بررسی اثر پلیمر پلی وینیل استات بر پایداری خاکدانه‌های خشک

محمد موحدان، نادر عباسی[1]* و مجید کرامتی

محقق مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج؛ m. movahedan @gmail.com

استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج؛ nader_iaeri@yahoo.com

مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین؛ majide_keramati@yahoo.com

چکیده

فرسایش بادی و آبی از عوامل اصلی در آسیب به خاک و منابع طبیعی هستند. در تحقیقات پیشین تأکید زیادی بر نقش پایداری خاکدانه‌ها در کنترل فرسایش خاک و جلوگیری از حرکت و جابجایی آنها توسط عوامل فرسایشی شده است. بدین منظور، استفاده از مواد پلیمری به منظور کنترل فرسایش بادی مورد توجه قرار گرفته است اما مسئله موجود میزان تأثیر و مدت زمان دوام این محصولات در خاک‌های مختلف است که می‌بایستی مشخص گردد. این پژوهش در راستای ارزیابی تأثیر امولسیون پلیمری بر پایه پلی وینیل استات (PVA) بر شاخص پایداری خشک خاک‌ها، تغییرات آن در طول زمان و انتخاب میزان بهینه در خاک‌های مختلف انجام شده است. بدین منظور پس از تهیه سه نمونه خاک با بافت سبک، متوسط و سنگین از نقاط مختلف و انجام آزمایش‌های تعیین رطوبت طبیعی نمونه‌ها، دانه‌بندی به طریق هیدرومتری و الک و تعیین حدود آتربرگ خاک بر روی آنها، با استفاده از سه نوع خاک با چهار سطح 0، 25، 40 و 50 گرم از ماده پلیمری در هر متر مربع خاک به ترتیب با غلظت‌های 0، 25، 40 و 25 گرم در لیتر، 12 تیمار آزمایشی تهیه گردید. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه خشک (MWD) هر تیمار در سه تکرار و در بازه‌های زمانی 1 روز، 1، 3 و 6 ماه پس از تهیه، اندازه‌گیری شد. نتایج تحلیل آماری نشان داد که در بیشتر بازه‌های زمانی مورد نظر، افزودن ماده پلیمری به صورت معنی‌داری میزان MWD خاک‌ها را نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب (شاهد) افزایش داده‌اند. همچنین، میزان ماده پلیمری و حجم امولسیون پلیمری اضافه شده تواماً بر میزان پایداری خاکدانه تأثیر می‌گذارد. تأثیر تمام تیمارهای پلیمری بر میزان شاخص پایداری خاکدانه‌های ایجاد شده در ماسه بادی نسبت به تیمار شاهد حتی پس از 6 ماه هم کاملاً چشمگیر است. مقادیر MWD خاک متوسط تمام تیمارها تا 3 ماه بالاتر از شاهد بوده و پس از 6 ماه، تنها تیمار 50 گرم بر متر مربع ماده پلیمری همچنان دارای مقادیر بزرگتری نسبت به تیمار شاهد است. در خاک سنگین تیمار شده با پلیمر نیز، تنها MWD تیمار 50 گرم بر متر مربع است که پس از 6 ماه با خاک شاهد در سطح 1 درصد تفاوت معنی‌دار داشته و همچنان دارای ابعاد بزرگتری نسبت به تیمار شاهد است. سرانجام تیمار با میزان 25 گرم پلیمر بر مترمربع خاک (با غلظت 25 گرم در لیتر) به دلیل آنکه کمترین میزان پلیمر و کمترین میزان حجم امولسیون اضافه شده به خاک را داراست به عنوان گزینه مؤثر انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، پایداری خاکدانه‌ها.

مقدمه

فرسایش آبی و بادی به دلیل آثار مخرب بر محیط‌زیست و کشاورزی از دیر باز مورد توجه جدی

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، صندوق پستی 845-31585

* دریافت: مرداد 1390 و پذیرش: آبان 1391

Archive of SID

www.SID.ir

بشر قرار گرفته است. فرسایش بادی یکی از عوامل اصلی در آسیب به خاک و منابع طبیعی، آلودگی هوا، انتقال ذرات معلق و مزاحمت در تاسیسات و ماشین‌آلات، در عملیات اجرایی و در حمل و نقل می‌باشد و با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی می‌تواند همچنان یکی از مهمترین مسائل به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک باشد. هر چند در مقیاس جهانی، اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است (رفاهی، 1383)، اما فرسایش بادی در برخی مناطق می‌تواند بسیار شدیدتر از فرسایش آبی باشد (قدیری، 1372). فرسایش بادی باعث فقیر شدن خاک شده و علاوه بر آن همانند پوششی مزاحم، سطح اراضی زراعی و غیر زراعی را فرامی‌گیرد (علیزاده، 1368). این مسئله به خصوص در مناطق خشک به دلیل فقر پوشش گیاهی، کمبود هوموس، خشک بودن و ریز دانه بودن خاک، جدی‌تر است. از این رو بسته به نوع و هدف پروژه‌ها، تقویت ویژگی‌های خاص خاک‌ها و افزایش مقاومت خاک در برابر عوامل فرساینده مورد توجه بوده و در این راستا روش‌ها و ابزار متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا روش‌های مختلف کنترل در برابر عوامل فرساینده نظیر آب و باد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال در کنترل فرسایش بادی، روش‌هایی نظیر روش‌های بیولوژیکی (استفاده از گیاهان بومی منطقه به عنوان بادشکن)، روش‌های مکانیکی (حفر خندق، ساخت بادشکن غیرزنده) و تقویت پوشش سطحی با کاربرد تثبیت‌کننده‌های خاک نظیر مالچ‌های نفتی، مواد پلیمری و ... می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

