19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

# اقتصاد پنهان فرسایش خاک با تاکید بر هزینه‌های خارج از محل

**حیدر غفاری[1*]، یحیی پرویزی[2]**

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران؛ h.ghafari@scu.ac.ir

۲- استاد، گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

## چکیده

فرسایش خاک در اغلب کشورهای در حال توسعه نه تنها به عنوان یک بحران زیست‌محیطی مطرح است بلکه می‌تواند عامل ایجاد یک بحران اقتصادی خاموش نیز باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داده که عمده خسارات فرسایش خاک در این مناطق به شکل خارج از محل اتفاق می‌افتد، طوری که حدود ۶۵ تا ۸۵ درصد از کل خسارات را شامل می‌شود. در حالی که در اکثر اوقات توجهی به این خسارات نمی‌شود و در سیاستگذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌ها لحاظ نمی‌شوند. در این مقاله به بررسی اسناد و نتایج بدست‌آمده از مطالعات انجام شده برای تعیین میزان بار اقتصادی خارج از محل فرسایش خاک بویژه ناشی از رسوب‌گذاری، غنی‌شدن آبها و جابجایی کربن می‌پردازد. در ادامه شکاف‌ها و محدودیت‌های موجود در شیوه‌های ارزش‌گذاری سیستماتیک خسارات فرسایش شناسایی شده و یک چارچوب محاسباتی یکپارچه پیشنهاد گردیده است. درنهایت هزینه خسارات خارج از محل فرسایش در ایران بر اساس روش پیشنهادی برآورد گردید که معادل ۸/۰۶ میلیارد دلار در سال بود. این هزینه جدای از هزینه های درون محلی فرسایش است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که چگونه شناخت اقتصاد پنهان فرسایش خاک می‌تواند به پایه‌ای برای دستیابی به تصمیم‌گیری‌های مناسب در راستای توسعه پایدار منجر گردد.

**واژگان کلیدی:** محیط زیست، سیاست گذاری، رسوبگذاری، غنی شدن آبها

## مقدمه

فرسایش خاک در کشورهای در حال توسعه به عنوان یک تخریب‌گر اقتصادی پنهان عمل می‌کند و از طریق تخریب زیرساخت‌های پایین‌دست و آسیب‌های محیط زیستی باعث هدررفت ثروت و منابع یک جامعه می‌شود. در حالی که کاهش بهره‌وری کشاورزی (هزینه‌های در محل) عمده توجه سیاست‌گذاران را به خود جلب کرده، اثرات خارج از محل از جمله پر شدن مخازن توسط رسوبات، غنی‌شدن منابع آبی و هدررفت ذخایر کربن یک اقتصاد نامرئی با ارزش بیش از ۴۰۰ میلیارد دلار در سطح جهان را تشکیل می‌دهند (Pimentel et al., 1995). این اقتصاد پنهان به شدت در مناطق در حال توسعه مخصوصا جاهایی که خلاهای نهادی اجازه توزیع هزینه‌های فرسایش از بالادست به پایین‌دست را می‌دهد و یا مشکلات معیشتی، خرده‌مالکان را به سمت استفاده از زمین‌های فرسایش‌زا سوق می‌دهد، بسیار آشکار است (Thapa et al., 1991).

گزارش ویژه IPCC در سال ۲۰۱۸ فرسایش خاک را پس از سوخت‌های فسیلی به عنوان دومین عامل بزرگ انتشار کربن ناشی از فعالیت‌های انسانی معرفی می‌کند (Shukla et al., 2019)، این در حالی است که سیستم‌های حسابداری ملی در ۷۸٪ از کشورهای جنوب جهان، جابجایی کربن ناشی از فرسایش را در نظر نمی‌گیرند (Pimentel et al., 1995). این بررسی سه گزاره مهم را مطرح می‌کند: ۱) هزینه‌های فرسایش خارج از محل به عنوان یک هدردهنده مالیات بر جوامع حاشیه‌نشین عمل می‌کنند، ۲) روش‌های ارزیابی فعلی به طور سیستماتیک اثرات خارج از محل را ۳ تا ۸ برابر کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زنند و ۳) لحاظ کردن هزینه‌های خارج از محل فرسایش در بودجه خدمات اکوسیستم (PES) می‌تواند سالانه بین ۱۲ تا ۱۸ میلیارد دلار در مقیاس جهانی به سمت حفاظت خاک هدایت کند (Sartori et al. 2019).

