



بررسی رسوبدهی معلق حوزه های آبخیز ایران

A Study on the Suspended Sediment Yield in River Basins of Iran

محمود عرب خدری^۱

Mahmood Arabkhedri¹

Abstract

A wide range of estimated soil erosion in Iran is reported in different references. In addition, there is no acceptable priority of erosion rate and sediment yield among the main basins of Iran. In this research Suspended Sediment Yield (SSY) and soil erosion are estimated about 350 and 1000 million ton per year respectively for the country. Average specific SSY are also calculated 214 t/km²/yr using 209 hydrometric stations records. The maximum average specific SSY are observed in Hamoon-e-Jazmoorian, Minab and Baloochestan-e-Jonobi, and Maroon and Zohreh second order basins with more than 700 t.km⁻². Three significant regression equations are developed between SSY with area, mean annual discharge and specific discharge. This study shows that specific SSY is proportionally related to area, which means relatively higher erosion rates in piedmonts and hilly land to high mountains. Primary study of watersheds with more than 1000 t/km²/yr specific SSY shows that the susceptible geological formations, landslides and vegetation cover play important roles on specific SSY.

Keywords: Suspended sediment yield, Erosion, Regression equation

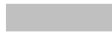
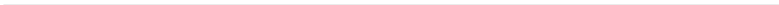
چکیده

تفاوت‌های زیادی بین برآوردهای ارائه شده از میزان فرسایش خاک ایران در منابع مختلف مشاهده می‌شود. افزون بر آن هیچگونه اولویت‌بندی قابل قبولی از فرسایش و رسوبدهی حوزه‌های آبخیز اصلی کشور در دست نیست. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ۲۰۹ ایستگاه رسوب سنجی، میزان رسوبدهی و فرسایش خاک کشور به ترتیب حدود ۳۵۰ و ۱۰۰۰ میلیون تن در سال و متوسط رسوبدهی ویژه مناطق مورد مطالعه ۲۱۴ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد. بیشترین رسوبدهی ویژه به حوزه‌های هامون جازموریان، میناب و بلوچستان جنوبی و مارون و زهره در جنوب کشور با بیش از ۷۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال مربوط است. ۳ رابطه رگرسیونی دو و چند متغیره معنی‌دار بین رسوبدهی کل با مساحت، دبی متوسط سالانه و دبی ویژه ارائه شد. بررسی‌ها نشان داد که بطور کلی با افزایش مساحت حوزه، رسوبدهی ویژه اضافه می‌شود که نشان دهنده فرسایش بیشتر در کوهپایه‌ها نسبت به ارتفاعات است. نتایج بررسی اولیه تعدادی از حوزه‌های دارای رسوبدهی ویژه با بیش از ۱۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال نیز بیانگر آن است که سازندهای حساس به فرسایش، لغزش و پوشش گیاهی نقش مهمی در تولید رسوب دارند.

کلمات کلیدی: رسوبدهی معلق، فرسایش، معادله رگرسیونی

¹ - Faculty member of Soil Conservation and Watershed Management Research Centre, P.O.Box: 13445-1136, Tehran, Iran

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران- صندوق پستی Email: arabkhedri@scwmri.ac.ir. ۱۳۴۴۵-۱۱۳۶



۱- مقدمه

در گزارش هم اندیشی آب و کشاورزی ارائه شده در همایش چالشها و چشم اندازهای توسعه ایران (مؤسسه مطالعات و پژوهشهای برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۸۱) موضوع بررسی مشکلات برنامه های گذشته در جهت تدوین اصولی تر برنامه چهارم، «اولین گام، سرمایه گذاری فوری به منظور مطالعه پدیده فرسایش، توسعه تحقیقات در خصوص انواع فرسایش، تعیین اثر رسوبگذاری هر یک و بالاخره تهیه نقشه های فرسایش حوزه های آبخیز کشور و ایجاد پایگاههای دائمی جمع آوری اطلاعات پایه و تحلیل آنها و پایش دائمی فرسایش در کشور» ذکر شده است.

برای پاسخگویی به این نیاز و در گام اول، می توان رسوبدهی خروجی حوزه ها در محل ایستگاههای رسوب سنجی را برای بدست آوردن چشم اندازی از وضعیت فرسایش و تلفات خاک آبخیزهای بالادست به کار برد. از آنجا که بخش عمده رسوب حمل شده بوسیله اکثر رودخانه ها را بار معلق تشکیل می دهد و بار کف نیز معمولاً از آبراهه ها تامین می شود؛ رسوبات معلق برای کسب شناخت اولیه از فرسایش حوزه های قابل استفاده هستند. بطوریکه Fraser et al. (1995) رسوبدهی رودخانه ها را معرف کلیدی فرسایش اراضی می دانند. البته نباید فراموش کرد که ایجاد چنین ارتباطاتی به سادگی مقدور نیست. زیرا علاوه بر مشکلات موجود در اندازه گیری و روشهای برآورد صحیح و دقیق رسوب، پیچیدگی تفسیر نتایج و چگونگی ارتباط آن به نرخ فرسایش حوزه های نیز نتیجه گیری را مشکلتر می سازد (Walling, 1994).

برآورد صحیح و دقیق رسوبدهی معلق هنگامی با اطمینان نسبی مقدور است که اندازه گیری مداوم غلظت رودخانه انجام گیرد. در عمل این گونه داده ها در ایران (و سطح جهان) به ندرت وجود دارد. به این جهت تفاوت های زیادی بین برآوردهای انجام شده توسط افراد مختلف مشاهده می شود که ناشی از اختلاف روشهای آماری به کار رفته، بویژه نوع منحنی سنج رسوب (عرب خدری و همکاران، ۱۳۸۲) است. برای کاهش خطاها، روش حدوسط دسته ها برای ترسیم منحنی سنج رسوب توسط Jansson (1996) پیشنهاد شده است که نتایج مناسب آن توسط میرابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴)، عرب خدری و همکاران (۱۳۷۷) و عرب خدری و همکاران (۱۳۸۲) در ایران مورد تایید قرار گرفته است.

