فصلنامه انسان و محیط زیست، پاییز۸۹

فرسایش خاک؛ چالش ها، هزینه ها و سودهای حفاظت از آن

مهران مجرد آشناآباد [۱]
Mehranmojarrad@Yahoo.com
علیرضا روحانی [۲]

چکیده

در آینده، فرسایش خاک مهم ترین چالش زیست کره خواهد بود. اگر از خاک های موجود به خوبی حفاظت نگردد بحران گرسنگی سرتاسر کره زمین را تحت سیطره خود درخواهد آورد. در این مقاله سعی گردیده تا ضمن بررسی روند فرسایش جهانی خاک ها و راهکارهای پیشگیری از آن، ارتباطات عوامل خاکی با قابلیت تولید خاک ها و چگونگی تاثیر فرسایش در این عوامل بررسی و مدل ارایه شده پیمنتل و همکاران در این زمینه مورد بازخوانی و بررسی قرار گیرد. در پایان نیز سعی گردیده تا با بررسی نتایج ارزش گذاری های اقتصادی خسارات فرسایش در نقاط مختلف زمین و انجام تحلیل هزینه - سود در مورد فرایند فرسایش، اهمیت ارزش گذاری اقتصادی فرسایش و ضرورت حفاظت از خاک ها بیش از پیش به اثبات برسد.

واژه های کلیدی: فرسایش خاک، هزینه ها، حفاظت.

۱- هیات علمی گرایش اکولوژی، دانشگاه پیام نور
۲- هیات علمی دانشگاه پیام نور.

مقدمه

در طول ۵۰ سال اخیر بیش از $\frac{1}{3}$ زمین های زراعی کره زمین در اثر فرسایش از بین رفته و پیش بینی می گردد که این فرسایش با شدت ۱۰ میلیون هکتار در سال ادامه داشته باشد. با در نظر گرفتن افزایش جمعیت ساکنان زمین و کاهش پتانسیل تولید غذا، چالش اصلی ساکنان زمین در سال های آینده بحران غذا خواهد بود. قرن جدید را می توان بحران غذا، آب، منابع طبیعی و محیط زیست نامید. اگر چه فرسایش خاک نیز در طول تاریخ کشاورزی وجود داشته است، اما در سال های اخیر بر شدت آن افزوده شده است. بعد از مشکل جمعیت، فرسایش خاک بزرگ ترین معضل زیست محیطی زیست کره می باشد. در کشور آمریکا که فرایندهای حفاظتی مناسب تر است شدت کاهش خاک های زراعی ۱۰ برابر سریع تر از شدت جایگزینی است. این در حالی است که در چین و هند این مقدار ۳۰ تا ۴۰ برابر می باشد(۱۲) در بادهای دارای خاک فرسایش یافته ممکن است تا حدود ۲۰ نوع ارگانیسم زنده بیماری زا در انسان وجود داشته باشد. در کشورهای جهان سوم علی الخصوص ایران، روند شخم زنی مراتع توسط روستائیان با سرعت وحشتناک ادامه دارد و اراضی با شیب های تند نیز از این قاعده مستثنی نیستند. بروز سیلاب های شدید، انباشت میلیون ها تن خاک مفید کشاورزی در پشت سدها، آبراهه ها ، جاده ها و معابر، افزایش سرعت بیابان زائی، طوفان ها و بادهای حامل گرد و غبار، آلودگی هوای ناشی از آن ها و بارش گل همگی دلیلی بر این مدعا هستند. فقدان شناخت کافی از اهمیت پوشش های گیاهی و عدم مسئولیت پذیری و بی توجهی به آیندگان، نشانه فقر آگاهی در زمینه منابع طبیعی در اکثر کشورهای جهان سوم هستند. در کل کره زمین هر سال ۷۵ بیلیون تن خاک زمین های مطلوب کشاورزی در اثر فرسایش بادی و آبی از دسترس خارج می شود و ۱۲×۱۰^{۶} هکتار از زمین های زراعی نیز متروکه می شوند(۱۱). برای تولید غذای تمام ساکنان زمین، سرانه ای در حدود نیم هکتار زمین زراعی مطلوب مورد نیاز است. این در حالیست که سرانه فعلی ۰/۲۶ هکتار می باشد و تا سال ۲۰۳۵ این سرانه به ۰/۱۴ هکتار خواهد رسید که علت آن افزایش جمعیت و کاهش سطح زمین های زراعی است. در بسیاری از مناطق محدودیت زمین عامل اصلی کمبود غذا و سوء تغذیه می باشد. در حال حاضر بیش از یک میلیارد نفر دچار سوء تغذیه اند و این مقدار روز به روز بیشتر نیز می گردد. اگر چه استفاده از عواملی همچون کودها، آفت کش ها، مالچ ها، تکنولوژی آبیاری و غیره اثرات فرسایش را تا حدودی کم می کنند اما در عوض موجب ایجاد آلودگی، تهدید سلامت بشر، تخریب زیستگاه های طبیعی، بحران اکوسیستم ها و مصرف زیاد انرژی می گردند. فرسایش علت اصلی جنگل زدایی نیز می باشد. با کاهش زمین های زراعی و یا غیرقابل استفاده شدن آن ها، بیشتر جنگل ها تخریب و به منظور فعالیت های کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند. از نظر تشکیل خاک، زمان لازم برای تشکیل ۲/۵ سانتی متر خاک در شرایط جنگل و مرتع بیشتر از شرایط کشت(۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سال) می باشد در کشور ما نیز ۴۶/۶۴ درصد (۷۵۷/۲۲۰ کیلومترمربع) از خاک ها قابلیت کشاورزی خود را ازدست داده اند(۲). حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی در معرض بیابان زائی است(۷۵ میلیون هکتار در معرض فرسایش آبی، ۲۰ میلیون هکتار در معرض فرسایش بادی و ۵ میلیون هکتار در معرض سایر تخریب های شیمیائی و فیزیکی). قابل ذکر است که نسبت سطوح تحت تاثیر فرسایش بادی در ایران بیش از ۶ برابر میانگین جهانی است. همچنین ۶/۴ میلیون هکتار از اراضی کشور تحت تهدید فرسایش بادی است. اگر عوامل محیطی موثر بر فرسایش بادی در کشور را بررسی کنیم متوجه می شویم که از میان این عوامل متوسط تبخیر سالیانه در کشور ما سه برابر میانگین جهانی و تا بیش از ۴۵۰۰ میلی متر در سال است. میزان بارندگی نیز ۳۰٪ متوسط جهانی است. سرعت و فراوانی نسبتاً بالای باد و دوره برگشت کوتاه خشکسالی نیز از عوامل تشدیدکننده فرسایش بادی اند. با این اوصاف در مورد برنامه ریزیهای صحیح و درازمدت در

