

بررسی کارایی مدل EPM در برآورد میزان فرسایش و رسوبدهی

در منطقه زاگرس میانی (استان ایلام)

محمد رضا جعفری^{۱*}، علی جعفری اردکانی^۲، شمس اله عسگری^۳، ایاد اعظمی^۴ و جعفر حسین زاده^۵

^{۱*} - عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، Mg_jafari@yahoo.com

^۲ - عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

^{۳،۴،۵} - اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام

چکیده

در بسیاری از حوضه‌های آبخیز از مدل تجربی EPM برای برآورد فرسایش و رسوب استفاده می‌شود، محاسبات انجام شده با استفاده از مدل با آمار و ارقام منتشره به وسیله ارگان‌های مرتبط با منابع طبیعی در بعضی از حوضه‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. لذا در این پژوهش اقدام به واسنجی میزان فرسایش و رسوب حاصله از این مدل در مقایسه با آمار رسوب سه حوضه انتخابی دارای ایستگاه رسوب سنجی شد، تا کارایی مدل یاد شده در حوضه‌های مختلف مورد آزمون قرار گیرد. برای این منظور آمار سه ایستگاه هیدرومتری زیر حوضه ایوان در شمال، زیر حوضه گل‌گل در مرکز و زیر حوضه دویرج در جنوب استان ایلام مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در زیر حوضه کنگیر میزان فرسایش ویژه ۱۳/۵ تن در هکتار در سال و طبق آمار ایستگاه ایوان ۲/۸ تن در هکتار در سال می‌باشد. در زیر حوضه گل‌گل میزان فرسایش ویژه برآورد شده ۱۴/۶ در هکتار در سال و طبق آمار ایستگاه سرجوی ۱۷/۴ تن در هکتار در سال می‌باشد، و در زیر حوضه دویرج نیز میزان فرسایش ویژه برآورد شده ۱۲/۳ تن در هکتار در سال و طبق آمار ایستگاه پل دویرج ۱۸/۵ تن در هکتار در سال می‌باشد. لذا با بررسی نتایج به دست آمده خطای نسبی بین مقادیر رسوب ویژه برآورد از مدل با مقادیر داده‌های حاصل از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری (ایوان ۷۹ درصد، سرجوی ۱۶- درصد و پل دویرج ۳۳- درصد) تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: هیدرومتری، مدل EPM، منحنی‌سنجه، واسنجی، زاگرس میانی

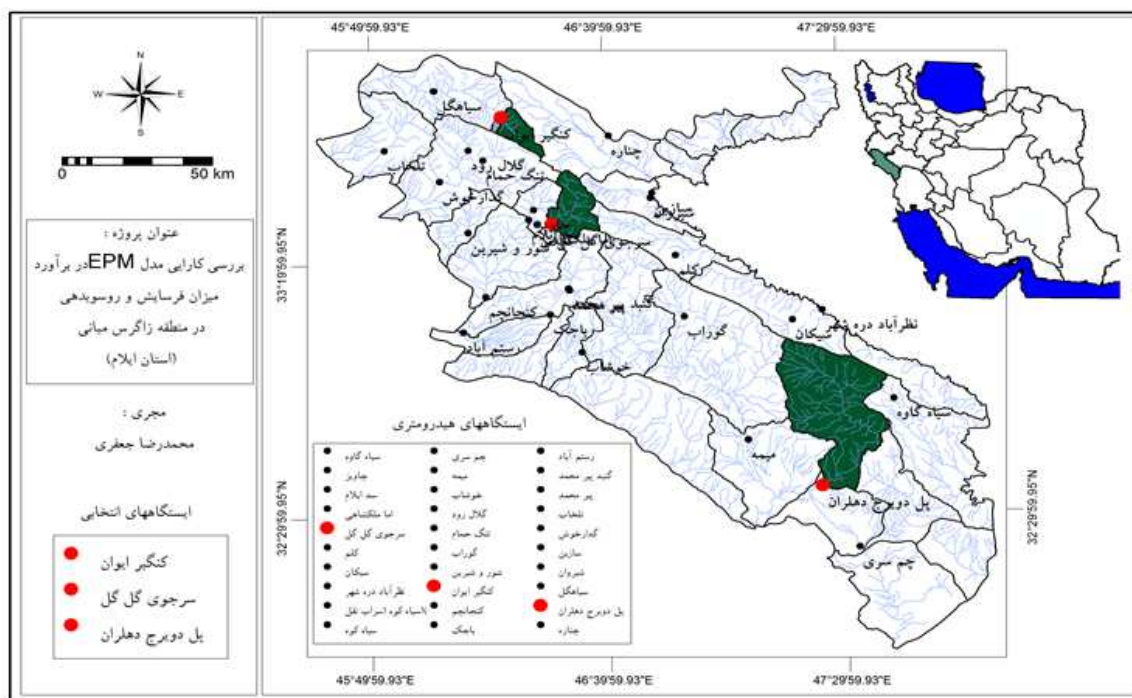
مقدمه

نقش فرسایش و تولید رسوب در کاهش حاصلخیزی خاک، پر شدن مخازن سدها، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آب و آلودگی آب‌های مناطق پایین دست از دیر باز شناسایی و مورد توجه متخصصین و کارشناسان علوم زمین بوده است. میزان فرسایش و تولید رسوب را می‌توان از طریق اندازه‌گیری مستقیم و یا برآورد با

استفاده از مدل‌های تجربی بدست آورد. از جمله مدل‌هایی که در حوزه‌های آبخیز کشور استفاده می‌شود مدل EPM¹ است، که یک مدل تجربی است. این مدل پس از ۴۰ سال تحقیق و اندازه‌گیری فرسایش و رسوب در کشور یوگسلاوی در سال ۱۹۸۸ توسط گاوریلوویچ^۲ ارائه شده و اکنون در بسیاری از کشورها با شرایط آب و هوایی مختلف به کار گرفته می‌شود (احمدی، ۱۳۷۴). پژوهش حاضر نیز در استان ایلام بر اساس این مدل انجام شده است.

