

## نقش دوغاب آهک هیدراته در تثبیت حرکت ماسه‌های بادی

غلام حیدر زورقی<sup>۱</sup>، کاظم شعبانی گورجی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا نورا<sup>۱</sup> و علیرضا راشکی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۷)

### چکیده

ایجاد لایه محافظ بر سطح تپه‌های ماسه‌ای با هدف کاهش فرسایش آن، سالیان طولانی مرسوم بوده است. استفاده از مالچ‌های نفتی در بعضی از کشورها، علاوه بر هزینه‌های زیاد، مشکلات فراوان زیست‌محیطی در بر داشته است. در این تحقیق از دوغاب آهک هیدراته به عنوان پوشش محافظ (مالچ) ماسه‌های بادی استفاده شد. این دوغاب در سه تیمار با نسبت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد آهک آماده و با آب پاش، به طور یکنواخت بر سطح پلات‌های با ابعاد ۵×۲ متر از تپه‌های ماسه پاشیده شد. ضخامت میانگین هر لایه مالچی با کولیس اندازه‌گیری و میزان سایش آن در فاصله زمانی دو ماهه در هر پلات از تیمارهای سه‌گانه مالچ آهکی و شاهد، با استفاده از نقاط نشانه‌گذاری در سه محل محاسبه شد. تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS و Excel انجام شد. نتایج نشان داد، که لایه مالچ دوغاب آهک سه درصد در مقابل سایش بادی مقاومت کافی نداشته و با تیمار شاهد قابل مقایسه است. نتایج سایش لایه‌های مالچ دوغاب آهک پنج و هفت درصد حاکی است که با افزایش میزان درصد آهک مقاومت مالچ در مقابل سایش باد افزایش یافته است. لایه مالچ دوغاب آهک هفت درصد با ضخامت ۶/۳ میلی‌متر، بیشترین مقاومت سایشی را در شرایط طبیعی محل از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: سایش بادی، مالچ، دوغاب آهک هیدراته، ماسه‌های بادی

۱ گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان

۲ گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد  
\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ksg1354@yahoo.com

**مقدمه**

شاخص پلاستیسیته کمتر از ۱۰ مورد استفاده قرار گیرد، هر چند در خاک‌هایی با شاخص پلاستیسیته بیشتر از ۱۰ تأثیرگذاری آن بیشتر است (۶، ۱۷ و ۲۰). وجود رسوبات با استحکام ناکافی و ویژگی‌های مهندسی ضعیف، مخصوصاً در انواع ماسه‌های بادی، ضرورت اصلاح آنها را دو چندان می‌کند (۱۶، ۱۸ و ۲۱). بهره‌گیری از این رویکرد به‌ویژه در مناطقی که مصالح آنها محدود به خاک‌هایی مثل ماسه، گس، رس متورم شونده و واگرا است، باعث کاهش چشمگیر هزینه‌های اجرایی می‌شود (۳ و ۱۹).

واکنش‌های هیدراسیون، تبادل یونی و پوزولانی در نتیجه عمل متقابل بین مواد سیلیس‌دار و آلومین‌دار خاک با آهک و آب ایجاد می‌شود (۱۵ و ۲۲). این واکنش‌ها، تولید مواد سیمانی و افزایش مقاومت برشی خاک را در پی دارد. عامل زمان در این واکنش‌ها نقش مؤثری دارد و انجام واکنش در نبود رطوبت متوقف می‌شود (۳).

آهک هیدراته اگر به‌صورت دوغاب استفاده شود، قادر است نقش سیمان در اتصال بین ذرات ماسه را ایفا کند (۵ و ۲۴). فرسایش‌پذیری تپه‌های ماسه غالباً به‌دلیل بافت ضعیف و عدم چسبندگی کافی است (۸).

افزودن توأم آهک و پوزولان به خاک‌های ماسه مقاومت فشاری و سایشی را تا ۱۶ برابر افزایش می‌دهد، ولی افزودن آهک به تنهایی هم، افزایش مقاومت فشاری و سایشی خاک ماسه را باعث می‌شود (۱).

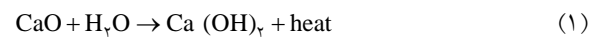
در این تحقیق با اختلاط آهک و آب به نسبت‌های متفاوت، محلول‌های دوغابی تهیه و در تثبیت ماسه‌های بادی استفاده شد. هدف از این پژوهش، امکان‌سنجی تثبیت ماسه‌های بادی با مالچ دوغاب آهکی و تعیین بهترین درصد اختلاط از نظر عملکرد است.

**مواد و روش‌ها****منطقه مورد مطالعه و زمین‌شناسی**

محل اجرای این تحقیق، منطقه بیابانی زاهدان کهنه در شرق

از چالش‌های مهم مناطق بیابانی حرکت شن‌های روان است. استفاده از مالچ نفتی برای کنترل و مهار حرکت ماسه‌های روان از شیوه‌های مرسوم در کانون‌های بحرانی کشور است. مالچ نفتی علاوه بر هزینه‌های گزاف و مشکلات زیست‌محیطی، کارکرد طبیعی ماسه در ذخیره ریزش‌های جوی را از بین می‌برد و تشدید نوسانات دمای ماسه در طول شبانه‌روز را باعث می‌شود. بنابراین استفاده از مالچ‌های طبیعی و غیرنفتی با هدف تثبیت ماسه‌های بادی در نیم قرن گذشته با تثبیت‌کننده‌های گوناگونی معرفی شده است (۱۰ و ۱۲). بهره‌گیری از آهک برای مقاوم‌سازی خاک، از سال ۱۹۴۵ در آمریکا معمول بوده است (۶). سنگ آهک، نوعی سنگ رسوبی است که اغلب منشأ بیولوژیکی و تبخیری دارد و به مقدار کافی در دسترس است (۹). این سنگ در تثبیت و حفاظت از خاک‌های ناپایدار استفاده می‌شود (۲۵).

برای بهبود ویژگی‌های مهندسی خاک‌های غیر مستحکم که با تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نیز همراه است، از سنگ آهک زنده (CaO) و یا هیدراته  $\text{Ca(OH)}_2$  می‌توان استفاده کرد. افزودن آب و یا بخار آب، آهک زنده را به آهک شکفته یا هیدراته تبدیل می‌کند که این واکنش گرمازا است (۹ و ۱۵).



افزودن آهک زنده به خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک را کاهش و ظرفیت نگهداری رطوبت آن را افزایش می‌دهد. درحالی که اضافه کردن آهک هیدراته، تغییر چندانی در وزن مخصوص ظاهری و رطوبت اپتیمم خاک ایجاد نمی‌کند. افزودن آهک از هر نوع موجب افزایش مقاومت فشاری و سایشی خاک با گذشت زمان می‌شود، ولی نقش آهک زنده در افزایش مقاومت فشاری خاک مشهودتر است (۱۳ و ۱۴).

