

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

مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود، استان مازندران

خه بات خسروی<sup>1</sup>، عطا صفری<sup>2</sup>، محمود حبیب نژاد روشن<sup>3</sup>، نظام الدین محمودی<sup>4</sup>

## چکیده

در این تحقیق که در حوضه آبخیز بابلرود انجام پذیرفت، 7 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 43 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 7/932 درصد (76659/896 تن در سال) و ضریب همبستگی 0/86 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

1. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، 09187732723 [khabat.khosravi@gmail.com](mailto:khabat.khosravi@gmail.com).
2. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، 09389104137 [Attasafari@yahoo.com](mailto:Attasafari@yahoo.com).
3. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، 09111522102 [roshanabah@yahoo.com](mailto:roshanabah@yahoo.com).
4. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، 09357783848 [nezam.mahmoudi@gmail.com](mailto: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 K<sup>1</sup>, Safari A<sup>2</sup>, Habibnezhad Roshan M<sup>3</sup>, Mahmoudi N<sup>4</sup>**

## **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](mailto:khabat.khosravi@gmail.com) 09187732723
  2. M. Sc. Watershed Management, Natural Resources faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran. [Attasafari@yahoo.com](mailto:Attasafari@yahoo.com) 09389104137
  3. M. Sc. Watershed Management, Natural Resources faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran. [Attasafari@yahoo.com](mailto:Attasafari@yahoo.com) 09389104137
  4. M.Sc. Watershed Management, Natural Resources faculty, Sari University of Agriculture Science and Natural Resources, I.R.Iran: [Nezam.mahmoudi@gmail.com](mailto:Nezam.mahmoudi@gmail.com) 09357783848

## 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، 1386). 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، 1368). 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، 1374). 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 فرآیندها 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، 1380).

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 (1385)، مقدار فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ

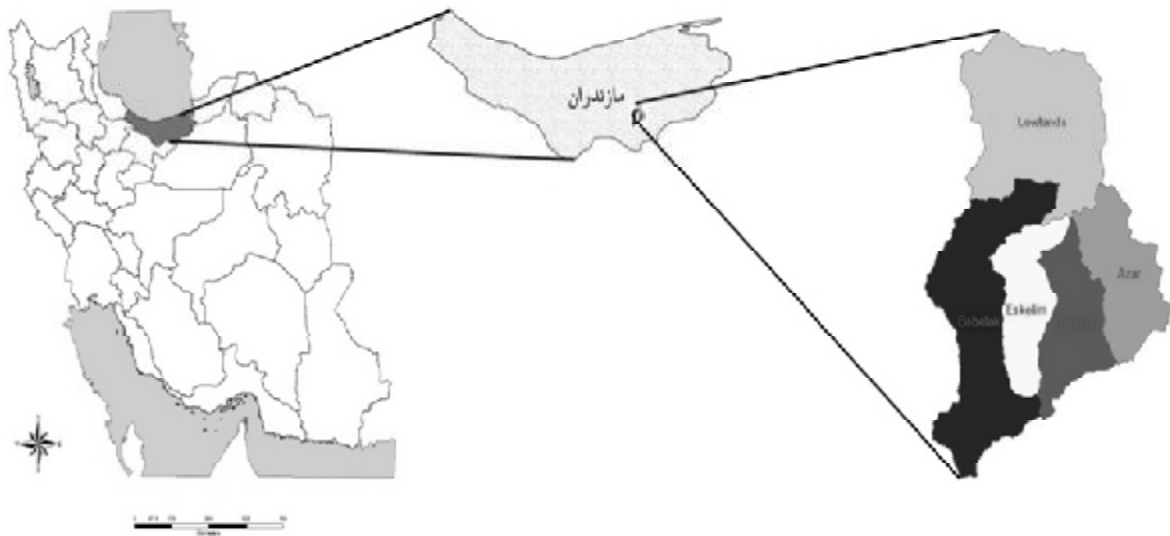
کنشت را با مدل‌های MPSIAC و EPM به کمک GIS برآورد کردند و نتیجه گرفتند که مدل MPSIAC نتایج بهتری را نسبت به مدل EPM برای حوضه مورد نظر ارائه داده است. (Safamanesh et al., 2006)، روش‌های تجربی را برای ارزیابی خطر فرسایش در حوضه زرگه استفاده کردند که در روش MPSIAC مقدار  $r^2=61$  به دست آمد و بر اساس 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 (1387)، 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 در سال برآورد کردند که بخش اعظم حوضه در کلاس فرسایشی متوسط قرار می‌گیرد. بهرامی و رحیمی (1387)، حجم رسوب ناشی از فرسایش را در حوضه آبخیز رودخانه کردشیر به روش‌های تجربی پتانسیل فرسایش، MPSIAC و فورنیه برآورد کردند که برای این روش‌ها به ترتیب مقدار فرسایش 244/94، 533/67 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 (9 عامل) به عنوان مدلی مناسب معرفی کردند. محسنی و همکاران (1390)، ارزیابی دقت و کارایی 4 مدل EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی را برای برآورد فرسایش و رسوب انجام دادند که مدل ژئومورفولوژی را با اختلاف نسبی 3/36 درصد (711/25 تن در سال) به عنوان مناسب‌ترین مدل ارائه دادند. در تحقیق حاضر، کارایی 7 مدل تجربی MPSIAC، EPM، فورنیه، داگلاس، کرک بای، ژئومورفولوژی 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  $52^{\circ} 38'$  تا  $52^{\circ} 55'$  طول شرقی و  $36^{\circ} 2'$  تا  $36^{\circ} 22'$  عرض شمالی قرار گرفته است. این حوضه دارای 5 زیرحوضه اصلی به نام‌های بابلک، اسکلیم، کارسنگ، آذررود و اراضی پست می‌باشد. حداقل ارتفاع حوضه 55 متر و حداکثر آن 3317 متر است. متوسط بارندگی سالانه 821/8 میلیمتر است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح ایران و استان

