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

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر 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

برآورد خسارات اقتصادی برون‌محلی فرسایش خاک در سازندهای مارنی ایران با محوریت تولید رسوب و هزینه‌های لایروبی

حمیدرضا پیروان[1*]، رضا بیات[2]، محمود عرب‌خدری[3]، یحیی پرویزی[4]، علیرضا شادمانی[5]، نوید دهقانی[6]

۱- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
hrpeyrowan@gmail.com
۲ ، ۳، ۴ و ۵ اعضای هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

سازندهای مارنی با پوشش ۳۱,۴۴ میلیون هکتاری از عرصه‌های کشور، به‌دلیل فرسایش‌پذیری بسیار بالا، نقش غالب را در تولید رسوب و ایجاد خسارات برون‌محلی ایفا می‌کنند. هدف این پژوهش، برآورد خسارات اقتصادی ناشی از تولید رسوب و هزینه‌های مرتبط با لایروبی سدها و تأسیسات آبی پایین‌دست در این اراضی بود. برای دستیابی به این هدف، از رویکرد «هزینه خسارت» و تحلیل داده‌های میدانی، منابع علمی و نظرسنجی از کارشناسان سازمان‌های مرتبط استفاده شد. بر اساس یافته‌ها، میانگین تولید رسوب ویژه در اراضی مارنی کشور حداقل ۳۰ تن در هکتار در سال برآورد گردید. هزینه لایروبی و انتقال هر تن رسوب ۸۰۰۰،۰۰۰ ریال (معادل ۱۰ دلار) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که خسارت سالانه ناشی از رسوب‌گذاری در مخازن سدها، کانال‌ها و سایر تأسیسات آبی پایین‌دست ناشی از اشکال مختلف فرسایش سطحی، شیاری و خندقی به‌تنهایی ۵۰۳,۰۴ همت (میلیارد تومان) می‌باشد. علاوه بر این، خسارت ناشی از رسوب حاصل از زمین‌لغزش‌های مارنی ۲۷ همت برآورد شد. در مجموع، سهم خسارات برون‌محلی مستقیم مرتبط با رسوب از کل خسارات فرسایش مارن‌های کشور، حدود ۵۳۰ همت است که بیانگر سهم بسیار قابل‌توجه این اراضی در کاهش عمر مفید سازه‌های آبی و افزایش هزینه‌های عملیاتی کشور می‌باشد. تدوین برنامه فوری و تخصیص بودجه ویژه برای اجرای عملیات آبخیزداری در کانون‌های بحرانی فرسایش مارنی جهت کاهش این خسارات عظیم، امری ضروری است.

واژگان کلیدی: خسارت برون‌محلی، فرسایش مارن، تولید رسوب، هزینه لایروبی، اقتصاد خاک

مقدمه

فرسایش خاک یکی از جدی‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در سراسر جهان محسوب می‌شود. خسارات ناشی از این پدیده به دو دسته اصلی «درون‌محلی» و «برون‌محلی» تقسیم می‌شوند. خسارات برون‌محلی که شامل اثرات فرسایش در خارج از مبدأ وقوع آن است، اغلب پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر هستند. از مهم‌ترین این خسارات می‌توان به رسوب‌گذاری در مخازن سدها، کانال‌های آبیاری و انتقال آب، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی سدها، افزایش هزینه‌های تصفیه آب و آسیب به زیرساخت‌ها اشاره کرد. در بین منابع تولید رسوب، سازندهای مارنی به دلیل ویژگی‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی خاص، از جمله حساسیت فوق‌العاده به فرسایش آبی، سهم به‌سزایی در تولید رسوب و در نتیجه ایجاد خسارات برون‌محلی دارند. مطالعات صورت‌گرفته در حوضه آبریز سد سفیدرود نشان می‌دهد که با وجود پوشش ۱۵ درصدی اراضی مارنی در این حوضه، سهم این اراضی در تولید رسوب پشت سد به حدود ۸۰ درصد می‌رسد (سوگرآ،۱۳۵۲). با این وجود، برآورد کمی و اقتصادی این خسارات در مقیاس ملی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، هدف از این پژوهش، برآورد خسارات اقتصادی برون‌محلی فرسایش خاک در سازندهای مارنی ایران با تمرکز بر هزینه‌های مستقیم ناشی از تولید رسوب و لایروبی تأسیسات آبی می‌باشد.

