

مهارپذیری هدررفت کمی و کیفی خاک ناشی از فرسایش بادی در شرایط آزمایشگاهی از طریق خاک پوشش‌های گیاهی و پلیمر

ماندانا شهنواز^۱، مهدی نورزاده حداد^۲، علی غلامی^{۳*} و ابراهیم پناهپور^۴

^۱ دکتری خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، ^۲ دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران و ^۳ دانشیار گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۴

چکیده

یکی از اثرات منفی فرسایش بادی، تلفات خاک حاصلخیز سطحی است که بهره‌وری خاک را کاهش می‌دهد. در این پژوهش، با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز فرسایش بادی، میزان هدررفت برخی عناصر غذایی و تأثیر دو نوع تثبیت‌کننده بر کاهش هدررفت خاک و عناصر غذایی خاک در غرب استان خوزستان در تابستان ۱۳۹۴ و در آزمایشگاه دانشگاه آزاد واحد اهواز بررسی شد. به‌منظور دستیابی به اهداف یادشده، دستگاه شبیه‌ساز شدت فرسایش بادی طراحی و ساخته شد. کارایی دو نوع تثبیت‌کننده (پلیمر پلی‌اکریل‌امید و خاک‌پوش گیاهی) در چهار غلظت (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد) بر سطح سه نوع خاک و سه تکرار در سرعت ۴۷ کیلومتر بر ساعت در دستگاه شبیه‌ساز مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع، ۷۲ نمونه مورد به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی بررسی شد. نتایج نشان داد، فرسایش بادی در نمونه‌های خاک در محدوده ۲۷/۴ تا ۴۴/۷ گرم در مترمربع در دقیقه بوده است. تحلیل‌های آماری نشان داد که خاک‌های تیمار شده با تثبیت‌کننده‌ها اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند. پلیمر، هدررفت خاک را ۹۹ درصد کاهش داد. هدررفت خاک در دو نمونه الوان و هویزه در تیمار خاک‌پوش گیاهی ۹۸ درصد کاهش یافت. اما، در خاک بروایه در غلظت ۱۵ و ۳۰ درصد هدررفت خاک به‌ترتیب ۱۳ و ۶۷ درصد کاهش یافت. میانگین هدررفت ازت، فسفر و مواد آلی به‌ترتیب به‌میزان ۱/۵۹، ۰/۶۴ و ۰/۶ گرم در مترمربع در دقیقه طی فرسایش بادی به‌دست آمد که این امر در طولانی‌مدت سبب بروز مشکلات جدی زیست‌محیطی و اقتصادی برای اراضی در معرض فرسایش می‌شود. پلیمر هدررفت ازت، فسفر و مواد آلی خاک را ۹۹ درصد کاهش داد. کاربرد خاک‌پوش گیاهی سبب کاهش ۹۸ درصدی ازت، فسفر و مواد آلی در نمونه‌های الوان و هویزه و کاهش ۵۶/۶ درصدی این عناصر در خاک بروایه شد. تثبیت خاک‌ها با تثبیت‌کننده‌های مورد بررسی و کشت نهال‌های بومی راهکاری برای حل معضل فرسایش بادی و کاهش پدیده گرد و غبار در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: تثبیت‌کننده، شبیه‌ساز فرسایش بادی، هدررفت فسفر، هدررفت ازت، هدررفت مواد آلی

مقدمه

فرسایش بادی می‌باشد (Behera و همکاران، ۲۰۰۷).

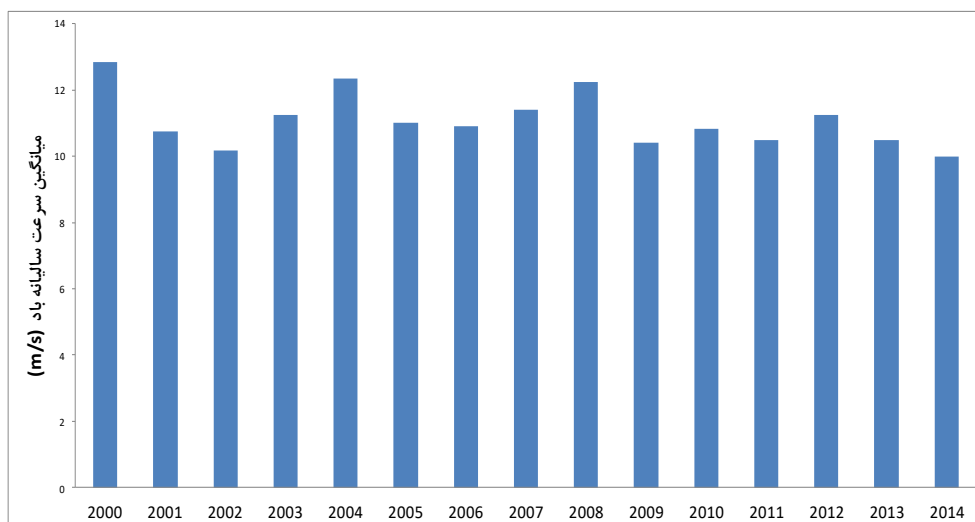
از بین بردن زمین‌های کشاورزی و گسترش نواحی بیابانی، مدفون ساختن کانال‌ها و آلوده ساختن

یکی از مهمترین بحران‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پدیده مخرب بیابان‌زایی و

خاک تیمار شده با این پلیمر تفاوت معنی داری نکرده است. Abassi و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر هیدرو مالچ و پلی اکریل آمید بر کنترل فرسایش و اتلاف عناصر N، P و K در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که هیدرو مالچ حجم فرسایش را تا ۴۵ درصد و پلی اکریل آمید ۳۰ تا ۶۰ درصد کاهش داد. همچنین، به طور معنی داری سبب کاهش اتلاف N، P و K در خاک شد. Zheng (۲۰۰۵)، در ارزیابی اثرات فرسایش خاک بر تلفات نیتروژن و فسفر نشان داد که تلفات مواد مغذی خاک با افزایش شدت فرسایش افزایش یافت و روابط خطی بین تلفات مواد آلی، ازت کل، NH₄، فسفر قابل دسترس خاک و شدت فرسایش به دست آمد.

در سال‌های اخیر، در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که از میانگین بارش کمی برخوردار هستند، پدیده فرسایش بادی و گرد و غبار به طور جدی نگران کننده است. ایران نیز به دلیل این مشکل و هم‌جواری با پهنه‌های بیابانی تحت اثرات نامطلوب این پدیده قرار گرفته است. تشدید پدیده طوفان‌های گرد و غبار و فرسایش بادی ناشی از کاهش فعالیت سامانه‌های جوی باران‌زا در استان خوزستان در سالیان اخیر عوارض نامطلوب زیست‌محیطی و اقتصادی را برای استان در پی داشته است. برخی پژوهشگران بر این باورند که تغییرات اقلیمی منطقه‌ای نقش مهمی در وقوع طوفان‌های گرد و غبار دارد. آن‌ها همچنین نشان دادند که دمای بالای هوا، بارندگی کم، پوشش گیاهی فقیر و سرعت بالای باد شرایط مساعدی را برای وقوع طوفان‌های گرد و غبار فراهم می‌کند (Yoshino, ۲۰۰۲). اگر سرعت وزش باد از سرعت آستانه فرسایش فزونی یابد، مقدار قابل توجهی از ذرات خاک از بستر خود جدا می‌شوند و به صورت گرد و غبار وارد جو می‌شوند (Ahmadi و Ataee, ۲۰۱۰). شکل ۱، میانگین سرعت سالیانه باد در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ در استان خوزستان را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده است که احتمال وقوع بادها تا سرعت ۱۱، ۱۳ و ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۱/۸، ۲/۲ و ۸/۲ درصد و بادهای با سرعت بالاتر از ۱۵ متر بر ثانیه، ۵/۶ درصد است (Shahnavaز) و همکاران، ۲۰۱۶).