## گونه‌شناسی هزینه‌های خارج از محل

رسوب‌گذاری در مخازن و انهار

رسوب‌گذاری مخزن، قابل اندازه‌گیری‌ترین هزینه خارج از محل فرسایش است، به طوری که ۹۰ درصد از خسارات رسوب‌گذاری جهان مربوط به کشورهای در حال توسعه است (Thapa et Al., 1991). به عنوان مثال، سدهای اتیوپی ظرفیت ذخیره‌سازی خود را با نرخ ۳/۵ درصد در سال از دست می‌دهند (در مقایسه با میانگین جهانی ۰/۸ درصد) که مستلزم ۱۸۰ تا ۲۲۰ میلیون دلار لایروبی سالانه است (Pimental et al., 1995). سد تاربلا پاکستان با کاهش ۰/۲۳ درصد ظرفیت سالانه مواجه است و تولید برق آبی را ۱۴۸ گیگاوات ساعت در سال کاهش می‌دهد - معادل ۱۵ میلیون دلار درآمد از دست رفته (Mazhar et AL., 2021). یا رسوبگذاری در رودخانه کوشی نپال، فواصل بازگشت سیل را از رویدادهای ۲۰ ساله به ۵ ساله افزایش داده و سالانه حدود ۴۳ میلیون دلار هزینه‌های واکنش اضطراری را تحمیل کرد.

غنی شدن منابع آبی

جریان‌های نیتروژن و فسفر ناشی از فرسایش، مشکلاتی را ایجاد می‌کنند که به اقتصادهای محلی آسیب می‌زنند. شکل گیری آبهای مرده یکی از این مشکلات است. به عنوان نمونه، رواناب حاصل از مزارع کشاورزی در کشور برزیل منجر به ایجاد منطقه ای کم اکسیژن به مساحت حدود ۱۸۰۰۰ کیلومتر مربع در اقیانوس اطلس جنوبی شده است که صید ماهی را برای ماهیگیران حرفه‌ای ۳۲ تا ۴۰ درصد کاهش داده است (Diaz et AL., 2008). مسئله مهم بعدی افزایش هزینه تصفیه آبها است. گزارش شده است که کدورت ناشی از رسوبات فرسایش یافته، هزینه‌های تولید آب آشامیدنی را در شهرداری‌های کلمبیا ۳۵ تا ۷۰ درصد افزایش داده و مصرف‌کنندگان شهری از طریق ساختارهای تعرفه‌ای بابت فرسایش بالادست هزینه پرداخت میکنند (Edward et AL., 1996).

جدول ۱: طبقه‌بندی هزینه‌های فرسایش خارج از سایت در کشورهای در حال توسعه

| نوع خسارت | مکانیسم اقتصادی | توضیحات تکمیلی |
|---|---|---|
| هیدرولوژیک | رسوبگذاری در مخازن و انهار | ۱/۵ تا ۲/۳ درصد کاهش ظرفیت سالانه در سدهای آفریقا ۷ |

| نوع خسارت | مکانیسم اقتصادی | توضیحات تکمیلی |
|---|---|---|
| غنی شدن آبها | آب مردگی و کمبود اکسیژن | ۲/۴ میلیارد دلار در سال خسارت ناشی از کمبود اکسیژن در شیلات گرمسیری |
| خروج کربن | تخلیه کربن آلی خاک و انتشار گاز CO2 | ۰/۴۳ تن در هکتار در سال کاهش کربن در جنگل‌های تخریب‌شده هیمالیا |
| تخریب زیرساخت | تخریب پل، جاده و .... | ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش هزینه‌های نگهداری جاده‌ها در نقاط بحرانی فرسایش |

انتشار و هدررفت کربن آلی

طبق گزارشات موجود فرسایش خاک سالانه ۴ تا ۶ میلیارد تن کربن را در سطح جهان جابجا می‌کند، و کشورهای در حال توسعه ۶۵ درصد از این جریان‌ها را تشکیل می‌دهند (Berhe et AL., 2018). گزارشی در اتیوپی اذعان کرده که آبراهه‌ها در ارتفاعات این کشور بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از کربن جابجا شده را به صورت گاز $CO_2$ به اتمسفر می فرستند (Pimentel et AL., 1995) که این مقدار معادل ۱۲ درصد از انتشار فسیلی در این کشور است. در گزارشی دیگر آمده است که جنگل‌های تخریب‌شده هیمالیا سالانه ۰/۴۳ تن کربن در هکتار (سه برابر نرخ جنگل‌های دست‌نخورده) را از طریق فرسایش از دست می‌دهند (David Raj et AL., 2025)، در حالی که همزمان پیچیدگی زیستگاه را کاهش می‌دهند.

