

جغرافیا و توسعه شماره ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۰

وصول مقاله: ۱۳۸۸/۸/۱۴

تأیید نهایی: ۱۳۸۹/۱۲/۲۱

صفحات: ۱۲۷-۱۰۷

ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی

و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب

حوضه معرف کسلیان استان مازندران

دکتر جمال قدوسی

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

بهروز محسنی

مدرس دانشگاه پیام نور مازندران

دکتر رمضان طهماسبی

استادیار مؤسسه علمی - کاربردی وزارت جهاد کشاورزی

دکتر حسن احمدی

استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

هر ساله هزاران تن خاک حاصلخیز از اراضی مختلف کشور مشتمل بر اراضی جنگلی، مرتعی و زراعی در اثر فرسایش خاک از دسترس خارج شده و با انباشت در مناطق رسوبگذاری موجب بروز خسارات قابل ملاحظه‌ای می‌شوند. برای جلوگیری و مهار این پدیده لازم است مناطق تولید رسوب (تحت فرسایش) همراه با شدت و مقدار آن شناسایی شوند تا از این طریق افزون بر تعیین نقاط بحرانی و رده‌بندی مناسب بتوان اقدام به برنامه‌ریزی مقتضی در قالب طرح‌های حفاظت خاک و یا آبخیزداری نمود. لازم‌ه این امر در اختیار داشتن ابزار مناسب یعنی روش یا مدل برآورد فرسایش و رسوب با دقت و کارایی قابل قبول است. در این تحقیق با انتخاب ۴ مدل برآورد فرسایش و رسوب شامل EPM، MPSIAC، هیدروفیزیکی و ژئومورفولوژی که در بیشتر تحقیقات پیشین به صورت یکجا مقایسه و بررسی نشده است، با هدف شناسایی و معرفی مدل مناسب توجه به محدودیت‌های استفاده از آن، اقدام به ارزیابی مدل‌ها در حوضه آبخیز کسلیان شده است. نتایج حاصل از مقایسه‌ی مقادیر رسوب برآورد شده با مشاهده شده از طریق مقایسه‌ی مقادیر اختلاف مطلق و نسبی نشانگر این است که، مدل ژئومورفولوژی به رغم دارا بودن محدودیت از نظر حجم انجام محاسبات که ناشی از لزوم اجرای مدل در واحدهای همگن کاری است دارای دقت و کارایی قابل ملاحظه با سه مدل دیگر مورد آزمون می‌باشد. به طوری که مدل ژئومورفولوژی با اختلاف نسبی ۳/۳۶ درصد (۷۱۱/۲۵ تن در سال) نسبت به متوسط سالانه مقدار رسوب مشاهده شده در مقایسه‌ی با نتایج مدل‌های EPM، MPSIAC و هیدروفیزیکی با متوسط سالیانه‌ی مقدار رسوب مشاهده شده به ترتیب معادل ۴۴/۷۰، ۷ و ۳۰ درصد، مناسب‌ترین مدل با دقت و کارایی قابل ملاحظه است.

کلیدواژه‌ها: فرسایش خاک، تولید رسوب، مدل EPM، مدل MPSIAC، مدل ژئومورفولوژی، مدل هیدروفیزیکی، آبخیز کسلیان.

مقدمه

یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشور خاک می‌باشد. فرسایش خاک امروزه یکی از خطرات جدی و معضلات انسان متمدن امروزی به‌شمار می‌رود همچنانکه در بسیاری از مناطق جهان و نیز ایران فرسایش یکی از معضلات عمده است. در واقع فرسایش تسریع یافته‌ی خاک به دلیل تأثیرات آن بر اقتصاد و محیط زیست، به عنوان یک مشکل جهانی مطرح می‌باشد (K.J.Lim, et al, 2005: 61-80). با توجه به عدم در دسترس بودن آمار فرسایش و رسوب اندازه‌گیری شده در اکثر حوضه‌ها، لازم است اقدام به برآورد مقادیر فرسایش و رسوب شود. اما برآورد مقادیر فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های موجود همواره به دلیل عدم تطبیق و سازگاری آنها در مناطق مورد نظر، یکی از مسایل و مشکلات مهم می‌باشد. این مسایل زمینه‌ساز آن شده است که کارشناسان این علم به صورت پیگیر به دنبال راه‌حل‌ها و راهکارهایی برای مبارزه با این عامل مخرب (فرسایش) باشند.

از آنجایی‌که فرسایش خاک به صورت کیفی و کمی می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد، مدل‌های زیادی به وجود آمده و بیشتر مدل‌ها در زمینه‌ی بررسی و دادن اطلاعات زیاد در مورد فرسایش کامل نبوده‌اند (Merri, Letcher, Jakeman, 2003: 99-761). بنابراین از نظر علمی و منطقی ضرورت دارد نسبت به تعیین اعتبار مدل‌ها از طریق دقت نتایج حاصل از آزمون آنها از طریق ارزیابی کارایی مدل‌ها در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در حوضه‌های آبخیز مختلف هر کشور اقدام گردد. به‌طور کلی پیشینه‌ی تحقیق در زمینه‌ی فرسایش خاک به قرن نوزدهم باز می‌گردد و قسمت اعظم آن نیز مربوط به تحقیقات کاربردی درون مزرعه‌ای با قدمت ۵۰ سال است. اما پدیده‌ی فرسایش خاک از حدود ۷۰۰۰ سال پیش مورد شناسایی بشر قرار گرفته است و از دیرباز به عنوان یکی از عوامل در تداوم و بقای تمدن‌های بزرگ جهان بوده است. اما تحقیق در زمینه‌ی فرسایش و رسوب عملاً از قرن نوزدهم آغاز شده است (داوری، ۱۳۸۲: ۲۵). اهداف این تحقیق از نوع علمی- کاربردی، عبارتست از مشخص کردن مناسب‌ترین مدل برآورد فرسایش و رسوب از بین چهار مدل^۱ MPSIAC، EPM^۲، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی از طریق ارزیابی دقت آنها در مقایسه با آمار و داده‌های ثبت شده در منطقه‌ی تحقیق و مشخص نمودن مزایا و معایب کاربرد هر یک از مدل‌ها و تعیین محدودیت‌های استفاده از مدل مناسب معرفی شده همراه با ارایه‌ی پیشنهادهای اصلاحی برای رفع محدودیت‌های مبتنی بر نتایج به‌دست آمده از انجام تحقیق. بر اساس بررسی انجام شده درباره‌ی کارایی روش MPSIAC در حوضه‌ی آبخیز Reynold Creek واقع در ایالت آیداهو

1- Erosion Potential Method

2- Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

آمریکا مشخص گردید که مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از این روش تنها ۱۵ درصد بیشتر از مقدار رسوب مشاهده‌ای بوده است (Johnson & Gebhardt, 1982).

