اثرات درونی و بیرونی فرسایش: برآورد هدررفت قابل‌تحمل خاک

حیدر غفاری گوشه*[۱]، منوچهر گرجی[۱]، محمود عرب خدری[۲]
[۱] اعضای هیأت علمی گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، [۲] پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران

چکیده

تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با فرسایش قابل تحمل انجام شده اما در اکثر آنها صرفا به اثرات فرسایش بر باروری خاک و تولیدات کشاورزی (اثرات درونی) توجه شده و اثرات خارج از محل فرسایش نادیده گرفته شده است. در این پژوهش هر دو اثرات درونی و بیرونی فرسایش در تعیین فرسایش قابل تحمل لحاظ شده است. کاهش باروری و کیفیت خاک به عنوان مهمترین اثرات درون محلی و تولید رسوبات و کاهش کیفیت منابع آب مهمترین اثرات خارج از محل فرسایش در نظر گرفته شد و برای ارزیابی کمی آنها به ترتیب شاخص باروری خاک و شاخص رسوب-فسفر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد در برخی زیرحوضه‌ها که عمدتا در نزدیکی خروجی حوضه واقع شده‌اند، به دلیل زیاد بودن نسبت تحویل رسوب آن‌ها، لازم است اثرات بیرونی فرسایش در تعیین فرسایش قابل تحمل در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: باروری خاک، اثرات درونی و بیرونی فرسایش، شاخص رسوب-فسفر، نسبت تحویل رسوب

مقدمه

مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز یکی از مهمترین روش‌های حفاظت و بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک می باشد. در این راستا، هایس و همکاران (۱۹۴۱) برای جلوگیری از تخریب باروری خاک و حفاظت خاک از فرسایش تشدید شونده مفهوم فرسایش قابل تحمل را مطرح کردند. در حقیقت، تعیین دقیق و علمی فرسایش قابل تحمل و شناسایی و اولویت بندی مناطق حساس و پرخطر پایه و اساس مدیریت صحیح برای حفاظت منابع خاک و آب می‌باشد. در ابتدا، فرسایش قابل تحمل عمدتا بر مبنای حفظ باروری خاک و تولیدات کشاورزی تعریف شده است. به عنوان نمونه طبق تعریف اسمیت و ویشمایر (۱۹۷۹) فرسایش قابل تحمل برابر است با حداکثر مقدار فرسایش خاک که رخ می‌دهد و باروری خاک به لحاظ اقتصادی بطور پایدار حفظ می‌شود. اما امروزه با شناخت بیشتر اثرات مخرب فرسایش و به دلیل اهمیت پیدا کردن مسائل زیست محیطی، فرسایش قابل تحمل معیاری برای آگاهی و قضاوت درباره وضعیت فرسایش خاک و احتمال بروز آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است که به عنوان یک شاخص برای کنترل اثرات درجا و دگرجای فرسایش کاربرد دارد (Li et al., 2009).

با وجود اهمیت بسیار زیاد فرسایش قابل تحمل برای حفاظت خاک، هنوز توافق جامعی روی معیار و روش اندازه‌گیری آن نشده است (Johnson 1987; Cook 1982; Li et al. 2009; Duan et al. 2012). سرعت تشکیل خاک، عمق خاک و شدت اثرات فرسایش بر باروری خاک از جمله مهمترین معیارهای تعیین فرسایش قابل تحمل است. بر مبنای این سه معیار، سه روش اندازه‌گیری کمی نیز وجود دارد. روش مبتنی بر سرعت تشکیل خاک برای اولین بار توسط Alexander در سال ۱۹۸۸ با این فرض که باروری خاک کاهش نمی‌یابد مگر این‌که سرعت هدررفت خاک از سرعت تشکیل آن سبقت گیرد، ابداع شد. اما محدودیت‌های این روش باعث شده تا این روش کمتر مورد استفاده قرار بگیرد. روش دیگر، دستورالعمل مشترک وزارت کشاورزی و سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا است که بر مبنای عمق خاک و ویژگی‌های خاک زیرین تهیه شده است (McCormack et al. 1982). روش سوم روش مبتنی بر باروری خاک است که در سال ۱۹۸۴ توسط Pierce et al. ابداع شد و اساس آن پایداری منابع خاک در بلند مدت است. در این روش فرض بر این است که باروری خاک (به عنوان تابعی از ویژگی‌های خاک) در یک بازه زمانی مشخص نباید از یک حد بحرانی معین کمتر شود. در حال حاضر، این روش در بین روش‌های موجود به دلیل این‌که اطلاعاتی از جمله طول بازه زمانی، ویژگی‌های خاک و سرعت تشکیل خاک را دربر دارد بیشتر مورد توجه است (Duan et al. 2012).

