



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی تأثیر رطوبت اولیه خاک بر شدت فرسایش بادی با استفاده از تونل باد آزمایشگاهی

*مجید محمودآبادی^۱ و هدی رجب‌پور^۲

^۱دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش بادی یکی از جنبه‌های تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. این نوع از فرسایش، باعث هدررفت کربن آلی و عناصر غذایی خاک شده و در نتیجه افت کیفیت خاک و کاهش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارد. رطوبت خاک از طریق کنترل سرعت آستانه و نیز فرسایش پذیری خاک، بر شدت فرسایش تأثیرگذار است. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش مقادیر مختلف رطوبت اولیه و سرعت باد بر شدت فرسایش بادی و نیز سرعت آستانه فرسایش بادی در دو خاک با کلاس بافت متفاوت با استفاده از تونل باد در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش طی دو آزمایش جداگانه بر روی دو خاک با کلاس بافت متفاوت هر یک به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در هر خاک دو فاکتور شامل سرعت باد و رطوبت اولیه هر یک در سه سطح و سه تکرار اعمال شد. به این منظور، دو خاک با کلاس‌های بافت لوم شنی و شنی انتخاب و در هر یک سطوح مختلف رطوبت اولیه در شرایط کنترل شده ایجاد و سپس در معرض سرعت‌های مختلف باد قرار گرفت. با توجه به تفاوت در کلاس بافت و آستانه وقوع فرسایش بادی در دو خاک، در خاک لوم شنی سه سطح رطوبت اولیه شامل ۱/۵، ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد و در خاک شنی سه سطح رطوبت ۱، ۲/۵ و ۴/۵ درصد (جرمی) اعمال شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها و انتقال به تونل باد، سرعت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری ایجاد و در نهایت تولید رسوب ناشی از فرسایش بادی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، سرعت آستانه فرسایش بادی به روش مشاهده‌ای تعیین گردید. همچنین، مقدار آستانه رطوبت اولیه برای هر خاک بر مبنای حداقل رطوبتی که در آن کاهش معنی‌دار شدت فرسایش مشاهده شد، تعیین گردید. برای بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف باد و نیز مقادیر مختلف رطوبت اولیه بر شدت فرسایش بادی، درصد نسبی تغییر نیز برای هر یک از دو خاک محاسبه شد.

یافته‌ها: یافته‌های این پژوهش نشان داد که در هر دو خاک با افزایش سرعت باد و میزان رطوبت اولیه، شدت فرسایش بادی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. شدت فرسایش در دو خاک لوم شنی و شنی بسته به میزان رطوبت اولیه و سرعت باد، به ترتیب بین ۰/۰۱۵ تا ۰/۷۶۸ و ۰/۰۸۶ تا ۱۴/۰۸۸ گرم بر مترمربع در دقیقه متغیر بود که دلیل این

* مسئول مکاتبه: mahmoodabadi@uk.ac.ir

تفاوت در شدت فرسایش، به تفاوت در توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویه مرتبط دانسته شد. با افزایش رطوبت اولیه، سرعت آستانه فرسایش بادی در هر دو خاک، به صورت تابع توانی افزایش یافت. مقدار آستانه رطوبت اولیه در دو خاک لوم شنی و شنی به ترتیب برابر با $6/5$ و $4/5$ درصد جرمی تعیین شد. با افزایش رطوبت اولیه در خاک لوم شنی از $1/5$ به $6/5$ درصد، شدت فرسایش در سرعت‌های 5 ، $7/5$ و 10 متر بر ثانیه، به ترتیب $64/6$ ، $80/7$ و $62/9$ درصد و با افزایش رطوبت از $1/5$ به $11/5$ درصد، شدت فرسایش به ترتیب $82/3$ ، $90/8$ و $77/5$ درصد کاهش یافت. افزایش رطوبت اولیه از 1 به $2/5$ درصد در خاک شنی، شدت فرسایش بادی در سرعت‌های یاد شده را به ترتیب $27/7$ ، $32/8$ و $71/3$ درصد کاهش داد در حالی که افزایش رطوبت از 1 به $4/5$ درصد، کاهش شدت فرسایش به ترتیب به میزان $92/2$ ، $86/6$ و $93/9$ درصد را در این خاک در پی داشت.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش اهمیت حفظ و یا افزایش سطح رطوبت خاک را در مهار فرسایش بادی نشان داد به طوری که با افزایش رطوبت اولیه می‌توان شدت فرسایش بادی را تا حدود 90 درصد کاهش داد. همچنین مشخص گردید که مقدار آستانه رطوبت اولیه در خاک‌های مختلف، متفاوت است. این آستانه رطوبت در خاک شنی با مقدار $4/5$ درصد رطوبت، کم‌تر از خاک لوم شنی ($6/5$ درصد رطوبت) بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هر دو توزیع اندازه ذرات (اولیه و ثانویه) از طریق تأثیر بر میزان نگهداشت رطوبت، چگالی خاکدانه، چسبندگی بین ذرات و سرعت آستانه، بر شدت فرسایش بادی تأثیر قابل توجهی دارند. در نهایت، مشخص گردید که در صورت کاهش سرعت باد به سمت مقادیر کم‌تر از سرعت آستانه در کنار راهکارهای مدیریتی خاک برای حفظ و افزایش رطوبت، می‌توان فرسایش بادی را به طور قابل توجهی مهار نمود.

واژه‌های کلیدی: تونل باد، رطوبت خاک، سرعت باد، مناطق خشک

مقدمه

منبع مهم طبیعی شده است (۱۶). عواملی مانند پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده، سطح خاک هموار و خشک حاوی ذرات سست و وقوع بادهای شدید، احتمال فرسایش بادی را افزایش می‌دهند (۱۸). نظر به اقلیم و نیز شرایط طبیعی حاکم بر ایران، این نوع فرسایش در بسیاری از مناطق کشور رخ می‌دهد. مهار فرسایش بادی زمانی مؤثر خواهد بود که شناخت کافی در زمینه عوامل مؤثر بر آن در دسترس باشد (۲۱). به منظور درک بهتر عوامل مؤثر بر فرسایش بادی، پژوهشگران مکانیسم‌های مختلف فرسایش بادی را در اراضی کشاورزی و نیز در اراضی حساس به فرسایش و خاک‌های تخریب شده مورد توجه قرار داده‌اند. با این حال در مورد برخی فرآیندها و مکانیسم‌های مرتبط با فرسایش بادی در مناطق خشک

فرسایش بادی یکی از پدیده‌های مخرب و به‌عنوان تهدید جدی برای بقای بشر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود (۸). فرسایش بادی باعث هدررفت کربن آلی و ذرات ریز از سطح خاک شده و از این رو در بیش‌تر موارد، زوال کیفیت خاک را در پی دارد. همچنین، عناصر غذایی را از سطح خاک اراضی کشاورزی با خود حمل و تخلیه نموده و در نتیجه، باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. از این رو، فرسایش بادی یک پدیده مخرب برگشت‌ناپذیر است که اثرات جبران‌ناپذیری در پی دارد (۱۰). این در حالی است که رشد تصاعدی جمعیت و بهره‌برداری نامناسب و غیراصولی از خاک، موجب وارد کردن خسارات جبران‌ناپذیری به این

و نیمه‌خشک، هنوز جنبه‌های کم‌تر شناخته‌شده‌ای وجود دارد (۲۸).

