

پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز کهمان با استفاده از سه مدل EPM، BLM و Fargas

سیدحسن صدوق^۱

محمد مهدی حسین‌زاده^۲

فهیمة آزادی^۳

چکیده

تولید رسوب یکی از پیامدهای مهم فرسایش خاک است و در شکل‌های مختلف سبب اثرات درون و برون منطقه‌ای می‌گردد. با توجه به این که هر ساله هزاران تن خاک حاصلخیز از اراضی مختلف کشور، در اثر فرسایش از دسترس خارج شده و با انباشت در مناطق رسوب‌گذاری، موجب بروز خسارات قابل ملاحظه‌ای می‌شوند، بنابراین، لازم است مناطق تولید رسوب همراه با شدت و مقدار آن شناسایی شوند تا از این طریق علاوه بر تعیین مناطق بحرانی و رده‌بندی مناسب بتوان اقدام به برنامه‌ریزی در قالب طرح‌های حفاظت خاک و یا آبخیزداری نمود. در این تحقیق با استفاده از سه مدل برآورد و پهنه‌بندی فرسایش و رسوب، شامل EPM، BLM و Fargas با هدف شناسایی و معرفی مدل مناسب، اقدام به ارزیابی مدل‌ها در پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز کهمان شده است. اعتبارسنجی مدل EPM نشان داد که این مدل برای این حوضه آبخیز مناسب نیست زیرا مقدار رسوب برآورد شده را بسیار بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. براساس مدل EPM مقدار رسوب کل حوضه ۱۸۱۳۲۰/۶ متر مکعب در سال برآورد شد. اما بر اساس اطلاعات ایستگاه هیدرومتری منطقه مورد مطالعه، مقدار رسوب واقعی حوضه ۷۵۴۱۶/۸ متر مکعب در سال می‌باشد. با توجه به بازدیدهای صحرایی از منطقه فرسایش موجود با فرسایش به‌دست آمده از مدل فارگاس نیز مطابقت ندارد اما مدل BLM با فرسایش منطقه مطابقت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: شدت فرسایش، EPM، BLM، فارگاس، حوضه آبخیز کهمان.

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران (نویسنده مسؤول)

مقدمه

فرسایش به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل شود، به طوری که بسته به نوع عامل انتقال، انواع فرسایش‌های آبی، بادی و یخچالی اتفاق خواهد افتاد (رفاهی، ۱۳۷۹: ۳). معمولاً فرآیندهای فرسایش سطحی، مواد معدنی و ذرات ریز خاک را در فواصل کوتاه جابه‌جا می‌کنند، در مقابل خاک‌های سطحی فرسایش یافته توسط نه‌رها و جویبارها مسافت طولانی‌تری را طی می‌کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۵۰)^۱. فرسایش خاک توسط باران و رواناب یکی از اصلی‌ترین عوامل تهدید خاک است (بوردمن و پوسین، ۲۰۰۶: ۴۸۰)^۲. فرسایش خاک همچنین بخشی از یک سیستم با تعامل فرآیندهای چندگانه در یک سلسله مراتب پیچیده است و جنبش‌های توده‌ای ممکن است نقش مهمی در فرآیندهای فرسایش خاک ایفا کند (ون بیک ۲۰۰۲: ۳۶۶). بوسکو و ساندر، ۲۰۱۴: ۱۵۰۱)^۳. امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح زمین می‌توان یافت که در معرض تخریب و فرسایش قرار نگرفته باشد و البته عامل اصلی آن افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد از زمین است (احمدی، ۱۳۷۸: ۱۹۵). همچنین قابل ذکر است که فرسایش دارای دو جنبه مهم شامل کاهش قدرت تولیدی زمین و دیگری مزاحمت مواد فرسایش یافته می‌باشد (نورمن هادسون^۴، ۱۳۷۲: ۷). جبران خاک فرسایش یافته برای طبیعت، به‌ویژه در مناطق خشک که شرایط برای تشکیل خاک بسیار نامساعد است، بسیار دشوار و طولانی می‌باشد، لذا ساکنان این مناطق می‌بایست در حفظ و جلوگیری از فرسایش دقت بیشتری مبذول نمایند (کردوانی، ۱۳۷۷: ۷). سلاجقه و دلفاری (۱۳۸۶: ۲۷۰)، با مقایسه روش‌های کیفی ژئومورفولوژی و کمی EPM به این نتیجه رسیدند که روش ژئومورفولوژی به علت در نظر گرفتن عوامل بیشتر دخیل در فرسایش نسبت به روش EPM در زیرحوضه خسبان حوضه آبخیز طالقان نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. همچنین نتایج آنها نشان می‌دهد که در ۴۵/۶۵٪ طبقات فرسایش مشخص شده حاصل از دو مدل مشابه بوده است. رنگ‌زن و همکاران (۱۳۸۷: ۱۲۴)، دو مدل EPM و MPSIAC را در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند خوزستان به‌کار برده‌اند، مقایسه نتایج دو مدل EPM و MPSIAC با مشاهدات صحرایی حاکی از آن است که اگرچه نتایج به‌دست آمده از دو مدل ذکر شده در بیشتر مناطق انطباق زیادی با هم دارند، اما نتایج مدل EPM برای شناسایی مناطق دارای فرسایش بالا به اندازه مدل MPSIAC قابل اطمینان نیست. خدابخشی و همکاران (۱۳۸۹: ۴۶)، مطالعه فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل EPM در بخشی از

