



مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره اول، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی آزمایشگاهی اثر پلی‌وینیل استات بر فرسایش بادی خاک‌های مختلف در برابر ماسه

*محمد موحدان^۱، نادر عباسی^۱ و مجید کرامتی‌طرقی^۲

^۱استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج،

^۲مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۱

چکیده

فرسایش بادی یکی از عوامل اصلی آسیب به خاک و منابع طبیعی، فقیر شدن خاک‌های کشاورزی، آلودگی هوا، انتقال ذرات معلق، آسیب رساندن به تأسیسات و ماشین‌آلات و عملیات اجرایی می‌باشد. گرچه در سال‌های اخیر استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به منظور افزایش پایداری قطر خاک‌دانه‌ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است اما در انتخاب یک پلیمر به عنوان تثبیت‌کننده خاک در برابر فرسایش بادی، فاکتورهای زیادی باید مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش، کارایی ماده پلیمری پایه پلی‌وینیل استات بر روی سه نوع خاک با بافت متفاوت در برابر باد همراه با ماسه ساینده به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور پس از طراحی و ساخت تونل باد، نمونه‌های تیمار شده با ماده پلیمری تحت آزمایش‌های فرسایش در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری داخل تونل باد همراه با ماسه ساینده قرار داده شد و با نمونه‌های تیمار شده با آب مورد مقایسه قرار گرفت. تیمارهای مورد مطالعه در این آزمایش عبارت از ماده تثبیت‌کننده در ۲ سطح ۰ و ۲۵ گرم بر مترمربع و نوع خاک در ۳ سطح شامل بافت سبک شنی، متوسط لوم سیلتی و سنگین رس سیلتی در ۳ تکرار بودند. نتایج به دست آمده نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین مقاومت به سایش و میزان فرسایش در نمونه‌های خاک تیمار شده با ماده پلیمری و نمونه‌های تیمار شده با آب وجود داشته است. همچنین براساس نتایج به دست آمده، افزودن ماده پلیمری پلی‌وینیل استات به میزان

* مسئول مکاتبه: m.movahedan@gmail.com

۲۵ گرم در مترمربع در شرایط آزمایشگاهی، با توسعه ارتباط بین ذرات و تشکیل یک لایه سطحی بر روی خاک، میزان فرسایش در برابر باد همراه با ذرات را کاهش داده است. با افزودن این ماده پلیمری میزان فرسایش بادی در نمونه‌های ماسه بادی به صفر رسیده و در خاک با بافت متوسط لوم سیلتی و سنگین رس سیلتی، حداقل ۷۶ درصد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تونل باد، پلیمر پلی‌وینیل استات، ماسه ساینده، فرسایش بادی

مقدمه

آب و خاک به‌عنوان دو عامل اصلی در تولید مواد غذایی، همواره تحت‌تأثیر تخریب قرار دارند بنابراین مبارزه با تخریب این منابع در سطح جهانی از توجه ویژه‌ای برخوردار است و بر خلاف انجام مطالعات زیاد در این زمینه، تا درک کامل فرایند این پدیده، راهی طولانی در پیش است (رفاهی، ۲۰۰۴). فرسایش بادی باعث فقیر شدن خاک می‌شود و علاوه بر آن ذرات منتقل شده همانند پوششی مزاحم، سطح اراضی زراعی و غیرزراعی را فرا می‌گیرد (علیزاده، ۱۹۸۹). ابعاد خسارت بسته به شدت و دوام باد، میزان و نوع ذرات حمل شده با باد متفاوت خواهد بود. وزش باد همراه با ماسه باعث بروز خسارات متعدد مانند تخریب شدید محصولات، سطح ساختمان‌ها و تأسیسات شده و فرسایش کلوخه‌های خاک و مواد رسی، ریزگردها را ایجاد می‌نماید (لیان یو و همکاران، ۲۰۰۳). نمونه‌ای دیگر از این موارد می‌توان به مدفون شدن بخش‌های قابل‌توجهی از خط راه‌آهن کینقای-تبت^۱ که در سال ۲۰۰۶ به بهره‌برداری رسیده است، اشاره نمود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

هر چند در مقیاس جهانی، اهمیت و خطر فرسایش بادی کم‌تر از فرسایش آبی است (رفاهی، ۲۰۰۴)، اما فرسایش بادی در برخی مناطق می‌تواند بسیار شدیدتر از فرسایش آبی باشد (قدیری، ۱۹۹۳). این مسأله به‌خصوص در مناطق خشک به‌دلیل فقر پوشش گیاهی، کمبود هوموس، خشک بودن و ریزدانه بودن خاک، جدی‌تر است. به این منظور روش‌های مختلف کنترل فرسایش بادی مانند روش‌های بیولوژیکی (استفاده از گیاهان بومی منطقه به‌عنوان بادشکن)، روش‌های مکانیکی (حفر خندق، ساخت بادشکن و غیرزنده) و تقویت پوشش سطحی با کاربرد تثبیت‌کننده‌های خاک مانند مالچ‌های نفتی، مواد پلیمری و... می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مطالعه احمدی و همکاران (۲۰۰۲)

در منطقه بافق نشان می‌دهد که به‌منظور کنترل بادی و جلوگیری از حرکت ماسه‌ها، تلفیقی از روش‌های بیولوژیکی و مکانیکی لازم است. استفاده از مالچ‌های نفتی در کنترل فرسایش بادی و تثبیت خاک (کردوانی، ۱۹۹۷) و به‌خصوص در سال‌های اخیر استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به‌منظور افزایش پایداری و قطر خاک‌دانه‌ها (برای جلوگیری از حرکت و جابه‌جایی آن‌ها توسط باد) و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های بارز پلیمرها این است که با ایجاد شبکه در سطح خاک همانند پلی بین ذرات خاک عمل کرده و باعث اتصال ذرات به یکدیگر شده و خاک‌دانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌نمایند که در واقع باعث افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها می‌گردند (سمائی و همکاران، ۲۰۰۶؛ عباسی و همکاران، ۲۰۱۰). اگرچه انتخاب یک پلیمر به‌عنوان تثبیت‌کننده خاک امر ساده‌ای نبوده و فاکتورهای مهمی باید در نظر گرفته شوند، با این حال به‌دلیل برتری‌های کاربرد این مواد، استفاده از آن‌ها به‌طور روزافزونی در حال افزایش است.

پژوهش‌های اولیه انجام گرفته در زمینه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد بیانگر آن است که فرآیند فرسایش‌پذیری خاک، کاملاً تحت‌تأثیر توزیع اندازه خاک‌دانه‌های خشک قرار دارد (چپیل و میلن، ۱۹۶۱). پژوهش‌های بعدی در این زمینه نیز بر نقش پایداری خاک‌دانه‌ها به‌عنوان یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده سایش سطحی و فرسایش تاکید دارند. برایان (۱۹۶۸) با مطالعه شاخص‌های فرسایش‌پذیری در برابر آب، بهترین شاخص را پایداری خاک‌دانه‌ها در آب برشمرد. اما مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی بیش‌تر به پایداری خاک‌دانه‌های خشک بستگی دارد. درصد رطوبت خاک نیز یکی از عوامل مؤثر در برابر فرسایش بادی است به همین دلیل خاک‌های مرطوب از خاک‌های خشک مقاوم‌ترند. با توجه به آن‌که خاک‌دانه‌های پایدار در آب، عموماً قطری کم‌تر از ۱ میلی‌متر دارند، تنها سایر واحدهای ساختمانی هستند که قادر به فراهم نمودن یک پوشش سطحی پایدار هستند. با این حال، پایداری خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از ۱/۰ میلی‌متر هم مهم است زیرا آن‌ها هم به‌عنوان ساینده و هم به‌عنوان منبع خاک به تعلیق درآمده در نظر گرفته می‌شوند (هاگن و لایلز، ۱۹۸۵). همچنین برخی از پژوهش‌ها از شاخص مقاومت فشاری^۱ خاک به‌عنوان عامل تأثیرگذار در برابر بادبردگی نام برده‌اند زیرا مقاومت فشاری تا حدی بیانگر تحکیم و نقش سله در خاک سطحی است (معماریان، ۱۹۹۸). اندازه‌گیری رسوبات بادی یک منطقه به روش غیرمستقیم مثل استفاده از دستگاه سنجش فرسایش بادی^۲ صورت می‌گیرد (اختصاصی و احمدی،

