انتخاب‌پذیری و توزیع عمودی اندازه ذرات رسوب حاصل از فرسایش بادی با استفاده از آزمایش تونل باد و نمونه‌گیر BSNE

حسین خیرآبادی[۱] و مجید محمودآبادی[۲]
۱ - دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
E. mail: kheirabadi@ymail.com

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی توزیع عمودی شدت تولید رسوب و اندازه ذرات حاصل از فرسایش بادی با استفاده از تونل باد و سری نمونه گیر رسوب در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی انجام شد. سه سرعت باد شامل ۶، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری بر روی سطحی به طول ۷ متر از یک نمونه خاک زراعی ایجاد و رسوب تولیدی با استفاده از نمونه‌گیر BSNE در ارتفاع‌های ۲، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ سانتی‌متری از سطح جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع، رسوب تولیدی بطور غیرخطی کاهش و فراوانی ذرات ریز افزایش می‌یابد. بیشتر رسوب در ارتفاع صفر تا ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک منتقل شد به این معنی که در صورت انجام عملیات حفاظتی مناسب نظیر ایجاد زبری در سطح تا این ارتفاع، می‌توان فرسایش بادی را تا حد زیادی مهار کرد. در بین کلاس‌های مختلف اندازه ذرات رسوب، ذرات با اندازه ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرون بیشترین انتخاب-پذیری را نسبت به خاک در معرض فرسایش نشان دادند.

واژه‌های کلیدی : توزیع اندازه ذرات، BSNE، تونل باد، فرسایش‌پذیری خاک.

مقدمه

آشنایی با فرآیندهای فرسایش بادی برای مدیریت مناطق خشک جهان بسیار مهم است. فرسایش بادی علت اصلی تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. در مقیاس جهانی، حدود ۴۳۲/۲ میلیون هکتار از مناطق خشک حساس به فرسایش بادی هستند (Middleton و Thomas، ۱۹۹۷). در این بین، ایران به عنوان یکی از کشورهای جنوب غرب آسیا، از مناطق مهم و تاثیرگذار در پدیده فرسایش و گرد و غبار محسوب می‌شود. طبق آمار موجود، از ۳۲/۵ میلیون هکتار اراضی بیابانی، ۱۹/۵ هکتار تحت فرسایش بادی و ۶ میلیون هکتار را کانون‌های بحرانی فرسایش بادی تشکیل می‌دهد.

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرآیند فرسایش خاک در عرصه‌های طبیعی و شرایط مختلف آب و هوایی به دلیل محدودیت‌هایی مالی و زمانی، شرایط سخت فیزیکی و نوسانات غیرقابل پیش‌بینی، بسیار سخت و زمان‌بر است. همچنین مشکل دیگر در ارتباط با مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش خاک در شرایط طبیعی این است که فرآیندهای فرسایشی بسیار پویا هستند و تغییر در مقدار آن‌ها معمولاً در مقیاس‌های مکانی نسبتاً کوچکی اتفاق می‌افتد (Lal، ۱۹۹۰؛ Parsons و همکاران، ۲۰۰۶). هرچند بسته به نوع و هدف از انجام مطالعه، تحقیق بر روی فرسایش خاک هم در صحرا و هم در آزمایشگاه امکان‌پذیر است ولی استفاده از شبیه سازی باد در شرایط تحت کنترل آزمایشگاهی و با ابعاد بزرگ، یکی از بهترین گزینه‌های مناسب برای مطالعات فرسایش بادی است (Van Pelt و همکاران، ۲۰۱۰).

