

Efficiency of plant residue in reducing soil erosion due to interrill and splash at different wind velocities

Sanaz Poormirkamali¹, Majid Mahmoodabadi^{*2}, Vahid Reza Jalali³

1. Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: sanaz_mirkamali@yahoo.com
2. Corresponding Author, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: mahmoodabadi@uk.ac.ir
3. Dept. of Nature Engineering, University of Bojnord, Bojnord, Iran. E-mail: v.jalali@uk.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 04.28.2021

Revised: 02.04.2022

Accepted: 02.06.2022

Keywords:

Mulch,
Rain erosivity,
Rain-induced erosion,
Wind and rain simulator,
Wind erosivity

ABSTRACT

Background and Objectives: Splash and interrill are two important types of rain-induced erosion in agricultural lands. In many parts of the country, erosive winds can increase soil erosion rate by intensifying rain erosivity. One of the most important conservation practices to control erosion is the use of plant residue mulch. The aim of this study was to investigate the effect of different percentages of wheat straw mulch in addition to different wind velocities on soil losses due to interrill and splash using simultaneous rain and wind simulator instrument.

Materials and Methods: For this purpose, an experiment was done in a completely randomized design based on three factors including wind velocity (0, 6 and 12 m s⁻¹ at height of 40 cm), wheat straw mulch (0 (as control), 30, 60, 90%), and soil type (namely C_{2mm} and C_{4.75mm}) each at three replicates. A constant rainfall intensity of 40 mm h⁻¹ was applied on the treated soils for a period of 40 minutes. Interrill erosion as well as up- and down-ward splash materials were measured separately. Finally, the efficiency of different mulch percentages in reducing soil erosion compared to the control (bare soil) at different wind velocities was determined.

Results: The results showed that with increasing the percentage of soil coverage, the soil loss due to interrill and splash was significantly reduced. Also, with increasing wind velocity, interrill erosion and downward splash increased, whereas upward splash decreased, significantly. The efficiency of plant residue mulch in reducing interrill erosion was ranged between 30.7 and 92.8%, while its efficiency in controlling upward and downward splash varied from 3.3 to 81% and 78.9 to 99.9%, respectively. The 60% coverage was introduced as the best mulch percentage.

Conclusion: The findings of this study showed that in wind-driven rains, interrill erosion rate increased with increasing wind velocity. However, it could be reduced by an appropriate coverage of plant residues. In other words, by increasing the percentage of wheat straw mulch, the soil surface is protected from the direct impact of raindrops and hence, interrill and splash erosion rates are reduced, significantly. It was concluded that the efficiency of plant residue in reducing downward splash was more than that in reducing upward splash. In addition, in the presence of plant residue, the downward splash was reduced more than

interrill erosion rate. The results of this study indicate the importance of plant residue as an effective conservation agent in controlling soil erosion in agricultural lands.

Cite this article: Poormirkamali, Sanaz, Mahmoodabadi, Majid, Jalali, Vahid Reza. 2022. Efficiency of plant residue in reducing soil erosion due to interrill and splash at different wind velocities. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (2), 67-86.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19103.2021

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

کار آیی خاکپوش بقایای گیاهی در کاهش فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی در سرعت‌های مختلف باد

ساناز پورمیرکمالی^۱، مجید محمودآبادی^{۲*}، وحیدرضا جلالی^۳

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: sanaz_mirkamali@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mahmoodabadi@uk.ac.ir

۳. گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. رایانامه: v.jalali@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: فرسایش پاشمانی و بین‌شیاری از انواع مهم فرسایش ناشی از باران در اراضی کشاورزی است. در بسیاری از مناطق کشور، وزش باد از طریق تشدید فرسایش‌دگی باران باعث افزایش شدت فرسایش خاک می‌شود. یکی از راهکارهای حفاظتی مهم در مهار فرسایش، استفاده از خاکپوش بقایای گیاهی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر درصدهای مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم در تقابل با سرعت‌های مختلف باد بر شدت فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز هم‌زمان باران و باد انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷	
واژه‌های کلیدی: خاکپوش، شبیه‌ساز هم‌زمان باران و باد، فرسایش ناشی از باران، فرسایش‌دگی باد، فرسایش‌دگی باران	مواد و روش‌ها: به این منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی از طریق ایجاد شدت ۴۰ میلی‌متر در ساعت باران بر روی دو نمونه خاک با حداکثر اندازه ذرات ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر (به ترتیب با اسامی C _{2mm} و C _{4.75mm})، در سرعت‌های مختلف باد (صفر، ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری) و سطوح متفاوت خاکپوش کاه و کلش شامل صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد (معادل ۸۰۰، ۱۶۵۰ و ۳۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) هر یک در سه تکرار انجام شد. میزان فرسایش بین‌شیاری و پاشمان به سمت بالادست و پایین‌دست به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شد. در پایان، درصد کارایی سطوح مختلف خاکپوش در کاهش فرسایش خاک در مقایسه با شاهد (خاک بدون پوشش) در سرعت‌های مختلف باد تعیین شد.
	یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش درصد خاکپوش بقایا، شدت فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش سرعت باد، فرسایش بین‌شیاری و پاشمان پایین‌دست ذرات به‌طور معنی‌داری افزایش و پاشمان بالادست کاهش نشان داد. کارایی خاکپوش در مهار فرسایش بین‌شیاری بین ۳۰/۷ تا ۹۲/۸ درصد و در کاهش پاشمان بالادست و

پایین‌دست ذرات به ترتیب بین ۳/۳ تا ۸۱ درصد و ۷۸/۹ تا ۹۹/۹ درصد تعیین شد. از بین سطوح مورد مطالعه، پوشش ۶۰ درصد خاکپوش، بهترین پاسخ را در مهار فرسایش بین‌شیاری نشان داد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که در باران‌های متأثر از وزش باد، شدت فرسایش بین‌شیاری با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد. با این وجود، از طریق ایجاد پوشش مناسب بقایای گیاهی در سطح خاک می‌توان شدت فرسایش را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در واقع، با افزایش درصد خاکپوش بقایای گیاهی، سطح خاک در برابر برخورد مستقیم قطرات باران محافظت می‌شود و در نتیجه، شدت فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی کاهش می‌یابد. همچنین بقایای گیاهی، کارایی بیش‌تری در کاهش شدت پاشمان به سمت پایین‌دست نسبت به شدت پاشمان بالادست داشت. علاوه بر این در حضور بقایای گیاهی نسبت به شاهد، پاشمان به سمت پایین‌دست بیش‌تر از فرسایش بین‌شیاری کاهش یافت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که با حفظ بقایای گیاهی در اراضی کشاورزی می‌توان اثر فرساینده سرعت باد در تشدید فرسایش ناشی از باران در اراضی کشاورزی را مهار نمود.

