



هدررفت خاک، کربن آلی، فسفر و پتاسیم در اثر فرسایش بین شیاری متأثر از سرعت باد و سطوح مختلف خاکپوش بقایای گیاهی

ساناز پورمیرکمالی^۱ و *مجید محمودآبادی^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش بین شیاری یکی از انواع مهم فرسایش خاک در اراضی کشاورزی است که باعث افت کیفی و هدررفت کمی خاک می شود. هرچند پژوهش های متعددی در زمینه فرسایش بین شیاری انجام شده، مطالعات بسیار کمی در مورد هدررفت خاک، مواد آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین شیاری در شرایط باران متأثر از باد صورت گرفته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر درصدهای مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم در تقابل با سرعت های مختلف باد بر هدررفت خاک، کربن آلی، فسفر و پتاسیم در اثر فرسایش بین شیاری روی دو خاک زراعی مختلف انجام شد.

مواد و روش ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با اعمال سه فاکتور انجام شد. دو نمونه خاک زراعی با حداکثر اندازه ذرات ۲ و ۴/۷۵ میلی متر، در سرعت های مختلف باد (صفر، ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه) و چهار سطح خاکپوش کاه و کلش گندم شامل صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد (معادل ۸۰۰، ۱۶۵۰ و ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، هر یک در سه تکرار مورد آزمایش شبیه سازی باران و باد قرار گرفت. به این منظور، باران با شدت ثابت ۴۰ میلی متر در ساعت به مدت ۴۰ دقیقه ایجاد و میزان هدررفت خاک، کربن آلی، فسفر قابل استفاده و پتاسیم قابل جذب اندازه گیری شد. در نهایت، ارتباط شدت فرسایش بین شیاری متأثر از باد با هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی بررسی شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که هدررفت خاک، کربن آلی، فسفر قابل استفاده و پتاسیم قابل جذب در اثر فرسایش بین شیاری در خاک های مورد مطالعه به ترتیب بین ۸/۱ تا ۱۳۴/۹، ۰/۰۲ تا ۱/۲۸، $۰/۰۳ \times ۱۰^{-۳}$ تا $۱/۴۵ \times ۱۰^{-۳}$ و ۰/۰۰۷ تا ۰/۱۶۰ میلی گرم بر مترمربع در ثانیه متغیر بود. با افزایش درصد خاکپوش، میزان هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی به طور معنی داری کاهش یافت. در مقابل، افزایش سرعت باد، باعث افزایش معنی دار هدررفت خاک و عناصر غذایی شد. هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین شیاری در شرایط عدم وزش باد و عدم وجود خاکپوش، با افزایش اندازه خاکدانه ها کاهش یافت. در هر دو خاک مورد مطالعه، هدررفت کربن آلی بیش تر از هدررفت فسفر و پتاسیم بود. ارتباط هدررفت خاک با هدررفت کربن آلی و نیز با هدررفت فسفر، قوی تر از ارتباط با هدررفت پتاسیم بود.

* مسئول مکاتبه: mahmoodabadi@uk.ac.ir

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که وزش بادهای فرساینده در زمان وقوع بارش باران، می‌تواند هدررفت خاک، کربن آلی، فسفر قابل‌استفاده و پتاسیم قابل‌جذب در اثر فرسایش بین‌شیاری را افزایش دهد. هر چند وزش باد باعث افزایش قدرت جریان رواناب و تشدید هدررفت می‌شود ولی وجود خاکپوش با ایجاد زبری در سطح و نیز محافظت خاک سطحی از برخورد مستقیم قطرات باران، میزان هدررفت را کاهش می‌دهد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، بهترین میزان خاکپوش کاه و کلش گندم برای کنترل هدررفت خاک در اثر فرسایش بین‌شیاری برابر با ۶۰ درصد تعیین شد. بنابراین حفظ و یا ایجاد این میزان پوشش سطحی در اراضی کشاورزی می‌تواند تا حد زیادی از هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین‌شیاری متأثر از وزش باد جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌ساز هم‌زمان باد و باران، فرسایش بین‌شیاری، فرساینده‌ی باد، کاه و کلش گندم، کربن آلی خاک

مقدمه

جداسازی و تخلیه ذرات خاک غنی از مواد آلی از این جهت اهمیت دارد که حفظ ذخیره کربن آلی تأثیر زیادی بر سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد (۱۸). کربن آلی در تشکیل ساختمان پایدار و بهبود رفتار رطوبتی و ذخیره عناصر غذایی خاک نقش اساسی دارد (۱۲، ۱۷ و ۱۸). طبق آمار در مقیاس جهانی، هدررفت ۰/۵۷ تا ۱/۳۳ میلیارد تن کربن آلی از خاک به‌وسیله فرآیندهای مرتبط با فرسایش بین‌شیاری گزارش شده است (۱۶). از این‌رو، فرسایش بین‌شیاری کارکرد زیادی در چرخه جهانی کربن دارد (۴۴). در کنار هدررفت کربن آلی، هدررفت عناصر غذایی در اثر فرسایش بین‌شیاری نیز در منابع گزارش شده است (۳۵ و ۴۶). هدررفت عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر پرمصرف گیاه بنا به نقش به‌سزایی که این عناصر در حفظ حاصلخیزی و باروری خاک دارند، دارای اهمیت است (۱ و ۴۹). از آنجا که بخش قابل‌توجهی از فسفر در لایه سطحی خاک وجود دارد بیش‌ترین هدررفت آن نیز به‌وسیله برخورد قطرات باران و جریان رواناب سطحی صورت می‌گیرد (۱۶). علاوه بر این، بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت پتاسیم موجود در رواناب با افزایش انرژی جنبشی قطرات

تأثیر فرسایش بین‌شیاری در هدررفت خاک و عناصر غذایی، به‌ویژه در اراضی کشاورزی بسیار قابل‌توجه است (۲، ۲۲ و ۳۳). هرچند هدررفت خاک در اثر فرسایش شیاری بیش‌تر از فرسایش بین‌شیاری است، اما فرسایش بین‌شیاری سهم قابل‌توجهی در جداسازی و انتقال انتخابی ذرات ریز غنی از کربن آلی و عناصر غذایی دارد (۲۹ و ۳۸). این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل ضعف پوشش گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۷). فرسایش بین‌شیاری شامل جدا شدن ذرات خاک در اثر برخورد قطره‌های باران و انتقال این ذرات در اثر پاشمان و جریان ورقه‌ای کم‌عمق است (۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۳۴). در این نوع فرسایش، به‌دلیل ماهیت انتخابی آن در جداسازی و انتقال ذرات خاک (۲، ۳، ۲۲، ۳۶، ۳۹ و ۴۷)، رسوبات فرسایش یافته معمولاً غنی از ذرات ریز از جمله سیلت، رس، کربن آلی و فسفر نسبت به خاک اصلی هستند (۱۶، ۱۹ و ۲۹). با این‌که فرآیندهای فرسایش بین‌شیاری به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده، پژوهش‌های به نسبت کم‌تری در زمینه تأثیر آن بر هدررفت مواد آلی و عناصر غذایی و روش‌های کاهش این هدررفت صورت گرفته است.

سطح خاک خشک نسبت به خاک مرطوب کمتر است (۳۲). محمودآبادی و رجب‌پور (۱۳۹۶) دریافتند که وجود رطوبت اولیه $6/5$ و $4/5$ درصد به ترتیب در دو خاک لوم شنی و شنی باعث مهار قابل توجه فرسایش بادی در حداکثر سرعت باد 10 متر بر ثانیه می‌شود (۲۱).