با توجه به افزایش نگرانی‌های زیست محیطی و آلودگی منابع آب، محققان محیط زیستی بر این باورند که فرسایش قابل تحمل یک موضوع چند بعدی است و باید در هر منطقه به گونه‌ای تعریف گردد که به‌طور مستقیم با مشکلات اساسی ناشی از فرسایش خاک در آن منطقه در ارتباط باشد (رز، ۱۹۹۶؛ لال، ۱۹۹۸؛ اسپاروک و دماریا، ۲۰۰۳). بر اساس این نظریه برخی دانشمندان پیشنهاد داده‌اند که بیش از یک آستانه قابل تحمل برای فرسایش تعریف گردد؛ یک آستانه به عنوان مقدار قابل تحمل فرسایش بر مبنای باروری خاک و افت قابل قبول تولیدات کشاورزی در یک برنامه زمانی بلندمدت، و آستانه دوم بر مبنای سرعت تشکیل خاک و تقاضای زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی شامل کنترل سیل، آلودگی آب‌های سطحی و بار رسوب مجاز در آب‌های سطحی (لی و همکاران، ۲۰۰۹؛ بازوفی ، ۲۰۰۹). بنابراین هدف اصلی این پژوهش ارائه یک چهارچوب جامع برای تعیین فرسایش قابل تحمل با توجه به اثرات درجا و دگرجای فرسایش است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه حاجی قوشان در بالادست سد بوستان (گلستان ۲) با مساحت حدود ۱۵۶۰ کیلومتر مربع در محدوده عرض شمالی ′۲۴ °۳۷ تا ′۴۹ °۳۷ و طول شرقی ′۲۹ °۵۵ تا ′۰۴ °۵۶ می‌باشد که بخشی از حوضه بزرگ گرگانرود را پوشش می‌دهد

تعداد ۵۴ پروفیل (**Error! Reference source not found.**) در کاربری‌های مختلف حفر و تشریح شدند. نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک از هر افق تهیه و ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک اناازه‌گیری شد (**Error! Reference source not found.**). نمونه‌های دست خورده پس از هوا-خشک و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای اندازه گیری خصوصیاتی از قبیل بافت خاک، مقدار کربن آلی (روش واکلی-بلک)، فسفر (روش اولسن) و پتاسیم قابل جذب (روش فلیم فتومتری) مورد استفاده قرار گرفتند (پیج و همکاران، ۱۹۹۲). نمونه های دست نخورده با استفاده از استوانه‌های فلزی مخصوص (قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر) به منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری و رطوبت قابل دسترس گیاه برداشته شدند.

تعیین شاخص باروری خاک

در مدل شاخص باروری فرض بر این است که عملکرد گیاه تابعی از رشد ریشه است که توسط عوامل فوق کنترل می‌شود. عامل‌های دیگر مانند نوع مدیریت، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های مکانی ثابت فرض شده است. مدل باروری خاک به عنوان تابعی از موثرترین ویژگی‌های خاک در تولید محصول طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود (Delgado, 2003; Duan et al. 2011).

معادله (۱)
$$PI = \sum_{i=1}^{n} (A_i \cdot B_i \cdot O_i \cdot K_i)$$

معادله (۲)
$$K_{cum(i)} = 0.024\, x_i^{0.81}$$

معادله (۳)
$$K_i = K_{cum(i)} - K_{cum(i-1)}$$

که در آن PI شاخص باروری خاک، A_i آب قابل دسترس گیاه، B_i وزن مخصوص ظاهری خاک، O_i ماده آلی خاک می باشند. عامل K_i اهمیت نسبی لایه i ام خاک، xi عمق افق از سطح خاک تا لایه زیرین لایه i ام، K_{cum} اهمیت نسبی تجمعی از سطح خاک تا لایه i ام را نشان می دهند (Lobo, et al., 2005; Delgado, 2003). هر کدام از ویژگی های فوق با استفاده از توابع مناسب بین صفر و یک امتیازدهی شدند.

شاخص پتانسیل انتقال رسوب و فسفر

شاخص انتقال رسوب و فسفر معمولا از سه بخش اصلی شامل پتانسیل ورود رسوب و فسفر به آب‌های سطحی از طریق فرسایش، رواناب و جریان‌های زیرسطحی تشکیل شده است (مالارینو و همکاران، ۲۰۰۲؛ دلانون و همکاران، ۲۰۰۶). مجموع ارزش هر سه بخش بیانگر پتانسیل انتقال رسوب و فسفر به آب‌های سطحی را نشان می‌دهد. فرمول کلی آن به صورت زیر است:

معادله ۴
$$SP\ Index = C_E + C_R$$

که در آن CE، عامل انتقال رسوب و فسفر از طریق فرسایش، و CR عامل انتقال فسفر از طریق رواناب می باشد.

