبت به نمونه شاهد افزایش دادند.

واژه های کلیدی: خاک پوشش معدنی، ضخامت سله، مقاومت برشی، مقاومت سایشی، مقاومت ضربه ای، مقاومت فشاری

مقدمه

می باشد. خاک پوشش ها ترکیباتی هستند که می توانند مقاومت خاک را در برابر نیروهای برشی باد افزایش دهند. این خاک پوشش ها می توانند با افزایش چسبندگی ذرات خاک و اصطکاک بین ذرات خاک گردند. خاک پوشش های رسی، پلیمری، نفتی و مواد آلی به دلیل خاصیت چسبندگی، ذرات خاک را به هم پیوند داده و چسبندگی آن ها را افزایش می دهند (۱۳). به طور کلی هدف از کاربرد مالچ در فعالیتهای تثبیت ماسه های روان، افزایش پایداری سطح خاک در مقابل فرسایش بادی به منظور ایجاد مهلتی است که در طی آن مدت، فرصت مناسب برای انجام و استقرار سایر فعالیتهای بیولوژیکی تثبیت ماسه ها نظیر نهال کاری، بذریاشی و قلمه کاری فراهم شده و این مواد بیولوژیک بتوانند در عرصه کاشت مستقر شوند (۱۴). پژوهش های زیادی در سطح جهان و ایران برای تثبیت ماسه های روان و کنترل فرسایش بادی صورت گرفته است که می توان به شی و شی (۲۴) اشاره کرد که به بررسی داده های سطح اولتراسونیک تیمار شده با کامپوزیت سیمان در برابر فرسایش بادی پرداختند. بعد از گذشت ۱، ۳، ۷ و ۲۸ روز از ایجاد لایه سیمانی بر روی سطح، فرسایش بادی، سختی سطح و چگالی ظاهری اندازه گیری شد. نتایج بررسی آن ها نشان داد که

فرسایش بادی یکی از جنبه های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود (۶)، به طوری که حدود یک ششم مساحت اراضی دنیا را تحت تأثیر خود قرار داده است (۲۶). فرسایش بادی یکی از عوامل اصلی در آسیب به خاک و منابع طبیعی، آلودگی هوا، انتقال ذرات معلق و مزاحمت در تأسیسات و ماشین آلات، در عملیات اجرایی و در حمل و نقل می باشد و با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی می تواند هم چنان یکی از مهم ترین مسائل به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک باشد (۲۳). هر چند در مقیاس جهانی، اهمیت و خطر فرسایش بادی شرایط خشک و فرا خشک حاکم بر بخش وسیعی از ایران با بارندگی کم تر از ۱۵۰ میلی متر در سال، موجب شده است که حدود ۸۰ میلیون هکتار از مساحت ایران را مناطق کویری، تپه های ماسه ای و مناطقی با پوشش گیاهی ناچیز ببوشاند (۲۸). بنابراین به نوع و هدف پروژه ها، تقویت ویژگی های خاص خاکها و افزایش مقاومت خاک در برابر عوامل فرساینده مورد توجه بوده و در این راستا روش ها و ابزار متفاوتی مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از راهکارهای مقابله با کنترل فرسایش بادی، بیابان زایی و طوفان های گرد غبار، خاک پوشش پاشی روی اراضی شنی

پوشش گیاهی؛ خاک‌پوش معدنی به علت ماندگاری پایین، اثر منفی بر محتوای عنصری و خصوصیات مهم شیمیایی خاک، ایجاد شرایط شوری و قلیابیت و بروز خشکی فیزیولوژیک و نهایتاً تأثیر بسیار منفی بر پوشش گیاهی؛ خاک‌پوش پلیمری نیز به خاطر دوام پایین و تأثیرگذاری منفی بر پوشش گیاهی و خاک‌پوش بیوپلیمری به علت ماندگاری بسیار کم، در امر تثبیت ماسه‌های روان پیشنهاد نمی‌گردند.

نورعلی‌وند و فرخیان فیروزی (۲۳) به بررسی زغال زیستی اصلاح‌شده، نانورس و پلی‌وینیل استات بر تثبیت خاک و کنترل فرسایش بادی خاک شنی و شنی لومی پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه، مقاومت نفوذی و برشی خاک در تیمار نانورس به دست آمد. به‌طور 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.

حضیرئی و زارع ارنانی (۳۰) در پژوهشی از خاک‌پوش‌های طبیعی با ترکیب رس و آهک به‌عنوان تثبیت‌کننده ماسه‌های روان استفاده کرد. به‌منظور آماده‌سازی بستر تیمارها از ماسه‌های بادی دشت یزد - اردکان و از خاک دشت رسی اطراف میند (به‌عنوان خاک‌پوش) استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت رس، شاخص‌های مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و سایش به‌طور نسبی افزایش می‌یابد. کیانی و همکاران (۱۷) اثر فرآیند ترسیب میکروبی کربنات کلسیم به‌عنوان یک بهساز زیستی و سازگار با محیط زیست جهت مهار فرسایش بادی و تثبیت خاک را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین نتایج نشان داد شار تلفات خاک در تمامی تیمارهای سیمانی شده با روش زیستی در سرعت‌های مختلف باد در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش معنی‌داری داشتند. مقدار کربنات کلسیم معادل و مقاومت فروروی سطح خاک در تیمارهای سیمانی شده با روش زیستی نسبت به تیمارهای شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داشت که این امر نشان‌دهنده تشکیل یک لایه مقاوم سطحی بر روی نمونه‌های سیمانی شده است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که سیمانی شدن به روش زیستی می‌تواند روشی مؤثر برای تثبیت ذرات سطح و مهار فرسایش بادی خاک باشد. با وجود عرصه وسیع ماسه‌های روان و کانون‌های بحرانی داخلی و خارج از کشور و همچنین مشکلات موجود در اجرای خاک‌پوش‌پاشی با مواد نفتی از قبیل هزینه‌های زیاد و مشکلات بهداشتی، محیط‌زیستی (۸) و خسارت‌های هنگفتی که هر ساله از طرف فرسایش بادی و هجوم ریزگردها متوجه منابع زیستی و اقتصادی می‌شود و سبب هدر رفتن منابع پایه و تهدید سلامت افراد جامعه می‌شود، هر نوع سرمایه‌گذاری را برای یافتن ماده‌ای جایگزین توجیه‌پذیر می‌کند. با توجه به مشکلات ایجاد شده در کشور به علت فرسایش بادی و ریزگردها و افزایش این پدیده در سال‌های اخیر و همچنین بالا رفتن قیمت خاک‌پوش نفتی و هزینه‌های حمل و پاشش، بررسی استفاده از مواد جایگزین در کنترل فرسایش بادی و ریزگردها ضرورت می‌یابد. در این راستا، در تحقیق حاضر از مواد معدنی بنتونیت کلسیمی به دلیل خواص خوب مخلوط شدن با آب، خمیری شدن،

سیمان به کار رفته باعث بهبود مقاومت در برابر فرسایش، سختی سطح و تراکم ظاهری سطح تیمار شده، گردید. ژانگو همکاران (۳۲) به بررسی خصوصیات فیزیکی - شیمیایی لیگنین موجود در محصولات کارخانه‌های کاغذسازی جهت تثبیت خاک‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که محصول جانبی لیگنین عملکرد مطلوبی در بهبود خصوصیات مهندسی خاک‌های منسجم و خاک‌های غیر منسجم نسبت به کشش، مقاومت در برابر فرسایش و فرسایش‌پذیری نشان داده است. مواد سیمانی ذرات را به هم پیوند داده و منافذ را در ماتریس خاک پر می‌کند. سانگ و همکاران (۲۷) 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.