جهت حفاظت از منابع طبیعی از جمله خاک، باید از همین امروز دست به کار شویم تا فردا دیر نشود.

شدت فرسایش در نقاط مختلف زمین و عوامل موثر بر آن

در کره زمین $\frac{1}{3}$ زمین های کشاورزی برای تولید محصول و $\frac{2}{3}$ برای تولید علوفه اختصاص یافته اند. ۸۰٪ زمین های کشاورزی تحت تاثیر فرسایش متوسط تا شدیدند و ۱۰٪ نیز دچار فرسایش کم تا متوسط اند. بیش از نصف اراضی که مورد چرا قرار می گیرند دچار چرای شدیدند و لذا در معرض نابودی حاصل از فرسایش اند. در این اراضی شدت سالیانه فرسایش ممکن است از ۱۰۰ تن در هکتار نیز تجاوز نماید. بیشترین مقدار فرسایش متعلق به اراضی از آسیا، افریقا و جنوب آمریکا با شدت ۳۰ الی ۴۰ تن در هکتار در سال و کم ترین آن در اروپا در حدود ۱۷ تن در هکتار درسال می باشد. این در حالی است که شدت فرسایش در جنگل های پایدار در حدود ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۵ تن در هکتار درسال می باشد. در آمریکا فرسایش آبی کمتر شده و در عوض بر شدت فرسایش بادی افزوده شده است. در این کشور کاهش خاک زمین های زراعی در اثر فرسایش آبی و بادی با میانگینی در حدود ۱۷ تن در هکتار در سال انجام می گیرد. این در حالی است که این مقدار در چراگاههای طبیعی و مراتع در حدود ۶ تن در هکتار در سال می باشد. در طول سال های ۱۹۹۵-۱۹۴۵ متوسط مساحت مزرعه از ۹۰ هکتار به ۱۹۰ هکتار افزایش یافته است. زارعین برای داشتن مزارع بزرگتر، موانع و پرچین ها و بوته هائی که موجب کاهش فرسایش می شدند را از بین برده اند. همچنین استفاده از ماشین آلات سنگین موجب ایجاد خسارت به اکوسیستم طبیعی خاک در این مناطق شده است.

شدت فرسایش در زمین های زراعی شیب دار به شدت افزایش می یابد. این زمین ها، خود در اثر تبدیل جنگل ها به اراضی کشاورزی حاصل شده اند. حضور زیتوده گیاهی (مرده یا زنده)، مقدار روان آب و فرسایش را به دلیل کاهش برخورد قطرات آب و کاهش انرژی بادی کم می کند. به عنوان مثال در میسوری مقدار فرسایش در زمین های فاقد پوشش گیاهی ۱۲۳ بار بیشتر از زمین هایی که پوشش چمنی (با فرسایش ۰/۰۱ تن در هکتار در سال) داشته اند برآورد شده است. جالب این که در مزارع گندم در اوکلاهما میزان ذخیره آبی ۲/۵ تا ۴/۸ بار بیشتر از زمین های بدون کشت بوده است

متاسفانه کاهش پوشش گیاهی در $\frac{1}{3}$ کشورهای جهان به طور گسترده صورت گرفته است. در چین، ۶۰ درصد بقایای محصولات زراعی و در بنگلادش در حدود ۹۰ درصد آن برای مصارف سوختی مورد بهره برداری قرار می گیرد. در مناطقی که مواد سوختی کمیاب است حتی ریشه های علف ها و بوته ها نیز جمع آوری شده است. تعرض به مراتع طبیعی و شخم زدن آن ها تقریباً در آمریکا و اروپا در حال مهار شدن است اما در آسیا و آفریقا بر شدت آن افزوده شده است. این معضل، مهم ترین عامل فرسایش خاک های دارای پوشش طبیعی در کشورهای جهان سوم است.در کشور ما، بوته کنی، تخریب جنگل ها و مراتع (به طور متوسط ۱۵ میلیون مترمکعب در سال توسط جوامع روستائی به ویژه جهت تامین سوخت فسیلی)، چرای مازاد بالغ بر ۵۰ میلیون واحد دامی که منجر به کاهش تنوع زیستی (۱۷۲۸ گونه از ۸۶۰۰ گونه) گردیده است و شیوه های نامناسب آبیاری (بالغ بر ۷۵٪ اراضی آبی به شیوه غرقابی) از عوامل اصلی فرسایش هستند (۵).

فرسایش و قابلیت تولید

به دلیل رشد جمعیت و کاهش میزان تولید در اثر فرسایش، میزان سرانه جهانی غذا در طی سالیان اخیر در حال کاهش می باشد. فرسایش، قابلیت باروری خاک و توانائی نگه داری آب را در خاک کم کرده و لذا میزان محصول را کاهش می دهد. در واقع فرسایش آبی و بادی با کاهش ویژگی هایی چون شدت نفوذ آب، ظرفیت نگه داری آب، عناصر و مواد آلی خاک، موجودات زنده و عمق خاک، میزان قابلیت تولید و کیفیت خاک را تحت تاثیر قرار می دهد. هر

کدام از این عوامل ضمن تاثیر اختصاصی بر قابلیت تولید خاک، با سایر عوامل نیز میان کنش دارند و مجموعاً معیاری برای سنجش اثرات فرسایش خاک بر قابلیت تولید هستند.

در حین فرسایش، میزان روان آب زیاد می گردد لذا آب کمی به درون خاک نفوذ می کند و میزان محصول نیز کم می شود (جدول۱). با در نظر گرفتن کاهش آب، فرسایش سبب کاهش عناصر غذائی گیاه نظیر ازت، فسفر، پتاسیم و کلسیم می شود که برای تولید محصول ضروری اند. یک تن خاک کشاورزی خوب به طور معمول ۱ تا ۶ کیلوگرم ازت، ۱ تا ۳ کیلوگرم فسفر و ۲ تا ۳۰ کیلوگرم پتاسیم دارد. در حالی که در خاک دارای فرسایش شدید فقط ۰/۱ تا ۰/۵ کیلوگرم ازت در هر تن وجود دارد(۶) به عبارت دیگر خاک فرسایش یافته سه برابر بیش از خاک باقی مانده دارای عناصر غذائی است. با کاهش میزان عناصر در اثر فرسایش، رشد گیاه و مقدار تولید آن کم می شود(جدول۲). مواد آلی که از اجزاء ضروری خاکند خواصی همچون دانه بندی، تخلخل، نفوذ آب، ساختار و قابلیت تولید خاک را بهبود می بخشند(۳). با افزایش نفوذ آب توسط مواد آلی، تبادل کاتیونی آسان تر، رشد ریشه ها زیادتر و ازدیاد موجودات زنده خاک سریع تر می شود. درون مواد آلی ۹۴٪ ازت و ۲۵ تا ۵۰٪ فسفر وجود دارد. قابلیت باروری خاک سطحی ۱۰۰ تن مواد آلی در هر هکتار (۴٪ وزن کل خاک) می باشد با توجه به این که بخش اعظم موادآلی سطح خاک حاصل پوسیدگی برگ ها و ساقه ها هستند فرسایش خاک سطحی به سرعت مقدار مداد آلی خاک را کم می کند. بررسی ها نشان می دهند که مواد آلی خاکی که توسط باد یا آب فرسایش یافته ۱/۳ تا ۵ بار بیشتر از خاک باقی مانده در محل است. بنابراین با کاهش ۱۷ تن خاک در اثر فرسایش حاصل از بارندگی، تقریباً ۲ تن مواد آلی کم می شود. با کاهش مواد آلی میزان محصول نیز کم می شود..از نظر زیستی، موجودات زنده خاک عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان را به خاک بر می گردانند. ایجاد سوراخ و خلل و خرج توسط کرم خاکی و بند پایان به دلیل افزایش نفوذ آب، سبب افزایش قابلیت تولید خاک می شوند. فرسایش در زمین های زراعی موجب کاهش تنوع و مقدار موجودات زنده خاک می گردد. اقداماتی که محتوای مواد آلی خاک را حفظ می کنند موجب ازدیاد موجودات زنده آن می شوند. به عنوان مثال استفاده از مالچ ها، موجودات زنده خاک را تا ۳ برابر افزایش می دهد و لذا میزان تولید محصول فزونی می یابد.

جدول۱- مقایسه کاهش شدت روان آب در اثر استفاده از روش ها و مواد مختلف (۱۰)

نوع روش یا ماده	روان آب (cm در عمق)	جذب آب (cm)	افزایش محصول
مالچ علوفه	۰/۰۶	۱/۲۴	۰/۳۴
بدون مالچ علوفه	۱/۳		
مالچ کلش گندم	۳/۹	۱۳/۵	۳/۴
بقایای سوزانده مالچ	۱۷/۴		
مالچ کود	۹	۴/۱	۱/۱
بدون کود	۱۳/۱		
بقایای محصول و جو	۰/۵۸	۲/۵	۰/۶
معمولی و سنتی	۳/۰۸		
چمن کاری	۳/۷	۷	۱/۸
معمولی و سنتی	۱۰/۷		
تراس بندی	۰/۹۴	۷/۲	۱/۸
گیاهکاری خطی	۸/۱۴		
گیاهکاری نامنظم	۲/۴۹	۰/۹۷	۰/۲
خاک لخت	۳/۳۲		
کشت محدود	۲/۱	۱/۵	۰/۴
معمولی و سنتی	۳/۶		

مدل تاثیر فرسایش بر تولید محصول

گروه پیمنتل در سال ۱۹۹۵ مدلی را کـه عوامـل موثر بر شدت فرسایش و قابلیت تولید را بـه هـم مـرتبط مـی سازد تهیه نمودند. این عوامـل عبـارت بودنـد از شـیب زمـین، ترکیب خاک، پوشـش گیـاهی، عمـق خـاک، موجـودات زنـده خاک، مواد آلی، ظرفیت نگه داری آب و مقدار عناصر خاک. در این مدل چگونگی تـاثیر فرسـایش در کـاهش عناصـر، عمـق، موجودات زنده، مواد آلی و آب خاک و لذا کاهش میزان تولیـد به خوبی بیـان مـی گـردد. در مفروضـات پیمنتـل و همکـاران مقـدار بارنـدگی ۷۰۰ میلـی متـر، شـیب ۵٪، عمـق خـاک سطحی۱۵ سانتی متر، نوع خاک لومی، مواد آلـی ۴٪ و شـدت فرسایش ۱۷ تن در هکتار در سال در نظر گرفتـه شـده اسـت. تحت این شرایط، به طور متوسط ۷۵ میلی متر آب، ۲ تن مواد آلی و ۱۵ کیلوگرم ازت از دسترس خارج می گردد(جـدول۲). عمق خاک ۱/۴سانتی متر کم می گردد، ظرفیت نگه داری آب به کمتر از ۰/۱ میلی متـر کـاهش مـی یابـد و جمعیـت هـای زیستی نیز کاهش می یابند. این محدودیت ها معادل کاهش ۸ درصدی در میزان محصول در یـک دوره یکسـاله مـی باشـند. میزان خروج آب و عناصر نیـز معـادل کـاهش۹۰ درصـدی در قابلیت تولیـد می باشد (جدول۳). این مدل نشان می دهد کـه کاهش آب و عناصر غیر قابل جبرانند. در دراز مـدت (دوره ۲۰ ساله) نیز کاهش آب و عناصر بیشترین اثر را در مقدار محصول داشتند. این عوامل ۵۰ تـا ۷۵٪ قابلیـت تولیـد را کـم نمودنـد (جدول۲). کاهش عمق خـاک تـا ۲/۸ سـانتی متـر منجـر بـه کاهش ۷ درصدی در قابلیت تولید شـد. عمـق خـاک اهمیـت بیشتری دارد زیرا هزاران سال طول می کشد تا ۱ سـانتی متـر خـاک از دسـت رفتـه تشـکیل شـود. تـاثیر عـواملی همچـون موجـودات زنـده، ظرفیـت نگـه داری آب و عمـق خـاک در درازمدت بیشتر است. این مـدل نشـان مـی دهـد کـه در دراز مدت نیز کاهش آب و عناصر غیر قابل جبرانند . در صورتی که بتوان این کاهش را جبـران نمـود ضـرر ایجـاد شـده ۲۰٪، در حدود ۲۵ تا ۳۳٪ کاهش خواهد یافت.

جدول۲- برآورد هزینه های انرژی و اقتصادی کاهش آب و خاک در اثر فرسایش با شدت ۱۷ تن درهکتار (۲۰ ساله) در کشت های فرضی (۱۰)

عوامل	کاهش سالیانه	هزینه جبران(دلار)	هزینه انرژی	کاهش محصول
روان آب	۷۵ mm*	۳۰ †	۷۰۰ ‡	۷ *
ازت	۵۰ Kg §		۵۰۰ ‖	
فسفر	۲ Kg §	۱۰۰ §	۳ ‖	۸ ¶
پتاسیم	۴۱۰ Kg §		۲۶۰ ‖	
عمق خاک	۱/۴ mm*	۱۶ #		۷ **
مواد آلی	۲ton*			۴ ††
ظرفیت حفظ آب	۰/۱mm*			۲ ‡‡
موجودات زنده				
مجموع محلی		۱۴۶	۱۴۶۰	۱ §§
مجموع غیر محلی		۵۰ ¶¶	۸۰۰	۲۰ ||||
کل مزرعه		۱۹۶ #	۱۵۶۰	

توضیحات: هزینه انرژی برحسب ۱۰۰۰کیلو کالری و کاهش محصول بعداز ۲۰سال فرسایش منظور شده است.علائم:

* از جدول۳. † هزینه جایگزینی این مقدار آب با آبیاری . مقدار ارزش تا ۴۰٪ کم شده است زیرا فرسایش آب در U.S ۶۰٪ کل فرسایش آن است. در ضمن اگر بارندگی زیادتر شود نیازی به هزینه جایگزینی نیست. ‡ انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب زیرزمینی از عمق ۳۰ متری. § کل کاهش عناصربر اساس نتایج تروه و همکاران. ‖ انرژی مورد نیاز برای جبران کاهش کود. ¶ بر اساس کل کاهش خاک به مقدار ۳۴۰ تن در هکتار در طول ۲۰ سال و معدنی شدن و در دسترس قرار گرفتن عناصر خاک. # برآورده شده. ** بر اساس کاهش قابلیت تولید ۶ درصد در صورت کاهش۲/۵ سانتی متر خاک. †† مقدار مواد آلی خاک که به نظر می رسد از ۴٪ به ۱۳٪ کاهش می یابد(در طی این مدت) و منجر به کاهش ۴ درصدی در قابلیت تولید می شود. ‡‡ بعد از کاهش ۱۷ تن در هکتار در سال خاک در طی این مدت ظرفیت نگه داری خاک ۱/۹ میلی متر و قابلیت تولید در حدود ۲٪ کم می شود، تشدید فرسایش صورت می گیرد و قابلیت دسترسی گیاهان به آب حدود ۵۰ تا ۷۵ درصد کم می شود. §§ کاهش موجودات زنده خاک منجر به کاهش فیلتراسیون آب و کاهش چرخش مواد آلی می گردد. |||| درصدها را نمی توان بر همدیگر افزود، زیرا اثرات عوامل مختلف در همدیگر دخیل اند و همپوشانی دارند(به عنوان مثال مواد آلی با منابع آبی، عناصر، موجودات زنده و عمق خاک در ارتباط متقابل است). این کاهشها زمانی روی خواهد داد که کاهش عناصر و آب جایگزین نشوند. ¶¶ جدول ۴.

در مدل یکساله نیز اثر فرسایش اغلب و به طور موقت با اعمالی نظیر کوددهی، آبیاری، کاشت گیاه و سایر موارد جبران می گردد اما در درازمدت (دوره ۲۰ ساله) کاهش مواد آلی، موجودات زنده، عمق و ظرفیت نگه داری آب قابل جبران نیستند.

هزینه های فرسایش: در انگلستان خسارت حاصل از فرسایش بادی بر مقدار محصول کشاورزی ۶۱ دلار در سال در هکتار می باشد و مجموع خسارات فرسایش بالغ بر ۵۰ تا ۲۲۴ میلیارد دلار در سال می باشد(۸). در آمریکا ۶ درصد کل انرژی مصرفی، در کشاورزی مورد استفاده است. برآورد شده است که در صورت فرسایش بادی و آبی ۱۷ تن در هکتار در سال، مجموع اثرات محلی و غیر محلی و افزایش روان اب حاصل از آن هزینه ای اضافی در حدود $۱/۶ \times ۱۰^{۶}$ کیلوکالری انرژی فسیلی در هکتار در سال دربردارد(جدول۲). این یعنی مصرف ۱۰ درصد کل انرژی کشاورزی در بخش فرسایش. اگرچه کشورهای در حال توسعه از کودهای فسیلی، آفت کش ها و اعمال آبیاری مناسب برای جبران اثرات فرسایش استفاده می کنند اما وابستگی شدید به سوختهای فسیلی ریسکی خطرناک محسوب می گردد زیرا این منابع روبه اتمام هستند.

جدول۳- نتایج اولیه فاکتورهای دخیل در کاهش محصول در اثر ۱۰تن فرسایش آبی و ۷ تن فرسایش بادی (۱۰).

عوامل	کاهش کمی	کاهش محصول (٪)
روان آب	۷۵ mm*	۷ *
ازت †	۱۵ kg	
فسفر †	۰/۶ kg	۲/۴
پتاسیم †	۱۲۳ kg	
عمق خاک	۱/۴ mm ‡	۰/۳ ‡
مواد آلی	۲ ton‖	۰/۲ ‖
ظرفیت نگه داری آب	۰/۱mm §	۰/ §
موجودات زنده خاک		۰/۱
مجموع		۸ **

توضیحات: * بر اساس شدت فرسایش به مقدار ۱۰ تن در هکتار در سال در شیب ۵٪ زمین و تحت شرایط سنتی کشت، کاهش آب تا حدود ۱۰۰ میلی متر خواهد بود. در شرایط حفاظتی نیز کاهش ۷۵ میلی متر آب محقق شده است و بر این اساس کاهش محصول ۷٪ برآورد گردیده است. † کاهش عناصر برحسب نتایج تروه و همکاران است. ‡ بر اساس غلظت ۱/۲۵ گرم بر سانتی متر و کاهش محصول به میزان ۶٪ در ۲/۵ سانتی متر خاک. § کاهش ظرفیت نگه داری آب خاک برآورد گردیده که تا حدود ۰/۱ میلی متر و بر اساس فرسایش ۱۷ تن در هکتار در سال کم شود. ‖ بر اساس محتوای ۴٪ مواد آلی در خاک و افزایش در عامل ۳، کاهش محصول شدیداً کم می شود اما در درازمدت اینگونه نیست. به نظر می رسد که فیلتراسیون آب را کم کرده و چرخش مواد آلی را نیز کاهش می دهد. این در حالیست که در مدت زمان کوتاه یکساله به میزان محصول نیز تاثیر مینیمم دارد. ** این کاهش برآورد شده بعد از کاهش ۱۷ تن خاک در سال به وقوع می پیوندد. درصدها را نمی توان بر همدیگر افزود، زیرا اثرات عوامل مختلف در همدیگر دخیل اند و همپوشانی دارند(به عنوان مثال مواد آلی با منابع آبی، عناصر، موجودات زنده و عمق خاک در ارتباط متقابل است).

امروزه علم ارزش گذاری اقتصادی منابع طبیعی و تکنیک های متنوع آن کمک های فراوانی به اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست می کند. این علم اطلاعات صحیح را در کوتاه مدت در اختیار برنامه ریزان منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست قرار می دهد. به جدول ۴ نگاه کنید تا به وسعت و پیچیدگی موضوع پی ببرید. در ارزش گذاری اقتصادی خسارات حاصل از فرسایش نیز به طور گسترده از تکنیک های این علم استفاده گردیده است(۴).

هزینه های محلی

این هزینه ها شامل هزینه هائی هستند که برای جایگزینی کاهش عناصر و آب مصرف می شوند(جدول۲). در صورت فرسایش با شدت ۱۷ تن در هکتار در سال، حدود ۷۵ میلی متر آب و ۴۶۲ کیلوگرم عناصر در هر هکتار کاهش می یابد. به طور معمول برای جبران آب از دست رفته هزینه ای بالغ بر ۳۰ دلار در هکتار در سال برای پمپاژ آب به مناطق زراعی لازم است. در ضمن باید هزینه مصرف ۷۰ لیتر سوخت در هر هکتار نیز به آن افزوده شود. برای جبران عناصر از دست رفته، از طریق کود دهی نیز حدود ۱۰۰ دلار در هکتار نیاز می باشد. در آمریکا هزینه های محلی و غیر محلی فرسایش در حدود ۱۹۶ دلار در هر هکتار در سال می باشد (جدول۲). در سایر نقاط کره زمین که امکان آبیاری وجود نداشته باشد و کودها نیز گران قیمت اند هزینه فرسایش از طریق کاهش تولید محاسبه می گردد. در آمریکا، سالیانه، ۴×۱۰^{۹} تن خاک و ۱۳۰×۱۰^{۹} تن آب از دسترس ۱۶۰×۱۰^{۶} هکتار خاک زراعی خارج می شود. این کاهش به لحاظ اقتصادی بیش از

۲۷ بیلیون دلار در سال هزینه های محلی ایجاد می کندکه ۲۰ بیلیون دلار آن برای جبران عناصر و ۷ بیلیون دلار آن برای جبران آب و عمق خاک مصرف می شود(جدول۲). به این ترتیب جبران کاهش عناصر غذائی بیشترین هزینه ها را می طلبد. هزینه های فرسایش در سایر نقاط کره زمین نیز سنگین است. به عنوان مثال در جاوه هزینه فرسایش و کاهش قابلیت تولید خاک حدود ۳۱۵ میلیون دلار در سال برآورد شده است در هند سالیانه $۶/۶ \times ۱۰^{۹}$ تن خاک حاوی $۵/۴ \times ۱۰^{۶}$ تن کود با ارزش ۲۴۵ میلیون دلار از دسترس خارج می شود.

هزینه های غیر محلی

فرسایش نه تنها به سرعت بر مزارع کشاورزی خسارت وارد می کند بلکه اثرات زیادی نیز به محیط اطراف وارد می سازد. اثرات غیر محلی فرسایش عبارتند از تاثیر بر امور عمرانی از جمله جاده سازی، ایجاد گنداب، رسوب گل و لای، جلوگیری از زه کشی، آب گرفتگی معابر و جاده ها، شکستن آب بندها و سدها، برهم ریختگی آبراهه ها، رسوبگذاری در کانال ها و بندرگاه ها، کاهش ظرفیت ذخیره سازی آب، کاهش زیستگاه حیات وحش، آشفتگی اکوسیستم، سیل، صدمه به سلامت انسان و هزینه های مربوط به بهداشت جامعه. از بیلیون ها تن خاک فرسایش یافته در آمریکا، هر سال حدود ۶۰٪ در آب های جاری و رودخانه ها رسوب می کند. این رسوبات به موجودات زنده و گیاهان آبزی لطمه وارد می کند و ضمن وارد کردن کودها ، ذرات خاک و آفت کش ها به درون آب، کیفیت زیستگاه را نامناسب نموده و آب را آلوده می کنند. رسوب گذاری مشکل اصلی ذخیره گاه های آب ها می باشد. این عمل میزان ذخیره آبّ، تولید الکتریسیته و دوره زیستی آبزیان را کم نموده و هزینه های نگه داری سدها را افزایش می دهد. هر سال در حدود ۸۸۰×۱۰^{۶} تن خاک کشاورزی در درون اکوسیستم های کشاورزی و ذخیره گاههای آب ها رسوب می کند. در این صورت پتانسیل کنترل سیل در آن ها کم و هزینه های بهداشت آب زیاد شده و آبراهه ها مسدود می گردند. جالب این که در آمریکا برای حفظ مکان های آبی مورد استفاده برای قایقرانی، سالیانه بیش از ۵۲۰ میلیون دلار صرف زه کشی رسوبات خاک می گردد.

فرسایش بادی نیز هزینه های غیر محلی زیادی را ایجاد می کند. برآورد شده است که اموال و لوازم خانگی که در اثر شن پرانی اتومبیل ها آسیب می بینند و مناظر ساختمان ها که تحن برخورد ذرات خاک قرار می گیرند هزینه ای بالغ بر ۴ بیلیون دلار برای نگه داری و حفاظت احتیاج دارند(۷). همچنین تمیز کردن خاک تجمع یافته در بناهای شخصی و عمومی، جاده ها و ریل ها نیز هزینه ای بالغ بر ۴ بیلیون دلار در سال نیاز دارد(۷). به عنوان مثال میتوان به نیومکزیکو اشاره نمود که در آن $\frac{2}{3}$ خاک زراعی منطقه فرسایش یافته و کل هزینه های برون محلی سالیانه آن ۴۶۵ میلیون دلار برآورد شده است(۷). با این حساب هزینه های غیر محلی فرسایش بادی در کل آمریکا به تنهائی بیش از ۹/۶ بیلیون دلار در سال می گردد.

ترکیب اثرات محلی و غیر محلی

هزینه کل اثرات غیر محلی فرسایش در آمریکا (که به طور عمده حاصل کشاورزی است) حدود ۱۷ بیلیون دلار در سال برآورد گردیده است(جدول۴). افزون بر آن خسارات حاصل از کاهش قابلیت تولید نیز سالیانه ۲۷ بیلیون دلار برآورد شده است(جدول۴). بنابراین مجموع هزینه های محلی و غیر محلی در آمریکا بالغ بر ۴۴ بیلیون دلار در سال می گردد(۱۰). به عبارت دیگر ۱۰۰ دلار در هکتار زمین زراعی و مرتعی. این مقدار هزینه فرسایش، هزینه های تولید را تا ۲۵٪ در هر سال افزایش می دهد. در کل کره زمین از $۱۰^{۹}$ × ۷۵ تن خاک فرسایش یافته، $\frac{2}{3}$ آن مربوط به زمین های کشاورزی است. اگر ما هزینه ۳ دلار در هر تن را برای عناصر بپذیریم، ۲ دلار در تن نیز هزینه کاهش آب و ۳ دلار در تن نیز هزینه اثرات غیر محلی خواهد بود(جدول۴). هزینه این همه خاک از دست رفته در کل زمین بالغ بر ۴۰۰ بیلیون دلار در سال یا بیش از ۷۰ دلار در سال برای هر فرد ساکن کره زمین خواهد بود.

جدول۴- خسارت فرسایش بادی و آبی و هزینه سالیانه پیشگیری از آن (۱۰).

نوع خسارت	هزینه (میلیون دلار)
فرسایش بادی	
رنگ کاری های بیرونی	۱۸/۵
مناظر	۲۸۹۴
خودروها	۱۳۴/۶
داخل ساختمان ها و لباس شوئی	۹۸۶
سلامتی و بهداشت	۵۳۷۱
گردشگری	۲۲۳/۲
نگه داری جاده ها	۱/۲
هزینه های مربوط به تجارت	۳/۵
هزینه تامین آب آبیاری و حفظ حوضه ها	۰/۱
مجموع	۹۶۳۲/۵
فرسایش آبی‡	
خسارت های درون رودخانه ای	
اثرات زیستی	برآورد نشده است
گردشگری	۲۴۴۰
تسهیلات ذخیره آب	۸۴۱/۸
قایقرانی	۶۸۳/۲
سایر استفاده های درون رودخانه ای	۱۰۹۸
مجموع	۵۰۶۳
اثرات برون رودخانه ای	
خسارت های سیل	۹۳۹/۴
تسهیلات انتقال آب	۲۴۴
تسهیلات تصفیه آب	۱۲۲
سایر استفاده های برون رودخانه ای	۹۷۶
مجموع	۲۳۱۸
مجموع هزینه های فرسایش آبی	۷۳۸۱
مجموع هزینه خسارت های فرسایش آبی و بادی	۱۷۰۱۳/۵
هزینه جلوگیری از فرسایش	۸۴۰۰
کل هزینه ها (محلی و غیر محلی)	۴۴۳۹۹
نسبت سود بر هزینه	۵/۲۴

تکنولوژی کنترل فرسایش

این تکنیک ها شامل استقرار پوشش گیاهی در تپه ها و حاشیه ها، عدم کشت و شخم زنی مراتع، تناوب کشت، استفاده از مالچ ها، پرچین های گیاهی و غیر گیاهی، درخت کاری، تراس بندی، بادشکن و نظایر آن می باشد. گیاهان پوششی در کنترل علف های هرز نیز تاثیر دارند(۱). این روش ها می توانند مانع کاهش عناصر خاک نیز گردند. به عنوان مثال، در صورت باقی ماندن بقایای گیاهی ذرت در سطح خاک و به میزان ۱۰،۳۰و۵۰٪، خروج ازت حاصل از

جریان آبّ به ترتیب ۹۰،۶۸و ۹۹٪ کم می شـــود(۹). یکـی دیگر از روش های کنتـرل فرسـایش، تنـاوب کشـت اسـت. بـا رعایت تناوب کشت در زمین هایی با شیب ۷٪ میزان کتان تـا ۳۰٪ افزایش یافته و فرسـایش آن نیـز نصـف شـده اسـت. در نهایت می توان به کاشت درختـان و درختچـه هـا در منـاطق بادخیز اشاره کرد. این عمل توانسته است که انـرژی بـاد را تـا ۸۷٪ و میزان فرسایش را تا۵۰٪ کاهش دهد.(۱۳)

نتایج و تحلیل هزینه- سود

در برآوردهای پیمنتل و همکاران، برای کاهش شدت فرسایش ۱۷ تن به ۱ تن در هکتار در سال حـدود ۴۰ دلار در هکتار در سال لازم است. در کل زمـین هـای فرسـایش یافتـه آمریکا این مبلغ به ۶/۴ بیلیون دلار می رسـد همچنـین بـرای کاهش فرسایـش مراتـع نیـز ۵ دلار در هکتـــاردرسال لازم است (در مجموع ۲ بیلیون دلار در سال) کـه بـا احتسـاب۶/۴ بیلیون دلار جمعاً ۸/۴ بیلیون دلار می گردد. با در نظر گـرفتن ۴۴ بیلیون دلار خسارت سالیانه فرسایش، هزینـه ۸/۴ بیلیـون دلاری حفاظت از فرسایش رقم پایینی به شمار می رود. بنا بـر ایـــن بـــه ازاء هـــر دلار هزینـــه ۵/۲۴ دلار ذخیـــره خواهـــد شد(جدول۴).