اختلاط آهک و بتونیت با ماسه‌های بادی با نسبت ۳ به ۱۵ در افزایش مقاومت فشاری و کاهش سایش مخلوط حاصل مؤثر است (۲، ۱۱ و ۲۴). آهک می‌تواند به عنوان یک تثبیت‌کننده مؤثر در خاک‌های با مقدار رس کمتر از ۷ درصد و



شکل ۱. محل مورد مطالعه (با ستاره قرمز مشخص شده است)

جدول ۱. ترکیب شیمیایی آهک مورد استفاده

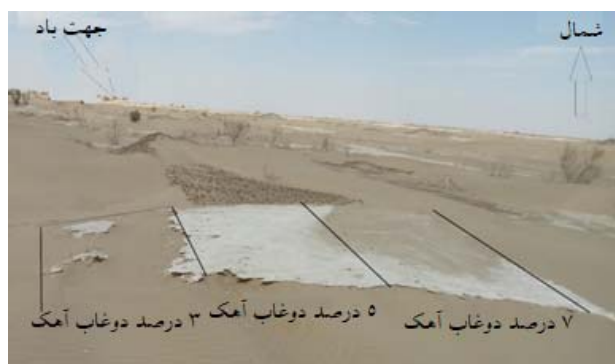
درصد	ترکیب شیمیایی
۰/۶۸	SiO <sub>۲</sub>
۱/۲۶	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> + Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
۲۷/۴	L.O.I.
۶۷/۸	CaO
۰/۴۸	MgO

ترکیب شیمیایی آهک مورد استفاده در جدول (۱) درج شده است. سه سایت (تکرار) با فاصله حدود ۲۰۰ متر از یکدیگر بر سطح ماسه‌های بادی محل در صحرا انتخاب شد. در هر یک از سایت‌ها چهار پلات با ابعاد ۵×۲ متر تعیین شد (شکل ۲). سایت‌ها طوری انتخاب شدند تا بتوانند شاخص خوبی برای فرسایش بادی منطقه باشند. ریپل‌مارک‌های سطح ماسه‌های بادی به صورت طبیعی حفظ شد. چهار تیمار انتخاب شده شامل: دوغاب آهک هیدراته سه، پنج، هفت درصد و شاهد است (جدول ۲). هر یک از محلول‌های دوغاب آهک جداگانه بر سطح یک پلات در سه تکرار پاشیده شد. زمان پاشیدن مالچ های دوغاب آهک دی ماه ۱۳۹۴ تعیین شد. ۱۴ نقطه نشانه بر سطح هر پلات مشخص شد، تا امکان اندازه‌گیری میزان

سیستان و شمالی‌ترین نقطه استان سیستان و بلوچستان است. این منطقه در مهم‌ترین کانون بحرانی حرکت شن‌های روان در مجاورت مرز ایران و افغانستان واقع شده است. موقعیت جغرافیایی محل تحقیق دارای طول شرقی ۶۱° ۴۳' و عرض شمالی ۳۷° ۵۷' ۳۰ است. این محل در دشت مارگو واقع شده که بخش‌های وسیعی از غرب کشور افغانستان و شرق ایران را شامل می‌شود (شکل ۱). نهشته‌های دشت شامل رسوبات تراس‌های کهن و رسوبات مخروط افکنه‌ای، سنگریزه‌های گرد شده در اندازه‌های مختلف، مجموعه‌های درهم از ذرات کوچک و بزرگ سنگی آبرفتی متعلق به اواخر پلیستوسن و رسوبات سیلتی، رسی و ماسه‌های آبرفتی و بادرفتی عهد حاضر است (۲۱).

#### آماده‌سازی پلات‌ها

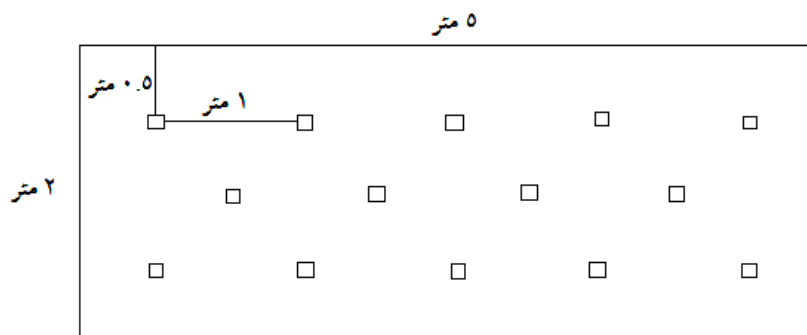
این تحقیق روی ماسه‌های بادی که به صورت تلماسه و یا برخان‌های هلالی در منطقه زاهدان کهنه گسترش دارند و عامل اصلی ایجاد مشکل برای بناها، تأسیسات عمومی، راه‌ها و مراکز جمعیتی به هنگام طوفان است، انجام گرفت. در این مطالعه به آهک زنده آب افزوده شد، تا دوغاب آهک هیدراته تهیه شود. از این دوغاب به‌عنوان مالچ استفاده شد.



شکل ۲. رفتار فرسایش باد بر پلات‌های مالچ دوغاب آهک با درصد‌های مختلف دو ماه بعد از پاشیدن

جدول ۲. تیمارهای مورد آزمایش در تحقیق

شماره تیمار	ترکیب تیمار	نوع مالچ
۱	سه درصد آهک	دوغاب آهک
۲	پنج درصد آهک	
۳	هفت درصد آهک	
۴	بدون آهک	شاهد



شکل ۳. موقعیت قرارگیری نقاط نشانه‌گذاری برای اندازه‌گیری فرسایش در هر پلات. نشانه‌گذاری در پلات‌های دوغاب آهک با میخ‌های فولادی پهن به طول ۱۰ سانتی‌متر و برای پلات شاهد، میخ‌های چوبی به طول ۴۰ سانتی‌متر انجام شد.

سه سایت، اندازه‌گیری میزان فرسایش لایه‌های مالچی در نقاط نشانه‌گذاری انجام شد (شکل ۳). دوره زمانی قرارگیری هر یک از تیمارها تحت شرایط طبیعی محیطی، هشت ماه تعیین شد. میزان فرسایش در نقاط نشانه‌گذاری هر پلات تیمارهای چهارگانه، در دوره‌های دو ماهه (آخر اسفند، آخر اردیبهشت، آخر تیر و آخر شهریور) اندازه‌گیری شد. ابزار اندازه‌گیری دوربین نقشه‌برداری با دقت در حد میلی‌متر بود.

