

رابطه بین فرسایش پذیری شیاری و شدت باران در خاک رسی

مجید فرومدی^۱، علی رضا واعظی^۲

۱- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه زنجان، ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

چکیده

فرسایش پذیری شیاری نشان دهنده میزان مقاومت خاک در برابر جدا شدن توسط جریان آب است. این عامل یک متغیر ورودی مهم برای برآورد میزان فرسایش شیاری در بسیاری از مدل‌های فرسایش است. در مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP)، فرسایش پذیری شیاری (K_r) به عنوان افزایش ظرفیت جدا شدن خاک به ازای هر واحد افزایش تنش برشی جریان آب بیان شده است. این پژوهش با هدف بررسی نقش شدت باران بر فرسایش پذیری شیاری در خاک رسی انجام گرفت. برای این منظور نمونه‌های خاک از عرصه‌های مازنی غرب زنجان جمع‌آوری شد و در شیارهایی به طول ۴ متر و عرض ۰/۳ متر در داخل فلوم تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت متغیر از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش در ۳۰ واحد آزمایشی تحت شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. نتایج نشان داد که فرسایش پذیری شیاری تحت تأثیر شدت باران قرار گرفت ($p < 0/001$). شدت باران ۳۰ میلی‌متر بر ساعت به عنوان شدت باران آستانه برای انتقال ذرات از خاک شیاری ایجاد فرسایش شیاری بود. افزایش شدت باران، از یکسو افزایش ضربه قطرات باران و تخریب ساختمان خاک و از سوی دیگر تولید بیش‌تر جریان متمرکز در شیارها را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: جریان متمرکز، خاک مازنی، فرسایش شیاری

مقدمه

فرسایش پذیری شیاری^۱، حساسیت خاک دامنه را نسبت به تولید شیاری تحت تأثیر جریان متمرکز آب نشان می‌دهد (Foster et al., 1995). در یک فرآیند فرسایشی، میزان جدا شدن ذرات خاک از شیاری و در نتیجه فرسایش پذیری شیاری، تحت تأثیر ضربه قطرات باران و تنش برشی جریان رواناب در داخل شیاری قرار دارد. سهم ضربه قطرات باران در فرسایش پذیری شیاری نیز به نوبه خود به شدت باران بستگی دارد. آگاهی از میزان تأثیر ضربه قطرات باران و تنش برشی جریان در مدل‌سازی فرسایش شیاری حائز اهمیت است. شدت فرسایش شیاری در مدل‌های مختلف تابعی از تنش برشی جریان، تنش برشی آستانه و ظرفیت جدا شدن ذرات است (Foster et al., 1995). در مدل WEPP فرسایش شیاری و بین‌شیاری از یکدیگر جدا شده و از طریق معادله پیوستگی رسوب در حالت پایدار، برآورد می‌گردند (Foster et al., 1995). در مطالعه رومرو و همکاران (۲۰۰۷)، به تحقیق درباره‌ی فرسایش پذیری شیاری و بین‌شیاری در شمال کوهستان‌های آند در جنوب غربی پرو پرداختند. برای انجام این پژوهش ۱۷ مکان در سطح حوزه آبخیز انتخاب شد. سپس شیاره‌های دست‌ساز در سه طول ۳، ۶ و ۹ متر ساخته و تقریباً ۱۰ دقیقه باران مصنوعی بر آن‌ها اعمال شد بارندگی تا زمان وقوع فرسایش در شیاری ادامه یافت. مقدار فرسایش پذیری شیاری از رابطه زیر تعیین شد (Elliot et al., 1989):

$$D_c = K_r (\tau - \tau_c) \quad (1)$$

که در آن: D_c : ظرفیت فرسایش شیاری برای آب زلال ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)، K_r : فرسایش پذیری شیاری ($\text{kg.N}^{-1}.\text{s}^{-1}$)، τ_c : تنش برشی بحرانی (N.m^{-2}) و τ : تنش برشی جریان آب (N.m^{-2}) می‌باشد.

¹ Rill erodibility

مقدار τ ($N.m^{-2}$) بر اساس معادله (۲) قابل محاسبه است:

$$\tau = \gamma sh = \gamma s u w \quad (2)$$

که در آن: γ وزن مخصوص سیال ($N.m^{-3}$)، s شیب مسیر جریان است که برابر با $\sin(\alpha)$ و α نیز بر حسب درجه می‌باشد، h عمق جریان (m)، u میانگین سرعت ($m.s^{-1}$) و w عرض جریان (m) می‌باشد. مقدار تنش برشی بحرانی (τ_c) ($N.m^{-2}$) بر اساس عرض از مبدأ رابطه بین D_c و τ محاسبه می‌باشد. تنش برشی بحرانی کم‌ترین مقدار تنش است که باعث شروع رواناب و رسوب در خاک می‌شود که مقدار آن برابر 10^{-4} نیوتن بر متر مربع بود.