تحقیقات آزمایشگاهی و صحرایی زیادی به عمل آمده است تا شاخص ساده‌ای برای قابلیت فرسایش خاک در برابر باد و آب به دست آید. تحقیقات اولیه انجام گرفته در زمینه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد حاکی از آن است که فرآیند فرسایش‌پذیری خاک، کاملاً تحت تأثیر توزیع اندازه خاکدانه‌های خشک قرار دارد (چپیل و میلن، 1941). تحقیقات بعدی در این زمینه نیز بر نقش پایداری خاکدانه‌ها به عنوان یکی از عوامل اصلی کنترل کننده سایش سطحی و فرسایش تأکید دارند. بریان (1968) با مطالعه شاخص‌های فرسایش‌پذیری در برابر آب، بهترین شاخص را پایداری خاکدانه‌ها در آب برشمرد. وی درصد خاکدانه‌هایی را که قطر آنها از 0/5 میلیمتر بزرگتر بوده و در آب پایدار باشند؛ درصد خاکدانه‌های مقاوم به آب[1] (WAS)؛ را به عنوان شاخص فرسایش‌پذیری در نظر گرفت. هرچه درصد خاکدانه‌های بزرگتر از 0/5 میلیمتر پایدار در آب بزرگتر باشد، خاک مقاومت بیشتری نسبت به فرسایش آبی دارد. اما مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی بیشتر به پایداری خاکدانه‌های خشک بستگی دارد (علیزاده، 1368). درصد رطوبت خاک نیز یکی از عوامل مؤثر در برابر فرسایش بادی است به همین دلیل خاک‌های مرطوب از خاک‌های خشک مقاومتر است. چپیل و وودرف (1963) با بررسی واحدهای ساختمانی خاک‌های مختلف، پایداری نسبی مکانیکی آنها در وضعیت خشک از بیشترین تا کمترین مقدار را بدین صورت فهرست نمودند: خاکدانه‌های پایدار در آب، خاکدانه‌های ثانویه یا کلوخچه‌ها، لایه سطحی و ذرات ریز بین کلوخچه‌ها. خاکدانه‌های پایدار در آب، عموماً قطری کمتر از 1 میلیمتر دارند، و پایداری خاکدانه‌های کوچکتر از 1/0 میلیمتر مهم است زیرا آنها هم به عنوان ساینده و هم به عنوان منبع خاک به تعلیق درآمده در نظر گرفته می‌شوند (هاگن ولیلز 1985). بررسی شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از دستگاه سنجش فرسایش بادی نیز، نشان می‌دهد که علاوه بر چگونگی پوشش سطحی خاک، عواملی نظیر شوری، نسبت جذبی سدیم، میانگین قطر ذرات و گچ از مهمترین و مؤثرترین عوامل درشاخص فرسایش‌پذیری خاک هستند (عظیم‌زاده و همکاران، 1380). همچنین برخی از تحقیقات از شاخص مقاومت فشاری خاک به عنوان عامل تأثیرگذار در برابر بادبردگی نام برده‌اند زیرا مقاومت فشاری تا حدی بیانگر تحکیم و نقش سله در خاک سطحی است (معماریان، 1377). استفاده از پوشش گیاهی به منظور تثبیت شن‌های روان علیرغم مزایای مختلف، می‌تواند مشکلات ثانویه ایجاد نماید. از جمله این مشکلات می‌توان به مواردی همچون تراکم بیش از اندازه، پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی، خشک شدن برخی از قنوات، شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی اشاره نمود (قاسمی آریان، 1383). مطالعه احمدی و همکاران (1381) در منطقه بافق نشان می‌دهد که به منظور کنترل فرسایش بادی و جلوگیری از حرکت ماسه‌ها، همواره نمی‌توان از روش‌های بیولوژیکی استفاده نمود، بلکه تلفیقی از روش‌های بیولوژیکی و مکانیکی بدین منظور لازم است. به ویژه اگر فاکتور کاهش هزینه‌های اجرایی و نگهداری و افزایش سرعت اجرای تثبیت خاک از اولویت برخوردار باشند، در این راستا می‌بایستی اقدامات نوینی را به‌کار بست.

اگر پایداری خاکدانه‌ها در لایه سطحی به صورت معنی‌داری از لایه زیر سطحی بیشتر باشد با

[1] Wet Aggregate Stability

Archive of SID

www.SID.ir

فرسایش لایه سطحی، خطر فرسایش دو چندان می‌شود (کریمی و همکاران، 1386). بنابراین با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در کنترل فرسایش خاک، افزایش قطر ذرات در سطح خاک و خاکدانه‌ای شدن آنها می‌تواند یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آنها توسط عوامل فرسایشی باشد. یکی از راه‌های مرسوم در کنترل گرد و غبار به خصوص در سایت‌های اجرایی، پاشش مداوم آب بر بستر خاک به منظور جلوگیری از تولید گرد و غبار و فرسایش بادی است که بسته به موقعیت اقلیمی منطقه طرح و نیروی کارگری مورد نیاز می‌تواند کاملاً پرهزینه باشد (هوور، 1987). استفاده از مالچ‌های نفتی در کنترل فرسایش بادی و تثبیت خاک (کردوانی، 1376) و به خصوص در سال‌های اخیر استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها 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، 1385). بر طبق نتایج سمائی و همکاران، از پلیمرهای اکریلیک محلول در آب با غلظت مناسب می‌توان به منظور افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش بادی استفاده نمود اما اینکه دوام این پیوندها تحت شرایط محیطی چگونه است، سؤالی است که باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. صدیقی و مور (1981) در تحقیقی بر روی کنترل فرسایش بادی و آبی خاک ماسه‌ای نشان دادند که ترکیب پلیمری بوتادین-استیرن[1] برای کنترل فرسایش بادی و آبی عالی است و نفوذپذیری خاک تیمار شده با این پلیمر تفاوت معنی‌داری ننموده است. والاس و همکاران (1986) در تحقیق خود بر روی برخی پلیمرها[2] دریافته‌اند که پلیمر آنیونی، هم آوری بیشتری درخاکهای آهکی نسبت به خاکهای اسیدی ایجاد می‌نماید، درحالی‌که 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 پلی آنیون مشابه به‌هم وصل شوند و بدین ترتیب برای هر خاکدانه، اتصال چندین برابر تقویت می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که افزودن مقادیر کم پلی اکریل آمید آنیونی[3] به آب آبیاری و کاربرد آن بر روی خاک شور، رواناب و میزان فرسایش آبی را می‌تواند تا حد مناسبی کنترل نماید. با این وجود کارآیی این ماده بسته به کیفیت آب مورد استفاده و غلظت پلیمر، متفاوت است (لوی و همکاران، 1995). مطالعات انجام شده توسط تلی شوا و شولگا (1995) نشان داد که استفاده از پلیمرهای محلول در آب از نوع چسب حاوی سیلیکون[4] محتوی 0/5 تا 0/8 درصد سیلیکن و نرخ کاربرد 375 گرم بر مترمربع بر روی ماسه، باعث اتصال ذرات ماسه شده و یک لایه به ضخامت 14-4 میلی‌متر با مقاومت به نفوذ[5] 2/90-0/49 مگا پاسکال ایجاد نمود. بر اساس همین بررسی‌ها ماده پلیمری اضافه شده تبخیر از سطح خاک و میزان فرسایش بادی را کاهش داد (میزان فرسایش بادی کمتر از 0/11-0/09 کیلوگرم بر مترمربع در ساعت) و بر جوانه زنی و رشد بذرها هم اثرات نامطلوبی نداشت. نتایج کنت و وانکو (2001)، نشان می‌دهد که اثر پلیمرها بر روی خاک، به صورت تشکیل خاکدانه‌های بزرگ از به هم پیوستن خاکدانه‌های کوچک‌تر ظاهر می‌شود. بررسی انجام گرفته در زمینه کاربرد پلیمر استات[6] به میزان 50-30 گرم برمترمربع بر روی خاکستر حاصل از فعالیت‌های صنعتی نشان داد که پلیمر مذکور با نرخ 20-15 گرم بر مترمربع، تشکیل یک لایه محافظ می‌دهد که در برابر بادی با سرعت 20 متر بر ثانیه مقاوم و به مدت 8-6 ماه پایداری خود را حفظ می‌نماید (حاجیف و حاجیف، 2003). نتایج تحقیقات با استفاده از پلیمر پلی آکریل 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 4 گرم بر مترمربع پلیمر اضافه شده، مؤثرتر از مقدار 2 گرم بر مترمربع عمل نموده است (هی و همکاران، 2008).