Devent و همکاران، با مطالعه برای پیش‌بینی تولید رسوب در مقیاس حوضه‌ی آبخیز به این نتیجه رسیدند که برای نزدیک به واقعیت تولید رسوب در هر حوضه‌ی آبخیزی، علاوه بر استفاده از مدل‌های شبه کمی باید در استفاده از این مدل‌ها از داده‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نیز جهت اجرایی‌تر شدن نتایج استفاده شود (Devenet, et al, 2005: 1-31). این حوضه‌ی آبخیز در واحد کوهستانی و جنگلی در ضلع شمالی البرز واقع شده که روستای سنگده تقریباً در مرکز آن قرار دارد. آبراهه‌ی اصلی این آبخیز یکی از سرشاخه‌های رودخانه تالار است که به رودخانه‌ی کسلیان معروف می‌باشد (طرح جامع جنگلداری سری‌سنگده، ۱۳۷۹). مساحت حوضه ۶۸۵۱ هکتار، حداکثر ارتفاع آن ۳۲۸۸/۸۸ و حداقل ارتفاع آن ۱۰۹۹/۰۴ متر است. ارتفاع متوسط وزنی حوضه نیز ۱۶۲۵/۲۸ متر برآورد شده است. حوضه‌ی آبخیز کسلیان بر اساس وضعیت شیب و توپوگرافی آن به ۱۵ زیرحوضه تقسیم‌بندی شده است و متوسط بارندگی در آبخیز مورد مطالعه حدود ۷۳۳/۳ میلی‌متر است. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، حوضه‌ی آبخیز کسلیان جزء البرز مرکزی محسوب می‌شود که اکثر سنگ‌های تشکیل‌دهنده سطح حوضه از نظر زمانی مربوط به دوران دوم، سوم و چهارم زمین‌شناسی است. بر این اساس حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه مشتمل بر دو ناحیه‌ی مجزا از هم است؛ ارتفاعات جنوبی، متشکل از سازند شمشک و بخش شمالی، متشکل از کنگلومرا، رسوبات آبرفتی انباشته شده در دره‌ها، مارن، ماسه‌های سُست کنگلومرای گچ‌دار با سن‌های پلیوسن تا کواترنر. براساس مطالعات قابلیت اراضی و خاکشناسی این آبخیز مشتمل بر دو تیپ کوهستان و آبرفت‌های بادبزی شکل همراه با ۹ جزء واحد اراضی می‌باشد. همچنین منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی به دو جامعه‌ی جنگلی و مرتعی تقسیم شده به طوری که پوشش گیاهی زنده در آنها از ۱۶ تا ۸۵ درصد و درصد اراضی لخت در جوامع مذکور از ۵ تا ۳۰ درصد برآورد شده است (طرح جامع آبخیزداری حوضه کسلیان، ۱۳۷۲).

با شرح مطالب فوق و اینکه در پژوهش‌های انجام شده اصولاً تا به حال مقایسه‌ای در رابطه با ارزیابی دقت چهار مدل تجربی EPM, MPSIA, ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در مقیاس حوضه‌ی آبخیز در قالب یک طرح تحقیقاتی نگردیده است، از این رو این تحقیق به عنوان تکمیل‌کننده‌ی پژوهش‌های پیشین محسوب شده که می‌تواند بخشی از معضلات در زمینه‌ی برآورد مقادیر فرسایش و رسوب در طرح‌های منابع طبیعی، آبخیزداری، محیط زیست و منابع آبی را بر طرف نماید.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده

الف) نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه‌های موضوعی.
 ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ جهت تعیین وضعیت سازند منطقه.
 ج) عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست IRS سال ۲۰۰۸، جهت تهیه نقشه‌های رخساره‌ها، وضعیت فعلی فرسایش و کاربری اراضی.
 د) پلات ۱×۱ جهت اندازه‌گیری نوع و تراکم پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه.
 ه) داده‌های بارش، دما، دبی و رسوب به ترتیب جهت بررسی مشخصات هوا و اقلیم، هیدرولوژی آب‌های سطحی و رسوبدهی آبخیز.
 و) استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری Arcview Gis، Excel و HYFA جهت تجزیه، تحلیل و استخراج اطلاعات و نقشه‌های پایه مورد نیاز، تعیین دبی و بارندگی با دوره‌ی برگشت‌های مختلف.

تشریح مدل‌ها

مدل EPM

پیشینه‌ی مدل EPM، به سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ در کشور چین باز می‌گردد (Gavrilovic, z. 1998:411-422). نتایج حاصل بیانگر این مطلب است که علاوه بر تعیین شدت فرسایش در مقیاس حوضه‌ی آبخیز، مقدار رسوب را نیز در زیر حوضه‌های آبخیز و قطعات نسبتاً کوچک می‌توان برآورد نمود (مسلم‌کوپائی، ۱۳۷۶:۱۱۳). بر این اساس محاسبه میزان فرسایش و رسوب از طریق رابطه‌ی ۱ به شرح زیر می‌باشد:

$$W_{SP} = T.H.\pi.Z^{1.5} \quad (1)$$

که در آن W_{sp} : متوسط سالانه فرسایش برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال، T: ضریب درجه حرارت هوا، H: ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبخیز (mm)، π : عدد پی، Z: شدت فرسایش می‌باشد. از طرفی در رابطه‌ی مذکور مقادیر Z و T از روابط ۲ و ۳ به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$Z = Y.X_a(\varphi + I^{0.5}) \quad (2)$$

که در آن Z : ضریب شدت فرسایش، Y : ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، X_a : ضریب استفاده از زمین، φ : ضریب فرسایشی و I : شیب متوسط حوضه آبخیز برحسب درصد است.

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1 \right)^{0.5} \quad (3)$$

t : متوسط درجه حرارت سالانه بر حسب درجه سانتیگراد
 پس از به دست آوردن ضریب دما (T) و محاسبه W_{sp} ، آنرا در معادله رسوب ویژه قرار داده و با احتساب وزن مخصوص ظاهری رسوب ($1/3$ گرم بر سانتیمتر مکعب) و تبدیل سطح بر حسب هکتار، وزن رسوب بر حسب تن در هکتار در سال به دست می‌آید. اما برای محاسبه رسوب بر اساس این مدل به این ترتیب عمل می‌کنیم که ابتدا ضریب رسوبدهی در یک حوضه آبخیز را از طریق رابطه ۴ به شرح زیر به دست می‌آوریم (ضیایی، ۲۰۷:۱۳۸۰):

$$R_u = \frac{4(P \times D)^{0.5}}{L + 10} \quad (4)$$

که در آن R_u : ضریب رسوبدهی حوضه آبخیز، L : طول حوضه آبخیز (km)، P : طول محیط حوضه آبخیز (km)، D : اختلاف ارتفاع (km) بوده که از رابطه ۵ به شرح زیر به دست می‌آید:

$$D = D_{av} - D_o \quad (5)$$

که در آن D_{av} : ارتفاع متوسط حوضه آبخیز، D_o : ارتفاع نقطه‌ی خروجی در رودخانه است. بنابراین مقدار D را پس از محاسبه، در رابطه‌ی مذکور قرار داده و ضریب رسوبدهی حوضه آبخیز را محاسبه می‌کنیم. سپس رسوب ویژه از رابطه ۶ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$G_{sp} = W_{sp} \cdot R_u \quad (6)$$

که در آن G_{sp} : رسوب ویژه بر حسب مترمکعب در سال در کیلومتر مربع، R_u : ضریب رسوبدهی حوضه آبخیز و W_{sp} : فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع می‌باشد. در نهایت رسوب کل در یک حوضه آبخیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G_s = G_{sp} \cdot A \quad (7)$$

که در آن G_s : دبی رسوب کل بر حسب مترمکعب در سال، A : مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع و G_{sp} : رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع است.

مدل MPSIAC

این مدل، اصلاح شده مدل اولیه PSIAC ارایه شده توسط جانسون و گبهارت (۱۹۸۲) می‌باشد. مدل PSIAC برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ مطرح شد. این مدل در مقایسه با سایر مدل‌های تجربی موجود بیشترین عامل مؤثر در فرسایش خاک را برای محاسبه‌ی فرسایش ویژه و تولید رسوب به کار برده است. کاربرد این مدل در مناطق با وسعت بین ۳۳ تا تقریباً ۱۷۰۰۰ هکتار مورد تأیید قرار گرفته است و در مناطق با وسعت بیش از ۳۳۰۰۰ هکتار نیز جواب‌های قابل قبولی ارایه نموده است (قدوسی، ۱۳۸۶: ۷۲). پس از تعیین امتیاز هر یک از عوامل ۹ گانه در این مدل بر اساس جدول شماره ۱، با استفاده از درجه‌ی رسوبدهی (R) که حاصل جمع امتیاز آنهاست، این امکان ایجاد می‌شود که میزان تولید رسوب در واحدهای مطالعاتی محاسبه شود. بدین منظور از رابطه‌ی ۸ به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$Q_s = 38.77 e^{0.0353R} \quad (8)$$

که در آن Q_s : میزان تولید رسوب (مترمکعب در کیلومترمربع در سال) و R: درجه‌ی رسوبدهی یا مجموع نمرات عوامل ۹ گانه و C: لگاریتم نپیرین (۲/۷۱۸) می‌باشد. پس از برآورد رسوبدهی سالانه حوضه‌ی آبخیز با استفاده از رابطه‌ی ۹ به شرح زیر میزان SDR (نسبت تحویل رسوب) تعیین می‌شود:

$$\text{Log SDR} = 1.8768 - 0.14191 \text{Log}(10A) \quad (9)$$

که در آن A: مساحت زیرحوضه برحسب مایل مربع می‌باشد. آنگاه با داشتن میزان SDR برآورد شده، از طریق رابطه‌ی زیر فرسایش ویژه‌ی حوضه نیز محاسبه می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۸: ۲۵۷).

$$\text{Erosion } m^3 / ha.yr = \frac{Se \text{ dim ent } m^3 / ha.yr}{SDR} \quad (10)$$

با تعیین درجه‌ی رسوبدهی برای هر یک از واحدهای همگن مطابق جدول شماره ۲ کلاس رسوبدهی به دست می‌آید.