استناد: پورمیرکمالی، ساناز، محمودآبادی، مجید، جلالی، وحیدرضا (۱۴۰۱). کارایی خاکپوش بقایای گیاهی در کاهش فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی در سرعت‌های مختلف باد. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۲ (۲)، ۸۶-۶۷.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19103.2021



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه پدیده فرسایش آبی و بادی به‌عنوان تهدید جدی در برابر منابع آب و خاک و در نتیجه بقای بشر محسوب می‌شود. فرسایش خاک پدیده‌ای است که طی آن ذرات خاک به کمک عامل(های) فرساینده از سطح جدا شده و به مکانی دیگر جابجا می‌شوند (۱ و ۲). فرسایش، نتیجه اثر متقابل مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی است که برحسب شرایط خاص منطقه، یک یا چند عامل به‌عنوان عوامل اصلی و تعیین‌کننده نوع فرسایش عمل می‌نمایند (۳ و ۴). آب و باد از عوامل اصلی فرساینده در فرسایش خاک هستند. به‌طور معمول، در مناطق خشک باد نیروی اصلی فرسایش، انتقال رسوب و رسوب‌گذاری است. در حالی‌که در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب فرایندهای فرسایش بیش‌تر توسط جریان آب کنترل می‌شود. در مناطق خشک تا نیمه‌مرطوب ممکن است آب و باد به‌طور کم و بیش در شکل‌دهی عوارض سطح زمین نقش ایفا کنند. بنابراین فرآیند فرسایش، انتقال رسوب و رسوب‌گذاری در مناطق مختلف با توجه به عامل فرساینده متفاوت است (۵). این در حالیست که اثر وزش باد بر فرسایش بین‌شیاری کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

باد یکی از عوامل فرساینده است که می‌تواند موجب تشدید فرسایش آبی نیز شود. وزش باد با تغییر دادن سرعت قطرات باران و زاویه برخورد آن‌ها با خاک می‌تواند در فرسایش آبی دخالت کند. باد همچنین سبب کاهش رطوبت خاک شده و در نتیجه پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد و شرایط را برای فرسایش فراهم می‌آورد (۶). مارزن و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی نشان دادند که انرژی جنبشی اضافی حاصل از وزش باد، فراوانی برخورد قطره باران، سرعت و زاویه برخورد قطره باران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۷). از این‌رو،

وزش باد با تأثیر بر فرایندهای جداشدن و انتقال ذرات، شدت فرسایش ناشی از باران را نسبت به شرایط بدون وزش باد، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (۸).

به‌کارگیری مالچ یا خاکپوش‌های حفاظتی در سطح خاک یکی از روش‌های کارآمد در دنیا محسوب می‌شود. خاکپوش شامل بقایای طبیعی یا مصنوعی است که به سه روش فرسایش خاک را کاهش می‌دهند که عبارتند از: (۱) به‌عنوان یک سپر دفاعی طبیعی در برابر نیروی فرساینده باران عمل کرده و از انتقال مستقیم انرژی فرساینده قطرات باران بر سطح خاک جلوگیری می‌کند و آن را کاهش می‌دهد (۹ و ۱۰) به‌عنوان یک عامل زبری، قدرت جریان و انرژی فرساینده رواناب را کاهش می‌دهد (۱۱، ۱۲ و ۱۳) با ایجاد موانع فیزیکی متعدد، نفوذ آب در خاک را افزایش و در نتیجه باعث کاهش سرعت و مقدار رواناب می‌گردد (۱۴، ۱۵ و ۱۶). بنابراین، به‌کارگیری خاکپوش، یک اقدام مؤثر برای کاهش خسارات ناشی از فرسایش خاک از جمله تخریب خاک در محل و آلودگی آب‌های سطحی در خارج محسوب می‌گردد (۱۷، ۱۸ و ۱۹). یکی از مهم‌ترین انواع خاکپوش، بقایای گیاهی است که به‌عنوان یک عامل زبری عمل می‌کند. خاکپوش بقایای گیاهی همچنین باعث بهبود ویژگی‌های خاک و کاهش فرسایش‌پذیری خاک و در نتیجه کاهش تولید رواناب و رسوب ناشی از فرسایش می‌شود (۱۱، ۲۰ و ۲۱). در نتیجه، به‌کارگیری خاکپوش بقایای گیاهی، اقدامی دو منظوره است که هم باعث حفاظت خاک و هم در درازمدت حاصلخیزی و کیفیت خاک را افزایش می‌دهد (۲۲). با این‌حال، استفاده از بقایای گیاهی هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد و بنابراین سطوح بهینه مالچ به‌منظور جلوگیری از هدر رفتن خاک باید با توجه به نوع خاک و شرایط بارندگی و شیب استفاده شود (۲۳).

آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز همزمان باد و باران انجام شد.

مواد و روش‌ها

دستگاه شبیه‌ساز همزمان باران و باد: در این پژوهش مطالعه فرآیندهای فرسایش بین‌شیاری با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز همزمان باران و باد موجود در آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت. این دستگاه از دو سامانه شامل (۱) سامانه تونل باد و (۲) سامانه شبیه‌ساز باران تشکیل شده است (۲۸ و ۲۹). با استفاده از این دستگاه که برای اولین بار در ایران طراحی و ساخته شده، امکان مطالعه جداگانه و یا همزمان عوامل فرساینده باد و باران و رواناب فراهم شده است. دستگاه یاد شده دارای قابلیت‌ها و مشخصات ویژه‌ای است و قادر است سرعت‌های مختلف باد بین ۰/۵ تا ۳۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری و شدت‌های مختلف باران بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در ساعت را ایجاد نماید (۲۸ و ۲۹).

آماده‌سازی نمونه‌های خاک: در ابتدا یک خاک با کاربری زراعی انتخاب و نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری (عمق لایه شخم) صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه شامل بافت به روش هیدرومتری (۳۰)، توزیع اندازه ذرات ثانویه به روش سری الک، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، واکنش خاک (pH) به‌وسیله pH متر، میزان کربن آلی با استفاده از روش والکی و بلک (۳۱) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۳۲) تعیین شد. خاک مورد مطالعه به‌ترتیب با ۳۵/۱، ۳۳/۳ و ۳۱/۶ درصد رس، سیلت و شن در کلاس بافت لوم رسی قرار گرفت. میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) برابر با ۰/۲۰۶

ابتدا انتخاب نوع بقایای گیاهی ضروری است؛ این انتخاب، بر میزان کارایی، هزینه و در نتیجه، اثربخشی مالچ‌پاشی مؤثر است (۱۶ و ۲۴). میزان کارایی خاکپوش از عوامل مهم در تعیین اثربخشی خاکپوش در کاهش هدررفت خاک در سطوح مختلف است (۲۳).

