



ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی بر آورد فرسایش و رسوب با مقادیر مشاهده‌ای

مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود، استان مازندران

خه بات خسروی^۱، عطا صفری^۲، محمود حبیب نژاد روشن^۳، نظام الدین محمودی^۴

چکیده

در این تحقیق که در حوضه آبخیز بابلرود انجام پذیرفت، ۷ مدل MPSIAC، EPM، فورنیه، داگلاس، کرک بای، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی که در بیشتر تحقیقات پیشین به صورت یکجا بررسی و مقایسه نشده است، با هدف تعیین مناسب‌ترین مدل برای برآورد فرسایش و رسوب مورد بررسی قرار گرفتند. سپس از خروجی هر مدل یک نقشه پهنه-بندی شدت فرسایش در محیط GIS تهیه گردید. مقادیر رسوب برآورد شده و مشاهده‌ای (آمار ۴۳ ساله ایستگاه قران تالار) با استفاده از معیارهای آماری اختلاف مطلق و نسبی و همچنین ضریب همبستگی با یکدیگر مقایسه شدند. در زیرحوضه‌های آذر رود و اراضی پست مدل MPSIAC، در زیرحوضه‌های کارسنگ و اسکلیم مدل ژئومرفولوژی و در زیرحوضه بابلک مدل EPM دارای دقت و کارایی قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. بطور کلی با بررسی نتایج و با توجه به مقدار رسوب مشاهده‌ای در کل حوضه، مدل MPSIAC با اختلاف نسبی ۷/۹۳۲ درصد (۷۶۶۵۹/۸۹۶ تن در سال) و ضریب همبستگی ۰/۸۶ مناسب‌ترین مدل برای تخمین میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز بابلرود شناخته شد.

واژه‌های کلیدی:

فرسایش و رسوب، روش‌های تجربی، مقادیر مشاهده‌ای، اختلاف نسبی، حوضه آبخیز بابلرود

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، khabat.khosravi@gmail.com.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، Attasafari@yahoo.com.
۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، roshanabah@yahoo.com.
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، nezam.mahmoudi@gmail.com.

Evaluation of Soil Erosion and Sediment Yield Estimation Various Empirical Model by Observation Values

Case Study: Babolroud Watershed, Mazandaran Province

Khosravi K¹, Safari A², Habibnezhad Roshan M³, Mahmoudi N⁴

Abstract

In this study undertaken in Babolroud Basin, seven models that included MPSIAC, EPM, Fournier, Douglas, Kirkby, Geomorphology and Hydrophysical were evaluated to determine the best model for estimation of soil erosion and sediment yield. These models have not been previously compared together. The zoning soil erosion intensity map was prepared from each model by using GIS. The estimated sediment yield was compared with the observed data (43 years of data from Ghorantalar Station) by using the statistical evaluation criteria such as relative and absolute difference, and correlation coefficient. Results showed that the MPSIAC model in the Lowland and Azar sub-basins, the Geomorphology model in the Karsang and Esklim Sub-basins, and the EPM model in the Babolak Sub-basin were more precise and efficient than the other models. By investigating the observed sediment data in Babolroud Basin, the MPSIAC model was used with a relative difference of 7.932% (76659.896 ton/y) and correlation coefficient of 0.86, which was the most appropriate model to estimate soil erosion rate and sediment yield in this basin.

Keywords:

Erosion and sediment, Empirical models, Observed values, Relative difference, Babolroud watershed

-
1. M. Sc. Watershed Management, Natural Resources Faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran . khabat.khosravi@gmail.com
 2. M. Sc. Watershed Management, Natural Resources faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran. Attasafari@yahoo.com
 3. M. Sc. Watershed Management, Natural Resources faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran. Attasafari@yahoo.com
 4. M.Sc. Watershed Management, Natural Resources faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran: Nezam.mahmoudi@gmail.com



مقدمه

در میان فرآیندهای مختلف تخریب اراضی، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای حفاظت منابع خاک و آب کشورمان می‌باشد. فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوائل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است (Lu et al., 2001). عامل اصلی فرسایش خاک افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد از زمین است (احمدی، ۱۳۸۶). به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوبدهی ضرورت دارد که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری در یک حوضه آبخیز ارزیابی و برآورد گردد و عوامل مؤثر در فرسایش حوضه شناسایی گردند. بطوریکه شناسایی این عوامل ما را در انتخاب راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی یاری نماید (علیزاده، ۱۳۶۸). فرسایش خاک، به دلیل داشتن اثرات چندجانبه آشکار و پنهان زیست محیطی و اجتماعی، به سرطان زمین شهرت یافته و یکی از فرآیندهای پیچیده و خطرناک محیطی است (Ownegh, 2003). همچنین فرسایش خاک تهدیدی جدی برای محیط زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها بوده و پس از رشد جمعیت دومین چالش مهم زیست محیطی در جهان است (Pimental et al., 1995). اکثر حوضه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده و به‌این منظور دستیابی به مدل‌های ترکیبی مبتنی بر شرایط ویژه حوضه‌های کشور ضروری است (عرب‌خدری و زرگر، ۱۳۷۴). این روش‌ها از مدل‌های ساده که شامل یک رابطه آماری تا معادلات ترکیبی که مرتبط با فیزیک اجزا و یا مکانیزم روند فرسایش بوده، متغیر می‌باشند (Rompaey & Govers, 2002). تحلیل و برآورد میزان فرسایش و رسوب، تهیه نقشه شدت فرسایش، بررسی عوامل خطر فرسایش و ارائه راهکارهای مدیریتی با توجه به روند فزاینده فرسایش خاک و مساحت وسیع اراضی و گاهی صعب‌العبور بودن مناطق، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی امری ضروری به نظر می‌رسد (Sherasta, 2001 و جهان‌سیر، ۱۳۸۰).

Thommas & Voinvoh (1995)، خصوصیات سنگ را از عوامل مهم در تعیین فراوانی اشکال فرسایش می‌دانند و با توجه به نبود آمار دقیق از میزان فرسایش و رسوب در بیشتر کشورها، بهره‌گیری از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب را گریزناپذیر می‌دانند. (Devent & Poesen (2005)، با مطالعه برای پیش‌بینی تولید رسوب در مقیاس حوضه آبخیز به این نتیجه رسیدند که برای برآورد نزدیک به واقعیت تولید رسوب در هر حوضه آبخیزی، علاوه بر استفاده از مدل‌های شبه کمی باید در استفاده از این مدل‌ها از داده‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نیز جهت اجرایی‌تر شدن نتایج استفاده شود. راستگو و همکاران (۱۳۸۵)، مقدار فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب

کنشت را با مدل‌های MPSIAC و EPM به کمک GIS برآورد کردند و نتیجه گرفتند که مدل MPSIAC نتایج بهتری را نسبت به مدل EPM برای حوضه مورد نظر ارائه داده است. (Safamanesh et al., 2006)، روش‌های تجربی را برای ارزیابی خطر فرسایش در حوضه زرگه استفاده کردند که در روش MPSIAC مقدار $r^2=61$ به دست آمد و بر اساس این روش کلاس فرسایشی را در منطقه مورد مطالعه، متوسط ارزیابی کردند و نتایج نشان داد که فاکتور مؤثر در تعیین فرسایش، اقلیم می‌باشد.

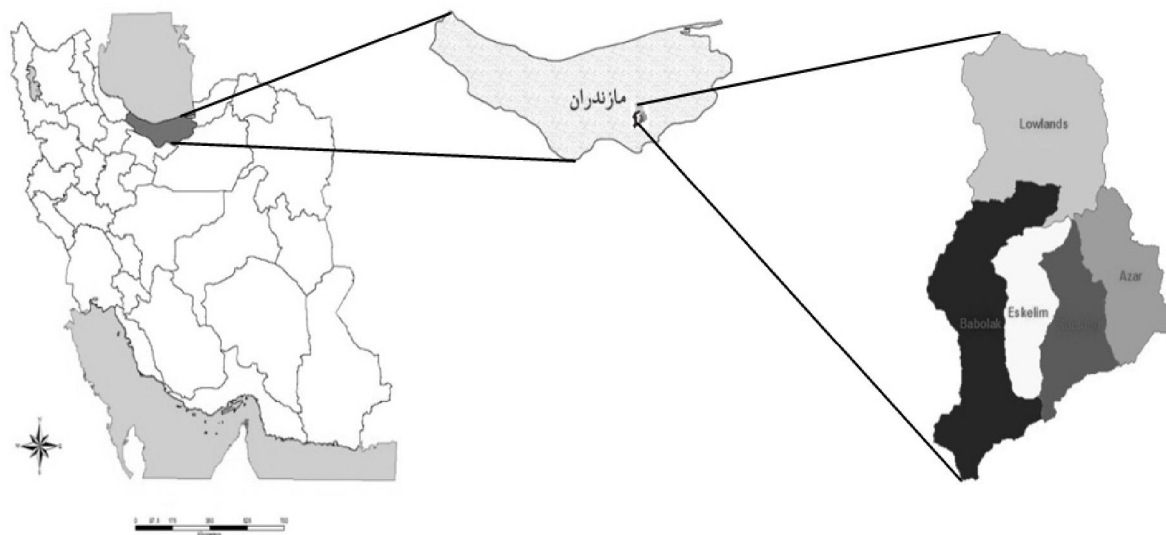
تاجگردان و همکاران (۱۳۸۷)، نیز با استفاده از مدل MPSIAC در محیط GIS، مقدار فرسایش و رسوب را برای حوضه آبخیز زیارت در استان گلستان برآورد کردند و مقدار رسوب را $22043/79$ تن درسال برآورد کردند که بخش اعظم حوضه در کلاس فرسایشی متوسط قرار می‌گیرد. بهرامی و رحیمی (۱۳۸۷)، حجم رسوب ناشی از فرسایش را در حوضه آبخیز رودخانه کردشیخ به روش‌های تجربی پتانسیل فرسایش، MPSIAC و فورنیه برآورد کردند که برای این روش‌ها به ترتیب مقدار فرسایش $533/67$ ، $244/94$ مترمکعب در کیلومترمربع در سال و $207/91$ تن در کیلومترمربع در سال بدست آمد و مدل MPSIAC را به دلیل استفاده از پارامترهای بیشتر (۹ عامل) به عنوان مدلی مناسب معرفی کردند. محسنی و همکاران (۱۳۹۰)، ارزیابی دقت و کارایی ۴ مدل EPM، MPSIAC، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی را برای برآورد فرسایش و رسوب انجام دادند که مدل ژئومرفولوژی را با اختلاف نسبی $3/36$ درصد ($711/25$ تن در سال) به عنوان مناسب‌ترین مدل ارائه دادند.

