



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی شیراز

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## تعیین مقاومت برخی مالچ‌های تثبیت‌کننده خاک

محمدامیر کوپائی نیا<sup>۱</sup> و \*سیدفخرالدین افزلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز،

<sup>۲</sup>استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** استفاده از مالچ یکی از رایج‌ترین روش‌های تثبیت خاک جهت جلوگیری از فرسایش بادی و کنترل ریزگردها عنوان شده است. به کار بردن برخی مالچ‌ها اقتصادی نیست، بنابراین استفاده از پسماندهای صنعتی ارزان‌قیمت و ایمن، در ترکیب مالچ‌ها از نظر اقتصادی و همچنین زیست‌محیطی (بازیافت پسماند) مطرح شده است. بنابراین از اهداف این پژوهش استفاده از دو نوع پسماند صنعتی جهت تهیه مالچ بوده است. با توجه به این‌که روش پروکتور جهت آزمون و مقایسه مقاومت مالچ‌ها در نظر گرفته شد، بنابراین هدف دیگر این پژوهش ساده‌سازی روش پروکتور جهت برآورد مقاومت مالچ‌های تثبیت‌کننده خاک تحت تأثیر فرسایش بادی بود.

**مواد و روش‌ها:** با استفاده از نتایج پژوهش‌های قبلی و پیش‌تیمارها تعدادی مالچ مورد آزمون قرار گرفتند. این مالچ‌ها غیرزنده بوده و از ترکیب درصد‌های مختلف از پودر سنگ، لجن کنورتور، خاک رسی و خاک شنی ساخته شدند. دستگاه اینسترون، جهت سنجش مقاومت فشاری مالچ استفاده شد. با توجه به استفاده از روش پروکتور جهت کار با دستگاه اینسترون، ساده‌سازی این روش نیز انجام شد. این دو روش به نام‌های "پروکتور" و "پروکتور ساده" نامیده شدند و نتایج این دو روش به‌عنوان معیار استفاده از روش ساده مقایسه شدند. تیمارها شامل ۵ نوع مالچ و سه تکرار بوده که مقاومت فشاری آن‌ها با دو روش "پروکتور" و "پروکتور ساده" اندازه‌گیری و در قالب طرح فاکتوریل تصادفی مورد مقایسه قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** کاهش درصد رس از ۸۰ به ۵۰ درصد و افزایش درصد شن از ۲۰ به ۵۰ درصد در تیمارهای حاوی رس و ماسه در هر دو روش، موجب کاهش مقاومت فشاری مالچ‌ها شد. افزایش درصد پودر سنگ از ۵ تا ۲۵ درصد و به‌طور هم‌زمان کاهش درصد رس از ۸۵ تا ۶۵ درصد به همراه درصد ثابت لجن کنورتور، موجب کاهش مقاومت فشاری با روش پروکتور ساده شده است. اختلاف نتایج بین دو روش پروکتور و ساده معنی‌دار نبود، ولی روش پروکتور ساده نظم مشخصی را در نتایج نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** کاهش مقاومت فشاری با کاهش درصد رس و افزایش درصد پودر سنگ در مقایسه تیمارهای حاوی رس و پودر سنگ طی روش پروکتور ساده مشاهده شد اما نتایج روش پروکتور فاقد نظم منطقی بود. مقایسه تیمارهای حاوی رس و ماسه نشان داد که در هر دو روش، با کاهش رس و افزایش ماسه از مقاومت فشاری کاسته شده است.

\* مسئول مکاتبه: [afzalif@shirazu.ac.ir](mailto:afzalif@shirazu.ac.ir)

نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری با استفاده از دستگاه اینسترون در دو روش پروکتور ساده و روش پروکتور مقایسه و مشخص گردید که این دو روش از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشته، هر چند تغییرات منظم نتایج روش پروکتور ساده مشاهده شد. با توجه به ساده بودن و کاهش زمان در روش پروکتور ساده، این روش جهت مقایسه مالچ‌های مورد استفاده در فرسایش بادی توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش بادی، پودر سنگ، لجن کنورتور، مقاومت فشاری، پروکتور

### مقدمه

خاک‌های فرسایش‌پذیر و در معرض ایجاد ریزگرد در مناطق دارای فرسایش شدید، از نظر محتوای کربن بسیار ضعیف گزارش شده‌اند (۲، ۱۲). خاک‌های دارای بافت درشت فاقد مواد سیمانی‌کننده لازم (رس و سیلت) می‌باشند به همین دلیل مستعد فرسایش بادی هستند (۹). در خاک‌های بافت ریز که دارای مقدار رس زیاد هستند، کلوخه‌های تشکیل شده در اثر تغییرات حجم رس خرد می‌گردند، در صورتی که در خاک‌های با بافت متوسط نسبت مناسب عوامل سیمانی‌کننده رس و سیلت باعث تشکیل کلوخه‌های درشت و با ثبات شده و در نتیجه دارای کم‌ترین فرسایش‌پذیری گزارش شده‌اند (۸).