1- Wang et al.,

2- Boardman and Poesen

3- Van Beek, Bosco and Sander

4- Hudson

حوضه آبریز زاینده رود در شمال شهرکرد را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که روش اندیس جواب بهتری می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که از این روش برای تخمین شدت فرسایش در حوضه آبخیز و عمل رسوب در رودخانه‌ها استفاده می‌شود و به وسیله آن می‌توان برآورد اولیه‌ای از میزان رسوب‌گذاری در مخزن سدهای مخزنی و برآورد عمر مفید سدها استفاده نمود. قزوی و همکاران (۲۰۱۲: ۳۱)، در حوضه آبخیز قله قاف در استان گلستان سه مدل MPSIAC، PSIAC و EPM را اجرا و با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل پسیاک در مقایسه با دو مدل دیگر مقدار فرسایش و رسوب را کمتر نشان می‌دهد و بهترین مدل برای این منطقه است. عابدینی و همکاران (۱۳۹۲: ۸۷)، در حوضه آبخیز مشکین‌چای مدل EPM را اجرا و به این نتیجه رسیدند که سه عامل توپوگرافی، لیتولوژی و تغییرات کاربری اراضی در کنترل فرسایش و رسوب نقش مهمی ایفا نموده‌اند، بر اساس این مدل وضعیت فرسایش حوضه خیلی شدید ارزیابی شد. وولاین^۱ و همکاران (۲۰۰۶: ۳۰۲)، برای تجزیه و تحلیل فرسایش در حوضه باگا^۲ در تانزانیا با استفاده از دو روش تصاویر لندست و نقشه دم منطقه تحقیقی انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که روش اول ۸۰ درصد و روش دوم ۸۱ درصد دقت داشته است. اما با توجه به این که روش دوم اطلاعات محدودی نیاز دارد، دارای پتانسیل بالایی برای شناسایی سریع خطر فرسایش می‌باشد و بهتر از تصاویر ماهواره‌ای است. سیوان^۳ و همکاران (۲۰۰۷: ۱۰۷۹)، با استفاده از داده‌های ماهواره لندست در طول سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ الگوی چشم انداز فرسایش در رودخانه زرد چین را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد در برخی نقاط فرسایش در حال کاهش است اما در بسیاری نقاط نیز رو به افزایش است که ناشی از فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه است همچنین رشد جمعیت، کشاورزی، سیاست‌های دولتی و تخریب جنگل‌ها، عوامل اصلی تغییر الگوی فرسایش و افزایش آن است. هیگاک^۴ و همکاران (۲۰۰۷: ۲۴۵)، در مطالعه فرسایش خندقی در دامنه‌های میدلند نیپال به این نتیجه رسیدند که در فصل خشک که زمین ترک می‌خورد، در فصل مرطوب گسترش و در نهایت به خندق تبدیل می‌شوند. و سدهای کوچک و حفاظت از کانال‌ها و کشاورزی باعث جلوگیری از گسترش آنها می‌شود. فرسایش یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تأثیرگذار بر تغییرات مورفولوژی سطح زمین می‌باشد (راستگو و همکاران، ۱۳۸۵: ۹۹). با توجه به ارزش فراوان خاک و مشکلات بعدی ناشی از جابجایی اجزاء تشکیل‌دهنده آن فرسایش معضلی است که باید ریشه‌یابی و مهار گردد. به این منظور لازم است که حساسیت سازندها به فرسایش مشخص شود تا بتوان به وسیله آن فرسایش‌پذیری سازندهای مختلف را مشخص کرد. اگر بتوان با دقت قابل قبول فرسایش سازندها را به دست آورد می‌توان برای

1- Vrieling et al.,

2- Baga

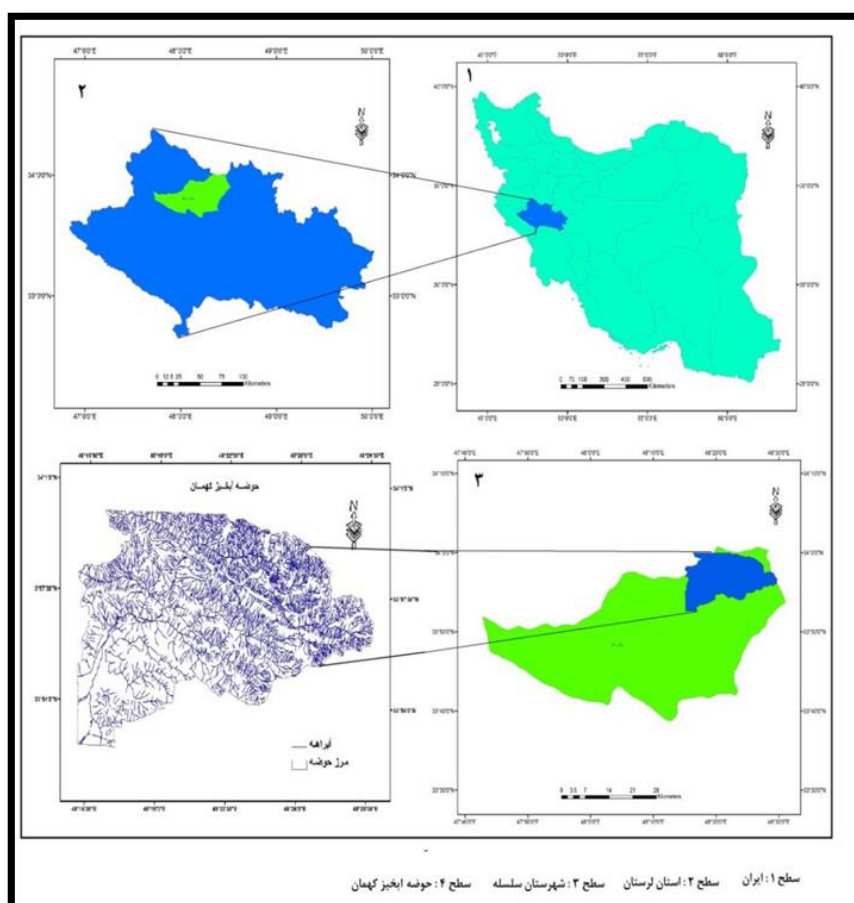
4- Siyuan et al.,

5- Higak et al.,

کنترل فرسایش نیز راه‌های مؤثرتر و اقتصادی‌تری ارائه کرد (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۲: ۳۴). برای اجرای اقدامات حفاظت خاک و منابع آب لازم است تا اثرات عوامل مختلف فرساینده و روند تولید رسوب، شناسایی شده و اطلاعاتی در مورد نحوه فرسایش، شدت تولید رسوب و پراکنش مکانی آن به‌دست آید (پیرمحمدی و همکاران: ۱۳۸۷). به همین منظور حوضه آبخیز رودخانه کهمان انتخاب شد تا از مکان‌های مستعد فرسایش حوضه باخبر شده و اقدامات لازم برای پیشگیری از فرسایش انجام شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه با مساحت ۱۹۸/۷ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۴۸ درجه، ۱۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۴۸ درجه، ۳۰ دقیقه و ۹ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه، ۵۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۴ درجه عرض شمالی قرار دارد. این حوضه از توابع شهرستان سلسله در استان لرستان بوده که در شمال شرقی شهر الشتر و جنوب ارتفاعات گرین واقع شده است (شکل ۱).