بررسی تأثیر باران بر فرسایش خاک و تولید رواناب و رسوب، تنها بخشی از واقعیت طبیعی است؛ چنانچه در بیش‌تر پژوهش‌ها، اثر باد بر انرژی برخورد قطرات باران بر سطح خاک نادیده گرفته شده است (۵، ۲۳، ۳۴). در شرایط طبیعی، باران متأثر از باد به دلیل افزایش سرعت و انحراف زاویه برخورد و در نتیجه افزایش انرژی جنبشی قطرات، فرسایش بادی را تشدید می‌شود. هم‌چنین باد با تأثیر بر سرعت و تلاطم جریان رواناب سطحی، فرسایش بادی را تشدید می‌دهد (۲۳).

بخش‌های وسیعی از کشور ایران همواره در معرض وزش بادهای شدید بوده که وزش این بادهای رگبارهای منجر به وقوع فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در واقع، سرعت‌های مختلف باد بر قدرت فرسایش بادی در باران و پارامترهای هیدرولیکی جریان سطحی و همچنین شدت فرسایش بین‌شیاری تأثیرگذار است (۳۳). این در حالی است که تاکنون پژوهش‌های جامع در زمینه مهار فرسایش بین‌شیاری و هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی در باران‌های متأثر از باد در ایران انجام نشده و بررسی‌های صورت گرفته در دنیا نیز اندک است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر درصدهای مختلف خاکپوش کاه و کلس گندم در تقابل با سرعت‌های مختلف باد بر مهار هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین‌شیاری با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز هم‌زمان باران و باد در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد.

باران افزایش می‌یابد (۴۸). بنابراین، فرسایش بین‌شیاری از طریق هدرروی ذرات غنی از مواد آلی و عناصر غذایی منجر به کاهش کیفیت خاک و افت تولیدات کشاورزی می‌شود (۳۱). با این رویکرد، علاوه بر اندازه‌گیری میزان هدررفت خاک در اثر فرسایش بین‌شیاری، ارزیابی میزان هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی نیز ضروری است (۴۳).

یکی از اقدامات حفاظتی مؤثر برای کاهش هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین‌شیاری، به‌کارگیری مالچ یا خاکپوش در سطح خاک است (۳۸، ۴۲ و ۵۱). یکی از مهم‌ترین انواع خاکپوش، بقایای گیاهی است که از سه طریق باعث کنترل هدررفت خاک و عناصر غذایی می‌شود: ۱) مالچ یک سپر دفاعی در برابر نیروی فرساینده باران است که از برخورد مستقیم و انتقال انرژی جنبشی قطرات باران بر سطح خاک جلوگیری می‌کند (۲۵)، ۲) مالچ به‌عنوان یک عامل زبری باعث کاهش سرعت جریان و در نتیجه انرژی فرساینده رواناب می‌شود (۲۴، ۳۰، ۳) از طریق ایجاد موانع فیزیکی در سطح، نفوذ آب در خاک را افزایش می‌دهد (۷، ۱۰ و ۳۷). در میان انواع مختلف خاکپوش‌ها، خاکپوش کاه و کلس یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای مهار فرسایش است، زیرا به‌طور معمول، روشی ارزان، آسان و مؤثر است (۶ و ۲۸).

یکی از روش‌های کنترل فرسایش بادی، افزایش مقاومت برشی لایه سطحی خاک است. رطوبت اولیه خاک از عوامل مهم و مؤثر بر مقاومت برشی است که با ایجاد چسبندگی بین ذرات (۱۱) و افزایش جرم مخصوص خاکدانه (۳۲)، باعث کاهش فرسایش پذیری خاک و در نتیجه مهار فرسایش بادی می‌شود (۲۱ و ۲۶). با افزایش رطوبت خاک، شدت جدا شدن و انتقال ذرات در اثر فرسایش بادی کاهش می‌یابد (۵۰). هم‌چنین سرعت برشی آستانه فرسایش، در

مواد و روش‌ها

دستگاه شبیه‌ساز هم‌زمان باران و باد: برای بررسی تأثیر فرسایش بین‌شیاری متأثر از وزش باد بر هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی، از دستگاه شبیه‌ساز هم‌زمان باران و باد موجود در آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده شد. این دستگاه از دو سامانه شامل (۱) سامانه تونل باد و (۲) سامانه شبیه‌ساز باران تشکیل شده است. با استفاده از این دستگاه که برای اولین بار در ایران طراحی و ساخته شده، امکان مطالعه جداگانه و یا هم‌زمان عوامل فرساینده باد، باران و رواناب فراهم شده است. دستگاه یاد شده با این دستگاه می‌توان سرعت‌های مختلف باد بین ۰/۵ تا ۳۰ متر بر ثانیه و شدت‌های باران در دامنه ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر بر ساعت را در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی ایجاد نمود (۱۴ و ۳۴).

آماده‌سازی نمونه‌های خاک: برای انجام آزمایش‌ها، در ابتدا یک خاک با کاربری زراعی انتخاب و نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری (عمق لایه شخم) آن صورت گرفت. پس از انتقال نمونه خاک به آزمایشگاه، در هوا خشک شد. برای بررسی اثر توزیع اندازه خاکدانه بر هدررفت خاک و عناصر غذایی، نمونه مورد نظر از دو الک ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر به‌طور جداگانه عبور داده شد. به این ترتیب، دو نمونه خاک با حداکثر اندازه ذرات یادشده و با اسامی C_{2mm} و C_{4.75mm} تهیه شد (۱۴ و ۳۴). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه شامل بافت به روش هیدرومتری (۸)، توزیع اندازه خاکدانه با استفاده از سری الک، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع به‌وسیله هدایت سنج الکتریکی، پ‌هاس خاک (pH) در گل اشباع به کمک pH متر مدل Jenway، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۲۷)، کربن آلی از روش والکی و بلک (۴۵)، پتاسیم قابل‌جذب به روش

عصاره‌گیری با استات آمونیوم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل Jenway و همچنین فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۲۷).

تیمارهای مورد مطالعه: آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل سطوح مختلف خاکپوش، سرعت‌های متفاوت باد و خاک‌های با توزیع اندازه خاکدانه متفاوت بود. تیمارهای مورد مطالعه شامل ترکیبی از چهار سطح خاکپوش شامل صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد (معادل ۸۰۰، ۱۶۵۰ و ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سه سرعت باد شامل صفر (بدون وزش باد)، ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری (۱۴) و دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm} (با حداکثر اندازه ذرات ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر) بود.