استان ایلام با مساحتی در حدود ۱۹۷۲۸ کیلومترمربع در قسمت غربی کشور واقع شده است. به‌طور کلی استان از نظر تقسیمات حوزه‌های آبخیز به هشت حوضه اصلی و ۲۳ زیر حوضه فرعی تقسیم می‌شود (شکل ۱). سه زیرحوضه کنگیر ایوان در شمال، سرجوی گل گل (گنجان چم) مهران در مرکز و حوضه دوبرج دهلران در جنوب استان که دارای شرایط لازم (از جمله متفاوت بودن به لحاظ شرایط طبیعی، دارا بودن آمار هیدرومتری بلند مدت، مربوط به حوضه رودخانه‌های مرزی باشند) برای این پژوهش انتخاب گردید. لذا با توجه به اینکه نقشه فرسایش یکی از نقشه‌های پایه، علمی و کاربردی در بخش‌های مختلف اجرایی، تحقیقاتی و آموزشی می‌باشد و در طرح‌های تحقیقاتی و مطالعاتی به‌عنوان یکی از لایه‌های مهم اطلاعاتی قابل استفاده بوده و اطلاعات مهمی را در رابطه با طراحی سدها، مخازن، کانال‌ها، عملیات حفاظت خاک، ارزیابی خسارات محلی و غیر محلی فرسایش و پروژه‌های آمایش سرزمین و ارزیابی قابلیت اراضی ارائه می‌دهد، بنابراین در این راستا، لایه‌های اطلاعاتی متعددی در خصوص حوزه‌های آبخیز استان، زیر حوضه‌ها، ویژگی‌های عمومی و طبیعی زیر حوضه‌های انتخابی در محیط GIS^۳ در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰ تهیه شد. سپس به‌منظور واسنجی ارقام فرسایش و رسوب حاصل از طرح سیمای فرسایش که بر اساس روش تجربی EPM انجام شده است آمار رسوب حوضه-های یاد شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، تا کارایی مدل یاد شده در حوضه‌های مختلف مورد آزمون قرار گیرد و در صورت امکان ضرایب مدل در هر منطقه اصلاح شود.

شکل (۱): نقشه حوزه‌های آبخیز، حوضه‌های انتخابی و ایستگاه‌های هیدرومتری استان ایلام



¹ Erosion Potential Method

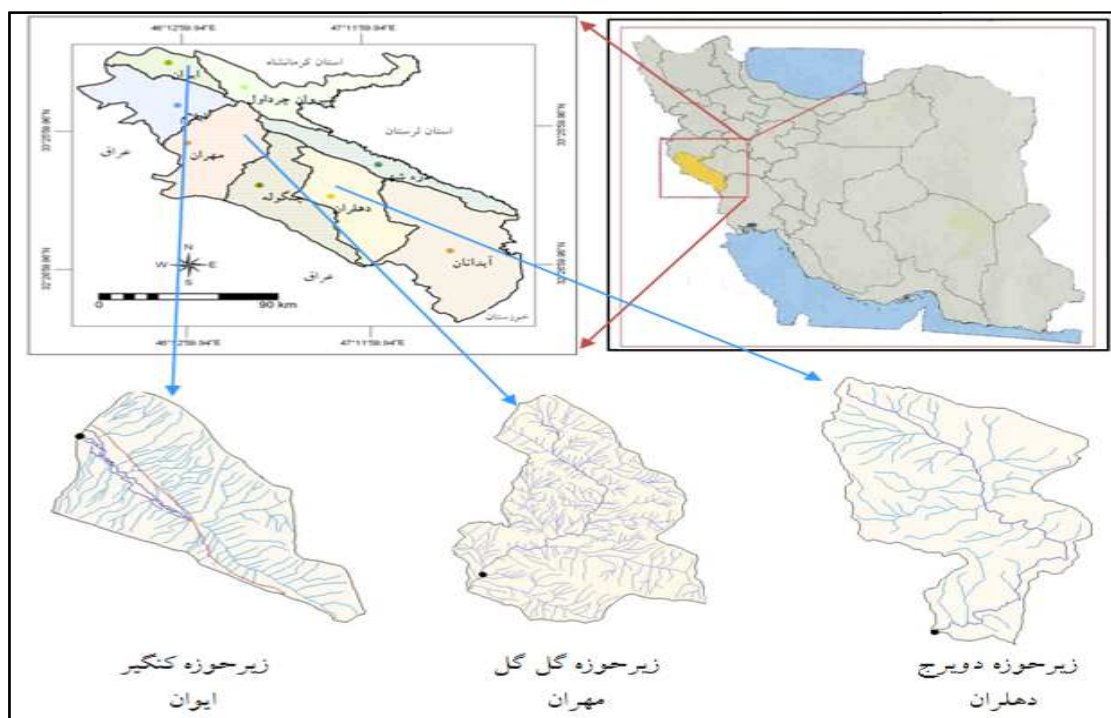
² Gavrilovich

³ Geographic Information System

روش پژوهش

مناطق مورد مطالعه: موقعیت جغرافیایی سه زیرحوضه انتخابی به شرح ذیل است.

حوضه کنگیر در شمال غرب استان و جزء حوضه‌های آبخیز شهرستان ایوان می‌باشد. این حوضه از ارتفاعات کبیرکوه شروع و تا محل ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی با مساحت ۱۲۳/۷ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی ۴۱° ۳۳' تا ۵۱° ۳۳' درجه عرض شمالی و ۱۷° ۴۶' تا ۲۷° ۴۶' درجه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع حداقل و حداکثر حوضه تا محل ایستگاه هیدرومتری ایوان به ترتیب ۱۱۴۰ و ۲۶۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. حوضه کنجانچم شامل دو زیر حوضه چاویز و گل‌گل می‌باشد. حوضه گل‌گل جزء حوضه‌های شهرستان مهران به حساب می‌آید که با مختصات جغرافیایی ۲۵° ۳۳' تا ۳۸° ۳۳' درجه عرض شمالی و ۲۷° ۴۶' تا ۲۹° ۴۶' درجه طول شرقی در جنوب شرق شهر ایلام واقع شده است. مساحت این زیر حوضه ۲۵۷/۸ کیلومترمربع و ارتفاع حداقل و حداکثر آن (تا محل ایستگاه هیدرومتری سرجوی بر روی رودخانه گل‌گل) به ترتیب ۱۴۰۰ و ۲۴۷۳ متر از سطح دریا می‌باشد. زیرحوضه دویرج از نظر تقسیمات حوضه‌ای جزء شهرستان دهلران و نواحی جنوبی استان می‌باشد. این حوضه در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۲° ۳۴' تا ۳۳° ۰۴' درجه عرض شمالی و ۱۵° ۴۶' تا ۳۹° ۴۶' درجه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع حداقل و حداکثر حوضه (تا محل ایستگاه هیدرومتری پل دویرج) به ترتیب ۲۰۰ و ۲۳۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۲).



