

مقدمه

تجدیدپذیری خاک به عنوان یک منبع طبیعی در مقایسه با مرتع و جنگل بسیار کند است. زیرا تشکیل هر سانتی متر خاک صدها سال زمان نیاز دارد [۱۹]. شرایط اقلیمی و طبیعی ایران از یک سو و عدم استفاده صحیح از زمین از سوی دیگر، پیامدهای مختلف از قبیل انواع تخریب اراضی و به ویژه فرسایش تشدید یافته خاک و تولید رسوب را در پی داشته است [۱۵]. خسارت های فرسایش بسیار زیاد و متنوع است. مهم ترین خسارت بر جای^۲ فرسایش، کاهش کیفیت و توان تولید خاک می باشد (به دلیل هدررفت مواد آلی و عناصر تغذیه ای خاک، تخریب فیزیکی و کاهش ظرفیت رطوبتی خاک) که به نوبه خود موجب کاهش تولیدات کشاورزی و منابع طبیعی و کاهش کیفیت محصولات نیز می شود [۱۹]. خسارت های اقتصادی و جانی مربوط به انواع فرسایش عمیق خاک از قبیل آبکندی، کنار رودخانه ای و رانش زمین نیز نباید فراموش شود. خسارت فرسایش محدود به محل وقوع نیست. رسوبات معلق علاوه بر گل آلود کردن منابع آب و یا غبار آلود کردن هوا، در انتقال مواد آلاینده نقشی اساسی دارند. رسوب گذاری مواد حمل شده توسط آب یا باد در سطح اراضی، معابر، آبراهه ها، شبکه های آبیاری، مخازن سدها، بنادر و کاهش ظرفیت منابع آبی نیز زیان های فراوانی را در خارج از محل^۳ فرسایش سبب می گردد [۶]. به دلیل گستره و تنوع خسارت ها، فرسایش خاک، یکی از بحرانی ترین خطرات زیست محیطی دنیای امروزی معرفی شده است [۱۴].

مشکلات برآورد فرسایش

به رغم این اهمیت گسترده و غالب بودن فرسایش آبی در بیش از ۱۲۰ میلیون هکتار از مناطق کوهستانی کشور و دشت های بین آن ها، در مورد مقدار فرسایش خاک کشور نظر واحدی وجود ندارد. برآوردهای مختلفی از یک تا پنج میلیارد تن در سال به صورت کارشناسی توسط افراد و دستگاه های ذی ربط ارائه شده است [۲] که نشانه پراکندگی آراء کارشناسی در این زمینه است. اختلاف نظر در مقدار فرسایش محدود به برآورد کشوری نیست و در سطوح کوچک در حد کرت فرسایش و بزرگ تر نظیر آبخیز رودخانه ها نیز دیده می شود.

چند دلیل عمده برای این اختلاف نظر وجود دارد. یکی این که،

مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران

محمود عرب خدری^۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۲۱

چکیده

به رغم سابقه نسبتاً طولانی مطالعات فرسایش و رسوب در سطح ایران، اختلاف زیادی در میان برآوردهای موجود دیده می شود. به منظور رسیدن به دیدگاهی واحد و ارائه تصویری از شدت و میزان فرسایش آبی و نرخ تولید رسوب کشور، داده های موجود مشتمل بر الف) نتایج کاربرد مدل های فرسایش در سطح ملی، ب) اندازه گیری های تلفات خاک در کرت ها، ج) تخمین فرسایش با سزیوم ۱۳۷، د) بار معلق در محل ایستگاه های رسوب سنجی، ه) نسبت بار کف به معلق و و) منشأیابی رسوب در حوضه های منتخب مورد تحلیل قرار گرفت. بررسی ها نشان داد که مقدار فرسایش و رسوب دهی معلق ویژه سطح کشور به ترتیب حدود دو و شش تن در هکتار در سال می باشد. این مقدار با توجه به خشک بودن اقلیم بخش قابل توجهی از ایران منطقی است. پژوهش های محدود موجود نشان داد که سهم فرسایش سطحی (بین شیار و شیار) در تولید رسوب تقریباً نصف فرسایش های عمقی (آبکندی، رانش زمین و کناری رودخانه) است. بررسی داده ها حاکی از افزایش رسوب دهی ویژه با افزایش مساحت حوزه تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع است و در حوزه های بزرگتر رسوب دهی ویژه روند نزولی نشان می دهد. بدیهی است که این تخمین ها اولیه بوده و هنوز راه درازی برای رسیدن به تخمین های دقیق تر باقی است.

واژه های کلیدی: میزان فرسایش، میزان رسوب دهی، سهم اشکال فرسایش، ایران

1- Accelerated erosion
 2- On-site impacts
 3- Off-site impacts

۱ - عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران. ص.پ. arabkhedri@scwmri.ac.ir پست الکترونیک: ۱۳۴۴۵-۱۱۳۶

جدول ۱- درصد مساحت واحدهای شدت فرسایش نقشه فائو در سطح ایران [۲۳]

شدت فرسایش (t/ha)	>۱۰	۱۰-۵۰	۵۰-۲۰۰	<۲۰۰	سایر
مساحت (درصد)	۴۸/۹	۴۰	۴	۰/۰۱۵	۷/۱۳

و کمترین نرخ فرسایش متوسط حوضه های مذکور را به ترتیب در حدود ۵۸ و ۱۸ تن در هکتار در سال به دست آوردند.