مطالعه احمدی و همکاران (۲۰۰۳) در منطقه بافق نشان داده که به‌منظور کنترل فرسایش بادی و جلوگیری از حرکت ماسه‌ها، همواره نمی‌توان از روش‌های بیولوژیکی به تنهایی استفاده نمود (۴)، بلکه تلفیقی از روش‌های بیولوژیکی و مکانیکی لازم بوده، به‌ویژه اگر در راستای کاهش هزینه‌ها استفاده از پسماند ارزان صنایع مدنظر قرار داده شود. از جمله این پسماندهای صنعتی بی‌خطر لجن کنورتور بوده، که کاربرد آن به‌عنوان کود آهن در برخی پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (۱). لجن کنورتور، از ضایعات کارخانه‌های فولادسازی بوده که در مرحله اکسایش چدن مذاب تشکیل می‌شود، به‌طوری‌که به‌ازای تولید هر تن فولاد، ۱۳ تا ۱۸ کیلوگرم لجن کنورتور به‌صورت پودر تولید می‌شود. تولید سالانه

پدیده فرسایش بادی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای زوال سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (۳) و تبعاتی مثل ریزگرد را در پی داشته است. فرسایش بادی هر ساله سبب تخریب حدود ۵۰۰ میلیون هکتار از اراضی، معادل ۴۶/۴ درصد از اراضی فرسایش یافته جهان می‌گردد (۲۲) و بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ مگا تن گرد و خاک تولید می‌نماید (۱۳، ۲۲، ۲۴). زمانی که سرعت باد از حد مشخصی بیش‌تر شود بسته به زبری سطوح، رطوبت خاک، اندازه ذرات، پوشش گیاهی و پستی و بلندی‌های زمین ذرات ریز وارد جریان اتمسفری شده و تولید گرد و غبار می‌نمایند (۲۶).

ضرورت کنترل ریزگردها در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته منجر به اجرای برنامه‌های متعدد جهت احیای دوباره پوشش گیاهی، حفاظت خاک و تثبیت تپه‌های شنی شده است. با توجه به بیابانی و نیمه‌بیابانی بودن حدود دو سوم از مساحت کشور ایران، شرایط برای به حرکت در آمدن ذرات خاک تحت‌تأثیر نیروی باد فراهم شده است (۳). استفاده از توزیع بهینه اندازه ذرات خاک خصوصیت ذاتی مهم آن در جلوگیری از فرسایش بادی بوده (۹) و خاکدانه‌سازی به‌منظور افزایش چسبندگی و همچنین افزایش وزن ذرات دو عامل مهم در کاهش حساسیت خاک به فرسایش بیان شده‌اند. کربن آلی عامل دیگر چسبندگی و خاکدانه‌سازی بوده و

۵ درصد و ۵ درصد هر یک از مواد گفته شده به ترتیب حاصل شد (۱۴). حضیئرئی و زارع‌ارنایی (۲۰۱۳) از مالچ‌های طبیعی با ترکیب رس و آهک به‌عنوان تثبیت‌کننده ماسه‌های روان استفاده نموده و تأثیر مثبت افزایش نسبت رس در افزایش شاخص مقاومت فشاری مشاهده شده است (۱۶). دیوف و همکاران (۱۹۹۰) برای پایداری خاک‌های فرسوده، جلوگیری از حرکت تپه‌های شنی و کاهش فرسایش بادی از رس استفاده نمودند. در این پژوهش که با استفاده از تونل باد انجام پذیرفت مقداری رس کائولینت و بنتونیت به خاک شنی اضافه شد. نتایج نشان داد که فرسایش به‌میزان زیادی کاهش یافت که این کاهش فرسایش با استفاده از رس بنتونیت چشمگیرتر بود (۱۱).

از آن‌جا که در بسیاری از صنایع، پسماند زیادی تولید شده که بدون استفاده و در نتیجه ارزان‌قیمت هستند، بنابراین لزوم پژوهش‌های بیشتر جهت کاربرد این مواد به‌عنوان مالچ احساس می‌شود. در اقدامی نوین مقاومت مالچ با استفاده از دستگاه اینسترون مورد ارزیابی قرار گرفته که این نتایج با تونل بادی مقایسه و مورد تأیید قرار گرفت (۱۴، ۱۸)، هر چند روش اینسترون حساسیت بیشتر و دقت بالاتری نشان داد (۱۸). نیاز به توسعه فن‌آوری‌های ارزان‌قیمت جهت تثبیت خاک‌های فرسایش‌پذیر و شن‌های روان احساس می‌شود. هدف از این پژوهش ارزیابی مقاومت ترکیبات جدید تهیه شده از مالچ‌های متشکل از خاک با درصد رس بالا، لجن کنورتور، پودر سنگ و شن بوده و علاوه بر آن با مقایسه روش‌های مختلف تهیه نمونه جهت سنجش با دستگاه اینسترون، آسان‌ترین روش ارزیابی مقاومت مالچ‌های تهیه شده مشخص گردد.

مقدار بسیار زیاد این ماده باعث بروز مشکلات مربوط به دفع این پسماند شده است (۱).

توسعه روزافزون صنایع سنگبری و استفاده گسترده از انواع سنگ‌های ساختمانی در امر ساخت و ساز منجر به افزایش تولید ضایعات و نخاله‌های حاصل از این صنایع گردیده است، به‌طوری‌که بر اساس آمار موجود، ۴۹۲۵ واحد صنعتی کوچک و بزرگ در زمینه بریدن، شکل دادن و تکمیل سنگ در ایران فعالیت می‌نمایند (۲۰). بر اساس گزارش منتشر شده از اتحادیه اروپا صنایع وابسته به ساختمان سالانه ۴۵۰ میلیون تن پسماند تولید نموده که بخشی از آن ناشی از صنایع سنگبری می‌باشد (۱۷). کاربرد پودر سنگ در سیمان از نظر فنی، زیست‌محیطی (به لحاظ بازیافت در ساختمان) و اقتصادی (به‌دلیل ارزان بودن) توصیه شده است. افزودن پودر سنگ به سیمان با افزایش مقاومت تا حد مشخصی توسط معیار مقاومت فشاری و XRD مورد تأیید قرار گرفته شده است (۱۰). اثرات مثبت پودر سنگ بر لزجت، خصوصیات رطوبتی، زمان خشک شدن و پایداری سیمان گزارش شده است (۲۵). بازیافت موفق پودر سنگ با نسبت‌های متفاوت مولی از اجزای تشکیل‌دهنده آهکی به سیلیسی در سیمان انجام شده است (۲۳).

