

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۷، پاییز ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵

صفحات: ۱۸ - ۱

## برآورد میزان فرسایش خاک و رسوبدهی با بهره‌گیری از مدل بارش-رواناب WMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سعدل-استان آذربایجان غربی)

اباذر اسمعیلی<sup>۱\*</sup>، یداله میرزائی<sup>۲</sup>، عقیل مددی<sup>۳</sup>

### چکیده

برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز بدون آمار رسوب یکی از مسائل اساسی بوده و استفاده از روش‌های تجربی را لازم می‌نماید تا داده‌های حاصل بتواند مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی واقع گردد. هدف از این پژوهش، کاربرد مدل اصلاح شده پسیاک (MPSIAC) و مدل توسعه‌یافته آن در حوضه آبخیز سعدل به مساحت ۲۶۶۳ هکتار با توجه به معیارهای لحاظ شده در این مدل و نیز استفاده از مدل بارش-رواناب WMS جهت کاهش خطا و افزایش دقت نسبی در تجزیه و تحلیل مدل می‌باشد. حوضه سعدل به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد و تغییرات ناگهانی شیب دارای خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی خاص می‌باشد لذا برآورد مقدار رسوب و کمی‌سازی آن بر اساس روابط تجربی جهت طرح‌های حفاظت آب و خاک ضروری می‌نماید. به‌منظور تعیین تغییرات مکانی بارش حداکثر روزانه از آمار ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شد. به‌منظور برآورد بارش در دوره‌های بازگشت مختلف از نرم‌افزار Easy fit و روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده شد. برآورد حداکثر دبی سیلاب، حجم و دبی ویژه توسط مدل بارش-رواناب WMS انجام شد. بررسی پوشش گیاهی منطقه از طریق سنجش از دور (ERDAS) و با شاخص NDVI محاسبه شد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری مدل MPSIAC نشان داد که فرسایش خاک و تولید رسوب رابطه مستقیم با نوع خاک و متوسط شیب حوضه دارد همچنین بررسی روابط همبستگی بین عوامل مدل توسعه‌یافته نشان داد که متوسط شیب حوضه و عامل رواناب بیشترین تأثیر را بر روی افزایش تولید رسوب در منطقه دارد. بیشترین مقدار رسوب تولیدی در زیرحوضه Q1 در هر دو مدل برآوردی (۱۵۹۹ تن در مدل MPSIAC و ۱۲۳۲ تن در مدل توسعه‌ای) و کمترین میزان رسوب کل در هر دو مدل مربوط به زیرحوضه E به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: EasyFit, MPSIAC, بارش ۲۴ ساعته، زمین آمار، سعدل.

esmaliouri@uma.ac.ir

yadollahmirzayai@yahoo.com

aghil48@gmail.com

<sup>۱</sup>- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup>- کارشناس ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی

<sup>۳</sup>- دانشیار، گروه علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

## مقدمه

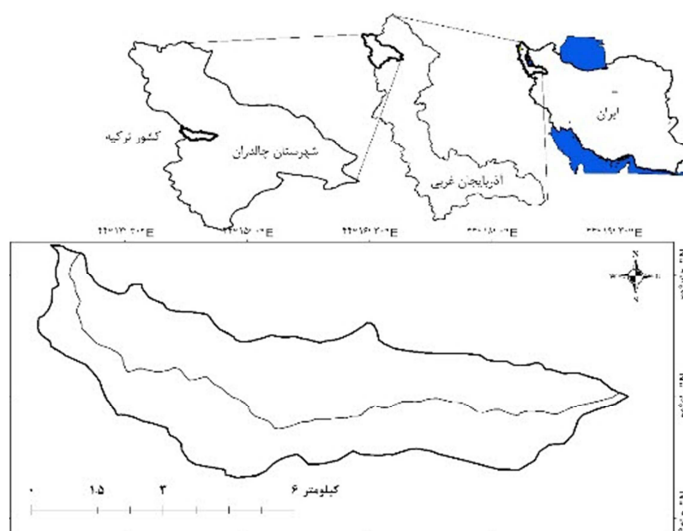
ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و در این میان فرسایش یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تأثیرگذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین می‌باشد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲). در برآورد میزان فرسایش و رسوبدهی، روش‌های تجربی متعددی وجود دارد. این روش‌ها هر کدام بر اساس موقعیت، شرایط آب و هوایی و اقلیم منطقه، کاربرد دارند (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۹). اخیراً محققین زیادی در سراسر جهان با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش از دور با استفاده از این مدل‌ها اقدام به برآورد فرسایش و رسوب به صورت کمی می‌کنند. در ایران طی چند دهه گذشته برای برآورد مقدار فرسایش، از روش‌های گوناگونی استفاده شده است. بنابر تجربه و مطالعات پیشین، مشخص شد که روش MPSIAC با توجه به آب و هوا و اقلیم ایران (نیمه خشک) کارایی بالایی دارد (تنگستانی، ۲۰۰۶). یکی از علل مهم پایین بودن میزان تولیدات کشاورزی در ایران در مقایسه با استانداردهای جهانی کاهش مداوم حاصلخیزی خاک است (میرزائی، ۱۳۹۳). تحقیقات مختلفی در زمینه برآورد فرسایش و رسوب صورت گرفته است که از جمله قضاوی و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقی با هدف بررسی و برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی با استفاده از مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که میزان رسوب تولیدی سالیانه با روش‌های MPSIAC، EPM و PSIAC به ترتیب ۲۲/۰۵، ۱۴/۹ و ۱۲ تن بر هکتار می‌باشد و روش PSIAC نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر می‌باشد. محبوبی و پاسبان (۱۳۹۲) با استفاده از روش GIS و مدل اصلاح شده پسیاک در حوضه آبریز سرغایه - سریش اقدام به برآورد رسوب‌زایی کردند نتایج تحقیقات حاکی از آن بود که ۸۴/۷۶ درصد از سطح حوضه در رده IV (رسوب‌زایی زیاد) قرار دارند. جهان‌شاهی و همکاران در سال ۱۳۹۳ در حوضه آبخیز سدصفا در جنوب غرب شهر کرمان از سه مدل فرسایش رسوب MPSIAC، PSIAC و EPM استفاده کردند، نتایج نشان داد که میزان رسوب ویژه سالیانه با مدل‌های PSIAC، EPM، MPSIAC به ترتیب برابر ۵/۲۹۳ و ۵۸/۳۱۵ و ۹۴/۱۵۱۸ و مقدار رسوب واقعی ۶/۳۴۸ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال می‌باشد. تابش مقدم و لله‌گانی (۱۳۹۳) پژوهشی در حوضه زاخرد از توابع استان فارس با هدف بررسی تناسب مدل‌های MPSIAC، EPM در برآورد فرسایش و رسوب انجام دادند. مقدار فرسایش و رسوب متوسط با مدل MPSIAC به ترتیب، ۵۱ و ۳۴/۸ و با مدل EPM، ۵۶۴۶۸ و ۳۴۵ تن در هکتار بر سال به دست آوردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل MPSIAC دارای خطای کمتری می‌باشد. گودرزی و حقی‌زاده (۱۳۹۳) پژوهشی در حوضه آبخیز دهنو واقع در استان لرستان با هدف برآورد فرسایش و رسوب توسط دو مدل MPSIAC و EPM و مقایسه این دو مدل انجام دادند. نتایج نشان داد که فرسایش ویژه و رسوب ویژه در روش ام پسیاک به ترتیب ۱۶۸۸/۰۹ و ۵۵۷/۰۷ و در مدل EPM برابر با ۹۱۱/۴۳ و ۳۳۷/۲ مترمکعب بر کیلومتر مربع می‌باشد. همچنین نتایج بررسی مقایسه دو مدل نشان داد که مدل MPSIAC برآورد نزدیکتری به واقعیت را ارائه نموده است. علی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل تجربی MPSIAC اقدام به برآورد رسوب در حوضه آبخیز ایور استان خراسان شمالی نمودند. نتایج نشان داد که متوسط فرسایش منطقه ۷ تن در هکتار می‌باشد و مناطق مسیل با متوسط فرسایش ۴۵ تن در هکتار دارای