دومین برآورد سراسری، از کاربرد مدل EPM^3 (که محاسبه عوامل آن تا حدی ساده شده) به صورت مدیریت یکپارچه در قالب طرح سیمای فرسایش حوزه های آبخیز کشور به دست آمده است که حاکی از فرسایشی قریب یک میلیارد تن در سال از سطح کشور و یا به طور متوسط ۶ تن در هکتار در سال است [۲۱]. مقدار فرسایش به دست آمده با این مدل نزدیک به برآورد حداقل روش اول است. در مطالعه اخیر، مقدار فرسایش متوسط برای حوضه های رده ۴ (با تقسیم بندی تمام) از ۰/۰۵ تا ۲۹ مترمکعب در هکتار در سال برآورد شده است. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری [۲۲] با تکیه بر مقادیر مشاهده ای از رسوب دهی ایستگاه های هیدرومتری [۲]. نسبت به اصلاح برآوردهای به دست آمده از مدل EPM اقدام نمود. به رغم تغییر در برآورد فرسایش زیرحوضه ها، در مقدار برآورد کشوری تفاوت قابل ملاحظه ای به دست نیامد. مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل ها، مربوط به تمام اشکال فرسایش اعم از سطحی، آبکندی، کنار رودخانه ای و حرکت های توده ای است.

متوسط فرسایش و رسوب براساس اندازه گیری های مستقیم

اگر داده های طولانی مدت و مداوم از فرسایش/رسوب در شبکه ای از نقاط معرف در سطح کشور موجود باشد، می توان تصویر وضعیت فرسایش و رسوب دهی را از سطح دامنه تا خروجی زیرحوضه تا حوضه اصلی و در نهایت تا محل سطح اساس ارائه داد و بر عدم اطمینان ها غلبه کرد. دو سوال اساسی در این ارتباط وجود دارد: (۱) برای رسیدن به یک برآورد متوسط قابل اعتماد از فرسایش/رسوب در هر نقطه یا محل، چند سال آمار (اندازه گیری) کفایت می کند؟ (۲) شبکه اندازه گیری مطلوب برای تعیین نرخ متوسط فرسایش/رسوب در یک منطقه یا کشور، چه ویژگی هایی (الگو، فاصله نقاط و ...) باید داشته باشد؟ پاسخ قطعی و ساده ای به این دو سوال وجود ندارد. اصولاً، دوره آماری طولانی تری در مقایسه با پارامترهای هواشناسی و دبی برای رسیدن به متوسط قابل اعتماد فرسایش/رسوب ضروری است. هم چنین، در حرکت از اقلیم مرطوب به خشک نیز دوره مورد نیاز طولی تر می شود. اظهار نظر راجع به شبکه مطلوب پایش فرسایش/رسوب و طراحی آن، مطالعه ای جامع لازم دارد و برای

اصولاً در شرایط طبیعی، فرسایش پدیده ای پیچیده است و تغییرات زمانی و مکانی زیادی دارد [۲۵]. مثلاً برای یک باران خاص، مقدار تلفات خاک چند کرت فرسایش که به ظاهر مشابه هستند و در کنار یکدیگر قرار دارند؛ یکسان نیست. دوم آن که، بخش عمده فرسایش و رسوب در هر محل، طی چند رویداد شدید رخ می دهد [۱۵] که رسیدن به یک متوسط صحیح، بدون آمار بلندمدت را دشوار می کند. سوم آن که، برقراری ارتباط درست و صحیح بین داده های فرسایش و رسوب از شروع برخورد قطره باران و آغاز جریان رواناب از بالاترین نقطه دامنه تا محل ریختن به دریا و یا گودترین نقطه امری پیچیده است [۱۳]. به این ترتیب، استفاده از رسوب پایین ترین محل اندازه گیری نمی تواند معرف شرایط فرسایش و رسوب گذاری و توزیع مجدد خاک در کل حوضه بالادست باشد.

یکی از مشکلات بزرگ در برآورد مقدار متوسط فرسایش و رسوب در مقیاس منطقه ای و محلی، عدم اتکا کافی به اصول و مبانی آماری است. به دلیل نرمال نبودن توزیع داده های فرسایش و رسوب [۴]، میانگین گیری به روش حسابی بین مقادیر فرسایش نقاط مختلف شدیداً تحت تأثیر برخی داده های با مقدار بسیار بالا قرار می گیرد.

این مقاله تلاش دارد بر اساس آخرین منابع علمی و تحقیقات انجام شده در کشور، تصویری از شدت و میزان فرسایش آبی و نرخ تولید رسوب ایران را ارائه دهد. در این راستا علاوه بر نتایج برآوردهای به دست آمده از مدل های فرسایش، داده های مربوط به فرسایش دامنه ها و رسوب ایستگاه ها تحلیل خواهد شد.

برآورد فرسایش آبی در سطح کشور

برآورد فرسایش خاک حوزه های آبخیز در قالب مطالعات مختلف از جمله آبخیزداری و منابع آب انجام شده است که به دلیل تفاوت در مدل های مورد استفاده و سلیقه های کارشناسی نتایج آن ها در مقیاس کشوری قابل استفاده نیستند. نتایج سه برآورد کشوری با استفاده از مدل های فرسایش در دسترس می باشد. اولی، نقشه فرسایش آبی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ می باشد که با ساده کردن روش تخمین عوامل معادله جهانی فرسایش خاک^۲ توسط فائو در سال ۱۹۷۹ برای خاورمیانه و شاخ آفریقا تهیه شد. شاهویی [۲۳] درصد مساحت واحدهای مختلف این نقشه را در محدوده ایران تعیین کرد که در جدول (۱) مشاهده می شود. در این جدول سایر اراضی مشتمل بر دشت نمکی، تپه های شنی، برون زدگی سنگی و دریاچه ها می باشند. چنانچه میزان فرسایش در هر کلاس نزدیک به پایین ترین حد در نظر گرفته شود، میزان فرسایش متوسط کشور در حدود ۶ تن در هکتار در سال و با فرض بالاترین حد برای هر کلاس بالغ بر ۳۰ تن در هکتار در سال قابل محاسبه است. زارع خوش اقبال و ارومیه [۲۷] با تلاقی لایه مرز حوضه های رده ۲ تمام با نقشه فائو، بیش ترین