تعیین فرسایش قابل تحمل

با توجه به اینکه ماهیت و منشا اثرات درجا و دگرجای فرسایش خاک متفاوت است لازم بود هر کدام از آنها با یک شاخص جداگانه ارزیابی گردند. برای تعیین فرسایش قابل تحمل بر اساس هر کدام از این شاخص ها لازم است یک درجه ریسک مشخص برای هر کدام در نظر گرفته شود. در مورد باروری خاک بطور رایج مقدار ۰/۱-۰/۰۵ درصد در سال به عنوان نرخ کاهش قابل قبول باروری و ۱۰۰ سال به عنوان بازه زمانی استاندارد برای تعیین فرسایش قابل تحمل توصیه شده است. با توجه به اینکه عوامل تخریب خاک (فرسایش) و عوامل تشکیل و تکامل خاک بطور همزمان رخ می‌دهند فرض بر این است که این مقدار کاهش باروری خاک توسط فرایند تشکیل و تکامل خاک و همچنین توسعه تکنولوژی جبران می‌شود. زیرا پایه و اساس فرسایش قابل تحمل بر اصل حفظ و پایداری باروری خاک در بلند مدت بنا شده است. آسیب پذیری خاک[1] طبق تعریف عبارت از مقدار تغییر باروری خاک (ΔPI) به ازای یک سانتی متر فرسایش (d) می‌باشد. برای تخمین آسیب پذیری خاک در برابر فرسایش، ابتدا لازم است شاخص باروری خاک در سناریوهای مختلف شامل ۱) شرایط کنونی خاک، ۲) حذف ۴ سانتی‌متر لایه سطحی، ۳) حذف ۸ سانتی‌متر لایه سطحی، ۴) حذف ۱۲ سانتی‌متر لایه سطحی و ۵) حذف ۱۶ سانتی‌متر لایه سطحی محاسبه گردد. شیب خط حاصل از ترسیم مقادیر مختلف شاخص باروری خاک در برابر ضخامت حذف شده از لایه سطحی بیان گر آسیب پذیری خاک است. در نهایت مقدار فرسایش قابل تحمل (T value) بر اساس شاخص باروری خاک از معادله زیر برآورد گردید (Duan et al., 2012; Mandal, 2010; Delgado, 2003).

معادله (۵)
$$T\ value = \frac{R \cdot Db \cdot PI_0}{V \times t}$$

معادله (۶)
$$V = -\frac{\Delta PI}{d}$$

که در آن R نرخ کاهش قابل قبول باروری خاک (٪) در یک بازه زمانی مشخص t (سال)، Db جرم مخصوص ظاهری خاک، PI0 باروری اولیه و V آسیب پذیری خاک می‌باشند.

در مورد شاخص پتانسیل انتقال رسوب و فسفر نیز ۱ تن در هکتار در سال به عنوان حد بحرانی در نظر گرفته شد. در منابع مختلف این مقدار هم از لحاظ کیفیت آب‌های سطحی (جورگنز و فاندر، ۱۹۹۳) و هم از لحاظ شدت تشکیل خاک (ورهیجن و همکاران، ۲۰۰۹) به عنوان یک آستانه قابل قبول مطرح شده است.

نتایج و بحث

مقدار فرسایش قابل تحمل در حوضه مورد مطالعه بین ۲/۲۲ و ۳/۹ تن در هکتار در سال با متوسط وزنی برابر با ۳ تن در هکتار در سال برآورد گردید.

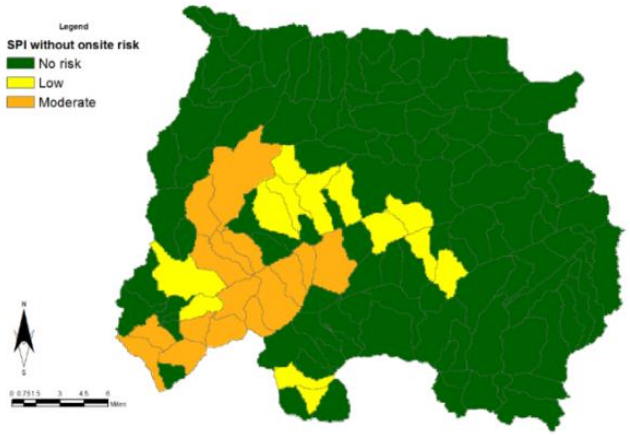
جدول ۱: فرسایش قابل تحمل خاک بر اساس شاخص باروری خاک

