

برآورد آثار اقتصادی فرسایش خاک در ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۳/۱۱/۲۵ . تاریخ پذیرش: ۱۳۸۴/۷/۵

دکتر لطفعلی عاقلی کهنه شهری^۱

دکتر حسین صادقی^۲

چکیده

فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است که در اثر فعالیت های انسانی تشدید می شود. نتیجه فرسایش، کاهش حاصلخیزی خاک و از بین رفتن مواد آلی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم است. کاهش پوشش جنگلی، کاهش تولیدات زراعی، افزایش سیلابها، کاهش تولید برق، کاهش کیفیت آب آشامیدنی و مانند آنها آثار مستقیم و غیر مستقیم فرسایش خاک هستند. در این مقاله با مروری بر این اثرات و ضمن اشاره به مطالعات خارجی، هزینه های اقتصادی فرسایش خاک در ایران محاسبه می شود. طبق این محاسبات، کل هزینه فرسایش خاک در ایران در سال ۱۳۷۹ به قیمتهای جاری حدود ۳۱ درصد ارزش افزوده بخش کشاورزی، شکار و جنگلداری برآورد شده است.

کلید واژه: فرسایش خاک، آثار مستقیم، آثار غیر مستقیم، هزینه های اقتصادی.

۱. عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس. تلفن: ۰۲۱ ۸۸۰۰۳۲۸۱ - ۰۲۱ - ۸۸۰۰۸۵۷۱. Email: lagheli@yahoo.com

۲. عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس. تلفن: ۰۲۱ ۸۸۰۰۳۲۸۱ - ۰۲۱ - ۸۸۰۰۸۵۷۱. Email: Sadeghih@modares.ac.ir

خاک یکی از اصلی ترین منابع طبیعی است که رشد گیاهان را تضمین و بیش از ۹۷ درصد نیازهای غذایی جهان را برآورده می‌کند. لایه بالایی خاک در عمق ۸ - ۶ سانتیمتری نهاده اصلی فعالیت های زراعی است. تقاضای فزاینده برای غذا و بیوماس، کمیابی خاک زراعی را به دنبال دارد. در چند دهه گذشته این منبع طبیعی با ارزش در اثر عوامل انسانی (جنگل زدایی، چرای بیش از حد و سوء مدیریت اراضی) و عوامل طبیعی (فرسایش آبی و بادی) تخلیه شده و ارزش آن کاهش یافته است.

کلمه فرسایش از ریشه لاتینی Erode به معنی کنده شدن و سائیدن گرفته شده است. براساس تعریف هرمن^۱ و دیگران (۱۹۹۱، ص ۱۶۰) فرسایش یک سری فعالیت هایی است که در آن ماده خاک یا سنگ شست، شل یا حل می‌شود و یا از بخشی از زمین کنار گذاشته می‌شود و شامل فرایندهای آبشویی^۲، حلالیت و انتقال است. به طور کلی فرسایش بر دو نوع است: فرسایش طبیعی و فرسایش تسریعی. فرسایش طبیعی که همان فرسایش زمین شناسی است، حاصل فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بوده و بطنی و کند می باشد. ولی فرسایش تسریعی که به طور عمده به وجود آمده از فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، جاده سازی، استخراج معادن و مانند این‌ها می باشد، مخرب است. در یک نگاه کلی، هرگاه تعادل در این دو برقرار باشد مشکلی بروز نمی کند ولی چنانچه فرسایش تسریعی بیشتر از فرسایش طبیعی باشد آثار سوء اقتصادی و اجتماعی آن ظاهر می شود. عوامل مؤثر بر فرسایش به سه گروه کلی تقسیم می شوند. گروه اول، عواملی هستند که انرژی لازم را برای بروز فرسایش فراهم می کنند. گروه دوم عواملی هستند که زمینه بروز یا عدم بروز آن را فراهم می کنند و گروه سوم عواملی هستند که موجب حفاظت خاک (به درجات مختلف) در برابر فرسایش می شوند (مرگان^۳، ۱۹۹۵، ص ۶۰).

در گروه اول، قدرت فرسایندهایی باران، حجم رواناب، قدرت باد، پستی و بلندی، طول و تنیدی شیب، قدرت باد، طول مسیر باد و مانند این‌ها را می توان بیان کرد. درگروه دوم، فرسایش پذیری ذاتی خاک به عوامل گوناگونی مانند نفوذ پذیری، بافت خاک، ساختمان خاک، میزان مواد آلی و نوع مواد تشکیل دهنده خاک، ترکیبات شیمیایی و حتی مدیریت خوب یا بد بر خاک بستگی دارد. در گروه سوم، میزان فشار بر زمین از نظر بهره برداری، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و نوع گیاهان موجود در این پوشش از قبیل گیاهان زراعی، مرتعی، جنگلی و مانند این‌ها، مرغوبیت زمین و در آخر هم مدیریت اراضی قرار می گیرند.

شدت فرسایش و وسعت آن در زمانها و مکانهای مختلف یکسان نبوده و به شرایط طبیعی پستی بلندی، خصوصیات خاکها و چگونگی کاربری زمین مربوط است (شکوری، ۱۳۷۴، ص ۵۶).

1.Herren.

2.Leaching.

3.Morgan.

در بررسیهای مربوط به فرسایش و حفاظت خاک، مهمترین عامل شناخت عوامل بیان شده و اولویت بندی مهار آنها است. در موارد متعددی مشاهده شده است که در جایی بهترین کار، رها کردن اراضی و کنار آمدن با طبیعت است مانند آنچه در خاکهای مارنی وجود دارد و در جایی با ایجاد یک پوشش ساده گیاهی جلوی فرسایش گرفته می شود مانند نقاطی که محل اصلی برداشت ذرات حمل شده توسط باد است. رعایت نکردن همین نکات ساده و در عین حال با اهمیت، خسارات جانی و مالی فراوان داشته است.