نحوه انجام آزمایش‌ها: برای انجام آزمایش‌ها از یک تشتک به ابعاد ۱۰۰ در ۵۰ در ۵ سانتی‌متر از جنس آهن گالوانیزه استفاده شد. در حین انجام آزمایش‌ها، تشتک در شیب سه درصد تنظیم می‌شد. انتخاب این طول و شیب برای تشتک به‌منظور جلوگیری از احتمال ایجاد شیار طی آزمایش‌های فرسایش بین‌شیاری بود (۲۰). در کف این تشتک یک صفحه مشبک فلزی برای اشباع از زیر خاک و همچنین نفوذ آب در خاک قرار داده شد. برای انجام هر آزمایش، نمونه خاک به تشتک منتقل و با دقت تسطیح شد. سپس با توجه به سطوح مورد نظر خاکپوش، بقایای کاه و کلش گندم به‌طور کاملاً یکنواخت در سطح خاک قرار داده شد. در ادامه، نمونه خاک به‌صورت تدریجی و طی مدت ۲۴ ساعت از زیر اشباع شد (۴۱). بعد از تخلیه زهکش، بلافاصله نمونه‌ها در معرض باران با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و به‌طور هم‌زمان سرعت مورد نظر باد قرار گرفت. مدت هر آزمایش با توجه به‌مدت لازم برای رسیدن به شرایط پایدار ۴۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: در پایان، اثر سه عامل خاکپوش، سرعت باد و خاک بر شدت فرسایش بین‌شیاری، هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. برای تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین، برای نمایش اثر تیمارهای مورد مطالعه و رسم گراف‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه: نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو نمونه خاک C_{2mm} و C_{4.75mm} در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. هر دو نمونه خاک در کلاس بافت لوم رسی قرار گرفت. میزان pH در محدوده خنثی، نمونه‌ها اندکی شور، مقدار کربنات کلسیم معادل قابل توجه و بیش از ۱۵ درصد و کربن آلی کم‌تر از یک درصد تعیین شد. همچنین، میزان فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب در خاک C_{2mm} به ترتیب ۳/۳۸ و ۲۵۴/۲ و در خاک C_{4.75mm} ۳/۲۵ و ۲۴۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

طی هر آزمایش، نمونه‌های رواناب حاوی رسوب جمع‌آوری و توزین شد. نمونه‌ها به آون متقل و به مدت ۲۴ ساعت و در درجه حرارت ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. بر اساس جرم رسوب نیز مدت هر آزمایش و نیز سطح در معرض فرسایش، میزان هدررفت خاک در اثر فرسایش بین‌شیاری محاسبه شد. علاوه بر این، مقدار قدرت جریان رواناب در هر آزمایش با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

$$\Omega = \rho g q S \quad (1)$$

که در آن، Ω قدرت جریان (وات بر مترمربع)، ρ جرم مخصوص رواناب، g شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه)، q شدت جریان واحد (متر مربع در ثانیه) و S شیب بر حسب متر بر متر است (۳۳). همچنین در نمونه‌های رسوب، میزان کربن آلی به روش Walkley و Black (۴۵)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و فسفر قابل استفاده به روش اولسن اندازه‌گیری شد (۲۷). هدررفت عناصر یادشده با لحاظ غلظت در هر نمونه رسوب و رسوب تولیدی در هر آزمایش محاسبه شد.

جدول ۱- مقادیر برخی ویژگی‌های فیزیکی دو نمونه خاک مورد مطالعه.

Table 1. The amounts of some physical properties of the soil samples.

C _{4.75mm}	C _{2mm}	واحد Unit	ویژگی Property
31.8	31.6	%	شن Sand
32.9	33.3	%	سیلت Silt
35.3	35.1	%	رس Clay
40.8	42.1	%	رطوبت اشباع Saturated moisture
1.4	1.5	g cm ⁻³	جرم مخصوص ظاهری Bulk density
0.46	0.31	mm	میانگین قطر خاکدانه Mean weight diameter of aggregates

جدول ۲- مقادیر برخی ویژگی‌های شیمیایی دو نمونه خاک مورد مطالعه.

Table 2. The amounts of some chemical properties of the soil samples.

C _{4.75mm}	C _{2mm}	واحد Unit	ویژگی Property
18.11	16.25	%	کربنات کلسیم معادل Eq. Calcium carbonate
2.18	2.23	%	گچ Gypsum
0.225	0.234	%	کربن آلی Organic carbon
4.48	4.21	dS m ⁻¹	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
7.85	7.69	-	پ‌هاس خاک pH
3.25	3.38	mg kg ⁻¹	فسفر قابل استفاده Available phosphorus
245.1	254.2	mg kg ⁻¹	پتاسیم قابل جذب Available potassium

میاتا و همکاران (۲۴) نیز گزارش کردند خاکپوش کاه و کلش به‌عنوان عامل زبری، از طریق کاهش سرعت جریان باعث کاهش قدرت جریان و انرژی فرساینده رواناب می‌شود. از طرفی، خاکپوش کاه و کلش با ایجاد موانع فیزیکی و افزایش نفوذ آب در خاک، می‌تواند تولید رواناب را کاهش دهد (۷، ۱۰، ۳۳ و ۳۷). از دلایل افزایش کلی قدرت جریان با افزایش سرعت باد می‌توان به افزایش سرعت جریان در اثر سرعت باد اشاره کرد (۳۳). علاوه بر این، در سطوح مختلف سرعت باد و درصد خاکپوش، اختلاف معنی‌داری بین قدرت جریان در دو خاک مورد مطالعه وجود نداشت.

قدرت جریان رواناب: نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مورد مطالعه بر قدرت جریان در جدول ۳ آمده است. اثر مستقل و دوگانه خاکپوش و سرعت باد ($P < 0.01$) و نیز اثر سه‌گانه خاکپوش، سرعت باد و خاک ($P < 0.01$) بر قدرت جریان معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر خاکپوش و سرعت باد در دو خاک مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. به‌طورکلی در هر دو خاک مورد مطالعه، افزایش درصد خاکپوش و کاهش سرعت باد، قدرت جریان کاهش معنی‌داری نشان داد هر چند در بسیاری موارد، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. کمترین قدرت جریان، در شرایط بدون وزش باد و سرعت ۶ متر بر ثانیه و پوشش ۹۰ درصد خاکپوش بود. در این زمینه،

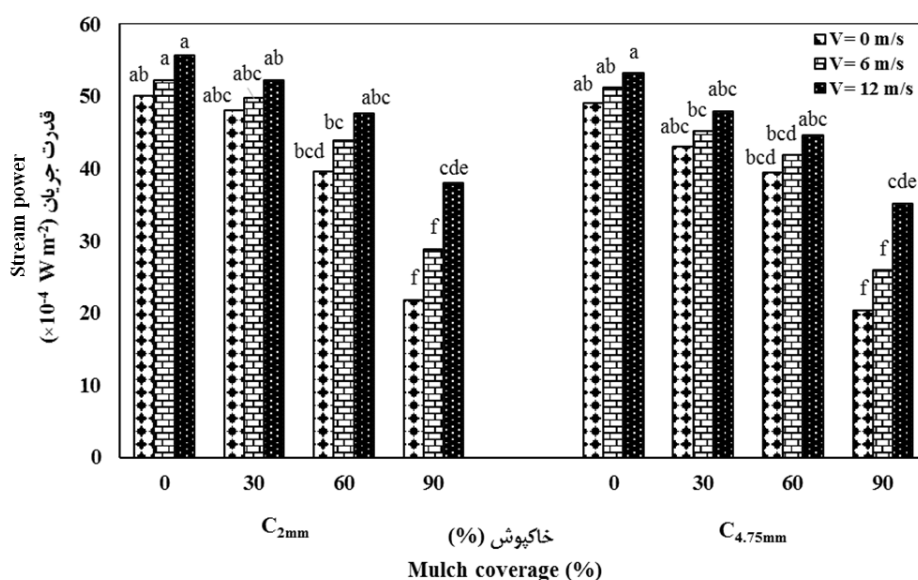
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر عوامل مورد مطالعه بر قدرت جریان و هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی.

Table 3. Analysis of variance for the effects of factors on stream power and the losses of soil, organic carbon and nutrients.