1- Redistribution

2- Universal Soil Loss Equation

3- Erosion Potential Method

جدول ۲- اندازه‌گیری‌های فرسایش و رسوب [۲۲]

نوع اندازه‌گیری	سازمان اندازه‌گیری‌کننده	تعداد اندازه‌گیری پردازش شده ^۱
آمار رسوب معلق رودخانه‌ها	وزارت نیرو	۲۰۹
باتیمتری مخازن سدهای بزرگ	وزارت نیرو	۲۷
رسوب‌سنجی مخزن بندهای خاکی	پژوهشکده ^۲	۳۷
تلفات خاک کرت‌های فرسایش	پژوهشکده ^۲ ، سازمان ^۱ و دانشگاه‌ها	۲۹۱
فرسایش سزیم ۱۳۷	دانشگاه‌ها و پژوهشکده ^۲	۵۴۵
سهم اشکال فرسایش در رسوبدهی	پژوهشکده ^۲ دانشگاه‌ها	۴
نسبت بار کف به بار معلق	پژوهشکده ^۲ و دانشگاه‌ها	۷

× پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
+ سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

^۱ ممکن است پردازش داده‌ها برای برآورد فرسایش / رسوب توسط دستگاه دیگری غیر از سازمان اندازه‌گیری‌کننده انجام شده باشد.

رسیدن به آن باید راهی دراز طی شود.

تا زمان رسیدن به نقطه مطلوب، می‌توان از مجموعه آمار موجود که در قالب وظایف سازمانی و یا در مسیر اجرای طرح‌های پژوهشی اندازه‌گیری شده، استفاده کرد. جدول (۲) تعدادی از اندازه‌گیری‌های پردازش شده در طرح پژوهشی تدقیق فرسایش آبی و بررسی فرسایش مجاز در ایران [۲۲] را نشان می‌دهد.

با جمع‌آوری این‌گونه آمار، نوعی نمونه‌راحت^۱ به‌دست می‌آید. در برنامه‌های نمونه‌گیری، هنگامی که برداشتن نمونه‌تصادفی^۲ امکان‌پذیر و یا عملیاتی نیست؛ استفاده از نمونه راحت برای شناسایی خصوصیات کلی جامعه توصیه شده است [۷]. با این‌همه، چون نمونه‌راحت، اریبی دارد، نمی‌توان آن را معرف کامل جامعه تلقی کرد. برای ارائه تصویری از وضعیت فرسایش و رسوب کشور، خصوصیات آمار توصیفی این داده‌ها ارائه می‌شود. از بین دو آماره میانگین و میانه، به‌دلیل نرمال نبودن توزیع داده‌های فرسایش / رسوب، استفاده از میانه توصیه شده است [۴].

جدول (۳) تعدادی از خصوصیات آمار توصیفی داده‌های جمع‌آوری شده به تفکیک تلفات خاک انتهای کرت فرسایش، اندازه‌گیری به روش سزیوم ۱۳۷، رسوب‌دهی معلق و رسوبدهی کل رودخانه‌ها از سطح کشور را نشان می‌دهد. مقایسه حداقل و حداکثر هر دسته، تفاوت بسیار زیادی را نشان می‌دهد. با توجه به اختلاف بسیار زیاد بین نتایج سزیوم و تلفات خاک کرت‌ها، و احتمال وقوع خطا در برآورد فرسایش از سزیوم نتایج سزیوم کنار گذاشته شد. خطای برآورد فرسایش از سزیوم ممکن است ناشی از نامناسب بودن روابط تبدیل میزان سزیوم به فرسایش در شرایط غیر از محل‌های تکامل مدل [۲۶] و حتی اثر ریزش‌های مربوط به سایر

فعالیت‌های اتمی از قبیل سانحه چرنوبیل در ایران باشد.

مقادیر حداکثر در کرت‌های فرسایش به مارن‌ها و مقادیر حداقل به کرت‌های نصب شده در جنگل‌ها مربوط است. اندازه‌گیری‌های مستقیم تلفات خاک از سطح اراضی مرتعی، جنگلی و دیم‌زارها بیانگر مقدار کم فرسایش اکثراً در حد زیر یک (و به‌ندرت تا حدود دو) تن در هکتار در سال می‌باشد. در مقابل اندازه‌گیری‌های محدود در کرت‌های احداث شده در روی مارن‌ها حکایت از مقادیر بسیار بالا حتی تا ۳۴ تن در هکتار در سال دارد [۲۲] که نقش تعیین‌کننده سازندهای حساس به فرسایش در تولید رسوب را نشان می‌دهد. مارن‌ها معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک فاقد پوشش گیاهی مناسب هستند. در اراضی شخم خورده و تخریب شده شمال کشور نیز مقادیر بالای ۱۰ تن در هکتار در کرت‌های فرسایش ثبت شده است [۲۰]. این مقادیر اندازه‌گیری شده معرف فرسایش‌های ورقه‌ای و شیب‌های از دامنه‌ها است و فرسایش ناشی از آب‌کندها، کنار رودخانه‌ها و حرکت‌های توده‌ای را شامل نمی‌شود.

