



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



نشریه فنی

روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی
فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی
موردی دیمزارهای گردنه اسدلی
خراسان شمالی

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

نشریه فنی:

روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی
موردی دیمزارهای گردنه اسدلی خراسان شمالی

نویسندگان:

یحیی پرویزی، حیدر غفاری گوشه، علی‌اکبر عباسی

شماره ثبت:

۶۷۶۰۲

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان اثر: روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی

دیمزارهای گردنه اسدلی خراسان شمالی

نویسندگان: یحیی پرویزی، حیدر غفاری گوشه، علی‌اکبر عباسی

ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان

صفحه‌آرایی و طراحی جلد: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴

این اثر در مورخه ۱۴۰۴/۰۴/۱۸ با شماره ۶۷۶۰۲ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی

به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها

با ذکر ماخذ بلامانع است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده.....	۱
۱- مقدمه.....	۲
۲- بررسی منابع.....	۷
۳- مبانی و رویکردهای تعیین خسارت فرسایش سطحی.....	۱۱
۳-۱- رویکرد هزینه جایگزینی (RCA).....	۱۲
۳-۲- رویکرد افت بهره‌وری خاک (PLA).....	۱۴
۳-۳- رویکرد هزینه خسارات (DCM).....	۱۵
۳-۴- رویکرد ارزش زمین.....	۱۷
۳-۵- رویکرد هزینه خسارت اجتناب شده (DCE).....	۱۹
۳-۶- رویکرد ارزش‌گذاری ترجیحی (CVM).....	۲۰
۳-۷- رویکرد مدل‌سازی هزینه‌های فرسایش.....	۲۱
۳-۸- رویکرد جامع.....	۲۴
۴- مدل مفهومی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی.....	۲۸
۴-۱- اندازه‌گیری یا برآورد فرسایش سطحی.....	۳۲
۴-۲- اجزاء و مؤلفه‌های خسارت اقتصادی فرسایش سطحی.....	۳۳
۴-۳- شیوه‌های اقتصادی تعیین خسارت فرسایش سطحی.....	۳۴
۵- انجام مطالعه موردی با استفاده از مدل مفهومی.....	۳۶
۵-۱- منطقه مورد مطالعه و واقعه مورد نظر.....	۳۶
۵-۲- داده‌های فرسایش خاک.....	۳۷
۵-۳-۱- خسارات درجا فرسایش سطحی.....	۴۱
۵-۳-۲- خسارات خارج از محل فرسایش سطحی.....	۴۲
۵-۳-۳- محاسبه خسارت کل برای فرسایش سطحی.....	۴۴
۶- برآورد اقتصادی خسارت فرسایش در اجزاء مختلف آن.....	۴۵
۶-۱- برآورد اقتصادی خسارات درجای فرسایش سطحی.....	۴۵
۶-۱-۱- خسارات اقتصادی اتلاف عناصر غذایی خاک.....	۴۵
۶-۱-۲- خسارت اقتصادی افت عملکرد.....	۴۸
۶-۱-۲-۱- تلف شدن محصول کشت شده در اثر فرسایش.....	۴۹

۵۰	۶-۱-۲-۲- افت بلند مدت تولید (نرخ افت باروری).....
۵۰	۶-۱-۲-۳- برآورد خسارت کاهش ارزش زمین.....
۵۴	۶-۲- برآورد اقتصادی خسارات خارج از محل فرسایش سطحی.....
۵۴	۶-۲-۱- برآورد خسارت کاهش ارزش زمین پایین دست.....
۵۵	۶-۲-۲- خسارت رسوب گذاری و لایروبی رسوب.....
۵۷	۶-۲-۳- هزینه آلودگی زیست محیطی.....
۵۸	۶-۳- تعیین میزان خسارات کل.....
۶۰	۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۶۱	تشکر و قدردانی.....
۶۲	منابع.....
۷۰	ABSTRACT.....
۷۱	KEYWORDS.....

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
شکل ۱- ۳۱	نمای کلی از مدل مفهومی برآورد خسارات فرسایش سطحی مورد استفاده به شیوه مدلسازی دینامیک (دارای حلقه بازخورد و تمایل به تعدد متغیرها).....
شکل ۲- ۳۴	دسته بندی اجزاء اصلی خسارات فرسایش سطحی.....
شکل ۳- ۳۷	نیمرخ طولی مزرعه مورد مطالعه.....
شکل ۴- ۳۹	نمایی از وضعیت فرسایش حادث شده در رخداد مورد مطالعه در دیمزارهای شیبدار گردنه اسدلی.....
شکل ۵- ۵۲	مدل مفهومی تعیین ارزش اقتصادی زمین (EVL) برای اراضی زراعی تحت کشت (KIK) و همکاران (۲۰۲۱).....

فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول ۱- برخی مطالعات انجام شده در خصوص ارزش اقتصادی خاک و برآورد خسارات فرسایش خاک.....	۲۵
جدول ۲- ابعاد و میزان فرسایش شیاری در قطعه زمین شخم خورده دیم در گردنه اسدلی ...	۴۰
جدول ۳- برخی مشخصه‌های فیزیکی شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه.....	۴۷
جدول ۴- نتایج برآورد خسارت با روش هزینه جایگزینی با مواد کودی (ارقام برای نیم هکتار است).....	۴۷
جدول ۵- خلاصه خسارات فرسایش خاک رویداد مورد مطالعه در دیمزارهای گردنه اسدلی ..	۵۸

چکیده

در قانون حفاظت خاک، ارزش گذاری اقتصادی خاک و برآورد خسارات تخریب آن به عنوان یک وظیفه مهم به عهده وزارت کشاورزی و سازمان محیط زیست گذارده شده است. در این نوشتار، ضمن ارائه دستاورد پژوهش انجام شده به منظور توسعه روشی بومی برای برآورد اقتصادی خسارات فرسایش سطحی خاک با فرم غالب فرسایش شیاری، روش ارزش گذاری و تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی متناسب با شرایط ایران ارائه خواهد شد. به طور کلی، خسارات فرسایش سطحی به دو دسته خسارات برجا، نظیر ارزش عناصر غذایی خاک از دست رفته، خسارات کاهش تولید محصولات کشاورزی، مرتعی و جنگلی در منطقه تخریب یافته، خسارات ناشی از کاهش کلاس منابع اراضی و غیره و خسارات خارج از محل نظیر خسارت آلودگی منابع آب، کاهش ظرفیت درآمد و اشتغال، رسوبگذاری در انهار و مخازن آب و غیره تقسیم می شود. در این اثر، برای ارزیابی هزینه های فرسایش خاک سطحی، یک مدل مفهومی ساخته شد. در یک فرآیند جریانی عملیاتی در این زمینه، روش های کمی سازی هر یک از اجزاء خسارت مستقیم و غیر مستقیم مورد کنکاش قرار گرفت. در نهایت روش کمی سازی اقتصادی این خسارات با روش های علمی معرفی شد. در یک مثال ملموس کمیت های خسارات اقتصادی فرسایش سطحی با فرم غالب فرسایش شیاری در یک بررسی موردی، که مربوط به یک واقعه حدی فرسایش شدید سطحی در دیمزارهای شیبدار و کمبازده در گردنه اسدلی خراسان شمالی است، مورد آزمون قرار گرفت. براساس محاسبات کمی صورت گرفته با این مدل مفهومی، میزان خسارت فرسایش سطحی-شیاری در سطح نیم هکتار ۱۳۸ میلیون تومان خسارت درجا، ۳۵ میلیون تومان خسارت خارج از محل و مجموعاً ۱۷۳ میلیون تومان برای یک واقعه شدید بوده است. همچنین معادل دلاری خسارت هر

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۲

تن تلفات خاک در فرآیند فرسایش سطحی-شیاری براساس نرخ ارز آزاد و توافقی به‌ترتیب حدود ۴/۰۱ و ۴/۸۱ دلار برای هر تن خاک برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد فرسایش خسارت خارج از محل، خسارت در محل، فرسایش شیاری، قانون حفاظت خاک.

۱- مقدمه

خاک کارکردهای اساسی در تولید، اقتصاد و محیط زیست دارد که به‌دلیل فشار بهره‌برداری، متأثر از انواع تخریب، به ویژه فرسایش آبی و بادی است. از دیدگاه اقتصادی نیز، خاک در زمره منابع طبیعی است که بر قدرت ملی یک کشور مؤثر بوده و به‌عنوان محوری عمده در قدرت اقتصادی ارزیابی می‌شود. عدم شناخت کافی از ارزش واقعی خاک خود از عوامل پیش‌بنده تخریب خاک بوده است. خاک زیر بنای تدارک و فراهمی بسیاری از خدمات اکوسیستم مانند تهیه غذا، چوب، فیبر، کاهش سیل، پالایش آلودگی، ذخیره کربن آلی و تنظیم گازهای گلخانه‌ای، سمزدایی و بازیافت مواد زائد و تعدیل‌کننده آفات و بیماری‌ها است. مدت زمان زیادی است که افکار عمومی و به ویژه فعالان اقتصادی به اهمیت اقتصادی منابع خاک و خدمات زیست‌محیطی آن‌ها در راستای رفاه انسان پی برده‌اند، اما تصور افراد از خاک به‌عنوان یک منبع نامحدود و تجدیدپذیر باعث شده در برخی موارد به شدت مورد سوء استفاده و تخریب قرار بگیرند (Dimal, ۲۰۱۵).

کاهش نرخ فرسایش خاک از طریق مدیریت مؤثر خاک، عنصر کلیدی برای تضمین یک سیستم پایدار تولید و حفظ اکوسیستم است و منظور نکردن هزینه فرسایش خاک در تحلیل‌های هزینه-

منفعت و استفاده از خاک به عنوان نهاده رایگان در فرایند تولید را می‌توان از مهم‌ترین عوامل تخریب فزاینده خاک به‌شمار آورد (یگانه و همکاران، ۱۳۹۵).

منابع خاک محدود و در مقیاس و بازه زمانی عمر انسان تجدیدناپذیر به‌شمار می‌رود و برای تشکیل یک سانتی‌متر از آن صدها سال زمان نیاز است. از طرف دیگر، پیامدهای تخریب آن (همچنین منافع حفاظت از آن) نه تنها مالکان زمین، بلکه کل جامعه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. لذا، ایجاد قوانین و تعیین استانداردها و نظارت‌های قانونی و قیمت گذاری خسارت‌ها و اخذ مالیات از تخریب‌کنندگان (Weitzman, ۱۹۷۴) که بتواند مانع از تخریب منابع خاک توسط افراد حقیقی و حقوقی شود بسیار حایز اهمیت خواهد بود. زمانی که فرسایش تشدید می‌شود در سطح حوزه آبخیز رخ می‌دهد اثرهای منفی بر کلیه اجزای بوم‌سازگان دارد، در نتیجه تخریب ساختار خاک، باعث کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش ظرفیت نگهداری آب خواهد شد که در نهایت موجب کاهش درآمد دینفعان می‌شود. در همین راستا پیامدهای تخریب و فرسایش خاک منجر به تهدید اقتصاد ملی شده و در بلند مدت مهاجرت‌های گسترده، افزایش تهدید امنیت غذایی را باعث خواهد شد. براساس گزارش Sartori و همکاران (۲۰۲۴) برآوردهای مدل بیوفیزیکی جهانی میانگین افزایش نرخ فرسایش خاک را بین ۳۰ تا ۶۶ درصد تا سال ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقتصادی-اقلیمی مختلف و با فرض سناریوهای آماری محتمل و مختلف افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای تخمین می‌زند. در بدترین سناریو ممکن است تا سال ۲۰۷۰ زیان تولید اولیه کشاورزی جهانی به ۳۵۲ میلیون تن برسد که خسارتی معادل ۶۲۵ میلیارد دلار را برای اقتصاد جهانی متصور است. در این تحقیق تحت سناریوهای مختلف افت باروری اراضی بین ۱/۲ تا ۱/۴۵ درصد محتمل است.

براساس گزارش مجله فوربز (۲۰۱۹) به تقل از یک مطالعه جدید تخمین زد که ۸ میلیارد دلار خسارات اقتصادی جهانی ناشی از فرسایش خاک در کشورهای تحت مطالعه به دلیل کاهش عملکرد محصول تحمیل می‌شود. به گزارش این مجله تغییرات آب و هوایی فرسایش خاک را بدتر می‌کند. و برخی کشورها ب‌های این تغییرات را بیشتر از دیگران می‌پردازند. تحت تغییرات آب و هوایی، روزهای خشک بسیاری وجود دارد که در خلال آن‌ها باران‌های شدید رخ می‌دهند. این منجر به شرایطی می‌شود که در آن در هنگام باران‌های شدید خاک راحت‌تر شسته می‌شود. تغییر کاربری زمین توسط انسان، فرسایش خاک توسط آب را تشدید می‌کند. این تغییر کاربری، اغلب با از بین بردن پوشش گیاهی که به حفظ خاک کمک می‌کند همراه است. اراضی سطوح شیب‌دار کانون‌های بحرانی در تشدید به این مشکل مؤثر هستند.

محققان مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا دو مدل MAGNET و RUSLE را برای برآورد خسارات اقتصادی ناشی از فرسایش خاک توسط آب با هم ترکیب کردند. آن‌ها دریافتند که سالانه ۸ میلیارد دلار از تولید ناخالص داخلی جهانی از دست می‌رود. در سراسر جهان، تولید مواد غذایی ۳۳/۷ میلیون تن مواد غذایی کاهش یافته است. این مطالعه از این نظر منحصر به فرد است که محققان توانستند زیان‌های ناشی از تغییرات ساختاری اقتصادی را در نتیجه تغییر در منابع اولیه، مانند کیفیت زمین، ثبت کنند. مطالعات قبلی به‌سادگی محصول را کمتر محاسبه کرده و آن را در ارزش‌های بازار ضرب می‌کردند. علاوه بر این، این مطالعه اولین مطالعه‌ای بود که این روش را در مقیاس جهانی به کار برد.

علی‌رغم اختلاف نظر در مورد میزان فرسایش خاک در کشور، اعداد و ارقام موجود در گزارش‌های مختلف حکایت از بالابودن نرخ فرسایش خاک در کشور دارند. طوری که متوسط فرسایش آبی خاک در کشور در بهترین حالت پنج و در بدترین حالت ۲۵ تن در هکتار در سال

است. این درحالی است که میزان تشکیل خاک در کشور کمتر از یک تن در هکتار در سال است. براساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های مستقیم تلفات خاک توسط کرت، میزان تلفات خاک در سازندهای حساس مانند مارن‌ها تا بیش از ۳۵ تن در هکتار در سال نیز می‌رسد و در هنگام وقوع رخدادهای شدید بارندگی در دیم‌زارهای شیبدار شخم‌خورده در جهت شیب بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ تن در هکتار در سال ثبت شده است (عرب‌خدری، ۱۴۰۰). این درحالی است که فرسایش قابل تحمل خاک که به‌طور تقریب معادل نرخ سالانه تشکیل خاک در کشور است کمتر از یک تن در هکتار در سال برآورد شده است (عرب‌خدری، ۱۳۹۳).

بدین ترتیب به نظر می‌رسد، با وجود تفاوت زیاد فرسایش خاک کشور نسبت به حد قابل تحمل آن، از این رهگذر هر ساله خسارات اقتصادی زیادی به منابع اراضی کشور وارد می‌شود، ولیکن هیچ اطلاع دقیق و جامعی از کمیت این خسارات وجود ندارد. گزارش‌های غیررسمی خسارت اقتصادی فرسایش در کشور را بین ۵۰ تا ۶۰ میلیارد دلار برآورد کرده است (خبرگزاری ایسنا به نقل گرجی، رئیس اسبق انجمن علوم خاک ایران، ۱۳۹۷). که تخمینی است بر مبنای داده‌های حاصل از برآورد ارزش اقتصادی خاک در ایالات متحده که ممکن است با شرایط ایران سازگار نباشد.

در قانون جامع حفاظت خاک، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور را مکلف کرده، خاک کشور را از نظر اقتصادی ارزش‌گذاری و در حساب‌های ملی منظور کنند. این قانون به‌طور کلی به حقوق خاک، وظایف نهادهای مرتبط با آن و تخلفات مربوط به خاک می‌پردازد. براساس ماده ۴ این قانون سازمان برنامه و بودجه کشور مکلف است با همکاری وزارت جهاد کشاورزی و سازمان حفاظت محیط زیست، ارزش اقتصادی خاک و هزینه‌های ناشی از آلودگی و تخریب خاک در

زیست‌بوم‌های مختلف را در حساب‌های مالی کشور منظور کند. همچنین در مواد ۱۵ و ۱۶ این قانون افرادی که اقدام به تخریب یا آلودگی خاک کنند تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت و علاوه بر جبران خسارت و توقف آلودگی به جزای نقدی معادل با ۲ تا ۵ برابر خسارت محکوم خواهد شد. با این حال، تاکنون دستورالعمل مناسب و استانداردی که بتواند تمام جوانب فرسایش خاک را لحاظ کند در کشور وجود ندارد و لذا در راستای اجرای قانون حفاظت خاک یک نیاز اساسی است.

در این اثر تلاش شده است که ابتدا خلاص‌های از نتایج پژوهش صورت گرفته در خصوص نحوه تعیین خسارات مستقیم و غیرمستقیم فرسایش ارائه شده و سپس مدل مفهومی برای احصاء اجزاء و شیوه تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی معرفی شود. سپس براساس این مدل مفهومی خسارات ناشی از فرسایش شدید سطحی خاک در یک مطالعه الگویی تعیین شود. آزمون الگویی مورد بررسی، رخداد حدی فرسایش سطحی با فرم اصلی فرسایش شیاری در دیمزارهای شیبدار و کم‌بازده گردنه اسدلی در استان خراسان شمالی بود که در آن خسارات اقتصادی فرسایش تعیین شد. در نهایت دستورالعمل تعیین خسارات براساس این مدل مفهومی ارائه شد. در شیوه برآورد کمی خسارات، ضمن ارائه اجمالی تمامی اجزاء خسارت به‌عنوان مبانی نظری ارزش‌گذاری، در مرحله تعیین خسارت از اجزای قابل کمی‌سازی برای تعیین ارزش خاک تخریب‌یافته استفاده می‌شود.

۲- بررسی منابع

کوشش‌های متنوعی در دهه‌های اخیر برای توسعه شیوه‌شناسی متناسب برای برآورد خسارات اقتصادی فرسایش انجام شده است (Zhang و همکاران، ۲۰۲۱؛ Sartori و همکاران، ۲۰۱۹؛ Panagos و همکاران، ۲۰۱۹؛ Kefi و Yoshino، ۲۰۱۰). سابقه روش‌های علمی ارزیابی اقتصادی خسارات فرسایش خاک به دهه ۱۹۷۰ میلادی بر می‌گردد. از جمله ساده‌ترین این شیوه‌ها، روش ارزیابی فائو (۱۹۷۶) است. مبنای این شیوه محدود به ارزش خاک به‌عنوان یک محیط کشت و تولید محصول است و معمولاً برای ارزیابی خسارت اقتصادی فرسایش بر تولیدات کشاورزی و در مقیاس محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به تنوعی که در پیامدها و خسارات فرسایش خاک وجود دارد، رویکردهای مختلفی نیز برای ارزیابی اقتصادی اثرات آن ارائه شده است که می‌توان به رویکردهای هزینه جایگزینی، کاهش تولیدات کشاورزی، کاهش ارزش زمین، هزینه خسارات و هزینه اجتناب از خسارت (Enters، ۲۰۰۰؛ Barbier، ۱۹۹۶) اشاره کرد. شایان‌ذکر است که هر رویکرد دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود بوده و هیچ یک از آن‌ها معیار کاملی برای هزینه‌های فرسایش خاک نیستند. علاوه بر این، تحت شرایط یکسان ممکن است نتایج بسیار متفاوتی ارائه دهند. در واقع، انتخاب نوع رویکرد و روش به اهداف و داده‌های موجود بستگی دارد. لذا، به‌منظور دستیابی به درک جامعی از پیامدهای اقتصادی فرسایش خاک، اقتصاددانان استفاده از ترکیبی از روش‌ها و همچنین منابع داده‌های مختلف را پیشنهاد کرده‌اند (Telles، ۲۰۱۱).