نتایج بررسی‌های انجام شده در دنیا در زمینه فرسایش بادی نشان می‌دهد که این پدیده ماهیت بسیار پیچیده‌ای دارد که عوامل متعددی آن را کنترل می‌کنند (۳). در واقع، ویژگی‌های خاک از طریق تأثیر بر فرسایش‌پذیری آن، بر شدت فرسایش بادی تأثیر گذارند (۲۶). در این زمینه می‌توان به توزیع اندازه ذرات اولیه (بافت) و ثانویه (خاکدانه)، زبری سطح و میزان کربن آلی و همچنین رطوبت خاک اشاره کرد (۳۰). علاوه بر این، فرساینده‌گی باد که خود به فیزیک باد بستگی دارد از نظر سرعت، جهت و فراوانی دارای اهمیت است. از جمله عوامل مهم و مؤثر بر کنترل شدت فرسایش بادی، رطوبت خاک می‌باشد (۲۹). رطوبت خاک با ایجاد چسبندگی بین ذرات و افزایش جرم مخصوص خاکدانه باعث کاهش فرسایش‌پذیری خاک شده و از این طریق بر شدت فرسایش تأثیرگذار است. از همین رو، میزان رطوبت به‌ویژه در لایه سطحی خاک به‌عنوان عامل مهم و کنترل‌کننده فرسایش بادی دارای اهمیت است (۲۰). رطوبت خاک سطحی از ویژگی‌های پویای خاک است که به‌دلیل تغییرپذیر بودن اثرات غیرقابل انکار و ژرفی بر فرسایش‌پذیری خاک و شدت فرسایش بادی می‌گذارد (۳۲).

در ارتباط با نقش رطوبت خاک بر فرسایش بادی در دنیا پژوهش‌هایی انجام شده است (۵ و ۲۰). برای نمونه، بیسال و هسیه (۱۹۹۶) دریافتند که وجود ۴۰ درصد رطوبت در خاک‌های لوم شنی می‌تواند از فرسایش بادی تا حد زیادی جلوگیری کند (۲). همچنین بلی (۱۹۶۴) عنوان داشت که بین سرعت آستانه فرسایش بادی و میزان رطوبت در سطح خاک شنی، همبستگی مثبت و معنی‌دار برقرار است (۱). لیوون (۱۹۸۲) در آزمایشی که با استفاده از تونل باد

انجام داد، به این نتیجه رسید که رطوبت خاک باعث کاهش شدت فرسایش بادی می‌شود (۹). راوی و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که سرعت برشی آستانه فرسایش، در سطح خاک خشک نسبت به خاک مرطوب کم‌تر است (۲۰). در این زمینه، کورنلیس و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که رطوبت خاک سطحی، اندازه و چگالی ذرات خاک از جمله عواملی هستند که بر سرعت آستانه برشی تأثیر می‌گذارد (۵). هر چند در بیش‌تر پژوهش‌هایی که در دنیا انجام شده، نقش رطوبت خاک در کاهش شدت فرسایش بادی مورد تأیید واقع شده، مطالعات اندکی در کشور در این زمینه صورت گرفته است. همچنین، هنوز برخی جنبه‌ها مانند مقایسه تأثیر رطوبت اولیه در خاک‌های با توزیع اندازه ذرات (کلاس بافت و اندازه خاکدانه) مختلف در کاهش شدت فرسایش بادی نیاز به انجام مطالعه بیش‌تر دارد (۴). با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش رطوبت اولیه و سرعت باد بر شدت فرسایش بادی و نیز سرعت آستانه فرسایش بادی در دو خاک با کلاس بافت متفاوت با استفاده از تونل باد در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات تونل باد: این پژوهش با استفاده از دستگاه تونل باد موجود در آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. این دستگاه از سه قسمت مولد باد، سطح مورد آزمایش خاک و نمونه‌گیر رسوب به طول ۱۰ متر تشکیل شده است. این شبیه‌ساز قادر است سرعت‌های مختلف باد را تا حداکثر ۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری (معادل سرعت ۷۵ کیلومتر بر ساعت در ارتفاع ۱۰ متری) ایجاد نماید. سطح مورد آزمایش از یک سینی به ابعاد ۱۰۰ در ۳۰ سانتی‌متر تشکیل شده که نمونه

انتخاب گردید. به این منظور، هر نمونه خاک از طریق ایجاد شرایط کاپیلاری از زیر مرطوب شد. پس از این مرحله، به هر خاک اجازه داده می‌شد تا طی روند خشک شدن تدریجی، رطوبت خود را از دست دهد. با گذشت زمان و کاهش رطوبت، میزان رطوبت هر نمونه خاک اندازه‌گیری می‌شد. هم‌زمان نمونه‌های خاک در معرض آزمایش تونل باد قرار می‌گرفت تا سطوح بهینه رطوبت برای خاک برای ایجاد فرسایش تعیین شود. این سطوح در دو خاک مورد مطالعه، به دلیل رفتار متفاوت آن‌ها در نگهداشت رطوبت متفاوت بود. پس از ایجاد سطوح رطوبت اولیه موردنظر برای هر نوع خاک، بلافاصله آزمایش تونل باد انجام می‌شد.

اندازه‌گیری شدت فرسایش و سرعت آستانه: پس از ایجاد رطوبت اولیه در هر نمونه خاک، با استفاده از آون و روش جرم‌سنجی، رطوبت هر نمونه به‌طور دقیق تعیین شد. در ادامه، هر نمونه خاک با رطوبت مشخص، داخل سینی تونل باد ریخته و سطح آن کاملاً تسطیح شد. آنگاه بر روی هر نمونه، سه سرعت ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه ایجاد شد. مدت هر رخداد، با توجه به توزیع اندازه ذرات هر خاک و حساسیت آن در تولید رسوب تعیین شد (۱۵). بر این اساس و با توجه به بافت متفاوت دو خاک مورد مطالعه و حساسیت بیش‌تر ذرات خاک شنی در برابر فرسایش، مدت زمان آزمایش برای خاک لوم شنی ۳۰ دقیقه و برای خاک شنی ۷ دقیقه، در نظر گرفته شد. البته شدت فرسایش در نهایت در واحد سطح در معرض فرسایش و مدت هر رخداد محاسبه شد. پس از اتمام هر آزمایش رسوب حاصل از فرسایش جمع‌آوری و توزین شد. لازم به ذکر است که هر آزمایش در سه تکرار و در مجموع، ۵۴ آزمایش تونل باد انجام شد.

خاک داخل آن ریخته شده و در معرض سرعت‌های مختلف باد قرار می‌گیرد. در قسمت انتهای تونل، نمونه‌گیر رسوب متشکل از یک محفظه پلاستیکی دو جداره نصب شده که همراه با جریان رفت و برگشتی باد، ذرات رسوب در آن جمع‌آوری و هوای صاف خارج می‌شود. پس از پایان یافتن هر آزمایش، رسوب موجود در رسوب‌گیر جمع‌آوری و جرم آن اندازه‌گیری می‌شود. شدت فرسایش بادی با استفاده از جرم رسوب تولیدی و سطح در معرض فرسایش و مدت هر رخداد، بر حسب گرم بر دقیقه در مترمربع به‌دست آمد (۱۴ و ۱۵).

