

## بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و پهنه بندی فرسایش حوضه آبخیز وربند (لارستان)

### مرضیه موغلی\*

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

### مجتبی خلیلی‌زاده

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

### یوسف آبی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد مهر

### چکیده

ویژگی‌ها ژئومورفولوژی دارای نقش اساسی در تغییر عکس العمل‌های یک حوضه آبخیز می‌باشند. همچنین می‌توانند باعث آثار مهمی بر پتانسیل فرسایش و رسوب‌زایی آبخیزها شوند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-LISS سال ۲۰۰۸ (۱۳۸۷) نقشه‌های ژئومورفولوژی و کاربری اراضی حوضه، در محیط GIS و با تلفیق نقشه موجود کاربری اراضی و همچنین بازدید میدانی به صورت مشاهده میدانی تهیه شده و همچنین رخساره‌های ژئومورفولوژیک مورد بررسی قرار گرفت. سپس با بکارگیری مدل‌های EPM و MPSIAC مقادیر فرسایش و تولید رسوب برآورد شد. با مقایسه آماری دو مدل مشخص شد که دقت و کارایی مدل MPSIAC نسبت به مدل EPM در سطح اعتماد ۹۵ درصد بیشتر بوده و با میزان رسوب مشاهداتی تطابق بیشتری دارد. بنابراین جهت ترسیم نقشه پهنه بندی فرسایش در محیط GIS و برآورد میزان رسوب در واحدهای کاری از مدل MPSIAC استفاده شد. نتایج نشان داد که عمده سازن‌های موجود در منطقه شامل رسوب‌های ابرفتی کواترنری، آسماری، میشان و گچساران بوده و همین عامل نشان دهنده وجود رخساره‌های ژئومورفولوژیک متنوع مانند مخروط افکنه‌های متعدد، دشت‌های ابرفتی و فرسایش‌های آبراهه ای و شیبی در بیشتر سطح حوضه می‌باشد. مجموعه همین عوامل و همچنین دخالت‌های انسانی به شکل‌های مختلف سبب شده که حوضه آبخیز وربند از پتانسیل تولید رسوب بالایی نیز برخوردار باشد. نتایج برآورد پتانسیل رسوب با بکارگیری مدل MPSIAC نشان داد که کل رسوب تولیدی در این حوضه ۵۹۳۹۲۴/۶۶ تن در سال، که ۱ درصد از واحدهای کاری حوضه در کلاس IV (شدت رسوبدهی کم)، ۷۰ درصد در کلاس III (شدت رسوبدهی متوسط) و ۲۹ درصد در کلاس II (شدت رسوبدهی زیاد) قرار دارند. در نهایت این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان تولید رسوب مربوط به واحد N با مقدار رسوب ۱۵۸۸۸۸/۶ و کمترین مقدار آن مربوط به واحد C با مقدار رسوب ۴۲۹۷/۳ تن در سال می‌باشد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، RS و GIS، مدل‌های EPM و MPSIAC، حوضه آبخیز وربند.

### مقدمه

ویژگی‌ها ژئومورفولوژی دارای نقش اساسی در تغییر عکس العمل‌های یک حوضه آبخیز بوده و می‌توانند باعث آثار مهمی بر پتانسیل فرسایش و رسوب‌زایی آبخیزها شوند. به طور کلی عوامل ژئومورفولوژی، پستی و بلندی، خاک و پوشش

گیاهی در هر آبخیزی بر رفتار هیدرولوژیک، مقدار و شدت فرسایش توسط آب و توان بالقوه تولید رسوب در آن تاثیرگذار می‌باشد. در این میان تاثیر رخساره‌های ژئومورفولوژی در تغییر میزان فرسایش خاک ظاهر می‌شود که اثرات آن در میزان تولید رسوب و کیفیت رواناب‌های سطحی نمود پیدا می‌کند (Sikka و همکاران، ۲۰۰۳).

فرسایش خاک از مشکل‌های اساسی در حفظ منابع طبیعی به شمار می‌رود. این حالت به تخریب تدریجی سنگ‌ها، انتقال و ته نشینی آنها به شکل مواد ریز دانه در قسمت‌های پائین دست حوضه‌های آبخیز گفته می‌شود. به طور مسلم ادامه این فرآیند موجب از بین رفتن و شسته شدن خاک‌های حاصل خیز زراعی شده که برای تولید دوباره آنها باید زمان بسیار زیادی به انتظار نشست. امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح زمین می‌توان یافت که در معرض تخریب و فرسایش قرار نگرفته باشد. در کل فرسایش خاک امری است اجتناب ناپذیر ولی فعالیت‌های انسان می‌تواند آن را کاهش داده یا تشدید نماید (رفاهی، ۱۳۷۸).

ارزش جهانی فرسایش خاک و هدر رفت آب بسیار است که این مقدار مجموعاً در حدود ۴۰۰ میلیارد دلار در هر سال است و در ایالات متحده حدود ۴۴ میلیارد دلار در هر سال می‌باشد. این مبالغ شامل هدر رفت آب، مواد آلی و بیوتای خاک، آثار آنها در سلامت و بهداشت عمومی، کاهش تولید مواد غذایی، تخریب اکوسیستم‌های خشکی و آبی و ضرر به مالکیت خصوصی و عمومی می‌باشد (Bayramin و همکاران، ۲۰۰۳).

دخالتهای انسان در اکوسیستم‌ها از طریق تخریب پوشش گیاهی در پهنه آبخیزها با استفاده غیر اصولی از اراضی، توسعه سطوح غیر قابل نفوذ و امثال آن احتمال سیل‌خیزی را در نقاط مختلف آنها افزایش داده و در نتیجه احتمال وقوع جریان‌های سیلابی افزایش می‌یابد. این در حالی است که با جریان سیلاب‌ها مقادیر زیادی خاک حاصل خیز نیز فرسایش یافته و موجب هدر رفت خاک به صورت رسوب معلق می‌شود (رضوانی، ۱۳۷۷).

ایران کشوری است که با قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان و داشتن شرایط اقلیمی خاص، فرسایش خاک در آن از مشکل‌های اساسی حوضه‌های آبخیز بوده و سالانه حجم عظیمی از خاک‌های حاصل خیز توسط عمل فرسایش جریان‌های سطحی وارد رودخانه‌ها شده و از دسترس خارج می‌گردد. بر اساس گزارش‌های موجود، متوسط مقدار فرسایش در ایران در سال ۱۳۳۰ حدود یک میلیارد تن بوده که در سال ۱۳۷۲ به ۲ تا ۲/۲ میلیارد تن در سال افزایش یافته که نشان دهنده رشدی معادل ۴۴۰ درصد طی مقطع زمانی مذکور است (حسینی و قربانی، ۱۳۸۴).

حوضه آبخیز وریند واقع در استان فارس و شهرستان لارستان نیز دارای بارش‌های پراکنده و موسمی با شرایط خاص بوده و دارای پوشش گیاهی بسیار فقیر و شکننده است همین عوامل باعث شده که همه ساله در اثر پدیده شستشو حجم عظیمی از خاک این حوضه توسط رودخانه وریند از دست برود. در این راستا می‌توان بر اساس برآورد فرسایش و رسوب تولیدی اقدام به اولویت بندی این حوضه از لحاظ فرسایش آبی کرد. به عبارتی اولین اقدام برای مبارزه با رسوب تعیین پهنه‌های خطر فرسایش یا مشخص نمودن حوضه‌های با تولید رسوب بالا و اولویت بندی حوضه‌های مختلف می‌باشد و در این راستا تاکنون روش‌های متفاوتی استفاده شده است.