در نشریه بازبینی شده ارزیابی اراضی فائو (۲۰۰۷)، فائو چارچوب خود را برای ارزیابی اراضی اصلاح کرد تا نه تنها کالاها بلکه خدمات اراضی را نیز تحت پوشش خود قرار دهد. دو محور جدید

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۸

به چارچوب اضافه شد که شامل کارکردها و خدمات وسیع‌تر اراضی و نیاز به مشارکت ذینفعان برای تعیین نتایج اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی مطلوب آن بود. اما تاکنون این محورهای جدید به معیارهای عملیاتی تبدیل نشده‌اند (تومانیان و زین‌الدینی میمند، ۱۴۰۱).

در دهه ۲۰۱۰ محققین چارچوب نظری تعیین سهم خاک و تبعات فرسایش آن در خدمات اکوسیستم ارائه دادند (کوچکی و خرم‌دل، ۱۴۰۰). در فاصله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ روش‌هایی برای ارزش‌گذاری و کمی‌سازی اقتصاد فرسایش خاک بر مبنای ارزیابی اقتصادی خدمات اکوسیستمی خاک در مقیاس مزرعه ابداع و توسعه یافت. برای این کار خدماتی که توسط خاک، قبل و بعد از فرسایش ارائه می‌کند را کمی نموده و ارزش‌گذاری کردند. کار پژوهشی در این زمینه در ایران به‌طور گسترده انجام نشده فقط می‌توان به مطالعه موردی یگانه و همکاران (۱۳۹۵) در مورد برآورد ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک در زنجان و تعیین ارزش اقتصادی ترسیب کربن خاک در گونه‌های مختلف جنگل‌کاری شده لایوچ مازندران توسط باده‌یان و همکاران (۱۳۹۷) ضیائی جزی و همکاران (۱۳۹۸) و محدودی پژوهش‌های موردی دیگر که در آنها تنها ارزش اقتصادی یکی از خدمات خاک نظیر خدمات خاک در تولید محصول برای یک نوع کاربری، نظیر کاربری زراعت، را مورد بررسی قرار داده‌اند، اشاره کرد.

در ادامه، ابتدا خسارات فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف با توجه به آمار و اطلاعات موجود از جهان و ایران مرور می‌شود و سپس به ارزیابی رویکردهای مختلف برآورد خسارات فرسایش و انتخاب روش مناسب پرداخته خواهد شد.

۲-۱- مروری بر خسارات فرسایش در مقیاس‌های مختلف

بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده از هزینه‌های اقتصادی تخریب خاک در مقیاس جهانی بسیار متفاوت بوده و از ۴۰ تا ۴۹۰ میلیارد دلار در سال تغییر می‌کند (Nkonya و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، از کشوری به کشور دیگر نیز متفاوت است. به عنوان نمونه، بیش از دو دهه پیش، Pimental و همکاران (۱۹۹۵) براساس یک رویکرد چندبعدی، هزینه‌های درجای فرسایش آبی در ایالات متحده آمریکا را حدود ۴۴ میلیارد دلار در سال تخمین زدند. به طور مشابه، کاهش بهره‌وری کشاورزی به دلیل فرسایش خاک در اتحادیه اروپا با استفاده از ترکیبی از رویکردها و نتایج پروژه معروف تحلیل تجارت جهانی (GTAP) حدود ۳۰۰ میلیون یورو برآورد شده است (Panagos و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، براساس مدل شبیه‌سازی تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) میزان خسارت فرسایش به تولیدات کشاورزی در اتحادیه اروپا حدود شش میلیون تن است. در حالی که در قاره آفریقا این میزان خسارت حدود ۲۸۰ میلیون تن است (Wolka و همکاران، ۲۰۱۸). در آسیای جنوبی خسارت فرسایش خاک به تولیدات کشاورزی حدود ۳۶ میلیون تن در سال به ارزش ۵۴ میلیارد دلار برآورد شده است (Lal، ۲۰۰۱). براساس گزارش Telles و همکاران (۲۰۱۱) هزینه‌های فرسایش خاک در برزیل، برای ایالت پارانا حدود ۲۴۲ میلیون دلار و برای ایالت سائوپائولو حدود ۲۱۲ میلیون دلار در سال بود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر تفاوت برآوردهای مختلف از هزینه‌های اقتصادی تخریب خاک در سطح جهان (Nkonya و همکاران، ۲۰۱۶) حتی در یک کشور مشخص نیز نتایج برآوردها با هم فرق دارد. به عنوان مثال، هزینه فرسایش خاک در بریتانیا بین ۱۸ تا ۲۵۰ میلیون پوند

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۱۰

گزارش شده است (Patault و همکاران، ۲۰۲۱). چندین علت برای این اختلافات می‌توان ذکر کرد که مهم‌ترین آنها، تفاوت در نوع متدولوژی، نوع و تعداد خسارات مورد نظر، کمیت و کیفیت داده‌های مورد استفاده، اختلاف بین قیمت کالاها در کشورهای مختلف و تفاوت زمانی مطالعات است. همچنین، میزان شناخت و نگرانی ما از اثرات فرسایش در ایجاد این اختلافات می‌تواند نقش داشته باشد.

۳- مبانی و رویکردهای تعیین خسارت فرسایش سطحی

به دلیل 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). این دسته بندی در کلیه اشکال خسارت رسایش خاک، از جمله فرسایش سطحی صادق است. مهم‌ترین اجزاء خسارات بر جای فرسایش سطحی را می‌توان هدررفت خاک، هدررفت مواد مغذی و مواد آلی و کاهش باروری خاک، کاهش کیفیت حاصلخیزی، شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک؛ افت عملکرد، آسیب به گیاهان کشت شده، کاهش سطح زیر کشت و کاهش درآمد کشاورزان برشمرد (Lal، ۲۰۰۱ و Telles و همکاران، ۲۰۱۲). رسوب گذاری 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 فرایندهای تصفیه آب، اثرات نامطلوب بر نیروگاه‌های برق آبی، 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 هستند (Boardman و Poesen، ۲۰۰۶؛ Telles، ۲۰۱۱ و Telles، ۲۰۱۲).

باتوجه به تنوع زیادی که در پیامدهای فرسایش خاک وجود دارد، ارزیابی و کمی‌سازی همه آن‌ها کار بسیار دشواری است. چراکه هر نوع خسارات به یک چارچوب قیمت‌گذاری خاص و داده‌های ویژه نیاز دارد. به علاوه 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

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای ۱۲ /

یا دشوار است (Gorlach و همکاران، ۲۰۰۴ و Duffy، ۲۰۱۲). براساس بررسی منابع، رویکردهای مختلفی برای ارزیابی خسارات فرسایش خاک وجود دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۳-۱- رویکرد هزینه جایگزینی (RCA)^۱

این رویکرد هزینه جایگزینی خاک فرسایش یافته با خاک جدید را تخمین می‌زند و عواملی مانند هزینه منبع‌یابی و تهیه خاک جدید، انتقال آن به منطقه آسیب دیده و پخش آن برای بازگرداندن بهره‌وری خاک را در نظر می‌گیرد (Gorlach و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج هزینه‌های جایگزینی بسته به ویژگی‌های خاص خاک و منطقه مورد مطالعه می‌تواند متفاوت باشد که یکی از محدودیت‌های این روش محسوب می‌شود. علاوه بر این، سایر اثرات اقتصادی یا زیست‌محیطی فرسایش خاک را در نظر نمی‌گیرد. با این حال، اغلب پژوهشگران هنگام استفاده از این رویکرد، فقط هزینه جایگزینی عناصر غذایی تلف‌شده خاک را در نظر گرفته‌اند و از سایر محتویات خاک مانند ترکیبات آلی و زیستی چشم‌پوشی کرده‌اند. لذا، تحت این شرایط هزینه برآوردی بسیار کمتر از ارزش واقعی خاک از بین رفته خواهد بود. زیرا، خاک علاوه بر کارکرد ارائه عناصر غذایی، کارکردهای و دارایی‌های با ارزش دیگری نیز دارد. از جمله مطالعاتی که از این روش استفاده کرده‌اند می‌توان به Emadodin و همکاران (۲۰۱۲)، Graves و همکاران (۲۰۱۵)، Panagos و همکاران (۲۰۱۸)، Chatrsimab و همکاران (۲۰۱۹)، فاطمه‌نور (۱۳۹۲)، رستگار و همکاران (۲۰۱۵)، ضیایی جزی و بیدکی (۱۳۹۸) و کیوان بهجو و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد. Emadodin و همکاران (۲۰۱۲) میزان خسارت فرسایش خاک را براساس میزان هدررفت عناصر غذایی از اراضی کشاورزی ایران (۱۶ میلیون هکتار) حدود ۲/۷ میلیارد دلار تخمین زدند. این رقم با در نظر

گرفتن فرسایشی معادل ۵۰۰ میلیون تن محاسبه شده، یعنی به ازای هر تن فرسایش حدود ۵/۴ دلار هزینه هدررفت عناصر غذایی خواهد بود. چنانچه کل فرسایش خاک در کشور را ۲ میلیارد تن در نظر گرفته شود، کل هزینه هدررفت عناصر غذایی در کشور حدود ۱۱ میلیارد دلار خواهد بود. باید توجه کرد که در این تحقیق از بسیاری از خسارات فرسایش خاک چشم‌پوشی شده است. رستگار و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل RUSLE و رویکرد هزینه جایگزینی، هزینه اقتصادی هدررفت عناصر غذایی خاک از مراتع شمال ایران را ۲/۶ دلار به ازای هر تن فرسایش تخمین زدند. ضیایی جزی و بیدکی (۱۳۹۸) هزینه هدررفت عناصر غذایی به ازای هر تن فرسایش در اراضی دیم استان چهارمحال و بختیاری را ۲۵۰ هزار تومان و در مراتع ۱۸۰ هزار تومان برآورد کرد. Rickson et al. (۲۰۱۹) هزینه جایگزینی مواد غذایی تلف شده با فرسایش در اسکاتلند را حدود هشت میلیون یورو برآورد کردند. مواد غذایی شامل عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی بود. با در نظر گرفتن کل فرسایش خاک در اسکاتلند، به ازای هر تن فرسایش حدود نه یورو خسارت به عناصر غذایی خاک وارد می‌شود. همچنین، Graves و همکاران (۲۰۱۵) هزینه هدررفت مواد غذایی در انگلستان و ولز را حدود ۴۰ میلیون یورو برآورد کردند. با در نظر گرفتن کل فرسایش، به ازای هر تن خاک حدود ۱۳ یورو خسارت وارد می‌شود. این در حالی است که متوسط مقدار فرسایش در این کشورها کمتر از یک تن در هکتار در سال گزارش شده است. San و Rapera (۲۰۱۰) با استفاده از رویکرد هزینه جایگزینی، هزینه خسارات برجای فرسایش خاک را در اراضی زراعی و رها شده واقع در ضلع شرقی حوضه آبخیز دریاچه اینله در شهرستان Nyaung Shwe، میانمار ارزیابی کردند. هزینه جایگزینی شامل هزینه‌های تهیه خاک باغی، کودهای معدنی برای جایگزینی نیتروژن، فسفر و پتاسیم از دست‌رفته و دست‌مزد نیروی کار برای تسطیح خاک

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای ۱۴ /

سطحی و احیای حاصلخیزی بود. کل هزینه جایگزینی برای قطعات زیر کشت ۷۰/۵۲ دلار در هکتار در سال و برای اراضی رها شده ۱۴۳/۵۰ دلار در هکتار در سال برآورد شد. علت اختلاف زیاد بین یافته‌های فوق را می‌توان در قیمت عناصر غذایی در کشورهای مختلف جستجو کرد.

۳-۲- رویکرد افت بهره‌وری خاک (PLA)^۱

در این رویکرد ارزش اقتصادی بهره‌وری کشاورزی از دست‌رفته در اثر فرسایش خاک را برآورد می‌کند (Enters, ۱۹۹۸; Panagos et al., ۲۰۱۸). به عبارتی دیگر، کاهش درآمد کشاورزان در نتیجه کاهش عملکرد محصول را در نظر می‌گیرد. همچنین می‌تواند هزینه‌های غیرمستقیم مرتبط با کاهش تولید مواد غذایی، مانند افزایش قیمت مواد غذایی یا نیاز به واردات را در نظر بگیرد. از جمله محدودیت‌های این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد

- دسترسی به داده‌ها: جمع‌آوری داده‌های دقیق در مورد تلفات بهره‌وری می‌تواند چالش برانگیز باشد، به‌ویژه در مقیاس کوچک که کشاورزان ممکن است سوابق را به‌طور دقیق حفظ نکنند.

- تغییرپذیری: کاهش بهره‌وری می‌تواند به‌طور قابل توجهی بسته به عواملی مانند شرایط آب و هوایی، نوع خاک، نوع محصول و شیوه‌های کشاورزی متفاوت باشد و این تعمیم نتایج را دشوار می‌کند.

در این خصوص می‌توان به مطالعه Pimentel و همکاران (۱۹۹۵) اشاره کرد که نتایج آن نشان داد در مناطقی با فرسایش سالانه حدود ۱۷ تن در هکتار در سال، سالانه حدود ۸ درصد به تولید محصولات کشاورزی خسارت وارد می‌کند. یعنی به ازای هر تن فرسایش حدود ۰/۵ درصد از

تولید محصول کاسته می‌شود. ایشان میزان خسارت فرسایش به بخش کشاورزی ایالات متحده را سالانه ۲۷ میلیارد دلار تخمین زدند. یعنی به ازای هر تن فرسایش حدود ۷ دلار خسارت به تولیدات کشاورزی وارد می‌شود. میزان خسارت فرسایش به بخش تولیدات کشاورزی در جاوا حدود ۳۱۵ میلیون دلار در سال گزارش شده است (Magrath و Arens، ۱۹۸۹، Lal (۱۹۹۵) پس از بررسی نتایج مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف در سراسر دنیا، بیان کرد که در مزارع تحت فرسایش‌های شدید میزان افت سالانه تولید محصول بین دو تا ۴۰ درصد با میانگین هشت درصد است. Bakker و همکاران (۲۰۰۴؛ ۲۰۰۷) در مطالعاتی که بر اراضی کشاورزی اروپا داشتند، گزارش دادند به ازای هر سانتی‌متر فرسایش خاک حدود ۰/۴ تا ۰/۵ درصد افت عملکرد ایجاد می‌شود. Larney و همکاران (۲۰۰۹) میزان افت عملکرد محصولات دانه‌ای در کانادا به ازای هر سانتی‌متر فرسایش را حدود ۲ درصد گزارش دادند. Duffy (۲۰۱۲) با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات پایگاه داده‌های تفسیری خاک آیووا (ISPAID) اقدام به ارزیابی اثرات اقتصادی فرسایش خاک نمود. اطلاعات خاک‌ها شامل نوع خاک، درجه فرسایش و همچنین متوسط عملکرد ذرت بود. برای این کار، خاک‌هایی که در همه ویژگی‌ها به جز درجه فرسایش شبیه بودند برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. اختلاف بین عملکرد خاک‌ها به درجه فرسایش آن‌ها نسبت داده شد. بر این اساس، متوسط خسارت فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه با توجه به قیمت ذرت حدود ۳۰۰ دلار در هر ایکر برآورد شد.

۳-۳- رویکرد هزینه خسارات (DCM)^۱

این رویکرد عمدتاً برای محاسبه خسارات ملموس و ناملموس فرسایش در خارج از محل استفاده شده است (Patault و همکاران، ۲۰۲۱). خسارات خارج از محل فرسایش را می‌توان در سه بخش مجزا بررسی کرد: بخش خسارات محیط زیستی، بخش خسارات زیرساختی و بخش خسارات بهداشتی و مرتبط با سلامت. در گروه خسارت محیط زیستی هزینه‌های اقتصادی مرتبط با آسیب‌های زیست محیطی مانند کاهش کیفیت آب، تخریب زیستگاه حیات وحش، اختلال در خدمات اکوسیستم (مانند کنترل سیل، ترسیب کربن) در نظر گرفته می‌شود (Bandara و همکاران، ۲۰۰۱). در بخش خسارات زیرساختی، هزینه تعمیر یا جایگزینی زیرساخت‌های آسیب دیده در اثر فرسایش خاک مانند هزینه‌های مربوط به لایروبی مخازن سدها و رودخانه‌ها و همچنین تعمیر جاده‌ها، پل‌ها و ساختمان‌ها در نظر گرفته می‌شود (Clark، ۱۹۹۶). 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 می‌شود (Young، ۱۹۹۹؛ Pretty و همکاران، ۲۰۰۰). محدودیت‌های این روش شامل عدم دسترسی به داده‌های کافی و همچنین دشواری 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) و Li و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد. Patault و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات مالی ارائه‌شده توسط سازمان‌ها، ادارات و مقامات منطق‌های یا محلی (نظیر سازمان‌های آب، شرکت‌های بیمه، شرکت‌های آب آشامیدنی، مدیران زیرساخت‌های حمل و نقل) 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 جاده ای 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 منطقه Maritime- 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. باتوجه به کل فرسایش خاک در ایالات متحده که در این تحقیق ۴ میلیارد تن تخمین زده شده بود، به ازای هر تن فرسایش خاک حدود چهار دلار خسارت خارج از محل ایجاد می‌شود. Li و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از یک مدل پیش‌بینی کننده 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.