وانگ و همکاران (۲۹) ماده تثبیت‌کننده‌ای بر پایه لیگنین (LSSM) که از مواد مایع سیاه رنگ کارخانه‌های کاغذسازی حاصل می‌شود را برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای مورد بررسی قرار دادند. این ماده سازگار با محیط زیست بوده و سبب بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهان در شرایط سخت بیابان می‌شود. با استفاده LSSM می‌توان نسبت به استقرار جوامعی از گونه‌های گیاهی *Agriophyllum squarrosum* و *Artemisia desertorum* اقدام نمود و بدین ترتیب در طی ۲-۳ سال تپه‌های ماسه‌ای را تثبیت نمود. همچنین استفاده از این ماده موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی و نیتروژن خاک شد، درحالی‌که مقدار فسفر و پتاسیم خاک ناچیز بود. نقی‌زاده اصل و همکاران (۲۲) به بررسی اثر ترکیبی میکرو سیلیس با خاک رس و گچ به‌عنوان خاک‌پوش روی مقاومت برشی و فرسایش‌پذیری بادی ماسه‌ها پرداختند. برای این منظور، مخلوطی از سطوح مختلف میکروسیلیس با رس، گچ و رس - گچ روی ماسه اعمال شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن ۱۰ درصد میکروسیلیس در ترکیب با خاک رس و رس-گچ، مقاومت برشی به ترتیب تا ۱۰/۶ و ۳۷/۵ درصد و سرعت آستانه اصطکاک را به ترتیب تا ۴۵/۲ و ۴۸/۵ درصد افزایش یافته و باعث کاهش تلفات ۱۰۰ درصدی خاک در مقایسه با نمونه‌های بدون میکرو سیلیس شده است. بنابراین استفاده از ۱۰ درصد میکروسیلیس در ترکیب با رس و یا رس-گچ به‌عنوان خاک‌پوش مناسب توصیه شده است. عظیمی و همکاران (۴) در پژوهشی با استفاده از روش طرح آزمایش مخلوط اقدام به ساخت نوعی خاک‌پوش ترکیبی سیمانی سرباره فولاد کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که افزودن سرباره باعث افزایش مقاومت فشاری و برشی و همچنین قابلیت نگه داری رطوبت در مالچ ترکیبی جدید می‌شود. زارع (۳۱) به بررسی کارایی خاک‌پوش‌های رزین، معدنی، پلیمری و بیوپلیمری زیستی برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای و امکان‌سنجی جایگزینی آن‌ها با خاک‌پوش نفتی در بیابان‌های اطراف شهرستان کاشان و آران و بیدگل در استان اصفهان پرداخت. با توجه به معیارهای مورد بررسی و نتایج مشاهده شده، خاک‌پوش رزین به دلیل دوام کم و اثرات منفی بر

مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در جدول ۱ تیمارهای مختلف خاک پوش مشخص شده است.

آماده‌سازی تیمارها

به منظور تعیین تأثیر خاک پوش‌ها و مواد اصلاحی مختلف (بر اساس پیش آزمایش‌های صورت گرفته) (جدول ۱)، بر پارامترهای مقاومت فشاری، برشی، سایشی و مقاومت به ضربه، پس از عبور خاک منطقه از الک ۲ میلی‌متری، به مقدار تقریبی ۸ کیلوگرم درون سینی‌هایی طراحی شده به ابعاد ۲×۳۰×۱۰۰ سانتی‌متر در قالب طرح کاملاً تصادفی ریخته شد (شکل ۱). پس از صاف نمودن و تسطیح خاک تا لبه سینی، نسبت به پاشش و اسپری نمودن خاک پوش‌های مختلف اقدام شد. به منظور خشک شدن کامل تیمارها، سینی‌های آماده شده به مدت ۵ روز در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. به نحوی که مقدار رطوبت خاک سینی‌ها به کم‌تر از یک درصد و مشابه وضعیت طبیعی تپه‌های ماسه‌ای رسید. به منظور یکسان‌سازی شرایط بستر، روی تیمار شاهد هم‌زمان با دیگر تیمارها، آبپاشی بدون تیمار صورت گرفت. پس از آن اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر شد.

پلاستیک بودن، چسبندگی و چسبانندگی و منبعی مناسب برای تقویت خاک و پوشش گیاهی منطقه و زئولیت به به دلیل آبیگری بالا، نگهدارنده آب، تنظیم pH و کاهش شوری خاک، تهویه مطلوب و تامین اکسیژن و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک به عنوان یک ماده طبیعی و ضایعات کارخانه‌های چوب و کاغذ (لیگنو سلولز و ملاس) به دلیل ایجاد چسبندگی بالا بین دانه‌های ماسه، وجود مواد مغذی برای گیاهان و جانوران، آسانی در دسترس که از نظر اقتصادی به صرفه و همگام با محیط زیست است مورد استفاده قرار گرفته است. برای دستیابی به مناسب‌ترین ترکیب و غلظت خاک پوش از نرم‌افزار (DOE) Design of Expert برای طراحی آزمایشات و تحلیل و بررسی و در نهایت رسیدن به بهترین و بهینه‌ترین خاک پوش استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد نظر برای برداشت نمونه، ماسه‌زارهای اطراف شهرستان کاشان و آران و بیدگل استان اصفهان بوده است. سپس در آزمایشگاه ویژگی‌های فیزیکی از جمله مقاومت فشاری، برشی، سایشی، ضربه‌ای و ضخامت سله تشکیل شده



شکل ۱- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی: الف) سینی‌های مالچ‌پاشی شده ب) دستگاه اندازه‌گیری فروسنج دستی، ج) میله فلزی، د) سمباده و ه) دستگاه پره برشی

Figure 1. Measurement of physical properties: a) mulched trays b) Hand cone penetrometer device, c) metal rod, d) sandpaper and e) shear vane

جدول ۱- ترکیب تیمارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 1. Combination of treatments used in the present study

کد	هزینه در هکتار (ریال)	کد اختصاری تیمارها	مقادیر وزنی ترکیب تیمار	ترکیب تیمارهای خاک‌پوش
۱	۸,۷۵۰,۰۰۰	Z ₁₅	۱۵ گرم	زنولیت
۲	۴,۰۰۰,۰۰۰	B ₁₅	۱۵ گرم	بنتونیت
۳	-	M ₁₅	۱۵ گرم	مالس
۴	۷۵,۰۰۰,۰۰۰	Li ₁₅	۱۵ گرم	لیگنوسولوز
۵	۷۵,۰۰۰,۰۰۰	M ₁₅ +Li ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم	مالس + لیگنوسولوز
۶	۴,۰۰۰,۰۰۰	M ₁₅ +B ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم	مالس + بنتونیت
۷	۸,۷۵۰,۰۰۰	M ₁₅ +Z ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم	مالس + زنولیت
۸	۷۹,۰۰۰,۰۰۰	Li ₁₅ +B ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم	لیگنوسولوز + بنتونیت
۹	۸۳,۷۵۰,۰۰۰	Li ₁₅ +Z ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم	لیگنوسولوز + زنولیت
۱۰	۱۲,۷۵۰,۰۰۰	B ₁₅ +Z ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم	بنتونیت + زنولیت
۱۱	۷۹,۰۰۰,۰۰۰	M ₁₅ +Li ₁₅ +B ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم + ۱۵ گرم	مالس + لیگنوسولوز + بنتونیت
۱۲	۸۳,۷۵۰,۰۰۰	M ₁₅ +Li ₁₅ +Z ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم + ۱۵ گرم	مالس + لیگنوسولوز + زنولیت
۱۳	۱۲,۷۵۰,۰۰۰	M ₁₅ +B ₁₅ +Z ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم + ۱۵ گرم	مالس + بنتونیت + زنولیت
۱۴	۸۷,۷۵۰,۰۰۰	Li ₁₅ +B ₁₅ +Z ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم + ۱۵ گرم	لیگنوسولوز + بنتونیت + زنولیت
۱۵	۸۷,۷۵۰,۰۰۰	Li ₁₅ +B ₁₅ +Z ₁₅ +M ₁₅	۱۵ گرم + ۱۵ گرم + ۱۵ گرم + ۱۵ گرم	لیگنوسولوز + بنتونیت + زنولیت + مالس
۱۶	-	control		شاهد

است که بعد از خاک‌پوش‌پاشی که رطوبت در حد نزدیک اشباع است، پره برشی در داخل خاک تا جایی که پره‌ها کاملاً در خاک قرار بگیرد، وارد می‌شود. سپس شروع به دوران پره برشی در جهت عقربه‌های ساعت کرده و تا برش گسیختگی خاک، حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه طول می‌کشد. حداکثر مقدار تنش وارده روی صفحه مدرج در بالای پره برشی ثبت می‌شود. این وسیله قادر به اندازه‌گیری تنش‌های بین صفر تا ۲۵۰ کیلوپاسکال می‌باشد (۱۵). در حالت خشک نیز به همین روش اندازه‌گیری مقاومت برشی صورت گرفت. اندازه‌گیری مقاومت برشی در سه نقطه از هر تیمار صورت گرفت.

