پهنه بندی فرسایش خاک و برآورد رسوب در حوضه آبخیز مریم نگار با استفاده از مدل‌های تجربی

مهران مقصودی[*(۱)]، **حسین حبیبی**[۲]

۱-استادیار دانشکده جغرافیا- دانشگاه تهران

پهنه بندی فرسایش خاک و برآورد رسوب ...

ن مقاله: ۱۳۸۸/۵/۲۴

تایید نهایی مقاله: ۱۳۸۸/۹/۲۹

چکیده

سالیانه نزدیک ۲ میلیارد تن از خاکهای با ارزش کشور به هدر می رود و خسارت هنگفتی معادل $۱۸/۵\times۱۰^{۱۲}$ ریال بر کشور وارد می‌شود. ممانعت از این خسارت، به اتخاذ روش مناسب در جلوگیری از فرسایش و حرکت رسوب دارد که لازمه آن، وجود اطلاعات دقیق در زمینه شدت فرسایش، در سطح حوضه های آبخیز است. کمبود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب، مسئله ای است که باعث شده، این تحقیق با هدف آگاهی از وضعیت فرسایش، شدت تولید رسوب و همچنین ارزیابی کارآیی مدلهای تجربی پسیاک[۱]،ایی‌پی‌ام[۲] و فائو[۳] در مقایسه با رسوب اندازه گیری شده و نقشه فرسایش حوضه آبخیز مریم نگار، انجام بگیرد، تا مدلی متناسب با شرایط محیطی این نواحی شناسایی گردد. در این پژوهش داده های مورد نیاز، از طریق مشاهدات میدانی، نقشه های موجود، آمار ایستگاههای هواشناسی و هیدرومتری تأمین شد. بعد از وارد کردن نقشه ها به محیط نرم افزار ILWIS و زمین مرجع کردن آنها، لایه های مورد نیاز رقومی و پایگاه اطلاعاتی برای آنها ایجاد شد. در نهایت با استفاده از جداول ارائه شده در هر یک از مدلهای مورد بررسی، امتیازات متناسب برای نواحی همگن استخراج و با تلفیق لایه های ذکر شده با توجه به رابطه های ارائه شده در هر یک از مدلها، نقشه پهنه بندی شدت فرسایش برای منطقه تهیه شد. نقشه های استخراج شده از مدلها با نقشه فرسایش حوضه آبخیز به صورت همپوشانی، مقایسه و مدل پسیاک به عنوان مدل بهینه از نظر پهنه بندی شدت فرسایش انتخاب شد. از نظر برآورد مقدار رسوب نیز مدل پسیاک ، به عنوان مدل مناسب جهت برآورد میزان رسوب در حوضه مورد مطالعه شناخته شد. شایان ذکر است که با استفاده از مدل فوق مقدار فرسایش در حوضه مورد مطالعه ۱۱۵۴۹۵ تن در سال و درصد مساحت شدت فرسایش در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، به‌ترتیب معادل ۳/۲۲، ٤۳/۳۷، ۳٦/۳۳، ۱۳/٤٥، و ۳/٦۳ برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، رسوب، پهنه بندی، مدلهای تجربی فرسایش، حوضه آبخیز مریم نگار.