برخی از محققین در بررسی میزان فرسایش بادی، اثر ذرات فرساینده[7] همراه با باد را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند. چنانچه باد همراه ماسه های آبرفتی نباشد، در عمل ساییدن ناتوان است (رفاهی، 1383). تیلی و ساج (1970) مشاهده کردند که ترکیبی از یک اندازه ذرات حداقل و سرعت باد وجود دارد که سایش سطحی شروع می‌شود. هاگن (1991) نشان داده است که تلفات ناشی از

1. Butadiene-Styrene
2. Negatively charged and positively charged polymers
3. Anionic Polyacrylamide
4. Silicon containing Adhesive
5. Penetration resistance
6. Acetate polymer
7. Abraders

Archive of SID

www.SID.ir

سایش سطحی خاک با انرژی جنبشی برخورد ذرات ساینده در واحد سطح متناسب است و خاکدانه های بزرگ باعث ایجاد ناحیه محافظت شده[1] می‌گردد بنابراین شدت تلفات خاک در اثر سایش می‌تواند با نرخ فرسایش خاکدانه‌های بزرگ کنترل شود زیرا لایه محافظ[2] زره مانند را فراهم می‌نمایند. وی همچنین فرآیند فرسایش بادی خاک‌های کشاورزی را با استفاده ازیک مدل ریاضی شامل جهش و خزش خاک مورد بررسی و صحت روابط محاسباتی به دست آمده را با استفاده از تونل باد مورد بررسی قرار داد. در این راستا رابطه‌ای را به منظور پیش-بینی بخشی از جهش ذرات که خاکدانه‌های سطحی را مورد اصابت قرار می‌دهند به عنوان تابعی از پوشش خاکدانه‌های سطحی و زبری ارائه دادند که آزمایش تونل باد این رابطه را نیز تأیید نمود. رایس و همکاران (1999) با به کارگیری یک مدل مفهومی، شدت فرسایش بادی که وابسته به توزیع انرژی وارده بر سطح توسط ذرات خزشی است را پیش‌بینی نمودند. نتایج آنها نشان داد که پرش ذرات حتی در سرعتهای متوسط باد هم می‌تواند خاکدانه‌های ضعیف را خرد نماید و شدت فرسایش به شکل و توزیع ذرات بستگی دارد.

لو (2007) گزارش نموده است که استفاده از مدل‌های مختلف جهت پیش‌بینی میزان فرسایش از طریق شبیه‌سازی فرایندهای فیزیکی همانند مدل WEPS به دلایل مختلف می‌تواند نتایج ضعیفی را نسبت به شرایط واقعی به دست دهد. دونگ و همکاران (2008) جهت تثبیت سطحی ماسه، ماده حاصل از خمیر کاغذ و پلیمری شده با اسید آکریلیک و فرمالدئید استفاده و نشان داد که مقاومت به خرد شدگی را افزایش و مقاومت به فرسایش بادی ماسه را بهبود بخشیده است. پرادهان و جان (2009) با مطالعه فرسایش پذیری ترکیبات پلیمری طبیعی (پلاستیک‌های سلولزی[3]) مسلح شده با فیبرهای طبیعی با استفاده از فرسایش با ضربات ماسه[4] چنین نتیجه گرفتند که عمل تسلیح با فیبرهای طبیعی، فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد.

بر اساس آنچه که بیان گردید افزایش پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک از عواملی است که می‌توان توسط آن سایش سطحی و فرسایش را کنترل نمود. بنابراین افزایش قطر ذرات و درشت نمودن آنها می‌تواند یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آنها توسط عوامل فرساینده باشد منتها آنچه که می‌بایستی مورد بررسی قرار گیرد آن است که لایه سطحی تشکیل شده و خاکدانه‌های ثانویه ایجاد شده تا چه حد پایدارند و چقدر می‌توانند در برابر عوامل سایشی، شرایط طبیعی و زمان مقاومت نماید. همچنین بررسی منابع نشان داد که می‌توان از انواع پلیمرها به منظور کنترل فرسایش بادی استفاده نمود. با این حال در خصوص انتخاب نوع پلیمر با توجه به هدف مورد انتظار، ملاحظات متعددی چون تعیین مؤثرترین پلیمر در کنترل فرساش بادی، بررسی مؤثر بودن آن در کنترل فرسایش آبی، میزان غلظت مناسب، میزان دوام در برابر عوامل محیطی (تغییرات دما، ذوب و یخبندان، اشعه ماوراء بنفش خورشید، مواد شیمیایی محلول در آب و ...) و اثرات زیست محیطی را می‌بایستی مد نظر قرار داد. با توجه به آنکه درک مکانیسم فرسایش از نظر طراحی سیستم‌های مناسب کنترل امری ضروری بوده و به منظور اجرای موفق برنامه‌های حفاظت خاک، مطالعه دقیق عوامل مؤثر بر سیستم فرسایش الزامی است و با توجه به اهمیت و نقش پایداری خاکدانه‌های خشک در کنترل فرسایش‌پذیری یک خاک، این پژوهش در راستای ارزیابی تأثیر امولسیون پلیمری بر پایه پلی وینیل استات (PVA) بر شاخص پایداری خشک خاک‌ها و انتخاب میزان بهینه در خاک‌های مختلف انجام شده است. همچنین پایداری خاکدانه‌ها در زمان‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد که در راستای فعالیت‌های حفاظت خاک، می‌تواند مفید واقع گردد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا نسبت به تهیه نمونه‌های خاک مناسب جهت آزمایشات، اقدام گردید. بر این اساس به منظور تعیین کارآیی پلیمر در پایداری خاکدانه‌های خاک‌ها با بافت های مختلف، سه نوع خاک شامل ماسه بادی، خاک با بافت سیلتی و نمونه خاک با بافت سنگین رسی مد نظر قرار گرفت. 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 به میزان کافی (حدود یک تن از هر منطقه) برداشت و به آزمایشگاه موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی منتقل گردید. سپس بر اساس استانداردهای مربوطه، آزمایشات شناسایی نمونه‌های خاک شامل تعیین رطوبت طبیعی نمونه‌ها، دانه‌بندی به طریق هیدرومتری، دانه‌بندی با الک و تعیین حدود آتربرگ خاک انجام گردید.

ماده شیمیائی مورد استفاده در این تحقیق جهت تثبیت خاک یک کو-پلیمر شیمیایی بر پایه پلی وینیل استات ($(C_4H_6O_2)_n$) است که توسط محققان داخلی و

---

1. Sheltered zone
2. Surface armor
3. Cellulosic plastics
4. Sand Blust

Archive of SID

www.SID.ir

بصورت امولسیون در آب تهیه گردیده است (تغییر غلظت با آب صورت می‌گیرد). امولسیون حاصل، سفید رنگ و دارای وزن مخصوص 1/05 g/cm^3 بوده و با غلظت‌های مختلف تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین میزان بهینه ماده پلیمری، غلظت‌های مختلف (25، 40 و 50 g/lit) با سطوح مختلف کاربرد (25، 40، 50 g/m^2) در آزمایشات مورد بررسی قرار گرفت. همچنین آب بدون پلیمر نیز به عنوان یک تیمار در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی اثر عوامل محیطی نظیر نور خورشید، حرارت، بارندگی و زمان، بر پایداری خاکدانه‌ها در شرایط طبیعی بیرون از آزمایشگاه سایت کنترل شده مناسبی در کرج در نظر گرفته شد. این سایت شامل 12 پلات به ابعاد 1×1/5 مترمربع بود که برای هر پلات یک تیمار در نظر گرفته شد. هر پلات به ارتفاع 2 سانتیمتر از خاک رد شده از الک 2 میلیمتر پر شده و سطح خاک صاف گردید. سپس با افزودن امولسیون پلیمری (یا آب) به میزان مورد نظر نمونه سازی انجام گردید (شکل 1). این تحقیق از خرداد ماه تا آذر ماه 1388 در کرج انجام گردید که در این فاصله زمانی، بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی کرج، میانگین دما و مجموع کل بارندگی در این بازه زمانی به ترتیب برابر 19/9 درجه سانتیگراد و 76 میلیمتر (33 روز بارانی) بوده است.