بررسی خاک‌پوش‌ها از نظر مقاومت سایشی

مقاومت سله‌های تشکیل شده به خاک‌پوش، به وسیله کشیدن ورقه سمباده با زبری متوسط (۱۰۰ میکرون) و با نیروی فشاری ۰/۵ کیلوگرم در سطح آن به‌صورت پیاپی تا زمانی که لایه سائیده شده و به سطح خاک رسد، اندازه‌گیری شد (۱۱). تعداد دفعات مالش سمباده بر سطح خاک تا زمان سائیده شدن کامل سله یادداشت و میزان مقاومت سایشی هر کدام از تیمارها، بعد از اندازه‌گیری با استفاده از جدول ۲ رتبه‌بندی شد.

بررسی خاک‌پوش‌ها از نظر مقاومت فشاری

یکی از روش‌های تجربی به‌منظور اندازه‌گیری مقاومت خاک و یا مقاومت مکانیکی ظاهری خاک، اندازه‌گیری مقاومت فشاری خاک است (۱۲). نفوذسنج^۱ وسیله‌ای است ساده که در آن فشار به وسیله نوک ۱ سانتی‌متر مربعی آن بر سطح خاک وارد شده و زمانی که در خاک نفوذ نمود، حداکثر فشار وارده بر سطح بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نمایش داده می‌شود. از نفوذسنج برای آزمایش مقاومت فشاری خاک‌پوش پاشش شده در سطح خاک و غیره استفاده شد. مقاومت فشاری لایه تشکیل شده در سطح خاک هر تیمار، در ۱۰ نقطه با پراکندگی یکسان، اندازه‌گیری شد.

بررسی خاک‌پوش‌ها از نظر مقاومت برشی

افزایش مقاومت لایه سطحی خاک در مقابل تنش برشی جریان باد، عاملی کلیدی در کاهش فرسایش‌پذیری است. از این‌رو، اساس بسیاری از روش‌های کنترل فرسایش خاک مورد استفاده در حال حاضر، مبتنی بر تثبیت و تقویت خصوصیات سطحی خاک است. در این رابطه، شکل‌گیری پوسته فیزیکی به‌شدت می‌تواند خطر فرسایش بادی را کاهش دهد (۹، ۱۹). در این پژوهش، برای اندازه‌گیری چسبندگی خاک‌پوش از پره برشی استفاده شد. روش کار بدین‌صورت

جدول ۲- طبقه‌بندی مقاومت سایشی (۷، ۱۱)

Table 2. Classification of abrasion resistance (11,7)

طبقه	شرایط طبقه مقاومت سایشی
۱	با بیش از ۳۰ بار حرکت سمباده، سله سطحی شکسته و ذرات ماسه جدا گردند
۰/۷۵	با بیش از ۱۵-۳۰ بار حرکت سمباده، سله سطحی شکسته و ذرات ماسه جدا گردند
۰/۵	با بیش از ۵-۱۵ بار حرکت سمباده، سله سطحی شکسته و ذرات ماسه جدا گردند
۰/۲۵	با بیش از ۲-۵ بار حرکت سمباده، سله سطحی شکسته و ذرات ماسه جدا گردند
۰	با بیش از ۱-۲ بار حرکت سمباده، سله سطحی شکسته و ذرات ماسه جدا گردند

- بررسی خاک پوش ها از نظر مقاومت به ضربه
با رها کردن میله ای فولادی با نوک مخروطی با زاویه ۴۵
درجه و به وزن ۱۵۰ گرم از ارتفاع نیم متری به صورت عمود

بر سطح سینی ها در ۵ نقطه متفاوت، میزان مقاومت آن ها به
ضربه سنجیده شد (۱۱). سپس مقدار مقاومت به ضربه هر
کدام از تیمارها، با استفاده از جدول ۳ رتبه بندی شد.

جدول ۳- طبقه بندی مقاومت ضربه ای (۷،۱۱)

Table 3. Impact resistance classification (11,7)

طبقه	شرایط طبقه مقاومت ضربه ای
۱	اگر با رها کردن میله سطح خاک بشکند
۰/۷۵	اگر با رها کردن میله سطح خاک بشکند و تا عمق ۰/۵ سانتی متر در خاک فرو رود
۰/۵	اگر با رها کردن میله سطح خاک بشکند و تا عمق ۱-۰/۵ سانتی متر در خاک فرو رود
۰/۲۵	اگر با رها کردن میله سطح خاک بشکند و تا عمق ۰/۵-۱ سانتی متر در خاک فرو رود
۰	اگر با رها کردن میله سطح خاک بشکند و به ته سینی برخورد کند

نتایج و بحث

- نتایج آزمون تجزیه واریانس

نتایج آزمون تجزیه واریانس برای خاک پوش های مختلف در شکل های ۱ تا ۵ آورده شده است. مقاومت فشاری، مقاومت برشی، مقاومت سایشی، مقاومت ضربه ای و اندازه سله برای خاک پوش های مختلف به صورت نمودار میله ای و نتایج آزمون مقایسه ای میانگین دانکن بیان می شود.

- مقاومت فشاری

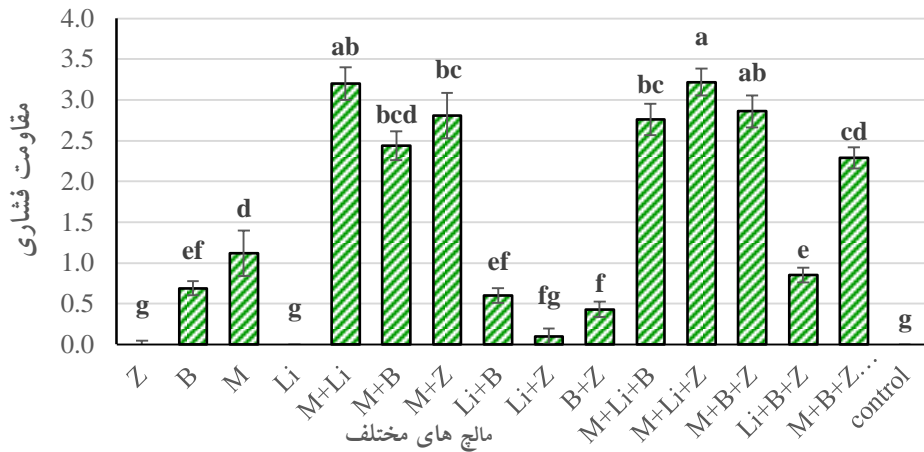
نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش فروسنج دستی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، بین خاک پوش های مورد مطالعه از نظر میزان مقاومت فروری تفاوت معنی داری وجود دارد ($p < 0/05$). همان گونه که در این شکل مشاهده می شود، ترکیب ۱۲ (ملاس + لیگنوسولوز + زئولیت) دارای بیشترین مقاومت فشاری می باشد. مقدار آن ۳/۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد که نسبت به ترکیب ۱ (زئولیت)، ۴ (لیگنوسولوز) و نمونه شاهد که برابر صفر می باشد دارای اختلاف معنی داری ($p < 0/05$) می باشد. چنین استنباط می شود که ترکیب ملاس و لیگنوسولوز به دلیل ایجاد لایه ای مقاوم در سطح و همچنین نفوذ به درون ماسه باعث بالا رفتن مقاومت فشاری در خاک پوش می شود.

- اندازه گیری سله های تشکیل شده در سطح خاک تیمارها

در اثر خاک پوش در سطح خاک یک لایه به هم چسبیده یا سله در سطح خاک به وجود می آید. ضخامت لایه تشکیل شده بر سطح خاک، در ۵ نقطه از تیمارهای مورد آزمایش به وسیله کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. ذکر این نکته الزامی است که، قبل از اندازه گیری ضخامت سله ها، ماسه های سست چسبیده به زیر لایه از طریق سایش از لایه سطحی جدا شد. سپس ضخامت سله واقعی در سطح اندازه گیری شد (۱۰).

- تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش های این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها ابتدا آزمون تجزیه واریانس به منظور بررسی وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها، انجام شد. سپس نرمال بودن داده ها با کمک آزمون کولموگراف - اسمیرنوف بررسی گردید. در نهایت، نتایج تغییرات نمونه های آزمایشی با استفاده از نرم افزار آماری SPSS20 بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج داده های تجربی مربوط به مقاومت فشاری، برشی، سایشی، ضخامت و ضربه ای به نرم افزار Design-Expert وارد شده و آنالیز هر یک از عامل ها صورت گرفت.



