

بررسی تغییرپذیری زمانی فرایندهای فرسایش بارانی در خاک مارنی کشاورزی

علی‌رضا واعظی^۱، عطیه رستمی^۲، سمیه حمیدی نهرانی^۳
 ۱- دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، ۳- دانشجوی دکترای فیزیک و حفاظت خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

چکیده

فرسایش بارانی نتیجه مستقیم برخورد قطرات باران بر سطح خاک است. تخریب خاکدانه، تراکم خاک و پاشمان ذرات از مهمترین فرایندهای فرسایش بارانی هستند که شدت وقوع آن‌ها طی زمان بارندگی تغییر می‌یابد. در این مطالعه تغییرات زمانی فرایندهای فرسایش بارانی در یک خاک مارنی کشاورزی با استفاده از هشت تداوم باران شبیه‌سازی شده (۵/۷، ۱۵، ۵/۲۲، ۳۰، ۵/۳۷، ۴۵، ۵/۵۲ و ۶۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، فرایندهای فرسایش بارانی به شدت طی زمان بارندگی تغییرات چشمگیری پیدا کردند ($p < 0.01$). تخریب خاکدانه، آغازین فرایند وقوع فرسایش بارانی بود. تراکم خاک همگام با تخریب خاکدانه آغاز گردید و تغییرات زمانی آن بسیار شبیه به تغییرات زمانی تخریب خاکدانه بود. پاشمان ذرات پس از وقوع این دو فرایند شروع گردید و الگوی تغییرات آن بسیار متفاوت از آن دو بود. این فرایند فرسایش بارانی برخلاف دو فرایند دیگر حتی در اواخر بارندگی هم افزایش شدید نشان داد.

واژه‌های کلیدی: باران شبیه‌سازی شده، تخریب خاکدانه، تداوم بارندگی، تراکم خاک، پاشمان ذرات

مقدمه

فرسایش بارانی یکی از انواع فرسایش آبی است که بر اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک به وجود می‌آید. از جمله فرایندهای فرسایش بارانی که بر اثر برخورد قطرات باران بر سطح خاک ایجاد می‌شود، تخریب خاکدانه، تراکم خاک و پاشمان ذرات است (بارتز و رز، ۲۰۰۲). قطرات باران پس از برخورد با خاک خشک قسمتی از خاکدانه‌ها و کلوخه‌های خاک را خرد کرده (تخریب)، به ذرات ریز جدا می‌کنند و خود جذب خاک می‌گردند. با ادامه بارندگی، خاک به تدریج مرطوب می‌شود. در این حالت قطرات باران پس از برخورد با خاک مرطوب از یک طرف باعث فشردن و تراکم خاک می‌گردند و از طرف دیگر به صورت ذراتی به طور مایل به هوا پرتاب می‌شوند (کینل، ۲۰۰۵) و پدیده پاشمان را شکل می‌دهند. این فرایندها تحت تأثیر خصوصیات باران (شدت، مدت و غیره)، ویژگی‌های خاک، شیب و ویژگی‌های سطح قرار می‌گیرند (باری و همکاران، ۲۰۰۵). خصوصیات باران از جمله انرژی جنبشی و قطر قطرات باران بر فرسایش بارانی اثر می‌گذارد به طوری که با افزایش آن‌ها فرسایش بارانی به صورت خطی افزایش می‌یابد (فرناندز-راگا و همکاران، ۲۰۱۰). در بین ویژگی‌های خاک، توزیع اندازه ذرات می‌تواند به عنوان شاخص مناسب برای تشخیص حساسیت خاک در برابر پیامدهای فرسایش بارانی از جمله تشکیل سله، تولید رواناب و فرسایش آبی باشد (بارتز و همکاران، ۲۰۰۸). رطوبت خاک مشخصه دیگری از خاک است که بر فرسایش بارانی اثر می‌گذارد به طوری که با افزایش مقدار رطوبت خاک، میزان تخریب‌پذیری خاک توسط قطرات باران افزایش می‌یابد (رویز-سینوگا و رومرو-دیزا، ۲۰۱۰). فرسایش خاک به وسیله باران پدیده مهم تخریب زمین به ویژه در خاک‌های حساس است. مارن‌ها از جمله سازندهای حساس به فرسایش خاک هستند. فرسایش بارانی نقشی مهم در تخریب این سازندهای ناپایدار و ظهور سله و کاهش نفوذپذیری خاک ایفا می‌کند. مارن‌های آهکی-گچی که بخشی از حوزه آبخیز زنجان رود را در بخش غربی در برمی‌گیرند، مهم‌ترین منشأ تولید رسوب در حوزه سفیدرود می‌باشند. اگرچه مطالعات زیادی در مورد فرایندهای فرسایش بارانی در خاک‌های مختلف در سراسر دنیا انجام شده است اما هنوز اطلاعات در سازندهای مارنی بسیار محدود است. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی همزمان فرایندهای تخریب، تراکم و پاشمان تحت شرایط آزمایشگاهی در مارن‌های آهکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق یک خاک کشاورزی از مناطق تحت فرسایش شدید، واقع در سازندهای مارنی در استان زنجان انتخاب شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه تعیین شد. برای این منظور بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر، ۱۹۸۶)، ماده الی خاک به روش والکلی-بلاک، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک نرمال و گچ به روش استن (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شدند. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار (MWD) به روش الک تر (آمزتکا و همکاران، ۱۹۹۶) به وسیله دستگاه مکانیکی به مدت ۱ دقیقه تعیین شد. آزمایش در هشت تداوم بارندگی (۵/۷، ۱۵، ۵/۲۲، ۳۰، ۵/۳۷، ۴۵، ۵/۵۲ و ۶۰ دقیقه) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. بر این اساس ۲۴ جعبه مسطح و نفوذپذیر به ابعاد ۳۰×۴۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر تهیه شد. دیواره جعبه‌ها بدون منفذ و قطر سوراخ کف آن‌ها کمتر از دو میلی‌متر بود.