### داده‌های مورد استفاده

(1) عکس‌های هوایی با مقیاس 1:55000 و تصاویر ماهواره‌ای لندست  $ETM^+$  سال 2002 جهت تهیه نقشه رخساره ژئومورفولوژی، وضعیت فعلی فرسایش و کاربری اراضی. (2) نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس 1:50000 جهت تهیه نقشه‌های موضوعی. (3) نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس 1:100000 جهت تعیین وضعیت سازند منطقه. (4) داده‌های دبی، رسوب، بارش و دما به منظور بررسی هیدرولوژی آب‌های سطحی و رسوبدهی و وضعیت اقلیمی حوضه آبخیز مورد مطالعه. (5) 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 7 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:

### 1- مدل MPSIAC<sup>1</sup>

مدل PSIAC توسط Johnson & Gebhardt (1982) مورد تجدید نظر قرار گرفت و به مدل MPSIAC تبدیل گردید. این مدل 9 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 1 میزان تولید رسوب سالانه (Q<sub>s</sub>) مدل MPSIAC بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع بدست می‌آید (رفاهی، 1385).

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

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، 1386). سپس با استفاده از رابطه 2 میزان نسبت تحویل رسوب (SDR) تعیین شده که با داشتن میزان SDR و رسوب برآوردی، فرسایش ویژه محاسبه می‌شود (رفاهی، 1385).

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

A: مساحت زیرحوضه بر حسب مایل مربع.

### 2- مدل EPM<sup>2</sup>

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<sub>a</sub>)، 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 3 استفاده شده است.

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

1. Modified PSIAC  
2. Erosion Potential Method

Z: فاکتور شدت فرسایش حوضه، Y: ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، Xa: ضریب استفاده از زمین،  $\psi$ : ضریب فرسایش اولیه حوضه، I: متوسط شیب حوضه.

### 3- 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، 1385).

روش اول فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوضه آبخیز به صورت رابطه 4 است:

$$(4) \log Qs = 2.65 \log \frac{P^2 W}{Pa} + 0.46 \log(\tan S) - 1.56$$

روش دوم فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوضه به صورت رابطه 5 است:

$$(5) \log Qs = 2.65 \log \frac{P^2 W}{Pa} + 0.46 \log \frac{H^2}{S} - 1.56$$

Qs: رسوب ویژه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، Pw: میانگین بارندگی پر باران‌ترین ماه هر سال در دوره آماری مورد نظر بر حسب میلیمتر، Pa: میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر در دوره آماری مورد نظر، H: ارتفاع متوسط حوضه بر حسب متر، S: در رابطه 4 شیب متوسط حوضه بر حسب درجه و در رابطه 5 سطح حوضه بر حسب کیلومتر مربع.

### 4- 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 6 می‌باشد.

$$(6) + 5.60 Rbn + 2.967 \log Dn \frac{Q^2}{P} \text{Log } e = -8.41 + 2.704 \log$$

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 سالیانه بر حسب میلیمتر.

همچنین با استفاده از رابطه 7 که توسط داگلاس ارائه گردیده است، مقدار رسوب سالانه برآورد گردید:

$$(7) \text{Log } ss = 8.73 + 3.81 \text{Log } Q_{WA} - 1.54 \frac{R}{L} + 4.82 \text{Log } DD$$

ss: مقدار رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، Q<sub>WA</sub>: 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.

## 5- روش کرک‌بای

این روش ساده و تجربی از پارامترهای رواناب سالیانه ( $Q_w$ ) بر حسب میلیمتر و زاویه شیب ( $\theta$ ) به صورت رابطه 8 استفاده کرده است (صادقی، 1372).

$$(8) \quad Q_s = 0.17 (Q_w)^2$$

$Q_s$ : مقدار رسوب بر حسب کیلوگرم در هکتار.

## 6- 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<sup>1</sup> ( $CSY$ ) 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، 1385). بطور کلی برای محاسبه میزان رسوبدهی در یک حوضه آبخیز بر حسب تن در سال با استفاده از این روش، از رابطه 9 استفاده می‌شود:

$$(9) \quad GSY = A^s \cdot R \cdot E \cdot V \cdot P$$

$GSY$ : 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 0/6 تا 1 متغیر است.

عامل توپوگرافی: این عامل با استفاده از رابطه 10 بدست می‌آید.

$$(10) \quad R = \frac{H}{L}$$

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

عامل قابلیت فرسایش: قابلیت فرسایش حوضه با استفاده از رابطه 11 تعیین می‌شود.

$$(11) \quad E = \frac{1}{A} \sum_{n=1}^n e_n a_n$$

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

واحد سنگ‌شناسی با فرسایش پذیری  $e$ .

