مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۶ شماره ۲ صفحه‌های ۱۳۹ تا ۱۵۶ (۱۴۰۰)

وضعیت فرسایش آبی و رسوبدهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای[1]

محمود عرب‌خدری[2،3]

چکیده

با هدف شناخت بهتر وضعیت فرسایش و رسوبدهی کشور، از داده‌های اندازه گیری فرسایش کرت و سزیم۱۳۷ و رسوب‌سنجی رودخانه‌ها و مخزن سدهای (حدود ۱۰۰۰ محل) بهره‌گیری شد. با توجه به تفاوت‌های زیاد در دامنه اندازه‌گیری‌های هر روش و بین روش‌ها و محدود بودن داده‌ها در قیاس با وسعت و تنوع زیاد کشور، یافتن روشی مناسب برای توجیه علمی نتیجه‌ها ضروری است. از بین آماره‌های تمایل به مرکز، میانه مناسب‌ترین آماره برای داده‌های فرسایش/رسوبدهی انتخاب شد. میانه رسوبدهی ویژه ایستگاه‌های اندازه‌گیری که بیشتر در منطقه‌های کوهستانی کشور واقع‌اند، ۳۳۶ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد. با کاربرد مدل EPM اعتبارسنجی شده با رسوبدهی مشاهده‌ای، کل فرسایش سالانه کشور نزدیک به ۹۰۰ میلیون تن (۵۵۰ تن در کیلومتر مربع در سال) برآورد شد. درحالی‌که تلفات خاک از سطح زمین‌های مرتعی، جنگلی و دیمزارها به روش کرت‌های اندازه‌گیری، اغلب بسیار کمتر از ۱۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال است، ولی در کرت‌های مستقر روی مارن‌ها، مقدارهایی تا ۳۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال اندازه‌گیری شده است. نظر به اختلاف زیاد فرسایش کرت‌ها و رسوبدهی رودخانه‌ها، به احتمال زیاد سازندهای حساس، دیمزارهای شیبدار، شکل‌های فرسایش تشدیدی و عمیق خندقی (بیش از ۱/۴ میلیون هکتار) و حرکت‌های توده‌ای متعدد در منطقه‌های کوهستانی کشور، به همراه فرسایش کناری نقش بیشتری در رسوبدهی دارند. بررسی‌های محدود منشاءیابی رسوب نیز سهم بیشتر فرسایش‌های عمقی در تولید رسوب را تایید می‌کند. در بخش انتهایی مقاله، با بررسی نقشه‌های فرسایش و رسوبدهی و برخی داده‌های جهانی، نشان داده شده است که با وجود لکه‌هایی از منطقه‌های دارای فرسایش زیاد و حوضه‌های پُر رسوب در ایران، ناحیه‌هایی با شرایط بسیار بحرانی‌تر در آسیا و جهان وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تلفات خاک، داده‌های اندازه‌گیری، رسوبدهی، روش‌های آماری.

مقدمه

از زمان تشکیل اولین کمیته حفاظت آب و خاک در سال ۱۳۳۷، بیش از ۶۰ سال می‌گذرد (۲۵). با افزایش تعداد سدهای ذخیره‌ای از سال ۱۳۴۵ و خطر پر شدن سریع آن‌ها، فرسایش آبی خاک در سطح حوضه‌ها را مورد توجه بیشتری قرار داد و به تأسیس واحدهای اجرایی و پژوهشی در وزارت کشاورزی وقت و رشته‌های مرتبط دانشگاهی انجامید.

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۷

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: arabkhedri@scwmri.ac.ir

۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تا کنون با تصویب و اجرای چند ده هزار پروژه و زیرپروژه اجرایی آبخیزداری و آبخوانداری توانسته است در ۲۴٪ سطح حوضه‌های نیازمند فعالیت اجرایی، اقدام‌های حفاظتی را اجراکند. به‌طوری‌که در سال‌های اخیر موفق شده است تا میانگین حدود یک میلیون هکتار اقدامات اجرایی آبخیزداری و آبخوانداری در سال را محقق نماید (تماس شخصی با آقای ابوالقاسم حسین‌پور، مدیرکل دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور). این سازمان در کل ، با اجرای عملیات در سطحی نزدیک به ۳۲ میلیون هکتار (تماس شخصی با آقای پرویز گرشاسبی، معاون آبخیزداری، مرتع و بیابان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور)، بیشترین سهم حفاظت آب و خاک، کنترل فرسایش، پیشگیری و مهار سیل و تغذیه آبخوان‌ها را در میان دستگاه‌های دولتی به خود اختصاص داده است. برای اغلب این پروژه‌ها به‌ویژه در سه دهه اخیر، بررسی‌های تفصیلی-اجرایی آبخیزداری انجام شده‌است.

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تنها موسسه پژوهشی تخصصی مرتبط با حفاظت خاک در ایران است. بررسی بایگانی پژوهشکده، نشان از تصویب بیش از دو هزار پروژه پژوهشی از سال ۱۳۷۲ تا کنون است که حدود نیمی از آن‌ها به موضوع فرسایش و حفاظت آب و خاک ارتباط دارد. تعدادی پروژه پژوهشی دیگر به‌طور عمده مرتبط با فرسایش دیمزارها و فرسایش بادی در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع و موسسه‌های خاک و آب و دیم مصوب شده است. همچنین، بر اساس جستجو در نسخه گنج سامانه ایران‌داک، در مجموع حدود ۱۰۰۰ پروژه پژوهشی دانشجویی نیز در قالب پایان‌نامه‌های فوق‌لیسانس یا رساله‌های دکتری در دانشگاه‌های داخلی دیده می‌شود که در عنوان آن‌ها واژه‌ها یا عبارت‌هایی مانند فرسایش خاک، رسوبزایی، و هدررفت خاک وجود دارد. قدیمی‌ترین پژوهش پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتبط با موضوع در سال ۱۳۵۱ با عنوان «مطالعاتی در خصوص حفاظت خاک و آب در دیمزارهای ایران» در دانشگاه تهران دفاع شده است.

وزارت نیرو اندازه‌گیری رسوب معلق رودخانه‌ها را به صورت برنامه‌ای منظم از سال ۱۳۴۳ آغاز کرد (۶) که همچنان ادامه دارد و براساس آخرین گزارش‌های موجود رسوب سنجی در ۱۰۲۲ ایستگاه، انجام می‌شود (۱۴). کف‌سنجی سدهای مخزنی نیز به صورت ادواری اجرا می‌شود. به این موردها باید انواع داده‌ها و نقشه‌های ارزشمند پایه مانند هواشناسی، توپوگرافی و زمین‌شناسی را نیز اضافه کرد.

مجموعه فعالیت‌های علمی، پژوهشی و اجرایی، تجربه‌های گرانسنگ و داده‌های ارزشمندی را از وضعیت فرسایش و رسوب کشور فراهم کرده است. این مقاله در ادامه نگارش مقاله‌های پیشین (۱۸، ۱۹) با تکیه بر اطلاعات و تجربه‌های به‌دست آمده، وضعیت فرسایش آبی و تولید رسوب کشور را با اتکا به روش‌های آماری و مقایسه‌ای مجددا واکاوی و افزون بر تکمیل دستاوردهای پژوهش‌های گذشته، وضعیت کشور را نسبت به وضعیت جهانی نشان داده است.

داده‌های موجود از فرسایش آبی و رسوبدهی در سطح کشور

عرب‌خدری و همکاران (۲۲) داده‌های نزدیک به ۱۰۰۰ مکان اندازه‌گیری فرسایش آبی و تولید رسوب کشور را در پنج گروه مشتمل بر سدهای مخزنی، ایستگاه‌های هیدرومتری، بندهای آبخیزداری، کرت‌های فرسایش و نقطه‌های سزیم۱۳۷ را جمع‌آوری کرده‌اند. بررسی موقعیت جغرافیایی مکان‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک دامنه‌ها و رسوبدهی حوضه‌ها نشانگر غیر یکنواختی توزیع آن‌ها در سطح کشور است. بیشتر آن‌ها در محدوده‌های شیبدار و کوهستانی دو رشته کوه البرز و زاگرس قرار دارند و تعداد نقطه‌های اندازه‌گیری در دشت‌ها و منطقه‌های خشک و بیابانی بسیار محدود است. این موضوع از آن‌جا نقطه قوت محسوب می‌شود که فرسایش آبی خاک، شکل غالب فرسایش در منطقه‌های کوهستانی و دشت‌های مجاور

آن‌هاست. با این همه، ضعف داده‌های موجود تعمیم‌ناپذیری به حوضه‌های خشک و بیابانی مانند لوت و دشت‌های وسیع مانند دشت خوزستان است.