بیشترین فرسایش می‌باشند. لوپزوینت<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، از روش مورگان و فینی با هدف پیش‌بینی رواناب و رسوب و فرسایش خاک تحت ۴ سناریوی استفاده کرد. نتایج نشان داد که سرعت فرسایش ما بین ۱/۵ الی ۳/۷ برای سناریوهای کاربری اراضی متفاوت طبقه‌بندی شده است که با افزایش ترمیم پوشش گیاهی در مزارع رها شده کاهش می‌یابد. اندومبا (۲۰۱۳) در تحقیقی با استفاده از مدل MPSIAC مقدار تولید رسوب در حوضه‌های فاقد آمار واقع در جنوب غربی تانزانیا را تخمین نمود. مقدار BIAS در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۷/۸۸ و ۱۸/۱۲ درصد به دست آمد که نشان دهنده کارایی مدل در شبیه‌سازی رسوب منطقه می‌باشد. عبدوالله و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های تجربی MPSIAC، EMP و RUSLE مقدار فرسایش تولیدی در حوضه آبخیز امنیگا واقع در عراق را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل RUSLE از دقت مناسبی برخوردار نمی‌باشد ولی مدل‌های MPSIAC و EMP نتایج قابل قبولی دارند و نزدیک به یکدیگر می‌باشند. در بین این دو مدل نیز، مدل MPSIAC از لحاظ دقت مکانی از قابلیت بیشتری برخوردار می‌باشد. این تحقیق با هدف برآورد مقادیر فرسایش و رسوب توسط مدل MPSIAC و مدل توسعه‌ای MPSIAC (اسمعی، ۱۳۸۹) و مقایسه این دو مدل در حوضه آبخیز سعدل واقع در شمال استان آذربایجان غربی صورت گرفت. با توجه به اجرای مدل‌های تجربی در نتیجه استفاده از داده‌های متفاوت (نوع و دقت داده‌ها)، همواره موجب خطاهایی در برآوردها می‌گردد لذا در این تحقیق سعی شد که در برآورد تمامی پارامترهای دو مدل به‌طور دقیق از روش‌های علمی معتبر استفاده شود.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سعدل به مساحت ۲۶۶۳ هکتار در بین مختصات جغرافیایی ۳۱° ۱۱' ۴۴" الی ۵۴° ۱۹' ۴۴" طول شرقی و ۲۴° ۲۴' ۳۹" الی ۵۳° ۰۷' ۳۹" عرض شمالی در شهرستان چالدران استان آذربایجان غربی واقع شده است. این حوضه از طرف شمال به ارتفاعات کوه داش گلن و روستای بزغاله منتهی می‌شود قسمت خروجی حوضه از دشت همواری به نام دشت چالدران تشکیل شده است که در آن اراضی زراعی روستاهای سعدل، گل‌آشاقی و سیه‌چشمه قرار گرفته است و از غرب به ارتفاعات مرزی بین ایران و ترکیه محدود گردیده است. از نظر پراکنش آبادی‌ها در محدوده حوضه آبخیز روستاهای سعدل و چخورکندی قرار دارند. از نظر فیزیوگرافی، منطقه مورد مطالعه به ۸ زیرحوضه تقسیم شده است. مرتفع‌ترین نقطه حوضه آبخیز، دارای ارتفاع ۳۰۸۰ متر و پست‌ترین نقطه حوضه آبخیز، دارای ارتفاع ۱۸۱۷ متر است که اختلاف ارتفاع برحسب متر ۱۲۶۳ است. این حوضه به دلیل حاکم بودن شرایط کوهستانی و تغییرات ناگهانی شیب دارای خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی خاص می‌باشد؛ بنابراین وجود چنین شرایطی سبب افزایش آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه نسبت به فرسایش و سیلاب شده است. شکل ۱ موقعیت حوضه سعدل را در شمال غرب ایران، شمال استان آذربایجان غربی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز سعدل در شمال غرب ایران

مراحل انجام این پژوهش در ۳ بخش ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، اجرای مدل و بررسی و مقایسه مدل‌ها توضیح داده می‌شوند:

#### مدل MPSIAC

در این پژوهش بر اساس امتیاز داده شده به ۹ عامل ارائه شده در مدل MPSIAC (شامل عامل‌های زمین‌شناسی (X1)، خاک‌شناسی (X2)، آب و هوا (X3)، رواناب (X4)، پستی و بلندی (X5)، پوشش زمین (X6)، کاربری اراضی (X7)، وضعیت فرسایش فعلی (X8) و فرسایش کانالی (X9)) در منطقه درجه رسوب‌دهی (R) محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از درجه رسوب‌دهی میزان تولید رسوب سالانه ( $Q_s$ ) بر حسب مترمکعب بر کیلومترمربع طبق رابطه ۱ (اسمعی و عبداللهی، ۱۳۸۹) محاسبه گردید.

$$Q_s = 18.6e^{0.036R} \quad (1)$$

#### مدل Developed MPSIAC

این مدل همانند مدل MPSIAC بوده به طوری که از ۸ عامل جهت برآورد درجه رسوب‌دهی (M) با استفاده از جایگزینی پارامتر حساسیت به فرسایش سازند زمین‌شناسی ( $F_s$ ) به جای عامل زمین‌شناسی (X1)، فرساینده‌گی باران ( $P_e$ ) به جای عامل آب و هوا (X3)، هیدروگرافی تراکم آبراهه‌ها ( $H_d$ ) به جای پوشش زمین (X6)، عامل پوشش گیاهی NDVI به جای عامل کاربری اراضی (X7) و وضعیت زمینی فرسایش ( $E_f$ ) به جای عوامل وضعیت فرسایش فعلی (X8) و فرسایش کانالی (X9) جایگزین شده و توسط جدول مربوطه محاسبه می‌گردد (اسمعی و همکاران، ۱۳۸۶)؛ که برای محاسبه هر یک از عوامل جایگزین از رابطه‌های ۲ تا ۵ استفاده شد.

$$F_s = 10 - 0.6667S_n \quad (2)$$

$$Pe = 0.0069Pa \quad (۳)$$

$$Hd = 2.1705(Dd)^{0.6634} \quad (۴)$$

$$Hd = 2.1705(Dd)^{0.6634} \quad (۵)$$

که در آن  $Sn$ : ضریب مقاومت سنگ و سازند (فیض‌نیا، ۱۳۷۴)،  $Pa$ : متوسط بارش سالانه به میلی‌متر،  $Dd$ : متوسط تراکم زهکشی به کیلومتر بر کیلومترمربع و  $NDVI$ : مقدار عددی متوسط شاخص پوشش گیاهی نرمال شده می‌باشد. در نهایت با استفاده از درجه رسوبدهی میزان تولید رسوب سالانه ( $Q_s$ ) برحسب مترمکعب بر کیلومترمربع طبق رابطه ۶ (اسمعی و عبداللهی، ۱۳۸۹) محاسبه شد.

$$Q_s = 42.53e^{0.0253M} \quad (۶)$$

#### مدل WMS

مدل بارش- رواناب WMS یک سیستم جامع مدل‌سازی حوضه آبخیز می‌باشد. این مدل از جمله سیستم‌های مدل‌سازی هیدرولوژیک و هیدرولیک مربوط به حوضه آبخیز است. ورودی‌های این مدل شامل هواشناسی، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، کاربری اراضی و نوع خاک می‌باشد که به‌منظور محاسبه پارامترهای فیزیکی و مدل کردن بارش-رواناب در حوضه آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (سن و کاهیا، ۲۰۱۷). مدل WMS می‌تواند از طرح خودکاری از مرزهای حوضه آبریز و مقدار رواناب سیل حاصل از بارش را ارائه نماید. این مدل داده‌های مدل رقومی ارتفاعی و بانک اطلاعاتی GIS را به‌منظور ایجاد مدل حوضه آبخیز و پارامترهای مدل که شامل شماره منحنی آبخیز، تلفات اولیه و زمان تأخیر می‌باشد بهینه کرده و سپس مورد استفاده قرار می‌گیرد (اسحق نیموری، ۱۳۹۱).

#### اجرای مدل‌ها و مقایسه

جهت تهیه مرز حوضه از نقشه توپوگرافی و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد و از نظر فیزیوگرافی به هشت زیرحوضه شامل پنج زیرحوضه مستقل و سه زیرحوضه غیر مستقل تقسیم شد. به‌منظور تهیه عامل زمین‌شناسی در هر دو مدل از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه و با توجه به جدول ارائه شده در این مورد انجام گرفت و برای تهیه نقشه خاک‌شناسی که در هر دو مدل یکسان می‌باشد از نقشه خاک‌شناسی منطقه و نمونه‌های خاک که به صورت نقطه‌ای تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی استفاده شد به‌طوری‌که جهت نشان دادن پراکنش مناسب این نوع خاک در کل حوضه از روش درون‌یابی قطعی وزنی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های عامل آب و هوا و فرسایندگی باران از تعداد یازده ایستگاه باران‌سنجی به‌دلیل پراکنش مناسب استفاده شد. با توجه به این که آمار برخی ایستگاه‌ها دارای نواقص بود، بنابراین به منظور رفع نواقص آماری از روش نسبت نرمال استفاده شد. همچنین همگنی و تصادفی بودن داده‌ها با روش غیرنموداری ران‌تست به‌وسیله نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. آزمون همگنی ران تست تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی را همگن نشان داد. پس از بررسی و بهبود کیفیت داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته به بررسی تحلیل فراوانی، تغییرات مکانی پرداخته

شد. تحلیل فراوانی بارش با استفاده از نرم‌افزار EasyFit و آزمون نکوئی برازش کلموگراف- اسمیرنوف انجام شد. تغییرات مکانی بارش با استفاده از روش‌های معمول درون‌یابی قطعی و زمین آمار و انتخاب مناسب‌ترین مدل درون‌یابی بر اساس کمترین خطا انجام گرفت. جهت بررسی توزیع زمانی بارش از روش الگوی WMO ارائه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی استفاده شد (میرزائی، ۱۳۹۲).