شکل (۲): نقشه موقعیت جغرافیایی استان، کشور و زیرحوضه‌های مورد بررسی در سطح استان

روش تحقیق:

در این پژوهش ابتدا کلیه اطلاعات و آمار مرتبط با فرسایش و رسوب حوضه‌های مورد نظر جمع آوری و اطلاعات مورد نیاز از آن استخراج و دسته بندی شد. در هریک از حوضه‌های مورد نظر یک زیر حوضه که دارای ایستگاه هیدرومتری و بیش از ۲۰ سال آمار بارش و رسوب است، انتخاب و اقدام به تعیین عوامل مدل در سطح حوضه‌های انتخابی بر اساس دستور العمل زیر گردید:

تهیه نقشه ضریب فرسایش حوضه: برای این منظور چهار مشخصه زیر مورد بررسی قرار گرفت:

۱- ضریب فرسایش مشاهده‌ای (Ψ)

ضریب فرسایش مشاهده‌ای نشان دهنده وضعیت ظاهری فرسایش در سطح حوضه است. این ضریب از طریق بازدید صحرایی تعیین و امتیاز آن طبق جدول (۱) مشخص شد.

جدول (۱): مقادیر ضریب فرسایش مشاهده‌ای (Ψ)

ردیف	شرایط فرسایش حوضه	میانگین
۱	منطقه دارای خندق های زیاد و فرسایش شدید می باشد	۱
۲	در حدود ۸۰٪ منطقه دارای فرسایش خندقی و شیاری می باشد	۰/۹
۳	در حدود ۵۰٪ منطقه دارای فرسایش خندقی و شیاری می باشد	۰/۸
۴	کل منطقه دارای فرسایش سطحی، رسوبات و واریزه ها و به مقدار کم دارای فرسایش خندقی، شیاری و فرسایش کارستی می باشد	۰/۷
۵	کل منطقه دارای فرسایش سطحی ولی بدون آثار فرسایش عمیق (خندق‌ها، شیارها و واریزه ها) می باشد	۰/۶
۶	۵۰٪ منطقه دارای فرسایش سطحی و بقیه بدون فرسایش	۰/۵
۷	۲۰٪ منطقه دارای فرسایش سطحی و بقیه بدون فرسایش	۰/۴
۸	سطح زمین فاقد فرسایش قابل رؤیت بوده ولی در کنار رودخانه‌ها، واریزه و لغزش مشاهده می شود	۰/۳
۹	سطح زمین فاقد فرسایش قابل رؤیت بوده و اغلب دارای پوشش زراعی است	۰/۲
۱۰	سطح زمین فاقد فرسایش قابل رؤیت بوده و غالباً تحت پوشش جنگل و گیاهان دائمی است	۰/۱

۲- تهیه نقشه ضریب فرسایش حوضه (Xa)

برای تهیه این نقشه ابتداء واحد کاری با استفاده از برخورد سه لایه واحدهای اراضی (در ۱۹ طبقه)، حساسیت زمین‌شناسی (در سه طبقه) و کاربری اراضی (در سه طبقه) تهیه و پس از حذف واحدهای کمتر از ۱۰ هکتار، واحدهای اصلی حاصل از تلفیق مشخص شد. در صورت امکان تمامی تکرارهای هر واحد اصلی بازدید و یا با توجه به موقعیت، مساحت و امکان دسترسی، حداقل ۶۰ درصد آن برای بازدید صحرایی انتخاب شد.

- انجام بازدید صحرایی در نقاط انتخاب شده و تکمیل جداول اطلاعاتی، این قسمت شامل:

- تعیین مختصات محل با استفاده از دستگاه تعیین موقعیت جهانی GPS^۴.

- ثبت اشکال مختلف فرسایش (سطحی، شیاری، خندقی، کنار رودخانه ای) موجود در محدوده محل بازدید از واحد اراضی انتخاب شده در سه طبقه با شدت کم، متوسط و زیاد طبق فرم طراحی شده برای بازدید صحرایی.

- تعیین نوع کاربری و تعیین امتیاز شرایط فعلی فرسایش (Φ) در مدل EPM بر اساس جدول مربوطه.

- امتیاز دهی سایر واحدهای کاری مشابه با استفاده از تجربیات و نظرات کارشناسی و اطلاعات جانبی شامل لایه مشاهدات صحرایی، کاربری، ترکیب رنگی مناسب از تصویر ماهواره‌ای منطقه، تهیه نقشه^۵ سایه-روشن و فراهم آوردن امکان دید سه بعدی.

۳- ضریب استفاده از زمین (Xa)

امتیاز مربوط به کاربری های مختلف در حوضه‌های آبخیز با توجه به نقشی که در فرسایش و تولید رسوب دارند، طبق جدول (۲) و بازدید میدانی در واحد های کاری مشخص شد. برای تهیه نقشه ضریب استفاده از زمین، علاوه بر بازدید های میدانی، از نقشه کاربری اراضی تهیه شده در طرح سیما استفاده شده و با مد نظر قراردادن امتیازات اختصاص داده شده به کاربری‌های مختلف در مدل EPM و ترکیب رنگی مناسب از تصویر ماهواره‌ای منطقه، نقشه‌ای تحت عنوان ضریب استفاده از اراضی در زیر حوضه ها تهیه شد.

^۴ Global Positioning System

^۵ Hillshade

جدول (۲): مقادیر ضریب استفاده از زمین (Xa)

مقادیر میانگین	شرایط استفاده از زمین	ردیف
۱	اراضی غیر قابل کشت و زرع و بدلندها	۱
۰/۹	اراضی تپه ماهوری و شخم خورده برای زراعت	۲
۰/۸	باغات میوه، تاکستان های بدون پوشش گیاهی مرتعی	۳
۰/۷	کشتزارهای شخم خورده بر روی خطوط تراز	۴
۰/۶	جنگل های مخروطه و فرسایش یافته و بوته زارهای ایجاد شده بر روی خاکهای فرسوده	۵
۰/۵	مراعات کوهستانی خشک	۶
۰/۴	مزارع دائمی و یونجه زارها	۷
۰/۳	مراعات زهکشی شده و پوشیده از گراس ها	۸
۰/۲	جنگل های خوب بر روی شیب های تند	۹
۰/۱	جنگل های خوب بر روی شیب های ملایم	۱۰

۴- ضریب مقاومت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

سنگ ها و نهشته های غیرمترکم سطح زمین از نظر مقاومت به فرسایش در کلاس های مختلفی قرار می گیرند، که در روش EPM طبق جدول (۳) امتیاز آنها مشخص شد. این نقشه تحت عنوان نقشه حساسیت سازندها و نهشته های غیر مترکم از طریق بازدید های میدانی و لایه اطلاعات رقومی داده های علوم زمین تهیه شد.