مطالعه توزیع اندازه ذرات یک روش پایه و مرسوم است که در مطالعه محیط‌های رسوبی، دینامیک و مکانیسم‌های رسوب و توسعه لندفرم‌های بادی و همچنین انتقال و مرتب‌شدگی (دانه‌بندی)[۱] ذرات رسوب بادرفتی استفاده می‌شود (Farrell و همکاران، ۲۰۱۲). ارتباط نزدیکی بین توزیع اندازه ذرات رسوب و خاک (Goossens، ۲۰۰۷) و همچنین، فرآیندهای انتقال ذرات وجود دارد (Bauer و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به توزیع اندازه رسوب، فرآیندهای انتقال ذرات شامل خزش، جهش و

[1] Sorting

تعلیق است که Hagen (۲۰۱۰) برای فرآیندهای خزش، جهش و تعلیق، به ترتیب دامنه اندازه ۰/۸ تا دو میلی متر، ۰/۱ تا ۰/۸ میلی متر و کوچک تر از ۰/۱ میلی متر را گزارش کرده است.

تحلیل توزیع اندازه ذرات رسوب و عوامل مؤثر بر آن از پارامترهای مهمی می‌باشند که اطلاعات مفیدی را درباره منشاء رسوبات و مکانیسم حمل ذرات در اختیار محققین می‌گذارد (Mahmoodabadi و همکاران، ۲۰۱۱). این اطلاعات به خصوص در مدل‌های فرسایش و رسوب کاربرد ویژه‌ای دارد (Goossens، ۲۰۰۷). از این رو با توجه به اهمیت فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، این پژوهش با هدف بررسی توزیع عمودی شدت تولید و اندازه ذرات رسوب حاصل از فرسایش بادی در مقایسه با خاک در معرض فرسایش، با استفاده از نمونه‌گیر رسوب BSNE و تونل باد در شرایط آزمایشگاهی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از دستگاه تونل باد پیشرفته از نوع مدار باز موجود در آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. دستگاه مورد استفاده قادر است سرعت‌های تا ۳۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری را بر روی سطحی به طول ۷ متر ایجاد نماید. در این آزمایش رسوب حاصل از فرسایش بادی، با استفاده از نمونه‌گیر BSNE استاندارد جمع‌آوری شد. نمونه‌گیرهای BSNE در ارتفاع‌های ۲، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ سانتی متری از کف در انتهای تونل باد نصب شد. یک نمونه خاک زارعی را از الک ۴/۷۵ میلی‌متری عبور داده شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی صورت گرفت. تیمارها شامل یک نمونه خاک زارعی و سه سرعت باد (۶، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری)، هر یک در سه تکرار انجام شد. به منظور بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب در نمونه‌گیرها، هر نمونه به صورت جداگانه در محفظه مخصوص تونل باد ریخته و تسطیح شد. سپس سرعت‌های مورد نظر باد، به مدت ۵ دقیقه، بر روی خاک مورد مطالعه ایجاد شد. برای بررسی اندازه ذرات رسوب، در پایان هر آزمایش توزیع اندازه رسوب جمع آوری شده در نمونه گیر BSNE تعیین گردید. به این منظور، از یک دستگاه شیکر الک و سری الک استاندارد استفاده شد. الک‌های مورد استفاده شامل؛ ۴/۷۵، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۶۳ میلی‌متر که به مدت ۲ دقیقه تکان داده شد.