در تحقیق حاضر، کارایی ۷ مدل تجربی MPSIAC، EPM، فورنیه، داگلاس، کرک بای، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی در حوضه آبخیز بابلرود بر اساس داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب‌سنجی قران تالار جهت تعیین مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب، مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بابلرود در جنوب شهرستان بابل در استان مازندران قرار دارد. مساحت محدوده مورد مطالعه بالغ بر 51725 هکتار می‌باشد که بین $38^{\circ} 52'$ تا $55^{\circ} 52'$ طول شرقی و $2^{\circ} 36'$ تا $22^{\circ} 36'$ عرض شمالی قرار گرفته است. این حوضه دارای ۵ زیرحوضه اصلی به نام‌های بابلک، اسکلیم، کارسنگ، آذررود و اراضی پست می‌باشد. حداقل ارتفاع حوضه ۵۵ متر و حداکثر آن ۳۳۱۷ متر است. متوسط بارندگی سالانه $821/8$ میلیمتر است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح ایران و استان

داده‌های مورد استفاده

۱) عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM^+ سال ۲۰۰۲ جهت تهیه نقشه رخساره ژئومرفولوژی، وضعیت فعلی فرسایش و کاربری اراضی. ۲) نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه‌های موضوعی. ۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ جهت تعیین وضعیت سازند منطقه. ۴) داده‌های دبی، رسوب، بارش و دما به منظور بررسی هیدرولوژی آب‌های سطحی و رسوبدهی و وضعیت اقلیمی حوضه آبخیز مورد مطالعه. ۵) استفاده از بسته‌های نرم افزاری ArcGIS و Excel جهت تجزیه، تحلیل و استخراج اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز.

پس از جمع‌آوری تصاویر، نقشه‌ها و داده‌های فوق، از آنها جهت اجرای مدل‌های بکار رفته استفاده گردید و در نهایت مقادیر فرسایش و رسوب تولیدی در حوضه مورد مطالعه برآورد و مورد ارزیابی واقع شد.

روش‌های مورد بررسی

در این تحقیق از ۷ روش تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب استفاده شد که در هر مدل، لایه‌های مورد نیاز تهیه و برای ایجاد نقشه نهایی با یکدیگر تلفیق شدند. در ذیل هرکدام از مدل‌ها و پارامترهای مورد استفاده در آن شرح داده شده است:

۱- مدل^۱ MPSIAC

مدل PSIAC توسط Johnson & Gebhardt (1982) مورد تجدید نظر قرار گرفت و به مدل MPSIAC تبدیل گردید. این مدل ۹ عامل را در تولید رسوب در نظر می‌گیرد (Logan et al., 1982). این عوامل شامل زمین‌شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای بوده و به صورت معادلات عددی با هم جمع شده و درجه رسوبدهی بدست می‌آید. لایه مربوط به درجه رسوبدهی (R) در مدل MPSIAC از تلفیق لایه‌های نه‌گانه تهیه شده، سپس با قرار دادن درجه رسوبدهی در رابطه ۱ میزان تولید رسوب سالانه (Qs) مدل MPSIAC بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع بدست می‌آید (رفاهی، ۱۳۸۵).

$$(1) Q_s = 38.77 e^{0.035 R}$$

یک روش دیگر برای محاسبه میزان رسوب سالانه، روش گرافیکی می‌باشد. در این روش با وارد نمودن عدد درجه رسوبدهی در گراف مذکور، میزان تولید رسوب بر حسب تن در هکتار در سال بدست می‌آید که در تحقیق حاضر از این گراف برای محاسبات روش MPSIAC استفاده شد (احمدی، ۱۳۸۶). سپس با استفاده از رابطه ۲ میزان نسبت تحویل رسوب (SDR) تعیین شده که با داشتن میزان SDR و رسوب برآوردی، فرسایش ویژه محاسبه می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵).

$$(2) \text{Log SDR} = 1.8768 - 0.1419 \text{Log}(10A)$$

A: مساحت زیرحوضه بر حسب مایل مربع.

۲- مدل^۲ EPM

بر اساس این مدل فرآیند فرسایش، نتیجه روابط متقابل سنگ مادر، خاک، توپوگرافی و نوع بهره‌برداری از اراضی می‌باشد. برای تولید لایه‌های مورد نیاز این مدل، از نقشه‌های تهیه شده در مراحل قبل و جداول مربوط به مدل استفاده گردید. در این راستا برای تهیه فرسایش پذیری منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی (X_a)، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)، ضریب فرسایش منطقه (ψ) و شیب متوسط حوضه (I)، در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شده و به منظور تعیین ضریب شدت فرسایش از رابطه ۳ استفاده شده است.

$$(3) Z = Y \cdot X_a (\psi + I^{0.5})$$

Z: فاکتور شدت فرسایش حوضه، Y: ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، X_a : ضریب استفاده از



زمین، ψ : ضریب فرسایش اولیه حوضه، I : متوسط شیب حوضه.

۳- مدل فورنیه

فورنیه برای برآورد رسوب یک حوضه آبخیز و به دنبال آن برای برآورد میزان فرسایش، دو روش مختلف ارائه

داده است که به شرح زیر می باشد (رفاهی، ۱۳۸۵).

روش اول فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوضه آبخیز به صورت رابطه ۴ است:

$$(۴) \log Qs = 2.65 \log \frac{P^2 W}{Pa} + 0.46 \log(\tan S) - 1.56$$

روش دوم فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوضه به صورت رابطه ۵ است:

$$(۵) \log Qs = 2.65 \log \frac{P^2 W}{Pa} + 0.46 \log \frac{H^2}{S} - 1.56$$

Qs : رسوب ویژه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، P_w : میانگین بارندگی پر باران‌ترین ماه هر سال در دوره

آماري مورد نظر بر حسب میلیمتر، P_a : میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر در دوره آماری مورد نظر، H :

ارتفاع متوسط حوضه بر حسب متر، S : در رابطه ۴ شیب متوسط حوضه بر حسب درجه و در رابطه ۵ سطح

حوضه بر حسب کیلومتر مربع.

۴- مدل داگلاس

این رابطه برای برآورد رسوب به تن در کیلومتر مربع در سال از ضریب انشعاب پذیری و تراکم آبراهه‌ای

حوضه استفاده نموده و همچنین از بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال و بارندگی سالانه استفاده می‌کند که به صورت

رابطه ۶ می‌باشد.

$$(۶) \log e = -8.41 + 2.704 \log \frac{Q^2}{P} + 5.60 \text{ Rbn} + 2.967 \log \text{ Dn}$$

e : مقدار رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، Q : بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال بر حسب میلیمتر،

Rbn : ضریب انشعاب پذیری هر زیر حوضه، Dn : تراکم آبراهه‌ای هر زیرحوضه بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع،

P : بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر.

همچنین با استفاده از رابطه ۷ که توسط داگلاس ارائه گردیده است، مقدار رسوب سالانه برآورد گردید:

$$(۷) \log ss = 8.73 + 3.81 \log Q_{WA} - 1.54 \frac{R}{L} + 4.82 \log DD$$

ss : مقدار رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، Q_{WA} : میانگین رواناب سالانه بر حسب میلیمتر، R/L :

نسبت ارتفاع به طول حوضه بر حسب فوت بر مایل، DD : دانسیته شبکه زهکشی بر حسب فوت بر مایل مربع.

۵- روش کرک‌بای

این روش ساده و تجربی از پارامترهای رواناب سالانه (Q_w) بر حسب میلیمتر و زاویه شیب (θ) به صورت

رابطه ۸ استفاده کرده است (صادقی، ۱۳۷۲).

$$(۸) \quad Q_s = 0.17 (Q_w)^2$$

Q_s : مقدار رسوب بر حسب کیلوگرم در هکتار.

۶- مدل هیدروفیزیکی

این مدل برای تشخیص مقدار نسبی رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیک و یا زیرحوضه‌های مختلف یک حوضه آبخیز به کار برده می‌شود. در این مدل ابتدا ضریب پتانسیل رسوبدهی^۱ (CSY) برای کلیه واحدهای هیدرولوژیک و یا زیرحوضه‌ها محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از نتایج آن درصد پتانسیل رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیک نسبت به پتانسیل رسوبدهی کل حوضه تعیین می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵). بطور کلی برای محاسبه میزان رسوبدهی در یک حوضه آبخیز بر حسب تن در سال با استفاده از این روش، از رابطه ۹ استفاده می‌شود:

$$(۹) \quad GSY = A^s \cdot R \cdot E \cdot V \cdot P$$

GSY: میزان رسوبدهی بر حسب تن در سال، A^s : عامل مساحت حوضه، R: عامل توپوگرافی، E: عامل قابلیت فرسایش، V: عامل پوشش گیاهی، P: عامل هیدرولوژی.

عامل مساحت حوضه: A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و S: ضریب تناسب مساحت می‌باشد که بر اساس تحقیقات انجام شده بین ۰/۶ تا ۱ متغیر است.

عامل توپوگرافی: این عامل با استفاده از رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

$$(۱۰) \quad R = \frac{H}{L}$$

H: اختلاف ارتفاع بر حسب متر، L: بزرگترین محور حوضه بر حسب متر.

عامل قابلیت فرسایش: قابلیت فرسایش حوضه با استفاده از رابطه ۱۱ تعیین می‌شود.

$$(۱۱) \quad E = \frac{1}{A} \sum_1^n e_n a_n$$

E: عامل قابلیت فرسایش، A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع، e: کمیت قابلیت فرسایش، a: مساحت هر

واحد سنگ‌شناسی با فرسایش‌پذیری e.

عامل پوشش گیاهی: این پارامتر بر اساس رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد.

$$(۱۲) \quad V = \frac{A}{\sum v_n a_n}$$

A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع، v_n : درصد تراکم گیاهی در هر تیپ گیاهی، a_n : مساحت تیپ‌های

گیاهی با درصد تراکم v_n .

عامل هیدرولوژی: عبارت است از میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر.