عامل پوشش گیاهی: این پارامتر بر اساس رابطه 12 محاسبه می‌گردد.

$$(12) \quad V = \frac{A}{\sum v_n a_n}$$



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.

## 7- مدل ژئومورفولوژی

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 ژئومورفولوژی است (احمدی، 1386). 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، 1386). با توجه به نتایج حاصل از بررسی خصوصیات هر یک از عوامل تعیین کننده، شدت کیفی فرسایش در 5 کلاس شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مشخص شده و اقدام به تهیه نقشه کیفی شدت فرسایش می‌شود (احمدی، 1386 و قدوسی، 1386). 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 ژئومورفولوژی نشانگر برآورد دقیق‌تر مقادیر فرسایش و رسوب است و از این طریق نیز می‌توان به مقادیر کمی دست یافت (ملکی، 1382 و گشایشی، 1385).

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 9 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 1 تا 9 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 4 تا 13).

جدول 1- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل MPSIAC

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	1098/271	36893/429	0/14352	4/821	33/59	47/56	7652/65	آذر رود
کم	983/478	33555/566	0/14341	4/893	34/12	47/89	6857/87	کارسنگ
متوسط	1347/425	46607/271	0/21639	7/485	34/59	56/03	6226/76	اسکلیم
متوسط	4792/156	146426/765	0/32119	9/814	30/56	63/55	14920/19	بابلك
متوسط	3962/701	119816/448	0/24663	7/457	30/24	45/82	16067/65	اراضی پست
متوسط	2992/919	76659/896	0/29012	7/431	25/61	55/58	51725/12	کل حوضه

جدول 2- 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 <sup>2</sup> /y)	رسوب ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	Ru	H	T	Z	I	Y	Xa	ψ	واحد هیدرولوژیک
خیلی کم	21003/184	19048/799	274/4797	239/0438	0/871	870	1/180	1/172	0/380	0/840	0/25	0/2	آذر رود
کم	22498/605	24220/329	327/1115	339/0422	1/033	690	1/110	0/235	0/370	0/88	0/3	0/28	کارسنگ
کم	27127/525	26879/813	435/7135	414/3324	0/951	758/5	1/150	0/260	0/4	0/890	0/310	0/31	اسکلیم
کم	75190/792	85999/759	503/9597	553/3126	1/098	619/1	1/070	0/344	0/430	0/940	0/350	0/39	بابلك
کم	92852/502	79788/163	577/9082	369/4075	0/639	1068/7	1/270	0/234	0/210	0/850	0/340	0/35	اراضی پست
کم	47734/522	47187/373	424/0345	383/0277	0/876	821/8	1/160	0/257	0/340	0/880	0/320	0/33	کل حوضه

جدول 3- 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 <sup>2</sup> )	فرسایش ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	رسوب ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	tan <sub>s</sub> (%)	H (m)	P <sub>a</sub> (mm)	P <sub>w</sub> (mm)	واحد هیدرولوژیک
7/35×10 <sup>10</sup>	2/47×10 <sup>12</sup>	76/52	9/61×10 <sup>8</sup>	3/22×10 <sup>10</sup>	38	/54 1759	870	/69 1078	آذر رود
1/19×10 <sup>11</sup>	4/08×10 <sup>12</sup>	68/57	1/74×10 <sup>9</sup>	5/96×10 <sup>10</sup>	37	/21 1803	690	/69 1078	کارسنگ
8/8×10 <sup>10</sup>	3/04×10 <sup>12</sup>	62/26	1/41×10 <sup>9</sup>	4/89×10 <sup>10</sup>	40	/78 1872	758/5	/69 1078	اسکلیم
4/28×10 <sup>11</sup>	1/30×10 <sup>13</sup>	149/2	2/87×10 <sup>9</sup>	8/77×10 <sup>10</sup>	43	/56 1923	619/1	/69 1078	بابلك
3/33×10 <sup>10</sup>	9/72×10 <sup>11</sup>	160/67	2/07×10 <sup>8</sup>	6/05×10 <sup>9</sup>	21	274/86	/7 1068	/69 1078	اراضی پست
6/83×10 <sup>11</sup>	1/72×10 <sup>13</sup>	/25 517	1/32×10 <sup>9</sup>	3/34×10 <sup>10</sup>	34	/79 1526	821/8	/69 1078	کل حوضه

جدول 4- 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 <sup>2</sup> )	رسوب ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	فرسایش ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	A (km <sup>2</sup> )	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	1078/69	870	1759/54	76/52	235/12	6/99	76/52	17991/41	535/56
کارسنگ	1078/69	690	1803/21	68/57	467/57	13/70	68/57	32061/26	939/70
اسکلیم	1078/69	758/5	1872/78	62/26	393/91	11/39	62/26	24525/05	709/06
بابک	1078/69	619/1	1923/56	149/2	462/22	15/13	149/2	68962/73	2256/99
اراضی پست	1078/69	1068/7	274/86	160/67	17/46	0/59	160/67	2804/87	96/19
کل حوضه	1078/69	821/8	1526/79	517/25	99/41	3/93	517/25	51418/08	2032/19

