

## ارزیابی اثر پلیمر پلی اکریلاتی در تثبیت سطوح ماسه‌ای

زهرا فیضی<sup>۱</sup>، ابوالفضل رنجبر فردوئی<sup>۲\*</sup>، علیرضا شاکری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۲

### چکیده

فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان از شاخصه‌های وقوع پدیده بیابان‌زایی و تهدید جدی برای ساکنان مناطق خشک محسوب می‌شود. امروزه استفاده از مالچ به‌عنوان ماده تثبیت‌کننده ماسه‌های روان و کنترل‌کننده فرسایش بادی مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی اثر محلول پلیمری اکریلیک اسید کو اکریل آمید به‌عنوان تثبیت‌کننده ماسه‌بادی است. برای انجام آزمایش از ماسه‌بادی کویر سیازگه ابوزیدآباد و به‌منظور آماده‌سازی بستر تیمارها در محیط آزمایشگاه از سینی‌های فلزی با ابعاد  $100 \times 30 \times 2$  سانتی‌متر استفاده شد. محلول پلیمری تهیه‌شده در سه سطح  $0/5$ ،  $1$  و  $2$ ٪ و به مقدار  $1$  لیتر بر مترمربع با استفاده از پیستوله  $2/5$  لیتری بر روی نمونه‌ها اسپری گردید. این مطالعه به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. سرعت آستانه فرسایش بادی با استفاده از دستگاه تونل بادی تعیین شد. به‌منظور بررسی تأثیر غلظت محلول پلیمری، پارامترهای مقاومت فشاری، سایشی، ضربه‌ای، برشی و ضخامت سله‌های تشکیل‌شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سرعت آستانه فرسایش بادی تیمار شاهد برابر  $5$  m/s تعیین شد. نتایج نشان داد که سرعت آستانه فرسایش بادی نمونه‌ها در هر سه سطح افزایش یافته و نسبت به باد با سرعت  $15$  m/s مقاوم‌اند. همچنین بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده، تیمار  $3$  ( $T3=2\%$ ) بعد از گذشت  $30$  روز به‌عنوان مقاوم‌ترین تیمار تعیین شد. پلیمر به‌کاررفته در شرایط مختلف موجب بروز پاسخ‌های متنوع می‌شود، لذا به‌منظور بهینه نمودن شرایط اجرایی، نیازمند آزمایش در مقیاس صحرائی است.

**کلیدواژه‌ها:** فرسایش بادی، مقاومت، مالچ، پلیمر، اکریلیک اسید، اکریل آمید.

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده علوم زمین و منابع طبیعی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲. استاد، دانشکده علوم زمین و منابع طبیعی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، نویسنده مسئول، [aranjbar@kashanu.ac.ir](mailto:aranjbar@kashanu.ac.ir)

۳. استاد، دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه کاشان است.

## مقدمه

فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان از شاخصه‌های وقوع پدیده بیابان‌زایی و تهدید جدی برای ساکنان مناطق خشک محسوب می‌شود. بخش عمده مسائل اقتصادی و اجتماعی و شرایط زیستی کشورها توسط مسائلی از جمله فرسایش بادی، بیابان‌زایی و گسترش ماسه‌های روان تهدید می‌شوند (منگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ زارح و همکاران، ۲۰۲۰). به منظور کنترل و کاهش اثرات فرسایش بادی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. در روش‌های فیزیکی زبری سطوح ماسه‌ای با استفاده از تکنولوژی مهندسی افزایش می‌یابد؛ این روش به دلیل استفاده از نیروی انسانی و منابع هزینه‌بر است. روش بیولوژیکی از دیگر روش‌های مورد استفاده به منظور کنترل فرسایش بادی است؛ این روش نیز به دلیل شرایط خشکی و کمبود آب در مناطق خشک دارای محدودیت است (منگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ تیان<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه استفاده از روش شیمیایی شامل تثبیت‌کننده‌های سنتی و غیرسنتی به دلیل کنترل فرسایش بادی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تثبیت‌کننده‌های سنتی می‌توان به ضایعات نفتی، آهک، گچ، سیمان و... اشاره کرد. این مواد باعث بهبود خواص خاک شده اما به دلایلی همچون صرف بالای انرژی در زمان تولید و آزادسازی دی اکسید کربن (روسالز<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) و افزایش pH خاک دوستدار محیط‌زیست نیستند (منگ و همکاران، ۲۰۱۷). به همین دلیل استفاده از مواد تثبیت‌کننده غیرسنتی از قبیل پلیمر، آنزیم، کامپوزیت و لیگنین (لی‌یو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله ویژگی تثبیت‌کننده ایدئال می‌توان به چسبندگی و نفوذپذیری مناسب، غیرآلاینده بودن و قیمت مناسب اشاره کرد (دونگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط هان<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۷) فاصله بین ذرات ماسه حدود ۸ میکرون است؛ زمانی که یک تثبیت‌کننده

مایع با قطر قطرات کمتر از ۸ میکرون بر روی سطوح ماسه‌ای پاشیده شود، این قطرات در بین ذرات ماسه نفوذ کرده و آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند، درحالی‌که قطرات بزرگ‌تر بر روی سطح باقی می‌مانند و به‌عنوان یک پوشش عمل می‌کنند. به همین دلیل علاوه بر موارد یادشده می‌توان گفت که فاصله بین ذره‌ای بر روی خواص تثبیت‌کننده مؤثرند.