میانگین مربعات Mean square		درجه آزادی D.F.	منبع تغییر Source of variance			
هدررفت پتاسیم Potassium loss	هدررفت فسفر Phosphorus loss	قدرت جریان Stream power	فرسایش بین‌شیاری Interrill erosion	هدررفت کربن آلی SOC loss		
7.3**	7.9**	1463.0**	42563.2**	0.97**	3	درصد خاکپوش (A) Coverage percentage
0.001**	1.7**	449.2**	20051.1**	0.81**	2	سرعت باد (B) Wind velocity
2.0**	3.5**	21.3 ^{ns}	4766.1**	0.08**	2	خاک (C) Soil
2.7**	7.9**	141.3**	6447.9**	0.21**	6	A×B
4.8**	1.3**	24.5 ^{ns}	1094.2*	0.02**	3	A×C
4.3*	3.5**	39.3 ^{ns}	614.5*	0.02*	2	B×C
6.0**	1.3**	58.1*	384.0 ^{ns}	0.01*	6	A×B×C
9.3	1.4	25.0	170.9	0.005	48	خطا Error
9.9	2.2	24.3	1.12	1.17	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns} عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

^{ns} not signification, * signification at the 5% level of probability, ** signification at the 1% level of probability.



شکل ۱- مقایسه میانگین قدرت جریان در درصدهای مختلف خاکپوش و سرعت باد در دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm}.

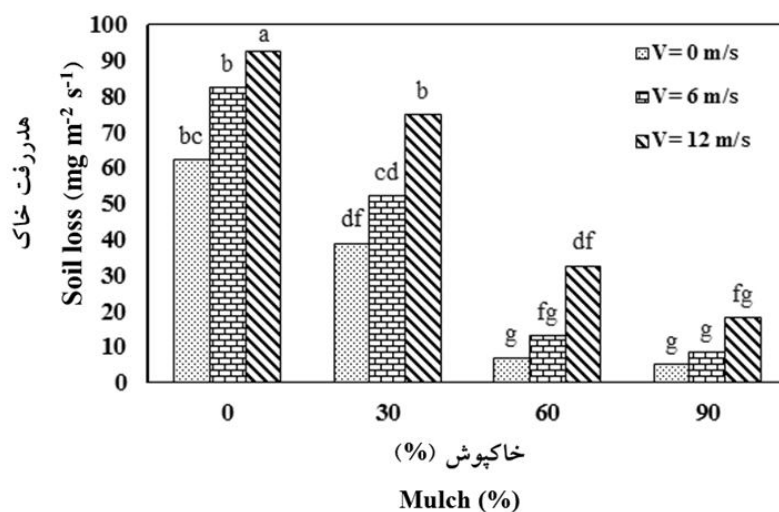
Figure 1. Mean comparison of stream power at different mulch percentages and wind velocities in C_{2mm} and C_{4.75mm} soils.

بر این اساس، درصد خاکپوش ۶۰ درصد به‌عنوان بهترین درصد خاکپوش برای کنترل هدررفت خاک تعیین شد. کاهش شدت فرسایش بین‌شیاری با افزایش درصد خاکپوش بقایا در پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شده است (۴، ۹، ۱۳ و ۴۰). در این زمینه، دوریگ و همکاران (۴) با استفاده از شبیه‌ساز باران و با اعمال خاکپوش ۲۰ درصدی بقایا مشاهده کردند که فرسایش خاک تا ۹۰ درصد نسبت به سطح بدون پوشش، کاهش یافت.

شکل ۳ تأثیر متقابل درصدهای مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم را بر شدت فرسایش بین‌شیاری در دو خاک C_{2mm} و $C_{4.75mm}$ نشان می‌دهد. با افزایش درصد خاکپوش تا ۶۰ درصد، شدت فرسایش بین‌شیاری در هر دو خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. علاوه بر دلایلی که در بالا در زمینه نقش خاکپوش کاه و کلش در افزایش زبری سطح و کاهش سرعت رواناب بیان شد (۲۴ و ۴۰)، وجود بقایای گیاهی در سطح از شدت جداشدن و حمل ذرات خاک جلوگیری می‌کند (۱۳). شکل ۳ هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که در خاک بدون پوشش، شدت فرسایش بین‌شیاری در خاک C_{2mm} به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک $C_{4.75mm}$ بود در حالی‌که با ایجاد سطوح مختلف خاکپوش، تفاوت معنی‌داری در شدت فرسایش بین‌شیاری دو خاک مشاهده نشد. در سطح خاک بدون پوشش، خاک C_{2mm} با داشتن ذرات ریزتر نسبت به خاک $C_{4.75mm}$ ، زبری کم‌تری ایجاد می‌کند (۳۴). علاوه بر این، فرسایش بین‌شیاری ممکن است به‌صورت انتخابی عمل کند و بیش‌تر ذرات ریز و یا سبکی که به آسانی جدا می‌شوند را انتقال دهد (۱۶). اهمیت اندازه ذرات خاکدانه موجود در سطح خاک در کنترل فرسایش‌پذیری و در نتیجه شدت فرسایش خاک در پژوهش‌های گذشته تأکید شده است (۳۴ و ۳۸).

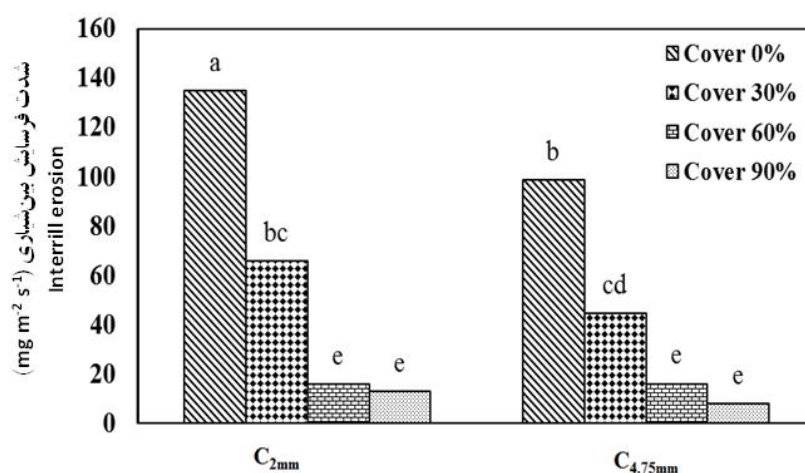
هدررفت خاک ناشی از فرسایش بین‌شیاری: نتایج نشان داد که اثر مستقل هر سه عامل ($P < 0.01$)، اثر دوگانه خاکپوش و سرعت باد ($P < 0.01$) و نیز اثر دوگانه خاک با خاکپوش و سرعت باد ($P < 0.05$) بر میزان هدررفت ناشی از فرسایش بین‌شیاری معنی‌دار بود (جدول ۳). شدت فرسایش بین‌شیاری در خاک‌های C_{2mm} و $C_{4.75mm}$ به‌ترتیب بین ۱۳/۱ تا ۱۳۴/۹ و ۸/۱ تا ۹۸/۷ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه متغیر بود. نتایج نشان داد با افزایش سرعت باد به ۱۲ متر بر ثانیه، میزان هدررفت خاک در سطوح صفر، ۳۰ و ۶۰ درصد خاکپوش باعث افزایش معنی‌دار هدررفت خاک نسبت به شاهد (بدون وزش باد) شد (شکل ۲). با این وجود در همه سطوح خاکپوش، بین میزان هدررفت خاک در دو سرعت صفر و ۶ متر بر ثانیه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط باران متأثر از باد، به‌علت افزایش سرعت و نیز تغییر زاویه برخورد قطرات باران با سطح خاک، انرژی جنبشی قطرات و در نتیجه شدت فرسایش بین‌شیاری افزایش می‌یابد (۵ و ۳۴). لازم به ذکر است که در پژوهش‌های مرتبط با اثر باد به تنهایی (فرسایش بادی)، حتی مقادیر اندک رطوبت اولیه خاک می‌تواند باعث کاهش معنی‌دار فرسایش بادی شود (۱۱، ۲۱ و ۲۶). این در حالی است که در پژوهش حاضر، نمونه‌های خاک بعد از اشباع، در معرض بارش باران متأثر از وزش باد قرار گرفت که با شرایط وزش باد به تنهایی و اثرگذاری رطوبت در این شرایط متفاوت است.

