

بررسی تأثیر مالچ سیمانی بر تثبیت ماسه‌های روان

❖ محمدرضا اختصاصی*؛ استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد
❖ فاطمه‌السادات حضیرئی؛ کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی، مدیریت مناطق بیابانی

چکیده

یکی از روش‌های معمول برای کنترل حرکت ماسه‌های روان مالچ‌پاشی بر سطح آن‌هاست. تا کنون در ایران از مالچ‌های نفتی برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای استفاده می‌شده است. تخریب محیط زیست به وسیله مالچ‌های نفتی و همچنین هزینه‌های زیاد استفاده از آن‌ها باعث شده است که مراکز پژوهشی کشور در تحقیق بر روی تغییر نوع و شیوه‌های مالچ‌پاشی فعال شوند. در این تحقیق، برای نخستین بار در کشور ایران، از نسبت‌های مختلف سیمان و آهک و ماسه بادی به عنوان مالچ طبیعی استفاده شد. بدین منظور، از تپه‌های ماسه‌ای دشت یزد- اردکان به عنوان بستر و ترکیب‌های مختلف سیمان پرتلند، ماسه بادی و آهک به عنوان تیمارهای مالچ سیمانی استفاده شد. به هر تیمار یک لیتر آب اضافه شد. سپس، بر روی پلات‌هایی به ابعاد 100×30 و 30 سانتی‌متر عمق ماسه بادی پاشیده شد. این تحقیق در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. سایر عوامل فیزیکی، مانند ضخامت، مقاومت فشاری سله‌های ایجادشده و میزان فرسایش‌پذیری از سطح تیمارها، اندازه‌گیری شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد، با افزایش مقدار سیمان، مقاومت سله‌های ایجادشده در سطح خاک افزایش می‌یابد. از آنجا که تیمار ترکیبی 400 گرم سیمان و 10 گرم آهک و 800 گرم ماسه پاش‌گویی حداقل شرایط فیزیکی لازم برای تثبیت ماسه‌های روان بود، این تیمار مناسب‌ترین تیمار انتخاب شد. هزینه‌های اجرایی مالچ جدید نیز حدود 30 درصد هزینه‌های مالچ نفتی برآورد می‌شود. **واژگان کلیدی:** تثبیت ماسه‌های روان، حرکت ماسه‌ها، فرسایش بادی، مالچ سیمان.

۱. مقدمه

بیابان‌زایی و فرسایش بادی تهدیدی جدی برای مناطق خشک دنیا به شمار می‌آید. هجوم ماسه‌های روان همچنین باعث آسیب زیاد به جاده‌ها و راه‌ها و از بین رفتن حاصل‌خیزی خاک می‌شود [۱۷]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، با وسعتی بیش از ۹۰ درصد، اراضی وسیعی تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند [۱]. چه بسیار از آبادی‌ها که در اثر هجوم ماسه‌های روان به مزارع و خانه‌ها رها شده‌اند و بسیاری از شهرها نیز در معرض تهدیدند.

فرسایش بادی می‌تواند کاهش یابد اگر تصمیم‌گیران قادر به درک این موضوع‌ها باشند: الف) چگونه فرسایش بادی رخ می‌دهد؛ ب) چه روش‌های کنترل‌کننده در دسترس است؛ پ) چه روش‌بهنه‌ای برای استفاده در هر وضعیت خاص مناسب‌تر است. در طول نیم قرن گذشته، مواد و روش‌های مختلفی، به منزله تثبیت‌کننده، برای کاهش کنترل فرسایش بادی ارزیابی شده‌اند [۴، ۸، ۱۲، ۱۸، ۲۰]. یکی از روش‌های معمول برای کنترل حرکت ماسه‌ای روان مالچ‌پاشی بر سطح آن‌هاست. در این زمینه، در سال ۱۳۴۸، تحقیقی در مورد بررسی روش‌های تثبیت ماسه‌های روان (مکانیکی و شیمیایی) در منطقه الباجی اهواز آغاز شد. با وجود این، این فعالیت‌ها پاسخ‌گوی نیازهای برنامه‌ریزی بنیادی برای مهار و کنترل فرسایش بادی در کشور نبوده است [۳].

با توجه به اثبات ضررهای زیست‌محیطی و اقتصادی مالچ‌های نفتی، گرایش به استفاده از مالچ‌های طبیعی و غیرنفتی روز به روز بیشتر می‌شود

[۳، ۵]. بررسی اثر مالچ سنگریزه‌ای بر روی مقدار فرسایش بادی ثابت کرد که مالچ سنگریزه‌ای دو کارکرد مهم در کنترل فرسایش بادی دارد [۱۱]. مالچ سنگریزه‌ای، افزون بر جلوگیری از فرسایش خاک توسط نیروی برشی باد، در به دام انداختن ذرات بادآورده هم نقش دارد. بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده در تونل باد، اراضی دارای ۵۰ درصد مالچ سنگریزه‌ای می‌توانند مقدار فرسایش بادی را تا ۸۰ درصد نسبت به اراضی بدون مالچ کاهش [۳] و به‌دام‌اندازی ذرات رسوب را نیز تا ۱/۸ برابر افزایش دهند [۱۰].