۳-۴ - رویکرد ارزش زمین

در این روش کاهش ارزش زمین در اثر فرسایش خاک ارزیابی می‌شود. کاهش ارزش زمین با مقایسه کیفیت زمین فرسایش یافته با یک زمین فرسایش نیافته مشابه در همان منطقه از جنبه کاهش پتانسیل کشاورزی، کاهش ارزش زیبایی شناختی و افزایش هزینه‌های آماده‌سازی زمین تخمین زده می‌شود (Hertzler و همکاران، ۱۹۸۵؛ Palmquist و Danielson، ۱۹۸۹؛ Duffy، ۲۰۱۲). محدودیت این روش در این است که رابطه بین کیفیت خاک و ارزش زمین به دلیل تأثیرگذاری

بسیاری از عوامل دیگر است مانند مکان و تقاضای بازار پیچیده می‌شود. علاوه بر این، گاهی یافتن یک زمین فرسایش‌نیافته مشکل است. در این خصوص، Costea و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده رویکرد ارزش زمین اقدام به ارزیابی اقتصادی هزینه‌های فرسایش خاک در حومه شهر Jibou در کشور رومانی کردند. آن‌ها از مدل جهانی فرسایش خاک و یک مدل کیفی که مقادیر فرسایش را به پایگاه داده‌های کاربری اراضی متصل می‌کرد، استفاده نمودند. اطلاعات اراضی شامل کیفیت خاک، ضریب مرتبط با مخاطرات آب و هوا، کاربری و ارزش بازاری زمین بود. در نهایت کاهش ارزش بازاری اراضی با توجه به کلاس آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر فرسایش خاک تعیین شد. بر این اساس، هزینه فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه با مساحت حدود ۱۴ هزار هکتار بالغ بر ۴۶۰۰۰ یورو برآورد شد که عمدتاً ناشی از تأثیر فرسایش خاک در سطح وسیعی از باغات منطقه بود. در مطالعات دیگر، Podhrazskaet و همکاران (۲۰۱۹) اثرات اقتصادی تخریب زمین‌های کشاورزی ناشی از فرسایش را در موراویای جنوبی کشور جمهوری چک بررسی کردند. قیمت اراضی تحت تأثیر فرسایش در منطقه مورد مطالعه بین ۸۸ تا ۲۴۰۰ یورو در هکتار متغیر بود. آن‌ها خاک‌ها را براساس پتانسیل خطر فرسایش به هفت گروه تقسیم کردند: در گروه ۱ پتانسیل کاهش قیمت زمین به دلیل فرسایش بین صفر تا ۲۰ درصد و در گروه ۷ بیش از ۷۰ درصد در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که اثرات فرسایش روی چرنوزم‌ها، شدیدتر است. همچنین نتایج نشان داد که فرسایش آبی در قطعه زمینی به مساحت ۱۰۰/۵ هکتار، واقع در ناحیه شهرداری استاروویسه، از طریق کاهش ارزش زمین، خسارتی معادل ۹۲۰۰۰ یورو در دوره ۱۹۷۸-۲۰۱۳ وارد کرده است. Evans (۱۹۹۶) ارزش خسارات فرسایش را براساس میزان افت ارزش زمین در انگلستان و ولز حدود ۴۰ هزار یورو برآورد کردند. Caffera و همکاران (۲۰۱۹) از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های ۳۵۶۳ مزرعه کشاورزی که بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ در اروگوئه

معامله شده‌اند، قیمت ضمنی فرسایش خاک را برآورد کردند. ایشان رابط‌های منفی و معنی‌دار آماری بین فرسایش و ارزش زمین پیدا کردند. افزایش ۱٪ تلفات خاک سطحی با کاهش ۰/۲۲ درصد در قیمت هر هکتار زمین کشاورزی همراه بود که با توجه به متوسط قیمت هر هکتار زمین کشاورزی تقریباً معادل ۷/۷ دلار بدست آمد. Duffy (۲۰۱۲) با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات پایگاه داده‌های تفسیری خاک آیووا (ISPAID)^۱ و همچنین پایگاه داده‌های اجاره بهای اراضی اقدام به ارزیابی اثرات اقتصادی فرسایش خاک نمود. در پایگاه داده خاک هر خاک با کدی مرکب از حروف و اعداد مشخص شده است. هر عدد یا حرف نمادی از خصوصیات خاک مانند سری خاک، شیب، بافت، کاربری و همچنین درجه فرسایش است. درجه فرسایش در سه سطح کم، متوسط و شدید با اعداد ۱ تا ۳ در این کدها گنجانده شده است. تجزیه و تحلیل نرخ اجاره‌بهای زمین‌های کشاورزی ۲۰ شهرستان با توجه به متوسط عملکرد آن‌ها در تولید ذرت و سویا و همچنین درجه فرسایش نشان داد که فرسایش خاک سالانه خسارتی معادل ۱۰ الی ۱۵ دلار به ازای هر ایکر به ارزش اجاره بهای زمین وارد می‌شود. با در نظر گرفتن نرخ سرمایه معادل چهار درصد، میزان خسارت فرسایش به ارزش زمین حدود ۲۵۰ تا ۳۵۰ دلار برآورد شد.

۳-۵- رویکرد هزینه خسارت اجتناب شده (DCE)^۲

در این روش هزینه اجرای اقدامات پیشگیری از فرسایش خاک مانند کاشت گیاهان پوششی، ساخت سکو و نصب حوضچه‌های رسوبی برآورد می‌شود (Dimal, ۲۰۱۹). از جمله محدودیت‌های این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

1. National Snow and Ice Data Center
2. Damage Cost Evoided

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۲۰

- هزینه اجرای اقدامات پیشگیری از فرسایش خاک بسته به نوع و مقیاس اقدامات و همچنین محدودیت‌های عملی اجرای چنین اقداماتی در مناطق یا کاربری‌های خاص می‌تواند بسیار متفاوت است.

- اثربخشی اقدامات نیز باید در نظر گرفته شود، زیرا در برخی موارد، اقدامات ممکن است به‌طور کامل از فرسایش خاک جلوگیری نکنند.

در این خصوص Patault و همکاران (۲۰۲۱) هزینه فرسایش خاک در بخش Maritime - Seine و Eure واقع در کمر بند شمال غرب اروپا براساس هزینه‌هایی کنترل فرسایش خاک و رواناب به ترتیب ۳۰۰ و ۸۵ میلیون یورو برآورد کردند. هزینه‌های کنترل فرسایش شامل هزینه‌های اقدامات حفاظتی و هزینه‌های نگهداری از آن‌ها بود. رستگار (۱۳۹۴) مجموع هزینه‌های اجتناب از خسارت در حوزه آبخیز سد لار در شمال ایران را ۳۶۵ هزار دلار برآورد کرد.

۳-۶- رویکرد ارزش‌گذاری ترجیحی (CVM)^۱

در این رویکرد هزینه فرسایش خاک از طریق مصاحبه با افراد درباره میزان تمایل آن‌ها به پرداخت یا تمایل به پذیرش غرامت برای جلوگیری یا کاهش فرسایش خاک است (Gorlach و همکاران، ۲۰۰۴؛ Schwegler، ۲۰۱۴). در نظرسنجی‌ها معمولاً سوالاتی مطرح می‌شود که در آن از پاسخ‌دهندگان در مورد ترجیحات و آمادگی آن‌ها برای تخصیص منابع مالی برای اقدامات کنترل فرسایش سؤال می‌شود. به‌عنوان مثال، یک نظرسنجی ممکن است از ساکنان بپرسد که برای کنترل فرسایش در منطقه خود چقدر حاضر است مالیات بیشتری بپردازد. روش ارزش‌گذاری ترجیحی یا مشروط بر این فرض تکیه دارد که ترجیحات اعلام شده از سوی افراد

منعکس‌کننده ارزش واقعی هزینه‌های فرسایش است. در این خصوص Bhandari و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از یک مدل فرسایشی و تجزیه و تحلیل ادراک افراد از طریق پرسشنامه و بحث‌های گروهی کارشناسان اثرات فرسایش بر بهره‌وری کشاورزی را در یک حوزه آبخیز واقع در نپال بررسی کردند. بررسی حجم تولیدات کشاورزی، سطح زیر کشت و نرخ بهره‌وری زمین‌های کشاورزی در یک دوره پنج ساله (از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹) نشان داد که سطح زیر کشت از نظر عددی با میانگین ۲/۹۶ هکتار در سال کاهش یافته است. به همین ترتیب، میزان تولیدات کشاورزی با نرخ ۳۱/۸ تن در سال و بهره‌وری با نرخ ۲۳۸ کیلوگرم در هکتار در سال کاهش یافته است. از نظر کشاورزان، فرسایش خاک سطحی و تشکیل خندق در زمین‌های زراعی عوامل اصلی کاهش تولید و بهره‌وری کشاورزی بودند. Almansa و همکاران (۲۰۱۲) از این رویکرد برای ارزیابی اقتصادی اقدامات حفاظت خاک در لوبرین اسپانیا استفاده کردند. براساس تجزیه و تحلیل نظرسنجی، درصد بالایی از افراد تمایل به پرداخت پول برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک داشتند و افراد مقیم در منطقه به‌طور متوسط حاضر به پرداخت مبلغی معادل ۱۰۴ یورو در سال بودند.

۳-۷- رویکرد مدل‌سازی هزینه‌های فرسایش

مدل‌های رایانه‌ای مختلف مانند EPIC^۱ می‌توانند نرخ فرسایش خاک را تحت سناریوهای مختلف (مانند تغییرات کاربری زمین یا تغییرات آب و هوا) شبیه‌سازی و پیش‌بینی کنند. این مدل‌ها همچنین قادرند خسارات اقتصادی بالقوه مرتبط با سطوح مختلف فرسایش را تخمین بزنند و به اولویت‌بندی مناطق برای اجرای اقدامات حفاظتی کمک کنند. برخی مدل‌های دیگر

نیز مانند مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE)^۱ می‌توانند اثرات اقتصادی بلندمدت فرسایش خاک را در سطح کلان شبیه‌سازی کنند. این مدل‌ها تعاملات بین بخش‌های مختلف اقتصاد را در نظر می‌گیرند و اثرات بازخوردی فرسایش خاک بر تولید، مصرف و قیمت‌ها را به تصویر می‌کشند. نیاز به حجم زیادی از داده‌ها و واسنجی مدل‌ها برای مناطق مختلف از جمله محدودیت اصلی این روش به حساب می‌آیند. در این خصوص Asfaw و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از یک مدل ریاضی تأثیر فرسایش خاک بر عملکرد ذرت را بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش تلفات خاک از ۱۰ تن در هکتار به ۲۲ تن در هکتار، میزان عملکرد ذرت حدود ۴۵ درصد و چنانچه تلفات خاک به ۴۰ تن در هکتار در سال برسد، عملکرد ۵۵ درصد کاهش خواهد یافت.

در مطالعه‌ای دیگر Sartori و همکاران (۲۰۱۹) از طریق ارتباط بین یک مدل بیوفیزیکی و یک مدل اقتصادی، اثرات اقتصادی فرسایش آبی خاک بر اقتصاد جهانی را برآورد کردند. میزان فرسایش خاک در مقیاس جهانی توسط مدل بیوفیزیکی تعیین و سپس با استفاده از رابطه بین فرسایش و باروری، به تلفات باروری زمین تبدیل شد. نتایج نشان داد که کاهش تولیدات جهانی محصولات کشاورزی در اثر فرسایش به میزان ۳۳/۷ میلیون تن و افزایش قیمت‌های جهانی محصولات کشاورزی ناشی از کاهش تولید بسته به گروه محصول غذایی بین ۰/۴ درصد تا ۳/۵ درصد برآورد شد. Panagos و همکاران (۲۰۱۷) نیز هزینه خسارات فرسایش خاک در اتحادیه اروپا را به روشی مشابه ارزیابی کردند. مقادیر فرسایش خاک برای هر کشور توسط مدل RUSLE برآورد شد و از نتایج آن برای تخمین کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی استفاده شد. همچنین برای تخمین تأثیر فرسایش بر تولید ناخالص داخلی از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) استفاده شد. یافته‌ها حاکی از آن بود که ۱۲ میلیون هکتار از مناطق کشاورزی اتحادیه

اروپا تحت تأثیر فرسایش شدید هستند و این اراضی سالانه حدود ۰/۴۳ درصد از تولید محصول خود را از دست می‌دهند. هزینه‌های این مقدار کاهش در بهره‌وری تولیدات کشاورزی معادل ۱/۲۵ میلیارد یورو در سال برآورد شد. همچنین هزینه اثرات فرسایش خاک بر تولید ناخالص داخلی حدود ۱۵۵ میلیون یورو برآورد شد.

در تحقیق دیگری، Kefi و Yoshino (۲۰۱۰) نیز با استفاده از ترکیب رویکردهای زیست‌محیطی و اقتصادی به بررسی اثرات فرسایش آبی خاک بر بهره‌وری کشاورزی در سطح مزرعه در یک حوزه آبخیز در تونس پرداختند. رویکرد زیست محیطی شامل استفاده از معادله جهانی تلفات خاک (RUSLE)، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین مقدار هدررفت خاک بود. برای ارزیابی ارزش اقتصادی فرسایش خاک از یک مدل اقتصادی بر پایه ریاضی استفاده شد. مقایسه بین سناریوی پایه (بدون فرسایش) و سناریوهای جایگزین که در آن خطر فرسایش خاک گنجانده شده بود نشان داد که درآمد کل حوضه در اثر فرسایش خاک بین ۱۷ تا ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. میزان خسارت فرسایش بین ۳۴ تا ۶۱ دینار تونس در هر هکتار برآورد شد. Steinhoff-Knopp و همکاران (۲۰۲۱) از رویکرد مبتنی بر مدل‌سازی برای ارزیابی تأثیر فرسایش خاک بر خدمات زیست بوم در اراضی کشاورزی شمال آلمان استفاده کردند. تخریب خاک در اثر فرسایش خاک با محاسبه کاهش نیمرخ خاک در شش سناریو، شبیه‌سازی شد. سناریوها شامل دو سطح تأثیر با سه مرحله زمانی (۵۰+، ۱۰۰+، ۱۵۰+ سال) بودند. چهار کارکرد زیست بوم مربوط به خاک شامل تولید محصول، فیلتراسیون آب، تنظیم جریان آب و تامین آب شیرین مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه پتانسیل عرضه خدمات فوق در سناریوهای مختلف، امکان ارزیابی

اثرات بلندمدت فرسایش را امکان پذیر کرد و نتایج نشان داد که کاهش در پتانسیل عرضه خدمات تولید محصول، تصفیه آب و تنظیم جریان آب بسیار چشمگیر بود.

۳-۸- رویکرد جامع

در این شیوه از دو یا چند رویکرد فوق به‌طور همزمان استفاده می‌شود. نتایج این رویکرد به واقعیت نزدیک‌تر است، زیرا هر کدام از رویکردهای قبلی به تنهایی فقط بخشی از اثرات فرسایش را منعکس می‌کنند و به‌نوعی کم‌برآوردی در نتایج ایجاد می‌شود. از طرفی باید دقت کرد که رویکردهای مورد استفاده دارای همپوشانی نباشند. زیرا در این حالت، بیش‌برآوردی رخ می‌دهد. معمولاً رویکرد هزینه جایگزینی، کاهش بهره‌وری خاک و ارزش زمین برای خسارات برجا و رویکرد هزینه خسارات برای خسارات خارج از محل استفاده می‌شوند. در حالی که رویکرد هزینه اجتناب از خسارت و مدل‌سازی برای هر دو خسارت برجا و خارج از محل کاربرد دارند.

به‌عنوان جمع‌بندی مرور منابع این بخش می‌توان گفت که اگرچه کمی‌سازی خسارات غیر ملموس مقدور نیست، لیکن جبران خسارات ملموس برآورد شده نیز به تنهایی می‌تواند نقش بازدارندگی داشته باشد و اهداف قانون‌گذار از نظر حفظ خاک تامین می‌شود. نکته دیگری که در این قسمت قابل تأکید است این که کلیه روش‌ها دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود بوده و هیچ یک از آن‌ها معیار کاملی برای هزینه‌های ملموس فرسایش خاک نیستند. علاوه‌براین، تحت شرایط یکسان ممکن است نتایج بسیار متفاوتی ارائه دهند و با خطاهایی همراه شوند. از سوی دیگر، انتخاب هر یک از روش‌ها به اهداف و داده‌های موجود بستگی دارد. لذا، به‌منظور دستیابی به درک جامعی از پیامدهای اقتصادی فرسایش خاک اقتصاددانانی نظیر Pimentel (۱۹۹۵) و

Telles (۲۰۱۱) استفاده از ترکیبی از روش‌ها و همچنین منابع داده‌های مختلف را پیشنهاد

کرده‌اند. یکی از منابع دیگر خطا در برخی از حالات مثل فرسایش سطحی، خطای برآورد مدل فرسایش مورد استفاده است که طبقاً برآورد خسارت آن را نیز دچار خطا می‌کند. برای برآورد خسارات فرسایش در ایران و جهان مطالعات مختلفی انجام شده است که در جدول ۱ به آن پرداخته شده است.

جدول ۱- برخی مطالعات انجام شده در خصوص ارزش اقتصادی خاک و برآورد خسارات فرسایش خاک

محققین	منطقه	روش ارزشگذاری	خدمات خاک
Miranowski و Hammes (۱۹۸۴)	آمریکا	ارزش گذاری ترجیحی	کنترل فرسایش
Moore و McCarl (۱۹۸۷)	آمریکا	مبتنی بر هزینه چرخه هیدرولوژیکی	تنظیم شیمایی آب
Holmes و همکاران (۱۹۹۸)	نامشخص	تابع عملکرد کنترل	فرسایش
Pimentel و همکاران (۱۹۹۵)	جهانی	مبتنی بر هزینه چرخه هیدرولوژیکی	تجزیه
Pimentel و همکاران (۱۹۹۷)	آمریکا	مبتنی بر هزینه	تجزیه
Predo و همکاران (۱۹۹۷)	فلپین	هزینه جایگزینی	کنترل فرسایش
Pretty و همکاران (۲۰۰۰)	انگلستان	مبتنی بر هزینه کنترل فرسایش	تنظیم اقلیمی
Colombo و همکاران (۲۰۰۳)	اسپانیا	ارزش گذاری ترجیحی	کنترل فرسایش
Duffy و Tegtmeyer (۲۰۰۴)	آمریکا	مبتنی بر هزینه چرخه هیدرولوژیکی	تنظیم شیمایی آب
Xiao و همکاران (۲۰۰۵)	چین	قیمت بازاری، مبتنی بر هزینه	تنظیم اقلیمی
Colombo و همکاران (۲۰۰۶)	اسپانیا	ارزش گذاری ترجیحی	تنظیم شیمایی آب
Decaëns و همکاران (۲۰۰۶)	نامعلوم	قیمت بازاری تولید غذا	ماده یا انرژی
Hansen و Hellerstein (۲۰۰۷)	آمریکا	مبتنی بر هزینه	چرخه هیدرولوژیکی

محققین	منطقه	روش ارزشگذاری	خدمات خاک
Sandhu و همکاران (۲۰۰۸)	زلاندنو	قیمت بازاری، مبتنی بر هزینه	تولید غذا، ماده یا انرژی؛ تنظیم شیمایی آب؛ تنظیم اقلیمی؛ تجزیه
Porter و همکاران (۲۰۰۹)	دانمارک	قیمت بازاری	تنظیم اقلیمی
Ward و همکاران (۲۰۰۹)	هندوستان	مدل (توابع تولید)	ارائه مواد مغذی
Almansa و همکاران (۲۰۱۲)	اسپانیا	مبتنی بر هزینه، ارزش گذاری ترجیحی	کنترل فرسایش
Hacisalihoglu و همکاران (۲۰۱۰)	ترکیه		تخریب زمین
Bond و همکاران (۲۰۱۱)	آمریکا	ارزش گذاری ترجیحی	کنترل فرسایش
Glenk و Colombo (۲۰۱۱)	انگلستان	ارزش گذاری ترجیحی	تنظیم اقلیمی
Kiran و Malhi (۲۰۱۱)	هند	مبتنی بر هزینه	تجزیه
Mekuria و همکاران (۲۰۱۱)	اتیوپی	مبتنی بر هزینه	تجزیه
Dominati و همکاران (۲۰۱۴)	زلاند نو	قیمت بازاری؛ مبتنی بر هزینه	تولید غذا، ماده یا انرژی؛ چرخه هیدرولوژیکی؛ کنترل آفات؛ تنظیم اقلیمی
Alam و همکاران (۲۰۱۴)	NA	قیمت بازاری	تنظیم اقلیمی
Samarasinghe و Greenhalgh (۲۰۱۳)	زلاند نو	ارزش گذاری ترجیحی	چرخه هیدرولوژیکی
Lu و همکاران (۲۰۱۳)	چین	مبتنی بر هزینه	کنترل فرسایش، تنظیم اقلیمی
Bastian و همکاران (۲۰۱۳)	آلمان	مبتنی بر هزینه	کنترل فرسایش
Jerath و همکاران (۲۰۱۶)	آمریکا	مبتنی بر هزینه	تنظیم اقلیمی
Kay و همکاران (۲۰۱۹)	اروپا	قیمت بازاری	چرخه هیدرولوژیکی؛ تنظیم اقلیمی
Mastrorilli و همکاران (۲۰۱۸)	ایتالیا	مبتنی بر هزینه	کنترل فرسایش
Lee و همکاران (۲۰۱۸)	کره جنوبی	مبتنی بر هزینه	کنترل فرسایش؛ چرخه هیدرولوژیکی
Noe و همکاران (۲۰۱۶)	آمریکا	مبتنی بر هزینه	تنظیم اقلیمی
Hungate و همکاران (۲۰۱۷)	آمریکا	مبتنی بر هزینه	تنظیم اقلیمی

محققین	منطقه	روش ارزشگذاری	خدمات خاک
Kibria و همکاران (۲۰۱۷)	کامبوج	مبتنی بر هزینه	کنترل فرسایش؛ چرخه هیدرولوژیکی؛ تنظیم اقلیمی، تجزیه
Levykin و همکاران (۲۰۱۷)	روسیه	قیمت بازاری	تولید غذا، ماده یا انرژی
Bashagaluke و همکاران (۲۰۱۸)	غنا	مبتنی بر هزینه	تجزیه
Campbell (۲۰۱۸)	آمریکا	مبتنی بر هزینه	کنترل فرسایش
Cerda و همکاران (۲۰۱۸)	شیلی	ارزش گذاری ترجیحی	کنترل فرسایش
Ganguly و همکاران (۲۰۱۸)	هند	مبتنی بر هزینه	تنظیم اقلیمی
عاقلی و صادقی، (۱۳۸۴)	ملی	هزینه جایگزین	کنترل فرسایش
حیاتی، (۱۳۸۴)	چاراویماق		کنترل فرسایش
بهجو و همکاران، (۱۳۹۵)	خوزستان	هزینه جایگزینی	ارائه مواد مغذی
یگانه و همکاران، (۱۳۹۵)	زنجان	هزینه فرصت	کنترل فرسایش
حسینی و همکاران، (۱۳۸۹)	ملی	تعادل عمومی	کنترل فرسایش
قربانی و حسینی، (۱۳۹۰)	ملی	کنترل بهینه	کنترل فرسایش
کیوان بهجو و فیروزی اصل، (۱۳۹۶)	مغان	هزینه جایگزین	کنترل فرسایش
حسینی و همکاران، (۱۳۹۷)	ملی	تعادل عمومی	کنترل فرسایش

بررسی سابقه پژوهشی و ضرورت‌های برآورد خسارات اقتصادی فرسایش خاک و سابقه پژوهشی این جریان علمی نشان‌گر آن است که به‌دلیل پیچیدگی‌های مؤلفه‌های اثرگذار در این بخش، روند بسیار کندی در توسعه علمی این بخش حاکم است که این محدودیت به طریق اولی در کشور ما نیز منجر به آن شده که هم‌اکنون برای این مهم اطلاعات و داده‌چندانی از نظر روش‌شناسی و نیز شناخت وضع موجود در دسترس نیست.

