



بررسی تثبیت خاک با استفاده از نانو پلیمر پلی لاتیس (مطالعه موردی: منطقه حسین آباد میش مست استان قم)

محمد مهدی بخشی^۱، بیتا آیتی^{۲*}، حسین گنجی دوست^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

^۳ استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸-۰۳-۰۱

بازنگری: ۱۳۹۸-۰۶-۳۱

پذیرش: ۱۳۹۸-۰۷-۰۲

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۸-۰۱

کلمات کلیدی:

تثبیت خاک

فرسایش باد

مالج

نانو پلیمر پلی لاتیس

حسین آباد قم

خلاصه: فرسایش بادی و گردوغبار ناشی از آن امروزه به صورت یک معضل زیست محیطی، نه تنها مناطق بیابانی بلکه کل کشور را تحت تاثیر خود قرار داده است. شروع بحران ریزگردها در کشور به اوایل دهه هشتاد بازمی گردد. ابتدا ریزگردها از غرب و جنوب غربی وارد کشور شدند و به مرور زمان به نواحی مرکزی نیز راه یافتند. گردوغبار تحت تاثیر عوامل مختلف طبیعی و مصنوعی پدید می آید؛ روش های مختلفی جهت تثبیت خاک نظیر استفاده از بادبند، کاشت گیاه و استفاده از مالج وجود دارد. استفاده از روش های نوین تثبیت خاک به دلیل کاهش اثرات سو بر محیط زیست، جایگزینی مناسب برای مالج نفتی است. تثبیت خاک با استفاده از نانو پلیمر پلی لاتیس قشر یکنواخت به هم چسبیده ای را به وجود می آورد که در برابر سرعت بالای باد مقاوم بوده و اثرات تخریبی کمتری بر روی محیط زیست دارد. در این تحقیق، از خاک منطقه حسین آباد میش مست در نزدیکی دریاچه نمک قم، جهت بررسی تثبیت خاک با استفاده از نانو پلیمر پلی لاتیس استفاده شده است. خاک ها پس از گذشتن از الک ۲ میلی متر در سینی هایی به ابعاد ۸۰*۸۰*۳ سانتی متر و با مقدار ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس تثبیت شده اند. این نمونه ها در بازه های زمانی ۷ و ۳۰ روزه پس از مالج پاشی در معرض باد با سرعت های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر بر ثانیه قرار گرفته و پایداری آن ها در برابر باد بررسی شد. نمونه های تثبیت شده ۷ و ۳۰ روزه با مقدار ۱ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس در سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه پایداری خود را از دست دادند؛ اما سایر نمونه ها در برابر باد با سرعت های مختلف، پایداری خود را حفظ نمودند. در نمونه های تثبیت شده با ۲ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس و سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه، غلظت گردوغبار خاک منطقه حسین آباد نسبت به خاک شاهد در تثبیت ۷ و ۳۰ روزه به ترتیب کاهشی ۶۰ و ۵۰ برابری داشته و مقدار ذرات ته نشین شده در طول کانال نیز کاهش چشمگیری یافت.

۱- مقدمه

که باعث از دست رفتن ذرات ریز و مواد مغذی (گیاخاک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم) می شود [۳-۵]. این پدیده فرایندی بسیار پیچیده است که طی سه فاز کندن، انتقال و رسوب ذرات به وقوع می پیوندد و می تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط جوی (نظیر باد، بارش و دما)، ویژگی های خاک (نظیر بافت و تراکم)، ویژگی های سطحی اراضی (نظیر توپوگرافی، رطوبت، طول زبری آئروپنایمی و گیاهان) و کاربری اراضی (نظیر کشاورزی، چرا و معدن) قرار گیرد

یکی از عوامل مهم در اقتصاد هر کشور، منابع طبیعی موجود در آن کشور است و خاک به عنوان یکی از مهم ترین منابع طبیعی، نقش بسیار عمده ای در زندگی انسان دارد [۱]. فرسایش خاک فرایندی در حال رشد بوده که به واسطه عوامل طبیعی و فعالیت های انسانی ایجاد می شود [۲]. فرسایش بادی یکی از مهم ترین اشکال تخریب خاک بوده

* نویسنده عهده دار مکاتبات: ayati_bi@modares.ac.ir



[۶]. طوفان‌های ریزگرد از تبعات فرسایش بادی محسوب شده و یکی از مهم‌ترین دلایل آلودگی هوا در مناطق دارای چشمه‌های گرد و غبار و مناطق مجاور آن‌ها هستند [۷]. طوفان‌های گرد و غبار اتفاق افتاده در چند سال اخیر در ایران از نظر ویژگی‌هایی نظیر غلظت، اندازه ذرات معلق و تداوم دوره زمانی از موارد مشابه قبلی متمایز هستند؛ به طوری که در گذشته معمولاً متوسط سالانه رخداد حدود ۱۵ روز یا کمتر بود؛ ولی در حال حاضر حدود ۱۰۰ روز و یا بیش‌تر هم گزارش می‌شود. وسعت منطقه تحت تأثیر هم ابتدا محدود به مناطقی از استان‌های خوزستان و بوشهر بود؛ ولی در سال‌های اخیر به مناطق جنوب غرب، غرب و شمال غرب و مناطق مرکزی کشور نیز گسترش پیدا کرده است. در حال حاضر ۲۲ استان کشور با شدت و ضعف‌های متفاوت، تحت تأثیر این پدیده قرار دارند [۸]. در سال‌های اخیر پدیده گرد و غبار در مناطق غرب و جنوب غرب به چالشی فراگیر تبدیل و به دلیل استمرار آن، ضمن اختلال در برنامه‌های روزمره شهروندان، افزایش آلودگی و ناامیدی و اختلال در عملیات ناوگان هوایی، ریلی و جاده‌ای، سبب افزایش میزان مهاجرت به دیگر نقاط کشور شده است [۹، ۱۰]. تحقیقات نشان می‌دهد که بیش‌ترین فراوانی وقوع طوفان گردوغبار به ترتیب در مناطق بسیار خشک با زمین لخت (۶۰ تا ۸۰ روز در سال)، مناطق با پوشش گیاهان بوته‌ای (۲۰ تا ۳۰ روز در سال) و چمن‌زارها (۲ تا ۴ روز در سال) رخ داده است [۱۱].