شناسه خاک	باروری خاک بدون بعد	آسیب پذیری خاک		فرسایش قابل تحمل تن در هکتار
		(PI.cm $^{-1}$)	(% PI.cm $^{-1}$)	R= 10%
S1	0.32	-0.0069	-2.15	2.97
S2	0.25	-0.0072	-2.88	2.22
S3	0.40	-0.0088	-2.2	2.895
S4	0.30	-0.0077	-2.56	2.405
S5	0.27	-0.0073	-2.70	2.36
S6	0.36	-0.0058	-1.61	3.905
S7	0.23	-0.0059	-2.56	2.505
S8	0.39	-0.0093	-2.38	2.69
حوضه	0.32	-0.007	-2.30	2.95

1- Soil Vulnerability

مقدار فرسایش قابل تحمل برآورد شده با این روش به آسیب‌پذیری خاک در برابر فرسایش و نرخ کاهش قابل قبول باروری خاک بستگی دارد (دوان و همکاران، ۲۰۱۲). اولی جز ویژگی‌های ذاتی خاک بوده اما دومی با توجه به شرایط منطقه متفاوت بوده و روش معینی برای تعیین آن ارائه نشده است اما بطور معمول بین ۵ تا ۱۰ درصد در ۱۰۰ سال به ترتیب برای خاک های با توان خاک‌سازی کم و توان خاک‌سازی زیاد در نظر گرفته شده است (مندال و همکاران، ۲۰۱۰؛ دوان و همکاران، ۲۰۱۲).

مقایسه فرسایش برآورد شده در حوضه با مقدار فرسایش قابل تحمل محاسبه شده بر اساس شاخص باروری خاک نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از سطح حوضه (حدود ۶۶٪) دارای نرخ فرسایش کمتر از حد قابل تحمل (۳ تن در هکتار در سال) است. در مقابل حدود ۲۰ درصد از سطح حوضه آبخیز دارای نرخ فرسایش بیش از دو برابر حد قابل تحمل بود.



شکل ۱: پهنه‌بندی خطر اثرات خارج از محل فرسایش پس از کنترل فرسایش تا حد قابل تحمل

مقدار فرسایش قابل تحمل بر اساس اثرات درجا می‌تواند بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال تغییر کند (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸؛ لال، ۱۹۹۸مندال و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین خاک‌هایی که به لحاظ باروری یا کیفیت خاک دارای فرسایش قابل تحمل بالایی هستند بسته به پیوستگی هیدرولوژیکی حوضه (نسبت تحویل رسوب) ممکن است باعث انتقال بیش از حد آلاینده‌ها (بویژه رسوب و فسفر) به آبهای سطحی و در نتیجه کاهش کیفیت آنها شوند. در چنین شرایطی اثرات درجا به تنهایی نمی‌توانند معیار کافی برای کنترل فرسایش باشند و لازم است از معیار دیگری استفاده کرد. در این پژوهش شاخص انتقال رسوب و فسفر به عنوان ابزاری برای کنترل اثرات خارج از محل فرسایش مطرح شد و یک چهارچوب جامع برای کنترل توام اثرات درجا و دگرجای فرسایش ابداع گردید. بر اساس این چهارچوب، نقشه خطر فرسایش تهیه شد (شکل ۱). نتایج نشان می‌دهد هرچند مقدار فرسایش حوضه بر اساس اثرات درجا (باروری خاک) کنترل شده است و نرخ آن کمتر از حد قابل تحمل است اما هنوز پتانسیل خطر انتقال رسوب و فسفر برای برخی زیر حوضه‌ها باقی مانده است. این نتیجه اثبات می‌کند که در برخی مناطق کنترل اثرات درجای فرسایش به‌تنهایی کافی نبوده و شاخص پتانسیل انتقال رسوب و فسفر به عنوان یک ابزار مفید برای کنترل اثرات خارج از محل فرسایش و مدیریت پایدار و یکپارچه حوضه آبخیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، به‌ویژه زمانی که مقدار آستانه قابل تحمل و نسبت تحویل رسوب حوضه هر دو زیاد باشند. یکی از مهمترین پارامترها در کنترل خطرات خارج از محل فرسایش نسبت تحویل رسوب است.