برای تعیین ضریب مقاومت خاک و سنگ در این پروژه، حساسیت واحدهای سنگ شناسی به فرسایش در استان مورد توجه و بررسی قرار گرفت. برای این منظور، کلیه سازندها، واحدهای سنگی و نهشته های سخت نشده در ده رده مختلف شامل رده فوق العاد مقاوم (I)، بسیار مقاوم (II)، متوسط تا مقاوم (IV)، متوسط (V)، متوسط تا ضعیف (VI)، ضعیف (VII)، بسیار ضعیف (VIII)، فوق العاد ضعیف (IX) و کاملاً ضعیف، سست و منفصل (X) طبقه بندی شدند. در ادامه کلیه سازندها و نهشته های سخت شده و غیر مترکم استان به تفکیک زون های زمین شناسی در یکی از این ده گروه جای گرفته و نقشه های مربوطه تهیه شد. در این طبقه بندی خاک ها و نهشته های منفصل نیز در گروه های متوسط، ضعیف تا کاملاً سست و منفصل قرار گرفت. سپس ضرایب طبقه بندی فوق بر اساس جدول زمین شناسی مدل EPM تنظیم شد.

جدول (۳): مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

مقادیر میانگین	شرایط سنگ و خاک
۲	ماسه، سنگ ریزه، شیست
۱/۶	لس، توف، خاک شور و خاک استپی
۱/۲	سنگ هوازده و مارن
۱/۱	ماسه سنگ قرمز سرپانتین و رسوبات فلیشی
۱	پدزول، پاراپدزول، شیست خردشده، میکاشیست، گنیس، شیست آرژیلیت دار
۰/۹	سنگ آهک سخت، لاشبرگ، خاک های هوموسی و سیلیکات دار
۰/۸	خاک های جنگلی قهوه ای و خاک های کوهستانی
۰/۶	خاک های باتلاقی و هیدرومورف سیاه یا خاکستری تیره
۰/۵	چرنوزوم و رسوبات آبرفتی با بافت خوب
۰/۲۵	سنگ های آذرین سخت

- نقشه رقومی شیب (شیب متوسط حوضه) (I)

برای تهیه نقشه رقومی شیب، از نقشه شیب تهیه شده با استفاده از ETM راداری (تهیه شده با استفاده STRM و تصحیحات انجام یافته) استفاده شد. برای تهیه این نقشه، شیب بر حسب درصد به ازای هر پیکسل محاسبه شد.

- محاسبه ضریب شدت فرسایش (Z)

بر اساس چهار عامل ضریب مقاومت خاک و سنگ به فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب فرسایش مشاهده‌ای و شیب متوسط حوضه، ضریب شدت فرسایش از رابطه زیر محاسبه:

$$Z = Y \times Xa (\Psi + I 0.5) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:

Z = ضریب شدت فرسایش، Y = ضریب مقاومت سنگ و خاک به فرسایش، Xa = ضریب استفاده از زمین، Ψ = ضریب فرسایش مشاهده‌ای و I 0.5 = شیب متوسط حوضه

با محاسبه Z می‌توان از طریق جدول (۴)، فرسایش را از نظر شدت (کیفی) طبقه‌بندی نمود.

بر اساس رابطه یاد شده نقشه شدت فرسایش در هریک از زیر حوضه‌های انتخابی تهیه شد (اشکال ۳، ۵ و ۷).

جدول (۴): طبقه‌بندی شدت فرسایش (Z)

مقدار متوسط Z	محدوده Z	شدت فرسایش	کلاس فرسایش
۱/۲۵	> 1	خیلی شدید	I
۰/۸۵	$1 > Z > 0/71$	شدید	II
۰/۵۵	$0/7 > Z > 0/41$	متوسط	III
۰/۳	$0/4 > Z > 0/2$	کم	IV
۰/۱	$Z < 0/19$	خیلی کم	V

- فرسایش ویژه (Wsp)

بر اساس مدل EPM، برای تخمین فرسایش ویژه در حوزه‌های آبخیز انتخابی از رابطه (۲) استفاده شد:

$$Wsp = T \cdot H \cdot J \cdot Z \cdot 1.5 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن: Wsp فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال است.

T ضریب درجه حرارت که از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$T = (t \div 10) + 0.1 \cdot 0.5 \quad \text{رابطه (۳)}$$

T میانگین درجه حرارت سالانه در حوزه آبخیز بر حسب درجه سانتی‌گراد و H ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه آبخیز بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

در ادامه لایه اطلاعاتی فرسایش ویژه در هریک از زیر حوضه‌های انتخابی بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال بر مبنای لایه اطلاعاتی فرسایش ویژه Wsp استخراج شد (اشکال ۳، ۵ و ۷).

- رسوب دهی ویژه سالانه (Gsp)

برای تعیین رسوب دهی حوضه در خروجی آن باید ضریب رسوبدهی حوضه (Ru) محاسبه شود. این ضریب از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$Ru = 4 \times (O \times D) 0.5 \div (L + 10) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: O محیط حوضه، L طول حوضه و D تفاوت ارتفاع میانگین حوضه و ارتفاع نقطه خروجی حوضه است (بر حسب کیلومتر). حاصلضرب Ru با wsp یعنی رابطه (۵) رسوبدهی ویژه را برآورد می‌کند.

$$Gsp = wsp \times Ru \quad \text{رابطه (۵)}$$

Gsp، رسوب دهی ویژه سالانه بر حسب $m^3/km^2/yr$ است.

- تعیین آمار رسوب ایستگاه های هیدرومتری

- به منظور تحلیل آماری داده‌های ایستگاه هیدرومتری زیر حوضه‌های انتخابی و گزارش نهائی مراحل ذیل انجام شد:
- انتخاب ایستگاه های دارای دوره آماری مناسب داده رسوب (۳ ایستگاه با حد اقل ۲۰ سال آمار.
- دریافت داده های رسوب سنجی: داده‌های رسوب و دبی نظیر در ایستگاه های هیدرومتری یاد شده در طول دوره آماری (بیش از ۲۰ سال) از اداره کل امور آب استان تهیه شد. تحلیل داده‌های آماری بر اساس روش هیدرولوژیکی انجام شد.
- استخراج منحنی سنجه رسوب با روش متوسط دسته ها: براساس داده های رسوب و دبی نظیر و با استفاده از روش منحنی سنجه حد وسط، منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه های انتخابی تهیه شد (اشکال ۴، ۶ و ۸).
- محاسبه رسوب برای هر سال در طول دوره آماری: براساس معادله منحنی سنجه رسوب و داده های دبی جریان روزانه، بار رسوب برآورد شد.
- محاسبه متوسط رسوب سالانه: بر اساس متوسط بار رسوبی در طی دور آماری بر حسب ماهانه و سالانه تعیین شد.
- مقایسه رسوب حاصل از مدل EPM با رسوب استخراج شده از منحنی سنجه رسوب: بر اساس مقایسه بار رسوبی سالانه برآورد شده از مدل و رسوب مشاهده ای در ایستگاه های مورد بررسی انجام شد.