گردوغبار تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و مصنوعی پدید می‌آید؛ اما می‌توان با به‌کارگیری روش‌های مناسب، برنامه‌ریزی به‌موقع و پیشگیری‌های لازم، از گسترش و تشدید آن جلوگیری نمود. راهکارهای اجرا شده عموماً جهت تثبیت خاک و کنترل عوامل موثر در تخریب زمین بوده که به‌وسیله کاشت گیاه و یا مواد افزودنی صورت گرفته است. برخی از این روش‌ها که عموماً از فرسایش خاک و بیابان‌زایی نیز جلوگیری می‌کنند عبارتند از کاشت درختان مقاوم در شرایط آب‌وهوای گرم و خشک، ساخت بادشکن‌های زنده و غیرزنده، تثبیت شن‌های روان از طریق ایجاد منطقه سبز و تثبیت خاک با استفاده پلیمرها و فراورده‌های نفتی مانند مالچ نفتی. امروزه تثبیت خاک با استفاده از مالچ‌های پلیمری [۱۲-۱۵] نظیر بیوکراست [۱۶]، پلی اکریل آمید [۱۷-۱۹]، پلی‌اتیلن [۲۰]، پلی وینیل الکل [۲۱]، پلی وینیل استات [۲۲]، کوپلیمر اکریلیکی متیل متاکریلات [۲۳]، به‌عنوان روشی نوین، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال

پانوا و همکاران (۲۰۱۷)، خاک محتوی ذرات ریز کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر را با استفاده از پلیمر NIPEC^۱ تثبیت نمودند و پس از سه روز آزمایش فرسایش بادی را انجام دادند. طبق نتایج حاصل، نمونه‌ها تا سرعت ۱۲ متر بر ثانیه باد پایداری خود را حفظ کردند [۲۴]. ابطیحی (۲۰۱۷) با استفاده از پلیمر CPM^۲ تپه‌های ماسه‌ای را تثبیت نمود که در برابر باد با سرعت ۹ متر بر ثانیه مقاومت خود را حفظ کردند [۲۵]. منگ و همکاران (۲۰۱۷)، تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از پلیمر پلی وینیل الکل تثبیت کردند که تا سرعت ۱۶ متر بر ثانیه باد مقاوم بودند [۲۶]. در تحقیق میرزابابایی و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از پلی وینیل الکل و تترا کربوکسیلیک اسید بوتان جهت تثبیت خاک‌های رسی؛ مقدار مقاومت فشاری نمونه‌ها همراه با ۱/۵ درصد پلی وینیل الکل پس از ۱۴ روز از ۱۰ به بیش از ۱۱۶ کیلو پاسکال افزایش یافت [۲۷]. نتایج تحقیق موحدان و همکاران (۲۰۱۱) بر روی تأثیر ماده پلیمر پلی وینیل استات بر میزان فرسایش بادی خاک‌ها نشان داد که ماده پلیمری موردنظر با تشکیل یک لایه نسبتاً سخت که ماهیتاً با لایه تشکیل شده با آب در سطح متفاوت است، به‌خوبی می‌تواند فرسایش بادی با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه را کاهش دهد [۲۸]. بر اساس داده‌های تحقیقاتی و تجربه‌های عملی، اگرچه پلیمرهای استفاده شده جهت تثبیت خاک، لایه محافظتی مناسبی را در برابر باد ایجاد می‌کنند اما به دلیل مشکلاتی نظیر لزجت بالا، زیست‌تخریب‌پذیر نبودن و ممانعت از رشد گیاه قابلیت اجرایی از دید محیط زیستی ندارند [۱۵]. لذا ضرورت مطالعه و بررسی قابلیت کاربرد پلیمری طبیعی با حداقل اثرات نامطلوب احساس می‌شود. استفاده از نانو پلیمر پلی‌لاتیس روشی نسبتاً ارزان بوده و در مقیاس وسیع نیز قابل اجرا است. پلی‌لاتیس پلیمری آب‌دوست با پایه طبیعی و چگالی نزدیک به آب، لزجت پایین و درعین حال زیست سازگار می‌باشد که از قابلیت پمپ شدن بالایی نیز برخوردار است. وقتی آب به پلی‌لاتیس اولیه اضافه شود به علت رقیق شدن زنجیره‌ها یا مارپیچ‌ها از همدیگر جدا شده و پیوندهای هیدروژنی شکسته می‌شود و در نتیجه زنجیره‌ها بدون تأثیر هر نیرویی به شکل آزادانه در حرکت هستند. پلی‌لاتیس رقیق شده با جایگاه‌های واکنش الکترواستاتیک کاملاً فعال وقتی در مجاورت ذرات ماکرو، میکرو و نانوی شن قرار می‌گیرند، درگیر واکنش از نوع کووالانسی می‌شوند که می‌تواند ذرات

1 Non-stoichiometric Inter Polyelectrolyte Complexes
2 Cellulose Polymer Mulch



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Fig. 1. Geolocation of the study area

می‌دهد (شکل ۱). مساحت این منطقه ۱۲۷۸۱ هکتار بوده که اراضی کشاورزی، راه‌های مواصلاتی، مناطق مسکونی و مراکز صنعتی تحت تاثیر گردوغبار این منطقه است. به دلیل مجاورت با دریاچه نمک، پوشش گیاهی نیز بسیار ضعیف بوده و طبق گلباد منطقه قم، جهت‌های غربی به شرقی و شرقی به غربی به ترتیب جهت غالب وزش باد منطقه است [۳۰].

در ابتدا پس از نمونه برداری از خاک منطقه، مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱ برخی از این مشخصات شامل هدایت الکتریکی^۱ (EC) یا میزان شوری، pH، درصد آهک^۲ (TNV)، سدیم Na، درصد رطوبت^۳ (SP) و نسبت جذب سدیم^۴ (SAR) بر اساس استاندارد نشریه ۸۹۳ سال ۱۳۷۲ موسسه تحقیقات آب و خاک [۳۱] ارائه شده است.