۷- مدل ژئومرفولوژی

این مدل یک روش کیفی به منظور برآورد شدت فرسایش آبی در مقیاس حوضه آبخیز است. در این روش اساس کار مبتنی بر تعیین واحدهای کاری همگن با در نظر گرفتن سه عامل شامل نوع سنگ، توپوگرافی و رخسارهای ژئومرفولوژی است (احمدی، ۱۳۸۶). پس از مشخص شدن واحدهای کاری در کل حوضه عوامل جهت دامنه، پوشش گیاهی، استفاده از زمین، اقلیم و خاک در هر واحد کاری بررسی می‌شود و سپس بر اساس وضعیت و خصوصیات مربوط به هر یک از عوامل ذکر شده اقدام به تعیین امتیاز یا نمره مربوط به هر یک از عوامل می‌گردد (ملکی، ۱۳۸۶). با توجه به نتایج حاصل از بررسی خصوصیات هر یک از عوامل تعیین کننده، شدت کیفی فرسایش در ۵ کلاس شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مشخص شده و اقدام به تهیه نقشه کیفی شدت فرسایش می‌شود (احمدی، ۱۳۸۶ و قدوسی، ۱۳۸۶). تحقیقات انجام شده در زمینه اجرای مدل‌های کمی برآورد فرسایش و رسوب مانند مدل‌های EPM و MPSIAC بر اساس واحدهای کاری تعریف شده در مدل ژئومرفولوژی نشانگر برآورد دقیق‌تر مقادیر فرسایش و رسوب است و از این طریق نیز می‌توان به مقادیر کمی دست یافت (ملکی، ۱۳۸۲ و گشایشی، ۱۳۸۵).

از این‌رو در تحقیق حاضر، برای برآورد فرسایش و رسوب ابتدا اقدام به مشخص کردن واحدهای کاری همگن گردیده و سپس در هر واحد همگن کاری و با استفاده از خصوصیات مشخص مربوط به عوامل ۹ گانه مدل MPSIAC، مدل مذکور اجرا شده است. به این ترتیب در نهایت اقدام به برآورد فرسایش به صورت کیفی و تهیه نقشه وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز مورد مطالعه شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اجرای مدل‌های به کار رفته در این تحقیق در جداول ۱ تا ۹ نشان داده شده است. در جداول مذکور پارامترهای مورد نیاز در هر مدل و مقادیر رسوب ویژه، فرسایش ویژه، رسوب سالانه و فرسایش سالانه آورده شده است. لازم به ذکر است چون مقادیر فرسایش و رسوب محاسبه شده در هر یک از مدل‌ها دارای واحدهای متفاوتی می‌باشند، بنابراین نتایج فرسایش و رسوب سالانه در تمامی مدل‌ها به واحد تن در سال تبدیل گردید. در نهایت خروجی هر مدل وارد GIS شد و نقشه میزان رسوبدهی هر مدل تهیه گردید (شکل ۴ تا ۱۳).

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب

وضعیت فرسایش	فرسایش سالانه (ton/y)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش ویژه (ton/ha/y)	رسوب ویژه (ton/ha/y)	SDR	R	A (ha)	واحد هیدرولوژیک
کم	۱۰۹۸/۲۷۱	۳۶۸۹۳/۴۲۹	۰/۱۴۳۵۲	۴/۸۲۱	۳۳/۵۹	۴۷/۵۶	۷۶۵۲/۶۵	آذر رود
کم	۹۸۳/۴۷۸	۳۳۵۵۵/۵۶۶	۰/۱۴۳۴۱	۴/۸۹۳	۳۴/۱۲	۴۷/۸۹	۶۸۵۷/۸۷	کارسنگ
متوسط	۱۳۴۷/۴۲۵	۴۶۶۰۷/۲۷۱	۰/۲۱۶۳۹	۷/۴۸۵	۳۴/۵۹	۵۶/۰۳	۶۲۲۶/۷۶	اسکلیم
متوسط	۴۷۹۲/۱۵۶	۱۴۶۴۲۶/۷۶۵	۰/۳۲۱۱۹	۹/۸۱۴	۳۰/۵۶	۶۳/۵۵	۱۴۹۲۰/۱۹	بابلک
متوسط	۳۹۶۲/۷۰۱	۱۱۹۸۱۶/۴۴۸	۰/۲۴۶۶۳	۷/۴۵۷	۳۰/۲۴	۴۵/۸۲	۱۶۰۶۷/۶۵	اراضی پست
متوسط	۲۹۹۲/۹۱۹	۷۶۶۵۹/۸۹۶	۰/۲۹۰۱۲	۷/۴۳۱	۲۵/۶۱	۵۵/۵۸	۵۱۷۲۵/۱۲	کل حوضه

جدول ۲- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل EPM

وضعیت فرسایش	فرسایش سالانه (ton/y)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش ویژه (ton/km ² /y)	رسوب ویژه (ton/km ² /y)	Ru	H	T	Z	I	Y	Xa	ψ	واحد هیدرولوژیک
خیلی کم	۲۱۰۰۳/۱۸۴	۱۹۰۴۸/۷۹۹	۲۷۴/۴۷۹۷	۲۳۹/۰۴۳۸	۰/۸۷۱	۸۷۰	۱/۱۸	۰/۱۷۲	۰/۳۸	۰/۸۴	۰/۲۵	۰/۲	آذر رود
کم	۲۲۴۹۸/۶۰۵	۲۴۲۲۰/۳۲۹	۳۲۷/۱۱۱۵	۳۳۹/۰۴۲۲	۱/۰۳۳	۶۹۰	۱/۱۱	۰/۲۳۵	۰/۳۷	۰/۸۸	۰/۳	۰/۲۸	کارسنگ
کم	۲۷۱۲۷/۵۲۵	۲۶۸۷۹/۸۱۳	۴۳۵/۷۱۳۵	۴۱۴/۳۳۲۴	۰/۹۵۱	۷۵۸/۵	۱/۱۵	۰/۲۶۰	۰/۴	۰/۸۹	۰/۳۱	۰/۳۱	اسکلیم
کم	۷۵۱۹۰/۷۹۲	۸۵۹۹۹/۷۵۹	۵۰۳/۹۵۹۷	۵۵۳/۳۱۲۶	۱/۰۹۸	۶۱۹/۱	۱/۰۷	۰/۳۴۴	۰/۴۳	۰/۹۴	۰/۳۵	۰/۳۹	بابلک
کم	۹۲۸۵۲/۵۰۲	۷۹۷۸۸/۱۶۳	۵۷۷/۹۰۸۲	۳۶۹/۴۰۷۵	۰/۶۳۹	۱۰۶۸/۷	۱/۲۷	۰/۲۳۴	۰/۲۱	۰/۸۵	۰/۳۴	۰/۳۵	اراضی پست
کم	۴۷۷۳۴/۵۲۲	۴۷۱۸۷/۳۷۳	۴۲۴/۰۳۴۵	۳۸۳/۰۲۷۷	۰/۸۷۶	۸۲۱/۸	۱/۱۶	۰/۲۵۷	۰/۳۴	۰/۸۸	۰/۳۲	۰/۳۳	کل حوضه

جدول ۳- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از روش اول فورنیه

فرسایش سالانه (ton/y)	رسوب سالانه (ton/y)	A (km ²)	فرسایش ویژه (ton/km ² /y)	رسوب ویژه (ton/km ² /y)	tan _s (%)	H (m)	P _a (mm)	P _w (mm)	واحد هیدرولوژیک
۷/۳۵×۱۰ ^{۱۰}	۲/۴۷×۱۰ ^{۱۲}	۷۶/۵۲	۹/۶۱×۱۰ ^۸	۳/۲۲×۱۰ ^{۱۰}	۳۸	۱۷۵۹/۵۴	۸۷۰	۱۰۷۸/۶۹	آذر رود
۱/۱۹×۱۰ ^{۱۱}	۴/۰۸×۱۰ ^{۱۲}	۶۸/۵۷	۱/۷۴×۱۰ ^۹	۵/۹۶×۱۰ ^{۱۰}	۳۷	۱۸۰۳/۲۱	۶۹۰	۱۰۷۸/۶۹	کارسنگ
۸/۸×۱۰ ^{۱۰}	۳/۰۴×۱۰ ^{۱۲}	۶۲/۲۶	۱/۴۱×۱۰ ^۹	۴/۸۹×۱۰ ^{۱۰}	۴۰	۱۸۷۲/۷۸	۷۵۸/۵	۱۰۷۸/۶۹	اسکلیم
۴/۲۸×۱۰ ^{۱۱}	۱/۳۰×۱۰ ^{۱۳}	۱۴۹/۲	۲/۸۷×۱۰ ^۹	۸/۷۷×۱۰ ^{۱۰}	۴۳	۱۹۲۳/۵۶	۶۱۹/۱	۱۰۷۸/۶۹	بابلک
۳/۳۳×۱۰ ^{۱۰}	۹/۷۲×۱۰ ^{۱۱}	۱۶۰/۶۷	۲/۰۷×۱۰ ^۸	۶/۰۵×۱۰ ^۹	۲۱	۲۷۴/۸۶	۱۰۶۸/۷	۱۰۷۸/۶۹	اراضی پست
۶/۸۳×۱۰ ^{۱۱}	۱/۷۲×۱۰ ^{۱۳}	۵۱۷/۲۵	۱/۳۲×۱۰ ^۹	۳/۳۴×۱۰ ^{۱۰}	۳۴	۱۵۲۶/۷۹	۸۲۱/۸	۱۰۷۸/۶۹	کل حوضه