1- Compressive Strength

2- Wind Erosion Meter

۱۹۹۶) و بررسی شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از دستگاه سنجش فرسایش بادی، نشان داده است که چگونگی پوشش سطحی خاک و میانگین قطر ذرات از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل در شاخص فرسایش‌پذیری خاک هستند (عظیم‌زاده و همکاران، ۲۰۰۲).

بر طبق نتایج سمائی و همکاران (۲۰۰۶)، از پلیمرهای اکریلیک محلول در آب با غلظت مناسب می‌توان به‌منظور افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها و کاهش فرسایش بادی استفاده نمود. پژوهش‌های صدیقی و مور (۱۹۸۱) نشان داد که ترکیب پلیمری بوتادین - استیرن^۱ برای کنترل فرسایش بادی و آبی در خاک ماسه‌ای عالی است و نفوذپذیری خاک تیمار شده با این پلیمر تفاوت معنی‌داری ننموده است. والاس و همکاران (۱۹۸۶) در پژوهش خود بر روی برخی پلیمرها^۲ دریافته‌اند که پلیمر آنیونی، هم‌آوری بیشتری در خاک‌های آهکی نسبت به خاک‌های اسیدی، ایجاد می‌نماید، در حالی که در مورد پلیمر کاتیونی نتیجه برعکس می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که نمک‌ها، ذرات رس را به اندازه کافی به هم نزدیک می‌کند، بنابراین چند تا از آن‌ها می‌توانند توسط یک پلی‌آنیون مشابه به هم وصل شوند و به این ترتیب برای هر خاک‌دانه، اتصال چندین برابر تقویت می‌شود. نتایج شوقی (۱۹۹۸) نشان داد که استفاده از پلیمرهای پلی‌آنیونی به‌میزان ۲۵ گرم بر مترمربع، می‌تواند انواع خاک‌ها را در برابر فرسایش به‌دست آمده از باد با سرعت ۱۶/۷ متر بر ثانیه مقاوم نماید. بررسی‌های انجام شده توسط تلی‌شوا و شولگا (۱۹۹۵) نشان داد که استفاده از پلیمرهای محلول در آب از نوع (Si-Ad)^۳ محتوی ۰/۵-۰/۸ درصد سیلیکن و نرخ کاربرد ۳۷۵ گرم بر مترمربع بر روی ماسه، باعث اتصال ذرات ماسه شده و یک لایه به ضخامت ۴-۱۴ میلی‌متر با مقاومت به فروری^۴ ۰/۴۹-۲/۹۰ مگاپاسکال ایجاد نمود. همچنین تبخیر از سطح خاک و میزان فرسایش بادی کاهش یافته (میزان فرسایش بادی کم‌تر از ۰/۰۹-۰/۱۱ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت) و بر جوانه‌زنی و رشد بذرها هم اثرات نامطلوبی نداشت. نتایج کنث و نوانکو (۲۰۰۱)، نشان می‌دهد که اثر پلیمرها بر روی خاک، به‌صورت تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگ از به هم پیوستن خاک‌دانه‌های کوچک‌تر ظاهر می‌شود. بررسی انجام گرفته در زمینه کاربرد پلیمر استات^۵ به‌میزان ۳۰-۵۰ گرم بر مترمربع بر روی خاکستر به‌دست آمده از فعالیت‌های صنعتی نشان داد که پلیمر یاد شده با نرخ ۱۵-۲۰ گرم بر مترمربع، تشکیل یک لایه محافظ می‌دهد که در برابر بادی با سرعت

- 1- Butadiene-Styrene
- 2- Negatively Charged and Positively Charged Polymers
- 3- Silicon Containing Adhesive
- 4- Penetration Resistance
- 5- Acetate Polymer

۲۰ متر بر ثانیه مقاوم و به مدت ۸-۶ ماه پایداری خود را حفظ می‌نماید (حاجیف و حاجیف، ۲۰۰۳). نتایج پژوهش‌ها با استفاده از پلیمر پلی‌آکریل آمید نیز نشان داد که کاربرد این ماده پلیمری بر سطح خاک، ظرفیت مقاومت در برابر فرسایش بادی خاک را افزایش می‌دهد و در این رابطه مقدار ۴ گرم بر مترمربع پلیمر اضافه شده، مؤثرتر از مقدار ۲ گرم بر مترمربع عمل نموده است (هی و همکاران، ۲۰۰۸). برخی از محققان در بررسی میزان فرسایش بادی، اثر ذرات فرساینده^۱ همراه با باد را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند. چنانچه باد همراه ماسه نباشد، در عمل ساییدن ناتوان است (رفاهی، ۲۰۰۴). تیلی و سیج (۱۹۷۰) مشاهده کردند که ترکیبی از یک اندازه ذرات حداقل و سرعت باد وجود دارد که سایش سطحی شروع می‌شود. همچنین مطالعات قبلی نشان داده است که خاک‌دانه‌های بزرگ باعث ایجاد ناحیه محافظت شده^۲ می‌گردد بنابراین شدت تلفات خاک در اثر سایش می‌تواند با نرخ فرسایش خاک‌دانه‌های بزرگ کنترل شود زیرا لایه محافظ^۳ زره مانند را فراهم می‌نماید (هاگن، ۱۹۹۱). در پژوهشی آزمایشگاهی، افزایش مقادیر کم بنتونیت (۲۰-۱۰ گرم بر هر کیلوگرم ماسه) به خاک، فرسایش بادی خاک ماسه‌ای را در برابر باد با سرعت ۱۴ متر بر ثانیه تا حد بسیار زیادی کاهش داده است (دایوف و همکاران، ۱۹۹۰). آرمبراست (۱۹۹۹) طی پژوهشی بر روی کنترل فرسایش بادی خاک تیمار شده با پلی‌آکریل آمید^۴ (به میزان ۹/۳ لیتر بر هکتار با رقیق‌سازی ۱ به ۱۰۰۰)، از نمونه‌های ساخته شده در داخل سینی به ابعاد ۱/۵۲×۰/۵۰×۰/۰۴ متر استفاده نمود. نتایج وی نشان داد که در دو نوع خاک (لوم شنی بسیار ریز و لوم رسی سیلتی)، میزان فرسایش در برابر باد با سرعت ۱۳/۴ متر بر ثانیه، ۳۸-۹۸ درصد کاهش می‌دهد اما میزان مقاومت به فرسایش در برابر باد همراه با ماسه هم ۳-۲ برابر کاهش یافته است.