افزایش تقاضای زمین و قابلیت دسترسی کمتر به زمین سرانه، تناسب نداشتن فرصتهای شغلی در روستا با رشد جمعیت، کاربری ضعیف زراعی، اثر فقر، قوانین اجاره داری زمین و مرتع، نوسان دائمی قیمت محصولات زراعی، ساخت جاده و راهسازی و سوء مدیریت اراضی از دیگر عوامل تشدید کننده فرسایش خاک به شمار می آیند (گزارش سریلانکا، ۲۰۰۱، ص ۲۴).

خاک سطحی نخستین بخشی است که در معرض فرسایش خاک قرار دارد و میزان مواد غذایی خاک در این سطح به شدت کاهش می یابد. این کاهش، موجب کم شدن مواد آلی (نیترژن، فسفر و پتاسیم) و سایر عناصری که برای رشد محصولات زراعی ضروری هستند (از جمله کلسیم و منیزیم و مانند اینها) می شود. میزان مواد آلی با افزایش عمق و شدت فرسایش کاهش می یابد. کاهش میزان مواد آلی با کاهش کیفیت آنها هم همراه است. هر قدر سرعت فرسایش بیشتر باشد به همان میزان از مقدار نیترژن خاک کم می شود. مطالعه درشل^۱ (۲۰۰۱)، نشان می دهد که برداشت محصول به همراه فرسایش، ۷۰ درصد تمام ضایعات نیترژن، ۹۰ درصد ضایعات پتاسیم و ۱۰۰ درصد ضایعات فسفر را به دنبال دارد. اگر R را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$R = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

که n_1 تعداد سالهای کشت و n_2 تعداد سالهای کشت و آیش باشند، این نسبت، دوره آیش لازم برای جایگزینی و تقویت نیترژن را نشان می دهد. هر قدر این نسبت بالا باشد نشان دهنده فشار بر زمین زراعی و تشدید فرسایش است.

خسارت عمده فرسایش، نمود خود را در کاهش حاصلخیزی خاک نشان می دهد. بنابراین میزان محصول در خاکهای تحت فرسایش، کاهش می یابد زیرا رشد محصول تحت تأثیر رطوبت و حاصلخیزی خاک بوده و تخریب ساختمان خاک به کمبود آب، مواد غذایی، هوا و گرما منجر می شود. با گسترش فرسایش خاک در یک منطقه، خاک سطحی بطور مستمر از دسترس خارج می شود. بنابراین با هدر رفتن مواد غذایی (نیترژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر کمیاب)، حاصلخیزی خاک و تولیدات گیاهی کاهش می یابد؛ پس تولید محصول رابطه منفی با شدت فرسایش دارد (نجفی نژاد، ۱۳۷۴، ص ۴۵). در سریلانکا نشان داده شده است که به ازای یک سانتیمتر کاهش پوشش خاک، تولید چای ۴۴ کیلوگرم در هکتار کم شده است. در

مورد لاستیک طبیعی، نیز کم شدن تولید به اندازه ۱۷۴ کیلوگرم در هکتار در سال بوده است (گزارش سریلانکا، ۲۰۰۱، ص ۲۵).

۲. اثرات مستقیم^۱ و غیر مستقیم^۲

اثرات مستقیم (درجا) بر روی اراضی زراعی، توزیع مجدد، جابجایی خاک و فروپاشی ساختار خاک را به دنبال دارد. تنزل مواد آلی و مواد مغذی به کاهش عمق خاک قابل کشت و کاهش بهره‌وری خاک منجر می‌شود. فرسایش، رطوبت خاک در دسترس را پایین آورده و به شرایط مستعد خشکی منجر می‌شود. برآیند این کار، کاهش بهره‌وری است که به افزایش مصرف کودهای شیمیایی و تغییر ویژگی طبیعی خاک منجر می‌شود (مرگان، ۱۹۹۵، ص ۶۲). اثرات غیر مستقیم - که از عملیات رسوب‌گذاری یا وزش باد به وجود می‌آیند - ظرفیت رودخانه‌ها و مسیرهای زهکشی را کاهش، خطر طغیان رودخانه‌ها را افزایش کانالهای آبیاری را مسدود می‌کنند و عمر مفید مخازن را کاهش می‌دهند. بسیاری از پروژه‌های برق آبی و آبیاری در اثر فرسایش نابود شده‌اند. رسوب، آلاینده محیط به شمار آمده و خود به خود و به وسیله مواد شیمیایی می‌تواند سطح نیترژن و فسفر را در آب کاهش دهد و منجر به یوتروفیکاسیون^۳ شود (همان، ۱۹۹۵، ص ۶۳). اثرات مستقیم و غیر مستقیم به طور تفصیلی در نمودار شماره ۱ دیده می‌شود. کاهش ارزش زیبایی چشم‌اندازها کاهش بهره‌وری زمین، افزایش جریان سطحی در زمره اثرات مستقیم بوده و رسوب‌گذاری در پشت سدها، کاهش تولید زراعت آبی، افزایش خطرات بهداشتی، کاهش تولید برق و مانند آن در رده اثرات غیر مستقیم قرار دارد. اثرات نوع دوم، عوامل خارجی برای تولیدکنندگان است که در تصمیم‌گیری بخش خصوصی به حساب نمی‌آید.