کیفیت آماری داده‌ها

از دید آماری، مجموعه داده‌های موجود از فرسایش/ رسوب کشور نمونه احتمالاتی (مانند نمونه تصادفی و نمونه سیستماتیک) محسوب نمی‌شوند و به تعریف نمونه راحت[1] یا در دسترس نزدیک‌تر هستند. نمونه راحت نمونه‌ای است غیر احتمالاتی و نمی‌توان خطای برآورد آن را تعیین کرد (۳۹) . در حالی‌که در نمونه‌های احتمالاتی مانند نمونه تصادفی، بر اساس واریانس و اندازه نمونه، خطای برآورد قابل محاسبه است (۴۱). با وجود این ضعف بزرگ، به دلیل مزایایی مانند سرعت عمل، موجود بودن داده‌ها، با صرفه بودن، آسانی جمع‌آوری داده، پژوهشگران تمایل زیادی به این روش دارند (۳۹، ۴۸). نمونه‌های غیراحتمالاتی (مانند داده‌های فرسایش/رسوب در این پژوهش) ممکن است برای هدف‌هایی دیگری نیز گردآوری شده باشند (۴۵).

جدول ۱ اطلاعات مختصری از وضعیت داده‌های موجود حاصل از اندازه‌گیری مقدار تلفات خاک و رسوبدهی کشور را نشان می‌دهد. نگاهی کوتاه به این جدول نشانگر این است که دامنه تغییرهای فرسایش/رسوبدهی در هر ردیف بسیار زیاد است. در بین مشاهده‌ها، از صفر تا چند ده هزار تن در کیلومتر مربع در سال نیز مشاهده می‌شود که نشانه تنوع شرایط زمین‌ها و حوضه‌ها از نظر فرسایش و تولید رسوب است. با این همه، برخی از عددها به تفسیر و واکاوی نیاز دارند. برای نمونه، بیشترین مقدار فرسایش به روش سزیم۱۳۷ در جدول ۱ (ردیف‌های ۲ و ۳) دیده می‌شود که رقمی بیش از ۲۷ هزار تن در کیلومتر مربع در سال از قطعه زمینی دیم با شیب ۵۰٪ گزارش شده است (۲)؛ این رقم معادل از دست رفتن سالانه حدود دو سانتی‌متر خاک برابر بیش از ۷۰ سانتی‌متر خاک به صورت فرسایش شیاری و بین‌شیاری در مدتی کمتر از ۴۰ سال (از زمان اوج ریزش‌های اتمی) است. عمیق بودن خاک پیش‌شرط وقوع چنین فرسایشی است که نیاز به بررسی دارد.

مقایسه آماره‌های تمایل به مرکز مقدارهای اندازه‌گیری شده فرسایش/رسوبدهی

اولین گام در واکاوی آماری هر نمونه و جامعه، تعیین نقطه مرکزی آن است که دو آماره متداول در این ارتباط، میانگین و میانه هستند (۴۱). مقایسه مقدارهای میانگین و میانه فرسایش/رسوبدهی هر یک از ردیف‌های جدول ۱ نشانگر فزونی ۱/۳ تا حدود ۲۵ برابری میانگین نسبت به میانه دارد. پرسش مهم این است که کدام‌یک از این دو آماره می‌تواند معرف بهتری برای آماره نقطه مرکزی نمونه‌های مورد بررسی باشد؟

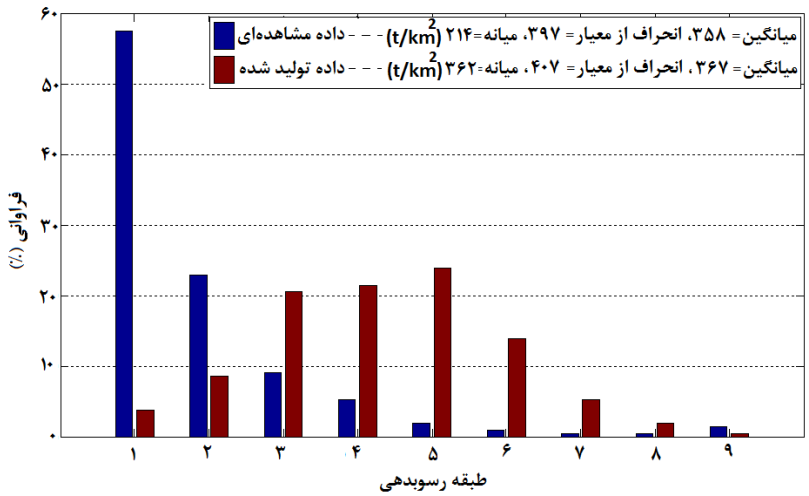
برای بررسی موضوع، به عنوان نمونه، داده‌های رسوبدهی معلق ایستگاه‌های هیدرومتری (ردیف ۶ جدول ۱) در نه دسته طبقه‌بندی و نمودار ستونی توزیع فراوانی آن به رنگ آبی رسم شده است (شکل ۱). دیده می‌شود که نزدیک به ۹۰٪ ایستگاه‌ها در سه دسته کم رسوب قرار گرفته‌اند و تفاوت آن با توزیع نرمال به طور کامل مشخص است. برای روشن شدن اثر تفاوت توزیع این داده‌ها با توزیع نرمال، نمودار ستونی (به رنگ سرخ) داده‌های ساخته‌شده مشابه از نظر میانگین و انحراف معیار با نرم‌افزار MATLAB در شکل ۱ رسم شده است. مشاهده می‌شود که میانه داده‌های مشاهده‌ای ۲۱۴ تن در کیلومتر مربع و میانه داده‌های ساخته شده ۳۶۲ تن در کیلومترمربع و بسیار نزدیک به میانگین است.

1. Convenience sampling

جدول ۱- آماره‌های توصیفی فرسایش خاک و رسوبدهی سالانه در واحد سطح اندازه گیری شده.

ردیف	روش/محل اندازه‌گیری	متغیر	کمینه*	بیشینه	میانگین	میانه	تعداد	مرجع	توضیح‌ها
			(تن در کیلومتر مربع در سال)						
۱	کرت فرسایش	فرسایش	۰	۳۳۹۶	۱۳۱	۵	۲۹۱	(۲۲)	جمع‌آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۲	سزیم۱۳۷	فرسایش/نهشتگی	-۵۲۹۳۰	۲۷۸۰۱	۴۸۵	۱۵۱	۵۴۵	(۲۲)	جمع‌آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۳	سزیم۱۳۷	فرسایش	۰	۲۷۸۰۱	۴۵۴۸	۲۹۶۳	۳۸۲	(۲۲)	جمع‌آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۴	بندهای مخزنی (حوضه‌های کوچک)†	رسوبدهی کل	۱۰	۱۶۲۵	۲۰۸	۱۰۳	۳۷	(۲۲)	جمع‌آوری شده از ۴ مرجع مختلف
۵	بندهای مخزنی و مخازن اندازه‌گیری (حوضه‌های کوچک)††	رسوبدهی کل	۰/۰۵	۱۹۸۰	۲۳۹	۱۲۴	۷۴	(۲۳)	پروژه ملی پژوهشی در ۹ استان (اندازه‌گیری شده)
۶		رسوبدهی معلق	۴	۲۳۹۱	۳۵۸	۲۱۴	۲۰۹	(۲۱)	پروژه پژوهشی (منحنی سنجه رسوب حد وسط داده‌ها)
۷	ایستگاه‌های رسوب‌سنجی (حوضه‌های میانگین و بزرگ)†††	رسوبدهی معلق	۲	۳۷۱۴	۴۲۵	۲۹۱	۳۳۷	(۷)	جمع‌آوری شده از ۲۳ مرجع مختلف (منحنی سنجه رسوب با توجه به ضریب اصلاحی فائو)
۸		رسوبدهی کل	۴	۴۷۱۵	۶۰۸	۳۵۴	۲۰۶	(۲۲)	پروژه پژوهشی (بر اساس داده‌های ردیف ۶ و تخمین بار کف)
۹	سدهای مخزنی (حوضه‌های میانگین و بزرگ)††††	رسوبدهی کل	۷۰	۵۵۹۱	۱۲۷۱	۹۷۲	۲۷	(۲۲)	دریافت شده از وزارت نیرو (کف‌سنجی مخازن سدها)
۱۰	ردیف‌های ۵، ۸، ۹	رسوبدهی کل	۰/۰۵	۵۵۹۱	۵۷۷	۳۱۰	۳۰۷	-	-

* منفی بودن عدد، نشانه نهشتن مواد فرسایش یافته است. † مساحت ۳۰ تا ۲۵۲۶ هکتار، †† مساحت ۰/۱ تا ۲۸۴۱ هکتار، ††† مساحت ۲۷ تا ۴۹۸۰۷ کیلومتر مربع. †††† مساحت ۳۲ تا ۵۶۰۰۰ کیلومتر مربع.