در مطالعه‌های هابو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثرات شدت باران و درجه شیب بر روی فرآیند فرسایش شیاری در یک دامنه لوسی پرداختند. برای این منظور یک تشت خاک به طول ۱۰ متر و درجه شیب قابل تنظیم ۰-۳۰ درجه تحت باران شبیه‌سازی شده قابل تنظیم ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت قرار گرفت. نتایج نشان داد که فرسایش شیاری به صورت قابل توجهی به مقدار شدت باران و درجه شیب بستگی دارد ($p < 0.001$). بررسی‌های مختلفی درباره تأثیر ویژگی‌های باران و خاک بر وقوع فرسایش خاک توسط آب انجام گرفته است. در برخی پژوهش‌ها تأثیر انرژی جنبشی باران بر تخریب خاکدانه‌ها، پاشمان ذرات و تراکم خاک بررسی شده است. با افزایش میزان انرژی جنبشی قطرات باران، تخریب خاکدانه‌ها افزایش و در نتیجه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (Valetta et al., 2006). از سوی دیگر قطرات باران با افزایش مقدار رطوبت خاک، میزان تخریب‌پذیری خاک را افزایش می‌دهند (Ruiz-Sinoga and Romero Diaz, 2010). پدیده‌هایی مانند سله و تراکم خاک نیز به شدت تحت تأثیر ضربه قطرات باران قرار می‌گیرند (Neave and Rayburg, 2007) و نقشی مهم در تشکیل جریان و فرسایش خاک ایفاء می‌کنند.

در پژوهش‌های پیشین غالباً به بررسی فرسایش‌پذیری شیاری در یک یا چند نوع خاک تحت شیب معین پرداخته شده است. با این وجود تأثیر شدت باران که به عنوان یک عامل اصلی در تخریب خاکدانه‌ها می‌باشد، بر روی فرسایش‌پذیری شیاری تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است. اهمیت این موضوع در سازندهای مارنی که دارای ساختمان ضعیف و ناپایدار می‌باشند، بسیار بیش‌تر است. در این مطالعه سعی گردید که تغییرات فرسایش‌پذیری شیاری در باران‌های با شدت مختلف مورد اندازه‌گیری و محاسبه قرار گیرد و از آن تأثیر شدت باران بر فرسایش‌پذیری شیاری مورد تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در نمونه خاک مارنی که دارای بافتی رسی بود در شرایط آزمایشگاهی تحت باران‌های شبیه‌سازی شده با ۱۰ شدت بارندگی (۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت) و در ۳ تکرار انجام گرفت ($10 \times 3 = 30$). نمونه‌برداری خاک از بخش غربی حوزه آبخیز زنجان‌رود در شمال غرب استان زنجان انتخاب شد. از نظر زمین‌شناسی این منطقه بر روی رسوبات کوارتزی واقع شده است. سازندهای مارنی گسترده وسیعی از این منطقه را دربرگرفته‌اند به طوری که حدود ۲۰ درصد از سطح استان زنجان را دربرگرفته‌اند. به علت داشتن ترکیبات خاص، نسبت به فرسایش حساس هستند، به طوری که بیش‌ترین میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه آبخیز سفیدرود را تولید می‌نمایند. بر حسب ترکیبات کانی‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، شرایط اقلیمی و توپوگرافی اشکال گوناگون فرسایش بر روی مارن‌ها مشاهده می‌شود. هر واحد آزمایشی عبارت از فلومی به ابعاد 0.9×4 متر مربع و به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر است که تحت شیب ۱۰ درصد مستقر شد. کف فلوم دارای یک لایه شنی با قابلیت زهکشی بود و در درون آن خاک تا عمق ۱۵ سانتی‌متر ریخته شد. تعداد ۳ شیار شبیه جویچه شخم به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و با طول ۴ متر در راستای شیب به صورت دستی ایجاد شد. در پایان هر شیار تجهیزات جمع‌آوری رواناب و رسوب تعبیه شد (شکل ۱). خاک داخل فلوم قبلاً از الکی به قطر ۳ سانتی‌متر عبور داده شد. برای اعمال شدت‌های باران دستگاه شبیه‌ساز باران با سیستم آب‌فشانی طراحی شد. در هر یک از شدت‌های باران خاک هواخشک به داخل فلوم منتقل و پس از ایجاد شیار باران مورد نظر اعمال شد. مدت بارندگی در هر یک از شدت‌ها یک ساعت در نظر گرفته شد و نمونه رواناب و رسوب از هر شیار جمع‌آوری شد. جرم و حجم نمونه‌ها تعیین شد و سپس رسوب از رواناب با استفاده از کاغذ