مطالعات نشان داده است که تثبیت‌کننده‌های شیمیایی می‌توانند به‌عنوان عامل کنترل‌کننده تحرک تپه‌های ماسه‌ای مورد استفاده قرار بگیرند (هان و همکاران، ۲۰۰۷). از سال ۱۹۳۰ تاکنون پژوهش‌های مختلفی به منظور تثبیت تپه‌های ماسه‌ای به وسیله مواد شیمیایی انجام شده است؛ از جمله می‌توان به استفاده از امولسیون آسفالات در شوری سابق (هان و همکاران، ۲۰۰۷)، امولسیون پلی اکریل آمید در منطقه کورسک (بابای<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱)، رزین کورکس در بیابان موجاوه و نوادا (ژئو<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۰)، ماده‌ای به نام نروسین و لاتکس بوتادین-استیرن (هان و همکاران، ۲۰۰۷؛ بابای، ۲۰۰۱)، سدیم سیلیکات (هو و ژئو<sup>۹</sup>، ۱۹۹۱)، پلی وینیل استات، پلی اکریل آمید و اکریلیک اسید (چنگ<sup>۱۰</sup>، ۱۹۹۱) در تثبیت سطوح ماسه‌ای اشاره کرد. از سال ۱۹۸۰ به بعد استفاده از پلیمر در تثبیت خاک به دلیل سهولت و مقاومت بالا نسبت به سایر مواد تثبیت‌کننده بیشتر مورد توجه قرار گرفت (تدین‌فر و شه‌میری، ۲۰۱۵). در سال ۲۰۰۸، دونگ و همکاران با استفاده از کopolymer پیوندخورده اکریلیک اسید بر روی لیگنوسولفانان و فرمالدهید اقدام به تثبیت سطوح ماسه‌ای کردند. نتایج بیانگر این بود که پلیمر مذکور مقاومت فشاری بالایی داشته و با افزایش مقدار آن، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. همچنین این پلیمر نسبت به فرسایش بادی از مقاومت خوبی برخوردار بود (دونگ و همکاران، ۲۰۰۸). سعیدی و همکاران به بررسی اثرات مالچ ترکیبی ضایعات پسته، پلی اکریل آمید و ونیل استات در تثبیت تپه ماسه‌ای دشت داوران استان کرمان پرداختند؛ نتایج نشان داد که خاکدانه‌های تشکیل‌شده بر اثر استفاده از مالچ مقاومت بالایی در برابر فرسایش بادی دارند

1. Meng
2. Tian
3. Rosales
4. Liu
5. Dong
6. Han

7. Babaev

8. Zhu

9. Hu and Zhou

10. Cheng

کو اکریل آمید و تعیین غلظت بهینه آن به عنوان تثبیت کننده سطوح ماسه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به غلظت بهینه از طرح آزمایشات کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر سه غلظت ۰/۵، ۱ و ۲٪ در محیط SPSS استفاده شد. در این پژوهش مکانیسم تثبیت ماسه و مقاومت در برابر فرسایش بادی به وسیله تونل بادی و در محیط آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی به منظور برداشت نمونه، تپه‌های ماسه‌ای واقع در جنوب دشت کاشان و در محدوده کویر سیازگه ابوزیدآباد مربوط به دوران کواترن بوده است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن، خشک است (فیضی، ۲۰۱۴). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، خصوصیات اولیه آن‌ها بررسی شد. قابل ذکر است نمونه مورد بررسی بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد در کلاس ماسه‌ای قرار گرفت. سپس اقدام به بررسی ویژگی‌های مقاومتی از قبیل مقاومت ضربه‌ای، سایشی، برشی، فشاری، ضخامت سله‌ها و همچنین سرعت آستانه فرسایش بادی گردید.

### تهیه مالچ پلیمری

به منظور ایجاد زنجیره پلیمری مطابق روش (دایی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) عمل شد؛ در ابتدا یک میلی‌لیتر اکریلیک اسید در ۱۵ سی‌سی آب مقطر حل شد و نیم گرم سدیم هیدروکسید به محلول اضافه شد. ظرف محلول در فلاسک سه‌دهنه با کندانسور برگشتی و استریر مغناطیسی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به ظرف واکنش مونومر دوم (اکریل آمید) به مقدار ۰/۲۵ گرم افزوده شد. محلول اتصال‌دهنده متیل بیس آمید و آغازگر آمونیوم پر سولفات به ترتیب به مقادیر ۰/۰۹ و ۰/۰۶ گرم به محلول افزوده شد و بر روی استرینگ تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. بدین ترتیب هیدروژل با غلظت ۸٪ وزنی به دست آمد. شایان ذکر است تعیین دقیق مقادیر از طریق آزمایش‌های مختلف به دست آمد.

(سعیدی و همکاران، ۲۰۱۷). ژنگ و همکاران اثر تثبیت کننده پلیمری بر روی خاک‌های ماسه‌ای با غلظت‌های متفاوت را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که با افزایش غلظت پلیمر، ماتریکس پلیمری ایجاد شده در خاک و همچنین فعل و انفعالات آن‌ها بیشتر شده و در نتیجه مقاومت فشاری خاک افزایش می‌یابد (ژنگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). تدین‌فر و شه‌میری تأثیر پلیمر اکریلیک اسید را در تثبیت خاک‌های ریزدانه بررسی کردند؛ نتایج بیانگر رابطه مستقیم غلظت پلیمر مورد استفاده و بهبود مقاومت خاک بود (تدین‌فر و شه‌میری، ۲۰۱۵). لی و همکاران به منظور تثبیت ماسه از نانوکامپوزیت ساخته شده از آتاپولژیت<sup>۲</sup> و سلولز کربوکسی‌متیل استفاده کردند. نتایج نشان داد این تثبیت کننده به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل قابلیت جذب بالای آب را داشته که می‌تواند ذرات ماسه را به یکدیگر متصل کند، بنابراین قادر به ایجاد بیوکراست‌های تثبیت کننده ماسه‌اند (لی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). ایشان همچنین به بررسی خواص مقاومتی ماسه‌های تثبیت شده با استفاده از پلیمر ارگانیک پرداختند؛ نتایج نشان‌دهنده بهبود ویژگی‌های مکانیکی ماسه در اثر استفاده از پلیمر بود. همچنین بیان کردند که غلظت پلیمر در بهبود خواص آن‌ها مؤثر بوده و با افزایش غلظت، خواص مقاومتی آن‌ها بیشتر می‌شود (لی‌یو و همکاران، ۲۰۱۸).