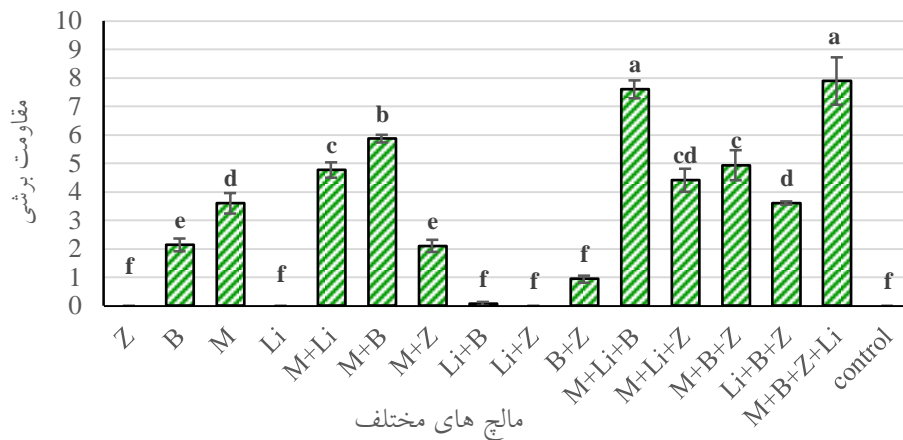
شکل ۲- نمودار مقایسه میانگین مقاومت فشاری در تیمارهای مختلف

Figure 2. Comparison diagram of average compressive strength in different treatments

دارای بیش‌ترین مقاومت برشی می‌باشند، ترکیب ۱۵ و ۱۱ به ترتیب با مقادیر ۷/۹ و ۷/۶ نیوتن بر سانتی‌مترمربع اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها دارند. ترکیب‌های ۹، ۴ و ۱ برابر صفر و تقریباً مشابه نمونه شاهد می‌باشند.

- مقاومت برشی

نتایج مقاومت برشی تیمارهای مختلف در شکل ۳ مورد مقایسه قرار گرفت. نمودار میله‌ای مقاومت برشی بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهد ترکیب ۱۵ (لیگنوسلولز + بنتونیت + زئولیت + ماس) و ۱۱ (ماس + لیگنوسلولز + بنتونیت)



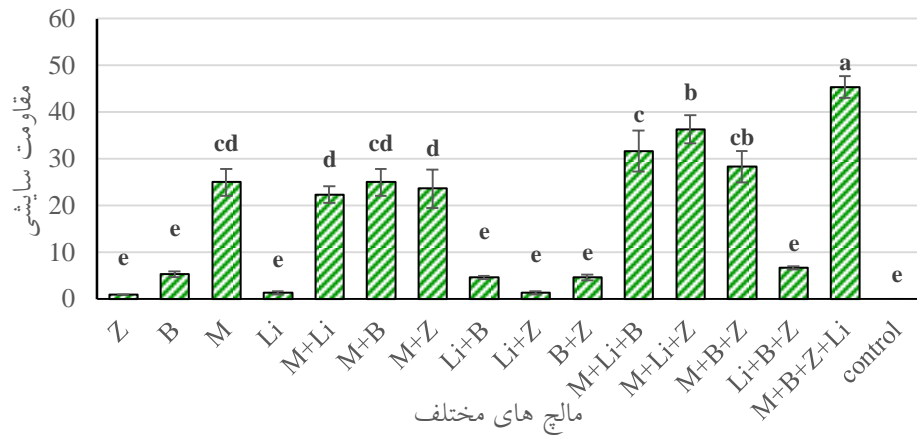
شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین مقاومت برشی در تیمارهای مختلف

Figure 3. Comparison of the average shear strength in different treatments

سایشی دارای طبقه یک می‌باشد. ترکیب‌های ۱۴، ۲، ۸، ۱۰، ۹، ۴ و ۱ دارای کم‌ترین مقاومت سایشی می‌باشند که نمونه‌های ۱۴، ۲، ۸ و ۱۰ با مقادیر ۵ تا ۱۵ بار طبقه ۰/۵ را به خود اختصاص می‌دهند و نمونه‌های ۹، ۴ و ۱ نزدیک به نمونه شاهد و دارای طبقه صفر می‌باشند.

- مقاومت سایشی

نتایج مربوط به مقاومت سایشی در شکل ۴ برای خاک‌پوش‌های مختلف نشان داده شده است. ترکیب ۱۵ (لیگنوسلولز + بنتونیت + زئولیت + ماس) دارای بیش‌ترین مقاومت سایشی است که با توجه به طبقه‌بندی مقاومت



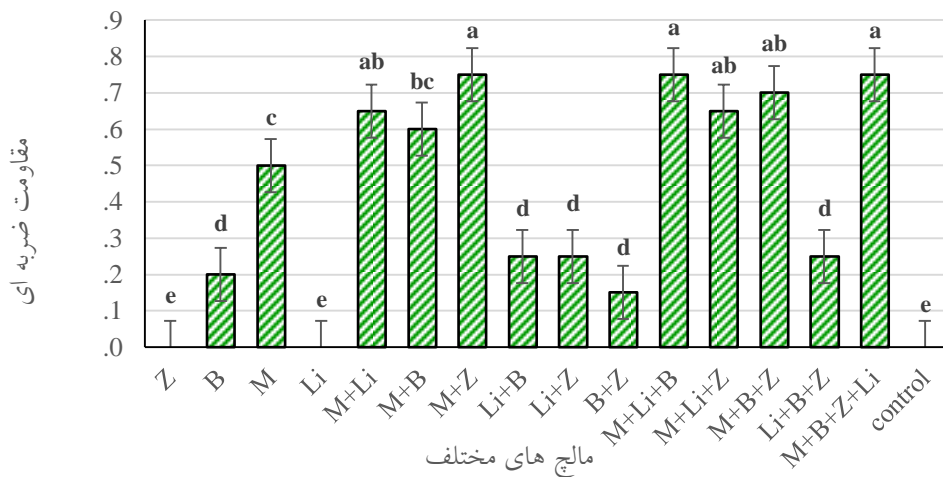
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین مقاومت سایشی در تیمارهای مختلف

Figure 4. Comparison of the average abrasion resistance in different treatments

ضربه‌ای نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشند. با توجه به مقدار ۰/۸ ضربه‌ای، در طبقه ۰/۵ قرار می‌گیرند. ترکیب ۱ و ۴ نیز کم‌ترین مقاومت ضربه‌ای را دارند و مشابه نمونه شاهد در طبقه صفر قرار می‌گیرند.

مقاومت ضربه‌ای

مقاومت ضربه‌ای در تیمارهای مختلف به صورت نمودار میله‌ای در شکل ۵ نمایش داده شده است. ترکیب ۷ (ملاس + لیگنوسولوز + بنتونیت + زئولیت + ملاس) و ۱۱ (ملاس + لیگنوسولوز + بنتونیت) دارای بیش‌ترین مقاومت



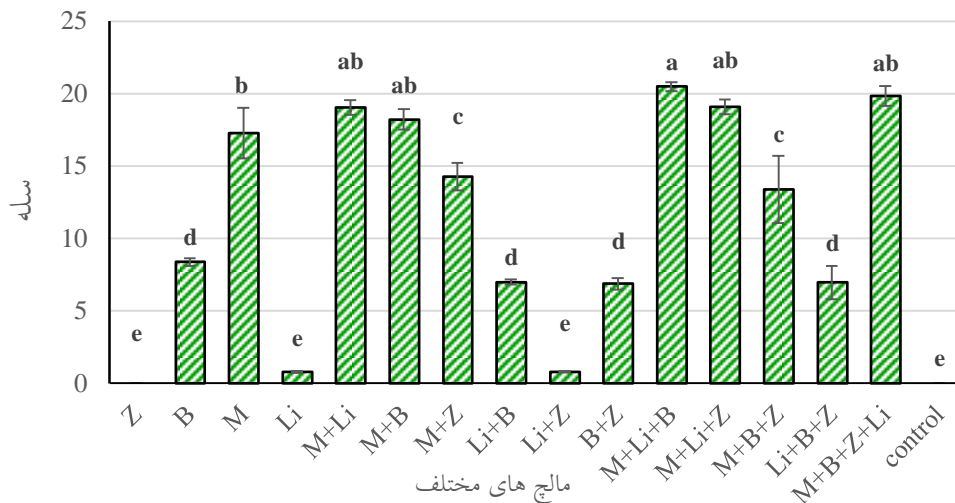
شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین مقاومت ضربه‌ای در تیمارهای مختلف

Figure 5. Comparison of the average impact resistance in different treatments

سایر نمونه‌های خاک‌پوش دارد و اندازه سله بالاتری را در بر می‌گیرد. ترکیب‌های ۹، ۴ و ۱ دارای کم‌ترین ضخامت سله می‌باشد و تقریباً عملکردی مشابه نمونه شاهد را دارند.