تهیه نمونه‌های آزمایشی با افزودن ماده پلیمری به میزان معین به خاک یعنی بر مبنای افزودن وزن معینی از ماده خشک پلیمری به واحد سطح خاک صورت گرفت. از آنجائیکه در عمل افزودن ماده پلیمری بصورت محلول و با عمل پاشش در سطح خاک صورت می‌گیرد، با داشتن مساحت نمونه آزمایشی (در اینجا 1/5 متر مربع) و سطح پلیمری مورد نظر، حجم امولسیون پلیمری مورد نیاز با توجه به غلظت امولسیون موجود، محاسبه و با استفاده از یک پاشنده به سطح خاک اضافه شد. به عنوان مثال برای یک امولسیون پلیمری با غلظت 25 گرم در لیتر، جهت رسیدن به میزان 25 گرم بر متر مربع خاک لازم است که یک لیتر از این امولسیون بر هر متر مربع خاک پاشیده شود. به منظور یکنواختی پاشش، از یک پاشنده دستی که مخزن آن توسط یک پمپ به صورت دستی تحت فشار قرار می‌گرفت استفاده گردید. سپس اجازه داده شد تا نمونه‌های تهیه شده، به صورت طبیعی خشک شوند. شروع آزمایشات، گذشت 24 ساعت پس از تهیه نمونه‌ها بود. همچنین به منظور بررسی اثر عوامل محیطی نظیر نور خورشید، حرارت، بارندگی و زمان، بر مشخصات خاک تثبیت شده با پلیمر، در برنامه آزمایشی، مطالعات عمر سنجی نیز در نظر گرفته شد. لذا، شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خشک[1] (MWD) نمونه های آزمایشی که در شرایط طبیعی قرار داده شده‌اند علاوه بر بازه زمانی یک روزه، در بازه های زمانی 1، 3 و 6 ماه پس از تهیه نیز مورد بررسی قرار گرفتند. با این حساب، میانگین قطر خاکدانه‌ها در 4 مرحله (1 روزه، 1، 3 و 6 ماهه) اندازه گیری گردید. مشخصات تیمارهای آزمایشی در جدول 1 ارائه گردیده است.

برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌های خشک، از سری الکها و دستگاه الک چرخان استفاده گردید. سری الکهای مورد استفاده عبارت بودند از ازالکهای به قطر 2، 1، 0/425، 0/250، 0/106، 0/075، 0/045 میلیمتر (به ترتیب الکهای شماره 10، 18، 40، 60، 140، 200 و 325 مطابق با استاندارد ASTM). نمونه‌ها در هر مرحله زمانی، ابتدا از الک 4/76 میلیمتر (الک شماره 4) رد شده و سپس 70 گرم از آن بر روی سری الکها قرار گرفته و مجموعه به مدت 5 دقیقه در دستگاه الک چرخان با سرعت دورانی افقی 60 دور در دقیقه قرار داده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها سه بار تکرار گردید.

درصد وزنی خاک مانده روی هر الک (W_i) پس از الک کردن تعیین و شاخص‌های پایداری خاکدانه نظیر میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها[2] (GMD) از روابط زیر قابل محاسبه خواهند بود. (کلوت، 1986؛ لو بیسونه، 1996):

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \overline{x}_i W_i \qquad (1)$$

$$GMD = \exp\left[\sum_{i=1}^{n} w_i \log \overline{x}_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} w_i\right] \qquad (2)$$

همچنین به منظور بررسی اثر نیروی مکانیکی ناشی از دستگاه الک بر میزان MWD به دست آمده، بعد از انجام الک، همان خاک مجدداً در دستگاه الک قرار داده شد و مقادیر خاک مانده بر روی هر الک و MWD برای بار دوم اندازه‌گیری و محاسبه گردید. نتایج نشان داد که پایداری خاکدانه حاصل به دست آمده نسبت به عمل مکانیکی دستگاه حساسیت ندارد.

با توجه به آنچه که بیان شد، با در نظر گرفتن 3 نوع خاک (ماسه بادی، بافت متوسط و بافت سنگین)، 4 میزان پلیمر (0، 25، 40 و 50 گرم بر متر مربع)، 12 تیمار آزمایشی در نظر گرفته شد که با 3 تکرار، جمعاً 36 نمونه در هر مرحله و با در نظر گرفتن 4 مرحله زمانی (1روزه، 1، 3 و 6 ماهه)، در مجموع 144 نمونه برای اندازه‌گیری

[1] Mean Weight Diameter

[2] Geometric Mean Diameter

Archive of SID

www.SID.ir

میانگین قطر خاکدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اندازه‌گیری MWD خاک‌ها، در هر مرحله زمانی به صورت یک آزمایش فاکتوریل 4×3 با فاکتور اصلی نوع خاک در سه سطح (ماسه بادی، خاک با بافت متوسط و خاک با بافت سنگین) و فاکتور فرعی نوع تثبیت کننده در چهار سطح (0، 25، 40 و 50 گرم بر متر مربع) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار توسط نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها در سطح آماری 1 درصد به وسیله آزمون دانکن انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

در جدول 2 نتایج آزمایشات شناسایی دانه‌بندی، تعیین بافت و حدود آتربرگ نمونه‌های خاک ارائه گردیده است که مطابق این جدول، نمونه‌های ماسه بادی، بافت متوسط و بافت سنگین بر اساس طبقه‌بندی USDA به ترتیب 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 به ترتیب 0/65، 3/38 و 4/06 درصد تعیین گردید که نشان دهنده 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 80 درصد ذرات دارای قطر بین 0/1 و 0/3 میلی‌متر بودند. همچنین دو نمونه دیگر عمدتاً متشکل از سیلت و حدود 30 و 15 درصد رس می‌باشند.

نمونه‌ها بر اساس سیستم یونیفاید و با استفاده از حدود اتربرگ شامل سه حد روانی[1]، خمیری[2] و انقباض[3] (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. بر اساس جدول 2، نمونه شنی (ماسه بادی) کاملاً غیر خمیری (NP) و با دانه بندی یکنواخت و دو خاک دیگر نیز با خاصیت خمیرایی نسبتاً کم (حد روانی کمتر از 50) می‌باشد. جدول 3 مقادیر اولیه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) را برای انواع خاکها (رد شده از الک 4/75 میلیمتر) نشان می‌دهد.