به همین دلیل به نظر می‌رسد که استفاده از پلیمرهای با خاصیت جذب آب به دلیل ایجاد ارتباط بین ذرات ماسه و اتصال آن‌ها به یکدیگر و در نتیجه انسجام آن‌ها در برابر فرسایش بادی، روشی مناسب برای تثبیت عرصه‌های ماسه‌ای باشد. شایان ذکر است به دلیل وجود عرصه‌های وسیع ماسه‌ای و وجود کانون‌های بحرانی فرسایش در داخل و خارج از ایران و خسارت‌های فراوان ناشی از وقوع طوفان‌های ماسه‌ای و ریزگرد و از طرفی افزایش قیمت مالچ‌های نفتی و اثرات مخرب استفاده از آن‌ها، طرح‌های بررسی و معرفی مواد تثبیت کننده جایگزین را قابل توجه می‌کند.

در همین راستا در تحقیق حاضر اثر پلیمر اکریلیک اسید

1. Zheng
2. Attapulgitte
3. Li

## آماده‌سازی تیمارها

پس از انتقال نمونه‌ها به محیط آزمایشگاه، نمونه مورد نظر به منظور یکدست‌سازی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس درون سینی‌های فلزی با ابعاد  $100 \times 30 \times 2$  سانتی‌متر ریخته شد و سطح آن با استفاده از یک شاخص فلزی مسطح گردید. سپس پلیمر با غلظت‌های مختلف ۰/۵، ۱ و ۲٪ تحت عنوان‌های  $T_1$ ،  $T_2$  و  $T_3$  روی هر سینی پاشیده شد. به منظور مقایسه با حالت بدون مالچ، یک تیمار هم به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و مطابق سایر تیمارها آب‌پاشی صورت گرفت. تیمارهای مختلف مالچ تهیه‌شده در جدول (۱) نشان داده شده است. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ روز در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند تا به طور کامل خشک شوند.

جدول (۱): تیمارهای مختلف مورد استفاده

Table (1): The treatments tested

تیمار	درصد	تکرار
$T_1$	0.5	1
		2
		3
$T_2$	1	1
		2
		3
$T_3$	2	1
		2
		3

## اندازه‌گیری سرعت آستانه فرسایش بادی

به منظور تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی از دستگاه تونل بادی استفاده شد. این دستگاه از سه قسمت پروانه مواد باد، محفظه فلزی که سینی‌های حاوی نمونه‌های ماسه‌بادی در آن قرار می‌گیرند و محفظه رسوب‌گیر تشکیل شده است (حضیری و ارنانی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). محفظه رسوب‌گیر از جنس پلاستیک بوده و طول آن ۱۰ متر است. حداکثر سرعت باد ایجادشده توسط مولد باد بین ۱۵ m/s است.

## اندازه‌گیری مؤلفه‌های فیزیکی نمونه‌های مالچ‌پاشی شده

به منظور بررسی اثر مالچ‌های تهیه‌شده بر روی نمونه‌های ماسه‌بادی، پس از مالچ‌پاشی و خشک شدن تیمارها، ارزیابی و اندازه‌گیری سرعت آستانه فرسایش، مقاومت فشاری، ضربه‌ای، سایشی، برشی و ضخامت سله‌های تشکیل‌شده شروع شد.

## مقاومت فشاری

به منظور بررسی مقاومت مکانیکی ظاهری خاک یا به بیانی دیگر ظرفیت تحمل ماده، از دستگاهی به نام نفوذسنج استفاده می‌شود (ممبنی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). این دستگاه مقاومت فشاری خاک را برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نشان می‌دهد. بدین منظور اقدام به اندازه‌گیری مقاومت فشاری تیمارها در سطح سینی در ۱۰ نقطه و با پراکندگی یکسان شد.

## مقاومت سایشی

از آنجا که باد همراه خود ذراتی را حمل می‌کند و این ذرات سبب سایش سطح خاک می‌شوند، بررسی این موضوع تحت عنوان مقاومت سایشی مورد توجه قرار گرفته است. مقاومت سایشی سله‌های تشکیل‌شده با استفاده از کاغذ سمپاده ۱۰۰ میکرون و با نیروی فشاری ۰/۵ گرم در سطح در ۵ نقطه از سطح هر تیمار اندازه‌گیری شد (زارع و همکاران، ۲۰۲۰). تعداد دفعات مالش کاغذ سمپاده بر روی سطح تیمارها تا زمان ساییده شدن کامل سله بیانگر میزان مقاومت سایشی خاک است.

## مقاومت برشی

به منظور تعیین چسبندگی نمونه‌ها از پره برشی استفاده شد. برای تعیین مقاومت برشی تیمارها پره برشی به صورت عمود در سطح خاک قرار گرفته و با فشار دست پره‌ها در داخل خاک فرو رانده می‌شود و شروع به دوران پره در جهت عقربه ساعت نموده تا برش گسیختگی حاصل شود. مقدار مقاومت از طریق صفحه مندرج در بالای پره نمایش داده می‌شود (زارع و همکاران، ۲۰۲۰).

## مقاومت ضربه‌ای

مقاومت ضربه‌ای میزان مقاومت تیمارها را نسبت به ضربه مشخص می‌کند و از طریق رها کردن میله فولادی با نوک مخروطی و با وزن ۱۵۰ گرم از ارتفاع نیم متری به دست آمد (زارع و همکاران، ۲۰۲۰). مقاومت ضربه‌ای در هر سینی نمونه در ۱۰ نقطه و با پراکنش یکسان اندازه‌گیری شد.

## ضخامت سله

فرسایش بیشتر خواهد بود. به منظور تعیین ضخامت سله‌های تشکیل شده ناشی از مالچ پاشی، از کولیس دیجیتال استفاده شد. بدین منظور در ۵ نقطه از تیمارها اقدام به اندازه‌گیری ضخامت سله شد.

یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی خواص مکانیکی مالچ، ضخامت لایه تشکیل شده بر اثر پاشش مالچ است. هرچه ضخامت سله بیشتر باشد ماندگاری سله و مقاومت آن در برابر

جدول (۲): نتایج آزمون همگنی واریانس به روش ANOVA

Table (2): Homogeneity of variance test accordance to ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	20.42	2	10.21	105.00	.000	مقاومت
Within Groups	2.63	27	.097			ضربه‌ای
Total	23.04	29				
Between Groups	11.89	2	5.95	65.43	.000	مقاومت
Within Groups	2.45	27	0.091			فشاری
Total	14.35	29				
Between Groups	65.42	2	32.71	10.15	.012	ضخامت
Within Groups	19.33	6	3.22			سله
Total	84.75	8				
Between Groups	2576.89	2	1288.44	28.63	.001	مقاومت
Within Groups	270	6	45.000			سایشی
Total	2846.89	8				

باد ایجاد شده توسط دستگاه، مقاومت کامل را داشتند و برداشت ماسه در این سرعت صفر بود.