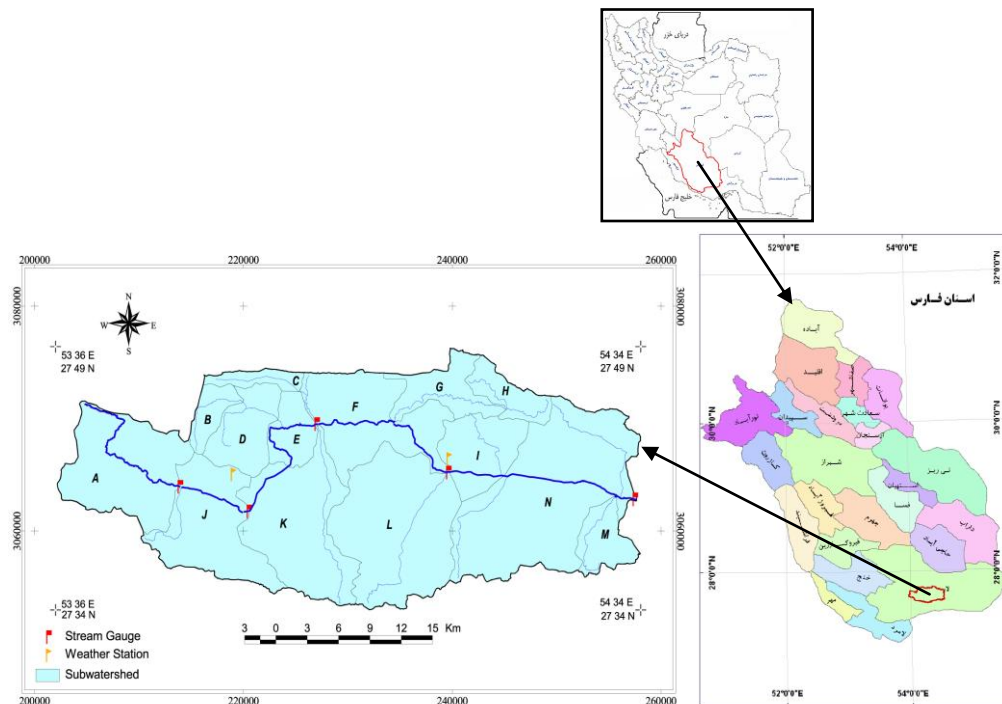
خلیلی‌زاده (۱۳۸۹) در حوضه آبخیز مارمه واقع در منطقه جویم استان فارس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS، از طریق ارزیابی صحت و دقت دو مدل برآورد فرسایش و رسوب EPM و MPSIAC و مشخص شدن دقت و کارایی بیشتر مدل MPSIAC نسبت به مدل EPM، مقادیر فرسایش و رسوب حوضه مورد مطالعه به تفکیک هر یک از زیرحوضه‌ها مبتنی بر کاربری اراضی مختلف نیز مشخص شد و در نهایت نقشه‌های پهنه بندی خطر فرسایش حوضه در محیط GIS ترسیم کرد.

پژوهش‌های دیگری در این مورد انجام گرفته که نتایج متفاوتی را نیز ارائه می‌دهند (به عنوان مثال قدوسی و همکاران ۱۳۸۵، زنجانی‌جم و رسولی ۱۳۸۶، تاجگردان و همکاران ۱۳۸۷، Shrestha و همکاران ۱۹۹۶، Brooks و همکاران ۱۹۹۷، Collins و همکاران ۱۹۹۸، Tiwari و همکاران ۲۰۰۰، Erskin و همکاران ۲۰۰۲، Amore و همکاران ۲۰۰۴، Bakker و همکاران ۲۰۰۷، Randhir و همکاران ۲۰۰۹).

## مواد و روش‌ها

### - معرفی منطقه مورد پژوهش

حوضه آبخیز وربند در شهرستان لارستان از استان فارس، در عرض‌های جغرافیایی  $27^{\circ}04'20''$  و  $27^{\circ}03'15''$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $52^{\circ}34'10''$  و  $52^{\circ}56'55''$  شرقی واقع شده است. مساحت این حوضه  $935/50$  کیلومتر مربع، از نظر شکل مستطیلی شکل بوده و دارای  $14$  زیر حوضه هیدرولوژیکی می‌باشد. بزرگترین زیر حوضه با کد N و مساحت معادل  $181/8$  کیلومتر مربع و کوچک‌ترین زیر حوضه با کد C و مساحت معادل  $11/05$  کیلومتر مربع است. براساس رتبه بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر، این حوضه یک حوضه آبخیز رتبه ۸ می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز وربند

## روش تحقیق

### - جمع آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

در تطبیق با نیازهای انجام پژوهش شامل آمار و اطلاعات توپوگرافی و فیزیوگرافی، هوا و اقلیم‌شناسی، زمین شناسی و کاربری اراضی در سال‌های پیشین و هیدرولوژی و رسوب سنجی به ترتیب از منابع و مراجع زیربند تهیه شد که عبارتند از نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس  $1:25000$ ، تهیه نقشه زمین شناسی با مقیاس  $1:100000$ ، تصاویر ماهواره‌ای IRS سال  $2008$  ( $1387$ ) جهت تهیه نقشه ژئومورفولوژی و کاربری اراضی و آمار و اطلاعات دبی و رسوب منطقه پژوهش. همچنین جهت ذخیره‌سازی، پردازش داده‌ها، تهیه نقشه‌های مورد نیاز در قالب لایه‌های اطلاعاتی، دستیابی به نتایج مربوط به رخساره‌های ژئومورفولوژی، اجرای مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب و نقشه‌های خروجی مورد نظر، نرم افزارهای مختلف مانند ArcGIS 9.3 ، RDAS Imaging مورد استفاده قرار گرفت.

### - انجام عملیات میدانی

تلفیق نقشه‌های پایه از طریق انتخاب حداقل سه نقطه تعلیمی و بررسی‌های میدانی در خصوص صحت اطلاعات موجود در نقشه‌های پایه و ثبت مشخصات زمینی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه‌ها به طور مستقیم با استفاده از

دستگاه GPS انجام شده، سپس سازندهای زمین شناسی از طریق بررسی‌های سنگ‌شناسی و در موارد لزوم جمع‌آوری نمونه جهت شناسایی در آزمایشگاه، تیپ‌های ژئومورفولوژی و تشریح پروفیل‌ها در نقاط شاهد و تهیه نمونه‌های خاک بر اساس تشریح پروفیل‌های شاهد، تیپ و تراکم گیاهی بر اساس بررسی میدانی با استفاده از پلات و ترانسکت و مشخص کردن میزان خاک لخت و حفاظ روی زمین، وضعیت فعلی فرسایش و کاربری اراضی انجام شد.