با توجه به آنکه چسبندگی بین ذرات ماسه بادی بسیار ناچیز است، مقدار به دست آمده برای این خاک همان میانگین اندازه ذرات است و در حقیقت اتصالی بین ذرات خاک وجود ندارد. در حالیکه برای خاک متوسط و سنگین، پیوندهای موجود بین ذرات، باعث اتصال آنها و تشکیل خاکدانه (با قطرهای مختلف) گردیده است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با تر شدن خاک نیز تغییری در این مقدار برای ماسه بادی ایجاد نکند. اما در سایر خاک‌ها به دلیل وجود واکنش‌های شیمیایی و تغییر پیوندهای بین ذرات در اثر وجود آب، خاکدانه‌های موجود در خاک دچار تغییر و تخریب خواهند شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه خشک تیمارهای آزمایشی در مراحل زمانی مختلف (12 تیمار در سه تکرار برای هر مرحله زمانی) تعیین گردید. جدول 4 نتایج میانگین قطر خاکدانه‌ها را برای تیمارها و دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. به منظور بررسی کارآیی ماده پلیمری در میزان MWD، مقادیر MWD در هر بازه زمانی به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. در جدول 5 نتایج جدول تجزیه واریانس انجام شده برای MWD یک روزه، یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه ارائه گردیده است. همانگونه که در جدول 4 نشان داده شده است میانگین قطر خاکدانه تیمارهای پلیمری یک روزه نسبت به تیمارهای تهیه شده با آب کاملاً متفاوت بوده و میانگین قطر خاکدانه تیمارهای پلیمری بزرگتر است (1/393، 1/462 و 1/526 میلیمتر به ترتیب برای P_{50}، P_{40} و P_{25} در برابر 0/740 میلیمتر برای P_0). از سوی دیگر مقایسه میانگین قطر خاکدانه‌ها در انواع خاک‌ها به روش دانکن نشان داد که بین MWD انواع خاک‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. با توجه به جدول 4 مشاهده می‌شود که خاک رسی با میانگین 1/679 میلیمتر بیشترین و ماسه بادی با 0/874 میلیمتر کمترین میزان MWD و خاک سیلتی با 1/288 میلیمتر از این نظر در میانه این دو خاک قرار دارد. شکل 2 نمودار میانگین مقادیر MWD نمونه‌های خاک را برای بازه‌های زمانی 1 روز، 1، 3 و 6 ماه پس از تهیه نمونه‌ها نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج تجزیه آماری انجام شده (جدول 5) مشاهده می‌شود که اولاً بین بلوک‌ها (تکرارها)، در سطح 1 درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما بین خاک‌های تیمار شده با آب و پلیمر، تفاوت معنی‌داری از نظر میانگین قطر خاکدانه‌ها وجود دارد. بنابراین از نظر آماری تأثیر پلیمر در افزایش قطر خاکدانه‌ها (یک روز پس از کاربرد) با احتمال 99 درصد کاملاً معنی‌دار است. جدول 5 همچنین نشان می‌دهد که اثر متقابل خاک/ نوع تثبیت کننده بر میانگین قطر خاکدانه معنی‌دار است.

[1] Liquid Limit, LL
[2] Plastic Limit, PL
[3] Shrinkage Limit, SL

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار MWD یک روزه در خاک سبک تیمار شده با پلیمرها نسبت به تیمار شاهد افزایش چشمگیری دارد. روند تغییرات MWD خاک سبک نشان می دهد که MWD تیمار p_{25} این خاک با زمان کاهش می‌یابد (شکل 2، وسط). اما در سایر تیمارهای پلیمری این خاک (p_{40} و p_{50})، MWD ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد و هر چه میزان پلیمر بیشتر باشد، روند نزولی در زمان دیرتری آغاز می‌شود.

همانگونه که جدول 4 و شکل 2 نشان می‌دهند، تأثیر مواد پلیمری بر پایداری و چسبندگی یک روزه خاکدانه ماسه بادی در حالت خشک 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. همچنین برای سایر خاک‌ها، هر چند تفاوت بین تیمار شاهد (P_0) و سایر تیمارها به خصوص برای خاک سنگین همانند ماسه بادی چشمگیر نیست اما در این خاک‌ها نیز افزودن ماده پلیمری باعث بزرگتر شدن MWD گردیده است. در واقع افزودن پلیمرهای محلول در آب به خاک می‌تواند باعث به وجود آمدن پیوندهای شیمیایی و فیزیکو-مکانیکی بین مولکول‌های پلیمر و خاکدانه‌های خاک شود و خاکدانه‌های بزرگتری ایجاد نماید (لیو و همکاران، 2009). این پیوندها بسته به ویژگی‌های خاکدانه‌های خاک، غلظت و نوع پلیمر تغییر می‌نماید. بواسطه این پیوندها، زنجیره‌های طویل مولکول‌های پلیمر سطح خاکدانه‌ها را پوشانده و غشاء الاستیکی را تشکیل می‌دهد که نتیجه آن به هم پیوستگی ذرات منفرد و نیز خاکدانه‌ها و در نهایت تشکیل لایه به هم پیوسته و خاکدانه‌های بزرگ در سطح خاک است. چنین خاصیتی می‌تواند فرسایش بادی را تا حد زیادی کاهش دهد. از سوی دیگر با توجه به آنکه میزان گسترش عمقی زنجیره-های پلیمری تابعی از نحوه پاشش، میزان ماده پلیمری افزوده شده در واحد سطح خاک، میزان رطوبت اولیه خاک و میزان رقیق سازی امولسیون پلیمری است، تیمارهای مختلف خاک‌ها به ویژه برای ماسه بادی، متفاوت خواهند بود.

به همین ترتیب در بازه زمانی 1، 3 و 6 ماه نیز مقادیر به دست آمده MWD مورد تجزیه آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد که پس از گذشت یک ماه نیز بین تکرارها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت بین مقادیر MWD خاک-های مختلف معنی‌دار است و همانند آنچه که برای MWD یک روزه مشاهده گردید، کمترین مقدار MWD یک ماهه برای ماسه بادی (0/740 میلیمتر) و بیشترین مقدار برای خاک لوم رسی سیلتی (1/549 میلیمتر) بوده و خاک لوم سیلتی از این نظر در میان این دو قرار دارد (1/391 میلیمتر). همچنین اثر نوع تثبیت کننده بر MWD یک ماهه معنی‌دار شده است. بنابراین میانگین قطر خاکدانه ایجاد شده با تثبیت کننده‌ها به طور معنی‌داری با هم متفاوت است. به عبارت دیگر، MWD تمام تیمارهای پلیمری پس از یکماه به طور معنی‌داری بزرگتر از نمونه‌های تیمار شده با آب است (1/317، 1/362 و 1/406 میلیمتر به ترتیب برای P_{50}، P_{40} و P_{25} در برابر 0/822 میلیمتر برای P_0).

جدول 4 همچنین نشان می‌دهد که نتایج به دست آمده برای MWD سه ماهه نیز معتبر است یعنی مقادیر MWD سه ماهه خاک‌های مختلف به طور معنی‌داری با هم متفاوت است (0/718، 1/231 و 1/637 میلیمتر به ترتیب برای ماسه بادی، بافت متوسط و بافت سنگین). همچنین مقادیر MWD سه ماهه تیمارهای پلیمری نیز تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های تیمار شده با آب دارند. اما در حالت سه ماهه، MWD تیمارهای پلیمری P_{40} و P_{25} (به ترتیب با 1/236 و 1/263 میلیمتر) تفاوت معنی‌داری با MWD تیمار P_{50} (1/430 میلیمتر) دارند.

نتایج MWD شش ماهه نیز همانگونه که در جدول 4 ارائه شده نشان می‌دهد که با گذشت 6 ماه هم تفاوت معنی‌داری بین خاک‌ها از نظر MWD وجود دارد (0/689، 1/057 و 1/638 میلیمتر به ترتیب برای ماسه بادی، بافت متوسط و بافت سنگین). همچنین اگرچه مقادیر MWD شش ماهه تیمارهای پلیمری با نمونه‌های تیمار شده با آب تفاوت معنی‌داری دارند (0/868 میلیمتر برای P_0) اما با گذشت 6 ماه، MWD تیمارهای پلیمری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (1/334، 1/165 و 1/142 میلیمتر به ترتیب برای P_{50}، P_{40} و P_{25}).