جهت آماده‌سازی نمونه‌ها، خاک منطقه داخل ظروفی به ابعاد ۸۰*۸۰*۳ سانتی‌متر ریخته شد که سه نمونه تیمار با مقدارهای مختلف پلی‌لاتیس و یک نمونه نیز شاهد را تشکیل داد. در تیمار اول، دوم و سوم به ترتیب محلول مالچ نانو پلیمر پلی‌لاتیس به ترتیب با مقدار ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر مترمربع روی نمونه‌ها پاشیده شد. لازم به ذکر است پلی‌لاتیس به صورت محلول بوده و جهت رعایت یکنواختی

شن و خاک را به هم بچسباند [۲۹]. به همین دلیل هدف از انجام این تحقیق، بررسی قابلیت نانو پلیمر پلی‌لاتیس در تثبیت و افزایش میزان پایداری خاک منطقه حسین‌آباد میش مست واقع در استان قم در برابر سرعت‌های مختلف باد به منظور کنترل آلودگی هوای شهری ناشی از ریزگردها بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

ناحیه مطالعاتی از نظر جغرافیایی بین عرض جغرافیایی $34^{\circ}18'32.8''$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ}14'6.11''$ شرقی قرار دارد. این منطقه، بخش وسیعی در نزدیکی روستای حسین‌آباد میش مست استان قم را شامل می‌شود که از شرق به دریاچه نمک قم و از غرب به شهر قم محدود شده و هوای قم را تحت تاثیر قرار

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه
Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil of the study area

مقدار	روش آزمایش	واحد	مشخصات
۵/۵۶	عصاره اشباع	ds/m	EC
۷/۷۹	گل اشباع	-	pH
۱۹/۸۸	تیتراسیون	%	TNV
۰/۰۶	فلیم فلومتر	%	Na
۲۰/۸۴	گراویمتری	%	SP
۶/۲۶	تیتراسیون	-	SAR

1 Electrical Conductivity
2 Total Neutralizing Value
3 Saturation Percentage
4 Sodium Adsorption Ratio



شکل ۳. آزمون پایداری خاک شاهد

Fig. 3. The wind erosion test of primary soil samples

ذکر اینکه کلیه آزمایشات حاقل سه بار تکرار شدند و میزان خطا حداکثر ۵ درصد به دست آمد.

شبهه‌ساز طوفان بادی (تونل باد) از دو بخش اصلی محرکه (فن دمنده) و اندازه‌گیری و آزمایش تشکیل شده بود که هرکدام از این بخش‌ها بسته به نوع نیازهای موجود، دارای ویژگی‌ها و کارایی خاص خود بودند. در شکل ۲ بخش‌های مختلف تونل باد مورد استفاده نشان داده شده است.

۳- نتایج و یافته

۳-۱- آزمون فرسایش بادی خاک شاهد

در ابتدای تحقیق، آزمون فرسایش بادی نمونه خاک شاهد (بدون هیچ‌گونه مواد افزودنی) جهت تعیین آستانه پایداری در برابر سرعت‌های مختلف باد انجام شد. طبق نتایج، نمونه خاک شاهد در سرعت ۵ متر بر ثانیه پایداری خود را در برابر باد از دست داد و مقدار غلظت ذرات معلق در هوا به ۳/۵ میلی‌گرم بر مترمکعب رسید (شکل ۳).

جدول ۲. پارامترها و محدوده انجام

Table 2. Parameters and scope of testing

محدوده انجام آزمایش	پارامتر
۱، ۱/۵ و ۲	مقدار مختلف پلی‌لاتیس
۱۰، ۱۵ و ۲۰	سرعت باد (m/s)
۷ و ۳۰	بازه زمانی (day)