صافی جدا شد. پس از خشک شدن نمونه‌های رسوب در آون (۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت)، جرم رسوب و در ادامه حجم رواناب تعیین شد. داده‌های رواناب و رسوب برای محاسبه شدت فرسایش‌پذیری شیاری (K_f) با استفاده از رابطه (۱) مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۱- نمایی از فلوم فرسایشی و دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در پژوهش

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد بررسی

ویژگی	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
مقدار	۰/۱۶۳	۴۰	۵۹/۸	۱/۳

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها با استفاده از چولگی و کشیدگی تعیین شد. مقایسه میانگین بین شدت باران و شدت فرسایش‌پذیری شیاری به روش آزمون دانکن تعیین شد. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ بهره گرفته شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر شدت باران بر فرسایش‌پذیری شیاری

نتایج تجزیه واریانس تغییرات فرسایش‌پذیری شیاری (K_f) در شدت‌های مختلف باران نشان داد که شدت باران اثری قابل توجه بر فرسایش‌پذیری شیاری ($p < 0/000$) داشت (جدول ۲). این نتیجه به این دلیل می‌تواند باشد که از یکسو افزایش شدت باران، افزایش تأمین آب در سطح خاک و در نتیجه تولید رواناب بیش‌تر را به دنبال دارد و از سوی دیگر در حالت وجود ضربه قطرات باران با افزایش شدت باران و در نتیجه افزایش تعداد ضربات قطرات باران، فروپاشی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. این

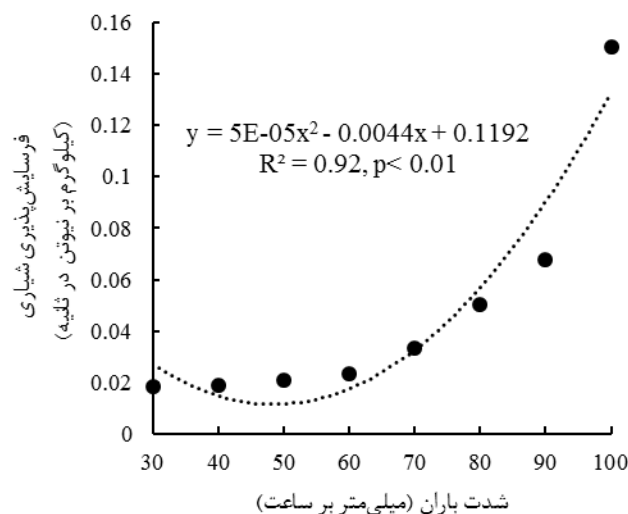
موضوع سبب کاهش تخلخل درشت خاک و محدود شدن نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش فرسایش پذیری شیاری می‌شود. در پژوهشی توسط فرناندز و همکاران (۲۰۱۰) رابطه بین انرژی جنبشی قطرات باران و فرسایش شیاری در شمال پرتقال بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش انرژی جنبشی قطرات باران و افزایش قطر متوسط قطرات باران، فرسایش شیاری به صورت خطی افزایش یافت کیانی هرچگانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود نشان دادند که با افزایش شدت باران و ضربه قطرات باران میزان هدررفت خاک حاصل از فرسایش بارانی افزایش می‌یابد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر شدت باران بر فرسایش پذیری شیاری

معنی داری	F	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۰/۰۰۰	۱۰۳/۷۵	۰/۰۵	۰/۰۰۶	۹	فرسایش پذیری شیاری (kg.N ⁻¹ .s ⁻¹)

رابطه بین فرسایش پذیری شیاری و شدت باران

از آنجا که باران‌های با شدت کمتر از ۳۰ میلی‌متر بر ساعت فرسایش‌زا نبودند، تنها از داده‌های باران با شدت ۳۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت برای تعیین رابطه بین فرسایش پذیری شیاری و شدت باران استفاده شد. شکل ۲ رابطه شدت باران با فرسایش پذیری شیاری را نشان می‌دهد. با افزایش شدت باران مقدار فرسایش پذیری شیاری به طور معنی داری افزایش یافت ($R^2=0.92$ ، $P<0.01$). علت این امر را می‌توان به افزایش انرژی جنبشی، تعداد و قطر قطرات باران در شدت‌های بالا دانست. کیانی هرچگانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود نشان دادند که با افزایش شدت باران و ضربه قطرات باران میزان هدررفت خاک حاصل از فرسایش بارانی افزایش می‌یابد.