* تلفن نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۹۰۶۰۱۹

E-mail: maghsoudi1@yahoo.com

۱- PSIAC

۲- EPM

۳- FAO

مقدمه

حدوداً نیمی از جمعیت دنیا در مناطق کوهستانی و حواشی آن زندگی می‌کنند. از طرفی غالباً منشاء رسوبات پشت سدها و مخازن و کانال‌های آبیاری، مناطق کوهستانی هستند. مناطق کوهستانی بواسطه داشتن اکوسیستم پیچیده، هر یک از پارامترهای موجود در آن عمدتاً بر دو پدیده هیدرولوژیکی، یعنی سیل و فرسایش تأثیر بسزائی دارند، و همینطور بواسطه داشتن شرایط رویش مناسب، نظیر آب و اقلیم و در بسیاری نقاط خاک خوب، بستر مناسبی را برای تولیدات زراعی بویژه گیاهان مرتعی، داروئی، صنعتی و جنگلی فراهم آورده اند. هدر رفت خاک حاصلخیز از این مناطق از یک طرف و انباشته شدن رسوبات ناشی از این فرسایش در مناطق پایین دست و مخازن سدها و دریاچه ها، ارقام قابل ملاحظه ای را تشکیل می‌دهند. سالیانه نزدیک ۲ میلیارد تن از خاکهای با ارزش کشور به هدر می رود و خسارت هنگفتی برابر حدود $۱۸/۵\times۱۰^{۱۲}$ ریال بر کشور وارد می‌آید (غلامی، ۱۳۷۹). ممانعت از این خسارت به اتخاذ روش مناسب و بهینه در جلوگیری از فرسایش و حرکت رسوب نیاز دارد که لازمه آن، وجود آمار و اطلاعات دقیق و صحیح در زمینه شدت فرسایش، در سطوح حوضه های آبخیز است. کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در اکثر حوضه های مناطق کوهستانی غرب کشور، باعث شده شناخت صحیحی از نواحی حساس به فرسایش در سطح حوضه ها وجود نداشته باشد، تا با اقدامات متناسب با شرایط محیطی، از هدر رفت این سرمایه ملی، جلوگیری شود. بنابراین عدم وجود یا کمبود بسیار زیاد آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های آبخیز مناطق غربی کشور، مسئله ای است که باعث شده، این پژوهش در زمینه فرسایش و تولید رسوب صورت گیرد تا مدلی متناسب با شرایط محیطی این نواحی از میان مدل های مورد بررسی شناسایی شود. لذا در انجام این تحقیق می توان اهداف زیر را دنبال کرد:

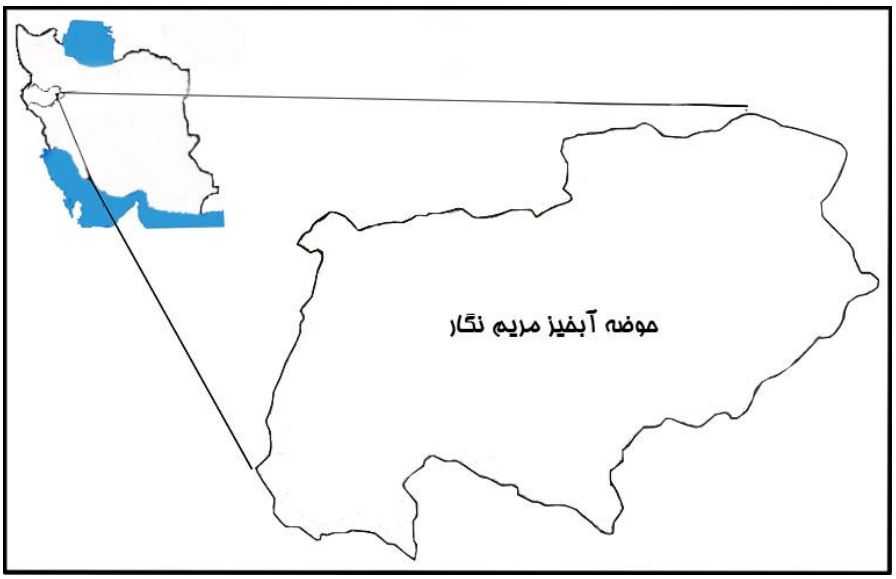
الف- برآورد حجم رسوب تولیدی حوضه آبخیز مریم نگار با استفاده از مدل های ایی‌پی‌ام، پسیاک و مقایسه آن با آمار رسوب ایستگاه رسوب سنجی کله جوب جهت تعیین دقت و صحت مدل‌ها.

ب- شناسایی یک روش مناسب برای پهنه بندی میزان فرسایش در سطح حوضه آبخیز مریم نگار.

با توجه به اهمیت مسئله فرسایش و وقوع آن در سراسر جهان، مطالعات زیادی در این مورد در سطح بین المللی و ایران انجام گرفته است. که از این میان کشورهای کانادا، امریکا، استرالیا، انگلستان و پاکستان بیشترین تحقیقات را در زمینه حفاظت خاک و فرسایش انجام داده اند. در ایران اولین گزارش نسبتاً کامل در مورد فرسایش خاک در سال ۱۳۲۷ توسط دوان و ریبن کارشناسان فائو به زبان انگلیسی منتشر شد. در سال ۱۳۴۶ بخش حفاظت خاک و آب در موسسه خاکشناسی دایر شد و در سال ۱۳۵۱ دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری بوجود آمد (رفاهی، ۱۳۸۵). در هیچ یک از این مطالعات، سه مدل مذکور به صورت یکجا با هم مقایسه نشده اما در بیشتر این مطالعات به این نکته اشاره شده است که مدل ام‌پسیاک (اصلاح شده پسیاک) نسبت به دو مدل دیگر از دقت قابل قبولی برخوردار می باشد.