سله

نتایج حاصل از اندازه‌گیری اندازه سله به‌وسیله کولیس در شکل ۶ ارائه شده است. ترکیب ۱۱ (ملاس + لیگنوسولوز + بنتونیت) با مقداری برابر با ۲۰ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری با



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین سله در تیمارهای مختلف

Figure 6. Comparison of crack average in different treatments

است. R^2 کیفیت برازش داده‌های تجربی با مدل را مشخص می‌کند و بهترین مقدار آن ۱ می‌باشد (۴). صحت کافی^۱، بیانی از سیگنال به خطاست که باید مقدار آن از ۴ بیش‌تر باشد. که در این مدل مقادیر ۱۳/۷، ۱۸/۶، ۹/۸۲، ۸ و ۱۴ بیانگر صحت کافی است.

نتایج داده‌های تجربی مربوط به مقاومت فشاری، برشی، سایشی، ضخامت و ضربه‌ای به نرم‌افزار Design-Expert وارد شده و آنالیز هر یک از عامل‌ها صورت گرفت. سپس در بخش مدل‌سازی، با توجه به سازگاری داده‌ها بهترین مدل برای شاخص‌ها که از نوع مدل خطی^۱ انتخاب شده است. نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) در جدول ۴ آورده شده

جدول ۴- پارامترهای آنالیز آماری برای مدل‌های انتخاب شده

Table 4. Statistical analysis parameters for selected models

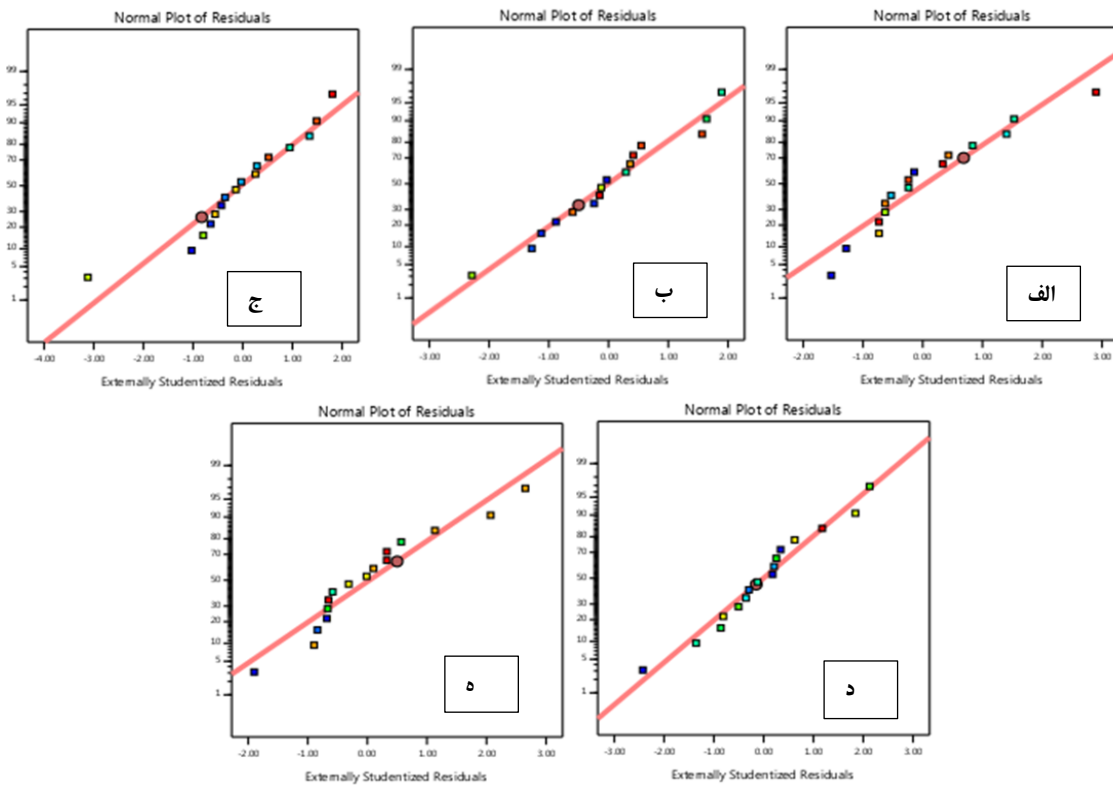
	Sum of Squares	Df	Mean of Square	F-value	p-value	R^2	R^2_{adj}	R^2_{prd}	Adeq Precision
ویژگی‌های مورد بررسی									
مقاومت فشاری	۲۳/۸	۴	۵/۹۵	۳۷/۱	<۰.۰۰۰۱	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸۵	۱۳/۷
مقاومت ضربه‌ای	۱/۲۲	۴	۰/۳	۵۳/۲۵	<۰.۰۰۰۱	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۸۹	۱۸/۶
مقاومت برشی	۴۰/۹	۴	۱۰/۲	۱۰/۳	<۰.۰۰۱	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۵۵	۹/۸۲
مقاومت سایشی	۱/۳۳	۴	۰/۳۳	۶/۸	۰/۰۰۵۲	۰/۷۱	۰/۶	۰/۳۹	۸
ضخامت سله	۹۰/۱/۵	۴	۲۲۵/۴	۳۲/۱	<۰.۰۰۰۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۳	۱۴

است. هرچه این پارامترها و یا برهم‌کنش‌ها به خط مبنا نزدیک‌تر باشند اثر آن‌ها بر روی فرآیند کم‌تر و هر چه فاصله از آن بیش‌تر، اثر آن‌ها بیش‌تر می‌شود. توزیع آن‌ها حول خط مبنا باید به صورت تصادفی بوده و از الگوی خاصی پیروی نکند. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است داده‌ها دارای جمعیتی نرمال می‌باشند.

مدل برازش شده و اعتبار سنجی

نمودار (Normal Plot)

از نمودار Normal Plot به منظور کفایت مدل و بررسی این موضوع که آیا داده‌ها از جمعیت نرمالی برخوردار است یا خیر استفاده می‌شوند (۴). همان‌طور که از ویژگی‌های مختلف در شکل ۷ مشخص است خطی به‌عنوان خط مبنا^۱ مشخص شده



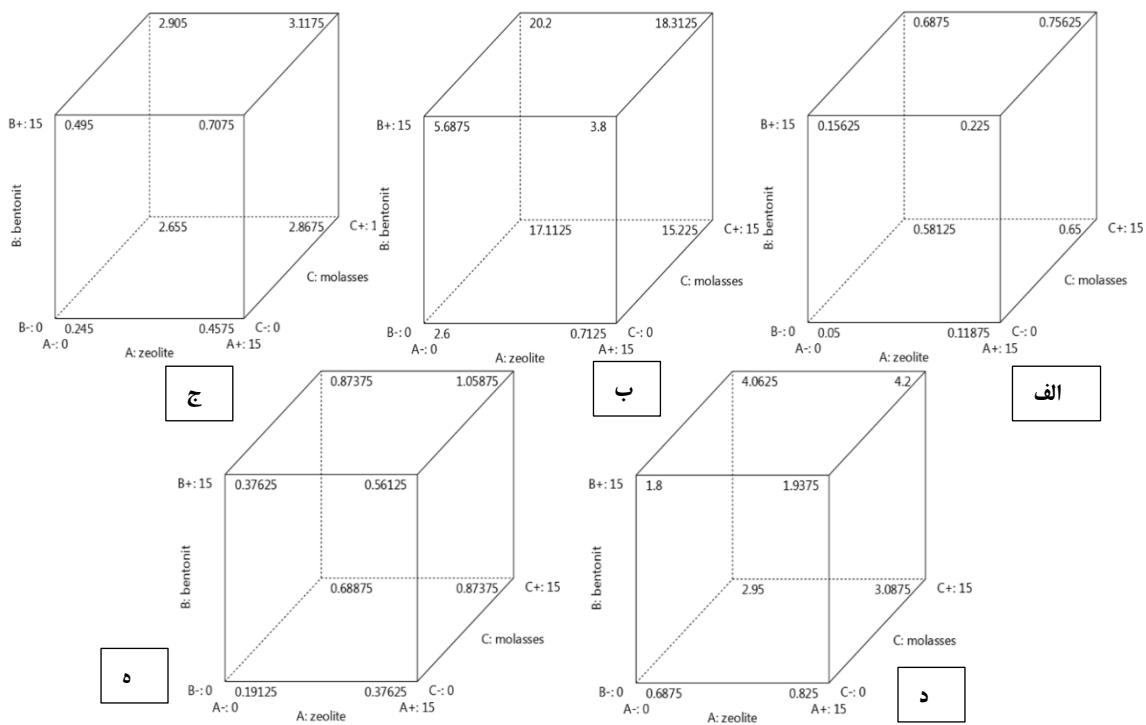
شکل ۷- نمودارهای Normal Plot کفایت مدل و نرمال بودن داده‌های الف) مقاومت ضربه‌ای، ب) ضخامت سله، ج) مقاومت فشاری، د) مقاومت برشی و ه) مقاومت سایشی

