

مقایسه کارایی فرمولاسیون‌های مختلف پلیمرهای زیستی در تثبیت خاک و مقاومت خاکدانه‌ها

• داود نامدار خجسته

فارغ‌التحصیل دکتری دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی دانشگاه شاهد تهران

• حسینعلی بهرامی

عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)

• مهران کیانی‌راد

عضو هیئت علمی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

Email: bahramih@modares.ac.ir

چکیده

روش‌های مرسوم برای کاهش طوفان گرد و غبار (به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک) تثبیت کانون مولد گرد و غبار با استفاده از پلیمرهای شیمیایی و محصولات نفتی بوده است که در شرایط موجود، با توجه به هزینه بالا و اختلاف نظر در خصوص اثرات محیط زیستی آن‌ها مقرون به صرفه نمی‌باشد. بنابراین با توجه به مشکلات این نوع خاک‌پوش‌ها، استفاده از پلیمرهای زیستی جهت تثبیت گرد و غبار در سال‌های اخیر به‌عنوان جایگزین مناسب توصیه شده است. پلیمرهای زیستی از طریق ایجاد خاکدانه‌سازی و اتصال ذرات ریز با یکدیگر و تشکیل ذرات بزرگ‌تر باعث تشکیل ساختار پیوسته یا کم پیوسته ذرات با یکدیگر می‌شود. هدف از این مطالعه ارزیابی رفتار خاک‌پوش‌های زیستی با پایه‌های مختلف به‌عنوان تثبیت‌کننده گرد و غبار، در شرایط آزمایشگاهی و همچنین تعیین شرایط بهینه افزایش ماندگاری تاثیر آن‌ها در خاک می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر این خاک‌پوش‌ها در تثبیت گرد و غبار عوامل مختلفی از جمله تنش‌های نور و دما بر قوام خاکدانه‌ها و ارزیابی کیفی تغییرات گروه‌های عاملی تیمارهای خاک‌پوش با روش طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)، مقاومت فشاری و تعیین مقاومت در برابر فرسایش بادی در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌ساز فرسایش بادی در سرعت ۲۵/۶ متر بر ثانیه به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در آزمایش‌های تونل باد، مقاومت فشاری و پایداری خاکدانه‌ها، تیمارهای S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14 در سطح ۵ درصد بهتر از تیمارهای دیگر در کنترل گرد و غبار عمل می‌کنند. نتایج میکروسکوپ الکترونی نشان داد که زمانی خاکپوش زیستی در سطح خاک پاشیده می‌شود قسمتی از آن در بین ذرات و قسمتی دیگر در سطح خاکدانه قرار می‌گیرد. بنابراین پیوند قوی و اندروال، هیدروژنی و یونی بین سطح منفی ذرات رس و گروه پلی‌الکترولیت پلیمر تشکیل شده، که نتیجه آن افزایش مقاومت فشاری و مقاومت در برابر فرسایش باد در سرعت ۲۵/۶ می‌باشد. تیمار شاهد به دلیل نبودن پیوند بین ذرات خاک، مقاومت فشاری پایین بوده و خاک مستعد تولید گرد و غبار است.

کلمات کلیدی: تثبیت گرد و غبار، تونل باد، خاک‌پوش، پلیمرزیستی.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 110 pp:51-62

Comparison of different polymer formulations on dust stabilization and aggregate stability

By: D. Namdar Khojasteh, Department of soil science, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran and Graduated student from Faculty of Agricultural, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. H.A. Bahrami, Faculty of Agricultural, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding Author). M. Kianirad, Ministry of Science, Research & Technology (MSRT), Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran.

most conventional methods use chemical polymers and petroleum products (particularly, in arid and semiarid zones) to stop dust storm which are considerably labor, cost and time consuming. Use of the chemical polymers have several drawbacks such as high price of chemicals and their potentially harmfulness to environment. Using bio polymers has received worldwide attention during the last two decades owing to their great potential as a soil additives to stabilize the soil. The results obtained from different types of biopolymers or biopolymer compositions implicitly represent them to be applicable for binding the soil particles at the surface of light soils. Application of biopolymer as a stabilizer has proved to be effective for prevention of dust storms by stabilizing soil structure. The objective of this study was to use and screen a series of biopolymers to quantify their effectiveness as dust stabilizer in the laboratory scale. In this study, 20 biopolymer stabilizers be used. In order to assess the influence of biopolymers upon topsoil stabilization, laboratory tests on unconfined compressive strength, wet aggregate stability and erosion resistance of untreated and treated soil samples be performed. In laboratory the wind speed in the tunnel be gradually increased from 0 to 25.6 m/s during 15 minutes. The wind erosion, compressive strength and aggregate stability test results clearly indicated that S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14 specimens were useful to dust control, in the relatively arid and semiarid areas. The SEM image showed that when biopolymers were applied to soil, a part of them filled up the voids of soil, and other part stayed on the soil aggregates surface. The polyelectrolyte groups in its molecular structure had chemical reaction with positive ions of clay grain and create physicochemical bonds between molecules and soil aggregates with ionic, hydrogen, or Van der Waals bonds. Untreated sample hadn't bonds between molecules and soil aggregate so, the compressive strength and aggregate stability were very weak in these samples.

Keywords: Biopolymer, Dust storm, Mulch, Dust Stabilization, Wind tunnel.

را در کنار شرایط طبیعی محیط‌های جغرافیایی باید در نظر گرفت (Arimoto, ۲۰۰۰).

استفاده از خاک‌پوش‌های نفتی در کنترل فرسایش بادی و تثبیت خاک به‌ویژه در سال‌های اخیر استفاده از مواد مصنوعی، به‌منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است (Masoumpour et al., ۲۰۱۰). مواد مصنوعی باعث اتصال ذرات به یکدیگر شده و خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌کند و باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌گردند. در واقع خاک‌پوش‌های مصنوعی پس از رقیق شدن در آب، روی خاک پاشیده شده و در معرض هوا تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری می‌دهد که در نتیجه می‌تواند با ایجاد پیوند بین ذرات خاک، موجب افزایش مقاومت ذرات در مقابل فرسایش باشد. با این حال انتخاب یک ماده پلیمری به‌عنوان تثبیت‌کننده خاک در برابر فرسایش بادی امری ساده نبوده و مسائل مهمی در این مورد می‌بایستی مورد توجه و بررسی قرار گیرد که از آن جمله می‌توان به تعیین موثرترین پلیمر در کنترل فرسایش بادی، بررسی موثر بودن آن در کنترل فرسایش آبی، میزان