در میان انواع مختلف خاکپوش‌های بقایای گیاهی، خاکپوش کاه و کلش یکی از مؤثرترین خاکپوش‌ها در دستیابی به مزایای ذکر شده است (۲۵). از مزایای این خاکپوش می‌توان به دسترسی آسان و مقرون به‌صرفه بودن آن اشاره کرد. خاکپوش کاه و کلش توسط بادهای شدید تخریب و هم‌چنین به راحتی تجزیه می‌شود (۲۶). با این‌حال، پژوهش‌های زیادی بیانگر تأثیر مثبت خاکپوش کاه و کلش در کنترل فرسایش خاک است. در مطالعه پروسدیمی و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد خاکپوش کاه و کلش منجر به تاخیر در زمان تشکیل رواناب و هم‌چنین کاهش میانگین غلظت رسوب در رواناب از ۹/۸ به ۳/۰ گرم بر لیتر شد (۲۵). هم‌چنین نتایج پژوهش کیسرا و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که با استفاده از خاکپوش کاه و کلش فرسایش خاک از ۴۳۹ گرم به ۷۳ گرم کاهش یافت؛ به این ترتیب آن‌ها گزارش کردند که استفاده از مالچ به دلیل تأثیر فوری آن بر کنترل جداسازی ذرات خاک تحت تأثیر عوامل فرساینده، می‌تواند به عنوان یک روش مدیریتی مفید برای کنترل فرسایش خاک باشد (۲۷). به‌رغم حجم قابل‌توجه پژوهش‌ها در این زمینه، پژوهش جامعی در جهت ارزیابی کارایی خاکپوش در کاهش هدررفت خاک تحت تأثیر باران متأثر از باد در ایران انجام نشده و در دنیا نیز اندک بوده است. از این‌رو، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم در سرعت‌های مختلف باد بر شدت فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی در دو خاک مختلف در شرایط

شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل سطوح مختلف خاکپوش، سرعت‌های متفاوت باد و خاک‌های با توزیع اندازه ثانویه متفاوت بود که هر یک در سه تکرار اعمال شد. تیمارهای مورد مطالعه ترکیبی از سطوح متفاوت خاکپوش کاه و کلش گندم شامل صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد (معادل ۸۰۰، ۱۶۵۰ و ۳۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) سه سرعت باد (صفر، ۶ و ۱۲ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری) و دو خاک با توزیع اندازه ذرات ثانویه متفاوت با حداکثر اندازه ذرات ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر (C_{2mm} و $C_{4.75mm}$) بود. شکل ۱ نمایی از درصدهای مختلف خاکپوش بقایا در سطح خاک را نشان می‌دهد.

میلی‌متر و جرم مخصوص ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب به دست آمد. هدایت الکتریکی ۴/۳ دسی‌زیمنس بر متر و pH برابر با ۷/۷، کربن آلی ۰/۲۳ درصد و کربنات کلسیم معادل ۱۶/۳ درصد تعیین شد. با توجه به اهمیت توزیع اندازه خاکدانه در هدرفت خاک ناشی از فرسایش بین‌شیاری (۲۸ و ۳۳)، خاک مورد مطالعه به‌طور جداگانه از الک‌های ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد. بر این اساس، دو نمونه خاک با توزیع اندازه ذرات متفاوت ($C_{4.75mm}$ و C_{2mm}) تهیه شد.

نحوه اعمال تیمارها: آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام



شکل ۱- سطوح مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم در سطح خاک شامل صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد.

Figure 1. Different levels of wheat straw mulch at the soil surface including 0 (control), 30%, 60% and 90% coverage.

ساعت از زیر اشباع شد. در ادامه، نمونه‌ها در معرض باران با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و سرعت‌های مختلف باد در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری قرار گرفت. مدت آزمایش ۴۰ دقیقه در نظر گرفته شد و طی این مدت، نمونه‌های رواناب حاوی رسوب از انتهای تشتک جمع‌آوری شد. بعد از خشک کردن نمونه‌ها در آون، جرم رسوب و در نتیجه شدت فرسایش بین‌شیاری برای هر رخداد محاسبه شد.

اندازه‌گیری فرسایش بین‌شیاری: جهت انجام آزمایش‌ها از یک تشتک به ابعاد ۱۰۰ در ۵۰ در ۵ سانتی‌متر از جنس آهن گالوانیزه استفاده و برای جلوگیری از ایجاد شیار در آزمایش‌های فرسایش (۳۴)، تشتک در شیب سه درصد تنظیم شد (شکل ۲). بعد از انتقال خاک مورد مطالعه به تشتک، به‌طور کامل تسطیح و سپس درصد مورد نظر خاکپوش کاه و کلش گندم به‌طور کاملاً یکنواخت در سطح خاک قرار گرفت. سپس نمونه خاک به‌صورت تدریجی و طی ۲۴

پایین دست به طور جداگانه جمع آوری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد. بر اساس جرم ذرات پاشمان یافته و نیز مدت هر رخداد، شدت پاشمان بالادست و پایین دست محاسبه شد.

اندازه‌گیری فرسایش پاشمان بالادست و پایین دست: از دو سینی در بالادست و پنج سینی در پایین دست تشک به منظور اندازه‌گیری ذرات پاشمان یافته بالادست و پایین دست استفاده شد. ابعاد سینی‌ها ۵۰ در ۲۰ سانتی‌متر بود (شکل ۲). پس از اتمام هر آزمایش، ذرات پاشمان شده در سینی‌های بالادست و



شکل ۲- نمایی از تشک حاوی نمونه خاک تیمار شده با خاکپوش و سینی‌های اندازه‌گیری شدت پاشمان.

Figure 2. A view of the pan containing soil sample treated with mulch and the applied trays for measuring splash rate.

فرسایش خاک در تیمار شاهد (بدون خاکپوش) و تیمار مورد نظر بود. مقدار این پارامتر برای هر نمونه خاک در هر سرعت باد به طور جداگانه به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها: در پایان، اثر سه عامل خاکپوش، سرعت باد و خاک بر شدت فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی و نیز کارایی خاکپوش در کاهش فرسایش خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. به این منظور، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین از طریق آزمون

تعیین کارایی خاکپوش در کاهش فرسایش خاک: کارایی هر سطح خاکپوش (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد) نسبت به تیمار شاهد (سطح بدون خاکپوش) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ME = \frac{(E_c - E_t)}{E_c} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، ME کارایی خاکپوش در کاهش شدت فرسایش خاک (درصد)، E_c و E_t به ترتیب میزان

سطح احتمال یک درصد بر شدت فرسایش بین‌شیاری، پاشمان بالادست و پایین‌دست معنی‌دار بود. از طرفی، اثرات متقابل دوگانه نیز بر شدت فرسایش بین‌شیاری، پاشمان بالادست و پایین‌دست اثر معنی‌داری داشتند. هم‌چنین، اثر سه‌گانه عوامل مورد مطالعه بر شدت پاشمان بالادست و پایین‌دست در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و بر شدت فرسایش بین‌شیاری غیرمعنی‌دار بود.

دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارهای مربوط به اثر تیمارها بر شدت فرسایش خاک و نیز کارایی سطوح مختلف خاکپوش با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر عوامل مورد مطالعه بر شدت فرسایش بین‌شیاری، پاشمان بالادست و پایین‌دست ذرات در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اثر جداگانه عوامل در

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مورد مطالعه بر شدت فرسایش بین‌شیاری و پاشمان بالادست و پایین‌دست ذرات خاک.