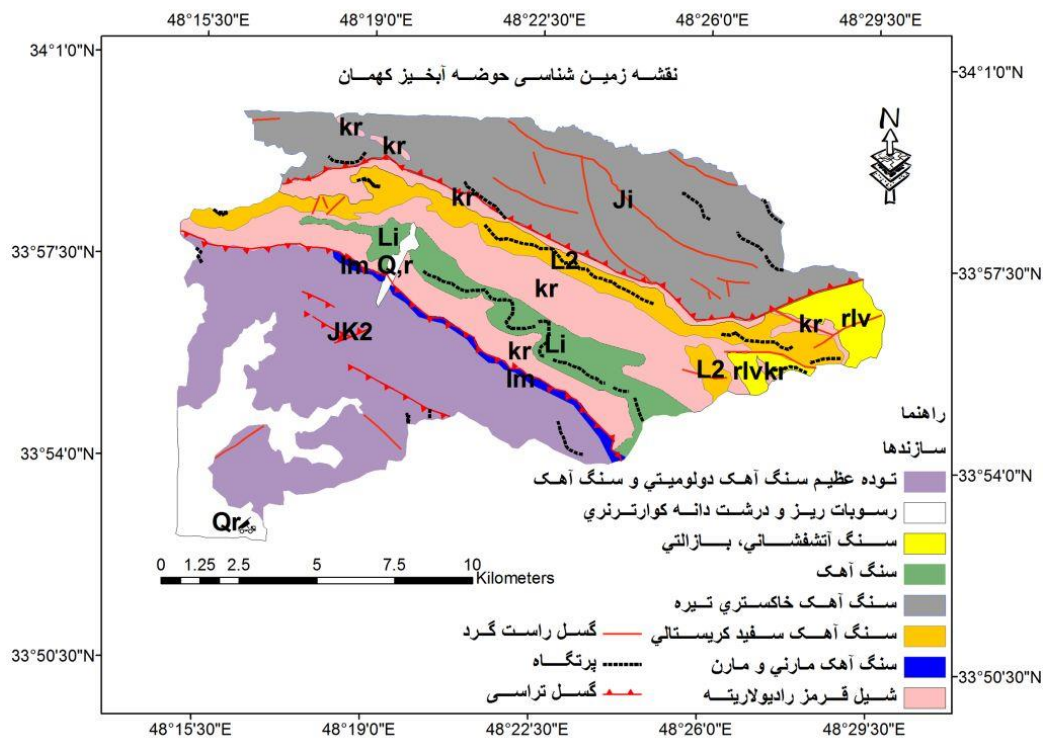


شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

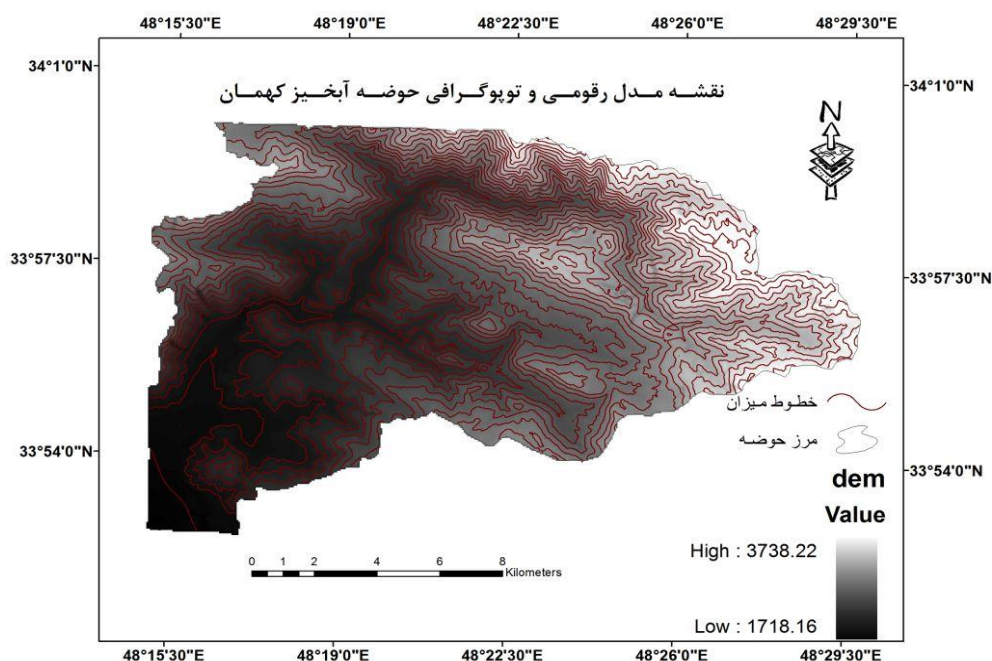
منطقه مورد مطالعه دارای چین خوردگی و گسل‌های زیادی است. جنس سازندها در منطقه بیشتر آهکی است که به‌خاطر تخلخل و نفوذپذیری بالا منابع کارستیک مهمی را تشکیل می‌دهند و در تغذیه آب‌رفت‌های دشت‌الشر نقش اساسی دارند (شکل ۲).

حوضه آبخیز کهمان در یک منطقه کوهستانی واقع شده است که بخش اعظم آن را کوه‌های مرتفع در بر گرفته و فقط پنج درصد حوضه، زمین‌های هموار را شامل می‌شود (شکل ۳). بارندگی متوسط سالانه محدوده ۴۷۰ میلی‌متر می‌باشد. رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است و بیشترین بارش‌ها در فصل سرد سال و کمترین بارش‌ها در فصل گرم سال رخ می‌دهد. دمای متوسط سالانه در محدوده ۱۲/۳ درجه سانتی‌گراد و افت دمای متوسط سالانه به ازاء هر کیلومتر افزایش ارتفاع ۸/۴ درجه سانتی‌گراد است.

کاربری در حوضه آبخیز کهمان به کشاورزی، مرتع و جنگل اختصاص یافته است. بیشترین کاربری اراضی مربوط به مراتع است که بیش از ۶۰ درصد حوضه آبخیز کهمان را در بر گرفته است. وجود این مراتع باعث کوچ بسیاری از کوچ‌نشینان به منطقه شده که به‌دلیل عدم توازن بین دام و مراتع، باعث تشدید فرسایش شده است.



شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز کهمان



شکل (۳) توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع حوضه آبخیز ilhk

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ابتدا اقدام به جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه، شامل نقشه توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، آمار بارندگی و دمای حوضه مورد مطالعه از سازمان‌های زیربند گردیده است. سپس با اعمال پردازش‌هایی در محیط GIS، ENVI و همچنین اجرای مدل EPM، BLM و فارگاس جهت محاسبه شدت فرسایش و پهنه‌بندی فرسایش اقدام گردید. طی چند بار بازدید میدانی نیز برخی از انواع فرسایش در سطح حوضه شناسایی و با استفاده از GPS مکان‌یابی گردید تا با نتایج حاصل از مدل‌های ذکر شده مقایسه شود. ابتدا نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی در محیط GIS رقومی و زمین مرجع گردیدند. سپس با استفاده از جداول مربوط به مدل EPM، BLM و فارگاس به هر یک از لایه‌های مورد نیاز امتیاز داده شد و نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش به‌دست آمد که در نهایت با هم مقایسه شدند.

مدل EPM

تعیین شدت فرسایش در حوضه مورد مطالعه با استفاده از روش EPM به صورت زیر به‌دست آمد (رابطه

(۱):

$$Z = X_a \cdot Y \cdot (\varphi + I^{1/2}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن Z ضریب شدت فرسایش، X_a ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، φ ضریب فرسایش حوضه آبخیز و I شیب متوسط حوضه بر حسب درصد است. ضرایب مدل از جدول مربوط به مدل EPM به دست آمده و شیب منطقه با استفاده از نقشه شیب حوضه آبخیز مذکور به پنج طبقه تقسیم بندی شده است (جدول ۱) که می توان بر مبنای آن، وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز را به صورت های خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم مشخص نمود (شکل ۳).