مقدمه

در سال‌های گذشته، افزایش توفان‌های گرد و غبار پی در پی در سطح جهان به‌وقوع پیوسته که از بین آن‌ها، گروهی که ناشی از مداخله‌های عوامل و عناصر جوی هستند، خسارت‌های جانی و مالی فراوانی در مناطق مختلف ایجاد کرده‌اند. توفان‌های گرد و غبار در بعضی از مناطق جهان، به‌ویژه خاورمیانه، فراوانی وقوع بالایی دارند. در دهه گذشته، رخداد توفان‌های گرد و غبار در این منطقه رو به فزونی نهاد تا آن‌جا که در ماه‌های سرد و بارشی این منطقه نیز، مشاهده شده‌اند. در این میان از کشورهای عراق، سودان، شبه جزیره عربستان و منطقه خلیج فارس، بیش‌ترین فراوانی رخداد این توفان‌ها گزارش شده است. گسترش این پدیده و تحت تاثیر قرار گرفتن چند کشور، سبب توجه انجمن‌های علمی، محیط زیست، پزشکی و حتی سیاسی به این پدیده شده است (Karimi and Shakouhi, ۲۰۱۲). ذرات ریز در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از فراوانی بالاتری برخوردار می‌باشند. در واقع گرد و غبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییرات پوشش گیاهی زمین باشد که در این رابطه نقش فعالیت‌های انسانی

را در مقایسه با غلظت ۲ گرم بر مترمربع داشته است اما با توجه به توجیه اقتصادی، غلظت ۲ گرم بر متر مربع پیشنهاد شده است. با توجه به ویژگی‌های مختلف پلیمرها به خصوص پلیمرهای زیستی، این مواد با اهداف و اشکال مختلف جهت افزایش نگهداری خاک و نیز کنترل گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرند (He et al., 2008). در این تحقیق ارزیابی تاثیر ۱۹ فرمولاسیون مختلف پلیمر زیستی بر روی کنترل گرد و غبار در خاک‌های مختلف به صورت آزمایشگاهی با آزمایش‌های تونل باد، پایداری خاکدانه، مقاومت فشاری، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز، SEM مورد بررسی قرار گرفت تا در نهایت سه فرمولاسیون برتر برای تحقیقات صحرایی انتخاب شود.

۲. مواد و روش

۲.۱ آزمایش‌های فیزیکو-شیمیایی

در این تحقیق ابتدا نسبت به تهیه نمونه‌های خاک مناسب برای انجام آزمایش اقدام گردید. خاک به میزان کافی (حدود ۲ تن) با بافت سبک از منطقه گرمسار استان سمنان برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. تعیین درصد اجزاء رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری، اسیدیته خاک در عصاره ۱:۱ خاک-آب مقطر توسط پی هاش متر (McLean, 1982) هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط هدایت‌سنج تعیین شد. کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Nelson and Sommers, 1982) کربن آلی با روش والکلی و بلاک اصلاح شده (Nelson and Sommers, 1982) تعیین شد.

۲.۲ ارتقای کیفی خاک پوش‌های زیستی

پس از انتخاب خاک پوش‌های زیستی ارتقای کیفی و کمی هر کدام از خاکپوش‌ها براساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مانند pH، ویسکوزیته و هم‌چنین استفاده از ترکیبات پایدار کننده به‌عنوان افزودنی انجام شد. تعیین ویسکوزیته به‌منظور نفوذ مناسب خاک-پوش در لایه سطحی خاک، استفاده از حامل‌های مناسب در فرمولاسیون خاک پوش برای افزایش مقاومت آن به نور ماورای بنفش و تنش‌های سرما و گرما، با تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پوش‌ها از جمله pH مناسب، پایه‌های فرمولاسیون و افزودنی‌های مجاز در این مرحله انجام گردید. در این مرحله با دو سطح pH، دو نوع پایدار کننده و افزودنی، سه غلظت در سه تکرار برای چهار پایه خاکپوش سنجش فرسایش بادی در یک دوره دو ماهه انجام شد. در نهایت ۱۴۴ تیمار آزمایشگاهی با تونل باد برای انتخاب بهترین pH، بهترین پایدار کننده و غلظت اندازه‌گیری شد. در این مرحله بررسی مقاومت به فرسایش بادی، از دستگاه تونل بادی استفاده شد. در آزمایش اولیه ۲۹ تیمار که نتایج ضعیف‌تری داشتند حذف و برای ۱۹ تیمار باقی‌مانده (جرئیات بیشتر در مورد تیمارها در رساله نامدار خجسته، دانشگاه تربیت مدرس) برای آزمایش‌های تونل باد، مقاومت فشاری و پایداری خاکدانه و هم‌چنین طیف‌سنجی مادون قرمز و میکروسکوپ الکترونی انتخاب شدند (Namdar Khojasteh, 2016).

غلظت پاشش، چگونگی افزایش به خاک، اثر کیفیت خاک، دوام در برابر عوامل محیطی (تغییرات دما، اشعه ماوراء بنفش خورشید، مواد شیمیایی محلول در آب و غیره) و نیز اثرات محیط زیستی آن اشاره نمود (Movahedan et al., 2011).

خشکسالی به دلیل تحت تاثیر دادن مقدار رطوبت در خاک، رشد محصول و مقدار بقایای گیاهی باقی‌مانده پس از برداشت محصول (Merrill et al., 1999) می‌تواند تا حد زیادی باعث افزایش فرسایش بادی گردد. خشکسالی‌های منطقه‌ای، عامل اولیه برای تولید طوفان گرد و غبار است. مطالعات انجام شده در جنوب غربی ایالات متحده یک ارتباط منفی میان گرد و غبار و میزان پوشش گیاهی و بارش زمستانه پیدا کرده‌اند (Musick and Gillette, 1990). پوشش گیاهی، به دلیل افزایش سرعت آستانه اصطکاک باعث کاهش گرد و غبار می‌گردد (Musick, 1999; Stockton and Gillette, 1990). در تحقیقی Rezaie (2009) دو نوع ماده خاکپوش نفتی و پلی‌لاتیس را جهت تثبیت ماسه‌های روان منطقه آران و بیدگل مورد آزمایش قرار داد. نتایج نشان داد که خاکپوش پلی‌لاتیس تنها توانست به مدت دو ماه در مقابل بادهای منطقه مقاومت نماید و در نهایت تحت تاثیر عوامل محیطی تجزیه و تخریب گردید ولی این در حالی بود که خاک-پوش نفتی کاملاً در مقابل بادهای منطقه از خود مقاومت نشان داد. Movahedian (2011) پس از انجام آزمایشات مقدماتی بر روی نمونه‌های خاک، ماده پلیمری با پایه پلی‌وینیل استات بر روی سه نوع خاک با بافت متفاوت اعمال کرد، سپس اثر این ماده پلیمری در کنترل میزان فرسایش بادی به صورت آزمایشگاهی در تونل باد، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با نمونه‌های تیمار شده با آب مقایسه گردید. نتایج حاصل از آزمایشات فرسایش در تونل باد در شرایط باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه، نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزان فرسایش بادی نمونه‌های خاک تیمار شده با ماده پلیمری و نمونه‌های تیمار شده با آب وجود داشته و افزودن ماده پلیمری پلی‌وینیل استات به میزان ۲۵ گرم در متر مربع، نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب، میزان فرسایش بادی را در نمونه‌های ماسه بادی به صفر و در خاک با بافت متوسط و سنگین، حداقل ۹۰ درصد کاهش داده است.