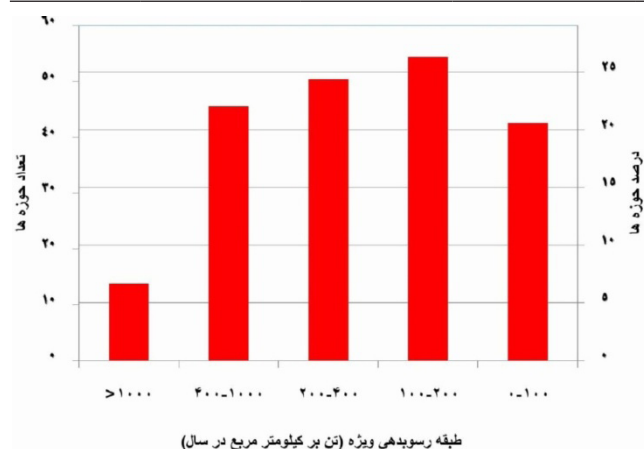
میانه تلفات خاک کرت، بسیار کم‌تر از میانگین رسوب‌دهی رودخانه‌ها است. طول کرت‌های بررسی شده در جدول (۳)، بین یک تا ۲۵ متر است. کوتاه بودن طول دامنه بر کم شدن نرخ تلفات خاک تأثیر دارد. زیرا معمولاً به ندرت شیارهای بزرگ در کرت‌های کوتاه ایجاد می‌شود. مثلاً در یک اندازه‌گیری مستقیم، نسبت فرسایش بین‌شیاری به شیب‌های پس از یک رگبار حدود یک سوم تعیین شد [۲۳]. از سوی دیگر، به‌دلیل مشکلات در اندازه‌گیری غلظت واقعی رسوب مخزن انتهای کرت‌ها، احتمال خطای کم برآورد کردن تا یک سوم مقدار واقعی در شرایطی که مخزن کاملاً پر باشد، وجود دارد. با توجه به این دو مسئله، ممکن است مقدار تلفات واقعی خاک کرت‌ها تا حداکثر ۱۰ برابر مقادیر گزارش شده باشد.

مقایسه مقدار فرسایش کرت با رسوب رودخانه‌ها، اختلاف زیادی را نشان می‌دهد. این موضوع طبیعی است. زیرا فرسایش شیب‌های

1- Convenience sample
2- Random sample

جدول ۳- برخی خصوصیات آمار توصیفی داده‌های فرسایش و رسوب (۱-۲y-tkm)

روش	متغیر	تعداد	میانگین حسابی	حداقل	حداکثر	میان
کرت فرسایش	تلفات خاک	۲۹۲	۱۳۱	۰	۳۳۹۶	۵
سزیوم ۱۳۷	فرسایش خاک	۳۸۲	۴۵۴۸	۰	۲۷۸۰۱	۲۹۶۳
رسوب‌سنجی رودخانه	رسوبدهی معلق	۲۰۹	۳۵۸	۴	۲۳۹۱	۲۱۴
رسوب‌سنجی مخزن سد یا رودخانه	رسوب کل	۲۷۰	۶۱۸	۴	۵۵۹۱	۳۳۹