جدول (۱) طبقه بندی شدت فرسایش در مدل EPM

طبقه بندی فرسایش	شدت فرسایش	مقادیر حد	مقادیر متوسط (Z)
I	خیلی شدید	$Z > 1$	۱/۲۵
II	شدید	$1 > Z > 0.71$	۰/۸۵
III	متوسط	$0.7 > Z > 0.41$	۰/۵۵
IV	کم	$0.4 > Z > 0.2$	۰/۳
V	خیلی کم	$0.19 > Z$	۰/۱

ماخذ: رفاهی، ۱۳۷۹

مرحله دوم محاسبه میزان حمل رسوب است که با استفاده از رابطه ۲، می توان مقدار فرسایش را در طول یک سال در واحد سطح حوضه آبخیز (کیلومتر مربع) بر حسب مترمکعب در سال برآورد نمود.

$$WSP = T \cdot H \cdot Z^{1.5} \cdot \pi \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه WSP میزان فرسایش ویژه سالیانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع و T ضریب درجه حرارت است که از رابطه ۳، بدست می آید:

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1 \right)^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

t متوسط درجه حرارت سالیانه حوضه آبخیز بر حسب درجه سانتی گراد، H متوسط بارندگی سالیانه بر حسب میلی متر، Z ضریب شدت فرسایش و π معادل ۳/۱۴ است (احمدی و محمدی، ۱۳۸۹).

مرحله سوم محاسبه دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال است که از طریق رابطه ۴، به دست می آید، سپس از طریق رابطه ۵، ضریب رسوبدهی محاسبه می شود که در این رابطه p محیط حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع بر حسب متر و L طول حوضه یا بزرگترین آبراهه

بر حسب کیلومتر می باشد. مقدار D نیز از رابطه ۶، به دست می‌آید که در آن D_{av} ارتفاع متوسط حوضه بر حسب کیلومتر و D_o ارتفاع نقطه خروجی حوضه بر حسب کیلومتر می‌باشد.

$$GSP = WSP.RU \quad \text{رابطه (۴)}$$

GSp- دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال؛

WSP- مقدار فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال؛

RU- ضریب رسوبدهی.

$$fRu = \frac{(P, D)^{0.5}}{L + 10} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$D = D_{av} - D_o \quad \text{رابطه (۶)}$$

مدل BLM

این مدل وضعیت فرسایش را برحسب جمع نمرات عوامل هفت‌گانه در یک جدول امتیازدهی عوامل سطحی (جدول ۲)، عرضه کرده است و طبق این جدول وضعیت کلی فرسایش برای هر تیپ فرسایشی مشخص می‌شود (جدول ۳).

مدل فارگاس (Fargas)

این روش در سال ۱۹۹۷، توسط فارگاس و همکاران ابداع شده است (فارگاس و همکاران، ۱۹۹۷: ۳). اجرای این مدل شامل دو مرحله: ۱- تعیین شاخص فرسایش‌پذیری حوضه: در این مرحله میزان فرسایش‌پذیری هر واحد سنگی با استفاده از جدول ارائه شده توسط فارگاس و همکاران مشخص شد. ۲- روی هم اندازی نقشه آبراهه‌ها و نقشه واحدهای سنگی و ارزش‌گذاری میزان تراکم زهکشی در هر واحد سنگی طبق جدولی که توسط فارگاس ارائه شده است. ۳- تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزشی ارایه شده توسط فارگاس و همکاران براساس حاصل ضرب ارزش‌گذاری شده برای مقاومت سنگ به فرسایش و تراکم زهکشی در هر واحد سنگی (جدول ۴).

جدول (۲) امتیاز دهی عوامل سطحی بر اساس مدل BLM

شرح	حدود امتیاز	وضعیت ظاهری
حرکت توده خاک	۰ - ۳	حرکت قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.
	۴ - ۵	حرکت مختصر ذرات خاک
	۶ - ۸	حرکت متوسط و تازه ذرات خاک قابل مشاهده است. تراس‌های کم با ارتفاع کمتر از ۲٫۵ سانتی‌متر
	۹ - ۱۱	آثار تجمع خاک و ذرات مختلف در مقابل موانع کوچک که با هر رواناب، این عمل اتفاق می‌افتد.
پوشش لاشبرگ	۱۲ - ۱۴	خاک تحت‌الارضی در بیشتر مناطق ظاهر گشته و به‌وضوح دیده می‌شود. تپه‌های شنی و فرسایش بادی هم دیده می‌شود.
	۰ - ۳	تجمع بقایای گیاهی در یک منطقه
	۴ - ۶	بقایای گیاهی دارای حرکت کمی می‌باشند.
	۷ - ۸	حرکت متوسط لاشبرگ آشکار است و در مقابل موانع رسوب کرده است.
پوشش سنگی سطح زمین	۹ - ۱۱	حرکت زیاد لاشبرگ آشکار است و مقادیر زیاد و بزرگ در مقابل موانع رسوب کرده است.
	۱۲ - ۱۴	لاشبرگ سطحی خیلی کم است.
	۰ - ۲	بخه‌وبی توسعه یافته و به صورت یکسان پراکنده است.
	۳ - ۵	به‌صورت لکه لکه‌ای پراکنده است.
قطعات سنگی تحکیم یافته	۶ - ۸	مقدار سنگ‌های کوچک و بزرگ با پراکنش خیلی ضعیف
	۹ - ۱۱	به‌صورت سطوح منفرد است و حرکت کمی را نشان می‌دهد.
	۱۲ - ۱۴	به‌میزان زیاد وجود دارند اما به‌وسیله شیارها و خندق‌ها از هم جدا می‌شوند.
	۰ - ۳	شواهد قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.
شیارهای سطحی	۴ - ۶	در مسیرهای جریان به میزان کم وجود دارد.
	۷ - ۹	وجود سنگ‌های کوچک و گیاهان در شبکه جریان
	۱۰ - ۱۲	سنگ‌های کوچک و گیاهان بصورت برجستگی‌ها در آمده و عموماً ریشه گیاهان دیده می‌شود.
	۱۳ - ۱۴	گسترش خیلی زیاد سنگ‌ها و گیاهان به‌صورت تحکیم یافته
شکل آبراهه	۰ - ۳	شیارها در سطح زمین مشهود است ولی این شیارها عمقی کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر دارند و فواصل بین آنها حدود ۳ متر است.
	۴ - ۶	شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک به فواصل حدود ۳ متر از یکدیگر دیده می‌شوند.
	۷ - ۹	شیارهایی با عمق ۱٫۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک دیده می‌شوند که فواصل بین آنها حدود ۳ متر است.
	۱۰ - ۱۲	شیارهایی با عمق ۷/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر با فاصله کمتر از ۱٫۵ متر در سطح خاک دیده می‌شود.
توسعه فرسایش خندقی	۱۳ - ۱۴	کمتر آبراهه ای در سطح زمین دیده می‌شود.
	۰ - ۳	مواد برجای مانده در کف آبراهه تا حدودی مشهود می‌باشد.
	۴ - ۶	ذرات موجود در کف آبراهه به‌ترتیب اندازه ته‌نشین شده‌اند.
	۷ - ۹	در کف آبراهه ذرات لای شن و مواد کوهرفتی دیده می‌شود.
فرسایش خندقی	۱۰ - ۱۲	تراکم آبراهه در سطح زمین زیاد و اراضی غیرقابل کشت در محل ته نشست مواد کوهرفتی به چشم می‌خورد.
	۱۳ - ۱۵	ممکن است در شرایط پایداری باشند و پوشش گیاهی کف آبراهه و شیب‌های جانبی مستقر باشند.
	۰ - ۳	تعدادی خندق با فرسایش بستر و شیب کناری کم، مقداری پوشش گیاهی روی شیب‌ها وجود دارد.
	۴ - ۶	تعدادی از خندق‌ها کاملاً توسعه یافته دارای فرسایش فعال در طول کمتر از ۱۵ درصد طول آن
	۷ - ۹	خندق‌ها به تعداد زیاد ۵۵ - ۱۰۰ درصد فعالیت فرسایشی دارند.
	۱۰ - ۱۲	خندق‌های فعال که بیشتر از ۵۰ درصد منطقه را می‌پوشانند و از نظر فرسایشی فعال می‌باشند.
	۱۳ - ۱۵	