Figure 7. Normal Plot diagrams Model adequacy and data normality: a) Impact resistance, b) Thickness, c) penetration resistance, d) Shear strength and e) Abrasion Resistance

نمودار وجود ندارد و مقدار آن را در خارج از نمودار می‌توان تغییر داد و با توجه به تغییر آن مقادیر پاسخ‌ها در نمودار تغییر می‌کند در واقع افزایش و یا کاهش مقدار لیگنوسلولز با مقادیر موجود در نمودار رابطه مستقیم دارد. در نمودارهای موجود برای هر پاسخ که در شکل ۸ نشان داده شده است مقادیر لیگنوسلولز برابر با ۷/۵ گرم در نظر گرفته شده است.

نمودار مدل مکعبی

آنچه در نمودارهای شکل ۷ آمده است به صورت مکعبی می‌باشد که هر بعد آن ویژگی (مقاومت فشاری، برشی، سایشی، سله و مقاومت به ضربه) را نشان می‌دهد که ابتدا و انتهای هر بعدی دارای حداقل و حداکثر مقدار آن ویژگی می‌باشد. در این آزمایشات ۴ عامل زئولیت، بنتونیت، ماس و لیگنوسلولز موجود است که لیگنوسلولز برای همه پاسخ‌ها در



شکل ۸- نمودارهای مدل مکعبی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده: الف) مقاومت ضربه‌ای، ب) ضخامت سله، ج) مقاومت فشاری، د) مقاومت برشی و ه) مقاومت سایشی

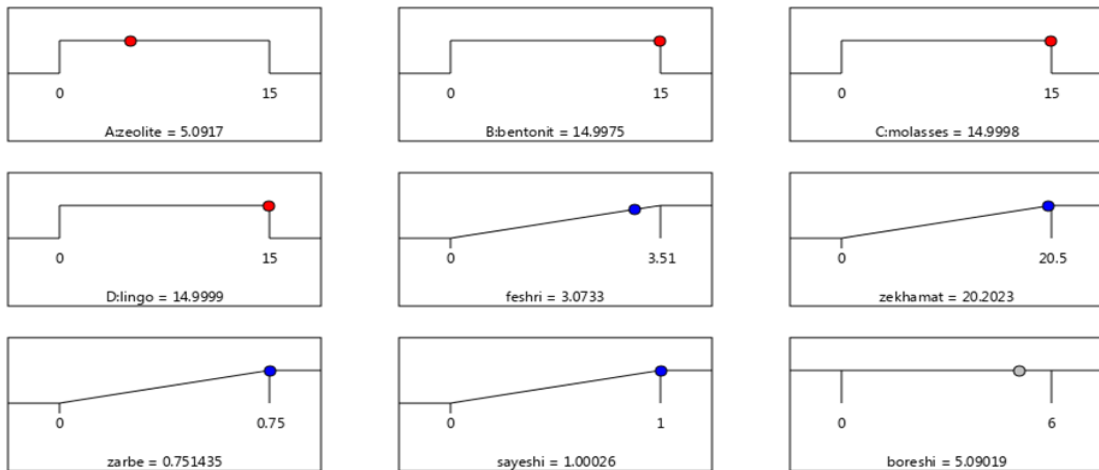
Figure 8. Cubic model diagrams of measured properties: a) Impact resistance, b) Thickness, c) penetration resistance, d) Shear strength and e) Abrasion Resistance

مقاومت برشی پاسخ‌ها همانند پاسخ‌های مقاومت سایشی بوده و ژئولیت در این فرآیند تأثیرگذار است.

– بهینه‌سازی عددی ترکیب خاک‌پوش

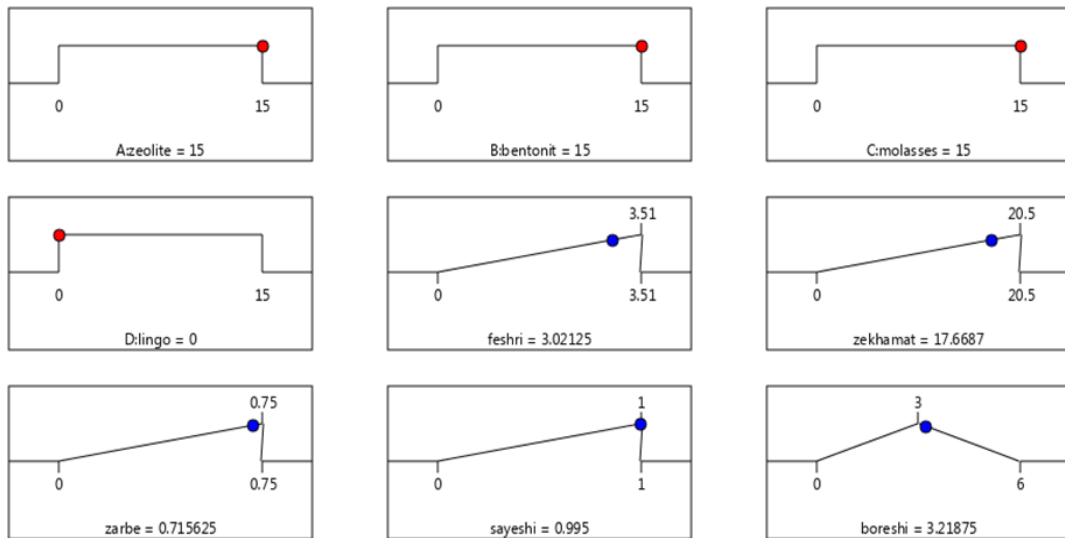
پس از ایجاد مدل رگرسیون بین متغیرهای طراحی مخلوط و پاسخ، به‌منظور بهینه‌سازی تابع هدف تمام متغیرها، هم‌زمان و به‌طور مستقل تغییر می‌یابند و جواب بهینه برای هر یک از پاسخ‌ها به‌گونه‌ای است که ملزومات هر کدام از معیارها را برآورده می‌کند. بهینه‌سازی با استفاده از توابع مطلوبیت می‌تواند برای پیدا کردن طرح بهینه استفاده شود. برای رسیدن به بهترین جواب بایستی محدوده‌ای برای هر یک از عامل‌ها مشخص کرد تا بتوان با تطابق قابل قبولی بین عامل‌ها به خاک‌پوشی رسید که بتواند در مقابل تخریب پذیری مقاومت مطلوبی داشته باشد. در یک شکل برای تمام عامل‌ها پاسخ‌های حداکثر و برای شکل دیگر تمام پاسخ‌ها در حالت میانه (جهت توجیه اقتصادی) در نظر گرفته می‌شود. شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب شکل یک و دو و جواب آن‌ها را نشان می‌دهد.