شکل ۱- مقایسه توزیع واقعی داده‌های مشاهده‌ای رسوبدهی معلق کشور (ردیف ۶ جدول ۱) با داده مشابه از نظر میانگین و انحراف معیار ساخته شده با توزیع نرمال.

بررسی دیگر داده‌های فرسایش و رسوبدهی جدول ۱ نیز نشانگر چولگی مثبت آن‌هاست. مشاهده شد که بیش از ۹۵٪ کرت‌های فرسایش، بیش از ۷۰٪ نقاط اندازه‌گیری سزیم۱۳۷ و بیش از ۸۵٪ رسوبدهی ویژه کل حوضه‌ها (به ترتیب ردیف‌های ۱، ۳ و ۱۰ جدول ۱) ، در طبقه‌های اول و دوم فرسایش / رسوبدهی قرار گرفته‌اند که موید توزیع غیر نرمال داده‌های فرسایش خاک و رسوبدهی ویژه کل است. نرمال نبودن توزیع داده‌های فرسایش / رسوب در دیگر منبع‌ها نیز تاکید شده است (۳۷). در حالی‌که توزیع فراوانی داده‌های فرسایش و رسوبگذاری سزیم۱۳۷ (ردیف ۲ جدول ۱) به توزیع نرمال گرایش دارد. این موضوع نشانگر نهشته شدن بخش زیادی از فرسایش زمین‌های شیب‌دار در پای دامنه‌هاست.

به‌طور اصولی، برای توزیع‌هایی که خیلی نامتقارن هستند، میانه در مقایسه با میانگین، معیار معقول‌تری از گرایش به مرکز است. چه، وجود معدودی مشاهده خیلی بزرگ یا خیلی کوچک یا نقطه‌های پرت[1]، در میانه تاثیر ندارند (۴۱)، در حالی که وجود این گونه مقدارهای حدی در میانگین اثری چشمگیر دارد.

برای برآورد فرسایش خاک منطقه یا حوضه بر اساس اندازه‌گیری‌ها، اگر واحدهای همگن تفکیک شوند و در هر واحد همگن تعداد کافی نقطه اندازه‌گیری موجود باشد، می‌توان فرسایش را به صورت وزنی محاسبه کرد، اما استفاده از میانگین وزنی برحسب مساحت برای برآورد میانگین رسوبدهی حوضه‌های بزرگ یا منطقه‌های جغرافیایی گسترده مانند کشور یا بخشی از آن (۳۴)، منطقی نخواهد بود. برای نشان دادن پیچیدگی موضوع، مقایسه‌ای شد بین سه آماره تمایل به مرکز مشتمل بر میانگین، میانگین وزنی و میانه رسوبدهی ویژه معلق در سه حوضه بزرگ کشور که در جدول ۲ دیده می‌شود. در دو حوضه اترک و قزل‌اوزن، تعدادی قابل توجه از ایستگاه‌ها در امتداد رودخانه اصلی قرار گرفته‌اند. در حوضه دریاچه ارومیه، ایستگاه‌ها روی رودخانه‌هایی قرار دارندکه به صورت شعاعی از کوهستان به سمت دریاچه جریان دارند و به طور عمده مستقل از هم هستند.

1. Outliers

جدول ۲- مقایسه سه آماره تمایل به مرکز برای رسوبدهی معلق ویژه سه حوضه بزرگ ایران.

حوضه	مساحت اندازه‌گیری شده (کیلومتر مربع)	تعداد ایستگاه	رسوبدهی معلق ویژه حوضه (تن در کیلومتر مربع در سال)			بزرگترین حوضه دارای اندازه‌گیری	
			میانه	میانگین	میانگین وزنی	مساحت (کیلومتر مربع)	رسوبدهی ویژه (تن در کیلومتر مربع در سال)
ارومیه	۱۹۸۳۶	۳۰	۱۸۶	۲۵۶	۲۶۳	۷۶۰۹	۳۴۰
قزل اوزن	۴۹۸۰۷	۱۱	۱۸۵	۳۲۶	۴۷۵	۴۹۸۰۷	۷۳۷
اترک	۱۷۵۰۱	۷	۳۳۳	۵۲۳	۶۱۵	۱۷۵۰۱	۶۱۶

دیده می‌شود که در تمام موردها، میانگین وزنی بیشتر از میانگین و میانه است. در دو حوضه قزل‌اوزن و اترک، میانگین وزنی، به رسوبدهی انتهایی‌ترین ایستگاه در خروجی حوضه نزدیک‌تر است. می‌توان نتیجه گرفت که در این گونه حوضه‌ها، مقدار میانگین وزنی رسوبدهی تحت تاثیر رسوبدهی ایستگاه انتهایی قرار دارد. با توجه به توضیح‌های بالا در خصوص اثر چولگی بر میانگین در توزیع غیر نرمال، بیشتر بودن میانگین وزنی نسبت به میانگین، نشانه نامناسب‌تر بودن میانگین وزنی است. توضیح آنکه اصولا میانگین وزنی زمانی استفاده می‌شود که برخی از مقدارها در داده‌ها (مانند اثر درس‌ها با تعداد واحد بیشتر در محاسبه معدل) مهم‌تر از برخی دیگر باشند (۱). مشکل دیگر استفاده از مفهوم میانگین وزنی در بحث رسوبدهی، چند بار حساب شدن یک مساحت در حوضه‌های مشابه قزل‌اوزن و اترک است که اغلب ایستگاه‌ها در امتداد یک رودخانه اصلی قرار گرفته‌اند. استفاده چند باره از یک مساحت خردمندانه به نظر نمی‌رسد. با توجه به مجموعه استدلال‌ها می‌توان میانه را آماره برتر بیان‌کننده شاخص نقطه مرکزی در داده‌های فرسایش/رسوبدهی معرفی کرد.

واکاوی آمار فرسایش و رسوبدهی مشاهده‌ای

مطابق ردیف اول جدول ۱، میانه داده‌های کرت فرسایش بسیار کم در حد ۵ تن در کیلومتر مربع در سال است. بیشتر اندازه‌گیری‌های موجود در این کرت‌ها کوتاه‌مدت (از یک تا سه سال) هستند (۲۲). از آن‌جا که بخش عمده فرسایش منطقه‌های خشک و نیمه خشک به رگبارهای استثنایی مربوط است که به ندرت رخ می‌دهند (۲۰)، انتظار می‌رود که مقدار اندازه‌گیری شده بیشتر معرف رگبارهای کم‌شدت و معمولی باشد. از سوی دیگر، در کرت‌های فرسایش با کاربری مرتعی، به‌دلیل ایجاد شرایط قرق نسبی در بیشتر آن‌ها، مقدارهای به‌دست آمده می‌تواند معرف وضعیت فرسایش در شرایط سال‌های اول پس از توقف چرای بی‌رویه تفسیر شود.

بررسی داده‌های میانگین سالانه فرسایش حاصل از اندازه‌گیری در کرت‌های فرسایش (۱۳) در کاربری‌های جنگلی، مرتعی، و دیمزارها نشانگر مقدار کم فرسایش در حد زیر ۱۰۰ (و به ندرت تا حدود ۲۰۰) تن در کیلومتر مربع در سال است. فرسایش بسیار شدید ناشی از رگبار شدید در مزرعه دیم شیب‌دار شخم‌خورده در جهت شیب بالغ بر هزار تن در کیلومتر مربع (۱۷) و حتی حدود صد هزار تن در کیلومتر مربع (اندازه‌گیری مستقیم شیارها و خندق‌ها توسط آقای علی‌اکبر عباسی دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی) (شکل ۲) گزارش شده است. اندازه‌گیری‌های محدود در کرت‌های احداث شده روی مارن‌ها نشان از مقدار بسیار زیاد حتی تا ۳۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال دارد که نقش تعیین کننده سازندهای حساس به فرسایش در تولید رسوب را نشان می‌دهد (۲۲). مارن‌ها تشکیلات زمین‌شناسی

نامستحکم رسوبی با ترکیب اصلی ذره‌های تخریبی ریزدانه و آهک هستند که به دلیل‌های مختلف مانند وجود نمک‌ها و گچ، نوع رس، مقدار زیاد سیلت و شن خیلی ریز، فرسایش‌پذیری زیادی دارند (۳، ۳۶، ۴۳). مارن‌ها به‌طور معمول در منطقه‌های خشک و نیمه خشک، پوشش گیاهی مناسب ندارند و در برابر فرسایش حساس هستند (۳).

شکل ۲- فرسایش بسیار شدید در دیمزار شخم خورده (الف و پ) در خراسان شمالی پس از یک رگبار شدید. شبکه رسوبی در قسمت مرتع (ب) نیز قابل توجه است. (عکس از علی اکبر عباسی).