مأخذ: رفاهی ۱۳۷۹: ۲۶۸

جدول (۳) وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات هفت عامل

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفتگانه
جزیی	۰-۲۰
کم	۲۱-۴۰
متوسط	۴۱-۶۰
زیاد	۶۱-۸۰
خیلی زیاد	۸۱-۱۰۰

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۷۱

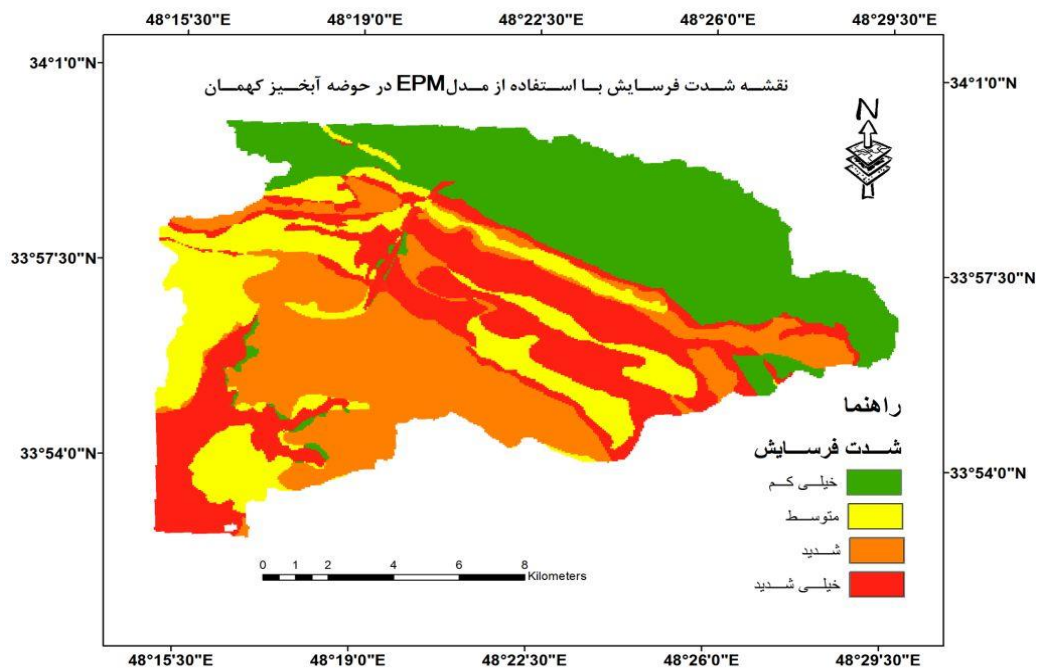
جدول (۴) معیار تعیین کلاس خطر فرسایش و رسوب‌زایی

ارزش نسبی	میزان خطر	کلاس
<۱۰	کم	۱
۱۰-۲۰	متوسط	۲
۲۰-۳۰	زیاد	۳
۳۰-۴۰	شدید	۴
>۴۰	بسیار شدید	۵

مأخذ: استروسنیجر و ایپینک، ۱۹۹۳ و فارگاس و همکاران ۱۹۹۷: ۳۴۷

یافته‌ها

عوامل و لایه‌های مورد نیاز مدل EPM به‌صورت زیر تهیه و با هم تلفیق شدند. جدول و نقشه حاصل از بررسی عوامل مورد نیاز جهت تعیین شدت فرسایش در روش EPM در شکل ۴ و جدول ۵، نشان داده شده است.



شکل (۴) پهنه‌بندی شدت فرسایش در حوضه آبخیز کهمان بر حسب مدل EPM

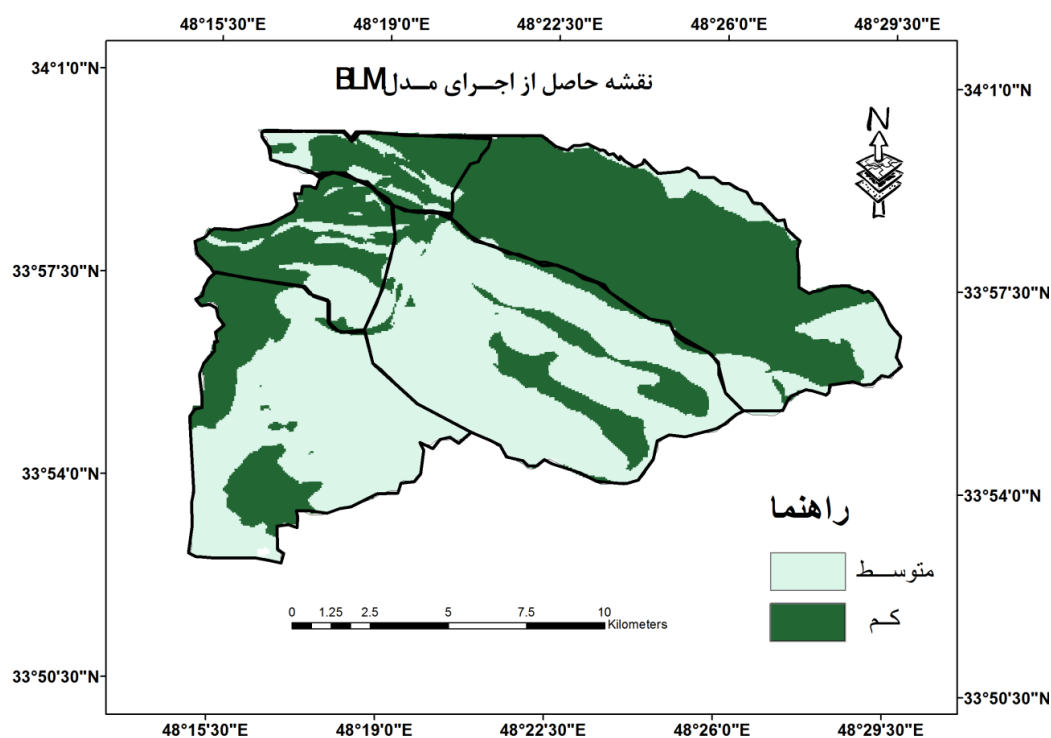
جدول (۵) مقادیر رسوب برآورد شده با استفاده از مدل EPM در حوضه آبخیز ilhk