در تحقیقی Han و همکاران (2007) از چند مایع پلیمری برای تثبیت گرد و غبار استفاده کردند. در این تحقیق دو فاکتور مقاومت در برابر خرد شدن و مقاومت در برابر فرسایش باد برای چهار تثبیت‌کننده شن و ماسه مورد ارزیابی قرار گرفت. تثبیت‌کننده‌ها شامل امولسیون پلی‌وینیل‌الکل، امولسیون استات پلی‌وینیل، مخلوطی از آب و کلرید کلسیم، و مخلوطی از آب و اوره مورد استفاده قرار گرفت. اندازه قطرات در محدوده بین ۰/۲ و ۰/۵ میلی‌متر و ویسکوزیته در محدوده‌ی بین ۱۲ تا ۱۵ مگا پاسکال بود. در یک مطالعه آزمایشگاهی با استفاده از تونل باد با سرعت ۱۴ متر بر ثانیه به بررسی تاثیر دو غلظت ۲ و ۴ گرم بر مترمربع از پلی‌اکریل‌امید بر جلوگیری از فرسایش بادی در دو نوع خاک برداشت‌شده از منطقه شمال غربی چین پرداختند. نتایج نشان داد که پلی‌اکریل‌امید توانایی جلوگیری از فرسایش بادی را دارا می‌باشد. غلظت ۴ گرم بر متر مربع نتایج بهتری

۲,۳ آزمایش تونل باد

در برابر فرسایش بادی سرعت حداکثر ۲۵/۶ متر بر ثانیه با سرعت سنج هات ویر در محور مرکزی تونل (۳۰ سانتی متری) مد نظر قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی اثر باد با ضربات شن بر میزان فرسایش پذیری تیمارهای مختلف، از همان خاک به عنوان ساینده استفاده شد. در ابتدای آزمایش از نمونه‌ها آزمون FTIR انجام گرفت و پس از ۱۸۰ روز نمونه‌ها در دستگاه تونل باد قرار گرفتند. مقدار گرد و غبار با استفاده از دستگاه غبارسنج (Model of HB۳۲۷۵-۰۷) در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. در انتها تیمارهایی که در برابر سرعت باد مقاومت داشتند برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه و مقاومت فشاری، همچنین SEM, FTIR انتخاب شدند. به منظور بررسی آماری تاثیر پلیمر بر میزان فرسایش در برابر باد، نتایج آزمایشات انجام شده در این بخش به صورت یک آزمایش فاکتوریل و آزمون توکی برای غبار تولید شده از سینی‌ها با نرم‌افزار SPSS ۲۱ مورد بررسی قرار گرفت.

به این منظور یک تونل باد آزمایشگاهی طراحی و ساخته شده در دانشگاه تربیت مدرس مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه مشابه با تونل باز از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۶ میلی‌متر با ابعاد ۸۰×۸۰×۹/۲۴ سانتی‌متر ساخته شده است. کف تونل در بخش مرکزی به ابعاد ۸۰×۸۰ سانتی‌متر به عنوان محل قرارگیری نمونه‌ها در نظر گرفته شده است. نمونه‌های آزمایشگاهی در ظرف‌های فلزی به ابعاد ۸۰×۸۰ سانتی‌متر تهیه شدند (شکل ۱). پس از پر نمودن خاک رد شده از الک ۲ میلی‌متری (در هر سینی مقدار ۲۳ کیلوگرم خاک) و صاف نمودن سطح خاک، خاکپوش مورد نظر به میزان ۲ لیتر در متر مربع توسط یک پاشنده دستی روی نمونه‌ها اسپری شد. نمونه‌ها پس از آماده سازی، در محوطه آزاد به مدت ۱۸۰ روز قرار داده شدند. شروع آزمایش با گذشت ۴۸ ساعت و ۱۸۰ روز پس از آماده سازی نمونه‌ها انجام شد. با گذشت ۴۸ ساعت آزمایش مقاومت فشاری و طیف‌سنجی مادون قرمز از تیمارها انجام شد. به منظور ارزیابی تیمارها



شکل ۱- آماده سازی تیمارها قبل از کاربرد پلیمر

برای شناسایی کیفی نوع گروه‌های عاملی و پیوندهای موجود در مولکول‌های آن، طیف مادون قرمز انجام شد. در نهایت جهت بررسی میکروسکوپی پلیمر در خاک از میکروسکوپ الکترونی استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

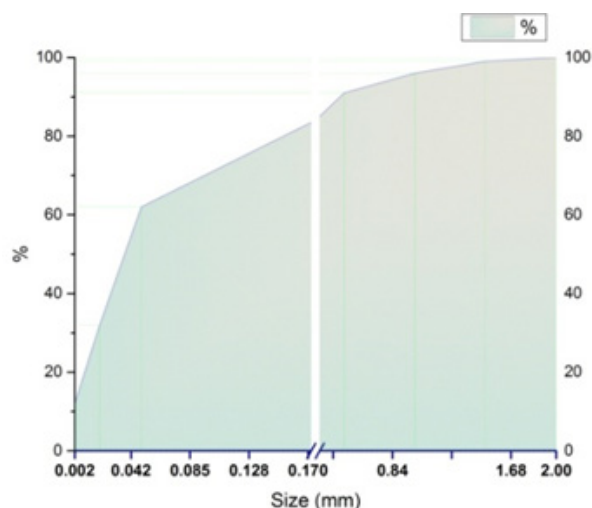
نتایج توزیع اندازه ذرات و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در شکل ۲ و جدول ۲ آمده است. همان‌طور که از روی نمودار پیداست، قطر

۲,۴ آزمایش مقاومت فشاری، پایداری خاکدانه‌ها، طیف‌سنجی مادون قرمز و میکروسکوپ الکترونی

نمونه‌هایی که در تونل باد مقاومت داشتند برای آزمایش مقاومت فشاری و پایداری خاکدانه‌ها انتخاب شدند. در این مرحله از دستگاه نفوذسنج مدل (H-4134) استفاده شد. در این مرحله برای هر تیمار پنج تکرار انجام شد و در نهایت میانگین‌گیری انجام شد. برای اندازه‌گیری مقاومت خاکدانه‌ها از دستگاه غربال تر مدل استفاده شد.