جدول 5- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از روش اول داگلاس

واحد هیدرولوژیک	P (mm)	$P_w$ (mm)	Dn (km/km <sup>2</sup> )	$R_{bn}$	رسوب ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	فرسایش ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	A (km <sup>2</sup> )	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	870	1078/69	1/8635	1/9331	$46/85 \times 10^{10}$	$13/94 \times 10^9$	76/52	$61/23 \times 10^8$	2/2778
کارسنگ	690	1078/69	2/3007	2/4613	$14/87 \times 10^{14}$	$43/58 \times 10^{12}$	68/57	$21/68 \times 10^{12}$	2/0098
اسکلیم	758/5	1078/69	2/6854	1/4963	$71/85 \times 10^8$	$20/77 \times 10^7$	62/26	$11/54 \times 10^7$	1/800
بابک	619/1	1078/69	2/2004	2/1227	$22/19 \times 10^{12}$	$72/62 \times 10^{10}$	149/2	$14/87 \times 10^{10}$	4/883
اراضی پست	1068/7	1078/69	1/9379	1/7579	$31/55 \times 10^9$	$10/82 \times 10^8$	160/67	$19/63 \times 10^7$	5/5097
کل حوضه	821/8	1078/69	2/1395	2/1979	$25/02 \times 10^{12}$	$98/92 \times 10^{10}$	517/25	$48/38 \times 10^9$	20/4433

جدول 6- 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 <sup>2</sup> )	رسوب ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	فرسایش ویژه (ton/km <sup>2</sup> /y)	A (km <sup>2</sup> )	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	480/25	223/8602	15835/843	2/7795	8/2738	76/52	$3/63 \times 10^{-308}$	0
کارسنگ	327/25	323/9079	19550/442	0	0	68/57	0	0
اسکلیم	385/475	287/4408	22819/599	0	0	62/26	0	0
بابک	266/985	245/4405	18698/565	0	0	149/2	0	0
اراضی پست	374/760	86/7155	16468/274	2/0812	7/1369	160/67	$1/29 \times 10^{-97}$	4/4419
کل حوضه	439/28	125/7834	18180/643	4/204	1/6616	517/25	$8/13 \times 10^{-158}$	3/2123

جدول 7- نتایج برآورد میزان رسوب و فرسایش در حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل کرک‌بای

واحد هیدرولوژیک	$Q_w$ (mm)	j	رسوب ویژه (ton/ha)	فرسایش ویژه (ton/ha)	A (ha)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
آذر رود	480/25	0/38	1/566049	0/046618	7652/65	0/0002	0/000060
کارسنگ	327/25	0/37	0/706133	0/020697	6857/87	0/0001	0/000030
اسکلیم	385/475	0/4	1/067995	0/030877	6226/76	0/00017	0/000049
بابلك	266/985	0/43	0/555746	0/018188	14920/19	0/000037	0/000012
اراضی پست	374/760	0/21	0/508892	0/017451	16067/65	0/000031	0/000010
کل حوضه	439/28	0/34	1/160412	0/045863	51725/12	0/000022	0/000008

جدول 8- 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	25/872	0/04239	7/49	0/01025	870	73/23596	20/496	73/23596	2/18006
کارسنگ	23/829	0/06135	2/2	0/01121	690	24/86841	6/960	24/86841	0/72888
اسکلیم	22/164	0/05444	5/85	0/01065	758/5	57/04284	15/964	57/04284	1/64919
بابلك	42/690	0/04649	6/75	0/01355	619/1	112/36888	31/447	112/36888	3/67757
اراضی پست	45/129	0/01642	7/48	0/01516	1068/7	89/80985	25/134	89/80985	3/07976
کل حوضه	-	-	-	-	-	357/32593	100	357/32593	14/12261

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 9) 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 12 نشان داده شده است.