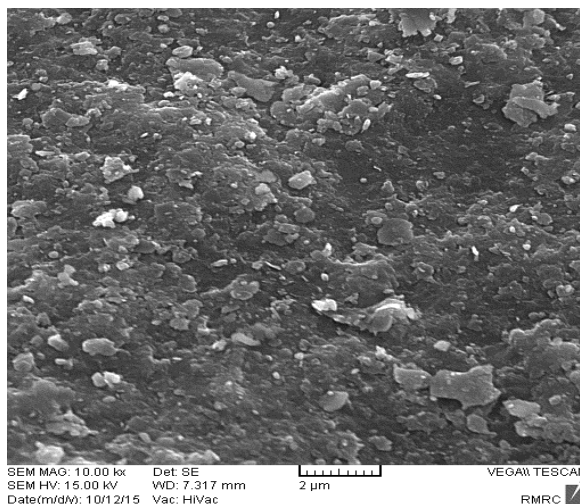
سایش بادی ممکن شود (شکل ۳). در هر محل یک پلات به‌عنوان شاهد تعیین شد. پلات‌های چهارگانه در سه سایت (تکرار) به مدت هشت ماه در معرض شرایط طبیعی محل (وزش تند بادها، نور آفتاب و ...) قرار گرفتند.

#### اندازه‌گیری میزان فرسایش‌پذیری تیمارها

پس از پاشیدن هر محلول دوغاب آهک بر سطح یک پلات در

جدول ۳. تعیین ضخامت میانگین مالچ در هر یک از تیمارها

نوع مالچ	ضخامت میانگین مالچ هر تیمار در سایت‌های سه‌گانه (میلی‌متر)
دوغاب آهک سه درصد	۴/۴
دوغاب آهک پنج درصد	۵/۴
دوغاب آهک هفت درصد	۶/۳
شاهد	۰



شکل ۴. نمایش ذرات رسی در سطح دانه‌های ماسه‌های بادی در زیر میکروسکوپ

نرمال بودن و استقلال داده‌ها، آزمون‌های ناپارامتریک کلموگروف-اسمیرنوف و علامت انجام شد. نتایج تحلیل نشان داد که داده‌های فرسایش غیر نرمال اما مستقل هستند، از این‌رو، آزمون‌های ناپارامتریک من-ویتنی و کروسکال والیس مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار Excel نمودارهای منحنی فرسایش و هیستوگرام برای هر پلات و تیمار در دوره زمانی هشت ماهه ترسیم شد.

### نتایج

سطح دانه‌های ماسه با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. مقیاس مورد مطالعه دو میکرون و جنس دانه‌های ماسه‌ای از کوارتز، فلدسپات، کلسیت و خرده‌سنگ‌هایی در اندازه دانه‌های ماسه بود. مقداری ذرات فوق‌العاده ریز رسی، بر سطح دانه‌های ماسه مشاهده شد (شکل ۴).

### اندازه‌گیری ضخامت مالچ‌ها

غلظت‌های متفاوت دوغاب آهک، منجر به نفوذپذیری‌های متفاوت در ماسه‌های بادی شد. در بدو پاشیدن، دوغاب در رسوبات ماسه‌ای به سرعت نفوذ کرد، ولی خیلی زود از سرعت نفوذ آن کاسته شد، به طوری که بعد از اتمام پاشیدن، یک لایه چسبنده تقریباً غیر قابل نفوذ و سله مانند تشکیل شد. با افزایش غلظت دوغاب، میزان نفوذ در ماسه کمتر و لایه مالچی با ضخامت بیشتر در سطح تشکیل شد. ضخامت لایه سله شده که نقش حفاظتی برای ماسه‌های بادی داشت، در سه نقطه هر پلات با کولیس اندازه‌گیری شد و اندازه ضخامت میانگین لایه مالچی هر تیمار محاسبه شد (جدول ۳).

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS و Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تعیین

جدول ۴. میانگین سایش لایه مالچی در تیمارهای سه، پنج و هفت درصد آهک هیدراته و شاهد در دوره‌های زمانی دو ماهه

نوع مالچ	سایت	میانگین سایش لایه‌های مالچی تیمارهای دوغاب آهک در دوره‌های دو ماهه (میلی‌متر)			
		آخر اسفند	آخر اردیبهشت	آخر تیر	آخر شهریور
دوغاب آهک	سایت ۱	-۵۴	-۲۴۷	-۹۵۶	-۱۵۲۹
	سایت ۲	-۱۹۷	-۹۶۳	-۱۳۲۴	-۱۹۵۳
	سایت ۳	-۱۹۰	-۵۵۳	-۱۶۳۴	-۲۳۶۵
دوغاب آهک	سایت ۱	۰	-۲	-۴۲	-۵۳۴
	سایت ۲	-۲	-۴	-۷۰	-۳۴۵
	سایت ۳	۰	-۵	-۱۵۰	-۶۷۵
دوغاب آهک	سایت ۱	۰	-۱	-۵	-۳۵۷
	سایت ۲	۰	-۱	-۴/۵	-۴۳۲
	سایت ۳	۰	-۱/۵	-۶	-۵۷۳
شاهد	سایت ۱	+۳۴۰	+۴۵۶	-۵۰۰	-۱۶۴۰
	سایت ۲	-۱۱۰	-۱۶۵۰	-۱۹۲۵	-۲۴۶۰
	سایت ۳	-۲۳۰	-۱۵۰۰	-۱۸۳۵	-۱۹۲۵

علامت منفی (-) نشانه سایش و علامت (+) نشانه رسوبگذاری روی لایه مالچی است.

مالچی تیمارهای دوغاب آهک سه و هفت درصد، نیز تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده شد. اما در مقایسه سایش میانگین لایه مالچی تیمارهای دوغاب پنج و هفت درصد با یکدیگر و تیمارهای دوغاب سه درصد و شاهد با هم، تفاوت معنی‌داری دیده نشد. به عبارتی سایش لایه مالچی تیمارهای دوغاب پنج و هفت درصد در مقابل باد، تقریباً یکسان است و هر دو از مقاومت مناسبی برخوردارند (جدول ۶).

سایش لایه مالچ تیمار سه درصد دوغاب و شاهد نیز روند یکسانی دارند و در هر دو تیمار میانگین سایش بادی زیاد بود و به سرعت تخریب شد.