موقعیت جغرافیـایی و ویژگیهـای عمـومی منطقه تحقیق

حوضه آبخیز رودخانه مریم نگار با مساحتی بالغ بر ۵۹۷ کیلومتر مربع، یکی از سرچشمه های رودخانه بزرگ سیروان به شمار می رود که محل خروجی آن به رودخانه دینور و دشت جیحون آباد منتهی می‌شود. این حوضه در استان کرمانشاه و شهرستان صحنه واقع شده است. حوضه فوق از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل ˚۳۴ ´۳۰ تا ˚۳۴ ´۴۴ عرض شمالی و ˚۲۵ ´۴۷ تا ˚۴۷ ´۵۱ طول شرقی واقع شده است. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه آبخیز ۳۳۲۸ متر و ارتفاع محل خروجی ۱۳۶۰ متر از سطح دریا است (شکل۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز مریم نگار در کشور ایران

متوسط بارندگی حوضه ۶۷۲ میلیمتر و میانگین درجه حرارت سالانه منطقه ۱۳ درجه سانتی گراد می باشد. از نظر زمین شناسی، این حوضه در زون سنندج ـ سیرجان واقع است و سازندهای دوران کربونیفر ، ژوراسیک- کرتاسه، ترشیری و عهد حاضر در آن رخنمون دارد که از میان سازندهای قدیمی واحد Kl1 (آهک اوربیتولین دار ضخیم لایه) بخش وسیعی از منطقه را در جهت شمال غرب- جنوب شرق پوشانیده است. در قسمت های پست و ناحیه دشتی این حوضه، آبرفتهای عهد حاضر دیده می شود. منطقه دارای خاک های با بافت متوسط تا سنگین می باشد که تکامل آنها بیشتر در جهت انتقال مواد آهکی و تراکم آنها در داخل طبقات مختلف خاک بوده است. پوشش گیاهی غالب منطقه را مراتع نیمه متراکم تشکیل داده که بیش از ۴۸ درصد از مساحت حوضه را پوشانیده است.

مواد و روشها

مدل پسیاک در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شده و برای اولین بار در یک حوضه آبریز تحقیقاتی به نام والنات گولچ[1] واقع در جنوب شرقی ایالت آریزونای آمریکا آزمایش شد (ونت و همکاران، ۲۰۰۵). این مدل با لحاظ کردن نه عامل موثر در فرسایش و تولید رسوب شامل

[1]- Walnut Gulch

زمین شناسی سطحی، خاک، اقلیم، رواناب، وضعیت فرسایش فعلی و فرسایش رودخانه‌ای بیش از سایر مدل ها در ایران مورد توجه قرار گرفته است. پس از امتیاز دهی به هر یک از عوامل نه گانه، مجموع این نمرات مشخص کننده نمره مربوط به درجه رسوبدهی و شدت فرسایش در حوضه آبخیز خواهد بود. بعد از تعیین درجه رسوبدهی و شدت فرسایش، در این مدل برای تعیین میزان رسوب از رابطه زیر استفاده می‌شود (کلارک، ۱۹۹۹).

$$Q_S = 18.6e^{0.036R} \qquad (۱)$$

که در آن Q_S میزان رسوبدهی سالانه (m3/km2) و R درجه رسوبدهی است که مساوی مجموع نمرات عوامل نه گانه می باشند.