Fryrear, ۱۹۹۶). خاک منطقه مورد مطالعه لوم شنی بوده و شوری آن کم‌تر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. نتایج آزمایش تونل باد

بیش از ۶۰ درصد از ذرات کم‌تر از ۰/۱ میلی‌متر بوده که نشان‌دهنده مستعد بودن منطقه به تولید گرد و غبار است (Chen and



شکل ۲- نمودار توزیع اندازه ذرات

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

رنگ خاک	پی هاش	شوری dS m ⁻¹	ظرفیت تبادل کاتیونی Cmol(+) kg ⁻¹	کربن آلی (درصد)
10YR4/3	۷/۲۷	۲/۱۸	۱۰/۴	۰/۳۸
باقث	شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	عمق (سانتی متر)
لوم شنی	۶۸	۱۲	۲۰	۰-۳۰

خاک در کنترل گرد و غبار با ذرات فرساینده به خوبی نشان می‌دهد. در حقیقت پلیمرهای افزوده شده، پس از خشک شدن تشکیل یک لایه به هم پیوسته در سطح خاک می‌دهد که همچون شبکه‌ای خاکدانه‌ها، ذرات و اجزاء خاک را در بر می‌گیرد. اگر چه ماهیت چنین لایه‌ای در خاک‌های مختلف کمی متفاوت است اما ماده پلیمری به خوبی توانسته است با تشکیل لایه در سطح خاک، مقاومت خاک سطحی را در برابر باد و نیز در برابر ساییش و ذرات ناشی از ذرات همراه باد تا حد زیادی کاهش دهد. بنابراین پلیمرهای S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14, کارایی بسیار بالاتری در برابر تثبیت گرد و غبار نشان می‌دهند (شکل ۵). علاوه بر این، میزان غبار

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، حداکثر میزان غبار تولید شده در مدت ۱۵ دقیقه برای تیمارهای S11, S2, S15, S16, S17, S18, S19 بوده و این تیمارها در مدت کمتر از ۱۵ دقیقه به طور کامل تخریب و بیشترین غلظت غبار را تولید نمودند (شکل (A) ۳). برای تیمار S18 بیشترین غبار تولید شده مقدار ۲۵۷۶ میلی‌گرم در مترمکعب به ثبت رسید (شکل ۴). تیمار شاهد در مدت ۵ دقیقه به طور کامل تخریب شد (شکل ۴). تیمارهای S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14 کمترین میزان غبار را تولید و در نهایت بعد از ۱۵ دقیقه با سرعت ۲۵/۶ بدون تخریب باقی ماندند (شکل (B) ۳). این مساله کارایی ماده پلیمری افزوده شده به

کاملاً صاف بر روی خاک تشکیل شده که عاری از هر گونه درز و شکاف بوده و به راحتی دچار گسیختگی نشد. بررسی ها در این تحقیق نشان داد که به دلیل تغییر پی-هاش در چند فرمولاسون، امولسیون پلیمری تا عمق ۲/۲ تا ۲/۷ سانتی متری نفوذ کرده (شکل ۶)، که بعد از خشک شدن تشکیل دولایه می دهد. لایه اول عاری از هر گونه درز و ترک بوده و سطح یکپارچه ای را تشکیل می دهد این لایه ضخامت کمتری از ۰/۵ سانتیمتر دارد زیرا این لایه به دلیل کم بودن میزان پلیمر، تنها ذرات به یکدیگر متصل هستند و تراکم بالای زنجیره پلیمری که در لایه سطحی وجود دارد در اینجا دیده نمی شود و نسبت به لایه فوقانی راحتتر قابل گسیختگی است (شکل ۶). در نهایت تیمارهای S4, S3, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14 برای آزمون پایداری خاکدانه و انتخاب سه تیمار برتر برای پاشش صحرائی انتخاب شدند.

تولید شده در پلیمرهای ذکر شده نسبت به نتایج Han و همکاران (۲۰۰۷) که با استفاده از سه نوع ماده مختلف (از جمله پلی وینیل استات) انجام شده است کمتر است. نتایج این تحقیق نشان داد که مقاومت تیمارهای S14, S12, S10, S9, S8, S7, S6, S5, S4, S3 در مقایسه با پلیمرهای پلی آنیونی که در برابر باد با سرعت ۱۶/۷ متر بر ثانیه مقاوم بوده است بیشتر است.

بر اساس نتایج تجزیه آماری انجام شده مشاهده می شود که تفاوت معنی داری بین تیمارهای S19, S18, S17, S16, S15, S11, S2 با شاهد در سطح ۵ درصد وجود ندارد و همچنین بین تیمارهای S1, S13, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14 و شاهد تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده می شود. لازم به توضیح است که پس از خشک شدن سطح خاک ماچ پاشی شده، یک سطح