بررسی‌های انجام شده توسط لیان یو و همکاران (۲۰۰۳) بر روی سایش توسط باد همراه با ذرات ماسه در یک تونل باد نشان داد که شدت فرسایش با ماسه بادی تحت تأثیر هم‌زمان ظرفیت سایش و شدت انتقال ماسه قرار دارد. هان و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی بر روی اثر چند امولسیون پلیمری بر کنترل فرسایش ماسه بادی، میزان فرسایش در برابر باد با سرعت ۲۵/۳ متر بر ثانیه را بین ۰/۴-۰ کیلوگرم بر ساعت در مترمربع به دست آوردند. در پژوهشی دیگر، برای تثبیت سطحی ماسه، ماده

- 1- Abraders
- 2- Sheltered Zone
- 3- Surface Armor
- 4- Polyacrylamide (PAM)

به‌دست آمده از خمیرکاغذ و پلیمری شده با اسید آکریلیک و فرمالدئید استفاده شد که مقاومت به خردشدگی را افزایش و مقاومت به فرسایش بادی ماسه را بهبود بخشیده است (دانگ و همکاران، ۲۰۰۸). پرادهان و جان (۲۰۰۹) با مطالعه فرسایش‌پذیری ترکیبات پلیمری طبیعی (پلاستیک‌های سلولزی غنی شده با فیبرهای طبیعی با استفاده از فرسایش با ضربات ماسه^۱ (که در آن هدررفت ماده هدف در اثر ضربات ناشی از ذرات جامد ریز مورد بررسی قرار می‌گیرد) چنین نتیجه گرفتند که افزایش زاویه برخورد، افزایش فرسایش را به همراه داشته است. همچنین عمل مسلح نمودن با فیبرهای طبیعی، فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش‌های بن‌عاشر و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که ماسه تیمار شده با پلی‌آکریل آمید، در شرایط ماسه همراه با باد در سرعت ۲۳/۷۲ متر بر ثانیه در تونل باد شروع به فرسایش نموده است.

براساس آنچه که بیان گردید افزایش قطر ذرات و درشت نمودن آن‌ها و نیز افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها در حالت خشک از عواملی است که می‌توان توسط آن سایش سطحی و فرسایش بادی را کنترل نمود. منتها آنچه که باید مورد بررسی قرار گیرد آن است که آیا لایه سطحی تشکیل شده می‌تواند در برابر عوامل سایشی مقاومت نماید. هدف از این پژوهش، ارزیابی میزان مقاومت به سایش نمونه‌های خاک با بافت‌های مختلف که با امولسیون پلیمری بر پایه پلی‌وینیل استات^۲ تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده با آب می‌باشد که به‌صورت آزمایشگاهی و با استفاده از تونل باد صورت گرفت.

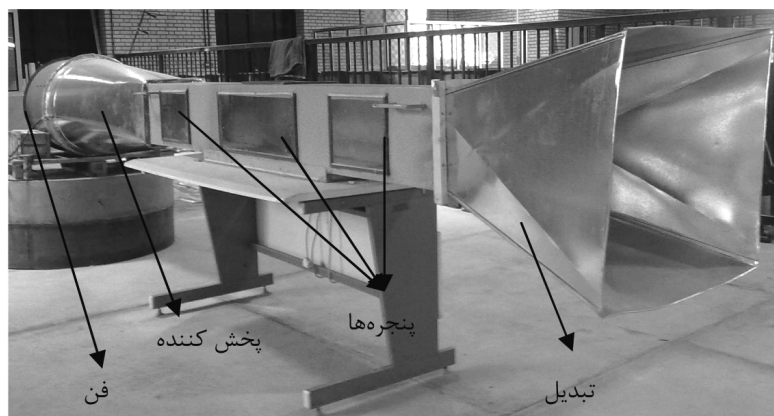
مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا نسبت به تهیه نمونه‌های خاک مناسب برای آزمایش‌ها، اقدام گردید. بر این اساس نمونه‌های بافت متوسط و سنگین از دو محل در منطقه کرج و نمونه ماسه بادی از منطقه آران و بیدگل کاشان انتخاب و از این مناطق نمونه به‌میزان کافی (حدود ۱ تن از هر منطقه) برداشت و به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی منتقل گردید. سپس براساس استانداردهای مربوطه، آزمایش‌ها ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های خاک شامل تعیین رطوبت طبیعی نمونه‌ها، دانه‌بندی به طریق هیدرومتری، دانه‌بندی با الک، تعیین حدود آتربرگ و تعیین مشخصات تراکمی خاک (شامل جرم مخصوص ظاهری ماکزیمم و رطوبت بهینه به روش پراکتور استاندارد برای شناسایی بهتر خاک) انجام گردید.

1- Sand Blust

2- Polyvinyl Acetate (PVA)

ماده شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش برای تثبیت خاک یک کو- پلیمر شیمیایی بر پایه پلی‌وینیل استات ($C_4H_6O_2$) بود که توسط محققان داخلی و به صورت امولسیون در آب تهیه گردید (تغییر غلظت با آب صورت گرفت). امولسیون به دست آمده، سفید رنگ و دارای وزن مخصوص ۱۰۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و با غلظت ۲۵ گرم بر لیتر تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. میزان و نوع پلیمر مورد استفاده برای آزمایش فرسایش بادی، براساس نتایج آزمایش‌های پیشین مانند مقاومت مکانیکی خاک، مشخص گردیده بود. به این منظور تیمار با نام D_{25} که عبارت است از پلیمر داخلی با غلظت ۲۵ گرم بر لیتر و به میزان ۲۵ گرم بر مترمربع خاک افزوده و مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین آب بدون هر گونه پلیمر و به میزان ۲۵ گرم بر مترمربع خاک به عنوان یک تیمار در نظر گرفته شد. به منظور بررسی میزان فرسایش بادی، از روش آزمایشگاهی استفاده گردید. به این منظور یک تونل باد آزمایشگاهی مدار باز^۱ طراحی، ساخته و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱- تونل بادی ساخته شده به ترتیب از راست به چپ: تبدیل، تونل باد و پنجره‌های جانبی آن، پخش کننده و فن.

این تونل مشابه با تونل باز با سرعت پایین (پوپ و هارپر، ۱۹۶۶) و با انجام تغییراتی در تونل طراحی شده توسط اختصاصی (۱۹۹۱)، طراحی و از جنس ورق آهن گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر با ابعاد ۰/۳۰×۰/۳۰×۲/۲۵ متر ساخته شد. با تعبیه پنجره‌ها در تونل، نصب بادسنج و نمونه‌های آزمایشی و نیز مشاهده تغییرات در طول آزمایش امکان‌پذیر گردید. کف تونل در بخش مرکزی، به

1- Open-Circuit Wind Tunnel

ابعاد $۰/۳۰ \times ۰/۴۰$ متر به‌عنوان محل قرارگیری نمونه‌ها در نظر گرفته شد. به این منظور قسمت مرکزی تونل به ارتفاع ۴ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین قرار داده شد. مجموعه تونل بر روی سکویی قرار گرفت (شکل ۱). تولید باد، با استفاده از یک فن سه فاز با قطر پروانه ۵۶ سانتی‌متر و ظرفیت هوادهی ۱۶۰۰۰ مترمکعب بر ساعت صورت گرفت (شکل ۱). به‌منظور اتصال مناسب فن هواده و تونل باد از یک پخش‌کننده به طول $۱/۸۰$ متر استفاده شد و برای تسهیل در ورود هوا به تونل و یکنواختی جریان باد، از یک ورودی با نسبت ورودی به خروجی مناسب ۴ به ۱ استفاده شد (راتاکی‌شان، ۲۰۰۷). سرعت باد توسط دو بادسنج پیاله‌ای و فیلم داغ، اندازه‌گیری و کنترل گردید. توزیع لگاریتمی سرعت باد در مرکز تونل بررسی و تأیید گردید.