حوضه	متوسط بارندگی سالانه (میلی- تر)	دمای سالانه	ضریب درجه حرارت	محیط حوضه آبخیز Km	ارتفاع متوسط حوضه Km	حداقل ارتفاع حوضه Km	اختلاف ارتفاع km	ضریب رسوبدهی	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	ضریب شدت فرسایش	رسوب کل
کهمان	۴۷۰	۱۲/۳	۱/۱۵	۷/۶	۲/۵	۱/۷	۰/۸	۰/۷	۱۳۰۳/۶	۹۱۲/۵	۰/۵۹	۱۸۱۳۲۰/۶

جدول و نقشه حاصل از بررسی عوامل مورد نیاز جهت تعیین شدت فرسایش در روش BLM در جدول ۶ و شکل ۵، نشان داده شده است.

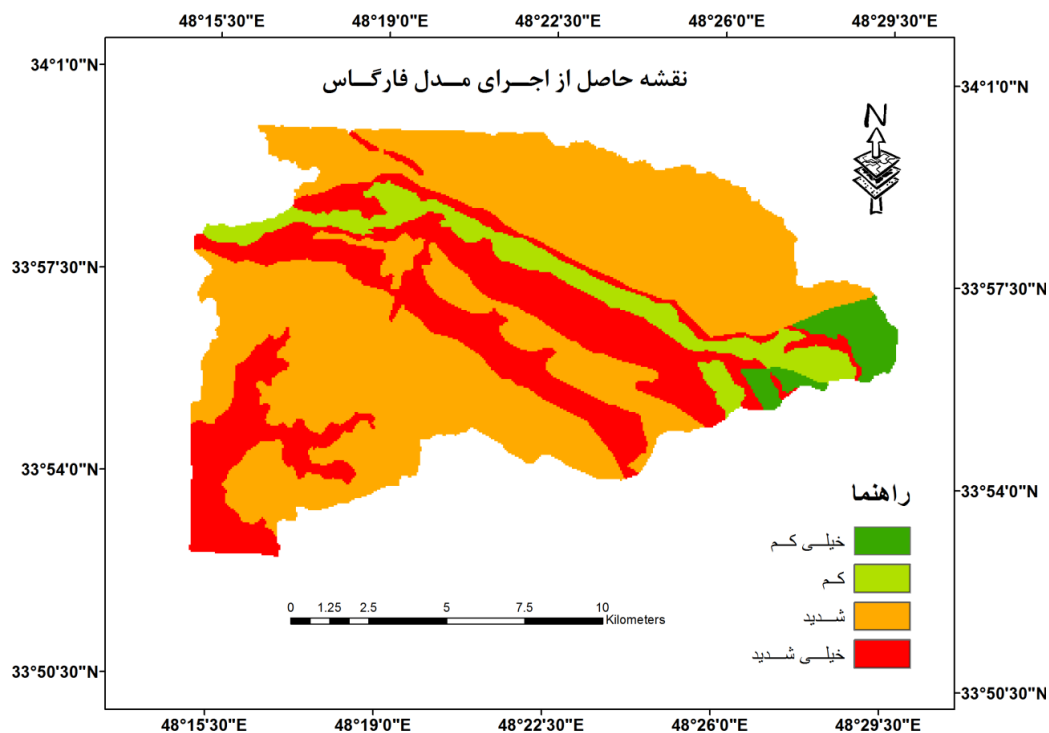
جدول (۶) نتایج حاصل از اجرای مدل BLM در حوضه آبخیز کهمان

شدت فرسایش	امتیاز شدت فرسایش	امتیاز عامل ۷	امتیاز عامل ۶	امتیاز عامل ۵	امتیاز عامل ۴	امتیاز عامل ۳	امتیاز عامل ۲	امتیاز عامل ۱	تیپ فرسایشی
کم	۳۷	۰	۱	۵	۶	۹	۸	۸	E1
متوسط	۴۲	۱	۳	۶	۷	۹	۹	۷	E2
کم	۲۸	۱	۱	۲	۶	۷	۶	۵	E3
متوسط	۴۴	۲	۷	۶	۶	۸	۷	۸	E4
کم	۳۷	۱	۳	۷	۷	۶	۷	۶	E5
کم	۳۴	۰	۲	۶	۴	۷	۷	۸	E6



شکل (۵) پهنه بندی شدت فرسایش در حوضه آبخیز کهمان بر حسب مدل BLM

همانطور که قبلاً گفته شد برای اجرای مدل فارگاس دو عامل زمین شناسی و تراکم آبراهه در واحد زمین‌شناسی را در نظر می‌گیرند که در این حوضه نیز دو عامل نامبرده با هم تلفیق و نتیجه کار در شکل ۶ و جدول ۷ نمایش داده شده است



شکل (۶) نقشه حاصل از اجرای مدل فارگاس

جدول (۷) نتایج حاصل از اجرای مدل Fargas

شدت فرسایش	امتیاز خطر فرسایش	امتیاز نسبی تراکم زهکشی	تراکم زهکشی (km/km ²)	طول آبراهه (km)	سطح (km ²)	امتیاز حساسیت سنگ	نوع و جنس سنگ
شدید	۳۵	۱۰	۴/۱	۲۲۹/۴	۵۵/۸	۳,۵	توده عظیم سنگ آهک دولومیتی و سنگ آهک
بسیار شدید	۷۵	۱۰	۳/۴	۴۹/۳	۱۴/۱	۷,۵	رسوبات ریز و درشت دانه کواترنری
خیلی کم	۱۰	۱۰	۹/۷	۵۹/۲	۶/۱	۱	سنگ آتشفشانی، بازالتی
متوسط	۳۰	۱۰	۶/۱	۶۶/۰۶	۱۰/۷	۳	سنگ آهک
شدید	۳۵	۱۰	۱۰/۰۵	۵۵۳/۸	۵۳/۰۹	۳,۵	سنگ آهک خاکستری تیره
بسیار شدید	۶۵	۱۰	۱۴/۳	۳۲۱/۳	۲۲/۴	۶,۵	شیل قرمز رادیولاریته
بسیار شدید	۹۰	۱۰	۹/۷	۱۹/۴	۲	۹	سنگ آهک مارنی و مارن
متوسط	۲۰	۱۰	۷/۷	۱۰۵	۱۳/۵	۲	سنگ آهک سفید کریستالی