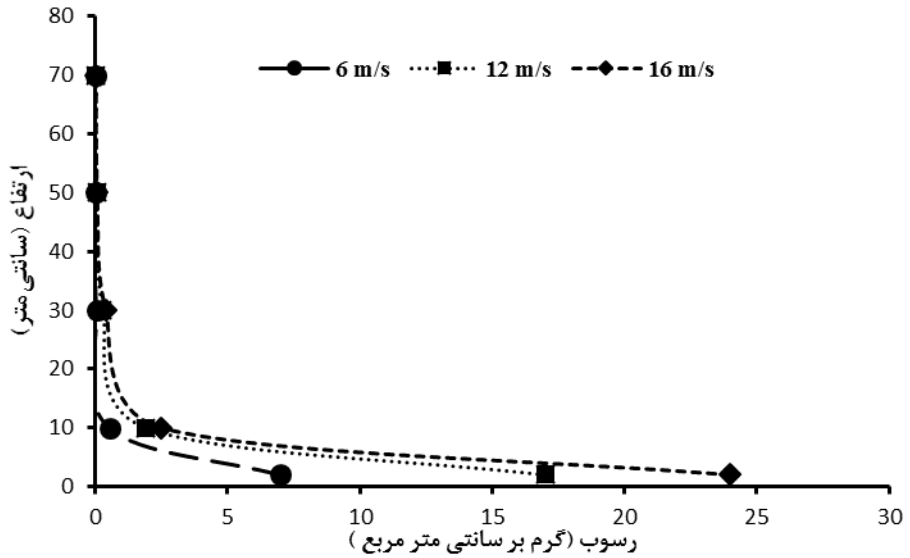
نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. به طور کلی، خاک مورد مطالعه دارای کلاس بافت لوم شنی است. همچنین میزان کربنات کلسیم معادل قابل توجه و بیش از ۱۰ درصد و میزان کربن آلی اندک و کمتر از ۰/۶ درصد است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد مطالعه

ویژگی		واحد	مقدار
pH		-	۷/۸۳
EC		$dS\ m^{-1}$	۳/۷۰
کربنات کلسیم معادل		درصد	۱۳/۵
جرم ظاهری	مخصوص	گرم بر مترمکعب	۱/۴۷
کربن آلی		درصد	۰/۵۸
رس		درصد	۵
سیلت		درصد	۱۵
شن		درصد	۸۰
کلاس بافت		-	لوم شنی

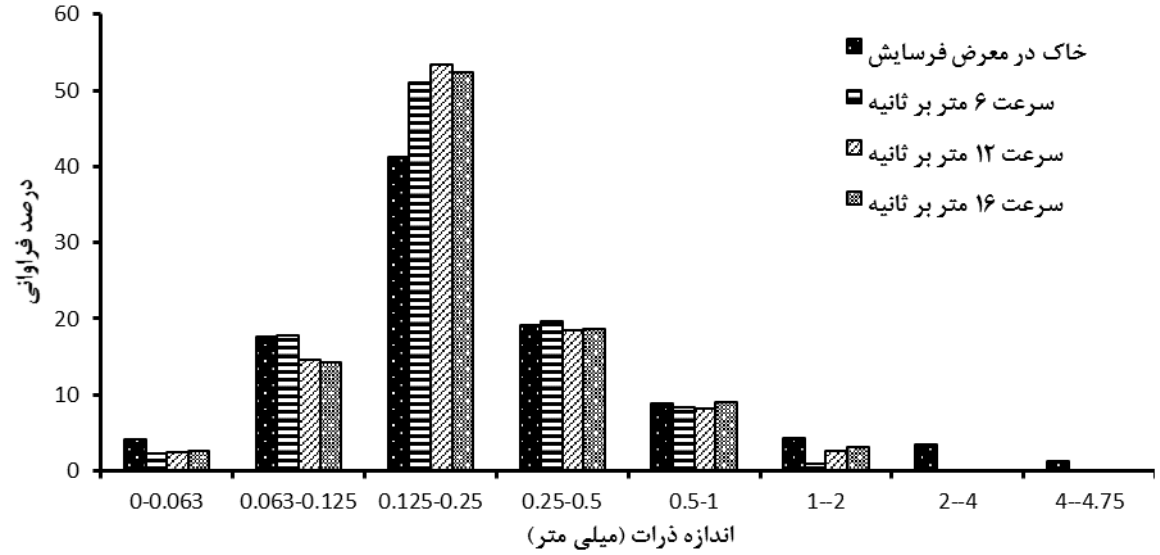
شکل ۱ توزیع عمودی رسوب حاصل از فرسایش بادی در سرعت‌های مختلف باد را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع مقدار رسوب به دام افتاده در نمونه گیرها بطور غیرخطی کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج Fryrear (۱۹۸۶) و همچنین Zhou و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد که دریافتند قسمت عمده خاک حمل شده به وسیله باد در نزدیکی سطح زمین و از طریق عمل جهش صورت می‌گیرد که با افزایش ارتفاع، مقدار رسوب تولیدی کاهش می‌یابد. نکته جالب دیگر اینکه عمده کاهش شدت تولید رسوب با افزایش ارتفاع، از سطح خاک تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری مشاهده شد و در ارتفاع‌های بالاتر، کاهش تولید رسوب قابل توجه نبود. این یافته اهمیت عملیات حفاظتی در کاهش تولید رسوب نظیر ایجاد زبری در سطح تا این ارتفاع را در مهار فرسایش بادی نشان می‌دهد. به طوری میزان رسوب از ۲۳/۹۹، ۱۷ و ۶/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مربع در ارتفاع ۲ سانتی‌متری به ۲/۴۹، ۱/۹ و ۰/۵۳ گرم بر سانتی‌متر مربع در ارتفاع ۱۰ نسبت به ترتیب برای سرعت های ۱۶، ۱۲ و ۶ متر بر ثانیه کاهش یافته است. علاوه بر این درصد کاهش میزان رسوب از ارتفاع ۲ سانتی‌متری به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری برای سرعت‌های ۶، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۹۲، ۸۸ و ۸۹ درصد می‌باشد. همچنین مشخص گردید که با افزایش سرعت باد، رسوب جمع‌آوری شده در نمونه‌گیرها افزایش می‌یابد به طوری که به حداکثر مقدار خود در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه به میزان رسوب برابر با ۲۳/۹۹، ۲/۴۹، ۰/۳۹، ۰/۰۶۱ و ۰/۰۱۵ گرم بر سانتی‌متر مربع به‌ترتیب برای ارتفاع‌های ۲، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ سانتی‌متر از کف می‌رسد.