از نقطه نظر محاسباتی می‌توان فرسایش را بر حسب اثرات مستقیم و غیر مستقیم هم مورد بررسی قرار داد. کل فرسایش (E) بر حسب میزان خاک از دست رفته در سال برابر مجموع فرسایش در هکتار ضربدر سطح مناطق است.

$$E = \sum Z_i R_i \quad (1)$$

که Z_i ، سطح زمین و R_i نرخ فرسایش در هکتار است. این رابطه بر حسب درصد به شکل زیر است:

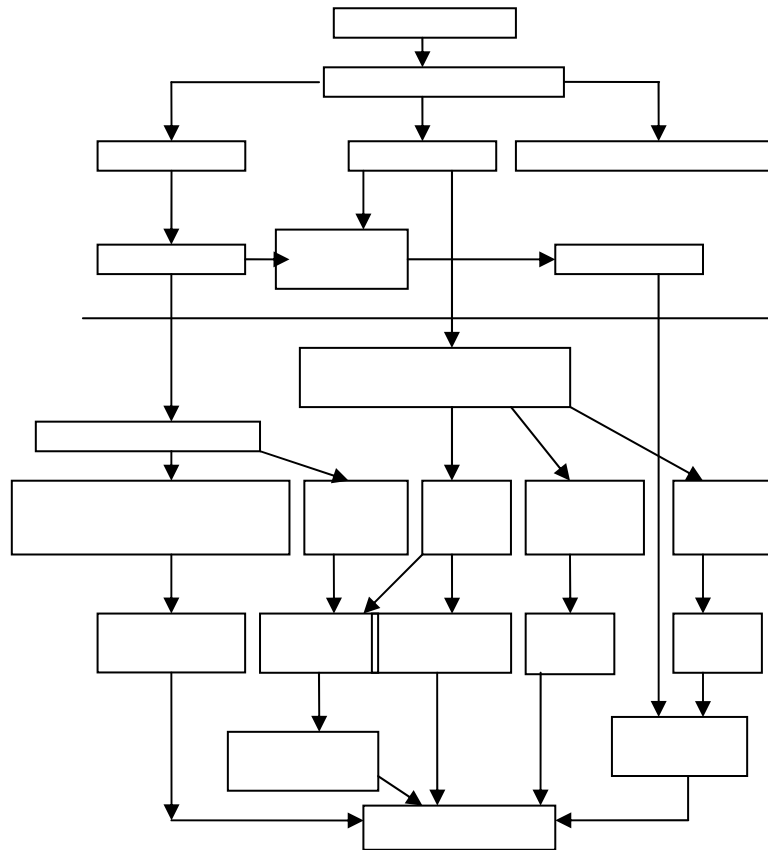
$$e = \frac{dE}{E} = \sum \alpha_i (z_i + r_i) \quad \alpha_i = \frac{Z_i R_i}{E} \quad z_i = \frac{dZ_i}{Z_i} \quad r_i = \frac{dR_i}{R_i}$$

1. On-Site.

2. Off-Site.

۳. کاهش اکسیژن آب به علت مصرف بیش از حد کود شیمیایی (Eutrophication).

نمودار شماره ۱. اثر تکانه سیاست اقتصادی روی فرسایش خاک



بر گرفته از: باندارا و دیگران، ۲۰۰۱، ص ۴۹۹.^۱

هر محصول کشت شده در هر منطقه با نرخ فرسایش خاصی در ارتباط است. در حالت درصدی فرض می‌کنیم که فرسایش در بخش i بطور خطی با کاربری زمین در آن بخش در ارتباط است یعنی ما اختلاف کیفیت زمین، عملیات مدیریت یا سرمایه‌گذاری در فناوری خاک اندوز را در نظر نمی‌گیریم بنابراین:

$$e = \sum \alpha_i z_i \quad \text{پس} \quad r_i = 0 \quad (3)$$

در این معادله تغییر کاربری زمین به طور درونزا به تغییر قیمتها، تولید و فناوری به وسیله توابع تقاضای نهاده‌های کشاورزی از نوع CES^۲ وابسته است. این توابع از رفتار حداقل سازی هزینه بنگاهها مشتق می‌شوند.

اگر تغییری در کاربری زمین در بخش مشخص انجام نگیرد، سطح فرسایش خاک در سطح پایه خواهد بود. تغییرات کاربری زمین با تغییر در تقاضای به دست آمده برای زمین

1. Bandara et al (2001), P.499.

2. Constant of Elasticity Substitution.

ایجاد می‌شود که خود ناشی از نوسانات بخش تولید، تغییر در قیمت نسبی عوامل و یا پیشرفت فنی است.

$$Z_j = Y_j - \beta_j (W_{zj} - \sum_k W_{kj} \delta_{kj}) - \beta_j (T_{zj} - \sum_k t_{kj} \delta_{kj}) - T_j \quad (۴)$$

Z_j = تقاضای زمین در بخش j = نرخ نهادهای پیشرفت فنی

W_k = قیمت نهاده k ام W_{zj} = قیمت زمین در بخش j

β_j = کشش جانشینی بین نهاده‌ها در بخش j Y_j = تولید بخش j

δ_{kj} = ارزش پرداختی‌ها به عامل i به عنوان نسبتی از کل هزینه‌ها در بخش j و

$$\delta_{kj} = \frac{W_i X_{ij}}{\sum_k W_k X_{kj}} \quad T_j = \text{نرخ پیشرفت فنی بخش } j$$