آب‌های سطحی، از دست دادن بافت‌های گیاهی و کاهش فتوسنتز، آفت‌زدگی مزارع کشاورزی و باغات میوه از جمله خسارت‌های ناشی از فرسایش بادی هستند (Dust Management National Project, ۲۰۱۰). با گسترش فرسایش در یک منطقه، خاک سطحی به طور مستمر از دسترس خارج می‌شود. این اثر، معمولاً به صورت آبی دیده نمی‌شود، اما به طور جدی سبب مشکلات زیست‌محیطی و اقتصادی در آینده می‌شود و به مرور زمان با کاهش میزان عناصر غذایی خاک، بهره‌وری خاک کاهش یافته و لزوم کاربرد کودها به منظور حفظ بهره‌وری محصول بالا می‌رود (Bosed, ۲۰۱۰). Anasiru و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با هدف تجزیه و تحلیل ارزش اقتصادی تلفات خاک حاصلخیز ناشی از فرسایش خاک در اندونزی نشان دادند که میزان فرسایش در چهار واحد مورد بررسی به میزان ۴۰۶ تن در هکتار در فصل سبب از دست رفتن ۲۶۴۸ کیلوگرم کربن در هکتار در فصل، ۲۳۰ کیلوگرم ازت در هکتار در فصل، ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در فصل و ۶۹ کیلوگرم پتاس در هکتار در فصل شد. Xiaobin و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه طوفان‌های گرد و غبار و فرسایش ناشی از آن در اراضی شمال چین نشان دادند که طوفان‌های شدید گرد و غبار سبب کاهش میزان کربن و ازت خاک در اراضی فرسایش یافته در مقایسه با شاهد به میزان ۶۶ و ۷۳ درصد شد و تلفات کربن و ازت در هر سانتی‌متر از لایه سطحی خاک با فرسایش طوفان‌های گرد و غبار به ترتیب به میزان ۵۳ تا ۱۰۴۴ کیلوگرم در هکتار و پنج تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. Colazo و Buschiazzo (۲۰۱۵) در بررسی تغییرات بافت خاک ناشی از فرسایش بادی در اراضی کشاورزی آرژانتین نشان دادند، در اثر فرسایش بادی میزان تجمع رس کاهش و میزان ذرات ماسه افزایش یافت. بر طبق نتایج Samaei و همکاران (۲۰۰۶)، از پلیمرهای آکریلیک محلول در آب با غلظت مناسب می‌توان به منظور افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش بادی استفاده کرد. پژوهش‌های Siddiqi و Moore (۱۹۸۱) نشان داد که ترکیب پلیمری بوتادین-استیرن برای کنترل فرسایش بادی و آبی در خاک ماسه‌ای عالی است و نفوذپذیری



شکل ۱- میانگین سرعت سالیانه باد در استان خوزستان (سازمان هواشناسی خوزستان)

صورت گرفت که هیچ‌گونه عارضه‌ای در مسیر جریان باد قرار نداشت. در هر منطقه از سطح یک هکتار ده نمونه خاک برداشت، نمونه‌ها با هم ترکیب و یک نمونه مرکب برای هر منطقه تهیه شد.

به‌منظور بررسی میزان هدررفت عناصر غذایی خاک، غلظت ازت کل، فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل تبادل و کربن آلی و مواد آلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. غلظت ازت کل، به روش کج‌دال (Mulvaney و Bremner, ۱۹۸۲)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen و Sommer, ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل تبادل به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Thomas, ۱۹۸۲) و کربن آلی و مواد آلی از روش والکی-بلاک (Black و Walkley, ۱۹۳۴) اندازه‌گیری شد.

ساخت دستگاه شبیه‌ساز فرسایش بادی:

اندازه‌گیری شدت فرسایش بادی و عوامل مؤثر بر آن در شرایط طبیعی همواره مشکل و هزینه‌بر بوده است. از این‌رو، استفاده از شبیه‌ساز فرسایش بادی به‌عنوان یکی از روش‌های جایگزین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Mahmood abadi و Zamani, ۲۰۱۰). با استفاده از شبیه‌ساز فرسایش بادی، می‌توان تأثیر سرعت و خصوصیات خاک و همچنین، فرایندهای حمل ذرات را در شرایط کنترل‌شده مورد بررسی قرارداد (Buri و همکاران, ۲۰۱۱). بدین‌منظور، دستگاه شبیه‌ساز شدت فرسایش بادی برای این پژوهش ساخته شد. برای طراحی دستگاه، ابتدا تمامی

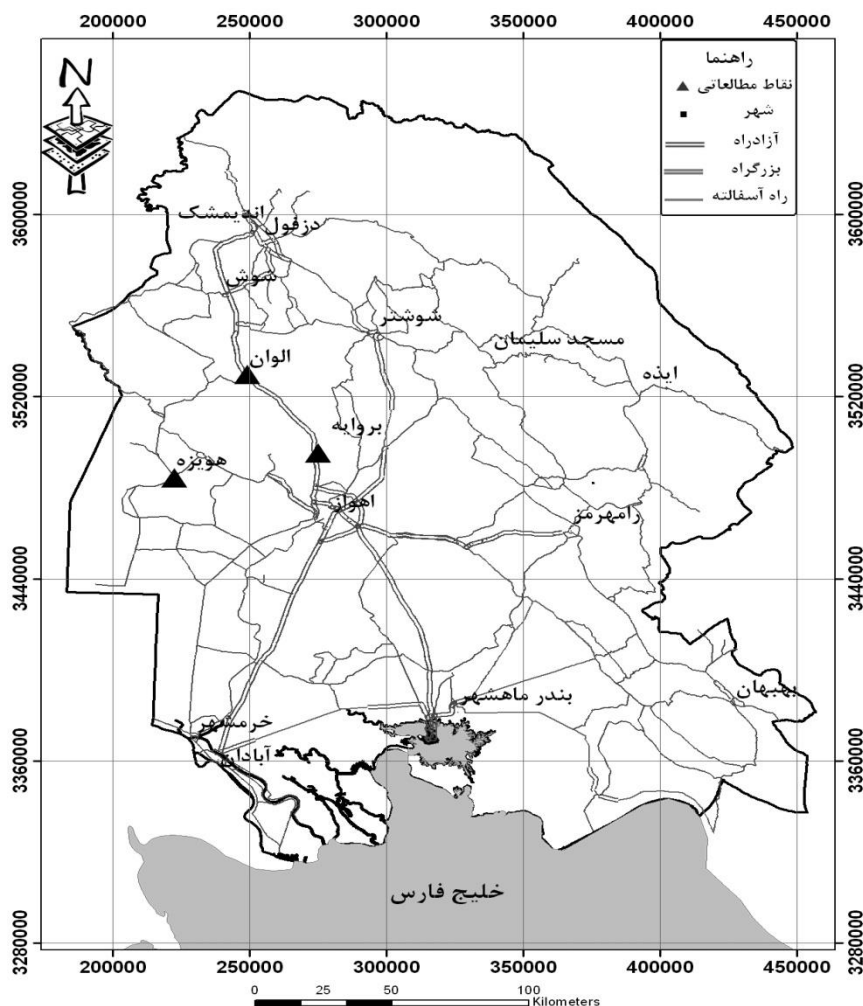
کاربرد پلیمرها و تثبیت‌کننده‌های خاک به‌عنوان یکی از روش‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش بادی در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های بارز تثبیت‌کننده‌ها این است که با ایجاد شبکه در سطح خاک همانند پلی بین ذرات خاک عمل کرده و باعث اتصال ذرات به یکدیگر شده، خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌کنند که باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Abbasi و همکاران, ۲۰۱۰). پژوهش حاضر، با هدف، (۱) بررسی تأثیر فرسایش بادی بر هدررفت عناصر غذایی و مواد آلی خاک در اراضی در معرض فرسایش بادی و (۲) تأثیر دو نوع خاک‌پوش پلیمری (پلی اکریل آمید) و خاک‌پوش گیاهی (تهیه شده از درخت نخل) بر کاهش هدررفت ترکیبات مغذی خاک با استفاده از یک دستگاه شبیه‌ساز فرسایش بادی مدارباز، در اراضی مستعد فرسایش بادی استان خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تحلیل خصوصیات شیمیایی خاک:
پس از بررسی نقشه‌های فرسایش بادی، اراضی غربی استان خوزستان به‌عنوان اراضی مستعد فرسایش بادی در نظر گرفته شد که دارای میانگین دمای سالیانه ۳۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۴۴ میلی‌متر و دارای رژیم حرارتی اریدریک هستند. نمونه‌برداری در سه منطقه شامل بروایه، الوان و هویزه از پنج سانتی‌متری بالای سطح خاک و در بخش‌هایی