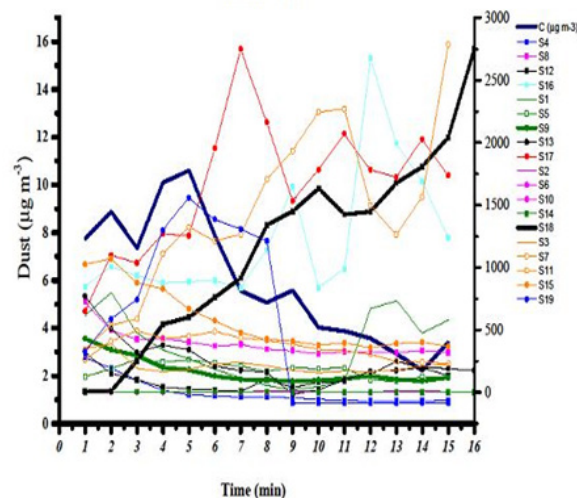


A

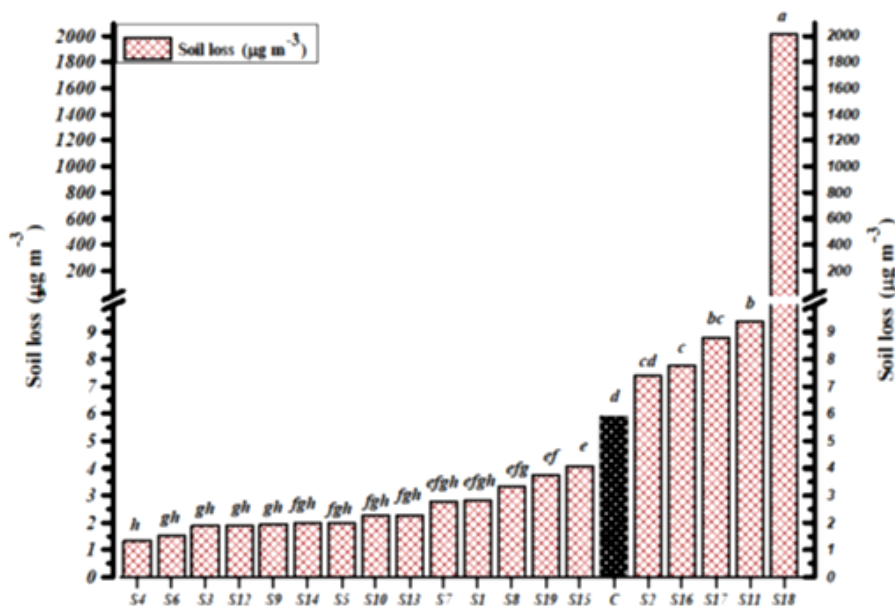


B

شکل ۳- تیمار تخریب شده (A) و تیمار مقاوم (B) در برابر سرعت باد ۲۵/۶ در مدت ۱۵ دقیقه



شکل ۴- مقدار غبار تولید شده (میلی گرم بر مترمکعب) در تیمارهای مختلف آزمایشی



شکل ۵- تجزیه و تحلیل آماری مقدار غبار تولید شده در تیمارهای مختلف آزمایشی

درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما بین خاک‌های تیمار شده با خاکپوش تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد از لحاظ پایداری خاکدانه در ۸ اندازه مختلف الک از ۲ تا ۰/۰۰۲ با شاهد وجود دارد. بنابراین از نظر آماری تاثیر پلیمرهای S6, S5, S4, S3, S7, S8, S9, S10, S12, S14 در افزایش پایداری خاکدانه (۱۸۰ روز پس از کاربرد) با احتمال ۹۹ درصد کاملاً معنی‌دار است. درصد پایداری خاکدانه در تیمارهای S6, S5 و S8 نسبت به شاهد افزایش چشمگیری داشته به طوری که برای این تیمارها درصد پایداری به ترتیب ۹۸، ۹۷ و ۸۸ در مقایسه با ۴۷ درصد برای الک ۲ میلی‌متری مشاهده شد.

تاثیر مواد پلیمری بر پایداری و چسبندگی بعد از ۱۸۰ روز کاملاً چشمگیر و قابل توجه است. به عبارت دیگر با توجه به عدم وجود چسبندگی بین ذرات و عدم وجود خاکدانه به مفهوم عام در حالت طبیعی، افزودن مواد پلیمری باعث چسبندگی ذرات ریز و تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر گردیده است (Wallace et al., ۱۹۸۶ در واقع افزودن پلیمرهای محلول در آب به خاک می‌تواند باعث به وجود آمدن پیوندهای شیمیایی و فیزیکی- مکانیکی بین ملکول‌های پلیمر و خاکدانه‌های خاک شود و خاکدانه‌های بزرگتری را ایجاد نماید (Liu et al., ۲۰۰۹). این پیوند بسته به ویژگی‌های خاکدانه خاک، غلظت و نوع پلیمر تغییر می‌کند. به واسطه این پیوندها، زنجیره‌های طویل ملکول‌های پلیمر سطح خاکدانه‌ها را پوشانده و غشاء الاستیکی را تشکیل می‌دهد که نتیجه آن به هم پیوستگی ذرات منفرد خاک و نیز خاکدانه‌ها و در نهایت تشکیل لایه به هم پیوسته و خاکدانه‌های بزرگ در سطح خاک است. چنینی خاصیتی می‌تواند فرسایش بادی و تولید گرد و غبار را تا حدی کنترل کند. از سوی دیگر با توجه به