رس نیز به‌عنوان ماده‌ای چسبنده و دارای خاصیت کلوئیدی که در افق‌های زیرسطحی اغلب مناطق بیابانی یافت می‌شود می‌تواند در ترکیب مالچ‌ها استفاده شود (۱۴، ۱۸). در پژوهشی که به‌وسیله مجدی و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد، مقاومت مالچ‌های رسی در برابر جریان باد نشان داده شد (۱۹). مالچ‌هایی مرکب از خاک با درصد رس بالا، لجن کنورتور و پودر سنگ مورد ارزیابی قرار داده شد (۱۴، ۱۸) که بهترین نتیجه در مخلوط ۹۰ درصد،

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش از مالچ‌هایی با ترکیب خاک شنی (ماسه بادی مناطق بیابانی)، پودر سنگ، لجن کنورتور و خاک رسی استفاده شد. نسبت بین هر یک از مواد بر اساس پیش‌تیمارهای متعدد و همچنین پژوهش‌های قبلی (۱۴، ۱۸) در جدول ۱ مشخص شده است. در آماده‌سازی نمونه‌های مالچ جهت آزمون با دستگاه اینسترون از روش پروکتور استفاده شد. به دلیل مراحل وقت‌گیر روش پروکتور و با در نظر گرفتن جنبه‌های علمی، روش پروکتور ساده‌سازی شده (۱۴) و آزمون‌های مقاومت فشاری با روش ساده که در این مقاله به نام "پروکتور ساده" نامیده شده است نیز انجام و نتایج با روش پروکتور مقایسه گردید.

لجن کنورتور از کارخانه ذوب‌آهن اصفهان و پودر سنگ از کارخانه‌های سنگبری‌های تهیه شدند. خاک رسی از منطقه باجگاه شیراز از افق B در عمق ۶۰

سانتی‌متری و همچنین خاک شنی با توجه به نقشه فرسایش خاک از منطقه دژگاه استان فارس که دارای فرسایش بادی شدید بوده، برداشت شده و در آزمایشگاه به روش هیدرومتر (۲۱) تعیین بافت گردیدند (جدول ۲).

جهت به حداقل رساندن خطای آزمایش، ناهمواری‌های سطحی نمونه‌ها که معمولاً پس از خشک شدن ایجاد می‌شوند با استفاده از سنباده صاف و یکنواخت گردید. همچنین پیش از قرار گرفتن نمونه‌ها در زیر دستگاه، برای یکسان شدن پستی و بلندی احتمالی، مقداری پودر سنگ به سطح بالایی آن‌ها اضافه شد تا نیروی وارده از طرف فک متحرک دستگاه به این سطح به صورت یکنواخت در تمامی نقاط آن پخش شود. نمونه‌ها مطابق شکل ۱ در دستگاه قرار گرفتند.

جدول ۱- ترکیب مالچ‌های تهیه شده جهت انجام تست فشاری اینسترون.

Table 1. Treatment compositions for compressive strenght test by Instrun.

نوع و مقدار مواد به کار رفته در تیمار	تیمار
Type and amount of material used in treatment composition	Treatment
۸۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۵٪ پودر سنگ % 85 clay soil + % 10 Converter sludge + % 5 stone powder	A <sub>1</sub>
۷۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۱۵٪ پودر سنگ % 75 clay soil + % 10 Converter sludge + % 15 stone powder	C <sub>1</sub>
۶۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۲۵٪ پودر سنگ % 65 clay soil + % 10 Converter sludge + % 25 stone powder	E <sub>1</sub>
۸۰٪ خاک رسی + ۲۰٪ خاک شنی % 80 clay soil + % 20 sandy soil	J <sub>2</sub>
۵۰٪ خاک با بافت رسی + ۵۰٪ خاک شنی % 50 clay soil + % 50 sandy soil	K <sub>2</sub>

جدول ۲- اندازه ذرات (%) و بافت خاک‌ها.

Table 2. Particle size (%) and soil texture of soils.

بافت خاک Soil texture	رس Clay	سیلت ریز Fine silt	سیلت درشت Coarse silt	شن Sand	نوع خاک Soil type
	%				
رسی Clay	48	11.28	28.56	12.16	خاک منطقه باجگاه Bajgah soil
شنی Sandy	3.28	0.56	4	92.16	خاک منطقه دژگاه Dezhgah soil



شکل ۱- دستگاه اینسترون و موقعیت قرارگیری نمونه بین دو فک دستگاه.

Figure 1. Instron and position of sample between the their jaws.

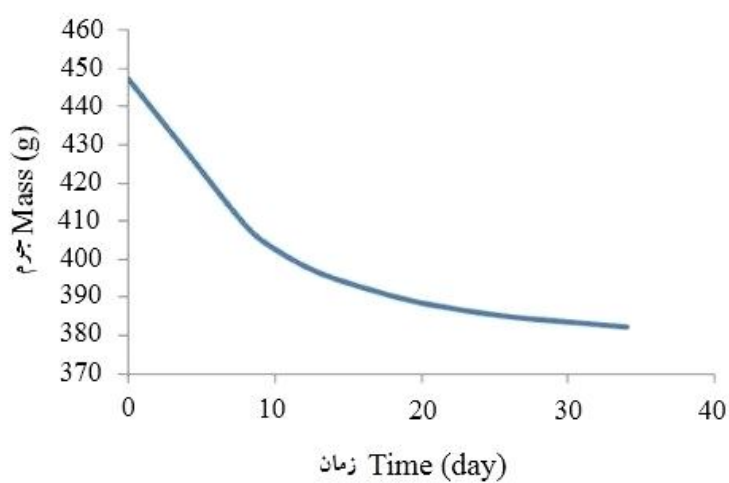
شکستن و خرد شدن کردند (نمودارها تا نقطه پیک یا قله نمودار ترسیم شدند). در ادامه با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳، از داده‌های نیرو و جابجایی به دست آمده برای ترسیم نمودارهای تنش- کرنش استفاده شد (۷) که به‌عنوان نمونه نمودار تنش (بیشینه مقاومت فشاری) و کرنش (تغییر طول نسبی) تیمار  $A_1$  در شکل ۵ نشان داده شده است.