## تجزیه و تحلیل واریانس شاخص‌های مورد بررسی

نتایج تجزیه واریانس برای تیمارهای مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه واریانس برای مقاومت‌های مختلف نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین تیمارهای مختلف است.

## بررسی شاخص‌های مورد بررسی

## مقاومت فشاری

شکل (۱) مقادیر مقاومت فشاری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است تیمار ۳ (۲٪) دارای بیشترین مقاومت بوده ( $1/4 \text{ kg/cm}^2$ ) و از نظر مقاومت فشاری در کلاس ۲ (متوسط) قرار می‌گیرد. اما دو تیمار ۱ و ۲ مقاومت زیادی در برابر فشار از خود نشان ندادند، به حدی که تیمار ۱ در قیاس با تیمار شاهد تفاوت چندانی نداشته و می‌توان گفت نسبت به فشار مقاوم نبوده و در کلاس کیفی ضعیف قرار می‌گیرند.

## تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های ارزیابی شده در قالب طرح کاملاً تصادفی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از آزمون تجزیه واریانس (روش آنوا یک‌طرفه<sup>۱</sup>) استفاده شد. همگنی داده‌ها نیز از طریق آزمون دانکن و مقایسه تیمارها برای توزیع نرمال با استفاده از آزمون t مستقل مورد بررسی قرار گرفت.

## نتایج

## تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی

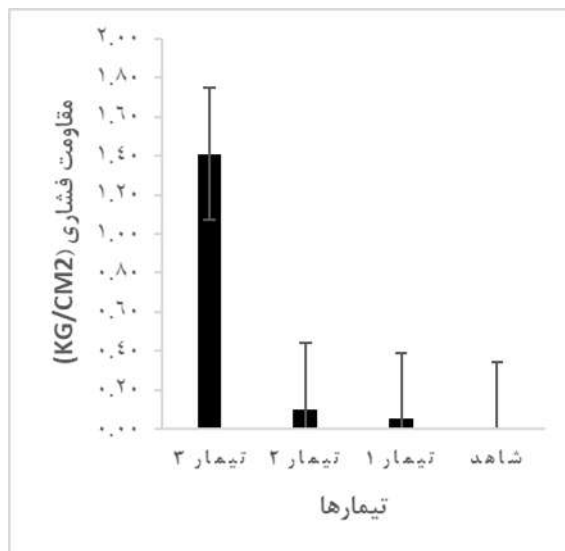
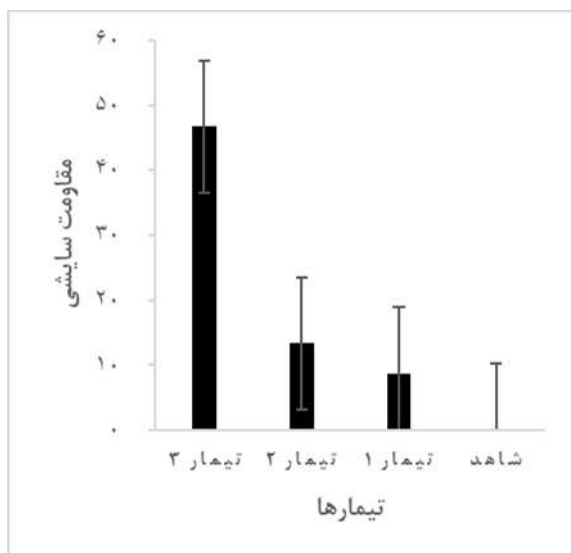
به‌منظور تعیین سرعت آستانه فرسایش از دستگاه تونل بادی استفاده شد. سرعت آستانه فرسایش بادی تیمار شاهد برابر  $5 \text{ m/s}$  تعیین شد. پس از تعیین سرعت آستانه تیمار شاهد، تیمارهای ۱ تا ۳ نیز به مدت ۲۰ دقیقه در تونل بادی قرار گرفتند و سرعت باد به آرامی افزایش داده شد. با توجه به مقاومت نمونه‌ها، سپس تحت باد با سرعت حداکثر  $15 \text{ m/s}$  قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه تیمار نسبت به حداکثر

### مقاومت ضربه‌ای

نتایج تحلیل واریانس مقاومت ضربه‌ای نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارهاست. با افزودن میزان پلیمر به مقدار  $20 \text{ g/m}^2$  (۲٪)، مقدار مقاومت فشاری افزایش پیدا کرد. نتایج مقایسه مقاومت ضربه‌ای نشان داد که با رها کردن میله از ارتفاع نیم متری میله در تیمار ۳ به‌طور میانگین تا عمق کمتر از ۰/۵ سانتی‌متری در خاک فرو رفته، به همین دلیل از نظر کیفی در کلاس بسیار خوب قرار می‌گیرد. درحالی‌که سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نبوده و در تیمار ۲ عمق فرورفت میله تا عمق تقریباً ۲ سانتی‌متر بوده و برای تیمار ۱ میله تا ته سینی برخورد کرد. به همین دلیل از نظر کیفی تیمارهای ۱ و ۲ در کلاس ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرند.

### ضخامت سله

نتایج حاصل از ضخامت سله ایجادشده در اثر پاشش پلیمر با غلظت‌های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. ضخامت سله ایجادشده از تیمار ۳ و ۲ با مقادیری برابر با ۱۶ و ۱۳/۵ میلی‌متر دارای اختلاف معنی‌دار با تیمار ۱ بوده و در کلاس خوب قرار می‌گیرند. درحالی‌که تیمار ۱ با ضخامت سله ۹ سانتی‌متری در کلاس متوسط قرار گرفت.