نحوه اعمال تیمارها: آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. با توجه به هدف پژوهش، دو نمونه خاک با توزیع اندازه ذرات متفاوت، یکی از کاربری زراعی و دیگری از تپه‌های ماسه‌ای هر دو واقع در محدوده مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر سطحی تهیه گردید. خاک با کاربری زراعی، دارای بافت لوم شنی و خاک ماسه‌ای دارای بافت شنی بود. برای هر یک از دو خاک، تأثیر دو عامل سرعت باد و میزان رطوبت اولیه به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌های متعدد آزمون و خطا، سه سرعت ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. این سرعت‌ها به‌نحوی انتخاب شد که بیش‌تر از سرعت آستانه فرسایش بادی در هر دو خاک باشد. همچنین برای ایجاد شرایط یکسان در مورد هر خاک، مقادیر مشخص رطوبت اولیه در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاه ایجاد شد. به‌علت تفاوت در بافت خاک‌های مورد مطالعه و پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی تونل باد، سطوح رطوبت اولیه برای خاک لوم شنی ۱/۵، ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد و برای خاک شنی ۱، ۲/۵ و ۴/۵ درصد

$$PCR = (E_{vt} - E_{vi}) / E_{vi} \times 100 \quad (1)$$

در بررسی تأثیر سرعت باد طبق این رابطه، E_{vt} شدت فرسایش بادی برای هر یک از دو سرعت $7/5$ و 10 متر بر ثانیه و E_{vi} شدت فرسایش در سرعت 5 متر بر ثانیه (به‌عنوان مبنا) بود. در بررسی تأثیر رطوبت اولیه نیز E_{vt} بیانگر شدت فرسایش بادی برای هر یک از دو رطوبت اولیه $6/5$ و $11/5$ درصد در خاک لوم شنی و همچنین شدت فرسایش بادی برای هر یک از دو میزان رطوبت اولیه $2/5$ و $4/5$ درصد در خاک شنی و E_{vi} شدت فرسایش دو خاک لوم شنی و شنی به‌ترتیب در مقادیر رطوبت اولیه $1/5$ و 1 درصد (به‌عنوان مبنا) بود.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک در جدول ۱ ارائه شده است. دو خاک از نظر توزیع اندازه ذرات اولیه (درصد نسبی ذرات رس، سیلت و شن) و ثانویه (میانگین وزنی قطر خاکدانه) متفاوت هستند. خاک شنی دارای ذرات اولیه شن زیادی است با این وجود، میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (خاکدانه) برای این خاک کوچک‌تر از خاک لوم شنی و برای این دو خاک به‌ترتیب $0/275$ و $0/448$ میلی‌متر است. همچنین، هدایت الکتریکی (EC) و میزان کربنات کلسیم معادل در خاک لوم شنی بیش‌تر از خاک شنی و مقدار کربن آلی در خاک لوم شنی تقریباً دو برابر خاک شنی بود.

علاوه بر این، سرعت آستانه فرسایش بادی به روش مشاهده‌ای تعیین شد. به این صورت که بعد از قرار دادن نمونه خاک داخل سینی تونل، سرعت باد از مقادیر کم به‌تدریج افزایش داده تا و حداقل سرعتی که ذرات شروع به حرکت کردند، به عنوان سرعت آستانه در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک: پس از هواخشک نمودن و عبور دادن نمونه‌ها از الک 2 میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، میانگین وزنی قطر با استفاده از سری الک در حالت خشک و جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر و همچنین ویژگی‌های شیمیایی شامل کربن آلی به روش اکسایش تر، میزان pH گل اشباع با استفاده از دستگاه pH سنج، EC عصاره اشباع با EC سنج و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه و تحلیل نتایج برای هر خاک به‌طور جداگانه و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن دو فاکتور سرعت باد و رطوبت اولیه انجام شد. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. به این منظور، از نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها و نمایش شدت فرسایش در دو خاک با بافت متفاوت از نرم‌افزار Excel استفاده شد. برای بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف باد و نیز مقادیر مختلف رطوبت اولیه بر شدت فرسایش بادی با استفاده از رابطه ۱، درصد نسبی تغییر (PCR) برای هر یک از دو خاک محاسبه شد:

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک با بافت متفاوت.

Table 1. Some physical and chemical properties of the soils with different soil texture.

شنی Sandy	لوم شنی Sandy loam	واحد Unit	ویژگی Property
7.6	8.8	(%)	رس Clay
5.4	31.1	(%)	سیلت Silt
87	60.1	(%)	شن Sand
1.41	1.29	(g cm ⁻³)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density
0.275	0.448	(mm)	میانگین وزنی قطر MWD
0.33	0.75	(%)	کربن آلی Organic carbon
5.83	9.39	(dS m ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC
7.64	7.38	-	واکنش خاک pH
14.5	19.0	(%)	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate eq.

رطوبت اولیه و همچنین اثرات متقابل این دو عامل بر شدت فرسایش بادی، همگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. این موضوع نشان از اهمیت دو عامل یادشده در کنترل شدت فرسایش بادی دارد. در ادامه نتایج مقایسه میانگین از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ارائه شده است.

نتایج تجزیه واریانس دو خاک مورد مطالعه با کلاس بافت متفاوت (لوم شنی و شنی) به‌طور جداگانه در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که به‌دلیل تفاوت سطوح رطوبت اولیه در دو خاک، در این جدول تنها تأثیر این دو عامل لحاظ گردید و اثر نوع خاک به‌طور جداگانه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در هر خاک، اثر سرعت باد و

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر سرعت باد و رطوبت اولیه خاک بر شدت فرسایش بادی در دو خاک لوم شنی و شنی.

Table 2. Variance analysis for the effects of wind speed and initial soil moisture on wind erosion rate in sandy loam and sandy soils.

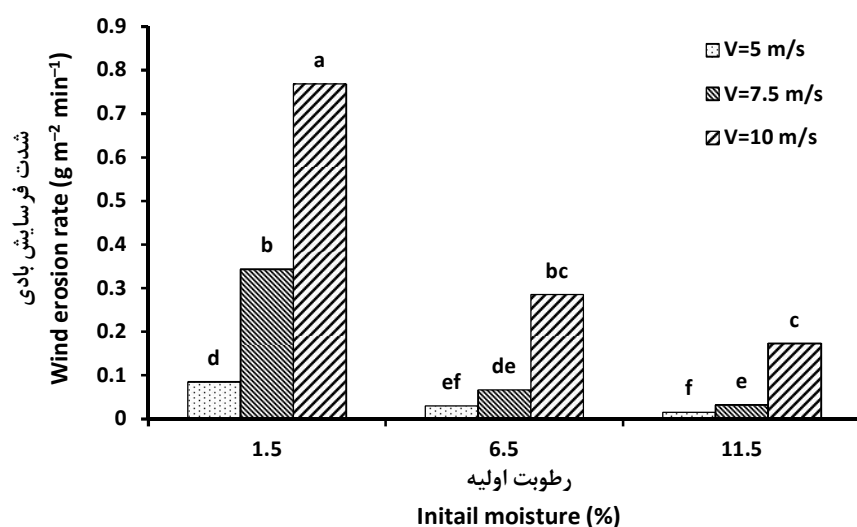
منبع تغییر	درجه آزادی D.F.	لوم شنی Sandy loam	شنی Sandy
سرعت باد Wind Speed (A)	2	0.32**	83.83**
رطوبت خاک Soil moisture (B)	2	0.27**	70.63**
سرعت باد × رطوبت خاک (A×B)	4	0.05**	38.48**
خطا Error	18	0.004	0.142

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

** Significant at the 1% level of probability.

مولکولی آب بر روی سطح ذرات است که نیروی دگردوسی نامیده می‌شود. ترکیب این نیروها با هم چسبندگی بیش‌تر بین ذرات را در پی دارد که از طریق کاهش شدت جداشدن و انتقال ذرات، باعث افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی می‌شود. در این زمینه، جین (۲۰۱۰) از جمله عوامل مهم و مؤثر بر مقاومت برشی را میزان رطوبت خاک دانسته که بر نیروی چسبندگی بین ذرات تأثیر می‌گذارد (۶). بنابراین با افزایش رطوبت اولیه، مقاومت برشی خاک در برابر عامل فرساینده نیز افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با افزایش میزان رطوبت خاک، به دلیل افزایش جرم مخصوص و چگالی ذرات، افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات و مقاومت بیش‌تر خاکدانه‌ها در برابر جداشدن و انتقال، شدت فرسایش بادی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان رطوبت اولیه، احتمال خرد و سائیده شدن خاکدانه‌ها در اثر برخورد ذرات در حال حرکت به یکدیگر کاهش پیدا می‌کند و از شدت فرسایش کاسته می‌شود.