جدول ۱: روابط تعیین نمره یا امتیاز هر یک از عوامل ۹ گانه در مدل MPSIAC*

ردیف	عامل	مهمترین خصوصیات مورد نظر
۱	زمین‌شناسی سطحی	$x_1, y_1 = x_1$ شاخصی از فرسایش زمین‌شناسی که بر اساس خصوصیات سختی، هوازدگی، شکستگی و نوع سنگ
۲	خاک	$x_2, y_2 = 16.67x_2$ ضریب فرسایش‌پذیری خاک در معادله جهانی تلفات خاک.
۳	اقلیم	$x_3, y_3 = 0.2x_3$ مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله (میلی‌متر).
۴	رواناب	$x_4, y_4 = 0.2x_4$ برابر با مجموع ارتفاع رواناب سالانه (میلی‌متر) ضربدر 0.3 و دبی پیک سالانه (مترمکعب در ثانیه در کیلومتر مربع) ضربدر 50
۵	شیب	$x_5, y_5 = 0.33x_5$ شیب متوسط حوضه بر حسب درصد.
۶	پوشش زمین	$x_6, y_6 = 0.2x_6$ برابر است با درصد خاک لخت.
۷	کاربری	$x_7, y_7 = 20 - 0.2x_7$ برابر با درصد تاج پوشش گیاهی.
۸	فرسایش بالادست	$x_8, y_8 = 0.25x_8$ برابر با مجموع نمرات عامل سطحی خاک (S.S.F) است.
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	$x_9, y_9 = 1.67x_9$ نمره مربوط به فرسایش خندقی در عامل سطحی خاک.

* (Johnson, Gebhardt, ۱۹۸۲ به نقل از قدوسی، ۱۳۸۶: ۸۳)

جدول ۲: تعیین وضعیت فرسایش و دامنه مقدار کمی آن در مدل MPSIAC *

مجموع امتیازات (R)	دامنه مقدار کمی فرسایش		وضعیت شدت فرسایش	کلاس فرسایش
	ایگر فوت در مایل مربع	مترمکعب در کیلومترمربع		
>۱۰۰	>۳	>۱۴۲۹	خیلی زیاد	V
۷۵-۱۰۰	۱-۳	۴۷۶-۱۴۲۹	زیاد	IV
۵۰-۷۵	۰/۵-۱	۲۳۸-۴۷۶	متوسط	III
۲۵-۵۰	۰/۲-۰/۵	۹۵-۲۳۸	کم	II
۰-۲۵	<۰/۲	<۹۵	خیلی کم	I

* رفاهی، ۱۳۷۸: ۲۵۳

مدل ژئومورفولوژی

مدل ژئومورفولوژی، روش کیفی به منظور برآورد شدت فرسایش آبی در مقیاس حوضه‌ی آبخیز است. در این روش (احمدی، ۱۳۷۴: ۵۹۷)، اساس کار مبتنی بر تعیین واحدهای کاری همگن با در نظر گرفتن سه عامل شامل نوع سنگ، توپوگرافی و رخساره‌های ژئومورفولوژی است. به طوری که پس از مشخص شدن واحدهای کاری در کل حوضه (به منظور بررسی و برآورد

مقادیر فرسایش و رسوب با توجه به موضوع تحقیق بر اساس همگنی مناطق از نظر سنگ-شناسی، شیب و نوع فرسایش آبی دره‌ریک از تیپ‌های ژئومورفولوژی و باتلفیق نقشه‌های ذکر شده، واحدهای کاری مشخص شده که از این طریق نقشه‌ی واحدهای کاری در محیط GIS تهیه گردید)، عوامل جهت دامنه‌ها، پوشش گیاهی، استفاده از زمین، اقلیم و خاک در هر واحد کاری بررسی می‌شود و سپس بر اساس وضعیت و خصوصیات مربوط به هر یک از عوامل ذکر شده در فوق شامل، نوع سنگ، شیب، جهت، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارندگی و خاک، اقدام به تعیین امتیاز یا نمره مربوط به هر یک از عوامل می‌گردد (ملکی، ۱۳۸۶: ۴۰۲). با توجه به نتایج حاصل از بررسی خصوصیات هر یک از عوامل تعیین شده، شدت کیفی فرسایش در ۵ کلاس مشتمل بر شدت‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مشخص شده و اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی کیفی شدت فرسایش می‌شود (احمدی، ۱۳۷۸ و قدوسی، ۱۳۸۶). اما از آنجا که تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی اجرای مدل‌های کمی برآورد فرسایش و رسوب مانند مدل‌های EPM و MPSIAC بر اساس واحدهای کاری تعریف شده در مدل ژئومورفولوژی نشانگر برآورد دقیق‌تر مقادیر فرسایش و رسوب است و عملاً از این طریق نیز می‌توان به مقادیر کمی دست یافت (گشاسی، ۱۳۸۵: ۱۲۸ و ملکی، ۱۳۸۲: ۱۵۰)، از اینرو در تحقیق حاضر، برای برآورد فرسایش و رسوب ابتدا اقدام به مشخص کردن واحدهای کاری همگن به شرح بیان شده در فوق گردیده و سپس در هر واحد همگن کاری و با استفاده از خصوصیات شناسایی و مشخص شده مربوط به عوامل ۹ گانه مدل MPSIAC، مدل مذکور اجرا شده است. به این ترتیب در نهایت اقدام به برآورد فرسایش به صورت کیفی در ۵ کلاس ناچیز، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد و تهیه‌ی نقشه‌ی وضعیت فرسایش در آبخیز مورد مطالعه شده است.

مدل هیدروفیزیکی

این مدل توسط جزایری و همکاران (۱۳۶۰) برای مشخص نمودن مقدار نسبی رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیکی در یک حوضه‌ی آبخیز ارائه شده است. با توجه به این روش، یک حوضه‌ی آبخیز بزرگ به زیرحوضه‌هایی تقسیم می‌گردد، به طوری که در هر زیرحوضه، پتانسیل رسوبدهی محاسبه و در نهایت پتانسیل رسوبدهی کل حوضه‌ی آبخیز به دست می‌آید. در این روش ضریب یا پتانسیل رسوبدهی^۱ (CSY)، در هر یک از زیر حوضه‌ها با فرض یکسان بودن ضریب در سطح هر زیر آبخیز بر اساس رابطه‌ی ۱۱ به شرح زیر محاسبه می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۸: ۲۶۵):

$$Csy = A^s . R . E . V . P \quad (11)$$

که در آن Csy : پتانسیل رسوبدهی (تُن در سال)، A^s : عامل مساحت زیرحوضه‌ها، R : عامل توپوگرافی، E: عامل قابلیت فرسایش، V: عامل پوشش گیاهی و P: عامل هیدرولوژی است.