نتایج هم‌چنین نشان داد که در هر سه سرعت باد، افزایش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش نسبت به تیمار شاهد (بدون پوشش)، باعث کاهش معنی‌دار هدررفت خاک شد (شکل ۲). البته بین دو سطح ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش در هر سه سرعت باد اختلاف معنی‌داری بین مقادیر هدررفت خاک مشاهده نشد.



شکل ۲- مقایسه هدررفت خاک در سرعت‌های مختلف باد و درصد‌های متنوع خاکپوش.

Figure 2. Comparison the soil loss at different wind velocities and different percentages of mulch.



شکل ۳- مقایسه میانگین مقادیر شدت فرسایش بین‌شیاری در درصد‌های مختلف خاکپوش و دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm}.

Figure 3. Mean comparison of the interrill erosion rates in C_{2mm} and C_{4.75mm} soils at different mulch percentages.

بر هدررفت کربن آلی ($P < 0/05$)، پتاسیم قابل جذب و نیز فسفر قابل استفاده ($P < 0/01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که در دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm}، هدررفت کربن آلی به ترتیب بین ۰/۰۲ تا ۱/۲۸ و ۰/۰۲ تا ۰/۹۲ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه، هدررفت فسفر قابل استفاده بین ۰/۰۵ تا ۱/۴۵ و ۰/۰۳ تا ۱/۰۸ میکروگرم بر مترمربع در ثانیه و هدررفت پتاسیم قابل جذب بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۰۴ و ۰/۰۷ تا ۰/۰۰۷

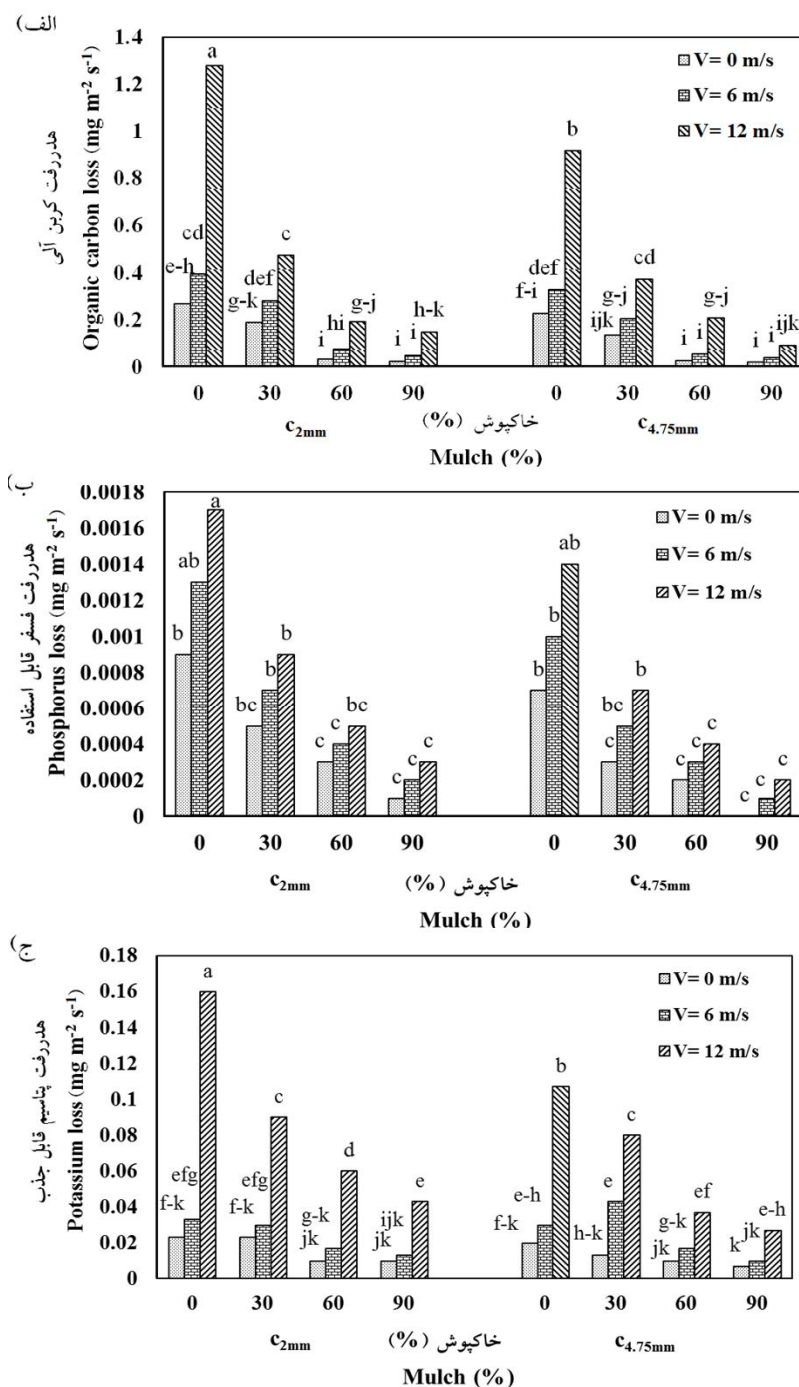
هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر جداگانه خاکپوش، سرعت باد و خاک و نیز اثرات دوگانه خاکپوش با سرعت باد و خاک بر هدررفت کربن آلی، فسفر قابل استفاده و پتاسیم قابل جذب معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول ۳) هم‌چنین اثر دوگانه سرعت باد و خاک بر هدررفت کربن آلی و پتاسیم قابل جذب ($P < 0/05$) و فسفر قابل استفاده ($P < 0/01$) و نیز اثر سه‌گانه عوامل یادشده

۰/۱۶۰ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه متغیر است. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که در هر دو خاک مورد مطالعه، هدررفت کربن آلی بیش‌تر از هدررفت فسفر و پتاسیم است. از دلایل اصلی این موضوع مقدار بیش‌تر کربن آلی نسبت به دو عنصر غذایی دیگر در دو خاک مورد مطالعه است که در رسوب حاصل از فرسایش نیز غلظت بالاتری نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بیش‌تر سطوح سرعت باد و درصد خاکپوش، بین دو خاک مورد مطالعه از نظر میزان هدررفت کربن آلی و پتاسیم، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴ الف و ج). هدررفت کربن آلی و پتاسیم در شرایط عدم وزش باد بر سطوح فاقد پوشش در خاک C_{2mm} به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک $C_{4.75mm}$ بود. این در حالی بود که هدررفت فسفر قابل‌استفاده در همه سطوح سرعت باد و درصد خاکپوش، اختلاف معنی‌داری بین دو خاک مورد مطالعه نداشت (شکل ۴ ب). در شرایط عدم وزش باد بر سطح فاقد پوشش، خاک C_{2mm} به‌دلیل هدررفت بیش‌تر خاک، هدررفت بیش‌تر کربن آلی و پتاسیم را نشان می‌دهد. در واقع، اختلاف در ویژگی‌های خاک سطحی نظیر اندازه خاکدانه، اثر قابل‌توجهی در میزان هدررفت خاک و انتخاب‌پذیری ذرات ریز (۲۹ و ۳۴) و در نتیجه میزان هدررفت کربن آلی و پتاسیم از خاک داشته است (۱۵).