۴- مدل مفهومی^۱ تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی

در این بخش، با استفاده از بررسی جامع منابع و نظرات کارشناسی، مدلی مفهومی متناسب برای تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی ارائه می‌شود. مدل مفهومی بازنمایی یک سیستم با استفاده از عوامل تشکیل دهنده و ترسیم الگوی روابط میان عوامل آن است. براساس یک چارچوب مفهومی می‌توان مدل مفهومی را ترسیم کرد. در مدل مفهومی تمامی مراحل، متغیرها و مواد و ابزارهای به کار گرفته در راستای تحقق اهداف بیان می‌شود. مراحل طراحی مدل مفهومی عبارتست از: انتخاب موضوع مناسب، تشخیص مشکل یا مسئله، مبانی و پیشینه، تعیین اهداف، تعیین متغیرها و عوامل و روابط بین آنها، تعیین نحوه گردآوری داده‌ها، نحوه نمونه‌گیری و جامعه آماری و در نهایت تعیین نحوه تجزیه و تحلیل است. دو روش اصلی برای طراحی مدل مفهومی یک فرایند استفاده می‌شود که عبارتند از:

۱. طراحی مدل با استدلال قیاسی: پیشینه پژوهش قوی است، براساس نظریه‌های موجود اقدام به فرضیه سازی می‌شود. در نهایت براساس فرضیه‌ها مدل مفهومی طراحی می‌شود.

۲. طراحی مدل با شیوه اکتشافی، (برای پیشینه، تئوری و داده ضعیف)، ابتدا متغیرها شناسایی می‌شوند سپس الگوی روابط بین متغیرها یا عوامل تشخیص یا مدل می‌شود (با روش‌هایی نظیر تحلیل ساختاری، تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای، مدل سازی ساختار و ...)

در نهایت می‌توان گفت مدل مفهومی به دو شیوه مدلسازی آماری و مدلسازی پویا یا دینامیک طراحی می‌شود. در مدلسازی آماری فرایند یکسویه با تمایل به کاهش متغیرها مورد نظر است.

^۱ . Conceptual model

اما در مدلسازی پویا از شیوه حلقه بازخورد استفاده می‌شود و تمایل به تعدد متغیرها وجود دارد. در بررسی‌های برآورد خسارت اقتصادی فرسایش خاک با توجه به برهمکنش بین متغیرها و اثرات غیرخطی بهتر است از روش دوم یعنی مدل‌سازی پویا برای بسط و طراحی مدل مفهومی استفاده کرد.

الگو یا مدل مفهومی برآورد خسارات فرسایش سطحی در سه گام عملیاتی زیر قابل تفکیک است

۱- اندازه‌گیری/برآورد میزان فرسایش

۲- شناسایی و اولویت‌بندی اجزاء خسارات فرسایش سطحی

۳- قیمت‌گذاری یا برآورد میزان خسارات اقتصادی برای هر یک از اجزاء خسارات و برای کل خسارت

برای عملیاتی کردن سه گام فوق ملاحظاتاتی باید لحاظ شود که از جمله مهم‌ترین آن‌ها حول دو محور شیوه‌شناسی برآورد یا کمی‌سازی (برای مقادیر فرسایش و خسارت اقتصادی) و تعیین سطح کیفی داده‌های موجود برای مؤلفه‌ها یا شاخص‌ها در دسترس است. اهم این ملاحظات عبارتند از:

I. انتخاب روش مناسب برای اندازه‌گیری یا برآورد فرسایش براساس مقیاس مکانی

و زمانی

II. جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و تعیین سطح دسترسی

III. چگونگی تعیین مؤلفه‌ها و اجزاء خسارت فرسایش (مطالعه میدانی در محل یا با

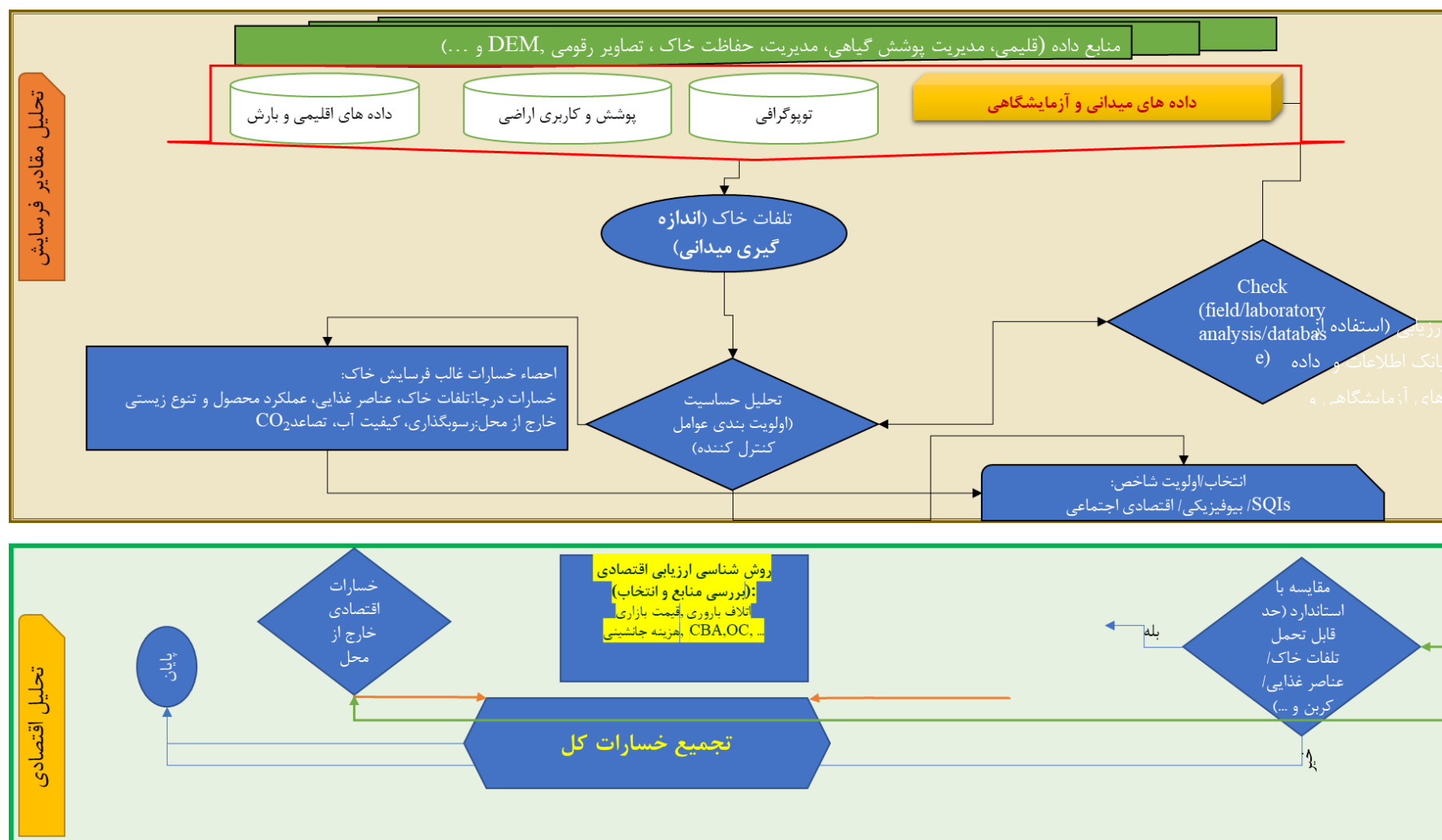
بررسی منابع)

IV. تعیین شاخص و شیوه اندازه‌گیری (فرسایش و خسارت اقتصادی)

V. تعیین سطح کیفی داده (مهم در انتخاب مدل فرسایش و مدل ارزیابی اقتصادی)

VI. انتخاب مدل ارزیابی اقتصادی

در این پژوهش براساس تجربه و با بررسی اهم موضوعات مبتلابه خسارات فرسایش به‌طور عام و فرسایش طحی به‌طور خاص و نیز مبانی طراحی مدل مفهومی که در سطور پیش بازگو شدند، یک مدل مفهومی برای تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری طراحی شد. نمودار جریان‌ی مدل مفهومی طراحی شده برای تعیین خسارت اقتصادی فرسایش سطحی در شکل ۱ نشان داده شده است. این مدل به شیوه پویا طراحی شده و چهارچوب این مدل بر دو بخش کلی برآورد فرسایش و شیوه تعیین خسارت اقتصادی استوار است. در بخش اول یعنی محاسبه کمیت فرسایش سطحی-شیاری به دو شیوه ارزیابی و اندازه‌گیری میدانی و یا استفاده از مدل (بسته به مقیاس مورد نظر برای برآورد) اتکا شده است. نحوه استفاده از حلقه بازخورد بین مراحل و فرآیندها در این شکل نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای کلی از مدل مفهومی برآورد خسارات فرسایش سطحی مورد استفاده به شیوه مدلسازی دینامیک (دارای حلقه بازخورد و تمایل به تعدد

متغیرها)

۴-۱- اندازه‌گیری یا برآورد فرسایش سطحی

در تعیین کمیت فرسایش سطحی بسته به گستره مورد بررسی می‌توان از اندازه‌گیری میدانی و مستقیم یا برآورد غیرمستقیم با مدل استفاده کرد. بدیهی است در مقیاس گسترده، روش دوم تنها چاره کار است. گرچه استفاده از شیوه‌های سنجش از دور می‌تواند برای این مهم راهگشا باشد. ولیکن در مطالعات فرسایش سطحی دارای منابع عدم اطمینان نسبتاً زیادی است که توجیه آن را به‌عنوان شیوه جایگزین برای مدل‌های برآورد دشوار می‌سازد. در هر صورت به داده مطالعه میدانی برای ارزیابی و اعتبارسنجی برآود نیاز است. مضاف بر این‌که در بیشتر مدل‌های برآورد تجربی، داده‌های ورودی پایه نیز به نوعی با مطالعه میدانی تهیه می‌شوند و استفاده از داده سنجش از دوری برای این منظور به‌عنوان داده مکمل قابل اتکا است.

تعیین یا برآورد مستقیم فرسایش و همچنین رسوبگذاری با اندازه‌گیری شواهد فرسایش نظیر پاسنگی‌ها، روش ترازبندی، عمق، ابعاد و درصد پوشش شیار در سطح امکان‌پذیر است (صادقی و پرویزی، ۱۴۰۱). اما در شیوه‌های غیرمستقیم برآورد فرسایش از مدل‌های فرسایش پذیرفته شده فرسایش در طیف گسترده خود اعم از مدل‌های کاملاً تجربی نظیر MPSIAC یا EPM و یا مدل‌های شاخصه‌ای نظیر RUSLE و یا حتی از مدل‌های فرآیندی نظیر WEPP یا ANSWERS استفاده می‌شود.

نکته دیگر در فاز میدانی برآورد خسارت فرسایش خاک انجام نمونه‌برداری جهت تخمین یا اندازه‌گیری برخی مؤلفه‌های خسارت فرسایش نظیر اتلاف عناصر غذایی و اندوخته کربن آلی خاک است. در این مرحله برداشت نمونه از عمق فرسایش یافته برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک و عناصر غذایی ضروری است. نکته دیگر چگونگی تعمیم فرسایش در سطح عرصه منتخب به سطح

کل عرصه به روش علمی است. این امر برای مواردی است که عرصه محدودی را به عنوان معرفی از کل عرصه تحت اثر خسارت برای اندازه گیری مستقیم کمیت فرسایش انتخاب می کنیم. بدیهی است در این مرحله تعداد مناسب برای عرصه های منتخب و معرف و نیز معرف بودن عرصه انتخابی از ملاحظات کلیدی خواهد بود. بعلاوه فن مناسب برای برون یابی یا بزرگ مقیاس گردانی داده های اندازه گیری شده میدانی جهت تعمیم به کل عرصه از دیگر ظرفیت های فنی است که باید در نظر گرفته شود.

۴-۲- اجزاء و مؤلفه های خسارت اقتصادی فرسایش سطحی

برای تهیه اجزاء مدل مفهومی برآورد خسارات اقتصادی فرسایش سطحی، ابتدا کلیه خسارات برجا و خارج از محل فرسایش سطحی فهرست می شوند. همانطور که در بندهای پیشین بیان شد اجزاء خسارات فرسایش خاک در دو دسته کلی خسارات درجا و خسارات خارج از محل فرسایش قابل دسته بندی هستند. خسارات اقتصادی فرسایش سطحی نیز از این قاعده مستثنی نیست. با این وجود اجزاء خسارات هر کدام از دو دسته یاد شده در فرسایش سطحی ممکن است با اجزاء این خسارات در دیگر اشکال فرسایش خاک متفاوت باشد. براساس بررسی منابع و تجارب نگارنده، اهم اجزاء خسارات فرسایش سطحی در این دو دسته در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس شایع ترین جزء قابل رصد خسارت درجا فرسایش سطحی افت عملکرد محصول و هدررفت عناصر غذایی خاک باشد. اما کاهش غنای زیستی خاک و همچنین ارزش زمین در کاربری متناسب آن از دیگر اجزاء مهم خسارت فرسایش سطحی است که کمتر به آن توجه شده است. از اهم اجزاء خسارت خارج از محل فرسایش سطحی رسوب گذاری در پایین دست، کاهش کیفیت آب

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۳۴

سطحی و همچنین افزایش انتشار گازگلخان‌های CO_2 است که محصول تخریب خاک و موجب گرمایش زمین و تغییرات شتابنده اقلیمی است.



شکل ۲- دسته‌بندی اجزاء اصلی خسارات فرسایش سطحی

۴-۳- شیوه‌های اقتصادی تعیین خسارت فرسایش سطحی

برخی رویکردهای کلی برای برآورد خسارات اقتصادی فرسایش خاک در بندهای پیشین اشاره شد. اما روش‌های آزمون شده برآورد اقتصادی خسارت فرسایش در جهان در سه رویکرد کلی قابل دسته‌بندی هستند در ادامه ضمن دسته‌بندی آن‌ها، به اهم آن‌ها که در بررسی منابع مطالعه حاضر شناسایی و در اینجا قابل‌استفاده هستند، اشاره شده است.

به‌طورکلی چهار رویکرد در برآورد ارزش اقتصادی خدمات خاک:

۱- رویکرد تمایل به پرداخت آشکار شده یا قیمت‌های بازار (Revealed Willingness to Pay or

Market Price

I. روش قیمت بازار Market Price Method

- II. روش افت بهره وری (Productivity (Production) Loss Approach (PLA).
- III. روش قیمت گذاری براساس لذت گرایی (HPM (Hedonic Pricing Method
- IV. (عمدتاً برای ارزیابی کارکردها و خدمات زیست بوم خاک استفاده شده است)
- V. روش هزینه سفر (Travel Cost Method (TCM

۲- رویکرد تمایل به پرداخت نسبت داده شده

- I. روش هزینه خسارت اجتناب شده (Damage Cost Evoided (DCE
- II. روش هزینه جایگزینی (Replacement Cost Approach (RCA
- III. روش هزینه جانشین (Substitute Cost Approach (SCA
- IV. روش هزینه فرصت از دست رفته

۳- رویکرد تمایل به پرداخت بیان شده (ارزشگذاری ترجیحی)

- I. روش ارزشگذاری ترجیحی یا مشروط (Contingent Valuation Method (CV
- II. ارزشگذاری بر مبنای مدلسازی انتخاب (Experiment Choice

۵- انجام مطالعه موردی با استفاده از مدل مفهومی

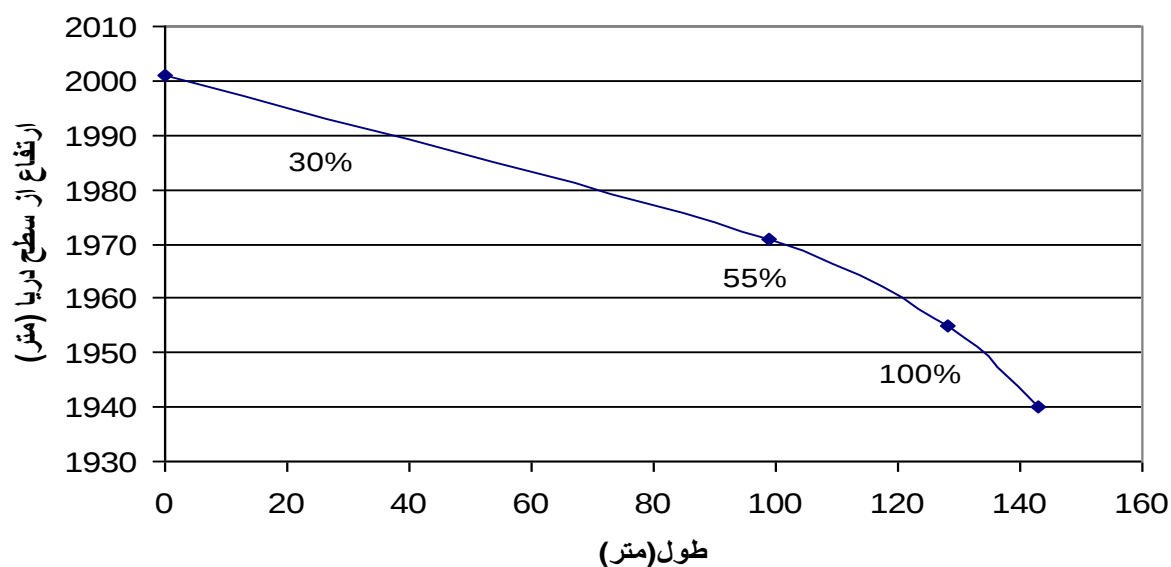
در این مرحله با استفاده از مدل مفهومی تهیه شده، خسارات یک واقعه فرسایش سطحی حدی حادث شده بر دیمزارهای تعیین می‌شود. برای این مهم با تطبیق مدل مفهومی برآورد خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری با یک بررسی موردی که منتج از داده‌های فرسایش یک واقعه حدی فرسایش در دیمزارهای شیب‌دار منطقه گردنه اسدلی خراسان شمالی تلاش می‌شود به یک رویکرد بهینه برای این امر برسیم. در مرحله بعد، کمی‌سازی هر کدام از خسارات بررسی شده انجام و بهترین روش با توجه به داده‌های موجود انتخاب و معرفی می‌شود.