شکل (۱): طبقه‌بندی تیمارها در خصوص مقاومت فشاری در برابر فرسایش بادی

Figure (1): Classification of treatments for penetration resistance to wind erosion

### مقاومت سایشی

نتایج آنالیز واریانس نشان داده‌شده در جدول (۲) بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) در بین تیمارهای مختلف است. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده، با افزایش میزان پلیمر تا ۲٪، مقاومت سایشی افزایش پیدا کرده است و با تعداد دفعات سایشی حدود ۴۷ بار در کلاس ۴ کیفی قرار می‌گیرد. تیمار ۲ با تعداد تقریبی ۱۴ بار و تیمار ۱ با حدود ۹ بار سایشی در کلاس کیفی ۲ یا متوسط قرار گرفتند. به بیان دیگر، با افزودن پلیمر تعداد لایه‌ها افزایش پیدا کرده و مقاومت خاک را در برابر باد ساییدگی تا مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد.

### مقاومت برشی

نتایج مقایسه مقاومت برشی (شکل ۳) نشان می‌دهد که تیمار ۳ دارای اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۱ و ۲ بوده و دارای بیشترین مقاومت است، به‌طوری‌که با افزودن ۲٪ پلیمر، پره برشی قادر به فرو رفتن در خاک نبود و می‌توان بیان کرد که میزان مقاومت خاک را تا ۱۰۰٪ نسبت به ازهم‌گسیختگی افزایش می‌دهد. تیمارهای ۱ و ۲ نیز نسبت به مقاومت برشی، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشته و می‌توان گفت که مقاومت آن‌ها نزدیک صفر است؛ در نتیجه در کلاس کیفی ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرند.

### بحث و نتیجه‌گیری

میزان فرسایش خاک تحت تأثیر دو عامل فرسایش‌پذیری خاک

شکل (۲): طبقه‌بندی تیمارها در خصوص مقاومت سایشی در برابر

فرسایش بادی

Figure (2): Classification of treatments for abrasion resistance to wind erosion

ضخیم‌تر در زمان کاربرد غلظت بیشتر پلیمر را می‌توان به دلیل وجود گروه‌های آبدوست هیدروکسیل بیشتر در زنجیره پلیمر دانست. این گروه‌های هیدروکسیل با قرار گرفتن در بین و روی ذرات ماسه باعث ایجاد پیوندهای هیدروژنی می‌شوند. با افزایش غلظت تعداد گروه‌های هیدروکسیل و به تبع آن جذب آب و پیوند هیدروژنی بین ذرات قوی‌تر شده و بر مقاومت بین ذره‌ای در سطح سله‌های ایجاد شده می‌افزاید و افزایش مقاومت نمونه به فرسایش بادی را سبب می‌شود. این موضوع با نتایج حاصل از پژوهش منگ و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.

### آنالیز مقاومت برشی

مقاومت برشی به عنوان سختی سله برای ارزیابی نیروی اتصال بین ذرات ماسه شناخته می‌شود. نتایج حاصل از مقاومت برشی برای تیمارهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل به خوبی مشخص شده است که مقاومت برشی نمونه‌های تیمار شده و تیمار نشده با یکدیگر متفاوت بوده و با افزایش غلظت بر مقدار این مقاومت افزوده شده است. این افزایش مقاومت برشی را می‌توان بدین صورت عنوان کرد که نیروی بین ذرات ماسه ضعیف است؛ زمانی که ماسه و پلیمر در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، بخشی از این محلول فاصله بین ذره‌ای را پر می‌کند و بخشی از آن بر روی سطح ذرات باقی می‌ماند. این زنجیره پلیمری ذرات را در بر گرفته و طریق فعل و انفعالات الکترواستاتیکی بین ذرات ماسه و پلیمر، اتصالات فیزیکی برقرار می‌کند؛ در نتیجه مقاومت برشی بهبود پیدا می‌کند. به همین دلیل با افزایش غلظت محلول پلیمری و نفوذ در بین ذرات، اتصالات بین ذره‌ای بیشتر شده و به تبع مقاومت برشی افزایش می‌یابد؛ این امر با نتایج حاصل از منگ و همکاران (۲۰۱۷) و ژنگ و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

### آنالیز مقاومت فشاری

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که در بین تیمارهای مختلف مقاومت فشاری دارای اختلاف معنی‌دار است. میزان مقاومت فشاری با افزایش غلظت، افزایش پیدا کرده است که با نتایج حاصل از ژنگ و همکاران (۲۰۱۸) و دونگ و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. میزان این مقاومت برای تیمار ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر ۱/۴۱، ۰/۱ و ۰/۰۵  $\text{kg/m}^2$  بوده است. به همین

و قدرت فرساینده‌ی باد قرار دارد. از آنجا که انسان قابلیت دخالت در قدرت فرساینده‌ی باد را ندارد، به منظور کاهش اثرات آن لازم است که قابلیت فرسایش‌پذیری خاک را کاهش داد. شاخص‌های مقاومت برشی، فشاری، مقاومت نسبت به ضربه، از هم‌گسیختگی و سایش و همچنین ضخامت لایه مالچ پوشاننده خاک از جمله شاخص‌های معیار خواص مکانیکی مورد بررسی مالچ هستند.