یکی از نکات حائز اهمیت، نحوه تعیین متوسط فرسایش در مناطق وسیع جغرافیایی است. Boardman (1998) استفاده از یک رقم متوسط برای سطوح وسیع نظیر یک قاره را مفید نمی داند وی استفاده از میانگین حسابی را برای محاسبه متوسط فرسایش بطور اخص توصیه نکرده و میانه را به جای آن پیشنهاد می دهد. زیرا توزیع

اطلاعات دقیق و صحیح از میزان فرسایش آبی در ایران بسیار کم است و بین اندازه گیری ها و برآوردهای انجام شده نیز اختلافات زیادی مشاهده می شود. نوپا بودن تحقیقات این زمینه و فقدان اندازه گیری های درازمدت فرسایش در ایران، مانع از دستیابی به اعداد قابل اعتماد شده است. بررسی چند برآورد این تفاوت را روشن می کند. فیروز نخجوانی (۱۳۵۱) و روزیطلب (۱۳۶۹) مقدار فرسایش سالانه سطح کشور را بیش از یک میلیارد تن ذکر کرده اند. معاونت آبخیزداری (بی تا) با ارائه ارقام یک میلیارد تن در سال ۱۳۵۰، ۱/۵ میلیارد تن در سال ۱۳۶۰ و ۲/۵ میلیارد تن سال ۱۳۷۰ و اخیراً Heydarian و Sharifi (1999) به نقل از معاونت آبخیزداری با رقم ۳/۵ میلیارد تن روند صعودی فرسایش را مشخص کرده اند. منبعی (۱۳۶۹) به نقل از FAO رقم ۱/۵ میلیارد تن در سال ۱۹۸۰ از ۵۶ میلیون هکتار و ۲ میلیارد تن در سال ۱۹۸۹ از سطح ۶۰ میلیون هکتار را گزارش کرده است. در مقابل مؤسسه مطالعات و پژوهشهای برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی (۱۳۸۱) به نقل از FAO رقم فرسایش کشور را ۳ تا ۴ میلیارد تن ذکر کرده است. شاهی (۱۳۶۸) درصد مساحت واحدهای مختلف نقشه فرسایش آبی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط FAO را در محدوده ایران تعیین کرده است که در جدول (۱) مشاهده می شود. چنانچه میزان فرسایش در هر کلاس را نزدیک به پایین ترین حد در نظر بگیریم 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.

()

شدت فرسایش (t/ha)	<10	10-50	50-200	>200	سایر*
مساحت (درصد)	۴۸/۹	۴۰	۴	۰/۱۵	۷/۱۳

* سایر اراضی مشتمل بر دشت نمکی، تپه های شنی، برون زدگی سنگی و دریاچه ها

چنانچه سایر ارقام ذکر شده از منابع مختلف نیز به مساحت ایران تقسیم شوند، میانگین فرسایش کشور معادل با ۶ تا بالغ بر ۳۰ تن در هکتار در سال بدست می آید. با پذیرش رقم ۳/۵ میلیارد تن در سال نقل شده از معاونت آبخیزداری (1999) Sharifi و Heydarian، میزان فرسایش ویژه ایران در حدود ۲۱ تن در هکتار در سال می شود (تامنی، ۱۳۷۶).

و ۷۷۰ تن در کیلومتر مربع در سال برای حوزه‌های بزرگ و کوچک) مشاهده می‌شود.

Dedkov, Mozzherin (1992) اثرات فعالیت‌های انسانی بر رسوبدهی ۱۸۷۲ حوزه متعلق به مناطق مختلف را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در مناطق کوهستانی مدیترانه‌ای بیشترین تاثیر این نوع فعالیتها مشهود است.

Woodward (1995) به نقل از منابع مختلف میزان رسوبدهی ویژه چندین رودخانه منطقه مدیترانه را که بیشترین مقادیر رسوبدهی را داشته‌اند، گزارش کرده است. در اغلب آنها رسوبدهی بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ تن بر کیلومتر مربع محاسبه شده است. البته مواردی از رسوبدهی بیش از ۲۰۰۰۰ تن بر کیلومتر مربع نیز دیده می‌شود که جزء بیشترین مقادیر رسوبدهی در سطح جهان می‌باشد. Walling and Webb (1987) نیز ۱۱ آبخیز با رسوبدهی ۱۳۳۰۰ تا ۵۳۵۰۰ تن بر کیلومتر مربع را که بیشترین مقادیر در سطح جهان می‌باشد را به نقل از منابع مختلف گزارش کرده‌اند.

۲- مواد و روشها

از میان ۷۱۵ ایستگاه رسوب سنجی موجود در ایران، ۲۰۹ ایستگاه دارای آمار مناسبتر و بالادست سدهای مخزنی که آبخیز آن نیز در داخل کشور قرار داشت، انتخاب شدند. در شکل (۱) نقشه موقعیت آنها رسم شده، که پراکندگی و حتی فقدان ایستگاه در کویرهای داخلی و شرقی را نشان می‌دهد. در جدول (۲) نیز تعداد ایستگاههای بررسی شده و درصد مساحت بخش مطالعه شده به تفکیک حوزه‌های آبریز اصلی و رتبه ۲ کشور مطابق تقسیمات جاماب (جاماب، ۱۳۷۸) آورده شده است. مساحت حوزه‌های مورد مطالعه از حداقل ۲۷ تا حداکثر ۴۹۳۰۰ کیلومتر مربع متفاوت می‌باشد.

رسوبدهی معلق تمام ایستگاهها برای دوره ۱۳۴۲ (یا از زمان تاسیس) تا ۱۳۷۲ و حداقل به مدت ۱۷ سال به روش حدوسط دسته‌ها محاسبه شد و سپس رسوبدهی ویژه با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید.

$$SY_{sp} = SY/A \quad (1)$$

که در آن SY_{sp} رسوبدهی ویژه بر حسب تن بر کیلومتر مربع در سال، SY رسوبدهی کل بر حسب تن در سال، و A مساحت بر حسب کیلومتر مربع می‌باشند. برای محاسبه رسوبدهی ویژه مناطق بین ایستگاهی از روش وزنی استفاده به عمل آمد.