شکل ۱- توزیع فراوانی حوزه‌های آبخیز از نظر رسوبدهی معلق ویژه

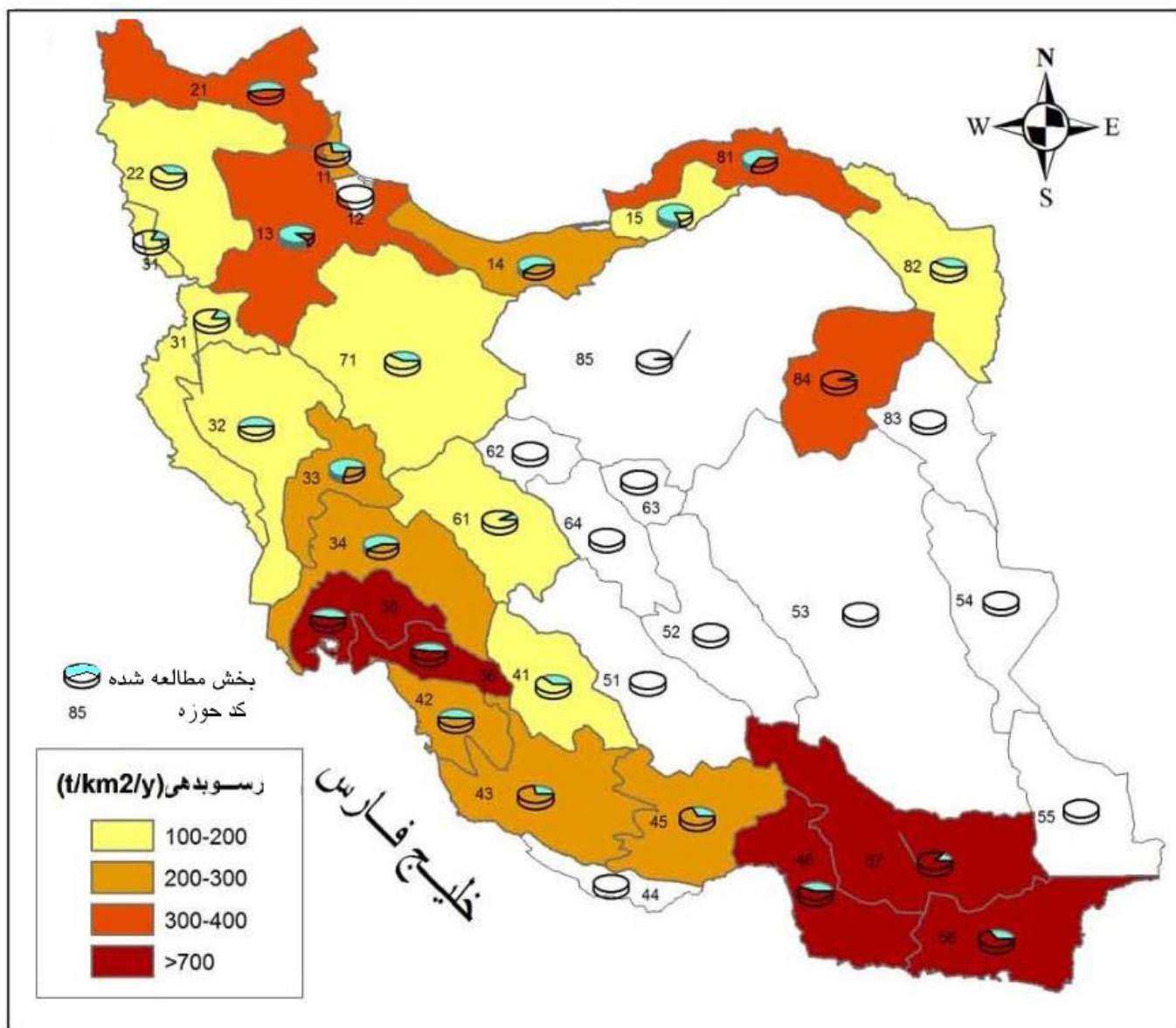
طالقان را بررسی و آن را به ترتیب حدود ۵۹ و ۷۵ درصد اعلام کردند. با لحاظ بار کف که خود عمدتاً مربوط به فرسایش‌های عمقی است، سهم فرسایش‌های سطحی کم‌تر نیز می‌شود. بخشی از ذرات رسوبی ناشی از اشکال مختلف فرسایش سطحی و عمقی، در پای دامنه‌ها و مناطق کم شیب‌تر نهشته شده و بخشی دیگر پس از ورود به رودخانه‌ها به صورت بار معلق و کف به پایین دست منتقل می‌شوند. عرب خدري و همکاران [۲] در یک مطالعه سراسری با استفاده از تحلیل آمار غلظت رسوب ۲۰۹ ایستگاه رسوب‌سنجی کشور که تقریباً یک چهارم سطح کشور را پوشش می‌دهد، مقدار رسوب معلق متوسط سالانه کشور را ۳۵۰ میلیون تن برآورد کردند. شکل (۱) توزیع فراوانی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه را از نظر رسوبدهی معلق ویژه در پنج طبقه نشان می‌دهد که حاکی از کم‌تر بودن رسوبدهی حدود ۷۰ درصد حوزه‌ها از ۴۰۰ تن بر کیلومتر مربع است. در شکل (۲) حوضه‌های رتبه ۲ کشور بر اساس میان رسوبدهی معلق ویژه در چهار دسته طبقه‌بندی شده است. بیش‌ترین مقدار رسوبدهی مربوط به حوضه‌هایی از جنوب از جمله بلوچستان جنوبی و میناب می‌باشد. در این نقشه، داخل هر یک از حوضه‌های رتبه ۲، دایره‌ای وجود دارد که سطح پر دایره، موید درصد مساحتی از حوزه است که ایستگاه رسوب‌سنجی دارد. ملاحظه می‌شود که حوضه‌های مناطق کویری مرکزی ایران تقریباً فاقد ایستگاه اندازه‌گیری هستند و در مقابل در حوضه‌های سفیدرود و گرگانرود، عمده مساحت با ایستگاه‌های اندازه‌گیری پوشش داده

بین شیباری، فقط بخشی از رسوب رودخانه را تأمین می‌کند. فرسایش آب‌کنندی، لغزش و فرسایش بستر و کنار رودخانه نیز در تولید رسوب حوضه سهم دارند.

خوشبختانه اطلاعات ارزشمندی از وضعیت فرسایش آب‌کنندی و حرکت‌های توده‌ای نیز در ایران جمع‌آوری شده است. اراضی شناسایی شده تحت پوشش فرسایش آب‌کنندی در ۱۳ استان با مساحت‌های بزرگتر از ۵۰۰ هکتار که طی بررسی‌های سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ در قالب یک طرح ملی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام گردیده، بالغ بر نیم میلیون هکتار گزارش شده است [۲۴]؛ [۶]. بیش‌ترین گسترش این نوع فرسایش در اقلیم خشک و نیمه خشک و از نظر فیزیوگرافی در دشت‌ها و تپه ماهورها و از نظر کاربری عمدتاً در مراتع فقیر و اراضی دیم گزارش شده است. هم‌چنین تا سال ۱۳۸۶ تعداد ۲۸۴۴۳ مورد انواع رخدادهای لغزشی در کشور شناسایی شده است [۱۲]. بیش‌ترین فراوانی رخدادهای لغزشی در کشور در دو محور شمال غرب، شمال شرق (محور البرز) و محور شمال غرب، جنوب شرق (محور زاگرس) است. خاک‌برداری‌ها و خاک‌ریزی‌های گسترده در اقدامات عمرانی نظیر جاده‌سازی، تغییر کاربری و زلزله از عوامل مؤثر بر تشدید حرکت‌های توده‌ای در ایران شناخته شده‌اند [۹].