نمک‌های کلسیم و منیزیم‌دار، مانند آهک و گچ نیز باعث چسبندگی و ساختمان‌دهی به ذرات خاک می‌شوند؛ در نتیجه، مقاومت به فرسایش بادی را افزایش می‌دهند [۱۵]. نمک‌های گچ و آهک در غلظت‌های کم باعث پایداری خاک‌دانه‌ها می‌شوند، ولی در غلظت‌های بالا موجب پوکی خاک می‌شوند و حساسیت به بادبردگی را افزایش می‌دهند [۷].

مالچ‌های رسی نیز تا حدودی در برابر باد مقاوم‌اند، ولی هنگامی که زیر بمباران ذرات موجود در جریان باد قرار می‌گیرند فرسایش می‌یابند. در تحقیق مذکور، تیمار ترکیبی از ۲۵۰ گرم شن و ۲۵۰ گرم خاک رس و ۲۵ گرم کاه بهترین تیمار برای تثبیت ماسه‌ها شناخته شد [۱۳].

اثر مالچ سنگریزه‌ای بر میزان فرسایش خاک و سرعت آستانه فرسایشی آن، با آماده‌سازی و قراردادن سینی‌های خاک با مالچ‌های سنگریزه‌ای، در چهار سطح صفر (شاهد)، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد در تونل باد بررسی شد. تحقیق در قالب طرح

اردکان، به منزله بستر تیمارهای مورد آزمایش، و از ترکیب‌های مختلف سیمان معمولی پرتلند (تیپ ۱) و آهک، به منزله مواد اصلی تیمارهای مالچ سیمانی، استفاده شد. دانه‌بندی نمونه‌های خاک با استفاده از روش الک خشک و بر اساس استاندارد ASTM و همچنین روش هیدرومتری و مثلث بافت خاک تعیین شد. افزون بر بافت خاک، میزان مواد آلی خاک، درصد آهک، شوری (EC)، و اسیدیته (pH) خاک نیز اندازه‌گیری شد.

آماده‌سازی تیمارها

نخست بر اساس تیمار و تکرار مشخص شده، سینی‌های مخصوص تونل باد به ابعاد ۱۰۰ سانتی‌متر طول، ۳۰ سانتی‌متر عرض و ۴ سانتی‌متر عمق بر روی زمین چیده شد. سپس، خاک تپه‌های ماسه‌ای، به منزله بستر مالچ، در سینی‌های فلزی ریخته شد و سطح آن‌ها کاملاً صاف و یکنواخت شد. سپس، ۱۰ نوع تیمار مختلف مالچ سیمانی با وزن و نسبت‌های مشخص، که با حجم یک لیتر آب مخلوط شده بود، آماده شد (جدول ۱). مخلوط حاصل در قالب طرح کاملاً تصادفی، به کمک سیمان‌پاش مخصوص، به طور یکنواخت بر روی سینی‌های حاوی ماسه بادی پاشیده شد. به منظور افزایش استحکام مالچ سیمانی، در دو تکرار، با فاصله زمانی ۲۴ ساعت، یک لیتر آب بر روی سطح تیمارها پاشیده شد. پس از گذشت هفت روز از زمان پاشیدن مالچ، تیمارها کاملاً خشک شد. بر روی تیمار شاهد (تهیه شده از نمونه خاک تپه‌های ماسه‌ای) نیز، هم‌زمان با دیگر تیمارهای مالچ‌پاشی شده، فقط آب‌پاشی صورت گرفت.

کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد، با افزایش تراکم مالچ سنگ‌فرشی، میزان فرسایش بادی کاهش می‌یابد. مالچ سنگ‌فرشی، علاوه بر کاهش فرسایش بادی در سطح خاک، باعث به دام انداختن ذرات بادآورده می‌شود؛ این موضوع باعث حفظ حاصل‌خیزی خاک و کاهش آلودگی هوا خواهد شد [۹].

اثر مالچ پلاستیکی بر انتقال تابش و حرارت و تغییرات مقدار دی‌اکسیدکربن در اراضی زراعی خشک چین بررسی شد. محققان به ارزیابی کارایی مدل TBLSHAW برای تخمین آب، حرارت و دی‌اکسید کربن در مناطق کشاورزی، که با مالچ پلاستیکی پوشیده شده بودند، پرداختند. در مناطقی که با مالچ پلاستیکی پوشیده شده بود، رطوبت و دمای خاک بهبود یافته بود. مالچ پلاستیکی نه تنها تولید دی‌اکسید کربن را متوقف نمی‌کند، بلکه میزان دی‌اکسید کربن را، که نتیجه جذب خالص توسط شرایط گرمایی و رطوبتی خاک است، کنترل می‌کند [۱۹].