طبق معادله ۴ اگر قیمت نسبی عوامل و فناوری ثابت بماند، کاربری زمین در آن بخش، متناسب با محصول، افزایش یا کاهش خواهد داشت. اگر قیمت عوامل یا فناوری تغییر کند، کاربری زمین در بخش تعدیل خواهد شد و میزان فرسایش کل تغییر خواهد کرد. در مدل یاد شده Z_j ، W_{ij} و T_j درونزا و T_{zj} برونزا است. فرض می‌شود که هیچ تغییری در عرضه کل زمین در اقتصاد انجام نشود و کل سطح زمین در هر زیر بخش محصول، محدود باشد. زمین در هر منطقه بین محصولات کمتر فرساینده و بیشتر فرساینده جابجا می‌شود. شرط تسویه زمین در هر منطقه عبارتست از:

$$\sum S_i^r Z_i^r = 0 \quad (۵)$$

r مناطق (کوهستانی، پست و ارتفاع متوسط) و i نوع محصولات (چای، سیبزمینی، سایر محصولات زراعی) را نشان می‌دهد. با تحرك زمین در بین بخشها و مناطق، تغییری که سودآوری را در هر بخش افزایش می‌دهد، تخصیص مجدد زمین را بین بخشها تحريك خواهد کرد و سطح فرسایش را تغییر خواهد داد. بر اساس معادلات ۴ و ۵ اثرات غیر مستقیم محاسبه خواهد شد.

در بین اثرات غیر مستقیم، کاهش تولید برق و کاهش تولید محصولات زراعی آبی مهم است. این اثرات معادل پیشرفت فناوری در بخشهای متأثر است زیرا سرمایه بخشی تحت تأثیر است در حالی که بهره‌وری عوامل متحرك به میزان اندکی تغییر می‌کند. برای مدل‌سازی این رابطه، تابع عرضه را در نظر می‌گیریم.

$$Y = Y[L, K(V, E)] \quad (۶)$$

که L مقدار موثر نیروی کار، K مقدار مؤثر سرمایه، V موجودی فیزیکی سرمایه و E نرخ کل فرسایش است. درصد تغییرات معادله فوق عبارت است از:

$$y = \epsilon_l \cdot L + \epsilon_k \cdot v + \epsilon_v \cdot \gamma_E \cdot e \quad (۷)$$

$$\gamma_E = \frac{\partial y}{\partial k} \cdot \frac{E}{K} \text{ و } \epsilon_l = \frac{\partial Y}{\partial L} \cdot \frac{L}{Y}, \quad \epsilon_k = \frac{\partial Y}{\partial K} \cdot \frac{k}{y}, \quad \epsilon_v = \frac{\partial k}{\partial v} \cdot \frac{v}{k} = 1$$

$\gamma_E = \text{PIP}$ تغییر در بهره‌وری سرمایه در اثر فرسایش خاک یا پارامتر تأثیر بهره‌وری^۱ است. در قیمت‌های ثابت و به ازای موجودی سرمایه مشخص، معادله ۷ بیانگر آن است که افزایش در فرسایش خاک، تولید زمین‌های پست را کاهش می‌دهد. میزان این افت تولید به سهم اولیه عوامل در ارزش افزوده بخشی و درجه جانشینی نهاده‌ها بستگی دارد. γ_E را بین صفر و یک در نظر می‌گیرند.

۳. مطالعات اقتصادی فرسایش خاک در جهان

اولین تخمین‌های دقیق هزینه فرسایش خاک در سریلانکا حدود ۹۰ تا ۱۲۵ دلار در هر هکتار برآورد شده که در مجموع معادل یک درصد GDP این کشور می‌شود (سومارانتته، ۱۹۹۸، ص ۱۰). باندارا (۲۰۰۱) هزینه اثرات مستقیم فرسایش خاک را در سریلانکا ۳۶۶۷ میلیون روپیه و اثرات غیر مستقیم را معادل ۳۰۶ میلیون روپیه برآورد کرد. بانک جهانی در سال ۱۹۹۲ ضایعات ناخالص مستقیم را بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد GDP برای کشورهای گرمسیری در حال توسعه مانند کاستاریکا، مالاوی و مکزیک برآورد کرد. در کشور مالی هزینه فرسایش خاک در سال ۱۹۸۹ حدود ۰/۴ درصد GDP برآورد شده است. در اندونزی در سال ۱۹۸۴ هزینه فرسایش خاک ۰/۴ درصد از GDP بوده است. در لهستان در سال ۱۹۸۷ میزان فرسایش خاک ۲۱ میلیارد زولوتی برآورد شده است (پیرس، ۱۳۷۷، ۴۶-۳۸).

در سریلانکا هزینه‌های غیر مستقیم فرسایش و رسوب‌گذاری مخازن حدود ۸ میلیون روپیه در سال ۱۹۹۸ محاسبه شده که خسارت به نظام‌های آبیاری، هزینه‌های لایروبی و کاهش عمر مفید توربین‌ها را شامل می‌شود (گزارش سریلانکا، ۲۰۰۱، ص ۱۰۰). کل هزینه‌های رسوب‌گذاری در کاستاریکا در سال ۱۹۸۹ حدود ۲۸۷۰۰۰ دلار آمریکا برآورد شده است که در سطح حوضه آبخیز ۷۹۶ کیلومتر مربع محاسبه شده است (سولورزانو، ۱۹۹۱، ص ۵). در زیمبابوه، مطالعات استاکینگ^۳ (۱۹۸۶، ص ۱۲)، این آثار را ۱۵۰ میلیون دلار آمریکا، مطالعه FAO (۱۹۹۰) ۱۶۴/۵ میلیون دلار آمریکا و مطالعه نورس^۴ و سیگال^۵ (۱۹۹۳، ص ۲۳۸) این هزینه را بین ۳۷ - ۱۸ میلیون دلار برآورد کرده است.