آزمون کروسکال والیس به منظور شناخت تفاوت معنی‌دار میانگین سایش لایه‌های مالچی تیمارهای دوغاب سه، پنج و هفت درصد و شاهد انجام شد که نتایج آن در جدول (۷) درج شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به کوچک‌تر بودن p-value از  $\alpha$  فرض  $H_0$  (تفاوت نداشتن میانگین سایش در تیمارهای چهارگانه) رد می‌شود.

میزان سایش لایه‌های مالچی هر یک از پلات‌ها، در دوره‌های زمانی دو ماهه و بر اساس ۱۴ نقطه نشانه‌گذاری بر سطح هر پلات، اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سایش میانگین در هر پلات از تیمارهای دوغاب آهک هیدراته و شاهد در جدول (۴) درج شده است.

با تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری میزان سایش لایه‌های مالچی، مشخص شد که داده‌ها دارای توزیع غیر نرمال اما مستقل هستند. لذا در تحلیل اطلاعات به‌دست آمده، از آزمون ناپارامتری من-وینتی برای دو گروه مستقل، به‌منظور مقایسه تفاوت میانگین‌های سایش در بین تیمارهای مختلف دوغاب آهک، به‌صورت دوگانه استفاده شد و برای مقایسه تفاوت سایش میانگین در بین تیمارها، آزمون کروسکال والیس مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه نتایج سایش ایجاد شده بین دو لایه مالچی تیمارهای دوغاب سه و پنج درصد، نشان داد که تفاوت معنی‌دار در سایش دو لایه در سطح پنج درصد، دیده می‌شود (جدول ۵).

در مقایسه میانگین سایش ایجاد شده توسط باد، بین دو لایه

جدول ۵. آزمون من- ویتنی مقایسه میانگین سایش دو تیمار دوغاب سه و پنج درصد

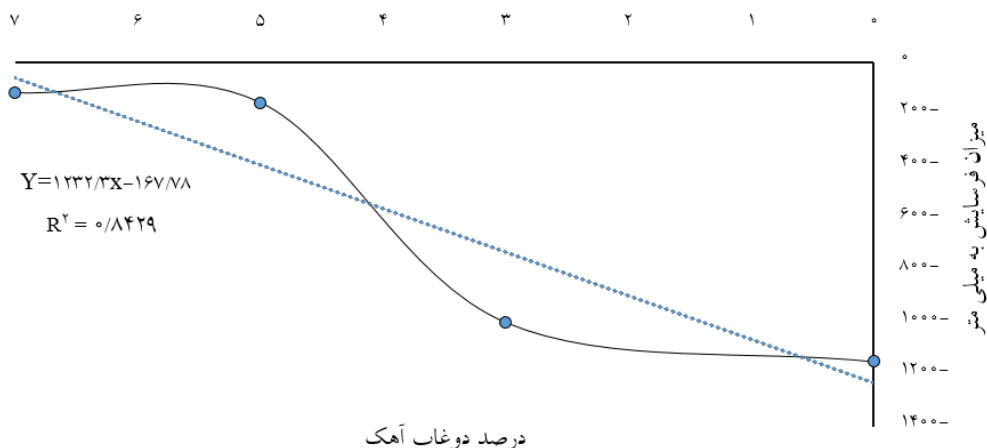
درصد آهک	تعداد نمونه	رتبه میانگین	جمع رتبه‌ها
۳	۱۲	۸	۹۶
۵	۱۲	۱۷	۲۰۴
جمع	۲۴		
تست آماری			
فرسایش			
	من - ویتنی		۱۸
	ویلکاکسون		۹۶
	کلموگروف - اسمیرنوف		-۳/۱۲
	سطح معنی دار دوطرفه		۰/۰۰۲
	سطح معنی دار یک‌طرفه		۰/۰۰۱

جدول ۶. آزمون من- ویتنی مقایسه میانگین سایش دو تیمار دوغاب پنج و هفت درصد

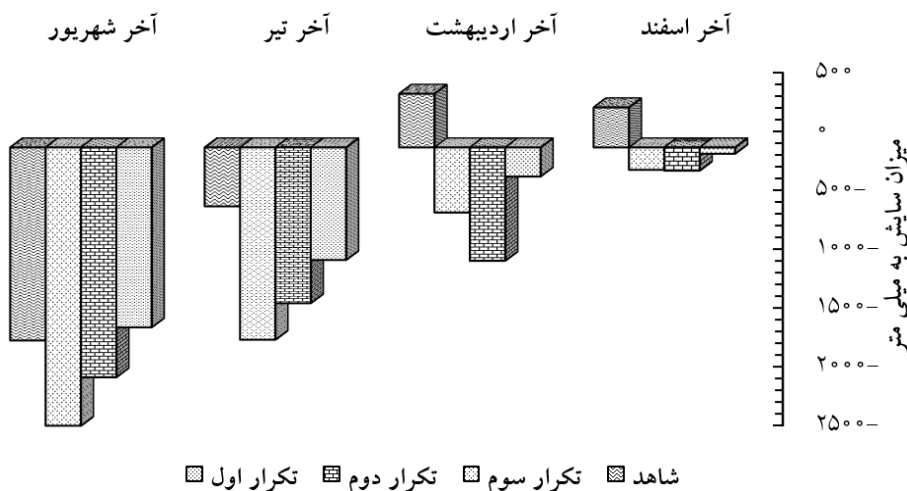
درصد آهک	تعداد نمونه	رتبه میانگین	جمع رتبه‌ها
۵	۱۲	۱۱/۴	۱۳۶/۵
۷	۱۲	۱۳/۶	۱۶۳/۵
جمع	۲۴		
تست آماری			
فرسایش			
	من - ویتنی		۵۸/۵
	ویلکاکسون		۱۳۶/۵
	کلموگروف - اسمیرنوف		-۰/۷۸
	سطح معنی دار دوطرفه		۰/۴۳
	سطح معنی دار یک‌طرفه		۰/۴۴

جدول ۷. آزمون کروسکال والیس مقایسه میانگین سایش تیمارهای دوغاب سه، پنج و هفت درصد و شاهد

درصد آهک	تعداد نمونه	رتبه میانگین
۳	۱۲	۱۵/۸
۵	۱۲	۳۱/۱
۷	۱۲	۳۳/۹
۰	۱۲	۱۷/۲
جمع	۴۸	
تست آماری		
سایش		
	خی دو	۱۶
	درجه آزادی	۳
	معنی داری آزمون	۰/۰۰۱



شکل ۵. منحنی خطی تغییرات میزان سایش در بین سه تیمار دوغاب آهک و تیمار شاهد



شکل ۶. هیستوگرام مقایسه تغییرات میزان سایش میانگین لایه مالچی دوغاب سه درصد و شاهد در دوره‌های دو ماهه

تعیین شد (شکل ۵).