طول و قطر آن‌ها و سرعت پایین آمدن فک متحرک به میزان  $0.5$  میلی‌متر بر دقیقه به حافظه دستگاه سپرده شد. هم‌زمان با پایین آمدن فک متحرک و اعمال نیرو به نمونه‌ها، نمودار نیرو (بر حسب نیوتن) و جابه‌جایی (بر حسب میلی‌متر) ترسیم شده و اطلاعات عددی آن در فاصله زمانی  $0.02$  ثانیه ثبت گردید. پس از نقطه پیک یا قله نمودار که بیانگر حداکثر تحمل نیرو می‌باشد، نمونه‌ها شروع به



شکل ۲- قالب‌های استوانه‌ای از جنس پلیکا.

Figure 2. Cylindrical moulds (PVC).



شکل ۳- روند نزولی کاهش جرم تیمارها با گذشت زمان پس از قرار گرفتن در قالب اینسترون.

Figure 3. Treatments weight reduction trend in Instron moulds.



شکل ۴- تیمارهای خشک شده پس از خروج از قالب.

Figure 4. The dried treatments after exiting the mould.

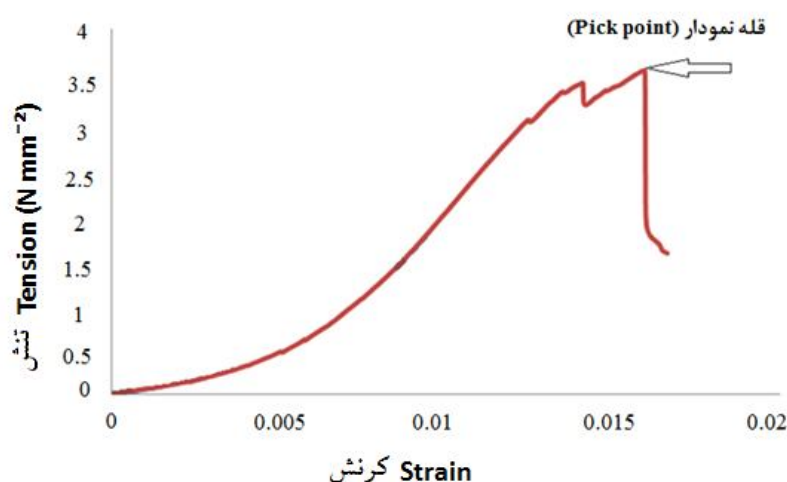
قالب‌ریزی شد در حالی که در روش پروکتور ساده، قالب‌ریزی تیمارها بدون انجام تراکم بود.

۳- در روش پروکتور سرعت پایین آمدن فک متحرک به میزان ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه (۷) به حافظه دستگاه سپرده شد و اطلاعات عددی آن در فاصله زمانی ۰/۰۲ ثانیه ثبت گردید در صورتی که در روش پروکتور ساده اطلاعات عددی آن در فاصله زمانی ۲ ثانیه ثبت شد.

مقایسه مراحل دو روش "پروکتور" و "پروکتور ساده"

۱- در روش پروکتور طول (L) و قطر داخلی (D) به ترتیب ۱۲ و ۴/۸ سانتی متر (L/D=۲/۵) و در روش پروکتور ساده طول و قطر داخلی قالبها ب ترتیب ۶ و ۶/۵ سانتی متر انتخاب شدند (L/D=۰/۹۲).

۲- در روش پروکتور تیمارها متراکم شده (۵، ۶) و بر اساس دانسیته خشک بیشینه و رطوبت بهینه به دست آمده درون قالبهای مخصوص آزمایش



شکل ۵- نمونه نمودار تنش- کرنش مربوط به تیمار A<sub>1</sub> (۸۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۵٪ پودر سنگ) که با استفاده از آن نتایج مقاومت جهت مقایسه نتایج به دست آمده است.

Figure 5. Tension – Strain sample graph related to A<sub>1</sub> treatment (%85 clay soil + %10 Converter sludge + %5 stone powder) that with using it the results of strength were obtained for comparison.

(mm<sup>2</sup>) می‌باشند. همان‌طور که در رابطه فوق مشخص شده است تنش بر مبنای سطح اولیه نمونه (A<sub>0</sub>) نبوده بلکه بر مبنای سطح نمونه در هر لحظه می‌باشد که این سطح از روابط زیر حاصل شد.

$$A = A_0 / I - \varepsilon \quad (2)$$

که در آن، A سطح نمونه در هر لحظه، A<sub>0</sub> سطح اولیه نمونه و ε کرنش (تغییر طول نسبی) می‌باشد. کرنش نیز از رابطه زیر به دست آمد:

در هر دو روش پروکتور و پروکتور ساده، جهت تبدیل داده‌های نیرو و جابجایی به تنش (مقاومت فشاری) که به وسیله نرم‌افزار دستگاه STM در هر لحظه ثبت شده از معادلات زیر استفاده شده است (۷):

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

که در آن، σ تنش فشاری بر حسب مگاپاسکال (N/mm<sup>2</sup>)، F نیروی وارده بر حسب نیوتن (N) و A مساحت سطح نمونه در هر لحظه بر حسب