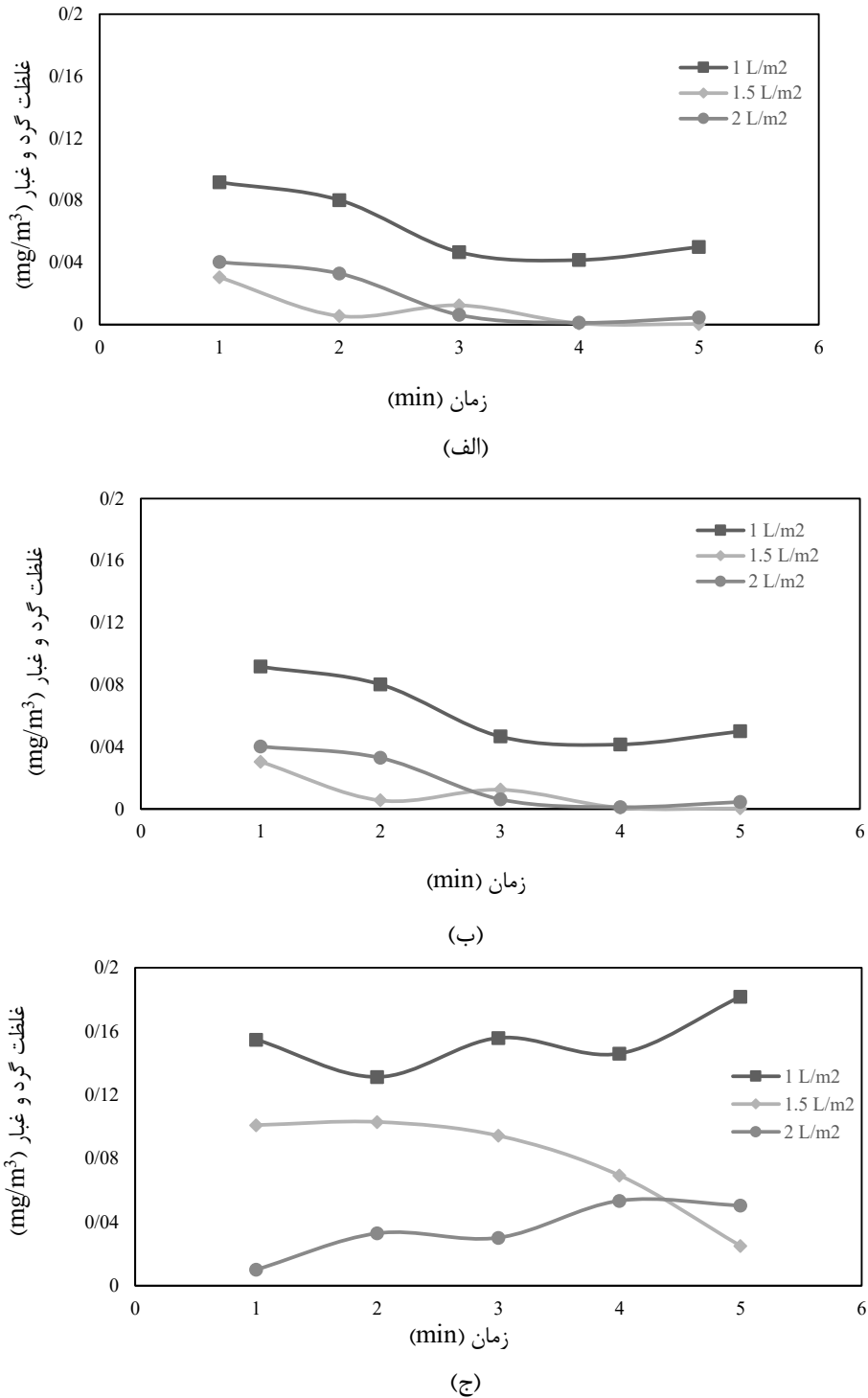
پاشش، از سم‌پاش بادی در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از سطح نمونه استفاده شد. نمونه شاهد نیز بدون هیچ‌گونه ماده افزودنی جهت اندازه‌گیری مقاومت آن در برابر سرعت باد آزمایش شد. هرکدام از نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در معرض وزش باد با سرعت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر بر ثانیه قرار گرفته و با استفاده از غبار سنج Casella ۸۸۰nm مقدار ذرات خاک جدا شده از سطح نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (جدول ۲). کیفیت هوای محیط نیز با استفاده از استاندارد 'NAAQS' و اندازه‌گیری غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ تعیین شد. طبق این استاندارد، حداکثر غلظت بحرانی برای ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب ۳۵ و ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب می باشد [۳۲]. غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ جدا شده از سطح خاک نیز با استفاده از غبار سنج HT-۹۶۰۰ در بازه‌های زمانی ۵۰ ثانیه اندازه‌گیری شدند؛ همچنین در طول تونل باد سینی‌هایی با فواصل ۸۰-۰، ۱۶۰-۸۰ و ۲۴۰-۱۶۰ سانتی‌متر جهت جمع‌آوری ذرات جدا شده از سطح خاک قرار داده شدند و پس از انجام آزمون فرسایش بادی ذرات جمع -آوری شده داخل سینی، با استفاده از ترازو KIA BL۱۰۰۰ وزن شدند. نکته قابل

- 1 National Ambient Air Quality Standards
- 2 Particulate Matter



شکل ۲: پایلوت مورد استفاده (تونل باد)

Fig. 2. Used pilot (Wind tunnel)



شکل ۴. تغییرات غلظت گردوغبار خاک تثبیت شده ۷ روزه در سرعت های مختلف باد الف) ۱۰ m/s ب) ۱۵ m/s ج) ۲۰ m/s
 Fig. 4. 7-day stabilized soil dust concentration variations at different wind speeds a) 10 m/s b) 15 m/s c) 20 m/s

استفاده از تونل باد صورت گرفت که نتایج آن در شکل های ۴ الف تا ۴ ج ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ الف و آزمایش خاک شاهد، در صورت استفاده از ۱ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس پایداری خاک در برابر باد با سرعت های

۳-۲- آزمون فرسایش بادی خاک تثبیت شده ۷ روزه نمونه خاک های منطقه پس از مالچ پاشی، به مدت ۷ روز و در اواسط ماه مرداد ۱۳۹۶ با میانگین دمای ۳۵ درجه سلسیوس در معرض هوای آزاد قرار گرفته و پس از آن آزمایش فرسایش بادی با

ج ارائه شده است.

طبق شکل ۶ الف و آزمایش خاک شاهد، در صورت استفاده از مالچ پلی لاتیس با مقدار ۱ لیتر بر مترمربع، پایداری خاک در برابر باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه حفظ شده و افزایش ۲ برابری دارد؛ اما این نمونه در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه مقاومت خود را در برابر باد از دست داده، همچنین در صورت استفاده از ۱ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس، غلظت ذرات معلق نسبت به خاک شاهد از ۳/۵ به ۰/۰۶ میلی گرم بر مترمکعب می رسد که کاهش حدود ۶۰ برابری را نشان می دهد.

مطابق شکل ۶ ب نمونه خاک همراه ۱/۵ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس در برابر باد با سرعت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر بر ثانیه پایداری خود را حفظ نموده و غلظت ذرات در سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به ۰/۱۵ میلی گرم بر مترمکعب رسید؛ بنابراین در این نمونه پایداری در برابر باد نسبت به خاک شاهد ۴ برابر شده و غلظت ذرات نیز کاهش ۲۵ برابری داشته است.

طبق شکل ۶ ج نمونه خاک همراه ۲ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس در برابر باد با سرعت های مختلف مقاوم بوده و غلظت ذرات در سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به ۰/۱ میلی گرم بر مترمکعب می رسد که کاهش ۳۵ برابری را نشان می دهد. همچنین پایداری این نمونه در برابر باد نسبت به خاک شاهد ۴ برابر افزایش می یابد.

نتایج آزمون فرسایش بادی در تثبیت ۳۰ روزه نشان می دهد با افزایش مقدار پلی لاتیس، پایداری خاک در برابر باد با سرعت بالا افزایش پیدا کرده و غلظت ذرات معلق نیز کاهش می یابد؛ همچنین با گذشت زمان از مالچ پاشی، اثر چسبندگی مالچ از بین نرفته و پایداری نمونه حفظ می شود.