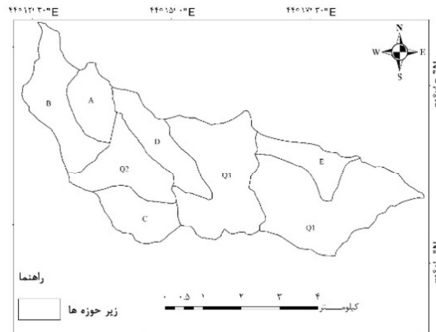
برای تهیه عامل هرزآب یا فرساینده‌ی رواناب از مدل بارش- رواناب WMS استفاده گردید. جهت تهیه شماره منحنی نیاز به نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک است. نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای Google earth و همچنین بازدیدهای میدانی تهیه شد سپس با انتقال آن به محیط برنامه ArcGIS اصلاحات مورد نیاز از نظر توپولوژی اعمال گردید. برای تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی، نقشه خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ و شیب حوضه استفاده شد و با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشه شماره منحنی تهیه شد. همچنین زمان تمرکز حوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها از طریق روش شماره منحنی به‌دست آمد.

شیب حوضه از اصلی‌ترین عوامل در بروز یا عدم بروز سیلاب در یک حوضه می‌باشد و تاثیر عمده‌ای بر روی زمان تمرکز، مقدار جریان، نفوذ آب و نحوه تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان رطوبت خاک دارد این عامل از طریق نقشه DEM برای حوضه و زیرحوضه‌ها تعیین شد.

برای تهیه عامل ششم که در مدل MPSIAC پوشش زمین می‌باشد از طریق عملیات میدانی در منطقه و با نظر کارشناسی میزان درصد اراضی لخت و بدون پوشش برای منطقه تهیه شد و این عامل در مدل توسعه‌ای تراکم زهکشی می‌باشد که از طریق طول کل آبراهه‌های حوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها بر مساحت آن‌ها به‌دست آمد. همچنین جهت تعیین عامل استفاده از زمین، از طریق برآورد درصد پوشش تاجی در هر یک از زیرحوضه‌ها و در مدل توسعه‌ای از طریق شاخص پوشش گیاهی NDVI در نرم‌افزار ERDAS به‌دست آمد.

برآورد وضعیت فرسایش سطحی حوضه (عامل هشتم) و فرسایش رودخانه‌ای (عامل نه) در مدل MPSIAC از روش BLM که توسط اداره مدیریت اراضی امریکا پیشنهاد شده است تعیین گردید و برای تعیین آخرین عامل استفاده شده در مدل توسعه که وضعیت زمینی فرسایش بوده و به جای عوامل هشت و نه لحاظ می‌گردد از جدول توصیه شده اسمعلی و همکاران (۱۳۸۹) استفاده شد.

در نهایت حجم و مقدار فرسایش و رسوب برای هر یک از زیرحوضه‌ها توسط مدل‌های مورد استفاده برآورد شد و نتایج برآورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از زیرحوضه‌ها، در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی و ارزیابی قرارگرفت. در شکل ۲ موقعیت هر یک از زیرحوضه‌ها در منطقه نشان داده شده است همچنین در جدول یک نیز مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌ها ارائه شده است.



شکل ۲: موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز سعدل

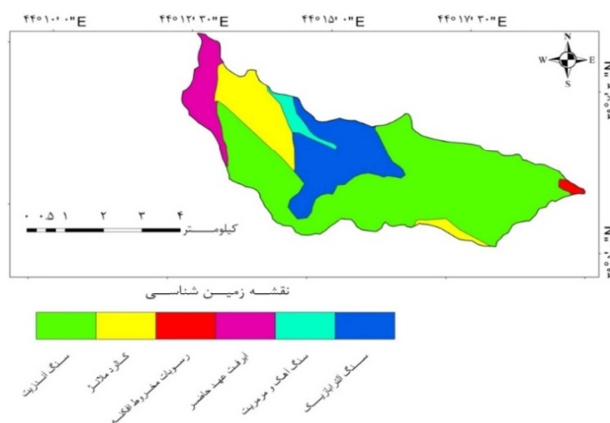
جدول ۱: مشخصات مورفومتری حوضه و زیرحوضه‌های حوضه آبخیز سعدل

| زیر حوضه       | مساحت (km <sup>2</sup> ) | محیط (km) | طول حوضه (km) | ضریب شکل هورتون (F.F.) | گراویوس (C.C.) | ضریب فشردگی (Rc) | ضریب گردی میلر (E) | شیب متوسط شیب (%) | تراکم زهکش (km <sup>2</sup> /km) |
|----------------|--------------------------|-----------|---------------|------------------------|----------------|------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------|
| A              | ۱/۸۲                     | ۵/۴۶۹     | ۲/۱۸۲         | ۰/۳۸۲                  | ۱/۱۴           | ۰/۷۶             | ۰/۷                | ۳۲/۹۳             | ۴/۹۴                             |
| B              | ۳/۴۰                     | ۱۰/۴۶۲    | ۴/۱۸۲         | ۰/۱۹۴                  | ۱/۶            | ۰/۳۹             | ۰/۴۹               | ۲۵/۴              | ۴/۱۰                             |
| C              | ۲/۰۵                     | ۶/۱۷۳     | ۲/۴۲          | ۰/۳۵                   | ۱/۲۱           | ۰/۶۷             | ۰/۶۷               | ۲۷/۸              | ۳/۰۹                             |
| D              | ۲/۴۳                     | ۸/۶۷      | ۳/۹۴۸         | ۰/۱۵۵                  | ۱/۵۷           | ۰/۴۱             | ۰/۴۴               | ۳۰/۰۵             | ۳/۴۹                             |
| E              | ۱/۷۴                     | ۷/۵۳۸     | ۲/۸۷۴         | ۰/۲۱                   | ۱/۶۱           | ۰/۳۸             | ۰/۵۱               | ۲۷/۰۴             | ۱/۸۳                             |
| Q <sub>1</sub> | ۶/۶۳                     | ۱۳/۵۹     | ۴/۸۰۵         | ۰/۲۸۷                  | ۱/۴۹           | ۰/۴۵             | ۰/۱۶               | ۴۲/۶۲             | ۳/۳۱                             |
| Q <sub>2</sub> | ۲/۹۵                     | ۸/۶۴      | ۲/۱۲۹         | ۰/۱۶۵                  | ۱/۴۵           | ۰/۴۹             | ۰/۹۱               | ۳۴/۲۶             | ۳/۷۷                             |
| Q <sub>3</sub> | ۵/۶۲                     | ۱۳/۱۰     | ۲/۸۵۸         | ۰/۱۶۸۸                 | ۱/۵۶           | ۰/۴۱             | ۰/۹۴               | ۳۰/۰۱             | ۲/۷۸                             |
| کل حوضه        | ۲۶/۶۳                    | ۲۹/۰۵     | ۱۲/۸۲۶        | ۰/۱۶۱                  | ۱/۵۹           | ۰/۳۹             | ۰/۴۵               | ۳۲/۸۷             | ۳/۴                              |

## نتایج و بحث

### بررسی عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب

بررسی عامل زمین‌شناسی در مدل MPSIAC نشان داد که بیشترین و کمترین امتیاز جهت ایجاد فرسایش و رسوب مربوط به سنگ‌های آندزیت و بستر رودخانه و رسوبات مخروط افکنه می‌باشد در صورتی که در مدل توسعه‌ای بیشترین میزان را نوع سنگ کالرد ملانژ و کمترین امتیاز مربوط به نوع زمین‌شناسی بستر رودخانه و رسوبات مخروط افکنه می‌باشد. بررسی عامل نشان داد که عامل خاک در زیرحوضه Q<sub>1</sub> بیشترین امتیاز را دارد و به تفسیری این زیرحوضه دارای خاک حساس به فرسایش را دارد. حداقل و حداکثر مقدار K در منطقه به ترتیب برابر با ۰/۱۷ و ۰/۲۳ به دست آمد. شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد.