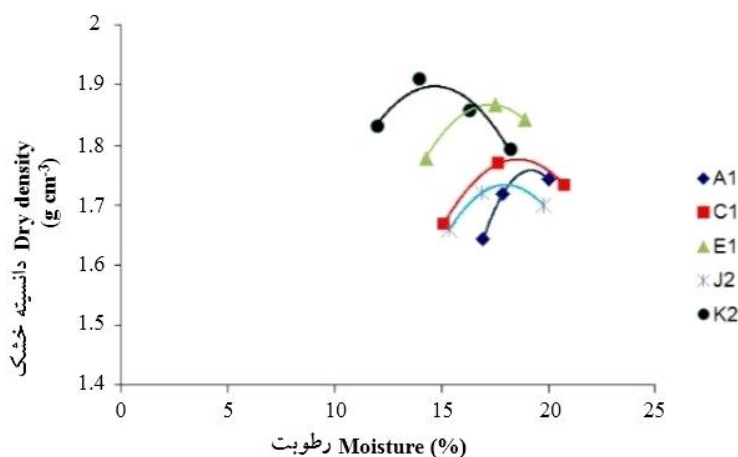
## نتایج و بحث

با توجه به نتایج آزمایش‌های تراکم خاک به روش پروکتور، نمودارهای دانسیته خشک بیشینه و رطوبت بهینه هر یک از تیمارها ترسیم گردید (شکل ۶). بر این اساس تیمار K<sub>2</sub> با ۵۰ درصد رس دارای بیش‌ترین و تیمار J<sub>2</sub> با ۸۰ درصد رس دارای کم‌ترین دانسیته خشک بیشینه بود که به‌نظر می‌رسد در تیمارهای این آزمایش با افزایش مقدار رس میزان بیشینه دانسیته خشک کاهش یافته است. از طرفی تیمار A<sub>1</sub> با ۸۵ درصد رس دارای بیش‌ترین و تیمار K<sub>2</sub> با ۵۰ درصد رس دارای کم‌ترین درصد رطوبت می‌باشند و با افزایش میزان رس در ترکیب تیمارها، درصد رطوبت بهینه در نقطه بیشینه دانسیته خشک، افزایش یافته است.

$$\varepsilon = \Delta L / L_1 \quad (3)$$

که در آن،  $\varepsilon$  کرنش (تغییر طول نسبی) و بدون واحد ( $mm/mm$ )،  $\Delta L$  تغییر طول برابر با طول اولیه ( $L_1$ ) منهای طول ثانویه ( $L_2$ ) بر حسب ( $mm$ ) می‌باشند.

در جدول یک جزئیات ۵ تیمار مشخص شده است، مقاومت فشاری هر تیمار با دو آزمون "پروکتور" و "پروکتور ساده" و با سه تکرار اندازه‌گیری و با طرح فاکتوریل تصادفی مورد مقایسه آماری قرار گرفته شدند. مقایسه آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.



شکل ۶- نمودار رطوبت بهینه- دانسیته خشک تیمارها به روش پروکتور. A<sub>1</sub> (۸۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۵٪ پودر سنگ)، C<sub>1</sub> (۷۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۱۵٪ پودر سنگ)، E<sub>1</sub> (۶۵٪ خاک رسی + ۱۰٪ لجن کنورتور + ۲۵٪ پودر سنگ)، J<sub>2</sub> (۸۰٪ خاک رسی + ۲۰٪ خاک شنی) و K<sub>2</sub> (۵۰٪ خاک رسی + ۵۰٪ خاک شنی).

**Figure 6. Optimum moisture-density curve of treatments with the proctor method. A<sub>1</sub> (%85 clay soil + %10 Converter sludge + %5 stone powder), C<sub>1</sub> (%75 clay soil + %10 Converter sludge+ %15 stone powder), E<sub>1</sub> (%65 clay soil + %10 Converter sludge+ %25 stone powder) J<sub>2</sub> (%80 clay soil + %20 sandy soil) and K<sub>2</sub> (%50 clay soil + %50 sandy soil).**

اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به نحوه انتخاب نمونه‌ها جهت مقایسه دو روش، مشخص شد که استفاده از روش پروکتور ساده با روش پروکتور در اکثر موارد نتایج یکسانی داشته است.

مقاومت فشاری پروکتور و میانگین بیشینه‌های مقاومت فشاری (بیشینه تنش) به‌دست آمده برای هر تیمار از روش پروکتور با مقادیر متناظر به‌دست آمده از روش پروکتور ساده مقایسه گردید (جدول ۳). بر این اساس در تمامی تیمارها به‌جز تیمار E<sub>1</sub> با یکدیگر



جدول ۳- نتایج آزمایش‌های تراکم خاک و مقایسه بیشینه مقاومت فشاری روش پروکتور با روش پروکتور ساده.

**Table 3. Soil compressive strength test results and comparing the the maximum compressive strength in proctor with simplified proctor method.**

میانگین بیشینه مقاومت فشاری در روش پروکتور ساده (نیوتون بر میلی متر مربع)	میانگین بیشینه مقاومت فشاری در روش پروکتور (نیوتون بر میلی متر مربع)	رطوبت (%)	دانشیه خشک (گرم بر سانتی مترمکعب)	تیمار
Average of Maximum compressive strengths (simplified proctor method) (N mm <sup>-2</sup> )	Average of Maximum compressive strength (proctor method) (N mm <sup>-2</sup> )	Moisture (%)	Dry density (g cm <sup>-3</sup> )	Treatment
2.27 <sup>a</sup>	2.43 <sup>a</sup>	19.2	1.76	A <sub>1</sub>
2.01 <sup>a</sup>	1.65 <sup>a</sup>	18.5	1.78	C <sub>1</sub>
0.81 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>	17.5	1.87	E <sub>1</sub>
2.86 <sup>a</sup>	2.33 <sup>a</sup>	18	1.74	J <sub>2</sub>
2.09 <sup>a</sup>	2.19 <sup>a</sup>	14.8	1.9	K <sub>2</sub>