۴. فرسایش خاک در ایران

در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت، مهاجرت روستاییان به شهرها و سطح پایین فن‌آوری تولید محصولات کشاورزی زمین‌های فرسایش و تخریب منابع خاک را فراهم آورده است. عوامل تهدید کننده خاک در ایران را باید در کمبود بارندگی، کاهش مواد آلی خاک، افزایش شوری و

1.Productivity Impact Parameter (PIP).

2.Solorzano.

3.Stocking.

4.Norse.

5.Saigal.

قلیائیت خاک، تبدیل کابری اراضی و آلاینده‌های صنعتی جستجو کرد. توزیع ناموزون بارندگی در سطح کشور باعث شده است که در اثر رگبارهای ناگهانی با جاری شدن سیل در مناطق مختلف، زمینه فرسایش خاک فراهم آید، به طوری که هر ساله مقادیری از خاکهای حاصلخیز از چرخه تولید خارج می‌شود. از سوی دیگر، خشکی هوا و آب با افزایش تبخیر، شرایط شوری خاک را به وجود می‌آورد. مواد آلی خاک نیز به دلیل مدیریت های زراعی نامناسب کاهش یافته و باز تولید مواد آلی در خاک کم شده است. همچنین این روند به افزایش شوری خاک و مواد قلیائی در آن منجر شده است. افزایش کاربری های مسکونی و صنعتی که در اثر توسعه سریع شهرها به وجود آمده باعث کاهش هزینه‌های زمین های زراعی و مراتع شده و به کاهش کیفیت خاک و ناپایداری آن منجر شده است. فاضلابهای صنعتی و شهری با وارد ساختن عناصر سنگینی مانند کادمیم، سرب و روی از کیفیت خاک می‌کاهد (سازمان برنامه بودجه، (۱) ۱۳۷۸، صص ۱۷۵-۱۷۴).

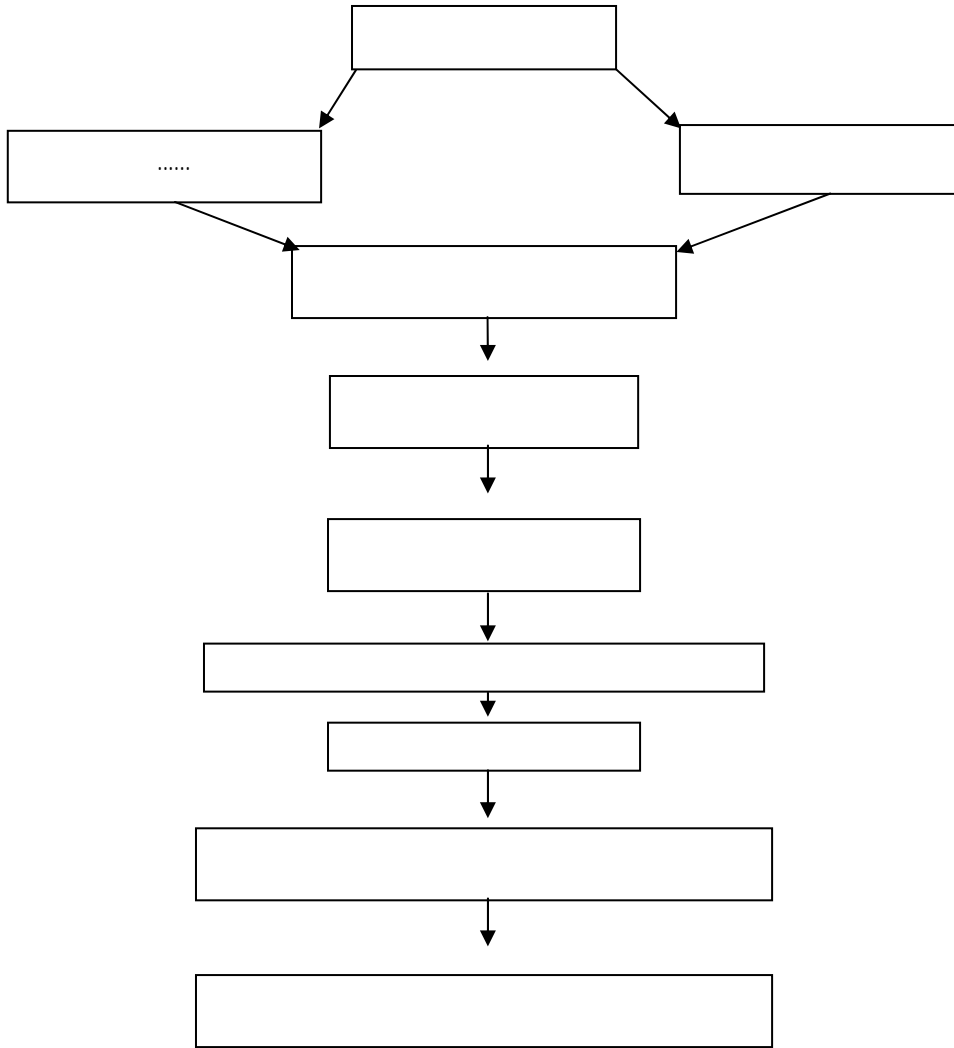
بر اساس برآوردهای انجام شده، فرسایش خاک کشور در سال ۱۳۵۵ معادل یک میلیارد تن بوده که ده سال بعد به ۱/۵ میلیارد تن و در سال ۱۳۷۵ به ۲/۵ میلیارد تن افزایش یافته است. براساس برآورد دیگری فرسایش خاک از ده تن در هکتار در دهه شصت به بیست تن در هکتار در دهه ۷۰ رسیده است. تبعات فرسایش خاک در کشور ما به طور کلی به شکل اثبات رسوبات در پشت سدها، از بین رفتن پوشش گیاهی، افزایش وقوع سیلاب و آلودگی خاک می‌باشد. (سازمان برنامه و بودجه (۲) ۱۳۷۸، صص ۳۱۵-۳۱۴).