**بوم‌شناسی سیاسی فرسایش: قدرت، فقر و رسوب**

ارتباط فرسایش و نوع مالکیت زمین

عدم تعادل قدرت در حوزه کشاورزی کشورهای در حال توسعه ارتباط معنی‌داری با فرسایش خاک دارد. در تپه‌های میانی نپال ۶۷ درصد از زمین‌های تراس‌بندی شده توسط ۱۲ درصد از زمین‌داران که عمدتا جزو ثروتمندان منطقه هستند، تصاحب شده‌اند و دهقانان بی‌زمین و فقیرتر مجبور به رفتن به سمت دامنه‌هایی با نرخ فرسایش بیش از ۵۰ تن در هکتار در سال شده اند. از سوی دیگر، خانوارهای فقیر برای تامین سوخت و علوفه دام‌ها حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد از ساعات کار خود را صرف جمع‌آوری زیست‌توده از مناطق مستعد فرسایش می‌کنند و همین امر موجب تشدید فرسایش ورقه‌ای بین ۱۸ تا ۲۲ درصد شده است (Thapa et AL., 1991).

سیاست‌های تغییر محل خسارت‌ها

در اغلب کشورهای در حال توسعه سیاست‌های دولتی یا الگوهای حکمرانی به گونه‌ای هستند که هزینه‌های اجتماعی و محیط زیستی مانند خسارات فرسایش خاک را از گروه‌های ذینفع قدرتمند مانند شرکت‌ها و زمین‌داران بزرگ به گروه‌های ضعیف‌تر و حاشیه‌نشین منتقل می‌کنند. به عنوان مثال، گسترش کشت سویا در پارانا (جنوب برزیل) ۲۴۲ میلیون دلار سود سالانه ایجاد می‌کند در حالی که ۴۷ میلیون دلار هزینه‌های رسوب‌گذاری خارج از محل را به جوامع پایین‌دست منتقل می‌کند. یا قیمت‌گذاری یارانه‌ای آب در مانیل (فیلیپین) ۱۸۰ میلیون دلار در سال هزینه‌های تصفیه را از حوزه‌های آبخیز تحت تأثیر فرسایش به مالیات‌دهندگان عمومی تحمیل می‌کند (Edward et AL., 1996).

بررسی نحوه توزیع هزینه های فرسایش خاک در کشورهای درحال توسعه بین اقشار مختلف جامعه نشان می‌دهد که هزینه های فرسایش خاک به طور ناعادلانه بین ذینفعان تقسیم می‌شود و بیشترین فشار بر دوش کشاورزان خرده پا قرار دارد. زیرا این گروه علاوه بر اینکه بخش زیادی از درآمد خود را به دلیل تخریب خاک و کاهش تولید محصول از دست می دهند، باید افزایش هزینه تصفیه آب ناشی از رسوبگذاری را نیز از طریق مالیات پرداخت کنند. از سوی دیگر، زمین داران بزرگ به دلیل استفاده از فناوری‌های نوین و نهاده های بیشتر، اثرات منفی فرسایش خاک بر تولید محصول را کاهش می‌دهند. همچنین این قشر از کشاورزان معمولا هزینه آسیب‌های زیست محیطی که ایجاد می‌کنند (مانند رسوب در سدها) را نمی‌پردازند و یا بخش بسیار کمی از آن را می‌پردازند. بلکه جامعه شهری و روستایی از طریق مالیات و قبض آب گرانتر هزینه تصفیه آب و خسارات زیست محیطی را جبران می‌کنند (Thapa and weber, 1991).