لازم به توضیح است که بررسی‌های میدانی به شرح بیان شده در تطبیق و سازگاری با ساختار مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب MPSIAC و EPM به عنوان دو مدل انتخاب شده با توجه به نتایج تحقیقاتی در زمینه صحت، دقت و کارایی آنها در آبخیزهای مشابه در ایران به شرح بیان شده در سوابق پژوهشی انجام شد.

#### – استخراج لایه‌های مورد نیاز از داده‌های جمع‌آوری شده

در این مرحله تفکیک زیرحوضه‌های آبخیز در منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه توپوگرافی نظارت شده مبتنی بر مدل رقومی ارتفاعی (DEM) جهت اجرای مدل‌های فرسایش و رسوب MPSIAC و EPM در محیط GIS انجام شد. سپس اقدام به تفسیر تساوی‌های ماهواره‌ای IRS و بررسی ویژگی‌ها ژئومورفولوژی منطقه شده، همچنین نقشه‌های نظارت شده پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش، بارش، دمای هوا و نقشه‌های همبازان به عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای اجرای مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب در محیط GIS و RS تهیه شد.

#### – تجزیه و تحلیل آمار رسوب‌سنجی

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۷ (یک دوره ۲۴ ساله) در ایستگاه رسوب‌سنجی به عنوان سطح مبنا و مقایسه دقت و کارایی دو مدل MPSIAC و EPM در برآورد رسوب، مورد استفاده قرار گرفت. لازم به توضیح است به دلیل اینکه آمار اندازه‌گیری و ثبت شده از مقادیر فرسایش در حوضه آبخیز مورد مطالعه در دسترس نبوده، بنابراین برای برآورد فرسایش الزاماً اقدام به آزمون دقت و کارایی دو مدل شد تا از این طریق دقت مقادیر فرسایش برآورد شده نیز مشخص گردد. جهت محاسبه متوسط رسوبدهی آبخیز مورد مطالعه از روش منحنی رسوب چند خطی استفاده شد (میرابوالقاسمی و مرید، ۱۳۷۴). در این روش ابتدا اقدام به دسته‌بندی گذر حجمی رودخانه شده و سپس چند منحنی رسوب با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده رسم گردیده و از رابطه (۱) نیز جهت تبدیل داده‌های غلظت رسوب اندازه‌گیری به دبی رسوب استفاده شده و داده‌های رسوب متناظر دبی‌های مربوط به دوره آماری محاسبه شدند.

$$Q_s = 0.0864(C.Q_w) \quad (1)$$

که در آن  $Q_s$ : دبی رسوب (تن در روز)،  $C$ : ضریب منطقه‌ای و  $Q_w$ : دبی (متر مکعب بر ثانیه) است (قدوسی و همکاران، ۱۳۸۵). بر این اساس داده‌های مربوط به گذر حجمی رودخانه در معادله سنج رسوب لحاظ شده و از این طریق بار معلق محاسبه شده و با احتساب ۲۰ درصد بار معلق کل به عنوان بار کف، اقدام به محاسبه کل رسوبدهی ویژه گردیده است.

#### – اجرای مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب MPSIAC و EPM.

– **مدل MPSIAC**: مدل MPSIAC وضعیت فرسایش و رسوب را در هر واحد کاری بر اساس نقش ۹ عامل محیطی مشتمل بر زمین‌شناسی، خاکشناسی، اقلیم، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای بررسی می‌کند و بسته به شدت و ضعف هر عامل عددی به آن نسبت داده می‌شود. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد بدست آمده، میزان یا درجه رسوبدهی حوزه برآورد می‌گردد (احمدی، ۱۳۷۸). سپس با توجه به رابطه زیر میزان تولید رسوب مشخص می‌شود:

$$Q_s = 18.6e^{0.0353R} \quad (2)$$

در این معادله  $Q_s$  بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع،  $R$  درجه رسوبدهی یا مجموع نمرات عوامل نه‌گانه می‌باشد.

**جدول ۱:** تعیین دامنه رسوبدهی سالانه، شدت رسوبدهی و کلاس فرسایش و تولید رسوب در مدل MPSIAC

امتیاز	رسوبدهی سالانه $m^3 \cdot km^{-2} \cdot y^{-1}$	شدت رسوبدهی	کلاس فرسایش و تولید رسوب
> ۱۰۰	> ۱۴۲۹	خیلی زیاد	I
۷۵ - ۱۰۰	۴۷۶ - ۱۴۲۹	زیاد	II
۵۰ - ۷۵	۲۳۸ - ۴۷۶	متوسط	III
۲۵ - ۵۰	۹۵ - ۲۳۸	کم	IV
۰ - ۲۵	< ۹۵	خیلی کم یا جزئی	V

- **مدل EPM:** بر اساس این مدل فرآیند فرسایش نتیجه و روابط متقابل عوامل سنگ مادر، خاک و ویژگی‌ها توپوگرافی همراه با اقلیم و نوع بهره برداری از اراضی است. جهت محاسبه فرسایش ابتدا ضریب شدت فرسایش ( $Z$ ) در واحدهای کاری با استفاده از چهار مشخصه ضریب فرسایش فعلی، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش و شیب متوسط با استفاده از رابطه زیر و از طریق امتیازات مربوطه آنها محاسبه می‌شود.

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

در این رابطه  $Z$  ضریب شدت فرسایش،  $X_a$  ضریب استفاده از زمین،  $Y$  ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش،  $\phi$  ضریب فرسایش فعلی و  $I$  شیب متوسط است. پس از تعیین  $Z$  با استفاده از جدول (۲) نقشه شدت فرسایش حوزه تعیین می‌شود.

**جدول ۲:** طبقه بندی شدت فرسایش (قدوسی، ۱۳۸۶)

ارزش حد $Z$	شدت فرسایش	کلاس فرسایش
$Z > 1$	خیلی شدید	I
$1 > Z > 0.71$	شدید	II
$0.7 > Z > 0.41$	متوسط	III
$0.4 > Z > 0.2$	کم	IV
$Z > 0.19$	خیلی کم	V

### - انتخاب مدل مناسب برآورد مقدار رسوب و فرسایش

جهت انتخاب مدل مناسب برای استفاده از آن در برآورد مقادیر رسوب و فرسایش با توجه به اهداف طرح، نتایج حاصل از محاسبه رسوب برآورد شده با به کارگیری دو مدل MPSIAC و EPM با مقدار رسوب اندازه گیری شده از طریق آزمون T استیوننت یک نمونه‌ای بررسی شد و مدلی که مقدار رسوب برآورد شده با آن دارای اختلاف معنی‌دار با مقدار رسوب مشاهده شده نبود، به عنوان مدل مناسب تشخیص داده شد.