جدول۵- کاهش سالیانه خاک (تن بر هکتار) در اثر تولید محصول و تکنولوژی مورد استفاده در آمریکا(۱۰)

روش کشت	حالت	کاهش خاک (تن در هکتار)
ذرت		
سنتی، پیوسته	MO	۴۷
سنتی، شخم با دیسک	IN	۴۷
سنتی، شخم با دیسک	OH	۲۷
سنتی، پیوسته	PA	۲۰
حفاظتی، چرخشی	PA	۷
حفاظتی، خطی	IL	۶
حفاظتی، بدون کشت	MS	۰/۳
لوبیا		
سنتی	MS	۳۶
حفاظتی، چرخشی	MS	۹
حفاظتی، بدون کشت	GA	۰/۰۲
کتان		
سنتی	MS	۹۱
حفاظتی، بدون کشت	MS	۱/۳
گندم		
سنتی	WA	۲۲
حفاظتی، مالچ	MS	۱/۷
پوشش گیاهی طبیعی		
گراس های دست نخورده	KS	۰/۰۷
جنگل دست نخورده	NH	۰/۰۲

صرف این مقدار هزینه در آمریکا توانسته است که کاهش خاک ناشی از فرسایش را تا ۴×۱۰^{۹} تن کاهش دهد و این یعنی تضمین تولید غذا برای نسل های حاضر و آینده. آمریکا در دهه ۹۰ هزینه ۱/۷ بیلیون دلار در سال را در برنامه حفاظتی پیش بینی نمود تا زمین هایی با قابلیت فرسایش زیاد را مورد استفاده کشاورزی قرار ندهد لذا این عمل ۵۸۴×۱۰^{۶} تن خاک را در هر سال از خطر فرسایش حفاظت می کند. در این برنامه ۲/۹۱ دلار برای حفظ یک تن خاک زراعی هزینه شده است. در حالی که در برنامه پیشنهادی پیمنتل و همکاران برای حفظ هرتن خاک زراعی ۲/۱ دلار اعمال گردید.

اگرهزینه های اقتصادی کاهش خاک و کیفیت آن و اثرات غیر محلی فرسایش را به صورت تحلیل هزینه – سود بررسی نمائیم به این نتیجه می رسیم که این هزینه ها (هزینه های حفاظتی) موجب افزایش گرایشات به سرمایه گذاری در برنامه های جهانی کنترل فرسایش می شوند. حیات بشر او به فراهم شدن غذا، آب، انرژی و تنوع زیستی وابسته است. در این کره خاکی زمین هایی با کیفیت پایین و غیرقابل کشت قادر به تولید غذای جمعیت در حال رشد بشر نخواهند شد.

منابع

۱. اللهیاری، سعید. ۱۳۸۵. کاربرد گیاهان پوششی در کشاورزی پایدار. ماهنامه زیتون، شماره ۱۷۵. تهران

۲. گزارش سازمان خواروبار و کشاورزی (فائو). ۱۳۸۷.سازمان ملل. نیویورک.

۳. محصلی، وحید. ۱۳۸۵. ضرورت افزایش ماده آلی در خاک. ماهنامه زیتون، شماره ۱۷۳. تهران

۴. مجرد آشناباد، مهران. ۱۳۷۸. بررسی توالی بازسازی گیاهی در مناطق اسکان پناهندگان در آذربایجان غربی و ارزش گذاری اکولوژیکی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۵. موسوی، سید محمد. ۱۳۸۵. کنترل پدیده بیابان زائی نیازمند عزم ملی. مجله جنگل و مرتع شماره ۷۰. تهران.

6. Alexander, M. 1997. Introduction to Soil Microbiology, Wiley, New York.
7. Huszar, P. C., and S. L. Piper. 1985. in Off-Site Costs of Soil Erosion; the Proceeding of a Symposium, Conservation Foundation, Washington, DC. pp: 143-166.
8. Gorlach, B. 2004. Assessing the economic impacts of soil degradation. European Commision, DG Environment. Broksel.
9. Palls, R. G., G. Okwach, C. W. Rose, P. G. Saffigna, Aust. J. 1990. Soil Res. 28(623).
10. Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Fitton, R. Saffouri, and R. Blair. 1995. Environmental and Economic costs of Soil Erosion and Consservation Benefits. Science. 267:1117-1123.
11. Pimentel, D., R. Harman, M. Pacenza, J. Pecarsky, M. Pimentel. 1994. Popul, Environ. 15(347).
12. Susan, S. C. staff. 2006. Slow, insidious soil erosion threats human lealth and welfare as well as the environment. Gornell study asserts. National inistitue of food and agriculture.
13. Troeh, F. R., J. A. Hobbs, R. L. Donahue. 1991. Soil and Water Conservation, Prentice- Hall, Englewood Cliffs, NJ.