نتایج به دست آمده نشان داد که لایه مالچ دوغاب سه درصد در هر سه تکرار نتوانست، مقاومت کافی در مقابل سایش بادی داشته باشد و طی دوره دو ماهه اول (آخر اسفند) که کمترین میزان وزش باد در منطقه وجود دارد و سرعت جریان باد نیز در حداقل ممکن است، دچار تخریب شده به طوری که سایش لایه مالچی این تیمار با تیمار شاهد قابل مقایسه است (شکل‌های ۶ و ۷).

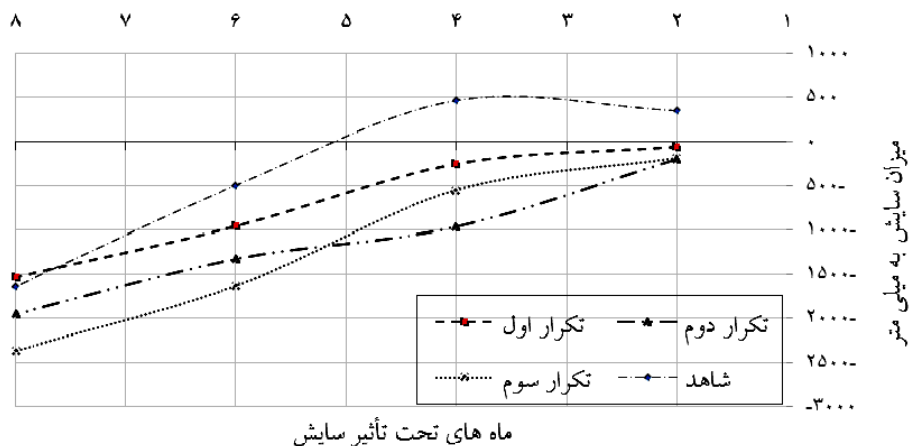
شکل‌های (۶ و ۷) نشان می‌دهند، روی تیمار شاهد در طی چهار ماه اول رسوبگذاری صورت گرفته و بعد از آن دچار سایش شده است. لایه مالچی تیمار دوغاب ۳ درصد در هر سه

$$\text{Sig.} = p\text{-value} = \frac{0/001}{2} > 0/05 = \alpha \quad (2)$$

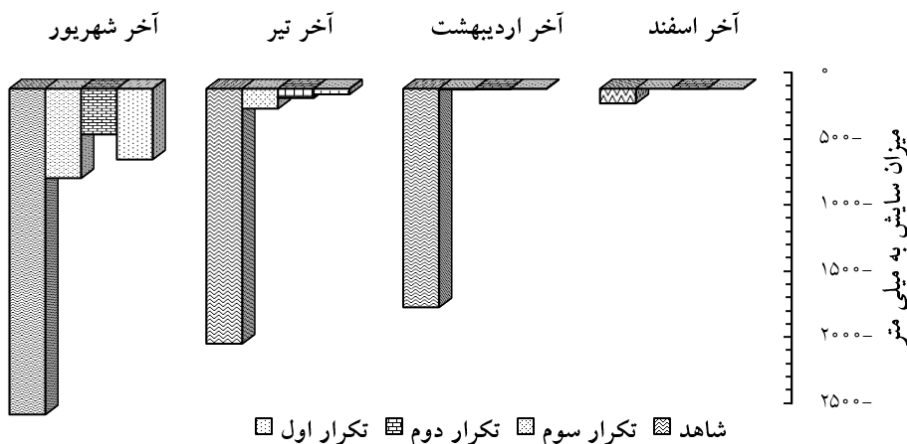
بنابر این با ۹۵ درصد اطمینان می‌توان گفت که بین میانگین سایش در بین لایه‌های مالچی تیمارهای چهارگانه تفاوتی معنی‌دار وجود دارد.

همچنین بین میانگین سایش لایه مالچی در اثر باد و درصد دوغاب، رابطه معکوس مشاهده شد به طوری که با افزایش غلظت دوغاب، میانگین سایش لایه مالچی کم می‌شود. معادله خطی پیش‌بینی شده برای این رابطه به صورت  $Y = 1232/3X - 167/88$  بیان می‌شود و میزان همبستگی بین میانگین سایش لایه‌ها مالچی در این تیمارها  $R^2 = 0/8429$





شکل ۷. مقایسه تغییرات سایش میانگین در لایه مالچی دوغاب سه درصد و شاهد در دوره هشت ماهه



شکل ۸. هیستوگرام مقایسه تغییرات میانگین سایش لایه‌های مالچی دوغاب آهک پنج درصد و شاهد در دوره‌های دو ماهه

هیدراته، بهترین عملکرد را در مقابل سایش بادی نشان داد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

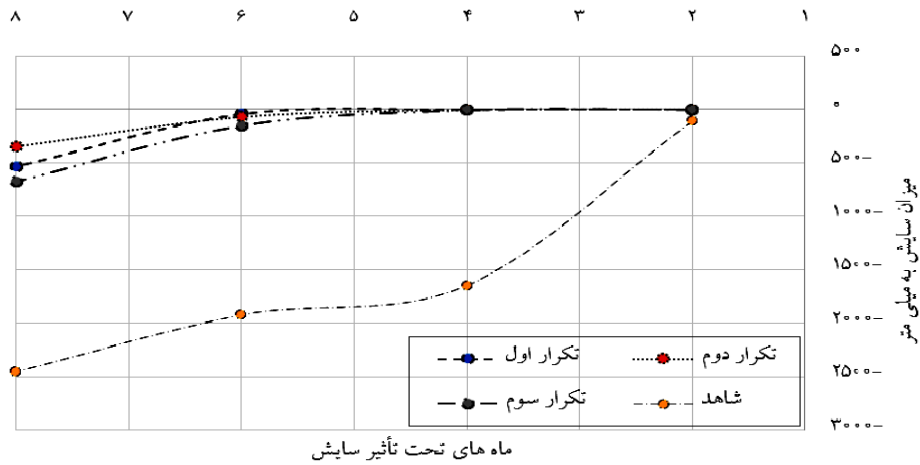
شکل‌های (۱۲ و ۱۳) در مجموع روند سایش میانگین سه تیمار دوغاب آهک و تیمار شاهد را طی یک دوره هشت ماهه نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که لایه‌های مالچی تیمارهای دوغاب آهک هیدراته با غلظت‌های پنج و هفت درصد، بیشترین پایداری را در مقابل سایش بادی داشته‌اند.