سرانجام نتایج تحلیل آماری اندازه‌گیری MWD خاک‌ها در چهار بازه زمانی مختلف (تمام 144 نمونه) نشان داد که بین MWD انواع خاک‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (0/755، 1/242 و 1/625 میلیمتر به ترتیب برای ماسه بادی، خاک متوسط و خاک سنگین). همچنین اگرچه بین MWD تیمارهای پلیمری (1/391، 1/291و 1/323 میلیمتر به ترتیب برای P_{50}، P_{40} و P_{25}) و MWD نمونه‌های تیمار شده با آب (0/820 میلیمتر) نیز تفاوت معنی‌داری وجود دارد، اما در بین تیمارهای مورد بررسی؛ P_{50} و P_{25} که بیشترین مقادیر

Archive of SID

www.SID.ir

MWD را ایجاد نموده‌اند (جدول 4) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین با لحاظ نمودن مسائل اجرایی و اقتصادی، تیمار P_{25} (25 گرم بر مترمربع با غلظت 25 گرم بر لیتر) به عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌گردد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که، پایداری خاکدانه خشک ماسه بادی طبیعی در طول زمان تغییر نکرده است. زیرا واکنش بین ذرات به گونه‌ای نیست که بتواند ذرات به هم پیوسته پایداری ایجاد کند. با افزایش آب بر سطح ماسه بادی، یک لایه به ظاهر یکپارچه در سطح ماسه بادی ایجاد می‌شود اما به دلیل چسبندگی پایین، در نهایت این ذرات به سادگی از هم جدا می‌شوند. اما تأثیر تمام پلیمرها در ایجاد خاکدانه‌های پایدار کاملاً قابل توجه است. حتی پس از 6 ماه هم، خاکدانه‌های ایجاد شده، بزرگترند. شاخص پایداری خاکدانه ماسه بادی تیمار شده با پلیمر در طول زمان کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از تخریب‌پذیری زنجیره‌های پلیمری با زمان باشد. همچنین تغییرات شاخص پایداری خاکدانه MWD برای خاک‌های تیمار شده P_{50} و P_{40} در طول زمان شبیه هم است یعنی MWD این تیمارها بعد از یک ماه، کاهش نسبی قابل توجهی دارد و پس از آن، تغییرات جزئی را نشان می‌دهد. تیمار P_{25} در ماسه بادی از نظر شاخص MWD در طول زمان بالاترین مقدار را دارد یعنی در ماسه بادی افزودن 25 گرم ماده پلیمری هم به خوبی توانسته است ذرات را به یکدیگر متصل نماید. افزایش میزان ماده پلیمری (P_{40} و P_{50}) تأثیری در افزایش پایداری ماسه بادی ندارد. دلیل این امر می‌تواند نفوذ ماده پلیمری به عمق‌های پایینی و توزیع قائم ماده پلیمری در ماسه بادی باشد که در آزمایشات یک روزه نیز مشاهده شده بود.

در مورد خاک متوسط نتایج همچنین نشان می‌دهد که شاخص قطر خاکدانه تیمار شاهد با زمان افزایش یافته است. این مسئله مربوط به چسبندگی ذرات به دلیل افزوده شدن آب پس از ساخت نمونه است. زیرا نمونه‌ها در فضای باز بوده و مجموع بارندگی بر آنها به میزان 76 میلیمتر (33 روز بارانی) بوده است. تأثیر میزان ماده پلیمری افزوده شده بر شاخص MWD خاک متوسط کاملاً آشکار است. مقدار بیشتر ماده پلیمری در خاک متوسط، شاخص بزرگتری در انتهای دوره زمانی ایجاد می‌نماید، ضمن آنکه حداکثر این شاخص نیز با گذشت زمان (سه ماه در تیمار P_{50}) قابل حصول خواهد بود. به جز تیمار P_{50} که پس از 6 ماه هم همچنان دارای شاخص MWD بالاتری نسبت به خاک متوسط تیمار شاهد است، مقدار این شاخص در تیمارهای P_{40} و P_{25} پس از 6 ماه تفاوت جزئی با تیمار شاهد می‌نماید. به عبارت دیگر تیمارهای P_{40} و P_{25} تا سه ماه هم دارای شاخص MWD بزرگتری نسبت به خاک متوسط تیمار شده با آب است. اما اگر بازه زمانی یک ماهه در نظر گرفته شود، تیمار P_{25} از نظر مقدار این شاخص با سایر تیمارهای پلیمری تفاوتی نداشته و در عین حال اقتصادی‌تر نیز می‌باشد.

در مورد خاک با بافت سنگین نیز همانگونه که از جدول 4 و شکل 2 مشهود است، مقدار شاخص MWD در خاک سنگین شاهد بزرگ بوده و تغییرات زمانی این شاخص ناچیز است. به عبارت دیگر حتی با افزودن آب به خاک سنگین، قطر خاکدانه‌ها تا اندازه قابل توجهی افزایش یافته است. تیمارهای پلیمری یک روزه، دارای خاکدانه‌های بزرگتری نسبت به خاک شاهد می‌باشند. اما این خاکدانه‌ها تنها در تیمار P_{50} هستند که پس از 6 ماه هم با خاک شاهد تفاوت داشته و همچنان دارای ابعاد بزرگتری می‌باشند. تیمار پلیمری P_{40} پس از یک کاهش شاخص MWD در مدت یک ماه، با گذشت زمان و به صورت تدریجی، میزان این شاخص افزایش یافته است. این مسئله می‌بایستی به واکنش خاکدانه های تیمار شده با پلیمر P_{40} با رطوبت اضافه شده به دلیل بارندگی مرتبط باشد. همین مسئله در تیمار P_{25} نیز قابل مشاهده است. به نحوی که پس از یک کاهش با گذشت یک ماه از اعمال تیمار، افزایش در میزان شاخص MWD پس از سه ماه مشاهده می‌شود. با این حال ضروی است یادآوری گردد همانگونه که از شکل مشاهده می‌گردد، شاخص MWD خاک سنگین تیمار شده P_{25} پس از 6 ماه، با خاک شاهد تفاوتی ندارد. این مسئله به ماهیت ذرات تشکیل دهنده خاک رس مربوط است که در حالت طبیعی، با افزودن آب هم، خاکدانه‌های بزرگی ایجاد می‌نماید. در افزایش مقدار شاخص MWD در خاک سنگین پلیمری نسبت به خاک طبیعی، مقدار ماده پلیمری افزوده شده اهمیت زیادی دارد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی تأثیر ماده پلیمری پلی وینیل استات بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خشک (MWD) نمونه‌های خاک با بافت مختلف و در زمان‌های مختلف نشان داد که اولاً میزان ماده پلیمری و حجم امولسیون پلیمری اضافه شده تواماً بر میزان پایداری خاکدانه تأثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر عملکرد پلیمرها بسته به نوع خاک و میزان ماده پلیمری و نیز حجم امولسیون پلیمری اضافه شده، متفاوت است اگر چه این تفاوت‌ها در برخی موارد قابل توجه نیست. ثانیاً تأثیر تمام پلیمرها بر میزان شاخص پایداری خاکدانه‌های خشک ماسه بادی نسبت به تیمار شاهد کاملاً چشمگیر است. خاک متوسط از این نظر