پژوهش‌های فرسایش محیطی - شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰

جدول ۴- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از روش دوم فورنیه

واحد هیدرولوژیک	P _w (mm)	P _a (mm)	H (m)	S (km ²)	رسوب ویژه (ton/km ² /y)	فرسایش ویژه (ton/km ² /y)	A (km ²)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	۱۰۷۸/۶۹	۸۷۰	۱۷۵۹/۵۴	۷۶/۵۲	۲۳۵/۱۲	۶/۹۹	۷۶/۵۲	۱۷۹۹۱/۴۱	۵۳۵/۵۶
کارسنگ	۱۰۷۸/۶۹	۶۹۰	۱۸۰۳/۲۱	۶۸/۵۷	۴۶۷/۵۷	۱۳/۷۰	۶۸/۵۷	۳۲۰۶۱/۲۶	۹۳۹/۷۰
اسکلیم	۱۰۷۸/۶۹	۷۵۸/۵	۱۸۷۲/۷۸	۶۲/۲۶	۳۹۳/۹۱	۱۱/۳۹	۶۲/۲۶	۲۴۵۲۵/۰۵	۷۰۹/۰۶
بابلک	۱۰۷۸/۶۹	۶۱۹/۱	۱۹۲۳/۵۶	۱۴۹/۲	۴۶۲/۲۲	۱۵/۱۳	۱۴۹/۲	۶۸۹۶۲/۷۳	۲۲۵۶/۹۹
اراضی پست	۱۰۷۸/۶۹	۱۰۶۸/۷	۲۷۴/۸۶	۱۶۰/۶۷	۱۷/۴۶	۰/۵۹	۱۶۰/۶۷	۲۸۰۴/۸۷	۹۶/۱۹
کل حوضه	۱۰۷۸/۶۹	۸۲۱/۸	۱۵۲۶/۷۹	۵۱۷/۲۵	۹۹/۴۱	۳/۹۳	۵۱۷/۲۵	۵۱۴۱۸/۰۸	۲۰۳۲/۱۹

جدول ۵- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از روش اول داگلاس

واحد هیدرولوژیک	P (mm)	P _w (mm)	D _n (km/km ²)	R _{b_n}	رسوب ویژه (ton/km ² /y)	فرسایش ویژه (ton/km ² /y)	A (km ²)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	۸۷۰	۱۰۷۸/۶۹	۱/۸۶۳۵	۱/۹۳۳۱	۴۶/۸۵×۱۰ ^{۱۰}	۱۳/۹۴×۱۰ ^۹	۷۶/۵۲	۶۱/۲۳×۱۰ ^۸	۲/۲۷۷۸
کارسنگ	۶۹۰	۱۰۷۸/۶۹	۲/۳۰۰۷	۲/۴۶۱۳	۱۴/۸۷×۱۰ ^{۱۴}	۴۳/۵۸×۱۰ ^{۱۲}	۶۸/۵۷	۲۱/۶۸×۱۰ ^{۱۲}	۲/۰۰۹۸
اسکلیم	۷۵۸/۵	۱۰۷۸/۶۹	۲/۶۸۵۴	۱/۴۹۶۳	۷۱/۸۵×۱۰ ^۸	۲۰/۷۷×۱۰ ^۷	۶۲/۲۶	۱۱/۵۴×۱۰ ^۷	۱/۸۰۰
بابلک	۶۱۹/۱	۱۰۷۸/۶۹	۲/۲۰۰۴	۲/۱۲۲۷	۲۲/۱۹×۱۰ ^{۱۲}	۷۲/۶۲×۱۰ ^{۱۰}	۱۴۹/۲	۱۴/۸۷×۱۰ ^{۱۰}	۴/۸۸۳
اراضی پست	۱۰۶۸/۷	۱۰۷۸/۶۹	۱/۹۳۷۹	۱/۷۵۷۹	۳۱/۵۵×۱۰ ^۹	۱۰/۸۲×۱۰ ^۸	۱۶۰/۶۷	۱۹/۶۳×۱۰ ^۷	۵/۵۰۹۷
کل حوضه	۸۲۱/۸	۱۰۷۸/۶۹	۲/۱۳۹۵	۲/۱۹۷۹	۲۵/۰۲×۱۰ ^{۱۲}	۹۸/۹۲×۱۰ ^{۱۰}	۵۱۷/۲۵	۴۸/۳۸×۱۰ ^۹	۲۰/۴۴۳۳

جدول ۶- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از روش دوم داگلاس

واحد هیدرولوژیک	Q _{WA} (mm)	R/L (ft/mile)	DD (ft/mile ²)	رسوب ویژه (ton/km ² /y)	فرسایش ویژه (ton/km ² /y)	A (km ²)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	۴۸۰/۲۵	۲۲۳/۸۶۰۲	۱۵۸۳۵/۸۴۳	۲/۷۷۹۵	۸/۲۷۳۸	۷۶/۵۲	۳/۶۳×۱۰ ^{-۳۰۸}	.
کارسنگ	۳۲۷/۲۵	۳۲۳/۹۰۷۹	۱۹۵۵۰/۴۴۲	.	.	۶۸/۵۷	.	.
اسکلیم	۳۸۵/۴۷۵	۲۸۷/۴۴۰۸	۲۲۸۱۹/۵۹۹	.	.	۶۲/۲۶	.	.
بابلک	۲۶۶/۹۸۵	۲۴۵/۴۴۰۵	۱۸۶۹۸/۵۶۵	.	.	۱۴۹/۲	.	.
اراضی پست	۳۷۴/۷۶۰	۸۶/۷۱۵۵	۱۶۴۶۸/۲۷۴	۲/۰۸۱۲	۷/۱۳۶۹	۱۶۰/۶۷	۱/۲۹×۱۰ ^{-۹۷}	۴/۴۴۱۹
کل حوضه	۴۳۹/۲۸	۱۲۵/۷۸۳۴	۱۸۱۸۰/۶۴۳	۴/۲۰۴	۱/۶۶۱۶	۵۱۷/۲۵	۸/۱۳×۱۰ ^{-۱۵۸}	۳/۲۱۲۳

جدول ۷- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل کرکبای

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب

واحد هیدرولوژیک	Qw (mm)	φ	رسوب ویژه (ton/ha)	فرسایش ویژه (ton/ha)	A (ha)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	۴۸۰/۲۵	۰/۳۸	۱/۵۶۶۰۴۹	۰/۰۴۶۶۱۸	۷۶۵۲/۶۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۶۰
کارسنگ	۳۲۷/۲۵	۰/۳۷	۰/۷۰۶۱۳۳	۰/۰۲۰۶۹۷	۶۸۵۷/۸۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳۰
اسکلیم	۳۸۵/۴۷۵	۰/۴	۱/۰۶۷۹۹۵	۰/۰۳۰۸۷۷	۶۲۲۶/۷۶	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۰۰۴۹
بابلک	۲۶۶/۹۸۵	۰/۴۳	۰/۵۵۵۷۴۶	۰/۰۱۸۱۸۸	۱۴۹۲۰/۱۹	۰/۰۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۰۰۱۲
اراضی پست	۳۷۴/۷۶۰	۰/۲۱	۰/۵۰۸۸۹۲	۰/۰۱۷۴۵۱	۱۶۰۶۷/۶۵	۰/۰۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱۰
کل حوضه	۴۳۹/۲۸	۰/۳۴	۱/۱۶۰۴۱۲	۰/۰۴۵۸۶۳	۵۱۷۲۵/۱۲	۰/۰۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸

جدول ۸- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل هیدروفیزیکی

واحد هیدرولوژیک	A ^s	R	E	V	P	پتانسیل رسوبدهی (CSY)	درصد پتانسیل رسوبدهی (SY)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	۲۵/۸۷۲	۰/۰۴۲۳۹	۷/۴۹	۰/۰۱۰۲۵	۸۷۰	۷۳/۲۳۵۹۶	۲۰/۴۹۶	۷۳/۲۳۵۹۶	۲/۱۸۰۰۶
کارسنگ	۲۳/۸۲۹	۰/۰۶۱۳۵	۲/۲	۰/۰۱۱۲۱	۶۹۰	۲۴/۸۶۸۴۱	۶/۹۶۰	۲۴/۸۶۸۴۱	۰/۷۲۸۸۸
اسکلیم	۲۲/۱۶۴	۰/۰۵۴۴۴	۵/۸۵	۰/۰۱۰۶۵	۷۵۸/۵	۵۷/۰۴۲۸۴	۱۵/۹۶۴	۵۷/۰۴۲۸۴	۱/۶۴۹۱۹
بابلک	۴۲/۶۹۰	۰/۰۴۶۴۹	۶/۷۵	۰/۰۱۳۵۵	۶۱۹/۱	۱۱۲/۳۶۸۸۸	۳۱/۴۴۷	۱۱۲/۳۶۸۸۸	۳/۶۷۷۵۷
اراضی پست	۴۵/۱۲۹	۰/۰۱۶۴۲	۷/۴۸	۰/۰۱۵۱۶	۱۰۶۸/۷	۸۹/۸۰۹۸۵	۲۵/۱۳۴	۸۹/۸۰۹۸۵	۳/۰۷۹۷۶
کل حوضه	-	-	-	-	-	۳۵۷/۳۲۵۹۳	۱۰۰	۳۵۷/۳۲۵۹۳	۱۴/۱۲۲۶۱

قابل توضیح است که اساس کار روش ژئومورفولوژی مبتنی بر واحدهای کاری است و مقدار رسوب را به ازای هر واحد کاری برآورد می‌کند. اما در این تحقیق چون ارزیابی و مقایسه مدل‌های مورد آزمون به تفکیک زیرحوضه‌ها و بصورت جداگانه انجام گرفته است و بخاطر اینکه ارزیابی در یک سطح یکسان برای هر زیرحوضه انجام گردد، مقادیر رسوب برآورد شده در هر واحد کاری (جدول ۹) با توجه به سطحی از آن واحد که در هر زیرحوضه قرار دارد به صورت وزنی با هم جمع شده و مقدار رسوب برای هر زیرحوضه محاسبه گردید. سپس مقادیر اختلاف مطلق و نسبی در هر زیرحوضه برای تمامی مدل‌های مورد استفاده از طریق مقایسه داده‌های برآورد شده با داده‌های مشاهده‌ای محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

پژوهش‌های فرسایش محیطی - شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰

جدول ۹- مقادیر برآورد شده رسوب و فرسایش در هریک از واحدهای کاری حوزه آبخیز بابلرود با استفاده از روش ژئومورفولوژی بر اساس مدل MPSIAC