یافته‌ها و بحث

زیرحوضه کنگیر ایوان

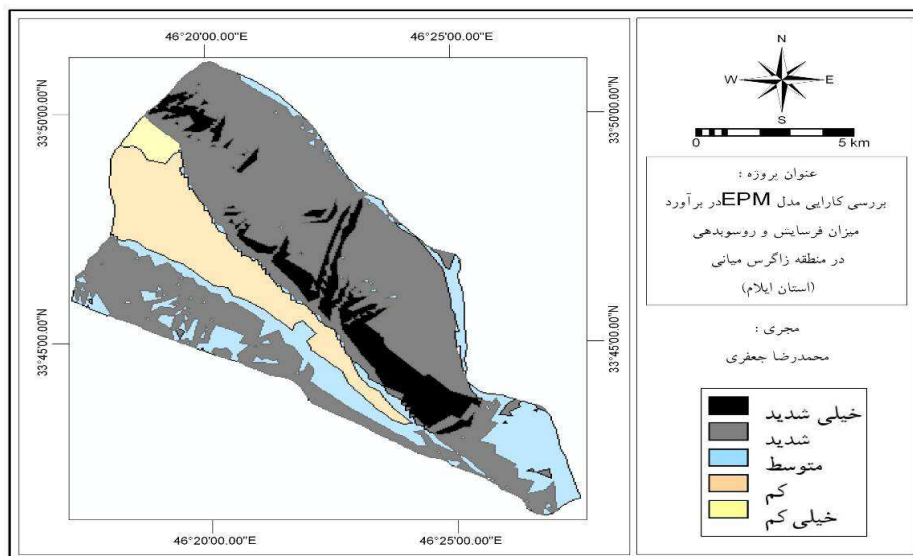
در زیرحوضه کنگیر بر اساس جدول (۴) نقشه کلاس شدت فرسایش و رسوب حوضه (شکل ۳) از نظر کیفی در پنج کلاس (خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم) ارائه شده است. بر اساس رابطه (۶)، مقدار ضریب رسوب دهی زیرحوضه کنگیر ۰/۸۱ محاسبه گردید.

$$Ru = 4 \times (53 \times 0.745)^{1/5} / (21 + 10) \quad \text{رابطه (۶)}$$

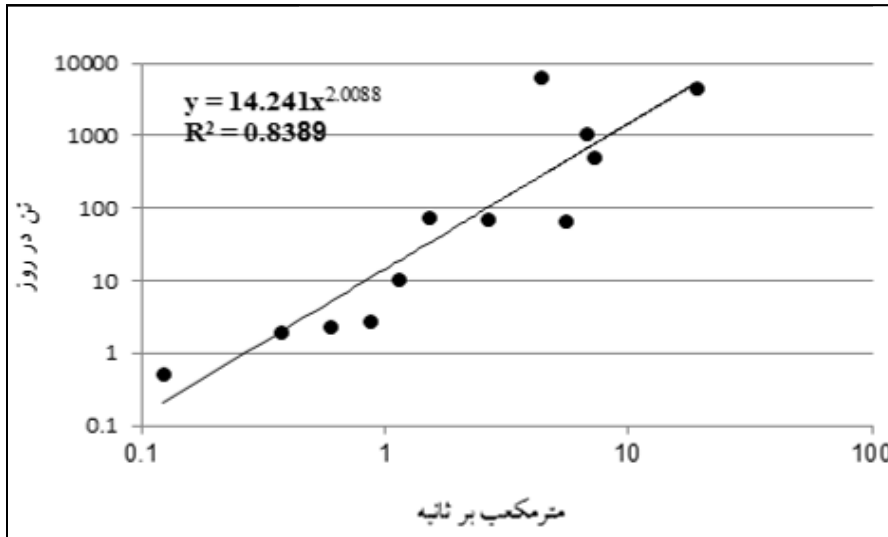
و بر اساس رابطه (۷) رسوب ویژه در این زیر حوضه ۹۶۱ مترمکعب در کیلومترمربع در سال (با توجه به وزن مخصوص رسوبات منطقه) معادل ۱۳/۵ تن در هکتار در سال برآورد گردید.

$$Gsp = (1187 \times 0.81) \times 1/4 \quad \text{رابطه (۷)}$$

بر اساس آمار ایستگاه، میزان بار رسوب ویژه زیرحوضه کنگیر ۲/۸۳ تن در هکتار در سال برآورد شد، که میزان ۱۰/۷ تن در هکتار در سال (با خطای نسبی ۳۷۷ درصد، و چنانچه بین مقدار رسوب برآورد از مدل و ایستگاه تناسب ببندیم میزان خطای نسبی ۷۹ درصد خواهیم داشت) با میزان رسوب بدست آمده از مدل اختلاف دارد.



شکل(۳): نقشه کلاس فرسایش و شدت رسوبدهی زیر حوضه کنگیر



شکل(۴): نمودار منحنی سنجه رسوب در ایستگاه هیدرومتری ایوان

- زیرحوضه گل گل مهران

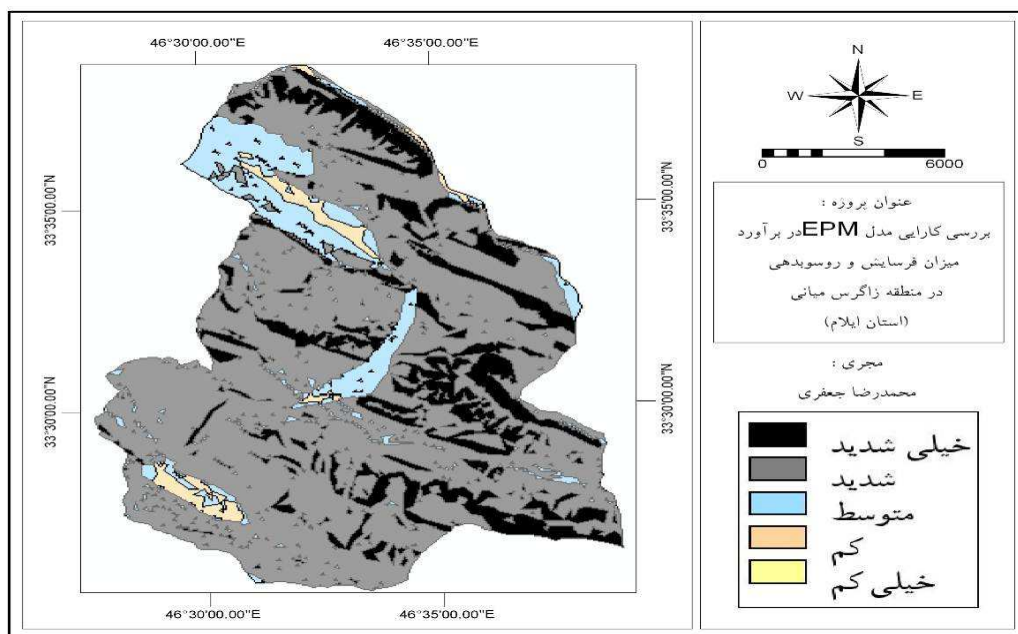
در زیرحوضه گل گل بر اساس جدول(۴)، نقشه کلاس شدت فرسایش و رسوب حوضه(شکل ۵) از نظر کیفی در ۴ کلاس (خیلی شدید، شدید، متوسط و کم) ارائه شده است. بر اساس رابطه (۸) مقدار ضریب رسوب دهی زیرحوضه ۰/۷۶ محاسبه شد:

$$Ru = 4 \times (79 \times 0.536)^{1/5} \div (24+10) \quad \text{رابطه (۸)}$$

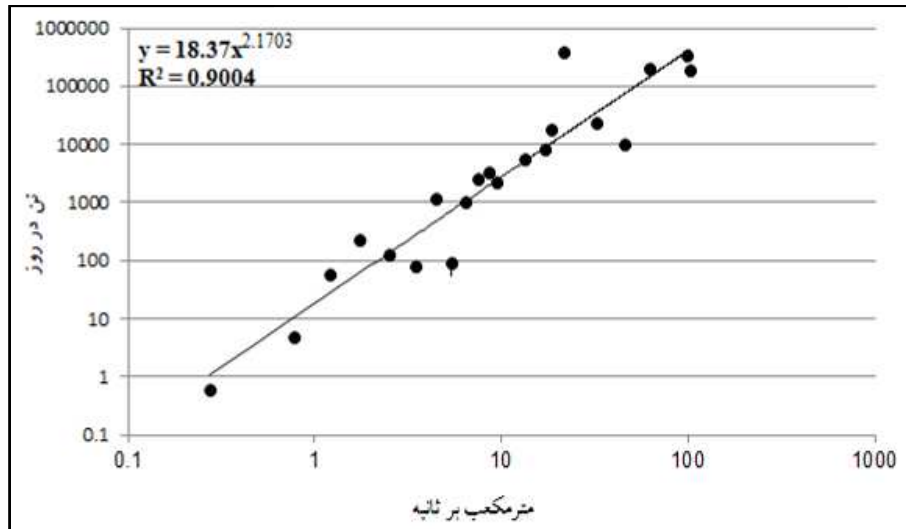
و بر اساس رابطه (۹) رسوب ویژه در این زیر حوضه ۹۷۴/۳ مترمکعب در کیلومترمربع در سال (با توجه به وزن مخصوص رسوبات) معادل ۱۴/۶ تن در هکتار در سال برآورد شد:

$$Gsp = (1282 \times 0.76) \times 1/5 \quad \text{رابطه (۹)}$$

بر اساس آمار ایستگاه، میزان بار رسوب ویژه زیرحوضه ۱۷/۴ تن در هکتار در سال برآورد شده، که میزان ۲/۸ تن در هکتار در سال (با خطای نسبی ۱۶- درصد) با میزان رسوب بدست آمده از مدل اختلاف دارد.



شکل(۵): نقشه کلاس فرسایش و شدت رسوبدهی زیر حوضه گل گل



شکل (۶): نمودار منحنی سنجه رسوب در ایستگاه هیدرومتری سرجوی گل گل

زیر حوضه دویرج دهلران

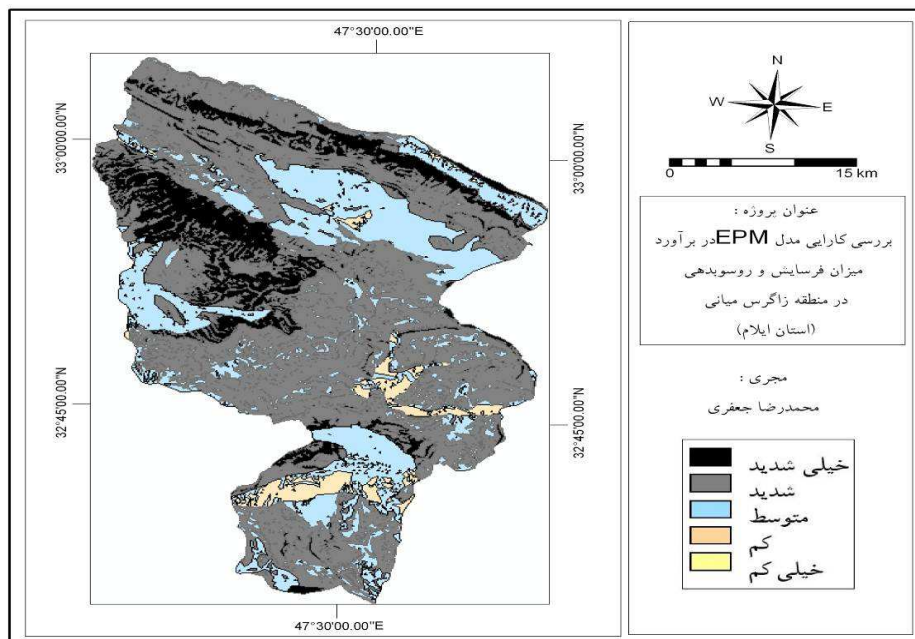
در زیرحوضه دویرج بر اساس جدول (۴) نقشه کلاس شدت فرسایش و رسوب حوضه (شکل ۷) از نظر کیفی در چهارکلاس (خیلی شدید، شدید، متوسط و کم) ارائه شده است. بر اساس رابطه (۱۰) مقدار ضریب رسوب دهی زیرحوضه ۰/۷۹ محاسبه گردید.

$$Ru = 4 \times (186 \times 1/0.5)^{1/5} \div (60 + 10) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