نمودارهای آزمون فرسایش بادی در تثبیت ۷ و ۳۰ روزه بیان می کند؛ کاهش غلظت ذرات با مقدار استفاده از این پلیمر و گذشت زمان مالچ پاشی رابطه عکس و با افزایش سرعت باد رابطه مستقیم دارد. طبق این نمودارها، سرعت آستانه فرسایش بادی در تثبیت ۷ و ۳۰ روزه به ۲۰ متر بر ثانیه می رسد. نتایج به دست آمده در راستای مطالعات زمردیان و همکاران (۲۰۱۹) می باشد. آن ها با استفاده از پلیمر MICP خاک ماسه سیلتی را تثبیت نمودند و با گذشت ۲۷ روز از مالچ پاشی سرعت آستانه فرسایش بادی تا ۲۰ متر بر ثانیه افزایش یافت [۳۳]؛ همچنین این ماده نسبت به پلی اکریل آمید و



شکل ۵. عدم پایداری خاک تثبیت شده با پلی لاتیس ۷ روزه در سرعت باد ۱۷ متر بر ثانیه

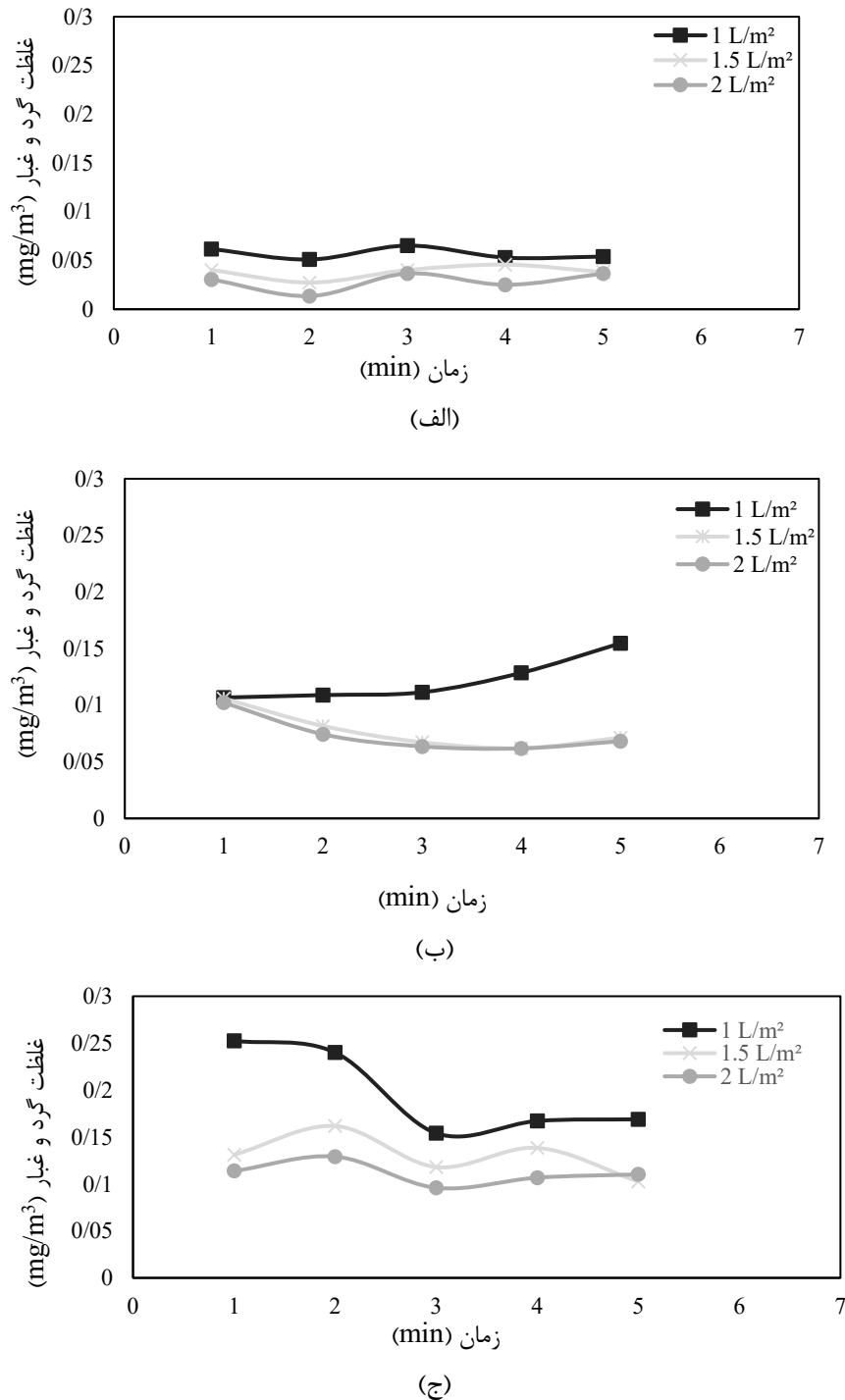
Fig. 5. Instability of stabilized soil

۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه حفظ شده و پایداری حدوداً افزایش ۳ برابری دارد؛ اما این نمونه بر اساس مشاهدات در سرعت ۱۷ متر بر ثانیه مقاومت خود را در برابر باد از دست داد (شکل ۴ ج) که در شکل ۵ مشاهده می شود. همچنین در صورت استفاده از ۱ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس، غلظت ذرات معلق نسبت به خاک شاهد از ۳/۵ به ۰/۸ میلی گرم بر مترمکعب می رسد که کاهش ۴ تا ۵ برابر را نشان می دهد. با توجه به شکل های ۴ ب و ج در مقادیرهای ۱/۵ و ۲ لیتر بر مترمربع نانو پلیمر پلی لاتیس، نمودار غلظت گردوغبار معلق در سرعت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر بر ثانیه رفتار مشابهی داشته و در این شرایط خاک مقاومت خود را در برابر باد حفظ نمود که نشان دهنده تاثیر یکسان مقدار ۲ و ۱/۵ لیتر بر مترمکعب در تثبیت خاک است. مقاومت خاک در برابر باد افزایش ۴ برابر داشته و غلظت ذرات معلق نیز نسبت به خاک شاهد از ۳/۵ به ۰/۱ میلی گرم بر مترمکعب رسیده و کاهش ۳۵ برابری را نشان می دهد.