با مقایسه ساده بین ردیف‌های ۱و ۳ جدول ۱ مشخص می‌شود که اندازه‌گیری‌های فرسایش به روش سزیم۱۳۷ درکشور بسیار بیشتر از اندازه‌گیری‌های متناظر فرسایش کرت‌هاست. میانه داده‌های فرسایش حاصل از سزیم۱۳۷ (صفر و بیشتر؛ ردیف ۳ جدول ۱) ۲۹۶۳ تن در کیلومتر مربع در سال و میانه داده‌های فرسایش / نهشتگی (ردیف ۲ جدول ۱)، ۱۵۱ تن در کیلومتر مربع در سال است. وجود این همه اختلاف بین مقدار حاصل از دو روش یادشده، ضرورت بررسی‌های بیشتر را در این باره روشن می‌کند.

هر دو روش کرت فرسایش و سزیم۱۳۷، از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری فرسایش هستند. روش سزیم۱۳۷، مقدار فرسایش یا رسوب‌گذاری را به‌صورت اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای (نماینده سطحی بیشینه تا حدود یک متر مربع) ارائه می‌دهد. افزون بر این، فرسایش به‌دست آمده از این روش معرف وضعیت فرسایش درازمدت محل از زمان اوج ریزش اتمی در سال‌های ۱۹۶۰ میلادی تا زمان برداشتن نمونه خاک است (۴۰). بنابراین، عامل‌هایی چون باران‌ها و تگرگ‌های استثنایی با دوره بازگشت طولانی و دیگر عامل‌های جابه‌جایی خاک مانند فرسایش بادی و خاک‌ورزی نیز در برآورد بیشتر فرسایش به روش سزیم۱۳۷ موثر هستند.

اگرچه در پژوهش‌های اخیر برآورد فرسایش با رادیوایزوتوپ‌ها، از مدل‌های تناسبی و توازن جرمی استفاده می‌شود (۴۰)، در اغلب پژوهش‌های قدیمی‌تر کشور، سزیم۱۳۷ اندازه‌گیری شده براساس معادله‌های رگرسیونی ارائه شده در پژوهش ژانگ و همکاران[1](۵۳) تبدیل به شدت فرسایش شده‌اند. این معادله‌ها، بر پایه مقدار تلفات خاک اندازه‌گیری شده از سه کرت فرسایش در زمین‌های مجاور منطقه نمونه‌برداری (تشکیلات لسی حوضه رود زرد چین با بارشی حدود ۵۵۰ میلی‌متر در

1. Zhang *et al.*

سال) اعتبارسنجی شده‌اند (۵۳). بنابراین، دامنه اعتبار آن بسیار محدود است و می‌تواند در شرایط دیگر، پاسخ مناسبی ندهد. از سویی، موردهایی مانند انتخاب نامناسب محل‌های نمونه‌برداری، روش نامناسب نمونه‌برداری، برداشت تعداد ناکافی نمونه و وقوع دیگر ریزش‌های مربوط به فعالیت‌های اتمی مانند رویداد چرنوبیل نیز می‌تواند بر کاهش دقت مقدار برآورد شده بیفزاید (۵۲).

در مقابل، تلفات خاک، مقدار خاک فرسایش یافته‌ای است که در مخزن انتهای کرتی به‌طور عمده به مساحت یک متر مربع تا ۱۰۰ متر مربع اندازه‌گیری می‌شود. بدیهی است که تلفات اندازه‌گیری شده، همه فرسایش رُخ داده در سطح نیست و مقداری از ذره های کنده شده، در طول سطح، دوباره نهشته می‌شود. یکی از منبع‌های خطای کم برآورد کردن تلفات خاک در کرت‌های فرسایش، روش معمول نمونه‌گیری رسوب با بطری از مخزن (بشکه) انتهای کرت است که منجر به کم‌برآورد شدن تلفات خاک می‌شود. در یک بررسی تجربی، خطای کم‌برآورد کردن ناشی از نمونه‌برداری با بطری، تا یک سوم مقدار واقعی تعیین شده است (۳۳). افزون بر این، گاهی مقدار رسوب و رواناب جمع‌آوری شده در بشکه‌ها، به‌دلیل حضور نداشتن کارشناس و در موردهایی مانند بارندگی‌های شدید و استثنایی، بیشتر از گنجایش مخزن‌هاست و اندازه‌گیری نکردن رسوب در زمان مناسب، موجب سرریز شدن رسوب از بشکه می‌شود (۹). این مسئله نیز به کم‌برآورد شدن رقم‌ها کمک می‌کند. بنابراین به‌نظر می‌رسد مقدار تلفات خاک برآوردی در کرت‌ها باید تا چند برابر افزایش یابد. از سوی دیگر، ضرورت استفاده از فناوری‌های نوین در اندازه‌گیری رواناب و رسوب در مقیاس دامنه به‌طور کامل ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به آنچه در بالا گفته شد، به نظر می‌رسد میانگین فرسایش سطحی و شیاری در سطح کشور عددی بین چند برابر بزرگ‌تر از میانه فرسایش کرت‌ها (۵ تن در کیلومتر مربع در سال) تا میانه فرسایش/نهشتگی به روش سزیم ۱۳۷ (۱۵۱ تن در کیلومتر مربع در سال) باشد.

سهم انواع فرسایش آبی در رسوبدهی

به‌طور اصولی، مقدار اندازه‌گیری شده در کرت، معرف فرسایش‌های سطحی و شیاری از دامنه‌هاست و همراه با فرسایش ناشی از خندق‌ها، کنار رودخانه‌ها و حرکت‌های توده‌ای که انواع فرسایش عمیق نامیده می‌شوند در تولید رسوب رودخانه‌ها نقش دارد. از فزونی قابل توجه میانگین رسوب رودخانه‌ها نسبت به میانگین تلفات خاک کرت‌های فرسایش می‌توان نتیجه گرفت که فرسایش‌های بسیار شدید مارن‌ها و دیگر سازندهای حساس و انواع فرسایش عمیق نقش بیشتری در تولید رسوب دارند. بررسی‌های محدود منشایابی رسوب در ناحیه‌های نیمه‌خشک ایران (۱۲، ۲۴، ۳۰، ۳۱، ۴۲) حکایت از سهم ۵۹ تا ۹۹ درصدی فرسایش‌های عمقی در تامین رسوب معلق دارد. افزون بر بار کف که خود بیشتر مربوط به فرسایش‌های عمقی است، سهم فرسایش‌های سطحی کمتر نیز می‌شود.

خوشبختانه اطلاعات ارزشمندی از وضعیت فرسایش خندقی و حرکت‌های توده‌ای در ایران جمع‌آوری شده است. زمین‌های شناسایی شده زیر پوشش فرسایش خندقی در عرصه‌های بزرگ با مساحت بیشتر از ۵۰۰ هکتار در سطح کشور، ۱/۴۲ میلیون هکتار گزارش شده است (۴۶). این نوع فرسایش، از نظر فیزیوگرافی در دشت و فلات و تراس‌های فرسایش یافته (تپه ماهور) و از نظر کاربری، به‌طور عمده در مرتع‌های فقیر و زمین‌های دیم (۱۶) و از نظر آب و هوایی در سه اقلیم نیمه‌خشک، خشک و مدیترانه‌ای (۴۶) بیشترین گسترش را دارند. همچنین، ۲۸۴۴۳ مورد رخداد لغزشی در کشور شناسایی شده است (۲۷). بیشترین فراوانی رخدادها در دو محور البرز و زاگرس است. خاکبرداری‌ها و خاکریزی‌های گسترده در

فعالیت‌های عمرانی مانند جاده‌سازی، تغییر کاربری و زلزله از عامل‌های موثر بر تشدید حرکت‌های توده‌ای در ایران شناخته شده‌اند (۴).

در مورد فرسایش کناری رودخانه‌ها، اطلاعات جامعی از کشور در دسترس نیست، اما با توجه به وجود بیش از صد هزار کیلومتر رودخانه‌های دایمی و فصلی (۱۱) و چند برابر آن طول خشکه‌رودها، فرسایش کناره‌ها و جابه‌جایی عرضی آبراهه‌ها و مسیل‌ها می‌توانند در تولید رسوب نقش زیادی داشته باشند.