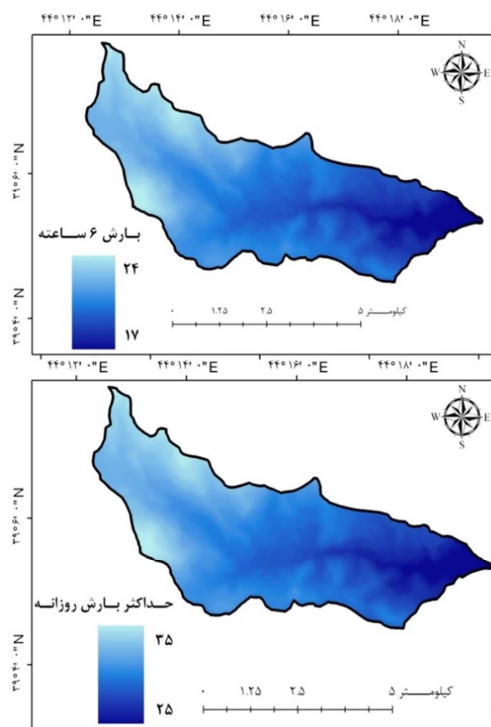


شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز سعدل

در برآورد عامل آب و هوا، بررسی نرمال بودن و همچنین آزمون همگنی داده‌های ۲۴ ساعته در ایستگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که تمامی داده‌های بارش همگن و نرمال بودند. نتایج مربوط به انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری در هر ایستگاه توسط نرم‌افزار Easy Fit با آزمون کلموگراف-اسمیرینف نشان داد ۲ ایستگاه با توزیع لوگ نرمال ۳ پارامتری و ۳ ایستگاه لوگ پیرسون ۳ پارامتری و ۴ ایستگاه توزیع لوگ نرمال و یک ایستگاه توزیع لوگ پیرسون مناسب‌ترین برازش را داشتند. نتایج بررسی و انتخاب بهترین توزیع از بین توزیع‌ها نشان داد که توزیع لوگ نرمال ۳ پارامتره به‌عنوان بهترین توزیع احتمالاتی برای منطقه می‌باشد لذا برای دوره‌های بازگشت مختلف بارش ۲۴ ساعته برای هر ایستگاه از این توزیع استفاده گردید. نتایج حاصل از بررسی عامل فرساینده‌گی باران نشان داد که ارتباط متوسط بارش سالانه با ارتفاع از سطح دریا با استفاده از رگرسیون، یک رابطه‌ی افزایشی است که کمترین بارش سالانه مربوط به قسمت‌های شرقی حوضه و بیشترین آن در قسمت‌های غربی حوضه اتفاق می‌افتد. در بررسی عامل آب و هوا با دو مدل MPSIAC و مدل توسعه‌ای نتایج حاکی از آن است که با افزایش مقدار بارش سالانه و ۶ ساعته حوضه، مقدار امتیاز عامل آب و هوا افزایش پیدا می‌کند.

حداقل امتیاز عامل آب و هوا در هر دو مدل مربوط به زیرحوضه  $Q_1$  می‌باشد که این زیرحوضه از لحاظ موقعیت قرارگیری در قسمت شرقی و خروجی حوضه واقع شده است و دارای حداقل ارتفاع و به تبع آن حداقل بارش سالانه و ۶ ساعته را دارد. همچنین حداکثر میزان امتیاز عامل آب و هوا در دو مدل مربوط به زیرحوضه‌های A و B می‌باشد. در شکل ۴ نقشه حداکثر بارش روزانه و بارش ۶ ساعته برای دوره بازگشت دو سال حوضه آبخیز سعدل نشان داده شده است.





شکل ۴: حداکثر بارش روزانه و بارش ۶ ساعته برای دوره بازگشت دو سال

با توجه به اینکه زمان تمرکز حوضه کمتر از ۶ ساعت می‌باشد و در روش SCS هیدروگراف طرح براساس باران‌های ۶ ساعته استخراج می‌گردد لذا در این پژوهش متوسط حداکثر بارش روزانه با دوره بازگشت دو سال به بارش ۶ ساعته تبدیل شد که این بارش جهت شبیه‌سازی در نرم افزار WMS مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین عامل رواناب از طریق روش شماره منحنی نقشه شماره منحنی را از تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی تهیه شد به طوری که جهت تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و همچنین بازدیدهای میدانی استفاده شد بر این اساس بیشترین درصد مساحت به ترتیب مربوط به مراتع کم تراکم (۷۷/۸۴ درصد) و اراضی فاقد پوشش (۱۵/۳ درصد) و کمترین آن به ترتیب مربوط به اراضی مراتع متراکم (۰/۹۵ درصد) و اراضی روستایی (۰/۴۳ درصد) می‌باشد. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه سعدل با استفاده از نقشه خاک-شناسی و شیب منطقه تهیه شد. براساس آن گروه هیدرولوژیکی C بیشترین درصد مساحت (۹۷/۶ درصد) و A کمترین درصد مساحت (۲/۲۱ درصد) را در منطقه دارد. پس از تلفیق نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه هیدرولوژیکی، در نهایت نقشه شماره منحنی تهیه شد. بیشترین درصد مساحت در حوضه مربوط به شماره منحنی ۸۵ (۲۹/۳ درصد) می‌باشد. متوسط وزنی شماره منحنی حوضه ۷۹/۷۹ است. همچنین بیشترین متوسط وزنی شماره

منحنی مربوط به زیرحوضه A و کمترین مربوط به زیرحوضه E می‌باشد. در جدول ۲ برخی پارامترهای هر یک از زیرحوضه‌ها ارائه شده است.

جدول ۲: برخی مشخصات زیرحوضه‌های حوضه آبخیز سعدل

| زیرحوضه                   | A     | B     | C     | D     | E     | Q1    | Q2    | Q3    | کل    |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| متوسط حداکثر بارش ۶ ساعته | ۲۱/۹۹ | ۲۲/۱۱ | ۲۰/۹  | ۲۱/۱۶ | ۱۹/۳۸ | ۱۸/۹۲ | ۲۱/۲  | ۲۰/۳  | ۲۰/۴۶ |
| بارش سالانه               | ۴۶۳   | ۴۶۵   | ۴۳۶   | ۴۴۲   | ۳۹۹   | ۳۸۷   | ۴۴۳   | ۴۲۱   | ۴۲۵   |
| شماره منحنی               | ۸۵    | ۸۵    | ۸۵    | ۷۴    | ۷۹    | ۷۹    | ۸۵    | ۷۴    | ۷۹/۷۹ |
| STRTL (اینچ)              | ۰/۳۵۲ | ۰/۳۵۲ | ۰/۳۵۲ | ۰/۷۰۴ | ۰/۵۳۱ | ۰/۵۳۱ | ۰/۳۵۱ | ۰/۷۰۴ | ۰/۵۰۶ |
| زمان تمرکز (دقیقه)        | ۳۰    | ۴۰    | ۳۶    | ۵۲    | ۶۸    | ۵۸    | ۴۴    | ۵۶    | ۱۲۴   |

برآورد حداکثر سیلاب زیرحوضه‌های حوضه آبخیز سعدل با دوره بازگشت ۲ سال پس از آماده‌سازی تمام داده‌های پایه و ضریب STRTL با روش SCS با نرم‌افزار WMS شبیه‌سازی صورت گرفت. شایان ذکر است STRTL از رابطه زیر محاسبه می‌شود (میرزائی، ۱۳۹۲).

$$STRTL = \frac{0.2 * (1000 - 10 * CN)}{CN} \quad (7)$$

که در آن CN، شماره منحنی حوضه می‌باشد.

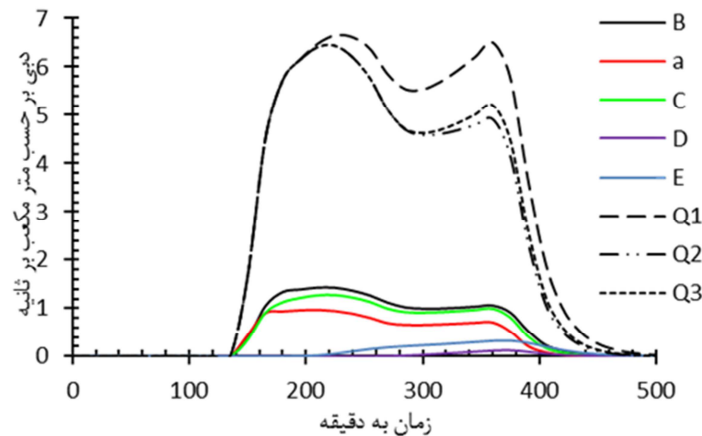
حداکثر دبی سیلاب، دبی ویژه، حجم و ارتفاع رواناب با دوره بازگشت ۲ ساله هر یک از زیرحوضه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج بررسی برآورد حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت دو سال و عامل رواناب

| زیرحوضه        | حداکثر دبی (m3/s) | حجم سیلاب (m3) | دبی ویژه (m3/s/Km2) | ارتفاع رواناب (mm) |
|----------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| A              | ۰/۹۶۹             | ۱۱۲۳۶          | ۰/۶۵۴               | ۷/۶                |
| B              | ۱/۴۲۹             | ۱۶۸۶۳          | ۰/۶۵۵               | ۷/۷۳               |
| C              | ۱/۲۷۵             | ۱۵۰۰۲          | ۰/۵۵                | ۶/۵                |
| D              | ۰/۱۲۳             | ۶۴۴            | ۰/۰۵۷               | ۰/۳                |
| E              | ۰/۳۲۶             | ۳۹۱۳           | ۰/۱۲۳               | ۱/۲                |
| Q <sub>1</sub> | ۶/۶۴۹             | ۸۸۹۴۹          | ۰/۸۵۳               | ۱۱/۴۱              |
| Q <sub>2</sub> | ۶/۴۳۶             | ۷۶۲۹۰          | ۱/۳۱                | ۱۵/۶۳              |
| Q <sub>3</sub> | ۶/۴۳۶             | ۷۷۸۶۷          | ۱/۱۱۱               | ۱۳/۴۴              |