ایجاد کند. سکوی نشیمن دستگاه به‌نحوی طراحی و اجرا شده است که محور چرخش پروانه در مرکز محفظه دستگاه قرار گیرد. فن دارای شش پروانه از جنس چدن و مقاوم در برابر ذرات خاک مورد آزمایش طراحی و ساخته شده است. این فن از نوع لوله محوری می‌باشد و مشابه فن پروانه‌ای است، با این تفاوت که الکتروموتور و پروانه درون محفظه‌ای استوانه‌ای قرار دارد. استوانه کارایی فن را افزایش می‌دهد و به‌نحوی طراحی و ساخته شده است که با نوک پره‌ها فاصله کمی دارد.

پارامترهای ابعادی و سرعت‌های باد با استفاده از نرم‌افزار fluent شبیه‌سازی و کدهای مربوطه نیز استخراج شد. شبیه‌ساز فرسایش بادی، از قسمت‌های مختلف تشکیل شده و یک دستگاه مدار باز است، بدین معنی که هوا از بیرون به درون دستگاه جریان می‌یابد. بخش نخست، فن مولد باد با مشخصات ۲۸۰۰ دور در دقیقه، ۱۵/۵ کیلووات، تک فاز و قطر پروانه ۳۵ سانتی‌متر (متناسب با ابعاد محفظه دستگاه) است. این فن قادر است، بادهایی تا بیشینه ۴۷ کیلومتر بر ساعت، در ارتفاع سه سانتی‌متری بالای نمونه خاک



شکل ۲- نقشه موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری

است. سینی نمونه خاک متناسب با دستگاه و با ابعاد $۲۸ \times ۲۵ \times ۳۵$ سانتی‌متر تهیه و یک محفظه شیشه‌ای در مرکز دستگاه و مقابل محل قرارگیری سینی خاک برای مشاهده تغییرات در حین آزمایش‌ها تعبیه شده است. به‌منظور تنظیم سرعت موتور فن، مولد باد از

بخش بعدی دستگاه، محفظه فلزی آن است که طول آن ۱۲۰ سانتی‌متر با سطح مقطع به شکل مربع با ابعاد $۳۵ \times ۳۵ \times ۲۵$ سانتی‌متر و متناسب با قطر پروانه فن می‌باشد. در قسمت مرکزی محفظه فلزی، محلی برای قرارگیری سینی مخصوص نمونه طراحی شده

رقومی با دقت یک گرم، در داخل دستگاه قرار گرفتند (شکل ۴). به‌منظور ارزیابی تیمارها در برابر فرسایش باد شدید، سرعت بیشینه‌ای در محور مرکزی تونل مد نظر قرار گرفت (۱۳ متر بر ثانیه در سه سانتی‌متری بالای سطح خاک) که با بیشینه سرعت بادهای خوزستان مطابقت داشته و از آستانه فرسایش بادی مناطق نمونه‌برداری (چهار متر بر ثانیه) بیشتر است. با توجه به سرعت بالای باد و حجم کوچک نمونه‌ها، زمان مورد نظر برای آزمایش، پنج دقیقه در نظر گرفته شد. اختلاف وزن نمونه‌ها در ابتدا و انتهای آزمایش به‌عنوان میزان فرسایش و هدررفت خاک‌ها در نظر گرفته شد. میزان هدررفت عناصر غذایی و تأثیر تثبیت‌کننده‌ها بر آن، با توجه به غلظت عناصر غذایی خاک و میزان هدررفت خاک طی فرسایش بادی در دستگاه شبیه‌ساز محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: پس از تشکیل بانک اطلاعاتی داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در محیط Excel و رسم نمودارهای مورد نیاز، کلیه تحلیل‌های آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد. به‌منظور بررسی آماری تأثیر تثبیت‌کننده‌ها بر میزان هدررفت خاک و عناصر غذایی، نتایج آزمایش‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. عوامل مورد مطالعه در این آزمایش، عبارت بودند از دو نوع تثبیت‌کننده (پلیمر و خاک‌پوش گیاهی)، سه نوع خاک، چهار غلظت تثبیت‌کننده (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد) و در سه تکرار که در مجموع، تعداد ۷۲ نمونه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند.

یک دستگاه اینورتر استفاده شد. نمایی از دستگاه در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌منظور تعیین سرعت باد در محفظه دستگاه، از یک دستگاه سرعت‌سنج باد رقومی که پروب آن در درون محفظه و صفحه نمایشگر آن در بیرون است و قابلیت اندازه‌گیری سرعت باد تا ۳۰ متر بر ثانیه و دقت ۰/۱ متر بر ثانیه دارد، استفاده شد.