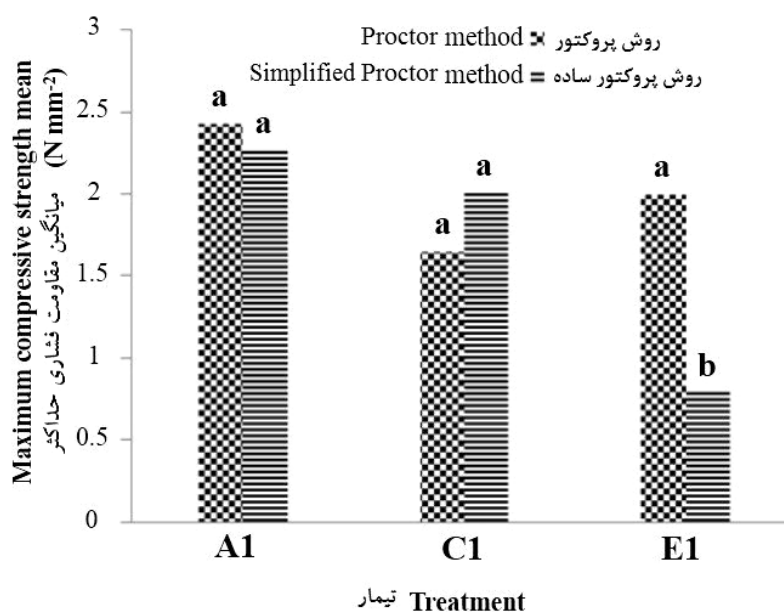
حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار می باشد ( $P \leq 0.01$ ).

Similar letters show no significant differences among treatments ( $P \leq 0.01$ ).

فیزیکی، مکانیکی، جایگزینی ۵۰ درصدی پودرسنگ با سیلیکا (با نسبت‌های مشخص مولی اجزای پودرسنگ) موفقیت‌آمیز گزارش شده، به طوری که مقاومت فشاری این نمونه‌ها با نمونه‌های شاهد بدون پودر سنگ تفاوت معنی داری نشان نداده است (۲۳).

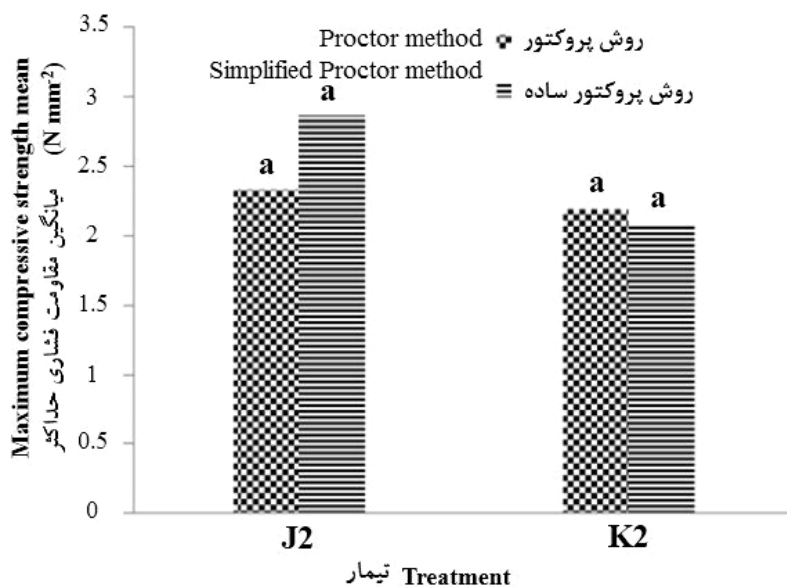
در مقایسه تیمارهای J<sub>2</sub> و K<sub>2</sub> با درصد رس و ماسه متفاوت (جدول ۳) و با دو روش، روند یکسانی مشاهده گردید به طوری که کاهش درصد رس و افزایش شن موجب کاسته شدن از مقاومت فشاری شد (شکل ۸). نتایج استفاده از ترکیب رس و آهک به عنوان مالچ نشان داده است که با افزایش نسبت رس، شاخص‌های مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و سایش به طور نسبی افزایش یافته است که با پژوهش‌های ما مطابقت داشته است (۱۶). در نمونه‌های مالچ تهیه شده از شن و رس، با افزایش مقدار رس در نمونه‌ها مقاومت افزایش یافته است (۱۱). کاهش درصد رس در نمونه مالچ نسبت به شن به میزان دو برابر میزان فرسایش را تا حدود دو برابر افزایش داده بود (۱۹).