۵. برآورد هزینه‌های فرسایش خاک در ایران

الف) محاسبه اثرات مستقیم فرسایش خاک: برای برآورد هزینه‌های مستقیم فرسایش خاک از نظر اقتصادی دو روش کلی وجود دارد که عبارتند از:

۱: روش هزینه جایگزینی مواد مغذی (NRCM): این روش که به هزینه تخلیه مواد مغذی هم معروف است به دنبال احیای خاک فرسایش یافته به سطح قبل از فرسایش است. در این روش، هزینه خرید کود شیمیایی لازم برای حفظ و احیای بهره‌وری خاک (کسب مجدد مواد مغذی توسط خاک) محاسبه می‌شود. در این روش، هزینه‌های جایگزینی مواد غذایی به صورت مستقیم و بر مبنای تخلیه NPK (نیترژن، فسفر پتاسیم) با در نظر گرفتن تراز مواد غذایی و قیمت خرده فروشی کود شیمیایی برآورد می‌شود.

نمودار شماره ۲. روش هزینه جایگزینی مواد مغذی



برگرفته از: نورث و دیگران (۱۹۹۳) ص ۲۳۴.

۲. روش ارزش کاهش بهره‌وری^۱ (VLPM): این روش که به افت تولیدات زراعی هم معروف است، کاهش تولیدات زراعی را در اثر فرسایش به قیمت بازار اندازه‌گیری می‌کند. البته امکان سنجش کاهش ارزش تمام محصولات زراعی به قابلیت دسترسی به داده‌های آماری برمی‌گردد. ولی محاسبه این کاهش ارزش برای مهمترین محصولات منتخب (از نظر میزان تولید) به نسبت برآورد دقیقی از فرسایش مستقیم را خواهد داد (سومارانت، ۱۹۹۸، ص ۲۰).

در اینجا برای محاسبه اثرات مستقیم، روش اول را به کار می‌گیریم. می‌دانیم که خاک زراعی حاصلخیز، دارای مقادیری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و گوگرد و برخی املاح شیمیایی است که گیاه به آنها نیاز دارد. این عناصر طبق بررسی‌های انجام شده به شرح زیر هستند.

جدول شماره ۱. مقدار برخی عناصر مورد نیاز گیاه به درصد خاک زراعی (خاک خشک).

نیتروژن	۰/۰۳-۰/۳	منیزیم	۰/۱-۱
فسفر	۰/۰۱-۱	کلسیم	۰/۲-۱/۵
پتاسیم	۰/۲-۳	گوگرد	۰/۰۱-۰/۱

برگرفته از: طرح کلی بررسی مراتع ایران، ۱۳۶۳، ص ۱۴.

نکته: به طور مثال، در هر تن خاک زراعی، حداقل باید ۳۰۰ گرم نیتروژن وجود داشته باشد. ارزش ریالی برخی عناصر اصلی مورد نیاز گیاه که بر اثر فرسایش از بین می‌رود (هزینه جایگزینی مواد مغذی) در مقایسه با خرید کودهای شیمیایی محاسبه می‌شود. چنان که اشاره شد، میزان فرسایش خاک در سالهای اخیر بین ۳ - ۲/۵ میلیارد تن در سال محاسبه شده است (از سال ۱۳۷۵ به بعد). به منظور نتیجه‌گیری، حداقل میزان مواد مغذی را برحسب سه عنصر اصلی بررسی می‌کنیم و رقم حداقل فرسایش خاک یعنی ۲/۵ میلیارد تن را در نظر می‌گیریم.

$$\text{نیتروژن خالص از دست رفته (تن)} = ۲/۵ * ۱۰^۹ * \% (۰/۰۳) = ۷۵۰۰۰۰۰$$

$$\text{فسفر خالص از دست رفته (تن)} = ۲/۵ * ۱۰^۹ * \% (۰/۰۱) = ۲۵۰۰۰۰۰$$

$$\text{پتاسیم خالص از دست رفته (تن)} = ۲/۵ * ۱۰^۹ * \% (۰/۲) = ۵۰۰۰۰۰۰$$

$$\text{منیزیم خالص از دست رفته (تن)} = ۲/۵ * ۱۰^۹ * \% (۰/۱) = ۲۵۰۰۰۰۰$$

میزان عناصر شیمیایی از دست رفته را اکنون با محتوی کودهای شیمیایی مقایسه می‌کنیم. کود شیمیایی اوره حاوی ۴۶ درصد نیتروژن، کود سوپر فسفات دارای ۲۴ درصد فسفر خالص بدون اکسیژن، کود سولفات پتاسیم دارای ۴۲ درصد پتاسیم و کود سولفات منیزیم حاوی ۱۶ درصد منیزیم می‌باشد. بر این اساس، حداقل میزان کودهای شیمیایی از دست رفته عبارت است از:

جدول ۲. حداقل میزان کود شیمیایی از دست رفته

۱۶۳۰	کود اوره (هزار تن)
۱۰۴۲	کود سوپر فسفات (هزار تن)
۱۱۹۰۵	کود سولفات پتاسیم (هزار تن)
۱۵۶۲۵	کود سولفات منیزیم (هزار تن)
۳۰۲۰۲	جمع کود شیمیایی لازم برای احیای خاک (هزار تن)