واحد کاری	مساحت (ha)	زمین شناسی	خاک	آب و هوا	رواناب	بستی و بلندی	پوشش زمین	کاربری اراضی	وضعیت فرسایش	فرسایش رودخانه ای	رسوب ویژه (ton/ha/y)	فرسایش ویژه (ton/ha/y)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)	شدت رسوبدهی
۱	۲۳۳۱/۷۵	۶/۳	۶/۳۳۵	-/۳۶۹	۳/۲۳۷	۱۲/۱۹	۳/۸۸	۴/۱	۱-/۹	۱۴/۰۴	۹/۰۲۲	-/۲۲۶۸۹	۲۱۰۳۷/۰۴۹	۵۲۹۱۰۶۸	متوسط
۲	۲۵۱۱/۶۴	۶/۵	۷/۳۳۵	-/۳۶۹	۳/۲۳۷	۱۲/۱۹	۳/۸۸	۳/۴	۱۱/۳	۱۵/۷۱	۹/۸۱۲	-/۲۴۹۳۸	۲۴۶۴۴/۲۱۲	۶۲۶/۳۵۷	متوسط
۳	۷۸۶/۴۸	۶/۱	۴/۸۳۵	-/۳۶۹	۵/۰۲۵	۱۱/۲	۲/۱۸	۴/۶	۶/۹۲۵	۵/۶۹	۴/۷۷۴	-/۱۰۰۲۹۰	۳۷۵۴/۶۵۶	۸۰/۹۳۲	کم
۴	۲۱۵۹/۷۱	۵/۹	۶/۰۰۱	-/۳۶۹	۵/۰۲۵	۱۲/۱۹	۲/۱۶	۲/۸	۹/۲۵	۷/۳۶	۵/۱۱۵	-/۱۲۷۲۵	۱۱۰۶۹/۹۱۷	۲۷۴/۸۱۸	متوسط
۵	۲۱۵۹/۷۱	۶/۲	۷/۰۰۷	-/۳۶۹	۵/۰۲۵	۵/۹۳	۲/۱۲	۴/۴	۷/۶۵	۸/۱۹۵	۴/۷۲۱	-/۱۱۳۲۲	۷۸۷۵/۱۹۵	۱۸۸/۸۶۴	کم
۶	۸۹۷/۲۵	۶/۴	۵/۵۰۱	-/۳۶۹	۵/۱۶۸	۹/۲۲	۲/۱۸	۳	۸/۹۵	۹/۰۳	۴/۹۸۶	-/۱۰۰۹۵۰	۴۴۷۳/۸۹	۹۸/۲۵۱	کم
۷	۱۵۶۴/۳۵	۶/۵	۷/۵۰۲	-/۳۶۹	۳/۴۴۱	۱۱/۵۳	۲/۳۸	۳/۲	۹/۱۷۵	۱۲/۳۷	۷/۳۴۴	-/۱۲۴۱۹۷	۱۱۴۸۸۵/۸۶۴	۲۷۸۵/۲۵۶	متوسط
۸	۳۲۲/۵۶	۵/۸	۵/۱۶۸	-/۳۶۹	۵/۱۶۵	۱۰/۷۰۵	۱/۰۴	۵/۴	۷/۵	۹/۰۳	۵/۰۱۱	-/۰۹۵۱۸	۱۶۱۶/۴۸	۳۰/۷۰۲	کم
۹	۱۱۰/۶۸	۶	۵/۶۶۸	-/۳۶۹	۵/۶۵۱	۱۰/۸۷	۱	۶/۲	۷/۹۵	۹/۰۳	۵/۹۷۶	-/۰۹۷۵۳	۶۶۱/۴۲۴	۱۰/۷۹۴	متوسط
۱۰	۵۶۴/۱۴	۵/۹	۶/۱۳۵	-/۳۶۹	۵/۲۸۳	۱۰۰۳۷۵	۱/۳	۴	۸/۴۲۵	۹/۰۳	۵/۰۳۴	-/۱۰۰۳۳۱	۲۸۲۴/۲۳۹	۵۸/۲۷۹	کم
۱۱	۷۹۲/۰۸	۶/۱	۶/۵۰۶	-/۳۶۹	۵/۶۵۱	۱۰/۶۰۶	۱/۱	۳/۶۶	۸/۱	۹/۰۳	۵/۲۳۱	-/۱۱۲۶۵	۴۱۳۵/۴۴۹	۸۹/۲۲۹	متوسط
۱۲	۱۰۷۶/۶۶	۶	۷/۱۶۸	-/۳۶۹	۵/۶۵۱	۱۰۰۵۷۳	۱/۱۶	۱/۱۶	۸/۴۲۵	۹/۸۶۵	۶/۸۸۵	-/۱۵۵۱۷	۷۴۱۲/۸۰۴	۱۶۷/۰۶۶	متوسط
۱۳	۱۷۶۷/۲۹	۶/۴	۷/۵۸۵	-/۳۶۹	۵/۵۲۶	۶/۵۹	۴/۱۴	۶	۸/۱۲۵	۷/۳۶	۵/۵۷۳	-/۱۳۴۷۵	۹۸۴۹/۱۰۷	۲۳۸/۱۴۶	متوسط
۱۴	۱۶۴۶/۰۹	۶/۲	۶/۶۶۸	-/۳۶۹	۵/۱۶۸	۱۱/۰۳۵	۲/۲۴	۳/۸	۷/۷۷۵	۱۰/۷	۶/۰۸۹	-/۱۴۵۷۵	۱۰۰۲۳/۰۴۲	۲۳۹/۹۲۰	متوسط
۱۵	۵۵۷۲/۸۲	۶/۵	۶/۸۳۵	-/۳۶۹	۳/۲۳۷	۱۱/۹۹۲	۳/۶	۳/۶	۱۰/۶۵	۱۲/۳۷	۸/۴۵۷	-/۲۴۰۶۸	۴۷۱۲۹/۳۳۹	۱۳۴۱/۲۵۷	متوسط
۱۶	۳۰۶۷/۱۸	۶/۸	۷/۶۶۸	-/۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۶	۴/۶	۴/۲	۹/۳۷۵	۹/۰۳	۶/۰۲۳	-/۱۵۷۴۸	۱۸۴۷۳/۶۲۵	۴۸۳/۰۲۹	متوسط
۱۷	۳۶۱۵/۳	۶/۳	۷/۸۱۸	-/۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۵۳۴	۴/۸	۳/۶	۹/۲۲۵	۷/۳۶	۵/۰۱۲	-/۱۳۴۱۴	۱۸۱۱۹/۳۸۲	۴۸۴/۹۴۸	کم
۱۸	۵۲۹۳/۱	۶/۹	۷/۰۰۲	-/۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۷۶۵	۵	۵	۹/۱۵	۷/۳۶	۵/۳۵۶	-/۱۵۱۷۲	۲۸۸۸۵/۴۴۴	۸۱۸/۲۳۸	متوسط
۱۹	۱۸۱۲/۶۸	۶/۶	۷/۸۳۵	-/۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۶۹۹	۴/۷	۳/۴	۸/۶۷۵	۷/۳۶	۵/۰۷۲	-/۱۲۳۰۸	۹۱۹۳/۹۱۳	۲۲۳/۱۰۵	کم

تعیین مقادیر مشاهده‌ای میزان رسوب تولید شده با استفاده از ایستگاه رسوب‌سنجی

در این تحقیق از ۴۳ سال (۱۳۸۵-۱۳۴۳) آمار ایستگاه رسوب‌سنجی قران تالار استفاده گردید. یکی از روش‌های متداول محاسبه تولید رسوب معلق رودخانه‌ها استفاده از روش منحنی سنج رسوب - دبی روزانه جریان است. ابزار لازم برای رسم منحنی سنج رسوب، دبی جریان و دبی رسوب متناظر با آن است. برای تعیین دبی رسوب از نمونه‌های بار معلق رودخانه استفاده شد، برای تعیین غلظت بار معلق (عناصری که اندازه آنها کمتر از ۰/۱ میلیمتر است)، در یک مقطع جریان آب به طور عمودی از اعماق مختلف نمونه‌هایی برداشت گردید، در مرحله بعد در آزمایشگاه آب، به طریق فیلتراسیون، مقدار مواد معلق اندازه‌گیری شد. سپس دبی رسوب از رابطه ۱۳ تعیین گردید:

$$Q_s = C_m Q_w 0.0864 \quad (13)$$

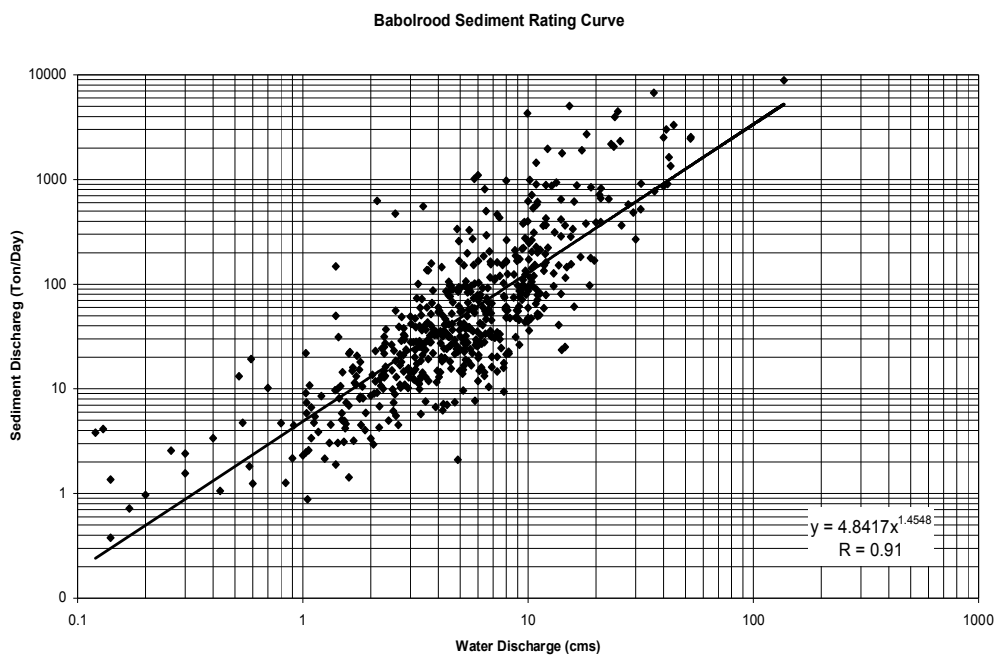
Q_s : دبی رسوب به تن در روز، C_m : غلظت بار معلق در هر نوبت اندازه‌گیری به میلی‌گرم در لیتر، Q_w : دبی

لحظه‌ای آب رودخانه در هنگام برداشت نمونه به مترمکعب در ثانیه.