در تیمارهای A<sub>1</sub>، C<sub>1</sub> و E<sub>1</sub> با درصد‌های متفاوت رس و پودر سنگ به مقایسه نقش رس و پودر سنگ پرداخته شد. در روش پروکتور ساده با کاهش میزان رس و افزایش پودر سنگ، مقاومت فشاری کاهش یافت. در تیمارهای پروکتور با کاهش میزان رس و افزایش پودر سنگ، مقاومت فشاری ابتدا با کاهش و سپس با افزایش رو به رو شده و نظم مشخصی را نشان نداده است (شکل ۷). استفاده از پودر سنگ به عنوان ترکیب تشکیل دهنده مالچ در این پژوهش برای اولین بار بوده و گزارش قبلی مشاهده نشده است اما با توجه به پژوهش‌هایی که در زمینه به کار بردن انواع مختلف پودر سنگ در عملیات عمرانی نظیر تهیه سیمان، می توان گفت درصد مشخصی از پودر سنگ (۱۴) می تواند نقش مفید داشته باشد. در ارزیابی سنجش مقاومت سیمانی که در تهیه آن پودر سنگ به کار برده شده بود، توسط آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی، XRD مشخص گردیده که درصد مشخصی از پودر سنگ افزایش خصوصیات مفید مقاومتی را در پی داشته است (۱۰). در باز یافت پودر سنگ در صنعت ساختمان و بر اساس آزمون‌های



شکل ۷- مقایسه تیمارهای حاوی رس و پودر سنگ در روش استاندارد شده و روش معمول. ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. A<sub>1</sub> (%۸۵ خاک رسی + %۱۰ لجن کنورتور + %۵ پودر سنگ)، C<sub>1</sub> (%۷۵ خاک رسی + %۱۰ لجن کنورتور + %۵ پودر سنگ)، E<sub>1</sub> (%۶۵ خاک رسی + %۱۰ لجن کنورتور + %۲۵ پودر سنگ).

Figure 7. Treatment Comparison of clay and stone powder mulches between the proctor and the simplified proctor methods. Columns with similar letters showed no significant difference. A<sub>1</sub> (%85 of clay soil + %10 Converter sludge + %5 stone powder), C<sub>1</sub> (%75 clay soil + %10 Converter sludge+ %15 stone powder) and E<sub>1</sub> (%65 clay soil + %10 Converter sludge+ %25 stone powder).



شکل ۸- مقایسه تیمارهای حاوی رس و ماسه در روش پروکتور و پروکتور ساده، ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. J<sub>2</sub> (%۸۰ خاک رسی + %۲۰ ماسه) و K<sub>2</sub> (%۵۰ خاک رسی + %۵۰ ماسه).

Figure 8. Treatment Comparison of clay and sand mulches between the proctor and the simplified proctor methods. Columns with similar letters showed no significant difference. J<sub>2</sub> (%80 clay soil + %20 sandy soil) and K<sub>2</sub> (%50 clay soil + %50 sandy soil).

## نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج به دست آمده از تأثیر تفاوت روش‌ها و ترکیبات مختلف را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- مقایسه تیمارهای حاوی رس و پودر سنگ با روش پروکتور ساده نشان می‌دهد که با کاهش رس و افزایش پودر سنگ، مقاومت فشاری کاهش یافته است و بیشترین کاهش معنی‌دار در تیمار  $E_1$  مشاهده شده است، که مطابق با نتایج قبلی بوده است. نتایج روش پروکتور فاقد نظم منطقی مشاهده شد.

۲- مقایسه تیمارهای حاوی رس و ماسه نشان می‌دهد که در هر دو روش، با کاهش رس و افزایش ماسه از مقاومت فشاری کاسته می‌شود.

۳- مقایسه نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری با استفاده از دستگاه اینسترون نشان می‌دهد که بین بیشترین میانگین بیشینه مقاومت فشاری در روش پروکتور ساده با روش پروکتور از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تغییرات منظم اعداد روش پروکتور ساده مشاهده شد. با توجه به ساده بودن، کاهش زمان و مقایسه نتایج دو روش می‌توان روش پروکتور ساده را جهت مقایسه مالچ‌های مورد استفاده در فرسایش بادی توصیه نمود.

## منابع

1. Abbaspoor, A., Kalbasi, M., and Shariatmadari, H. 2005. Application converter sludge (Steel plant waste) as iron fertilizer in calcareous soils. J. Sci. Tech. Agric. Nat. Res. 8: 61-71. (In Persian)
2. Afzali, S.F. 2011. Soil erosion, dust and carbon dynamics, Total articles of first international congress concerning dust and how to challenge its harmful effects, 15-17 Feb. 2012, Ahwaz, Pp: 967-973. (In Persian)
3. Ahmadi, H. 2009. Applied geomorphology. Tehran University Press, Tehran, 706p. (In Persian)
4. Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Feiz Niya, S., and Ghane'e Bafeghi, M.J. 2003. Wind erosion control methods for railway protection: Case study Bafg area. J. Natur. Res. 342: 55-327. (In Persian)
5. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1982. AASHTO Materials, Part II, Washington, D.C.
6. American Society for Testing and Materials. 1982. ASTM Standards, Part 19, Philadelphia, pa.
7. Bowles, J.E. 1982. Engineering properties of soil and their measurement. McGraw-Hill. New York. 213p.
8. Chepil, W.S., and Milen, R.A. 1941. Wind erosion of in relation to roughness of surface. J. Soil Sci. 52: 417-433.
9. Chepil, W.S. 1953. Factors that influence cold structure and credibility of soil by wind. J. Soil Sci. 75: 473-483.
10. Choi, S., Sang, S., Jae, E., and Paulo, J.M.M. 2010. Properties of alkali-activated systems with stone powder sludge. J. Mat. Cycles Waste Manage. 12: 4. 275-282.
11. Diouf, B., Skidmore, E.L., Layton, J.B., and Hagen, L.J. 1990. Stabilizing fine sand by adding clay: Laboratory wind tunnel study. Soil Technol. 3: 1. 21-31.
12. Faghihniya, M., Afzali, S.F., Masoudi, M., and Fallah Shamsi, S.R. 2012. Effect of wind erosion on soil carbon losses: Case study Dezhgah areas of Fars province. Total articles of first international congress concerning dust and how to challenge its harmful effects, 15-17 Feb. 2012, Ahwaz, Pp: 975-982. (In Persian)