هدف از این تحقیق آزمایش ترکیب‌های مختلف سیمان با ماسه بادی و آهک و انتخاب مناسب‌ترین ترکیب و نسبت مالچ سیمانی برای تثبیت ماسه‌های روان است. مالچ سیمانی به منزله یک مالچ طبیعی است و به آسانی در دسترس است و از نظر اقتصادی باصرفه و از نظر زیست‌محیطی همگام با طبیعت است. امید آنکه نتایج این پژوهش بتواند در طرح‌های بزرگ تثبیت ماسه‌های روان به کار رود.

۲. مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

در این تحقیق از خاک تپه‌های ماسه‌ای دشت یزد-

جدول ۱. تیمارهای ترکیب مالچ سیمانی مورد استفاده در تحقیق حاضر

کد اختصاری تیمارها	مقادیر وزنی ترکیب تیمار	تیمارهای ترکیبی مالچ انواع
C10+B10	۱۰ گرم سیمان + ۱۰ گرم آهک	تیمارهای ترکیبی مالچ سیمان + آهک
C50+B10	۵۰ گرم سیمان + ۱۰ گرم آهک	(C+B)
C100+B10	۱۰۰ گرم سیمان + ۱۰ گرم آهک	
C200+B10	۲۰۰ گرم سیمان + ۱۰ گرم آهک	
C400+B10	۴۰۰ گرم سیمان + ۱۰ گرم آهک	
C10+ S20 +B10	۱۰ گرم سیمان + ۲۰ گرم ماسه + ۱۰ گرم آهک	تیمارهای ترکیبی مالچ سیمان +
C50+S100+B10	۵۰ گرم سیمان + ۱۰۰ گرم ماسه + ۱۰ گرم آهک	ماسه بادی + آهک
C100+S200+B10	۱۰۰ گرم سیمان + ۲۰۰ گرم ماسه + ۱۰ گرم آهک	(C+S+B)
C200+S400+B10	۲۰۰ گرم سیمان + ۴۰۰ گرم ماسه + ۱۰ گرم آهک	
C400+S800+B10	۴۰۰ گرم سیمان + ۸۰۰ گرم ماسه + ۱۰ گرم آهک	
Blank		شاهد

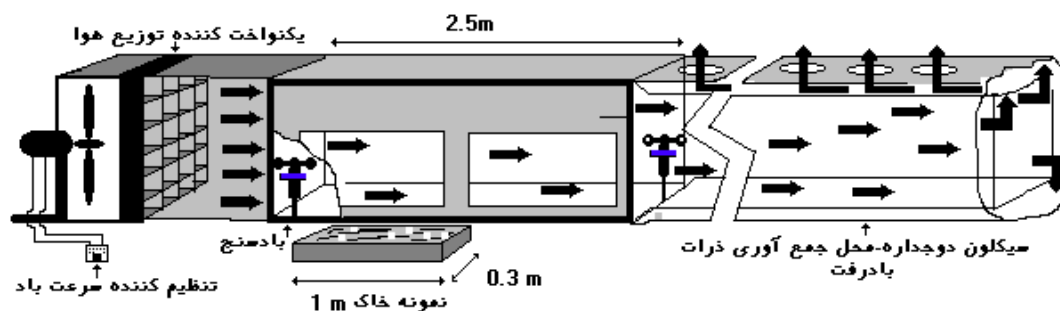
همه ترکیب‌های مالچ با ۱۰۰۰ گرم (یک لیتر) آب ساخته شده است.

B: آهک؛ C: سیمان؛ S: ماسه بادی

سانتی‌متری قرار داشت. در پایان هر مرحله، مقدار رسوب جمع‌آوری شده از سطح تیمار (۱۰۰ سانتی‌متر \times ۳۰ سانتی‌متر) در داخل کیسه‌های رسوب‌گیر توزین شد. سپس، داده‌های توزین به واحد گرم بر متر مربع در زمان یک ساعت تبدیل شد.

اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری تیمارها در دستگاه سنجش فرسایش بادی

پس از آماده‌سازی تیمارها، سینی‌ها هم‌سطح با کف تونل در داخل دستگاه سنجش فرسایش بادی قرار گرفت. (شکل ۱). سینی تیمار به مدت ۲۰ دقیقه در برابر باد با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه در ارتفاع ۲۰



شکل ۱. تصویر شماتیک دستگاه سنجش فرسایش بادی (W.E. Meter) مورد استفاده در این تحقیق [۶]