نتیجه گیری

شرایط زمین شناسی و لیتولوژی به ویژه وجود گسل های متعدد در حوضه مورد مطالعه باعث شکسته و خورد شدن سنگ ها و افزایش سرعت و میزان فرسایش می شوند. در قسمت های شمالی حوضه که شیب بیش از ۴۰ درصد است و جنس سازندها نیز سخت است نقش شیب و لیتولوژی بسیار مهم بوده و از شدت

فرسایش کاسته است و تنها در پای دامنه‌ها و گسل‌ها، واریزه‌های سنگی به چشم می‌خورد. طبق مشاهدات میدانی در این قسمت از حوضه (شمال حوضه) به علت شیب زیاد، عدم وجود خاک ضخیم لایه و وجود رخنمون سنگی تحکیم یافته، کمترین میزان فرسایش مشاهده می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده بیشترین میزان فرسایش بر روی رسوبات کواترنری مسیر رودخانه مشاهده می‌شود که علت آن سست بودن جنس خاک، حضور انسان و دخالت‌های وی در این محدوده از حوضه است. همچنین بر روی شیل‌های قرمز رادیولاریته که از سست‌ترین سنگ‌های منطقه هستند و مناطق مرتعی، به دلیل کوچ فصلی عشایر، چرای بیش از حد دام، بوته کنی، از بین بردن گیاهان برای مصارف دارویی و غیره، فرسایش شدید است.

در بین سه مدل مذکور که به تفکیک بررسی شدند دو مدل فارگاس و BLM کیفی و مدل EPM فرسایش و رسوب را به شکل کمی برآورد می‌کند. مقایسه سه نقشه شدت فرسایش براساس مدل EPM، BLM و فارگاس نشان می‌دهد که مدل اخیر نسبت به مدل EPM و BLM فرسایش را بسیار شدیدتر نشان می‌دهد، حتی در مناطق شمالی حوضه که صخره‌ای و سنگی است و خاکی وجود ندارد، فرسایش را شدید نشان داده است. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی حوضه و بازدیدهای میدانی به نظر می‌رسد میزان فرسایش خیزی حوضه در حد متوسط باشد که با مقدار برآورد شده در مدل BLM مطابقت دارد ولی با مدل‌های EPM و فارگاس مطابقت ندارد. بدیهی است نتیجه به دست آمده در این دو مدل را نمی‌توان با اطمینان و به سادگی به مفهوم رد یا عدم دقت کاربرد دو مدل ذکر شده قلمداد نمود. زیرا مدل‌های مذکور در کشورهایی با شرایط اقلیمی و ویژگی‌های زمین محیطی متفاوت ابداع شده‌اند. بنابراین ضرایب و عوامل لحاظ شده در دو مدل EPM و فارگاس به احتمال زیاد با شرایط ایران سازگاری و مطابقت کامل ندارند. این نکته را نیز باید مد نظر داشت که در بازدیدهای میدانی شرایط فرسایش در حال حاضر شناسایی شده است در حالی که مدل EPM همانطور که از نام آن پیداست پتانسیل فرسایش را نشان می‌دهد در نتیجه مقدار فرسایش را بیشتر از آنچه هست به نمایش می‌گذارد. بررسی سه روش مورد آزمون نشانگر این است که علت اختلاف بین آنها در تعیین خطر فرسایش در منطقه تحقیق، به عوامل مورد استفاده و لحاظ شده در ساختار سه روش می‌تواند مربوط باشد. زیرا مدل فارگاس تنها دو عامل هیدرولوژی و زمین‌شناسی را مد نظر قرار می‌دهد در نتیجه نمی‌تواند فرسایش را با دقت بالا نشان دهد، همچنین عامل شیب و مناطق صخره‌ای را در نظر نگرفته و امتیاز عامل زمین‌شناسی را بسیار بالا در نظر می‌گیرد، بنابراین میزان فرسایش را در اکثر مناطق شدید نشان می‌دهد. از دیگر علل عدم مطابقت دو مدل مذکور، تعیین امتیازهای هر مدل با استفاده از نظر کارشناسی، بدون بهره‌گیری از نظر افرادی با تخصص‌های مختلف از جمله زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و فرسایش و رسوب را می‌توان نام برد. از ایراداتی که بر مدل‌های EPM و فارگاس می‌توان

گرفت این است که از سایر عوامل مهم در تولید رسوب و فرسایش مانند: رواناب و پوشش گیاهی استفاده نمی‌شود. اما مدل BLM برای پهنه‌بندی شدت فرسایش پارامترهای بیشتری را در نظر می‌گیرد و طبعاً از نتایج رضایت بخش‌تری برخوردار است. بر اساس مدل BLM در مناطقی از حوضه (شمال حوضه) که پوشش خاک کم، سنگ‌ها تحکیم یافته و حرکت توده خاک مشاهده نمی‌شود مقدار فرسایش را کم برآورد کرده و در مناطقی از حوضه که پوشش سنگی سطح زمین سست‌تر، آبراهه‌ها فشرده‌تر، قطعات سنگی کمتر و شیارهای سطحی و فرسایش خندقی دیده می‌شود، فرسایش به نسبت بیشتر و در کل، میزان فرسایش را متوسط ارزیابی می‌کند.