به‌طور کلی، با افزایش درصد پوشش، میزان هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی کاهش نشان داد هرچند در برخی موارد این کاهش هدررفت، معنی‌دار نبود (شکل ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بهترین درصد پوشش برای کنترل هدررفت کربن آلی

و فسفر قابل‌استفاده در خاک C_{2mm} در سرعت‌های ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه برابر با ۶۰ درصد و در شرایط عدم وزش باد برابر با ۳۰ درصد خاکپوش و در خاک $C_{4.75mm}$ و در سرعت‌های ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه به‌ترتیب ۳۰ و ۶۰ درصد خاکپوش تعیین شد (شکل ۴ الف و ب). این در حالی بود که در شرایط عدم وزش باد، اختلاف معنی‌داری در هدررفت کربن آلی از خاک $C_{4.75mm}$ بین سطوح مختلف خاکپوش مشاهده نشد (شکل ۴ الف). درصد پیشنهادی خاکپوش برای کنترل معنی‌دار هدررفت پتاسیم قابل‌جذب در خاک C_{2mm} در سرعت‌های ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه به‌ترتیب برابر با ۶۰ و ۹۰ درصد و در خاک $C_{4.75mm}$ در هر دو سرعت باد ۶۰ درصد تعیین شد. در شرایط عدم وزش باد در هر دو خاک مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری در هدررفت پتاسیم قابل‌جذب بین سطوح مختلف خاکپوش مشاهده نشد.

در هر دو خاک مورد مطالعه در سطوح صفر و ۳۰ درصد خاکپوش، اختلاف بین هدررفت کربن آلی در سرعت‌های مختلف باد معنی‌دار بود (شکل ۴ الف). در خاک بدون پوشش C_{2mm} و در خاک $C_{4.75mm}$ تحت پوشش ۳۰ درصد، اختلاف بین هدررفت فسفر قابل‌استفاده در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و شاهد (عدم وزش باد) معنی‌دار و در سایر موارد غیرمعنی‌دار بود (شکل ۴ ب). به‌علاوه در هر دو خاک مورد مطالعه، سرعت ۱۲ متر بر ثانیه باد باعث افزایش معنی‌دار هدررفت پتاسیم قابل‌جذب نسبت به شرایط عدم وزش باد شده است. در بیش‌تر موارد دیگر، اختلاف معنی‌داری بین سرعت ۶ متر بر ثانیه و عدم وزش باد از نظر میزان هدررفت پتاسیم قابل‌جذب مشاهده نشد (شکل ۴ ج).



شکل ۴- اثرات متقابل درصد خاکپوش، سرعت باد و خاک بر میانگین هدررفت (الف) کربن آلی، (ب) فسفر قابل استفاده و (ج) پتاسیم قابل جذب.

Figure 4. Interactions of mulch percentage, wind velocity and soil on the losses of a) organic carbon, b) available phosphorus, and c) absorbable potassium.

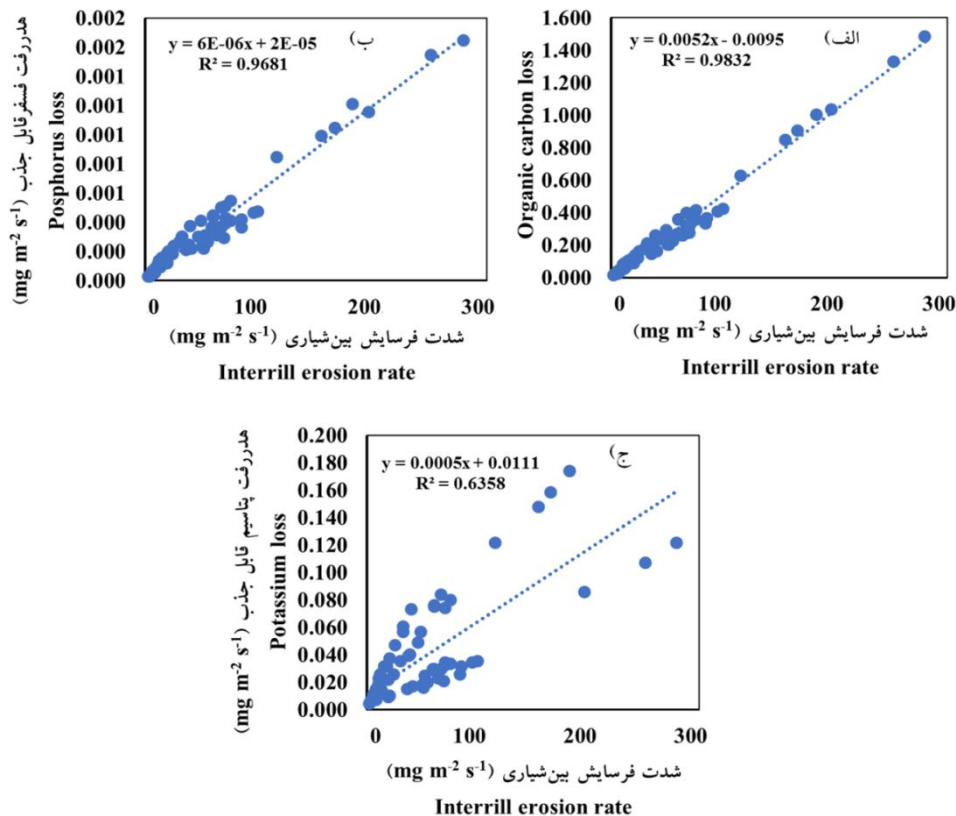
هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشخص می‌شود. در این مناطق، بارش رگبارهای توام با وزش باد می‌تواند به‌طور قابل توجهی کربن آلی خاک را کاهش داده (۴۸) و بر چرخه کربن

نتایج اهمیت مهار هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین‌شیاری را از طریق حفظ و بهبود خاکپوش بقایای گیاهی نشان می‌دهد. از طرفی، نقش سرعت باد به‌ویژه در سرعت‌های بالا بر تشدید

آلی و عناصر غذایی از خاک می‌شود (۱۲، ۱۵ و ۳۸). از طرفی، در سرعت‌های بالاتر باد و یا درصد کم‌تر خاکپوش، انرژی فرساینده قطرات باعث خرد شدن بیش‌تر خاکدانه‌ها می‌شود (۴۶). در نتیجه، با افزایش خرد و ریزتر شدن ذرات، هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی نیز افزایش نشان می‌دهد. نتایج هم‌چنین نشان داد که ارتباط هدررفت کربن آلی ($R^2=0/98$) و فسفر ($R^2=0/98$) با هدررفت خاک، قوی‌تر از ارتباط مربوط به پتاسیم ($R^2=0/76$) بود (شکل ۵). یکی از دلایل احتمالی این است که فسفر از طریق اتصال با ترکیبات آلی فرسایش می‌یابد (۲۹ و ۴۶)، ولی پتاسیم اتصال کم‌تری با ترکیبات آلی داشته (۴۸) و از روند مشابه با کربن آلی و فسفر پیروی نمی‌کند.