اندازه‌گیری مقاومت فشاری

پس از اندازه‌گیری مقدار فرسایش در تیمارهای مختلف، سینی‌ها از داخل تونل باد بیرون آورده شد. سپس، با استفاده از دستگاه نفوذسنج، که دارای میله‌ای استوانه‌ای با نوک سطح است و مقدار نیروی فشار لازم برای فرورفتن میله در خاک را نشان می‌دهد، مقاومت فشاری سله‌های تشکیل‌شده در سطح خاک هر تیمار، در ۱۰ نقطه با پراکندگی یکسان، بر حسب (kg/cm^2) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ضخامت سله (لایه) تشکیل‌شده

در سطح

در اثر مالچ‌پاشی در سطح خاک یک لایه به هم چسبیده یا سله در سطح خاک به وجود می‌آید. ضخامت لایه تشکیل‌شده در ۱۰ نقطه از سینی تیمارهای مورد آزمایش با دستگاه کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. ذکر این نکته لازم است که، پیش از اندازه‌گیری ضخامت سله‌ها، ماسه‌های سست چسبیده به زیر لایه از طریق سایش از لایه سطحی جدا شد. سپس، ضخامت سله واقعی در سطح اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده، از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. نخست به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین تیمارها آزمون تجزیه واریانس صورت گرفت. سپس، نرمال بودن داده‌ها با کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. مقایسه میانگین پارامترهای دارای توزیع نرمال با استفاده از آزمون‌های پارامتری، مثل آزمون دانکن، و پارامترهای دارای توزیع غیرنرمال یا امتیازدهی با آزمون‌های غیرپارامتری کروسکال والیس انجام شد.

۳. نتایج

جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب نتایج تعیین بافت و دیگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از روش الک خشک نشان داد که نمونه‌های ماسه بادی مورد استفاده در تحقیق دارای قطر میانگین ۱۸۵ میکرون و جورشدگی خوب (حدود ۰/۱۵) هستند.

جدول ۲. نتایج تعیین بافت خاک به روش هیدرومتري^۱

نوع بافت	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	محل برداشت نمونه
sandy	۸۹	۹	۲	تپه‌های ماسه‌ای دشت یزد- اردکان

جدول ۳. نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی نمونه‌های خاک مورد آزمایش

نمونه	شماره	EC (ds/m)	pH	Ca^{2+} (meq/Lit)	TNV (%)	OM (%)	SAR
خاک ماسه بادی	۱	۱۶/۸	۸/۶	۴	۳۰/۹	۰/۹	۵۱/۴
	۲	۱۷/۰	۸/۶	۵	۳۰/۶	۱/۰۰	۵۲/۳
	۳	۱۷/۷	۸/۸	۵	۳۱/۵	۱/۳	۵۳/۳

1. pentrometer

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مقاومت فشاری و ضخامت سله (لایه) در مالچ سیمانی با استفاده از آزمون دانکن

	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
مقاومت فشاری	۵	۵/۴۰۸	۲۲۹/۹**
ضخامت لایه	۵	۳/۷۹۲	۶۰/۳۹۰**
شاخص فرسایش پذیری	۵	۶۴/۵۲۶	۳۹۱/۹**

** در سطح ۱ درصد معنی دار

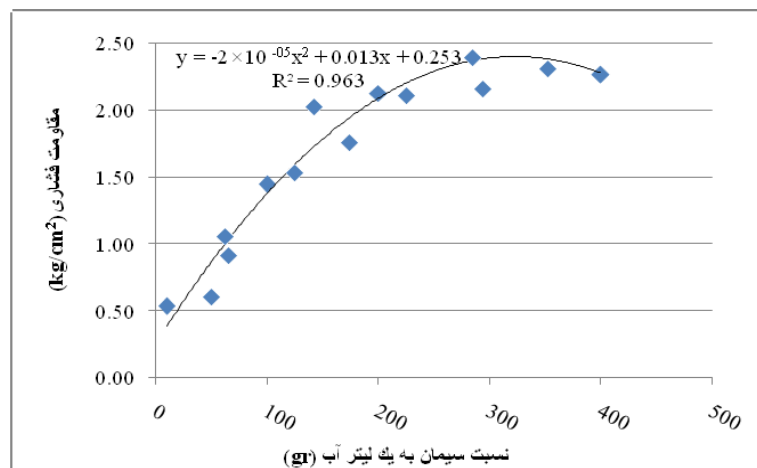
میانگین فرسایش پذیری بادی در تیمارهای ترکیبی مالچ سیمان+ماسه بادی+آهک، کمترین شاخص فرسایش پذیری بادی در تیمار C400+S800+B10 دیده می شود. همچنین، اختلاف بین میانگین های فرسایش بادی بین تیمارهای ترکیبی مالچ سیمانی+ماسه بادی+آهک در سطح ۱ درصد معنی دار است.