اندازه‌گیری هدررفت خاک و عناصر غذایی:

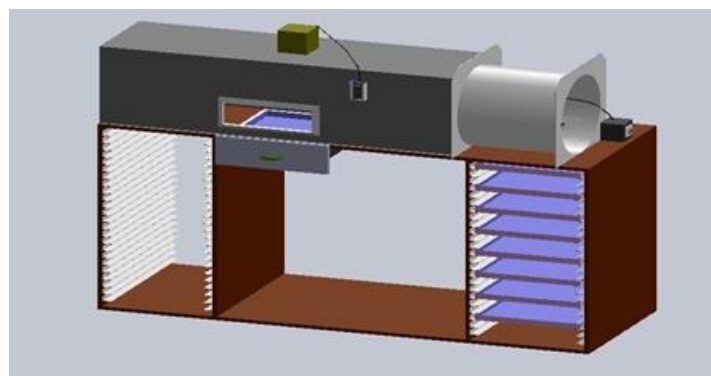
تثبیت‌کننده‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل پلیمر پلی‌اکریل آمید آنیونی (با فرمول شیمیایی $(\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CO})_n$) و خاک‌پوش آلی با پایه گیاهی (به‌دست آمده از درخت نخل) بودند. هر دو نوع تثبیت‌کننده به‌صورت مایع و بدون ذرات جامد هستند و به‌راحتی در آب رقیق می‌شوند. پس از پر کردن سینی‌های ویژه دستگاه از خاک هواخشک به‌میزان چهار تا پنج کیلوگرم در هر سینی آزمایش، از آنجایی که عمل افزودن تثبیت‌کننده‌ها به‌صورت محلول و به‌صورت پاشش در سطح خاک صورت می‌گیرد، با داشتن مساحت نمونه آزمایش و سطح تثبیت‌کننده‌های مورد نظر، حجم مورد نیاز تثبیت‌کننده محاسبه می‌شود. به‌منظور یکنواختی پاشش از یک پاشنده دستی که مخزن آن به‌وسیله یک پمپ به‌صورت دستی تحت فشار قرار می‌گیرد، استفاده شد و تثبیت‌کننده‌های مورد نظر با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد بر روی نمونه‌ها به‌نحوی پاشیده شد که تمام سطح خاک را بپوشاند و تجمع لکه‌ای در سطح خاک ایجاد نکند (شکل ۳). تثبیت‌کننده‌های پاشیده شده در محیط طبیعی کاملاً خشک شدند. سینی‌ها پس از توزین دقیق با ترازوی



شکل ۳- مالچ‌پاشی نمونه با پلیمر



شکل ۴- قرارگیری نمونه در دستگاه



شکل ۵- نمایی از دستگاه شبیه‌ساز فرسایش بادی مدار باز

نتایج و بحث

بیشترین میزان هدایت الکتریکی و SAR در خاک هویزه و کمترین آن در خاک منطقه الوان بود. در هر سه منطقه، غلظت عناصر غذایی زیر حد بحرانی می‌باشد.

ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های خاک در جدول ۱ و میزان هدررفت خاک تحت تیمار دو نوع خاک‌پوش گیاهی و پلیمر در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- تشریح وضعیت خاک‌های مورد بررسی

محل نمونه‌برداری خاک			خصوصیات شیمیایی
بروایه	الوان	هویزه	
شنی	شنی	شنی لومی	بافت خاک
۱/۸۵	۱/۸۵	۱/۸	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۷/۱	۷	۷/۰۹	pH
۱/۱۲	۱/۷۹	۱۸/۱۲	هدایت الکتریکی (میلی‌زیمنس بر متر)
۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۲	کربن آلی (/)
۰/۱	۰/۲	۰/۲	مواد آلی (/)
۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	ازت کل (/)
۰/۱	۴/۵۳	۰/۱	فسفر (پی‌پی‌ام)
۱۴۳	۱۵۶	۱۲۵	پتاسیم (پی‌پی‌ام)

بود. بررسی‌های پیشین نشان داده است که شوری خاک و میزان SAR خاک‌ها در غلظت‌های پایین، موجب افزایش حساسیت خاک به بادبردگی شده، ولی

بر اساس داده‌های مندرج در جدول ۲، بیشترین هدررفت خاک مربوط به نمونه خاک منطقه بروایه و کمترین هدررفت خاک مربوط به نمونه منطقه هویزه

نمونه‌های بروایه نسبت به نمونه‌های الوان را می‌توان به بیشتر بودن درصد ذرات ریزتر از 0.075 میلی‌متر در خاک منطقه بروایه نسبت به خاک الوان مرتبط دانست.

در غلظت‌های بالا یا فوق اشباع موجب تشکیل سله‌های نمکی و افزایش پایداری و کاهش پتانسیل بادبردگی می‌شود (Ekhtesasi و همکاران ۲۰۰۳). همچنین، بیشتر بودن میزان هدررفت خاک در

جدول ۲- مقایسه فرسایش خاک‌های مورد بررسی در زمان کاربرد خاک‌پوش گیاهی و پلیمری در سرعت ۱۳ متر بر ثانیه در دستگاه شبیه‌ساز فرسایش بادی

میانگین فرسایش (گرم بر مترمربع در دقیقه)		غلظت خاک‌پوش (درصد)	خاک
پلیمر	خاک‌پوش گیاهی		
۴۴/۷۳	۴۴/۷۳	۰	بروایه
۱/۰۲	۳۸/۹	۱۵	
۰/۸۱۶	۱۴/۸۷	۳۰	
۰/۵۱	۴/۴۲۸	۶۰	الوان
۴۱/۱۴	۴۱/۱۴	۰	
۰/۵۳	۰/۵۱	۱۵	
۰/۵۱	۰/۵۱	۳۰	
۰/۳۰۶	۰/۵۴	۶۰	هویزه
۲۷/۴	۲۷/۴	۰	
۱/۰۲	۰/۹۱۳	۱۵	
۱/۰۲	۰/۶۱۲	۳۰	
۰/۵۱	۰/۳۰۶	۶۰	

میزان هدررفت خاک طی فرسایش بادی در دستگاه شبیه‌ساز فرسایش بادی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. جدول ۳، نشان می‌دهد که هر دو نوع تثبیت‌کننده از نظر تأثیر بر میزان کاهش هدررفت خاک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. غلظت‌های مختلف تثبیت‌کننده‌ها نیز در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین، خاک‌های شاهد اختلاف معنی‌داری با خاک‌های تیمار شده با تثبیت‌کننده‌ها داشتند. نتایج Kenneth و Nwankwo (۲۰۰۱) نشان می‌دهد که اثر پلیمرها بر روی خاک، به‌صورت تشکیل خاکدانه‌های بزرگ از به هم پیوستن خاکدانه‌های کوچک‌تر ظاهر می‌شود.

پس از کاربرد تثبیت‌کننده‌ها، یک سطح کاملاً صاف و عاری از درز و ترک در سطح خاک ایجاد شد و با توجه به بالا بودن نفوذپذیری خاک‌های ماسه‌ای، عمقی حدود ۱۰ میلی‌متر داشت که پس از خشک شدن تشکیل دو لایه می‌دهد. لایه بالایی به‌صورت یک لایه سل سخت و یکپارچه و در زیر آن، به‌دلیل کم بودن میزان نفوذ تثبیت‌کننده‌ها، تنها ذرات خاک به هم متصل بوده و تراکم بالای لایه سطحی خاک در اینجا دیده نمی‌شود (شکل ۶). نتایج تجزیه آماری عوامل مورد مطالعه بر هدررفت خاک در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه آماری (جدول ۳) نشان داد که انواع خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش، از نظر تأثیر بر



شکل ۶- نمایی از عمق نفوذ تثبیت‌کننده‌ها در خاک

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر نوع خاک پوش، غلظت خاک پوش و بافت خاک بر میزان هدررفت خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات میزان هدررفت خاک
نوع خاک پوش	۱	۳۴۸۳۹۲۰/۰۵۶*
غلظت خاک پوش	۳	۴/۳۶۹**
نوع خاک	۲	۶۹۰۸۹۷۸/۱۸۱**
خطا	۶۵	۳۲۹/۴۱۴
کل	۷۲	

* در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری وجود دارد و ** در سطح یک درصد اختلاف معنی داری وجود دارد.