رویدادهای فرسایش، چولگی قابل توجهی به سمت چپ نشان می‌دهند و میانگین حسابی، برآورد بیش از واقعیت خواهد بود. Boardman (1998) منابع مختلف در مورد فرسایش متوسط قاره اروپا را بررسی کرده و بر اساس نتایج چندین برنامه پایش فرسایش، نرخ فرسایش اروپا را حتی ده برابر کمتر از مقادیر قبلی (مثلاً ۱۷ تن بر هکتار در سال) برآورد می‌کند.

داده‌های بدست آمده از بررسی رسوبدهی رودخانه‌ها در مناطق وسیع جغرافیایی می‌تواند در تعیین سهم هر یک از رودخانه‌ها، مقایسه آنها و حتی اولویت برنامه‌های آبخیزداری مورد استفاده قرار گیرد. با تعیین شدن مناطق پرسوب، راه برای بررسی های تکمیلی از نظر تعیین عوامل مؤثر نیز باز می‌شود. Fraser et al. (1995) رسوبدهی بالغ بر ۸۰ حوزه بزرگ از ۵ قاره جهان را گزارش کرده‌اند. این مؤلفین به نقل از سه مرجع مختلف میزان بار رسوبی سالانه وارد شده از رودخانه‌های جهان به اقیانوسها را بین ۱۵ تا ۳۰ میلیارد تن و دو سوم آن را سهم رودخانه‌های جنوب شرقی آسیا ذکر می‌کنند. علت این موضوع را نیز تکنونیک فعال، بارش سنگین، ناهمواری‌های قابل توجه با شیبهای تند، و خاک‌های فرسایش پذیر مشتمل بر کمر بند لسی در شمال چین می‌دانند. در مقایسه معتقدند که ناهمواری کم، بارش اندک و یخبندان دائمی در آبخیز رودخانه‌های سیبری، گل آلودگی و بار رسوبی آنها را بسیار تقلیل داده است. Walling and Webb (1987) نیز در تحلیلی جداگانه، رسوبدهی زیاد در بیشتر مناطق آسیا و جزایر اقیانوس آرام را ناشی از بارش سالانه زیاد، شیبهای تند و ناپایداری تکنونیک ذکر کرده بودند.

Walling and Webb (1987) به نقل از Dedkov and Mozzherin (1992) نوعی تقسیم‌بندی مناطق مورفو کلیماتیک جهانی از نظر میزان رسوبدهی را ارائه داده‌اند. در این طبقه بندی ابتدا رودخانه‌ها به دو گروه کوهستانی و دشتی تقسیم شده‌اند. رودخانه‌های کوهستانی در ۱۳ منطقه مورفوکلیماتیک و رودخانه‌های دشتی در ۱۴ منطقه مورفوکلیماتیک طبقه بندی شده‌اند. در مرحله بعد رودخانه‌ها را از نظر مساحت در دو دسته کوچک ($<5000 \text{ km}^2$) و بزرگ ($>5000 \text{ km}^2$) قرار داده و متوسط رسوبدهی رودخانه‌های هر دسته تعیین گردیده است. به غیر از موارد استثنایی، رسوبدهی ویژه رودخانه‌های دشتی، کمتر از کوهستانی گزارش شده است. بیشترین مقدار رسوبدهی در رودخانه‌های کوهستانی مناطق glacial (به ترتیب ۳۴۰۰ و ۱۴۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال برای حوزه‌های بزرگ و کوچک) و پس از آن در کوهستانی مدیترانه‌ای (به ترتیب حدود ۸۰۰ و ۹۸۰ تن در کیلومتر مربع در سال برای حوزه‌های بزرگ و کوچک) و دشتی مدیترانه‌ای (به ترتیب حدود ۲۲۰