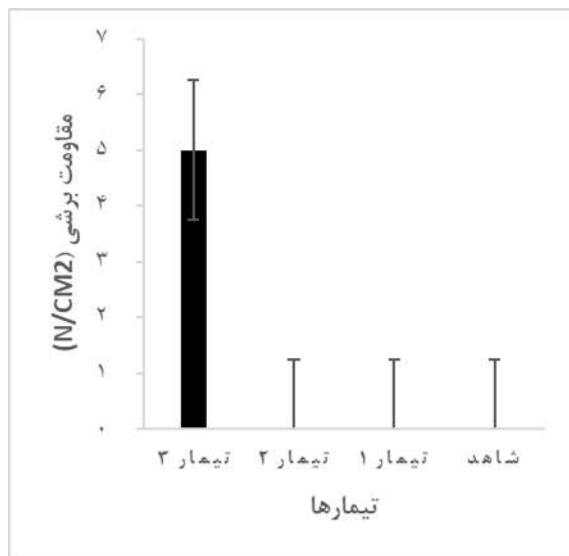
وجود تپه‌های ماسه‌ای یکی از شاخصه‌های وقوع فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار است و از آنجا که مشکلات محیط زیستی ساختارهای اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مقوله تثبیت تپه‌های ماسه‌ای به عنوان یکی از راه‌های کنترل‌کننده ریزگرد ضرورت می‌یابد. در این پژوهش پس از ساخت مالچ پلیمری با قابلیت جذب بالای آب، اقدام به تثبیت نمونه‌های ماسه‌بادی جمع‌آوری شده از کویر سیازگه ابوزیدآباد شد. مالچ مذکور با ۳ غلظت مختلف  $5 \text{ g/m}^2$  ( $0.5\%$ )،  $10 \text{ g/m}^2$  ( $1\%$ ) و  $20 \text{ g/m}^2$  ( $2\%$ ) تحت عنوان تیمارهای ۱ تا ۳ و با ۳ تکرار در محیط آزمایشگاه بررسی شد.

### ارزیابی ضخامت سله

ضخامت لایه تشکیل شده یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی مالچ است. ضخامت سله با میزان ماندگاری آن رابطه مستقیم دارد و با افزایش آن، دوام آن بیشتر شده و به تبع در برابر فرایندهای فرساینده‌ی باد مقاومت بیشتری خواهد داشت. در اینجا با افزودن غلظت تیمار تا مقدار ۲٪ (تیمار ۳)، ضخامت لایه سله تشکیل شده نسبت به تیمار اول ۱۸٪ و نسبت به تیمار دوم ۱۱٪ بیشتر شد. مقایسه مقاومت‌های مختلف نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است. این تصویر نشان می‌دهد که مقاومت خاک در مقایسه با تیمار شاهد و در قیاس با تیمارهای مختلف، تغییر پیدا کرده است. این تصویر به وضوح نشان می‌دهد که نمونه‌های تیمار شده با غلظت محلول ۰/۵ و ۱٪ در برابر فرسایش مقاومت چندانی نداشته، در حالی که نمونه تیمار شده با غلظت ۲٪ در برابر فرسایش بادی مقاومت قابل توجهی را از خود نشان داده است که این امر نشان‌دهنده وجود سله ضخیم‌تر تشکیل شده است که با نتایج منگ و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد. مکانیسم ایجاد سله

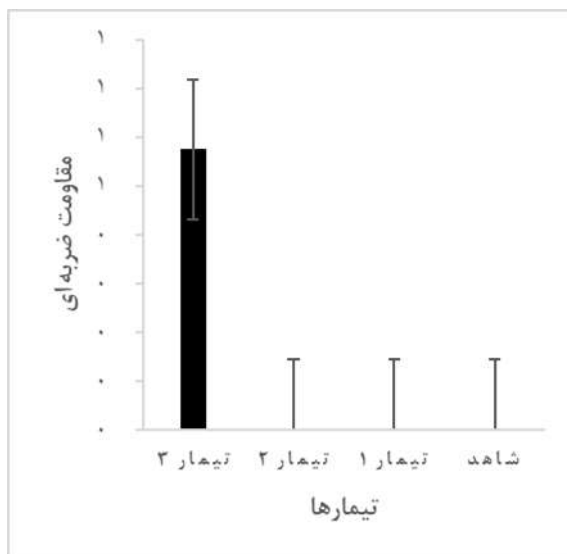
حاصل از پژوهش دونگ و همکاران (۲۰۱۸)، ژنگ و همکاران (۲۰۱۸)، لی-یو و همکاران (۲۰۱۸) و تدین-فر و شهیری (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

اگرچه نتایج حاصل از این پژوهش عملکرد مناسب پلیمر مذکور را در تثبیت سطوح ماسه‌ای کویری در محیط آزمایشگاه نشان داد، باید بیان کرد که این مطالعه در دمای اتاق و شرایط کنترل‌شده انجام شد. بنابراین نیاز است که محلول پلیمری مورد نظر در شرایط طبیعی محیط بیابانی مورد آزمایش قرار گیرد.



شکل (۳): طبقه‌بندی تیمارها در خصوص مقاومت برشی در برابر فرسایش بادی

Figure (3): Classification of treatments for sheer resistance to wind erosion



شکل (۴): طبقه‌بندی تیمارها در خصوص مقاومت ضربه‌ای در برابر فرسایش بادی

Figure (4): Classification of treatments for impact resistance to wind erosion

دلیل تیمار ۳ در کلاس کیفی متوسط و دو تیمار بعدی در کلاس ضعیف قرار می‌گیرند. به عبارتی دیگر می‌توان بیان کرد که هر سه تیمار از نظر مقاومت فشاری استحکام کافی را در برابر نیروهای فشاری ندارند. اما از آنجا که مقاومت فشاری بالا می‌تواند به عنوان مانعی در برابر رشد ریشه گیاهان باشد (سازمان برنامه و بودجه، ۲۰۱۹)، می‌توان تیمار ۳ را به عنوان تیمار بهینه برای مقاومت فشاری در نظر گرفت.

### آنالیز مقاومت سایشی

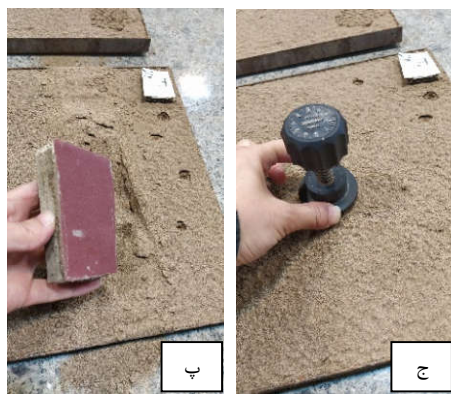
با توجه به شکل ۲ در خصوص مقایسه کارایی تیمارهای مختلف در برابر نیروهای بادسبب می‌توان بیان کرد که سله‌های تشکیل شده در تیمار ۳ کاملاً مقاوم‌اند، به طوری که تعداد دفعات کشیدن کاغذ سمباده بر روی این تیمار تا زمان سائیدگی سله حدود ۴۷ بار بود که از نظر کیفی آن را در کلاس بسیار خوب طبقه‌بندی می‌کند. تیمار ۲ و ۱ هم به ترتیب با میانگین سایش ۱۴ و ۹ بار در کلاس خوب قرار گرفتند. نتایج حاصل از این بخش کاملاً با بخش ضخامت سله هماهنگ است.