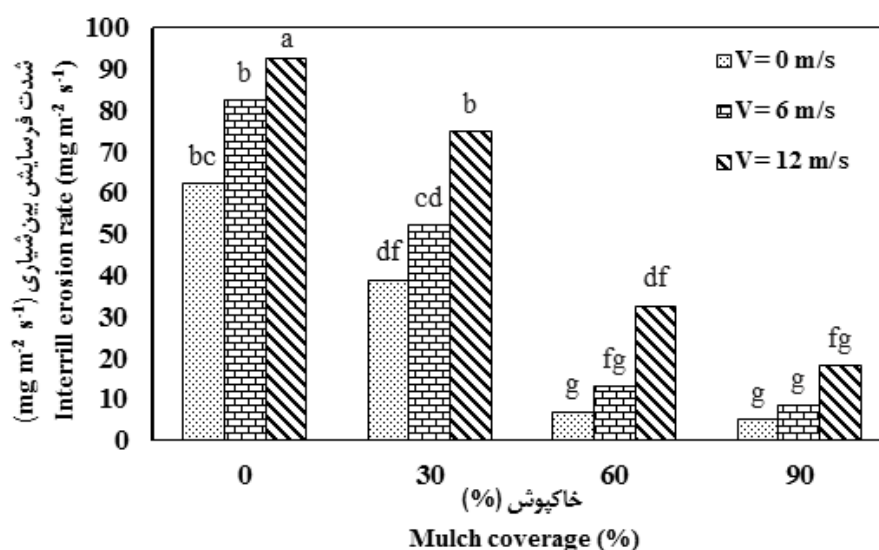
Table 1. Analysis of variance for the effects of applied factors on interrill erosion and upward as well as downward splash.

میانگین مربعات Mean square			درجه آزادی D.F.	منبع تغییر Source of variance
پاشمان پایین‌دست Downward splash	پاشمان بالادست Upward splash	فرسایش بین‌شیاری Interrill erosion		
558.6**	109.1**	42563.2**	3	درصد خاکپوش (A) Coverage percentage
447.4**	222.6**	20051.1**	2	سرعت باد (B) Wind velocity
3.9**	9.8**	4766.1**	1	خاک (C) Soil
221.2**	34.4**	6447.9**	6	A×B
2.0*	0.75**	1094.2*	3	A×C
1.5**	2.1**	614.5*	2	B×C
0.74*	0.24*	384.0 ^{ns}	6	A×B×C
0.29	0.09	170.9	48	خطا Error
2.03	1.07	1.12	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

ns عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد
^{ns} not signification, * Signification at P<0.05, ** Signification at P<0.01.

روان آب را از طریق مقاومت فیزیکی در برابر جریان آب کاهش می‌دهد (۲۷). در این زمینه، دوریگ و همکاران (۲۰۰۵) در یک آزمایش 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 پیدا کرد (۳۷). شی و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه تأثیر خاکپوش کاه و کلش با سطوح پوشش مختلف (۰، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد) بر فرآیندهای تولید رواناب و رسوب دریافتند که میزان فرسایش در خاک پوشیده از خاکپوش نسبت به خاک بدون پوشش تا ۹۵ درصد کاهش یافت (۳۸). هم‌چنین در پژوهش دیگری، میرزایی و محمودآبادی (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف خاکپوش‌های گیاهی بر رفتار رطوبتی خاک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در صورت باقی گذاشتن بقایای گیاهی در سطح خاک مزرعه، میزان تولید رواناب و رسوب از طریق افزایش نفوذ آب در خاک کاهش می‌یابد (۳۹). بنابراین، با افزایش درصد خاکپوش و کاهش سرعت باد شدت فرسایش بین‌شیاری به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین شدت فرسایش بین‌شیاری در تیمار بدون پوشش کاه و کلش (صفر درصد) و سرعت باد ۱۲ متر بر ثانیه برابر با ۹۲/۷ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه و کم‌ترین شدت فرسایش در سطح ۹۰ درصد خاکپوش و بدون وزش باد برابر با ۵/۰۵ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه به‌دست آمد.

فرسایش بین‌شیاری: شکل ۳ تأثیر متقابل درصدهای مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم و سرعت‌های مختلف باد را بر شدت فرسایش بین‌شیاری نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت باد شدت فرسایش بین‌شیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. زیرا در شرایط باران متأثر از باد، شدت فرسایش بین‌شیاری، به‌علت افزایش سرعت برخورد قطرات باران با سطح خاک، اندازه قطر قطرات، انرژی جنبشی قطرات و تغییر زاویه تأثیر افزایش می‌یابد (۲۹ و ۳۵). در این زمینه ارپل و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که سرعت باد بر ویژگی‌های بارش مانند شدت باران، انرژی جنبشی و زاویه برخورد قطرات باران و در نتیجه جداسازی و انتقال ذرات خاک تأثیر می‌گذارد (۳۶). در حقیقت، جهت و سرعت قطرات باران در حال سقوط تحت تأثیر سرعت باد قرار دارند. بنابراین، جدا شدن ذرات خاک توسط باران متأثر از باد را می‌توان از طریق سرعت برخورد، فرکانس برخورد، و زاویه برخورد قطرات باران تعیین کرد (۳۶). مارزن و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که باران متأثر از باد به‌عنوان عامل فعال در فرآیندهای جداسازی و انتقال، می‌تواند باعث افزایش بالقوه در نرخ فرسایش خاک شود (۷). هم‌چنین نتایج نشان داد که در سرعت باد یکسان، با افزایش درصد خاکپوش شدت فرسایش بین‌شیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در واقع، خاکپوش از خاک در برابر ضربه قطرات باران محافظت کرده، سرعت نفوذ را افزایش و سرعت

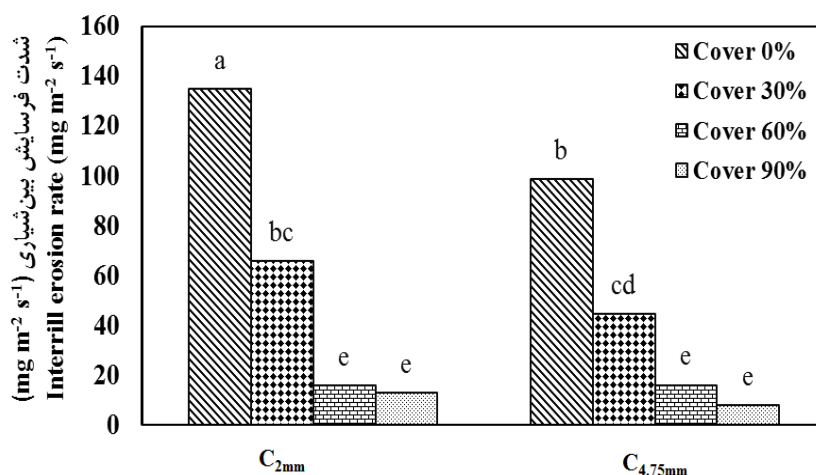


شکل ۳- مقایسه میانگین مقادیر شدت فرسایش بین‌شیاری در سرعت‌های مختلف باد و درصد‌های مختلف خاکپوش.

Figure 3. Mean comparison of the interrill erosion rates at different wind velocities and mulch percentages.