نمونه‌های آزمایشی در ظرف‌های فلزی با ابعاد $۰/۳۰ \times ۰/۴۰ \times ۰/۰۲$ متر تهیه شد. پس از پر نمودن خاک رد شده از الک ۲ میلی‌متر و صاف نمودن سطح خاک، آب یا امولسیون پلیمری به‌میزان موردنظر (۲۵ گرم بر مترمربع با افزودن ۱ لیتر بر مترمربع) توسط یک پاشنده به‌صورت دستی بر روی نمونه‌ها پاشیده شد. افزودن آب یا ماده پلیمری به روش وزنی صورت گرفت. به این معنی که با توجه به غلظت امولسیون پلیمری موردنظر (۲۵ گرم در لیتر) و داشتن مساحت نمونه آزمایشی ($۰/۱۲$ مترمربع)، میزان امولسیون پلیمری مورد نیاز برای رسیدن به‌میزان ۲۵ گرم بر مترمربع محاسبه شد. سپس با داشتن وزن واحد حجم امولسیون، وزن امولسیون مورد نیاز برای پاشش مشخص گردید. سپس با قرار دادن نمونه بر روی یک ترازوی دیجیتال با دقت گرم، آنقدر آب یا امولسیون پلیمری (توسط یک پاشنده دستی که مخزن آن توسط یک پمپ به‌صورت دستی تحت فشار قرار می‌گرفت) اضافه شد تا به وزن موردنظر برسد. نمونه‌ها پس از تهیه، در محوطه دارای تهویه قرار داد شد تا به‌صورت طبیعی خشک شوند. شروع آزمایش‌ها، گذشت ۴۸ ساعت پس از تهیه نمونه‌ها و زمانی بود که نمونه‌ها به وزن اولیه قبل از افزودن ماده پلیمری رسیده باشند.

پس از این زمان، نمونه توزین شده و در محل موردنظر در داخل تونل باد، نصب و مورد آزمایش فرسایش بادی با ضربات شن قرار گرفت (شکل ۲). به‌منظور ارزیابی تیمارها به‌خصوص تیمارهای پلیمری در برابر فرسایش باد شدید، سرعت حداکثر در محور مرکزی تونل آزمایشگاهی مدنظر قرار گرفت.



ب



الف

شکل ۲- نمونه آماده شده برای آزمایش فرسایش بادی:
الف: نمونه آزمایشی آماده شده و ب: نمونه استقرار یافته در تونل باد.

سرعت حداکثر در محور مرکزی تونل (۱۵ سانتی متر بالای سطح خاک) به ۲۶ متر بر ثانیه رسید (براساس رابطه تجربی سرعت باد- ارتفاع، حدود ۴۷ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری) که این مقدار از آستانه فرسایش بادی مناطق نمونه برداری بیش تر است و به منظور ارزیابی مقاومت تیمارها به خصوص تیمارهای پلیمری در برابر باد شدید، مناسب تشخیص داده شد. همچنین به منظور بررسی اثر باد با ضربات شن بر میزان فرسایش پذیری تیمارهای مختلف، از ماسه بادی آران و بیدگل به عنوان ساینده استفاده گردید. به این ترتیب که در بالادست نمونه آزمایشی در داخل تونل باد، ۴۵۰۰ گرم از ماسه بادی آران و بیدگل، به صورت یکنواخت ریخته شد. محدوده توزیع ماسه بادی مورد نظر، از فاصله ۱۰ سانتی متری پایین دست شبکه شروع و تا فاصله ۴۰ سانتی متری بالادست نمونه آزمایشی خاتمه می یافت. بررسی های اولیه نشان داد که با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه در فاصله زمانی ۷۵ ثانیه تمام ماسه بادی ساینده توسط باد، حمل و از انتهای تونل خارج می شود بنابراین با توجه به بالا بودن سرعت باد، ابعاد نمونه و وجود ماسه ساینده همراه با باد، همین زمان برای آزمایش در نظر گرفته شد. پس از نصب نمونه های آزمایشی و انجام آزمایش سایش با ماسه بادی، نمونه مورد نظر از تونل بادی خارج و دوباره توزین گردید. تغییر وزن در فاصله قبل و بعد از آزمایش، میزان خاک فرسایش یافته را نشان می دهد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه نوع خاک با بافت مختلف (خاک شنی، لوم سیلتی، لوم رسی سیلتی)، دو نوع ماده مورد بررسی شامل آب بدون ماده پلیمری (تیمار D) و مقدار ۲۵ گرم بر مترمربع از ماده پلیمری داخلی با افزودن حجم ۱ لیتر از محلول با غلظت ۲۵ گرم در لیتر بر واحد سطح خاک (تیمار D_{۲۰}) انتخاب گردید. بنابراین ۳ نوع خاک با دو ماده آزمایشی در ۳ تکرار یا ۱۸ نمونه مورد

آزمایش فرسایش بادی قرار گرفت. به‌منظور بررسی آماری تأثیر پلیمر بر میزان فرسایش در برابر باد همراه با ساینده، نتایج آزمایش‌های انجام شده در این بخش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نرم‌افزار (SPSS ۱۶/۰) مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای مورد مطالعه در این آزمایش عبارت بودند از ماده تثبیت‌کننده (در دو سطح: D_۰ و D_{۲۵}) و نوع خاک (در ۳ سطح: ماسه بادی، خاک لومی سیلتی و خاک لومی رسی سیلتی) و در ۳ تکرار. جدول ۱ مشخصات تیمارهای آزمایشی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات نوع آزمایش و تیمارهای آزمایشی.

| نام تیمارها | نوع آزمایش | | نوع خاک |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| | فرسایش بادی همراه با ماسه فرساینده | | |
| D _۰ | شاهد | باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه | ماسه بادی |
| D _{۲۵} | پلیمری | باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه | |
| D _۰ | شاهد | باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه | خاک سیلتی |
| D _{۲۵} | پلیمری | باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه | |
| D _۰ | شاهد | باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه | خاک رسی |
| D _{۲۵} | پلیمری | باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه | |

D_۰: معادل ۱ لیتر بر مترمربع آب افزوده شده به خاک، D_{۲۵}: معادل ۱ لیتر بر مترمربع امولسیون پلیمری افزوده شده به خاک با غلظت ۲۵ گرم در لیتر.

نتایج و بحث

در جدول ۲ نتایج آزمایش‌های شناسایی تعیین بافت، مشخصات تراکمی و حدود آتربرگ نمونه‌ها خاک ارایه گردیده است که مطابق این جدول، نمونه‌های ماسه بادی، بافت متوسط و بافت سنگین براساس طبقه‌بندی USDA به‌ترتیب در گروه شن، لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی قرار گرفته‌اند. میزان رطوبت وزنی نمونه‌های ماسه بادی، خاک متوسط و خاک سنگین در شروع آزمایش به‌ترتیب ۰/۶۵، ۳/۳۸ و ۴/۰۶ درصد تعیین گردید که نشان‌دهنده پایین بودن نسبی رطوبت خاک‌ها است. آزمایش دانه‌بندی نمونه‌های شنی، متوسط و سنگین که به روش‌های الک و هیدرومتری انجام شد نشان داد که نمونه شنی مورد استفاده شامل ذرات شن با قطر یکنواخت بوده به‌طوری‌که حدود ۸۰ درصد ذرات دارای قطر بین ۰/۱ و ۰/۳ میلی‌متر بودند. همچنین دو نمونه دیگر به‌طور عمده متشکل از سیلت و حدود ۳۰ و ۱۵ درصد رس می‌باشند.