به‌دلیل تنوع بالایی که در انواع فرایندهای فرسایش خاک وجود دارد، خسارات آن نیز بسیار متعدد است. فرسایش خاک از جنبه‌های مختلف، خساراتی را به محیط اطراف وارد می‌سازد که می‌توان آنها را در دو گروه خسارات برجا و خسارات خارج از محل تقسیم‌بندی کرد (Pimentel و همکاران، ۱۹۹۵). هدررفت خاک، مواد مغذی و مواد آلی و کاهش باروری خاک، کاهش کیفیت حاصلخیزی، شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک؛ افت عملکرد، آسیب به گیاهان کشت‌شده، کاهش سطح زیر کشت و کاهش درآمد کشاورزان، مهمترین خسارت برجا (Lal, ۲۰۰۱ ، Telles و همکاران، ۲۰۱۳) و رسوبگذاری در پهنه‌های آبی از جمله ته‌نشینی رسوبات در مخازن سدها و کاهش ظرفیت آن‌ها، رسوبگذاری در کانال‌های آبیاری ،کاهش کیفیت منابع آب، غنی‌شدگی پهنه‌های آبی، کاهش تنوع زیستی، اثرات نامطلوب بر فرآیندهای تصفیه آب، اثرات نامطلوب بر نیروگاه‌های برق‌آبی، افزایش خطر سیل، تخریب جاده‌ها و راه‌آهن‌ها، کانال‌های آب و سایر تأسیسات زیربنایی و اختلال در خدمات زیست‌بوم از مهمترین خسارات خارج از محل فرسایش می‌باشند (Boardman، ۲۰۰۶;Telles، ۲۰۱۱ و Telles و همکاران،۲۰۱۳).

توجه به تنوع زیادی که در پیامدهای فرسایش خاک وجود دارد، ارزیابی و کمی‌سازی همه آنها کار بسیار دشواری است. چرا که هر نوع خسارات به یک چارچوب قیمت‌گذاری خاص و داده‌های ویژه نیاز دارد. به‌علاوه این که برخی از خسارات فرسایش مانند مهاجرت، اشتغال، آسیب به تنوع زیستی و تغییر اقلیم ناملموس بوده و اندازه‌گیری و قیمت‌گذاری آن‌ها تقریباً غیرممکن یا دشوار می‌باشد (Gorlach و همکاران، ۲۰۰۴ ،Duffy،۲۰۱۲).

از بین رویکردهای مختلف ارزیابی خسارت فرسایش خاک، رویکرد هزینه خسارات عمدتاً برای محاسبه خسارات ملموس و ناملموس فرسایش در خارج از محل استفاده‌شده است (Patault و همکاران، ۲۰۲۱). خسارات خارج از محل فرسایش را می‌توان در سه بخش مجزا بررسی کرد: بخش خسارات محیط‌زیستی، بخش خسارات زیرساختی و بخش خسارات بهداشتی و مرتبط با سلامت. در گروه خسارت محیط‌زیستی هزینه‌های اقتصادی مرتبط با آسیب‌های زیست‌محیطی مانند کاهش کیفیت آب، تخریب زیستگاه حیات وحش، اخلال در خدمات اکوسیستم (مانند کنترل سیل، ترسیب کربن) در نظرگرفته می‌شود (Bandara و همکاران، ۲۰۰۱). در بخش خسارات زیرساختی، هزینه تعمیر یا جایگزینی زیرساخت‌های آسیب‌دیده در اثر فرسایش خاک مانند هزینه‌های مربوط به لایروبی مخازن سدها و رودخانه‌ها و همچنین تعمیر جاده‌ها، پل‌ها و ساختمان‌ها در نظر گرفته می شود. علاوه بر این، ممکن است هزینه‌های مدیریت یا تغییر مسیر جریان آب برای جلوگیری از فرسایش بیشتر و آسیب‌های زیرساختی لحاظ گردد. در بخش بهداشت و سلامتی، هزینه مسائل بهداشتی ناشی از فرسایش خاک مانند مشکلات تنفسی یا بیماری‌های ناشی از مصرف آب‌های آلوده برآورد می شود (Pretty و همکاران، ۲۰۰۰). محدودیت‌های این روش شامل عدم دسترسی به داده‌های کافی و همچنین دشواربودن اندازه‌گیری دقیق کلیه هزینه‌های اقتصادی خسارات مرتبط با فرسایش خاک است. از جمله پژوهشگرانی که از این رویکرد استفاده کرده‌اند می‌توان به Pimentel و همکاران، ۱۹۹۵; Bandara و همکاران، ۲۰۰۱;Patault و همکاران، ۲۰۲۱;Li و همکاران، ۲۰۲۱ اشاره کرد. Patault و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تجزیه‌وتحلیل اطلاعات مالی ارائه‌شده توسط سازمان‌ها، ادارات و مقامات منطقه‌ای یا محلی (نظیر سازمان‌های آب، شرکت‌های بیمه، شرکت‌های آب آشامیدنی، مدیران زیرساخت‌های حمل‌ونقل) مربوط به ۲۵ سال گذشته و همچنین بررسی منابع موجود (مقالات علمی،