طبق نتایج شکل ۴، غلظت ذرات در مقدار ۱ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس و سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به طور محسوسی افزایش پیدا می کند که ناشی از عدم پایداری نمونه در این شرایط است؛ اما با افزایش مقدار پلی لاتیس پایداری نمونه ها در برابر باد افزایش می یابد.

۳-۳- آزمون فرسایش بادی خاک تثبیت شده ۳۰ روزه

نمونه خاک های منطقه پس از مالچ پاشی، به مدت ۳۰ روز و در شهریورماه ۱۳۹۶ با میانگین دمای ۳۲ درجه سلسیوس در معرض هوای آزاد قرار گرفته و پس از آن آزمایش فرسایش بادی با استفاده از تونل باد صورت گرفته که در ادامه نتایج آن در شکل های ۶ الف تا ۶



شکل ۶. تغییرات غلظت گردوغبار خاک تثبیت شده ۳۰ روزه در سرعت‌های مختلف باد الف) ۱۰ m/s ب) ۱۵ m/s ج) ۲۰ m/s
 Fig. 6. 30-day stabilized soil dust concentration variations at different wind speeds a) 10 m/s b) 15 m/s c) 20 m/s

باعث افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی نسبت به پلیمر پلی‌لاتیس می‌شود. در تحقیق محمدخان (۱۳۹۴) خاک مستعد تشکیل ریزگرد را با استفاده از مالچ سیلت و رس تثبیت نمودند که تا ۲۷ متر بر ثانیه سرعت آستانه فرسایش بادی افزایش یافت [۳۴].

خاکستر بادی باعث افزایش پایداری خاک در برابر باد می‌شود؛ ینگ و تنگ در سال ۲۰۱۲ با استفاده از پلیمر پلی‌آکریل آمید و خاکستر بادی تثبیت نمودند که سرعت آستانه فرسایش بادی تا ۱۴ متر بر ثانیه رسید [۱۸]. اما استفاده از مالچ سیلت و رس جهت تثبیت خاک

جدول ۵. توزین ذرات جداشده از سطح خاک

Table 5. Weighing of particles separated from soil surface

ذرات تثبیت شده (گرم)			مدت زمان تثبیت
سینی سوم	سینی دوم	سینی اول	
۳۴/۲۶	۵۰/۱	۱۰۳/۶۵	شاهد
۰	۳/۰۲	۱۱/۵	۷ روزه
۰	۰/۲۵	۱/۲۹	۳۰ روزه

طبق جدول ۴، در صورت استفاده از ۲ و ۱/۵ لیتر بر مترمربع پلی لاتیس در سرعت های مختلف باد، غلظت ذرات معلق کمتر از حد مجاز بوده اما در صورت تثبیت خاک با مقدار ۱ لیتر بر مترمربع، غلظت ذرات معلق بیش از حد مجاز می شود. نتایج جدول ۴ نشان می دهد باگذشت زمان غلظت ذرات معلق در هوا افزایش محسوس ندارد و چسبندگی خاک حفظ شده است.

نتایج جدول های ۳ و ۴، نشان می دهد با افزایش زمان تثبیت از ۷ به ۳۰ روز و همچنین با افزایش مقدار پلی لاتیس، غلظت ذرات معلق جداشده از سطح خاک نیز روند کاهشی دارد. نتایج به دست آمده همراستا با نتایج به دست آمده از تحقیق حسونند و همکاران در سال (۱۳۹۱) می باشد، در تحقیق مذکور، از آب آهک ۲ درصد جهت تثبیت خاک استفاده شد که با افزایش مقدار مالچ غلظت ذرات کاهش یافت و در سرعت باد ۱۱ متر بر ثانیه مجموع غلظت ذرات به ۴۶/۷ گرم بر مترمکعب رسید [۳۵].

۳-۵- جمع آوری و توزین ذرات جداشده از سطح خاک

پس از انجام هر کدام از آزمایش های فرسایش بادی، ذرات جمع شده داخل سینی نیز وزن شدند که در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول ۵، باگذشت زمان مالچ پاشی، مقدار ذرات جداشده از سطح خاک کاهش یافت. همچنین با افزایش مقدار نانو پلیمر پلی لاتیس، مقدار ذرات جمع شده داخل سینی ها نیز کاسته شد. طبق مشخصات خاک منطقه و به دلیل دارا بودن بافت لومی ماسه ای، هر چه فاصله سینی ها از نمونه بیشتر می شود، ته نشینی ذرات خاک نیز کاهش می یابد. با توجه جدول ۵، نتایج به دست آمده مشابه نتایج به دست آمده از تحقیق اسحاقی و همکاران (۱۳۹۴) می باشد. در تحقیق مذکور، از پلی آکرلیک اسید با غلظت های

جدول ۳. میانگین غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در تثبیت ۷ روزه

Table 3. Mean concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} particles at 7-day fixation

میانگین غلظت ذرات (میکروگرم بر مترمکعب)		سرعت باد (متر بر ثانیه)	مقدار پلی لاتیس (لیتر بر مترمربع)
PM_{10}	$PM_{2.5}$		
۵۹	۲۵/۷۵	۱۰	۱
۱۴۷/۵	۴۱/۷۵	۱۵	
۲۵۰	۱۲۴	۲۰	
۶۳/۵	۲۰/۵	۱۰	۱/۵
۱۳۲/۷۵	۳۵	۱۵	
۲۸۷/۷۵	۶۲	۲۰	
۸۱	۲۹	۱۰	۲
۱۰۰/۷۵	۳۰	۱۵	
۱۸۷	۴۶	۲۰	

جدول ۴. میانگین غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در تثبیت ۳۰ روزه

Table 4. Mean concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} particles at 30-day fixation