تأثیر بگذار (۱۸). علاوه بر این، افزایش هدررفت خاک و در نتیجه کربن آلی می‌تواند با افزایش هدررفت فسفر و پتاسیم هم‌زمان رخ دهد. در واقع، بخشی از این عناصر غذایی در اتصال با ترکیبات آلی هستند (۱ و ۲۸) و بنابراین هدررفت آن‌ها با افزایش سرعت باد دارای روند افزایشی است.

ارتباط بین هدررفت خاک و کربن آلی و عناصر غذایی: شکل ۵ بیانگر ارتباط بین هدررفت خاک با هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین‌شیاری است. با افزایش فرسایش بین‌شیاری، هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این یافته نشان می‌دهد که افزایش فرسایش بین‌شیاری از طریق تشدید جداسازی و انتقال انتخابی (۲۹) ذرات باعث تخلیه بیش‌تر کربن



شکل ۵- ارتباط بین شدت فرسایش بین‌شیاری و هدررفت (الف) کربن آلی، (ب) فسفر قابل استفاده و (ج) پتاسیم قابل جذب.

Figure 5. Relationship between intertill erosion rate and the losses of a) organic carbon, b) available phosphorus, and c) absorbable potassium.

نتیجه گیری

کربن آلی و فسفر قابل استفاده و پتاسیم قابل جذب نیز تشدید می شود. در واقع، بقایای گیاهی از طریق کاهش شدت فرسایش بین شیار، باعث کاهش هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی از سطح خاک می شود. علاوه بر این وجود خاکدانه های درشت تر در سطح خاک در مهار فرسایش بین شیار اثرگذار بود. یافته های این پژوهش روشن ساخت که توجه به حفاظت خاک از طریق حفظ خاکپوش حاصل از بقایای گیاهی در اراضی کشاورزی می تواند از هدررفت خاک، کربن آلی و عناصر غذایی در اثر فرسایش بین شیار حد زیادی جلوگیری کند.

یافته های این پژوهش نشان داد که بارش باران هم زمان با وزش بادهای فرساینده می تواند هدررفت خاک در اثر فرسایش بین شیار را تشدید کند. در مقابل، حفظ و یا ایجاد خاکپوش بقایای گیاهی به میزان ۶۰ درصد، می تواند باعث کاهش قابل توجه هدررفت خاک در اثر فرسایش بین شیار شود. هر چند وزش باد باعث افزایش قدرت جریان رواناب می شود، وجود خاکپوش با ایجاد زبری در سطح و نیز محافظت از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح خاک، تا حد زیادی از هدررفت خاک جلوگیری می کند. هم چنین در اثر فرسایش بین شیار، هدررفت

منابع

1. Ali, B., Shah, G.A., Traore, B., Shah, S.A.A., Al-Solaimani, S.G.M., Hussain, Q., ... and Muhammad, S. 2019. Manure storage operations mitigate nutrient losses and their products can sustain soil fertility and enhance wheat productivity. *Journal of Environmental Management*. 241: 468-478.
2. Armstrong, A., Quinton, J.N., Heng, B.C.P., and Chandler, J.H. 2011. Variability of interrill erosion at low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*. 36: 1. 97-106.
3. Asadi, H., Moussavi, A., Ghadiri, H., and Rose, C.W. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology*. 406: 1-2. 73-81.
4. Döring, T.F., Brandt, M., Heß, J., Finckh, M.R., and Saucke, H. 2005. Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crops Research*. 94: 2-3. 238-249.
5. Erpul, G., Gabriels, D., Cornelis, W.M., Samray, H.N., and Guzelordu, T. 2008. Sand detachment under rains with varying angle of incidence. *Catena*. 72: 3. 413-422.
6. Foltz, R.B., and Dooley, J.H. 2003. Comparison of erosion reduction between wood strands and agricultural straw. *Trans ASAE*. 46: 5. 1389-1398.
7. Foltz, R.B., and Wagenbrenner, N.S. 2010. An evaluation of three wood shred blends for post-fire erosion control using indoor simulated rain events on small plots. *Catena*. 80: 2. 86-94.
8. Gee, G.W., and Or, D. 2002. Particle-size analysis. P 255-293. J.H. Dane and G.C. Topp (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 4. Physical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
9. Gholami, L., Sadeghi, S.H., and Homaei, M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff, and sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 1. 268-278.
10. Groen, A.H., and Woods, S.W. 2008. Effectiveness of aerial seeding and straw mulch for reducing post-wildfire erosion, north-western Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire*. 17: 5. 559-571.
11. Jain, R., Jain, P.K., and Bhadauria, S.S. 2010. Computational approach to predict soil shear strength. *Engineering Science and Technology*. 2: 3874-3885.

12. Jin, K., Cornelis, W.M., Gabriels, D., Baert, M., Wu, H.J., Schiettecatte, W., ... and Hofman, G. 2009. Residue cover and rainfall intensity effects on runoff soil organic carbon losses. *Catena*. 78: 1. 81-86.
13. Jordán, A., Zavala, L.M., and Gil, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*. 81: 1. 77-85.
14. Kheirabadi, H., Mahmoodabadi, M., Jalali, V., and Naghavi, H. 2018. Sediment flux, wind erosion and net erosion influenced by soil bed length, wind velocity and aggregate size distribution. *Geoderma*, 323: 22-30.
15. Koiter, A.J., Owens, P.N., Petticrew, E.L., and Lobb, D.A. 2017. The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. *Catena*. 153: 194-206.
16. Kuhn, N.J., Armstrong, E.K., Ling, A.C., Connolly, K.L., and Heckrath, G. 2012. Interrill erosion of carbon and phosphorus from conventionally and organically farmed Devon silt soils. *Catena*. 91: 94-103.
17. Kuhn, N.J., Hoffmann, T., Schwanghart, W., and Dotterweich, M. 2009. Agricultural soil erosion and global carbon cycle: controversy over? *Earth Surface Processes and Landforms*. 34: 7. 1033-1038.
18. Lal, R. 2014. Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*. 69: 6. 186A-192A.
19. Legout, C., Leguedois, S., and Le Bissonnais, Y. 2005. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements. *European Journal of Soil Science*. 56: 2. 225-238.
20. Mahmoodabadi, M., and Cerdà, A. 2013. WEPP calibration for improved predictions of interrill erosion in semi-arid to arid environments. *Geoderma*. 204: 75-83.
21. Mahmoodabadi, M., and Rajabpour, H. 2017. Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24: 2. 167-183. (In Persian)
22. Martinez-Mena, M., Castillo, V., and Albaladejo, J. 2002. Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology*. 45: 3-4. 261-275.
23. Marzen, M., Iserloh, T., de Lima, J.L., Fister, W., and Ries, J.B. 2017. Impact of severe rain storms on soil erosion: Experimental evaluation of wind-driven rain and its implications for natural hazard management. *Science of The Total Environment*. 590: 502-513.
24. Miyata, S., Kosugi, K.I., Gomi, T., and Mizuyama, T. 2009. Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests. *Water Resources Research*. 45: W06402, doi:10.1029/2008WR007270.
25. Mwangi, S.B., Msanya, B.M., Mtakwa, P.W., Kimaro, D.N., Deckers, J., and Poesen, J. 2016. Effectiveness of mulching under miraba in controlling soil erosion, fertility restoration and crop yield in the Usambara Mountains, Tanzania. *Land Degradation & Development*. 27: 4. 1266-1275.
26. Noorzadehadad, M., and Bahrami, H. 2015. Investigating the relationship of dust concentration with surface moisture and particle size distribution of soil using a portable wind erosion simulator: A case study of the west regions of Khuzestan province. *Journal of Geographical Research on Desert Areas*. 3: 1. 167-183. (In Persian)
27. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2007. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Springer Science & Business Media. 993p.
28. Prats, S.A., Abrantes, J.R., Crema, I.P., Keizer, J.J., and de Lima, J.L. 2017. Runoff and soil erosion mitigation with sieved forest residue mulch strips under controlled laboratory conditions. *Forest Ecology and Management*. 396: 102-112.