## روش‌های نوین ارزش‌گذاری خسارات فرسایش

بررسی منابع نشان می‌دهد که اغلب چارچوب‌های موجود برای برآورد هزینه فرسایش دارای سوگیری‌های سیستماتیک هستند. به عنوان مثال در اکثر چهارچوب‌ها مقدار فرسایش خاک توسط مدل‌هایی مانند RUSLE تعیین می‌شود. این مدل، فرسایش خندقی و کنار رودخانه‌ای را درنظر نمی‌گیرد و در مقایسه با روش‌های ریزش‌های جوی (مانند $^{137}Cs$) مقدار فرسایش خاک را ۳۰ تا ۶۰ درصد و مقدار انتقال رسوب را بین ۴۵ تا ۷۵ درصد کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. از سوی دیگر، بسیاری از خسارات به‌ویژه خسارات غیربازاری مانند از بین رفتن تنوع زیستی، آسیب به میراث فرهنگی، مهاجرت اجباری کشاورزان، آسیب به گردشگری و جلوه‌های زیباشناختی و غیره در چهارچوب‌های موجود لحاظ نمی‌شوند (Pimentel et AL., 1995).

چارچوب ارزش‌گذاری یکپارچه

این بررسی، چارچوب TEEB-ERO[1] را به عنوان یک روش نسبتا جامع و یکپارچه برای تعیین خسارات خارج از محل فرسایش خاک پیشنهاد می‌کند. در این چهارچوب خساراتی از جمله هزینه‌های لایروبی مخازن گل و لای، هزینه اجتناب از خسارت (یا هزینه احیای حوزه‌های آبخیز)، هزینه انتشار $CO_2$ ناشی از فرسایش و هزینه کاهش تعداد سال‌های زندگی سالم در نظر گرفته می‌شود. در واقع، چارچوب TEEB-ERO یک رویکرد عملی برای درک و ادغام ارزش اقتصادی طبیعت در فرآیندهای تصمیم‌گیری است که هم پایداری زیست‌محیطی و هم رفاه انسان را ارتقا می‌دهد (Kumar, 2012).

## برآورد هزینه‌های خارج از محل فرسایش خاک در ایران بر اساس یافته‌های جهانی

[1] - Economics of Ecosystems and Biodiversity

با توجه به برآورد سالانه حدود یک میلیارد تن فرسایش آبی (عرب خدری، ۱۳۹۳؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مصفایی و طالبی، ۱۳۹۳) و با درنظر گرفتن یک میلیارد تن در سال برای فرسایش بادی، در ایران سالانه ۲ میلیارد تن خاک فرسایش می‌یابد. با فرض صحیح بودن این اعداد و با استفاده از مدل‌های ارزش‌گذاری جهانی، هزینه‌های خارج از محل فرسایش خاک شامل رسوب‌گذاری در مخازن سدها، کاهش کیفیت آب، خسارات زیرساختی و انتشار کربن محاسبه شده‌اند. این محاسبات بر اساس داده‌های استانداردشده از مطالعات اتحادیه اروپا، ایالات متحده و کشورهای در حال توسعه (مانند برزیل و اتیوپی) انجام شده است.

الف) هزینه‌های سوب‌گذاری در مخازن سدها

میانگین جهانی هزینه رسوب‌گذاری در مخازن و انهار بین ۱۸ تا ۴۰ دلار (میانگین ۳۰ دلار) به ازای هر تن رسوب ذکر شده است (Sartori et AL., 2019; Panagos et AL., 2024). طبق گزارش های معاونت آبخیزداری در سازمان جنگلها و مراتع سالانه حدود ۳۵۰ میلیون تن یا ۲۵۰ میلیون متر مکعب رسوبات از طریق فرسایش آبی وارد مخازن سدهای کشور می‌شود. بنابراین، با در نظر گرفتن حداقل هزینه لایروبی به ازای هر تن رسوب، سالانه هزینه‌ای حدود ۶/۳ میلیارد دلار خسارت به صنعت سدسازی کشور وارد می‌شود.