نمونه‌های خاکدانه با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر (به طور میانگین ۷ میلی‌متر) از عمق ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر تهیه و در داخل جعبه‌ها تا ارتفاع ۸ سانتی‌متر قرار داده شدند. به منظور بررسی فرایندهای تخریب، تراکم و پاشمان، رخدادهای باران با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت‌های ۵/۷، ۱۵، ۵/۲۲، ۳۰، ۵/۳۷، ۴۵، ۵/۵۲ و ۶۰ دقیقه بر نمونه‌ها اعمال شدند. به منظور اعمال هر یک از تداوم‌های بارندگی جعبه‌های حاوی خاکدانه‌ها در سه تکرار زیر دستگاه شبیه‌ساز باران به طور جداگانه برای مدت مقرر قرار گرفتند. میزان تخریب خاکدانه‌ها بر اساس قطر متوسط اولیه خاکدانه‌ها قبل از باران (۷ میلی‌متر) و تعیین قطر متوسط آن‌ها با استفاده از شاخص MWD پس از برخورد قطرات باران، درصد تخریب خاکدانه‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان تراکم، میزان جرم مخصوص ظاهری خاک پس از بارندگی با استفاده از روش پارافین تعیین شد. به منظور تعیین پاشمان، ذرات خاک پاشمان یافته در اطراف هر جعبه به طور جداگانه، جمع‌آوری و پس از خشک شدن در آون (در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۴ ساعت) وزن شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشاورزی در جدول ۱ آمده است. با توجه به درصد نسبی ذرات شن (۹۵/۳۴)، سیلت (۸۶/۳۱) و رس (۱۸/۳۳)، خاک کشاورزی دارای بافت لومرسی (Clay loam) بود. با در نظر گرفتن میزان آهک در این خاک (۲۴/۲۱ درصد) می‌توان آن را جزء خاک‌های آهکی در نظر گرفت. هم‌چنین میزان ماده آلی در این خاک پایین بود (۲۱/۱ درصد). بررسی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر برای مدت یک دقیقه (۰۳/۱ میلی‌متر) نیز نشان داد که خاک کشاورزی، پایداری بسیار اندکی در برابر عوامل فرساینده از جمله باران داشت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشاورزی

شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	ماده آلی (درصد)	آهک (درصد)	گچ (درصد)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر)
۹۵/۳۴	۸۶/۳۱	۱۸/۳۳	۲۱/۱	۲۴/۲۱	۴۴/۴	۰۳/۱