نتایج حاصل از بررسی عامل رواناب نشان داد که بیشترین دبی ویژه را به ترتیب زیرحوضه‌های Q<sub>2</sub>، Q<sub>3</sub> و Q<sub>1</sub> با میزان ۱/۳۱، ۱/۱۱۱ و ۰/۸۵۳ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع و همچنین کمترین دبی ویژه را زیرحوضه D با مقدار

۰/۰۵۷ متر مکعب بر ثانیه دارا می‌باشند. شکل ۵ هیدروگراف‌های حداکثر سیلاب برای دوره بازگشت ۲ ساله هر یک از زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.



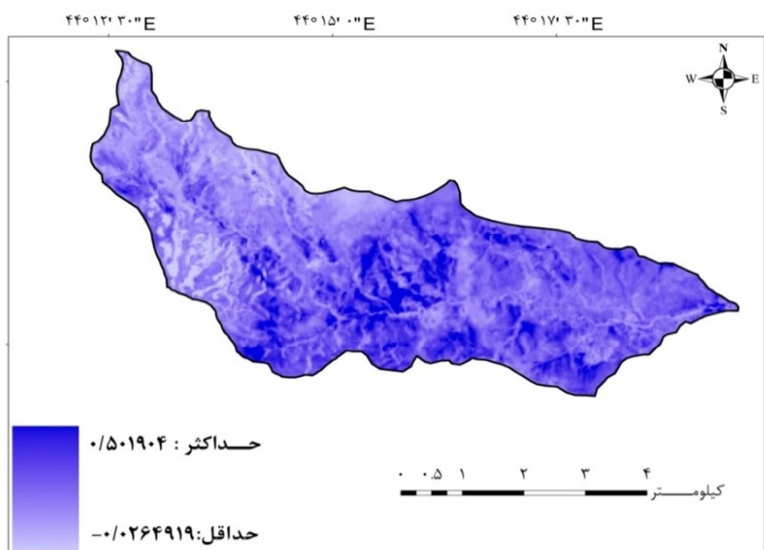
شکل ۵: هیدروگراف سیل هر یک از زیرحوضه‌ای حوضه آبخیز سعدل

با توجه به کوهستانی بودن منطقه، حوضه آبخیز سعدل دارای شیب بالایی می‌باشد به طوری که قسمت اعظم آن مربوط به طبقه ۳۰ تا ۶۵ درصد می‌باشد. در بررسی متوسط شیب هر یک از زیرحوضه‌ها، بیشترین متوسط شیب را زیرحوضه Q<sub>1</sub> واقع در خروجی حوضه و حداقل متوسط شیب را زیرحوضه B در غربی‌ترین قسمت حوضه دارا می‌باشند. به طوری که بیشترین امتیاز را زیرحوضه Q<sub>1</sub> و کمترین امتیاز را زیرحوضه B از لحاظ تولید فرسایش و رسوب را دارند.

بررسی درصد خاک لخت در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز سعدل نشان می‌دهد که هر قدر مساحت خاک لخت در حوضه بیشتر باشد امتیاز عامل پوشش زمین بیشتر شده و در نتیجه زیرحوضه مورد نظر دارای تولید رسوب و فرسایش بیشتری می‌باشد. نتایج نشان داد که حداکثر امتیاز عامل پوشش زمین در این بررسی مربوط به زیرحوضه‌های E و Q<sub>1</sub> و همچنین حداقل آن در زیرحوضه D می‌باشد. همچنین بررسی تراکم زهکشی در زیرحوضه‌ها نشان داد که تراکم زهکشی در قسمت‌های غربی حوضه آبخیز سعدل بیشتر می‌باشد و در زیرحوضه A و B بیشترین مقدار تراکم را داریم و حداقل تراکم زهکشی مربوط به زیرحوضه E می‌باشد.

بررسی عامل هفتم در مدل توسعه‌ای، عامل پوشش گیاهی با شاخص NDVI می‌باشد که مقدار شاخص به دست آمده از پوشش گیاهی بین -۱ تا +۱ متغیر می‌باشد. شاخص پوشش گیاهی NDVI تهیه شده برای منطقه از طریق نرم‌افزار سنجش از دور ERDAS و با استفاده از باندهای ۳ و ۴ تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT8 منطقه تهیه شد. نتایج این بررسی حاکی از آن بود که حداکثر میزان پوشش گیاهی در زیرحوضه‌های Q<sub>3</sub> و C و حداقل پوشش گیاهی مربوط به زیرحوضه‌های A و B می‌باشد. در بررسی نحوه استفاده از اراضی نتایج نشان داد که حداقل مقدار تاج پوشش را زیرحوضه‌های Q<sub>1</sub> و E دارا می‌باشند و این به خاطر نزدیکی به روستاها، بهره‌برداری بی‌رویه و وجود معادن

برداشت خاک صنعتی در این دو حوضه می‌باشد و هر قدر به بالا دست حوضه یعنی سمت غرب حرکت کنیم بر میزان پوشش افزوده شده تا جایی که دمای محیط باعث محدودیت رشد پوشش گیاهی در زیرحوضه‌های A، B و C گردیده است. در شکل ۶ نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI نشان داده شده است.



شکل ۶: نقشه NDVI حوضه آبخیز سعدل

عامل هفت در مدل MPSIAC با استفاده از مدل B.L.M تهیه شد بررسی این عامل نشان داد که بیشترین تأثیر بر روی فرسایش و تولید رسوب در تمامی زیرحوضه‌ها وجود شیارهای سطحی می‌باشد و دارای حداکثر امتیاز می‌باشد همچنین حداقل امتیاز مربوط به عامل پوشش سنگی می‌باشد. در این بررسی حداکثر امتیاز مربوط به زیرحوضه‌های E و Q<sub>1</sub> می‌باشد. در روش توسعه‌ای کمترین امتیاز عامل نحوه‌ی استفاده از اراضی در زیرحوضه‌های Q<sub>3</sub>، C و D می‌باشند. بررسی امتیاز وضعیت زمینی فرسایش در مدل برآورد فرسایش و تولید رسوب توسعه‌ای که به جای عوامل هشت و نه می‌باشد نشان داد که در این روش نیز همانند مدل MPSIAC بیشترین امتیاز را زیرحوضه‌های E و Q<sub>1</sub> دارند در زیرحوضه‌های A، B و Q<sub>2</sub> در هر دو مدل برآوردی امتیاز یکسانی دارند. با توجه به کوهستانی بودن حوضه آبخیز سعدل در ایجاد فرسایش کناری و همچنین استفاده از امتیاز این عامل در نقشه وضعیت زمینی فرسایش و توجه به نظرات کارشناسان متخصص در این مورد، نتیجه‌گیری نهایی بر این مبنا استوار گردید که امتیاز عامل نه (فرسایش خندقی) در مدل MPSIAC صفر در نظر گرفته شود. لذا دادن امتیاز به این عامل مقدار فرسایش را در حوضه بیش از حد معمول نشان می‌دهد ضمن اینکه این پارامتر در امتیازدهی عامل هشتم لحاظ شده است. در جدول ۴ مشخصات عوامل نه‌گانه و مجموع امتیازات مدل MPSIAC و در جدول ۵ عوامل هشت‌گانه مدل توسعه‌ای ارائه شده است.