بررسی روند تغییرات پارامترهای مالچ سیمانی در تیمارهای مختلف ترکیب سیمان و آهک

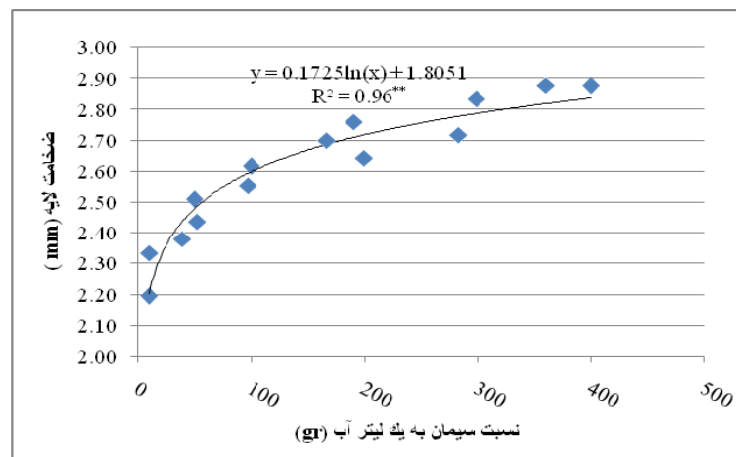
شکل های ۲ تا ۴ روند تغییرات پارامترهای فیزیکی اندازه گیری شده به ازای افزایش میزان سیمان و آهک در تیمارهای مختلف را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که نخست با افزایش نسبت سیمان در مالچ میزان مقاومت فشاری و ضخامت لایه افزایش می یابد. ولی، پس از استفاده از ۲۰۰ گرم سیمان در تیمار، مقدار این دو پارامتر، روند ثابت تا کم شونده ای به خود می گیرد.

بر اساس نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، داده های پارامترهای مقاومت فشاری و ضخامت سله در هر دو نوع ترکیب اصلی مالچ دارای توزیع نرمال اند. نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین ها نشان داد که در بین تیمارهای سیمان+آهک بیشترین مقاومت فشاری مربوط به تیمار C400+B10 است. در بین تیمارهای سیمان+ماسه بادی+آهک، بیشترین کمترین مقاومت فشاری به ترتیب مربوط به تیمار C400+S800+B10 و تیمار شاهد است (جدول ۴). همچنین، بیشترین ضخامت لایه سطحی در بین تیمارهای سیمان+آهک مربوط به تیمار C400+B10 و در بین تیمارهای سیمان+ماسه بادی+آهک مربوط به تیمار C400+S800+B10 است.

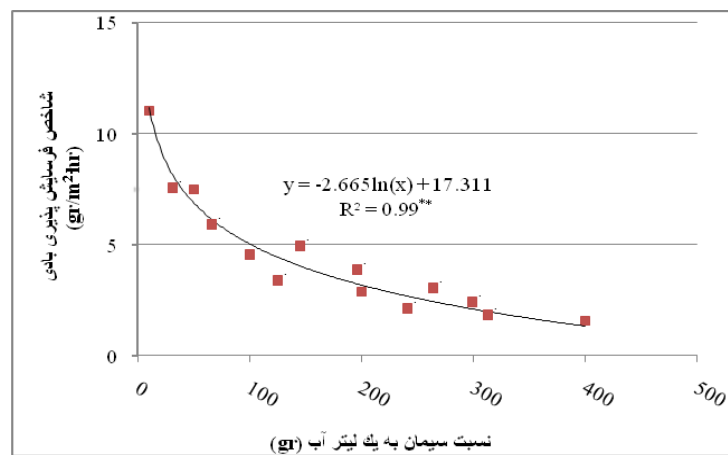
در تیمارهای ترکیبی مالچ سیمان+آهک، کمترین مقدار شاخص فرسایش پذیری بادی با اعمال تیمار C400+B10 رخ داده است. این در حالی است که اختلاف بین میانگین های فرسایش پذیری بادی بین تیمارهای ترکیبی مالچ سیمانی+آهک در سطح ۱ درصد معنی دار است. همچنین، در مقایسه بین



شکل ۲. تغییرات مقاومت فشاری تیمارهای مالچ سیمان (C)+آهک (B)



شکل ۳. تغییرات ضخامت لایه تیمارهای مالچ سیمان (C)+آهک (B)

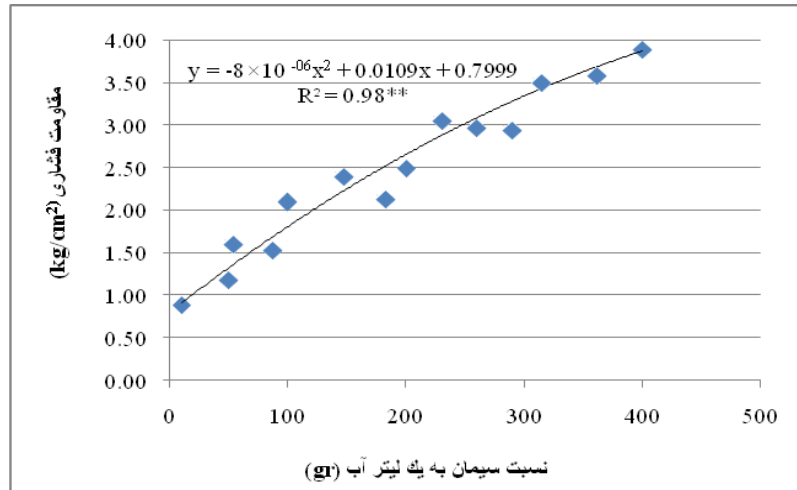


شکل ۴. تغییرات شاخص فرسایش پذیری بادی تیمارهای مالچ سیمانی (C)+آهک (B)