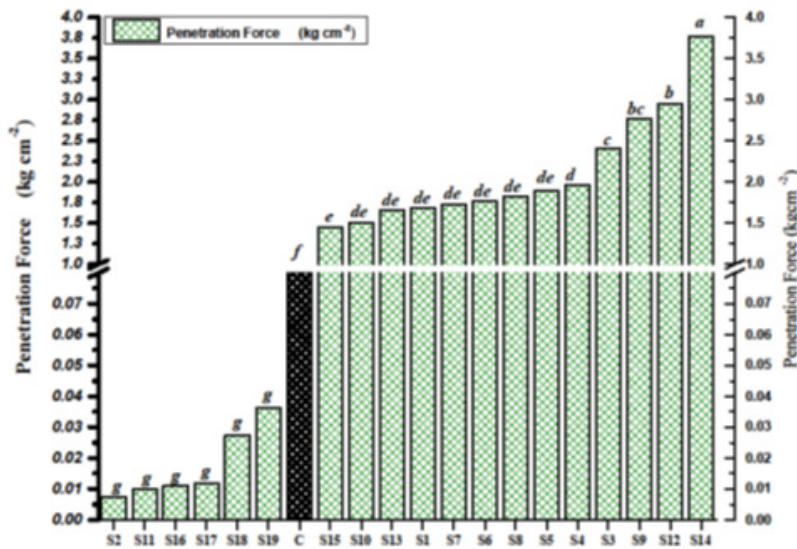
شکل ۶- ضخامت خاک سطحی تیمار با خاکپوش

۳،۲ نتایج آزمون مقاومت فشاری و پایداری خاکدانه

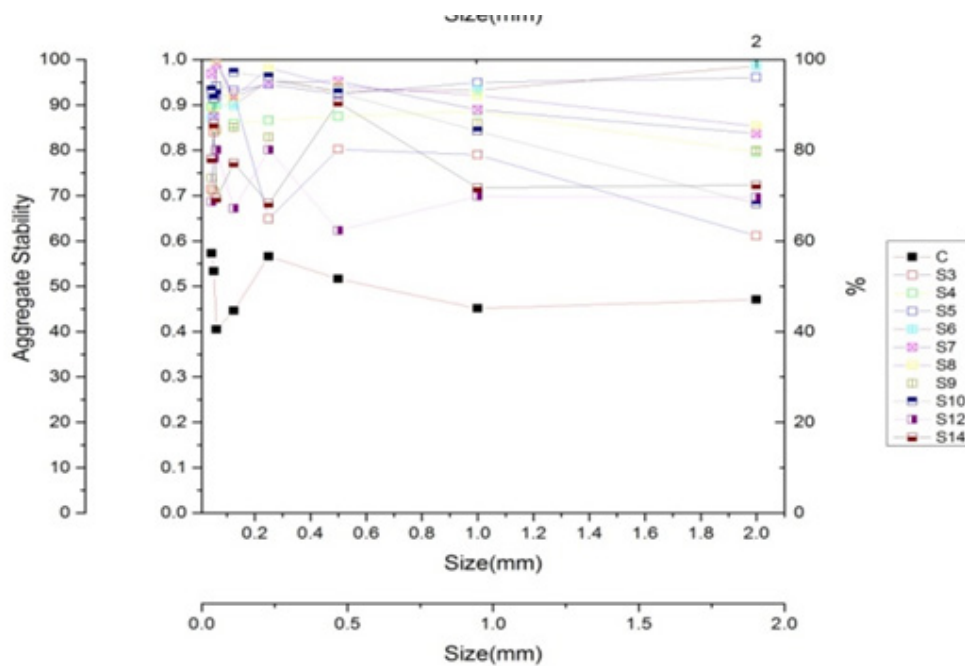
نمونه‌ها بعد از دوره ۴۸ ساعت و ۱۸۰ روز مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج حاصل در شکل ۷ ارائه شده است. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، برای تیمارهای S6, S5, S4, S3, S7, S8, S9, S10, S12, S14 و S15, S13, S1 در ۱۸۰ روز تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نسبت به شاهد مشاهده گردید. این تیمارها در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد و همچنین بین تیمارهای S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12 و S14 در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در بین تیمارهای S9, S14, S3, S12 و دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بر اساس نتایج تجزیه آماری به دست آمده برای پایداری خاکدانه مشاهده شد که اولاً بین تکرارها در سطح ۱

خاک، یک لایه به ظاهر یک پارچه در سطح خاک ایجاد می‌شود اما به دلیل چسبندگی پایین، در نهایت این ذرات به سادگی از هم جدا می‌شوند.

آنکه میزان گسترش عمقی زنجیره‌های پلیمری تابعی از نحوه پاشش، میزان ماده پلیمری افزوده شده در واحد سطح، میزان رطوبت اولیه خاک و میزان رقیق سازی امولسیون پلیمری است، این پایداری در تیمارهای مختلف متفاوت است. در تیمار شاهد با افزایش آب به سطح



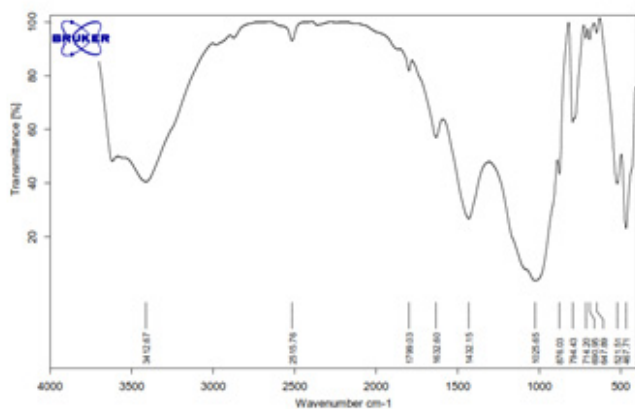
شکل ۷ - مقاومت فشاری تیمارهای مختلف آزمایشی بعد از ۱۸۰ روز



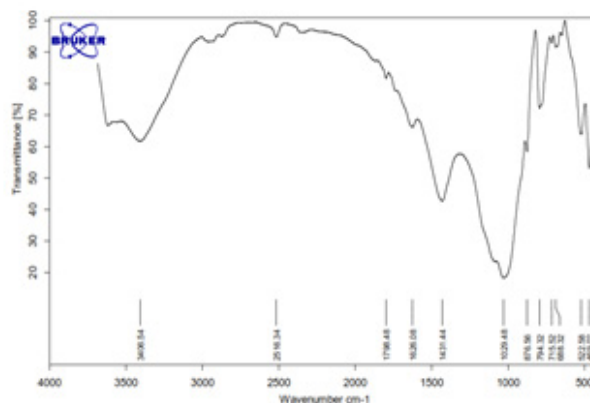
شکل ۸ - مقایسه پایداری خاکدانه در تیمارهای مقاوم به فرسایش در ۸ سایز الک مختلف

که در شکل ۹ مشخص است در باند جذبی ۳۴۱۱/۴۵، ۱۰۲۷/۷۴، ۵۲۱/۳۲ و ۱۴۳۰- cm^{-1} تفاوتی در شدت طول موج‌ها در ابتدا و انتهای آزمایش مشاهده نگردید. بنابراین طول موج ۱۰۲۷/۷۴ مربوط به گروه $\text{C}=\text{O}$ می‌باشد که در اثر تاثیر اشعه خورشید در طول ۱۸۰ روز تغییر محسوسی نداشته است.

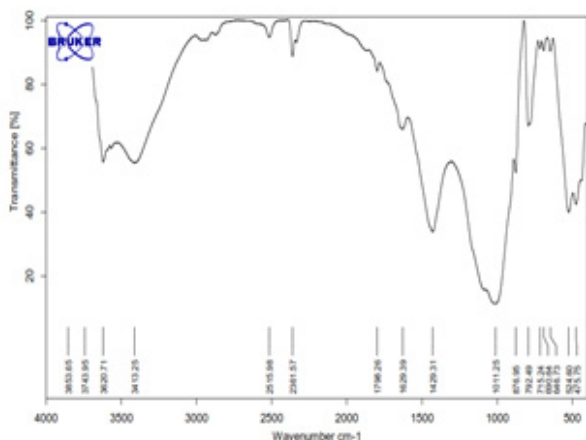
۳،۳ نتایج آزمون طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)
با توجه به نمودارهای بدست آمده پس از دوره ۲ و ۱۸۰ روزه، تفسیر نمودارها و تغییرات برای تمام تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. در تمام تیمارها به خصوص S4، S14 مشخص است که در اثر تنش اشعه خورشید و حرارت پلیمر به مونومر تبدیل نشده است. همانطور