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	رولاب	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	۲۳۳۱۷۵	۶۳	۶۳۳۵	-۱۳۶۹	۲۱۳۳۷	۱۲/۱۹	۳/۸۸	۳/۱۱	۱۰/۱۹	۱۲/۰۴	۹/۰۲۲	۲۱۲۶۸۹	۲۱۰۳۷۱۰۴۹	۵۲۹۱۰۶۸	متوسط
۲	۲۵۱۱۶۴	۶۵	۷۳۳۵	-۱۳۶۹	۲۱۳۳۷	۱۲/۱۹	۳/۸۸	۳/۴	۱۱/۳	۱۵/۷۱	۹/۸۱۲	۲۴۴۴۲۳۸	۲۴۴۴۲۳۱۲	۶۲۶۳۵۷	متوسط
۳	۷۸۶۴۸	۶۱	۶۱۳۵	-۱۳۶۹	۵۰۲۵	۱۱/۲	۲/۱۸	۴/۶	۹/۲۵	۵/۶۹	۴/۷۷۴	۱۱۰۲۹۰	۳۷۵۴۶۵۶	۸۰۸۳۲	کم
۴	۲۱۵۹۷۱	۵۹	۶۱۰۱	-۱۳۶۹	۵۰۲۵	۱۲/۱۹	۲/۱۶	۲/۱۸	۹/۲۵	۷/۳۶	۵/۱۱۵	۱۱۲۷۲۵	۱۱۰۴۹۱۷	۲۷۴۱۸۱۸	متوسط
۵	۲۱۵۹۷۱	۶۲	۷۱۰۷	-۱۳۶۹	۵۰۲۵	۵/۹۳	۲/۱۲	۳/۴	۱۱/۲	۷/۶۵	۳/۷۲۱	۱۱۱۲۳۲	۷۸۷۵۱۹۵	۱۸۸۱۸۶۲	کم
۶	۸۹۷۲۵	۶۴	۵۵۰۱	-۱۳۶۹	۵/۱۶۸	۹/۳۲	۲/۱۸	۳	۲/۱۸	۸/۹۵	۴/۹۸۶	۱۱۰۹۵۰	۴۴۷۳۸۹	۹۸۲۵۱	کم
۷	۱۵۶۴۳۵	۶۵	۷۵۰۲	-۱۳۶۹	۲/۴۴۱	۱۱/۵۳	۲/۳۸	۳/۲	۱۲/۳۷	۹/۱۷۵	۷/۳۴۴	۱۲۴۱۹۷	۱۱۹۸۵۱۸۶۲	۲۷۸۵۲۵۶	متوسط
۸	۲۳۳۱۵۶	۵۸	۵۱۶۸	-۱۳۶۹	۵/۶۵۱	۱۰/۷۰۵	۱/۰۴	۱/۰۴	۷/۵	۹/۰۳	۵/۱۱	۱۰۹۵۱۸	۱۶۱۶۳۴۸	۳۰۷۰۲	کم
۹	۱۱۰۶۸	۶	۵۱۶۸	-۱۳۶۹	۵/۶۵۱	۱۰/۸۷	۱	۱	۷/۹۵	۹/۰۳	۵/۹۷۶	۱۰۹۷۵۳	۶۶۱۱۲۲۴	۱۰۷۹۴	متوسط
۱۰	۵۶۴۱۱۴	۵۹	۶۱۲۵	-۱۳۶۹	۵/۲۸۲	۱۰۰۳۷۵	۱/۳	۴	۸/۲۵	۹/۰۳	۵/۰۲۴	۱۰۰۲۳۱	۲۸۳۴۱۲۳۹	۵۸۲۷۹	کم
۱۱	۷۹۲۱۰۸	۶۱	۶۱۵۰۶	-۱۳۶۹	۵/۶۵۱	۱۰۰۶۰۶	۱/۱	۳/۶۶	۸/۱	۹/۰۳	۵/۲۳۱	۱۱۱۲۶۵	۴۱۳۵۴۴۹	۸۹۲۲۹	متوسط
۱۲	۱۰۷۶۶۶	۶	۷۱۶۸	-۱۳۶۹	۱۰۰۵۷۳	۵/۶۵۱	۱/۱۶	۱/۱۶	۸/۲۵	۹/۸۶۵	۶/۸۸۵	۱۱۵۵۱۷	۷۴۱۲۱۸۰۴	۱۶۷۱۰۶۶	متوسط
۱۳	۱۷۶۷۲۹	۶۴	۷۱۵۵	-۱۳۶۹	۵/۵۲۶	۶/۵۹	۴/۱۴	۶	۸/۱۲۵	۷/۳۶	۵/۵۷۳	۱۱۳۴۷۵	۹۸۴۹۱۰۷	۲۳۸۱۱۴۶	متوسط
۱۴	۱۶۴۶۱۰۹	۶۲	۶۱۶۸	-۱۳۶۹	۵/۱۶۸	۱۱۰۳۵	۲/۲۲	۳/۸	۷/۷۷۵	۱۰/۷	۶/۰۸۹	۱۱۴۵۷۵	۱۰۰۲۳۱۰۴۲	۲۳۹۹۲۰	متوسط
۱۵	۵۵۷۲۱۸۲	۶۵	۶۱۳۵	-۱۳۶۹	۲/۲۳۷	۱۱/۹۹۲	۲/۶	۲/۶	۱۰/۶۵	۱۲/۳۷	۸/۲۵۷	۱۲۳۷	۳۷۱۲۹۳۳۹	۱۳۴۱۱۲۵۷	متوسط
۱۶	۳۰۶۷۱۸	۶۸	۷۱۶۸	-۱۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۶	۴/۶	۴/۲	۹/۲۵	۹/۰۳	۶/۰۲۳	۱۱۵۷۲۸	۱۸۲۷۳۶۲۵	۴۸۳۰۲۹	متوسط
۱۷	۳۶۱۵۳	۶۳	۷۱۸۱۸	-۱۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۵۳۴	۴/۸	۴/۶	۹/۲۵	۷/۳۶	۵/۰۲۳	۱۱۳۴۱۴	۱۸۱۱۹۳۸۲	۴۸۹۹۹۸	کم
۱۸	۵۳۹۳۱	۶۹	۷۱۰۲	-۱۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۷۶۵	۵	۵	۹/۱۵	۷/۳۶	۵/۳۵۶	۱۱۵۱۷۲	۳۸۸۸۵۴۴۴	۸۱۸۳۳۸	متوسط
۱۹	۱۸۱۲۶۸	۶۶	۷۱۳۵	-۱۳۶۹	۵/۵۲۶	۵/۶۹۹	۲/۷	۳/۴	۸/۶۷۵	۷/۳۶	۵/۰۷۲	۱۱۲۳۰۸	۹۱۹۳۱۹۱۳	۲۳۳۱۰۵	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 0/1 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 13 تعیین گردید:

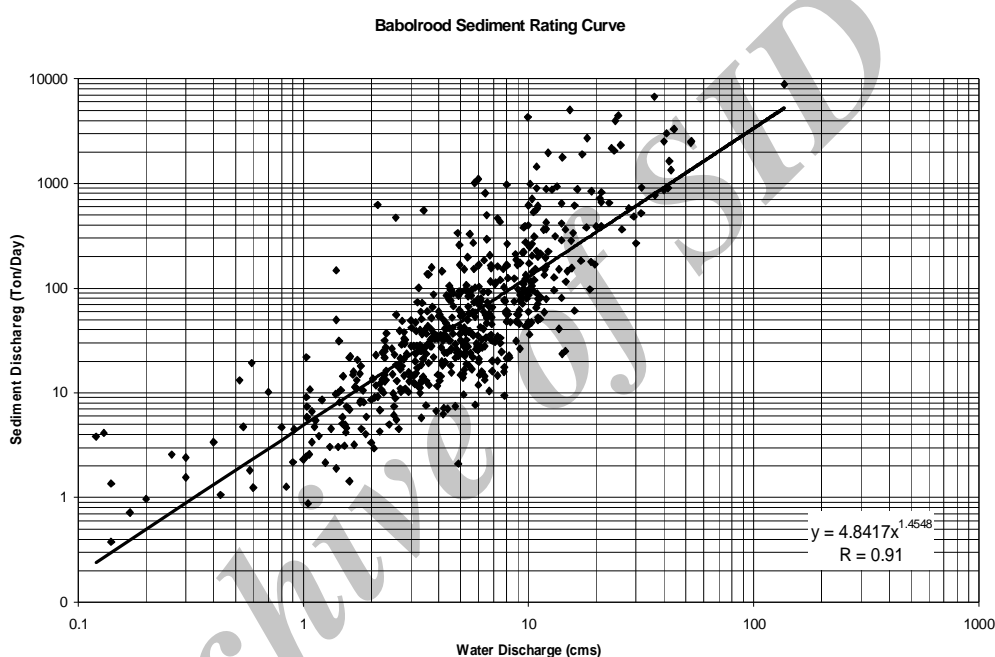
$$(13) Q_s = C_m Q_w 0.0864$$

$Q_s$ : 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.

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 2 آمده است، همچنین مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده در هر زیر حوضه در جدول 10 و مقایسه نتایج مدل‌های مورد استفاده با داده‌های مشاهده‌ای در جدول 11 نشان داده شده است (AILWMP, 2008). در شکل 3 نمودار مقدار رسوب برآورد شده بوسیله هر مدل با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه نشان داده شده است.

شکل 2- منحنی سنجه رسوب حوضه آبخیز بابلرود، (AILWMP, 2008)