یافته‌ای این است که ذرات ریزتر باعث زبری کم‌تر در سطح خاک بدون پوشش می‌شود (۲۹). علاوه بر این، فرسایش بین‌شیاری ممکن است به صورت انتخابی عمل کرده و ذرات ریز و یا سبکی که به آسانی جدا می‌شوند، بیش‌تر انتقال پیدا کند (۴۳). در این زمینه، کویتز و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که ماهیت انتخابی فرسایش بین‌شیاری در جداسازی و انتقال ذرات خاک، منجر به غنی‌شدگی رسوبات از ذرات ریز می‌شود (۴۴). این‌که اندازه ذرات خاکدانه موجود در سطح خاک نقش مهمی در کنترل فرسایش‌پذیری خاک آن ایفا می‌کند، در پژوهش‌های گذشته تأکید شده است (۲۹ و ۳۳)، که نشان می‌دهد خاک‌های دارای خاکدانه‌های کوچک‌تر نسبت به افزایش شدت باران و یا سرعت باد آسیب‌پذیرتر هستند (۲۹ و ۳۳). نتایج نشان داد که بیش‌ترین شدت فرسایش بین‌شیاری در خاک‌های C_{2mm} و C_{4.75mm}، به ترتیب در تیمار فاقد خاکپوش به ترتیب ۱۳۴/۹ و ۹۸/۷ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه و کم‌ترین شدت فرسایش این دو خاک در سطح ۹۰ درصد خاکپوش به ترتیب با مقادیر ۱۳/۱ و ۸/۱ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه بود.

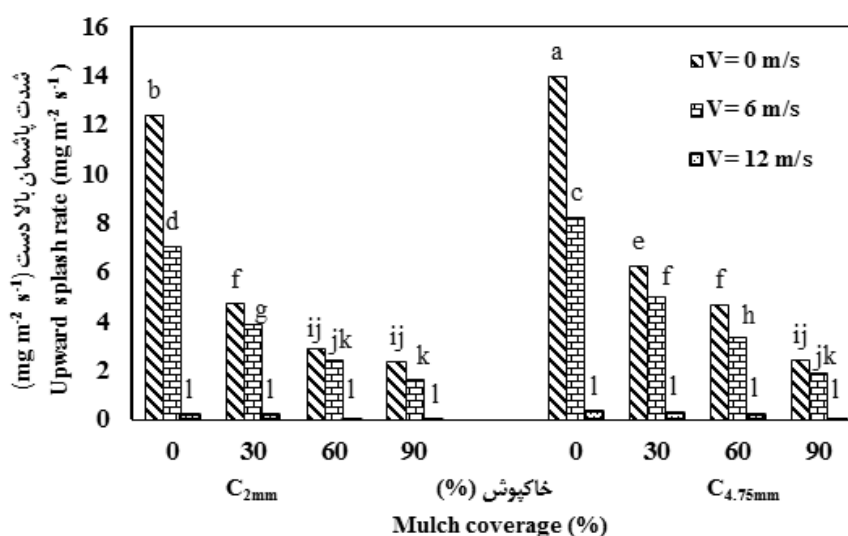
شکل ۴ تأثیر متقابل درصد‌های مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم را بر شدت فرسایش بین‌شیاری در دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm} نشان می‌دهد. با افزایش درصد خاکپوش شدت فرسایش بین‌شیاری در هر دو خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. خاکپوش کاه و کلش به دلیل ایجاد زبری در سطح، باعث کاهش سرعت و فرساینده‌گی جریان رواناب (۴۰) و در نتیجه کاهش معنی‌دار هدررفت خاک می‌شود (۴۱). از طرفی، وجود پوشش در سطح از شدت جداشدن و حمل ذرات خاک جلوگیری کرده و با ایجاد زبری ناشی از موانع فیزیکی کاه و کلش (۴۲) باعث رسوبگذاری ذرات در پشت این موانع شده و از میزان هدررفت خاک از طریق فرسایش بین‌شیاری می‌کاهد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در خاک بدون پوشش، شدت فرسایش بین‌شیاری در خاک با حداکثر اندازه ذرات ۲ میلی‌متر (C_{2mm}) بیش‌تر از خاک با حداکثر اندازه ذرات ۴/۷۵ میلی‌متر (C_{4.75mm}) بود، در حالی‌که با ایجاد خاکپوش در سطح، تفاوت معنی‌داری در شدت فرسایش بین‌شیاری در دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm} مشاهده نمی‌شود (شکل ۴). یکی از دلایل چنین



شکل ۴- مقایسه میانگین مقادیر شدت فرسایش بین‌شیاری در درصدهای مختلف خاکپوش و دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm}.
 Figure 4. Mean comparison of the inter-rill erosion rates at different mulch percentages and C_{2mm} and C_{4.75mm} soils.

گزارش شده است (۱۰، ۱۴ و ۴۰). خاکپوش کاه و کلش گندم به‌عنوان یک عامل حفاظتی این توانایی را دارد که از برخورد مستقیم قطرات باران با ذرات خاک جلوگیری کند و مانع از پاشمان ذرات خاک شود (۲۷). نتایج پژوهش‌های جردن و همکاران (۲۰۱۰) نیز به‌طور مشابهی نشان داد که وجود خاکپوش روی سطح خاک می‌تواند باعث محافظت خاکدانه‌های سطحی در برابر ضربه حاصل از قطرات باران شده و در نتیجه شدت پاشمان ذرات را کاهش می‌دهد (۴۲). هم‌چنین غلامی و همکاران (۲۰۱۳) پس از بررسی کارایی خاکپوش کاه و کلش در تغییر زمان شروع رواناب، مقدار رواناب، فرسایش پاشمانی و تولید رسوب در شرایط آزمایشگاهی دریافتند که خاکپوش کاه و کلش تأثیر معنی‌داری در تغییر زمان و حجم روان آب و شدت پاشمان ذرات خاک می‌گذارد (۴۰).

فرسایش پاشمانی: شکل ۵ تأثیر متقابل سه عامل درصد خاکپوش، سرعت باد و خاک را بر شدت پاشمان بالادست نشان می‌دهد. در هر دو خاک C_{2mm} و C_{4.75mm} با افزایش درصد خاکپوش و افزایش سرعت باد، شدت پاشمان ذرات به سمت بالادست به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در اثر افزایش سرعت باد زاویه قطرات باران از مسیر عمودی خود بیش‌تر منحرف شده و با توجه به زاویه برخورد قطرات به سطح خاک، میزان پاشمان بالادست کاهش می‌یابد. حداکثر بار پاشمان بالادست مربوط به تیمار بدون پوشش کاه و کلش در خاک C_{4.75mm} و در شرایط بدون وزش باد برابر با ۱۳/۶ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه و حداقل بار پاشمان بالادست در تیمار خاکپوش ۹۰ درصد در خاک C_{2mm} و در سرعت باد ۱۲ متر بر ثانیه برابر با ۰/۰۸ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه بود. در برخی پژوهش‌ها نقش خاکپوش در کنترل شدت پاشمان ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران



شکل ۵- اثرات متقابل درصد خاکپوش، سرعت باد و خاک بر شدت پاشمان بالادست ذرات.