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب

با داشتن دبی مشاهده‌ای و دبی رسوب مشاهده‌ای، منحنی سنجه رسوب رسم گردید. در نهایت، نمودار دبی آب - دبی رسوب به همراه معادله مربوطه و ضریب همبستگی آن برای حوضه آبخیز بابلرود بدست آمد، که نتیجه آن در شکل ۲ آمده است، همچنین مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده در هر زیر حوضه در جدول ۱۰ و مقایسه نتایج مدل‌های مورد استفاده با داده‌های مشاهده‌ای در جدول ۱۱ نشان داده شده است (AILWMP, 2008). در شکل ۳ نمودار مقدار رسوب برآورد شده بوسیله هر مدل با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه نشان داده شده است.

شکل ۲- منحنی سنجه رسوب حوضه آبخیز بابلرود، (AILWMP, 2008)

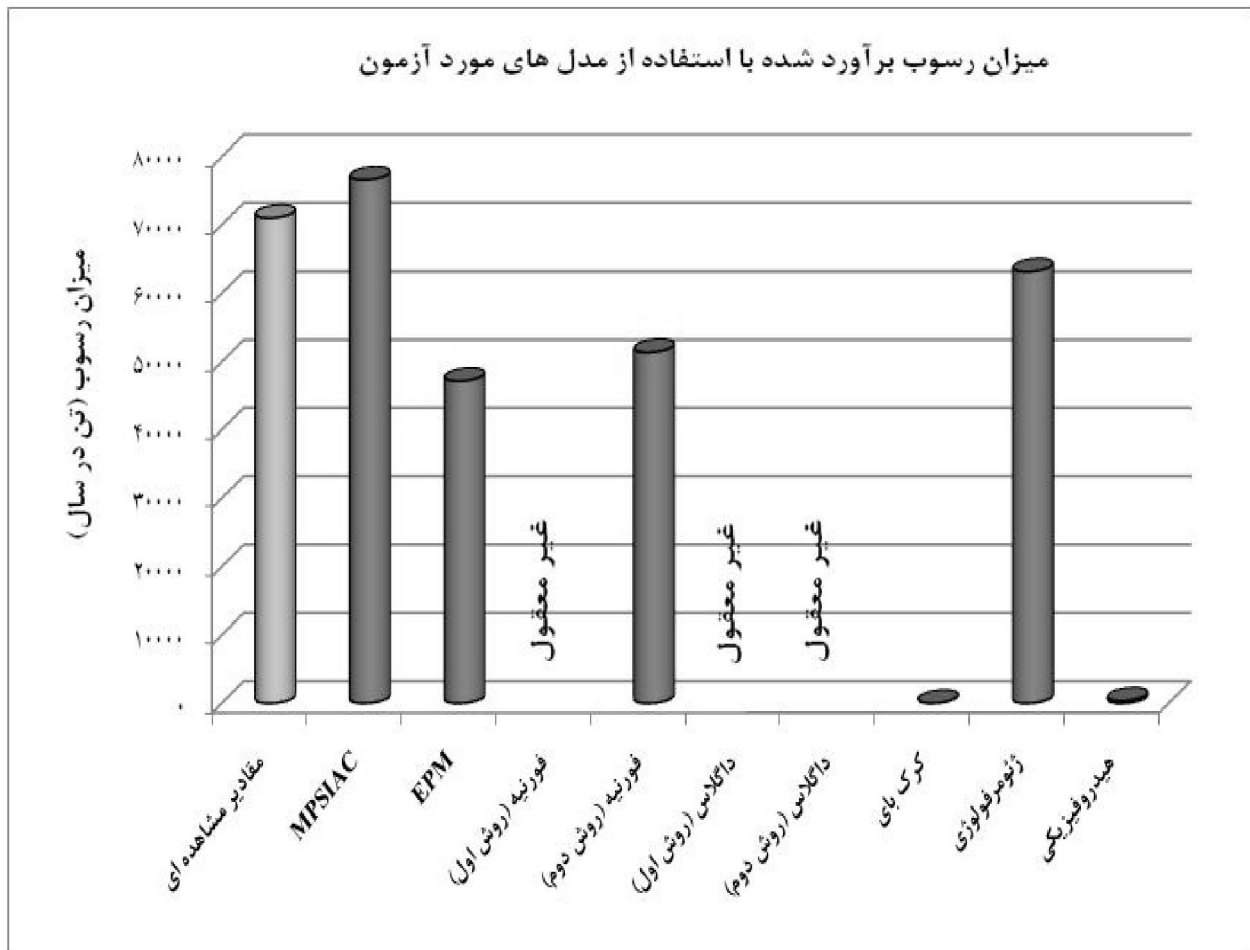


جدول ۱۰- مقادیر رسوب کل و فرسایش کل اندازه‌گیری شده در ایستگاه قران تالار حوضه آبخیز بابلرود

منحنی سنجه رسوب		مساحت (کیلومتر مربع)	واحد هیدرولوژیک
فرسایش کل (تن در سال)	رسوب کل (تن در سال)		
۱۴۲۲۷۷/۸۳	۴۸۱۷۵/۲۷	۷۶/۵۲	آذر رود
۱۲۶۸۷۶/۶۶	۴۳۱۸۸/۸۲	۶۸/۵۷	کارسنگ
۱۱۲۸۲۵/۳۴	۳۹۲۱۸/۰۹	۶۲/۲۶	اسکلیم
۲۸۹۱۲۳/۷۸	۹۳۹۶۵/۲۳	۱۴۹/۲	بابلک
۳۸۱۹۳۰/۹۱	۱۳۰۵۸۲/۱۸	۱۶۰/۶۷	اراضی پست
۲۱۰۶۰۶/۹۰۴	۷۱۰۲۵/۹۱۸	۵۱۷/۲۵	کل حوضه

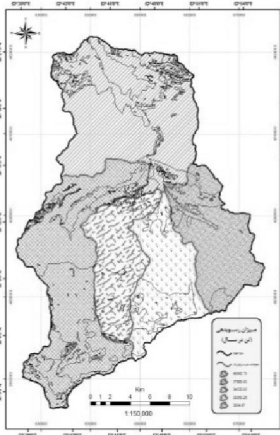
جدول ۱۱- نتایج رسوب سالانه برآورد شده توسط مدل‌های مورد آزمون بر حسب تن در هکتار و مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای

مقادیر مشاهده‌ای	ژئومرفولوژی	هیدروفیزیکی	کرک‌بای	داگلاس		فورنیه		EPM	MPSIAC	واحد هیدرولوژیک
				روش دوم	روش اول	روش دوم	روش اول			
۴۸۱۷۵/۲۷	۲۲۲۴۸/۰۴۳	۷۳/۲۳۶	۰/۰۰۰۲	$۳/۶۳ \times ۱۰^{-۳۰۸}$	$۶۱/۲۳ \times ۱۰^{-۸}$	۱۷۹۹۱/۴۱	$۲/۴۷ \times ۱۰^{-۱۲}$	۱۹۰۴۸/۷۹۹	۳۶۸۹۳/۴۲۹	آذر رود
۴۳۱۸۸/۸۲	۴۱۱۲۰/۷۷۸	۲۴/۸۶۸	۰/۰۰۰۱	۰	$۲۱/۶۸ \times ۱۰^{-۱۲}$	۳۲۰۶۱/۲۶	$۴/۰۸ \times ۱۰^{-۱۲}$	۲۴۲۲۰/۳۲۹	۳۳۵۵۵/۵۶۶	کارسنگ
۳۹۲۱۸/۰۹	۴۴۲۸۲/۶۵۲	۵۷/۰۴۳	۰/۰۰۰۱۷	۰	$۱۱/۵۴ \times ۱۰^{-۷}$	۲۴۵۲۵/۰۵	$۳/۰۴ \times ۱۰^{-۱۲}$	۲۶۸۷۹/۸۱۳	۴۶۶۰۷/۲۷۱	اسکلیم
۹۳۹۶۵/۲۳	۱۱۹۷۴۵/۳۳۵	۱۱۲/۳۶۹	۰/۰۰۰۰۳۷	۰	$۱۴/۸۷ \times ۱۰^{-۱۰}$	۶۸۹۶۲/۷۳	$۱/۳۰ \times ۱۰^{-۱۳}$	۸۵۹۹۹/۷۵۹	۱۴۶۴۲۶/۷۶۵	بابک
۱۳۰۵۸۲/۱۸	۸۸۲۳۷/۰۱۹	۸۹/۸۰۹	۰/۰۰۰۰۳۱	$۱/۲۹ \times ۱۰^{-۹۷}$	$۱۹/۶۳ \times ۱۰^{-۷}$	۲۸۰۴/۸۷	$۹/۷۲ \times ۱۰^{-۱۱}$	۷۹۷۸۸/۱۶۳	۱۱۹۸۱۶/۴۴۸	اراضی پست
۷۱۰۲۵/۹۱۸	۶۳۲۲۶/۷۶۵	۳۵۷/۳۲۶	۰/۰۰۰۰۲۲	$۸/۱۳ \times ۱۰^{-۱۵۸}$	$۴۸/۳۸ \times ۱۰^{-۹}$	۵۱۴۱۸/۰۸	$۱/۷۲ \times ۱۰^{-۱۳}$	۴۷۱۸۷/۳۷۳	۷۶۶۵۹/۸۹۶	کل حوضه

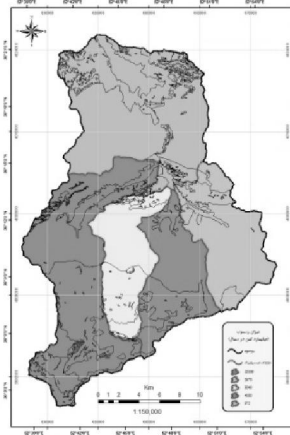


شکل ۳- نمودار مقادیر رسوب برآورد شده و مقایسه با مقدار مشاهده‌ای

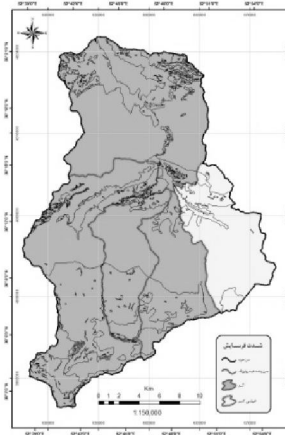
ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب



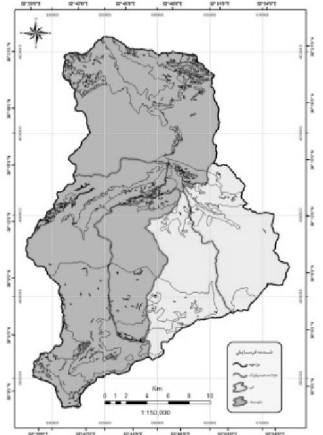
شکل ۷- نقشه فورنیه (روش دوم)



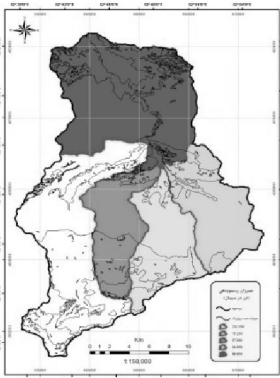
شکل ۶- نقشه فورنیه (روش اول)



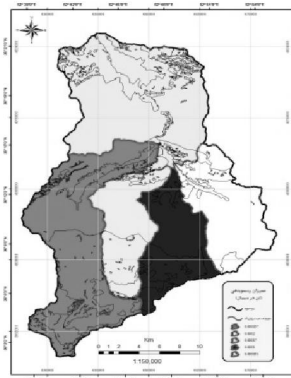
شکل ۵- نقشه EPM



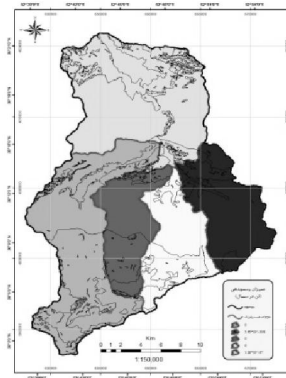
شکل ۴- نقشه MPSIAC



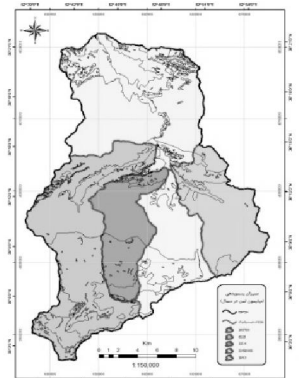
شکل ۱۱- نقشه هیدروفیزیکی



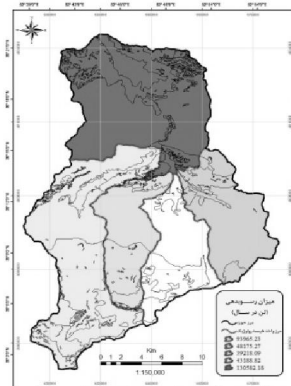
شکل ۱۰- نقشه کرک‌بای



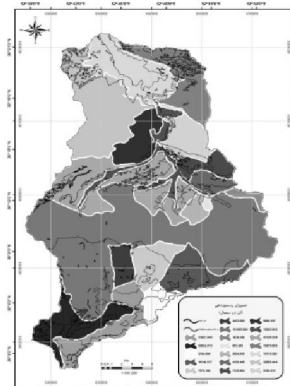
شکل ۹- نقشه داگلاس (روش دوم)



شکل ۸- نقشه داگلاس (روش اول)



شکل ۱۳- نقشه مقادیر مشاهده‌ای



شکل ۱۲- نقشه ژئومرفولوژی

پژوهش‌های فرسایش محیطی - شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰

جدول ۱۲- تعیین اختلاف مطلق و نسبی مقادیر رسوب برآورد شده با مقادیر مشاهده‌ای برای هر یک از مدل‌های مورد آزمون در زیرحوضه‌های حوضه

آبخیز بابلرود

مقادیر مشاهده‌ای	ژئومورفولوژی	هیدروفیزیکی	کرک‌بای	داگلاس		فورنیه		EPM	MPSIAC	واحد هیدرولوژیک	
				روش دوم	روش اول	روش دوم	روش اول			رسوبدهی (ton/y)	اختلاف مطلق
۴۸۱۷۵/۲۷	۲۲۲۴۸/۰۴۳	۷۳/۲۳۶	۰/۰۰۰۲	$۳/۶۳ \times 10^{-۳۰۸}$	$۶۱/۲۳ \times 10^{-۸}$	۱۷۹۹۱/۴۱	$۲/۴۷ \times 10^{-۱۲}$	۱۹۰۴۸/۷۹۹	۳۶۸۹۳/۴۲۹	رسوبدهی (ton/y)	آذر رود
-	۲۵۹۲۷/۲۲۷	۴۸۱۷۵/۰۳۴	۴۸۱۷۵/۲۶۹	۴۸۱۷۵/۲۷	$۶۱/۲۳ \times 10^{-۸}$	$۳۰۱۸۳/۸۵۶$	$۲/۴۷ \times 10^{-۱۲}$	۲۹۱۲۶/۴۷۱	۱۱۲۸۱/۸۴۱	اختلاف مطلق	
-	۵۳/۸۱۹	۹۹/۸۵	۹۹/۹۹	۱۰۰	$۱۲/۷۱ \times 10^{-۶}$	۶۲/۶۵	$۵/۱۲ \times 10^{-۹}$	۶۰/۴۶	۲۳/۴۱۸	اختلاف نسبی	
۴۳۱۸۸/۸۲	۴۱۱۲۰/۷۷۸	۲۴/۸۶۸	۰/۰۰۰۱	۰	$۲۱/۶۸ \times 10^{-۱۲}$	$۳۲۰۶۱/۲۶$	$۴/۰۸ \times 10^{-۱۲}$	۲۴۲۲۰/۳۲۹	۳۳۵۵۵/۵۶۶	رسوبدهی (ton/y)	کارسنگ
-	۲۰۶۸/۰۴۲	۴۳۱۶۳/۹۵۲	۴۳۱۸۸/۸۲	۴۳۱۸۸/۸۲	$۲۱/۶۸ \times 10^{-۱۲}$	$۱۱۱۲۷/۵۵۶$	$۴/۰۸ \times 10^{-۱۲}$	۱۸۹۶۸/۴۹۱	۹۶۳۳/۲۵۴	اختلاف مطلق	
-	۴/۷۸۸	۹۹/۹۴	۹۹/۹۹	۱۰۰	$۵/۰۲ \times 10^{-۱۰}$	۲۵/۷۷	$۹/۴۶ \times 10^{-۹}$	۴۳/۹۲	۲۲/۳۰۵	اختلاف نسبی	
۳۹۲۱۸/۰۹	۴۴۲۸۲/۶۵۲	۵۷/۰۴۳	۰/۰۰۰۱۷	۰	$۱۱/۵۴ \times 10^{-۷}$	$۲۴۵۲۵/۰۵$	$۳/۰۴ \times 10^{-۱۲}$	۲۶۸۷۹/۸۱۳	۴۶۶۰۷/۲۷۱	رسوبدهی (ton/y)	اسکلیم
-	۵۰۶۴/۵۶۲	۳۹۱۶۱/۰۴۷	۳۹۲۱۸/۰۹	۳۹۲۱۸/۰۹	$۱۱/۵۴ \times 10^{-۷}$	$۱۴۶۹۳/۰۳۶$	$۳/۰۴ \times 10^{-۱۲}$	۱۲۳۳۸/۲۷۷	۷۳۸۹/۱۸۱	اختلاف مطلق	
-	۱۲/۹۱۴	۹۹/۸۵	۹۹/۹۹	۱۰۰	$۲۹/۴۱ \times 10^{-۴}$	۳۷/۴۷	$۷/۷۶ \times 10^{-۹}$	۳۱/۴۶	۱۸/۸۴۱	اختلاف نسبی	
۹۳۹۶۵/۲۳	۱۱۹۷۴۵/۳۳۵	۱۱۲/۳۶۹	۰/۰۰۰۰۳۷	۰	$۱۴/۸۷ \times 10^{-۱۰}$	$۶۸۹۶۲/۷۳$	$۱/۳۰ \times 10^{-۱۳}$	۸۵۹۹۹/۷۵۹	۱۴۶۴۲۶/۷۶۵	رسوبدهی (ton/y)	بابلک
-	۲۵۷۸۰/۱۰۵	۹۳۸۵۲/۸۶۱	۹۳۹۶۵/۲۳	۹۳۹۶۵/۲۳	$۱۴/۸۷ \times 10^{-۱۰}$	$۲۵۰۰۲۵/۴۹$	$۱/۳۰ \times 10^{-۱۳}$	۷۹۶۵/۴۷۱	۵۲۴۶۱/۵۳۵	اختلاف مطلق	
-	۲۷/۴۳۶	۹۹/۸۸	۱۰۰	۱۰۰	$۱۵/۸۲ \times 10^{-۷}$	۲۶/۶۱	$۱/۳۹ \times 10^{-۱۰}$	۸/۴۸	۵۵/۸۳۱	اختلاف نسبی	
۱۳۰۵۸۲/۱۸	۸۸۷۳۷/۰۱۹	۸۹/۸۰۹	۰/۰۰۰۰۳۱	$۱/۲۹ \times 10^{-۹۷}$	$۱۹/۶۳ \times 10^{-۷}$	۲۸۰۴/۸۷	$۹/۷۲ \times 10^{-۱۱}$	۷۹۷۸۸/۱۶۳	۱۱۹۸۱۶/۴۴۸	رسوبدهی (ton/y)	اراضی پست
-	۴۱۸۴۵/۱۶	۱۳۰۴۹۲/۳۷	۱۳۰۵۸۲/۱۸	۱۳۰۵۸۲/۱۸	$۱۹/۶۳ \times 10^{-۷}$	$۱۲۷۷۷۷/۳۱$	$۹/۷۲ \times 10^{-۱۱}$	$۵۰۷۹۴/۰۱۷$	۱۰۷۶۵/۷۳۲	اختلاف مطلق	
-	۳۲/۰۴۵	۹۹/۹۳	۱۰۰	۱۰۰	$۱۵/۰۲ \times 10^{-۴}$	۹۷/۸۵	$۷/۴۴ \times 10^{-۸}$	۳۸/۸۹	۸/۲۴۴	اختلاف نسبی	
۷۱۰۲۵/۹۱۸	۶۳۲۲۶/۷۶۵	۳۵۷/۳۲۶	۰/۰۰۰۰۲۲	$۸/۱۳ \times 10^{-۱۵۸}$	$۴۸/۳۸ \times 10^{-۹}$	۵۱۴۱۸/۰۸	$۱/۷۲ \times 10^{-۱۳}$	۴۷۱۸۷/۳۷۳	۷۶۶۵۹/۸۹۶	رسوبدهی (ton/y)	کل حوضه
-	۷۷۹۹/۱۵۳	۷۰۶۶۸/۵۹۲	۷۱۰۲۵/۹۱۸	۷۱۰۲۵/۹۱۸	$۴۸/۳۸ \times 10^{-۹}$	$۱۹۶۰۷/۸۴۲$	$۱/۷۲ \times 10^{-۱۳}$	۲۳۸۳۸/۵۴۵	۵۶۳۳/۹۷۸	اختلاف مطلق	
-	۱۰/۹۸۱	۹۹/۴۹	۱۰۰	۱۰۰	$۶۸/۱۲ \times 10^{-۶}$	۲۷/۶۱	$۲/۴۳ \times 10^{-۱۰}$	۳۳/۵۶	۷/۹۳۲	اختلاف نسبی	