خاک پوش گیاهی در نمونه های خاک الوان و خاک هویزه با کاهش بیش از ۹۹ درصد تأثیر چشم گیری بر کاهش فرسایش دارد. اما در نمونه بروایه، خاک پوش گیاهی در غلظت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد هدررفت خاک را به ترتیب به میزان ۱۳، ۶۷ و ۹۰ درصد کاهش می دهد. تثبیت کننده های آبیونی تنها با ایجاد کمپلکس های خارجی در لبه کانی ها به آنها متصل می شوند. از این رو، عواملی مانند اندازه، ضخامت و شکل ذرات خاک که در دسترسی به سطوح خارجی اثر گذارند، بر جذب تثبیت کننده نیز مؤثر خواهند بود. از طرفی، پایین بودن سطح ویژه و قدرت تبادل کاتیونی خاک ها نیز باعث می شود تا در غلظت های پایین تثبیت کننده، جذب سطحی این خاک ها کمتر از غلظت های بالا باشد (Malik و همکاران، ۱۹۹۱). نتایج برآورد میزان هدررفت عناصر غذایی و مواد آلی در نمونه های مورد بررسی تحت تأثیر فرسایش بادی و تأثیر کاربرد دو نوع خاک پوش گیاهی و پلیمر بر کاهش هدررفت مواد غذایی در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج جدول ۲، نشان داد که میزان فرسایش در تیمارهای پلیمر نسبت به شاهد بیش از ۹۹ درصد کاهش یافته و هدررفت خاک از ۴۴/۷، ۴۱/۱۴ و ۲۷/۴ گرم بر مترمربع در دقیقه در خاک شاهد به ۰/۵۱، ۰/۳ و ۰/۵۱ گرم بر مترمربع در دقیقه در غلظت ۶۰ درصد پلیمر به ترتیب در خاک های بروایه، الوان و هویزه کاهش یافته است. این نتایج، با پژوهش Movahedan و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه استفاده از پلیمر پلی وینیل استات بر کاهش فرسایش بادی مطابقت دارد. ایشان نشان دادند که استفاده از پلیمر پلی وینیل استات، میزان فرسایش بادی را در نمونه های ماسه بادی ۱۰۰ درصد و در خاک های با بافت متوسط و سنگین دست کم ۹۰ درصد کاهش می دهد. Han و همکاران (۲۰۰۷)، در بررسی چند امولسیون پلیمری بر کنترل فرسایش ماسه بادی نشان دادند که میزان فرسایش در برابر باد با سرعت ۲۵/۳ متر بر ثانیه، بین صفر تا ۰/۴ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت است. نتایج تحقیق حاضر، نشان داد که

جدول ۴- میزان هدررفت عناصر غذایی در خاک های تیمار شده با پلیمر و خاک پوش گیاهی

محل نمونه برداری	غلظت خاک پوش گیاهی (درصد)	فرسایش (g.m ⁻² .min ⁻¹)		هدررفت ازت (mg.m ⁻² .min ⁻¹)		هدررفت فسفر (mg.m ⁻² .min ⁻¹)		هدررفت پتاسیم (mg.m ⁻² .min ⁻¹)		هدررفت مواد آلی (mg.m ⁻² .min ⁻¹)
		پلیمر	خاک پوش گیاهی	پلیمر	خاک پوش گیاهی	پلیمر	خاک پوش گیاهی	پلیمر	خاک پوش گیاهی	
بروایه	۰	۴۴/۷	۴۴/۷	۱/۳۴	۱/۳۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۶/۳۹	۶/۳۹	۰/۴۴
	۱۵	۳۸/۹	۱/۰۲	۱/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۵/۵۶	۰/۱۴	۰/۳۹
	۳۰	۱۴/۸۷	۰/۸۱	۰/۴۴	۰/۰۲۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۲/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۵
	۶۰	۴/۴۳	۰/۵	۰/۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۶۳	۰/۰۷	۰/۰۴۴
الوان	۰	۴۱/۱۴	۴۱/۱۴	۲/۰۶	۲/۰۶	۱/۸۶	۱/۸۶	۶/۴۲	۶/۴۲	۰/۸۲
	۱۵	۰/۵۳	۰/۸۱	۰/۰۴	۰/۰۲۶	۰/۰۳۷	۰/۰۲۴	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۶
	۳۰	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲	۰/۰۲۳	۰/۰۱۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۱
	۶۰	۲۷/۴	۰/۳۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۴	۰/۰۴۷	۰/۰۲۳	۰/۰۱
هویزه	۰	۲۷/۴	۲۷/۴	۱/۳۷	۱/۳۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۳/۴۳	۳/۴۲	۰/۵۵
	۱۵	۱/۰۲	۰/۹۱۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶	۰/۰۲
	۳۰	۱/۰۲	۰/۶۱۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶	۰/۰۲
	۶۰	۰/۵۱	۰/۳۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۶۳	۰/۰۳۸	۰/۰۱

همکاران (۲۰۰۶)، در بررسی تأثیر فرسایش بادی بر خصوصیات زمین‌های کشاورزی ماسه‌ای در شمال چین نشان دادند که فرسایش بادی سبب کاهش کربن آلی، ازت کل، فسفر کل و ازت قابل‌دسترس به- ترتیب به‌میزان ۱۹/۳، ۲۱/۷، ۱۳/۷ و ۵۲/۵ درصد شد. بررسی آماری تأثیر عوامل مختلف شامل نوع خاک، نوع تثبیت‌کننده و غلظت‌های مختلف تثبیت‌کننده‌ها بر هدررفت عناصر غذایی (ازت، فسفر و پتاسیم) و مواد آلی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است.

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها، هدررفت عناصر غذایی خاک و تأثیر تثبیت‌کننده‌ها بر کاهش هدررفت این عناصر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در خاک‌های شاهد، فرسایش بادی سبب هدررفت ازت به میزان بیشینه ۱/۳۷ میلی‌گرم در مترمربع در دقیقه در خاک هویزه، هدررفت فسفر به‌میزان بیشینه ۱/۸۶ میلی‌گرم در مترمربع در دقیقه در خاک الوان و هدررفت مواد آلی به میزان بیشینه ۰/۸۲ میلی‌گرم در مترمربع در دقیقه در خاک الوان شد. Ha-Lin و