شکل ۲- رابطه بین فرسایش پذیری شیاری و شدت باران

نتیجه‌گیری



این پژوهش نشان داد که شدت باران عاملی مهم در تغییرات مشخصه‌های جریان از جمله فرسایش پذیری شیاری می‌باشد. شدت باران ۳۰ میلی‌متر بر ساعت به عنوان آستانه وقوع فرسایش شیاری بود. با افزایش شدت بارندگی (از ۳۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت) مقدار فرسایش پذیری شیاری افزایش یافت. رابطه‌ای معنی‌دار بین فرسایش پذیری شیاری و شدت باران به دست آمد ($R^2=0/92$ و $p<0/01$). افزایش تعداد ضربه قطرات باران و اندازه قطرات همگام با افزایش شدت باران، علت مهم افزایش فرسایش پذیری شیاری بود که موجب گردید ساختمان خاک بیش‌تر دچار تخریب شده و نفوذپذیری خاک محدود گردد. به طور کلی این مطالعه نشان می‌دهد که شدت باران عاملی مهم برای توصیف تغییرات فرسایش پذیری شیاری می‌باشد.

منابع

- کیانی‌هرچگانی، م.، صادقی، ح.ر. و اسدی، ح. ۱۳۹۴. تحلیل مقایسه‌ای اثر شدت باران و شیب پلات‌های آزمایشگاهی بر مؤلفه‌های فرسایش ناشی از اثر قطره‌های باران (RIIE). تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۶: ۶۴۰-۶۳۱.
- Elliot, W.J., Liebenow, A.J., Laflen, J.M. and Kohl, K.D. 1989. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 and 88. NSERL Report, Vol. 3. Agriculture Research Service, U.S. Department of Agriculture, National Soil Erosion Research Lab., West Lafayette, Indiana. 316p.
- Fernández-Raga, M. R. Fraile, J. Keizer, M. Teijeiro, V. A. Castro, C. Palencia, C. and Marques, C. 2010. The kinetic energy of rain measured with an optical disdrometer: an application to splash erosion. *Atmospheric Research*. 96(2): 225-240.
- Foster, G.R., Flanagan, M.A., Nearing, L.J., Lane, L.M., Risse, M. and Finkner, C. 1995. Hillslope erosion component. Chapter 11, In: Flanagan, D.C. and Nearing, M.A., (Eds.), USDA-Water Erosion Prediction Project, Technical Documentation. NSERL. Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
- Haiou, S., Fenly, Z., Leilei, W., Yong, H. and Wei, H. 2016. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil and Tillage Research*, 155: 429-436.
- Neave, M. and Rayburg, S. 2007. A field investigation in to the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact of surface cover. *Geomorphology*, 87(4): 378-390.
- Romero, C.C., Stroosnijder, L. and Guillermo, A.B. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena*, 70: 105-113.
- Ruiz-Sinoga, J. D. and Romero Diaz, A. 2010. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain. *Geomorphology*, 118: 359-368.
- Valettea, S., Prevosta Laurent, L. and Lucasa, J. 2006. SoDA project: A simulation of soil surface degradation by rainfall. *Gilles Computers and Graphics*, 30: 494-506.

The relationship between rill erodibility and rainfall intensity in a clay soil

M. Foroumadi¹ and A.R. Vaezi²

¹. Ph.D. Student of Soil Science, University of Zanjan

². Associate Professor, Department of Soil Science, University of Zanjan

Abstract

Rill erodibility reflects the soil resistance to detachment by water flow. It is an important input parameter for estimating rill erosion rate in most of the process-based erosion models. In the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model, rill erodibility is defined as the increase in soil detachment capacity per unit of flow shear stress. This study was conducted to investigate the effect of rainfall intensity on the rill erodibility in a clay soil. Soil samples were taken from marl formations in west of Zanjan and were tested for the study variable in the rills with 4m long and 0.3m width in the flum (0.9 m × 4 m) using rainfall simulator ranging from 10 mm h⁻¹ to 100 mm h⁻¹ intensity. 30 units were tested in vitro experiments. The results showed that the rainfall intensity of the effect was rill erodibility. Rain with 30 mm h⁻¹ in intensity was recognized as the threshold rainfall intensity for causing soil loss in the marl soil.

Keywords: concentrated flow, marl soil, rill erosion