Archive of SID

www.SID.ir

در مرتبه دوم قرار دارد. ماسه بادی طبیعی فاقد خاکدانه بوده و در طول زمان تغییر نکرده است. زیرا واکنش بین ذرات به گونه‌ای نیست که بتواند ذرات به هم پیوسته پایداری ایجاد کند. اما تأثیر تمام پلیمرها در ایجاد خاکدانه‌های پایدار در ماسه بادی کاملاً قابل توجه است. حتی پس از 6 ماه هم، خاکدانه‌های ایجاد شده، پایدارند. شاخص MWD خاک متوسط در تیمار P_{50} پس از 6 ماه هم همچنان دارای مقادیر بزرگتری نسبت به تیمار شاهد است، بقیه تیمارها (P_{40} و P_{25}) پس از 6 ماه تفاوت جزئی با تیمار شاهد می‌نماید. در خاک سنگین تیمار شده با پلیمرها، تنها MWD تیمار P_{50} است که پس از 6 ماه هم با خاک شاهد تفاوت داشته و همچنان دارای ابعاد بزرگتری می‌باشند. شاخص MWD خاک سنگین تیمار شده P_{25} پس از 6 ماه، با خاک شاهد تفاوتی ندارد. این مسئله به ماهیت ذرات تشکیل دهنده خاک رس مربوط است که در حالت طبیعی، با افزودن آب هم، خاکدانه‌های بزرگی ایجاد می‌نماید. بنابراین در افزایش مقدار شاخص MWD در خاک سنگین پلیمری نسبت به خاک طبیعی، مقدار ماده پلیمری افزوده شده اهمیت زیادی دارد. به عبارت دیگر افزودن ماده پلیمری بیشتر، از نظر زمانی، شاخص MWD بزرگتری نسبت به خاک شاهد ایجاد می‌نماید. اما زیاد بودن حجم محلول اضافه شده به خاک با توجه به بالا بودن میزان رس و جذب آب و وجود رطوبت نسبتاً زیاد می‌تواند در برخی از خاکدانه ها وارفتگی ایجاد نموده و میزان پایداری را کاهش دهد.

بنابراین میزان تغییر پایداری خاکدانه‌های خاک سنگین نه تنها به میزان ماده پلیمری اضافه شده بستگی دارد بلکه متاثر از میزان رقیق سازی پلیمر (یا رطوبت اضافه شده به خاک) نیز می‌باشد.

جمع بندی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تیمارهای تهیه شده P_{50} و P_{25} با 50 و 25 گرم پلیمر پلی وینیل استات بر مترمربع خاک، تقریباً نتایج مشابهی در شاخص پایداری خاکدانه‌های خشک دارند، اما چون تیمار پلیمری P_{25} (25 گرم پلیمر بر مترمربع خاک با غلظت 25 گرم در لیتر) به دلیل آنکه کمترین میزان پلیمر و کمترین میزان حجم امولسیون اضافه شده به خاک را داراست می تواند به عنوان گزینه مؤثر انتخاب شود. با این حال لازم است یادآوری می‌گردد اگرچه تأثیر این ماده پلیمری در افزایش پایداری خاکدانه‌ها سریع است اما این تأثیر از نظر زمانی به 6 ماه محدود می‌شود و این محصولات به شرطی می توانند مؤثر باشند که تمام سطح را پوشانده، قابل رقیق کردن بوده و با فرمولاسیون خاص خود ساخته شوند. علاوه بر آن، مسائل اقتصادی، دوام در برابر دمای زیاد و کم، تخریب مکانیکی و سایش، سهولت کاربرد و ... پارامترهای مهمی در این زمینه هستند که می‌بایستی مورد توجه و بررسی قرار گیرند.

شکل 1- آماده سازی محل جهت تهیه نمونه‌ها و نمونه‌های آماده شده

جدول 1- مشخصات تیمارهای آزمایشی مورد مطالعه

نام تیمار	غلظت امولسیون پلیمری مورد استفاده (g/lit)	حجم افزوده شده به خاک طبیعی (lit/m^2)	سطح کاربرد پلیمر (g/m^2)
P_0	0	2	0
P_{25}	25	1	25
P_{40}	40	1	40
P_{50}	25	2	50

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد بررسی

نمونه	pH	EC (dS/m)	بافت (%)			حدود آتربرگ		طبقه بندی (یونیفاید)
			رس	سیلت	شن	حد روانی %	حد خمیری %	
شنی	6/91	1/11	0	0/4	99/6	NP [1]	NP	SP[2]
لوم سیلتی	8/90	1/33	15	75	10	38	28	ML[3]
لوم رسی سیلتی	8/10	0/94	30	65	5	42	28	CL[4]

[1]: غیر خمیری، [2]: ماسه با دانه بندی یکنواخت، [3]: سیلت با خمیرایی کم ، [4]: رس با خیمرایی کم

جدول 3- مقادیر پایداری خاکدانه های خشک خاک طبیعی

نوع خاک	MWD (mm)	GMD
ماسه بادی	0/196	0/475
خاک متوسط	0/760	0/726
خاک سنگین	1/017	0/787

جدول 4- مقایسه میانگین‌های MWD در تیمارهای مختلف و در زمان‌های مختلف

نوع خاک	تیمار	MWD (mm)					
		1 روز	1 ماه	3 ماه	6 ماه	میانگین	میانگین
ماسه بادی	P_0	0/189	0/188	0/190	0/189	0/189	0/755
	P_{25}	1/100	1/054	0/975	0/927	1/014	
	P_{40}	1/064	0/853	0/899	0/761	0/894	
	P_{50}	1/144	0/865	0/809	0/874	0/923	
	میانگین	0/874	0/740	0/718	0/689	0/755	
لوم سیلتی	P_0	0/631	0/841	0/911	0/916	0/825	1/242
	P_{25}	1/693	1/56	1/156	1/008	1/354	
	P_{40}	1/553	1/59	1/159	0/994	1/327	
	P_{50}	1/276	1/575	1/696	1/309	1/464	
	میانگین	1/288	1/391	1/231	1/057	1/242	
لوم رسی سیلتی	P_0	1/403	1/437	1/455	1/5	1/449	1/625
	P_{25}	1/786	1/47	1/659	1/49	1/601	
	P_{40}	1/768	1/509	1/649	1/74	1/667	
	P_{50}	1/758	1/78	1/783	1/82	1/785	
	میانگین	1/679	1/549	1/637	1/638	1/626	
میانگین	P_0	0/740	0/822	0/852	0/868	0/820	
	P_{25}	1/526	1/362	1/263	1/142	1/323	
	P_{40}	1/462	1/317	1/236	1/165	1/295	
	P_{50}	1/393	1/406	1/429	1/334	1/391	