## نتایج

### - نتایج بررسی ویژگی‌ها ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

طبق بررسی کلاسیک و سیستماتیک پدیده‌های ژئومورفولوژیکی، اقدام به تهیه نقشه ژئومورفولوژی شد (شکل ۲) و منطقه مورد مطالعه به چند واحد بزرگ ژئومورفولوژیکی تقسیم گردید که مشخصات آنها به شرح ذیل است:

### - واحد کوهستان

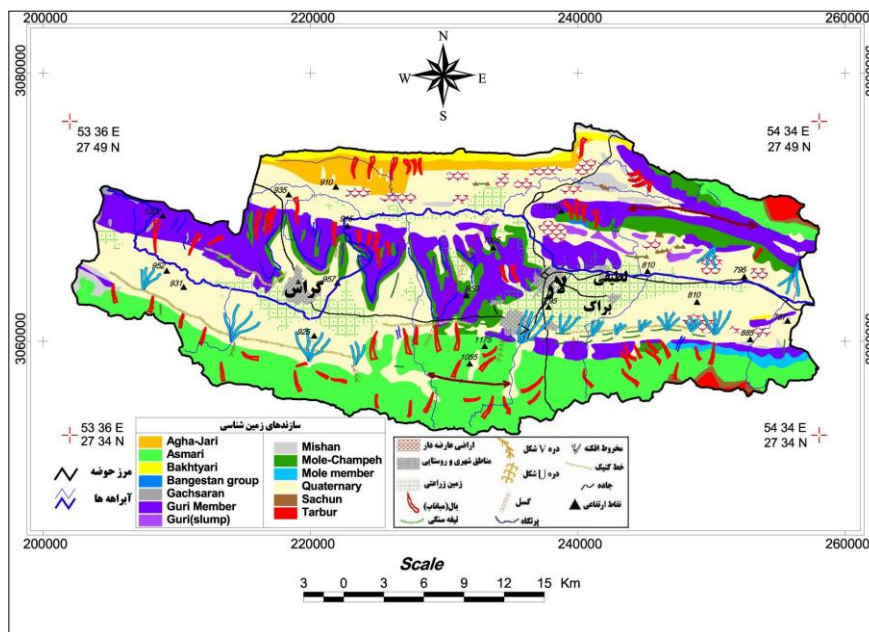
این واحد به صورت چین خوردگی‌ها در جهت شمال غرب - جنوب شرق به موازات هم کشیده شده‌اند. این واحد که اسکلت اصلی دشت را تشکیل می‌دهد شامل دو رشته ارتفاعات شمالی و جنوبی با جهت شمال غربی - جنوب شرقی و تعدادی هم ارتفاعات منفرد مرکزی است که بین دو رشته کوه قرار دارد. پنج رشته طاقدیس به نام‌های طاقدیس کورده، سفید، فیشور، گچ و ملک تیر تمامی ارتفاعات منطقه مورد مطالعه را از شمال به سمت جنوب به خود اختصاص داده‌اند و تمرکز ارتفاعات در جنوب منطقه بوده و شیب بندی آنها متفاوت می‌باشد به طوری که طاقدیس فیشور کم شیب‌ترین و طاقدیس ملک تیر با ارتفاع ۲۰۵۷ متر دارای بلندترین نقطه ارتفاعی می‌باشد.

### – واحد دامنه

این واحد عمدتاً شامل پرتگاه‌های آبرفتی و پادگانه‌های آبرفتی می‌باشد. پرتگاه‌های آبرفتی در رسوبات مخروط افکنه‌های قدیمی به صورت پشته‌هایی در کنار مسیل اصلی حوضه به چشم می‌خورد به وضوح بیانگر دخالت سیلاب‌ها در دوره‌های گذشته می‌باشد. پادگانه‌های آبرفتی تقریباً در امتداد دو طرف دره رود وربند یافت می‌شوند.

### – کوهپایه‌ها و مخروط افکنه‌ها

در محدوده مورد مطالعه کوهپایه‌های نسبتاً وسیع و بزرگی وجود دارد که در دامنه ارتفاعات شمالی و جنوبی گسترده شده‌اند. کوهپایه‌های منطقه اصولاً آبرفتی بوده و از رسوبات دوران چهارم تشکیل شده‌اند و در بعضی از مناطق مخروط افکنه‌های قدیمی که بر اثر فرسایش آب بریده بریده شده‌اند در کنار آنها مشاهده می‌شوند. از عوارض مشخص مناطق پایکوهی، وجود مخروط افکنه‌های کوچک و بزرگ است.



شکل ۲: نقشه ژئومورفولوژی حوضه آبخیز وربند

### به طور کلی مخروط افکنه‌ای منطقه به دو دسته تقسیم می‌شود:

مخروط افکنه‌های قدیمی که شامل قدیمی‌ترین رسوب‌های دوران چهارم بوده و نسبتاً سخت ولی دپازنز (سنگ شدگی) حاصل نموده‌اند و اغلب از قله سنگ‌های مدور و صیقلی شده در قسمت بالایی مخروط افکنه تشکیل شده‌اند. وسعت این مخروط افکنه‌ها بسیار کم می‌باشد. مخروط افکنه‌های جوانتر که قسمت اعظم مخروط افکنه‌های اطراف دشت را تشکیل می‌دهند و جنس ذرات آن از قله سنگ تا رس تغییر می‌نماید، نفوذپذیری قابل ملاحظه‌ای داشته و علت آن وجود ذرات نسبتاً درشت در مواد متشکله می‌باشد. وسعت مخروط افکنه‌ها ۳۶۱۶ کیلومتر مربع یعنی ۱۳/۷ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌گردد.

### – تپه ماهورها

اراضی تپه ماهورها بر روی تشکیلات کم مقاوم گچساران و آغاچاری با ترکیب پستی و بلندی‌ها و دره‌های نسبتاً پست و موازی در دامنه کوه با فرسایش سطحی و شیاری پدید آمده است. این تپه‌ها در بخش‌های مرکزی حوضه پراکنده‌اند و در همسایگی ستیخ آهکی بعضی از طاقدیس‌های محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شوند. این تپه‌ها با توجه به شکل ظاهری و جنس به چهار دسته تپه‌های سخت، تپه‌هایی با قله مدور، تپه‌های کم ارتفاع و بریده و تپه‌های منفرد (تپه شاهد) تقسیم می‌شوند. وسعت این قبیل ناهمواری‌ها ۲۸۴۵ کیلومتر مربع یعنی ۱۱ درصد از کل مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد.

### – واریزه‌ها

واریزه‌ها قطعات سنگی جدا شده‌ای هستند که یا تک تک به زمین می‌افتد و پس از فرود آمدن و تجمع شکل نیمه مخروط به خود می‌گیرند و یا به صورت گسترده در می‌آیند. در صورتی که قطعه‌های ریزش بزرگ باشند به آن واریزه بلوکی می‌گویند. در دامنه‌های بسیار تند کوه‌های فیشور، ریزش به صورت واریزه‌های مخروطی مشاهده می‌شود که قاعده مخروط به سمت دشت و رأس آن به سمت قله است که از لحاظ برجای گذاشتن رسوبات درست عکس مخروط افکنه می‌باشد. در محدوده مطالعاتی در دامنه‌های پر شیب منطقه تنگ اسد واقع در طاق‌دیس گچ و جنوب شهر جدید به دلیل بالا بودن درجه حرارت و تخریب مکانیکی و وجود جریان‌های سیلابی چنین واحدهایی به وفور مشاهده می‌شوند.