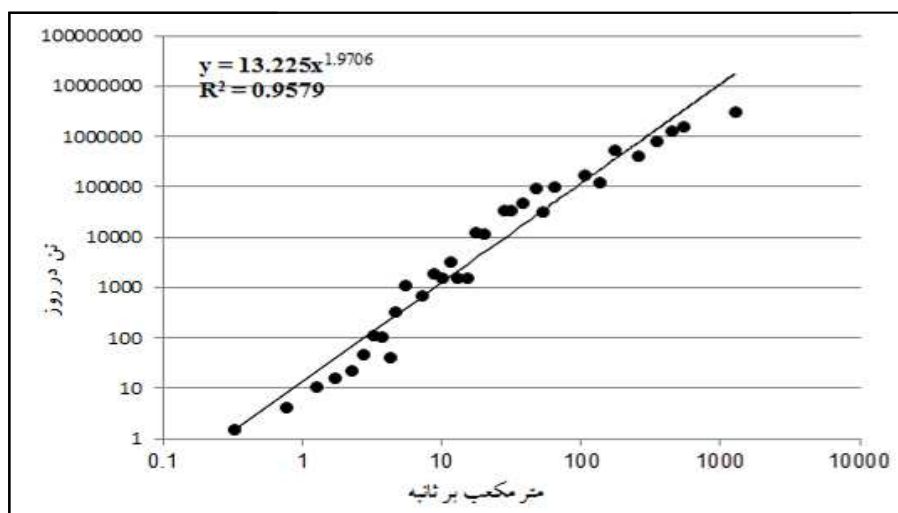
و بر اساس رابطه (۱۱) رسوب ویژه در این زیر حوضه ۷۶۹ مترمکعب در کیلومترمربع در سال (با توجه به وزن مخصوص رسوبات) معادل ۱۲/۳ تن در هکتار در سال برآورد گردید.

$$Gsp = (974 \times 0/79) \times 1/6 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

بر اساس آمار ایستگاه، میزان بار رسوب ویژه زیرحوضه ۱۸/۵ تن در هکتار در سال برآورد گردیده است، که میزان ۶/۲ تن در هکتار در سال (با خطای نسبی ۳۳- درصد) با میزان رسوب بدست آمده از مدل اختلاف دارد.



شکل (۷): نقشه کلاس فرسایش و شدت رسوبدهی زیرحوضه دویرج



شکل (۸): نمودار منحنی سنج رسوب در ایستگاه هیدرومتری دویرج

جدول (۵): برآورد مقادیر رسوب حاصل از مدل EPM و ایستگاه های هیدرومتری در زیر حوضه های انتخابی

نام ایستگاه	ضریب Ru	رسوب ویژه مدل EPM t.ha.yr	رسوب معلق ایستگاه t.yr	ضریب بار کف درصد	رسوب ویژه کل منحنی سنج t.ha.yr	درصد خطا نسبی	مساحت حوضه کیلومتر مربع
ایوان	۰/۸۱	۱۳/۵	۳۷۷۶۰/۱۵	۱/۱۵	۲/۸۳	۷۹	۱۲۳/۷
سرجوی	۰/۷۶	۱۴/۶	۳۳۴۲۷۳	۱/۱۵	۱۷/۴	-۱۶	۲۵۷/۸
پل دویرج	۰/۷۹	۱۲/۳	۱۱۹۲۶۱۷۲/۲۱	۱/۱۵	۱۸/۵	-۳۳	۱۱۹۸

نتیجه گیری

نتایج پژوهش به تفکیک هر یک از زیرحوضه های انتخابی و با توجه به تحلیل داده های ایستگاه های هیدرومتری ارائه شده، نشان می دهد که:

در زیرحوضه کنگیر بر اساس مدل EPM، رسوب ویژه سالانه ۹۶۱ متر مکعب در کیلو متر مربع معادل ۱۳/۵ تن در هکتار در سال می باشد. در حالی که براساس محاسبات آمار رسوب ایستگاه هیدرومتری ایوان معادل ۲/۸۳ تن در هکتار در سال برآورد شده است. با توجه به میزان اختلاف زیاد بین مقادیر رسوب حاصل از مدل و تحلیل آماری داده های مستخرج از ایستگاه مربوطه به نظر می رسد، میزان برآوردی از مدل دارای خطای بالای باشد. به نظر نگارنده حوضه کنگیر به چند دلیل نمی تواند معادل ۱۳/۵ تن در هکتار در سال رسوب تولید کند:

الف- اگر چه ارتفاعات حوضه دارای شیب تندی می باشند، ولی غالباً به صورت تخته سنگی و صخره های عریض و طولی کشیده شده و فاقد خاک قابل فرسایش است.

ب- بلافاصله بعد ارتفاعات، دامنه ها دارای پوشش جنگلی متوسط تا نیمه انبوه بوده و به دلیل قروق مراتع، منطقه از پوشش گیاهی خوبی برخوردار بوده و بقیه اراضی نیز تا کناره های رودخانه کنگیر کلا اراضی کشاورزی و باغات می باشد.

ج- در راستای احداث سد کنگیر، عملیات سازه ای و بیولوژیکی متفاوتی در سطح حوضه و آبراهه های مشرف به رودخانه انجام شده و مانع ورود قابل توجه رسوب به رودخانه می شود. بنابراین باید در چگونگی جمع آوری داده های صحرائی و نحوه آنالیز آن ها در مدل بازنگری انجام شود.

در زیرحوضه گل گل بر اساس مدل یاد شده، رسوب ویژه سالانه ۹۷۴/۳ متر مکعب در کیلو متر مربع معادل ۱۴/۶ تن در هکتار در سال برآورد شد. بر اساس تحلیل آماری داده های مستخرج از ایستگاه هیدرومتری، رسوب ایستگاه سرجوی معادل ۱۷/۴ تن در هکتار در سال با خطای نسبی ۱۶- درصد نسبت به مقدار رسوب برآورد شده از مدل، محاسبه شد. در خصوص نتایج زیرحوضه گل گل می توان بیان داشت ارزیابی فرسایش و رسوب زیرحوضه گل گل و سایر حوضه های مشابه در استان با توجه به کمبود ایستگاه های هیدرومتری و فقدان آمار بلند مدت، بر اساس مدل EPM قابل قبول است.

در زیرحوضه دویرج نیز بر اساس مدل EPM، رسوب ویژه سالانه ۹۷۴ متر مکعب در کیلو متر مربع، معادل ۱۲/۳ تن در هکتار در سال برآورد شد، اما بر اساس محاسبات آماری ایستگاه هیدرومتری، رسوب حوضه معادل ۱۸/۵ تن در هکتار ارائه شده است. به نظر نگارنده با توجه به وسعت حوضه، پراکنش نامنظم مکانی و زمانی بارش، وجود سازندهای حساس به فرسایش، کمبود اقدامات آبخیزداری و غیره مقدار رسوب تولیدی می‌تواند خیلی بیشتر باشد. بنابراین به نظر می‌رسد در این حوضه نیز به مانند حوضه کنگیر باید در چگونگی جمع‌آوری داده‌های صحرایی و نحوه آنالیز آن‌ها در مدل توجه شود.