شکل ۱ مقایسه میانگین بین شدت فرسایش بادی در خاک لوم شنی در سرعت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه با مقادیر رطوبت اولیه ۱/۵، ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد را نشان می‌دهد. شدت فرسایش در این خاک بسته به میزان رطوبت اولیه و سرعت باد، بین ۰/۰۱۵ تا ۰/۷۶۸ گرم بر مترمربع در دقیقه متغیر است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار رطوبت اولیه از ۱/۵ به ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد، شدت فرسایش بادی در همه سرعت‌های باد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (شکل ۱). این در حالی است که افزایش رطوبت اولیه از ۶/۵ به ۱۱/۵ درصد، هر چند کاهش شدت فرسایش را در پی داشت ولی این کاهش معنی‌دار نبود. دلایل متعددی برای این کاهش شدت فرسایش در پی افزایش رطوبت اولیه خاک وجود دارد. نیومن و نیکلینگ (۱۹۸۹) بیان داشتند که دو عامل اصلی باعث ایجاد نیروی جاذبه بین ذرات در خاک مرطوب می‌شود (۱۷). اولین عامل، لایه آبی است که در تماس با ذرات قرار گرفته و نتیجه نیروی کاپیلاری است و دومین عامل، جذب

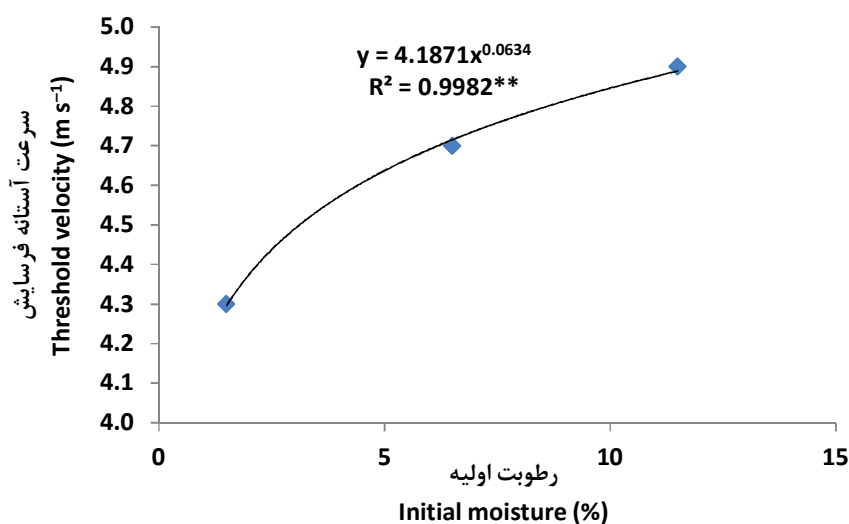


شکل ۱- مقایسه شدت فرسایش بادی در سرعت‌های مختلف باد و رطوبت‌های اولیه متفاوت در خاک لوم شنی.

Figure 1. Comparison of wind erosion rate at different wind velocities and initial moisture contents for sandy loam soil.

رطوبت اولیه در این خاک، افزایش سرعت آستانه را در پی داشته و نتیجه آن، کاهش معنی‌دار شدت فرسایش بادی است. به عبارتی علاوه بر عوامل یادشده در بالا، افزایش سرعت آستانه از جمله عوامل مؤثر بر کاهش شدت فرسایش است. به‌طور مشابهی، بلی (۱۹۶۴) و همچنین راوی و همکاران (۲۰۰۴) عنوان کردند که ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین سرعت آستانه و رطوبت موجود در سطح خاک وجود دارد (۱ و ۱۹).

رطوبت اولیه علاوه بر کاهش شدت فرسایش، بر سرعت آستانه فرسایش بادی نیز تأثیر دارد (۵). تأثیر افزایش رطوبت اولیه بر سرعت آستانه فرسایش بادی در خاک لوم شنی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش رطوبت از ۱/۵ تا ۱۱/۵ درصد در این خاک، سرعت آستانه فرسایش بادی به‌صورت یک تابع توانی افزایش یافته است. این یافته گویای این مطلب است که افزایش

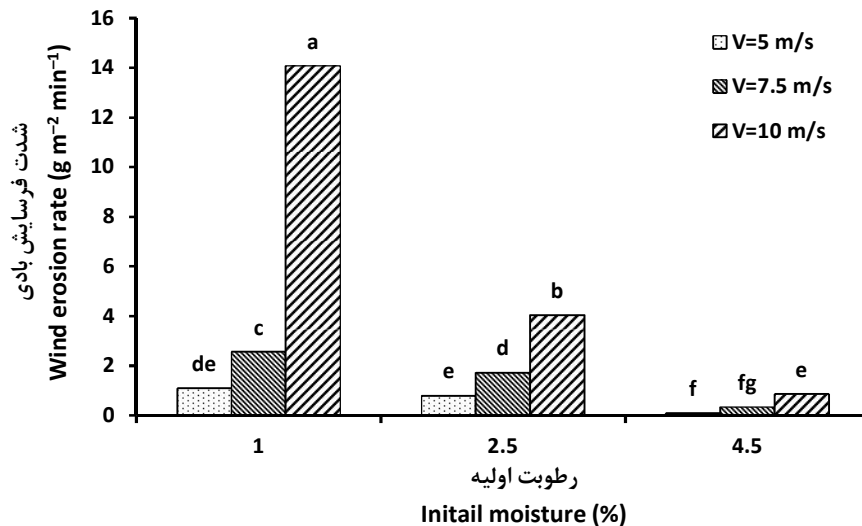


شکل ۲- ارتباط بین سرعت آستانه فرسایش بادی با رطوبت اولیه در خاک لوم شنی.

Figure 2. Relationship between wind threshold velocity and initial moisture content of sandy loam soil.

خاص به سرعت آن وابسته است (۱۵). هرچه سرعت باد بیش‌تر باشد، قابلیت فرسایشی و نیروی وارده به‌وسیله باد برای جداسازی ذرات خاک افزایش می‌یابد (۱۱ و ۳۰). محمودآبادی و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که سرعت باد به‌عنوان مهم‌ترین عامل فرسایش باد، نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل شدت فرسایش دارد (۱۴). بررسی‌های کورنلیس و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که هرچه سرعت باد بیش‌تر باشد، انرژی جنبشی آن بیش‌تر بوده و ذرات بیش‌تری از خاک را جدا و منتقل می‌کند (۵). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در مجموع، با افزایش سرعت باد (عامل فرسایش) و کاهش میزان رطوبت اولیه خاک (مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک)، شدت فرسایش به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. به‌عبارتی، سرعت باد، نقش افزایش‌دهنده و در مقابل، رطوبت اولیه خاک، نقش مهارکننده و کاهش‌دهنده در شدت فرسایش دارد و بنابراین شدت فرسایش بادی از برآیند اثر این دو عامل کنترل می‌شود.