در نمودارهای مدل مکعبی برای مقاومت فشاری و ضربه‌ای همان‌طور که از نمودار آن مشخص است با افزایش مقادیر هر یک از عامل‌ها در نمودار، به سمت مقاومت فشاری و ضربه‌ای بالاتر می‌رود و هرچه مقدار لیگنوسلولز بالاتر می‌رود مقاومت نیز افزایش پیدا می‌کند به عبارتی در بهترین حالت در بالاترین مقادیر عامل‌ها و حضور هر چهار عامل، مقاومت فشاری بالایی به وجود خواهد آمد و نسبت به ضربه مقاومت‌تر خواهد شد. ملاس تغییرات شدیدی در این دو پاسخ ایجاد می‌کند. در مورد ضخامت سله، بنتونیت و ملاس تأثیر بالایی در آن دارد و در مقادیر بالای بنتونیت و ملاس و حداقل ژئولیت، بالاترین ضخامت سله ایجاد می‌شود و هرچه مقادیر ملاس و بنتونیت کم شود ضخامت سله کم می‌شود. در مورد مقاومت سایشی بالاترین مقادیر در حداکثر مقادیر هر چهار عامل به وجود می‌آید و در فرم کلی نتایج خوب و قابلی برای بیش‌تر پاسخ‌ها موجود بوده است و تنها در حداقل مقدار ژئولیت، مقادیر مقاومت سایشی به‌شدت کاهش می‌یابد. در



Desirability = 0.964
Solution 1 out of 100

شکل ۹- شکل یک طرح بهینه‌سازی ترکیب خاک پوش
Total 9. A Form of mulch composition optimization plan



Desirability = 0.918
Solution 1 out of 100

شکل ۱۰- شکل یک طرح بهینه‌سازی ترکیب خاک پوش
Total 10. A Form of mulch composition optimization plan

مناطق می‌باشد. تاکنون خاک‌پوش‌های نفتی یکی از مناسب‌ترین راه‌حل‌ها بوده است که با توجه به مسائل محیط‌زیستی و تغییراتی که در هزینه تهیه و دسترسی به این نوع خاک‌پوش در سال‌های اخیر با آن مواجه بوده‌ایم نیاز به استفاده از خاک‌پوش‌های کم‌خطرتر و با منشأ طبیعی و دسترسی آسان‌تر و صرفه اقتصادی بسیار مهم است.

از مهم‌ترین معضلاتی که در مناطق بیابانی وجود دارد فرسایش بادی و وقوع ریزگردها می‌باشد که سهم بسزایی در کاهش کیفیت زندگی مردم و آسیب به تأسیسات و مناطق مسکونی دارد. کنترل و کاهش اثر این عوامل امری ضروری است. اگرچه استقرار بیولوژیکی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از گونه‌های گیاهی یکی از روش‌های ثابت در این زمینه است اما نیاز به تثبیت ابتدایی توسط انواع روش‌های موجود در این

لایه‌های تقویت شده می‌باشد. رس بنتونیت یکی از مواد معدنی قابل دسترس می‌باشد که به دلیل ایجاد شرایط مناسب در خاکدانه و مقاومت برشی سطح ماسه بادی گزینه مناسبی برای استفاده در خاک‌پوش‌ها می‌باشد و با نتایج ایوبی و همکاران (۳) مطابقت دارد. ترکیبات معدنی در تثبیت خاک نقش زیادی دارد که زئولیت یکی از مواد مورد استفاده در این ترکیبات سیمانی می‌باشد. بررسی نتایج نشان داده است که افزایش مقدار زئولیت باعث افزایش مقاومت برشی شده است و با نتایج عباسی و همکاران (۱) که نشان دادند افزایش مقدار زئولیت تا ۵۰ درصد ترکیبات سیمانی باعث افزایش ۶۲ درصدی مقاومت برشی در سطح خاک می‌شود مطابقت دارد. علاوه بر این زئولیت خاصیت بالایی در جذب آب نیز دارد در نتیجه باعث بهبود و اصلاح خاک و جلوگیری از انتشار آلودگی‌های محیط‌زیستی در اراضی طبیعی می‌شود که با نتایج باقری و همکاران (۵) هم‌خوانی دارد. از طرفی دستیابی به ترکیب بهینه از این ۴ ماده موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه و تولید خاک‌پوش‌ی مناسب و باصرفه می‌شود. بررسی انجام شده در حالت حداکثر برای پاسخ‌ها (مقاومت‌های فشاری، ضربه‌ای، سایشی، برشی و ضخامت سله) نشان می‌دهد. در حالت حداکثر و میانه مقدار بنتونیت و ماسه با یکدیگر برابر (۱۵ گرم) می‌باشند و در مقدار زئولیت لیگنوسولوز با یکدیگر تفاوت دارند، به طوری که مقدار زئولیت و لیگنوسولوز در حالت حداکثر ۵ و ۱۵ گرم و در حالت میانه ۱۵ و صفر گرم می‌باشند. هر کدام از مواد به‌تنهایی پاسخ‌های مختلفی را در برابر مقاومت‌های مختلف نشان می‌دهد اما آنچه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ترکیب این مواد با یکدیگر باعث بهبود شاخص‌های پایداری خاک شده است. مواد به کار رفته در مقادیر مختلف موجب بروز پاسخ‌های متنوع می‌شود که با توجه به بهینه‌سازی صورت گرفته، مناسب‌ترین مقادیر هر ماده در ترکیب خاک‌پوش شده است.

زئولیت، بنتونیت، لیگنوسولوز و ماسه موادی با منشأ طبیعی می‌باشند که دسترسی به آن‌ها به سهولت امکان‌پذیر است و از قیمت مناسبی در بازار برخوردار می‌باشند. با توجه به نتایج تحقیق وجود مواد زئولیت، لیگنوسولوز و ماسه به‌صورت ترکیب در هر خاک‌پوش اختلاف معنی‌داری از نظر عامل‌های مقاومت فشاری، برشی، ضربه‌ای، سایشی و تشکیل سله با سایر خاک‌پوش‌ها و نمونه شاهد دارند.

با توجه به خواص شیمیایی و چسبندگی بالایی که ماسه دارد استفاده از آن در خاک‌پوش‌ها موجب بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی ماسه و افزایش چسبندگی ذرات به هم می‌شود و با نتایج ممبئی و همکاران (۲۰) که نشان دادند ماسه شرایط مناسبی را از نظر مقاومت برشی و فشاری در انواع خاک‌پوش‌ها ایجاد می‌کند و با توجه به اهمیت نفوذپذیری آب در مناطق بیابانی بر نفوذپذیری آب تأثیر منفی نمی‌گذارد هم‌خوانی دارد. همچنین نتایج کیانی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که مقدار کربنات کلسیم معادل و مقاومت فروروی سطح خاک در تیمارهای سیمانی شده با روش زیستی نسبت به تیمارهای شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داشت که این امر نشان‌دهنده تشکیل یک‌لایه مقاوم سطحی بر روی نمونه‌های سیمانی شده است. لیو و همکاران (۱۸)، والاس و همکاران (۲۸) و آتز (۲) نیز نشان دادند که مواد پلیمری بر پایداری و چسبندگی خاکدانه‌ها مؤثر بوده و باعث افزایش مقاومت فروروی گردید. لیگنوسولوز نیز ماده‌ای است که از ضایعات نیشکر (باگاس) تهیه و موجب تولید الیاف گوناگونی می‌شود. لیگنوسولوز تأثیر بالایی در قابلیت جذب آب دارد (۱۶) که با توجه به اهمیت حفظ رطوبت و استقرار پوشش گیاهی در مناطق بیابانی موجب افزایش کارایی خاک‌پوش می‌شود. از طرفی شولگا و بیکرز (۲۵) نیز نشان دادند که تثبیت‌کننده بر پایه لیگنین قادر به جمع‌آوری خاک‌های غیر ساختاری و چسبانیدن سطح آن با تشکیل

منابع

1. Abbasi, M., A. Shush Pasha and H. Molla Abbasi. 2017. Investigation of the effect of zeolite on tensile strength of Babolsar sandy soil stabilized with cement, *Civil Engineering, Sharif*, 32-2 (1/1): 117-120 (In Persian).
2. Ateş, A. 2013. The effect of polymer-cement stabilization on the unconfined compressive strength of liquefiable soils. *International Journal of Polymer Science*. doi.org/10.1155/2013/356214.
3. Ayoubi, Sh., Z. Faizi, M. Mossadeghi and A. Basalatpour. 2018. Investigation of the effect of biochar, bentonite clay and polyvinyl acetate soils on some physical and mechanical properties of sedimentary sediments. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 41(2): 83-97 (In Persian).
4. Azimi, Y., S. Zare, S. Heshmati and C. Badaq Jamali. 2018. Fabrication of cement-slag mulch using mixed test design method for stabilization of quicksand. *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 71(3): 715-735 (In Persian).
5. Bagheri, F., A. Salehi, A. Hassani and M. Gholam Hosseini. 2008. Application of zeolite in agriculture, *International Conference on Iranian Geolite*. Tehran, Amirkabir University of Technology (In Persian).
6. Coppinger, K.D., W.A. Reiners, I.C. Burke and R.K. Olson. 1991. Net erosion on a sagebrush steppe landscape as determined by cesium 137 distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 254-258.
7. Diouf, B., E.L. Skidmore, J.B. Layton and L. J Hagen. 1990. Stabilizing fine sand by adding clay: Laboratory wind tunnel study. *Soil Technology*, 3: 21-23.