تغییرهای رسوبدهی از سرشاخه‌ها تا حوضه‌های بزرگ

مقایسه مقدار تولید رسوب حوضه‌های کوچک و بزرگ و آگاهی از تغییرهای روند رسوبدهی در امتداد رودخانه‌های اصلی یکی از مبحث‌های جذاب در واکاوی وضعیت رسوبدهی است. مقایسه میانه رسوبدهی ویژه کل حوضه‌ها (جدول ۱، ردیف‌های ۴، ۵، ۸ و ۹) نشان می‌دهد که بندها (سرشاخه‌ها) با کمی بیشتر از ۱۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال، کمترین و سدهای مخزنی بزرگ با ۹۷۲ تن در کیلومتر مربع در سال (بزرگترین حوضه‌های بررسی شده) بیشترین مقدار را دارند. ایستگاه‌های رسوب‌سنجی که مساحتی حد واسط دو دسته قبلی دارند از نظر رسوبدهی (۳۵۴ تن در کیلومتر مربع در سال) نیز در بینابین قرار گرفته‌اند. در شکل ۳، تغییرهای رسوبدهی معلق ۱۱ ایستگاه رسوب‌سنجی در حوضه قزل‌اوزن از سرشاخه‌ها تا محل ورود به سد سفید رود نمایش داده شده است که نشانگر روند عمومی افزایشی رسوبدهی معلق با بزرگتر شدن سطح حوضه دارد. این موضوع با برخی منابع علمی مانند والینگ[1] (۵۰) که رابطه رسوبدهی ویژه و مساحت را معکوس بیان کرده، تناقض دارد، اما افزایش رسوبدهی ویژه با بزرگ‌تر شدن مساحت حوضه، در عمده حوضه‌های کوهستانی ایران منطقی به نظر می‌رسد. کم بودن میانگین رسوبدهی در حوضه‌های کوچک تا حدی با توجه به وجود برون‌زدگی‌های سنگی و کم‌عمق بودن خاک منطقه‌های کوهستانی ایران قابل توجیه است (۲۵). با حرکت از سرشاخه به سمت پایین‌تر که مساحت حوضه‌ها نیز افزایش می‌یابد، تنوع سازندهای زمین‌شناسی مانند مارن که منطقه های تپه‌ماهوری را شکل می‌دهند بیشتر می‌شود. به‌طور کلی، ضخامت خاک‌ها به‌ویژه در منطقه های شیب‌دار تپه‌ماهوری بیشتر و شرایط برای پرداختن به فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری و احداث جاده و مانند آن‌ها مساعدتر است. به این ترتیب، در اثر تغییر کاربری‌ها و در کل به دلیل حضور و دستیازی انسان به طبیعت، فرسایش تشدید می‌شود. در این حالت، بنابر اصل اتصال رسوبی[2]، فاصله کم بین منشأ رسوبی[3] و مخزن[4] منجر به نهشتن مقدار قابل توجهی از رسوب در مخزن‌های سدها می‌شود (۳۵). نباید فراموش کرد که بنا به وضعیت زمین‌ساخت، در موردهایی نادر، وجود لایه‌های حساس به فرسایش در منطقه‌های بالادست نیز وجود دارد (مانند حوضه آیدوغموش در ایستگاه میانه) که به تولید رسوب زیاد در حوضه‌های کوچک‌تر و سرشاخه‌ها می‌انجامد.

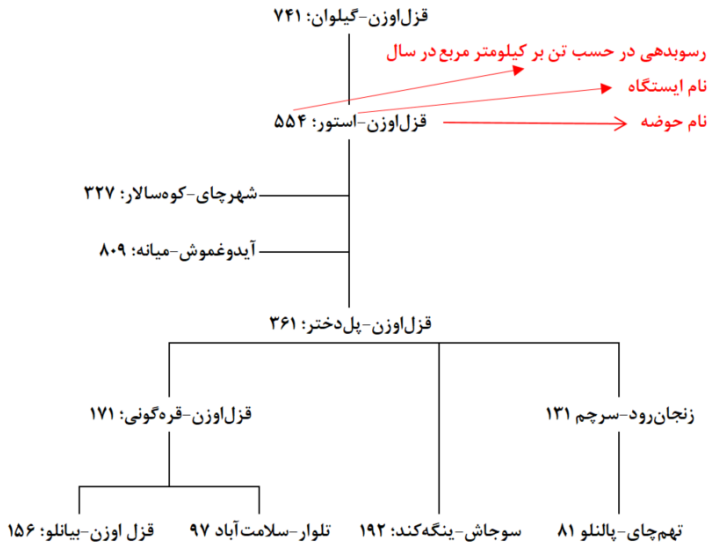
نکته‌ای که باید در واکاوی داده‌های شکل ۳ بدان توجه شود آن است که ساختگاه مناسب ساخت سد در منطقه‌های کوهستانی است و هیچ‌یک از ایستگاه‌های رسوب سنجی منتخب نیز پایین‌تر از سدهای مخزنی قرار نگرفته‌است. اگر سدها ساخته نمی‌شدند و رسوبدهی ایستگاه‌های روی رودخانه‌های دشتی (پایین‌تر از سدهای فعلی) نیز در محاسبه‌ها منظور می‌شدند، رسوبدهی ویژه کاسته می‌شد و در نتیجه مقدار رسوبدهی خروجی با بزرگ‌تر شدن مساحت حوضه کاهش می‌یافت. دلیل‌هایی که برای این موضوع می‌توان گفت عبارت‌اند از:

1. Walling 2. Sediment connectivity 3. Source 4. Sink

الف- خارج شدن جریان‌های گل‌آلود در زمان طغیان سیلاب از مقطع رودخانه که با نهشته شدن حجم عظیمی از رسوب‌ها در دشت‌ها همراه است (۳). باید توجه داشت که بیشترین مقدار رسوب منتقل شده در رودخانه‌ها مربوط به سیلاب‌هاست (۲۰) و در اصل، تشکیل مخروط‌افکنه‌ها و دشت‌های آبرفتی مربوط به رسوب‌گذاری در این زمان‌هاست.

ب- ظرفیت حمل رسوب تابعی از سرعت جریان و شیب رودخانه است (۴۹). بنابراین انتظار می‌رود با ورود رودخانه به دشت و تقلیل شیب، ظرفیت حمل رسوب کاهش یابد.

پ- ظرفیت حمل رسوب از مقدار جریان نیز تاثیر می‌پذیرد. در منطقه های خشک و فراخشک، تلفات بین‌راهی (۵) ناشی از نفوذ آب از بستر رودخانه‌های موقتی، موجب کاهش شدید مقدار جریان (با تغذیه آبخوان) می‌شود. با کاهش مقدار جریان در امتداد رودخانه‌ای طویل، ظرفیت حمل رسوب کاهش می‌یابد و بخشی از ذره‌های رسوبی نهشته می‌شود.



شکل ۳- تغییرهای رسوبدهی معلق در حوضه قزل اوزن از سرشاخه‌ها تا محل سد سفیدرود.

برآوردهای موجود از فرسایش آبی ایران

برآورد مقدار کل فرسایش خاک کشور مورد توجه بسیاری از افراد و دستگاه‌های اجرایی است و ارائه آن در برخی از اسناد و گزارش‌های ملی و بین‌المللی ضرورت دارد. چنین برآوردهایی اثر تمام انواع فرسایش اعم از سطحی، خندقی، کنار رودخانه‌ای و حرکت‌های توده‌ای را در بر می‌گیرد. نگاهی به مستندها و گزارش‌های موجود نشانگر پراکندگی زیاد در بین برآوردهای فرسایش خاک کشور دارد که برخی از آن‌ها در زیر گردآوری شده است.

- حدود یک میلیارد تن در سال (۱۵، ۲۱، ۲۶).
- ششصد و نود تن در کیلومتر مربع در سال معادل ۹۷۵ میلیون تن در سال (۸)، با استفاده از نقشه فرسایش ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با مدل EPM[1] کمی ساده شده.

1. Erosion potential method

- ششصد تن در کیلومتر مربع در سال معادل یک میلیارد تن در سال و ۳۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال معادل پنج میلیارد تن در سال، به‌ترتیب براساس کمینه‌ها و بیشنه‌های طبقه‌های نقشه فرسایش۱:۵۰۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط یونسکو با همکاری فائو و برنامه عمران سازمان ملل در سال ۱۹۸۰ با مدل USLE ساده شده (برآورد شده بر اساس ۱۷).
- سه و نیم میلیارد تن در سال (۴۴، به نقل از معاونت آبخیزداری).
- سه تا چهار میلیارد تن در سال (۲۸، به نقل از برآورد یونسکو با همکاری فائو و برنامه عمران سازمان ملل در سال ۱۹۸۰).
- میانگین وزنی ۱۶۴۵ تن در کیلومتر مربع در سال معادل دو میلیارد تن در سال از سطح ۱۲۵ میلیون هکتار در معرض فرسایش آبی (۳۲).
- دو هفتادو پنج صدم میلیارد تن در سال (۳).
- پانصد و پنجاه تن در کیلومتر مربع در سال معادل ۸۹۵ میلیون تن در سال فرسایش (۲۲) بر اساس اعتبارسنجی برآورد جعفری‌اردکانی و بیات (۸) با رسوبدهی مشاهده‌ای در ۲۷۶ حوضه دارای آمار رسوبدهی در هشت منطقه جغرافیایی همگن.
- میانگین وزنی ۱۶۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال معادل دو میلیارد تن در سال فرسایش از سطح ۱۲۵ میلیون هکتار در معرض فرسایش آبی (۳۴) بر اساس اعتبارسنجی برآورد جعفری‌اردکانی و بیات (۸) با رسوبدهی مشاهده‌ای در ۱۱۸ حوضه دارای آمار رسوبدهی.