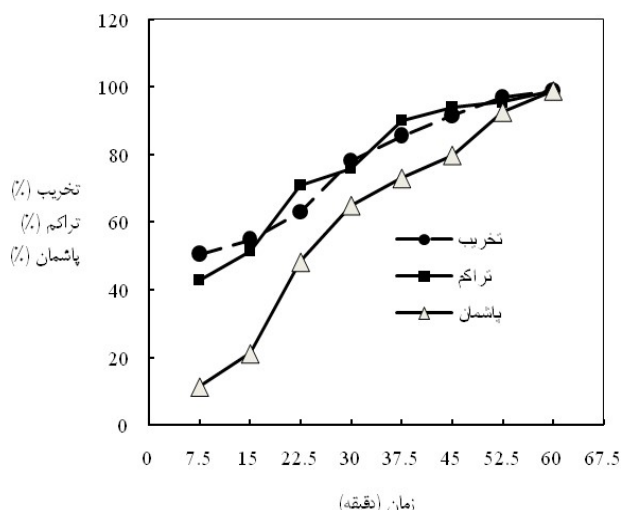
نتایج نشان داد که فرایندهای فرسایش بارانی به شدت تحت تأثیر تداوم باران قرار گرفتند به طوری که تفاوتی معنی‌دار بین تداوم‌های بارندگی از نظر میزان تخریب، تراکم و پاشمان ذرات ($p < 0.01$) وجود داشت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تداوم باران بر تخریب خاکدانه، تراکم خاک و پاشمان ذرات در خاک ماری کشاورزی

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
تخریب خاکدانه	۷/۳۱۴	۷	۳۴/۳۹	۳۵/۶۰۹	۰/۰۰۰
تراکم خاک	۲۱/۰	۷	۰۳/۰	۶۱/۲۱۳	۰/۰۰۰
پاشمان ذرات	۶۵/۲۲۹	۷	۷۱/۲۸	۴۶/۸	۰/۰۰۰

بررسی همزمان فرایندهای تخریب خاکدانه‌ها، تراکم و پاشمان ذرات خاک طی بارندگی نشان داد که تخریب ساختمان خاک آغازین فرایند فرسایش بارانی است. در واقع اولین پیامد برخورد قطرات باران بر سطح خاک، متلاشی کردن خاکدانه‌ها است. به عبارت دیگر، در اوایل بارندگی سهم عمده انرژی قطرات، صرف جداسازی ذرات از هم و تخریب خاکدانه‌ها شد. با شروع این فرایند، تراکم سطح خاک اتفاق می‌افتد. شدت وقوع این دو فرایند (تخریب و تراکم خاک) در اوایل تا اواسط بارندگی بسیار بالا است. تقریباً ۵۰ درصد این دو فرایند در همان لحظات اولیه بارندگی به وقوع می‌پیوندد. میزان تراکم خاک تقریباً همگام با میزان تخریب خاکدانه‌ها افزایش یافت. افزایش تراکم خاک از یک سو به دلیل خرد شدن خاکدانه‌ها و تبدیل آن‌ها به ذرات اولیه و از سوی دیگر افزایش محتوای رطوبتی خاک بود. با تداوم بارندگی و برخورد بیشتر ضربات باران بر سطح خاک و تأثیر توام افزایش رطوبت خاک، پاشمان ذرات خاک شدت می‌گیرد به طوری که در زمان ۵/۲۲ دقیقه افزایش سریعی در پدیده پاشمان ذرات خاک مشاهده شد. الگوی تغییرات پاشمان ذرات متفاوت از دو فرایند دیگر فرسایش بارانی می‌باشد. به هر حال روند تغییرات زمانی پاشمان ذرات بسیار بارزتر از دو فرایند دیگر است و این نشان می‌دهد که وابستگی زمانی پدیده پاشمان نسبت به دو فرایند دیگر به باران بیش‌تر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که پس از مدتی از شروع بارندگی، بسیاری از خاکدانه‌ها تخریب یافته و در ادامه میزان تغییرات تخریب خاکدانه بسیار اندک می‌باشد. فرایند تراکم خاک هم بسیار وابسته به فرایند تخریب خاکدانه می‌باشد و عملاً از زمان ۵/۳۷ دقیقه به بعد شدت افزایش آن ناچیز است. در حالی که پاشمان ذرات فرایندی پیوسته بوده و در خاک حساس، با توجه به وجود ذرات قابل انتقال و افزایش رطوبت خاک، حتی در اواخر باران نیز شدت وقوع آن بالا است. در پژوهشی توسط مامدو و همکاران (۲۰۰۶) رابطه بین میزان رطوبت اولیه خاک و میزان تخریب خاکدانه‌ها در چهار نوع خاک آهکی بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان رطوبت اولیه خاکدانه‌ها، میزان تخریب خاکدانه‌ها به وسیله قطرات باران، به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت. اروگان (۲۰۱۱) در پژوهشی اثر مدت زمان بارش بر فرسایش پاشمانی را در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه با شدت بارش ۷۵/۱۱۸ میلی‌متر بر