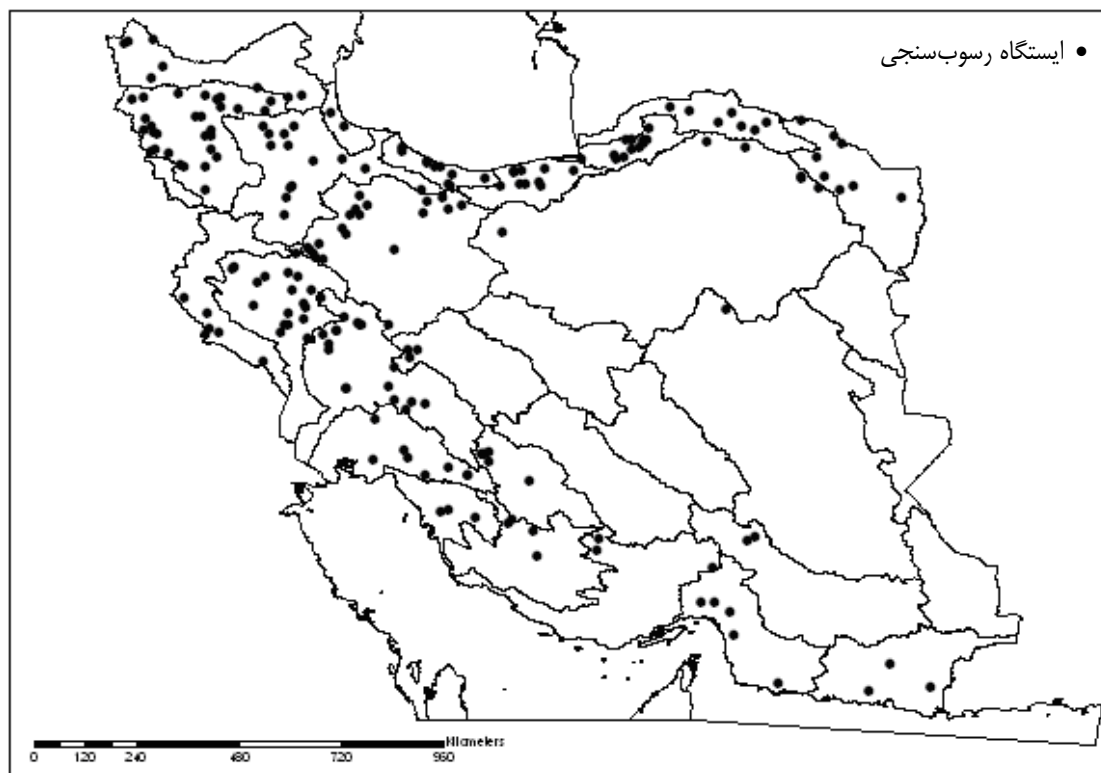
۳- نتایج و بحث

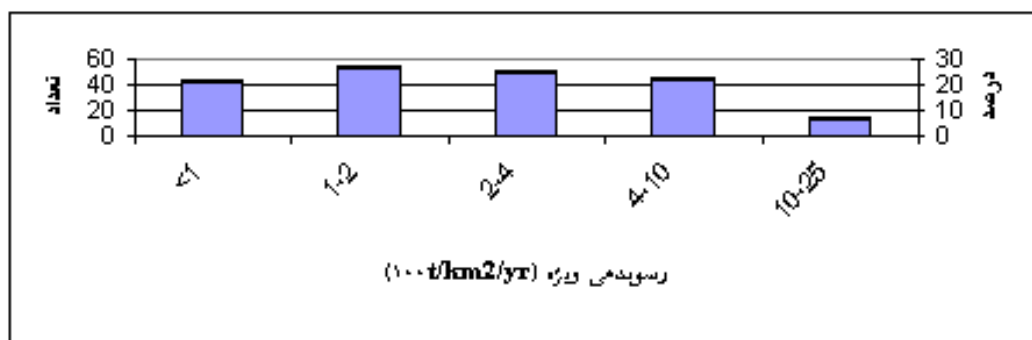
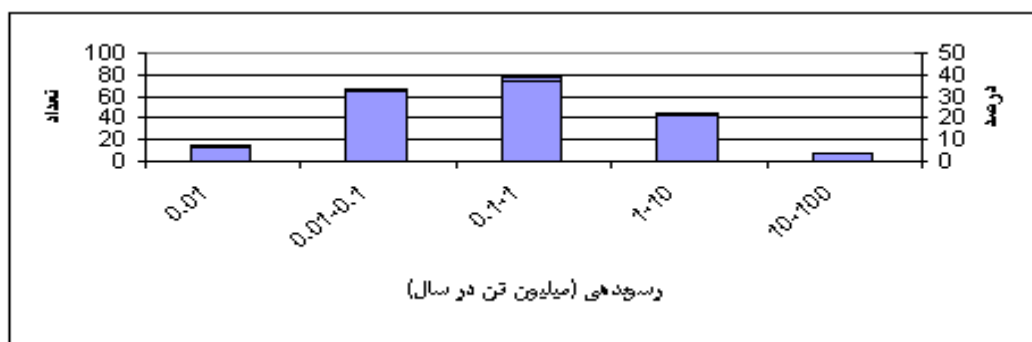
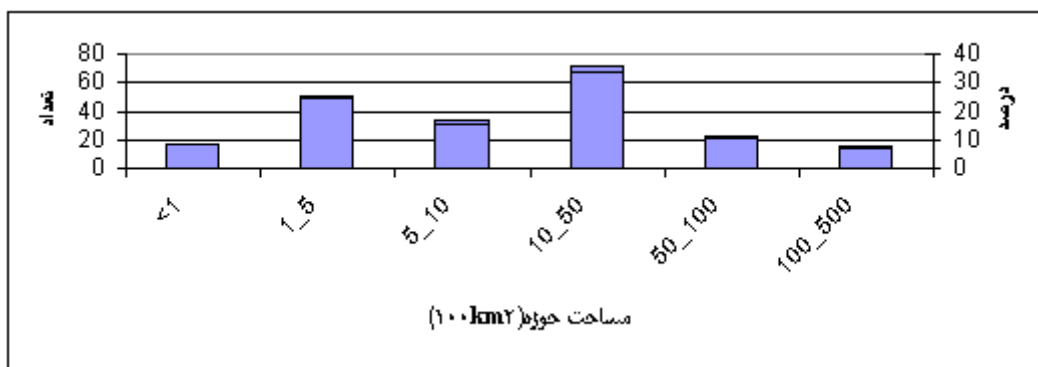
در شکل‌های (۲) تا (۴) توزیع فراوانی ایستگاه‌ها از نظر مساحت، رسوبدهی کل و رسوبدهی ویژه مشاهده می‌شود. بیشترین تعداد حوزه‌ها به گروه مساحت ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ و پس از آن به گروه ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر مربع مربوط است.

بررسی نتایج رسوبدهی نشان می‌دهد که میزان رسوبدهی متوسط سالانه از حداقل ۶۷۰ تا حداکثر ۳۷ میلیون تن در سال تغییر می‌کند. بیشترین فراوانی از نظر رسوبدهی کل به کلاس ۱۰۰ هزار تا یک میلیون تن در سال مربوط است و بقیه کلاسها با توزیع تقریباً نرمال در اطراف آن قرار دارند.

رسوبدهی ویژه حوزه‌ها از حداقل ۴ تا حداکثر ۲۳۹۱ تن بر کیلومتر مربع به دست آمد. از نظر رسوبدهی ویژه، فقط در ۷ درصد حوزه‌ها از نظر تعداد، مقدار رسوبدهی از ۱۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال بیشتر است. بعلاوه در ۵۰ و ۷۵ درصد حوزه‌های مورد بررسی، رسوبدهی ویژه به ترتیب کمتر از ۲۰۰ و ۴۰۰ تن بر کیلومتر مربع در سال محاسبه شده است.

سیس میانه و میانگین رسوبدهی ویژه به تفکیک حوزه‌های اصلی و رتبه ۲ و همچنین برای کل کشور تعیین و با یکدیگر مقایسه شد. در مواردی که تعداد ایستگاه‌های موجود در یک حوزه کم بود حوزه‌های نسبتاً مشابه از نظر رسوبدهی و ترجیحاً نزدیک از نظر جغرافیایی با یکدیگر در یک دسته قرار گرفتند. دو ایستگاه حوزه جازموریان در هیچ یک از دسته‌ها قرار نگرفت؛ لذا به رغم محاسبه میانه و میانگین در تحلیل‌ها وارد نشد. به منظور تعیین اولویت، حوزه‌های فرعی از نظر رسوبدهی ویژه در ۴ کلاس قرار گرفتند. در مرحله بعد ایستگاه‌ها از نظر مساحت، رسوبدهی کل و ویژه دسته‌بندی شدند. رابطه رسوبدهی کل و رسوبدهی ویژه با مساحت، دبی و دبی ویژه از طریق رگرسیون دو گانه و چندگانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ماتریس همبستگی بین متغیرهای مستقل تشکیل شد. متغیرهای مستقلی که همبستگی بیش از ۵ درصد داشتند، مستقل تلقی نشده و یکی از آنها کنار گذاشته شد. در مواردی که ضریب تعیین بالا و همبستگی‌ها معنی‌دار بود معادلاتی ارائه گردید. در پایان برای ۲۰ حوزه دارای بیشترین رسوبدهی ویژه، با استفاده از نقشه یک میلیونیم زمین‌شناسی و سایر اطلاعات موجود، عوامل مؤثر بر تولید رسوب تعیین شد.