### آنالیز مقاومت ضربه‌ای

مقایسه تحلیل واریانس مقاومت ضربه‌ای نشان داد که تیمار ۳ با عمق فرورفت میله مخروطی به مقدار ۰/۲۵ سانتی‌متر نسبت به ضربه، مقاومت بسیار بالایی دارد، به همین دلیل در کلاس کیفی بسیار خوب قرار می‌گیرد. اما تیمارهای ۱ و ۲ در برابر ضربه مقاومت بسیار کمی داشته، به همین دلیل در کلاس کیفی ضعیف قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از آنالیز مقاومت ضربه‌ای با مقاومت برشی با یکدیگر مطابقت دارند. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت تیمارها نسبت به ضربه و از هم گسیختگی دارای عکس‌العمل یکسان بوده‌اند.

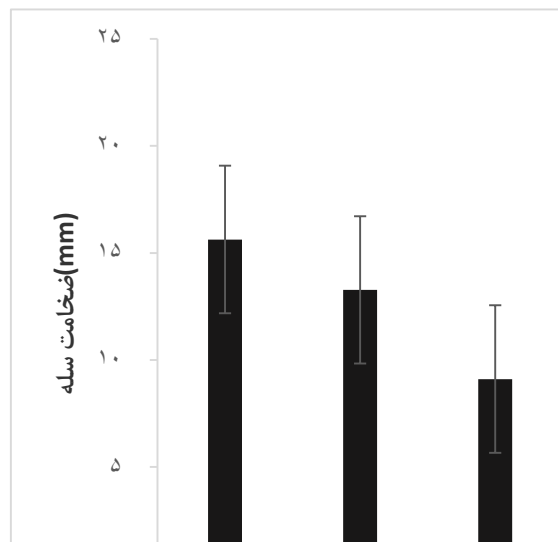
نتایج حاصل از بررسی مقاومت‌های مکانیکی نشان داد که غلظت پلیمر در بهبود خواص مکانیکی ماسه و مقاومت آن‌ها در برابر فرایندهای فرسایشی مؤثر است. با افزودن غلظت پلیمر، میزان مقاومت نمونه در برابر در برابر شاخص‌های فرسایش بادی افزایش می‌یابد؛ به بیان دیگر فرسایش پذیری نمونه‌ها با افزایش غلظت تیمار کاهش می‌یابد که با نتایج





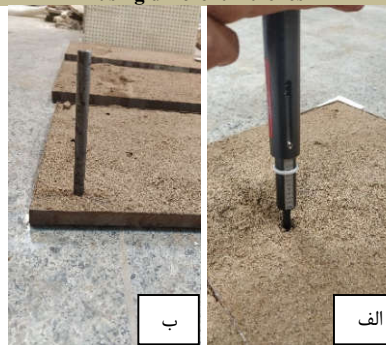
شکل (۶): الف. اندازه‌گیری مقاومت ضربه‌ای، ب. اندازه‌گیری مقاومت فشاری، ج. اندازه‌گیری مقاومت سایشی، پ. اندازه‌گیری مقاومت برشی د. نمونه‌های تیمار شده

Figure (6): a) Impact resistance b) penetration resistance c) abrasion resistance d) shear strength e) sample treated



شکل (۵): طبقه‌بندی تیمارها در خصوص ضخامت سله‌های ایجاد شده بر اثر مالچ پاشی

Figure (5): Classification of treatments for crust diameter due to using different mulches



منابع

- Babaev, AG. 2001. "Shifting sand stabilization in Deserts of Soviet Union (translated by Hu, MC)" In.: China Ocean Press, Beijing, China.
- Cheng, DY., Zhao, XL. and Kang, GD. 1991. "Experiment and research of shifting sand stabilization with asphalt emulsion", Research of shifting sand control (2), Ningxia People's Publishing House, Yingchuan: 335-58.
- Dai, H., Yuhao Zh., Ma, L., Zhang, H. and Huang, H. 2019. "Synthesis and response of pineapple peel carboxymethyl cellulose-g-poly (acrylic acid-co-acrylamide)/graphene oxide hydrogels", Carbohydrate Polymers, 215: 366-76.
- Dong, Z., Wang, L. and Zhao, Sh. 2008. "A potential compound for sand fixation synthesized from the effluent of pulp and paper mills", Journal of Arid Environments, 72: 1388-93.
- Feizi, Z. 2014. Location of flood water spreading using Hierarchical Fuzzy (Study area: South Plains Kashan), Tehran.
- Han, Z., Wang, T., Dong, Z., Hu, Y. and Yao, Z. 2007. "Chemical stabilization of mobile dunefields along a highway in the Taklimakan Desert of China", Journal of Arid Environments, 68: 260-70.
- Hazirei, F. and Zare Ernani, M. 2013. "Investigation of Effect of Clay-Lime Mulch for Sand Dunes Fixation", Water and Soil, 27: 380-73.
- Hu, YD., Zhou, J. 1991. "Experiment and research of shifting sand stabilization with sodium silicate", Research of shifting sand control (2), Ningxia People's Publishing House, Yingchuan: 358-65.
- Islamic Republic of Iran Plan and Budget Organization. 2019. Technical Instruction for Evaluating Performance of Soil Stabilizer (mulch).
- Li, Zh., Chen, Ch., Gao, Y., Wang, B., Wang, D., Du, Y., Liu, L., Wu, Zh. and Cai, D. 2021.