ساعت در خاک شن لومی مطالعه نمود. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان بارندگی، فرسایش پاشمانی نیز تا ۱۵ دقیقه افزایش یافت و پس از آن تفاوت معنی داری در افزایش میزان پاشمان ذرات مشاهده نشد.



شکل ۱- تغییرات همزمان فرایندهای تخریب، تراکم و پاشمان در خاک کشاورزی

منابع

- Amézketa E., Singer M.J. and Le Bissonnais Y. ۱۹۹۶. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, ۶۰: ۸۸۸-۸۹۴.
- Arowoogun E. ۲۰۱۱. The influence of rainfall duration on splash produced from a loamy sand soil. Department of agricultural engineering in partial fulfillment Abeokuta ogun state.
- Barry D.A., Sander G.C., Jomaa S., Heng B.C.P., Parlange J.Y., Lisle I.G. and Hogarth W.L. ۲۰۱۱. Exact solutions of the Hairsine-Rose precipitation-driven erosion model for a uniform grain size soil. *Journal of Hydrology*, ۳۸۹ (۳-۴): ۳۹۹-۴۰۵.
- Barthes B. and Roose E. ۲۰۰۲. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*, ۴۷: ۱۳۳-۱۴۹.
- Barthes B.G., Kouoa Kouoa E., Larre-Larrouy M.C., Razafimbelo T.M., de Luca E.F., Azontonde A., Neves C.S., de Freitas P.L. and Feller C.L. ۲۰۰۸. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, ۱۴۳: ۱۴-۲۵.
- Fernandez-Raga M., Fraile R., Keizer J., Eufemia M. and Castro A. ۲۰۱۰. The Kinetic energy of rain measured with an optical disdrometer: An application to splash erosion in Leon (Spain). *Atmosphere Researchs*, ۹۳: ۶۱۹-۶۳۵.
- Gee G.W. and Bauder J.W. ۱۹۸۶. Particle-size analysis. p. ۳۸۳-۴۱۱. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part ۱. ۲nd ed. Agron. Monogr. ۹. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. ۳۸۳-۴۱۱.
- Kinnell, P.I.A. ۲۰۰۵. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: A review. *Hydrological Processes*, ۱۹: ۲۸۱۵-۲۸۴۴.
- Mamedov A.I., Huang C. and Levy G.J. ۲۰۰۶. Antecedent moisture content and aging duration effects on seal formation and erosion in smectitic soils. *Soil Science Society of America Journal*, ۶۶: ۶۳۱-۶۳۹.
- Nelson D.W. and Sommers L.E. ۱۹۸۲. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. ۵۳۹-۵۷۹. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part ۲. ۲nd ed. Agron. Monogr. ۹. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Ruiz-Sinoga J.D. and Romero-Diaz A. ۲۰۱۰. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in southern Spain. *Geomorphology*, ۱۱۸: ۳۵۹-۳۶۸.



Abstract

Rainfall erosion is a direct result of raindrops impacting an exposed soil surface. Aggregate breakdown, soil surface compaction and splash of soil particles are the most processes of rainfall erosion which their rates can vary during rainfall. In this study, temporal variations of rainfall erosion processes were investigated in an agricultural marl soil using seven simulated rainfalls with ۷.۵, ۱۵, ۲۲.۵, ۳۰, ۳۷.۵, ۴۵, ۵۲.۵, and ۶۰ min durations. Based on the results, the rainfall erosion processes were significantly varied during rain ($p < 0.001$). Aggregate breakdown was the first process of rainfall erosion. Soil compaction was started with the aggregate breakdown and its temporal variation was similar to aggregate breakdown. Soil splash was started after the two mentioned rainfall processes and its temporal pattern was very different. This rainfall erosion processes contrary to the two other rainfall processes was strongly increased even at the end of rainfall.