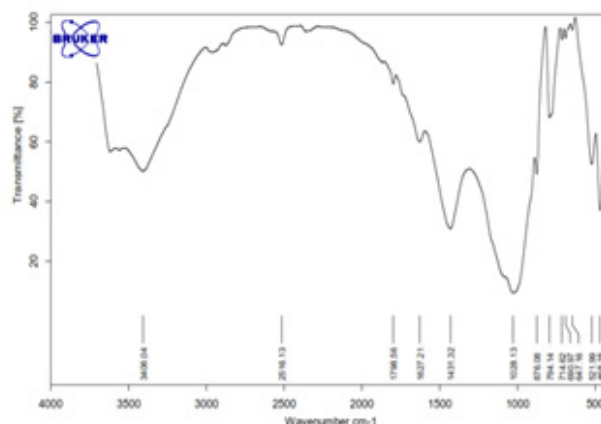
(ب)



(الف)



(د)



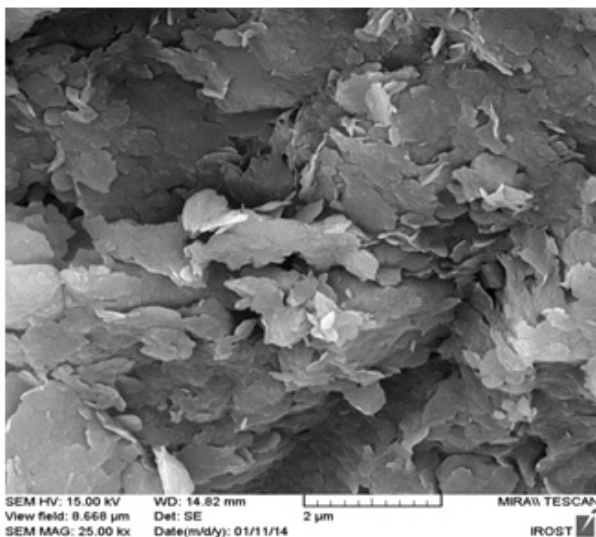
(پ)

شکل ۹ - نمودار طیف‌سنجی مادون قرمز برای تیمار S4 بعد از ۴۸ ساعت (الف) تیمار S4 بعد از ۱۸۰ روز (ب) تیمار S14 بعد از ۴۸ ساعت و (د) تیمار S14 بعد از ۱۸۰ روز B

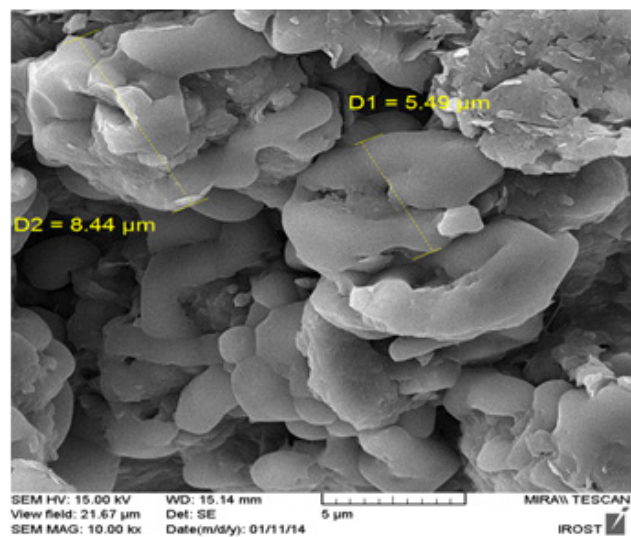
۳,۴ بررسی های میکروسکوپ الکترونی (SEM)

بررسی میکروسکوپ الکترونی خاکپوش ها کمک شایانی به مکانیسم تاثیر پلیمر و پیوندهای بین ذات و پلیمر می کند. به طور طبیعی مکانیسم تثبیت بیوپلیمر شامل پر کردن فضاهای خالی، واکنش های شیمیایی و هم چنین پوشاندن ذرات خاک با ماده پلیمری می باشد (Barry et al, ۱۹۹۱; Chu et al, ۲۰۰۸). زمانی که بیوپلیمر در سطح خاک پاشیده می شود، قسمتی از ماده فضاهای خالی بین ذرات را پر می کند (شکل ۱۰ الف)) و قسمتی دیگر در سطح خاکدانه های خاک قرار می گیرد. گروه پلی الکترولیت در ساختار ملکولی پلیمر واکنش شیمیایی با یون های منفی سطح ذرات رس انجام داده و پیوندهای فیزیکی- شیمیایی بین ملکول و خاکدانه با

پیوندهای هیدروژنی، واندروال و یونی تشکیل می دهد (شکل ۱۰ الف)). همانطور که در تصویر مشخص است در نمونه شاهد پیوندی بین ملکول و خاکدانه مشاهده نمی شود (شکل ۱۰ ب)). بنابراین در نمونه شاهد مقاومت فشاری و خاکدانه بسیار ضعیف می باشد. در نمونه های تیمار شده با پلیمر (بعد از ۱۸۰ روز) پیوندها و زنجیره های طولانی ماکرو ملکول پلیمر باعث ایجاد پیوند محکم در سطح خاکدانه شده و باعث ایجاد یک ساختار غشایی الاستیک و چسبناک در سطح خاکدانه شده است. بنابراین در این نمونه ها مقاومت، پایداری خاکدانه افزایش یافته است. نتایج این تحقیق با مطالعات Rui Chen و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.



(ب)



(الف)

شکل ۱۰- مقایسه خاک تیمار شده با پلیمر وبدون پلیمر زیستی بعد از ۱۸۰ روز با میکروسکوپ SEM (الف) خاک با پلیمر زیستی و (ب) خاک بدون پلیمر

بنابراین خاکپوش های با پایه سلولز کمترین مقاومت را در سرعت باد ۲۵/۶ داشتند.

(۲) با افزایش ماده پلیمری به سطح خاک تمام تیمارها تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد نسبت به تیمار شاهد در رابطه با پایداری خاکدانه و مقاومت فشاری در طول ۱۸۰ روز نشان دادند.

(۳) نتایج طیف سنجی مادون قرمز نشان داد که تغییری در پیک های ۳۴۱۱/۴۵، ۱۰۲۷/۷۴، ۵۲۱/۳۲ و ۱۴۳۰/۱ cm در ابتدا و آنهای آزمایش (بعد از ۶ ماه) مشاهده نگردید که نتایج نشان دهنده، تغییر نکردن گروهایی عاملی پلیمر در طول این مدت است.