میانگین غلظت ذرات (میکروگرم بر مترمکعب)		سرعت باد (متر بر ثانیه)	مقدار پلی لاتیس (لیتر بر مترمربع)
PM_{10}	$PM_{2.5}$		
۴۲/۶	۱۳/۲	۱۰	۱
۱۶۲/۸	۴۸/۲	۱۵	
۲۴۱/۶	۶۲	۲۰	
۲۶/۶	۲۲/۸	۱۰	۱/۵
۶۱	۲۱/۲	۱۵	
۱۵۸/۸	۴۱/۲	۲۰	
۳۵/۴	۱۵/۶	۱۰	۲
۷۱/۴	۱۹/۴	۱۵	
۱۱۶/۴	۳۴/۲	۲۰	

۳-۴- تعیین شاخص کیفیت هوا و غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$

همزمان با انجام آزمون فرسایش بادی و با استفاده از غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ ، شاخص کیفیت هوا طبق استاندارد NAAQS برای هریک از نمونه های تثبیت شده تعیین گردید که در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳، در صورت استفاده از پلی لاتیس ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر مترمربع و در سرعت باد ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه، غلظت ذرات معلق در محدوده مجاز ($PM_{2.5} > ۳۵$ ، $PM_{10} > ۱۵۰$ میکروگرم بر مترمکعب) قرار دارد؛ اما در سرعت ۲۰ متر بر ثانیه و در مقدارهای مختلف پلی لاتیس، غلظت ذرات معلق خارج از محدوده مجاز قرار می گیرند.

- 15-5 (2011) (in Persian).
- [2] T. Vanwalleghem, J. Gómez, J. Infante-Amate, M. Molina, K. Vanderlinden, G. Guzmán, A. Laguna, J. Giraldez, Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene, *Anthropocene*, 29-13 (2017) 17.
- [3] E.C. Brevik, A. Cerdà, J. Mataix-Solera, L. Pereg, J.N. Quinton, J. Six, K. Van Oost, The interdisciplinary nature of Soil, *Soil*, 129-117 (2015) (1)1.
- [4] P.J.A. Withers, J.J. Elser, J. Hilton, H. Ohtake, W.J. Schipper, K.C. van Dijk, Greening the global phosphorus cycle: How green chemistry can help achieve planetary P sustainability, *Green Chemistry*, 2099-2087 (2015) (4)17.
- [5] J. Zhang, Y. Wang, F. Li, Soil organic carbon and nitrogen losses due to soil erosion and cropping in a sloping terrace landscape, *Soil Research*, 96-87 (2015) 53.
- [6] S. Bishop, M. Hiroshi, R. Carretero-Gonzalez, A. Warren, Modelling desert dune fields based on discrete dynamics, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 17-7 (2002) 7.
- [7] M. Nourzadeh Haddad, Manufacturing and Evaluation Portable Simulator in Determining Wind Erosion and Threshold Friction Velocity at Different Soil Moisture Conditions, Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture Soil Science Department, 2012 (in Persian).
- [8] G. Azizi, A. Shamsipour, M. Miri, T. Safarrad, Statistic and synoptic analysis of dust phenomena in West of Iran, *Journal of Environmental Studies*, 134-123 (2012) 38.
- [9] M.H. Bouchani, D. Fazeli, Environment challenges and its consequences Case Study: Dust and its impact in the West of Iran, *Doctrine of Policy Making*, -125 (2011) (3)2 146.
- [10] S. Mehrabi, S. Soltani, R. Jafari, Analyzing the relationship between dust storm occurrence and climatic parameters, *Journal of Water and Soil Science*, 81-69 (2015) (71)19.
- [11] D. Antoine, D. Nobileau, Recent increase of Saharan dust transport over the Mediterranean Sea, as revealed from ocean color satellite (SeaWiFS) observations, *Journal of Geophysical Research*, 19-1 (2006) 111.
- [12] A. Inbar, M. Ben-Hur, M. Sternberg, M. Lado, Using polyacrylamide to mitigate post-fire soil erosion,

مختلف جهت تثبیت نمک‌های بستر دریاچه نمک ارومیه استفاده شد. در این تحقیق نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون فرسایش بادی توزین شدند که اختلاف آن‌ها نشان دهند مقدار ذرات جدا شده از سطح نمونه می‌باشد. همچنین نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه و در سرعت باد ۳۰ متر بر ثانیه قرار گرفتند که وزن ذرات جدا شده از سطح خاک تا ۹۸ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت [۳۶]. در تحقیق حاضر نیز میزان غلظت ذرات در تثبیت ۷ و ۳۰ روزه به ترتیب تا ۹۳ و ۹۸ درصد کاهش یافت.

۴- جمع‌بندی

جهت تثبیت ۷ روزه، برای مناطقی که سرعت باد غالب کمتر از ۱۷ متر بر ثانیه بوده، مقدار مالچ پلی‌لاتیس مورد نیاز ۱ لیتر بر مترمربع است؛ همچنین مناطقی که سرعت باد غالب کمتر از ۲۰ متر بر ثانیه بوده و با توجه به یکسان بودن تاثیر مقدار ۱/۵ و ۲ لیتر بر مترمربع در تثبیت خاک، مقدار بهینه ۱/۵ لیتر بر مترمربع انتخاب شد. جهت تثبیت ۳۰ روزه و برای مناطقی که سرعت باد غالب کمتر از ۲۰ متر بر ثانیه است مقدار پلی‌لاتیس ۲ لیتر بر مترمربع و برای مناطقی که سرعت باد کمتر از ۱۰ متر بر ثانیه است، مقدار پلی‌لاتیس ۱ لیتر بر مترمربع پیشنهاد می‌شود. طبق نتایج آزمایش توزین ذرات و استاندارد NAAQS، با افزایش زمان تثبیت خاک و افزایش مقدار استفاده از پلی‌لاتیس، غلظت ذرات جدا شده از سطح خاک نیز کاهش می‌یابد.