مالچ، نه تنها ضخامت سله‌ها، بلکه مقاومت فشاری آنها افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵ تا ۷).

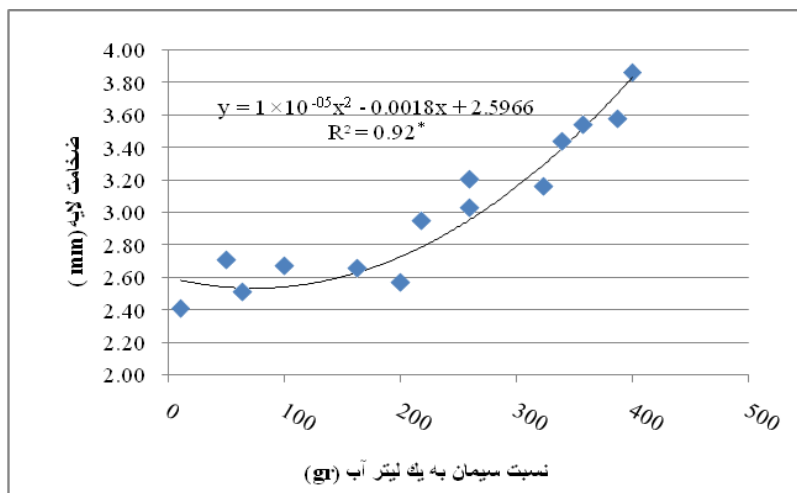
بررسی روند تغییرات مالچ سیمانی در تیمارهای مختلف ترکیب سیمان و ماسه بادی، آهک

با افزایش نسبت سیمان و ماسه بادی در مخلوط



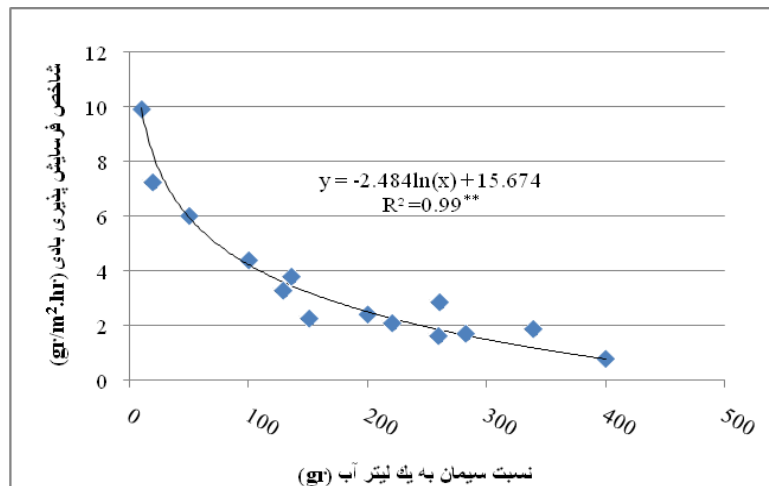
(نسبت ماسه بادی به سیمانی در تیمارها ۲:۱ است)

شکل ۵. تغییرات مقاومت فشاری تیمارهای مالچ سیمانی (C)+ماسه بادی (S)+آهک (B)



(نسبت ماسه بادی به سیمانی در تیمارها ۲:۱ است)

شکل ۶. تغییرات ضخامت لایه تیمارهای مالچ سیمانی (C)+ماسه بادی (S)+آهک (B)



شکل ۷. تغییرات شاخص فرسایش پذیری بادی تیمارهای مالچ سیمانی (C)+ماسه بادی (S)+آهک (B)

بالا بر روی سطح می‌شود که در برابر فشار مقاومت بسیار خوبی نشان می‌دهد. همچنین، با افزایش نسبت سیمان و ماسه بادی در مالچ تا ۴۰۰ گرم، میزان فرسایش پذیری از سطح خاک بسیار کاهش می‌یابد تا حدی که به صفر نزدیک می‌شود.