شکل ۴- توزیع فراوانی حوزه‌ها از نظر رسوبدهی ویژه

رسوب سنجی موجود سطح بسیار کمی را می‌پوشاند و رسوبدهی برآورد شده نمی‌تواند معرف مناسبی برای آن حوزه‌ها باشد. مقایسه ستونهای میانه و میانگین نشان می‌دهد که تقریباً در تمام موارد میانه کمتر از میانگین است که نشاندهنده نرمال نبودن توزیع داده‌ها و چولگی اکثر آنها به چپ است. به این ترتیب نظر Boardman (1998) مبنی بر نامناسب بودن استفاده از میانگین برای برآورد رسوبدهی متوسط تایید می‌شود. میانه رسوبدهی ویژه

در جدول (۲) برخی مشخصات رسوبدهی حوزه‌های آبخیز اصلی و فرعی کشور مشتمل بر تعداد ایستگاه، درصد مساحت حوزه‌های مطالعه شده نسبت به کل مساحت، میانه و میانگین رسوبدهی ویژه و درصد مساحت اراضی دارای رسوبدهی ویژه بیش از ۴۰۰ و ۱۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال مشاهده می‌شود. بررسی ستون‌های تعداد ایستگاه و درصد مساحت اراضی مطالعه شده، حاکی از آن است که در برخی از حوزه‌ها بویژه مناطق بیابانی مرکزی ایران ایستگاه‌های

آبخیزداری (بی‌تا) و مسئولین آن (Sharifi and Heydarian 1999) است، با این همه چند برابر بیشتر از تلفات مجاز خاک مناطق خشک و نیمه خشک می باشد. به عبارت دیگر، برآورد کمتر نباید به معنی وخیم نبودن اوضاع فرسایش کشور تلقی شود.

در جدول (۳) حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه از نظر میانه رسوبدهی ویژه طبقه‌بندی شده‌اند. حوزه‌هایی که در هر دسته قرار گرفته‌اند نیز از رسوبدهی زیاد به کم منظم شده‌اند. ملاحظه می‌شود که بیشترین رسوبدهی ویژه با نواحی جنوبی کشور که نزدیک به اقلیم نیمه حاره‌ای است، انطباق دارد؛ ولی توزیع سایر حوزه‌ها بصورت منطقه‌ای نیست. تعیین اولویت مناطق از نظر تولید رسوب با استفاده از این جدول و ستونهای ۵ و ۶ جدول (۲) منطقی به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر علاوه بر میانه باید به درصد مساحت اراضی با تولید رسوب زیاد نیز توجه شود.

بررسی ماتریس همبستگی نشان داد که بین مساحت و دبی متوسط سالانه همبستگی بسیار معنی دار (کمتر از ۰/۰۱) وجود دارد. در مقابل بین دبی ویژه با دو متغیر مستقل دیگر همبستگی معنی داری مشاهده نشد. از میان معادلات مختلف، رابطه مناسبی بین رسوبدهی ویژه و متغیرهای مستقل بدست نیامد. معادلات بدست آمده برای برآورد رسوبدهی کل به شرح روابط (۲) تا (۴) می باشند.

$$SY = 93.036 A^{1.124} \quad (2)$$

$$SY = 45185.6 Q^{1.056} \quad (3)$$

$$SY = 136.8 A^{1.117} Q_{sp}^{-0.228} \quad (4)$$

که در آنها SY رسوبدهی متوسط سالانه برحسب تن در سال، A مساحت حوزه برحسب کیلومتر مربع، Q دبی متوسط سالانه برحسب متر مکعب بر ثانیه و Q_{sp} دبی ویژه متوسط سالانه برحسب لیتر بر ثانیه در کیلومتر مربع هستند.

این روابط در سطح یک در هزار معنی دار بوده و ضریب تعیین (R^2) آنها به ترتیب معادل ۰/۷۵، ۰/۵۴ و ۰/۷۷ می باشند. بنابراین در صورت موجود بودن تمام اطلاعات، استفاده از رابطه (۴) و در غیر آن رابطه (۲) و در مرحله آخر رابطه (۳) قابل توصیه است. یک نکته مهم، منفی بودن علامت ضریب دبی ویژه در رابطه (۴) است که به معنی رسوبدهی کمتر حوزه‌های پرآب‌تر می باشد. تاکید بر این نکته نیز لازم است که با استفاده از این روابط فقط می توان برآورد

کل حوزه‌های مورد مطالعه، ۲۱۴ تن در کیلومتر مربع بر سال می‌باشد. چنانچه میانگین حساسی به جای متوسط به کار رود رسوبدهی حدود ۱/۵ برابر بیشتر می شود. حوزه‌های اصلی خزر و خلیج فارس بیشتر از متوسط کشور و حوزه‌های کشف رود، مرکزی و ارومیه کمتر از آن می‌باشند. کمترین میزان رسوبدهی مربوط به مجموعه حوزه‌های تشت، بختگان و گاوخونی با میانه ۱۳۴ تن در کیلومتر مربع بر سال و بیشترین مقدار مربوط به مجموعه حوزه‌های میناب و بلوچستان جنوبی با ۷۹۰ تن در کیلومتر مربع بر سال مربوط است. به رغم پایین بودن نسبی میانه رسوبدهی ویژه در برخی از حوزه‌ها نظیر گرگانرود، مرزی غرب، کرخه، شاپور-دالکی-مند و کل وجود مناطق دارای رسوبدهی زیاد ($>400 \text{ t/km}^2 \cdot \text{yr}$) مبین بحرانی بودن وضعیت فرسایش و رسوبدهی در آنها می باشد.

اگر میانه رسوبدهی ویژه تمام حوزه‌های مطالعه شده یعنی ۲۱۴ تن بر کیلومتر مربع (حدود ۲ تن در هکتار) را به عنوان رسوبدهی ویژه متوسط کشور بپذیریم، می توان گفت که رسوبدهی سالانه ایران در حدود ۳۵۰ میلیون تن در سال است. ولی اگر سطحی را که در آن فرسایش آبی اتفاق می‌افتد ۱۲۵ میلیون هکتار در نظر بگیریم، رسوبدهی معلق کشور حدود ۲۶۷ میلیون تن در سال قابل محاسبه است. سطح کل مناطق بررسی شده (بدون احتساب همپوشانی‌ها) بالغ بر ۴۰۰ هزار کیلومتر مربع است که تقریباً ربع مساحت کشور را شامل می شوند. باید خاطر نشان کرد که بطور کلی حوزه‌های مورد مطالعه، معرف مناطق مرطوبتر و پر شیب تری نسبت به سایر اراضی هستند. یک محاسبه ساده نشان می‌دهد که رسوبدهی کل رودخانه‌های ایران در حدود ۱۵۰ تا ۱۰۱۰۰ میزان بار رسوبی سالانه وارد شده از رودخانه‌های جهان به اقیانوسها است.

میانه رسوبدهی در نواحی از ایران که دارای اقلیم مدیترانه‌ای هستند، تقریباً نزدیک به مقادیر ذکر شده توسط Walling and Webb (1987) و Dedkov and Mozzherin (1992) برای حوزه‌های بزرگ دشتی بوده و در هر حال بسیار کمتر از مقادیر ذکر شده برای حوزه‌های کوهستانی و حوزه‌های دشتی کوچک می‌باشد.

میانه مساحت حوزه‌های مورد بررسی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع است. اگر نسبت تحویل رسوب برای چنین حوزه‌ای، ۳۰ درصد در نظر گرفته شود، میزان فرسایش بدون احتساب بار کف بالغ بر یک میلیارد تن در سال (حدود ۶ تن در هکتار در سال) خواهد شد. این رقم می‌تواند در تجدید نظر در برآوردهای اولیه از فرسایش کشور (نظیر ۳/۵ میلیارد تن) مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه میزان فرسایش برآورد شده در این تحقیق کمتر از مقادیر ذکر شده توسط معاونت

اولیه‌ای از رسوبدهی بدست آورد و برای مطالعات و تحقیقات دقیق استفاده از آنها توصیه نمی‌شود.

جدول ۲- برخی از مشخصات مرتبط با رسوبدهی ویژه ایران به تفکیک حوزه‌های اصلی و فرعی

حوزه	تعداد ایستگاه	درصد مساحت مطالعه شده	رسوبدهی ویژه (t/km ² . yr)		درصد مساحت با رسوبدهی بیشتر از *
			میانگین	میان	
کل کشور	۲۰۹	۲۴	۲۱۴	۳۵۸	۱۳
خزر**	۶۴	۶۹	۲۳۳	۳۶۵	۲۴
ارس	۹	۵۲	۳۰۴	۳۷۳	۰
سفیدرود	۱۳	۹۰	۳۲۷	۵۴۲	۴۵
ساحلی و تالش	۲۲	۵۷	۲۱۴	۲۳۹	۱
گرگانرود	۱۳	۸۱	۱۹۶	۳۰۴	۲۲
اترک	۷	۶۵	۳۳۳	۵۳۳	۳
ارومیه**	۳۰	۳۸	۱۹۰	۲۶۲	۰
مرکزی**	۳۹	۸	۱۸۲	۲۹۸	۸
تشت، بختگان و گاوخونی	۱۰	۲۱	۱۳۴	۱۸۲	۴
جازموریان	۲	۱۴	۱۱۱۶	۱۱۱۶	۱۴
دریاچه نمک	۱۹	۴۱	۱۸۰	۲۲۵	۱
کوبر نمک، لوت و کال شور	۸	۱	۳۴۹	۴۱۱	۸۰
خلیج فارس**	۶۷	۳۹	۲۵۴	۴۴۵	۱۱
مرزی غرب	۷	۱۸	۱۶۸	۴۴۱	۱۳
کرخه	۱۵	۵۱	۱۴۳	۲۵۰	۱۲
کارون و دز	۱۸	۶۲	۲۲۵	۴۰۰	۲
مارون و زهره	۸	۴۶	۷۱۸	۶۷۷	۳۶
شاپور، دالکی، مند و کل	۱۱	۳۳	۲۲۵	۳۹۳	۴۰
میناب و بلوچستان جنوبی	۸	۳۹	۷۹۰	۷۵۶	۱۷
کشف رود**	۹	۴۲	۱۵۳	۲۳۰	۰

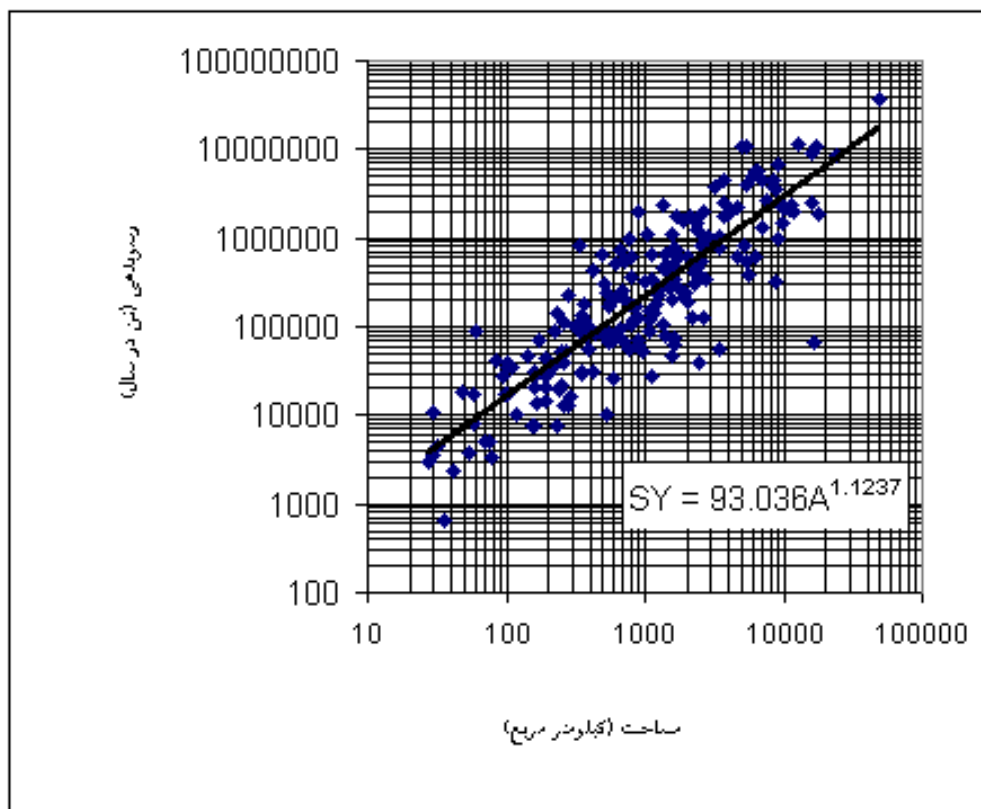
* محاسبه شده با لحاظ رسوبدهی مناطق بین ایستگاهی

** حوزه های رتبه ۱

حوزه	رسوبدهی ویژه (t/km ² .yr)
گرگانرود، ارومیه، دریاچه نمک، مرزی غرب، کشف رود، کرخه، تشت و بختگان و گاوخونی	۱۰۰-۲۰۰
کارون و دز، شاپور و دالکی و مند و کل، ساحلی خزر و تالش	۲۰۰-۳۰۰
کوبرهای نمک و لوت و کال شور، اترک، سفیدرود، ارس	۳۰۰-۴۰۰
جازموریان، میناب و بلوچستان جنوبی، مارون و زهره	>۷۰۰

مقدار فزاینده ای به رسوبدهی افزوده می شود و بالعکس اگر نما از یک کمتر باشد؛ به ازاء ازدیاد یک واحد به مساحت، مقدار کاهنده‌ای به رسوبدهی اضافه می گردد. این مسئله با تئوری‌های موجود مبنی بر اینکه رسوبدهی ویژه با افزایش مساحت تقلیل می‌یابد، انطباق ندارد، زیرا در چنین حالتی نما کمتر از واحد می‌شود. دلیلی که می‌توان در این ارتباط ذکر کرد احتمالاً مربوط به وجود فرسایش بیشتر در کوهپایه ها نسبت به ارتفاعات است.

در شکل (۴) نمودار تغییرات رسوبدهی به ازاء مساحت مربوط به رابطه (۲) مشاهده می‌شود. نمای این رابطه کمی از واحد بیشتر است که نشاندهنده افزایش رسوبدهی به ازاء ازدیاد واحد مساحت است. اگر نمای رابطه برابر یک باشد؛ به این معنی است که به ازاء افزایش یک واحد به مساحت، مقدار ثابتی به رسوبدهی حوزه اضافه می شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در این حالت رسوبدهی ویژه ثابت است. اگر نما بیش از یک باشد؛ به ازاء افزایش هر واحد به مساحت،



حکایت از تاثیر عواملی دیگر از قبیل سنگ شناسی حساس به فرسایش را دارد. طبقه بندی حوزه ها از نظر رسوبدهی ویژه آنها را در ۴ دسته قرار داد. این طبقه بندی باید اولیه تلقی شده و لازم است اثر عوامل دیگر از قبیل مساحت و گسترش مناطق با رسوبدهی ویژه زیاد در آنها لحاظ گردد.

روابط رگرسیونی ارائه شده تاثیر بیشتر مساحت و دبی ویژه بر رسوبدهی را مشخص کرد. این روابط نشان داد که به ازاء افزایش واحد مساحت، رسوبدهی به صورت تصاعدی افزایش می یابد که حاکی از اثر بیشتر مناطق کوهپایه ای در تولید رسوب است. همچنین مشخص گردید که حوزه های کم آب تر، تولید رسوب بیشتری دارند.

برای تحلیل بهتر رسوبدهی کشور توصیه می شود، بررسی های تکمیلی با استفاده از داده های بدست آمده از رسوبگذاری مخازن سدها و بندها، نتایج بدست آمده از اندازه گیری تلفات خاک و فرسایش با استفاده از پلات های فرسایش و رادیو ایزوتوپ ها و سایر منابع اطلاعاتی نیز انجام گیرد.

در جدول (۴) برخی مشخصات آبخیزهای دارای رسوبدهی ویژه بیش از ۱۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال گردآوری شده است. حوزه میناب و سفید رود به ترتیب با سه و دو ایستگاه بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده اند. بررسی اولیه نشان می دهد که در اکثر این حوزه ها، سازندهای حساس به فرسایش بویژه مارن و در بعضی از موارد لغزش نقش مهمی در تولید رسوب دارند. رودخانه های ساحلی خزر در این جدول مشاهده نمی شوند که نقش پوشش گیاهی را در تقلیل فرسایش روشن می کند.

۴- نتیجه گیری و پیشنهادها

این بررسی با استفاده از تحلیل رسوبدهی معلق در محل ایستگاههای رسوب سنجی، متوسط رسوبدهی ویژه کشور را در حدود ۲ تن در هکتار در سال تعیین کرد که بسیار کمتر از برآورد های قبلی می باشد. با این همه وضعیت فرسایش در حد بحرانی و بیش از تلفات مجاز می باشد. اگر چه حوزه های جنوبی کشور با اختصاص بیشترین تولید رسوب به خود بیانگر اهمیت عامل اقلیمی هستند؛ وجود مناطق با رسوبدهی زیاد و خیلی زیاد در مناطق دیگر کشور،

جدول ۴- آبخیزهای دارای رسوبدهی ویژه معلق بیش از ۱۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال

شماره	رودخانه	ایستگاه	حوزه	حوزه اصلی	مساحت (km ²)	روائاب (mm/yr)	رسوبدهی ویژه (t/km ² .yr)
۱	سرخاب	کشور	دز	خلیج فارس	۳۳۵	۵۶۵	۲۳۹۱
۲	گدارخوش	تخت خوان	مرزی غرب	خلیج فارس	۸۸۸	۱۸۶	۲۱۸۱
۳	شاهرود	لوشان	سفید رود	خرز	۵۰۷۰	۲۲۰	۲۱۵۴
۴	دالکی	سر قنات	شاپور- دالکی	خلیج فارس	۵۳۱۰	۹۳	۱۹۹۵
۵	شور جیرفت	دهرود	هامون جازموریان	مرکزی	۱۳۵۰	۱۸۸	۱۷۷۸
۶	دریان چای	دریان	ارومیه	مرکزی	۶۱	۲۸۵	۱۴۳۰
۷	قلجق	بازرو	اترک	خرز	۴۸۷	۸۸	۱۳۵۸
۸	طالقان	گلینک	سفید رود	خرز	۷۷۵	۵۴۷	۱۲۷۰
۹	مارون	بهبهان تنگنکاب	مارون و زهره	خلیج فارس	۳۷۴۳	۴۵۰	۱۲۱۴
۱۰	حبله رود	بنکوه	کویر نمک	مرکزی	۳۱۹۵	۸۷	۱۲۱۲
۱۱	مازابی	مازابی	میناب	خلیج فارس	۶۷۰	۶۳	۱۱۱۸
۱۲	جاماش	سرمقسم	میناب	خلیج فارس	۱۰۴۸	۸۱	۱۰۵۶
۱۳	شمیل	شمیل	میناب	خلیج فارس	۱۷۱۵	۳۳	۱۰۴۵
۱۴	جاجرود	رودک	دریاچه نمک	مرکزی	۴۲۱	۵۸۷	۱۰۴۰

۵- تشکر

روزیطلب، محمدحسن (۱۳۶۹) "ویژگیهای عمومی خاکهای ایران- نگرشی بر استعداد تولیدی و محدودیتهای آن". دانشمند، سال ۲۸، شماره ۴۳، صفحه ۲۶-۱۸.

شاهویی، صابر (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"، پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه.

عرب خدری، محمود، شاهرخ حکیم خانی و داود نیک کامی (۱۳۸۲)، "مقایسه چند روش آماری برآورد رسوبدهی معلق در یک حوزه با رژیم برفی بارانی"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پایان یافته مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری به کد ۱۵-۰۰۰۳۵۰۰۰۰۵۰۰-۰۷۹، ۶۳ صفحه.

عرب خدری، محمود، شاهرخ حکیم خانی و علی ولی خوچینی (۱۳۷۷) "ضرورت تجدید نظر در روش متداول برآورد رسوبدهی معلق". مجموعه مقالات پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص ۴۲۹ تا ۴۳۸.

اعتبار لازم برای اجرای این تحقیق از طریق پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در قالب طرح تحقیقاتی "برآورد رسوبدهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران" با کد ۰۹ - ۰۵۱۰۳۱۷۰۰۰ - ۷۴ تأمین شده است که بدینوسیله از فرصت ایجاد شده سپاسگزاری می‌شود. لازم می‌دانم از زحمات و همکاریهای آقایان حکیم خانی و وروانی که در محاسبه و تحلیل رسوبدهی ایستگاهها همکاری داشته‌اند قدردانی نمایم.

۶- مراجع

ثامنی، عبدالمجید (۱۳۷۶) "تلفات سالیانه خاک ایران سر به فلک می‌زند". مجموعه مقالات اولین سمینار ملی مرتع و مرتعداری در ایران-۲۵ تا ۲۷ مرداد ۱۳۷۳. دانشگاه صنعتی اصفهان. صفحه ۸۹-۹۷.

جاماب، شرکت مهندسی مشاور (۱۳۷۸)، "گزارش سنتز طرح جامع آب کشور"، وزارت نیرو.

- منجوانی، فیروز (۱۳۵۱)، "مبارزه با فرسایش و اصلاح آبخیزها"، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۳۵۱، ۳۶۸ صفحه.
- مینعی، عزیز (۱۳۶۹)، "دامداری، مراتع و برنامه پنج ساله اول"، دانشمند، سال ۲۸، شماره ۴۳، صفحه ۴۲-۳۶.
- Jansson, M.B. (1996) "Estimating a sediment rating curves of the Reventazon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes". *Journal of Hydrology*. Vol. 183:No. 4, pp. 227-241.
- Sharifi, F. and Heydarian S. A. (1999) "On the land and water resources management (LWR) strategies in Iran". In: Taleb-Beydokhti, N., A. Telvari, and S. A. Heydarian (Eds.). *The regional workshop on traditional water harvesting system*. Tehran, Iran. pp: 237- 255.
- Walling, D.E. (1994), Measuring sediment yield from river basins, In: R. Lal (Ed), *Soil erosion research methods. Soil and water conservation society publ.*, 2nd Eddition, pp. 39-83.
- Walling, D. E. and Webb B. W. (1987), "Material transport by the world's rivers: evolving perspectives". *IAHS Publication* No. 164, pp. 313-329.
- Woodward, J. C. (1995) "Pattern of erosion and suspended sediment yield in Mediterranean river basins". In: Gurnell, A.M. and B.W. Webb (Eds), *Sediment and water quality in river catchments*. John Wiley & Sons Ltd. pp. 365-389.
- 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. صفحه ۴۶-۲۸ تا ۴۹-۲۸.
- میرابوالقاسمی، هادی و سعید مرید (۱۳۷۴) "بررسی روشهای هیدرولوژیکی برآورد بارمعلق رودخانه‌ها". آب و توسعه، شماره ۱۰، صفحه ۶۷-۵۴.
- Boardman, J. (1998) "An average soil erosion rate for Europe: Myth or reality?" *Journal of soil and water conservation*. 53(1), pp. 46-50.
- Fraser, A. S., M. Meybeck, and Ongley E. D. (1995) "Water Quality of world river basins". UNEP.
- Dedkov, A.P. and Mozzherin V. I. (1992) "Erosion and sediment yield in mountain regions of the world". In: Walling, D.E., T. R. Davies and B. Hasholt (Eds), *Erosion, Debris flows and environment in mountain regions. IAHS Publication* No. 209, pp. 29-36.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴ مهر ۱۳۸۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۰ اردیبهشت ۱۳۸۴