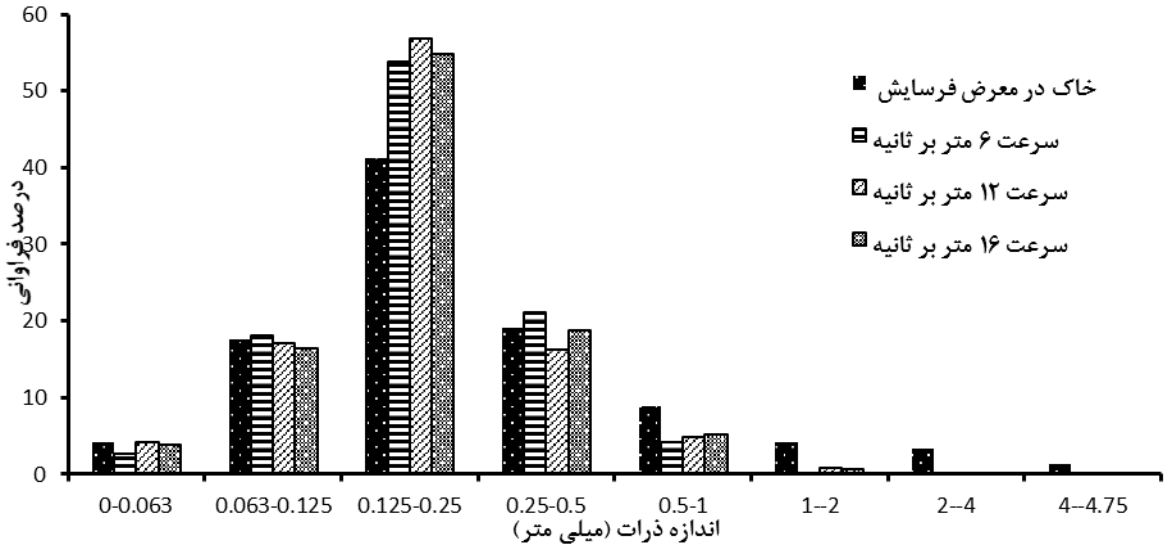
شکل ۱- توزیع عمودی رسوب جمع آوری شده در نمونه‌گیرهای BSNE در ارتفاع‌های متفاوت و سرعت‌های مختلف باد