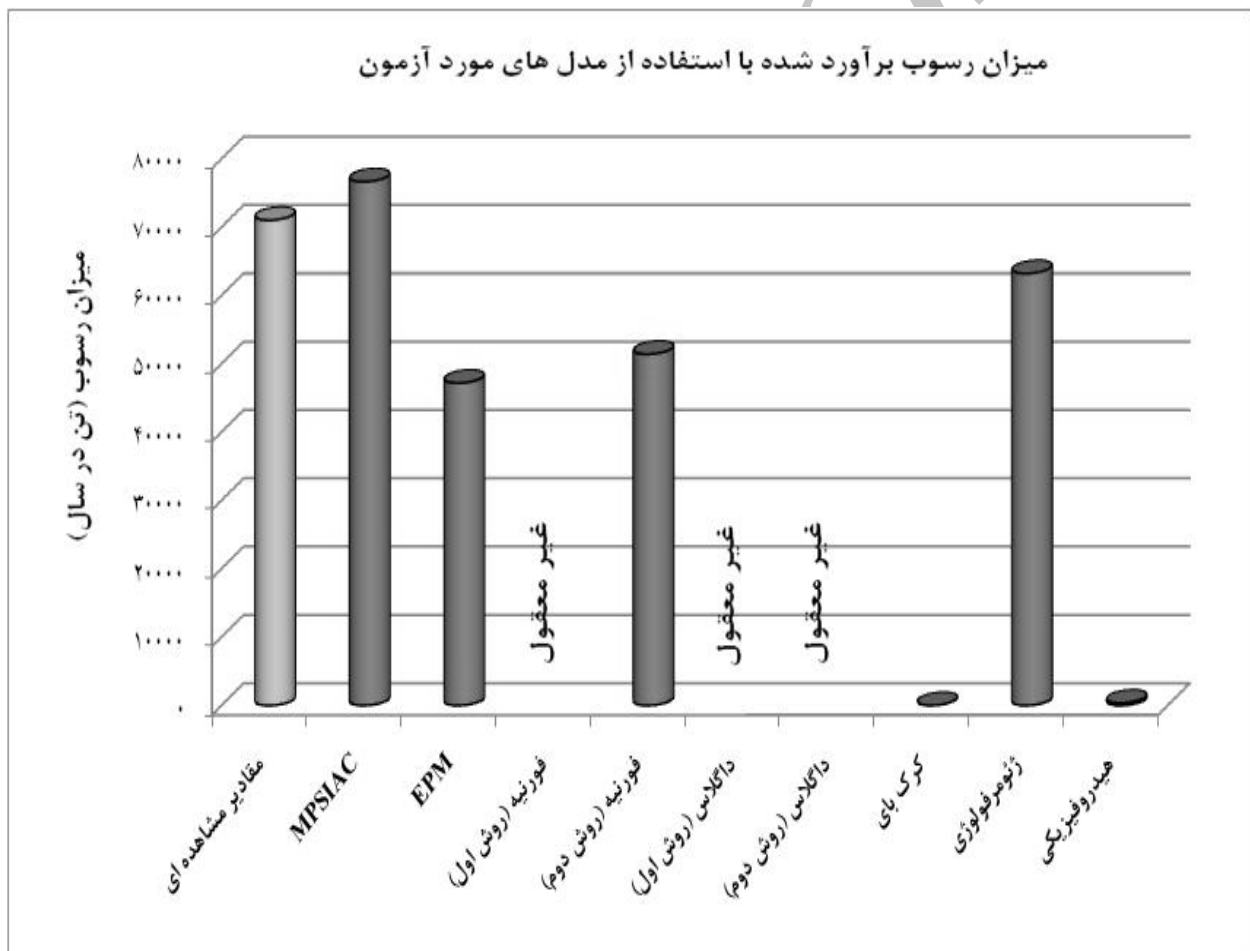


جدول 10- مقادیر رسوب کل و فرسایش کل اندازه‌گیری شده در ایستگاه قران تالار حوضه آبخیز بابلرود

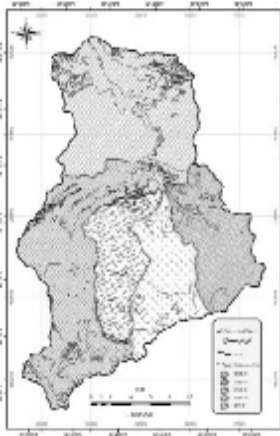
منحنی سنجه رسوب		مساحت (کیلومتر مربع)	واحد هیدرولوژیک
فرسایش کل (تن در سال)	رسوب کل (تن در سال)		
142277/83	48175/27	76/52	آذر رود
126876/66	43188/82	68/57	کارسنگ
112825/34	39218/09	62/26	اسکلیم
289123/78	93965/23	149/2	بابلک
381930/91	130582/18	160/67	اراضی پست
210606/904	71025/918	517/25	کل حوضه

جدول 11- 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			
48175/27	22248/043	73/236	0/0002	$3/63 \times 10^{-308}$	$61/23 \times 10^8$	17991/41	$2/47 \times 10^{12}$	19048/799	36893/429	آذر رود
43188/82	41120/778	24/868	0/0001	0	$21/68 \times 10^{12}$	32061/26	$4/08 \times 10^{12}$	24220/329	33555/566	کارسنگ
39218/09	44282/652	57/043	0/00017	0	$11/54 \times 10^7$	24525/05	$3/04 \times 10^{12}$	26879/813	46607/271	اسکلیم
93965/23	119745/335	112/369	$0/000037$ 0	0	$14/87 \times 10^{10}$	68962/73	$1/30 \times 10^{13}$	85999/759	146426/765	بابک
130582/18	88737/019	89/809	$0/000031$ 0	$1/29 \times 10^{-97}$	$19/63 \times 10^7$	2804/87	$9/72 \times 10^{11}$	79788/163	119816/448	اراضی پست
71025/918	63226/765	357/326	$0/000022$ 0	$8/13 \times 10^{-158}$	$48/38 \times 10^9$	51418/08	$1/72 \times 10^{13}$	47187/373	76659/896	کل حوضه



شکل 3- نمودار مقادیر رسوب برآورد شده و مقایسه با مقدار مشاهده‌ای



شکل 7- نقشه فورنیه (روش دوم)



شکل 6- نقشه فورنیه (روش اول)



شکل 5- نقشه EPM



شکل 4- نقشه MPSIAC



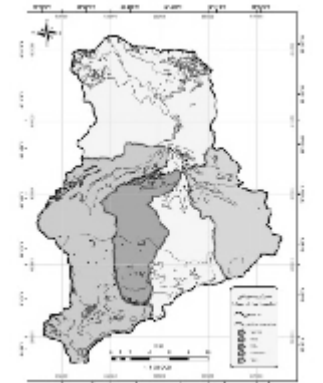
شکل 11- نقشه هیدروفیزیکی



شکل 10- نقشه کرکربای



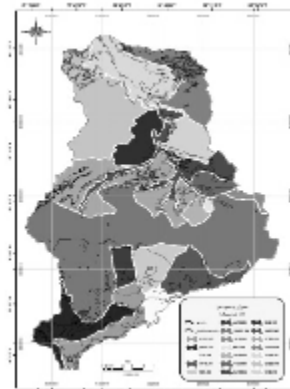
شکل 9- نقشه داگلاس (روش دوم)



شکل 8- نقشه داگلاس (روش اول)