در مورد فرسایش کناری رودخانه‌ها، اطلاعات جامعی از کشور در دسترس نیست. ولی با توجه به وجود بیش از یکصد هزار کیلومتر رودخانه‌های دایمی و فصلی [۱۰] و چند برابر آن طول خشک‌رودها، فرسایش کناره‌ها و جابه‌جایی عرضی آبراهه‌ها و مسیل‌ها می‌تواند در تولید رسوب نقش زیادی داشته باشد.

اگرچه مطالعات منشأیابی رسوب در ایران بسیار محدود است، نگاهی به نتایج آن‌ها اطلاعات ارزشمندی را به دست می‌دهد. [۱۱] در زیرحوضه ۹۷۰۰ هکتاری مرگن پلدشت واقع در شمال غرب ایران که بیش از ۵۰ درصد آن را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهد، نشان داد که سهم فرسایش‌های عمقی در تأمین رسوب معلق حدود ۷۰ درصد است. Nazari Samani و همکاران [۱۶] سهم فرسایش آب‌کنندی در تأمین رسوب سه زیرحوضه کوچک‌تر از ۱۵۷ هکتار در استان بوشهر را ۸۴ تا ۹۹ درصد تعیین کردند. نصرتی [۱۷] و نصرتی و همکاران [۱۸] نیز به دو روش مختلف سهم فرسایش آبراهه‌ای و سطحی در تأمین رسوب معلق زیرحوضه ۶۵۰۰ هکتاری زیدشت



شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی حوزه‌های رتبه ۲ از نظر میانه رسوبدهی ویژه معلق (سطح پر دایره، موید درصد مساحتی از حوزه که دارای ایستگاه رسوب‌سنجی است، می‌باشد).

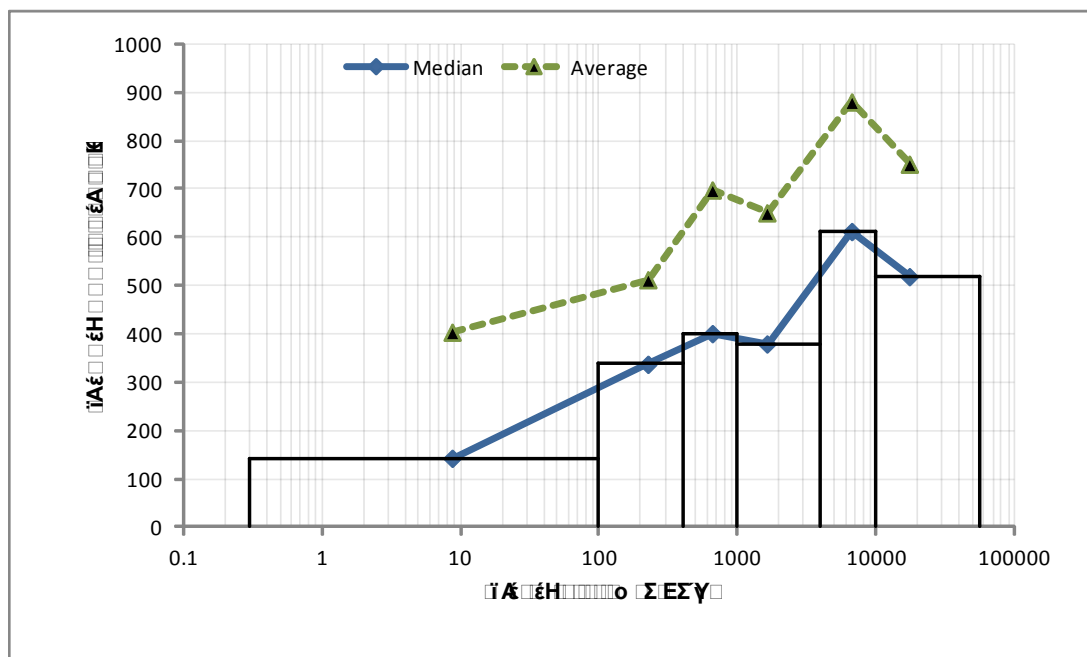
مساحت حوزه‌های آبخیز سدهای در دست بهره‌برداری که از طرف وزارت نیرو ۴۰ میلیون هکتار (۲۴ درصد مساحت کشور) اعلام شده، حدود ۱۶۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است [۵].

تغییرات رسوبدهی ویژه رودخانه‌ها به ازاء مساحت

شکل (۳) که بر اساس دسته‌بندی رسوبدهی ۲۷۰ حوزه از ایران در شش طبقه مساحت ترسیم شده، حکایت از روند صعودی میانه رسوبدهی ویژه از ۱۴۳ تا ۶۱۲ تن در کیلومترمربع در پنج طبقه اول با افزایش مساحت حوزه تا حدود ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع را دارد. افزایش رسوبدهی ویژه با بزرگ‌تر شدن مساحت آبخیز، در حوزه‌های کوهستانی منطقی به نظر می‌رسد. کم بودن متوسط

شده است. بدیهی است، میانه برآورد شده برای حوزه‌های رتبه ۲ معرف ناحیه دارای ایستگاه آن‌ها می‌باشد.