به این ترتیب چنانچه متوسط قیمت هر تن انواع کود شیمیایی را در سال ۱۳۷۹ معادل ۶۸۸۰۰۰ ریال^۱ در نظر بگیریم، میزان فرسایش مستقیم خاک کشور ۲۰۷۷۹ میلیارد ریال خواهد بود و مفهوم هدر رفت ثروت ملی مشخص می‌شود. در مقایسه بایستی گفت که میزان صادرات نفت و فرآورده های نفتی در سال ۱۳۷۹ به طور متوسط ۹۲۱۹۹۰ هزار بشکه و با احتساب قیمت متوسط ۲۶/۷ دلار در هر بشکه و با نرخ برابری ۱۷۵۲/۵ ریال به ازای هر دلار، معادل ۴۳۱۴۱/۵ میلیارد ریال بوده است. به عبارت دیگر در این سال با حد پایین رقم فرسایش خاک ۴۸/۲ درصد صادرات نفتی به شکل تخریب اراضی حاصلخیز از چرخه اقتصاد خارج شده و ارزش اقتصادی خود را از دست داده است.

ب) محاسبه اثرات غیر مستقیم فرسایش خاک

در ایران، مطالعات کمی در مورد اثرات غیر مستقیم به صورت اقتصادی انجام نشده است. فقط در سال ۱۳۷۸ در مورد سد اکباتان واقع در استان همدان در مجموع ۱۴۴۹/۹ میلیون ریال برای تخلیه و لایروبی ۱/۶۲ میلیون متر مکعب رسوب هزینه شده است. به این ترتیب هزینه لایروبی به ازای هر متر مکعب، در سال ۱۳۷۸ و معادل ۸۹۵ ریال و با احتساب نرخ تورم ۱۷/۶ درصد، در سال ۱۳۷۹ معادل ۱۰۵۲ ریال به دست می‌آید. با در نظر گرفتن حداقل جرم حجمی رسوب که ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد، هزینه لایروبی و تخلیه هر تن رسوب ۷۰۲ ریال برآورد می‌شود. نوروزی (۱۳۷۵، صص ۵۳-۵۴) میزان رسوب را بر حسب تن در هکتار در سال برای برخی سدهای مهم بر اساس مطالعات فرسایش آبی بین سالهای ۱۳۷۳-۱۳۵۱ جمع بندی کرده است. فرمول محاسباتی برای برآورد هزینه لایروبی عبارت است از:

۸) سطح حوزه سد * هزینه واحد تخلیه رسوب * میزان رسوب = هزینه لایروبی

(هکتار) (ریال بر تن) (تن در هکتار در سال) (میلیارد ریال)

جدول شماره ۳. برآورد هزینه لایروبی در سدهای عمده ایران

نام سد	مدت بهره‌برداری (سال)	سطح حوزه سد (هکتار)	میزان رسوب (تن در هکتار در سال)	هزینه لایروبی (میلیارد ریال)
لار	۱۹	۷۳۰۰۰	۱/۳۸	۱/۳۴
وشمگیر (گرگان)	۲۹	۷۵۳۹۰۰	۱/۱۶	۱۷/۸
سفیدرود	۳۸	۵۶۷۰۰۰۰	۶/۹	۱۰۴۳/۶
قشلاق	۱۶	۱۰۵۰۰۰	۶/۶۸	۷/۸۸
میناب	۱۶	۱۱۹۵۸۰۰	۷	۹۴/۰۲
دز	۳۷	۱۷۳۶۵۰۰	۱۱/۳۴	۵۱۱/۴۸
لتیان	۳۲	۷۱۰۰۰	۱۵/۶	۲۴/۸۸

۱. این ارقام از آمار منتشر شده در مورد قیمت انواع کود شیمیایی از گزارش عملکرد شرکت سهامی خدمات حمایتی کشاورزی در سال ۱۳۷۹ به دست آمده است.

نام سد	مدت بهره‌برداری (سال)	سطح حوزه سد (هکتار)	میزان رسوب (تن در هکتار در سال)	هزینه لایروبی (میلیارد ریال)
اکباتان	۳۶	۲۳۵۹۰	۲/۴۵	۱/۴۶
زاینده‌رود	۲۹	۴۳۰۰۰۰	۴/۶۵	۴۰/۷
امیرکبیر	۳۶	۸۶۰۰۰	۴/۷۳	۱۰/۲۸
جیرفت	۶	۸۳۸۰۰۰	۴/۵۴	۱۶/۰۲
درودزن	۲۷	۴۲۵۰۰۰	۴/۸۴	۲۳۹/۹۸
کارده	۱۲	۵۴۰۰۰	۵/۴۴	۲/۴۷
جمع	—	—	—	۱۸۱۰/۹۸

برگرفته از: ۱. مطالعه نوروبی، ص ۵۴ - ۵۳. ۲. راهنمای سدهای ایران، ص ۲۵۴ - ۷۱. ۳. محاسبات تحقیق

نکته قابل توجه در این محاسبات این است که آمار رسوب و تخلیه و بنابراین هزینه لایروبی برای سدهای مهم دیگر مانند ارس، مهاباد، طالقان و کرخه در دسترس نبوده و ارقام هزینه برای سال ۱۳۷۹ برآورد شده‌اند. همچنین میزان کاهش تولید برق به علت نبود آمار و اطلاعات به حساب نیامده است. می‌توان با جمع‌بندی این محاسبات نتیجه گرفت که کل هزینه‌های فرسایش خاک در کشور ما رقمی در حدود ۲۲۵۹۰ میلیارد ریال در سال ۱۳۷۹ می‌باشد. مقایسه این ارقام با ارزش افزوده بخش کشاورزی، شکار و جنگلداری در این سال - که معادل ۷۳۱۷۰ میلیارد ریال به قیمت‌های جاری است - نشان می‌دهد که تقریباً ۳۱ درصد این ارزش افزوده به نابودی کشیده می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