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ارزیابی مدل‌های مورد استفاده به تفکیک هر زیرحوضه انجام گرفت. به عبارتی علاوه بر ارزیابی کلی نتایج برای کل حوضه، در سطح هر زیرحوضه نیز نتایج مدل‌های انتخابی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به مقایسه مقادیر برآوردی با مشاهده‌ای و آزمون همبستگی در کل حوضه، مدل MPSIAC با اختلاف نسبی $7/932$ درصد و ضریب همبستگی $r=0/86$ نسبت به سایر مدل‌های مورد آزمون از بیشترین دقت و کارایی برخوردار می‌باشد. همچنین در ارزیابی مدل‌ها در مقیاس زیرحوضه، این مدل در زیرحوضه‌های آذر رود و اراضی پست به ترتیب با اختلاف نسبی $23/418$ و $8/244$ درصد مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد که این نشانگر دقیق بودن مدل و کارایی مناسب آن در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و با نتایج Safamanesh et al., 2006، راستگو و همکاران (1385)، تاجگردان و همکاران (1387) و بهرامی و رحیمی (1387) مطابقت و هم‌خوانی دارد. همانطور که قبلاً به آن اشاره شد، مدل ژئومورفولوژی در سطح واحدهای کاری همگن اجرا می‌شود لذا از دقت قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد که نتایج حاصل از اجرای این مدل در حوضه مورد مطالعه نیز مبین دقت بالای آن می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل ژئومورفولوژی نشان می‌دهد که مدل مذکور، با اختلاف نسبی $10/981$ درصد و ضریب همبستگی $r=0/78$ ، پس از مدل MPSIAC، مدل مناسبی است. علاوه بر آن در 2 زیرحوضه کارسنگ و اسکلیم، این مدل به ترتیب با اختلاف نسبی $4/788$ و $12/914$ درصد، از بیشترین دقت و کارایی برخوردار می‌باشد که در این رابطه با نتایج، محسنی و همکاران (1390) مطابقت دارد. در زیرحوضه بابلک که بیشترین میزان تولید رسوب و فرسایش را در بین زیرحوضه‌های حوضه آبخیز بابلرود به خود اختصاص داده است، مدل EPM با اختلاف نسبی $8/48$ درصد، دارای بیشترین دقت بود که بیانگر قابلیت مناسب این مدل در مناطق با فرسایش‌پذیری بالا می‌باشد. از دلایل اصلی بالا بودن میزان رسوب تولیدی در این زیرحوضه، شیب زیاد (43 درصد و بیشتر از بقیه زیرحوضه‌ها)، دارا بودن گروه هیدرولوژیکی C (با نفوذپذیری کم و تولید رواناب بالا نسبت به گروه هیدرولوژیکی B که سایر زیرحوضه‌ها را شامل می‌شود)، اختلاف ارتفاع زیاد (1210 متر و بیشتر از بقیه زیرحوضه‌ها) و زمین‌شناسی آن شامل تناوب شیل و ماسه سنگ زغال‌دار (سازند شمشک)، سنگ آهک مارنی، مارن، لس و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد که در مدل EPM با توجه به در نظر گرفتن پارامترهای حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، کاربری اراضی، فرسایش اولیه منطقه و شیب می‌توان به این نتیجه رسید که برای این زیرحوضه از دقت قابل قبولی برخوردار است، زیرا که این مدل، خصوصیات و شرایط بیان شده در زیرحوضه مذکور را بخوبی در نظر گرفته است. اما بطور کلی مدل MPSIAC بدلیل در نظر گرفتن عوامل بیشتر نسبت به



مدل EPM دارای دقت و کارایی بالاتری است که این موضوع با نتایج راستگو و همکاران (۱۳۸۵) و بهرامی و رحیمی (۱۳۸۷) مطابقت دارد. برای سایر مدل‌های استفاده شده در این تحقیق شامل روش اول و دوم مدل فورنیه، روش اول و دوم مدل داگلاس، مدل کرک‌بای و مدل هیدروفیزیکی، بجز روش دوم مدل فورنیه (با اختلاف نسبی قابل قبول ۲۷/۶۱ درصد در کل حوضه) بقیه مدل‌ها نتایج غیرمعقول و به دور از واقعیتی را ارائه کرده‌اند که این بیانگر عدم توانایی این مدل‌ها در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز بابلرود می‌باشد. در واقع این مدل‌ها در مناطقی توسعه یافته‌اند که شرایط فیزیکی و اقلیمی متفاوتی با حوضه آبخیز بابلرود داشته‌اند.

تشکر

در اینجا لازم است از حمایت‌های دانشکده منابع طبیعی ساری در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی گردد.

فهرست منابع

- ۱- احمدی، ح.، ۱۳۸۶. ژئومرفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۶۸۸ ص.
- ۲- علیزاده، ا.، ۱۳۶۸. فرسایش و حفاظت خاک، انتشارات آستان قدس رضوی، ۸۷۰ ص.
- ۳- عرب‌خدری، م.، او.، زرگر، ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیونی، پژوهش و سازندگی، ۲۲-۲۹.
- ۴- جهان‌سیر، ر.، ۱۳۸۰. بررسی تأثیر عوامل خطر فرسایش خاک (عوامل مدل FAO) در میزان فرسایش با استفاده از GIS در حوضه آبخیز زیارت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۵- راستگو، س.، ب.، قهرمان، س.ح.، ثنایی نژاد، ک.، داوری، س.ر.، خدائشناس، ۱۳۸۵. برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۰، ۹۱-۱۰۴.
- ۶- تاجگردان، ت.، ش.، ایوبی، ش.، جویباری، ۱۳۸۷. برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت)، مجله پژوهشی و سازندگی منابع طبیعی، شماره ۷۹.
- ۷- بهرامی، م.، ع.، رحیمی، ۱۳۸۷. برآورد حجم رسوب ناشی از فرسایش در حوضه آبریز رودخانه کرد شیخ به روش‌های تجربی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، فصل‌نامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۲، ۸۲-۸۹.
- ۸- محسنی، ب.، ج.، قدوسی، ح.، احمدی، ر.، طهماسبی، ۱۳۹۰. ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM،

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب

- MPSIAC، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، ۱۰۷-۱۲۷.
- ۹- رفاهی، ح.ق.، ۱۳۸۵. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۷۱ ص.
- ۱۰- صادقی، ح.، ۱۳۷۲. مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در حوضه اوزون دره، مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاستها و روش‌های بهره برداری از اراضی، تهران، ص ۷۴-۱۳۰.
- ۱۱- ملکی، م.، ۱۳۸۶. مدل‌سازی کمی فرسایش آبی با استفاده از روش کیفی ژئومرفولوژی در حوضه آبخیز سد لیتان، رساله دکتری رشته علوم مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۱۲- قدوسی، ج.، ۱۳۸۶. مدل‌های فرسایش و رسوب، جزوه درسی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.
- ۱۳- ملکی، م.، ۱۳۸۲. بررسی فرسایش آبی و مقایسه ۲ روش ژئومرفولوژی و EPM در حوضه آبخیز طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.
- ۱۴- گشاسی، ش.، ۱۳۸۵. ارزیابی دقت روش‌های ژئومرفولوژی، FAO، هیدروفیزیکی در برآورد شدت فرسایش و رسوب خاک حوضه آبخیز طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- 15- Lu, H., J., Geollant, L., Prosser, & G., Moran, 2001. Prediction of sheet and rill erosion over the Australian continent: Incorporating monthly soil loss distribution, National Land & Water Resource. Technical Report No.31, Australia.
- 16- Ownegh, M., 2003. Land Use planning and integrated management of natural hazard in Golestan in: seminar on flood hazard prevention and mitigation, 15-16 january, Gorgan, Abstract, P₂.
- 17- Pimental, D., C., Harvary, P., Resosudarmo, K., Sinclair, D., kurz, M., MCN air, S., crist, L., Shipritz, L., Fitton, R., saffouri, & R., Blair, 1995. Environmental end economic costs if soil erosion and conservation benefit, Science, 267: 1117-1123.
- 18- Rompaey, A., & G., Govers, 2002. Data quality and model complexity for regional scale soil erosion prediction, Geo, Inform. Sci. 16(7): 663-680.
- 19- Shersta, M.K., 2001. Soil erosion modeling using remote sensing and GIS, Case study of Jhikhu Khola watershed, Nepal.
- 20- Thommas, M.B., Voinoch, G.V., 1955. Landslid in Ohio. The division of geological survey geofacts series, 4PP.
- 21- Devent, J., & J., Poesen., 2005. Peredictig Soil erosion and sediment yield at the basin scale, Scale issues and and semi-quantitation Model, Earth Science, 20:1-31pp.
- 22- Safamanesh, R.A., W.N., Sulaiman, & M.F., Ramli, 2006. Erosion risk assessment using an empirical model of pacific south west inter Agency committee method for zarge watershed, Journal of Spatial Hydrology, Vol 6, No 2.
- 23- Johnson, C.W., & K.A., Gebhardt, 1982. Predicting Sediment yield from sagebrush



rangelands, In proceeding of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands, Tucson, Arizona, USDASEA-ARM western series, No. 26: 145-156.

24- Logan, T.J., D.R., Urban, J.R., Adams, & S.M., Yaksinch, 1982. Erosion control potential With conservation Tillage in the lack Erie Basin: Estimates Using the Universal Soil Loss Equation and the Land Resource information System (LRIS) Reprinted with permission of Journal of soil and water conservation, 37: 50-55.

25- Alborz Integrated Land and Water Management Project (AILWMP), 2008. Vol: 1, Main Report, financed by The World Bank.