به‌رغم وجود آمار نسبتاً مناسب از بار معلق، اندازه‌گیری بار کف در ایستگاه‌های هیدرومتری متداول نیست و داده‌های طولانی وجود ندارد. با این همه، مطابق گزارش‌های موجود و بر اساس اندازه‌گیری‌های محدود به‌عمل آمده در ایران [۱]، [۲] و [۳]، نسبت بارکف به معلق بیش از ۳۰ درصد و گاهی بیش از مقدار بار معلق تعیین شد. میانه رسوبدهی ویژه معلق در سطح کشور ۲۱۴ تن بر کیلومترمربع در سال و رسوبدهی ویژه کل (معلق + کف) ۳۳۹ تن بر کیلومترمربع در سال به‌دست آمد. حجم رسوب‌گذاری (مشمول بر مجموع بارمعلق و بارکف نهشته شده) در مخازن سدها با توجه به



شکل ۳- تغییرات میانه و میانگین رسوبدهی ویژه به‌ازاء طبقات مساحت حوضه

یا دریاچه‌های داخلی، رسوبدهی ویژه تقلیل یابد. به‌رغم وجود روند افزایشی در مقادیر میانه و میانگین رسوب در پنج طبقه ابتدایی مساحت، حداکثر رسوبدهی مشاهده شده در تمام آن‌ها، به‌هم نزدیک و در محدوده ۴۵۰۰ تا ۵۶۰۰ تن در کیلومترمربع در سال قرار دارد. در این حوزه‌ها، بخش عمده‌ای از سطح آبخیز با سازندهای حساس به فرسایش پوشانیده شده و یا حرکت‌های توده‌ای و فرسایش آب‌کندی نقش زیادی در تولید رسوب دارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، نرخ فرسایش و رسوبدهی در ایران از سطح دامنه‌ها تا محل سطح اساس بر اساس اسناد موجود مرور شد. مقدار فرسایش متوسط کشور در حدود یک میلیارد تن در سال می‌باشد که حدود یک‌سوم آن به صورت رسوب معلق در آبراهه‌ها جریان می‌یابد. به‌طور خلاصه سهم فرسایش سطحی در تولید رسوب نسبت به اشکال فرسایش عمقی نظیر فرسایش آب‌کندی و رانش زمین کم‌تر (با نسبت یک به دو) است. بدیهی است که این تخمین‌ها اولیه بوده و هنوز راه درازی برای رسیدن به تخمین‌های دقیق‌تر باقی است. لازمه بهبود برآوردها، پایش دائمی فرسایش خاک و تولید رسوب در شبکه‌ای طراحی شده بر اساس اصول آماری می‌باشد. به‌طوری‌که بتوان بسته به مورد، توصیف روشنی از تغییرات زمانی و مکانی فرسایش/ رسوب از حد یک رویداد استثنایی در کرت فرسایش تا رسوب درازمدت حوضه‌های بزرگ پی برد [۱۳]. در این راستا،

رسوبدهی در حوضه‌های کوچک تا حدی با توجه به وجود برون‌زدگی‌های سنگی و کم‌عمق بودن خاک مناطق کوهستانی ایران و وجود مقدار خیلی زیاد سنگ‌ریزه و عدم تکامل پروفیل خاک به‌ویژه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک [۸] قابل توجیه است. در حالی‌که، با بزرگ‌تر شدن مساحت آبخیز، تنوع سازندهای زمین‌شناسی به‌ویژه آن‌هایی که مناطق تپه‌ماهوری را شکل می‌دهند بیش‌تر می‌شود. در مناطق تپه‌ماهوری، عمق خاک بیش‌تر و دخالت انسان در طبیعت نیز بیش‌تر است. نباید فراموش کرد که بنا به وضعیت شرایط زمین‌ساخت، در مواردی نادر، وجود لایه‌های حساس به فرسایش در سرشاخه‌ها به تولید رسوب بالا می‌انجامد. مطابق شکل، در طبقه شش مساحت حوضه (بین ۱۰۰۰۰ تا ۵۶۰۰۰ کیلومترمربع)، متوسط رسوبدهی ویژه سالانه، حالت نزولی به خود گرفته است. در این بررسی، به‌دلیل تأثیر سدهای مخزنی بر جریان طبیعی رسوب، آمار ایستگاه‌های پایین‌دست سدها استفاده نشد. بدیهی است اگر سدی وجود نداشت؛ امکان بررسی رسوب در رودخانه‌های دشتی فراهم می‌شد. به‌سه دلیل انتظار می‌رود، رودخانه‌ها پس از ورود به دشت، بخشی از رسوب را بر جای گذارند. اولاً، ظرفیت حمل رسوب با تقلیل شیب کم‌تر می‌شود. ثانیاً، در زمان‌های سیلابی، که بیش‌ترین مقدار رسوب تولید می‌شود به‌دلیل کم‌بودن ظرفیت رودخانه‌های مئاندری، بخشی از جریان از رودخانه خارج و رسوب در دشت‌ها نهشته می‌شوند. در رودخانه‌های مناطق خشک نیز، به‌دلیل تلفات بین‌راهی، ظرفیت حمل کاهش یافته و مواد رسوبی به‌تدریج بر جای می‌مانند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با حرکت به سمت دریا و