جدول ۵- میانگین مربعات اثر عوامل مختلف بر هدررفت عناصر غذایی خاک

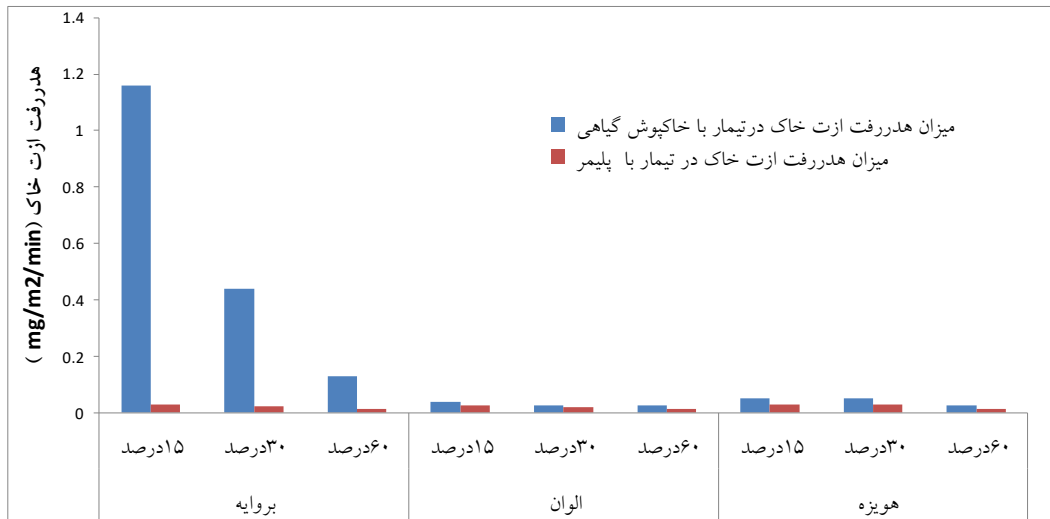
میانگین مربعات			هدررفت ازت	درجه آزادی	منبع تغییرات
هدررفت مواد آلی	هدررفت پتاسیم	هدررفت فسفر			
۰/۰۲۶ **	۱۷/۱۵۳ **	۱/۷۶ **	۰/۲۶۲ **	۲	نوع خاک
۰/۰۳۸ **	۷/۳۲۱ **	۰/۰۰۱ **	۰/۳۷۸ **	۱	نوع خاک‌پوش
۱/۴۳۲ **	۱۱۱/۲۲۵ **	۱/۸۰۱ **	۹/۸۳۸ **	۳	غلظت خاک‌پوش
۱/۱۱	۵/۱۴	۲/۰۵	۳/۴۳۷	۶۵	خطا
				۷۲	کل

** در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

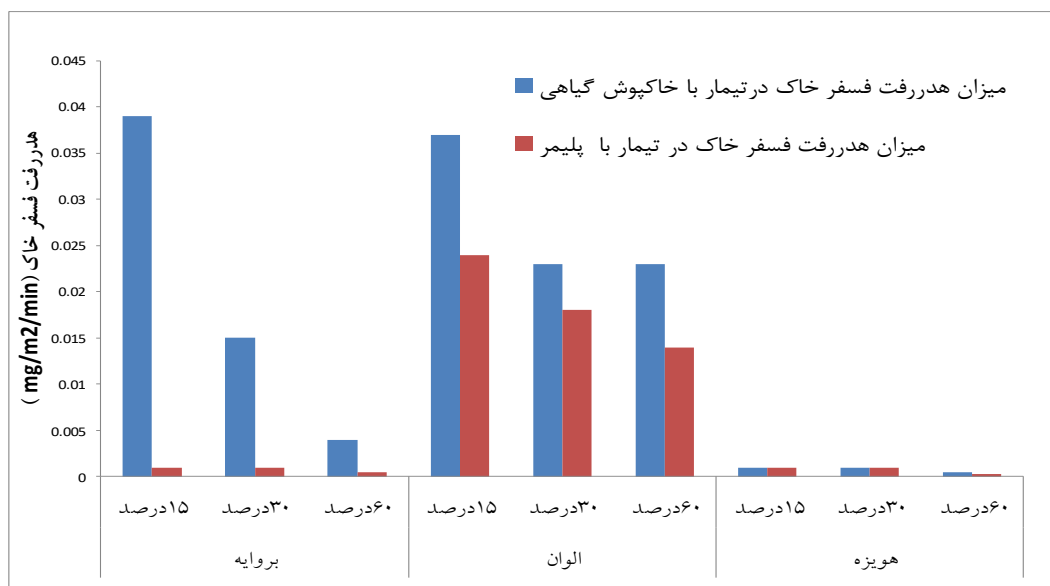
هیدروژنی و تبادل لیگاند دو سازوکار پیشنهادی برای برهم‌کنش این ترکیبات با خاک است (Liu و همکاران، ۲۰۰۲).

هدررفت ازت خاک در زمان کاربرد پلیمر و خاک‌پوش گیاهی در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج آزمون دانکن نشان داد که خاک‌های شاهد از نظر هدررفت ازت اختلاف معنی‌داری با خاک‌های تیمار شده با تثبیت‌کننده‌ها داشتند. بیشترین هدررفت ازت در خاک شاهد به میزان ۰/۰۶ میلی‌گرم بر مترمربع در دقیقه در نمونه الوان و کمترین آن در خاک بروایه به‌میزان ۱/۳۴ میلی‌گرم بر مترمربع در دقیقه به‌دست آمد. نتایج جدول ۵، نشان می‌دهد، هر دو نوع تثبیت‌کننده از نظر تأثیر بر هدررفت ازت در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. پلیمر هدررفت ازت خاک را ۹۹ درصد کاهش داد. خاک‌پوش گیاهی هدررفت ازت خاک را در نمونه‌های الوان و هویزه ۹۹ درصد کاهش داد، اما در خاک بروایه در غلظت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد خاک‌پوش گیاهی هدررفت ازت به‌ترتیب ۱۳، ۶۷ و ۹۰ درصد کاهش یافت.

نتایج جدول ۵، نشان می‌دهد که خاک‌های مورد بررسی از نظر تأثیر بر میزان هدررفت عناصر غذایی خاک در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. بررسی آماری نشان داد که تثبیت‌کننده‌ها از نظر تأثیر بر هدررفت عناصر غذایی، اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. نتایج بیانگر کاهش هدررفت این عناصر در اثر استفاده از تثبیت‌کننده‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد بودند. همچنین، غلظت‌های مختلف تثبیت‌کننده‌های مورد بررسی از نظر تأثیر بر هدررفت عناصر غذایی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. مقایسه غلظت‌های مختلف تثبیت‌کننده‌ها به روش دانکن نشان داد که بین هدررفت عناصر غذایی خاک‌های تیمار شده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ درصد تثبیت‌کننده‌ها و غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ درصد تثبیت‌کننده‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما، بین خاک‌های تیمار شده با غلظت ۱۵ درصد و غلظت ۶۰ درصد تثبیت‌کننده‌های مورد بررسی در کاهش هدررفت عناصر غذایی خاک اختلاف معنی‌داری وجود داشت. ماهیت برهم‌کنش بین تثبیت‌کننده‌ها و ذرات خاک هنوز کاملاً شناخته شده نیست. اما پیوند