ب هزینه آلودگی و تصفیه اکوسیستم‌های آبی

بر اساس معدود مطالعات انجام شده، هزینه آلودگی آبها توسط دو عنصر نیتروژن و فسفر به ترتیب برابر با ۲۱۰ دلار به ازای هر تن نیترات و ۱۸۰۰ دلار به ازای هر تن فسفر میباشد (Rickson et AL., 2020). با فرض بر اینکه غلظت فسفر در رسوبات فقط ۱۰ پی پی ام باشد، با توجه به حجم رسوبات حدود دو هزار تن فسفر سالانه در کل کشور وارد منابع آبی میشود که خسارتی معادل ۳,۶ میلیون دلار را در پی دارد. همچنین با فرض اینکه مقدارغلظت نیتروژن موجود در رسوبات برابر ۰,۰۵ درصد باشد، به ازای هر تن رسوب معادل ۲ کیلوگرم نیتروژن به فرم نیترات وارد آبها میشود که با در نظر گرفتن حجم رسوبات سالانه در کشور ۴۰۰ هزار تن نیترات وارد منابع آبی میشود که خسارت آن معادل ۸۴ میلیون دلار خواهد بود. بنابراین، فقط در اثر آلودگی این دو عنصر، سالانه حدود ۹۰ میلیون دلار خسارت به منابع آبی وارد می‌شود.

ج) هزینه‌های زیرساختی (جاده‌ها، پلها و شهرها)

بر اساس مطالعات انجام شده در هیمالیا در مناطق فرسایشی هزینه تعمیر و نگهداری زیرساختها بین ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش پیدا می‌کند (World Bank, 2021). طبق گزارش‌های موجود در سایت‌های خبری که توسط وزارت راه منتشر شده است، برای تعمیر و نگهداری کلیه راه های اصلی و فرعی کشور سالانه حدود ۴ میلیارد دلار بودجه لازم است. از آنجایی که اطلاعات دقیقی از میزان زیرساخت‌های جاده ای موجود در مناطق فرسایشی در کشور وجود ندارد، چنانچه فرض کنیم تمام راه‌های کشور در مناطق تحت تاثیر فرسایش قرار دارند، سالانه بین ۱/۲ تا ۱/۶ میلیارد دلار (متوسط ۱/۴ میلیارد دلار) از این هزینه ناشی از فرایندهای فرسایش خاک (آبی و بادی) است.

د) هزینه انتشار انتشار $CO_2$ ناشی

میانگین جهانی تلفات کربن به ازای هر تن فرسایش خاک بین ۰/۷۵ کیلوگرم کربن ذکر شده است. با توجه به مقدار فرسایش خاک در ایران، سالانه یک و نیم میلیون تن کربن به صورت گاز CO2 از بین می‌رود که معادل پنج و نیم میلیون تن گاز CO2 است. با در نظر گرفتن هزینه جهانی گاز CO2 که به طور میانگین ۵۰ دلار به ازای هر تن ذکر شده است، در این بخش سالانه حدود ۲۷۵ میلیون دلار خسارت ایجاد می‌شود.

## مجموع خسارات

مجموع خسارات خارج از محل فرسایش خاک بر اساس اطلاعات جهانی حدود ۸/۰۶ میلیارد دلار در سال تعیین گردید که چنانچه با شاخص تولید ناخالص داخلی مقایسه کنیم حدود ۳/۵ درصد GDP در ایران است. در اتیوپی، هزینه‌های فرسایش خارج از محل، سالانه ۱ میلیارد دلار (۲٪ از تولید ناخالص داخلی) گزارش شده است. از طرف دیگر، این مقدار هزینه خسارات خارج از محل ففرسایش خاک با مجموع هزینه‌های کمبود آب (۵ میلیارد دلار ) و هزینه آلودگی هوا (حدود ۷ میلیارد دلار) برابری می‌کند که نشان دهنده اهمیت توجه به این موضوع است.

| عنوان هزینه | میزان هزینه (میلیارد دلار/سال) |
|---|---|
| رسوب‌گذاری در مخازن سدها | ۶/۳ |
| کاهش کیفیت آب | ۰/۱ |
| خسارات زیرساختی | ۱/۴ |
| انتشار کربن | ۰/۲۷ |
| مجموع | ۸/۰۶ |