جدول ۴: محاسبه امتیازهای نه‌گانه مدل MPSIAC

| جمع نمرات (R) | فرسایش رودخانه‌های | وضعیت فرسایش در سطح حوضه | استفاده از زمین | پوشش سطح زمین | توپوگرافی | روائاب | آب و هوا | خاکشناسی | زمین شناسی | زیر حوضه       |
|---------------|--------------------|--------------------------|-----------------|---------------|-----------|--------|----------|----------|------------|----------------|
| ۵۲/۷          | ۰                  | ۹                        | ۱۰/۱۶           | ۳/۹۶          | ۱۰/۸۷     | ۶/۵۹   | ۴/۴      | ۳/۳۴     | ۴/۳۸       | A              |
| ۴۹/۷۶         | ۰                  | ۹                        | ۱۰/۱۶           | ۳/۹۶          | ۸/۳۸      | ۶/۶    | ۴/۴۲     | ۳/۳۴     | ۳/۹        | B              |
| ۴۹/۴۷         | ۰                  | ۹                        | ۱۰/۱۶           | ۳/۹۶          | ۹/۱۸      | ۵/۵۴   | ۴/۱۸     | ۳/۳۵     | ۴/۱۱       | C              |
| ۴۴/۱۱         | ۰                  | ۱۰/۹                     | ۹/۲۳            | ۳/۰۱          | ۹/۹۲      | ۰/۵۷   | ۴/۲۳     | ۳/۳۵     | ۲/۹        | D              |
| ۵۰/۵۴         | ۰                  | ۱۳/۵۸                    | ۱۰/۷            | ۴/۲           | ۸/۹۲      | ۱/۳۴   | ۳/۸۸     | ۳/۴۳     | ۴/۵        | E              |
| ۶۲/۸۲         | ۰                  | ۱۳/۵۸                    | ۱۰/۷            | ۴/۲           | ۱۴/۰۷     | ۶/۸    | ۳/۷۹     | ۳/۴۷     | ۴/۴۳       | Q <sub>1</sub> |
| ۵۷/۹۷         | ۰                  | ۹                        | ۹/۲۳            | ۳/۹۶          | ۱۱/۳۱     | ۱۳/۱۹  | ۴/۲۴     | ۳/۳۴     | ۳/۷۱       | Q <sub>2</sub> |
| ۵۵/۵۳         | ۰                  | ۱۰/۹                     | ۹/۲۳            | ۳/۰۱          | ۹/۹۰      | ۱۱/۱۹  | ۴/۰۶     | ۳/۴۳     | ۳/۸۱       | Q <sub>3</sub> |

جدول ۵: محاسبه امتیازهای هشت‌گانه مدل توسعه‌ای

| جمع نمرات (M) | وضعیت زمینی فرسایش | پوشش گیاهی | تراکم زهکشی | توپوگرافی | روائاب | فرسایش باران | خاکشناسی | زمین شناسی | زیر حوضه       |
|---------------|--------------------|------------|-------------|-----------|--------|--------------|----------|------------|----------------|
| ۴۲/۶۸         | ۹                  | -۰/۹۵      | ۶/۳۷        | ۱۰/۸۷     | ۶/۵۹   | ۳/۲۱         | ۳/۳۴     | ۴/۳۶       | A              |
| ۳۹/۰۵         | ۹                  | -۰/۹۳      | ۴/۵۴        | ۸/۳۸      | ۶/۶    | ۳/۲۱         | ۳/۳۴     | ۳/۹۱       | B              |
| ۳۵/۳۵         | ۷                  | -۱/۷۷      | ۴/۵۹        | ۹/۱۸      | ۵/۵۴   | ۳/۰۱         | ۳/۳۵     | ۴/۴۵       | C              |
| ۳۱/۲۰         | ۷                  | -۱/۲۸      | ۴/۹۸        | ۹/۹۲      | ۰/۵۷   | ۳/۰۵         | ۳/۳۵     | ۳/۶۱       | D              |
| ۳۸/۶۹         | ۱۶                 | -۱/۶۷      | ۳/۲۵        | ۸/۹۲      | ۱/۳۴   | ۲/۷۵         | ۳/۴۳     | ۴/۶۷       | E              |
| ۵۲/۵۵         | ۱۶                 | -۱/۶۷      | ۴/۸۱        | ۱۴/۰۷     | ۸/۶    | ۲/۶۸         | ۳/۴۷     | ۴/۶۲       | Q <sub>1</sub> |
| ۴۸/۰۶         | ۹                  | -۱/۲۵      | ۵/۲۴        | ۱۱/۳۱     | ۱۳/۱۹  | ۳/۰۶         | ۳/۳۴     | ۴/۱۷       | Q <sub>2</sub> |
| ۴۱/۲۵         | ۷                  | -۱/۷۵      | ۴/۳۸        | ۹/۹۰      | ۱۱/۱۹  | ۲/۹۱         | ۳/۴۳     | ۴/۲۹       | Q <sub>3</sub> |

پس از به‌دست آوردن مجموع عوامل برای هر یک از زیرحوضه‌ها، با استفاده از رابطه ارایه شده در هر دو مدل برآورد فرسایش و تولید رسوب اقدام به محاسبه حجم رسوب، وزن مخصوص رسوب، رسوب ویژه و کل برای هر یک از زیرحوضه‌ها صورت گرفت. نتایج در جدول شماره ۶ و ۷ به‌ترتیب برای مدل MPSIAC و مدل توسعه‌ای ارایه شده است.

جدول ۶: نتایج محاسبات رسوب‌دهی ویژه حوضه آبخیز سعدل به روش MPSIAC

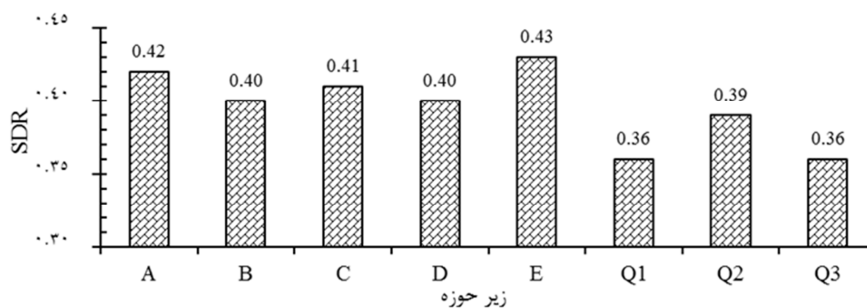
| زیر حوضه | مساحت (km <sup>2</sup> ) | درجه رسوب‌دهی (R) | دبی رسوب ویژه m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year | وزن مخصوص خاک | رسوب ویژه ton/km <sup>2</sup> /year | رسوب کل ton/year |
|----------|--------------------------|-------------------|---|---------------|-------------------------------------|------------------|
| A        | ۱/۸۲                     | ۵۲/۷              | ۱۲۳/۲۹  | ۱/۳۶          | ۱۶۷/۶۸                              | ۳۰۴/۴۳           |
| B        | ۳/۴۰                     | ۴۹/۷۶             | ۱۱۰/۹۵  | ۱/۳۶          | ۱۵۰/۸۹                              | ۵۱۲/۷۲           |
| C        | ۲/۰۵                     | ۴۹/۴۷             | ۱۰۹/۸۰  | ۱/۳۶          | ۱۴۹/۳۳                              | ۳۰۵/۵۴           |
| D        | ۲/۴۳                     | ۴۴/۱۱             | ۹۰/۵۸   | ۱/۳۶          | ۱۲۳/۱۹                              | ۲۹۹/۰۳           |
| E        | ۱/۷۴                     | ۵۰/۵۴             | ۱۱۴/۱۰  | ۱/۳۶          | ۱۵۵/۱۷                              | ۲۷۰/۷۲           |
| Q1       | ۶/۶۳                     | ۶۲/۸۲             | ۱۷۷/۲۹  | ۱/۳۶          | ۲۴۱/۱۱                              | ۱۵۹۸/۵۶          |
| Q2       | ۲/۹۵                     | ۵۷/۹۷             | ۱۴۸/۹۷  | ۱/۳۶          | ۲۰۲/۵۹                              | ۵۹۷/۵۴           |
| Q3       | ۵/۶۲                     | ۵۵/۵۳             | ۱۳۶/۴۸  | ۱/۳۶          | ۱۸۵/۶۱                              | ۱۰۴۳/۶۶          |