شکل ۷- مقایسه هدررفت ازت خاک در تیمار خاکپوش گیاهی و پلیمر



شکل ۸- مقایسه هدررفت فسفر خاک در تیمار خاکپوش گیاهی و پلیمر

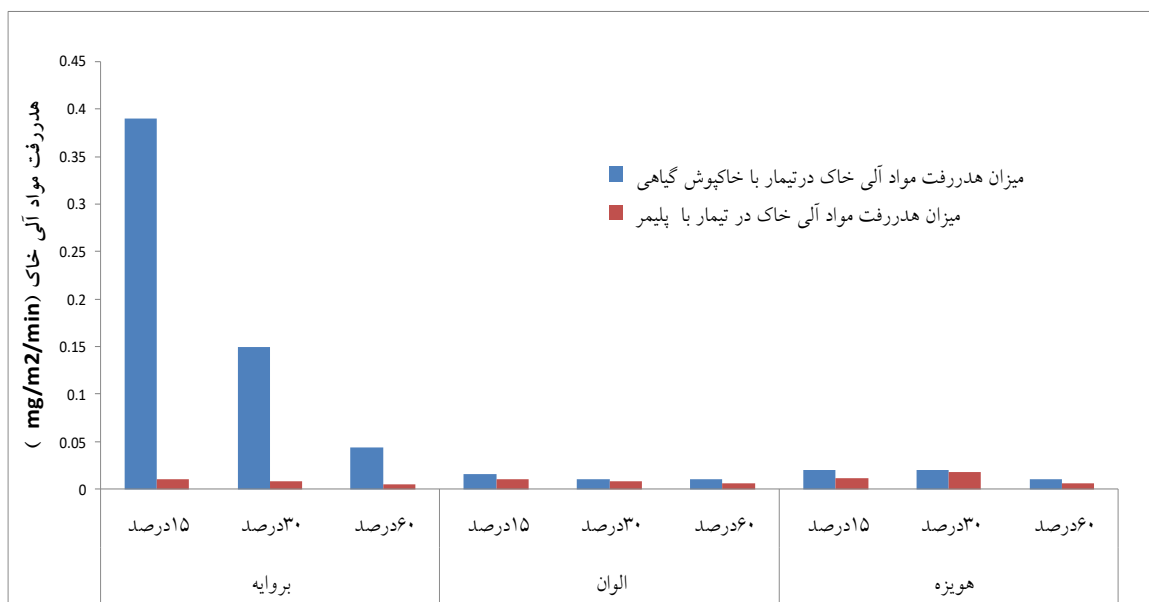
کاهش هدررفت فسفر خاک نداشت. پلیمر هدررفت فسفر خاک را در هر سه نمونه، ۹۹ درصد کاهش داد. بیشترین میزان هدررفت فسفر در غلظت ۱۵ درصد خاکپوش گیاهی در خاک بروایه و کمترین هدررفت فسفر خاک در تیمار ۶۰ درصد پلیمر در خاکهای بروایه و هوایزه به دست آمد.

مطابق جدول ۵، خاکهای مورد بررسی از نظر هدررفت مواد آلی خاک اختلاف معنی داری با هم داشتند. مطابق جدول ۴، بیشترین هدررفت مواد آلی نمونه شاهد در خاک الوان و کمترین آن در خاک بروایه به دست آمد. نتایج آزمون دانکن، نشان داد که خاکهای تیمار شده با پلیمر اختلاف معنی داری با

خاکهای مورد مطالعه از نظر هدررفت فسفر خاک در سطح یک درصد اختلاف معنی داری با هم داشتند. در خاکهای شاهد بیشترین هدررفت فسفر در خاک الوان به میزان ۱/۸۶ میلی گرم بر مترمربع در دقیقه و کمترین آن در خاک بروایه به میزان ۰/۰۴۵ میلی گرم بر مترمربع در دقیقه به دست آمد. نتایج حاصل از آزمون دانکن نشان داد که خاکهای شاهد از نظر هدررفت فسفر خاک اختلاف معنی داری با نمونههای تیمار شده با هر دو تثبیت کننده داشتند. مطابق شکل ۸ و جدول ۴، خاکپوش گیاهی هدررفت فسفر را در خاک الوان و هوایزه ۹۹ درصد کاهش داد، اما در خاک بروایه در غلظت ۱۵ و ۳۰ درصد تأثیر چشمگیری در

داد. این نتایج با نتایجی که سایر محققین به دست آوردند مطابقت داشت. Yan و همکاران (۲۰۱۳)، در ارزیابی اثرات کمی فرسایش بادی بر بافت خاک و مواد مغذی خاک در شمال چین نشان دادند که کربن آلی و مواد مغذی موجود در خاک باقی مانده پس از فرسایش، به طور معنی داری در مقایسه با خاک اصلی کاهش یافت.

خاک‌های شاهد از نظر هدررفت خاک داشتند و پلیمر، هدررفت مواد آلی خاک را ۹۹ درصد کاهش داد. مطابق شکل ۹، هدررفت مواد آلی خاک در تیمار خاک‌پوش گیاهی در غلظت ۱۵ درصد در خاک بروایه در مقایسه با سایر نمونه‌ها به طور معنی داری بیشتر بود، اما کاربرد خاک‌پوش گیاهی در نمونه‌های الوان و هویزه، هدررفت مواد آلی خاک را ۹۹ درصد کاهش



شکل ۹- مقایسه هدررفت مواد آلی خاک در تیمار خاک‌پوش گیاهی و پلیمر

فرسایش باید در نظر گرفته شود. برآورد تقریبی هزینه مورد نیاز برای تثبیت خاک یک هکتار اراضی در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در آزمایش‌های هدررفت خاک، غلظت ۱۵ درصد پلیمر و ۶۰ درصد خاک‌پوش گیاهی در محاسبات لحاظ شد.

ارزیابی اقتصادی: تشخیص کارایی تثبیت-کننده‌های مختلف، نیازمند بررسی شاخص‌های متعددی مانند نفوذ در خاک، مقاومت برشی، مقاومت فشاری، جوانه‌زنی بذر، دوام و ماندگاری در برابر اشعه ماورا بنفش می‌باشد. همچنین، صرفه اقتصادی از جنبه‌های مهمی است که در پروژه‌های کنترل

جدول ۶- برآورد ریالی هزینه مورد نیاز برای تثبیت خاک یک هکتار اراضی

نوع تثبیت‌کننده	بهای هر لیتر (ریال)	مقدار مورد نیاز (لیتر در هکتار)	هزینه مورد نیاز برای هر هکتار (ریال) بدون احتساب ماشین‌آلات و نیروی کارگری
خاک‌پوش گیاهی	۲۰۰۰۰	۵۰۰	۶۰۰۰۰۰۰
پلیمر	۱۳۰۰۰	۳۰۰	۳۹۰۰۰۰۰

بیولوژیک می‌باشد، استقرار اولیه گیاهان مستلزم به‌کارگیری مواد تثبیت‌کننده‌ای است که سازگاری بیشتری با محیط زیست داشته باشند. کاربرد پلیمر با وجود هزینه کمتر به دلیل ایجاد لایه‌ای سخت و غیر

مطابق جدول ۶، هزینه مورد نیاز برای تثبیت هر هکتار خاک به وسیله خاک‌پوش گیاهی ۱/۵ برابر هزینه کاربرد پلیمر برآورد شد. با این وجود، از آنجایی که پایدارترین روش مبارزه با فرسایش بادی، احیا

مرتبط دانست. هدررفت خاک سطحی در فرسایش بادی، کاهش میزان عناصر غذایی خاک را در پی خواهد داشت که این امر در سال‌های آتی سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی و اقتصادی برای کشور می‌شود. کاربرد دو خاک‌پوش مورد بررسی، به‌طور میانگین سبب کاهش ۹۹/۵ درصدی هدررفت این عناصر از خاک مناطق مورد مطالعه شد (به‌جز در غلظت ۱۵ درصد خاک‌پوش گیاهی که کاربرد خاک‌پوش، هدررفت عناصر غذایی را ۱۳/۲ درصد کاهش داد). افزودن خاک‌پوش پلیمری به‌واسطه ایجاد پیوند با ذرات خاک و با ایجاد زنجیره‌های طولی در خاک، سبب تشکیل لایه‌های به‌هم پیوسته در سطح خاک می‌شود که میزان هدررفت خاک تحت فرایند فرسایش بادی را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات در زمینه تثبیت کانون‌های گرد و غبار، نشان‌دهنده نقش مثبت پوشش گیاهی بر کاهش قدرت فرساینده‌گی باد است. با توجه به ماندگاری کم خاک‌پوش‌های زیست تخریب‌پذیر، پیشنهاد می‌شود تا بررسی‌های بیشتری در خصوص تثبیت خاک‌ها با این‌گونه ترکیبات همراه با کشت گیاهان مقاوم به شوری، کم‌آبی و گرمای هوا صورت گیرد. تاغ، اسکنبیل و مورینگا سه نمونه از گیاهانی هستند که در این زمینه می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند.