محاسبه‌ی ضریب و درصد پتانسیل رسوبدهی

در پژوهش حاضر پس از محاسبه مقادیر ضریب پتانسیل رسوبدهی مربوط به هر زیرحوضه اقدام به مقایسه ضریب هر زیرحوضه آبخیز نسبت به ضریب رسوبدهی کل حوضه‌ی آبخیز شده است. به طوری که پتانسیل رسوبدهی هر زیرحوضه‌ی آبخیز با استفاده از رابطه‌ی ۱۲ به شرح زیر محاسبه شده است (قدوسی، ۱۳۸۶):

$$Sy_x = \frac{Csy_x}{Csy_t} \times 100 \quad (12)$$

که در آن Sy_x : پتانسیل رسوبدهی هر زیرحوضه (درصد)، Csy_x : ضریب پتانسیل رسوبدهی هر زیرحوضه و Csy_t : ضریب پتانسیل رسوبدهی کل حوضه‌ی آبخیز می‌باشد. از آنجاکه در مدل هیدروفیزیکی وضعیت رسوبدهی حوضه‌ی آبخیز بر اساس و به صورت پتانسیل رسوبدهی مناطق مختلف آن محاسبه می‌شود، از این رو برای محاسبه‌ی مقدار رسوبدهی کل حوضه آبخیز لازم است مقدار رسوبدهی حداقل یکی از زیر حوضه‌های آبخیز از طریق اندازه‌گیری مستقیم در اختیار باشد (قدوسی، ۱۳۸۶: ۱۰۷).

نتایج

نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM

نتایج حاصل از محاسبه‌ی مقادیر ضرایب شدت فرسایش (Z) بر اساس مقادیر ضرائب X_a ، Y ، Q و I ، میزان فرسایش ویژه (W_{SP})، ضرایب رسوبدهی (R_{II}) و مقادیر حجمی و وزنی فرسایش ویژه، فرسایش کل، رسوب ویژه و رسوب کل به تفکیک ۱۵ زیرحوضه‌ی موجود در حوضه‌ی آبخیز کسلیان تعیین شده است. شایان ذکر است که مقادیر ضریب فرسایش، فرسایش ویژه، ضریب رسوبدهی، رسوب ویژه و رسوب کل به تفکیک هریک از زیرحوضه‌ها در جدول شماره‌ی ۳ آورده شده است. بر این اساس میزان رسوبدهی ویژه و کل در حوضه‌ی آبخیز کسلیان به ترتیب معادل ۱/۷۱ تُن در کیلومتر مربع در سال و ۱۱۷۱۵/۲۱ تُن در سال است و در شکل ۱ نیز نقشه‌ی شدت فرسایش بر اساس مدل EPM نمایش داده شده است.

نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC

نتایج حاصل از اجرای مدل MPSIAC به تفکیک هر زیرحوضه در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه و بر اساس ۹ عامل لحاظ شده در مدل مقادیر درجه‌ی رسوبزایی، رسوب ویژه و کل و فرسایش کل به تفکیک زیرحوضه‌های ۱۵ گانه و کل حوضه‌ی آبخیز در جداول شماره‌ی ۴ و ۵ آورده شده است که بر اساس آن مقادیر رسوب ویژه و رسوب کل آبخیز مورد مطالعه به ترتیب ۲/۸۷ تُن در هکتار در سال و ۱۹۶۶۸/۹۲ تُن در سال می‌باشد و در شکل ۲ نیز نقشه‌ی شدت فرسایش بر اساس مدل MPSIAC ارائه شده است.

نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل ژئومورفولوژی

با توجه به استفاده از روش ژئومورفولوژی و به دلیل لزوم تهیه‌ی نقشه‌ی واحدهای کاری در این مدل مبتنی بر سه ویژگی واحدهای سنگی و حساسیت آنها به فرسایش (جدول شماره ۶)، شیب و رخساره‌های فرسایشی، ۳۶ واحد کاری در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه مشخص شده است که، مقادیر رسوب ویژه و رسوب کل برآورد شده به روش ژئومورفولوژی به ترتیب برابر با ۳/۱۹ تُن در هکتار در سال و ۲۱۸۹۸ تُن در سال تعیین شده است. با توجه به جدول شماره‌ی ۷ و مشخص شدن مقادیر رسوب و فرسایش و شدت رسوبدهی با استفاده از روش ژئومورفولوژی، نقشه‌ی شدت فرسایش آبخیز مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است (عامل اقلیم در کل حوضه معادل ۲/۸۶ می‌باشد).

جدول ۳: نتایج مقادیر محاسبه شده فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌های آبخیز کسپیان بر اساس مدل EPM *

محل آبخیز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
عمق خوبه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
شیب نسبت درستی	۰/۰۰۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۰	۰/۰۳۶	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۳۲	۰/۰۳۵	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲	۰/۰۳۴	۰/۰۳۶	۰/۰۳۰	۰/۰۳۶	۰/۰۳۰
شدت کلی فرسایش	خیلی کم	کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	کم	کم	کم	خیلی کم
میان (کیلومتر مربع)	۶۳۷	۳۲۱	۷۱۶	۷۶۶	۷۶۶	۶۱۶	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷	۶۳۷
غرب رشدگی	۰/۳۸۰	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸
فرسایش هر م ^۲ cm ^۲ yr	۷۰۸۴	۵۶۰	۱۳۷۳۵	۲۵۷	۱۱۳۱۰	۷۷۳	۵۲۶۶	۶۱۷۴	۳۷۱۵	۱۸۶۶	۱۸۶۶	۱۸۶۶	۱۸۶۶	۱۸۶۶	۱۸۶۶
دبی رسوب م ^۲ cm ^۲ yr	۲۸/۲۲	۲۵۲	۸۶/۸۸	۱۸/۷	۱۳/۲۷	۷/۸۰	۲۹/۵۰	۳۶/۶۴	۲۱/۲۹	۲۱/۲۹	۲۱/۲۹	۲۱/۲۹	۲۱/۲۹	۲۱/۲۹	۲۱/۲۹
دبی رسوب کل (شیب و رسوب)	۱۸۸۶۹	۳۳۹	۶۴۰۲۲	۳۸۸	۱۰۶	۳۰۸۵	۲۰۵۶۱	۲۳۸۰۰	۱۰۹۱۹	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶
میزان رسوب م ^۲ cm ^۲ yr Ilsay	۰/۵۰	۶/۳۰	۷/۱۰	۲/۳۵	۱/۶۱	۷/۰۱	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶
رسوب کل تولید شد در هر م ^۲ cm ^۲ yr	۳۳۸/۵۰	۲۰۳۹	۱۹۹/۵۸	۱۶۰۰	۳۱۱/۶	۲۵/۵۵	۲۵/۱۵	۲۵/۱۵	۳۷/۵۵	۳۱۱	۳۱۱	۱۱۹/۴	۲۱/۲۹	۱۹۳۳	۱۱۲/۵

جدول ۴: مجموع درجه‌ی رسوبزایی، رسوب ویژه و رسوب کل در زیرحوضه‌ها

و حوضه‌ی آبخیز کسلیان به روش MPSIAC*

شماره زیرحوضه	درجه رسوبزایی	رسوب ویژه ($M^3.Km^2.yr$)	رسوب ویژه (T.Ha.yr)	رسوب کل (T.yr)	شدت رسوب‌دهی
۱	۵۳/۶۴	۲۵۷	۳/۳۳	۱۵۹۱/۰۳	متوسط
۲	۵۵/۵	۲۷۲	۳/۵۴	۳۲۶۱/۹۰	متوسط
۳	۴۶/۴۰	۱۹۸	۲/۵۷	۱۸۳۶/۳۳	کم
۴	۵۱/۴۷	۲۳۷	۳/۰۸	۲۳۵۸/۵۱	کم
۵	۴۲/۷۴	۱۷۴	۲/۲۶	۱۷۳۲/۱۱	کم
۶	۳۸/۶۹	۱۵۱	۱/۹۶	۵۰۲/۵۲	کم
۷	۴۰/۷۴	۱۶۲	۲/۱۱	۱۴۶۷/۸۸	کم
۸	۴۰/۹۹	۱۶۴	۲/۱۳	۲۷۶/۴۹	کم
۹	۴۵/۷	۱۹۴	۲/۵۲	۷۴۱/۱۴	کم
۱۰	۴۸/۴۹	۲۱۴	۲/۷۹	۴۵۹/۶۹	کم
۱۱	۵۵/۷	۲۷۵	۳/۵۸	۱۱۰/۸۹	متوسط
۱۲	۵۹/۲۲	۳۱۳	۴/۰۷	۸۱۰/۶۸	متوسط
۱۳	۵۷/۸۳	۲۹۸	۳/۸۷	۱۶۷۴/۰۸	متوسط
۱۴	۵۳/۰۸	۲۵۱	۳/۲۷	۲۰۱۷/۲۸	متوسط
۱۵	۴۱/۷۹	۱۶۹	۲/۱۹	۸۲۱/۸۵	کم
آبخیز کسلیان	۵۰/۰۳	۲۲۱	۲/۸۷	۱۹۶۶۸/۹۲	کم

*محاسبات آماری توسط نگارندگان، ۱۳۸۷.