شکل 13- نقشه مقادیر مشاهده‌ای



شکل 12- نقشه ژئومرفولوژی



جدول 12- 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	ژئومرفولوژی	هیدروفیزیکی	کرک‌بای	داگلاس		فورنیه		EPM	MPSIAC	واحد هیدرولوژیک	
				روش دوم	روش اول	روش دوم	روش اول			رسوبدهی (ton/y)	اختلاف مطلق
48175/27	22248/043	73/236	0/0002	<sup>-308</sup> 3/63×10	61/23×10 <sup>8</sup>	17991/41	2/47×10 <sup>12</sup>	19048/799	36893/429	رسوبدهی (ton/y)	آذر رود
-	25927/227	48175/034	48175/269	48175/27	61/23×10 <sup>8</sup>	30183/856	2/47×10 <sup>12</sup>	29126/471	11281/841	اختلاف مطلق	
-	53/819	99/85	99/99	100	12/71×10 <sup>6</sup>	62/65	5/12×10 <sup>9</sup>	60/46	23/418	اختلاف نسبی	
43188/82	41120/778	24/868	0/0001	0	21/68×10 <sup>12</sup>	32061/26	4/08×10 <sup>12</sup>	24220/329	33555/566	رسوبدهی (ton/y)	کارسنگ
-	2068/042	43163/952	43188/82	43188/82	21/68×10 <sup>12</sup>	11127/556	4/08×10 <sup>12</sup>	18968/491	9633/254	اختلاف مطلق	
-	4/788	99/94	99/99	100	5/02×10 <sup>10</sup>	25/77	9/46×10 <sup>9</sup>	43/92	22/305	اختلاف نسبی	
39218/09	44282/652	57/043	0/00017	0	11/54×10 <sup>7</sup>	24525/05	3/04×10 <sup>12</sup>	26879/813	46607/271	رسوبدهی (ton/y)	اسکلیم
-	5064/562	39161/047	39218/09	39218/09	11/54×10 <sup>7</sup>	14693/036	3/04×10 <sup>12</sup>	12338/277	7389/181	اختلاف مطلق	
-	12/914	99/85	99/99	100	29/41×10 <sup>4</sup>	37/47	7/76×10 <sup>9</sup>	31/46	18/841	اختلاف نسبی	
93965/23	119745/335	112/369	0/000037	0	14/87×10 <sup>10</sup>	68962/73	1/30×10 <sup>13</sup>	85999/759	146426/765	رسوبدهی (ton/y)	بابلک
-	25780/105	93852/861	93965/23	93965/23	14/87×10 <sup>10</sup>	250025/49	1/30×10 <sup>13</sup>	7965/471	52461/535	اختلاف مطلق	
-	27/436	99/88	100	100	15/82×10 <sup>7</sup>	26/61	1/39×10 <sup>10</sup>	8/48	55/831	اختلاف نسبی	
130582/18	88737/019	89/809	0/000031	1/29×10 <sup>-97</sup>	19/63×10 <sup>7</sup>	2804/87	9/72×10 <sup>11</sup>	79788/163	119816/448	رسوبدهی (ton/y)	اراضی پست
-	41845/16	130492/37	130582/18	130582/18	19/63×10 <sup>7</sup>	127777/31	9/72×10 <sup>11</sup>	50794/017	10765/732	اختلاف مطلق	
-	32/045	99/93	100	100	15/02×10 <sup>4</sup>	97/85	7/44×10 <sup>8</sup>	38/89	8/244	اختلاف نسبی	
71025/918	63226/765	357/326	0/000022	<sup>-158</sup> 8/13×10	48/38×10 <sup>9</sup>	51418/08	1/72×10 <sup>13</sup>	47187/373	76659/896	رسوبدهی (ton/y)	کل حوضه
-	7799/153	70668/592	71025/918	71025/918	48/38×10 <sup>9</sup>	19607/842	1/72×10 <sup>13</sup>	23838/545	5633/978	اختلاف مطلق	
-	10/981	99/49	100	100	68/12×10 <sup>6</sup>	27/61	2/43×10 <sup>10</sup>	33/56	7/932	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 (1385) و بهرامی و رحیمی (1387) 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 27/61 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

- 1- احمدی، ح.، 1386. ژئومرفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، 688 ص.
- 2- علیزاده، ا.، 1368. فرسایش و حفاظت خاک، انتشارات آستان قدس رضوی، 870 ص.
- 3- عرب‌خدری، م.، ابو.، زرگر، 1374. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیون، پژوهش و سازندگی، 22-29.
- 4- جهان‌سیر، ر.، 1380. 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.
- 5- راستگو، س.، ب.، قهرمان، س.ح.، ثنایی نژاد، ک.، داوری، س.ر.، خدائشناس، 1385. 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 10، 91-104.
- 6- تاجگردان، ت.، ش.، ایوبی، ش.، جویباری، 1387. 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 79.
- 7- بهرامی، م.، ع.، رحیمی، 1387. 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 2، 82-89.

- 8- محسنی، ب.، ج.، قدوسی، ح.، احمدی، ر.، طهماسبی، 1390. ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب، جغرافیا و توسعه، شماره 22، 107-127.
- 9- رفاهی، ح.ق.، 1385. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، 671 ص.
- 10- صادقی، ح.، 1372. 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 74-130.
- 11- ملکی، م.، 1386. 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.
- 12- قدوسی، ج.، 1386. مدل‌های فرسایش و رسوب، جزوه درسی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.
- 13- ملکی، م.، 1382. بررسی فرسایش آبی و مقایسه 2 روش ژئومرفولوژی و EPM در حوضه آبخیز طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.
- 14- گشاسی، ش.، 1385. 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., Voinvoch, 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.

Archive of SID