پیشنهادات برای کاهش هزینه‌ها

- اجرای پروژه‌های آبخیزداری: آبخیزداری می‌تواند تا ۵۰ درصد میزان رسوب را کاهش دهد (دارابی و همکاران، ۱۳۹۷؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۹) که منجر به صرفه‌جویی حدود ۳ میلیارد دلاری در سال می‌شود.
- استفاده از فناوری‌های جدید و سازگار با محیط زیست برای کنترل فرسایش: به عنوان مثال، حصیرهای ترکیبی با نام تجاری InstaTurf که یک رویکرد خلاقانه در کشور اتیوپی است، توانسته با هزینه‌ای معادل ۵۰ درصد سایر سازه رایج مانند سنگ‌چین و خشکه چین حدود ۷۰ درصد تولید رسوب را کاهش دهد. یا سامانه کشت ماتریسی گیاه وتیور که ترکیبی هوشمندانه از مهندسی و اکولوژیکی است با ایجاد شبکه‌ای منسجم و چندلایه از عناصر گیاهی و هزینه ای بسیار کمتر از روشهای سازه ای به طور موثری توانسته خاک را در برابر فرسایش حفظ می‌کند. این روش علاوه بر حفظ خاک، زنجیره ای از ارزشهای اجتماعی-اقتصادی را ایجاد میکند.

- اصلاح سیاست‌های کشاورزی: به عنوان مثال مهمترین عامل فرسایش و رسوب در ایران کشت و کار در اراضی شیب‌دار است. کاهش کشت در اراضی شیب‌دار و حمایت از کشاورزی حفاظتی می‌تواند در حد بسیار زیادی خسارات فرسایش را کاهش دهد و کشاورزی پایدار ایجاد کند. همچنین افزایش اعتبارات در حوزه گسترش شیوه‌های حفاظتی خاک می‌تواند به طور چشمگیری باعث رونق کشاورزی و کاهش اثرات زیست محیطی فرسایش خاک شود. به عنوان مثال، آمار جهانی نشان میدهد که هر دلار سرمایه‌گذاری در کشاورزی حفاظتی، بین ۳-۵ دلار بازدهی اقتصادی دارد (World Bank, 2023)

## نتیجه‌گیری

۴۰۰ میلیارد دلار خسارت پنهان فرسایش خاک در مقیاس جهانی نه تنها نشان‌دهنده یک بحران اقتصادی، بلکه نشان‌دهنده یک قیمت‌گذاری نادرست گسترده در حوزه سرمایه‌های طبیعی است. این بررسی نشان می‌دهد که هر یک دلار سرمایه‌گذاری در کنترل فرسایش، ۳/۲ تا ۸/۵ دلار سود خارج از محل در سیستم‌های هیدرولوژیکی، کربن و اجتماعی ایجاد می‌کند. تدوین قوانین حفاظ خاک و درنظر گرفتن جریمه و مالیات برای افراد یا ارگان‌های تخریب‌کننده خاک بسیار ضروری است. در این خصوص استفاده از روشها و تکنیکهای جدید برآورد فرسایش مانند ردیابهای اتمسفری و یا هوش مصنوعی و چهارچوب‌های یکپارچه ارزشگذاری می‌تواند بسیار مفید واقع گردد. مسیر پیش رو مستلزم بازطراحی فرسایش نه به عنوان یک مزاحمت کشاورزی، بلکه به عنوان یک چالش اصلی توسعه است که امنیت آب، تاب‌آوری اقلیمی و عدالت توزیعی را در بر می‌گیرد. تنها با آشکار کردن اقتصاد پنهان فرسایش می‌توانیم خاک‌های تخریب‌شده را از قربانیان منفعل پیشرفت به پایه‌های فعال ثروت فراگیر تبدیل کنیم.

## References

**جعفری**, ابوذر, سرائی تبریزی, مهدی و بابازاده, حسین. (۱۳۹۹). ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز علی‌کندی بوکان .(*تحقیقات کاربردی خاک*. 8(4), 57-68 ,

دارابی, مراد , قره داغی, حسین و نجابت, مسعود . (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد پروژه های آبخیزداری بر میزان فرسایش وحمل رسوب در حوضه ی آبخیز سد سیوند، استان فارس .*هیدروژئومورفولوژی*. 5(14), 199-218 ,

عرب‌خدری, محمود . (۱۳۹۳). مروری بر نرخ فرساش آبی و تولید رسوب در ا یران. ترویج و توسعه آبخیزداری, ۲(۴), ۲۳-۳۰.

محمدی, شاهین , کریم‌زاده, حمیدرضا و علیزاده, میثم . (۱۳۹۷). برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE. مجله اکوهیدرولوژی, ۵(۲), ۵۵۱-۵۶۹. doi: 10.22059/ije.2018.239777.706

مصطفایی, جمال و طالبی, علی . (۱۳۹۳). نگاهی آماری به وضعیت فرسایش آبی در ایران. ترویج و توسعه آبخیزداری, ۲(۵), ۹-۱۶.