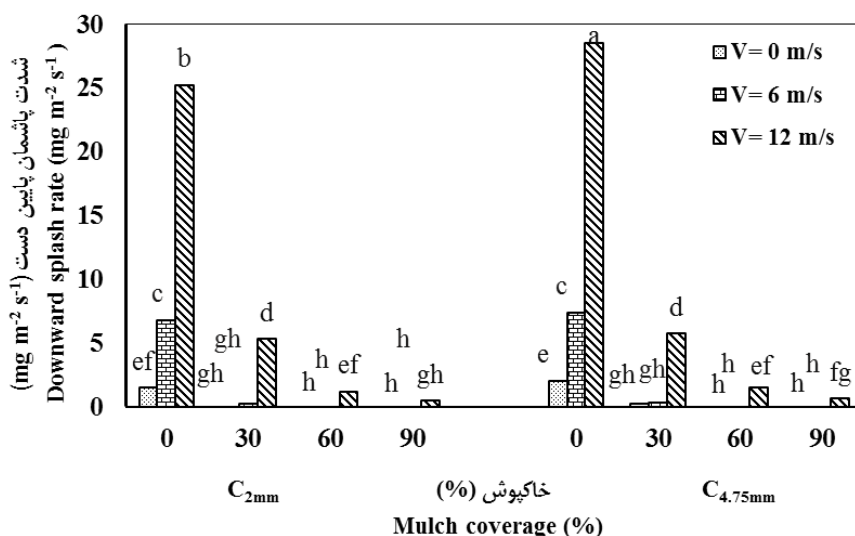
Figure 5. Interaction of mulch coverage, wind velocity and soil on the upward splash rate.

کردند که سرعت باد با تقویت فرسایندهایی باران، ذرات بیش تری را از سطح خاک جدا می کند (۷). در این خصوص ارپل و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که در باران های متأثر از باد، با مایل شدن زاویه برخورد قطرات با سطح و افزایش انرژی جنبشی قطرات باران، انرژی بیش تری برای جداسازی و انتقال ذرات فراهم می شود (۳۵). در حقیقت، افزایش بار پاشمان در مقادیر بالاتر سرعت باد، دلالت بر اثر متقابل دو عامل فرساینده باران و باد در تشدید فرسایش پاشمانی دارد (۴۸). علاوه بر این، در شرایط بدون خاکپوش، شدت پاشمان ذرات به سمت پایین دست در خاک C_{4.75mm} بیشتر از خاک C_{2mm} بود. از دلایل احتمالی این یافته می توان به عمق لایه آب موجود در سطح و نیز انرژی قطرات باران در جداسازی و پرتاب ذرات درشت تر خاک C_{4.75mm} که به نسبت خاک C_{2mm} جرم بیش تری در رسوب دارد، اشاره کرد. این موضوع احتمالاً به عمق لایه آب و اثر آن در شدت جدایش پذیری و جدایش پذیری مجدد ذرات در عمق کم تر از عمق بحرانی مرتبط است. در واقع، وجود خاکدانه های درشت تر در سطح خاک فاقد خاکپوش

شکل ۶ تأثیر متقابل سه عامل درصد خاکپوش، سرعت باد و خاک بر شدت پاشمان پایین دست نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در هر دو خاک C_{4.75mm} و C_{2mm}، با افزایش درصد خاکپوش و کاهش سرعت باد، شدت پاشمان پایین دست به طور معنی داری کاهش یافت که بر خلاف شدت پاشمان بالادست ذرات بود که با افزایش سرعت باد کاهش نشان داد؛ زیرا در اثر افزایش سرعت باد، زاویه قطرات باران از مسیر عمودی خود بیش تر منحرف شده و با توجه به زاویه برخورد قطرات به سطح خاک، میزان پاشمان بالادست کاهش و پاشمان پایین دست افزایش می یابد (۲۹، ۳۵ و ۳۶). نتایج همچنین با یافته های لاتانزی و همکاران (۱۹۷۴) و صادقی و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد که دریافتند با افزایش مقدار خاکپوش بقایای گیاهی، مقدار فرسایش خاک به وسیله پاشمان حاصل از قطرات باران کاهش می یابد (۴۵) و (۴۶). در واقع خاکپوش کاه و کلش انرژی قطرات باران را هنگام برخورد با سطح خاک جذب کرده و در نتیجه از جداسازی ذرات خاک جلوگیری می کند (۴۷). همچنین، مارزن و همکاران (۲۰۱۶) گزارش

پایین دست ذرات در دو خاک C_{2mm} و $C_{4.75mm}$ به‌رغم تفاوت در اندازه خاکدانه، معنی‌داری نبود. به‌عبارتی، در حضور پوشش بقایای گیاهی در سطح، خاکپوش مشارکت بیش‌تری نسبت به خاک محافظت‌شده زیرین در کنترل شدت جداشدن ذرات در اثر برخورد قطرات باران دارد.

$C_{4.75mm}$ از یک طرف و عمق کم لایه آب موجود در سطح این خاک از طرف دیگر، باعث می‌شود که در این خاک، بخش بیش‌تری از سطح خاک در معرض برخورد مستقیم قطرات باران باشد و در نتیجه میزان پاشمان ذرات در خاک $C_{4.75mm}$ بیش‌تر از خاک C_{2mm} دیگر به‌دست آید (۴۹ و ۵۰). از طرفی، نتایج نشان داد که در شرایط حضور خاکپوش، پاشمان



شکل ۶- اثرات متقابل درصد خاکپوش، سرعت باد و خاک بر شدت پاشمان بالادست ذرات.

Figure 6. Interaction of mulch coverage, wind velocity and soil on the downward splash rate.

کاهش گندم، اختلاف معنی‌داری در کاهش هدررفت خاک نشان نداد. به‌عبارتی پوشش ۶۰ درصد خاکپوش، بهترین گزینه برای مهار فرسایش بین‌شیاری است. از طرف دیگر، بین سرعت‌های مختلف باد در سطوح ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش، تفاوت معنی‌داری در میانگین کارایی خاکپوش مشاهده نشد. این در حالی بود که در سطح خاکپوش ۳۰ درصد، کارایی خاکپوش در بیش‌ترین سرعت باد (۱۲ متر بر ثانیه) بیش‌تر از کارایی آن در دو سرعت باد صفر و ۶ متر بر ثانیه در هر دو خاک مورد مطالعه بود. این موضوع نشان می‌دهد که در بادهای فرساینده با ایجاد حتی ۳۰ درصد خاکپوش در سطح خاک می‌توان فرسایش

کارایی خاکپوش در کاهش هدررفت خاک: جدول ۲ مقادیر میانگین کارایی سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش را در کاهش هدررفت خاک ناشی از فرسایش بین‌شیاری در دو خاک C_{2mm} و $C_{4.75mm}$ و در سرعت‌های مختلف باد نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که میزان فرسایش بین‌شیاری در دو خاک مورد مطالعه بسته به سرعت باد، با استفاده از خاکپوش، بین ۳۰/۷ تا ۹۲/۸ درصد کاهش می‌یابد. در هر دو خاک مورد مطالعه، با افزایش درصد خاکپوش از ۳۰ به ۶۰ درصد، کارایی آن در مهار فرسایش بین‌شیاری به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این در حالی بود که درصد ۶۰ و ۹۰ درصد بقایای گیاهی و

کارایی خاکپوش بقایای گیاهی در کاهش فرسایش ... / ساناز پورمیرکمالی و همکاران

بین‌شیاری را با کارایی بیش‌تری نسبت به سرعت‌های کم‌تر باد (صفر و ۶ متر بر ثانیه) کاهش داد. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که در اغلب موارد، کارایی خاکپوش در کاهش فرسایش بین‌شیاری در دو خاک C_{2mm} و $C_{4.75mm}$ ، تفاوت معنی‌داری ندارد. نتایج این پژوهش مبنی بر کارایی معنی‌دار خاکپوش بقایای گیاهی در کاهش هدررفت خاک، با یافته‌ها گذشته همخوانی دارد (۳۷، ۳۹، ۴۷ و ۵۱).