مهم‌ترین دلیل اختلاف در برآوردهای موجود، ضعف روش‌های به کار رفته مشتمل بر کارشناسی بودن اغلب آن‌ها، تعمیم اندازه‌گیری‌های بخشی به نسبت کوچک از کشور به دیگر بخش‌ها و استفاده از روش‌ها و مدل‌های واسنجی نشده (مانند مدل USLE ساده شده و EPM ساده شده) است. این گونه اختلاف‌ها در برآوردهای جهانی نیز دیده می‌شود. برای نمونه، تریمبل و کراسون[1] (۴۷) تلفات خاک زمین‌های زیر کشت آمریکا را از هفت مرجع مختلف بین دو تا ۶/۸ میلیارد تن در سال نقل کرده‌اند که تفاوتی بالغ بر سه برابر را نشان می‌دهد. نمونه‌ای دیگر، والینگ و وب[2] (۵۱)، ۱۵ برآورد مختلف از مقدار رسوب حمل شده به اقیانوس‌ها را بین ۸/۳ و ۵۱/۱ میلیارد تن در سال، شش برابر اختلاف، گزارش کرده‌اند.

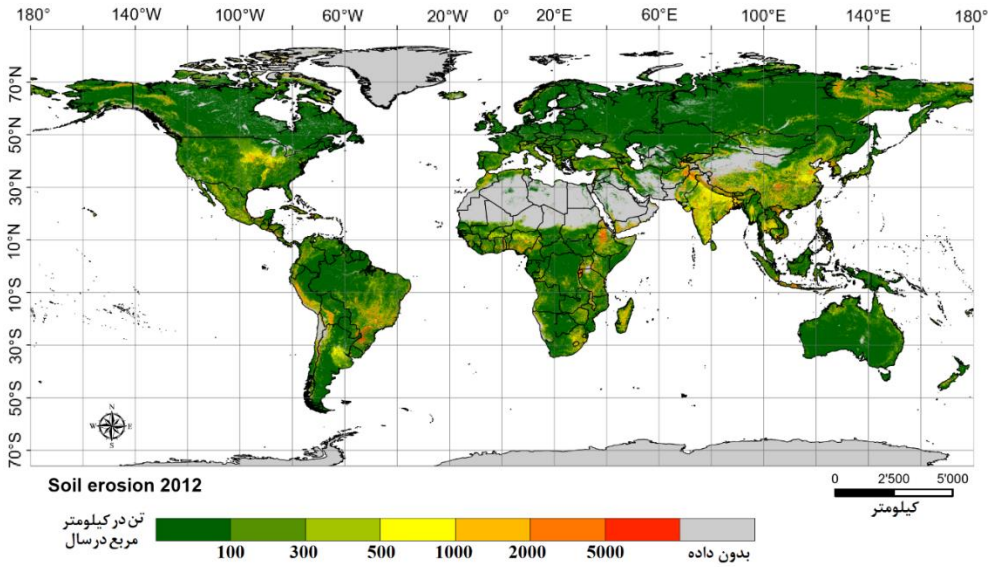
مقایسه فرسایش و رسوبدهی ایران و جهان

با جستجوی ساده در تارنماها، انبوهی از گزارش‌ها و مصاحبه مسئولان کشوری در باره بحرانی بودن وضعیت فرسایش خاک مشاهده می‌شود که در آن‌ها بارها به چند برابر بودن فرسایش ایران، در مقایسه با منطقه‌های دیگر جهان اشاره شده است. در برخی از مقاله‌ها و گزارش‌های منتشر شده نیز بدون استناد به منبع‌های معتبر به این موضوع اشاره شده است (۱۰، ۲۹).

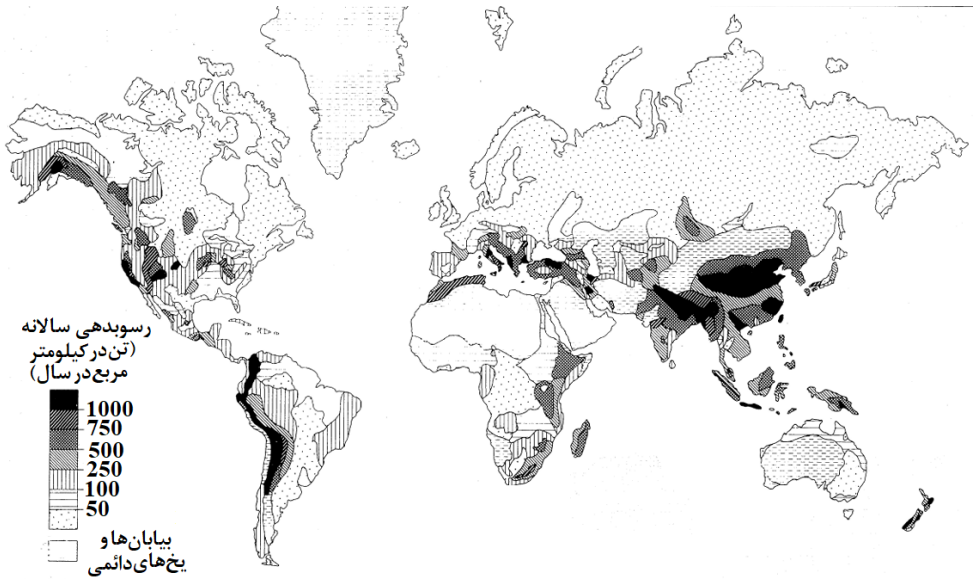
برای بررسی درست بودن این موضوع، بدون در نظر گرفتن مقدار مطلق فرسایش، لازم است مقدار فرسایش کشور ایران به‌طور نسبی با دیگر منطقه‌های جهان مقایسه شود. شکل ۴ نقشه فرسایش خاک جهانی (۳۵) تهیه شده با مدل RUSLE را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه، بیشترین مقدار فرسایش آبی به صورت لکه‌های قرمز و زرد در جنوب شرق آسیا، غرب و شرق میانه آمریکای جنوبی، شرق میانه آفریقا و بخش‌هایی از مرکز آمریکای شمالی مشاهده می‌شود. بررسی الگوی طبقه‌های فرسایش در شکل ۴ نشان می‌دهد که مقدار فرسایش در ایران مشابه کشورهای همجوار مانند ترکیه و عراق و بسیار کمتر از جنوب شرق آسیاست.

1. Trimble and Crosson
2. Walling and Webb

در شکل ۵ نیز نقشه جهانی رسوبدهی معلق تهیه شده توسط والینگ و وب (۵۱) مشاهده می‌شود که کم و بیش الگویی مشابه با نقشه جهانی فرسایش نشان می‌دهد. در این نقشه، شدت رسوبدهی در جنوب آسیا و منطقه‌هایی از غرب آمریکای جنوبی بیش از ۱۰۰۰ تن در کیلومتر مربع درسال تخمین زده شده است. بررسی منطقه مدیترانه در شکل ۵ نشانگر تشابه الگوی طبقه‌های شدت رسوبدهی غرب و شمال‌غربی ایران با ترکیه و ایتالیاست.



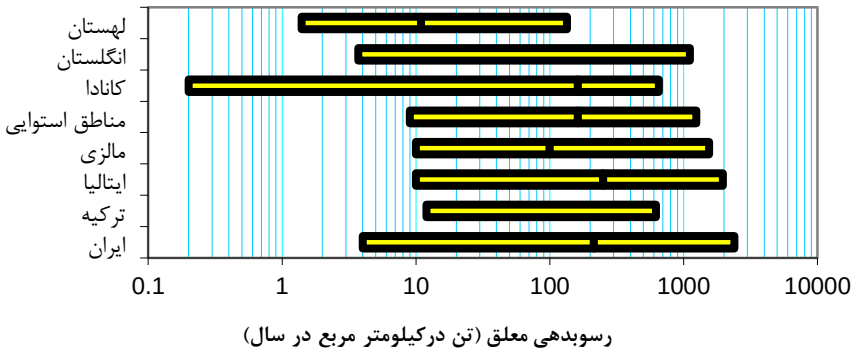
شکل ۴- نقشه فرسایش جهانی با استفاده از مدل RUSLE (۳۸).



شکل ۵- نقشه جهانی تولید رسوب معلق (۵۱).