بنابراین این اگرچه بی‌پورتن^۶ (۱۹۹۸) مدل گاوریلوویچ را در پنج حوضه آلپ در سوئیس با مساحت های ۳۶ تا ۲۱۰ کیلومتر مربع به کار برد. در این حوضه ها، بین مقادیر برآورد شده رسوب با مدل EPM و مقادیر اندازه گیری شده همبستگی بالایی وجود داشت ($R^2=0.86$) و با این‌که امانوئل اودیس و همکاران^۷ (۲۰۰۳) مدل گاوریلوویچ را برای تشخیص فرسایش کل بدون در نظر گرفتن نسبت تحویل رسوب در یک حوضه بزرگ در یونان (۷۰۰۰ کیلومتر مربع) به کار بردند. مقدار رسوب سالانه برآورد شده برای حوضه زیاد بود. وی نشان داد که مدل چون دارای داده های مکانی (ژئولوژی، خاک و کاربری) است، می‌تواند در محیط GIS به کار رود. زنجانی جم (۱۳۷۵) با ارزیابی مدل EPM در حوزه آبخیز زنگان رود نشان داد که اختلاف بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده با هم مطابقت دارد. نجفی نژاد (۱۳۷۵) مدل EPM را در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد لتیان مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصله نشان داده است که مدل در برآورد میانگین رسوب تولیدی حوزه آبخیز قابل اعتماد بوده و با مقادیر مشاهده شده همخوانی دارد و یا اینکه نعمتی (۱۳۷۱) روش EPM را در حوزه آبخیز شاهرود از زیر حوضه های سفیدرود مورد بررسی قرار داد و بیان نمود که نتایج برآوردی با میزان رسوب واقعی انطباق خوبی دارد. جعفری (۱۳۸۱) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود در رابطه با فرسایش و رسوب حوضه چپخواب (از زیرحوضه های اصلی دویرج) براساس مدل^۸ MPSIAC، حداقل و حداکثر رسوب تولیدی در واحدهای پیش بینی شده در رساله خود به ترتیب ۱/۶ و ۲۷/۳ تن در هکتار در سال و میانگین رسوب تولیدی را ۱۴/۵ تن در هکتار در سال برآورد و کل حوضه را از نظر کیفی در کلاس فرسایشی زیاد قرار داده است (جعفری، ۱۳۸۱). پاک پرور (۱۳۷۵) در برآورد رسوب در قسمتی از حوضه سد لتیان نشان داد که میزان رسوب برآورد شده از طریق مدل EPM بیشتر از آمار مشاهده‌ای است (پاک پرور، ۱۳۷۵).

بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از مدل بستگی به شرایط حوزه‌های آبخیز به لحاظ نداشتن ایستگاه‌های هیدرومتری، چگونگی جمع‌آوری و دقت داده‌های میدانی به دست آمده و همچنین تحلیل و تعیین امتیاز عوامل مدل دارد. از نکات قابل توجه در این پژوهش امکان استفاده از مدل در محیط GIS می‌باشد. به عبارتی، در مطالعات فرسایش خاک به ویژه در مدل‌های مانند MPSIAC و EPM، نیاز به تعیین واحدهای کاری همگن می‌باشد که تعیین این واحدها در روش‌های دستی و سنتی به صورت سلیقه‌ای و با روی هم‌گذاری تعدادی از لایه‌های پایه چون اجزاء واحد اراضی، زمین‌شناسی، شیب انجام شود و متوسط گیری وزنی عوامل موثر در این واحدها منشاء بروز خطاهایی در نتیجه می‌شود، از سوئی عدم امکان کار بر روی واحدهای کوچک در مطالعات مختلف و در نتیجه حذف تاثیر این واحدها در نتایج برآوردی مورد نظر خطا ایجاد خواهد کرد، در صورتی که بکارگیری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نقش اعمال سلیقه‌های شخصی را (در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین واحدهای کاری) به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. همچنین، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به لحاظ قدرت بالای تجزیه و تحلیل اطلاعات پایه (به ویژه در بحث فرسایش و رسوب و تعداد زیاد لایه‌ها) مناطق با رسوب‌دهی مختلف را از یکدیگر تفکیک نموده و نقش واحدهای کوچک را نیز اعمال خواهد کرد، و با تولید نقشه حساسیت به فرسایش، مناطق مختلف فرسایشی را از نظر کیفی و کمی طبقه بندی و این امکان را فراهم می‌آورد تا با توجه به اهداف مختلف مناطق حساس به فرسایش را از هم تفکیک و به ترتیب اهمیت اولویت بندی نمود (جعفری، ۱۳۸۱).

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از همکارانم در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، مجری محترم طرح ملی بررسی کارایی مدل EPM (که مقاله حاضر نتایج به دست آمده از آن می‌باشد) آقای مهندس جعفری اردکانی و همکارانم در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام آقایان مهندس شمس‌اله عسگری، مهندس ایاد اعظمی و آقای دکتر جعفر حسین‌زاده تشکر و قدردانی نمایم

⁶ Beyer Portn

⁷ oudis Emmanoul Oudis et al

⁸ Modified Pasific Southwest Inter Agency

فهرست منابع

- احمدی، حسن، ۱۳۷۴، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران.
- پاک پرور، م، ۱۳۷۵، ارزیابی روش های MPSIAC و EPM در برآورد رسوب و تعیین پراکنش فرسایش در قسمتی از حوضه سد لتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۲- زنجانی جم، م. (۱۳۷۵). بررسی مدل EPM در برآورد فرسایش حوزه سفید رودپایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- جعفری، محمدرضا، ۱۳۸۱، برآورد کیفی و کمی فرسایش و رسوب حوزه آبخیز رودخانه چیخواب با استفاده از (GIS). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- نجفی نژاد، علی، ۱۳۷۳، بررسی کارآئی مدل تجربی EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد لتیان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- نعمتی، ناصر، ۱۳۷۱، برآورد رسوب حوزه آبخیز رودخانه شاهرود حوضه سد سفیدرود، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

- Beyer Portner, N, 1998, Erosion des basins versant alpins scusses par ruissellement de surface. PhD Thesis, Laboratoire de Constructions Hydrauliques-LCH, No. 1815, laussanne, Switzerland.
- Emmanoul Oudis, D. A., O. P., Christou and E., Filippidis. 2003. Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon river basin using GIS. In; De Boer, D. Froehlich, W. Mizuyama, T. Pietroniro, A. (Eds.), Erosion prediction in Ungauged Basin: Integrating methods and Techniques. IAHS Publication, 279: 234-240.