Archive of SID

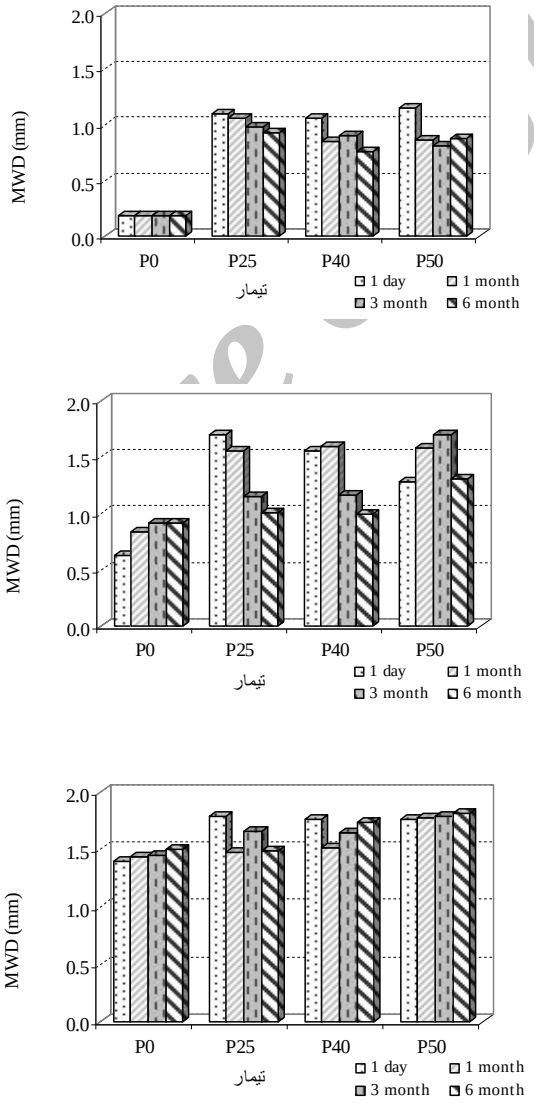
www.SID.ir

جدول 5- جدول تجزیه واریانس اثر نوع خاک، نوع تثبیت کننده بر MWD در زمان‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات MWD			
		یک روزه	یک ماهه	سه ماهه	شش ماه
بلوک	2	0/069 ns	0/086 ns	0/026 ns	0/006 ns
خاک	2	1/943**	2/205**	2/544**	2/751**
تثبیت کننده	3	1/191**	0/667**	0/538**	0/335**
خاک × تثبیت کننده	6	0/103**	0/121**	0/117**	0/093**
خطای کل	22	0/023	0/018	0/009	0/040
میانگین کل (mm)	35	1/280	1/237	1/195	1/127
ضریب تغییرات (%)		11/8	10/9	7/9	17/7

**: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد

ns : غیر معنی‌دار



شکل 2- تغییرات شاخص پایداری خاکدانه خشک تیمارهای مختلف ماسه بادی (بالا)، خاک لوم رسی سیلتی (وسط) و خاک لوم سیلتی (پایین) نسبت به زمان

www.SID.ir

فهرست منابع:

1. احمدی، ح.، اختصاصی، م.ر.، فیض‌نیا، س. و قانعی بافقی، م.ج. 1381. بررسی روش های کنترل فرسایش بادی برای حفاظت راه آهن مطالعه موردی: منطقه بافق. مجله منابع طبیعی ایران.۳۴۲،۵۵-327.
2. رفاهی، حسینقلی. 1383. فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. 320ص.
3. سمائی، ح.ر.، گلچین، ا. و مصدقی، م.ر. 1385. کنترل آلودگی ناشی از فرسایش بادی به وسیله پلیمرهای محلول در آب، همایش خاک و محیط زیست و توسعه پایدار.
4. عظیم‌زاده، ح.م.، اختصاصی، م.ر.، حاتمی، م. و اخوان، م. 1380. مطالعه تاثیر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک در شاخص فرسایش پذیری بادی خاک و ارائه مدل جهت پیشگویی آن در دشت یزد-اردکان. همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار.
5. علیزاده، ا. (1368)، فرسایش و حفاظت خاک، ترجمه، انتشارات آستان قدس رضوی، 258ص.
6. قاسمی آریان، ع. 1383. آگروفارستری روشی نوین جهت تثبیت شن‌های روان و حفظ تاغزارها. اولین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی.
7. قدیری، ح. 1372. حفاظت خاک. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، 470 ص.
8. کردوانی، پ. 1376. حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه تهران.
9. کریمی، ح.، صوفی، م.، حق‌نیا، غ. و خراسانی، ر. 1386. بررسی پایداری خاکدانه‌ها و پتانسیل فرسایش خاک در خاک‌های لوم و لوم رسی شنی: مطالعه موردی دشت لامرد-استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی،14(1)
10. معماریان، ح. 1377. زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران. شماره 2268.
11. Bryan, R.B. 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility, Geoderma, 2, 5-26.
12. Chepil, W.S., and Milne, R.A., 1941. Wind erosion in relation to roughness of the surface, soil Sci. 52:417-433.
13. Chepil, W.S., Woodruff, N.P. 1963. The physics of wind erosion and its control. Adv. in Agron. 15:211-302.
14. Dong, Z., Wang, L. and Zhao, S. 2008. A potential compound for sand fixation synthesized from the effluent of pulp and paper mills, Journal of Arid Environments, 72(7):1388-1393.
15. Hadjiev, A., 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”, Annual, vol. 46, part 22, Mining and Mineral Processing, Sofia.185-187.
16. Hagen L.J., 1991. Wind erosion mechanics: Abrasion of aggregated soil, Transaction of the ASAE, Vol. 34(4):831-837.
17. Hagen, L.J., Lyles, L. 1985. Amount and nutrient content of particles produced by soil aggregate abrasion.In: Proc. of the National Symposium on Erosion andSoil Productivity 8-(85): 1 17- 129.
18. He, J.J., Cai, O.G., 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. Hoover, J.M., 1987. Dust control on construction sites, Arizona Department of Transportation, Report No. FHWA-AZ86-807. 65p.
20. Kenneth, N., Nwankwo, P.E., 2001. Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control. Wisconsin department of transportation. Report No. W1, 06-98.
21. Klute A., 1986, Methods of soil analysis- Part 1, Madison, Wisconsin, USA,1188p

Archive of SID

www.SID.ir

22. Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility, Theory and practice, Euro. J. of Soil science, Vol. 47., No. 11, 425-437.
23. Levy, G. J., Levin, J., Shainberg, I. 1995. Polymer effects on runoff and soil erosion from sadie soils, Irrig Sci. 16:9-14.
24. Liu, J., Jiang H., Bae, S. and Huang, H. 2009. Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers, CATENA, 77(3):175-179.
25. Luo, P., 2007. Comparison of wind erosion measurements in a drift sand area in the Netherlands with simulated mass transport by WEPS. MSc Thesis, Wageningen University, 37p.
26. 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.
27. Rice M.A., McEwan J.K,. and Mullins C.E., 1999. A conceptual model of wind erosion of soil surfaces by saltating particles.Earth Surface Processes and Landforms, Volume 24 Issue 5, Pages 383 – 392.
28. Siddiqi, R.A., Moore, J.C., 1981, Polymer stabilization of sandy soils for erosion control, Transportation Research Record No. 827, General Soils Problems.30-34.
29. Telysheva, G., Shulga , G. 1995. Silicon-containing polycomplexes for protection against wind erosion of sandy soil. Journal of agricultural engineering research, 62:(4)221-227.
30. Tilly G. P., and Sage W., 1970. The interaction of particle and material behavior in erosion processes. Wear 16;447-465.
31. Wallace, A.,G.A.Wallace, & A.M.Abouzamzam. 1986. Amelioration of sodic soils with polymers. Soil Sci .Soc. Am. J.141: 359-362.

Archive of SID

www.SID.ir