13. Grini, A.G., Myhre Zender, C.S., Sundet, J.K., and Isaksen, I.S.A. 2003. Model simulations of dust source and transport in the global troposphere: Effects of soil credibility and wind speed variability. Institute Report Series No. 124. Norway, University of Oslo, Department of Geosciences.
14. Hakimi Bafeghi, S., and Afzali, S.F. 2012. The effect of mulch produced from cutting stone waste materials on wind erosion rate; Total articles of first international congress concerning dust and how to challenge its harmful effects, 15-17 Feb. 2012, Ahwaz, Pp: 975-982. (In Persian)
15. Harper, R.J., Gilkes, R.J., Hill, M.J., and Carter, D.J. 2009. Wind erosion and soil carbon dynamics in south-western Australia. *Aeolian Res.* 1: 3. 129-141.
16. Hazirei, F., and Zare Ernani, M. 2013. Investigation of Effect of Clay-Lime Mulch for Sand Dunes Fixation. *J. Water Soil.* 27: 2. 373-380.
17. Kanellopoulos, A., Demetrios, N., and Michael, F.P. 2014. Mechanical and durability properties of concretes containing recycled lime powder and recycled aggregates. *Constr. Build. Mater.* 53: 253-259.
18. Koopae Niya, M.A., and Afzali, S.F. 2015. Examining Some Desert Conditions on Some Non Alive Waste Industrial Mulches for Controlling Wind Erosion. *Ecol. Environ. Cons.* 21: 1. 15-23.
19. Majdi, H., Karimian Eghbal, M., Karimzadeh, H., and Jalalian, A. 2006. The Effect of All Types of Clay Mulches On Windy Erosion Materials Rate. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res.* 10: 3. 137-149. (In Persian)
20. Mosaferi, M., Fahiminiya, M., and Taghipoor, H. 2006. Environmental management of solid waste industry stone: Case study Qom province. *J. Environ. Sci. Technol.* 2: 65-74. (In Persian)
21. Page, A.L. 1982. *Methods of soil analysis.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1159p.
22. Rende, W., Guo, Z., Chang, C., Xiao, D., and Jiang, H. 2015. Quantitative estimation of farmland soil loss by wind-erosion using improved particle-size distribution comparison method (IPSDC). *Aeolian Res.* (In Press)
23. Song, T.H., Lee, S.H., and Kim, B. 2014. Recycling of crushed stone powder as a partial replacement for silica powder in extruded cement panels. *Constr. Build Mater.* 52: 105-115.
24. United Nations Environment Program (UNEP) and International Soil Research Information Center (ISRIC), 1990. *World map of the status of human induced soil degradation.*
25. Xiong, Z., Peng, W., and Yuli, W. 2014. Hydration Behaviors of Portland Cement with Different Lithologic Stone Powders. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 9: 1. 55-60.
26. Xuan, J., Sokolik, I., Hao, J., and Guo, F. 2004. Identification and characterization of source of atmospheric mineral dust in East Asia. *J. Atm. Environ.* 38: 36. 6239-6252.

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## Strength determination of some soil stabilizer mulches

M.A. Koopae Niya<sup>1</sup> and \*S.F. Afzali<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept of Natural Resources and Environmental Engineering, Shiraz University,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Natural Resources and Environmental Engineering, Shiraz University

Received: 02/19/2015; Accepted: 10/21/2015

### Abstract

**Background and Objectives:** Mulching is one of the most common ways to soil stabilization, prevent wind erosion and control dusts. Some types of mulches is not economically practical choices, thus use of inexpensive and safe industrial wastes in the mulch compositions have both economically and environmentally important (waste recycling). Therefore, a key objective of this research is to use two types of industrial waste for preparation of mulch. Since Proctor method has been considered to test and compare the strength of mulches, so another purpose of this research is simplification of Proctor method to estimate the strength of soil stabilizer mulches under the influence of wind erosion.

**Materials and Methods:** Based on the results of previous studies and pre-treatments, some mulches were tested. These mulches were non-living composed of different percentages of stone powder, converter sludge, clay soil and sandy soil. Instron device was used to measure the compressive strength of the mulch. Considering applying of the Proctor method for working with Instron device, simplification of the procedure was also performed. These two methods were called as “Proctor” and “simplified Proctor” methods, whose results were compared as the criterion for utilizing the simplified method. The treatments included five types of mulch in three replications, where their compressive strength was measured by the two methods of “Proctor” and “simplified Proctor” and were compared by the random factorial designs.

**Results:** Reducing the clay percentage from 80 to 50 and increasing the percentage of sand from 20 to 50 in the treatments containing clay and sand in both methods resulted in compressive strength reduction of mulches. Increasing the percentage of the stone powder from 5 to 25 and simultaneous reduction of clay percentage from 85 to 65 together with constant percentage of converter sludge led to decreased compressive strength through the simplified Proctor method. The differences between the results of the two Proctor and simplified Proctor methods were not significant, but the simplified Proctor method had specific order in the results.

**Conclusion:** Compressive strength reduction with reduced clay percentage and increased stone powder percentage was shown in the comparison of the treatments containing clay and stone powder through the simplified Proctor method. However, the results of the Proctor method lacked a logical order. The comparison of the treatments containing clay and sand indicated that in both methods, as the clay decreases and the sand increases, compressive strength reduced. Compressive strength test results using Instron device was compared in both simplified Proctor and Proctor methods, therefore it was shown that these two methods did not have a significant statistic difference, although orderly changes of the simplified Proctor method results was found. Considering the simplicity and time reduction in the simplified Proctor method, this method is recommended for mulch comparisons in wind erosion.

**Keywords:** Wind erosion, Stone powder, Converter sludge, Compressive strength, Proctor

---

\* Corresponding Author; Email: [afzalif@shirazu.ac.ir](mailto:afzalif@shirazu.ac.ir)