گزارش‌های فنی و...) هزینه‌های اقتصادی خارج از محل ناشی از فرسایش و رواناب را در دو منطقه ویژه واقع در کمربند لسی اروپای شمال غربی (نورماندی، فرانسه) ارزیابی کردند. هزینه‌های بررسی‌شده شامل خسارات اجتماعی مانند مطالبات بیمه‌ای، آلودگی آب، خسارت به زیرساخت‌های جاده‌ای و ریلی و همچنین هزینه‌های پیشگیری بود. نتایج نشان داد که از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷، کل هزینه خسارت از ۶۱۱ تا ۷۲۱ میلیون یورو متغیر بود. در منطقهMaritime- Seine، میانگین هزینه‌های خارج از محل حدود ۴۳۱۹ و در منطقه Eure حدود ۸۶۸ یورو در سال در کیلومتر مربع ارزیابی شد. Pimentel و همکاران (۱۹۹۵) مجموع هزینه‌های خارج از محل فرسایش خاک در ایالات متحده را حدود ۱۷ میلیارد دلار در هر سال برآورد کردند. با توجه به کل فرسایش خاک در ایالات‌متحده که در این تحقیق ۴ میلیارد تن تخمین زده شده بود، به ازای هر تن فرسایش خاک حدود ۴ دلار خسارت خارج از محل ایجاد می شود. Li و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از یک مدل پیش‌بینی‌کننده و داده‌های گذشته، خسارات فرسایش خاک تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در شهر کوکرموت واقع در شمال غربی انگلستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان خسارت فرسایش به پل‌ها، جاده‌ها و ساختمان‌ها در مجموع سالانه بین ۱۱۰ تا ۲۳۰ میلیون دلار خواهد بود.

خاک‌های مارنی، به‌خصوص در مناطق شیب‌دار، منبع اصلی رسوب‌زایی در حوزه‌های آبخیز هستند. رسوبات باعث کاهش ظرفیت ذخیره سدها، انسداد کانال‌های انتقال آب و آسیب به زیرساخت‌های آبی می‌شوند. هزینه لایروبی و تعمیرات این سیستم‌ها بسیار بالا است. بر اساس نظر Omelan و همکاران (۲۰۱۶) هزینه لایروبی رودخانه ناشی از خسارات خارج از محل فرسایش خاک، در هر مترمکعب رسوب، ۵ یورو هزینه دارد. بر اساس برآورد Santos Telles و همکاران (۲۰۱۱) هزینه پاکسازی هر تن رسوب برای ادامه فعالیت ناوبری ۵ دلار است.