شکل ۳ مقایسه شدت فرسایش بادی در خاک شنی را در سرعت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه در مقادیر رطوبت اولیه ۱، ۲/۵ و ۴/۵ درصد نشان می‌دهد. دامنه شدت فرسایش در این خاک بسته به‌میزان رطوبت اولیه و سرعت باد، بین ۰/۰۸۶ تا ۱۴/۰۸۸ گرم بر مترمربع در دقیقه متغیر است. با افزایش رطوبت اولیه (غیر از یک مورد بین رطوبت ۱ با ۲/۵ درصد)، شدت فرسایش به‌طور معنی‌داری کاهش نشان می‌دهد. دلایل کاهش معنی‌دار شدت فرسایش در مقادیر بیش‌تر رطوبت اولیه این خاک، همان‌گونه که در مورد خاک لوم شنی نیز بیان شد، به افزایش چگالی ذرات، افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات، کاهش احتمال خرد و سائیده شدن خاکدانه‌ها و افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی مرتبط است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که علاوه بر تأثیر رطوبت اولیه، افزایش سرعت باد نیز باعث افزایش معنی‌دار شدت فرسایش بادی در هر دو خاک مورد مطالعه شده است (شکل ۳). در واقع، فرسایش بادی به‌طور

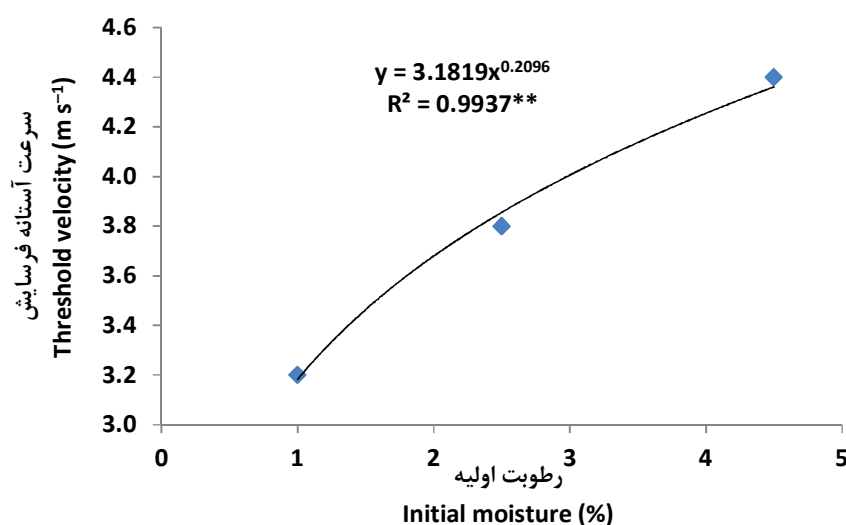


شکل ۳- مقایسه شدت فرسایش بادی در سرعت‌های مختلف باد و رطوبت‌های اولیه خاک شنی.

Figure 3. Comparison the wind erosion rate at different wind velocities and initial moisture content for sandy soil.

مقادیر مربوط به خاک لوم شنی است. به عبارتی، برای شروع فرسایش و جدا شدن ذرات در خاک شنی سرعت‌های کمتری نسبت به خاک لوم شنی نیاز است. این نتیجه با یافته‌های ویگز و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد که دریافتند با افزایش رطوبت خاک، شدت جدا شدن و انتقال ذرات در اثر فرسایش بادی کاهش می‌یابد (۲۹).

شکل ۴ تغییر سرعت آستانه فرسایش بادی را با افزایش میزان رطوبت اولیه در خاک شنی نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش رطوبت خاک، سرعت آستانه به‌طور غیرخطی (تابع توانی) افزایش می‌یابد. این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا افزایش سرعت آستانه به‌طور معمول کاهش شدت فرسایش بادی را در پی دارد. همچنین مقادیر سرعت آستانه در خاک شنی کم‌تر از



شکل ۴- ارتباط بین سرعت آستانه فرسایش بادی با رطوبت اولیه در خاک شنی.

Figure 4. Relationship between wind threshold velocity and initial moisture content of sandy soil.

که مقدار آستانه رطوبت اولیه که باعث کاهش معنی‌دار شدت فرسایش بادی می‌شود، در دو خاک متفاوت است. در خاک لوم شنی، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین شدت فرسایش در دو سطح رطوبت ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد مشاهده نمی‌شود. این موضوع در همه سرعت‌های باد به همین صورت است و بر این اساس می‌توان چنین عنوان کرد که در این خاک، آستانه رطوبت اولیه ۶/۵ درصد است. این در حالی است که در خاک شنی، بین شدت فرسایش بادی در هر سه سطح رطوبت اولیه، از نظر آماری تفاوت‌ها معنی‌دار است (مگر یک مورد بین رطوبت

یکی از یافته‌های پژوهش حاضر، تعیین آستانه رطوبت خاک بسته به توزیع اندازه ذرات خاک است. منظور از آستانه رطوبت اولیه، حداقل رطوبت مورد نیاز هر خاک برای کاهش معنی‌دار شدت فرسایش بادی (از بین سطوح رطوبت مورد مطالعه) است. این موضوع از این جهت اهمیت دارد که هر چند یکی از راهکارهای مهار فرسایش بادی، افزایش رطوبت خاک است با این وجود، در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، تأمین رطوبت خاک و بالا نگه‌داشتن میزان آن بسیار دشوار است. مقایسه رفتار دو خاک مورد مطالعه با بافت متفاوت نشان می‌دهد

۱ و ۲/۵ درصد در سرعت ۵ متر بر ثانیه). به عبارتی، افزایش رطوبت از ۱ به ۲/۵ و ۴/۵ درصد و همچنین از ۲/۵ به ۴/۵ درصد باعث کاهش معنی‌دار شدت فرسایش شده است. این بدان مفهوم است که در خاک شنی، برای کاهش معنی‌دار شدت فرسایش، وجود رطوبت ۱ و ۲/۵ درصد کافی نبوده و بنابراین آستانه رطوبت برای کاهش معنی‌دار شدت فرسایش در این خاک، حداقل ۴/۵ درصد است. این آستانه رطوبت در خاک شنی، کم‌تر از آستانه تعیین‌شده برای خاک لوم شنی (۶/۵ درصد) است. این یافته، لزوم توجه به مدیریت خاک در راستای حفظ رطوبت را در خاک‌های مختلف بسته به توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویه (وضعیت بافت و ساختمان) نشان می‌دهد.