منابع

- plan for waterways management and conservation. Final Research Plans Reports, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran. Publication Code. 84/893 (in Persian).
- 11- Hakimkhani, S., J. Ghayoumian, M. Arabkhedri, R. Sokooti, D. Lotfollahzadeh, F. Iranmanesh and AH. Charkhabi. 2009. Investigation on quantitative method of fluvial fine sediment source fingerprinting in the watershed of Pouldasht flood spreading system. Final Research Plans Reports, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran. Publication Code. 84/893 (in Persian).
- 12- Kardan, R., M. Gobadi and R. Mirsaneei. 2007. Landslides of Iran based on aerial photographs. 5th Conf. on Engineering Geology. Tarbiat Moallem University of Tehran.
- 13- Kirkby, M. 2001. From plot to continent: reconciling fine and coarse scale erosion models. In: Sustaining the Global Farm. Eds: Stott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. 860-870.
- 14- Lal, R. 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: Lal, R. (Ed). Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society. P. 1-8.
- 15- Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation, 3rd edition. Blackwell Publishing.
- 16- 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. Progress in Physical Geography. 35(3), 375-.
- 17- Nosrati, K. 2011. The effect of land use and soil erosion on soil organic. Carbon and nitrogen stock. Environmental Erosion Researches. 3: 127-140.
- 18- Nosrati, K., H. Ahmadi, F. Sharifi. 2012. Sediment sources fingerprinting: Relation between enzyme activities in soil and sediment. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sci., 16 (60): 227-237.
- 1- Arabkhedri. M. 2001. Determining bed load to suspended load ratio using reservoir survey and sediment particle size distribution. Journal of Engineering Agriculture Research. 2(6): 81-91 (in Persian).
- 2- Arabkhedri, M., A. Valikhojieni, S. Hakimkhani, A.H. Charkhabi, and A. Telvari. 2009. Estimating and mapping of sediment yield for Iran. Final Research Plans Reports, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran. Publication Code. 88/692 (in Persian).
- 3- Bahadori Khosroshahi, F. 1996. Bed load to suspended ratio in Iranian rivers. Proc. First Conf. on Erosion and Sediment. Ministry of Jihad Sazandegi Pub. 161-178 (in Persian).
- 4- Boardman, J. 1998. An average soil erosion rate in Europe: Myth or Reality? Journal of Soil and Water Conservation, 53 (1): 46-50.
- 5- Burea of Operation and Maintenance of Dams. 2007. Report on erosion and sediment yield of Iranian dams drainage basins and their sediment management. Ministry of Energy. Water Resources Management Co.
- 6- Charkhabi. AH., M. Parekar, HR. Peyrowan, A. Jafari Ardekani, M. Soufi, R. Bayat, M. Shariat Jafari
- 7- Cochran, W.G. 1977. Sampling techniques, 3rd ed. New York: John. Wiley & Sons.
- 8- Dewan, ML. and J Famouri. 1964. The soils of Iran. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- 9- Emami, N., J. Ghayoumian, AH. Charkhabi and R. Raeisian. 2006. Investigation of Afsar-Abad landslide, presenting suitable stablization methods. Final Research Plans Reports, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran. Publication Code. 84/893 (in Persian).
- 10- Habibi. M. 2007. Development of a strategic

- 24- Soufi, M. 2009. Report on reconnaissance of factors influence initiation and development of gully erosion in Iran. Final Research Plans Reports, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran. Publication Code. (in Persian).
- 25- Toy, T. J., G. R. Foster and K. G. Renard. 2002. Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control, John Wiley & Sons.
- 26- Walling, D.E. and A.L. Collins. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science & Policy*, 11: 136–43.
- 27- Zare Khosh Eghbal, Z. and M. Uromieh. 2005. Water erosion estimates for the watersheds of country using geographic information systems. 3rd national on erosion and sediment, Karaj. 6p.
- 19- Refahi, H. 2005. Soil erosion by water and its control. Tehran University Publications.
- 20- Sadeghi, SHR., N. Safaeian, S. Ghanbari. 1385. A study on the influence of landuse on soil erosion type and amount (case study: Kasilian drainage basin). *Journal of Engineering Agriculture Research*. 7(26): 85-98 (in Persian).
- 21- SCWMRI (Soil Conservation and Management Research Institute). 2009. Report on Iran Watershed Features. Forests, Ranges and Watershed Management Organization.
- 22- SCWMRI (Soil Conservation and Management Research Institute). 2013. Study on erosion tolerance and improving in various climates of Iran. Forests, Ranges and Watershed Management Organization.
- 23- Shahooee, S. 1987. Study on factors influenced on soil erosion in Kueen Soil Conservation Research Institute and generalization of the results to prepare erosion map for Mollaroud small basin. MSc. Dissertation, University of Tehran. 170p.

**Abstract****A review on the Water erosion and sediment yield rate in Iran**M. Arabkhedri¹

Received: 2014. 05. 02 Accepted: 2014. 06 .11

Despite the relatively long history of erosion and sedimentation studies in Iran, a large difference between their estimates was found. In order to achieve a common view on the extent and rate of erosion and sediment production in the country, the following available data were analyzed: a) results of countrywide applications of erosion models, b) soil loss measurements in plots, c) erosion calculations based on CS-137, d) suspended load of rivers in gauging sites, e) bed load to suspended load ratio in selected reservoirs, and f) contribution of erosion features on sediment yield. Average rates of specific erosion and suspended sediment yield in Iran were obtained to be about two and six $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$, respectively; which seems to be logical due to the dominance of dry climate in large parts of Iran. A few limited studies showed that the contribution of surface erosion (rill and interrill) on sediment is about 1/2 of other erosion features (gully, mass movements, river bank). Finally, it was shown that the specific rate of sediment yield is increased by an increase in basin area up to 10,000 km^2 where it is followed by a downward trend in larger basins. Obviously, these estimates are relatively rough and there is still a long way to achieve more accurate estimations.

Keywords: Erosion rate, Sediment yield, Erosion features contribution, Iran

1- Assist. Prof. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.
Email: arabkhedri@scwmri.ac.ir