در شکل ۶ دامنه و میانه رسوبدهی چند کشور و یک منطقه جغرافیایی با یکدیگر مقایسه شده است. هر یک از نوارها در این شکل، بر اساس داده‌های کمی رسوبدهی ۳۰ رودخانه رسم شده است و سه سنجه کمینه، بیشینه و میانه رسوبدهی را نشان می‌دهد. در گزارش رسوبدهی انگلستان، فقط مقدار کمینه و بیشینه و در گزارش ترکیه، میانگین کمینه و میانگین

بیشینه منطقه‌های جغرافیایی ارائه شده است. نگاهی ساده به شکل ۶ نشان می‌دهد که رسوبدهی رودخانه‌های هر کشور دامنه بسیار گسترده‌ای دارد که نشانه تنوع شرایط در هر کشور یا منطقه جغرافیایی است. مقایسه میانه محل‌های مختلف نشانگر شباهت برخی از کشورها است. برای نمونه میانه رسوبدهی ایران و ایتالیا خیلی به هم نزدیک است و به‌تقریب یک و نیم برابر از میانه رسوبدهی کانادا و منطقه‌های استوایی، دو و نیم برابر از میانه رسوبدهی مالزی و چند برابر از میانه رسوبدهی لهستان بیشتر است. ناگفته نماند که میانه رسوبدهی رودخانه‌های چند کشور دیگر مانند تایوان و نیوزیلند، بسیار بیشتر از میانه رسوبدهی رودخانه‌های ایران است که به‌دلیل تعداد کمتر از ۳۰ در شکل ۶ نشان داده نشده است. تفاوت میانه رسوبدهی کشورها در شکل ۶ با اختلاف آن‌ها در نقشه‌های شدت فرسایش (شکل ۴) و رسوبدهی (شکل ۵) مطابقت بسیار زیادی دارد.



شکل ۶- مقایسه دامنه و میانه رسوبدهی چند کشور و یک منطقه.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله با اتکا به داده‌های اندازه‌گیری شده و پژوهش‌های گذشته، وضعیت فرسایش و تولید رسوب ایران واکاوی شد. باور مبنی بر فزونی فرسایش خاک و رسوبدهی رودخانه‌های ایران، نسبت به آسیا و جهان، نقد گردید و نشان داده شد که وضعیت ایران مشابه وضعیت کشورهای همجوار است و منطقه‌هایی با وضعیت بحرانی‌تر از ایران در سطح جهان وجود دارند. اگرچه با اطمینان نمی‌توان رقمی قطعی برای کل فرسایش آبی کشور گفت، با در نظر گرفتن برآوردهای مختلف از یک‌سو و قیاس کیفی وضعیت ایران در نقشه‌های جهانی فرسایش و تولید رسوب ایران، مقداری حدود یک میلیارد تن در سال منطقی‌تر به نظر می‌رسد. با این همه، به‌دلیل تصادفی نبودن داده‌های گردآوری شده، امکان واکاوی احتمالاتی آمار و محاسبه حدود اعتماد این برآورد وجود ندارد. با توجه به مشاهده‌ها و داده‌های میدانی و بررسی‌های محدود منشایابی رسوب، سهم فرسایش‌های عمیق مشتمل بر فرسایش خندقی، حرکت‌های توده‌ای، فرسایش کناری و فرسایش سازندهای حساس به فرسایش در تولید رسوب بیشتر از فرسایش‌های سطحی و شیاری تعیین شد. از این میان، بررسی‌های بسیار محدودی در اهمیت فرسایش کناری، در مقایسه با دیگر منابع تولید رسوب، وجود دارد که نیاز به بررسی‌های بیشتر را در این باره روشن می‌کند.

از برآورد یک میلیارد تن فرسایش سالانه با میانگین حدود ۶۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال نباید برداشت شود که وضعیت فرسایش ایران بحرانی نیست. زیرا مقدار فرسایش آبی در دامنه‌های زاگرس و البرز که پرباران‌تر و پرشیب‌تر هستند

بیشتر از فرسایش در منطقه‌های خشک داخلی مثل کویر لوت و کویر نمک است. افزون بر این، خاکسازی طبیعی نمی‌تواند جبران کننده این مقدار فرسایش باشد.

برای ارزیابی دقیق فرسایش خاک کشور، پایش طولانی‌مدت آن در گستره ملی یک ضرورت است. این موضوع به برنامه‌ریزی و تامین اعتبار کافی در قالب ردیف بودجه ویژه با هماهنگی سازمان برنامه و بودجه نیاز دارد. با توجه به داده‌های ثبت شده، می‌توان مدل‌های موجود فرسایش را واسنجی و بومی سازی کرد یا مدل‌هایی جدید ابداع کرد که از آن‌ها برای تعمیم اندازه‌گیری‌ها به دیگر نقطه‌های کشور استفاده شود.

سپاسگزاری

پیشنهادهای اصلاحی آقای دکتر حسین اسدی، داوران و ویراستار مجله، سطح علمی و نگارشی مقاله را بهبود بخشید. صمیمانه از یکایک این عزیزان سپاسگزارم.

منابع

۱- آلدر، اچ. ال. و ای. بی. راسلر. ۱۳۹۲. مقدمه‌ای بر احتمالات و آمار. مترجم: ع.ع. زالی و ج. جعفری شبستری، دانشگاه تهران، چاپ نهم ۵۰۹ صفحه.

۲- ابراهیمی گسکریی، ر. ۱۳۷۸. بررسی هدررفت عناصر غذایی پرمصرف N-P-K در اثر فرسایش خاک سطحی (اندازه‌گیری با رادیوایزوتوپ سزیم۱۳۷) در چای‌کاری‌های شرق استان گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس ۲۶۳ صفحه.

۳- احمدی، ح. ۱۳۹۵. ژئومورفولوژی کاربردی: فرسایش آبی (جلد ۱). دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۶۸۸ صفحه.

۴- امامی. ن.، ج. غیومیان، ا.ح. چرخابی و ر. رئیسیان. ۱۳۸۵. بررسی علل زمین لغزش افسرآباد به منظور پیشنهاد گزینه‌های مناسب جهت تثبیت. گزارش‌نهایی طرح پژوهشی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۲ صفحه

۵- تلوری، ع. ۱۳۷۵. برآورد تلفات بین راهی در یک حوزه آبخیز در منطقه خشک نیوسات ولز استرالیا. پژوهش و سازندگی ۲۷:۳۵-۴۱.

۶- تماب (مرکز تحقیقات منابع آب). ۱۳۷۶. بانک اطلاعات رسوب. بولتن وضعیت منابع آب کشور۱۹۰-۱۵:۱۷۵.

۷- جاماب (شرکت مهندسین مشاور). ۱۳۷۸. گزارش حوزه‌های آبریز. طرح جامع آب کشور. وزارت نیرو.

۸- جعفری‌اردکانی، ع. و ر. بیات. ۱۳۹۱. بررسی وضعیت فرسایش و تولید رسوب و اولویت بندی آن در کشور. مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. خرم‌آباد. ایران.

۹- جعفری‌اردکانی، ع.، ا. پرتوی، ح.ر. پیروان و ج. قدوسی. ۱۳۸۲. تأثیر گچ در شیب‌های مختلف بر روی آب‌دوی و فرسایش خاک‌های ناپایدار. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ۵۴ صفحه.

۱۰- چرخابی، ا.ح. ۱۳۸۸. برنامه راهبردی شناخت عوامل موثر بر فرسایش و رسوب. گزارش نهایی طرح پژوهشی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۱۱- حبیبی، م.، م. صانعی، پ. روزخش، س.ا. حسینی و م.ه. داودی. ۱۳۸۸. برنامه راهبردی تحقیقات مدیریت و حفاظت آبراهه‌ها و مسیل‌ها. گزارش نهایی طرح پژوهشی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۱۲- حکیم‌خانی، ش.، م. عرب‌خدری و ف. ایران‌منش. ۱۳۸۸. بررسی روش کمی استفاده از ردیاب‌ها در منشأیابی رسوبات آبی ریزدانه در حوضه ایستگاه پخش سیلاب پلدشت. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ۶۷ صفحه.

۱۳- خواجوی، ا.، م. عرب‌خدری، م.ح. مهدیان و ص. شادفر. ۱۳۹۴. بررسی مقادیر فرسایش و تلفات خاک در سطح کشور با استفاده از ارقام اندازه‌گیری شده روش سزیم ۱۳۷ و پلات‌های آزمایشی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ۶(۱۱):۱۳۷-۱۵۱.

۱۴- دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا. ۱۳۹۸. تدوین نقشه راه مطالعات پایه منابع آب کشور، گزارش نهایی پروژه پژوهشی موسسه تحقیقات آب.

۱۵- روزی‌طلب، م.ح. ۱۳۶۹. ویژگی‌های عمومی خاک‌های ایران. نگرشی بر استعداد تولیدی و محدودیت‌های آن. دانشمند ۲۸(۴۳):۱۸-۲۶.

۱۶- شادفر، ص.، م. صوفی، م. عرب‌خدری و س. نبی‌پی لشکریان. ۱۳۹۵. جمع‌بندی پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با فرسایش خندقی. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۱۷- شاهویی، ص. ۱۳۶۸. بررسی فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوئین و تعمیم نتایج در تهیه نقشه فرسایش خاک آبخیز سرشاخه ملارود. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه.