### – دشت‌ها

بخش وسیعی از منطقه را دشت‌ها یا جلگه‌ای آبرفتی تشکیل داده‌اند. در فاصله‌های کوه‌های لارستان دشت‌های وسیعی وجود دارند، بیشتر آنها منطبق بر ناودیس‌های ساختمانی منطقه هستند. گذشته از دره‌ها و دشت‌های کوهستانی سه دشت عمده محدوده مطالعاتی عبارتند از: دشت لار، گراش و علی آباد که همگی به صورت طولی هستند و وسیع‌ترین دشت، دشت لار با وسعتی حدود ۳۲۷ کیلومتر مربع می‌باشد. این دشت‌ها خود به دو صورت دشت‌های دامنه‌ای و آبرفتی در منطقه وجود دارد.

### – نتایج تجزیه و تحلیل رسوب سنجی جهت استفاده به عنوان سطح مبنا

بر اساس تجزیه و تحلیل آمار دبی- رسوب و در نظر گرفتن این که رابطه دبی و رسوب در محدوده‌های مختلف دبی جریان یکسان نمی‌باشد. لذا رابطه کلی دبی رسوب – دبی جریان و منحنه‌های سنجه در کلاس‌های مختلف دبی جریان به شرح زیر بدست آمده است:

– رابطه بین دبی‌های کمتر یا مساوی ۲/۸۴ متر مکعب بر ثانیه شرح شکل (۳) و رابطه (۴) بدست آمده است.

$$Q_s = 26.79 \times Q_w^{1.81} \quad (4)$$

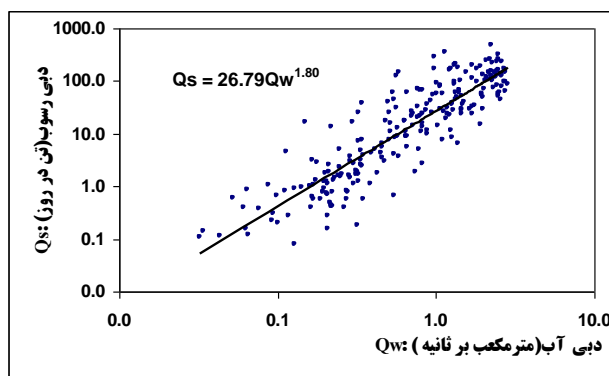
– رابطه بین دبی‌های کمتر از ۵/۹۷ و بیشتر از ۲/۸۴ متر مکعب بر ثانیه شرح شکل (۴) و رابطه (۵) بدست آمده است.

$$Q_s = 1.47 \times Q_w^{4.7} \quad (5)$$

– رابطه بین دبی‌های بیشتر یا مساوی ۵/۹۷ متر مکعب بر ثانیه به شرح شکل (۵) و رابطه (۶) بدست آمده است.

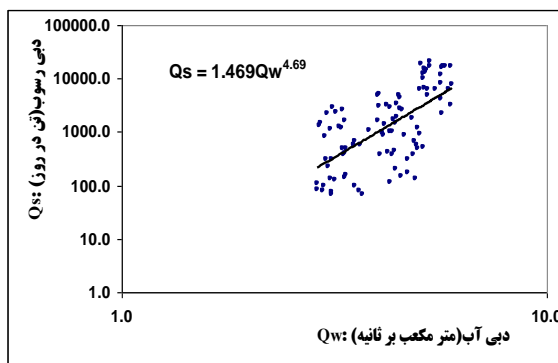
$$Q_s = 11.30 \times Q_w^{2.74} \quad (6)$$

با شرح فوق و اضافه کردن ۲۰ درصد بار کف به رسوب معلق و با توجه به ویژگی‌های زمین شناسی، سنگ‌شناسی و خاک، رسوب کل حوزه آبخیز محاسبه شده که نتیجه در جدول (۳) ارایه شده است.

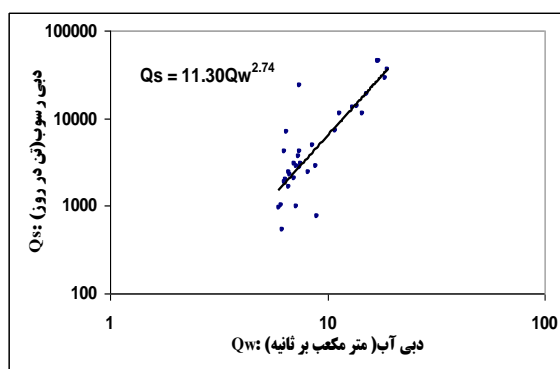


شکل ۳: منحنی سنجه رسوب برای کلاس دبی مساوی یا کمتر از ۲/۸۴ متر مکعب بر ثانیه





شکل ۴: منحنی سنجه رسوب برای کلاس دبی کمتر از ۵/۹۷ و بیشتر از ۲/۸۴ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۵: منحنی سنجه رسوب برای کلاس دبی مساوی یا بیشتر از ۵/۹۷ متر مکعب بر ثانیه

### جدول ۳: مقادیر رسوب کل حوزه آبخیز وربند

سال آبی	رسوب کل (تن در سال)	سال آبی	رسوب کل (تن در سال)	سال آبی	رسوب کل (تن در سال)	سال آبی	رسوب کل (تن در سال)
۶۰-۶۱	۲۲۵۵۲۸/۷۸	۶۷-۶۸	۲۱۴۳۳۲/۹۳	۷۴-۷۵	۲۶۳۲۵۰/۱۵	۸۱-۸۲	۲۵۶۳۳۹/۵۲
۶۱-۶۲	۴۸۸۲۸۹/۶۷	۶۸-۶۹	۳۶۹۳۷۱۰/۷۴	۷۵-۷۶	۲۴۰۸۵۴/۷۶	۸۲-۸۳	۱۶۴۶۹۰۱/۲۷
۶۲-۶۳	۳۷۱۰۸۹/۶۰	۶۹-۷۰	۲۲۷۳۷۱/۳۷	۷۶-۷۷	۵۲۶۰۴/۲۴	۸۳-۸۴	۲۴۹۸۴۸/۰۰
۶۳-۶۴	۴۰۳۷۵۵/۱۶	۷۰-۷۱	۵۴۲۴۹۰/۹۵	۷۷-۷۸	۱۲۵۹۹۳/۹۲	۸۴-۸۵	۳۷۹۵۰۴/۹۴
۶۴-۶۵	۴۶۸۲۵۷/۵۲	۷۱-۷۲	۳۵۲۷۵۹/۷۱	۷۸-۷۹	۳۴۶۳۹۱/۸۸	۸۵-۸۶	۳۴۶۲۵/۱۵
۶۵-۶۶	۳۹۲۵۳۲/۳۰	۷۲-۷۳	۳۵۶۰۳۱/۳۲	۷۹-۸۰	۱۰۵۳۹۸۶/۵۳	۸۶-۸۷	۲۰۲۹۲۶/۶۱
۶۶-۶۷	۲۱۱۸۸۶۶/۱۳	۷۳-۷۴	۲۳۶۷۵۰/۴۸	۸۰-۸۱	۲۴۰۱۷۱/۶۴	میانگین سالانه	۵۶۲۳۷۵/۴۰

### - نتایج برآورد مقادیر فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های EPM و MPSIAC

با توجه به اجرای دو مدل EPM و MPSIAC بر اساس روش ژئومورفولوژی، نتایج حاصل از برآورد مقادیر فرسایش و رسوب به شرح زیر می‌باشد:

#### الف- نتایج حاصل از اجرای مدل MPSIAC

با توجه به عوامل ۹ گانه موجود در مدل و با محاسبه مقدار رسوب سالانه به تفکیک هر یک از زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه، مقادیر حجمی رسوب به تفکیک زیرحوضه‌ها مشخص گردید. به طوری که با محاسبه وزن مخصوص رسوب‌های مستند بر اندازه‌گیری‌های میدانی، مقادیر رسوب بر حسب تن مشخص شده‌اند. در نهایت با محاسبه ضریب رسوبدهی مقادیر فرسایش به تفکیک هر زیر حوضه محاسبه شد که نتیجه آن در جدول (۴) ارائه شده است.