8. Dong, Z., L. Wang and S. Zhao. 2008. A potential compound for sand fixation synthesized from the effluent of pulp and paper mills. *Journal of Arid Environments*, 72: 1388-1393. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.02.008.
9. Duzali Joshin, F., K. Bedo and M. Brin. 2019. Evaluation of the efficiency of calcium micro bicarbonate deposition process in the surface resistance of wind sand in Jabal Kennedy region, *Journal of Water and Soil Resources Protection*, 9(2): 141-153 (In Persian).
10. Ekhtesasi, M.R. and F.A. Hazirei. 2015. Investigation of the effect of cement mulch on stabilization of quicksand, rangeland and watershed management. *Iranian Journal of Natural Resources*, 68 (4): 735-750 (In Persian).
11. Haziraei, F. and Zare Arnani. 2013. Investigation of the effect of clay-calcareous mulch on the stabilization of quicksands, *Journal of Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 27(2): 373-380 (In Persian).
12. Herrick J.E. and T.L. Jones. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society American Journal*, 66: 1320-1324, https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1320.
13. Jamili, T., B. Khalili Moghadam and A. Shahbazi. 2015. Investigation of water holding capacity of sugarcane mulches for stabilization of flowing sands in Ahvaz, *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 29(5): 1278-1287 (In Persian).
14. Karami Khaniki, A. 2009. Criteria, standards and technical criteria for the use of oil mulch. *Forests, Rangelands and Watershed Management Organization-Watershed Management Deputy*. Pooneh Publications, 169 pp (In Persian).
15. Khalili Moghadam, B., M. Afioni, A. Jalalian, K. Abbaspour and A.A. Dehghani. 2011. Estimation of soil shear strength using transfer functions and soil spatial prediction functions. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 25(1): 187-195 (In Persian).
16. Kheziri, A., H. Zaki Dizaji and M.R. Fathi Emadabadi. 2018. Extraction of cellulose from agricultural waste (date palms), 2nd International Congress and 25th National Congress of Food Science and Technology of Iran, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iranian Food Science and Industry Association, Sari, Iran (In Persian).
17. Kiani, F., F. Khormali, S. Rajabi Agre, K. Khavazi and H. Rohipour. 2019. Evaluation of the efficiency of bioremediators in controlling soil wind erosion. *Iranian Range and Desert Research*. 26 (4): 531-540 (In Persian).
18. Liu, J., B. Shi, H. Huang and H. Jiang. 2009. Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. *Catena*, 77: 175-179. doi.org/10.1016/j.catena.2008.12.016.
19. Maleki Kakler, M., S. Ebrahimi, F. Asadzadeh and M. Emami Tabrizi. 2016. Evaluation of microbial carbonate deposition efficiency for stabilization of quicksand. *Iranian Soil and Water Research*, 47 (2): 407-415 (In Persian).
20. Mombeni, M., H.R. Asgari, A. Mohammadian Behbahani, S. Zare and H. Yousefi. 2019. Investigation of mechanical behavior of windy sand under the influence of molasses and black liquor coverings. *Rangeland and watershed management, Iranian Journal of Natural Resources*, 72(4): 1061-1073 (In Persian).
21. Movahedan, M., N. Abbasi and M. Keramati-Targhi. 2013. Laboratory study of the effect of polyvinyl acetate on wind erosion of different soils against wind, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 20(1): 55-76 (In Persian).
22. Naghizade Asl, F., H.R. Asgari, H. Emami and M. Jafari. 2019. Combined effect of micro silica with clay, and gypsum as mulches on shear strength and wind erosion rate of sands. *International Soil and Water Conservation Research*, 1-7 (In Persian).
23. Noor Alivand, F. and A. Farrokhian Firoozi. 2020. Investigation of modified biochar, nanoclay and polyvinyl acetate on soil stabilization and wind erosion control of sandy and loamy soils. *Iranian Soil and Water Research*, 51(4): 935-923 (In Persian).
24. Shi, Y. and Z.M. Shi. 2020. Dataset of wind blow sand erosion test on ultrasonic surface treated cementitious composites. *Data in Brief*, 31, 105943. doi.org/10.1016/j.dib.2020.105943.
25. Shulga, G. and T. Betkers. 2011. Lignin-based dust suppressant and its effect on the properties of light soil. In *Proceedings of the 8th International Conference, Environmental Engineering*, 19-20.
26. Skidmore, E.L. 2000. Air, soil and water quality as influenced by wind erosion and strategies for mitigation. *Second International Symposium of New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications Proceedings*, Tekirdag, Turkey.
27. Song, Z., J. Liu, Y. Bai, J. Wei, D. Li, Q. Wang, Zh. Chen, D.P. Kanungo and W. Qian. 2019. Laboratory and Field Experiments on the Effect of Vinyl Acetate Polymer-Reinforced Soil. *Applied Sciences*, 9(1): 208.
28. Wallace, A., G.A. Wallace and A.M. Abouzamzam. 1986. Amelioration of sodic soils with polymers. *Soil Science*, 141: 321-323.

29. Wang, H.J., J. Li, X.Z. Lu and Y.C. Jin. 2005. A field experimental study of lignin sand stabilizing material (LSSM) extracted from spent-liquor of straw pulping paper mills. *Journal of Environmental Sciences*, 17(4): 650-654.
30. Zare Arnani, M., M.R. Ekhtesasi and F.S. Hazirei. 2013. Investigation of the effect of cement mulch on stabilization of quicksand. 3rd National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd, Scientific Association for Management and Control of Desert Areas of Iran, Yazd, Iran (In Persian).
31. Zare, S. 2015. Investigation of the efficiency of resin, mineral, polymer and biopolymer mulches for stabilization of sand dunes and feasibility of their replacement with oil mulch, Ph.D. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran, 480 pp (In Persian).
32. Zhang, T., Y.L. Yang and S.Y. Liu. 2020. Application of biomass by-product lignin stabilized soils as sustainable Geomaterials: A review. *Science of the Total Environment*, 138830.

Effect of Different Mulches on Some Physical and Mechanical Properties of Aeolian Soil

Salman Zare¹, Jalal Mohammadi², Maryam Mombeni³, Roham Shokouhi⁴ and Ghasem Ghouhestani⁵

1- Assistant Professor, Department of Dry and Mountainous Rehabilitation, University of Tehran,
(Corresponding author: zaresalman@ut.ac.ir)

2- M.Sc. Student of Environmental Civil Engineering, Karaj Faculty of Environment

3- PhD Graduate of Combat Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- M.Sc. Student of Environmental Civil Engineering, Karaj Faculty of Environment

5- M.Sc. Student of Desert Management and Control, University of Tehran

Received: October 6, 2020

Accepted: November 17, 2020

Abstract

The use of environmentally friendly mulch is one of the methods used to reduce wind erosion and stabilize the sand. To prepare the bed for the treatments in the laboratory, windy sand of the Kashan desert was used. For experiments, metal trays with dimensions of $2 \times 30 \times 100$ cm and for spraying bentonite clay, zeolite, molasses, and lignocellulose treatments were used. Complete randomized examinations were performed. Finally, based on the experimental results and after creating a regression model between the mixed design variables and the response, the optimal value of each mulch in the Design of Expert software was obtained. According to the obtained results, the presence of zeolite, lignocellulose, and molasses as a combination in each mulch creates a significant difference in terms of compressive, shear, impact, abrasion and ridge formation characteristics with other mulches and control samples. The study performed in the maximum and medium state showed that the amount of bentonite and molasses are equal to each other (15 g) and differ in the amount of zeolite and lignocellulose, so that the amount of zeolite and lignocellulose in the maximum state is 5 and 15 g. And in the middle state are 15 and 0 grams. Each material alone shows different responses to different resistances, but what the results of this study show us that the combination of these materials together has improved soil stability indices. So that the amount of compressive strength is 3.2 kg/cm^2 , the shear strength is 7.9 N/cm^2 , the impact is 0.8, the wear is 45 and the thickness is 20 mm. Increased compared to the control sample.

Keywords: Abrasion resistance, Impact resistance, Mineral mulch, Penetration resistance, Shear strength, Thickness