۵-۱- منطقه مورد مطالعه و واقعه مورد نظر

محدوده مورد مطالعه دیمزارهای شیب‌دار و کم‌بازده واقع در گردنه اسدلی استان خراسان شمالی است. رویداد فرسایش حدی مزبور ناشی از یک رویداد بارش سیل‌آسای شبانه در منطقه اسدلی در ۱۵ خرداد ۱۳۸۶ است. در ایستگاه بجنورد، که نزدیکترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به محل مورد مطالعه است، در تاریخ مزبور مقدار ۵ میلی‌متر بارش ثبت شده است. همچنین بررسی‌های میری و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی بروی تصاویر ماهواره‌ای GPM همان تاریخ نشان از وقوع بارش ۱۷ میلیمتر برای سطح استان خراسان شمالی به ویژه در قسمت غرب استان در منطقه اسدلی بود. بعلاوه، بارش بر روی تصاویر ماهواره‌ای GPM بین ۸ تا ۱۰ میلی‌متر برآورد شده تحلیل مشابه با استفاده از سنجنده GPM برای بارش روز ۱۳۸۶/۰۳/۱۰ نیز بارش برآوردی برای اسدلی را ۱۲ میلیمتر نشان می‌داد.

در عرصه مورد مطالعه، قطعه زمینی در حدود نیم‌هکتار به گونه‌ای انتخاب شده بود که معرف دیمزارهای محدوده مورد مطالعه باشد. شیب این دامنه در بالادست ۳۰ درصد و در پایین‌دست

۱۰۰ درصد است که بیش از شیب ۱۲ درصد مجاز برای دیمکاری است. طول شیب قطعه مورد بررسی ۱۵۵ متر و عرض قطعه ۳۰ متر بود. نیمرخ طولی قطعه زمین مورد بررسی که از نوع محدب است. شیب تندتر دامنه (۱۰۰ درصد) در بخش انتهایی دامنه در حادث شدن شرایط فرسایشی مؤثر بوده است. در بخشی دیگر از عملیات صحرایی، نیمرخ طولی دامنه نیز تعیین شد. در شکل ۳ نیمرخ طولی مزرعه مورد مطالعه نشان داده شده است.



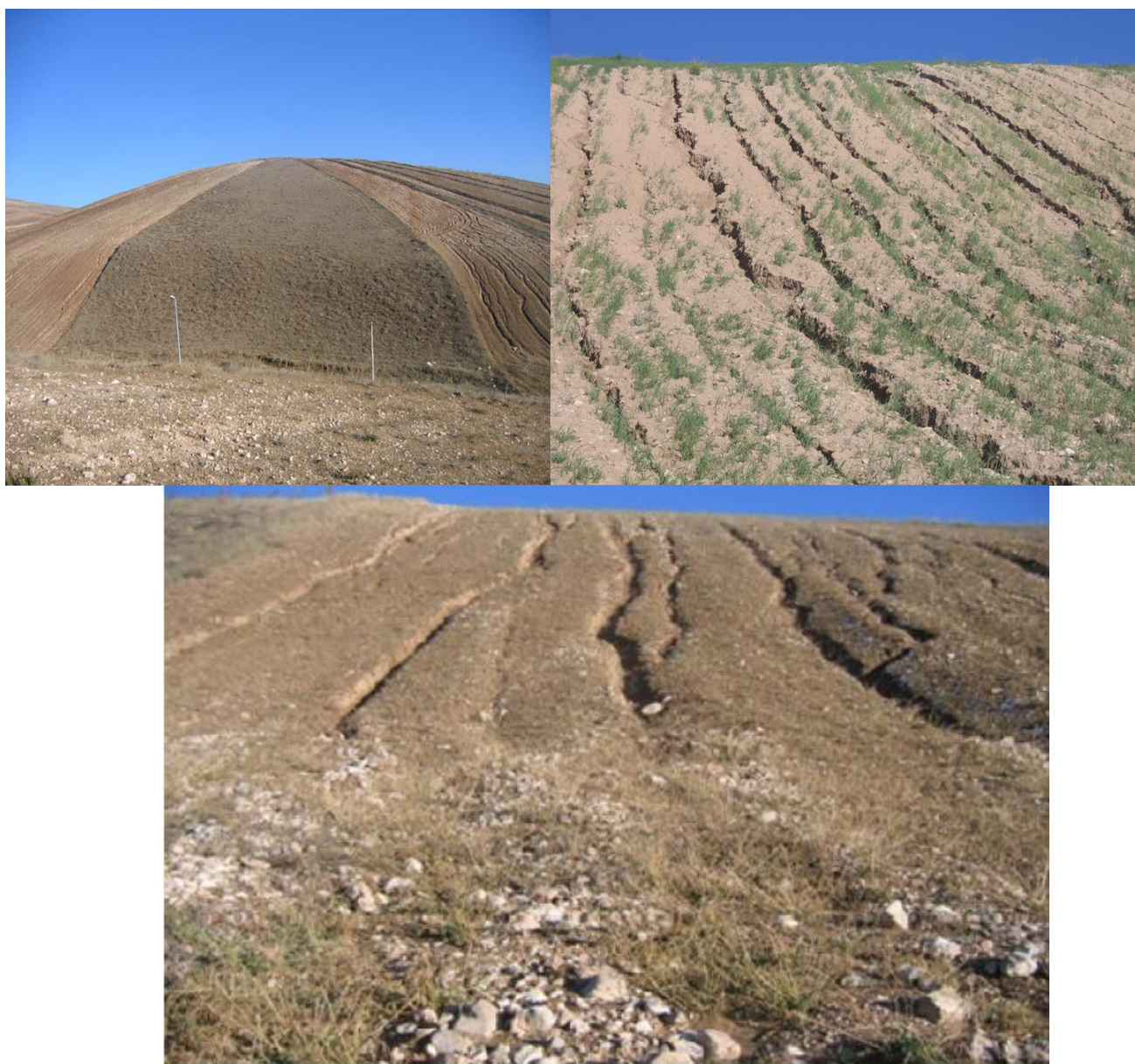
شکل ۳- نیمرخ طولی مزرعه مورد مطالعه

۵-۲- داده‌های فرسایش خاک

تعیین مقدار فرسایش با اندازه‌گیری مستقیم شیارهای حاصل از این رویداد بارش که روز بعد از این رخداد انجام شده بود. دلیل انتخاب قطعه زمین دیم مذکور برای اندازه‌گیری فرسایش، مجاورت آن با زمین با پوشش مرتعی طبیعی بود که فرسایش کمی داشتند و امکان مقایسه وضعیت فرسایش ناشی از باران شدید در دو کاربری فراهم می‌شد. از آنجا که این برآورد برای یک

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۳۸

رخداد حدی فرسایش است، داده‌های فرسایش خاک در این مطالعه به شکل میدانی در فاصله زمانی اندکی بعد از رخداد و به صورت مستقیم و میدانی اندازه‌گیری شده است. بنابراین در این مرحله از داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده استفاده و شیوه‌های مدل‌سازی برای تعیین کمیت فرسایش سطحی-شیاری موضوعیتی ندارد. در شکل ۴ تصویر بالا نمایی از دیمزار مورد بررسی و سیمایی از فرسایش واقع شده در رویداد حدی مورد مطالعه نشان داده شده است. ابعاد بسیار زیاد فرسایش‌های خطی ایجاد شده به علاوه وجود قلوه سنگ‌های نهشته شده در پای دامنه نشان از قدرت بالای جریان رواناب فرساینده است (شکل ۴، تصویر پائین).



شکل ۴- نمایی از وضعیت فرسایش حادث شده در رخداد مورد مطالعه در دیمزارهای شیبدار گردنه

اسدلی

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بعد از اندازه‌گیری ابعاد شیارها و مشخصه‌های دیگر فرسایش سطحی-شیاری، حجم خاک فرسایش یافته محاسبه و با لحاظ وزن مخصوص خاک به وزن خاک فرسایش یافته تبدیل شد. داده‌های اندازه‌گیری میدانی و محاسبات کمیت فرسایش

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۴۰

حاصل مساعی آقای دکتر عباسی عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی است (میری و همکاران، ۱۴۲۰).

جدول ۲- ابعاد و میزان فرسایش شیاری در قطعه زمین شخم‌خورده دیم در گردنه اسدلی

مشخصه	واحد	مقدار
عرض متوسط شیارها	سانتی‌متر	۴۰
عمق متوسط شیارها	سانتی‌متر	۳۰
فاصله متوسط شیارها	سانتی‌متر	۱۵
طول شیارها	متر	۱۵۵
حجم کل خاک فرسایش یافته	متر مکعب	۳۷۲
جرم مخصوص خاک	کیلوگرم بر متر مکعب	۱۴۰۰
جرم کل خاک فرسایش یافته از شیارها	تن	۵۲۰
فرسایش ویژه	تن در هکتار	۱۱۲۰

بدین ترتیب در رخدادهای مزبور در سطح نیم هکتار حدود ۵۲۰ تن خاک تلف شده و از محل خود خارج شده است. شایان توجه است که بدلیل مشکل تخمین فرسایش بین شیاری، مقادیر به دست آمده کمتر از مقدار واقعی فرسایش است و صرفاً کمیت فرم فرسایش شیاری از فرسایش سطحی را نشان می‌دهد.

۵-۳- اجزاء خسارات فرسایش سطحی در مطالعه هدف

برخی از اهم اجزای شناخته شده خسارت فرسایش سطحی-شیاری که از بعد اقتصادی قابل کمی‌سازی هستند در بند ۳-۳ این نوشتار برشمرده شد. بررسی منطقه مورد مطالعه و نیز داده‌ها، تصاویر و تجارب نگارندگان و نیز بازدیدهای میدانی ابعاد دیگری از خسارت فرسایش سطحی-شیاری برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌داد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان اجزاء اصلی خسارت

فرسایش سطحی-شیاری را در دو دسته کلی خسارات درجا و خسارات خارج از محل به صورت زیر برشمرد.

۵-۳-۱- خسارات درجا فرسایش سطحی

اجزاء اصلی خسارات درجای فرسایش سطحی-شیاری در بیشتر موارد مشابه است و عمدتاً متشکل از خسارت افت عملکرد محصول و افت ویژگی‌های کیفیت شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک است. اما به تعاقب افت این مشخصه‌ها افت کلاس قابلیت اراضی نیز حاصل خواهد شد. به نظر می‌رسد این افت ناشی از ایجاد محدودیت جدید از نظر کاهش عمق و نیز افزایش محدودیت سنگ و سنگریزه در عمق توسعه ریشه است که ناشی از شسته شدن ذرات ریز فراکشن‌های خاک و افزایش سهم نسبی سنگ و سنگریزه سطحی در افق سطحی خاک است. بدین ترتیب اجزاء اصلی خسارت درجای فرسایش سطحی-شیاری برای محدوده مورد مطالعه مشتمل بر موارد زیر است.

۱- اتلاف عناصر غذایی (به ترتیب اهمیت فسفر، پتاسیم، ازت، آهن، روی، منگنز، روی، بور)

۲- اتلاف کل عناصر

۳- اتلاف اندوخته کربن (سهم اصلی اندوخته در لایه سطحی است)

۴- کاهش نفوذپذیری

۵- افت باروری خاک (با احتساب سنوات آتی)

۶- اتلاف نسبی محصول سال جاری

۷- کاهش ارزش زمین ناشی از افت کلاس اراضی

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۴۲

کمی کردن خسارت اقتصادی افت کلاس قابلیت اراضی به صورت عرف منطقه قابل انجام است. این برآورد از طریق محاسبه ارزش جدید زمین زراعی بعد از واقعه فرسایش (دارای محدودیت جدید) براساس قیمت زمین در منطقه انجام می‌شود. بدین ترتیب برای برآورد خسارت برجای فرسایش سطحی حاصل از واقعه مورد مطالعه از جمع جبری خسارات درجا به شکل زیر استفاده می‌شود

خسارت برجای فرسایش سطحی-شیاری دیمزارهای گردنه اسدلی = افت ارزش ملکی زمین + ارزش محصولات از بین رفته + ارزش مواد مغذی خاک + ارزش افت عملکرد برای سنوات آتی تا زمان احیاء کامل + ارزش اندوخته کربن آلی خاک تلف شده

شایان ذکر است کمی‌سازی افت اندوخته رطوبت خاک و انقطاع در بیلان هیدرولوژیک دامنه در اثر افت نفوذپذیری خاک رهیافت‌های دیگری را طلب می‌کند که از حوصله این نوشتار خارج است. بنابراین از کمی‌سازی آن صرظنظر می‌شود. البته بخشی از این خسارت در افت عملکرد محصول به علت کاهش ذخیره رطوبتی خاک مستتر است و در محاسبات در نظر گرفته می‌شود

۵-۳-۲- خسارات خارج از محل فرسایش سطحی

از آنجا که تقریباً بیشتر خاک فرسایش یافته در پایین‌دست نهشت یافته و همچنین جریان خرده‌سنگی حاصل از فرسایش شیاری نیز در پایین‌دست تجمع یافته، بنابراین، خسارات خارج از محل در واقعه مورد بررسی عمدتاً به صورت خساراتی است که در زمین پایین‌دست با کلاس قابلیت اراضی بالاتر در اثر رسوبگذاری خاک فرسایش یافته تحمیل شده است. البته بخشی از رسوبات ریزدانه همراه با جریان رواناب از عرصه خارج شده و به جریانات فصلی ملحق شده و منجر به گل‌آلودگی جریانات سطحی شده و در نهایت در کانال‌ها و مسیله‌های پایین‌دست نهشت یافته

است. در نهایت اهم خسارات اقتصادی خارج از محل فرسایش در واقعه موردبررسی عبارت بودند از:

۱- کاهش ارزش زمین ناشی از افت کلاس اراضی در پایین دست

۲- هزینه اصلاح جمع آوری خرده سنگ در اراضی رسوبگذاری شده

۳- افزایش هزینه خاکورزی با تغییر ادوات در اراضی پایین دست

۴- کاهش نفوذپذیری اراضی رسوبگذاری شده

۵- خسارت رسوب گذاری در کانالها، انهار و مخازن پایین دست

۶- خسارت آلودگی جریانات سطحی

بدین ترتیب جمع جبری خسارات اقتصادی خارج از محل واقعه فرسایش موصوف به صورت زیر محاسبه خواهد شد. شایان ذکر است که موارد گفته شده در خصوص خسارت کاهش نفوذپذیری در بند قبلی خسارات درجای فرسایش در اینجا نیز صادق است

خسارت خارج از محل فرسایش دیمزارهای گردنه اسدلی = افت ارزش ملکی و حقوقی زمین پایین دست + هزینه ترمیم و جمع آوری سنگ و سنگریزه از زمین پایین دست + هزینه استفاده از ادوات جدید شخم و افزایش انرژی ماشین + خسارات آلودگی جریانات سطحی + خسارات انباشت رسوب در مخازن و انهار

برای برآورد خسارات مستقیم و غیر مستقیم یا درجا و خارج از محل می توان با استفاده از مصاحبه و روش های علمی این خسارات را که برآورد کرد و آنگاه عدد بدست آمده که حاصل جمع اجزاء خسارت هستند را در واحد سطح منطقه فرسایش یافته بیان کرد.

برخی دیگر از ابعاد خسارات غیرمستقیم فرسایش در منطقه به شرح زیر قابل احتساب است

۱- میزان درآمد اتلاف شده ناشی از تخریب منابع درآمدی (هزینه عدم اشتغال)

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۴۴

۲- خسارت وارد شده به زیرساخت‌های ارتباطی (جاده‌های اصلی و فرعی و خطوط انتقال نیرو

و مخابرات) و هزینه ترمیم آنها

۳- هزینه تامین آب سالم شرب پایین دست در صورت گل آلودشدن برای مدت زمان رفع

کدورت

۵-۳-۳- محاسبه خسارت کل برای فرسایش سطحی

از جمع خسارت درجا و خسارت خارج از محل، خسارت کل بدست می‌آید که با تقسیم بر

مساحت منطقه تحت تأثیر فرسایش، خسارت در واحد سطح حاصل می‌شود.

خسارت کل = خسارات درجا + خسارات خارج از محل قابل اندازه‌گیری و ارزیابی

۶- برآورد اقتصادی خسارت فرسایش در اجزاء مختلف آن

در فصل ۲ شیوه‌های شناخته شده برآورد اقتصادی خسارات فرسایش بیان شد. اما براساس تجارب نگارنده و بررسی منابع علمی با محوریت ارزیابی خسارات اقتصادی فرسایش سطحی، در چهارچوب مدل مفهومی مورد نظر برای برآورد خسارت فرسایش سطحی کاربردی‌ترین آن‌ها عبارتند از: الف) رویکرد هزینه جایگزینی، ب) رویکرد کاهش بهره‌وری خاک، ج) روش خسارت اجتناب‌شده و د) رویکرد ارزشگذاری زمین که در ادامه بیان می‌شود.

۶-۱- برآورد اقتصادی خسارات درجای فرسایش سطحی

برای برآورد خسارات اقتصادی فرسایش سطحی ارکان اصلی برآورد مبتنی بر تلفات درجای خاک، اتلاف عناصر غذایی خاک و اتلاف کربن آلی خاک است. همانطور که قبلاً بیان شد کاربردی‌ترین شیوه‌های اقتصادی تعیین خسارت یا هزینه درجای فرسایش رویکرد جانشینی و رویکرد کاهش بهره‌وری است که در ادامه تبیین خواهند شد. همچنین برای افت کلاس قابلیت زمین که ناشی از فرسایش سطحی در منطقه هدف، مصداقی از خسارت درجا و خارج از محل فرسایش سطحی بود، کنکاشی در منابع علمی انجام شده که در بخش مربوطه در بندهای آتی احصاء و معرفی شده است.

۶-۱-۱- خسارات اقتصادی اتلاف عناصر غذایی خاک

در عمده بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده برای کمی‌سازی خسارات اقتصادی ناشی از اتلاف عناصر غذایی خاک و اندوخته کربن در اثر فرسایش سطحی از روش یا رویکرد مبتنی بر هزینه جایگزینی استفاده می‌شود. منطق نهفته در روش هزینه جایگزینی، محاسبه هزینه یا آسیب خاص

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۴۶

و تحت بررسی و برآورد آن با استفاده از هزینه معادل یا جایگزین است. به عنوان مثال، اگر بخواهیم هزینه فرسایش خاک در اراضی زراعی را برآورد کنیم، باید میزان هدر رفت عناصر غذایی خاک را ناشی از فرسایش محاسبه و با هزینه معادل (هزینه بازسازی خاک با مواد کودی) مقایسه کنیم. این شیوه پیچیدگی خاصی ندارد و از جمع جبری هزینه مواد جایگزین با استفاده از قیمت‌های بازاری استفاده می‌شود. پس از تعیین مقدار تلفات خاک، کل مواد غذایی از دست‌رفته خاک به دلیل فرسایش در سال n ام با استفاده از رابطه ۱ برآورد می‌شود (سکوتی اسکویی و ۱۴۰۱)

$$Dun = S * M$$

در این رابطه Dun : مقدار عنصر u از دست رفته در سال n ام، S : میزان تلفات خاک با کسر درصد حجمی سنگریزه (در ذرات کمتر از ۲ میلی‌متر) Mn : درصد هریک از عناصر مورد نظر در رسوب است.

جمع کل هدررفت مواد غذایی در سال n ام از رابطه ۲ برآورد می‌شود:

$$An = DnN + DnP + DnK + DnCa + \dots$$

با در نظر گرفتن قیمت کودهای جانشین برای جبران عناصر غذایی از دست رفته خاک، ارزش

اقتصادی عناصر با استفاده از رابطه محاسبه می‌شود.

$$V = (PNDN + PPDP + PKDK + PCaDCa + \dots)$$

PCa , PK , PP , PN به ترتیب قیمت کودهای شیمیایی برای عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، نیتروژن

و کلسیم است و V ارزش اقتصادی کل عناصر است.

برای محاسبه کمیت عناصر غذایی تلف شده باید نتایج آزمون خاک منطقه در دست باشد. برای

این مهم از داده‌های آزمون خاک یکی از مزارع منطقه که از آزمایشگاه خاکشناسی بخش تحقیقات

خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی اخذ شده بود استفاده شد

(جدول ۳).

جدول ۳- برخی مشخصه‌های فیزیکو شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

مشخصه خاک	Clay	Silt	Sand	T.N.V	O.C	S.P	EC ds/m	pH								
	٪															
مقدار	۱۲	۴۴	۴۴	۴۲/۵۲	۱/۶۴	۳۴/۳۹	۱/۶۱	۷/۶۵								
مشخصه خاک	SAR	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Cl	Na	Mg	Ca	Ca+Mg	Zn	Mn	Cu	Fe	K	P	N
		meq/lit									ppm					%
مقدار	۰/۵۹	۴/۰۹	۰	۷	۴/۷۵	۱/۶۴	۶	۹/۶	۱۵/۶	۱/۹۹	۳/۲۶	۰/۸۵	۵/۳۸	۲۴۰	۲۰/۲	۰/۲۳

بر این اساس محاسبات انجام و نتایج به تفکیک نوع عنصر غذایی مهم و اصلی برای منطقه و نیز هزینه جایگزینی آن توسط مواد کودی در جدول ۴ ارائه شد. همانطور که از جدول ۴ پیداست، جمعا ۸۸/۱ میلیون تومان هزینه برای جایگزین کردن مواد مغذی تلف شده ناشی از این واقعه فرسایش لازم است. به عبارتی خسارت وارده ناشی از فرسایش که منجر به اتلاف عناصر غذایی شده حدود ۱۷۶ میلیون تومان در هکتار برآورد می‌شود.

جدول ۴- نتایج برآورد خسارت با روش هزینه جایگزینی با مواد کودی (ارقام برای نیم هکتار است)

نوع عنصر غذایی	میزان هدر رفت (کیلوگرم)	نوع کود برای جایگزینی (درجه خلوص کود)	مقدار مورد نیاز کود (کیلوگرم) @	قیمت واحد در زمان مطالعه (میلیون ریال به ازاء هر کیسه ۵۰ کیلوگرمی کود)	کل هزینه جایگزینی عنصر (میلیون ریال)
N	۱۱۹۶	اوره (۴۶٪)	۲۳۴۰	۱۲	۵۶۱/۶

۱۲/۲۴	۳۴	۱۸	سوپرفسفات تریپل (۵۰٪)	۱۰/۴	P
۱۵۷/۵	۳۵	۲۲۵	سولفات پتاسیم (۵۰٪)	۱۲۵	K
.	.	.	آهک β	۸/۳	Ca
۱۲۲/۴	۶/۸ (در واحد کیلوگرم)	۲۰	کود میکرو کامل (واحد کیلوگرم)	۵/۲	میکروالمنتها
۳۰	هزینه حمل و کوبشی				

@: با احتساب درصد سنگریزه کمتر از ۱۰ درصد حجمی محاسبه شد
 β : به دلیل آهکی بودن خاک‌ها و مواد مادری در منطقه هدف نیازی به جایگزینی کود کلسیمی نیست

۶-۱-۲- خسارت اقتصادی افت عملکرد

در عمده بررسی‌های انجام شده، برای برآورد خسارت اقتصادی ناشی از افت محصول از رویکرد موسوم به کاهش بهره‌وری استفاده شده است. در این نوع بررسی خسارت فرسایش به دو دسته قابل تقسیم است که شامل از بین رفتن محصول کشت شده در زمین در هنگام وقوع فرسایش و همچنین افت بلندمدت باروری خاک و ظرفیت تولید محصول آن در اثر فرسایش است. شیوه‌ها و مدل‌های مختلفی برای برآورد افت تولید محصول یا باروی خاک توسعه یافته است. پس از بررسی منابع موجود، از روش Panagos و همکاران (۲۰۱۸) که از گروه روش‌های برآورد هزینه مستقیم استفاده شد. در این شیوه، افت باروری محصول i به صورت تابعی از LPL کاهش باروری زمین (٪)، ظرفیت تولید محصول CP (t/ha) و عرصه کشت CA آن محصول (هکتار) محاسبه می‌شود.

$$CPL_i = LPL \times CA_i \times CP_i$$

در این مدل افت باروری زمین (LPL) نیز به صورت تابعی از میزان فرسایش یا ناحیه متأثر از فرسایش شدید SEA و کل عرصه کشت TAA (هکتار) با فرمول زیر محاسبه می‌شود

$$LPL = \frac{SEA}{TAA} \times 0.08$$

در این روش برای احتساب نرخ بلندمدت افت باروری و تولید محصول از مدل CGE^۱ استفاده می‌شود. برای این کار، برآورد خسارت مبتنی است بر عوامل جانشینی اولیه (VA ارزش افزوده) (ارزش زمین La، سرمایه K و نیروی کار L). امکان جایگزینی این عوامل بسته به فاکتور σ_i است که هر چه مقدار بالاتر باشد، جانشینی بالاتر است.

$$VA_i = \left(a_i L a_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} + \beta_i K_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} + \gamma_i L_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} ; \sigma_i > 0$$

متغیرهای α ، β و γ عوامل بهره‌وری مرتبط هستند. پارامتر α برونزاد و در شبیه‌سازی با توجه به تأثیر ازدست‌دادن نرخ باروری زمین (τ) به صورت زیر اصلاح شده است

$$a_i^{new} = (1 - \tau_i) \cdot a_i$$

در ادامه در مطالعه موردی در دیمزارهای منطقه اسدلی خسارات ناشی از فرسایش سطحی در رویداد حدی مورد مطالعه در دو بخش محصول سال جاری و نیز افت بلندمدت محصول به صورت زیر محاسبه شد.

۶-۱-۲-۱- تلف شدن محصول کشت شده در اثر فرسایش

محاسبات میدانی براساس ابعاد شیارهای ایجاد شده و نسبت آن به سطح کشت شده نشان از از بین رفتن ۹۶۰ مترمربع از سطح زیرکشت سال جاری است که مبین از بین رفتن حدود ۱۹ درصد محصول کشت شده است. در واقعه منجر به افت معادل حدود ۲۲۸ کیلوگرم در هکتار محصول گندم و حدود ۲۵۰ کیلوگرم محصول کاه و کلش در هکتار شده است. متوسط عملکرد گندم منطقه ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برای دیمزارهای شیب‌دار و کم‌بازده ارزیابی شد.

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۵۰

نرخ خسارت جاری در اتلاف محصول گندم معادل حدود ۴/۶۷ میلیون تومان در هکتار (بر مبنای نرخ روز خرید تضمینی هر کیلوگرم گندم بر مبنای ۴ درصد افت مفید و یک درصد افت غیر مفید، ۲۰ هزار و ۵۰۰ تومان در سال ۱۴۰۴) و معادل خسارت ۵۲۵ هزار تومان افت محصول کاه و کلش (قیمت کاه و کلش معادل ۲۱۰۰ تومان برای هر کیلوگرم کاه و کلش در سال ۱۴۰۳) (به دلیل عدم کشف قیمت در سال ۱۴۰۴، مبنا قیمت ۱۴۰۳ قرار گرفت) محاسبه شد.

۶-۱-۲-۲- افت بلند مدت تولید (نرخ افت باروری)

نرخ افت پنج درصدی برای گندم دیم به ازاء فرسایش هر سانتیمتر فرسایش توسط غفاری و گرجی (۱۴۰۰) برآورد شده است که در این مطالعه همین نرخ افت مبنا قرار گرفت. با توجه به فرم غالب فرسایش شیاری، در عرصه، با احتساب درصدی از پهنه که رخنمون فرسایش شیاری دارد و عمق متوسط شیارها، محاسبات نشان داد که این واقعه به‌طور متوسط در سطح نیم هکتار مورد مطالعه، منجر به فرسایش ۴/۷ سانتیمتر از خاک سطحی شده بود. بر همین مبنا و با احتساب نرخ افت ۵ درصدی صدرا اشاره به ازاء هر سانتیمتر خاک تلف شده سطحی، این فرسایش معادل افت باروری ۲۳/۵ درصدی تولید برای سنوات آتی خواهد شد. این افت معادل کاهش ۲۸۲ کیلوگرم در هکتار از ظرفیت سالانه تولید گندم در عرصه است که بر مبنای نرخ خرید تضمینی گندم که در سال ۱۴۰۴ معادل ۲۱۵۰۰ تومان برای هر کیلوگرم با نرخ افت دو درصد ابلاغ شده است. خسارت سالانه ۵/۷۸ میلیون تومان در هکتار در هر سال را در پی خواهد داشت.

۶-۱-۲-۳- برآورد خسارت کاهش ارزش زمین

ارزش زمین‌های کشاورزی توسط مجموعه پیچیده‌ای از عوامل مزرعه‌ای و غیرکشاورزی، از جمله ویژگی‌های بهره‌وری کشاورزی مزرعه، تأثیرات عوامل و پارامترهای غیراقتصادی نظیر عوامل

اجتماعی و حاکمیتی، و نیز ماهیت بازار یا عرضه و تقاضای زمین تعیین می‌شود. با این وجود از منظر علم اقتصاد، عامل اصلی تعیین کننده ارزش زمین کشاورزی توانایی ایجاد بازده آتی است. با توجه به مطالعات مربوط به ارزش گذاری زمین‌های کشاورزی، فرمول سرمایه گذاری مشترک به صورت رابطه بین ارزش فعلی زمین کشاورزی و بازده موردانتظار در دوره‌های آتی بیان می‌شود (Sant'Anna و همکاران، ۲۰۲۱).

$$L_t = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{E_t(R_{t+n})}{\prod_{j=1}^n (1 + r_j)}$$

در این رابطه L_t ارزش اقتصادی زمین زراعی، $E_t(R_{t+n})$ بازده خالص اقتصادی مورد انتظار در دوره $t+n$ است، و r_j عامل تخفیف است. در شیوه‌های سنتی قیمت گذاری اقتصادی زمین از مبلغ اجاره بهاء و نیز بازده یا بازگشت اقتصادی به محصول تولید کشاورزی به عنوان معیاری برای بازده مورد انتظار استفاده می‌کنند، اما تعدادی از مطالعات این تعریف را گسترش می‌دهند تا بازده بالقوه برای تبدیل به فعالیت‌های کاربری اراضی با ارزش بالاتر، مانند کاربری مسکونی یا تجاری را شامل شود (سیایان و همکاران، ۲۰۲۱).

Kik و همکاران (۲۰۲۱) الگویی برای کمی سازی ارزش اقتصادی ذاتی زمین (EVL) زراعی، به صورت تابعی از ظرفیت تولید یا باروری زمین (Y)، ارزش خدمات زیست محیطی (E) و نیز هزینه‌های مدیریت تولید (PM) تعریف کردند.

$$EVL = P_y Y + P_e E - P_{pm} PM$$

ظرفیت عملکرد خود تابعی از شاخص کیفیت خاک (SQ)، ظرفیت خدمات زیست محیطی و نیز مدیریت خاک است. همین شرایط نیز برای ظرفیت خدمات زیست محیطی اراضی صادق دانستند. یعنی:

$$Y = g(SQ, E, PM, W)$$

$$E = h(SQ, E, PM, W)$$

پارامتر W شرایط محیطی نظیر اقلیم است و خارج از اراده و کنترل بشر است. از سوی دیگر

تغییرات کیفیت خاک نیز به‌طور مستقیم به‌عنوان تابعی از مدیریت خاک در نظر گرفته می‌شود.

بنابراین تغییر در مدیریت خاک در راستای روندهای منفی نظیر ایجاد و توسعه فرسایش تشدید می‌شود.

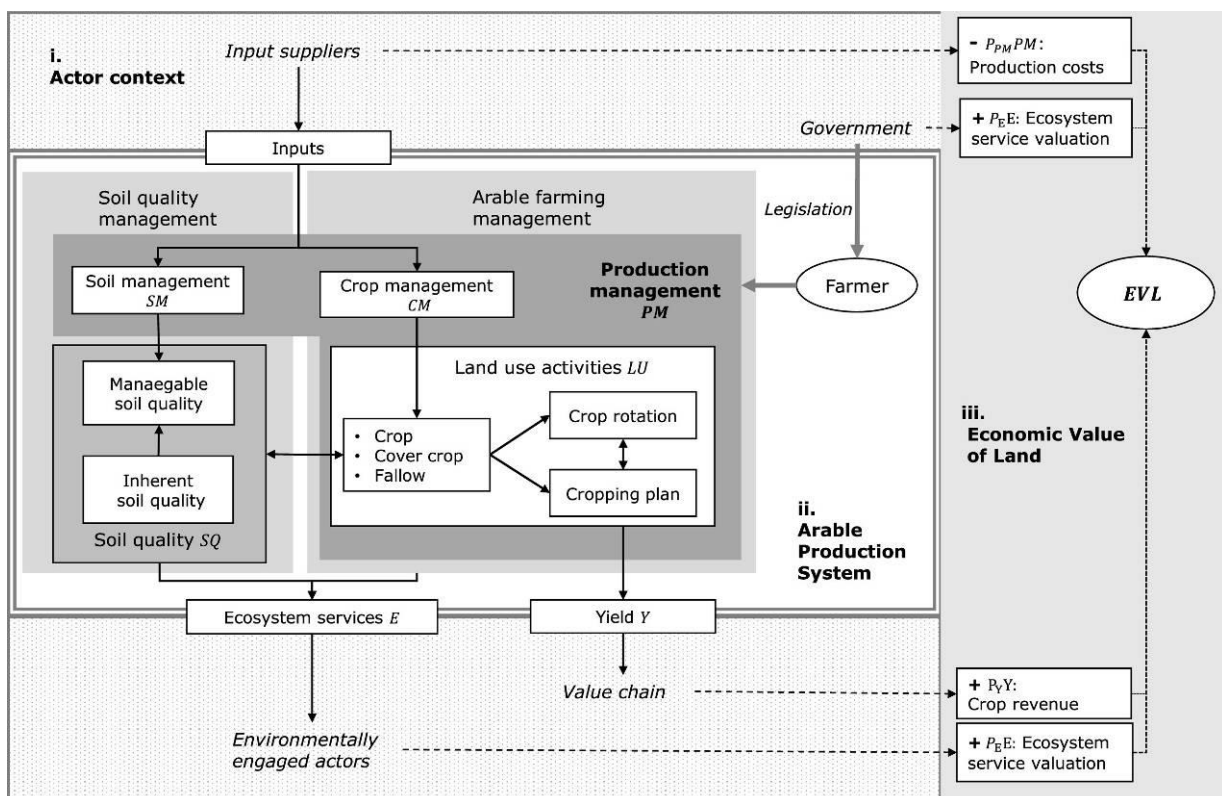
منجر به افت کیفیت خاک شده و در این روند ارزش اقتصادی زمین نیز دستخوش تنزل خواهد

شد. بنابراین فارغ از برهمکنش بین مؤلفه‌ها و پارامترهای بیان شده، در صورت افت کیفیت خاک،

به‌عنوان تابعی از مدیریت ناصحیح نظیر فرسایش خاک، ارزش ذاتی زمین نیز دستخوش تنزل

خواهد بود. Kik و همکاران (۲۰۲۱) با این تئوری مدل مفهومی شکل ۵ را برای کمی‌سازی یا

روندیابی ارزش اقتصادی زمین ارائه کردند.



شکل ۵- مدل مفهومی تعیین ارزش اقتصادی زمین (EVL) برای اراضی زراعی تحت کشت Kik و

همکاران (۲۰۲۱)

چشم‌انداز ظرفیت تولید در این اراضی برای تعیین ارزش اقتصادی زمین مشخص و قابل محاسبه است. همچنین نرخ نزول ظرفیت تولید نیز برای این اراضی قابل تقریب است که در بندهای قبلی در محاسبه خسارات درجای فرسایش لحاظ شد. مع الوصف برای تعیین سهم خدمات زیست محیطی در تعیین ارزش ذاتی زمین و در نتیجه محاسبه نرخ تغییرات آن در فرآیند کاهش افت کلاس قابلیت اطلاعات و داده علمی و مستندی در دست نیست. بنابراین در این مطالعه از تعیین قیمت زمین براساس عرف منطقه برای تعیین ارزش اقتصادی زمین استفاده شد. براساس عرف موجود گزینه‌های زیر قابل استنتاج است.

قیمت اراضی کلاس II مجاور جاده اصلی در منطقه کمینه ۳۵۰ میلیون تومان در هکتار
 قیمت اراضی کلاس III در مجاورت جاده اصلی حدود ۲۴۰ میلیون تومان در هکتار
 قیمت اراضی کلاس IV و V بالادست با شیب تند حدود ۱۸۰ تا ۲۰۰ میلیون تومان در هکتار
 شایان ذکر است اراضی کلاس I اراضی فاقد محدودیت برای کشت و آبیاری بوده، اما اراضی کلاس II دارای برخی محدودیت‌ها نظیر شیب هستند. اراضی کلاس III محدودیت چندانی از نظر نوع کشت ندارند، ولی برای آبیاری محدودیت زیادی دارند. اراضی کلاس IV دارای قابلیت کشت محدود آن هم برای گیاهان خاصی هستند. اراضی کلاس V دارای محدود بسیار زیادی برای کشت هستند و اصولاً برای کشت و کار توصیه نمی‌شوند. همچنین اراضی کلاس VI عملاً غیر قابل کشت هستند (Mahler, ۱۹۷۰)

میزان افت ارزش ذاتی زمین ناشی از افت کلاس قابلیت در خود اراضی که مستقیماً متأثر از فرسایش بودند از آنجا که کل عرصه نیم‌هکتاری افت کلاس قابلیت و تناسب از کلاس II و III به کلاس IV داشته‌اند رقم برآوردی کمینه حدود ۳۰ میلیون تومان برآورد می‌شود.

۶-۲- برآورد اقتصادی خسارات خارج از محل فرسایش سطحی

هزینه جبران خسارت خارج از محل که شامل مجموع خسارت ناشی از افت ارزش زمین رسوبگذاری شده در پایین‌دست و هزینه عملیات خاک‌ورزی با ادوات جدید و هزینه لایروبی هر تن رسوب بر حسب ریال است. هزینه لایروبی براساس متوسط هزینه‌های فعلی لایروبی انهار در منطقه بدست می‌آید. همچنین دیگر صور خسارت خارج از محل عبارتست از خسارت آلودگی زیست محیطی ناشی از انباشت عناصر نیتروژن و فسفر در خارج از محل وقوع فرسایش و نیز هزینه اتلاف منابع و اندوخته کربن آلی خاک و تصاعد آن به صورت گازهای گلخانه‌ای کربنی است

۶-۲-۱- برآورد خسارت کاهش ارزش زمین پایین‌دست

شیوه محاسبه ارزش ذاتی زمین در منطقه هدف در بند ۲-۴-۱-۳ تبیین شد. در مطالعه موردی انجام‌شده در منطقه اسدلی افت کلاس قابلیت و تناسب براساس ایجاد محدودیت اراضی جدید (سنگ و سنگریزه) به میزان یک کلاس با فرض سطح متأثر حدود ۱۰۰۰ متر از اراضی درجه ۲ با شیب ۵-۸ درصد مجاور جاده به‌عنوان خسارات خارج از محل در نظر گرفته شد. همچنین ارزش زمین زراعی دیم در کلاس‌های قابلیت و تناسب اراضی رده II، III و IV بیان شد. بنابراین، با در نظر گرفتن سطح عرصه متأثر از رسوبگذاری با قطعات سنگی و درشت‌دانه، افت ارزش اقتصادی زمین ناشی از تنزل یک کلاس از کلاس پتانسیل اراضی حدود ۹ میلیون تومان برآورد شد. البته به نوعی این اتلاف منبع کربنی در خسارت درجای فرسایش قابل‌طبقه‌بندی است. اما از آنجا که برای محاسبه آن از ارزش بازاری کربن که به صورت قابل‌تهاتر در بازارهای

جهانی ارزش گذاری می شود، و همچنین در مقیاس جهانی به عنوان یک خسارت زیست محیطی تلقی می شود، در اینجا در اعداد خسارات خارج از محل طبقه بندی شد.

۶-۲-۲- خسارت رسوب گذاری و لایروبی رسوب

برآورد هزینه متحمل شده ناشی از رسوب گذاری در عرصه پایین دست، به عنوان خسارت خارج از محل وقوع فرسایش با استفاده از روش ارزیابی میدانی خسارت با فهرست بهاء یا با استفاده از تحقیق میدانی ممکن خواهد بود. برای برآورد میزان رسوب گذاری یا باید حجم سنجی رسوب انجام داد و یا باید رقمی را به عنوان نسبت تحویل رسوب (SDR) برای عرصه در نظر گرفت. برای این مهم براساس فرمول زیر نرخ رسوب گذاری در پایین دست به دست می آید عمل می شود

$$Y = E \times SDR$$

که در آن، Y میزان رسوب گذاری بر حسب تن، E میزان فرسایش بر حسب تن و SDR نسبت تحویل رسوب بر حسب درصد است. مقدار SDR مناسب براساس بررسی منابع انجام شده توسط بیات و مرادی (۱۳۹۳) برای مقیاس دامنه و فرسایش سطحی (شیاری) قابل توصیه است. منتها روشی که توسط Vigiak و همکاران (۲۰۰۹) با توسعه مبانی روش توصیه شده توسط Ferro و Minacapilli (۱۹۹۵) برای برآورد SDR در مقیاس دامنه بسط دادند استفاده شد

$$SDR = Exp(\delta t_p)$$

که در آن t_p زمان انتقال رسوب توسط جریان سطحی است و δ ضریبی است که به مشخصات عرصه (حوضه) وابسته است و در این مقیاس برای سهولت معادل ۱ در نظر گرفته می شود (Dutta و Bhattarai، ۲۰۰۷). t_p در واقع در این مقیاس همان زمان تمرکز است که براساس روش یا معادله تاخیر زمانی (T_1) در روش SCS محاسبه می شود (Lu و همکاران، ۲۰۰۶).

..... روش‌شناسی تعیین خسارات اقتصادی فرسایش سطحی-شیاری خاک: بررسی موردی دیمزارهای / ۵۶

$$t_p = t_c = 0.6T_l = 0.6 \frac{L^{0.8}(SS + 1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \quad 50 < CN < 95$$

در این معادله L طول هیدرولیکی دامنه، SS و ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک است که از روش

شماره منحنی (CN) به دست می‌آید. همچنین، Y شیب متوسط دامنه است. مراحل کار برای

تعیین خسارت رسوب‌گذاری بصورت زیر می‌باشد :

پس از تعیین میزان رسوب‌گذاری، که در این مطالعه تقریباً تمام خاک فرسایش‌یافته به پایین‌دست منتقل شده و رسوب منتقل‌شده برابر خاک فرسایش یافته است. البته بخشی از این رسوب همان‌طور که گفته شد از منطقه مورد مطالعه در پایین‌دست زمین نیز خارج شده است و موجب خسارات در نقاط دیگر از جمله انباشت رسوب در کانال‌ها و مخازن است که به صورت هزینه لایروبی قابل محاسبه است. در مجموع میزان خسارت با استفاده از معادله زیر محاسبه خواهد شد.

$$O = Y \times R$$

که در آن، O خسارت رسوب‌گذاری (ریال)، Y میزان رسوب‌گذاری بر حسب تن و C هزینه لایروبی هر تن رسوب بر حسب ریال است.

براساس محاسبات فوق برای دیمزار مورد مطالعه نسبت تحویل رسوب عددی برابر ۰/۴۵ به دست خواهد آمد. با این فرض میزان رسوب‌گذاری انجام شده در قطعه زمین پایین‌دست معادل ۲۲۵ تن برآورد شد. پس از تعیین میزان رسوب‌گذاری، میزان خسارت با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

حال با محاسبه پارامترهای فوق با هزینه لایروبی براساس متوسط هزینه‌های فعلی لایروبی انهار در منطقه بدست می‌آید.

- هزینه بیل مکانیکی برای یک روز: معادل ۵ میلیون تومان

- هزینه حمل رسوبات با کامیون: حدود ۱۵/۳ میلیون تومان (هر سرویس ۹۰۰ هزار تومان)

بر این اساس خسارت خارج از محل حاصل از رسوبگذاری براساس روش هزینه خسارت (Anthony، ۲۰۰۹) معادل ۲۰/۳ میلیون تومان (۱/۱ دلار به ازای هر تن رسوب)

۳-۲-۶- هزینه آلودگی زیست محیطی

آلاینده‌گی ایجاد شده در محیط زیست به‌عنوان اثرات خارج از محل و از طریق ورود و تجمع عناصر نیتروژن و فسفر در عرصه‌های منابع آب پایین‌دست وارد خواهد شد. به‌علاوه در اثر این فرآیند تلفات منبع کربن آلی خاک نیز مطرح خواهد شد که به روند تصاعد گاز گلخانه‌ای کربن و خسارات زیست محیطی آن دامن خواهد شد. برای محاسبه هزینه آلودگی از شیوه قیمت مستقیم بازاری استفاده شد. برای این منظور و برای برآورد هزینه حذف نیتروژن و فسفر از نتایج Garcia-Hernandez و همکاران (۲۰۲۲) و برای احتساب ارزش اندوخته کربن ازدست‌رفته از نرخ پایه جهانی کربن در بازار کربن اتحادیه اروپا در زمان پژوهش حاضر (یعنی نرخ ۷۱/۴۴ یورو به ازاء هر تن کربن) در مرجع carboncredits.com استفاده شد. در زمان مطالعه حاضر شاخص نرخ برابری دلار با یورو معادل ۱/۱۲ بود که معادل دلاری ۸۰/۰۱ دلار برای هر تن کربن محاسبه شد.

- هزینه حذف نیتروژن: ۲ میلیون تومان (۱۰۰ دلار برای هر تن نیتروژن) با فرض نسبت تحویل ۵۰ درصد

- هزینه حذف فسفر: ۲۰۰ هزار تومان (۱۴۰۰ دلار برای هر تن فسفر)

- هزینه انتشار گاز CO₂: ۴ میلیون تومان (۸۰/۰۱ دلار برای هر تن هدررفت کربن خاک)

۳-۶- تعیین میزان خسارات کل

مقدار کمی خسارات درجا و خارج از محل فرسایش سطحی بطور مشروح در جدول ۴ ارائه شده است. براساس محاسبات صورت‌گرفته خسارت کل واقعه رویداد حدی فرسایش سطحی در مزارع دیمزار شیب‌دار و کم‌بازده که در یک عرصه نیم هکتاری به‌عنوان معرف اندازه‌گیری شده است حدود ۱۷۲۷ میلیون ریال بوده است. این خسارت در واحد سطح یک هکتار در حدود ۳۴۵ میلیون تومان بوده که تقریباً بیش از ارزش عرفی زمین دیمزار در منطقه هدف است. از نظر افت کلاس قابلیت اراضی، مجموع خسارت درجا و خارج از محل فرسایش از محل افت ارزش اقتصادی زمین براساس مفروضات قیمتی عرفی در محل مورد مطالعه حدود ۲۹ میلیون تومان برآورد شد

جدول ۵- خلاصه خسارات فرسایش خاک رویداد مورد مطالعه در دیمزارهای گردنه اسدلی

ردیف	نوع خسارت	شکل غالب خسارت		روش یا رویکرد برآورد	کمیت خسارت (میلیون ریال)
۱	درجا	اتلاف عناصر غذایی خاک		هزینه جایگزینی	۸۸۱
۲		افت باروری	ارزش محصول ازدست رفته سال جاری	کاهش بهره‌وری	۵۱/۹۵
۳			ارزش افت بلندمدت باروری خاک	کاهش بهره‌وری	۵۷/۸
۴		افت ارزش ملکی (کلاس قابلیت و تناسب زمین)		ارزش اقتصادی ذاتی زمین (Kik و همکاران، ۲۰۲۱)	۳۰۰
جمع خسارات درجا					
۱۳۷۱/۷۵					
۵	خارج از محل	خسارت ناشی از انباشت رسوب در اراضی پایین‌دست		هزینه رسوب‌برداری	۲۰۳
۶		افت ارزش ملکی پایین‌دست (کلاس قابلیت و تناسب زمین با محدودیت جدید)		ارزش اقتصادی ذاتی زمین (کیک و همکاران، ۲۰۲۱)	۹۰
۷		آلودگی زیست محیطی		--	۶۲
جمع خسارات خارج از محل					
۳۵۵					

۱۷۲۶/۷۵	جمع کل خسارات
---------	---------------

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

براساس بررسی‌های میدانی صورت گرفته با استفاده از مدل مفهومی تعیین خسارات فرسایش سطحی رخداد حدی فرسایش سطحی گردنه اسدلی در استان خراسان شمالی، میزان خسارات وارده ناشی از این رخداد چه در محل وقوع آن و چه در ارضی مجاور و متأثر از محل رخداد، معادل ۱۷۳ میلیون تومان در سطح حدود نیم هکتار از زمین تحت مالکیت عرفی منطقه بوده است. از آنجا که در محدوده موردبررسی کمیتی بالغ بر ۵۲۰ تن خاک فرسایش یافته و از محل خود خارج شده، خسارت وارده به ازاء هر تن خاک فرسایش یافته رقمی در حدود ۳۳۳ هزار تومان (سه میلیون و سیصد و سه هزار ریال) خسارت وارد شده است. به قیمت روز و در زمان برآورد حاضر در بهار سال ۱۴۰۴ نرخ غیر رسمی دلار در بازار آزاد معادل ۸۳ هزار تومان است. همچنین نرخ ارز توافقی در سامانه مبادلات ارز توافقی معادل ۶۹-۷۰ هزار تومان است. بدین ترتیب میزان خسارت دلاری این واقعه فرسایش در سال مطالعه حاضر، در کل عرصه اندازه‌گیری شده، به ترتیب براساس نرخ ارز آزاد و توافقی حدود ۲۰۸۴ و ۲۴۹۶ دلار برآورد می‌شود. همچنین خسارت ناشی از هر تن خاک فرسایش یافته نیز به ترتیب براساس نرخ ارز آزاد و توافقی حدود ۴/۰۱ و ۴/۸۱ دلار به ازاء هر تن خاک فرسایش یافته برآورد شد.

بر این اساس در محاسبات اقتصادی مربوط به ارزش خاک از دست‌رفته و آسیب‌دیده، طبیعی است که اعداد برآوردی خسارت در مناطق مختلف تحت‌تأثیر عوامل دیگری نظیر کلاس قابلیت زمین، ظرفیت تولید زمین، نوع محصول تولیدی در منطقه و دیگر اشکال خسارات خارج از محل است. با این حال مدل مفهومی طراحی شده و روش مورد استفاده در این تحقیق شمولیت عام برای محدوده‌های مشابه در دیمزارهای شیب‌دار و کم‌بازده در کشور دارد و می‌تواند به عنوان الگویی فراگیر برای ارزیابی خسارات ناشی از رخدادهای فرسایش سطحی در سطح اراضی کشاورزی یاد

شده مورد استفاده و کاربرد قرار گیرد. با توجه به نتایج ارائه شده، پیشنهاد می‌شود که با استفاده از شیوه ارائه شده در این نشریه و ارزیابی خسارت و هزینه‌های اقتصادی، باتوجه به جداول موجود در این نوشتار، خسارات ناشی از فرسایش سطحی بصورت کمی و عددی تعیین و ارزش واحد خاک مشخص شود.

در این رهگذر چالش‌هایی برای انطباق این مدل مفهومی با مناطق هدف وجود دارد و پیشنهاد می‌شود ملاحظات، بسته به منطقه هدف باید لحاظ شود که اهم آن‌ها عبارتند از:

۱. دشواری برآورد ارزش‌های غیر بازاری (امکان‌سنجی استفاده از ارزش‌گذاری مشروط)
۲. دشواری تعیین اثرات اقتصادی برخی خسارات نظیر کاهش نفوذپذیری و تغییرات بیلان آب و آلودگی و غیره
۳. ضرورت مدل‌سازی برای اعمال اثرات بلندمدت تلفات خاک
۴. به‌روزرسانی هزینه خسارت اقتصادی با محاسبه نرخ تنزیل متعارف یا نرخ سالانه بهره یا نرخ تورم سالانه
۵. ارزش ذاتی خاک تلف شده و احتساب دیگر کارکردهای خاک
۶. دشواری احتساب نیروی کار و غیره...
۷. برآورد خسارت ناشی از اتلاف هزینه سرمایه‌گذاری شده (به‌عنوان مثال هزینه اجاره زمین، هزینه ادوات و سوخت و نهاده مصرفی که تلف شده نظیر بذر، سم و کود و غیره)

تشکر و قدردانی

این نشریه اولین دستاورد پروژه تحقیقاتی "ارزیابی خسارات اقتصادی فرسایش سطحی و توسعه روش‌های برای قیمت‌گذاری آن در ایران" با کد مصوب ۰۳۰۱۰۳-۰۳۰۰۳-۰۰۰۹-۰۱۴-

۴۲-۲۹-۱۴۸ و ذیل طرح "ارزیابی خسارات انواع مختلف فرسایش خاک و توسعه روش‌هایی برای قیمت‌گذاری آن‌ها در ایران" پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است. حمایت و پشتیبانی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به موجب تشکر و قدردانی است.

منابع

- بیات، ر.، مرادی، ش. ۱۳۹۳. مروری بر تحقیقات انجام شده روی نسبت تحویل رسوب. ترویج و توسعه آبخیزداری ۲(۵): ۲۷-۳۶.
- پرویزی، ی. بیات، ر. حشمتی، م. و قیطوری، م. ۱۳۹۷. مقایسه کمی اثر عملیات مکانیکی و زیستی آبخیزداری در مهار فرسایش و رسوب حوزه آبخیز حاجی‌آباد کرمانشاه. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲ (۴۲): ۵۲-۵۹.
- تومانیان، ن. زین الدینی میمند، ع. ۱۴۰۱. ارزیابی اراضی، ضرورت دستیابی به توسعه پایدار. مدیریت اراضی، ۱۰(۱): ۳۷-۵۹. doi: 10.22092/lmj.2020.127278.200
- رستگار، ش. بارانی، ح. دریجانی، ع. شیخ، و.ب. قربانی، ج. و قربانی، م. ۱۳۹۴. برآورد ارزش اقتصادی مستقیم کارکرد حفاظت خاک پوشش گیاهی مراتع (مطالعه موردی: مراتع ییلاقی حوزه آبخیز نوررود). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷ (۱۳): ۲۵۴-۲۶۲.
- عاقلی کهنه‌شهری. ل. و صادقی، ح. ۱۳۸۴. برآورد آثار اقتصادی فرسایش خاک در ایران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۱۵ (۱): ۸۸-۹۹.
- عرب‌خداری، م. ۱۴۰۰. وضعیت فرسایش آبی و رسوبدهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۶(۲): ۱۳۹-۱۵۶. doi: 10.22047/srjasnr.2021.140574
- عرب‌خداری، م. ۱۳۸۴. بررسی رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲، ۶۱-۵۱.
- عرب‌خداری، م. ۱۳۹۳. مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. ترویج و توسعه آبخیزداری. ۲ (۴): ۲۳-۳۰.

- عرب خدری، م.، شادفر، ص.، جعفری اردکانی، ع.، بیات، ر.، خواجوی، ا.، مهدیان، م.ح. ۱۳۹۷. حسین. تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱(۳): ۱۳-۲۷. doi: 10.22092/wmej.2018.121424.1106
- صادقی ح.ر.، پرویزی ی. ۱۴۰۱. مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۱۳۸۷. خاک. کتاب اول: شناخت وضع موجود و منابع (مبانی لایحه قانون جامع خاک کشور)، وزارت جهاد کشاورزی، ۴۴۹ ص.
- یگانه، ح. آذرنیوند، ح. صالح، ا. ارزانی، ح. و امیرنژاد، ح. ۱۳۹۵. برآورد ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک (مطالعه موردی: تهم زنگان)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۳ (۱): ۱۷۶-۱۶۱.
- Adhikari, B., Nadella, K. 2011. Ecological economics of soil erosion: a review of the current state of knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1219: 134-152.
- Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Revéret, J.P., Messier, C. 2014. A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agroforestry Systems* 88:679-691 DOI 10.1007/s10457-014-9681-x.
- Alfsen, K.H., Bye, T., Glomsr, D S. and Wiig, H. 1997. Soil degradation and economic development in Ghana. *Environment and Development Economics* 2: 119-143.
- Almansa, C., J. Calatrava, and J.M. Martínez-Paz, Extending the framework of the economic evaluation of erosion control actions in Mediterranean basins. *Land Use Policy*, 2012. 29(2): p. 294-308.
- Amaral Sobrinho, N.M.B.. Mazur, N. 2005. Soil preparation and nutrient losses by erosion in the culture of cucumber. *Scientia Agricola* 62: 572-577.
- Asfaw, S., Pallante, G., Palma, A., 2020. Distributional impacts of soil erosion on agricultural productivity and welfare in Malawi, *Ecological Economics*, Volume 177, 2020, 106764, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106764>.
- Asfaw, S, Orecchia, C, Pallante, G, and Palma, A. 2018. Soil and nutrients loss in Malawi: an economic assessment. www.fao.org/publications.
- Bandara, J.S., et al., Environmental cost of soil erosion in Sri Lanka: tax/subsidy policy options. *Environmental Modelling & Software*, 2001. 16(6): p. 497-508.
- Barbier, E.B. and Bishop, J.T. 1995. Economic values and incentives affecting soil and water conservation in developing countries. *Journal of Soil and Water Conservation* (March-April): 133-137

- Bashagaluke, J.B., Logah, V., Opoku, A., Sarkodie-Addo, J., Quansah, C. 2018. Soil nutrient loss through erosion: impact of different cropping systems and soil amendments in Ghana. PLOS ONE 13:e0208250 DOI 10.1371/journal.pone.0208250.
- Bastian, O., Syrbe, R.U., Rosenberg, M., Rahe, D., Grunewald, K. 2013. The five pillar EPPS framework for quantifying, mapping and managing ecosystem services. Ecosystem Services 4:15–24 DOI 10.1016/j.ecoser.2013.04.003.
- Bennett, H.H. 1955. Elements of soil conservation. 2ed. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Bhattarai, R., Dutta D. 2007. Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS at catchment scale. Water Resources Management, 21, 1635-1647
- Blanco, H. and Lal, R., Eds. 2008. Principles of soil conservation and management. Springer, New York.
- Blaschke, P.M.; Trustrum, N.A.; Hicks, D.L. 2000. Impacts of mass movement erosion on land productivity: a review. Progress in Physical Geography 24: 21-52.
- Boardman, J. 2006. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. Catena 68: 73-86.
- Boardman, J., Poesen, J., 2006. Soil Erosion in Europe: Major Processes, Causes and Consequences. Soil Erosion in Europe. John Wiley & Sons, pp. 477–487 ISBN-13 978 0-470-85910-0.
- Bojo, J., D. Cassells. 1995. "Land degradation and rehabilitation in Ethiopia: A Reassessment." AFTES Working Paper No. 17. World Bank, Washington DC.
- Bond, C.A., Hoag, D.L., Kipperberg, G. 2011. Agricultural producers and the environment: a stated preference analysis of colorado corn producers. Canadian Journal of Agricultural Economics 59(1):127–144 DOI 10.1111/j.1744-7976.2010.01192.x.
- Campbell, E.T. 2018. Revealed social preference for ecosystem services using the eco-price. Ecosystem Services 30:267–275 DOI 10.1016/j.ecoser.2017.04.009.
- Cerda, C., Fuentes, J.P., Maza, C.L.D.L., Louit, C., Araos, A. 2018. Assessing visitors' preferences for ecosystem features in a desert biodiversity hotspot. Environmental Conservation 45:75–82 DOI 10.1017/S0376892917000200.
- Chatrsimab, Z., Ghavimi Panah, M.H., Vafaeinejad, A.R., Hazbavi, Z., Boloori, S. 2019. Prioritizing of the Sub-Watersheds using the Soil Loss Cost Approach (A Case Study; Selj-Anbar Watershed, Iran). ECOPERSIA. 7(3):161- 168.
- Ciaian, P., Edoardo, B., D'Artis, K., Dusan, D. 2021. "The Capitalization of Agricultural Subsidies into Land Prices." Annual Review of Resource Economics 13: 17–38.
- Colombo, S., Calatrava-Requena, J., Hanley, N. 2003. The economic benefits of soil erosion control: An application of the contingent valuation method in the Alto Genil basin of southern Spain. Journal of Soil and Water Conservation. 6. 367-373. 10.1080/00224561.2003.12457559.
- Colombo, S., Calatrava-Requena, J., Hanley, N. 2006. "Analysing the social benefits of soil conservation measures using stated preference methods," Ecological Economics, Elsevier, vol. 58(4), pages 850-861, July.
- Crosson, P. 1997. Will erosion threaten agricultural productivity? Environment 39: 4-31.