با توجه به کم بودن مقدار رسوب در ارتفاع‌های بالا، توزیع اندازه ذرات رسوب تنها در دو ارتفاع ۲ و ۱۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. توزیع اندازه ذرات رسوب حاصل از فرسایش بادی در دو ارتفاع ۲ و ۱۰ سانتی‌متر در مقایسه با خاک در معرض فرسایش برای سرعت‌های مختلف باد، در دو ارتفاع ۲ و ۱۰ سانتی‌متر از سطح به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ذرات کوچکتر از ۰/۰۶۳ و ۰/۱۲۵ میلی‌متر در مقایسه با خاک اصلی کاهش یافته، ذرات در اندازه ۰/۱۲۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به خاک اصلی افزایش یافته، و ذرات در اندازه ۰/۲۵ تا ۱ میلی متر تقریبا مشابه خاک اصلی بوده و در نهایت ذرات بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر نسبت به خاک اصلی کاهش یافته است. همچنین تغییرات توزیع اندازه ذرات در نمونه‌گیر ۱۰ سانتی‌متر تقریبا مشابه نمونه‌گیر در ارتفاع ۲ سانتی متر می‌باشد با این تفاوت که ذرات در اندازه ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر نسبت به خاک اصلی کاهش می‌یابد. این موضوع اهمیت ارتفاع را در توزیع اندازه ذرات رسوب نشان می‌دهد. همچنین فروانی بیشتر ذرات رسوب در دامنه اندازه ۰/۱۲۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به خاک اصلی بیانگر انتخاب-پذیری و البته حساسیت بیشتر این ذرات است. در پژوهش‌های قبلی نیز دامنه مشابهی از اندازه ذرات به عنوان حساس‌ترین

ذرات در برابر فرسایش بادی گزارش شده است. این دامنه از ذرات، با مکانیسم جهش حمل می‌شوند که از این نظر نیز این یافته با نتایج گذشته همخوانی دارد. لازم به ذکر است که ذرات بزرگتر به دلیل قطر زیاد و چگالی بیشتر ممکن است قبل از ورود به دهانه نمونه‌گیر در اثر نیروی ثقل سقوط کنند. از طرف دیگر، ذرات بزرگ رسوب به دام افتاده در اثر برخورد با دیواره‌های داخلی نمونه‌گیر خرد می‌شوند در نتیجه، میزان ذرات درشت به دام افتاده کاهش می‌یابد. همچنین ذرات ریزتر به دلیل قطر کم پس از ورود به نمونه‌گیر از الک ۶۰ مشی خارج می‌گردد (کریم زاده و همکاران، ۱۳۸۱).



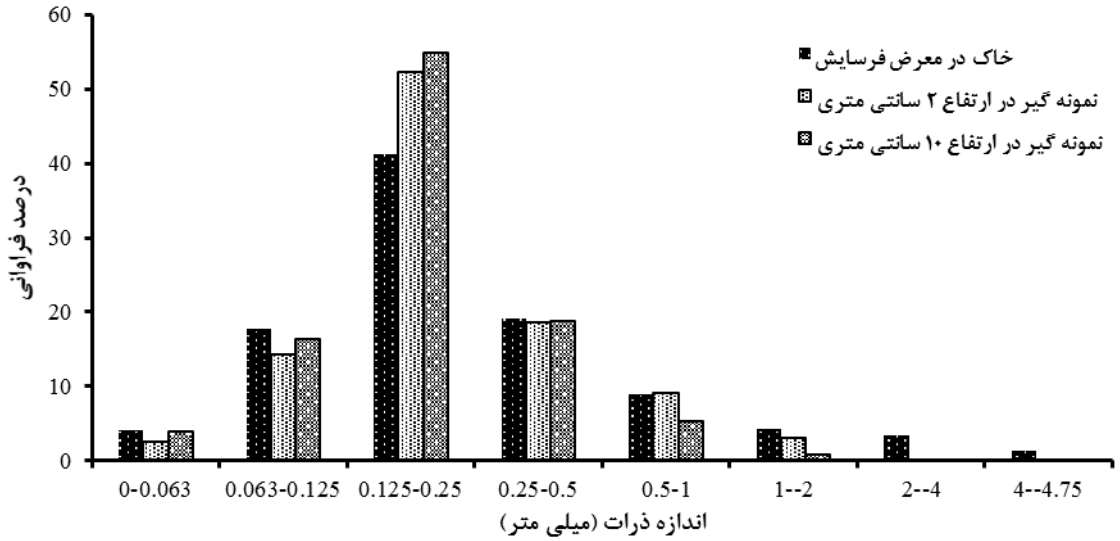
شکل ۲- توزیع اندازه ذرات رسوب حاصل از فرسایش بادی در مقایسه با خاک در معرض فرسایش با حداکثر اندازه ذرات ۴/۷۵ میلی متر در سرعت های مختلف باد در ارتفاع ۲ سانتی متر از سطح