خاک یکی از منابع اساسی نیمه تجدیدپذیر به شمار می‌آید که بیش از ۹۷ درصد نیازهای غذایی جهان را برآورده می‌کند. سطح فوقانی خاک، نهاده اصلی در فعالیت‌های زراعی است که در اثر تقاضای فزاینده برای زمین و همچنین تأثیر فعالیت‌های طبیعی و اقلیمی دچار فرسایش می‌شود. در این فرآیند، خاک حاصلخیزی خود را از دست داده و مواد آلی خاک از بین می‌رود.

اثرات مستقیم و غیر مستقیم فرسایش خاک شامل کاهش بهره‌وری زمین، افزایش سیلابها، کاهش تولید محصولات زراعی، کاهش تولید برق و امثال آنها است. از دیدگاه اقتصادی برای برآورد هزینه‌های فرسایش، روش‌های هزینه جایگزینی مواد مغذی و ارزش کاهش بهره‌وری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برآورد هزینه‌های غیر مستقیم، به مراتب مشکل‌تر از تخمین هزینه‌های مستقیم است.

طبق محاسبات این مقاله، کل هزینه‌های فرسایش خاک در کشور ما در سال ۱۳۷۹ بر حسب قیمت‌های جاری حدود ۳۱ درصد ارزش افزوده بخش کشاورزی، شکار و جنگلداری است و بیانگر آن است که در بین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک بایستی معیارهای حفاظت شامل توسعه ندادن کشت علوفه (و در عوض، واردات علوفه در راستای جبران خوراک دام)، رعایت حد و ظرفیت مراتع و تأمین سوخت جنگل‌نشینان به منظور قطع نکردن درختان جنگلی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرند.

فهرست منابع

۱. بانک مرکزی ایران (۱۳۷۹) حسابهای ملی؛ اداره حسابهای اقتصادی
۲. پیرس، د.د. و ج. فوروارد (۱۹۹۸). دنیای بیکران: اقتصاد، محیط زیست و توسعه پایدار؛ ترجمه عوض کوچکی، سیاوش دهقانیان و علی کلاهی اهری، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۳۷۷.
۳. دفتر مشاوره نخست وزیری (۱۳۶۳) طرح کلی بررسی مراتع ایران.
۴. سازمان برنامه و بودجه (۱۳۷۸) اولین گزارش ملی توسعه انسانی ایران.
۵. سازمان برنامه و بودجه (۱۳۷۸) سند برنامه سوم توسعه؛ حوزه های فرابخشی.
۶. شرکت سهامی خدمات حمایتی کشاورزی (۱۳۷۹). گزارش عملکرد سال ۱۳۷۹. تهران، ایران.
۷. بشکوری، بهروز (۱۳۷۴) فرسایش خاک و پیامدهای آن در اکوسیستم؛ مجله آب، خاک و ماشین. شماره ۶، دوره ۲.
۸. فرهنگي، بیژن (۱۳۷۲) راهنمای سدهای ایران؛ انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
۹. نجفی نژاد، علی (۱۳۷۴) «مطالعه مقدماتی فرسایش و تخریب خاک» مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۲۶.
۱۰. نوروزی، غلامرضا (۱۳۷۵) «فرسایش آبی در حوزه های آبخیز ایران» مجله جنگل و مرتع، شماره ۳۲ و ۳۳.
11. Bandara, J. S., A. Chisholm, A. Ekanayake and S. Jayasuriya(2001). Environmental Cost of Soil Erosion in Sri Lanka: Tax – Subsidy Policy Options. Environmental Modelling as Software, Vol16, PP.497-508.
12. Dreshcel, P., L. Guiele., D. Kunze and O. Cofie(2001). Population Density, Soil Nutrient, Depletion and Economic Growth in Sub – Saharan Africa. Ecological Economics, Vol38, PP.251-258.
13. Herren, R.V., R. L. Donahue(1991). The Agricultural Dictionary. Delmar Publications Inc, P.160.
14. Morgan, R. P. C.(1995). Soil Erosion and Conservation. Longman LtD,UK,PP.60-67.
15. Norse, D and R. Saigal(1993). National Economic Cost of Soil Erosion in Zimbabwe(ch.8) in: Environmental Economics and Natural Resources Management in Developing Country. Committee of International Developing Institutions And the Environment(CIDIE), World Bank, Washington, D.C., PP.229-240.

16. Solorzano, R. and DE Camino, R.P. Woodward, R. , Tosi, J., Watson V., Vasquez, A., Villa Lobos, C., Jimenez, J., Repetto, R., Cruz, W.(1991). Accounts Overdue: National Resource Depreciation in Costa Rica. World Resources Institute(WRI). Washington, D.C., 110pp.
17. Somarante, W.G.(1998). Policy Reforms and the Environment: A general Equilibrium Analysis of Land Degradation in Sri Lanka, Ph.D Thesis, La Trobe University, Melbourne, Australia.
18. Sri Lanka Report(2001). State of the Environment. Part III,pp.23-106, Internet Address: www.grida.no/soe/iea/purna/.../soe-srilink.pdf.
19. Stocking, M.(1986). The Cost of Soil Erosion in Zimbabwe in terms of the Loss of Three Major Nutrients. Rome, Soil Resources, Management and Conservation Service, FAO.