#### ب- نتایج حاصل از اجرای مدل EPM

نتایج برآورد مقادیر فرسایش و رسوب ویژه و سالانه با استفاده از مدل EPM به ترتیب بر اساس روش ژئومورفولوژی به تفکیک واحدهای کاری، (به شرح محاسباتی مشابه روش MPSIAC) و کل حوزه آبخیز وربند در جدول (۵) آورده شده



است. لازم به توضیح است که با توجه به مقادیر فرسایش برآورد شده با استفاده از مدل های MPSIAC و EPM، نقشه پهنه بندی شدت فرسایش حوزه آبخیز مارمه در محیط GIS تهیه گردیده است که نتایج در شکل های ۶ و ۷ نمایش داده شده اند.

**جدول ۴: مقادیر فرسایش و رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC به تفکیک زیرحوضه ها**

زیرحوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	رسوب سالانه (ton/y)	ضریب رسوبدهی	فرسایش ویژه سالانه (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /y)	فرسایش متوسط سالانه (m <sup>3</sup> /y)
A	۹۸/۸۳	۶۰۸۳۶/۲۷	۸۸/۷۸	۴۲۵/۴۴	۴۱۵۳۰/۰۷
B	۱۷/۶۱	۸۴۴۵/۸۸	۴۲/۳۷	۷۱۷/۷۰	۱۲۰۸۰/۵۸
C	۱۱/۰۵	۴۲۹۷/۳۳	۴۸/۰۶	۴۱۸/۱۸	۵۴۱۸/۸۲
D	۳۹/۷۴	۱۸۹۹۹/۴۲	۵۰/۶۱	۵۶۱/۰۳	۲۲۷۵۲/۳۶
E	۲۶/۴۲	۱۳۶۸۹/۱۴	۵۴/۹۷	۶۰۰/۰۱	۱۵۰۹۱/۸۷
F	۹۶/۱۵	۴۸۰۹۰/۱۲	۵۶/۸۶	۵۷۵/۴۷	۵۱۲۵۸/۱۱
G	۳۶/۹۴	۱۴۷۶۰/۳۴	۶۸/۲۵	۳۸۰/۴۴	۱۳۱۰۶/۶۶
H	۲۲/۳۸	۱۳۳۱۷/۳۴	۱۱۱/۰۶	۲۸۰/۹۴	۶۷۳۱/۴۷
I	۴۸/۶۵	۲۳۹۳۹/۰۴	۹۵/۰۴	۳۲۶/۸۲	۱۵۲۶۵/۱۲
J	۹۵/۰۷	۷۲۸۷۱/۵۰	۶۸/۹۴	۷۵۴/۶۶	۶۴۰۵۸/۸۲
K	۱۰۶/۷۸	۶۵۹۸۱/۵۲	۷۱/۸۷	۵۲۲/۷۷	۵۵۶۳۸/۲۱
L	۱۲۸/۲۶	۷۹۸۰۰/۹۸	۵۸/۶۲	۶۰۲/۰۷	۸۲۴۹۹/۷۵
M	۲۵/۸۲	۱۱۰۰۷/۲۸	۸۹/۴۰	۲۸۵/۶۷	۷۴۶۱/۹۰
N	۱۸۱/۸۰	۱۵۸۸۸۸/۶۲	۹۱/۴۰	۵۷۷/۲۴	۱۰۵۳۵۶/۷۵
کل حوضه	۹۳۵/۵۰	۵۹۳۹۲۴/۶۶	۷۸/۳۱	۴۹۷/۳۵	۴۵۹۶۷۶/۵۸

#### – نتیجه مقایسه مقادیر رسوب برآورد شده مدل های مورد آزمون با مقدار رسوب مبنا

متوسط مقدار رسوب سالیانه بر اساس داده های اندازه گیری شده معادل با ۵۶۲۳۷۵/۴۰ تن در سال محاسبه و مقادیر رسوب برآورد شده با بکارگیری مدل های MPSIAC و EPM به ترتیب معادل ۵۹۳۹۲۴/۶۶ و ۶۴۱۶۶۵/۲۳ تن در سال می باشد. محاسبه اختلاف نسبی مقادیر رسوب برآورد شده با متوسط بلند مدت اندازه گیری شده، نشان دهنده اختلاف نسبی معادل ۵/۶۱ و ۱۴/۰۱ درصد به ترتیب برای مدل های MPSIAC و EPM است. به عبارت دیگر مدل MPSIAC با اختلاف نسبی معادل ۵/۶۱ درصد با مقدار رسوب مبنا از دقت و کارایی بیشتری نسبت به مدل EPM دارد. (شکل های ۸ و ۹). نتیجه آزمون تفاوت میانگین های مقادیر رسوب برآورد شده با استفاده از مدل های MPSIAC و EPM با میانگین بلند مدت مقدار رسوب مبنا مبتنی بر آزمون t یک نمونه ای با توجه به نتایج ارایه شده در جدول ۶ نیز موید کارایی بیشتر مدل MPSIAC در مقایسه با مدل EPM با اطمینان ۹۵ درصد می باشد.

#### بحث و نتیجه گیری

نتایج و بررسی های انجام گرفته در این پژوهش نشان داد که حوزه آبخیز وربند دارای ویژگی ها متنوع ژئومورفولوژیکی بوده که عبارتند از کوه ها و ارتفاعات منطقه که به صورت چین خوردگی های سلسله جبال زاگرس بوده و شامل ۵ رشته طاق دیس تمامی ارتفاع های منطقه مورد مطالعه را از شمال به سمت جنوب شامل می شود. شکل های مختلف ژئومورفولوژیکی واحد دامنه شامل پرتگاه آبرفتی و پادگانه آبرفتی می باشند. واحد کوهپایه ها و مخروط افکنه ها، واحد تپه ماهورها، واریزه های بلوکی، مخروط واریزه ای، دشت ها و دشت های دامنه ای و آبرفتی می باشد. لازم به ذکر است که در هر کدام از این واحدها شکل های مختلف رخساره وجود داشته که هر کدام در فرسایش و تولید رسوب نقش دارند.