نمونه‌ها براساس سیستم یونیفاید و با استفاده از حدود اتربرگ شامل سه حد روانی^۱، خمیری^۲ و انقباض^۳ (که معیاری برای ارزیابی رفتار خمیری و میزان چسبندگی ذرات ریزدانه خاک و به نوعی میزان و نوع ذرات ریزدانه موجود در خاک است) طبقه‌بندی گردید. براساس جدول ۲، نمونه شنی (ماسه بادی) کاملاً غیرخمیری^۴ و با دانه‌بندی یکنواخت و دو خاک دیگر نیز با خاصیت خمیرایی به نسبت کم (حد روانی کم‌تر از ۵۰) می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد بررسی.

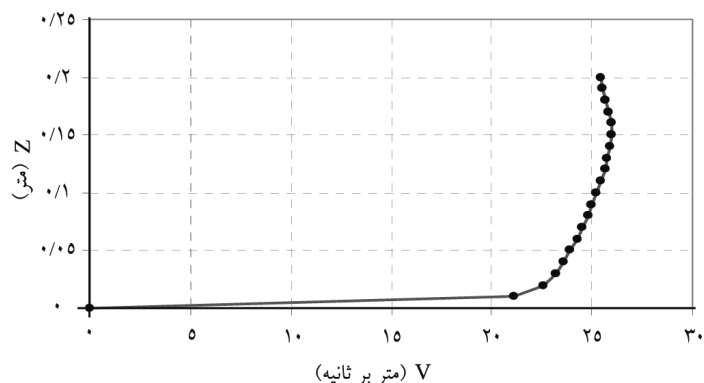
| نمونه | مشخصات تراکمی (آزمایش پراکتور استاندارد) | | | | | | |
|-------------------------|---|-----------------------|---------------------------------------|----------------|-------------|------|----|
| | حدود اتربرگ | | جرم مخصوص ظاهری | رطوبت | بافت (درصد) | | |
| طبقه‌بندی (یونیفاید) | حد خمیری (درصد) | حد روانی (درصد) | خشک ماکزیمم (گرم بر سانتی‌مترمکعب) | بهبه (درصد) | شن | سیلت | رس |
| شنی | NP | NP ^۱ | ۱/۷۳ | ۱۲/۵ | ۹۹/۶ | ۰/۴ | ۰ |
| لوم سیلتی | ۲۸ | ۳۸ | ۱/۵۸ | ۱۹/۵ | ۱۰ | ۷۵ | ۱۵ |
| لوم رسی سیلتی | ۲۸ | ۴۲ | ۱/۶۰ | ۲۱ | ۵ | ۶۵ | ۳۰ |

^۱ غیرخمیری، ^۲ ماسه بد دانه‌بندی شده (دانه‌بندی یکنواخت)، ^۳ سیلت با خمیرایی کم و ^۴ رس با خمیرایی کم.

براساس بررسی انجام شده بر نمونه‌های ساخته شده پیش از قرار دادن در تونل، در حالی که در ماسه بادی تیمار شده با آب، لایه سطحی یک پارچه و بدون درز و ترک با مقاومت پایین ایجاد شده بود، این سطح در نمونه پلیمری، سخت و زبر می‌نمود. در خاک‌های لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی، هم نمونه‌های تیمار شده با آب و هم نمونه‌های پلیمری دارای درز و ترک بودند و الگوی توزیع درز و ترک‌ها در نمونه‌های تیمار شده با آب مشابه نوع پلیمری است. درز و ترک‌های خاک لوم رسی سیلتی بزرگ‌تر و عریض‌تر از خاک لوم سیلتی است که به دلیل نوع رس در خاک لوم رسی سیلتی و انقباض شدید ناشی از خشک شدن، کاملاً طبیعی است. بررسی پروفیل سرعت باد در مرکز تونل باد، نشان‌دهنده وقوع ماکزیمم (سرعت ۲۶ متر بر ثانیه) در قسمت مرکزی تونل باد است (شکل ۳). شکل ۳ همچنین، گردان

- 1- Liquid Limit, LL
- 2- Plastic Limit, PL
- 3- Shrinkage Limit, SL
- 4- Non-Plastic (NP)

شدید سرعت را در نزدیکی کف تونل نشان می‌دهد به نحوی که در فاصله ۱ سانتی متری از کف، سرعت نزدیک ۲۱ متر بر ثانیه است که با دور شدن از کف، این گرادیان به سرعت کاهش می‌یابد.



شکل ۳- پروفیل سرعت باد در داخل تونل باد (U: سرعت باد در تونل و Z: ارتفاع از کف تونل است).

بررسی‌های انجام شده نشان داد که تغییرات سرعت باد از ابتدا تا انتهای تونل ناچیز بوده و کم‌تر از ۵ درصد است. نتایج آزمایش‌های فرسایش به دست آمده از باد همراه با ماسه ساینده، استخراج و میانگین میزان فرسایش نمونه‌های خاک در هر سری آزمایش بر حسب کیلوگرم بر مترمربع در ساعت محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج آزمایش فرسایش خاک‌ها در برابر باد همراه با ماسه ساینده (سرعت ۲۶ متر بر ثانیه).

| نوع خاک | نام تیمار | میانگین فرسایش بادی (گرم) | ضریب تغییرات CV | میانگین فرسایش بادی (کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت) | |
|----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|--|------------------|
| | | | | خاک‌ها | D _{۲۵} |
| ماسه بادی | D _۰ | ۳۱۹۱ | ۰/۰۷ | ۶۳۸/۱ ^c | |
| ماسه بادی | D _{۲۵} | ۰ | - | | |
| لومی سیلتی | D _۰ | ۱۹۸۹ | ۰/۰۲ | ۷۹۶ | ۵/۳ |
| لومی سیلتی | D _{۲۵} | ۳۵ | ۰/۱۹ | ۱۴ | ۶۹۳/۵ |
| لومی رسی سیلتی | D _۰ | ۲۱ | ۰/۳۳ | ۸/۴ | |
| لومی رسی سیلتی | D _{۲۵} | ۵ | ۰/۸۰ | ۲ | ۵/۳ ^a |

حروف غیرمشابه در هر ستون به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

نتایج به دست آمده از بررسی آماری تأثیر پلیمر بر میزان فرسایش در برابر باد همراه با ساییده در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس اثر نوع خاک، نوع تثبیت کننده بر میزان فرسایش بادی.

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات میزان فرسایش |
|---|------------|-----------------------------|
| بلوک | ۲ | ۱۱۰۷/۳ ^{NS} |
| خاک | ۲ | ۶۱۴۷۵۱/۴ ^S |
| تثبیت کننده | ۱ | ۲۱۳۰۸۷۳/۷ ^S |
| خاک × تثبیت کننده | ۲ | ۶۱۴۵۶۶/۶ ^S |
| خطای کل | ۱۰ | ۱۲۷۳/۱ |
| میانگین کل (کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت) | ۱۷ | ۳۴۹/۴ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۱۰/۲ |

^S اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{NS} غیر معنی دار.