کل هزینه رسوبگذاری در کاستاریکا در سال ۱۹۸۹ حدود در ۲۸۷۰۰۰ دلار آمریکا در سطح حوزه آبخیز ۷۹۸ کیلومتر مربع محاسبه‌شده است (Solórzano ، ۱۹۹۱). این رقم معادل ۳,۶ دلار در هکتار است. هزینه جهانی لایروبی که به ازای هر تن رسوب، ۱۰ دلار (بین ۳ تا ۳۰ دلار) گزارش شده است. به‌طور متوسط هزینه لایروبی هر تن رسوب حدود ۱۰ دلار است (Panagos و همکاران، ۲۰۲۴). Panagos و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی اقتصادی خسارات خارج از محل فرسایش خاک بیان داشته‌اند که در ۲۰ کشور عضو اتحادیه اروپا و بریتانیا حذف ۱۳۵ میلیون متر مکعب رسوب آورده، ۲,۳ (۰,۹+_) میلیارد یورو هزینه دارد. به‌عبارت دیگر به ازای هر مترمکعب رسوب، بین ۱۰,۳۷ تا ۲۳,۷۰ یورو هزینه باید پرداخت کرد. هزینه‌های لایروبی رسوبات ناشی از فرسایش خاک در سدها، کانال‌های آبیاری و اسکله‌های دریایی بر اساس برآوردهای آمریکا، اروپا و آسیا به شرح زیر است (جدول ۱):

جدول۱– هزینه‌های برآوردی لایروبی سدها و کانال‌های آبی بر اساس نظر نهادها و سازمان‌های مختلف

منبع	اسکله‌ها ($/m3)	کانال های آبیاری ($/m3)	سدها ($/m3)	منطقه
USDA-NRCS, 2020 USACE, 2020 NOAA, 2021	۱۰-۳۰	۳-۱۰	۵-۱۵	آمریکا
European Commission, 2018 EEA, 2020	۱۵-۵۰ یورو	۵-۱۵ یورو	۸-۲۰ یورو	اروپا
ADB, 2021 وزارت آب هند، 2019 گزارش‌های سنگاپور و مالزی، ۲۰۲۲	۵-۲۰	۰,۵ – ۳	۱-۵	آسیا

هزینه لایروبی بر اساس داده‌های سدهای کشور

بر اساس اطلاعات اخذشده از عاقلی کهنه‌شهری و صادقی (۱۳۸۴) هزینه لایروبی سدهای کشور برای سال ۱۳۷۹ ارائه شده است. با احتساب نرخ تورم سالانه، هزینه‌های لایروبی به‌روزرسانی شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است

جدول ۲- هزینه لایروبی به ازای هر تن رسوب (به روزرسانی هزینه ها توسط پیروان و همکارن، ۱۴۰۴، بر اساس ارزش دلار سال ۱۴۰۴)

نام سد	هزینه به ازای هر تن رسوب (دلار سال ۱۴۰۴)
لار	1.66
وشمگیر (گرگان)	2.54
سفیدرود	3.33
قشلاق	1.40
میناب	1.40
دز	3.25
لتیان	2.81
اکباتان	3.16
زاینده‌رود	2.54
امیرکبیر	3.16
جیرفت	0.53
درودزن	14.58
کارده	1.05
میانگین	2.84

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سطح تمامی پهنه‌های مارنی کشور به وسعت ۳۱,۴۴ میلیون هکتار (پیروان و همکاران، ۱۴۰۴) انجام شده است. این پهنه‌ها بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات پیشین در سه رده اصلی مارن قاره‌ای، دریایی و ساحلی-قاره‌ای تفکیک شدند. میانگین رسوب ویژه سالانه در اراضی مارنی کشور بر اساس تلفیق داده‌های شبیه‌ساز باران، اندازه‌گیری‌های پلات‌های صحرایی و مطالعات رسوب‌سنجی در حوزه‌های آبخیز مختلف، حداقل ۳۰ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شد.

برای برآورد خسارات اقتصادی برون‌محلی مرتبط با رسوب از رویکرد هزینه خسارت استفاده شد. در این راستا هزینه لایروبی و انتقال هر تن رسوب بر اساس نظرکارشناسی و داده‌های سازمان‌های متولی (مانند آب‌منطقه‌ای)، برآورد گردید. حجم تولید رسوب اراضی مارنی ناشی از فرسایش سطحی، شیاری و خندقی و نیز حجم رسوب ورودی به آبراهه‌ها حاصل از وقوع زمین‌لغزش‌های مارنی (برآورد ۱۵۰۰ زمین‌لغزش فعال مارنی از ۴۵۰۰ زمین لغزش کشور، پیروان و همکاران، ۱۴۰۴) و با فرض میانگین حجم جابه‌جایی ۷۵۰۰ مترمکعب و ورود ۲۰ درصد از آن به شبکه آبراهه‌ای محاسبه و به تن تبدیل شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق میزان تولید رسوب ناشی از فرسایش اراضی مارنی کشور به دو صورت محاسبه شده است. حالت اول این که مشارکت اشکال مختلف فرسایش سطحی، شیاری و خندقی مد نظر قرار گرفت و درحالت بعدی، سهم تولید رسوب ناشی از حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش نیز برآورد و به رقم قبلی اضافه شد.