شکل ۳- توزیع اندازه ذرات رسوب حاصل از فرسایش بادی در مقایسه با خاک در معرض فرسایش با حداکثر اندازه ذرات ۴/۷۵ میلی متر در سرعت های مختلف باد در ارتفاع ۱۰ سانتی متر از سطح

نتایج شکل ۲ و ۳ همچنین نشان می دهد که بیش‌ترین درصد ذرات ریزتر از ۰/۱۲۵ میلی‌متر از بین سه سرعت باد، در سرعت ۶ متر بر ثانیه حاصل شد و با افزایش سرعت این درصد این ذرات کاهش یافت. به طور کلی رسوب حاصل در نمونه گیرها در همه سرعت‌ها باد، نسبت به ذرات خاک اصلی اندازه ریزتری دارند. این موضوع نشان دهنده این است که در جدا

شدن و انتقال ذرات از سطح خاک، یک حالت انتخاب پذیری وجود داشته به نحوی که این گزینش در مورد ذرات ریزتر بیشتر می باشد. طبق نظر محمودآبادی و زمانی (۱۳۹۱) یکی از دلایل تغییر در توزیع اندازه ذرات رسوب را می توان انتخابی بودن فرآیند و در نتیجه قرار گرفتن ذرات در کلاس‌های اندازه ریزتر نسبت داد. همچنین ترکیب رسوب به دام افتاده در نمونه‌بردارها با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع، فراوانی ذرات ریزتر (صفر تا ۰/۲۵ میلی متر) افزایش نسبی داشته و همچنین در ارتفاع پایین‌تر فراوانی ذرات درشت (۰/۲۵ تا ۲ میلی متر) بیشتر می‌شود. در این زمینه، Tan و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که با افزایش ارتفاع توزیع اندازه ذرات به سمت ذرات ریزدانه‌تر متمایل می‌شود.



شکل ۴- توزیع اندازه ذرات رسوب حاصل از فرسایش بادی در مقایسه با خاک در معرض فرسایش با حداکثر اندازه ذرات ۴/۷۵ میلی متر در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه باد در ارتفاع‌های ۲ و ۱۰ سانتی متر از سطح

در این پژوهش با استفاده از آزمایش‌های تونل باد، انتخاب‌پذیری و توزیع عمودی اندازه ذرات رسوب ناشی از فرسایش بادی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در جداشدن و انتقال ذرات از سطح خاک، یک حالت انتخاب‌پذیری وجود دارد به طوری که این گزینش در مورد ذرات ریزتر بیشتر است. همچنین یافته‌های این پژوهش روشن ساخت که بیشتر رسوب تولیدی در ارتفاع صفر تا ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک منتقل می‌شود که در صورت عملیات حفاظتی مناسب نظیر ایجاد زبری در سطح تا این ارتفاع، می‌توان فرسایش بادی را تا حد زیادی مهار کرد. با افزایش ارتفاع، فراوانی ذرات ریز افزایش یافت. همچنین در بین کلاس‌های مختلف اندازه ذرات رسوب، ذرات در دامنه اندازه ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرون بیشترین انتخاب-پذیری و حساسیت را نشان دادند.