### بحث

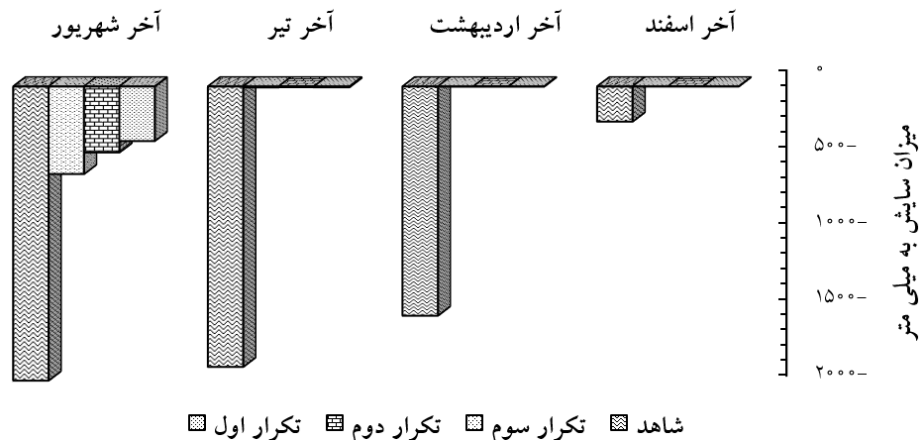
بر اساس بررسی‌های انجام شده، طرح‌های تحقیقاتی متعددی در اقصی نقاط دنیا با هدف تثبیت خاک و بهبود ویژگی‌های

تکرار قبل از اسفند ماه دچار سایش بادی و تخریب شده است. در لایه مالچی دوغاب پنج درصد، مقاومت در مقابل سایش بادی بیشتر و تا چهار ماه به طول انجامید و به تدریج از بین رفت (شکل‌های ۸ و ۹). در اینجا مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت دوغاب آهک هیدراته از سه به پنج درصد بر مقاومت سایشی لایه مالچی افزوده شده است.

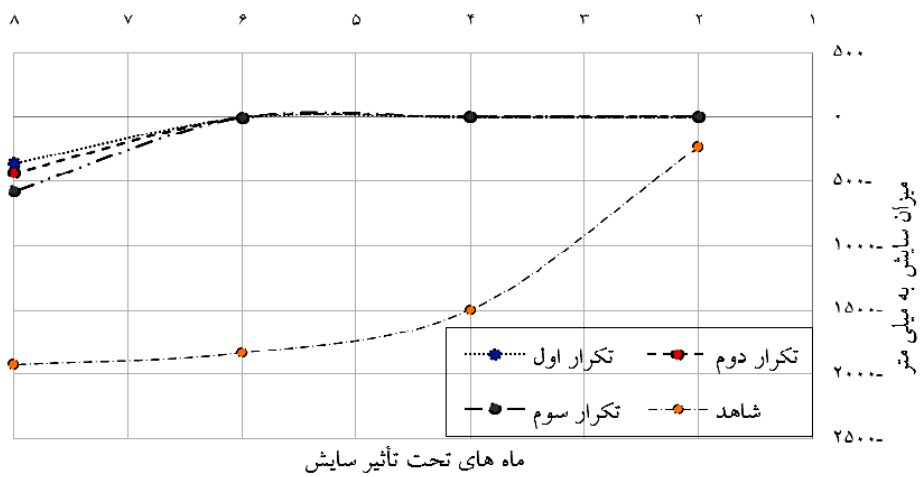
مقاومت در مقابل سایش بادی در لایه مالچ دوغاب هفت درصد، شش ماه به طول انجامید و به تدریج تخریب شد. در مجموع، نتایج سایش بادی این نوع مالچ‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان درصد آهک هیدراته در مالچ بر مقاومت آن افزوده شده و لایه مالچی تیمار دوغاب هفت درصد آهک



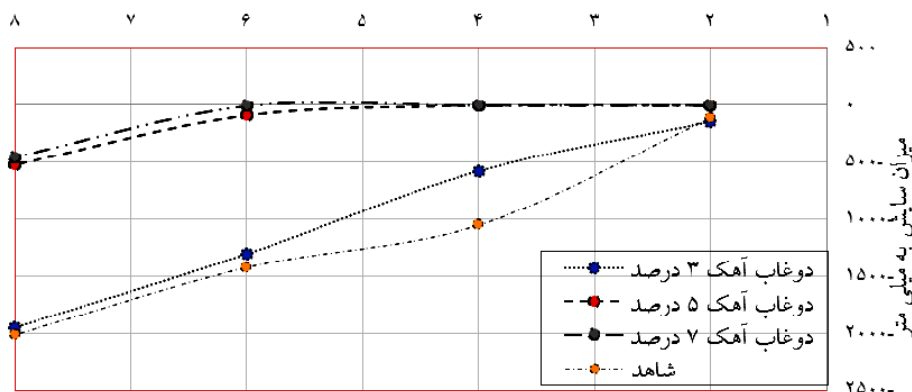
شکل ۹. مقایسه تغییرات سایش میانگین در لایه مالچی دوغاب آهک پنج درصد و شاهد در طی دوره هشت ماهه



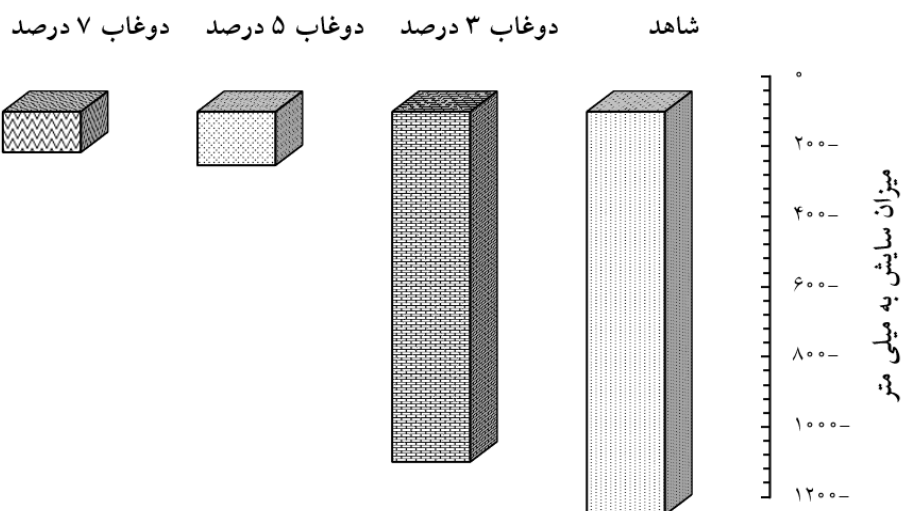
شکل ۱۰. هیستوگرام مقایسه تغییرات سایش میانگین سایش لایه مالچی دوغاب هفت درصد و شاهد در دوره‌های دو ماهه