سیاسگزاری

نویسندگان این مقاله از جناب آقای دکتر حسینعلی بهرامی و جناب آقای مهندس محمد محمدآبادی در فراهم‌سازی امکان استفاده از تونل باد دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و همچنین شرکت بهکاو پویا در تامین ماده پلی‌لاتیس کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- [1] A. Nohegar, F. Abbaszadeh, M. Akbarian, H. Hatami Gourbandi, Investigation of poly latise polymer capability in soil conservation against wind erosion case study: Gahrdo Sirik, *Environmental Erosion Researches*, (3)1

- D. Kanungo, W. Qian, Laboratory and field experiments on the effect of vinyl acetate polymer-reinforced soil, *Applied Sciences*, 215-208 (2019) 9.
- [23] Z. Han, T. Wang, Z. Dong, Y. Hu, Z. Yao, Chemical stabilization of mobile dunefields along a highway in the taklimakan desert of China, *Journal of Arid Environments*, 270-260 (2007) (2)68.
- [24] I. Panova, A. Sybachin, V. Spiridonov, K. Kydralieva, S. Jorobekova, A. Zezin, A. Yaroslavov, Non-stoichiometric interpolyelectrolyte complexes: Promising candidates for protection of soils, *Geoderma*, 97-91 (2017) 307.
- [25] S. Abtahi, The effect of cellulose polymer mulch on sand stabilization, *Polimery*, 763-757 (2017) 62.
- [26] X. Meng, L. Liang, B. Liu, Synthesis and sand-fixing properties of cationic poly(vinyl acetate-butyl acrylate-2-hydroxyethyl acrylate-DMC) copolymer emulsions, *Journal of Polymers and the Environment*, 498-487 (2016) 25.
- [27] M. Mirzababaei, A. Arulrajah, M. Ouston, Polymers for stabilization of soft clay Soils, *Procedia Engineering*, 189 32-25 (2017).
- [28] M. Movahedan, N. Abbasi, M. Keramati, Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils, *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, (2011) (3)25 616-606.
- [29] S.A. Rezaei, Comparison between polyalatic polymer and petroleum mulch on seed germination and plant establishment in sand dune fixation, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 136-124 (2009) ((34) 1)16.
- [30] M.A. Rokni, S.A. Shafie, Z. Kakaie, Z. Mousavi, Processing of dust and hotbeds in Qom province, Qom, Department of the Environmental Protection Agency of Qom Province (110-99 (2014 (in Persian).
- [31] M.V. Ali-Ehyaie, A.A. Behbahani-Zadeh, Methods of soil analysis, 893, Soil and Water Research Institute, Tehran, 1993 (in Persian).
- [32] <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>, NAAQS Table, in, EPA, 2018.
- [33] S.M.A. Zomorodian, H. Ghaffari, B.C. O'Kelly, Stabilization of crustal sand layer using biocementation *Geoderma*, s 114-107 (2014) 240–239.
- [13] S. Iyengar, E. Masad, A. Rodriguez, H. Bazzi, D. Little, H. Hanley, Pavement subgrade stabilization using polymers: Characterization and performance, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 472 (2013) 25.
- [14] S.H. Sadeghi, Z. Hazbavi, H. Younesi, N. Bahramifar, Trade-off between runoff and sediments from treated erosion plots and polyacrylamide and acrylamide residues, *CATENA*, 220-213 (2016) 142.
- [15] A.B. Zezin, S.V. Mikheikin, V.B. Rogacheva, M.F. Zansokhova, A.V. Sybachin, A.A. Yaroslavov, Polymeric stabilizers for protection of soil and ground against wind and water erosion, *Advances in Colloid and Interface Science*, 23-17 (2015) 226.
- [16] M. Sweeney, E. McDonald, V. Etyemezian, Quantifying dust emissions from desert landforms, eastern Mojave Desert, USA, *Geomorphology*, 34-21 (2011) 135.
- [17] A. Genis, L. Vulfson, J. Ben-Asher, Combating wind erosion of sandy soils and crop damage in the coastal deserts: Wind tunnel experiments, *Aeolian Research*, 9 73-69 (2013).
- [18] K. Yang, Z. Tang, Effectiveness of Fly Ash and polyacrylamide as a sand-fixing agent for wind erosion control, *Water Air and Soil Pollution*, -4065 (2012) 223 4074.
- [19] K.N. Nwankwo, S. United, A. Federal Highway, D. Wisconsin, Wisconsin, C. Bureau of Highway, S. Pavements, Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control, TRID (2001).
- [20] A. Corti, S. Muniyasamy, M. Vitali, S. Imam, E. Chiellini, Oxidation and biodegradation of polyethylene films containing pro-oxidant additives: Synergistic effects of sunlight exposure, thermal aging and fungal biodegradation, *Polymer Degradation and Stability*, 95 1114-1106 (2010).
- [21] A. Zandieh, S. Yasrobi, Study of Factors Affecting the compressive strength of sandy soil stabilized with polymer, *Geotechnical and Geological Engineering*, 28 145-139 (2010).
- [22] Z. Song, J. Liu, Y. Bai, J. Wei, D. Li, Q. Wang, Z. Chen,

- Nadafi, M.K. Moayyedi, Experimental investigation of the effectiveness of various additives in reducing wind erosion from iron ore piles, Iranian Journal of Health and Environment, 398-387 (2012) ((17) 3)5.
- [36]N. Eshaghi Sardroud, H. Katebi, A. Mirmohseni, Studying The effect of size and moisture of particles and mulch polyacrylic acid on the amount of wind Erosion, Avicinian Philosophy Journal, 6-1 (2016) ((81) 4)45.
- technique for wind erosion control, Aeolian Research, 40 41-34 (2019).
- [34]S. Mohammad khan, Reviewing the performance of mulch F2SR231- polymer to stabilize sand dunes, in: Third National Conference of Wind Erosion and Dust Storms, Iranian Association of Desert Management and Control, Yazd, 2014 (in Persian).
- [35]M.S. Hassanvand, A. Torkian, M.R. Sahebnasagh, K.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M.M. Bakhshi, B. Ayati, H. Ganjidoust, Soil Stabilization by Nano Polymer Polyaltice (CaseStudy:HosseinAbadAreaofQomProvince), Amirkabir J. Civil Eng., 52(12)(2021)3237-3248.

DOI: [10.22060/ceej.2019.16402.6211](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16402.6211)