(۴) نتایج میکروسکوپ الکترونی نشان داد که با افزودن ماده پلیمری به سطح خاک، پیوندهای فیزیکی- شیمیایی بین بارهای منفی سطح

نتیجه گیری

هدف اصلی از این تحقیق بررسی و انتخاب بهترین فرمولاسیون پلیمر زیستی برای خاک های با بافت سبک می باشد. برای این منظور آزمایش های از جمله مقاومت فشاری، پایداری خاکدانه، مقاومت در برابر سرعت باد، طیف سنجی مادون قرمز و میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق به صورت زیر می باشد:

(۱) مقاومت خاکپوش ها با توجه نوع ترکیب و فرمولاسیون متفاوت خواهد بود و خاکپوش هایی که ویسکوزیته کمتر و حالت چسبناکی بیشتر و اندازه ذرات کوچکتر داشتند به دلیل نفوذ بیشتر و افزایش استحکام ساختاری مقاومت بیشتری به بقیه خاکپوش ها نشان دادند.

،Vol ، 77،P: 175–179.

Masoumpour،h Samakosh،Sh. Shaygan Mehr، M. Ahmدي، M. (2010). A Synoptic Investigation of Dust Storms in Western Regions of Iran during 2005- 2010 (A Case Study of Widespread Wave in July 2009). *Geography and Environmental Planning Journal، Vol ،43، No، 3،P: 5-8.*

McLean،E.O.(1982).soil PH and Lime requirement ،PP:199-224.In LPage،A.L,(ed).Methods of soil analysis .part2 chemical and microbiological properties :publisher Madison ،Wisconsin,USA.

Merrill، S.D. Black، A.L. Fryrear، D.W. Saleh، A. Zobeck، T.M.and Halvorson ، A.D. ، Tanaka، D.L. (1999). Soil wind erosion hazard of spring wheat-fallow as affected by long-term climate and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J ، Vol، 63،P: 1768–1777.*

Movahedan1، M. Abbasi، N. Keramati، M.(2011). Experimental Investigation of Polyvinyl Acetate Polymer Application for Wind Erosion Control of Soils .*Journal of Water and Soil، Vol،25، No، 3،P:606-616.*

Musick، H.B. (1999). Field monitoring of vegetation characteristics related to surface changes in the Yuma Desert, Arizona, and at the Jornada Experimental Range in the Chihuahuan Desert, New Mexico. In: Breed, C.S., Reheis, M.C. (Eds.), *Desert Winds: Monitoring Wind-Related Surface Processes in Arizona, New Mexico, and California.* US Geological Survey Prof. Paper 1598D،P: 71–84.

Musick، H.B.and Gillette، D.A. (1990). Field evaluation of relationships between a vegetation structural parameter and sheltering against wind erosion. *Land Degrad. Rehab، Vol، 2، P: 87–94.*

Namdar Khojasteh, D. (2016). Assessment of efficiency and durability factors of biomulches for dust stabilizing in the natural condition. Tarbiat Modares Univerity, Phd thesis, in persion.

Nelson، R.E. ،and Sommers،LE.(1982).Total carbon,organic carbon,and organic matter. In:Page،A.L,et al.(eds) Methods of soil analysis.part2 : 2nded.Agron .Monogr.9.ASA and SSSA،Madison .W.I.P، P:539-579.

Rezaie، S.A.(2009).Comparison between Polylatice polymer and petroleum mulch on seed germination and plant establishment in sand dune fixation.Iranian journal of Range and Desert Reseach، Vol،16 ، No،

رس و ملکول‌های پلیمر تشکیل می‌گردد. همچنین مقداری از پلیمر فضاهای خالی بین ذرات خاک را پر کرده که در نتیجه آن، به هم پیوستن ذرات ریز خاک و تشکیل ذرات درشت شده است. در نهایت این عامل باعث افزایش مقاومت فشاری و پایداری خاکدانه همچنین کاهش تولید گرد و غبار در بادهای با سرعت بالا می‌شود. (۵) در نهایت با توجه به آزمایش تونل باد، پایداری خاکدانه و مقاومت فشاری تیمارهای S4 ، S9 و S10 به عنوان تیمار برتر جهت آزمایش در مزرعه انتخاب شدند.

سیاسگزاری

نویسندگان این مقاله از پژوهشکده زیست فناوری سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به دلیل در اختیار گذاشتن امکانات ساخت فرمولاسیون پلیمرهای زیستی تشکر می‌نماید. همچنین لازم است از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل حمایت مالی تشکر و قدر دانی گردد.

منابع مورد استفاده.

Arimoto،R.)2000(. Relationships to source, tropospheric chemistry, transport and deposition. *Earth science، Vol، No،27(2):111-121.*

Barry، P.P. ، Stott، D.E. ، Turco، R.F. (1991). Organic polymers' effect on soil shear strength and detachment by single raindrops. *Soil Science Society of America Journal، Vol،55 ، No3 ، P:799–804.*

Chen، W.and Fryrear، D.W. (1996). Grain-size distributions of wind-eroded material above a flat bare soil. *Phys. Geogr، Vol،17،P:554– 584.*

Chu، P.C. ، Che، Y. ، Lu، S. ، Li، Z. ، Lu، Y. (2008). Particulate air pollution in Lanzhou China. *Environ. Int، Vol،34،P: 698–713.*

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، Vol،68،P: 260–270.*

Ji-Jun He، J.J. Cai، Q.G. and Tang، Z.J. (2008). Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control. *Environmental Monitoring and Assessment، Vol،145، P: 185–193.*

Karimi، A. Shakouhi Razi، K. (2012). A Interaction between Atmospheric Circulation and Land Cover in the Mechanism of Creation of Summertime Dust Storms in Middle East. (Case Study, July 2009). *Journal of Physical Geography Research، Vol، 78، P:113-130.*

Liu، J., Shi، B. ، Huang، H. ،، Jiang، H. (2009). Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers، *Catena*

measurement of the sheltering effect of vegetation on erodible land surfaces. Land Degrad. Rehab. Vol. 2, P: 77-85.

Wallace, A. Wallace, G. A. and Abouzamzam A. M. (1986). Amelioration of sodic soils with polymers. Soil Science, Vol. 141, P: 321-323.

1, P: 124-136.

Rui Chen, Iisu, L. and Liyang, Z. ASCE, M. (2014). Biopolymer Stabilization of Mine Tailings for Dust Control. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 4, P: 1-10.

Stockton, P.H. and Gillette, D.A. (1990). Field