با توجه به مساحت ۳۱,۴۴ میلیون هکتاری اراضی مارنی و میانگین هدررفت خاک ۳۰ تن در هکتار، حجم کل خاک فرسایش‌یافته سالانه از این اراضی به ۹۴۳,۲ میلیون تن می‌رسد. با فرض اینکه بخش عمده‌ای از این ماده فرسایش‌یافته به‌صورت رسوب به پایین‌دست انتقال می‌یابد، می‌توان سهم این اراضی را در پرکردن مخازن سدها و کانال‌ها بسیار قابل‌توجه دانست. خسارت ناشی از رسوب‌گذاری (فرسایش سطحی-شیاری-خندقی) با در نظر گرفتن هزینه ۸۰۰۰،۰۰۰ ریال برای لایروبی هر تن رسوب، خسارت سالانه ناشی از این بخش به‌تنهایی ۵۰۳,۰۴ همت (میلیارد تومان) برآورد می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- برآورد خسارت سالانه ناشی از رسوب‌گذاری در تأسیسات پایین‌دست

منبع/توضیح	مقدار	پارامتر
پیروان و همکاران، ۱۴۰۴	۳۱,۴۴	مساحت اراضی مارنی (میلیون هکتار)
تلفیق داده‌های شبیه‌ساز باران و پلات‌های صحرایی (پیروان و همکاران، ۱۴۰۴)	۳۰	میانگین تولید رسوب سالانه (تن در هکتار)
حاصلضرب دو پارامتر فوق	۹۴۳,۲	کل خاک فرسایش‌یافته (میلیون تن در سال)
نظر کارشناسی و داده‌های سازمانی، ۱۴۰۴	۸۰۰،۰۰۰	هزینه لایروبی هر تن رسوب (ریال)
پیروان و همکاران، ۱۴۰۴	۱۶,۸۷۵	میزان رسوب ورودی به شبکه آبراهه ای ناشی از ۱۵۰۰ فقره زمین لغزش مارنی در کشور (میلیون تن)
جمع خسارات رسوب ناشی از فرسایش اراضی مارنی و وقوع زمین لغزش در این اراضی	۵۳۰ همت	خسارت سالانه (همت)

پهنه‌های زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده ایران با پهنه‌های مارنی کشور در محیط GIS تقاطع داده شد و مشخص گردید که ٪۳۱,۳۱ از زمین‌لغزش های کشور در پهنه مارنی قرار دارند (پیروان و همکاران، ۱۴۰۴). سالانه تخمین زده می‌شود. که حجم خاک جابجاشده ناشی از ۴۵۰۰ مورد زمین‌لغزش ثبت‌شده کشور با احتساب ٪۳۰ سهم زمین‌لغزش‌های مارنی کشور، (۱۵۰۰

مورد زمین‌لغزش مارنی، پیروان و همکاران، ۱۴۰۴) و با فرض حجم توده لغزشی بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب برای زمین‌لغزش‌های کوهستانی تا ۱۱ میلیون متر مکعب برآورد می‌شوداگر هزینه لایروبی و انتقال رسوب در ایران (به ازای هر تن): ۸۰۰۰۰۰۰ ریال معادل ۱۰ دلار در نظر بگیریم محاسبات به قرار زیر خواهد بود:

۱۵۰۰مورد لغزش مارنی× ۷۵۰۰ حجم متوسط خاک جابجاشده هر لغزش = ۱۱۲۵۰۰۰۰متر مکعب خاک جابجاشده زمین‌لغزش‌های مارنی کشور

۱۱۲۵۰۰۰۰× ۱,۵ (وزن مخصوص خاک تن/مترمکعب) = ۱۶۸۷۵۰۰۰تن خاک جابجاشده زمین‌لغزش‌های مارنی کشور