جدول ۲- مقایسه میانگین بین درصد کارایی سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش در کاهش فرسایش بین‌شیاری در سرعت‌های مختلف باد و دو خاک مورد مطالعه.

Table 2. Mean comparison among the efficiency of 30, 60 and 90% coverage in reducing interrill erosion at different wind velocities and soil types.

میانگین Mean	درصد خاکپوش Coverage percentage			سرعت باد Wind velocity	خاک Soil
	90	60	30		
69.7 ^A	90.9 ^a	87.6 ^a	30.7 ^d	بدون وزش باد No wind	C_{2mm}
68.2 ^A	89.8 ^a	82.8 ^a	32.1 ^d	۶ متر بر ثانیه 6 m s ⁻¹	
80.2 ^A	90.2 ^a	86.5 ^a	64.0 ^b	۱۲ متر بر ثانیه 12 m s ⁻¹	
	90.3 ^A	85.6 ^A	42.3 ^B	میانگین Mean	
76.5 ^A	92.8 ^a	89.2 ^a	47.4 ^c	بدون وزش باد No wind	$C_{4.75mm}$
72.8 ^A	90.0 ^a	85.6 ^a	42.9 ^{cd}	۶ متر بر ثانیه 6 m s ⁻¹	
78.6 ^A	92.4 ^a	80.8 ^a	62.7 ^b	۱۲ متر بر ثانیه 12 m s ⁻¹	
	91.7 ^A	85.2 ^A	51.0 ^B	میانگین Mean	

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار کارایی خاکپوش در کاهش شدت فرسایش بین‌شیاری است
Similar letters indicate no significant effect of plant residue on reducing interrill erosion

جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. کارایی خاکپوش در کاهش پاشمان بالادست ذرات بین ۳/۳ تا ۸۱ درصد و در کاهش پاشمان پایین‌دست بین ۷۸/۹ تا ۹۹/۹ درصد متغیر بود. این یافته نشان می‌دهد که اولاً کارایی خاکپوش در کاهش پاشمان پایین‌دست ذرات

مقادیر میانگین کارایی خاکپوش در کاهش هدررفت خاک ناشی از پاشمان بالادست و پایین‌دست ذرات در دو خاک C_{2mm} و $C_{4.75mm}$ و در سرعت‌های مختلف باد و سطوح متفاوت خاکپوش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد کاه و کلش گندم به‌ترتیب در

بیشتر از کارایی آن در کاهش پاشمان بالادست است و دوما کارایی آن در مهار پاشمان پایین دست بیشتر از فرسایش بین شیار (جدول ۲) است. چنین می توان استنباط کرد که نقش بقایای گیاهی در کاهش جداسازی ذرات خاک در اثر برخورد مستقیم قطرات باران بارزتر از نقش آن در کاهش انتقال ذرات در اثر جریان ورقه‌ای است.

جدول ۳- مقایسه میانگین بین درصد کارایی سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش در کاهش پاشمان بالادست در سرعت‌های مختلف باد و دو خاک مورد مطالعه.

Table 3. Mean comparison among the efficiency of 30, 60 and 90% coverage in reducing upward splash at different wind velocities and soil types.

میانگین Mean	درصد خاکپوش Coverage percentage			سرعت باد Wind velocity	خاک Soil
	90	60	30		
73.3 ^A	81.0 ^a	76.7 ^{ab}	62.1 ^c	بدون وزش باد No wind	C _{2mm}
62.9 ^A	76.7 ^{ab}	66.2 ^{bc}	45.6 ^{de}	۶ متر بر ثانیه 6 m s ⁻¹	
27.6 ^B	57.1 ^{cd}	22.4 ^g	3.3 ^h	۱۲ متر بر ثانیه 12 m s ⁻¹	
	71.6 ^A	55.1 ^{AB}	37.0 ^B	میانگین Mean	
66.3 ^A	76.5 ^{ab}	66.9 ^{bc}	55.4 ^{cd}	بدون وزش باد No wind	C _{4.75mm}
58.7 ^A	76.9 ^{ab}	59.9 ^c	39.2 ^{ef}	۶ متر بر ثانیه 6 m s ⁻¹	
30.6 ^B	53.5 ^{cd}	28.4 ^{fg}	10.0 ^h	۱۲ متر بر ثانیه 12 m s ⁻¹	
	69.0 ^A	51.7 ^{AB}	34.9 ^B	میانگین Mean	

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار کارایی خاکپوش در کاهش شدت فرسایش بین شیار است
Similar letters indicate no significant effect of plant residue on reducing interrill erosion

جدول ۴- مقایسه میانگین بین درصد کارایی سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد خاکپوش در کاهش پاشمان پایین دست در سرعت‌های مختلف باد و دو خاک مورد مطالعه.

Table 4. Mean comparison among the efficiency of 30, 60 and 90% coverage in reducing downward splash at different wind velocities and soil types.

میانگین Mean	درصد خاکپوش Coverage percentage			سرعت باد Wind velocity	خاک Soil
	90	60	30		
94.7 ^{AB}	99.8 ^a	96.3 ^{abc}	88.1 ^d	بدون وزش باد No wind	C _{2mm}
98.4 ^A	99.4 ^{ab}	99.0 ^{ab}	96.9 ^{abc}	۶ متر بر ثانیه 6 m s ⁻¹	
90.8 ^B	98.2 ^{abc}	95.3 ^{bc}	78.9 ^e	۱۲ متر بر ثانیه 12 m s ⁻¹	
	99.1 ^A	96.9 ^A	88.0 ^B	میانگین Mean	
94.9 ^{AB}	99.9 ^a	96.5 ^{abc}	88.2 ^d	بدون وزش باد No wind	C _{4.75mm}
97.7 ^A	99.1 ^{ab}	98.2 ^{abc}	95.7 ^{abc}	۶ متر بر ثانیه 6 m s ⁻¹	
90.8 ^B	97.8 ^{abc}	94.7 ^c	79.9 ^e	۱۲ متر بر ثانیه 12 m s ⁻¹	
	98.9 ^A	96.5 ^A	87.9 ^B	میانگین Mean	

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار کارایی خاکپوش در کاهش شدت فرسایش بین شیاری است

Similar letters indicate no significant effect of plant residue on reducing interrill erosion

نتیجه گیری

گندم در سطح خاک، شدت فرسایش بین شیاری و پاشمانی به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرد. همچنین، مشخص شد که هرچند خاک‌های با اندازه‌های مختلف خاکدانه در شرایط بدون عامل حفاظتی (خاکپوش)، اختلاف معنی داری در شدت فرسایش از خود نشان می‌دهند، ولی در شرایط حضور خاکپوش، شدت فرسایش بین شیاری و پاشمانی در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی داری ندارد. از طرفی، کارایی خاکپوش در کاهش پاشمان پایین دست ذرات بیش تر از کارایی آن در کاهش پاشمان بالادست است. به علاوه، کارایی خاکپوش در

یافته‌های این پژوهش دلالت بر اهمیت سرعت باد بر تشدید فرسایش بین شیاری و پاشمانی داشت. نتایج بیانگر نقش معنی دار سرعت باد بر افزایش فرساینده‌گی قطرات باران به ویژه در خاک فاقد خاکپوش بود. از طرفی نتایج نشان داد که هر چند افزایش سرعت باد به عنوان عامل فرساینده، می‌تواند باعث افزایش فرسایش بین شیاری و پاشمان پایین دست ذرات شود، ولی با حفظ و یا ایجاد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک می‌توان این هدررفت را به طور معنی داری کاهش داد. با افزایش درصد خاکپوش کاه و کلش

برخورد مستقیم قطرات باران بارزتر از نقش آن در کاهش انتقال ذرات در اثر جریان ورقه‌ای است.