با توجه به نتایج به دست آمده، به منظور افزایش عملکرد و کاهش ریسک خطر در پروژه‌های مالچ‌پاشی، از بین همه تیمارهای مالچ سیمانی، تیمار ۴۰۰ گرم سیمان+۸۰۰ گرم ماسه بادی+۱۰ گرم آهک بهترین تیمار مالچ سیمانی معرفی می‌شود. برای تثبیت ماسه‌های روان در عرصه یک‌هکتاری با استفاده از این ترکیب مالچ سیمانی حدود ۱۳ - ۱۵ تن سیمان (۲۶ - ۳۰ تن) و ۳۰۰ کیلوگرم آهک مورد نیاز است. هزینه لازم برای تهیه مواد اولیه مالچ سیمانی (با در نظر گرفتن ۱۵ تن سیمان در هر هکتار) در حدود ۵۰ میلیون ریال است. هزینه‌های تأمین مالچ نفتی (با در نظر گرفتن مصرف ۱۰ تن مالچ نفتی در هر هکتار) در حدود ۱۵۰ میلیون ریال است. در صورتی که هزینه‌های پاشیدن مالچ برای هر دو نوع

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس آزمایش‌های انجام شده درباره ترکیب‌های مختلف تیمار مالچ سیمانی و آهک، می‌توان نتیجه گرفت که، با افزایش نسبت سیمان در ترکیب، میزان ضخامت لایه و استحکام لایه تشکیل شده در سطح بیشتر می‌شود و با افزایش مقدار سیمان بیش از ۲۰۰ گرم رفته‌رفته مقاومت آن ثابت می‌ماند یا کاهش می‌یابد. دلیل اصلی ثابت شدن یا کاهش روند مقاومت فشاری به ازای افزایش مقدار سیمانی گرایش بیشتر ذرات سیمان به پدیده خودچسبی نسبت به دگرچسبی در غظت‌های بالاست.

ولی، با افزودن ماسه بادی به سیمان به نسبت دو به یک در ترکیب مالچ سیمان، ماسه بادی و آهک یا تیمار (C+S+B) سله ایجاد شده از استحکام بسیار بیشتری برخوردار می‌شود. دلیل این موضوع عملکرد توأم سیمان و ماتریکس ماسه بادی است. از آنجا که سیمان و ماسه بادی به ترتیب نقش دگرچسبی و ماتریکس بین ذرات را دارند، افزایش آن دو در مالچ باعث تشکیل لایه‌ای محکم و سخت و با ضخامت

موارد فوق، گونه‌های گیاهی ماسه‌رست نیز قادرند به راحتی سله ایجاد شده بر اثر پوشش مالچ سیمانی را خرد کنند و به رشد خود ادامه دهند. کشت بذر گونه تاغ همراه با آبیاری پس از آزمون‌های انجام شده این ادعا را اثبات کرد که بیش از ۵۰ درصد بذور کشت شده در داخل سینی‌های مالچ‌پاشی شده توانستند بعد از گذشت پانزده روز با شکستن سله سر از خاک بیرون بیاورند و به رشد خود ادامه دهند.

در پایان پیشنهاد می‌شود تا با اجرای پایلوت نتایج به دست آمده از کاربرد مالچ سیمانی در استان‌های مختلف کشور زمینه برای جایگزینی مالچ سیمانی به جای مالچ نفتی در کنترل فرسایش بادی و تثبیت تپه‌های ماسه‌ای در ایران و کشورهای همسایه فراهم شود. به دنبال تحقیقات انجام شده و نتایج به دست آمده، که به بخشی از آن‌ها در مطالعه حاضر اشاره شد، مالچ سیمانی تثبیت تپه‌های ماسه‌ای از طریق اداره کل مالکیت صنعتی با شماره ۷۸۸۹۴ ثبت اختراع شده است.

مالچ نفتی و سیمانی یکسان در نظر گرفته شود، هزینه کل مالچ سیمانی در هر هکتار در حدود ۳۰ درصد هزینه مالچ نفتی خواهد بود.

افزون بر این، سیمان معمولی در بیشتر مناطق کشور در دسترس است و، با توجه به وجود کارخانه‌های زیاد و تولید فراوان آن در داخل کشور، تهیه آن بسیار راحت‌تر از دیگر مالچ‌های شیمیایی یا پلیمری است. علاوه بر این، مالچ سیمانی از مواد طبیعی و موجود در سطح زمین تهیه می‌شود و پس از ترکیب با آب خطرهای زیست‌محیطی آن به مراتب کمتر از مالچ نفتی خواهد بود. میزان تجزیه پذیری یا هوازدگی مالچ سیمانی به مراتب کندتر از مالچ‌های نفتی است و، با توجه به سختی و ماندگاری خوب، می‌تواند چندین سال نقش مالچ سنگ‌فرشی را در سطح ماسه‌های روان یا سایر اراضی حساس به فرسایش بادی ایفا کند.