جدول ۵: مقادیر ضریب رسوبدهی برآورد شده ، مقادیر فرسایش ویژه و فرسایش کل به تفکیک زیرحوضه‌ها و حوضه‌ی آبخیز کسپلیان به روش MPSIAC*

شماره زیرحوضه	SDR	مساحت (Km ²)	فرسایش ویژه (M ³ .Km ² .yr)	فرسایش ویژه (T.Km ² .yr)	فرسایش کل (T.yr)
۱	۰/۶۸	۴/۷۷	۳۷۷	۴۹۰	۲۳۳۹/۷۳
۲	۰/۷۸	۹/۲۱	۳۴۹	۴۵۴	۴۱۸۱/۸۹
۳	۰/۶۳	۷/۱۴	۳۱۴	۴۰۸	۲۹۱۴/۷۶
۴	۰/۶۵	۷/۶۶	۳۶۴	۴۷۴	۳۶۲۸/۴۶
۵	۰/۶۵	۷/۶۷	۲۶۷	۳۴۷	۲۶۶۴/۷۸
۶	۰/۶۵	۲/۵۶	۲۳۲	۳۰۲	۷۷۳/۱۲
۷	۰/۷۴	۶/۹۷	۲۱۹	۲۸۵	۱۹۸۳/۶۶
۸	۰/۶۶	۱/۳۰	۲۴۸	۳۲۲	۴۱۸/۹۲
۹	۰/۸۲	۲/۹۴	۲۳۶	۳۰۴	۸۹۵
۱۰	۰/۷۳	۱/۶۵	۲۹۴	۳۸۲	۶۲۹/۷۰
۱۱	۱/۰۰	۰/۳۱	۲۷۲	۳۵۴	۱۰۹/۸۰
۱۲	۰/۷۸	۱/۹۹	۴۰۲	۳۹۴	۷۸۴/۱۹
۱۳	۰/۷۰	۴/۳۲	۴۲۶	۵۵۴	۲۳۹۱/۵۹
۱۴	۰/۶۶	۶/۱۷	۳۸۱	۴۹۵	۳۰۵۶/۴۳
۱۵	۰/۷۱	۳/۷۵	۲۳۷	۳۰۹	۱۱۵۷/۵۱
آبخیز کسپلیان	-	۶۸/۵۱	۳۱۴	۴۰۸	۲۷۹۲۹/۵۴

*محاسبات آماری توسط نگارندگان، ۱۳۸۷.

جدول ۶: طبقه‌بندی حساسیت سازندها و واحدهای سنگی به فرسایش در آبخیز کسپلیان*

سن	رده	تعریف رده	ضریب حساسیت	واحدهای در بر گیرنده
سازندهاوسنگ‌های ما قبل کواترنر	A	نسبتاً حساس به فرسایش	۵-۶	J _s
	B	حساسیت متوسط به فرسایش	۷-۹	J _{s1} ² , J ₁ ² , J ₁ ¹ , JK ₁ ³ , J _d R _e ³ , K ₁ ^t , K ₂ ^{w1} , K ₂ ^{s1}
	C	نسبتاً مقاوم به فرسایش	۱۰-۱۳	Pg _f , E _m
سازندهای کواترنر	D	نسبتاً حساس به فرسایش	۳	Qsc, Qt _{2c} , Qplc, Qt ₁ , Q

* فیض‌نیا (۱۳۷۴).

نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل هیدروفیزیکی

با توجه به روش اجرای مدل هیدروفیزیکی و محاسبه‌ی مقادیر مربوط به هر یک از عوامل ۵ گانه‌ی لحاظ شده در مدل با استفاده از نتایج به‌دست آمده از مطالعه ویزگی‌های حوضه‌ی آبخیز در تطبیق با نیازهای هر یک از مدل‌های مورد آزمون، نتایج حاصل از اجرای مدل به تفکیک محاسبه هر یک از عوامل پنج‌گانه و برآورد پتانسیل رسوبدهی به تفکیک هر زیرحوضه و حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه در جدول شماره‌ی ۸ تعیین و بر این اساس پتانسیل رسوبدهی کل آبخیز معادل ۱۰۲۳/۲۴ است که بین حداقل ۰/۷۷ درصد در زیرحوضه ۱۱ و تا ۱۷/۸۳ درصد در زیرحوضه‌ی ۲ تغییر می‌کند. در شکل ۴ نیز نقشه‌ی شدت فرسایش بر اساس این مدل ارائه شده است.

نتایج محاسبه‌ی اختلاف مطلق و نسبی مقادیر رسوب برآورد شده یا مشاهده‌ی

با توجه به جدول شماره‌ی ۹ ملاحظه می‌شود که بیشترین و کمترین مقدار برآورد شده رسوب به ترتیب مربوط به مدل‌های ژئومورفولوژی و EPM می‌باشد. این درحالی است که متوسط رسوبدهی مشاهده شده (طی ۲۲ سال آماری) در آبخیز کسلیان برابر با ۱۶۹۴۹/۴۲ تُن در سال می‌باشد که با احتساب ۲۵ درصد بار رسوب جمعاً برابر با ۲۱۱۸۶/۷۵ تُن در سال است. به این ترتیب با توجه به اجرای چهار مدل منتخب برای ارزیابی دقت و کارایی آنها با هدف مشخص کردن و معرفی نمودن مناسب‌ترین مدل، ملاحظه می‌شود که مدل EPM با اختلاف مطلق و نسبی معادل ۹۷۴۱/۵۴ تُن در سال و ۴۴/۷۰ درصد نسبت به متوسط سالانه رسوب مشاهده شده، دارای بیشترین اختلاف در مقدار برآورد رسوب در مقایسه با سه مدل دیگر است. علت این اختلاف را می‌توان در ارتباط با متفاوت بودن اقلیم منطقه با اقلیم محل ابداع مدل از یکسو و مناسب نبودن رابطه‌ی ارائه شده برای محاسبه‌ی ضریب رسوبدهی که مبتنی بر درجه حرارت یا دمای هواست دانست.