بر اساس نتایج تجزیه آماری انجام شده (جدول ۴) مشاهده می شود که اولاً بین بلوکها (تکرارها)، در سطح ۱ درصد از نظر آماری تفاوت معنی داری وجود ندارد اما بین خاکهای تیمار شده با آب و پلیمر، تفاوت معنی داری از نظر فرسایش بادی وجود دارد. بنابراین از نظر آماری تأثیر پلیمر در کاهش فرسایش ناشی از باد همراه با ساییده با احتمال ۹۹ درصد کاملاً معنی دار است. جدول ۴ همچنین نشان می دهد که اثر متقابل خاک/ نوع تثبیت کننده بر میزان فرسایش در برابر باد همراه با ساییده معنی دار است. بنابراین میزان فرسایش تیمارهای پلیمری نسبت به تیمارهای تهیه شده کاملاً متفاوت بوده و میانگین فرسایش تیمارهای پلیمری بسیار کم تر است (۵/۳ کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت در برابر ۶۹۳/۵ کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت). از سوی دیگر مقایسه میانگین فرسایش در انواع خاکها به روش دانکن نشان داد که بین میانگین فرسایش بادی انواع خاکها تفاوت معنی دار وجود دارد. با توجه به جدول ۳ مشاهده می شود که خاک رسی با میانگین ۵/۲ کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت کم ترین و ماسه بادی با ۶۳۸/۱ کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت بیشترین فرسایش را داشته و خاک سیلتی با ۴۰۴/۹ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت فرسایش از این نظر در میانه این دو خاک قرار دارد.

همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، میزان فرسایش نمونه ماسه بادی و خاک سیلتی تیمار شده با آب، به ترتیب برابر ۱۲۷۶ و ۷۹۶ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت است. به‌منظور مقایسه بهتر و مشاهده تفاوت بین تیمارهای مختلف، با استفاده از نتایج جدول ۳ که خلاصه مقادیر فرسایش بادی خاک‌های مختلف را برای باد همراه با ذرات فرساینده نشان می‌دهد، نسبت فرسایش تعیین و مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور برای هر نوع خاک، مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه به‌عنوان فرسایش مبنا در نظر گرفته شده و مقادیر سایر فرسایش نسبت به این مقدار بی‌بعد شده‌اند که نتایج در جدول ۵ ارایه شده است.

جدول ۵- نسبت فرسایش خاک‌ها.

| نوع خاک | فرسایش نمونه تیمار شده با آب فرسایش نمونه خاک شاهد | فرسایش نمونه تیمار شده با پلیمر D _{۲۰} فرسایش نمونه خاک شاهد |
|-----------|---|--|
| ماسه بادی | ۱ | ۰ |
| خاک سبک | ۱ | ۰/۰۲ |
| خاک سنگین | ۱ | ۰/۲۴ |

در هر نوع خاک، میزان فرسایش خاک تیمار شده با آب در برابر باد، به‌عنوان فرسایش نمونه خاک شاهد همان خاک در نظر گرفته شده است.

همان‌گونه که جدول ۵ نشان می‌دهد، فرسایش نمونه‌های تیمار شده با پلیمر به‌طور چشم‌گیری نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب کاهش یافته است. براساس ستون سوم این جدول، ماسه بادی تیمار شده با پلیمر هیچ فرسایشی در برابر باد همراه با ذرات فرساینده ندارد. در حالی که میزان فرسایش خاک سیلتی تیمار شده با پلیمر، ۹۸ درصد نسبت به نمونه تیمار شده با آب کاهش یافته است در خاک رسی این کاهش در حدود ۷۶ درصد است. بنابراین میزان فرسایش تیمارهای پلیمری نسبت به شاهد در انواع خاک‌ها حداقل ۷۶ درصد کاهش یافته است. این مسأله کارایی ماده پلیمری افزوده شده به خاک را در کنترل فرسایش بادی همراه با ذرات فرساینده را به‌خوبی نشان می‌دهد. در حقیقت زنجیره‌های پلیمری افزوده شده، پس از خشک شدن تشکیل یک لایه به هم پیوسته در سطح خاک را می‌دهد که هم‌چون شبکه‌ای خاک‌دانه‌ها، ذرات و کلوخه‌ها را در بر گرفته است. اگرچه ماهیت چنین لایه‌ای در خاک‌های مختلف، کمی متفاوت است، اما ماده پلیمری به‌خوبی توانسته است با

تشکیل یک لایه در سطح خاک، مقاومت خاک سطحی را در برابر باد و نیز در برابر سایش و ضربات ناشی از ذرات همراه با باد، تا حد زیادی کاهش دهد. بنابراین ماده پلیمری استفاده شده، نسبت به آنچه که آرمبراست (۱۹۹۹) با پلی آکریل آمید به دست آورده است، کارایی بسیار بهتری را در برابر فرسایش باد همراه با ماسه نشان می‌دهد.

از نظر آستانه فرسایش نیز با توجه به فرسایش نداشتن ماسه بادی در این پژوهش در سرعت ۲۶ متر بر ثانیه، نتایج به دست آمده بهتر از نتایج به دست آمده توسط بن‌عاشر و همکاران (۲۰۱۰) برای پلی آکریل آمید (غلظت حداکثر ۰/۵ گرم در لیتر، میزان مورد استفاده حداکثر ۶ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد که صرف نظر از تفاوت ماده پلیمری مورد استفاده، می‌تواند به بالاتر بودن میزان ماده پلیمری مورد استفاده در این پژوهش باشد. همچنین با توجه به آن که میزان فرسایش در ماسه بادی به صفر رسیده است از این نظر بهتر از پلیمرهای محلول در آب از نوع سیلیکن به میزان ۳۷۵ گرم بر مترمربع (تلی شوا و شولگا، ۱۹۹۵) عمل نموده است. علاوه بر آن در این پژوهش فرسایش باد با همراه ماسه مورد مطالعه قرار گرفته، باز هم میزان فرسایش ماسه بادی تیمار شده از نتایج هان و همکاران (۲۰۰۷) که با استفاده از سه نوع ماده مختلف (از جمله پلی وینیل استات) انجام شده است بهتر است. همچنین مقاومت نمونه‌های تیمار شده با این ماده پلیمری در برابر فرسایش، نسبت به خاک‌های تیمار شده با پلیمرهای پلی آنیونی به میزان ۲۵ گرم بر مترمربع که در برابر باد با سرعت ۱۶/۷ متر بر ثانیه مقاوم بوده است (شوقی، ۱۹۹۸)، بیش تر است. با توجه به آن که پلی آکریل آمید آنیونی قادر است ذرات ریز را هم‌آوری نموده و به خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر بچسباند بنابراین در خاک‌های شامل شن و بدون ذرات ریز، کارایی پلی آکریل آمید پایین تر است در حالی که پلی وینیل استات در خاک شامل شن نتایج بهتری را ارائه داده است.