شکل ۱۱. مقایسه تغییرات سایش میانگین در لایه‌های مالچی دوغاب هفت درصد و شاهد در طی دوره هشت ماهه



شکل ۱۲. مقایسه تغییرات سایش میانگین سه لایه مالچی تیمارهای دوغاب آهک و شاهد در دوره هشت ماهه



شکل ۱۳. هیستوگرام مقایسه تغییرات سایش میانگین لایه‌های مالچی تیمارهای دوغاب آهک و شاهد در طی هشت ماه

استفاده از آهک برای تثبیت ماسه‌های بادی به‌علت کمبود کانی‌های رسی در آن که برای انجام واکنش پوزولانی اهمیت دارد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است و در مناطقی که تثبیت ماسه‌های بادی انجام شده با اهداف کارهای عمرانی مثل راه سازی بوده است. در این شرایط، هدف افزایش مقاومت فشاری ماسه‌ها با مواد افزودنی از جمله آهک است که اغلب با مقادیر کافی از خاک‌های رس دار مخلوط می‌شوند (۴). به‌علت محدودیت‌های زیست‌محیطی و افزایش هزینه‌های اجرایی، استفاده از مالچ نفتی در تثبیت ماسه‌های بادی نیز طی سال‌های اخیر کمتر مورد استقبال بوده و گرایش به سمت بهره‌گیری از

مهندسی آن با بهره‌گیری از مواد مختلف از جمله آهک صورت گرفته است (۱، ۵، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۲۴). نوع و درصد کانی‌های رس موجود در خاک‌ها، تعیین کننده میزان درصد آهک مورد نیاز برای تثبیت و پایداری آن است (۷). وجود کانی‌های رسی در خاک‌های با PI بالاتر از ۱۴ و pH بیشتر از ۱۰ نتایج مطلوبی در پی داشته است. اما تحقیقات صورت گرفته روی خاک‌های با PI کمتر از ۱۴ و pH کمتر از ۱۰ نیز نتایج خوبی را نشان داده است (۷ و ۲۵). آنچه مسلم است، آهک تأثیر مثبتی در پایدار کردن خاک‌هایی با ویژگی‌های مهندسی ضعیف دارد (۶).

نیازمند رطوبت کافی است (۳)، استفاده از این روش در مناطق ساحلی نتایج مطلوب‌تری را به همراه خواهد داشت. نکته مورد تأمل در این پژوهش، فرسایش ماسه‌های نقاط مجاور پلات‌های محافظت شده با مالچ دوغاب آهک توسط باد و شکستن این لایه‌های سله شده، در اثر وزن خود بود که با بازدیدهای صحرایی مورد تأیید قرار گرفت، لذا در تثبیت ماسه‌های بادی باید تمام سطح تپه‌های ماسه‌ای تا زمین طبیعی مجاور پوشیده شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج داده‌های این تحقیق نشان داد، که لایه مالچ ایجاد شده با آهک هیدراته سه درصد مقاومت کافی در مقابل سایش باد را ندارد و با تیمار شاهد قابل مقایسه است. همچنین تجزیه و تحلیل میزان سایش لایه مالچی در تیمارهای دوغاب آهک هیدراته پنج و هفت درصد نشان داد که با افزایش درصد آهک در دوغاب، مقاومت سایشی مالچ ایجاد شده افزایش یافته است. تیمار آهک هیدراته هفت درصد با ضخامت لایه مالچی ۶/۳ میلی‌متر، بهترین عملکرد را در مقابل سایش بادی نشان داد. در بازدیدهای مکرر صحرایی مشخص شد که لایه‌های مالچ دوغاب آهک در تیمارهای پنج و هفت درصد علیرغم مقاومت سایشی بهتر، به دلیل فرسایش ماسه‌های بدون پوشش مالچی مجاور، در اثر وزن خود شکسته شده و تخریب سریع‌تر آنها را سبب شده است. لذا در صورت پوشیده شدن کامل سطح تپه ماسه‌ای با دوغاب آهک پنج و هفت درصد، این لایه محافظ می‌تواند مقاومت طولانی‌تری در مقابل سایش بادی داشته باشد. به‌علت کند بودن فرآیندهای واکنشی مالچ دوغاب آهک، زمان و رطوبت کافی برای افزایش مقاومت سایشی نیاز است.

روش‌های نوین و کم‌هزینه در دستور کار قرار گرفته است. در تحقیقی آزمایشگاهی، از مالچ آهکی-رسی در تثبیت ماسه‌های بادی استفاده شده است (۱۵). نتایج این تحقیق نشان داد که با اختلاط آهک و رس با درصدهای وزنی مختلف افزایش نسبی در مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و سایش ایجاد می‌شود و تیمار مخلوط ۲۰۰ گرم رس، ۱۰ گرم آهک در یک لیتر آب بهترین نتیجه را داشته است. پژوهش حاضر در مقایسه با سایر پژوهش‌ها، به‌منظور اجرا در عرصه طبیعی و استفاده از دوغاب آهک هیدراته بدون حضور خاک رس‌دار، برای ایجاد پوششی محافظ بر سطح تپه‌های ماسه بادی و جلوگیری از حرکت آنها در نوع خود، تحقیقی نو قلمداد می‌شود. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش درصد آهک در حضور مقادیر مناسب از آب (دوغاب)، امکان واکنش بین آهک با ذرات فوق‌العاده ریز رس موجود بر سطح دانه‌های ماسه فراهم می‌شود که محصول، نوعی سیمان اتصال‌دهنده بین دانه‌های ماسه است و همین مقدار اندک کانی‌رسی برای انجام واکنش با هفت درصد آهک و اتصال دانه‌های ماسه کافی به‌نظر می‌رسد. این پوشش نسبتاً مقاوم نقش حفاظتی از ماسه‌های زیرین را ایفا می‌کند.