مه‌ار فرسایش پاشمانی بیش‌تر از فرسایش بین‌شیاری است. یافته‌های این پژوهش روشن ساخت که نقش بقایای گیاهی در کاهش جداسازی ذرات خاک در اثر

منابع

1. Visser, S.M., Sterk, G., and Ribolzi, O. 2004. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid regions, *Journal of Arid Environments*. 59: 4.699-717.
2. Zhi-An, L.I., Bi, Z.O.U., Han-Ping, X.I.A., Yong-Zhen, D.I.N.G., Wan-Neng, T.A.N., and Sheng-Lei, F.U. 2008. Role of low-molecule-weight organic acids and their salts in regulating soil pH, *Pedosphere*. 18: 2. 137-148.
3. Comino, J.R., Iserloh, T., Lassu, T., Cerdà, A., Keestra, S.D., Prosdocimi, M., and Sinoga, J.R. 2016. Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in Spanish and German vineyards, *Science of the Total Environment*. 565: 1165-1174.
4. Field, J.P., Breshears, D.D., and Whicker, J.J. 2009. Toward a more holistic perspective of soil erosion: why aeolian research needs to explicitly consider fluvial processes and interactions, *Aeolian Research* 1: 1-2.9-17.
5. Xu, J., Yang, J., and Yan, Y. 2006. Erosion and sediment yields as influenced by coupled aeolian and fluvial processes: the Yellow River, China, *Geomorphology*. 73: 1-2. 1-15.
6. Refahi, H.Gh. 2007. *Water Erosion and its Control*. The Fifth Edition. Tehran University Press, 671p. (In Persian)
7. Marzen, M., Iserloh, T., de Lima, J.L., and Ries, J.B. 2016. The effect of rain, wind-driven rain and wind on particle transport under controlled laboratory conditions, *Catena*. 145: 47-55.
8. 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.
9. Mwango, 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.
10. Alliaume, F., Rossing, W.A.H., Tittonell, P., Jorge, G., and Dogliotti, S. 2014. Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems, *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 183: 127-137.
11. Blanco, H., and Lal, R. 2008. *Principle of Soil Conservation and Management*, Springer. 617p.
12. 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: 6.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.

17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Abiven, S., Menasseri, S., and Chenu, C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability- A literature analysis, *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 1. 1-12.
21. Santos, T.E.M.D., Silva, D.D.D., and Montenegro, A.A.D.A. 2010. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34: 5. 1733-1741.
22. Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications, *Soil and Tillage Research*. 672: 115-133.
23. Rahma, A.E., Warrington, D.N., and Lei, T. 2019. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China, *International Soil and Water Conservation Research*. 7: 4. 335-345.
24. Prats, S.A., Abrantes, J.R.C.B., Crema, I.P., Keizer, J.J., and De Lima, J.L.M.P. 2015. Testing the effectiveness of three forest residue mulch application schemes for reducing post-fire runoff and soil erosion using indoor simulated rain, *Flamma*. 6: 3. 113-116.
25. Prosdocimi, M., Jordán, A., Tarolli, P., Keesstra, S., Novara, A., and Cerdà, A. 2016. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards, *Science of the Total Environment*. 547: 323-330.
26. Lucas-Borja, M.E., González-Romero, J., Plaza-Álvarez, P.A., Sagra, J., Gómez, M.E., Moya, D., and de Las Heras, J. 2019. The impact of straw mulching and salvage logging on post-fire runoff and soil erosion generation under Mediterranean climate conditions, *Science of the Total Environment*. 654: 441-451.
27. Keesstra, S.D., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Giménez-Morera, A., Pulido, M., Di Prima, S., and Cerdà, A. 2019. Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments, *Catena*. 174: 95-103.
28. 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.
29. 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.
30. Gee, G.W., and Or, D. 2002. Particle-size analysis. P 255-293. J.H. Dane and G.C. Topp (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 4. Physical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
31. 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.
32. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2007. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Springer Science & Business Media. 993p.
33. Zamani, S., and Mahmoodabadi, M. 2013. Effect of particle-size distribution on wind erosion rate and soil erodibility, *Archives of Agronomy and Soil Science*. 59: 12. 1743-1753.
34. Mahmoodabadi, M., and Cerdà, A. 2013. WEPP calibration for improved predictions of interrill erosion in semi-arid to arid environments, *Geoderma*. 204: 75-83.

35. 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.
36. Erpul, G., Gabriels, D., Norton, L.D., Flanagan, D.C., Huang, C.H., and Visser, S. 2013. Raindrop and flow interactions for interrill erosion with wind-driven rain, *Journal of Hydraulic Research*. 51: 5. 548-557.
37. 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.
38. 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.
39. Mirzaei, M., Mahmoodabadi, M., and Naghavi, H. 2016. Effects of different management practices of barely straw and alfalfa residue on soil moisture content and aeration behavior under field conditions, *Journal of Water and Soil Conservation*. 23: 1. 155-170. (In Persian)
40. Gholami, L., Sadeghi, S.H., and Homae, 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.
41. Montenegro, A.D.A., Abrantes, J.R.C. B., De Lima, J.L.M.P., Singh, V.P., and Santos, T.E.M. 2013. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall, *Catena*. 109: 139-149.
42. 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.
43. 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.
44. Koiter, A.J., Owens, P.N., Peticrew, 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.
45. Lattanzi, A.R., Meyer, L.D., and Baumgardner, M.F. 1974. Influence of mulch rate and slope steepness on interrill erosion [Control, wheat straw mulch]. *Proceedings Soil Science of America*.
46. Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Sharifi, E., Khaledi Darvishan, A., and Homae, M. 2015. Scale effect on runoff and soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions, *Solid Earth*. 6: 1. 1-8.
47. Kukal, S.S., and Sarkar, M. 2010. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinyl alcohol application in semi-arid tropics, *Archives of Agronomy and Soil Science*. 56: 6. 697-705.
48. Marzen, M., Iserloh, T., Casper, M.C., and Ries, J.B. 2015. Quantification of particle detachment by rain splash and wind-driven rain splash, *Catena*. 127: 135-141.
49. Mahmoodabadi, M., and Rohipour, H. 2011. Study on process changes in some indices of soil erodibility and depositability using rainfall simulator, *Journal of Water and Soil Conservation*. 18: 4. 145-166. (In Persian)
50. Mahmoodabadi, M., Zamani, S., and Yazdanpanah, N. 2021. Enrichment of soil organic carbon in the eroded sediments due to the simultaneous occurrence of rain and wind, *Geoderma*. 386: 114926.
51. Wang, H., Wang, X., Hao, M., and Li, J. 2015. Effects of straw covering methods on runoff and soil erosion in summer maize field on the Loess Plateau of China. *Plant, Soil and Environment*. 61: 4. 176-181.