نتایج مقایسه دو خاک مورد مطالعه همچنین نشان داد که شدت فرسایش بادی در خاک شنی در همه سطوح رطوبت اولیه و سرعت باد، بیش‌تر از خاک لوم شنی است. با توجه به این‌که سرعت‌های باد در مورد هر دو خاک یکسان است، بنابراین دلیل بیش‌تر بودن شدت فرسایش در خاک شنی، حساسیت بیش‌تر آن در برابر فرسایش است. هر چند با افزایش رطوبت اولیه، در خاک شنی مشابه خاک لوم شنی، شدت فرسایش کاهش یافته، ولی به‌علت تفاوت در توزیع اندازه ذرات، شدت فرسایش دو خاک یکسان نیست. از یک منظر، فراوانی خاک‌دانه‌های درشت در خاک شنی کم‌تر از خاک لوم شنی است (مقدار MWD در جدول ۱) که این خود یک دلیل مهم در بیش‌تر بودن شدت فرسایش خاک شنی است. این موضوع از نظر ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک دارای اهمیت است. نتایج سو و زو (۲۰۰۳) نشان داد که توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها بر نگهداشت رطوبت خاک تأثیر دارد (۲۴). هرچه خاک‌دانه‌ها اندازه درشت‌تری داشته باشد، رطوبت بیش‌تری را درون خود نگه می‌دارد (۱۲). با این شرایط، خاک‌دانه‌های درشت در

حالت مرطوب چگالی بیش‌تری نسبت به خاک‌دانه‌های کوچک‌تر دارد. در این زمینه، وانگ و همکاران (۲۰۰۸) و همچنین شارات و وادلا (۲۰۱۲) عنوان داشتند که توزیع اندازه ذرات از طریق تأثیر بر سرعت برشی آستانه و فرسایش‌پذیری خاک، شدت فرسایش را کنترل می‌کند (۲۲ و ۲۷). همچنین محمودآبادی و همکاران (۲۰۱۱) و محمودآبادی و زمانی (۲۰۱۲) دریافتند که توزیع اندازه خاک‌دانه از طریق تأثیر بر زبری تصادفی سطح خاک، شدت فرسایش را کنترل می‌کند (۱۲ و ۱۳). نتایج آنها نشان داد که با افزایش فراوانی خاک‌دانه‌های درشت در سطح خاک، شدت فرسایش بادی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

از منظر دیگر، فرسایش بادی تحت تأثیر توزیع اندازه ذرات اولیه (بافت خاک) قرار دارد (۷). به‌طور معمول، خاک‌های شنی در برابر فرسایش بادی حساسیت بالایی دارند (۱۸). دلیل این موضوع، چسبندگی بسیار کم بین ذرات شن است که باعث جدایش‌پذیری بالای ذرات در برابر فرسایش بادی می‌شود. بنابراین در برابر سرعت‌های یکسان باد، شدت فرسایش بادی برای خاک‌های با بافت متفاوت، یکسان نیست (۳۰). نتایج پژوهش حاضر بیانگر این است که هر دو توزیع اندازه ذرات (اولیه و ثانویه) بر شدت فرسایش بادی تأثیر غیرقابل انکاری دارند (۱۲ و ۱۳). دو خاک مورد مطالعه، از نظر توزیع اندازه ذرات اولیه (رس، سیلت و شن) متفاوتند و درصد ذرات شن در خاک شنی به‌طور قابل‌توجهی بالاست. علاوه بر این، خاک لوم شنی دارای خاک‌دانه‌های درشت‌تری نسبت به خاک شنی است. به‌عبارتی، در خاک شنی به‌دلیل وجود بیش از ۸۵ درصد ذرات اولیه شن، چسبندگی بین ذرات کم‌تر از خاک لوم شنی است (جدایش‌پذیری بیش‌تر) و از طرفی، ذرات ثانویه (خاک‌دانه) ریزتری نسبت به خاک لوم شنی دارد (انتقال‌پذیری بیش‌تر). هر چند به‌طور

افزایش رطوبت از ۱/۵ به ۱۱/۵ درصد، شدت فرسایش به ترتیب ۸۲/۳، ۹۰/۸ و ۷۷/۵ درصد کاهش یافت. این یافته نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت اولیه در این خاک، شدت فرسایش تا حدود ۹۰ درصد قابل مهار است. بررسی‌های راوی و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان داد که با افزایش میزان رطوبت خاک، فرسایش پذیری به شدت کاهش می‌یابد (۲۰). همچنین، بیش‌ترین کاهش شدت فرسایش بادی در خاک لوم شنی در سرعت ۷/۵ متر بر ثانیه مشاهده شد. نتایج ویگز و همکاران (۲۰۰۴) نیز دلالت بر این موضوع داشت که رطوبت خاک سطحی در مهار فرسایش بادی و انتقال ذرات شن، در دامنه‌ای از سرعت باد کارایی بیش‌تری دارد (۲۹).

نسبی، ذرات شن به دلیل اندازه درشت‌تر انتقال‌پذیری کم‌تری نسبت به ذرات رس دارند، ولی با توجه به این‌که در وقوع فرسایش، ذرات در قالب خاکدانه‌ها و نه ذرات مستقل اولیه منتقل می‌شوند، شدت فرسایش خاک شنی بیش‌تر است.

به‌منظور ارزیابی میزان تأثیر افزایش رطوبت اولیه بر کاهش شدت فرسایش بادی، درصد نسبی تغییر محاسبه شد. جدول ۳ درصد نسبی تغییر شدت فرسایش را در سرعت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه، در دو رطوبت ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد نسبت به شدت فرسایش در رطوبت ۱/۵ درصد در خاک لوم شنی نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت اولیه در این خاک از ۱/۵ به ۶/۵ درصد، شدت فرسایش در سرعت‌های یادشده به ترتیب ۶۴/۶، ۸۰/۷ و ۶۲/۹ درصد و با

جدول ۳- درصد نسبی تغییر شدت فرسایش بادی در خاک لوم شنی در سرعت‌های مختلف باد و رطوبت اولیه ۶/۵ و ۱۱/۵ درصد نسبت به شدت فرسایش در رطوبت اولیه ۱/۵ درصد.

Table 3. The change percentage of erosion rate for sandy loam soil at different wind velocities for initial moisture contents of 6.5% and 11.5% relative to those values for initial moisture content of 1.5%.

رطوبت ۱۱/۵ درصد خاک Moisture content of 11.5 (%)	رطوبت ۶/۵ درصد خاک Moisture content of 6.5 (%)	سرعت باد Wind Speed (m s ⁻¹)
-82.3	-64.6	5
-90.8	-80.7	7.5
-77.5	-62.9	10

پی داشت. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش رطوبت به میزان ۲/۵ درصد به‌ویژه در سرعت‌های کم و متوسط (۵ و ۷/۵ متر بر ثانیه)، نتوانسته شدت فرسایش را چندان کاهش دهد در حالی‌که افزایش رطوبت در این خاک به میزان ۴/۵ درصد، شدت فرسایش را تا بیش از ۸۵ درصد کاهش داده است. این یافته در مطالب بالا نیز به‌نحوی تأیید شد، جایی که آستانه رطوبت اولیه برای این خاک ۴/۵ درصد تعیین گردید. این یافته اهمیت حفظ رطوبت در

جدول ۴ درصد نسبی تغییر شدت فرسایش را در سرعت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه، در دو رطوبت ۲/۵ و ۴/۵ درصد نسبت به شدت فرسایش در رطوبت ۱ درصد در خاک شنی نشان می‌دهد. افزایش رطوبت اولیه از ۱ به ۲/۵ درصد در این خاک، شدت فرسایش بادی در سرعت‌های یادشده را به ترتیب ۲۷/۷، ۳۲/۸ و ۷۱/۳ درصد کاهش داد در حالی‌که افزایش رطوبت از ۱ به ۴/۵ درصد، کاهش شدت فرسایش به ترتیب به میزان ۹۲/۲، ۸۶/۶ و ۹۳/۹ درصد را در این خاک در

موضوع به نقش سرعت باد به‌عنوان عامل فرساینده مربوط است که شدت‌های بیش‌تر فرسایش بادی را در پی دارد (۳۰). نتایج بررسی‌های استوت و زوبک (۱۹۹۶)، ژانگ و همکاران (۲۰۰۴) و همچنین محمودآبادی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که با افزایش سرعت باد (به‌دلیل افزایش قدرت فرساینده‌گی)، میزان جداشدن ذرات از سطح خاک به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته و به همین دلیل، شدت فرسایش بادی افزایش می‌یابد (۱۴، ۲۳، ۳۱). با افزایش سرعت باد، نیروهای جلوبر و بالابر ذرات که باعث جداسازی بیش‌تر آن‌ها می‌شوند، افزایش یافته در نتیجه شدت فرسایش خاک تشدید می‌شود (۲۵).