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج کاربرد مالچ سنگریزه‌ای در تحقیق احمدی و اختصاصی [۲] برای تثبیت اراضی رسی و غیرقابل احیای بیولوژیک نشان داد که با ایجاد ۵۰ درصد پوشش سنگریزه‌ای در سطح خاک‌های رسی و حساس به فرسایش بادی می‌توان فرسایش را بیش از ۷۰ درصد کاهش داد. هزینه ایجاد این نوع پوشش مالچی از هزینه‌های احیای بیولوژیک و نگهداری آن کمتر است.

یکی از روش‌های تخریب سنگ‌ها گیاه‌شکافتگی^۱ است؛ بدین معنی که گیاه قادر است سنگ‌ها را بشکافد و بین شکاف‌های ایجاد شده رشد کند. خرد شدن آسفالت و حتی لایه‌های بتونی توسط گیاه در منابع مختلف گزارش شده است [۱۴]. با توجه به

References

- [1] Ahmadi, H. (1998). *Applied Geomorphology*, Volume II: Wind erosion, Tehran University Press, 570pp (in Persian).
- [2] Ahmadi, H. and Ekhtesasi, Mr. (2000). Survey of effect of gravelly mulch in reduction of wind erosion in dagh lands clayey-salty non-renewable with biological methods, *Biaban*, 5(2), 1-13(in Persian).
- [3] Ahmadi, H. and Nakhjavani, F. (1970). Wind erosion in Khuzestan, Faculty of Forestry Publication, *Journal of Forestry*, No. 23, Tehran University (in Persian).
- [4] Armbrust, D.V. (1977). A review of mulches to control wind erosion, *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*, 20, 904-910.
- [5] Dehdashtian, M. (2009). Environmental effects of application of oil mulch, *Journal of Forest and Rangeland*, 81, 21 (in Persian).
- [6] Ekhtesasi, M.R. (1992). Report of design and manufacturing of the Wind Erosion Meter (or portable wind tunnel), *Proceedings of the first conference on problems of desert and arid lands*, Tehran University (in Persian).
- [7] Ekhtesasi, M.R., Akhavan Ghalibaf, M., Azimzadeh, H.R. and Emtehani, M.H. (2003). Study of the effects of salts on the wind erodibility of soil using Wind Erosion Meter(WEM), *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(1-2) (in Persian).
- [8] Hagen, L.J. (2010). Erosion by wind: Modeling, In: Lal, R. editor, *Encyclopedia of Soil Science*, Second Edition, London: Taylor and Francis publishers.
- [9] Heydari, M., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R. and Darini, Javad (2010). Investigation of gravel mulch on wind erosion with W.E. Meter, *Proceedings of the second conference on wind erosion and dust storms*, Yazd University (in Persian).
- [10] Li, Xiao-Yan and Liu, Lian-You (2003). Effect of gravel mulch on aeolian dust accumulation in the semiarid region of northwest China, *Soil and Tillage Research*, 70(1), 73-81, doi: 10.1016/S0167-1987(02)00137-X.
- [11] Li, Xiao-Yan, Liu, Lian-You and Gong, Jia-Dong (2001). Influence of pebble mulch on soil erosion by wind and trapping capacity for windblown sediment, *Soil and Tillage Research*, 59(3-4), 137-142, doi: 10.1016/S0167-1987(01)00158-1.
- [12] Lyles, L., Schrandt, R.L. and Schmeidler, N.F. (1974). Commercial soil stabilizers for temporary wind erosion control, *Transactions of the ASA E*, 17, 1015-1019.
- [13] Majdi, H., Karrimian Eghbal, M., Karimzade, H. and Jalalian, A. (2005). The effect of clay mulch on wind erosion yield, *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10(3), 137-148 (in Persian).
- [14] Meamarian, H. (2005). *Engineering Geology & Geotechnique*, Tehran University Press, 990pp (in Persian).
- [15] Miri Solaiman, J. (2007). Wind erosion threshold velocity mapping using geostatistics method in Sistan region, MSc thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol (in Persian).
- [16] Presley, D. and Tatarko, J. (2009). *Principles of wind erosion and its control*, Kansas State University, Department of Agronomy, K-State Research and Extension Publication MF-2860.
- [17] Refahi, H.G. (1999). *Wind erosion and its control*, Tehran University Press 320pp (in Persian).
- [18] Woodruff, N.P., Dickerson, J.D., Banbury, E.E., Erhart, A.B. and Lundquist, M.C. (1976).

Selected trees and shrubs evaluated for single-row windbreaks in the central Great Plains, USDA, ARS, NC-37.

- [19] Yang, Q., Zuo, H., Xiao, X., Wang, Sh., Chen, B. and Chen, J. (2012). Modelling the effects of plastic mulch on water, heat and CO₂ fluxes over cropland in an arid region, *Journal of Hydrology*, 452-453, 102.
- [20] Zhu Zhenda, Zou Bengong and Yang, Youlin (1985). The characterization of sand dune and its stabilization in China, *Sand transport & desertification in arid land, World Scientific*, 438-449pp.