نیک‌کامی, داود و شادفر, صمد . (۱۴۰۰). تهیه نقشه فرسایش خاک در حوضه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی کشور. مهندسی و مدیریت آبخیز, ۱۳(۲), ۴۷۹-۴۹۶. doi: 10.22092/ijwmse.2020.342165.1775

Berhe, A. A., Barnes, R. T., Six, J., & Marín-Spiotta, E. (2018). Role of soil erosion in biogeochemical cycling of essential elements: Carbon, nitrogen, and phosphorus. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 46, 521-548.

David Raj, Anu, Suresh Kumar, K. R. Sooryamol, M. Sankar, and Justin George K. "Assessment of soil erosion rates, carbon stocks, and erosion-induced carbon loss in dominant forest types of the Himalayan region using fallout-137Cs." Scientific Reports 15, no. 1 (2025): 14950.

Diaz, Robert J., and Rutger Rosenberg. "Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems." *science* 321, no. 5891 (2008): 926-929.

Edward B. Barbier, 1996. "The Economics of Soil Erosion: Theory, Methodology and Examples," EEPSEA Special and Technical Paper sp199601t2, Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA), revised Jan 1996.

Kumar, Pushpam. *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations*. Routledge, 2012.

Mazhar, N., Mirza, A. I., Abbas, S., Akram, M. A. N., Ali, M., & Javid, K. (2021). Effects of climatic factors on the sedimentation trends of Tarbela Reservoir, Pakistan. SN Applied Sciences, 3(1), 122.

Panagos, P., Matthews, F., Patault, E., De Michele, C., Quaranta, E., Bezak, N., ... & Borrelli, P. (2024). Understanding the cost of soil erosion: An assessment of the sediment removal costs from the reservoirs of the European Union. Journal of Cleaner Production, 434, 140183.

Pimentel, David, Celia Harvey, Pradnja Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist et al. "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits." *Science* 267, no. 5201 (1995): 1117-1123.

Rickson, R. J., Baggaley, N., Deeks, L. K., Graves, A., Hannam, J., Keay, C., & Lilly, A. (2020). Developing a method to estimate the costs of soil erosion in high-risk Scottish catchments. Draft Final Commissioned Report to Scottish Government, October 2019. Project UCR/004/18 CRF CR/2015/15.

Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. Land use policy, 86, 299-312.

Shukla, Priyadarshi R., J. Skeg, E. Calvo Buendia, Valérie Masson-Delmotte, H-O. Pörtner, D. C. Roberts, Panmao Zhai et al. "Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems." (2019).

Telles, Tiago Santos, Maria de Fátima Guimarães, and Sonia Carmela Falci Dechen. "The costs of soil erosion." Revista Brasileira de Ciencia do solo 35 (2011): 287-298.

Thapa, Gopal B., and Karl E. Weber. "Soil erosion in developing countries: a politicoeconomic explanation." Environmental Management 15, no. 4 (1991): 461-473.

WHO. (2020). Global Health Estimates 2020: Disease burden by cause, age, sex, by country and region, 2000–2019. World Health Organization.

World Bank. (2021). State and Trends of Carbon Pricing 2021. World Bank Group. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620

19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

# The Hidden Economy of Soil Erosion with an Emphasis on Off-Site Costs

Heider Ghafari1*, Yahya Parvizi2

1- Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran; h.ghafari@scu.ac.ir

2- Associate Professor, Soil and Water Conservation Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

## Abstract

In many developing nations, soil erosion is not just an environmental issue but also a hidden economic challenge. Research indicates that a significant portion of soil erosion losses in these regions—around 65 to 85%—occur off-site. However, these losses are often overlooked in policy and decision-making processes. This paper examines existing studies on the off-site economic impacts of soil erosion, particularly from sedimentation, Eutrophication, and carbon transfer. It highlights gaps in current valuation methods and suggests a comprehensive computational framework. Applying this approach to Iran, the estimated annual off-site erosion costs amount to $8.06 billion, separate from on-site damages. The findings underscore how recognizing the hidden economic consequences of soil erosion can support sustainable development strategies.

**Keywords**: Environment, Policymaking, Sedimentation, Eutrophication