خاک‌های شنی را که به‌علت چسبندگی کم، حساسیت بالایی در برابر جداشدن به وسیله عامل فرساینده باد دارند (۳۰)، نشان می‌دهد.

جدول ۵ نتایج حاصل از محاسبه درصد نسبی تغییر شدت فرسایش بادی را بر اساس افزایش سرعت باد برای دو خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد. در هر دو خاک مورد مطالعه، با افزایش سرعت باد از ۷/۵ متر بر ثانیه به ۱۰ متر بر ثانیه، درصد نسبی تغییر شدت فرسایش، افزایش نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار افزایش نسبی، در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه در خاک شنی با رطوبت اولیه ۱ درصد به‌میزان ۱۲/۹ برابر سرعت ۵ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود. این

جدول ۴- درصد نسبی تغییر شدت فرسایش بادی در خاک شنی در سرعت‌های مختلف باد و رطوبت اولیه ۲/۵ و ۴/۵ درصد نسبت به شدت فرسایش در رطوبت اولیه ۱ درصد.

Table 4. The change percentage of erosion rate for sandy soil at different wind velocities for initial moisture contents of 2.5% and 4.5% relative to those values for initial moisture content of 1%.

رطوبت ۴/۵ درصد خاک Moisture content of 4.5 (%)	رطوبت ۲/۵ درصد خاک Moisture content of 2.5 (%)	سرعت باد Wind Speed (m s ⁻¹)
-92.2	-27.7	5
-86.6	-32.8	7.5
-93.9	-71.3	10

جدول ۵- درصد نسبی تغییر شدت فرسایش بادی در دو سرعت ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه نسبت به شدت فرسایش در سرعت ۵ متر بر ثانیه در دو خاک مورد مطالعه با مقادیر رطوبت اولیه متفاوت.

Table 5. The change percentage of erosion rate at two wind velocity of 7.5 and 10 m s⁻¹ relative to erosion rate at wind velocity of 5 m s⁻¹ for the studied soils with different initial moisture content.

سرعت ۱۰ متر در ثانیه باد Wind speed 10 (m s ⁻¹)	سرعت ۷/۵ متر در ثانیه باد Wind speed 7.5 (m s ⁻¹)	مقدار رطوبت اولیه Initial moisture content (%)	بافت خاک Soil texture
807.5	305.1	1.5	لوم شنی Sandy Loam
850.0	121.1	6.5	
1051.1	111.1	11.5	
1187.4	134.0	1	شنی Sandy
411.3	117.4	2.5	
903.9	301.9	4.5	

گام نخست کاهش عامل فرساینده (سرعت باد) و در گام بعد و یا هم‌زمان، افزایش مقاومت خاک (افزایش سرعت آستانه) است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش اهمیت نقش رطوبت اولیه خاک را در مهار فرسایش بادی نشان داد به طوری که با افزایش رطوبت در دو خاک مورد مطالعه، می‌توان شدت فرسایش بادی را تا حدود ۹۰ درصد کاهش داد. بررسی آستانه رطوبت اولیه در دو خاک متفاوت بود و مقدار آن در خاک شنی با مقدار ۴/۵ درصد کم‌تر از خاک لوم شنی (۶/۵ درصد) تعیین گردید. نتایج گویای این مطلب بود که هر دو توزیع اندازه ذرات (اولیه و ثانویه) از اهمیت ویژه‌ای در کنترل سرعت آستانه و شدت فرسایش بادی برخوردارند. در خاک شنی به دلیل وجود مقدار قابل توجه ذرات اولیه شن، چسبندگی بین ذرات کم‌تر از خاک لوم شنی بود (جدایش‌پذیری بیشتر) و از طرفی، ذرات ثانویه (خاکدانه) ریزتری نسبت به خاک لوم شنی داشت (انتقال‌پذیری بیشتر). همچنین مشخص گردید که کاهش سرعت باد نسبت به افزایش رطوبت اولیه نقش بیشتری در مهار فرسایش بادی دارد. این بدان مفهوم است که در مناطقی که با شدت بالای فرسایش بادی مواجه هستند، راهکارهای مدیریتی برای کاهش سرعت باد در سطح تماس با خاک، نقش به‌سزایی در مهار فرسایش بادی دارد.

جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که در خاک لوم شنی بیش‌ترین درصد نسبی افزایش شدت فرسایش برای سرعت ۷/۵ متر بر ثانیه در رطوبت ۱/۵ درصد (۳۰۵/۱ درصد) و برای سرعت ۱۰ متر بر ثانیه در رطوبت ۱۱/۵ درصد (۱۰۵۱/۱ درصد) رخ می‌دهد. این در حالی است که در خاک شنی، بیش‌ترین درصد نسبی افزایش شدت فرسایش در سرعت‌های یادشده، به‌ترتیب در رطوبت ۴/۵ درصد (۳۰۱/۹ درصد) و رطوبت ۱ درصد (۱۱۸۷/۴) مشاهده شد. این موضوع بیانگر اثر متقابل سرعت باد و رطوبت اولیه در کنترل میزان افزایش و یا کاهش فرسایش بادی است.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که مقادیر درصد نسبی تغییر مربوط با تأثیر سرعت باد (جدول ۵) صرف‌نظر از تأثیر مثبت و یا منفی، بزرگ‌تر از مقادیر درصد نسبی تغییر مربوط به اثر رطوبت اولیه (جدول‌های ۳ و ۴) است. به‌عبارتی، کاهش سرعت باد نسبت به افزایش رطوبت اولیه نقش بیش‌تری در مهار فرسایش بادی دارد. این بدان مفهوم است که در مناطقی که با شدت بالای فرسایش بادی مواجه هستند، راهکارهای مدیریتی برای کاهش سرعت باد در سطح تماس با خاک، نقش به‌سزایی در مهار فرسایش بادی دارد (۱۵). در صورت کاهش سرعت باد به‌سمت مقادیر کم‌تر از سرعت آستانه در کنار راهکارهای مدیریت خاک برای حفظ و افزایش رطوبت، می‌توان فرسایش را به‌طور کامل مهار نمود. به بیان دیگر، بهترین راهیافت برای مهار فرسایش بادی در هر منطقه، در

منابع

1. Belly, P.Y. 1964. Sand Movement by Wind. Technical Memorandum 1. U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington DC. 80p.
2. Bisal, F., and Hsieh, J. 1966. Influence of soil moisture on erodibility of soil by wind. Soil Science. 102: 143-146.
3. Chepil, W.S., and Woodruff, N.P. 1963. The physics of wind erosion and its control. Advances in Agronomy. 15: 211-302.
4. Colazo, J.C., and Buschiazzi, D.E. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. Geoderma. 159: 228-236.