جدول ۷. مقایسه برآورد شده رسوب و فرسایش به تکنیک هریک از واحدهای کاری بر اساس روش ژئومورفولوژی مبتنی بر مدل MPSIAC

شماره رسوبی	شماره فرسایش	رسوب (mm/yr)	فرسایش (mm/yr)	رسوب دوره (سال)	رسوب دوره (mm/decade)	عامل فرسایش رودخانه‌ای	وضعیت فرسایش	اسانه اراضی	پوشش رسوب	شیب	ریزآب	شماره خاک- شناسی	شماره رسوب- شناسی	واحد کاری
ک	۳۳۸۳۶	۱۸۹۶۶	۱۷۱	۱۳۱	۱۳۱	۱	۵۵	۶۶	۱۳	۳۱۴	۳۳۰	۸۳۳	۶۹۸	۱
ک	۶۷۸۷۹	۳۸۶۵۹	۳۸۶	۳۸۶	۳۸۶	-۸۳	۶۷۵	۱۶	۶	۳۱۰۶	۳۱۱	۹۳۳	۶۹۹	۲
ک	۱۷۴۰۶۱	۱۱۶۸۰۲	۱۷۴	۱۶۹	۱۶۹	۱	۵۹۵	۴	۱	۶۹۸	۱۵۵	۱۰۳۳	۶۹۸	۳
ک	۱۸۳۷۱۷	۱۳۷۸۷	۳۱۰	۳۳۷	۳۳۷	-۸۳	۶۳۷	۱۵۴	۵	۵۰۵	۱۶۰	۸۸۳	۵۴۳	۴
متوسط	-۱۶۶	-۱۶۰	۳۱۷	۳۶۶	۳۶۶	۱۶۷	۶۵	۱۴	۴	۳۶۷	۱۰۳۳	۵	۷	۵
ک	-۱۰۴۲	۱۳۳۰۲	۳۰۲	۱۵۲	۱۵۲	۱۶۷	۵۳۵	۳۸	۱۳	۳۱۳	۵۳۶	۸	۵۷۶	۶
ک	۳۰۳۳۷۷	۳۱۵۳۷	۳۰۴	۱۵۲	۱۵۲	۱	۵۹۵	۴	۱	۸۵۳	۱۳۳	۸۳۳	۷	۷
متوسط	۵۵۷۱۷۷	۳۳۵۳۳	۳۶۱	۳۷۸	۳۷۸	۱۶۷	۷۱۵	۱۷۸	۵	۸۳۳	۱۳۳	۸۵۰	۵۹۸	۸
ک	-۱۰۰۰۰۰	-۱۰۰۰۰	۱۶۸	۱۵۳	۱۵۳	۱۶۷	۶۵	۱۴	۴	-	-	۵	۷	۹
ک	۶۸۱۵	۳۵۵۰۰	۱۵۳	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۷	۶	۱۰۶	۳	۸۳۰	۱۱۶	۶۷۳	۱۸	۱۰
ک	۳۶۱۹۵۳	۱۶۰۳۷	۳۶۲	۱۷۴	۱۷۴	۱	۵۹۵	۴	۱	۱۳۵۶	۱۳۷	۸۳۳	۶۹۷	۱۱
متوسط	۶۰۳۷۳۸	۳۵۳	۳۳۷	۳۳۶	۳۳۶	۱۶۷	۷۱۵	۱۷۸	۵	۱۳۵۶	۱۳۶	۱۰۳۶	۶	۱۲
ک	۸۸۳۳	۸۸۱۱	۳۸۴	۳۱۹	۳۱۹	۱۶۷	۶	۹۶	۳۳	۱۱۳۳	۳۸۷	۷۳۳	۶۵۳	۱۳
ک	۱۶۱۱۳۵	۱۶۱۱۵	۱۸۶	۱۶۱	۱۶۱	-۸۳	۵۳۵	۳۶	۱۳	۱۳۳۵	۱۵۳	۸۳۳	۶۹۸	۱۴
متوسط	۳۱۵۶۰۰	۳۵۳۳۷	۶۵۰	۳۶۶	۳۶۶	-۸۳	۶۱۵	۱۳۳	۴۳	۱۸۸۱	۱۵۴	۸۸۳	۵۴۳	۱۵
متوسط	۱۸۸	۱۳۶۰۸	۱۳۶	۱۸۱	۱۸۱	۱۶۷	۶	۶	۳	۱۶۱۸	۱۱۶	۷۱۵	۵۷۷	۱۶
زبان	۷۳۶۰۸	۷۱۹۹۰	۷۵۳	۵۸۳	۵۸۳	۱۶۷	۳۸۷	۱۷	۶	۳۶۳۶	۳۳۳	۶۹۶	۶۱۶	۱۷
ک	۶۵۸	۸۱۴	۱۳۸	۳۰۱	۳۰۱	۱	۸۵۳	۱۳	۴۴	۱۰۰۴	۶۷۳	۸۵۰	۶۷۵	۱۸

انگانه جدول شماره ۷

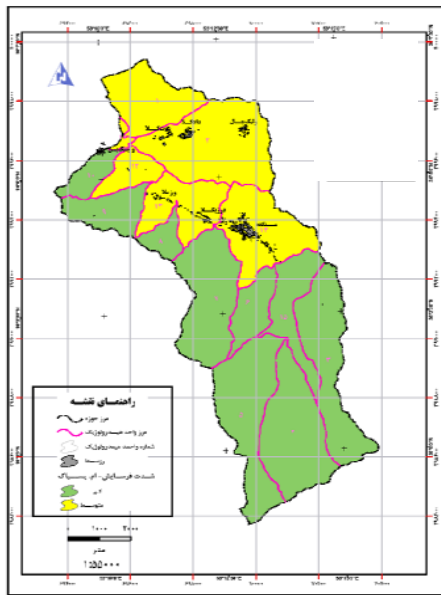
شدت رسوبی	فرسایش (میل/سال)	رسوب (میل/سال)	رسوب وزه (m3/km2.y)	عمل فرسایش بدهنده	وضعیت فعلی فرسایش	استفاده از اراضی	پوشش زمین	شیب	رواناب	فاکتور شناسی	نوع شناسی	راحت کاری
کم	۳۷۳۵	۱۴۸	۱۰۴	۱	۶۱۷	۰۱۴	۱	۵۵۹	۳۱۵	۷۱۵	۴	۱۹
کم	۸۷۱-۱	۲۱۶	۲۸	-۸۳	۷۸۷	۱۶۴	۴	۵۵	۳۰۲	۸۱۶	۱۵۵	۲۰
کم	۷۱۶۴	۱۴۹	۱۰۵	-۸۳	۵۱۲	۷۱	-۱۸	۵۸۳	۳۶۲	۵	۷۱۲	۲۱
کم	۶۱۱-۱	۱۸۷	۱۶۴	۱	۵۵۳	۴	۱	۸۱۷	۳۸۸	۷۱۵	۳۳۲	۲۲
متوسط	۱۶۶۸۷	۲۱۴	۲۳۲	-۸۳	۶۱۵	۱۶۴	۴	۸۱۸	۳۸	۷۱۸۳	۱۵۸	۲۳
کم	۱-۳۴۴	۱۶۶	۱۵۱	۱۶۶	۶۱۵	۶۶	۱/۲	۸۳۳	۵۰۹	۵	۱۵۶	۲۴
متوسط	۱-۱۵۱	۲۵۴	۲۱۲	-۸۳	۶۱۲	۷۱۸	۶	۷۸۳	۵۴۲	۶۱۶	۳۳۷	۲۵
کم	۶۱۵۳	۲۱۵	۱۵۵	-۸۳	۶۱۵	۵۲	۱	۱۷۸۵	۳۸۱	۷۱۶۶	۶۶	۲۶
متوسط	۱۴۶۷۰	۲۱۶	۲۶۷	-۸۳	۶۱۵	۱۳۶	۶۶	۱۷۶۷	۳۵۹	۸۱۶	۱۵۲	۲۷
کم	۱۹	۱۹۴	۱۶۹	-۸۳	۵۱۲	۲۴	-۱۸	۱۱۶۵	۶۱۶	۵۸۳	۶۷	۲۸
متوسط	۶-۱۶۴	۲۱۶	۲۸۹	-۸۳	۶۱۲	۱۷	۶	۱۲۰۱	۳۶۸	۶۱۶	۹۱۹	۲۹
کم	۱۱۱۱۲۰	۲۵۵	۲۰۴	-۸۳	۶۱۵	۵۴	۱/۲	۱۷۳۳	۳۸۴	۷۱۶۶	۱۵۱	۳۰
متوسط	۳۱-۳۱	۶۱۲	۲۶۴	۱/۱۶	۵۴۲	۱۵۴	۵	۳۵۰	۱۹	۶۸۳	۶۰۷	۳۱
کم	۶۱۷۳	۲۶۲	۲۰۲	-۸۳	۵۱۲	۶۱	۱/۲	۱۶۷	۳۳۹	۵	۷۱۱	۳۲
متوسط	۱۶۶۷۶	۶۵۵	۳۶۹	-۸۳	۶۱۲	۱۶	۶	۱۸۶۸	۳۸۴	۶۱۶	۶۷	۳۳
زیاد	۱۶۸۸۹	۶۵۸	۵۰۶	۱۶۶	۳۸۷	۱۵۲	۵	۳۳۴۴	۳۸۴	۶۱۶	۳	۳۴
زیاد	۳۳۵۵۳	۷۸۰	۶۰۰	۱۶۶	۳۸۷	۱۳۲	۴	۳۵۳۶	۳۹۰	۶۱۶	۷۷۷	۳۵
زیاد	۶۲۵۶۵	۶۹۹	۵۲۸	۱۶۶	۳۸۷	۱۵۲	۶	۳۰۷۷	۳۴۴	۶۱۶	۶۳۰	۳۶
متوسط	۲۱۱۶۷۷	۲۱۹	۲۶۵		۳۸۷	۱۵۲						