بر اساس مدل EPM مقدار رسوب کل حوضه $۱۸۱۳۲۰/۶$ متر مکعب در سال برآورد شد که با توجه به اعتبارسنجی مدل که مقدار رسوب واقعی حوضه را $۷۵۴۱۶/۸$ متر مکعب در سال برآورد می‌کند، نتیجه گرفته شد که این مدل برای حوضه مورد مطالعه مناسب نیست و این موضوع با نتایج کار احمدی و همکاران (۱۳۸۶)، علی‌محمدپور و افسری (۱۳۹۱) مطابقت دارد که این مدل را برای شرایط اقلیمی ایران مناسب نمی‌دانند. طبق مطالعات انجام شده توسط بیات و همکاران (۱۳۸۰) و شاکری و بلالی‌پور (۱۳۷۴)، نیز مدل EPM در حوضه‌های بزرگ از دقت کمتری در برآورد فرسایش نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. بر اساس مطالعات عبدی و همکاران (۲۰۱۴)، که در حوضه آق‌بلاق آذربایجان با استفاده از دو مدل BLM و فارگاس انجام گرفته است، مدل فارگاس ۸۲ درصد مساحت حوضه را با فرسایش خیلی شدید و مدل BLM نیز حدود ۸۰ درصد حوضه را در طبقه فرسایش متوسط و خیلی ناچیز طبقه‌بندی می‌کند و با نتایج این تحقیق مطابقت دارد، اما با نتایج کار نوجوان و همکاران (۱۳۹۱)، که دو مدل BLM و فارگاس را مناسب و در تطابق با هم می‌داند، مغایرت دارد.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۷۸)، ژئومورفولوژی کاربردی، چاپ سوم (با تجدید نظر کامل). انتشارات دانشگاه تهران جلد ۱ (فرسایش آبی).
- احمدی، حسن؛ ثروتی، محمدرضا؛ نورمحمدی، علی‌محمد (۱۳۸۶)، برآورد رسوب و فرسایش با مدل‌های EPM و MPSIAC با استفاده از روش ژئومورفولوژی و GIS در حوضه آبخیز باغره (تربت حیدریه). مجله علوم جغرافیایی، شماره ۷ و ۸ پاییز و زمستان ۸۶. صص ۵۲-۳۵.
- بیات، رضا؛ رفاهی، حسینقلی؛ درویش صفت، علی‌اصغر؛ سرمیدان، فریدون (۱۳۸۰)، بررسی کارایی مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد رسوب حوضه آبخیز طالقان به کمک GIS. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۲ شماره ۱، صص ۲۰۳-۲۱۷.
- پیرمحمدی، زیبا؛ چهری، مرضیه؛ فقهی، جهانگیر؛ زاهدی، قوام‌الدین (۱۳۸۷)، ارزیابی قابلیت مدل EPM جهت برآورد فرسایش و رسوب راهی به‌سوی مدیریت حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوضه کاکارضا در استان لرستان). سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.
- خدابخشی، زینب؛ ارزانی، ناصر؛ عبداللهی، خدایار؛ داودیان، علیرضا (۱۳۸۹)، مطالعه فرسایش پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل EPM به کمک GIS در بخشی از حوضه آبریز زاینده رود-حوضه حیدری در شمال شهرکرد. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و ششم، شماره پیاپی ۳۹، شماره دوم، صص ۴۸-۳۳.
- راستگو، سعید؛ قهرمانی، بیژن؛ ثنایی، حسین؛ داوری، کامران؛ خداشناس، سعیدرضا (۱۳۸۵)، برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دهم. شماره ۱. صص ۹۱-۱۰۵.
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۹)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.
- رنگ‌زن، کاظم؛ زراسوندی، علیرضا؛ حیدری، ارسلان (۱۳۸۷)، مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، سال چهارم، شماره ۶۴، صص ۱۳۶-۱۲۳.

- سلاجقه، علی؛ دلفاری، صادق (۱۳۸۶)، مقایسه روش‌های کیفی ژئومورفولوژی و کمی EPM در برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: زیرحوضه خوسبان حوضه آبخیز طالقان)، چکیده مقالات چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران - مدیریت حوضه‌های آبخیز، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- شاکری، شهاب‌الدین؛ بلالی‌پور، فضل‌الله (۱۳۷۴)، مقایسه موردی دو روش EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز دوآب، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، صص ۲۸۱-۲۷۳.
- عابدینی، موسی؛ شبرنگ، شنو؛ اسمعیلی، اباذر (۱۳۹۲)، بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز مشکین‌چای به روش EPM، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال یازدهم، شماره ۳۰، صص ۸۷-۱۰۰.
- علی محمدپور، آزاده؛ افسری، روح‌اله (۱۳۹۱)، ارزیابی دقت و کارایی روش شاخص فورنیه و تجزیه عاملی در تهیه نقشه شدت فرسایش و مقایسه آن با روش EPM در حوضه‌های آبخیز نیمه‌خشک، فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲، صص ۵۲-۳۲.
- کردوانی، پرویز (۱۳۷۷)، حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ششم (با تجدید نظر).
- نوجوان، مهدی؛ محمدی، علی اصغر؛ غلامی، وحید (۱۳۹۱)، تعیین شدت فرسایش با استفاده از مدل‌های Farga و BLM مورد: حوضه آبخیز بندره، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره ۲۹، صص ۲۶-۱۱.
- نورمن، هادسون (۱۳۷۲)، حفاظت خاک، ترجمه حسین قدیری، انتشارات دانشگاه شهید چمران. چاپ سوم.
- Abdi, N. Mohammadi, A. (2014), **Assessment Fargas and BLM Models for Identification of Erosion Degree and Critical Sediment Sources (Case Study: Aghbolagh Drainage Basin, Hashtroud City)**. Research Journal of Environmental and Earth Sciences 6(8): ISSN: 2041-0484.PP 408-415
- Boardman, J. and Poesen, J. (2006), **Soil erosion in Europe: major processes, causes and consequences, in: Soil Erosion in Europe**, edited by: Boardman, J. and Poesen, J., Wiley, Chichester, 479-487.
- Bosco, C. and Sander, G. (2014), **Estimating the effects of water-induced shallow landslides on soilerosion**, IEEE Earthzine 7, 910137, available at: <http://arxiv.org/abs/1501.05739>.
- Ghazavi, R., Vali, A., Maghami, Y., Abdi, J., Sharafi, S. (2012), **Comparison of EPM, MPASIAC and PESIAC Models for Estimating Sediment and Erosion by Using GIS**

(Case Study: Ghaleh-Ghaph Catchment, Golestan Province). Geography and Development. 10nd Year- No. 27, PP 30-32.

- Higakia, D., Kumar, K., Karki & Sekhar Gautam, C. (2007), **Soil erosion control measures on degraded sloping lands: A case study in Midlands of Nepal**. Aquatic Ecosystem Health & Management. Vol. 8, Issue. 3. Pp. 243-249.
- Fargas, D., Martinez, J.A. & Poch. R.M. (1997), **Identification Of Critical Sediment Source Area At Regional Level**, Journal of Physics & Chemistry of the earth, 22 (3-4).
- Pierre-Louis Regazzoni & Didier Marot (2010), **Investigation of interface erosion rate by Jet Erosion Test and statistical analysis**. European Journal of Environmental and Civil Engineering. . Vol. 15, Issue. 8. Pp 1167-1185 .
- Siyuan, W., Jingshi, L. & Cunjian. Y. (2007), **Temporal change in the landscape erosion pattern in the Yellow River Basin, China**. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 21, Issue. 10. pp 1077-1092.
- Stroosnijder, L. and L.A. Eppink (Ed), (1993), **Principles of soil and conservation**. Lecture notes of course K200- 500 \ 510. WAU, Wageningen.
- Van Beek, R. (2002), **Assessment of the influence of changes in climate and land use on landslide activity in a Mediterranean environment**, Netherlands Geographical Studies, 294, KNAG, Faculty of Geosciences, Utrecht University, p. 366,
- Vrieling, A., Sterk, G. & Vigiak, O. (2006), **Spatial evaluation of soil erosion risk in the West Usambara Mountains**, Tanzania. Land Degrad. Dev., 17: pp 301-319.
- Wang, Z., Govers, G., Oost, K.V., Clymans, W., den Putte, A.V., and Merckx, R. , (2013), **Soil organic carbon mobilization by interrill erosion: insights from size fractions**, J. Geophys. Res. Earth Surf., 118, 348-360, doi:10. 1029/2012JF002430.