5. Cornelis, W.M., Gabriels, D., and Hartmann, R. 2004. A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. *Geomorphology*. 59: 43-51.
6. Jain, R., Jain, P.K., and Bhadauria, S.S. 2010. Computational approach to predict soil shear strength. *Engineering Science and Technology*. 2: 3874-3885.
7. Jilili, A., Liu, D.W., and Wu, G.Y. 2010. Saline dust storms and their ecological impacts in arid regions. *J. Arid Land*. 2: 2. 144-150.
8. Lal, R., and Stewart, B.A. 1990. Soil degradation: a global threat. *Advances in Soil Science*. 11: 12-16.
9. Leuven, M.L. 1982. Influence of roughness elements and soil moisture on the resistance of sand to wind erosion. P 161-173, In: D.H. Yaalon (Ed.), *Aridic Soils and Geomorphic Processes*. Catena Supplement 1. Braunschweig Catena Verlag. 219p.
10. Leys, J.F., and Raupach, M.R. 1991. Soil flux measurements using a portable wind erosion tunnel. *Austr. J. Soil Res.* 29: 4. 533-552.
11. Liu, L.Y., Li, X.Y., Shi, P.J., Gao, S.Y., Wang, J.H., Ta, W.Q., Song, Y., Liu, M.X., Wang, Z., and Xia, B.L. 2007. Wind erodibility of major soils in the farming-pastoral ecotone of China. *J. Arid Environ.* 68: 611-623.
12. Mahmoodabadi, M., and Ahmadbeygi, B. 2011. Effect of some physical and chemical properties of soil on aggregate stability in some cultivation systems. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 1: 2. 61-79. (In Persian)
13. Mahmoodabadi, M., and Ahmadbeygi, B. 2013. Dry and water-stable aggregates in different cultivation systems of arid region soils. *Arab. J. Geosci.* 6: 2997-3002.
14. Mahmoodabadi, M., Dehghani, F., and Azimzadeh, H.R. 2011. Effect of soil particle size distribution on wind erosion rate. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 1: 1. 81-98. (In Persian)
15. Mahmoodabadi, M., and Zamani, S. 2012. Effect of wind speed and soil particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. *J. Water. Engin. Manage.* 4: 3. 141-151. (In Persian)
16. Maleki, S., Karimi, A., and Hashemi, H. 2011. Wind erosion and its control in Gonabad. The 2nd International Conference on Wind Erosion and Dust. University of Yazd. (In Persian)
17. McKenna, N.C., and Nickling, W.G. 1989. A theoretical and wind tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind. *Can. J. Soil Sci.* 69: 79-96.
18. Qing, H., Yang, X., Mamtimin, A., and Tang, Sh. 2011. Impact factors of soil wind erosion in the center of desert. *J. Arid Land*. 3: 9-12.
19. Ravi, S., D'Odorico, P., Over, T.M., and Zobeck, T.M. 2004. On the effect of air humidity on soil susceptibility to wind erosion: The case of air-dry soils. *Geophysical Research Letter.* 31: Lo9501, doi: 10.1029/2004GL019485.
20. 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.
21. Rafahi, H.Gh. 2007. *Water Erosion and its Control*. The Fifth Edition. Tehran University Press, 671p. (In Persian)
22. Sharratt, B.S., and Vaddella, V.K. 2012. Threshold friction velocity of soils within the Columbia plateau. *Aeolian Research*. 6: 13-20.
23. Stout, J.E., and Zobeck, T.M. 1996. Establishing the threshold condition for soil movement in wind eroding fields. *Proceeding of the International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations*, Midwest Plan Service. Kansas. Pp: 65-71.
24. Su, Y.Z., and Zhao, H.L. 2003. Losses of soil organic carbon and nitrogen and their mechanisms in the desertification process of farmlands in Horqin sandy land. *Agriculture Sciences in China*. 2: 8. 890-897.
25. Toy, T.J., Foster, G.R., and Renard, K.G. 2002. *Soil Erosion, Processes, Predication, Measurement, and Control*. New York: John Wiley and Sons, 338p.
26. Visser, S.M., Sterk, G., and Ribolzi, O. 2004. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid regions. *J. Arid Environ.* 59: 699-717.

27. Wang, D., Fu, B., Zhao, W., Hu, H., and Wang, Y. 2008. Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the loess plateau, China. *Catena*. 72: 1. 29-36.
28. Wang, T. 2000. Land use and sandy desertification in north China. *J. Des. Res.* 20: 103-113.
29. 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.
30. 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.
31. Zhang, C.L., Zou, X.Y., Gong, G.R., Liu, L.Y., and Liu, Y.Z. 2004. Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influences on soil erosion by wind in a wind tunnel. *Soil and Tillage Research*. 75: 53-59.
32. Zobeck, T.M., and Fryrear, D.W. 1986. Chemical and physical characteristics of windblown sediment quantities and physical characteristics. *Transactions of the ASAE*. 29: 1032-1035.



Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel

***M. Mahmoodabadi¹ and H. Rajabpour²**

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,

²M.Sc. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 01/09/2016; Accepted: 08/24/2017

Abstract

Background and Objectives: Wind erosion is known as one of land degradation aspects in arid and semiarid regions. This type of erosion leads to loss of soil organic carbon and nutrients and consequently results in soil quality decline and reduction in plant growth and production. Soil moisture affects the erosion rate through controlling threshold velocity and soil erodibility. This study was done to investigate the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate and threshold velocity as well in two soils with different texture classes using a wind tunnel facility under controlled conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted in two separate tests on two soils with different texture classes, each as factorial based on completely randomized design. Two factors including wind speed and initial moisture each at three replications were applied for each soil. For this purpose, two soils with different texture classes of sandy loam and sandy were chosen, afterwards various levels of initial moisture were produced for each soil and then were exposed to several wind speeds. Regarding to the different texture and erosion threshold of the soils, three levels of initial moisture contents of 1.5, 6.5 and 11.5% for sandy loam and 1, 2.5 and 4.5% for sandy soil were produced. After preparing the soil samples and placing in the wind tunnel, wind velocities of 5, 7.5 and 10 m s⁻¹ at 10 cm height were generated and finally, sediment yield due to wind erosion was measured. In addition, the threshold wind velocity was determined through the observation method. Furthermore, the critical moisture content for each soil was determined based on the minimum moisture amount in which a significant reduction in erosion rate was observed. To assess the influences of wind speeds and moisture contents on erosion rate, relative change percentage was calculated for both the soils.

Results: Results of this study showed that with increasing wind speed and initial moisture content, wind erosion rates increased and decreased, respectively. The measured erosion rates for sandy loam and sandy soils ranged from 0.015 to 0.768 and 0.086 to 14.088 g m⁻² min⁻¹, this difference was attributed to the soils primary and secondary particle size distribution. With increasing the soils moisture content, the threshold wind velocity increased as a power function. The critical moisture contents of 6.5% and 4.5% were determined for sandy loam and sandy soils, respectively. With increasing moisture content in sandy loam soil from 1.5 to 6.5%, at wind velocities of 5, 7.5 and 10 m s⁻¹, the erosion rate decreased by 64.6, 80.7 and 62.9%, while with increasing moisture content from 1.5 to 11.5%, it was reduced by 82.3, 90.8 and 77.5%, respectively. These reduction values for sandy soil for the increase in moisture from 1 to 1.5% were 27.7, 32.8 and 71.3% and for the increase in moisture content from 1 to 4.5% were 92.2, 86.6 and 93.9%, respectively.

Conclusion: The findings of this research revealed the importance of maintaining and or increasing in soil moisture to combat wind erosion, so that due to soil moisture increase, wind erosion rate can be restricted by 90%. It was concluded that the critical value of moisture content differs in various soils. This critical value for sandy soil (4.5%) was lower than that in sandy loam soil (6.5%). The results also indicated that both primary and secondary particle size distribution have undeniable impacts on wind erosion rate through affecting on moisture retention, aggregate density, inter-particles cohesion and threshold velocity. Finally, it was found that by reducing wind speed toward values less than the threshold velocity, in addition to soil management strategies to maintain and improve soil moisture, wind erosion can be reduced, remarkably.

Keywords: Wind tunnel, Soil moisture, Wind velocity, Arid land

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