اگر ۲۰٪ حجم خاک جابجاشده زمین‌لغزش به سیستم آبراهه‌ای وارد شود (پیروان و همکاران، ۱۴۰۴) و هزینه لایروبی و انتقال رسوب در ایران (به ازای هر تن): ۸۰۰۰۰۰۰ ریال معادل ۱۰ دلار در نظر بگیریم

۱۶۸۷۵۰۰۰× ۱۰ دلار (۸۰۰۰۰۰۰ ریال) × ۲۰٪= ۲۷۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ریال= ۲۷ همت در کشور

مقایسه این ارقام با بودجه کل کشور (حدود ۱۱۲۸۰ همت در سال ۱۴۰۴) نشان می‌دهد که خسارت مستقیم ناشی از رسوب حاصل از فرسایش مارن‌ها، معادل حدود ۴,۷ درصد از کل بودجه کشور است. این رقم، عظمت چالش پیش‌رو و ضرورت سرمایه‌گذاری جدی در حوزه حفاظت از این اراضی را نمایان می‌سازد. نتایج این تحقیق با یافته‌های (Panagos و همکاران، ۲۰۲۴) و (Pimentel و همکاران، ۱۹۹۵) که به ترتیب بر هزینه‌های بالای رسوب‌زدایی در اتحادیه اروپا و خسارات جهانی فرسایش خاک تأکید دارند، همسو است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به وضوح نشان داد که خسارات اقتصادی برون‌محلی ناشی از تولید رسوب در اراضی مارنی کشور، بسیار کلان و قابل‌توجه است .حجم عظیم رسوب تولیدی سالانه از این اراضی، عمر مفید مخازن سدهای کشور را به شدت کاهش داده و هزینه‌های گزاف لایروبی را به اقتصاد ملی تحمیل می‌کند. با توجه به وسعت و پراکنش این اراضی، اقدامات پراکنده آبخیزداری پاسخگوی این چالش ملی نیست. بنابراین، تدوین و اجرای یک "برنامه ملی فوری و فراگیر برای کنترل فرسایش و حفاظت از اراضی مارنی" با اولویت‌بندی کانون‌های بحرانی تولید رسوب و تخصیص بودجه مستقل و کافی، نه تنها یک اقدام حفاظتی، بلکه یک سرمایه‌گذاری اقتصادی ضروری برای حفظ زیرساخت‌های آبی و توسعه پایدار کشور است.

تشکر و قدردانی

از کلیه همکاران محترم در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و سازمان‌های منابع طبیعی و آب‌منطقه‌ای که در گردآوری داده‌ها و ارائه نظرات کارشناسی ما را یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاریم.

فهرست منابع

پیروان، ح.ر.، بیات، ر.، عرب‌خدری، م.، پرویزی، ی.، شادمانی، ع.، دهقانی، ن. زارعی، م. (۱۴۰۴). بررسی خسارات اقتصادی فرسایش سازندهای مارنی، گزارش نهایی پروژه پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

پیروان، ح.ر.، بیات، ر. (۱۴۰۴). تهیه اطلس سیمای طبیعی مارن‌های کشور، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، چاپ‌نشده.

سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور. (۱۴۰۲). گزارش طرح شناسایی و طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌ها. تهران.

سوگرآ. (۱۳۵۲). طرح حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش در حوزه سفیدرود، وزارت کشاورزی و منابع طبیعی دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری.

عاقلی کهنه‌شهری، ل.، صادقی، ح. (۱۳۸۴). برآورد آثار اقتصادی فرسایش خاک در ایران، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، شماره ۱۵، ص ۱۰۰-۸۷.

ADB. (2021). *Water resources management projects: Cost analysis report*. Asian Development Bank.