-
- Daily, G.C., Matson, P.A., Vitousek, P.M., 1997b. Ecosystem services supplied by soil. In: Daily, G.C. (Ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC, pp. 113–132.
 - Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J., and Lavelle, P. 2006. The values of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.* 42, S23–S38. doi: 10.1016/j.ejsobi.2006.07.001
 - Dimal, M.O.L. 2015. Integrating Participation in Estimating Soil's Economic Value. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 2018, 1– 9.
 - Dominati, E.J., Mackay, A., Green, S., Patterson, M. 2014a. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecological Economics* 100:119–129, DOI 10.1016/j.ecolecon.2014.02.008.
 - Dominati, Estelle J., 2013. 'Natural Capital and Ecosystem Services of Soils', *Ecosystem Services in New Zealand—Conditions and Trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, pp. 132–142.
 - Duffy, M., 2012. Value of soil erosion to the land owner. Staff General Research Papers Archive 34959, Iowa State University. Department of Economics.
 - Eaton, D., 1996. The economics of soil erosion: A model of farm decision – Making. International Institute for environment and Development, Environmental Economics Programme. Discussion papers, 24134.
 - Emadodin, I., Narita D., Bork, H.2012. Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran, *Environment, Development and Sustainability*, vol. 14(5), pages 611-625, DOI: 10.1007/s10668-012-9351-y .
 - Enters, T. 1998. Methods for the economic assessment of the on- and off-site impacts of soil erosion. International Board for Soil Research and Management. Issues in Sustainable Land Management no. 2. Bangkok: IBSRAM.
 - Faber, J.H., van Wensem, J., 2012. Elaborations on the use of the ecosystem services concept for application in ecological risk assessment for soils. *Sci. Total Environ.* 415: 3–8.
 - Ferro, V., and Minacapilli, M. 1995. Sediment delivery processes at basin scale. *Hydrological Sciences*, 4: 703-717 .
 - Ganguly D., Singh, G., Purvaja, R., Bhatta, R., Paneer Selvam, A., Banerjee, K., Ramesh, R. 2018. Valuing the carbon sequestration regulation service by seagrass ecosystems of Palk Bay and Chilika, India. *Ocean & Coastal Management* 159:26–33 DOI 10.1016/j.ocecoaman.2017.11.009.
 - García, A.; Ibáñez, J.J. & Bello, A. 2003: Soil functions, soil quality or soil health. Scientific, metaphorical or utilitarian concepts in soil sciences. In: Lobo, M.C. & Ibáñez, J.J. (Eds.). *Preserving soil quality and soil biodiversity. The role of surrogate's indicators*. Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria. Centro de CC. Medioambientales. Madrid.
 - Garcia-Hernandez, J., Brouwer, R., & Pinto, R. 2022. Estimating the total economic costs of nutrient emission reduction policies to halt eutrophication in the Great Lakes.

Water Resources Research, 58(4), e2021WR030772.
<https://doi.org/10.1029/2021WR030772>

- Glenk, K., Colombo, S. 2011. Designing policies to mitigate the agricultural contribution to climate change: an assessment of soil based carbon sequestration and its ancillary effects. *Climatic Change* 105:43–66 DOI 10.1007/s10584-010-9885-7.
- Gorlach, B., Landgrebe-Trinkunaite, R., Interweis, E., Bouzit, M., Darmendrail, D. and 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.
- Graves, A.R. Morris, J., Deeks, L.K., Rickson, R.J., Kibblewhite, M.G., Harris, J.A., Farewell, T. & Truckle, I. 2015. The total costs of soil degradation in England and Wales. *Ecological Economics*. 119: 399-413.
- Hacisalihoglu, S., Toksoy, D. and Kalca, A. 2010. Economic valuation of soil erosion in a semiarid area in Turkey. *Afr. J. Agric. Res.*, 5(1): 1-6
- Hansen, L., Hellerstein, D. 2007. "The Value of the Reservoir Services Gained with Soil Conservation," *Land Economics*, University of Wisconsin Press, vol. 83(3), pages 285-301.
- Haygarth, P.M. and Ritz, K. 2009. The future of soils and land use in the UK: Soil systems for the provision of land-based ecosystem services. *Land Use Policy*. 26: p. S187-S197.
- Hertzler, G., Ibañez-Meier, C.A., Jolly, R.W. 1985. User costs of soil erosion and their effect on agricultural land prices: Costate variables and capitalized hamiltonians. *Am. J. Agr. Econ.*, 67:948-953.
- Hertzler, G.; Ibañez-Meier, C.A.; Jolly, R.W. 1985. User costs of soil erosion and their effect on agricultural land prices: cost variables and capitalized Hamiltonians. *American Journal of Agricultural Economics* 67: 948-953.
- Holmes, N.T.H., Boon, P.J., Rowell, T.A. 1998. A revised classification system for British rivers based on their aquatic plant communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8, 555–578
- <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>
- <https://www.isna.ir/news/97121608502>
- Hungate, B.A., Barbier, E.B., Ando, A.W., Marks, S.P., Reich, P.B., Van Gestel, N., Tilman, D., Knops, J.M.H., Hooper, D.U., Butterfield, B.J., Cardinale, B.J. 2017. The economic value of grassland species for carbon storage. *Science Advances* 3(4):e1601880 DOI 10.1126/sciadv.1601880.
- Jayasuriya, R.T. 2003. Measurement of the scarcity of soil in agriculture. *Resources Policy* 29: 119-129.
- Jerath, M., Bhat, M., Rivera-Monroy, V.H., Castañeda-Moya, E., Simard, M., Twilley, R.R. 2016. The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA. *Environmental Science & Policy* 66:160–169 DOI 10.1016/j.envsci.2016.09.005.
- Kay, S., Graves, A., Palma, J.H.N., Moreno, G., Rocas-Díaz, J.V., Aviron, S., Chouvardas, D., Crous-Duran, J., Ferreira-Domínguez, N., García de Jalón, S., Măcișan, V., Mosquera-Losada, M.R., Pantera, A., Santiago-Freijanes, J.J., Szerencsits, E., Burgess, P.J., Herzog, F. 2019. Agroforestry is paying off—economic

- evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services* 36:Article 100896 DOI 10.1016/j.ecoser.2019.100896.
- Kefi, M., Yoshino, K., City, T. 2010. Evaluation of the Economic Effects of Soil Erosion Risk on Agricultural Productivity Using Remote Sensing: Case of Watershed in Tunisia. *Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci.* 38, 930.
 - Kibria, A.S.M.G., Behie, A., Costanza, R., Groves, C., Farrell, T. 2017. The value of ecosystem services obtained from the protected forest of Cambodia: the case of Veun Sai-Siem Pang National Park. *Ecosystem Services* 26:27–36 DOI 10.1016/j.ecoser.2017.05.008.
 - Kik, M.C., Frtis C., Miranda, P.M. Meuwissen, Ann B.S., Helmut W.S. 2021. The Economic Value of Sustainable Soil Management in Arable Farming Systems -A Conceptual Framework. *European Journal of Agronomy* 129: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126334>
 - Kiran, G.S., Malhi, R.K.M. 2011. Economic valuation of forest soils. *Current Science* 100:396–399.
 - Kuhlman, T., Reinhard, S., Gaaff, A. 2010. Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy* 27: 22-32.
 - Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land degradation & Development*. 12: 519-539.
 - Larney, F., Janzen, H., Olson, B., Olson, A. 2009. Erosion–productivity–soil amendment relationships for wheat over 16 years. *Soil & Tillage Research - SOIL TILL RES.* 103. 73-83. 10.1016/j.still.2008.09.008.
 - Lee, J., Lim, C.H., Kim, G.S., Markandya, A., Chowdhury, S., Kim, S.J., Lee, W.K., Son, Y. 2018. Economic viability of the national-scale forestation program: the case of success in the Republic of Korea. *Ecosystem Services* 29:40–46 DOI 10.1016/j.ecoser.2017.11.001.
 - Levykin, S.V., Chibilev, A.A., Kazachkov, G.V., Petrishchev, V.P. 2017. Application of the soil-ecological multiplicative index to assess suitability of Cis-Ural chernozems for cultivation with due account for economic parameters. *Eurasian Soil Science* 50:246–252 DOI 10.1134/S1064229317020107.
 - Lu, C., Yu, G., Xiao, Y., Xie, G. 2013. Wind tunnel simulation and evaluation of soil conservation function of alpine grassland in Qinghai–Tibet Plateau. *Ecological Economics*. 86:16–20 DOI 10.1016/j.ecolecon.2012.10.015.
 - Lu, H., Moran, C.J., and Prosser, I.P. 2006. Modelling sediment delivery ratio over the Murray darling Basin. *Environmental Modelling and Software*, 21, 1297-1308
 - Oldeman, L.R. (1994). The global extent of soil degradation. In: *Soil Resilience and Sustainable Land Use* (eds D.J. Greenland & I. Szabolcs), pp. 99–118. CAB International, Wallingford.
 - Magrath, W., Arens, P. 1989. The Costs of Soil Erosion on Java: A Natural Resource Accounting App. Environment Department Working Paper No. 18, The World Bank, Washington DC.
 - Mahler, P.J. ed., 1970. Manual of land classification for irrigation. Ministry of Agriculture.

- Mastrorilli, M., Rana, G., Verdiani, G., Tedeschi, G., Fumai, A., Russo, G. 2018. Economic evaluation of hydrological ecosystem services in Mediterranean River Basins applied to a case study in Southern Italy. *Water* 10:Article 241 DOI 10.3390/w10030241.
- Mekuria, W., Veldkamp, E., Tilahun, M., Olschewski, R. 2011. Economic valuation of land restoration: the case of exclosures established on communal grazing lands in Tigray, Ethiopia. *Land Degradation & Development* 22:334–344 DOI 10.1002/ldr.1001.
- Miranowski J.A., and Hammes, B.D. 1984. Agricultural & applied economics association implicit prices of soil characteristics for farmland in Iowa. *Am. J. Agric. Econ.*, 66 (5) (1984), pp. 745-749
- Montgomery, D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 13268-13272.
- Noe, R.R., Nachman, E.R., Heavenrich, H.R., Keeler, B.L., Hernández, D.L., Hill, J.D. 2016. Assessing uncertainty in the profitability of prairie biomass production with ecosystem service compensation. *Ecosystem Services* 21:103–108 DOI 10.1016/j.ecoser.2016.05.004.
- Palmquist, R.B.; Danielson, L.E. 1989. A hedonic study of the effects of erosion control and drainage on farmland values. *American Journal of Agricultural Economics* 71: 53-62.
- Panagos P, Standardi G, Borrelli P, Lugato E, Montanarella L, Bosello F. 2019. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degrad Dev.*; 29:471–484. <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>
- Patault, Edouard & Ledun, Jérôme & Landemaine, Valentin & Soullignac, Arnaud & Richet, Jean-Baptiste & Fournier, Matthieu & Ouvry, Jean-François & Cerdan, Olivier & Laignel, Benoit. 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*, Elsevier, vol. 108(C).
- Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R.; et al. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267, 1117–1123.
- Pimentel, D. 2006. Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. *Environment, Development and Sustainability*. 8(1): p. 119-137.
- Porter, J., Costanza, R., Sandhu, H., Sigsgaard, L., Wratten, S., 2009. The value of producing food, energy, and ecosystem services within an agro-ecosystem. *Ambio* 38, 186–193.
- Pretty, J. N., et al. 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems* 65(2): 113-136.
- Rastgar, S.h., Barani, H, Darijani A, Sheikh V, Ghorbani J, Ghorbani M. Economic cost of soil nutrients loss from summer rangelands of Nour-rud watershed in North of Iran. *Ecopersia*. 2015;3(2):945-58.
- Rickson, R.J., Baggaley, N., Deeks, L.K., Graves, A., Hannam, J., Keay, C and Lilly, A. 2019. Developing a method to estimate the costs of soil erosion in highrisk Scottish catchments. Report to the Scottish Government. Available online from <https://www.gov.scot/ISBN/978-1-83960-754-7>.

-
- Robinson, D.A., Lebron, I., 2010. On the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecol. Econ.* 70, 137–138.
 - San, C., Rapera, C., 2010. The On-site Cost of Soil Erosion by the Replacement Cost Methods in Inle Lake Watershed, Nyaung Shwe Township, Myanmar. *Journal of Environmental Science and Management.* 13. 67-81.
 - Sanders, D.W., Huszar, P.C., Sombatpanit, S. and Enters, T. 1999. Incentives in soil conservation. From theory to practice. New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.
 - Sandhu, H.S., Wratten, S.D., Cullen, R., 2010b. The role of supporting ecosystem services in conventional and organic arable farmland. *Ecol. Complex.* 7: 302–310.
 - Sant'Anna, A.C., C. Cowley, and A.L. Katchova. 2021. Examining the Relationship between Land Values and Credit Availability. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 53: 209–28.
 - 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.
 - Steinhoff-Knopp, B.; Kuhn, T.K.; Burkhard, B. 2021. The impact of soil erosion on soil-related ecosystem services: development and testing a scenario-based assessment approach. In: *Environmental Monitoring and Assessment* 193: 274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08814-0>.
 - Swinton, S.M., Lupi, F., Robertson, G.P., Hamilton, S.K., 2007. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecol. Econ.* 64, 245–252.
 - Tegtmeier, E.M. and Duffy, M.D. (2004) External Costs of Agricultural Production in the United States. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2, 1-20. <https://doi.org/10.1080/14735903.2004.9684563>
 - Telles, T.S., Dechen, S.C.F., de Souza, L.G.A. and Guimaraes, M.D. 2013. Valuation and assessment of soil erosion costs. *Scientia Agricola.* 70(3): 209-216.
 - 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.
 - Uri, N.D. 2000. Agriculture and environment: the problem of soil erosion. *Journal of Sustainable Agriculture* 16: 71-94.
 - Van Kooten, G.C., Weisensel, W.P., Chinthammit, D. 1990. Valuing trade-offs between net returns and stewardship practices: the case of soil conservation in Saskatchewan. *American Journal of Agricultural Economics* 72: 104-113.
 - Vigiak, O., L.T.H. Newham, J. Whitford, A. Melland and L. Borselli. 2009. Landscape approaches to define spatial patterns of hillslope-scale sediment delivery ratio 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, Australia, <http://mssanz.org.au/modsim09>
 - Ward, A. K.; Classen, H. L.; Buchanan, F. C., 2009. Fishy-egg tainting is recessively inherited when brown-shelled layers are fed canola meal. *Poult. Sci.*, 88 (4): 714-721
 - Weitzman, M. L. 1974. Prices vs. Quantities. *Review of Economic Studies*, 41(4): 477-491.

- Young M., 1999. Costing Dust: How much does wind erosion cost the people of South Australia?, Natural Resource Management Economics 99_001, Policy and Economic Research Unit, CSIRO Land and Water, Adelaide, Australia.
- Zhang, L., Huang, Y., Rong, L. et al. 2021. Effect of soil erosion depth on crop yield based on topsoil removal method: a meta-analysis. Agron. Sustain. Dev. 41, 63 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00718-8>.
- Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., Swinton, S.M., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecol. Econ. 64: 253–260.

Abstract

In the Soil Conservation Law, the economic valuation of soil and the estimation of its destruction losses are assigned as an important task to the Ministry of Agriculture and the Environment Organization. In this article, in addition to presenting the achievement of the research conducted to develop a local method for the economic estimation of surface soil erosion losses, a method for valuing and determining the economic losses of surface erosion appropriate to Iranian conditions will be presented. In general, surface erosion losses are divided into two categories: in-situ losses, such as the value of lost soil nutrients, losses from

reduced production of agricultural, pasture and forest products in the degraded area, losses from the reduction of land resource classes, etc., and off-site losses, such as damage from water resource pollution, reduced income and employment capacity, sedimentation in rivers and water reservoirs, etc. In this work, a conceptual model was built to assess the costs of surface soil erosion. In an operational flow process in this field, methods for quantifying each of the direct and indirect damage components were explored. Finally, the method of economic quantification of these losses using scientific methods was introduced. In a concrete example, the economic loss quantities of surface erosion were tested in a case study, which is related to a severe extreme surface erosion event in the sloping and low-yield drylands in the Asdali Pass of North Khorasan. Based on quantitative calculations made with this conceptual model, the amount of surface erosion damage at the level of half a hectare was 1380 million Rials for on-site damage, 350 million Rials for off-site damage, and a total of 1730 million Rials for a severe event. Also, the dollar equivalent of damage per ton of soil loss in the surface erosion process based on free and agreed exchange rates is about \$4.01 and \$4.81, respectively.

Keywords: Rill erosion, erosion economics, soil conservation law, onsite damage, off site damage

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Title: Methodology for Determining Economic Damages from Surface-Rill Soil Erosion: A Case Study Rainfed Areas of the Asdali Pass, North Khorasan

Authors: Yahya Parvizi, Heidar Ghaffari Goosheh, Ali-Akbar Abbasi

Editor: Saeed Nabipay Lashkarian

Page Layout: Abbas Seddigh

Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Circulation: 10 copies

Date of publication: Summer 1404

This scientific work has been registered with the series number of **67602** at the date of **2025-07-09** the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may reproduced or translated without the original reference.

**Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute**

Technical report:

Methodology for Determining Economic Damages from Surface-Rill Soil Erosion:
A Case Study of Sloping Rainfed Areas of the Asdali Pass, North Khorasan

Authors:

Yahya Parvizi, Heidar Ghaffari Goosheh, Ali-Akbar Abbasi

Series number:

67602

2025



Ministry of Agriculture - Jihad
Agriculture Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



Technical Report

**Methodology for Determining Economic
Damages from Surface-Rill Soil Erosion:
A Case Study of Sloping Rainfed Areas of
the Asdali Pass, North Khorasan**

Series Number: 67602

2025