بر مبنای مدل EPM، ۵۷/۴ درصد از واحدهای کاری حوضه در کلاس III (شدت فرسایش متوسط)، ۲۷/۸ درصد در کلاس II (شدت فرسایش شدید)، ۱۱/۳ درصد در کلاس I (شدت فرسایش خیلی شدید) و ۳/۶ درصد در کلاس IV (شدت فرسایش کم) قرار دارند. بر این اساس بیشترین میزان تولید رسوب مربوط به واحد N با مقدار رسوب ۱۷۱۳۶۰/۳ و کمترین مقدار آن مربوط به واحد C با مقدار رسوب ۴۶۴۲/۷ تن در سال می‌باشد. بر مبنای مدل MPSIAC، ۱ درصد از واحدهای کاری حوضه در کلاس IV (شدت رسوبدهی کم)، ۷۰ درصد در کلاس III (شدت رسوبدهی متوسط) و ۲۹ درصد در کلاس II (شدت رسوبدهی زیاد) قرار دارند. بر این اساس بیشترین میزان تولید رسوب مربوط به واحد N با مقدار رسوب ۱۵۸۸۸۸/۶ و کمترین مقدار آن مربوط به واحد C با مقدار رسوب ۴۲۹۷/۳ تن در سال می‌باشد. مقایسه آماری نتایج دو مدل با مقادیر رسوب مینا، نشان داد که نتایج مدل MPSIAC دقت بیشتری دارد که این نتیجه با نتایج محققان مختلفی از جمله قدوسی و همکاران ۱۳۸۵، زنجانی‌جم و رسولی ۱۳۸۶، تاجگردان و همکاران ۱۳۸۷، Bakker و همکاران ۲۰۰۷، Randhir و همکاران ۲۰۰۹ مطابقت دارد.

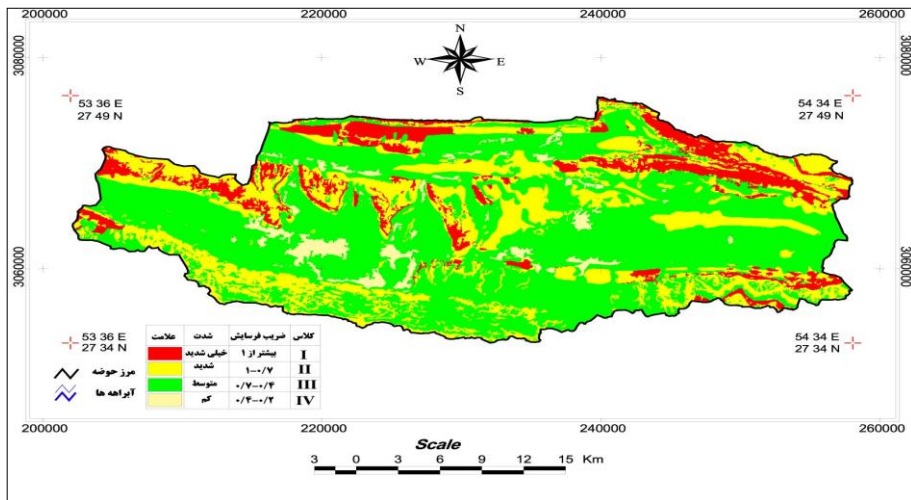
در نهایت با توجه به اعداد محاسبه شده، مقایسه آنها با جداول مربوطه و همچنین بکارگیری دو مدل ذکر شده می‌توان گفت که شدت فرسایش و میزان تولید رسوب در منطقه مورد مطالعه در سطح متوسط و شدید است لذا جهت پیشگیری از وقوع فرسایش شدیدتر در منطقه لازم است در چهارچوب طرحای حفاظتی اقداماتی صورت پذیرد.

**جدول ۵:** مقادیر فرسایش و رسوب برآورد شده با استفاده از مدل EPM به تفکیک زیرحوضه‌ها

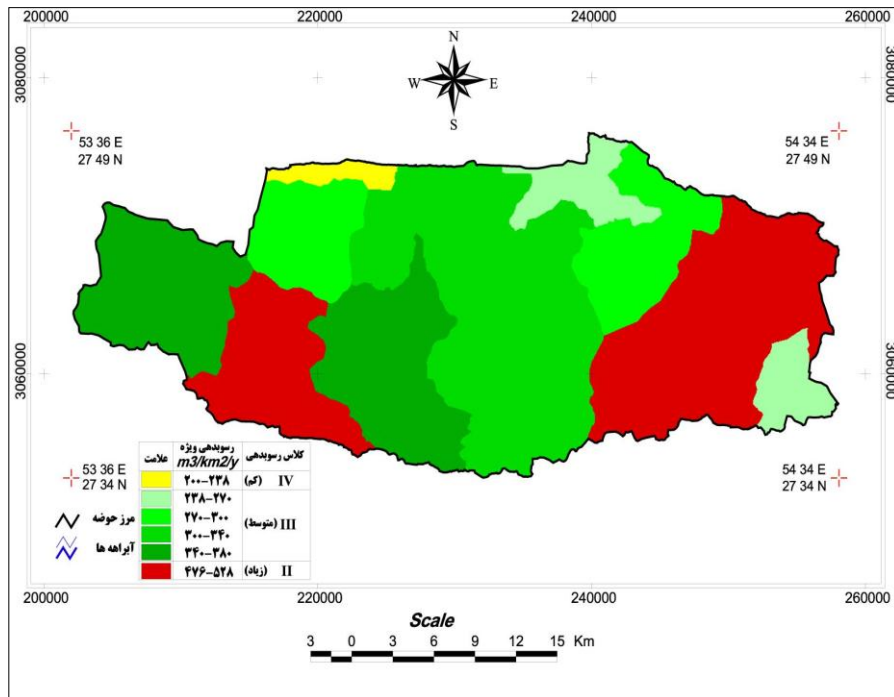
زیرحوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	رسوب سالانه (ton/y)	ضریب رسوبدهی	فرسایش ویژه سالانه (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /y)	فرسایش متوسط سالانه (m <sup>3</sup> /y)
A	۹۸/۸۳	۶۵۷۲۶/۳۸	۸۸/۷۸	۴۵۹/۶۴	۴۴۸۶۸/۳۲
B	۱۷/۶۱	۹۱۲۴/۷۸	۴۲/۳۷	۷۷۵/۳۹	۱۳۰۵۱/۶۳
C	۱۱/۰۵	۴۶۴۲/۷۵	۴۸/۰۶	۴۵۱/۸۰	۵۸۵۴/۳۹
D	۳۹/۷۴	۲۰۵۲۶/۶۲	۵۰/۶۱	۶۰۶/۱۳	۲۴۵۸۱/۲۳
E	۲۶/۴۲	۱۴۷۸۹/۴۹	۵۴/۹۷	۶۴۸/۲۴	۱۶۳۰۴/۹۸
F	۹۶/۱۵	۵۱۹۵۵/۶۸	۵۶/۸۶	۶۲۱/۷۳	۵۵۳۷۸/۳۲
G	۳۶/۹۴	۱۵۹۴۶/۸۰	۶۸/۲۵	۴۱۱/۰۳	۱۴۱۶۰/۲۰
H	۲۲/۳۸	۱۳۳۰۷/۳۲	۱۱۱/۰۶	۳۰۳/۵۳	۷۲۶۱/۷۶
I	۴۸/۶۵	۲۵۸۶۳/۲۹	۹۵/۰۴	۳۵۳/۱۰	۱۶۴۹۲/۱۶
J	۹۵/۰۷	۷۸۷۲۹/۰۲	۶۸/۹۴	۸۱۵/۳۳	۶۹۲۰۷/۹۶
K	۱۰۶/۷۸	۷۱۲۸۵/۲۲	۷۱/۸۷	۵۶۴/۸۰	۶۰۱۱۰/۴۹
L	۱۲۸/۲۶	۸۶۲۱۵/۵۰	۵۸/۶۲	۶۵۰/۴۷	۸۹۱۳۱/۲۰
M	۲۵/۸۲	۱۱۸۹۲/۰۶	۸۹/۴۰	۳۰۸/۶۴	۸۰۶۱/۷۰
N	۱۸۱/۸۰	۱۷۱۶۶۰/۳۳	۹۱/۴۰	۶۲۳/۶۴	۱۱۳۸۲۵/۴۹
کل حوضه	۹۳۵/۵۰	۶۴۱۶۶۵/۲۳	۷۸/۳۱	۵۳۷/۳۳	۴۹۶۶۲۶/۰۸