لازم به توضیح است که پس از خشک شدن ماسه بادی پلیمری، یک سطح کاملاً صاف بر روی خاک تشکیل می‌شود که عاری از هر گونه درز و شکاف بوده و به راحتی دچار گسیختگی نمی‌شود. بررسی‌های اولیه نشان داد که به دلیل بالا بودن نفوذپذیری در ماسه بادی، امولسیون پلیمری تا عمقی بیش از ۵ میلی‌متر در خاک نفوذ می‌نماید و پس از خشک شدن تشکیل دو ناحیه می‌دهد. ناحیه اول شامل یک لایه سطحی است که همان‌گونه که بیان شد، عاری از هر گونه درز و ترک بوده و سطح یکپارچه‌ای را تشکیل می‌دهد. این لایه ضخامتی بین ۱-۲ میلی‌متر دارد و همانند یک ورقه نازک می‌باشد. در زیر این لایه، به دلیل کم بودن میزان پلیمر، تنها ذرات به یکدیگر متصل هستند و تراکم

بالای زنجیره‌های پلیمری که در لایه سطحی وجود دارد در اینجا دیده نمی‌شود و بنابراین نسبت به لایه فوقانی راحت‌تر قابل گسیختگی است. در مورد خاک سنگین و تا حدی خاک متوسط، با افزودن امولسیون پلیمری تنها یک لایه سطحی به وجود می‌آید که با توجه به جذب آب توسط خاک‌دانه‌ها و نفوذپذیری پایین این خاک‌ها، ضخامتی کم‌تر از ۵ میلی‌متر را تشکیل می‌دهد و در حقیقت شامل یک لایه سطحی است. الگوی این درز و ترک‌ها در نمونه‌های خاک سنگین تیمار شده با آب و با پلیمر تفاوت چندانی ندارد. در خاک متوسط نیز همین امر صادق است. نکته دیگر آن‌که لایه تشکیل شده در سطح خاک متوسط تیمار شده با آب مقاومت پایین‌تری نسبت به تیمار پلیمری همین خاک از خود نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، ماده پلیمری پس از خشک شدن پیوندهایی را بین خاک‌دانه‌ها ایجاد نموده است که مستحکم‌تر از پیوندهای ایجاد شده توسط آب پس از خشک شدن بوده است. اما در خاک سنگین چنین تفاوتی مشهود نیست و بنابراین انتظار می‌رود که میزان فرسایش سطحی خاک سنگین تیمار شده با آب پایین باشد. با این حال امولسیون پلیمری در کاهش میزان فرسایش در این نوع خاک نیز از کارایی خوبی برخوردار است (جدول ۵).

همچنین چون جابه‌جایی خاک و ذرات شن توسط باد به طریق تعلیق، خزش سطحی و حرکات جهشی صورت می‌گیرد و با توجه به آن‌که تعلیق مربوط به انتقال ذرات بسیار ریز است (کم‌تر از ۰/۲ میلی‌متر)، نقش دانه‌های درشت‌تر که به صورت خزش سطحی در امتداد زمین و جهش در حرکت هستند و به خصوص به دلیل سرعت زیاد باد، دارای انرژی به نسبت بالایی هستند در فرسایش خاک کاملاً مشهود است. انرژی بالای این ذرات از یک سو گسیختگی یا جدا شدن ذرات خاک از یکدیگر را باعث می‌شود و از سوی دیگر با سرعت داده به ذرات خاک، باعث پراکندگی آن‌ها در هوا و قرار گرفتن در مسیر جریان باد می‌شود.

بنابراین با توجه به آنچه که بیان شد لایه سطحی در ماسه بادی تیمار شده با پلیمر، یک لایه به هم پیوسته و کاملاً مقاوم است و از این نظر با ماسه بادی تیمار شده با آب بسیار متفاوت است. در خاک سیلتی تیمار شده با پلیمر، لایه تشکیل شده در سطح خاک یک‌پارچه نبوده و دارای درز و ترک است، الگویی که مشابه خاک سیلتی تیمار شده با آب است اما در برابر فرسایش، زنجیره‌های پلیمر اثر خود را به خوبی، با افزایش مقاومت به سایش نشان داده است. در خاک رسی تفاوت تیمارهای پلیمری با نمونه‌های تیمار شده با آب همانند خاک سیلتی و ماسه بادی نیست که این امر به دلیل بالا بودن میزان رس و کارایی آب در اتصال ذرات و خاک‌دانه‌های سطحی و تشکیل یک لایه در سطح خاک رسی

است و بنابراین تأثیر باد ذرات ساییده در فرسایش و تولید گرد و غبار خاک رسی کم‌تر از بقیه خاک‌ها است. با این حال، همان‌گونه که نشان داده شد، ماده پلیمری در خاک رسی نیز ۷۶ درصد میزان فرسایش را کاهش داده است و در هر حال نمونه‌های پلیمری از نظر مقاومت به فرسایش و تولید گرد و غبار از نمونه‌های تیمار شده با آب بسیار بهترند و میزان فرسایش و تولید گرد و غبار در آن‌ها در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری همراه با ذرات ساییده، ناچیز است.

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی اثر امولسیون پلیمری با پایه پلی‌وینیل استات بر میزان مقاومت در برابر باد همراه با ساییده در انواع خاک‌ها، ۳ نمونه خاک با بافت مختلف، با آب و ماده پلیمری در ۳ تکرار تهیه گردید. همچنین تونل باد آزمایشگاهی به این منظور طراحی و ساخته شد. بررسی میزان خاک فرسایش‌یافته در نمونه‌های خاک در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری همراه با ذرات فرساینده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ماده پلیمری با پایه پلی‌وینیل استات به‌میزان ۲۵ گرم بر مترمربع (افزوده شده به خاک به‌صورت امولسیون محلول در آب با غلظت ۲۵ گرم در لیتر) با تشکیل لایه سطحی به‌نسبت سختی که ماهیتاً با لایه تشکیل شده با آب در سطح خاک متفاوت است (به‌خصوص برای خاک سبک و ماسه بادی)، به‌خوبی می‌تواند فرسایش در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه همراه با ذرات فرساینده را کنترل نماید. براساس همین نتایج، میزان فرسایش تیمارهای پلیمری در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه همراه با ساییده نسبت به تیمارهای شاهد کم و گرد و غبار تولید شده نسبت به تیمارهای شاهد بسیار ناچیز است. فرسایش نمونه‌های تیمار شده با پلیمر حداقل ۷۶ درصد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب کاهش یافته است که به‌خوبی کارآیی کوتاه‌مدت امولسیون پلیمری را در کنترل فرسایش بادی و گرد و غبار نشان می‌دهد. همچنین مقایسه نتایج به‌دست آمده برای ماده پلیمری مورد استفاده با سایر پژوهش‌ها نشان داد که این نوع پلیمر (در برابر باد) نتایج بهتری را در شرایط آزمایشگاهی نشان داده است. مکانیسم کنترل فرسایش و گرد و غبار توسط پلیمر در حقیقت به‌صورت افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها در حالت خشک و اتصال خاک‌دانه‌های خاک سطحی از طریق تشکیل یک لایه سطحی است به‌نحوی که ذرات منفرد به یکدیگر متصل و لایه سطحی مقاوم به فرسایش و مقاوم در برابر ضربات ناشی از خزش و پرش ذرات ساییده را تشکیل می‌دهند که به‌دلیل اتصال مناسب به یکدیگر و بزرگ شدن، در برابر فرسایش بادی مقاوم و از تولید

گرد و غبار جلوگیری می‌نمایند. به‌منظور بهینه نمودن شرایط اجرایی پیشنهاد می‌شود، آزمایش‌های بیش‌تر با پلیمر موردنظر در مقیاس آزمایشگاهی و صحرایی با استفاده از تونل باد انجام گردد تا میزان بهینه پلیمر مورد استفاده در شرایط طبیعی با در نظر گرفتن پارامترهای مهم مانند دما، رطوبت، جهت و میزان سرعت باد، میزان پوشش گیاهی، نفوذپذیری، زمان و... و نیز جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی آن تعیین گردد.