جدول ۷: نتایج محاسبات رسوب‌دهی ویژه حوضه آبخیز سعدل به روش مدل توسعه‌ای

| زیر حوضه | مساحت (km <sup>2</sup> ) | درجه رسوب‌دهی (M) | دبی رسوب ویژه m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year | وزن مخصوص خاک | رسوب ویژه ton/km <sup>2</sup> /year | رسوب کل ton/year |
|----------|--------------------------|-------------------|---|---------------|-------------------------------------|------------------|
| A        | ۱/۸۲                     | ۴۲/۶۸             | ۱۲۴/۸۱  | ۱/۳۶          | ۱۶۹/۷۵                              | ۳۰۸/۱۸           |
| B        | ۳/۴۰                     | ۳۹/۰۵             | ۱۱۳/۸۹  | ۱/۳۶          | ۱۵۴/۸۹                              | ۵۲۶/۳۱           |
| C        | ۲/۰۵                     | ۳۵/۳۵             | ۱۰۳/۷۳  | ۱/۳۶          | ۱۴۱/۰۷                              | ۲۸۸/۶۴           |
| D        | ۲/۴۳                     | ۳۱/۲              | ۹۳/۴۲   | ۱/۳۶          | ۱۲۷/۰۶                              | ۳۰۸/۴۰           |
| E        | ۱/۷۴                     | ۳۸/۶۹             | ۱۱۲/۸۴  | ۱/۳۶          | ۱۵۳/۴۷                              | ۲۶۷/۷۵           |
| Q1       | ۶/۶۳                     | ۴۶/۲۸             | ۱۳۶/۶۵  | ۱/۳۶          | ۱۸۵/۸۵                              | ۱۲۳۲/۱۶          |
| Q2       | ۲/۹۵                     | ۴۰/۸۵             | ۱۱۹/۱۷  | ۱/۳۶          | ۱۶۲/۰۷                              | ۴۷۸/۰۱           |
| Q3       | ۵/۶۲                     | ۳۳/۵۱             | ۹۹/۰۲   | ۱/۳۶          | ۱۳۴/۶۷                              | ۷۵۷/۲۳           |

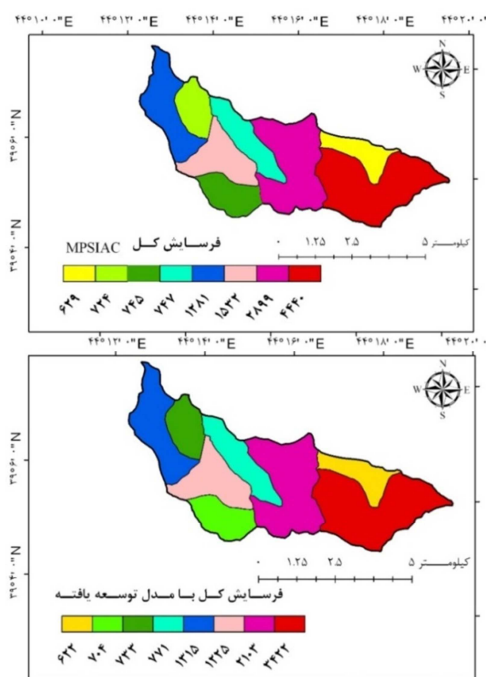
### تعیین میزان SDR

هرچه میزان رسوب‌گذاری در حوضه بیشتر باشد میزان SDR کاهش خواهد یافت. برای به‌دست آوردن ضریب SDR علاوه بر رسوب بایستی میزان فرسایش را نیز در دست داشت در هر دو روش MPSIAC و مدل توسعه‌ای میزان SDR از روی نمودار مربوطه با توجه به مساحت زیرحوضه‌ها مشخص می‌گردد. با توجه به دید صحرائی از حوضه و وجود کوه‌های متعدد با شیب زیاد و مساحت کم در مسیر عبور جریان عامل موثر در این حوضه در میزان SDR مساحت می‌باشد که از رابطه مساحت استفاده شد. شکل ۷ نمودار مقدار ضریب رسوب‌زائی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: نمودار مقدار SDR به تفکیک زیرحوضه‌ها

بررسی میزان رسوب‌زائی زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که زیرحوضه E با داشتن حداقل مساحت دارای بیشترین ضریب در حدود ۰/۴۳ و زیرحوضه Q<sub>1</sub> دارای کمترین میزان ضریب رسوب‌زائی ۰/۳۶ را دارند. با افزایش میزان رسوب‌زائی در زیرحوضه‌ها مقدار فرسایش در آن‌ها کاهش پیدا کرده به طوری که حداکثر فرسایش در زیرحوضه Q<sub>1</sub> در دو مدل برآورد فرسایش و تولید رسوب توسعه‌ای و مدل MPSIAC به ترتیب برابر با ۳۴۲۲ و ۴۴۴۰ تن در سال و کمترین میزان فرسایش در زیرحوضه E در مدل توسعه‌ای برابر با ۶۲۲ تن و در مدل MPSIAC در زیرحوضه E برابر با ۶۲۹ تن در سال ایجاد می‌شود. شکل ۸ نقشه فرسایش حوضه نشان داده شده است.



شکل ۸: نقشه مقدار فرسایش کل حوضه آبخیز سعدل

### طبقه‌بندی شدت رسوبدهی زیرحوضه‌ها

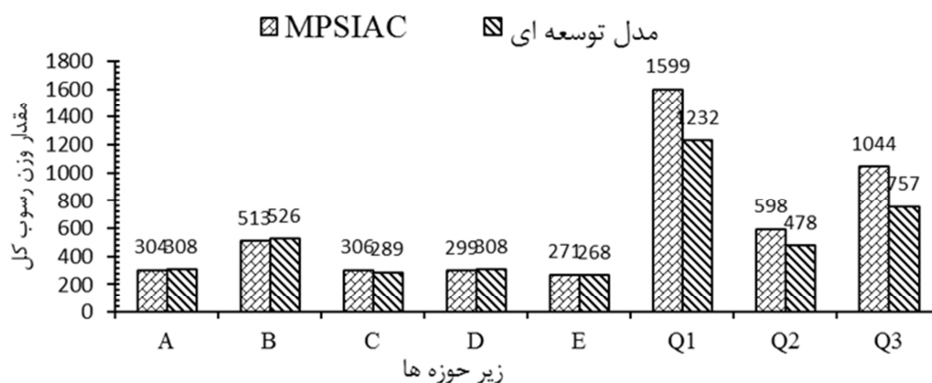
تعیین کلاس‌های رسوبدهی و شدت فرسایش در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز سعدل با استفاده از مدل MPSIAC نشان داد که میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه و زیرحوضه‌های آن کم و در زیرحوضه D خیلی کم می‌باشد همچنین نتایج مدل توسعه‌ای نشان داد که تمامی زیرحوضه‌ها به غیر از زیرحوضه D که دارای کلاس خیلی کم می‌باشد دارای کلاس کم بوده و در دومین طبقه شدت رسوبدهی قرار گرفته‌اند.

### نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل آماری و نتایج به‌دست آمده بین عوامل نه‌گانه مؤثر در ایجاد رسوب و فرسایش با رسوب ویژه حوضه آبخیز سعدل با استفاده از مدل MPSIAC نشان داد که فرسایش خاک و تولید رسوب رابطه مستقیم با نوع خاک و متوسط شیب حوضه و سایر اشکال فرسایشی دارد یعنی به هر میزان شیب تشدید گردد قطعاً میزان رسوبدهی آن افزایش خواهد یافت بدین ترتیب میزان تولید رسوب در حوضه متناسب با افزایش شدت شیب ازدیاد می‌یابد. همچنین بررسی روابط همبستگی بین عوامل هشت‌گانه تولید رسوب و فرسایش در مدل توسعه‌ای نشان داد که متوسط شیب حوضه و عامل رواناب بیشترین تأثیر را بر روی افزایش تولید رسوب در منطقه دارد و با افزایش مقدار این دو عامل منجر به افزایش رسوب و فرسایش در حوضه می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش بارش سالانه در حوضه میزان فرسایش و رسوب کاهش می‌یابد و رابطه آن به‌صورت معکوس می‌باشد این موضوع به نظر می‌رسد که تأثیر بارش در رشد بهتر مرتع در این منطقه و به تبع آن افزایش تراکم پوشش گیاهی می‌گردد که مستقیماً بر روی فرسایش و رسوب تأثیرگذار می‌باشد.

نتایج بررسی برآورد رسوب کل تولیدی در هر یک از زیرحوضه‌ها نشان داد که بیشترین مقدار رسوب تولیدی در زیرحوضه Q<sub>1</sub> در هر دو مدل برآوردی (۱۵۹۹ تن در مدل MPSIAC و ۱۲۳۲ تن در مدل توسعه‌ای) و کمترین میزان رسوب کل در هر دو مدل مربوط به زیرحوضه E بدست آمده است. بیشترین اختلاف برآورد رسوب کل در حوضه آبخیز سعدل در دو مدل برآوردی در زیرحوضه‌های Q<sub>1</sub> و Q<sub>3</sub> به ترتیب ۳۶۷ و ۲۸۷ تن می‌باشد. شکل ۹ نمودار مقدار رسوب کل هر یک از زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.





شکل ۹: نمودار مقدار وزن رسوب کل در هر یک از زیرحوضه‌ها

نتایج تحقیق حاضر مطابق با نتایج تحقیق‌های آرخی (۱۳۸۷)، رستمی (۱۳۸۸)، اوپانگ (۲۰۱۰) و فلاح‌پور طرنجی (۱۳۹۳) مطابقت داشته و به‌طور کلی فرسایش و تولید رسوب در این منطقه در حد کم می‌باشد.