**جدول ۶:** نتیجه آزمون تفاوت میانگین رسوب مشاهده شده با مقادیر رسوب مینا

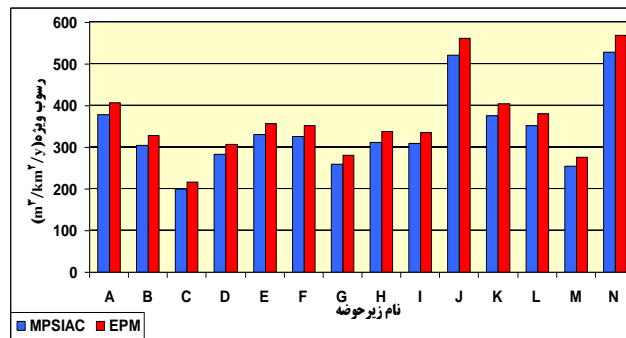
مدل‌ها	درجه آزادی (Df)	T	سطح معنی داری (P-Value)	اختلاف میانگین	
				بالا	پایین
EPM	۱۳	۱۰/۲۰	۰/۰۰۶	۳۴۶/۷۳	۲۰۳/۱۳
MPSIAC	۱۳	۴/۸۱	۰/۰۰۱	۶۵/۷۲	۱۸/۸۳



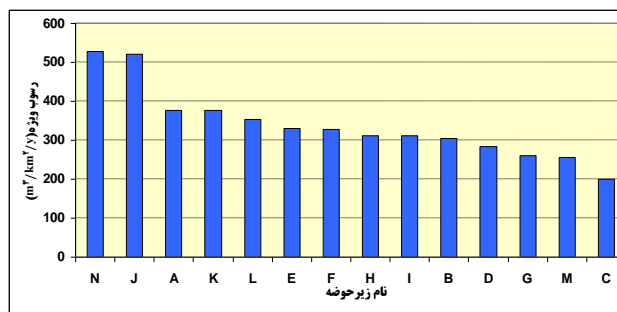
شکل ۶: نقشه پهنه بندی خطر فرسایش به روش EPM حوضه آبخیز وربند



شکل ۷: نقشه پهنه بندی خطر فرسایش به روش MPSIAC حوضه آبخیز وربند



شکل ۸: مقایسه مقادیر رسوب تولیدی در هر کدام از زیر حوضه به روش EPM و MPSIAC



شکل ۹: نمودار مقایسه‌ای مشارکت زیر حوضه‌ها در رسوب خروجی حوضه آبخیز وربند

## منابع

- ۱- احمدی، ح.، (۱۳۷۸): ژئومورفولوژی کاربردی. جلد ۱ فرسایش آبی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- تاجگردان، ت.، ایوبی، ش.، شتایی، ش.، (۱۳۸۷): برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت). مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۷۹، صص ۳۷-۴۵.
- ۳- حسینی، س.ص.، قربانی، م.، (۱۳۸۴): اقتصاد فرسایش خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- خلیلی زاده، م.، (۱۳۸۹): بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر پتانسیل رسوبزایی و سیل‌خیزی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مارمه- استان فارس). رساله دکتری تخصصی. دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ۵- رضوانی، ح.، (۱۳۷۷): بررسی علل موثر در سیلاب و ارزیابی عوامل قابل کنترل. مجله جنگل و مرتع، شماره ۲۳، صص ۲۵ - ۳۶.
- ۶- رفاهی، حق.، (۱۳۷۸): فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۷- زنجانی جم، م.، رسولی، م.، (۱۳۸۶): پهنه بندی شدت فرسایش حوزه آبخیز زنجانرود به کمک مدل EPM در محیط GIS. کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان.
- ۸- قدوسی، ج.، فیض‌نیا، س.، احمدی، ح.، شعبانی، م.، سررشته داری، امیر، (۱۳۸۵): بررسی رابطه بین تغییر استفاده از اراضی با مقادیر فرسایش و رسوب. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۷۳، صص ۱۳۰-۱۳۳.
- ۹- میرابوالقاسمی، ه.، مرید س.، (۱۳۷۴): بررسی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها. آب و توسعه، وزارت نیرو، سال سوم، شماره ۳.

- 11- Amore, E., Modica, C., Mark, A., and Nearing, V. (2004): Scale Effect in USLE and WEPP Application for Soil Erosion Computation From Three Sicilian Basins. *Journal of Hydrology* 293: 100-114.
- 12- Bakker, M.M., Govers, G., Kosmas, C., Vanacker, V., Van Oost, K., Rounsevell, M.D.A., (2005): Soil Erosion as a Driver of Land-Use Change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105, 467-481.
- 13- Bayramin, I., O., Dengiz, O. Baskan and M. Parlak, (2003): Soil Erosion Assessment With ICONA Model: Case Study, Beypazari Area, *Turk. J. Agric. For.*, (27):105-116.
- 14- Brooks, K., Folliot, N.P., Groggersen, H.M., Deban, L.F., (2002): *Hydrology and Management of Watershed*. 2nd ed, Low State University Press, Ames.
- 15- Collins, R., Dickison, A., Jonson, R., (1998): *The Use of GIS & RS Techniques to Predict Erosion in The Nepal Middle Hills*. Institute of Hydrology, Crow Marsh Gifford, Walling Ford: Soil Erosion at Multiple Scales. 19, 303-315.
- 16- Erskin, W.D., Mahmudzadeh, C., Myers, A., (2002). Landuse Effects on Sediment Yield and Soil Loss Rates in Small Basin of Triassic Sandstone Near Sydney New Australia, *Catena*, 49, 271-287.
- 17- Randhir, O., Timothy, G., Hawes, A. G., (2009): Watershed Land Use and Aquatic Ecosystem Response: Eco Hydrologic Approach to Conservation Policy. *Journal of Hydrology*, 364, 182-199.
- 18- Shrestha, R.P.A Eiumonoh & S. Baimoung, (1996): Soil Erosion Assessment and its Policy Implications: A Case Study of RS & GIS Applications in Uthai Thani, Thailand, *Meteorological*.
- 19- Sikka, A. K., Sarma, J. S., Sharda, V. N., Samraj, P., Lakshmanam, V., (2003): Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland into Blue Gum (*Eucalyptus globulus*) in Nilgiris Watersheds of South India, *Journal of Hydrology*, 32 (2), 12-26.
- 20- Tiwari, A. K., L. M. Risse, & M. A. Nearing, (2000): Evaluation of WEPP and its Comparison With USLE and RUSLE. *T. Am. Soc. Agric. Engr.* 43(5):1129-1135.