Bandara, J.S., Coxhead, I., & Shively, G. (2001). Environmental cost of soil erosion in Sri Lanka: tax/subsidy policy options. Environmental Modelling & Software, 16(6): 497-508.
Boardman, J. (2006). Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. Catena, 68: 73-86.
Duffy, M. (2012). Value of soil erosion to the land owner. Staff General Research Papers Archive 34959, Iowa State University, Department of Economics.
European Commission. (2018). *Soil protection policy and economic impacts of land degradation*. Publications Office of the European Union.
Gorlach, B., Landgrebe-Trinkunaite, R., Interwies, E., Bouzit, M., Darmendrail, D. & Rinaudo, J. (2004). Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation. Final Report to European Commission. DG Environment. ENV.B.1/ETU/2003/0024, Ecologic, Berlin, Germany.
Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. Land Degradation & Development, 12(6), 519–539.
Li, P., Wu, J., Qian, H., & Lyu, X. (2021). Response of soil erosion to climate change and human activities in the Yellow River Basin, China. Journal of Hydrology, 603, Part C, 127136. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127136
Ministry of Water Resources, India. (2019). National report on irrigation and water infrastructure maintenance costs.
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2021). Economic impacts of coastal sedimentation: A national assessment. Retrieved from https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/economic-impacts-sedimentation.pdf
Omelan, A., Kocur-Bera, K., & Lendo-Siwicka, M. (2016). The economic costs of soil erosion: A review of the literature. Problems of World Agriculture, 16(31), 155–163.
Panagos, P., Matthews, F., Patault, E., De Michele, C., Quaranta, E., Bezak, N., Kaffas, K., Patro, E.R., Auel, C., Schleiss, A.J., Fendrich, A., Liakos, L., Van Eynde, E., Vieira, D., & 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. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140183
Patault, E., Ledun, J., Landemaine, V., Soulignac, A., Richet, J.B., Fournier, M., Ouvry, J.F., Cerdan, O., & Laignel, B. (2021). Analysis of off-site economic costs induced by runoff and soil erosion: Example of two areas in the northwestern European loess belt for the last two decades (Normandy, France). Land Use Policy, 108(C). https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105467
Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267(5201), 1117–1123. https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117
Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M., & van der Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. Agricultural Systems, 65(2): 113-136. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7
Solórzano, R. (1991). Economic assessment of regional soil erosion losses: A case study of Costa Rica. In R. Lal & F. J. Pierce (Eds.), Soil erosion and conservation in the tropics (pp. 85–102). Soil Science Society of America.
Telles, T.S., Guimarães, M.F., & Dechen, S.C.F. (2011). The costs of soil erosion. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35: 287-298. https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200001

Telles, T.S., Dechen, S.C.F., de Souza, L.G.A., & Guimaraes, M.D. (2013). Valuation and assessment of soil erosion costs. Scientia Agricola, 70(3): 209-216. https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300010

U.S. Department of Agriculture. (2019). Summary report: 2017 National Resources Inventory. Natural Resources Conservation Service. Retrieved from https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/nra/nri/

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2020). *Civil works cost engineering manual*. EM 1110-2-1302.

Estimation of Off-site Economic Damages from Soil Erosion in Iranian Marl Formations: Focus on Sediment Yield and Dredging Costs

Hamidreza Peyrowan[1]*, Reza Bayat[2], Mahmoud Arabkhedri[3], Yahya Parvizi[4], Alireza Shadmani[5], Navid Dehghani[6]

1- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. hrpeyrowan@gmail.com

2, 3, 4, 5- Faculty Members, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Marl formations, covering approximately 31.44 million hectares of Iran's area, play a dominant role in sediment yield and creating off-site damages due to their extreme erodibility. This research aimed to estimate the economic losses associated with sediment production and related dredging costs of downstream water infrastructures in these lands. The "Damage Cost Approach" was used, analyzing field data, scientific resources, and expert opinions. Findings indicate an average annual soil loss rate of 30 tons ha^{-1} $year^{-1}$ in the marl lands. The dredging and transport cost for each ton of sediment was estimated at 800,000 Rials (approx. 10 USD). Results show that the annual cost of sedimentation in dam reservoirs, canals, and other downstream water structures alone amounts to 503.04 Billion Tomans. Additionally, the damage from sediment input from marl landslides was estimated at 27 Billion Tomans. In total, the direct off-site damages related to sediment account for approximately 530 Billion Tomans of the total erosion damages from marl lands, highlighting their significant role in reducing the lifespan of water infrastructures and increasing national operational costs. The urgent development and funding of a comprehensive watershed management program focused on critical erosion hotspots in marl areas is essential to mitigate these massive losses.

Keywords: Off-site Damage, Marl Erosion, Sediment Yield, Dredging Cost, Soil Economics.