۱۸- عرب‌خدری، م. ۱۳۸۴. بررسی رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۶۱-۵۱:۲.

۱۹- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۳. مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. ترویج و توسعه آبخیزداری ۳۰-۲۳:(۴)۲.

۲۰- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۴. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد بارندگی. ترویج و توسعه آبخیزداری ۱۱-۷:۱۵.

۲۱- عرب‌خدری، م.، ع.و. خوجینی، ش. حکیم‌خانی، ا.ح چرخابی و ع. تلوری. ۱۳۸۸. برآورد رسوب‌دهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۵ صفحه.

۲۲- عرب‌خدری، م.، ص. شادفر و ر. سکوتی اسکوئی. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۲۳- عرب‌خدری، م.، س. نبی‌پی لشکریان، ص. شادفر و د. نیک‌کامی. ۱۳۹۶. واسنجی مدل‌های تجربی برآورد رسوبدهی از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در ایران. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۲۴- علی‌دوست ا.، ح. اسدی، ن. پیرولی بیرانوند و ع. موسوی. ۱۳۹۱. کاربرد روش انگشت‌نگاری چندپارامتری به منظور منشایابی رسوبات (مطالعه موردی در غرب استان گیلان). تحقیقات آب و خاک ایران ۲۹۵-۲۸۹:(۴)۴۳.

۲۵- فاموری، ج. و ام.ال. دوان. ۱۳۵۸. خاک‌های ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۲۴۰، ۳۸۳ صفحه.

۲۶- فیروز نخجوانی، ف. ۱۳۵۱. مبارزه با فرسایش و اصلاح آبخیزها. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۳۵۱، ۳۶۸ صفحه.

۲۷- کاردان، ر.، م. قبادی، و ر. میرصانعی. ۱۳۸۶. زمین‌لغزش‌های کشور مبتنی بر عکس‌های هوائی. پنجمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی کشور، تهران، دانشگاه تربیت معلم.

۲۸- مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۱۳۸۱. گزارش هم‌اندیشی آب و کشاورزی. همایش چالش‌ها و چشم‌اندازهای توسعه ایران، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، وابسته به سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۲۸-۴۶ تا ۲۸-۴۹.

۲۹- موسوی، س.ح. ۱۳۹۶. برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز شاهرود - میامی با استفاده از مدل SLEMSA و تکنیک GIS. آمایش جغرافیایی فضا ۳۳-۱۵:(۲۴)۷.

۳۰- نصرتی، ک. ۱۳۹۰. تأثیر فرسایش آبی و کاربری اراضی بر ذخیره کربن آلی و نیتروژن خاک. پژوهش‌های فرسایش محیطی ۱۴۰-۱۲۷:۳.

۳۱- نصرتی، ک.، ح. احمدی و ف. شریفی. ۱۳۹۱. منشأیابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت های آنزیمی خاک و رسوب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۲۳۷-۲۲۷:۶۰.

۳۲- نیک‌کامی، د. ۱۳۸۸. برنامه راهبردی حفاظت خاک. گزارش نهایی طرح پژوهشی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۳۳- نیک‌کامی، د.، م.، عرب‌خدری، پ.، رزم‌جو و م.، احرار. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت تعلیق رسوب در مخازن کرت‌های فرسایش و تعیین دقت نمونه‌برداری از آن‌ها. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۱ صفحه.

۳۴- نیک‌کامی، د. و ص. شادفر. ۱۴۰۰. تهیه نقشه فرسایش خاک در حوضه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی کشور. مهندسی و مدیریت آبخیز ۴۹۶-۴۷۹:(۲)۱۳.

35. Arabkhedri, M., K. Heidary and M.R. Parsamehr. 2021. Relationship of sediment yield to connectivity index in small watersheds with similar erosion potentials. J. Soils Sediment. 21: 2699–2708.
36. Arabkhedri, M., M. Mahmoodabadi, S.Taghizadeh, and A. Zoratipour. 2018. Causes of severe erosion in a clayey soil under rainfall and inflow simulation. Ecopersia 6(4):225-233.
37. Boardman, J. 1998. An average soil erosion rate in Europe: Myth or reality? J. Soil Water Conserv. 53(1):46-50.
38. Borrelli, P., D.A. Robinson, L.R. Fleischer, et al. 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nat. Commun. 8: 2013. Retrieved from: https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7.
39. Dobos, E., F. Carré, T. Hengl, H.I. Reuter and G. Tóth. 2006. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
40. Gharibreza, M., M. Zaman, P. Porto P, E. Fulajtar, L. Parsaei and H. Eisaei. 2020. Assessment of deforestation impact on soil erosion in loess formation using 137Cs method (case study: Golestan Province, Iran). International Soil and Water Conservation Research, 8(4): 393-405.
41. Johnson, R.A., and G.K. Bhattacharyya. 2006. Statistics: Principles and Methods. John Wiley and Sons. 4th Edition, 736 p.
42. Nazari Samani, A., R.J. Wasson and A. Malekian. 2011. Application of multiple sediment fingerprinting techniques to determine the sediment source contribution of gully erosion: Review and case study from Boushehr province, Southwestern Iran. Prog. Physic. Geograp. 35(3):375-391.
43. Shaban, M., S. Feiznia, H. Ahmadi and H.R. Peyrowan. 2013. Categorization of Marl units with new method and investigation of sediment and runoff under field rainfall simulator: A case study of Taleghan watershed, Iran. Aust. J. Basic. Appl. Sci. 7(1):312-9.
44. Sharifi, F. and S.A. Heydarian. 1999. On the land and water resources management (LWR) strategies in Iran. In: N. Talebbeydokhti, A. Telvari and S.A. Heydarian. (eds.). The Regional Workshop on Traditional Water Harvesting System. Tehran, Iran, pp. 237- 255.

45. Shepherd, K.D., G. Shepherd and M.G. Walsh. 2015. Land health surveillance and response: A framework for evidence-informed land management, Agr. Sys. 132:93-106.
46. Soufi, M., R. Bayat and A.H. Charkhabi. 2021. Gully Erosion in I. R. Iran: Characteristics, Processes, Causes, and Land Use. In: Shit P.K. *et al.* (eds.), Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions, Advances in Science, Technology and Innovation, 357-368. Retrieved from: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_23
47. Trimble S.W. and P. Crosson. 2000. Land use: U.S. soil erosion rates-myth and reality. Science, 289:248-250.
48. Valerio, M.A., N. Rodriguez, P. Winkler, J. Lopez, M. Dennison, Y. Liang. and B.J. Turner. 2016. Comparing two sampling methods to engage hard-to-reach communities in research priority setting. BMC Medical Research Methodology, 16:146.
49. Vanoni, V.A. (Ed.). 2006. Sedimentation engineering. A.S.C.E.418p.
50. Walling D.E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal, R. (Ed), Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society. 39-73.
51. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1996. Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium). IAHS Publ.no. 236.
52. Walling, D.E. and A.L. Collins. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. Environmental Science and Policy, 11(1):136–43.
53. Zhang, X., D.L. Higgitt and D.E. Walling. 1990. A preliminary assessment of the potential for using Cs-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. J. Hydrol. Sci. 35:243-252.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 6(2):139-156 (2021)

Water Erosion and Sediment Production Status in Iran: Statistical and Comparative Analyses

M. Arabkhedri[1,2]

The erosion data collected by plots and Cs137 methods as well as gauged river sediment yields (about 1000 places countrywide) were studied. Due to the large differences in the range of recorded data within each method and between the methods and the limited data compared to the large size and diversity of the country, it was necessary to find a suitable technique for scientific interpretation of these results. The median was selected as the most appropriate erosion/sedimentation measure of center. The median sediment yield rate of the measuring sites, which are mainly located in the mountainous areas of the country, was estimated at 336 t/km^2/y. Using EPM estimates corrected by the observed sediment yield data, the country's total annual erosion is approximately 900 million tonnes (550 t/km^2). Whereas, soil losses of about 300 plots in the rangelands, forests and drylands are often much less than 100 t/km^2/y. In contrast, up to about 3,500 t/km2/y were measured on marl formations. Due to the large differences between erosion in plots and river sediment yields, it is likely that sensitive formations, dryfarming, gullies, landslides and streambank erosion have a greater role in sediment production. Limited sediment source studies also confirm the greater contribution of deep erosion features. Finally, by examining worldwide erosion/sediment yield maps and some global data, it was shown that despite the presence of erosion hot spots and basins with high sediment production in Iran, there are areas with much more critical conditions in Asia and the world.

Keywords: Gauging data, Sediment yield, Soil loss, Statistical methods.

1. Corresponding author, Email: arabkhedri@scwmri.ac.ir
2. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran.