



دوره ۳۱، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۲۰، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۷-۱۳  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.121424.1106

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش‌وسازندگی)

## تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران

**محمود عرب‌خدری\***

(نویسنده‌ی مسئول)\* عضو هیئت‌علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

**صمد شادفر**

عضو هیئت‌علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

**علی جعفری‌اردکانی**

عضو هیئت‌علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

**رضا بیات**

عضو هیئت‌علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

**الباس خواجوی**

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

**محمدحسین مهدیان**

عضو هیئت‌علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

\* Corresponding Email: arabkhedri@scwmri.ac.ir

### چکیده

مقدار فرسایش آبی خاک کشور، براساس نقشه‌ی شدت فرسایش تهیه‌شده در پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری با کاربرد روش توان فرسایش (EPM) ۹۷۶ میلیون تن در سال برآورد شده است. این نقشه از نظر شناسایی مناطق حساس‌تر به فرسایش در هر منطقه، مناسب است، ولی مقادیر برآوردی مدل، نیاز به واسنجی با مقادیر مشاهده‌ای را دارد که براساس آمار رسوب ۲۷۶ آبخیز کشور انجام شده است. کمینه و بیشینه‌ی رسوب‌دهی سالانه‌ی مشاهده‌ای، به ترتیب ۴ و ۵۵۹۱، و رسوب‌دهی سالانه‌ی برآوردی با مدل، به ترتیب ۳۱ و ۲۹۴۶ تن در کیلومتر مربع به دست آمد. نسبت اصلاحی در هشت منطقه‌ی همگن، با تقسیم میان‌مقدار متناظر رسوب مشاهده‌ای به برآوردی، از ۰/۵۷ تا ۱/۴۳ محاسبه شد. با اعمال ضریب اصلاحی، مقادیر فرسایش سالانه به تفکیک مناطق همگن محاسبه شد که بیشترین و کمترین میان‌مقدار به ترتیب با ۱۰۶۳ و ۱۳۰ تن در کیلومتر مربع، به آبخیزهای دریای عمان (منطقه‌ی ۸) و کویرها (منطقه‌ی ۶) تعلق دارد. مقدار فرسایش سالانه‌ی کشور، ۸۹۵ میلیون تن (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) برآورد شد که بیشترین و کمترین سهم به ترتیب به منطقه‌ی ۸ (۳۳٪) و منطقه‌ی ۱ یا ساحلی خزر (۲/۵٪) مربوط است؛ همچنین، ملاحظه شد که برخلاف انتظار، رسوب‌دهی ویژه‌ی مشاهده‌ای با افزایش مساحت، اضافه می‌شود که دلایل احتمالی آن در متن ارائه شده است.

**واژگان کلیدی:** رسوب‌دهی، فرسایش، روش توان فرسایش، مناطق همگن

## Improving Water Erosion Estimates for Iran

**Mahmood Arabkhedri \***

(Corresponding Author)\*, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

**Samad Shadfar**

Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

**Ali Jafari-Ardakani**

Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

**Reza Bayat**

Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

**Elias Khajavi**

Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Mohammad Hossein Mahdian**

Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

### Abstract

The amount of country's water erosion is estimated at a rate of 976 million  $t.yr^{-1}$  by Erosion Potential Method (EPM) based on the national erosion map prepared at the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. This map is suitable for identifying the most sensitive areas to erosion in each region, but the estimated values of the model need calibration, which was estimated based on the observed sediment yield data of 276 watersheds. The minimum and maximum annual observed sediment yields were 4 and 5591  $t.km^{-2}$ , and estimated by the model was 31 and 2946  $t.km^{-2}$ , respectively. Correction ratio in the eight homogeneous regions was between 0.57 to 1.43 by dividing the median of the observed sediment yields to the corresponding estimates in the studied watersheds. These ratios then were used to improve the erosion values for homogeneous regions between 1063 and 130  $t.km^{-2}.yr^{-1}$ , belonging to the Oman Sea (Region 8) and the internal desert (Region 6) basins, respectively. The annual erosion of the country was estimated to be million 895  $t.yr^{-1}$ . The (5.5  $t.ha^{-1}.yr^{-1}$ ), with the highest and lowest contribution, respectively to the Region 8 (33%) and the Region 1 or Caspian Sea coastal basins (2.5%). It was also found that the observed specific sediment yield had a positive correlation with an increasing area unlike the expectation, with its probable reasons have been explained in the paper.

**Keywords:** erosion, EPM, homogeneous regions, sediment yield

## مقدمه

شدید رسوب‌دهی ویژه، در یک آبخیز در حرکت به پایین دست (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۱۶) نمونه‌هایی از آن است. وجود چنین موانعی، مانع از رسیدن به یک اجماع در برآورد فرسایش متوسط برای مناطق بزرگی، مانند یک کشور یا قاره می‌شود.

معمولاً برای ارائه‌ی میزان فرسایش حوضه‌ی آبخیز یا یک منطقه یا کشور، از ویژگی نرخ فرسایش متوسط استفاده می‌شود؛ اما صرفاً استفاده از میانگین حسابی برای تعیین نرخ فرسایش متوسط، صحیح نیست (بردمن ۲۰۰۶). نرخ فرسایش نقاط مختلف یک حوضه، از توزیع بهنجار پیروی نمی‌کند و به‌طور محسوس یک توزیع با چولگی چپ را نشان داده است و از این‌رو، میانگین حسابی، فرسایش را بیشتر از مقدار واقعی ارائه می‌دهد. در این حالت، بین آماره‌های تمایل به مرکز، بهتر است ویژگی میانه، جایگزین میانگین حسابی فرسایش شود. یک راه برای حل مشکل چولگی، تهیه‌ی نقشه‌ی فرسایش است. استینهوف-ناپ و همکاران (۲۰۱۸) نتایج ۱۷ سال پایش فرسایش آبی ۸۶ مزرعه را در شمال آلمان به نقشه تبدیل کردند که متوسط فرسایش، ۰/۸۵ تن در هکتار در سال محاسبه شد؛ در حالی که مقادیر فرسایش متوسط افزون بر ۷ تن در هکتار در سال نیز اندازه‌گیری شده بود.

وجود تعداد شایان توجهی اندازه‌گیری از رسوب‌دهی رودها در حوضه‌های آبخیز کشور، شرایط را برای اصلاح برآوردهای پیشین مهیا کرده است. با توجه به این واقعیت، پژوهشی با هدف تدقیق نرخ فرسایش آبی کشور انجام گرفت. از میان برآوردهای موجود پیش‌تر اشاره‌شده، مقدار برآوردشده در طرح سیمای حوضه‌های آبخیز کشور، با استفاده از روش EPM (شریفی و همکاران ۲۰۱۵)، به دلیل یکپارچگی نقشه‌ی تهیه‌شده در کل کشور و همچنین وجود لایه‌های اطلاعاتی آن، اهمیت ویژه‌ای دارد. مشکل این برآورد، واسنجی نشدن براساس مقادیر مشاهده‌ای بود که تلاش شد در این پژوهش برطرف شود.

## داده‌های موجود و روش کار

این پژوهش در سطح کل کشور انجام گرفت و در اولین قدم، رسوب‌دهی محاسبه‌شده در ۲۶۹ حوضه، مشتمل بر ۲۰۶ ایستگاه آب‌سنجی (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۰۹)، ۲۷ سد مخزنی از شرکت مدیریت منابع آب<sup>۱</sup> و ۳۶ بند رسوب‌گیر (هاشمی و همکاران ۲۰۰۸؛ بروشکه و همکاران ۲۰۰۳؛ آقارزی و همکاران ۲۰۱۰؛ مختاری و همکاران ۲۰۰۲) جمع‌آوری شد. برای محاسبه‌ی بار کل و هماهنگ‌کردن بار رسوبی ایستگاه‌های آب‌سنجی با داده‌های رسوب‌سنجی بندها و سدها، سهم بار کف این حوضه‌ها براساس دستورالعمل موجود (بهادری خسروشاهی ۲۰۱۲) تعیین و به رسوب معلق اضافه شد.

از میان عوامل متعدد تخریب خاک، فرسایش تشدیدی بیشترین اهمیت را دارد که وضعیت آن در سطح آسیا، اسفناک و در خاورمیانه و شمال آفریقا، بسیار اسفناک ارزیابی شده است (فائو و آی‌تی‌پی‌اس<sup>۱</sup> ۲۰۱۵). مجموعه‌ی خسارات زیست‌محیطی برجا و خارج از محل فرسایش خاک بسیار زیاد است. بانک جهانی (۲۰۰۵) مقدار خسارت ناشی از مجموعه‌عوامل تخریب را در ایران حدود ۱۰ میلیارد دلار در سال برآورد کرده است که اهمیت فراوان اقتصادی تخریب خاک را نیز نشان می‌دهد. بدیهی است هرگونه برنامه‌ریزی برای حفاظت خاک بدون آگاهی از نرخ تلفات خاک و تولید و انتقال رسوب امکان‌پذیر نیست. برای تعیین میانگین میزان فرسایش آبی و رسوب‌دهی در مناطق بزرگ جغرافیایی، نظیر استان، کشور، قاره و سطح کل خشکی‌ها، افزون‌بر داده‌های اندازه‌گیری‌شده از فرسایش دامنه‌ها و رسوب‌دهی رودها، به مدل‌ها و روش‌های آماری مناسب نیز نیاز هست. مباحث پیچیده‌ی مرتبط با فرایندهای هیدرومورفولوژی (ریخت‌شناسی آبی) و تغییر مقیاس، برای درک پیوستگی از یک بدون خاک تا سطح آبخیز وجود دارد که هنوز راه درازی تا رسیدن به این مباحث وجود دارد (سیدل و همکاران ۲۰۱۷). تفاوت‌های زیادی بین مقادیر برآوردشده‌ی فرسایش و رسوب‌دهی در پژوهش‌های مختلف، چه در مقیاس‌های کوچک و چه در مقیاس‌های بزرگ وجود دارد؛ برای مثال، والینگ و وب (۱۹۸۷) نقشه‌های تولید رسوب تهیه‌شده در مقیاس جهانی را با چندبرابر اختلاف گزارش کرده‌اند. به تبع وجود اختلاف در برآوردهای فرسایش و رسوب جهانی، در ایران نیز پراکندگی زیادی بین برآوردها از حدود کمینه یک میلیارد تن در سال (فیروز نخجوانی ۱۹۷۲؛ عرب‌خدری و همکاران ۲۰۰۹؛ پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۰۰۷) تا بیشینه دو تا چهار میلیارد تن (نیک‌کامی ۲۰۱۲؛ شریفی و حیدریان ۱۹۹۹) مشاهده می‌شود.

یک دلیل مهم دیگر این‌گونه تفاوت‌ها، وجود داده‌های ناقص و نامعتبر از میزان فرسایش و رسوب در اغلب نواحی دنیا است (بردمن و پوسن ۲۰۰۶). استفاده از این داده‌ها، بدون بررسی صحت و دقت آن‌ها، به انتشار نتایج نادرست و ناقص می‌انجامد (آنادانا و هراث ۲۰۰۳؛ میلیمن و مید ۱۹۸۳). بخشی دیگر از اختلاف برآوردها به ضعف روش‌های به‌کاررفته، مانند کارشناسی بودن آن‌ها و تعمیم اندازه‌گیری‌های محدود از زمین‌های نسبتاً کوچک به سطوح بزرگ (بردمن ۱۹۹۸) و استفاده از مدل‌های واسنجی‌نشده (گاورز و همکاران ۲۰۱۷) مربوط است. دامنه‌ی گسترده‌ی اختلاف در برآوردها، تا حد زیادی به طبیعت پیچیده‌ی فرسایش نیز مربوط است؛ به‌طوری‌که تفاوت زیاد در تلفات خاک قطعه‌های مشابه مجاور (توی و همکاران ۲۰۰۲) و تغییرات

1- intergovernmental technical panel on soil (ITPS)

2- erosion potetial method (EPM)

با توجه به جدول‌های راهنمای روش EPM استخراج و مقدار متوسط برای هر حوضه محاسبه شد.

گام دوم، محاسبه‌ی ضریب دمای هر حوضه (T) از رابطه‌ی

$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{\frac{3}{2}}$  که در آن t دمای متوسط سالانه‌ی حوضه برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد، از نقشه‌ی هم‌دمای کشور استخراج شد. گام سوم، محاسبه‌ی فرسایش ویژه‌ی هر حوضه (Wsp) برحسب

مترمکعب بر کیلومترمربع از رابطه‌ی  $Wsp = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{\frac{3}{2}}$  که در آن، H میانگین بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر، از نقشه‌ی هم‌باران کشور به‌دست آمد. Z و T به‌ترتیب نتیجه‌ی دو گام اول و دوم و عدد پی هستند.

گام چهارم، محاسبه‌ی ضریب رسوب‌دهی یا نسبت تحویل رسوب

(Ru) از رابطه‌ی  $Ru = \frac{4 \times (P \times D)^{0.5}}{L + 10}$  که در آن، P محیط حوضه برحسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع متوسط و خروجی حوضه به کیلومتر و L طول حوضه‌ی آبخیز به کیلومتر، همگی از نقشه‌ی پستی‌وبلندی به‌دست آمدند.

نهایتاً، با آگاهی از فرسایش ویژه‌ی حوضه (Wsp) و ضریب رسوب‌دهی (Ru)، رسوب‌دهی ویژه‌ی حوضه برحسب مترمکعب در کیلومترمربع

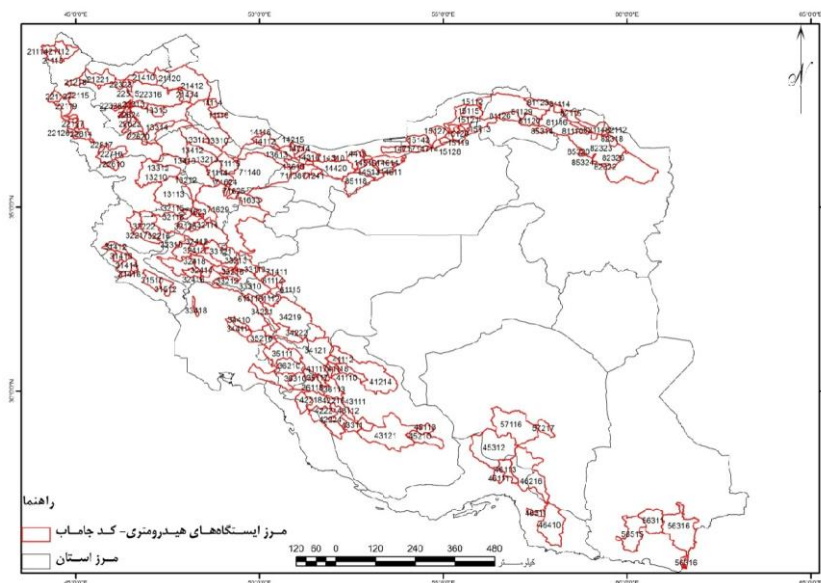
از رابطه‌ی  $Gsp = Wsp \times Ru$  محاسبه شد.

در مرحله‌ی بعد با مشخص بودن محل ایستگاه‌های آب‌سنجی و بندها و سد‌های منتخب، مرز حوضه‌های آبخیز روی نقشه‌ی پستی‌وبلندی استخراج و ترسیم شد که شکل ۱ پراکنش محل حوضه‌های دارای ایستگاه آب‌سنجی را نشان می‌دهد. پراکنش دو دسته‌ی دیگر، به‌ویژه حوضه‌ی سد‌های بزرگ، تشابه بسیار زیاد با ایستگاه‌های آب‌سنجی دارد. توجه به پراکنش محل‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد که تقریباً همه‌ی آن‌ها بر دو رشته‌کوه البرز و زاگرس انطباق دارند. بدیهی است محل‌های مورد مطالعه نمی‌توانند معرف تمام مناطق کشور، به‌خصوص دشت‌های موجود در آن باشند؛ با این‌همه، چون عمده‌ی فرسایش آبی مربوط به مناطق پرشیب و پرباران است، این داده‌ها ارزشمند هستند. با تهیه‌ی لایه‌ی مرز حوضه‌ها، اطلاعات مورد نیاز از نقشه‌های پایه‌ی سراسری مورد استفاده در طرح اطلس سیمای حوضه‌های آبخیز (پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۰۱۲) برای برآورد فرسایش و رسوب‌دهی مدل EPM به شرح گام‌های زیر تعیین شد (گاورلوچ ۱۹۸۸) و برای محاسبه‌ی فرسایش و رسوب‌دهی به کار رفت.

گام اول، محاسبه‌ی ضریب فرسایش فعلی هر حوضه (Z) از رابطه‌ی

$Z = Y \cdot Xa \cdot (\varphi + I)^{\frac{1}{2}}$  که در آن (Y) ضریب حساسیت سنگ و

خاک به فرسایش، (Xa) ضریب استفاده از زمین، (φ) ضریب شرایط فرسایشی و (I) عامل شیب زمین، به‌ترتیب از نقشه‌های فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی، نقشه‌ی شکل‌های فرسایش و نقشه‌ی شیب،



شکل ۱- مرز حوضه‌ی ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه.

پس از تعیین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی رسوب‌دهی حوضه‌ها، آماره‌های مهم مشتمل بر بیشینه، کمینه، میانگین، میانه، کشیدگی و چولگی برای هر دو دسته محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد، نسبت میانه‌ی مقادیر مشاهده‌ای به برآوردی، برای اصلاح مقادیر برآوردی محاسبه و

برای تدقیق مقادیر Wsp روش EPM استفاده شد؛ به‌عبارت‌دیگر، با ضرب مقدار Wsp برآوردی روش EPM در هر پیکسل با نسبت یا ضریب اصلاحی به‌دست‌آمده، مقدار برآورد روش EPM تدقیق شد. استفاده از نسبت میانگین‌ها برای برآورد برخی از داده‌های گم‌شده در

ارائه‌ی فقط یک عدد، به‌عنوان میانگین فرسایش و رسوب برای مناطق وسیع، صحیح و منطقی به نظر نمی‌رسد؛ زیرا ذکر مقادیر دامنه‌ی بالایی و پایینی، علاوه بر نرخ میانگین فرسایش، می‌تواند به‌ترتیب توضیح‌دهنده‌ی شرایط بحرانی و کم فرسایش منطقه باشد. زمانی که تعداد زیادی اندازه‌گیری از یک متغیر با توزیع ناهنجار وجود دارد، می‌توان مقادیر موجود را در گروه‌های یکسان و هم‌اندازه از قبیل چارک‌ها دسته‌بندی کرد (آلتمن و بلند ۱۹۹۴)؛ چراکه این تقسیم‌بندی، کمتر در معرض چگونگی توزیع نقاط و داده‌های خارج از حد قرار می‌گیرد. با توجه به این توصیه، در پژوهش حاضر، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، مقادیر رستری فرسایش تعدیل‌شده در هر منطقه، در چهار دسته گزارش شد.

### نتایج و بحث

#### الف) تحلیل‌های آماری اولیه

در جدول ۱ آماره‌های توصیفی مجموعه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و مقادیر برآوردشده با کاربرد EPM در بندها، سدهای مخزنی و ایستگاه‌های آب‌سنجی ارائه شده است. مطابق این جدول، میان‌میانگین رسوب‌دهی مشاهده‌ای، به‌ترتیب ۳۳۶ و ۶۰۸ تن در کیلومتر مربع در سال است. اختلاف حدود دوبرابر میانگین نسبت به میان‌میانگین که نشانه‌ای از ناهنجاری بودن توزیع داده‌های مشاهده‌ای است، به‌وضوح دریافتی است. این موضوع با توجه به مقادیر چولگی و کشیدگی نیز اثبات می‌شود. اختلاف میان‌میانگین در مقادیر برآوردی کمتر است و چولگی و کشیدگی نیز در مقایسه با مقادیر متناظر مشاهده‌ای تقلیل یافته است.

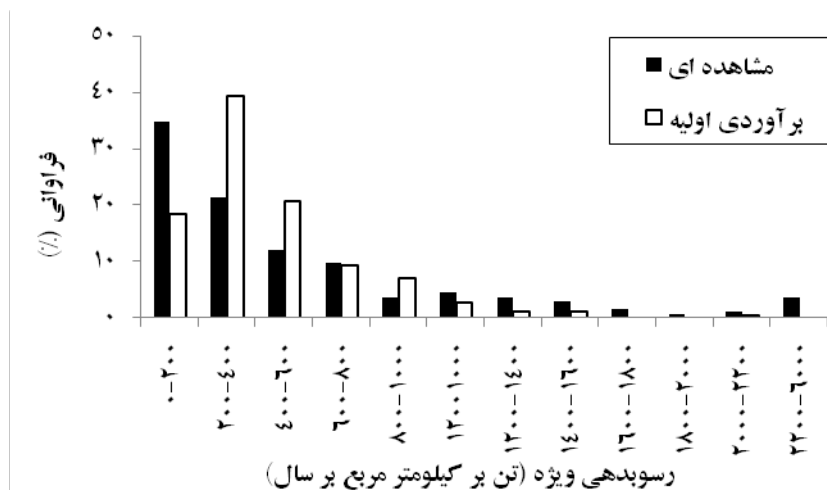
آب‌شناسی متداول است (علیزاده ۲۰۰۸). نظر به تأثیر شدید مقادیر بزرگ بر میانگین حسابی در داده‌های ناهنجار (بردمن ۲۰۰۶)، در این پژوهش، نسبت میان‌میانگین به‌جای میانگین مورد توجه قرار گرفت. تنوع بسیاری از نظر شرایط پستی و بلندی، زمین‌شناسی و اقلیمی بین نواحی مختلف کشور، همچون مناطق کوهستانی البرز و زاگرس، کوه‌های مرکزی، منطقه‌ی کوهستانی شرقی، مناطق مرکزی کویری و منطقه‌ی پست ساحلی وجود دارد که بر نرخ فرسایش و تولید رسوب اثرگذار است؛ بنابراین، اعمال فقط یک ضریب اصلاحی برای تدقیق مقادیر موجود، منطقی به‌نظر نرسید؛ پس کشور به چند منطقه‌ی همگن بزرگ تقسیم و ضریب اصلاحی جداگانه‌ای برای هر یک از مناطق، تعیین شد. برای تعیین مناطق همگن از روش تقسیم‌بندی جغرافیایی متکی بر مرز ۳۰ حوضه‌ی رده ۲ تمام استفاده شد. دلیل استفاده از مرز حوضه‌ها، ضرورت تکیه بر رسوب‌دهی ایستگاه‌های آب‌سنجی، بندهای رسوب‌گیر و سدهای مخزنی است که در حوضه‌های بزرگ معنی پیدا می‌کند. امکان استفاده از مرز حوضه‌های رده‌ی ۳ و ۴ به دو دلیل وجود ندارد: اولاً، خیلی از این حوضه‌ها مستقل نیستند؛ به‌عبارت‌دیگر، ممکن است آب و رسوب را از حوضه‌ی بالادست دریافت کنند؛ ثانیاً، تعداد داده‌ی مشاهده‌ای کافی در زیرحوضه‌های رده ۳ و ۴ و گاهی حتی در حوضه‌های رده ۲ به‌تنهایی وجود ندارد؛ چون تعیین نسبت یا ضریب اصلاحی معتبر، منوط به وجود تعداد کافی مشاهده است. برای شناسایی شباهت و تفاوت حوضه‌های رده‌ی ۲ تمام و دسته‌بندی آن‌ها از شیب منحنی تغییرات مساحت پنج‌طبقه‌ی نقشه‌ی شدت فرسایش EPM استفاده شد. پس از تفکیک کشور به چند منطقه‌ی همگن، در هر منطقه، ضریب اصلاحی مربوطه محاسبه شد.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی رسوب مشاهده‌ای و برآوردی بندها، سدهای مخزنی و ایستگاه‌های آب‌سنجی.

رسوب‌دهی کل	میانگین	میان	کمینه	بیشینه	کشیدگی	چولگی
مشاهده‌ای	۶۰۸	۳۳۶	۴	۴۵۲۲	۱۳/۳	۳/۲
برآوردی	۴۴۳	۳۶۲	۳۵	۲۱۲۵	۴/۴	۱/۷۳

به خود اختصاص داده‌اند؛ البته مطابق شکل، حدود ۵۵٪ از مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی کمتر از ۴۰۰ تن در هکتار در سال هستند. به‌طور کلی، دامنه‌ی مقادیر رسوب مشاهده‌ای بیشتر از دامنه‌ی مقادیر برآوردی است که بیانگر انعطاف‌پذیری کم مدل نسبت به شرایط واقعی است.

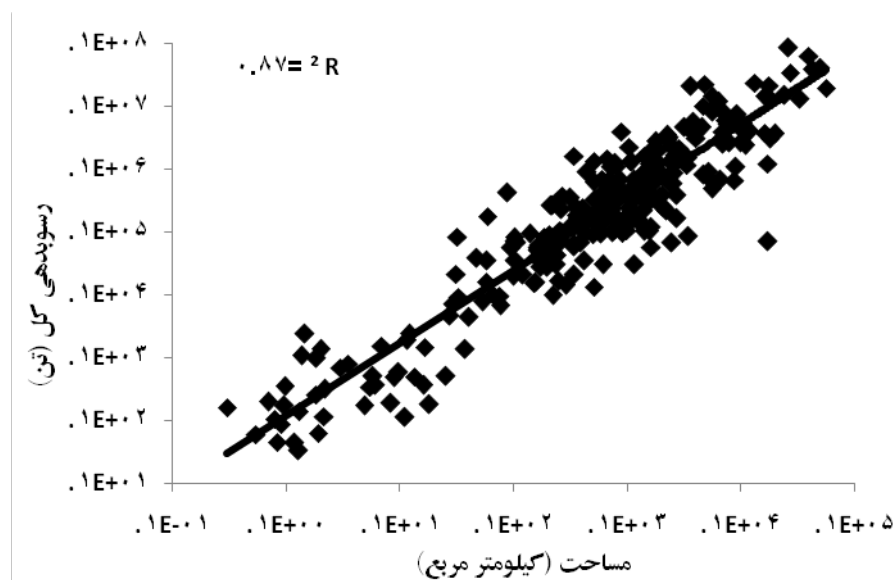
برای بررسی بیشتر، نمودار ستونی داده‌های رسوب مشاهده‌ای و برآوردی با EPM (قبل از اصلاح) ترسیم شد (شکل ۲). ملاحظه می‌شود که توزیع فراوانی دسته‌های موجود و دامنه‌ی مقادیر داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی تفاوت دارند. بررسی این نمودار ستونی نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی مقادیر مشاهده‌ای در دسته‌ی اول است؛ در حالی که، در داده‌های برآوردی دسته‌ی دوم، بیشترین فراوانی را



شکل ۲- نمودار ستونی مقادیر رسوبدهی مشاهده‌ای و برآوردی.

افزایش پیدا می کند، میزان رسوب کل حوضه به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱٪) زیاد می‌شود که مؤید روندی منطقی است. با بزرگ شدن حوضه‌ها سطح تولیدکننده‌ی رسوب بیشتر می‌شود و در نتیجه، مقدار رسوبدهی کل نیز افزایش می‌یابد.

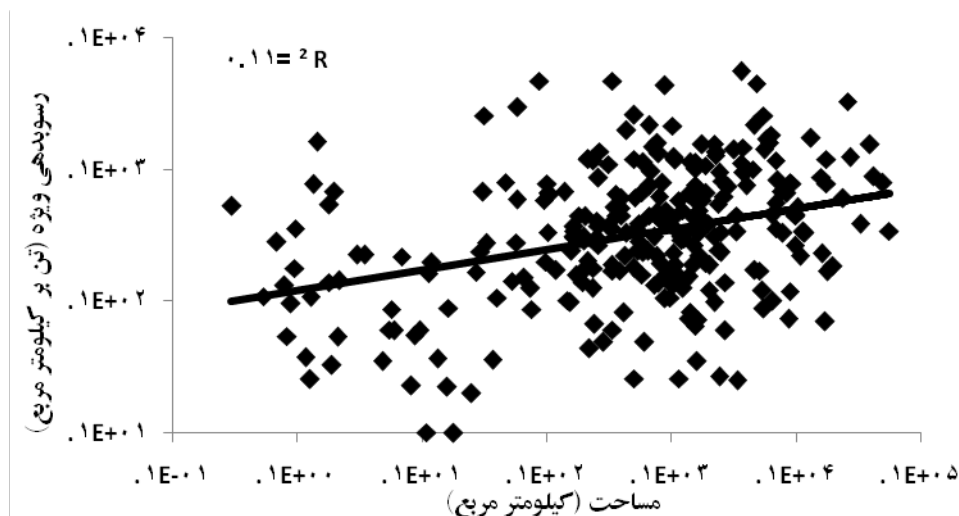
شکل ۳ روند تغییرات رسوب کل مشاهده‌ای (مجموع بارهای معلق و کف) همه‌ی حوضه‌های مورد بررسی را، مشتمل بر سدهای مخزنی بزرگ، بندهای رسوب‌گیر و ایستگاه‌های آب‌سنجی، به‌ازای مساحت نشان می‌دهد. مطابق این شکل، هرچه مساحت حوضه



شکل ۳- روند تغییرات رسوبدهی کل مشاهده‌شده نسبت به مساحت.

تغییرات، در دید کلی ملاحظه می‌شود که برخلاف انتظار، با افزایش مساحت، رسوبدهی ویژه نیز افزایش می‌یابد. توضیح آنکه اغلب حوضه‌های مورد بررسی در مناطق کوهستانی و تپه‌ای و قبل از ورود به دشت قرار دارند. وانمارکه و همکاران (۲۰۱۰) وجود رابطه‌ی مثبت ضعیف بین رسوبدهی ویژه و مساحت را در حوضه‌های کوهستانی و مدیترانه‌ای اروپا و رابطه‌ی منفی ضعیف را در مناطق دشتی و معتدل اروپا گزارش کرده‌اند.

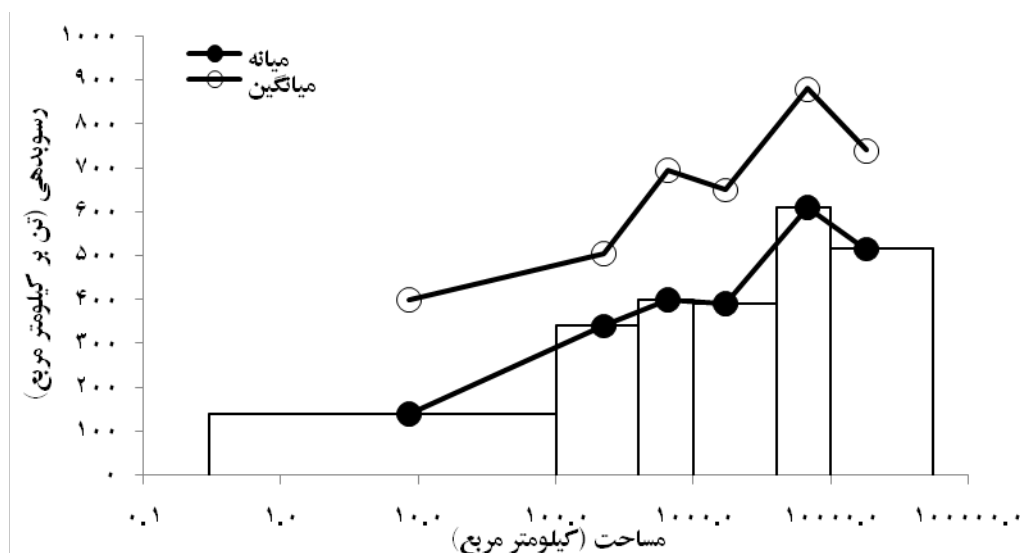
در شکل ۴ تغییرات رسوبدهی ویژه‌ی مشاهده‌ای (مجموع بارهای معلق و کف) به‌ازای مساحت نشان داده شده است که حاکی از پراکندگی بیشتر ابر نقاط در مقایسه با شکل ۳ است. باوجود پایین‌تر بودن ضریب همبستگی، رابطه‌ی رسوبدهی ویژه‌ی مشاهده‌ای و مساحت در سطح ۱٪ معنی‌دار است؛ بااین‌همه، دقت در این نمودار نشان می‌دهد که روند ابر نقاط ثابت نیست؛ به‌طوری‌که در حوضه‌های کوچک‌تر از ۲۰ کیلومتر مربع، روند نزولی و پس‌از آن روند صعودی می‌شود. باوجود این



شکل ۴- روند تغییرات مقادیر رسوبدهی ویژه مشاهده شده نسبت به مساحت.

حوضه تا حدود ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع دارد. میانگین نیز روندی مشابه را نشان می‌دهد. این در حالی است که بیشینه رسوبدهی ویژه کل (مجموع بارهای معلق و کف) مشاهده شده در حوضه‌های هر پنج طبقه ی مساحت به هم نزدیک و در محدوده ی ۴۵۰۰ تا ۵۶۰۰ تن در کیلومترمربع در سال قرار دارد.

با توجه به پراکنش زیاد داده‌ها در نمودار شکل ۴ و برای روشن تر شدن روند، اقدام به طبقه بندی مساحت حوضه‌ها و محاسبه ی میانه و میانگین رسوبدهی ویژه در هر طبقه شد که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود. این شکل حکایت از روند صعودی میانه ی رسوبدهی ویژه از ۱۴۳ تا ۶۱۲ تن در کیلومترمربع در پنج طبقه ی اول با افزایش مساحت



شکل ۵- تغییرات میانه و میانگین رسوبدهی ویژه ی سالانه (مجموع بار معلق و کف) در طبقات مساحت حوضه.

با توجه به وجود برون زدگی‌های سنگی و کم عمق بودن خاک مناطق کوهستانی ایران توجیه پذیر است (دوان و فاموری ۱۹۶۴). با حرکت از سرشاخه به سمت پایین تر که مساحت حوضه‌ها نیز افزایش می‌یابد، تنوع سازندهای زمین شناسی، به ویژه آن‌ها که مناطق تپه ماهوری را

اگرچه در منابع (والینگ ۱۹۹۴)، رابطه ی رسوبدهی ویژه و مساحت معکوس مطرح شده است، افزایش رسوبدهی ویژه با بزرگ تر شدن مساحت آبخیز، در عمده حوضه‌های کوهستانی ایران منطقی به نظر می‌رسد. کم بودن میانگین رسوبدهی در حوضه‌های کوچک، تا حدی

مواد رسوبی به تدریج بر جای می‌مانند؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با حرکت به سمت دریا یا دریاچه‌های داخلی، رسوب‌دهی ویژه کاهش می‌یابد.

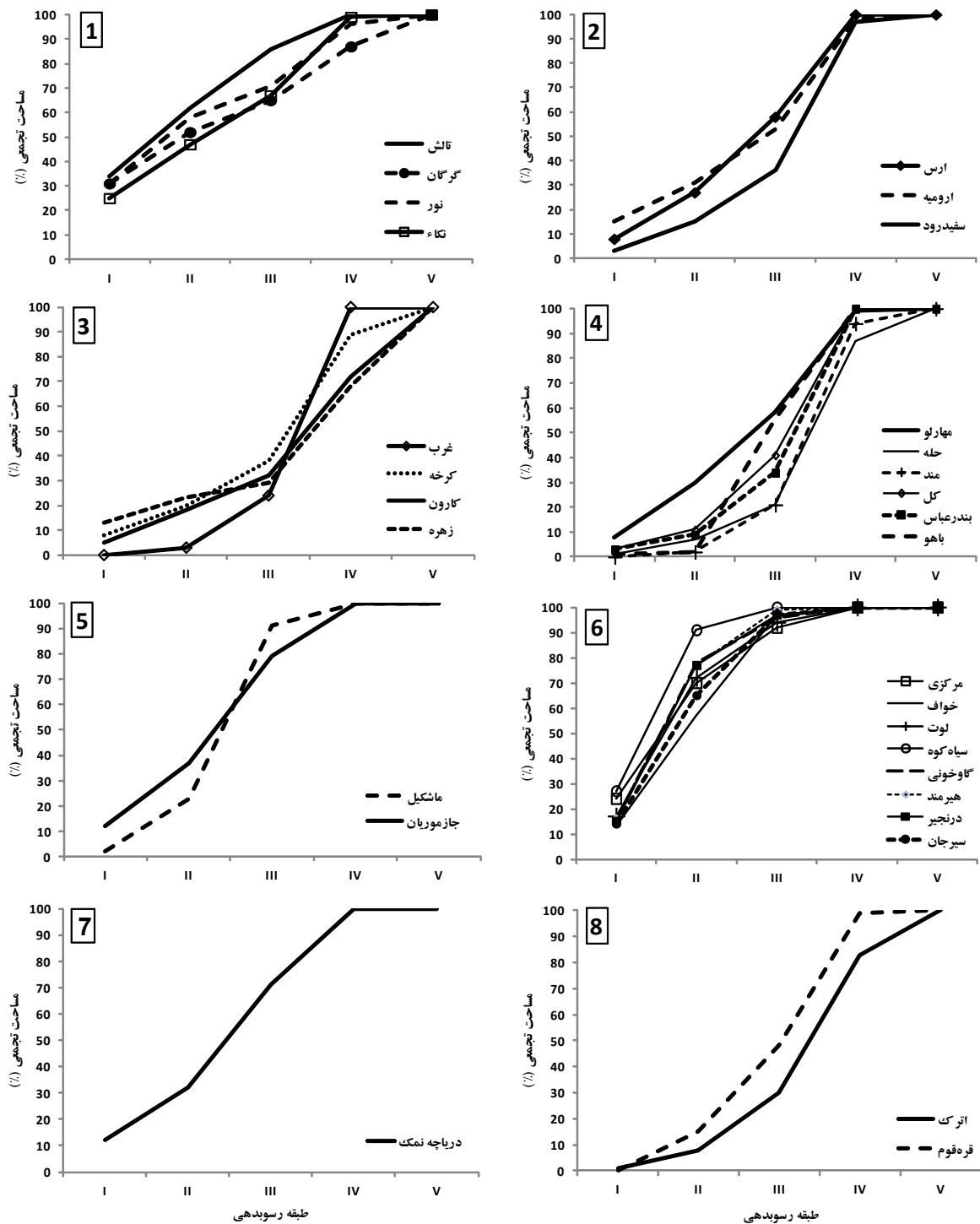
#### ب) تقسیم کشور به مناطق همگن

مطابق روش بیان‌شده، در هرکدام از زیرحوضه‌های درجه‌ی ۲ تماب، روند تغییرات منحنی درصد تجمعی مساحت به‌ازای طبقه‌های پنج‌گانه‌ی فرسایش خاک (تعیین‌شده با کاربرد EPM) رسم و حوضه‌های با روند نسبتاً مشابه در یک گروه قرار داده شدند (شکل ۶). ملاحظه می‌شود که در منطقه‌ی ۱، چهار طبقه‌ی فرسایشی اول تا چهارم، سهم مساحتی تقریباً یکسانی دارند. در منطقه‌ی ۲، دو طبقه‌ی فرسایشی III و IV حدود ۸۰٪ سطح منطقه را می‌پوشانند. در منطقه‌ی ۳، بیشترین سهم برعهده‌ی طبقه‌ی فرسایشی IV است و بعدازآن دوطبقه‌ی III و V اهمیت دارند. منطقه‌ی ۴، تا حدی شبیه منطقه‌ی قبلی است؛ با این تفاوت که پس از طبقه‌ی فرسایشی IV، طبقه‌ی فرسایشی III بیشترین سهم را برعهده دارد. در منطقه‌ی ۵، طبقه‌ی فرسایشی III و بعد II و IV قرار دارند. در منطقه‌ی ۶، طبقه‌ی فرسایشی II، و بعدازآن I و III بیشترین سطح را به خود اختصاص می‌دهند. در منطقه‌ی ۸، دو طبقه‌ی فرسایشی III و IV و بعدازآن دو طبقه‌ی فرسایشی I و II اهمیت دارند. در منطقه‌ی ۸، دو طبقه‌ی فرسایشی IV و III و بعد، طبقه‌ی فرسایشی II قرار می‌گیرد.

شکل می‌دهند، بیشتر می‌شود. اصولاً، ضخامت خاک‌ها به‌ویژه در مناطق شیب‌دار تپه‌ماهوری بیشتر و شرایط برای انجام فعالیت‌های کشاورزی و دام‌پروری و احداث جاده و نظیر آن‌ها مساعدتر است؛ به‌این ترتیب، بر اثر تغییر کاربری‌های صورت‌گرفته و در کل به‌دلیل حضور و دست‌یازی انسان به طبیعت، فرسایش تشدید می‌شود. 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 ۵، در طبقه‌ی شش مساحت حوضه (بین ۱۰۰۰۰ تا ۵۶۰۰۰ کیلومتر مربع)، متوسط رسوب‌دهی ویژه‌ی سالانه، حالت نزولی به خود گرفته است. همان‌گونه که مطرح شد، در این بررسی، به‌دلیل تأثیر سدهای مخزنی بر جریان طبیعی رسوب، آمار ایستگاه‌های پایین دست سدها استفاده نشده است. بدیهی است اگر سدی وجود نداشت، امکان بررسی رسوب در تعداد بیشتری از رودخانه‌های دشتی فراهم می‌شد. به سه دلیل انتظار می‌رود، رودخانه‌ها پس از ورود به دشت، بخشی از رسوب را بر جای گذارند: اولاً، ظرفیت حمل رسوب با کاهش شیب کمتر می‌شود (وانونی ۲۰۰۶)؛ ثانیاً، در زمان‌های سیلابی که بیشترین مقدار رسوب تولید می‌شود، به‌دلیل کم‌بودن ظرفیت پیچان‌رود، بخشی از جریان از رودخانه خارج و رسوب در دشت‌ها نهشته می‌شود. دلیل سوم اینکه در رودخانه‌های مناطق خشک نیز به‌دلیل تلفات بین راهی (تلوری ۱۹۹۶)، ظرفیت حمل کاهش‌یافته و





شکل ۶- روند تغییرات منحنی درصد تجمعی مساحت به ازای طبقه های رسوبدهی خاک تعیین شده با کاربرد EPM در حوضه های ردهی ۲ تماب.

(اعداد ۱ تا ۸ داخل مستطیل شماره‌ی منطقه‌ی همگن هستند)

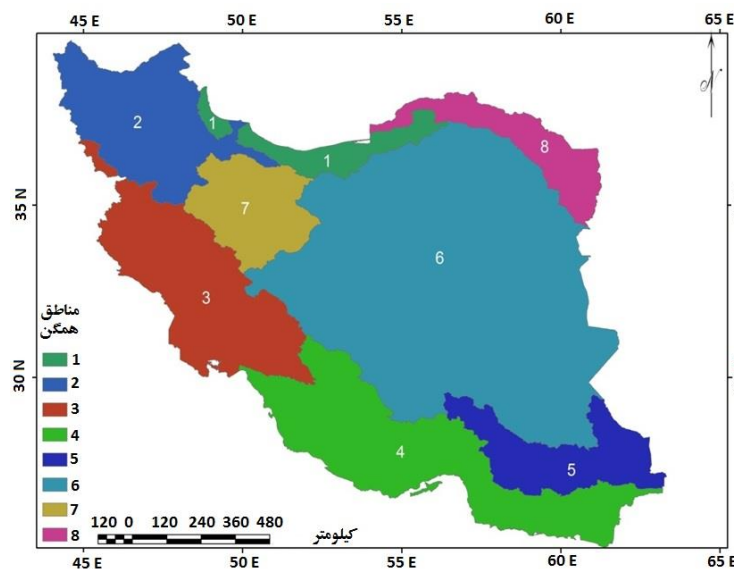
در منطقه‌ی همگن مربوطه است؛ به عبارت دیگر، از آنجاکه مقرر شده بود نسبت اصلاحی بین داده‌های مشاهده‌ای و متناظر در هر منطقه‌ی همگن محاسبه شود، ریزترکردن مناطق همگن به شرطی توجیه پیدا می‌کرد که تعداد ایستگاه‌ها در حدود ۳۰ باشد. در این ارتباط، باینکه حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک شباهتی نسبی به منطقه‌ی همگن ۲ دارد، به دلیل وجود ۲۶ داده‌ی مشاهده‌ای، به تنهایی به منطقه‌ی همگن تبدیل شد. با وجود تأکید بر ضرورت تعداد مشاهدات کافی در منطقه‌بندی، حوضه‌های رده‌ی ۲ جازموریان و ماشکیل با تعداد بسیار محدود داده‌ی مشاهده‌ای، به دلیل اختلاف زیاد با مناطق دیگر در منطقه‌ی همگن ۵ قرار گرفتند. جدول ۲ سهم مساحت زیرحوضه‌های موجود را در هر منطقه‌ی همگن و شکل ۷ محدوده‌ی مناطق همگن را در سطح کشور نشان می‌دهد.

اگرچه این تقسیم‌بندی براساس مجاورت مناطق و به صورت انطباق چشمی منحنی‌ها صورت گرفته است، عمدتاً مشابهت زیادی در توزیع طبقه‌های فرسایش حوضه‌های بزرگ مجاور و نیز اختلاف زیاد با حوضه‌های دورتر یا با اقلیم متفاوت را نشان می‌دهد؛ برای مثال، توزیع طبقات فرسایش در منطقه‌ی همگن ۱ (حوضه‌های گیلان، مازندران و گلستان) کاملاً با منطقه‌ی همگن ۸ (حوضه‌های قره‌قوم و اترک) تفاوت دارد.

برخلاف تشابه نسبی حوضه‌های هر منطقه‌ی همگن، گاهی ناهماهنگی‌هایی در هر منطقه مشاهده می‌شود؛ برای مثال، در ناحیه‌ی همگن ۲، دو حوضه‌ی ارس و ارومیه شباهت بیشتری را در مقایسه با سفیدرود نشان می‌دهند. در منطقه‌ی همگن ۴ نیز حوضه‌ی مهارلو متفاوت‌تر از پنج حوضه‌ی رده ۲ دیگر است. علت حفظ این حوضه‌ها کنار حوضه‌های دیگر، ضرورت وجود تعداد فراوانی داده‌ی مشاهده‌ای

جدول ۲- زیر حوضه‌های موجود در مناطق همگن از نظر فرسایش و تولید رسوب.

منطقه‌ی همگن	اسامی زیرحوضه‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت نسبی (درصد)
۱	تالش، گرگان، نور، نکاء	۴۸۶۱۶	۳/۰۱
۲	ارس، ارومیه، سفیدرود	۱۵۰۳۳۷	۹/۲۹
۳	کارون، کرخه، زهره، مرزی غرب	۱۹۷۵۸۲	۱۲/۲۱
۴	کل، مند، حله، مهارلو، باهو، بندرعباس	۲۵۶۷۹۲	۱۵/۸۷
۵	جازموریان، ماشکیل	۱۰۶۲۵۰	۶/۵۷
۶	خواف، مرکزی، سیاه‌کوه، سیرجان، درنجیر، لوت، هیرمند، گاوخونی	۶۹۵۴۰۵	۴۲/۹۹
۷	دریاچه‌ی نمک	۷۰۴۶۹	۴/۳۶
۸	اترک و قره‌قوم	۹۲۳۲۵	۵/۷۱
	کل کشور	۱۶۱۷۷۷۶	۱۰۰



شکل ۷- محدوده‌ی مناطق همگن.

در منطقه ۵، به دلیل کم بودن تعداد مشاهدات (سه زیرحوضه)، محاسبه‌ی نسبت بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی منطقی به نظر نرسید؛ پس، نسبت اصلاحی منطقه ۴ که بیشترین تشابه را با منطقه ۵ دارد، به آن تعمیم داده شد. رجوع به نقشه‌ی مقادیر Wsp، مشخص می‌کند که این منطقه از نظر فرسایش و طبعاً تولید رسوب، جزو مناطق با توان بالا است که این موضوع با رسوبدهی ایستگاه‌های محدود موجود و بررسی منابع صورت گرفته نیز مطابقت دارد (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۰۹).

جدول ۳ برخی از نتایج به دست آمده را به تفکیک مناطق همگن نشان می‌دهد. میانگی مقادیر مشاهده‌ای از ۱۳۶ تا ۴۴۷ تن بر کیلومترمربع در سال و میانگی مقادیر برآوردی ۲۷۱ تا ۵۲۱ تن بر کیلومترمربع در سال به دست آمد. نسبت اصلاحی از ۰/۵۸ تا ۱/۴۳ متفاوت است که نشان از ضرورت واسنجی مدل EPM و مدل‌های وارداتی دیگر دارد. پایین‌ترین نسبت اصلاحی به منطقه‌ی خشک کویر و بیشترین نسبت اصلاحی به منطقه‌ی ساحلی دریای عمان مربوط است.

جدول ۳- نسبت میانگی رسوبدهی مشاهده‌ای به برآوردی به تفکیک مناطق همگن.

منطقه‌ی همگن	حدود رسوبدهی مشاهده‌ای (تن بر کیلومترمربع در سال)	میانگی رسوبدهی (تن بر کیلومترمربع در سال)		نسبت مشاهده‌ای به برآوردی
		مشاهده‌ای	برآوردی	
۱	۳۵-۱۴۲۹	۳۳۰	۴۲۳	۰/۷۸
۲	۲۶-۴۵۲۲	۳۴۰	۳۲۹	۱/۰۳
۳	۲۲-۵۵۹۱	۳۶۷	۵۲۱	۰/۷۰
۴	۲۵-۲۵۷۰	۴۴۷	۳۱۳	۱/۴۳
۶	۱۰-۲۱۷۰	۱۳۶	۲۳۴	۰/۵۸
۷	۴-۱۹۹۴	۲۸۷	۲۷۱	۱/۰۶
۸	۲۳-۲۶۱۱	۳۱۶	۳۹۱	۰/۸۱

۲۵٪ دوم در هر منطقه، میانگی فرسایش آن منطقه است که برای مثال در منطقه ۱ (جدول ۴)، این رقم ۲۴۶ تن در کیلومترمربع است.

جدول ۴ مقادیر فرسایش روش EPM را به تفکیک چارک‌ها، پس از اعمال نسبت اصلاحی نشان می‌دهد. در این جدول، مقادیر Wsp، ابتدا در تقسیم‌بندی‌های ۲۵٪ تفکیک شد. دامنه‌ی بالایی مقادیر

جدول ۴- مقادیر چارک‌های تدقیق شده‌ی نرخ فرسایش (تن در کیلومترمربع) با کاربرد EPM با ضریب اصلاحی.

منطقه‌ی همگن	چارک			
	اول	دوم	سوم	چهارم
۱	۸۶<	۸۶-۲۴۶	۲۴۶-۶۴۹	۶۴۹>
۲	۳۷۰<	۳۷۰-۷۱۹	۷۱۹-۱۰۸۱	۱۰۸۱>
۳	۳۸۸<	۳۸۸-۷۶۲	۷۶۲-۱۳۰۴	۱۳۰۴>
۴	۷۵۷<	۷۵۷-۱۰۶۳	۱۰۶۳-۱۴۶۳	۱۴۶۳>
۵	۳۹۴<	۳۹۴-۵۸۸	۵۸۸-۸۴۳	۸۴۳>
۶	۸۷<	۸۷-۱۳۰	۱۳۰-۲۰۳	۲۰۳>
۷	۲۹۸<	۲۹۸-۵۰۲	۵۰۲-۷۳۱	۷۳۱>
۸	۳۹۲<	۳۹۲-۶۰۵	۶۰۵-۹۳۹	۹۳۹>

پیشین کمتر است. در بین مناطق همگن، بیشترین میانگی فرسایش را منطقه ۴ و کمترین میانگی را منطقه ۶ به خود اختصاص داده‌اند؛ ضمن آنکه، بیشترین و کمترین مقدار میانگی رسوب مشاهده شده نیز به ترتیب در مناطق ۴ و ۶ به دست آمده است.

مقادیر فرسایش آبی کل به تفکیک مناطق همگن و در سطح کشور در جدول ۵ آمده است. فرسایش سالانه‌ی خاک برآمده از کاربرد روش EPM در کل کشور قبل از تدقیق، بالغ بر ۹۷۶ میلیون تن بوده است. پس از اعمال ضرایب اصلاحی وزن فرسایش سالانه در کشور ۸۹۵ میلیون تن برآورد شد. این مقدار از تمام برآوردهای کارشناسی

جدول ۵- فرسایش آبی کل (برحسب میلیون تن) به تفکیک مناطق همگن و در سطح کشور.

منطقه‌ی همگن	فرسایش
۱	۲۲/۴
۲	۱۱۴/۱
۳	۱۸۱/۱
۴	۲۹۹/۳
۵	۶۹/۰
۶	۱۱۰/۳
۷	۴۷/۹
۸	۵۰/۹
کل کشور	۸۹۵/۱

مختلف نشان نمی‌دهد.

از نسبت میان‌ه‌ی مقادیر مشاهده‌ای به برآوردی، برای اصلاح برآوردهای مدل EPM در هشت منطقه‌ی همگن استفاده شد. وزن فرسایش کل کشور با لحاظ نسبت اصلاحی، معادل ۸۹۵ میلیون تن تعیین شد که ۸۱ میلیون تن کمتر از ۹۷۶ میلیون تن فرسایش قبل از تدقیق است. برخلاف تشابه نسبی فرسایش برآوردی کل کشور، پیش و پس از تدقیق EPM، برآوردهای جدید هشت منطقه‌ی همگن بین ۰/۵۸ تا ۱/۴۳٪ نسبت به برآوردهای اولیه تغییر داشتند.

در این پژوهش، تلاش شد تمام اطلاعات موجود درباره‌ی رسوب‌دهی در سطح کشور، جمع‌آوری و بررسی شود. از آنجاکه یافته‌های تحقیق بر اندازه‌گیری‌های به‌دست‌آمده از سطح وسیعی از کشور متکی است، می‌تواند جانشین برآوردهای کارشناسی قبلی شود و در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور و همچنین اسناد ملی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر ارائه‌ی میانگین کشوری فرسایش، نرخ فرسایش در مناطق همگن هشت‌گانه محاسبه شد که می‌تواند مورد استفاده‌ی دستگاه‌های اجرایی و پژوهشی، مانند سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری و وزارت نیرو قرار گیرد.

باید توجه داشت مقادیر فرسایش کل به‌دست‌آمده، از اندازه‌گیری‌هایی استخراج شده است که تقریباً یک‌سوم سطح کشور را تحت پوشش قرار می‌دهد. مابقی سطح کشور عمدتاً مشتمل بر مناطق خشک و کویری است که ایستگاه‌های رسوب‌سنجی در آن‌ها بسیار نادرند. میزان بارش این مناطق کم‌تر و در برخی مناطق همچون کویرهای لوت و نمک، فرسایش بادی شکل غالب فرسایش است؛ ازسوی‌دیگر، بیشتر محل‌های اندازه‌گیری استفاده‌شده، مربوط به مناطق کوهستانی و تپه‌ماهوری است و ایستگاه‌های آب‌سنجی بسیار کمی در مناطق دشتی، در تحلیل‌ها به کار رفته است. اصولاً، انتظار می‌رود که بخشی از رسوب در شیب‌های کم زمین‌های دشتی نهشته شود؛ بنابراین، به

باید توجه داشت که رقم بالا مبتنی بر اندازه‌گیری در حوضه‌هایی است که تقریباً حدود یک‌سوم کشور را در بر می‌گیرند. بیشتر این حوضه‌ها، جزو مناطق کوهستانی و تپه‌ماهوری که پرتیب‌تر و پرباران‌تر هستند، طبقه‌بندی می‌شوند و تعداد ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع بر رودهای جاری در دشت‌ها، در محل ورودی به دریا و مناطق خشک شرقی و مرکزی کشور بسیار کم است. به‌طور ویژه، تمام ایستگاه‌های واقع در پایین‌دست سد‌های بزرگ، به‌دلیل اثر رسوب‌گذاری مخازن سد‌ها در تحلیل‌ها وارد نشدند. نکته‌ی دیگر آنکه، مناطق کویری و دشتی مرکزی و شرقی کشور، عمدتاً تحت تأثیر فرسایش بادی هستند. انتظار می‌رود در صورت وجود اندازه‌گیری در چنین مناطقی، میان‌ه تحت تأثیر قرار بگیرد و به سمت رقم‌های پایین‌تری نزول کند؛ بنابراین، ضروری است میزان فرسایش آبی کشور، کمتر از مقدار تعیین‌شده در این پژوهش، در نظر گرفته شود. ترتیب کاهش میان‌ه و وزن کل فرسایش به تفکیک مناطق هشت‌گانه همگن به‌صورت زیر است:

– ترتیب میان‌ه‌ی مقادیر فرسایش

۶ < ۱ < ۷ < ۵ < ۸ < ۲ < ۳ < ۴

– ترتیب وزن کل فرسایش

۱ < ۷ < ۸ < ۵ < ۶ < ۲ < ۳ < ۴

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش، با هدف واسنجی مقادیر فرسایش و رسوب برآوردی با کاربرد روش EPM براساس داده‌های رسوب مشاهده‌ای و برآورد دامنه‌ی مقادیر فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز، در مناطق جغرافیایی مختلف انجام شد. به‌طور کلی، رابطه‌ی مثبتی بین رسوب ویژه و رسوب کل مشاهده‌ای، با مساحت حوضه‌ها در زیرحوضه‌های مورد‌مطالعه مشاهده شد که درباره‌ی رسوب ویژه معنی‌دار نیست؛ در مقابل، مقادیر رسوب برآوردی، تغییرات فراوانی را در مساحت‌های

داده‌های مشاهده‌ای بازه‌های رودخانه در پایین دست سد‌های مخزنی، یکی از محدودیت‌های بزرگ در این پژوهش بود. - به دلیل نبود یا کمبود داده‌های مشاهده‌ای در تعداد زیادی از حوضه‌های سی‌گانه‌ی تماب، برخی از مناطق همگن بسیار بزرگ انتخاب شدند تا امکان تحلیل آماری داده‌ها فراهم شود. بدیهی است، با افزایش مشاهدات، در آینده می‌توان مناطق همگن کوچک‌تری انتخاب کرد.

#### سپاسگزاری

این مقاله از یافته‌های طرح پژوهشی «تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور» با شماره‌ی ۹۱۵۱-۲۹-۱۴-۲۹ استخراج شده است که به سفارش سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسید.

نظر می‌رسد میزان فرسایش کشور، کمتر از مقدار تعیین‌شده در این پژوهش باشد.

از محدودیت‌هایی که مانع از انجام بهتر این پژوهش شدند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نبود داده‌های بار کف مشاهده‌ای قابل‌استناد، موجب تعیین آن از روش غیرمستقیم شد. در صورت اندازه‌گیری بار کف در آینده، بازنگری این پژوهش ضروری خواهد شد.

- نسبت تحویل رسوب هر حوضه، در برآورد صحیح‌تر رسوب‌دهی خیلی اهمیت دارد. به دلیل نبود روابط واسنجی‌شده برای ایران، این نسبت از رابطه‌ی تجربی مدل به دست آمد. پیشنهاد می‌شود، تحقیقاتی در این خصوص برای کشور انجام شود.

- لازمه‌ی تدقیق نرخ فرسایش، در اختیار داشتن داده‌های مشاهده‌ای، از تمامی سطح کشور است. نبود داده‌های مشاهده‌ای، به‌ویژه در مناطق خشک مرکزی و شرق کشور و مناطق دشتی و عدم امکان استفاده از

- Agharazi H, Davoudirad AA, Najimi A, Pourmatin A. 2010. Evaluation of modified PSIAC and sediment properties based on sediment survey in small dam reservoirs. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- Alizadeh A. 2008. Fundamental of applied hydrology. Astan Ghods Publications. 811 p. (In Persian).
- Altman DG, Bland JM. 1994. Statistics note: quartiles, quintiles, centiles, and other quantiles. *BMJ*, 309: 996–996.
- Anadana J, Herath G. 2003. Soil erosion in developing countries: A socio- economic appraisal. *Journal of Environmental Management*, 68(4): 343–353.
- Arabkhedri M, Khojeini AV, Hakimkhani S, Charkhabi AH, Telvari A. 2009. Sediment yield estimating and mapping for Iran. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- Arabkhedri M, Shadfar S, Sokouti-Oskouee R. 2016. Improving the estimates of water erosion and determining soil loss tolerance for Iran. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- Bahadori-Khosroshahi F. 2012. Guideline for calculation of suspended-load and bed-load of rivers. Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision. 160 p. (In Persian).
- Boardman J. 1998. An average soil erosion rate in Europe: Myth or Reality? *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(1): 46–50.
- Boardman J. 2006. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *J. Catena*, 68(2–3): 73–86.
- Boardman J, Poesen J (Eds.). 2006. *Soil erosion in Europe*. Wiley, Chichester, UK.
- Broushkeh A, Arabkhedri M, Sokouti-Oskouee R, Habibi M. 2003. Sediment yield estimation for small tributaries based on sediment survey in small dam reservoirs, Case study: Small tributaries of Azarbayjan-Gharbi Province. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- Dewan ML, Famouri J. 1964. *The soils of Iran*. FAO. Rome.
- FAO and ITPS. 2015. *Status of the world's soil resources (SWSR) – Technical Summary*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Firouz-Nakhjavani F. 1972. *Erosion control and watershed reclamation*. Tehran University Publications, No. 1351. 368 p. (In Persian).
- Gavrilovic Z. 1988. The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. In: White, W. R. (Ed.), *International Conference on River Regime* 411–422.
- Govers G, Merckx R, Wesemael BV, Oost KV. 2017. Soil conservation in the 21st century: Why we need smart agricultural intensification. *Soil*, 3 (1): 45–59.
- Hashemi SAA, Arabkhedri M. 2008. Evaluation of MPSIAC and EPM models based on sediment survey in small dam reservoirs in Semnan Province. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- Milliman JD, Meade RH. 1983. Worldwide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology*, 91(1): 1–21.
- Mokhtari A, Ghayoumian J, Bahmanpour M, Shirani K, Eskandari Z. 2002. Evaluation of correlation of area specific sediment and sediment rating of Modified PSIAC based on sediment survey in small dam reservoirs. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- Nikkami D. 2012. *Soil conservation strategic plan*. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- SCWMRI (Soil Conservation and Watershed Management Research Institute). 2007. *Iran erosion severity map using EPM*. Forests, Rangelands and Watershed Management Organization. (In Persian).
- Sharifi F, Heydarian SA. 1999. On the land and water resources management (LWR) strategies in Iran. In: Talebbeydokhti N., A. Telvari, and S. A. Heydarian (Eds.). *The Regional Workshop on Traditional Water Harvesting System*. Tehran, Iran, pp. 237–255.
- Sharifi F, Mousivand A, Saadat H, Hoseini-Razi MM, Maleki-Beigdeli A, Bahrami HA, 34 more. 2015. *Soil erosion atlas and watershed synthesizing data, integration and accretion*. Final report of research project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian, Abstract in English).
- Sidle RC, Gomi T, Usuga JCL, Jarihani B. 2017. Hydrogeomorphic processes and scaling issues in the continuum from soil pedons to catchments, *Earth Science Review*, 175: 75–96.
- Steinhoff-Knopp B, Burkhard B. 2018. Soil erosion by water in Northern Germany: Long-term monitoring results from Lower Saxony, *Catena*, 165: 299–309.
- Telvari A. 1996. Estimation of transmission losses through the bed of an ephemeral river in arid region of NS Wales.

Pajhouhesh va Sazandegi, 27: 35–41. (In Persian).

Toy TJ, Foster GR, Renard KG. 2002. Soil erosion, processes, prediction, measurement and control, John Wiley & Sons.

Vanmaercke M, Zenebe A, Poesen J, Nyssen J, Verstraeten G, Deckers J. 2010. Sediment dynamics and the role of flash floods in sediment export from medium-sized catchments: A case study from the semi-arid tropical highlands in northern Ethiopia. *J. Soils Sediments*, 10(4): 611–627.

Vanoni VA, (Ed.). 2006. Sedimentation engineering. A.S.C.E. 418 p.

Walling DE. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal, R. (Ed), Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society. 39–73.

Walling DE, Webb BW. 1987. Material transport by the world's rivers: evolving perspectives. IAHS Publication, 164: 313–329.

World Bank. 2005. Islamic Republic of Iran cost assessment of environmental degradation. Report No. 32043-IR. Rural Development, Water and Environment Department, Middle East and North Africa Region.