نیابستی فراموش کرد که میزان آهک استفاده شده در پوشش‌های مالچی آنقدر ناچیز است که عاملی محدود کننده بر رشد پوشش گیاهی در سطح ماسه‌های بادی نخواهد بود. ضخامت کم لایه مالچی ایجاد شده و ناپایداری ماسه‌های زیرین باعث می‌شود تا این پوشش مقاومت فشاری زیادی نداشته و شکننده باشد، اما نتایج به‌دست آمده حاکی از افزایش مقاومت سایشی لایه ایجاد شده در سطح تپه‌های ماسه‌ای دارد و از این رو برای محافظت از حرکت ماسه‌های روان توسط باد مناسب است. از آنجا که واکنش‌پذیری آهک با رس فرآیندی زمان‌بر و

### منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N., M. Mahdieh, M. H. Davoudi 2013. Application of lime and pozzolan for stabilization of silty sand soils in irrigation and drainage networks. *Journal of Water and Soil Science (JWSS)* 16 (62): 245-257. (In Farsi)
2. Ameta, N. K., A. S. Wyal and P. Hiranandani. 2013. Stabilization of dune sand with ceramic tile waste as

- admixture. *American Journal of Engineering Research* 2: 133-139.
3. Bandezadeh, O., M. H. Davoudi and M. F. Astaneh. 2011. Check the time factor and the percentage of lime and fly ash on physical and mechanical properties of fine-grained soil. *Journal of Modares Civil Engineering* 11(3): 91-98 (In Farsi).
  4. Bayshakhi, D. N., A. M. Keramat and S. Grytan. 2017. Study on strength behavior of organic soil stabilized with fly ash. *International Scholarly Research Notices* 2017: 1-6.
  5. Consoli, N., L. Lopes, P. Prietto, L. Festugato and R. Cruz. 2011. Variables controlling stiffness and strength of lime-stabilized soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 137: 628-632.
  6. Dallas, N. 2009. Recommended practice for stabilization of subgrade soils and base materials, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine the National Academics, Washington, DC.
  7. Dariaie, M. and S. M. Kashefi. 2011. Examines the effect of sand and lime on the strength properties of clay soils. *Journal Water and Soil* 25(2): 230-239.
  8. Das, V., P. Kumar, A. Gupta and N. K. Ameta. 2016. Dune sand stabilization using plastic (polybags) waste as admixture for the design of flexible pavement in construction of roads. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* 13: 60-65.
  9. Dash, S. and M. Hussain. 2012. Lime stabilization of soils: reappraisal. *Journal of Materials in Civil Engineering* 24: 707-714.
  10. Dehdashtian, M. D. 2009. Oil mulch and environmental effects of its application. *Journal of Range and Forest* 81: 21-26.
  11. Erdem, O., E. O. Tastan, B. Tuncer, F. Edil, H. Craig, F. Benson, H. Ahmet and M. Aydilek. 2011. Stabilization of Organic Soils with Fly Ash. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 137(9): 819-833.
  12. Hagen, L. J. 2010. Erosion by wind: Modeling (Chapter 2). In: Lal, R. (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. 2<sup>ed</sup>, Taylor and Francis Publishers, London.
  13. Hashemitabatabaei, S. and A. Aghaeiarani. 2008. Comparing the effects of quicklime and hydrated lime on the soil geotechnical properties modified. *Quarterly of Earth Science* 17(67): 14-21.
  14. Hashemitabatabaei, S. and A. Aghaeiarani. 2006. The use of lime to improve the soils with high plasticity index. *Quarterly of Earth Science* 16(61): 60-67.
  15. Hazireie, F. A. and M. Zarearnani. 2013. The effect of mulch clay - lime on wind sand consolidation. *Journal of Water and Soil* 27(2): 373-380.
  16. Kok, J. F., E. J. R. Parteli, T. I. Michaels and D. B. Karam. 2012. The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on Progress in Physics* doi.org/10.1088/0034-4885/75/10/106901.
  17. Kumar, P., V. Das, A. Gupta and N. K. Ameta. 2016. Stabilization of dune sand mixed with plastic waste strips for design of flexible pavement in construction of roads. *American Journal of Engineering Research* 5: 315-320.
  18. Li, B and D. J. Sherman. 2015. Aerodynamics and morph dynamics of sand fences: A review. *Aeolian Research* 17: 33-48.
  19. Majdi, H., M. Karimian- Eghbal, H. R. Karimzadeh and A. Jalalian. 2006. Effect of different clay mulches on the amount of wind eroded materials. *Journal of Water and Soil Science JWSS* 10(3): 137-149. (In Farsi)
  20. Solanki, D., M. Dave and A. Maheshwari. 2017. Engineering properties of bentonite stabilized with admixture (rubber tyre chips). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 6(10): 19434-19444.
  21. Soulouki, H. R., M. Khamechian, N. Hafezie Moghadasi and S. K. Alavipanah. 2010. The effects soil engineering properties on wind erosion in sistan plain. In: *Proceeding of the Second National Conference on Wind Erosion and Aerosols*. Yazd.
  22. Su, Y. Z., R. Yang, W. J. Liu and X. F. Wang. 2010. Evolution of soil structure and fertility after conversion of native sandy desert soil to irrigated cropland in arid region, *Soil Science China* 175: 246-254.
  23. Vukicevic, M., V. Puievic, M. Marjanovic, S. Jockovic and S. M. Dragojevic. 2015. Stabilization of fine-grained soils with fly ash. *Gradevinar* 67: 761-770.
  24. Wayal, A. S., N. K. Ameta and D. G. M. Purohit. 2012. Dune sand stabilization using bentonite and lime, *Journal of Engineering Research and Studies* 3(1): 58-60.
  25. Xu, Y. 2014. Dust emissions from undisturbed and disturbed soils: Effects of Off-Road Military Vehicles. MSc. Thesis, Department of Biological & Agricultural Engineering, Kansas State University.

## The Effect of Hydrated Lime Slurry on Stabilizing Sand Dunes Mobility

G. H. Zoraghi<sup>1</sup>, K. Shabani Goraji<sup>1\*</sup>, M. R. Noura<sup>1</sup> and A. R. Rashki<sup>2</sup>

(Received: September 21-2017 ; Accepted: June 17-2018)

### Abstract

Creating a mulch layer on the sand dunes surface has long been applied to reduce their mobility. However, application of oil mulch in some countries, in addition to high costs, has many environmental problems. In this research, the hydrated lime slurry was used as a protective cover on the sand dunes. The slurry was prepared in three treatments with 3, 5 and 7% lime and sprayed uniformly on 2×5 m plots on the sand dunes surface. The average thickness of different types of mulch was measured by a caliper and then their abrasions were calculated in two-month intervals for three calcareous and controlling treatments at three locations. Statistical analysis was performed by using SPSS and the Excel software. The results showed that the 3% lime slurry layer had no resistance to wind abrasion and was comparable to the controlling sites. The results obtained for the 5 and 7% lime slurry mulch layers indicated that the increase in lime percentage raised the mulch resistance against the wind abrasion. The 7% lime slurry layer with a 6.3 mm thickness showed the highest abrasion resistance in the natural conditions.

**Keywords:** Wind abrasion, Hydrated lime slurry, Sand dune

---

1. Department of Geology, Islamic Azad University Zahedan Branch, Zahedan, Iran.

2. Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: ksg1354@yahoo.com