منابع

1. Abbasi, N., Movahedan, M., and Keramati Toroghi, M. 2010. The effects of chemical polymer on physical and mechanical properties of soils. *Agricultural Engineering Research Institute*, 89: 599-64.
2. Ahmadi, H., Ekhtessasi, M.R., Feiznia, S., and Ghanei Bafghi, M.J. 2002. Control methods of wind erosion for railroads protection (Case study: Bafgh region). *Iran. J. Natur. Resour.* 55: 3. 327-329. (In Persian)
3. Alizadeh, A. 1989. *Erosion and conservation of soil*. Astane Ghods Razavi Press, 258p. (In Persian)
4. Armbrust, D.V. 1999. Effectiveness of polyacrylamide (PAM) for wind erosion control, *J. Soil and Water Cons.* 54: 3. 557-559.
5. Azimzadeh, H.M., Ekhtessasi, M.R., Hatami, M., and Akhavan, M. 2002. Study of the effect of physical and chemical properties of soil on wind erosion index and model development for its prediction in Yazd-Ardakan plain. *National Conference of Field Management-Soil Erosion and Sustainable Development*, January 22-23. Arak, Iran.
6. Ben-Asher, J., Genis, A., and Vulfson, L. 2010. The effect of PAM (Polyacrilamid) on wind blown sand abrasion injury and production of vegetables, 3rd WSEAS International Conference on Natural Hazards, November 3-5, Faro, Portugal.
7. Bryan, R.B. 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility, *Geoderma*. 2: 5-26.
8. Chepil, W.S., and Milne, R.A. 1941. Wind erosion in relation to roughness of the surface, *Soil Sci.* 52: 417-433.
9. Diouf, B., Skidmore, E.L., Layton, J.B., and Hagen, L.J. 1990. Stabilizing fine sand by adding clay: Laboratory wind test tunnel study, *soil Technology*, 3: 2-31.
10. Dong, Z., Wang, L., and Zhao, S. 2008. A potential compound for sand fixation synthesized from the effluent of pulp and paper mills, *J. Arid Environ.* 72: 7. 1388-1393.
11. Ekhtessasi, M.R. 1991. Design and fabrication of wind erosion meter. *Iranian Res. Organization for Sci. and Tech. Report*, 15p. (In Persian)

12. Ekhtessasi, M.R., and Ahmadi, H. 1996. Introducing two new methods for estimation of sediment in wind erosion, 1- Empirical method of sediment estimation in wind erosion; I.R.T.I.F.R, 2- Indirect measurement using Wind Erosion Meter and regional analysis of wind velocity and duration. 2nd National Conference on Desertification and Desertification Control Methods. August 23-24, Kerman, Iran.
13. Ghadiri, H. 1993. Soil conservation. Chamran University Press, 470p. (In Persian)
14. Hadjiev, A., and Hadjiev, P. 2003. On some methods for surface erosion control on tailings ponds and waste fly-ash piles. 50 years Uni. of Mining and Geology St. Ivan Rilski, Mining and Mineral Processing Annual, Sofia, 46: 22. 185-187.
15. Hagen, L.J., and Lyles, L. 1985. Amount and nutrient content of particles produced by soil aggregate abrasion. In: Proc. of the National Symposium on Erosion and Soil Productivity, 8: 85. 117-129.
16. Hagen, L.J. 1991. Wind erosion mechanics: Abrasion of aggregated soil, Transaction of the ASAE, 34: 4. 831-837.
17. 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, J. Arid Environments, 68: 2. 260-270.
18. He, J.J., Cai, O.G., and Tang, Z.J. 2008. Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control, Environ Monit. Assess. 145: 185-193.
19. Kardavani, P. 1997. Soil conservation. Tehran University Press, 248p. (In Persian)
20. Kenneth, N., and Nwankwo, P.E. 2001. Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control. Wisconsin Department of Transportation. Report No. WI-06-98. 28p.
21. Lian-You, L., Shang-Yu, G., Pei-Jun, S., Xiao-Yan, L., and Zhi-Bao, D. 2003. Wind tunnel measurements of adobe abrasion by blown sand: profile characteristics in relation to wind velocity and sand flux, J. Arid Environ. 53: 3. 351-363.
22. Memarian, H. 1998. Engineering geology and geotechnics. Tehran University Press, 954p. (In Persian)
23. Pope, A., and Harper, J.J. 1966. Low speed wind tunnel testing, John Wiley and Sons, New York, 457p.
24. Pradhan, G., and John D. 2009. Erosion wear behaviour of bio-waste reinforced polymer composites. B.Sc. Thesis, National Institute of Technology Rourkela, India, 53p.
25. Rathakrishnan, E. 2007. Measurement, instrumentation, and experiments in fluids. CRC Press, 492p.
26. Refahi, H.Gh. 2004. Wind erosion and conservation. Tehran University Press, 320p. (In Persian)

27. Samaei, H.R., Golchin, A., and Mosaddeghi, M.R. 2006. Pollution control of wind erosion by water soluble polymers. Soil, Environment and Sustainable Development Conference, 8-9 November, Karaj, Iran.
28. Shawqui, M.L. 1998. Development and evaluation of new multipurpose soil additives, *Ind. Eng. Chem. Res.* 37: 2. 420-426.
29. Siddiqi, R.A., and Moore, J.C. 1981. Polymer stabilization of sandy soils for erosion control, *Transportation Research, General Soils Problems*, 287: 30-34.
30. SPSS, Release 16.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA.
31. Telysheva, G., and Shulga, G. 1995. Silicon-containing polycomplexes for protection against wind erosion of sandy soil. *J. Agric. Engine. Res.* 62: 4. 221-227.
32. Tilly, G.P., and Sage, W. 1970. The interaction of particle and material behavior in erosion processes. *Wear*, 16: 447-465.
33. Wallace, A., Wallace, G.A., and Abouzamzam, A.M. 1986. Amelioration of sodic soils with polymers. *Soil Science*, 141: 321-323.
34. Zhang, K., Qu, J., Liao, K., Niu, Q., and Han, Q. 2010. Damage by wind-blown sand and its control along Qinghai-Tibet Railway in China, *Aeolian Research*, 1: 3-4. 143-146.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(1), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Experimental investigation of Polyvinyl Acetat effect on wind erosion of different soils by impacting sand particles

***M. Movahedan¹, N. Abbasi¹ and M. Keramati Toroghi²**

¹Research Assistant Prof., Agricultural Engineering Reasearch Institute, Karaj,

²Research Instructor, Agricultural and Environmental Research Center of Quazvin

Received: 02/15/2011; Accepted: 07/01/2012

Abstract

Wind erosion is one of the main factors damaging the soils and natural resources, agricultural soils degradation, air pollution, particles transport, damaging equipments, machines and practical operations etc. Although application of polymeric materials for improvement of structural stability, increasing aggregate stability and soil stabilization increased in recent years, but a number of key parameters should be considered to select a suitable polymer as a soil stabilizer for wind erosion control. In this research, performance of Polyvinyl Acetate polymer in three different soil textures was experimentally investigated against wind together with sand particles. So, after design and fabrication of experimental wind tunnel, the erosion of polymer treated samples, was studied under maximum wind velocity of 26 m/s (at 15 cm height) together with sand particles and compared with water treated soil samples. The studied treatments were polymeric emulsion (25 g/lit) and water as stabilizer and three different soils (sand, silt loam and silty clay) in three replications. The results showed that there was significant difference between the erosion of polymer treated and water treated samples. The results also showed that, application of 25 gr/m² Polyvinyl Acetate in the experimental conditions, reduced the soil erosion against the wind together with sand particles, due to development of interconnecting ties between the particles and covering of the soil particles surface with a thin polymer film. Adding this polymer reduced the erosion of Aeolian sands to zero and the soil erosion reduction in silty loamy and silty clayey soil samples, was 76% in comparison with water treated samples.

Keywords: Wind tunnel, Polyvinyl acetate polymer, Abrasive sand, Wind erosion

* Corresponding Author; Email: m.movahedan@gmail.com