29. Quinton, J.N., Catt, J.A., and Hess, T.M. 2001. The selective removal of phosphorus from soil. *Journal of Environmental Quality*. 30: 2. 538-545.
30. Rahma, A.E., Lei, T., Shi, X., Dong, Y., Zhou, S., and Zhao, J. 2013. Measuring flow velocity under straw mulch using the improved electrolyte tracer method. *Journal of Hydrology*. 495: 121-125.
31. Ramos, M.C., and Martínez-Casasnovas, J.A. 2006. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedès region (NE Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 113: 1-4. 356-363.
32. Ravi, S., Zobeck, T.M., Over, T.M., Okin, G.S., and Odorico, P. 2006. On the effect of moisture bonding forces in air-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion. *Sedimentology*. 53: 3. 597-609.
33. Rezaei Arshad, R., and Mahmoodabadi, M. 2018. Simultaneous effects of wind and rain on hydraulic parameters of sheet flow and interrill erosion rate. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 8: 2. 1-22. (In Persian)
34. Rezaei Arshad, R., Mahmoodabadi, M., Farpoor, M.H., and Fekri, M. 2019. Experimental investigation of rain-induced splash and wash processes under wind-driven rain. *Geoderma*. 337: 1164-1174.
35. Richardson, A.E., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., Smith, S.E., ... and Oberson, A. 2011. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil*. 349: 1-2. 121-156.
36. Rienzi, E.A., Fox, J.F., Grove, J.H., and Matocha, C.J. 2013. Interrill erosion in soils with different land uses: The kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. *Catena*. 107: 130-138.
37. Robichaud, P.R., Jordan, P., Lewis, S.A., Ashmun, L.E., Covert, S.A., and Brown, R.E. 2013. Evaluating the effectiveness of wood shred and agricultural straw mulches as a treatment to reduce post-wildfire hillslope erosion in southern British Columbia, Canada. *Geomorphology*. 197: 21-33.
38. Shi, P., Arter, C., Liu, X., Keller, M., and Schulin, R. 2017. Soil aggregate stability and size-selective sediment transport with surface runoff as affected by organic residue amendment. *Science of The Total Environment*. 607: 95-102.
39. Shi, Z.H., Fang, N.F., Wu, F.Z., Wang, L., Yue, B.J., and Wu, G.L. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology*. 454: 123-130.
40. Shi, Z.H., Yue, B.J., Wang, L., Fang, N.F., Wang, D., and Wu, F.Z. 2013. Effects of mulch cover rate on interrill erosion processes and the size selectivity of eroded sediment on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 1. 257-267.
41. Sirjani, E., and Mahmoodabadi, M. 2014. Effects of sheet flow rate and slope gradient on sediment load. *Arabian Journal of Geosciences*. 7: 1. 203-210.
42. Tejada, M., and Gonzalez, J.L. 2007. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. *Soil and Tillage Research*. 93: 1. 197-205.
43. Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., and Montanarella, L. 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau, Joint Research Centre of the European Commission. Space Applications Institute. 34p.
44. Van Oost, K., Quine, T.A., Govers, G., De Gryze, S., Six, J., Harden, J.W., ... and Giraldez, J.V. 2007. The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science*. 318: 5850. 626-629.
45. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 1. 29-38.

46. Wang, G., Wu, B., Zhang, L., Jiang, H., and Xu, Z. 2014. Role of soil erodibility in affecting available nitrogen and phosphorus losses under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*. 514: 180-191.
47. Wang, L., and Shi, Z.H. 2015. Size selectivity of eroded sediment associated with soil texture on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*. 79: 3. 917-929.
48. Wang, Q., Horton, R., and Shao, M. 2002. Effective raindrop kinetic energy influence on soil potassium transport into runoff 1. *Soil Science*. 167: 6. 369-376.
49. Wei, S., Zhang, X., McLaughlin, N. B., Chen, X., Jia, S., and Liang, A. 2017. Impact of soil water erosion processes on catchment export of soil aggregates and associated SOC. *Geoderma*. 294: 63-69.
50. Wiggs, G.F.S., Baird, A.J., and Atherton, R.J. 2004. The dynamic effects of moisture on the entrainment and transport of sand by wind. *Geomorphology*. 59: 13-30.
51. Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M., and Cerdà, A. 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma*. 266: 58-65.



Losses of soil, organic carbon, phosphorous and potassium due to interrill erosion influenced by wind velocity and different levels of plant residue coverage

S. Poormirkamali¹ and *M. Mahmoodabadi²

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,

²Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 09.02.2020; Accepted: 12.12.2020

Abstract

Background and Objectives: Interrill erosion is one of the most important forms of soil erosion in agricultural lands resulting in soil quality decline and nutrients loss. Despite many studies have been done on interrill erosion, few studies have been conducted on the losses of soil, organic carbon (OC) and nutrients due to wind-driven interrill erosion. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effects of different percentages of wheat straw coverage and wind velocities on the losses of soil, OC, phosphorus (P) and potassium (K) following to wind-driven interrill erosion on two contrasting cropland soil samples.

Materials and Methods: The experiment was conducted as factorial in a completely randomized design using three factors. Two soil samples with maximum aggregate sizes of 2 and 4.75 mm covered with four levels of wheat straw mulch including 0 (as control), 30, 60, 90% (equal to 800, 1650, and 3300 kg ha⁻¹) were examined at different wind velocities (0, 6 and 12 m s⁻¹), each at three replicates under simulated rain and winds. Therefore, a constant rainfall intensity of 40 mm h⁻¹ was generated for 40 minutes and the amounts of soil loss, as well as OC, P and K losses were measured. Finally, the relationship of wind-driven interrill erosion rate with the OC, P, and K losses was evaluated.

Results: The results showed that the loss of soil, OC, P, and K in the studied soils ranged from 8.1 to 134.9, 0.02 to 1.28, 0.03×10^{-3} to 1.45×10^{-3} , and 0.007 to 0.160 mg m⁻² s⁻¹, respectively. With increasing the percentage of mulch, the losses were reduced significantly as nonlinear trends. In contrast, higher wind velocities increased the losses of soil and the nutrients. In the absence of wind and coverage, fewer interrill soil losses were found in the soil containing coarser aggregates. The OC loss in the soils was higher than the P and K losses. However, the relationship of soil loss with OC and P losses was closer than that with the K loss.

Conclusion: The findings of this study showed that blowing of erosive winds during a rainfall can intensify the losses of soil and nutrients. However, wind velocity enhances the flow stream power, the mulch coverage can reduce the losses by increasing the surface roughness and conserving the soil surface from the direct impact of raindrops. Moreover, the presence of larger aggregates at the soil surface has an effective influence on the interrill erosion control. Based on the findings of this study, 60% was determined as the optimal coverage of wheat straw to control soil loss due to interrill erosion. Therefore, keeping this amount of plant residue coverage on agricultural soils can considerably constrain the losses of soil and nutrients due to wind-driven interrill erosion.

Keywords: Interrill erosion, Soil organic carbon, Wheat straw, Wind and rain simulator, Wind erosivity

* Corresponding Author; Email: mahmoodabadi@uk.ac.ir