## منابع

- اسحق‌نیموری محمدعلی؛ حبیب‌نژاد محمود؛ کاویان عطاله؛ شاهدی کاکا (۱۳۹۱). برآورد سیلاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WMS و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب با آن (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالوس). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، شماره دوم، صص ۱۱۸-۱۰۱.
- اسمعیلی اباذر؛ عبداللهی خدایار (۱۳۸۹). آبخیزداری و حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، ص ۷۷.
- اسمعیلی اباذر؛ احمدی حسن؛ فیض‌نیا سادات؛ قدوسی جمال (۱۳۸۶). مدلسازی فرسایش و تولید رسوب و تهیه نقشه خطر فرسایش آبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالغلی چای، اردبیل) چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران - مدیریت حوضه‌ی آبخیز، کرج، ۱-۲، اسفند دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- آرخی صالح؛ نظری رحیم (۱۳۸۷). پهنه‌بندی شدت فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC اصلاح شده در محیط GIS مطالعه حوضه‌ی آبخیز ایلام. مجله‌ی پژوهش آب ایران. شماره سوم، صص ۷۷-۸۱.
- تابش‌مقدم محمدتقی؛ لنگانی بختیار (۱۳۹۳). بررسی تناسب مدل‌های MPSIAC, EPM در برآورد فرسایش و رسوب در سامانه اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی حوضه زاخرد استان فارس. اولین همایش ملی توسعه پایدار منابع طبیعی تجدید شونده. ۲۴ مهرماه، همدان.
- جهانشاهی افشین؛ نهتانی محمد؛ آبکار علیجان (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی مدل‌های MPSIAC و PSIAC, EPM در برآورد فرسایش و رسوب در اقلیم نیمه خشک. اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست. ۱۹ و ۲۰ شهریور، دانشگاه باهنر کرمان.
- حمیدی ابوالحسن؛ اعلمی محمدتقی (۱۳۹۳). بررسی نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه آبریز سد سیلوه. دومین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. ۲۱ مهر، موسسه آموزش عالی مهر اروند با همکاری گروه ترویجی دستداران محیط زیست. تهران.
- رستمی سجاده؛ کریمی حاجی (۱۳۸۸). مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی سد ایلام با استفاده از روش MPSIAC اصلاح شده و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی GIS. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

رفیعی بهروز؛ کمانی نعمت‌الله؛ خدابخش سعید؛ برزگزاده عیسی (۱۳۸۹). اجرا و کالیبراسیون مدل تجربی MPSIAC توسط شرایط فیزیکی حاکم بر حوضه، مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه بختیاری، استان لرستان. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره چهاردهم، صص ۶۳-۷۱.

سلیمانی‌ساردو فرشاد (۱۳۹۳). کاربرد مدل MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب. دومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار. ۲۰ اسفند. تهران، دانشگاه شهید بهشتی.

عابدینی موسی؛ شبرنگ شنو؛ اسمعیلی اباذر (۱۳۹۲). بررسی میزان فرسایش خاک و رسوبدهی در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای به روش EPM. مجله جغرافیا و توسعه، شماره سی‌ام. صص ۱۰۰-۸۷.

علی‌پور حمید؛ ملکیان آرش؛ خیرخواه‌زرکش میرمسعود؛ قره‌چلو سعید (۱۳۹۵). برآورد شدت فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز ایور با استفاده از روش تجربی MPSIAC. جغرافیا و توسعه، شماره چهل و پنجم. صص ۲۶۸-۲۴۳.

فلاح‌پور طرنجی مرتضی (۱۳۹۳). تعیین شدت فرسایش و رسوب‌زایی اراضی با استفاده از مدل MPSIAC و GIS، مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاء، استان یزد. فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره دوم، بهار.

فیض‌نیا سادات (۱۳۷۴). مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران. شماره چهل و هفتم. صص ۹۵-۱۱۶.

قضاوی رضا؛ ولی عباسعلی؛ مقامی یاسر؛ عبدی ژاله؛ شرفی سیامک (۱۳۹۱). مقایسه‌ی مدل‌های MPSIAC، EPM و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS. مجله جغرافیا و توسعه، تابستان، شماره بیست و هفتم. صص ۱۲۶-۱۱۷.

گودرزی سحر؛ حقی‌زاده علی (۱۳۹۳). مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از تکنیک‌های GIS در حوضه آبخیز دهنو-پرسانه (استان لرستان). اولین کنگره ملی الکترونیکی زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران. ۲۰ آذر، تهران.

گودرزی سحر؛ نورمحمدی فرهاد (۱۳۹۳). پهنه بندی شدت فرسایش و تولید رسوب براساس مدل MPSIAC با استفاده از GIS، مطالعه موردی: حوضه کلم دره شهر استان ایلام. اولین کنگره ملی الکترونیکی زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران. ۲۰ آذر، تهران.

محبوبی اسداله؛ پاسبانی عفت (۱۳۹۲). کاربرد مدل MPSIAC و GIS در برآورد میزان فرسایش: مثالی از حوضه آبریز سرغایه - سرنیش جنوب مشهد. فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی دانشگاه بوعلی سینا. دوره اول، شماره اول، صص ۹۹-۸۷.

میرزائی سجاد (۱۳۹۲). شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و دبی سیلاب با استفاده از WMS و GIS (مطالعه موردی: حوضه آتشیگاه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری. دانشگاه محقق اردبیلی.

میرزائی یداله (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی توسعه‌ی مدل MPSIAC در برآورد کمی شدت فرسایش آبی در حوضه‌ی آبخیز سعدل. آذربایجان غربی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری. دانشگاه محقق اردبیلی.

Abdullah, M. Feagin, R. Musawi, L. (2017). The use of spatial empirical models to estimate soil erosion in arid ecosystems. Environmental monitoring and assessment, volume 189(2), 78 page.

Lopez-vicente, M. Poesen, J. Navas, A. Gaspar, L. (2011). Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish pre-Pyrenees. Catena 01589: No of pages 12.

Ndomba, P. M. (2013). Validation of PSIAC Model for Sediment Yields Estimation in Ungauged Catchments of Tanzania. International Journal of Geosciences, volume 4(07), 1101.

Prasannakumar, V. Vijith, H. Abinod, S. Geetha, N. (2012). Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using revised Universal soil loss equation (RUSLE) and geo-information technology. Geoscience Frontiers, volume 3(2), pp 209-215.

Tangestani, M. (2006). Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, volume 27, pp 585-597.

Sen, O. Kahya, E. (2017). Determination of flood risk: A case study in the rainiest city of Turkey. Environmental Modelling and Software, volume 93, pp 296-309.

## **Assessment The Soil Erosion and Sediment Yield with Using of Rainfall-Runoff WMS model (Case Study: Sadal Watershed-West Azerbaijan Province)**

**Abazar Esmali<sup>\*1</sup>, Yadollag Mirzaei<sup>2</sup>, Agil Madadi<sup>3</sup>**

Received: 05-12-2016

Accepted: 16-12-2017

---

### **Abstract**

Characteristics of basins and their erosion and sedimentation are of great importance in the studies of water resources. Moreover, soil erosion is a problem that causes great damage to the economy of the country every year and reduces or kills soil fertility. Lack of information on soil erosion studies is the most important problem in these basins. Therefore in order to study the corrosion portraying the Sadal watershed erosion using and identify sensitive watersheds MPSIAC models and development effort to review and assess erosion and sedimentation in this area. The results showed that the sensitivity of the nine factors in the model MPSIAC both soil and slope erosion and deposition zone in resonance parameter are effective. The most critical factor in exacerbating erosion on a development model, so that the average increase in steep slope areas are areas of erosion and sediment yield increases. Review erosion and sediment production in both models suggests that the area with the highest erosion and sediment Q1 and its associated sub-basin D is minimal. The minimum difference between the estimated amount of erosion and sedimentation in the basin B (19.23%) and most of the area between Q1 (28/48%) respectively. MPSIAC can estimate the erosion model development. Differences in erosion and sedimentation in sub D has the lowest amount is about 28% In general, estimates of erosion and sediment production in the Sadal watershed model MPSIAC middle class and low class is extensibility. Studies show that much of the West (H) to the East (exit) to move on erosion due to uncontrolled exploitation and overgrazing of pasture and mines as well as industrial and population growth will increase. On the other hand, the scope of the output (Q1) is added to the average value of the slope and the influence of soil type affect the amount of runoff and erosion and consequently increased.

**Keywords:** MPSIAC, EasyFit, 24 hours precipitation, Geostatistics, Sadal watershed.

---

<sup>1\*</sup>- Associate Professor, Department of Agriculture and Natural Science, University of Mohaghegh Ardabili Email: esmaliouri@uma.ac.ir

<sup>2</sup>- MSc, Watershed Management, Department of Agriculture and Natural Science, University of Mohaghegh Ardabili

<sup>3</sup>- Associate Professor, Department of Human Science, University of Mohaghegh Ardabili