منابع

کریم زاده، ح، ر. و جلالیان، ا، ۱۳۸۱. کاربرد نمونه بردار BSNE در بررسی توزیع عمودی رسوب فرسایش یافته بادی در منطقه شرق اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶: ۱۳۸-۱۲۱

محمودآبادی، م، زمانی، س. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر سرعت باد و توزیع اندازه ذرات خاک بر فرآیندهای حمل رسوب ناشی از فرسایش بادی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴ (۳): ۱۴۱-۱۵۱.

Bauer B.O., Hesp P.A., Walker I.J. and Davidson-Arnott R.G.D. 2015. Sediment transport (dis)continuity across a beach–dune profile during an offshore wind event. Geomorphology. 245: 135-148.

Fryrear D.W. 1986. A field dust sampler. Journal of Soil and Water conservation. 41: 117-120.

Farrell, E.J., Sherman, D.J., Ellis, J.T., and Li, B. 2012. Vertical distribution of grain size for wind-blown sand. Aeolian Research. 7: 51-61.

Goossens D. 2007. Bias in grain size distribution of deposited atmospheric dust due to the collection of particles in sediment catchers. Catena. 70(1): 16-24.

Hagen L.J. 2010. Erosion by wind: Modeling. USDA-ARS, Wind Erosion Research. Unit Manhattan, KS. Available at: http://www.weru.ksu.edu.

Mahmoodabadi M., Dehghani F. and Azimzadeh H.R. 2011. Random and oriented roughness influence on soil erosion rate using wind tunnel experiment. EGU General Assembly. 3-8 April, Vienna, Austria, p. 965.

Middleton N. and Thomas D. 1997. World Atlas of Desertification, 2nd Ed., 182 pp., Arnold Publ., London.

Tan L., Zhang W, Qu J, Du J, Yin D. and An Z. 2014. Variation with height of Aeolian mass flux density and grain size distribution over natural surface covered with coarse grains: A mobile wind tunnel study. Aeolian Research. 15: 345-352.

Van Pelt R.S., Zobeck T.M., Baddock M.C. and Cox J.J. 2010. Design, construction and calibration of a portable boundary layer wind tunnel for field use. Trans ASAEB. 53(5): 1413-1422

Zhou J., Lei J., Li S. Wang H. Sun N. and Xuexi M. 2016. A wind tunnel study of sand-cemented bodies on wind erosion intensity and sand transport. Natural Hazards, 82: 25-38.

Selectivity and vertical distribution of sediment particle size due to wind erosion using wind tunnel and BSNE sampler

H. Kheirabadi[1] and M. Mahmoodabadi[2]

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman.
2. Associate Prof., Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman.

E. mail: kheirabadi@ymail.com
E. mail: mahmoodabadi@uk.ac.ir

Abstract

The present study aims to investigate the vertical distribution of sediment load as well as sediment size distribution due to wind erosion using wind tunnel facility and sediment sampler set under controlled laboratory conditions. Three wind velocities of 6, 12, 16 m/s at 40 cm height on a cropland soil surface with 7 m length were introduced and the produced sediment was collected using the standard BSNE sampler installed at different heights of 2, 10, 30, 50 and 70 cm. Results showed that with increasing height, the sediment yield decreased non-linearly while the frequency of fine particles increased. Most sediment particles were transported within the height of 0 to 10 cm from the soil surface; this means that by appropriate conservation practices such as making roughness to this height, wind erosion can be controlled, significantly. Among different sediment size classes, particles in the ranges of 125 to 250 micron showed the highest selectivity compared to the eroded soil.

Keywords: Particle Size Distribution, BSNE, Wind Tunnel, Soil Erodibility