محاسبات آماری توسط نرم افزار ArcGIS ۱۰.۲

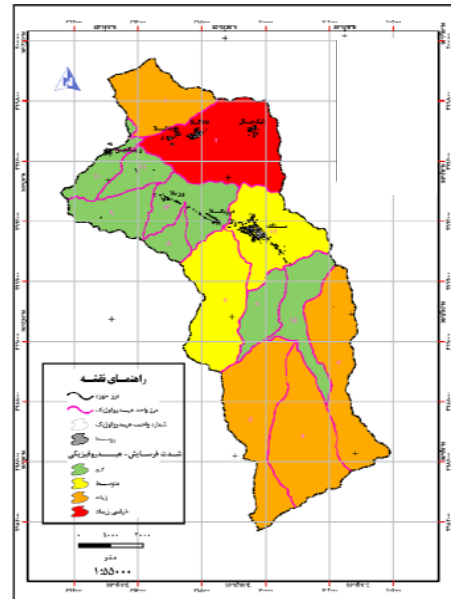
جدول ۸: مقادیر پتانسیل رسوبدهی به تفکیک هر یک از زیرآبگیرها و حوضه آبخیز بر اساس مدل هیدروفیزیکي

فرشایش ($\frac{t}{ha}$)	رسوبدهی ($\frac{t}{ha}$)	ضریب رسوبدهی	درصد پتانسیل رسوبدهی	پتانسیل رسوبدهی ($\frac{t}{ha}$)	عوامل هیدروفیزیکي						مساحت (km^2)	تجزیه شماره
					P	V	E	R	A ²			
					۶۱۵۹	-۱-۲۵	۶۱-۹	-۱۸	۶-۸			۱
۸۸۳۳۶	۱۸۳۳۵	-۲۴	۱۷۸۳	۱۸۳۵	۷۱۸۱	-۱-۴۱	۶۱۶۷	-۱۲	۷۳۷	۹۲۱		۲
۱۸۸۶۴	۱۳۳۷۴	-۲۷	۱۲-۹	۱۳۳۷۸	۸۵۸۸	-۱-۱۳	۶۱۶۷	-۲۹	۸۸۵۶	۷۸۴		۳
۲-۹۶۵	۱۳۸۴۲	-۲۶	۱۲۵۳	۱۳۸۴۹	۸۲۸۳	-۱-۲۰	۶۶۳	-۲۹	۶۲۴	۷۶۶		۴
۱۱۹۴۸	۱۱۸۵۵	-۲۶	۱۱۵۸	۱۱۸۵۵	۸۲-	-۱-۱۴	۶۱۱۳	-۲۷	۶۲۵	۷۶۷		۵
۲۹۶۷	۲۶۲۵	-۸۲	۲۱۸	۲۶۲۷	۸۵۶۸	-۱-۱۲	۶۱۹۹	-۱۶	۲۱۲	۲۵۶		۶
۹۹۵۳	۶۶۷۰	-۲۷	۶۵۲	۶۶۷۳	۸۵۲۲	-۱-۱۲	۷	-۱۵	۵۷۳	۶۱۷		۷
۱۷۳۸	۱۶۲۵	-۲۴	۱۱۶-	۱۶۲۵	۷-۸۲	-۱-۱۲	۶۱۹۵	-۲۲	۱۲-	۱۳-		۸
۶۱۸۳	۲۸۲۸	-۸-	۲۱۸	۲۸۸۳	۶۶۶۴	-۱-۱۷	۶۵۱	-۲۳	۲۳۶	۲۹۴		۹
۲۱۶۵	۲۸۲۶	-۲-	۲۷۸	۲۸۵۱	۵۶۰۳	-۱-۲	۵۷۹	-۲۸	۱۲۶	۱۶۵		۱۰
۷۹۸	۶۱۳	۱۰-	-۲۷	۷۹۸	۵۶۸۳	-۱-۲۵	۲۵۴	-۱۸	-۴۹	-۳۱		۱۱
۶۱۳۳	۴-۳۱	-۲۸	۲۱۴	۴-۳۳	۵۵۲۷	-۱-۲۳	۵۴۵	-۱۸	۱۷۳	۱۹۹		۱۲
۵۶۵۹	۴۱۹۰	-۲-	۶-۹	۴۱۹۲	۶۶۸۳	-۱-۲۸	۵۱۴	-۱۲	۳۷۳	۶۳۲		۱۳
۸۶۲۶	۵۸۶۱	-۲۶	۵۸۲	۵۹۶-	۸۱۷۵	-۱-۲۴	۵۹۱	-۱-	۵۱۴	۶۱۷		۱۴
۲۸۶۶	۲۹۶۲	-۲۱	۲۹-	۲۹۶۳	۸۵۲۷	-۱-۱۲	۷	-۱۲	۲۱۸	۳۷۵		۱۵
۲۱۵۵۲۳	۱۴۵۷	-۲۸	-	۱-۳۳۱۴						۶۸۵۱		کل حوضه

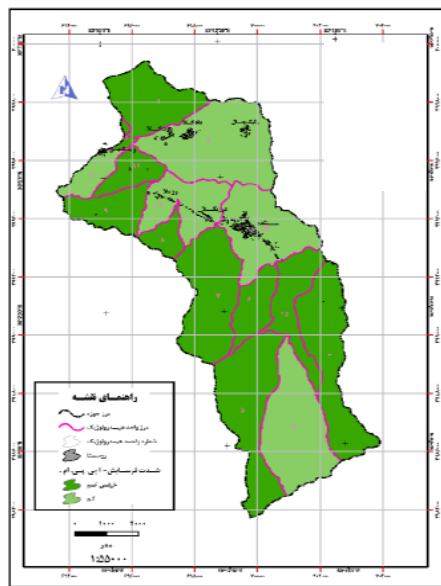
محاسبات آماری توسط EXCEL انجام شده، ۱۳۸۷



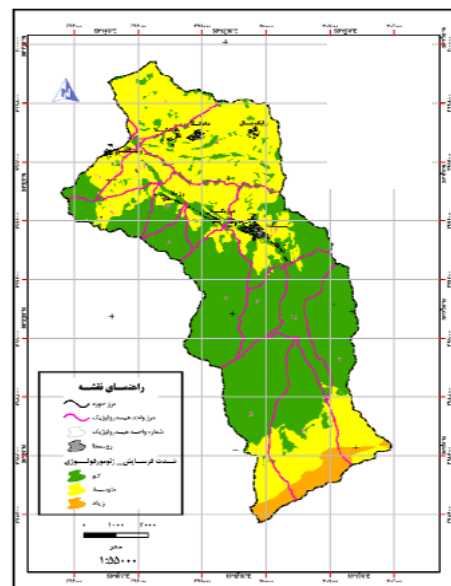
شکل ۲: نقشه شدت فرسایش آبخیز کسپلیان به روش MPSIAC*