- "Synergistic effect of cyanobacteria and nano-sand-stabilizer on biocrust formation and sand fixation", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9: 104887.
11. Liu, J., Bai, Y., Song, Z., Lu, Y., Qian, W. and Prasanna Kanungo, D. 2018. "Evaluation of Strength Properties of Sand Modified with Organic Polymers", *Polymers*, 10: 287.
  12. Meng, Xu, Liang, L. and Liu, B. 2017. "Synthesis and sand-fixing properties of cationic poly (vinyl acetate-butyl acrylate-2-hydroxyethyl acrylate-DMC) copolymer emulsions", *Journal of Polymers and the Environment*, 25: 487-98.
  13. Mombeni, M., Asgari, H.R., Mohammadian Behbahani, A., Zare, S. and Yousefi, H. 2021. "Effect of bagasse lignocellulose microfibers on sand stabilization: A laboratory study", *Aeolian Research*, 49.
  14. Rosales, J., Agrela, F., Ramón Marcobal, J., Luis Diaz-López, J., Gloria M. Cuenca-Moyano, Álvaro Caballero. and Cabrera, M. 2020. "Use of Nanomaterials in the Stabilization of Expansive Soils into a Road Real-Scale Application", *Materials*, 13: 3058.
  15. Saiedi, N., Besaltpour, AA., Shirani, H., Abbaszadeh Dehaji, P., Esfandiarpour, I. and Faramarzi, M. 2017. "Aggregation and fractal dimension of aggregates formed in sand dunes stabilized by P istachio PAM and P istachio PVA c mulches", *European Journal of Soil Science*, 68: 783-91.
  16. Tadayonfar, Gh. and Shahmiri, N. 2015. "Labor study of polymer effect on fine-grained soil stabilization and its role in reducing hazes in arid and semi-arid areas", *Arid Regions Geographic Studies*, 5: 1-11.
  17. Tian, K, Wu, Y., Zhang, H., Duo, L., Nie, K. and Zhang, Sh. 2018. "Increasing Wind Erosion Resistance of Aeolian Sandy Soil by Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation", *Land Degradation & Development*, 29.
  18. Zare, S., Mohammadi, J., Mombeni, M., Shokouhi, R. and Ghouhestani, Gh. 2020. "Effect of different Mmulches on some physical and mechanical properties of aeolian soil", *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1: 105-19.
  19. Zheng, Y., Fu, Z., Li, D. and Wu, M. 2018. "Effects of Ball Milling Processes on the Microstructure and Rheological Properties of Microcrystalline Cellulose as a Sustainable Polymer Additive", *Materials (Basel)*, 11.
  20. Zhu, ZD., Zhao, XL. and Lin, YQ. 2000. "Sand control engineering", *China Environmental Science Press, Beijing, China*: 117-35.

## Investigation of acrylate polymer in sand area stabilization (case study: sand dunes of Siyazgeh of Abuzeidabad)

Zahra Feizi<sup>1</sup>, Abolfazl Ranjbar Fordoee<sup>2\*</sup>, Alireza Shakeri<sup>3</sup>

Received: 07/05/2022

Accepted: 13/08/2022

### Extended Abstract

**Introduction:** More than 40% of the global lands are covered by arid and semi-arid areas, a quarter of which is covered with dunes, On the hand, wind erosion contributes by approximately 60% to desertification. therefore, additives or stabilizers are used to control wind erosion and decrease its adverse consequences.

Soil stabilization refers to process whereby a product is added to the soil to improve its properties. stabilizing agents are typically classified into traditional and non-traditional types.

Hydrogel as a non- traditional stabilizer is a hydrophilic polymer with a three-dimensional network. In recent years, researchers have developed a series of polymers to be used for various purposes, including the enhancement of soil properties.

In this regard, this study sought to investigate the applicability and effectiveness of co-acrylamide acrylic acid hydrogel and determine its optimal concentration as a stabilizer of sand surfaces. To achieve the optimal concentration, a completely random experiment design was performed in the SPSS environment with three repetitions for all three concentrations of 0.5, 1, and 2%.

**Material and methods:** Collected from the Siyazgeh desert in northern Isfahan province, Iran, the samples of sand dunes used in this study. To investigate the efficiency of the chemical additives used in this study on the sandy soil's properties, the polymer was used at three levels (0.5, 1, and 2%) with 3 replications. Accordingly, metal trays with 100 × 30 × 2 cm dimensions were used to administer the wind erosion test and determine the threshold of friction velocity. Then, the control tray and the treatments were tested under different wind velocities (the comparison of the samples' weight before and after the wind tunnel test showed a weight loss). Finally, the effect of polymers on anti-wind erosion ability was studied in terms of compressive strength, abrasion resistance, impact resistance, and crust diameter.

### Results:

#### *Determination of wind friction velocity*

The effect of three different concentration solutions on the shear strength suggested that all three treatments were resistant to maximum wind velocity (15 m/s, duration time was 20 min) and they didn't lose weight. On the other hand, the control treatment showed 5 m/s for the threshold of friction velocity.

#### *Treatments Resistance*

The results of variance analysis showed that there was a significant difference between the treatments (sig <0.05) and compressive strength in different concentrations, and that increased compared to the control sample. While

1. PhD student in Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Kashan

2. prof in Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Kashan; Corresponding Author, aranjbar@kashanu.ac.ir

3. prof in Faculty of Chemistry, Tehran university

DOI: 10.22052/deej.2022.11.35.51

treatment 3 had the highest resistance ( $1.61 \pm 0.18$ ), no significant difference was found between treatments 1 and 2 (Figure 1).

As shown in Figure 2, treatments 3 and 1 had the highest and lower resistance against the sanding ( $46.67 \pm 5.19$  and  $8.67 \pm 0.96$ ), respectively.

The samples treated with 2% polymer revealed the highest sheer resistance ( $5 \pm 0.56$ ) (Figure 3).

As shown in Figure 4, only treatment 3 was impact resistant.

As shown in Figure 5 most crust diameter revealed in the sample treated with 2% polymer ( $15.63 \pm 1.74$ ).

**Conclusion and Discussion:** Considering the results of this study, it could be argued that composite concentration plays a key role in the influence of polymer adsorption on the soil's particles. on the other hand, it was found that the sand's strength and stiffness increased with an increase in the concentration of the polymer solutions, which could be justified by an increase occurred in the interaction between sand particles and additive.

**Keywords:** Wind Erosion, Resistance, Mulch, Polymer, Acrylic Acid, Acrylamide.