نتیجه گیری کلی

فرسایش آبی به تدریج باعث تخلیه خاک از عناصر غذایی و کاهش کیفیت و باروری آن می‌شود. خاک‌های فرسایش یافته به لحاظ فیزیکی، شیمیایی و زیستی شرایط مساعدی برای رشد گیاه فراهم نمی‌کنند و معمولا مدیریت و ترمیم آنها دشوار و هزینه‌بر است. فرسایش علاوه بر تخریب خاک باعث بروز مشکلات زیست محیطی و اقتصادی از جمله ته‌نشینی رسوبات در

جاده‌ها، آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و مخازن، تخریب کیفیت منابع آب و کاهش طول عمر سدها و افزایش هزینه نگهداری آنها می‌شود. بنابراین، اقدامات مدیریتی برای کنترل فرسایش باید طوری طراحی شوند که علاوه بر حفظ کیفیت خاک به منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات کشاورزی، اثرات خارج از محل فرسایش را نیز کنترل کند. با این حال، بسته به پیوستگی هیدرولوژیکی حوضه ممکن است خطر تخریب و کاهش کیفیت خاک وجود نداشته باشد اما احتمال بروز مشکلات و خسارت‌های خارج از محل ناشی از فرسایش زیاد باشد و یا برعکس. با افزایش پیوستگی هیدرولوژیکی حوضه، نسبت تحویل رسوب افزایش می‌یابد و در نتیجه اثرات خارج از محل فرسایش اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

منابع

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. USDA, Agric. Handbooks, vol. 537, p. 2.

Li, L., Du, S., Wu, L., Liu, G., 2009. An overview of soil loss tolerance. Catena 78, 93–99.

Duan, X., Xie, Y., Liu, B., Liu, G., Feng, Y., GAO, X., 2012. Soil loss tolerance in the black soil region of Northeast China. J. Geogr. Sci. 22(4), 737-751.

Johnson, L.C. 1987. Soil loss tolerance: fact or myth? J Soil Water Conserv 42(3):155–160

Alexander, E.B., 1988a. Rates of soil formation: implications for soil loss tolerance. Soil Science 145 (1), 37–45.

McCormack, D. E.,Young, K. K., Kimberlin, L.W. 1982. Current criteria for determining soil loss tolerance. In: Determinants of soil loss toler- ance. ASA Special Publication No. 45, Am Soc Agr, Madison, Wisconsin. 95–112.

Pierce, F.J., Larson, W.E., Dowdy, R.H., 1984. Soil loss tolerance: maintenance of long- term soil productivity. Journal of Soil andWater Conservation 39 (2), 136–138.

Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. Crit. Rev. Plant Sci. 4, 319-464.

Sparovek, G., De Maria I.C., 2003. Multiperspective analysis of erosion tolerance. Sci. Agric. 60, 409– 416.

Bazzoffi, B., 2009. Soil erosion tolerance and water runoff control: minimum environmental standards. Reg. Environ. Change. 9, 169–179.

Page, A.L., Miller, R.H., Jeeney, D.R., 1992. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Mineralogical Properties. SSSA Pub, Madison, 1159 p.

Delgado, F., 2003. Soil physical properties on Venezuelan steep lands: Applications to conservation planning. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics. College on Soil Physics.

Lobo, D., Lozano, Z., Delgado, F., 2005. Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuela soil. Catena 64 (2–3), 297–306.

Mandal, D., Sharda, V.N., Tripathi, K.P., 2010. Relative efficacy of two biophysical approaches to assess soil loss tolerance for Doon valley soils of India. J. Soil Water Conserv. 65 (1), 42-49.

Mallarino AP, Stewart BM, Baker JL, Downing JD, Sawyer JE (2002) Phosphorus indexing for cropland: Overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. J. Soil Water Conserv. 57:440-447.

DeLaune, P.B., Haggard, B.E., Daniel, T.C., Chaubey, I., and Cochran, M.J., 2006. The Eucha/Spavinaw phosphorus index: A court mandated index for litter management. Journal Of Soil And Water Conservation. Volume 61 Number 2.

Jurgens, C. and Fander, M. 1993. Soil erosion as- sessment by means of LANDSAT-TM and ancillary digital data in relation to water qual- ity. Soil Tech. 6: 215–223.

Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J., 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. Earth Sci. Rev. 94, 23–38.

Title: onsite and offsite effects of soil loss: determine tolerable erosion

H. Ghafari[1*], M. Gorji[1], M. Arabkhedri[2]

1-Faculty Members, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Abstract

Several studies have been conducted on soil erosion tolerance, but most of them only have addressed the effects of erosion on soil fertility and agricultural productivity (on site effects), and off-site effects is ignored. In this study, both onsite and offsite effects of erosion are considered to determining tolerable erosion. The results showed that addition to controlling onsite effects, it is necessary reduce the offsite effects of erosion in some sub-basin because of the hight sediment delivery ratio.

Keywords: soil productivity, onsite and offsite effects,