قابل نفوذ در سطح خاک و بالا بردن هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در خاک‌های مورد بررسی (Shahnavaz و همکاران، ۲۰۱۶) می‌تواند در استقرار گیاهان اختلال ایجاد کند. به‌دلیل سازگاری بیشتر خاک‌پوش گیاهی با محیط زیست، عدم تغییر در خصوصیات شیمیایی خاک و با وجود ماندگاری کم آن‌ها نسبت به پلیمرهای شیمیایی (Shahnavaz و همکاران، ۲۰۱۶)، استفاده از این ترکیبات هم‌زمان با کاشت گیاهان می‌تواند در تثبیت خاک‌ها مؤثر باشد که البته این امر نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تأثیر خاک‌پوش‌های گیاهی و پلیمر نشان داد که کاربرد پلیمر به‌میزان ۹۹/۶ درصد هدررفت خاک را در مناطق مورد بررسی کاهش داد. همچنین، کاربرد خاک‌پوش گیاهی میزان هدررفت خاک را بیش از ۹۹ درصد کاهش داد. اما، در خاک ماسه بادی بروایه این خاک‌پوش قادر به ایجاد تأثیری مثبت بر کاهش هدررفت خاک در غلظت‌های پایین نبود، به‌نحوی که در غلظت ۱۵ درصد خاک‌پوش، فرسایش بادی ۱۳ درصد کاهش یافت. دلیل این امر را می‌توان به متفاوت بودن اندازه توزیع ذرات خاک، میزان مواد آلی و نوع یون‌های موجود در خاک‌ها

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, M., S. Feyznia and H. Ahmadi. 2010. Niatak source of aeolian sediments using geochemical trace elements. *Journal of Dry*, 1: 43-34.
2. Abbasi, K., M. Nishaburi, Sh. Avestan and A. Ahmadi. 2014. Hydromulch and polyacrylamide effects on runoff control, sediment yield and N, P, K losses in laboratory condition. *Water and Soil Science Journal*, 24(4): 247-259 (in Persian).
3. Anasiru, R.H., M.L. Rayes, B. Setiawan and B. Soemarno. 2013. Economic evaluation of soil erosion on cultivated drylands in Langge Sub-watershed, Gorontalo, Indonesia. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(8): 40-48.
4. Ataee, H. and F. Ahmadi. 2010. Dust one of the environmental problems in Islamic World, case study: Khoozestan Province. 4th International Congress of the Islamic World Geographers, 9-19 محل؟ (in Persian).
5. Behera, B., S.K. Mohanty and A.K. Behura. 2007. Effect of mulches on production potential, economics and soil fertility status of maize+pigeonpea intercropping under rainfed conditions of Eastern Ghats, Orissa. *Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development*, 22: 37-40.
6. Bosede, A.J. 2010. Economic assessment of fertilizer use and integrated practices for environmental sustainability and agricultural productivity in Sudan Savannah zone, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 5: 338-343.
7. Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. *Method of Soil Analysis*, 2: 595-624.
8. Burri, K., Ch. Gromke, M. Lehning and F. Graf. 2011. Aeolian sediment transport over vegetation canopies: a wind tunnel study with live plants. *Aeolian Research*, 3: 205-213.

9. Colazo, J. and D. Buschiazzo. 2015. The impact of agriculture on soil texture due to wind erosion. *Journal of Land Degradation and Development*, 26: 62-70.
10. Ekhtesasi, M.R., M.A. Akhavan Ghalibaf, H.R. Azimzadeh and M. Emtehani. 2003. Effect of salts on erodibility of soil by wind. *Natural Resources Journal*, 56: 17-30 (in Persian).
11. Ha-Lin, Z., Y. Xiao-Yong, Z. Rui-Lian, Z. Xue-Yong, Z. Tong-Hui and D. Sam. 2006. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin sandy farmland, Inner Mongolia. *Catena*, 65: 71-79.
12. Han, Z., T. Wang, Z. Dong, Y. Hu and Z. Yao. 2007. Chemical stabilization of mobile dune fields along a highway in the Taklimakan Desert of China. *Journal of Arid Environments*, 68(2): 260-270.
13. Kenneth, N. and P.E. Nwankwo. 2001. Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control. Wisconsin Department of Transportation, Report No. W1, 6-98.
14. Lu, J.H., L. Wu and J. Letey. 2002. Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption. *Soil Science of American Journal*, 66: 578-584.
15. Mahmood Abadi, M. and S. Zamani. 2010. Effect of wind speed and particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. *Watershed Engineering and Management*, 4: 141-152.
16. Malik, M. and J. Lctey. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 380-383.
17. Movahedan, M., N. Abbasi and M. Keramati. 2011. Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils. *Journal of Water and Soil*, 25(3): 606-616 (in Persian).
18. Department of Environment. 2010. Dust management national project. National Secretariat of Dust, Department of Environment (in Persian).
19. Olsen, S. and L. Sommers. 1982. Phosphorus. In: Page A.L., et al (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2nd edition, AgronMonogr 9, ASA and ASSA, Madison, WI, pages 403-430.
20. Samaei, H.R., A. Golchin and M.R. Mosaddeghi. 2006. Pollution control of wind erosion by water soluble polymers. *Soil, Environment and Sustainable Development Conference*, 8-9 November, Karaj, Iran.
21. Shahnavaaz, M., M. Nuorzadeh, A. Gholami and E. Panahpoor. 2016. The effects of mulch on soil physical and chemical properties to improve soil conditions and reduce soil loss by wind erosion in sensitive areas. PhD Thesis, 186 pages (in Persian).
22. Siddiqi, R.A. and J.C. Moore. 1981. Polymer stabilization of sandy soils for erosion control. *Transportation Research Record* 827: 30-34.0.
23. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: Page A.L., et al (Eds.), *Methods of Soil Analysis. AgronMonogr 9*, ASA and ASSA, Madison, WI, pages 154-157.
24. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-37.
25. Xiaobin, W., O. Oenema, W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok and C. Dianxiong. 2006. Dust storm erosion and its impact on soil carbon and nitrogen losses in northern China. *Catena*, 66: 221-227.
26. Yan, Y., X. Xin, X. Xu, X. Wang, G. Yang, R. Yan and B. Chen. 2013. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrient under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern china. *Plant and Soil Journal*, 369(1/2): 585-598.
27. Yosino, M. 2002. Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia. *Science in China Series Dearth Science*, 45: 59-70.
28. Zheng, F. 2005. Effects of accelerated soil erosion on soil nutrient loss after deforestation on the Loess Plateau. *Soil Science Society of China*, 15(6): 707-715.