شکل ۱: نقشه شدت فرسایش آبخیز کسپلیان به روش EPM*



شکل ۴: نقشه شدت فرسایش آبخیز کسپلیان به روش هیدروفیزیکی*



شکل ۳: نقشه شدت فرسایش آبخیز کسپلیان به روش ژئومورفولوژی*

* بر اساس نتایج حاصله‌ی نگارندگان و تعمیم نقشه‌های موجود

از طرف دیگر با توجه به اختلاف‌های مطلق و نسبی مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC به ترتیب برابر با ۱۵۱۷/۶۳ تن در سال و ۷ درصد در مقایسه با رسوب مشاهده شده، ملاحظه می‌گردد که این اختلاف رقم قابل قبولی است که حاکی از دقت نسبتاً خوب این مدل در برآورد مقدار رسوب در آبخیز مورد مطالعه می‌باشد. نتیجه‌ی به دست آمده از اجرای مدل هیدروفیزیکی در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه و مشخص شدن مقادیر اختلاف مطلق و نسبی رسوب برآورد شده با رسوب اندازه‌گیری شده، می‌توان نتیجه گرفت که دقت این مدل در مقایسه با مدل EPM در منطقه‌ی تحقیق بیشتر بوده و اختلاف نسبی آن در برآورد رسوب با مدل مذکور به ترتیب معادل ۱۵/۹۸ درصد می‌باشد. نتیجه‌ی حاصل از اجرای روش ژئومورفولوژی در حوضه‌ی آبخیز کسلیان و مشخص شدن اختلاف مطلق و نسبی مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدل مذکور با مقدار رسوب مشاهده شده، نشانگر کارایی و دقت زیاد این مدل در مقایسه با سه مدل دیگر در این تحقیق است. علت این امر مربوط به برآورد مقدار رسوب و فرسایش بر اساس واحدهای کاری و امتیازهای مربوط به عوامل لحاظ شده در آن در تطبیق با شرایط آبخیزهای مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است.

جدول ۹: مقادیر رسوب برآورد شده توسط مدل‌های مورد آزمون با متوسط سالانه رسوب اندازه‌گیری شده *

متوسط رسوب اندازه‌گیری شده	هیدروفیزیکی	ژئومورفولوژی	MPSIAC	EPM	مدل عامل
۲۱۱۸۶/۷۵	۱۴۶۵۷/۶۳	۲۱۸۹۸	۱۹۶۶۸/۹۲	۱۱۷۱۵/۲۱	رسوبدهی (تن در سال)
-	۶۵۲۹/۱۲	۷۱۱/۲۵	۱۵۱۷/۶۳	۹۷۴۱/۵۴	اختلاف مطلق (تن در سال)
-	۳۰	۳/۳۶	۷	۴۴/۷۰	اختلاف نسبی

* محاسبات آماری توسط نگارندگان، ۱۳۸۷

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اختلاف‌های مطلق و نسبی مقدار رسوب برآورد شده به کمک مدل MPSIAC، ملاحظه می‌گردد که اختلاف حدود ۷ درصد به صورت اختلاف نسبی رقم قابل قبولی است. لذا بررسی انجام شده در زمینه‌ی دقت، کارایی و محدودیت‌های مدل MPSIAC مبتنی بر نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در مورد ارزیابی این مدل، مبین این است که در استفاده از آن

به دلیل اجرای مدل در یک حوضه‌ی آبخیز و یا زیرحوضه‌ها و تعیین امتیاز عوامل لحاظ شده در مدل بر اساس مقادیر متوسط، افزون بر عدم کفایت مدل و یا کامل نبودن جداول تعیین امتیاز و نیاز به استنباط‌های کارشناسی و مهارت‌های تجربی، دقت و کارایی لازم را دارد. با توجه به در نظر گرفتن نتیجه‌ی به‌دست آمده از اجرای مدل هیدروفیزیکی در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که دقت این مدل در مقایسه با مدل EPM در منطقه‌ی تحقیق بیشتر بوده و اختلاف نسبی آن در برآورد رسوب با مدل مذکور به ترتیب معادل ۱۵/۹۸ درصد می‌باشد، اما در مقایسه با نتیجه به‌دست آمده از اجرای مدل MPSIAC و روش ژئومورفولوژی، از دقت کمتری برخوردار است. نتیجه‌ی حاصل از اجرای روش ژئومورفولوژی در آبخیز کسلیان و مشخص شدن اختلاف مطلق و نسبی مقدار رسوب برآورد شده آن با مقدار رسوب مشاهده شده، نشانگر کارایی و دقت زیاد این مدل در مقایسه با سه مدل دیگر در این تحقیق است. علت این امر مربوط به برآورد مقدار رسوب و فرسایش بر اساس واحدهای کاری و امتیازهای مربوط به عوامل لحاظ شده در آن در تطبیق با شرایط آبخیزهای مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است. اما روش اجرای مدل ژئومورفولوژی از نظر لزوم اجرا در واحدهای کاری همگن و مشخص شدن امتیاز عوامل در سازگاری با شرایط آبخیزهای کشور دلیل اصلی در افزایش دقت و کارایی آن در مقایسه با دومدل مذکور است. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که اهداف طرح شامل مشخص کردن مناسب‌ترین مدل از بین چهار مدل منتخب که برای اولین بار دقت و کارایی آنها در مقایسه با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است، مزایا، معایب و محدودیت‌های مناسب‌ترین مدل معرفی شده (مدل ژئومورفولوژی) نیز مشخص شده‌اند.

منابع

- ۱- احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی ج ۱ (فرسایش آبی)، دانشگاه تهران.
- ۲- داوری، مسعود (۱۳۸۲). مقایسه شدت فرسایش خاک و تخمین بار رسوب با استفاده از روش‌های هیدروفیزیکی، EPM و MPSIAC در حوضه آبخیز نوژیان لرستان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۸). فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ دوم. دانشگاه تهران.
- ۴- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه (سنگده و ولیک‌بن).
- ۵- فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۴). مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۴۷.
- ۶- قدوسی، جمال (۱۳۸۶). مدل‌های فرسایش و رسوب، جزوه درسی کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ۷- گشاسی، شهرزاد (۱۳۸۵). ارزیابی دقت روش‌های ژئومورفولوژی، FAO و هیدروفیزیکی در برآورد شدت فرسایش و رسوب خاک حوضه آبخیز طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ۸- مسلم کوپائی، عبدالحمید (۱۳۷۶). بررسی فرسایش و رسوب به روش EPM و ژئومورفولوژی در حوضه‌های آبخیز درکه و سولقان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه تهران.
- ۹- ملکی، محسن (۱۳۸۲). بررسی فرسایش آبی و مقایسه دو روش ژئومورفولوژی و EPM در حوضه‌ی آبخیز طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه تهران.
- ۱۰- ملکی، محسن (۱۳۸۶). مدل‌سازی کمی فرسایش آبی با استفاده از روش کیفی ژئومورفولوژی در حوضه‌ی آبخیز سدلتیان، رساله دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۱۱- ضیائی، حجت‌ا... (۱۳۸۰). اصول مهندسی آبخیزداری، چاپ اول. آستان قدس.
- ۱۲- طرح جامع جنگل‌داری سری‌سنگده (۱۳۷۹). اداره کل منابع طبیعی استان مازندران- ساری.
- ۱۳- طرح جامع مطالعات آبخیزداری حوضه کسلیان (۱۳۷۲). معاونت آبخیزداری استان مازندران- ساری.
- ۱۴- علیزاده، امین (۱۳۸۱). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ پانزدهم. آستان قدس.
- 15- Devenet .J. and J.Poesen (2005). Predicting Soil erosion and sediment yield at the basin scale. Scale issues and semi-quantitation Model. Earth Science. 20:1-31pp.
- 16- Gavrilovic, z (1998). The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in staded or torrential streams. International Conference on Rriver Regime – Joh. Wiley and sons .Paper 12.
- 17- Johnson ,C.W. and K.A.Gebhardt (1982). Predicting sediment yields from sagebrush rangelands presented at Nevada-Utah , BLM watershed workship.
- 18- W.S. Merrit, R.A. Letcher and A.J.Jakeman (2003) Areview of erosion and sediment transport models. Environmental modeling and software,18.
- 19- K.J.Lim,M.sagong,B.A.Engel,Zh. Tang, J.C sediment assessment tool.Catena,64.