مدل ایی‌پی‌ام، با هدف بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق بکار گرفته شده است و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه در کشور چین توسط گاوریلوویک[۱] ارائه گردیده است (داوری،۱۳۸۳). این مدل شش فاکتور را که وابسته به زمین شناسی سطحی و خاک، عوارض توپوگرافی، فاکتور اقلیمی (شامل میانگین بارش سالانه و میانگین دمای سالانه) و کاربری اراضی است، مورد بررسی قرار می دهد. سه تا از این فاکتورها به صورت مستقیم میزان توسعه فرسایش را کنترل می کنند (زمین شناسی سطحی و خاک، توپوگرافی و اقلیم)، در صورتی که کاربری اراضی کاملاً به صورت یک فاکتور وابسته به سایر عوامل، عمل می‌کند (تنگستانی، ۲۰۰۶). در این مدل برای تعیین شدت فرسایش از معادله زیر استفاده می شود:

$$Z = X_a Y(\varphi + I^{0.5}) \qquad (۲)$$

شیب، پوشش گیاهی زمین، کاربری اراضی، که در آن Z ضریب شدت فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، φ ضریب فرسایش حوضه آبخیز و I شیب متوسط حوضه آبخیز می‌باشد. مقادیر مربوط به هر یک از عوامل ذکر شده در جدولهای مربوط به مدل ایی‌پی‌ام ارائه شده است (گاوریلوویک، ۱۹۸۸). در مدل ایی‌پی‌ام برای تخمین متوسط سالانه رسوب ویژه در حوضه آبخیز از فرمول زیر استفاده می شود: (رفاهی، ۱۳۸۵؛ احمدی، ۱۳۷۸).

$$W_{SP} = T.H.\pi.Z^{\frac{3}{2}} \qquad (۳)$$

که در آن W_{SP} متوسط سالانه رسوب ویژه (m3/km2/y)، T ضریب درجه حرارت که از رابطه $T = (t/10 + 0.1)^{\frac{1}{2}}$ بدست می آید، t متوسط درجه حرارت سالانه (C°) در حوضه آبخیز می باشد، H ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبخیز (mm) و π عدد پی می‌باشد. برای محاسبه دبی رسوب ویژه باید مقدار فرسایش ویژه را در «ضریب رسوبدهی» ضرب نمود: (رفاهی، ۱۳۸۵؛ مسلم کوپائی، ۱۳۷۶) .

$$G_{SP} = W_{SP}.R_u \qquad (۴)$$

که در آن G_{SP} دبی رسوب ویژه ($m^3/km^2/y$)، W_{SP} میانگین سالانه فرسایش ویژه ($m^3/km^2/y$)، و R_u ضریب رسوبدهی است. «دبی رسوب کل» نیز مساوی حاصلضرب «دبی رسوب ویژه» در «مساحت کل» حوضه آبخیز می‌باشد، که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$G_S = G_{SP}.A \qquad (۵)$$

که در آن G_S دبی رسوب (m^3/s)، G_{SP} دبی رسوب ویژه ($m^3/km^2/y$)، و A مساحت حوضه آبخیز (km^2) است. مدل فائو در سال ۱۹۷۷ برای

[۱]- Gavrilovic

ارزیابی میزان فرسایش خاک به صورت کیفی و بر اساس ارزیابی شش عـامل موثـر در فرسایش خاک و تولیـد رسوب در یک حوضه آبخیز ارائه گـردیده، که در زیر ذکـر می‌شود:

$$S = A + B + C + D + E + F \qquad (۶)$$

که در آن S شدت فرسایش خاک، A زمین شناسی سطحی، B خاک (ساختمان و دانه بندی خاک)، C عوامل توپوگرافی و بویژه شیب، D پوشش خاک (پوشش گیاهی زنده و مرده و پوشش سنگی)، E نحوه استفاده از اراضی، F وضعیت فرسایش فعلی در حوضه آبخیز می باشد (احمدی، ۱۳۷۸). در این مدل پس از امتیازدهی کلیه عوامل از مجموع این امتیازات، شدت فرسایش خاک تعیین شده و تحت شش رده «خیلی کم، کم، نسبتاً متوسط، متوسط، زیاد، خیلی زیاد» بیان می گردد. در این تحقیق، نتایج حاصل از بکارگیری سه مدل ایی‌پی‌ام، پسیاک و فائو در برآورد فرسایش و تولید رسوب بررسی گردیده و برای تعیین دقت بکارگیری آنها با آمار رسوب سنجی و نقشه شدت فرسایش که با استفاده از عکس های هوایی و مشاهدات میدانی ترسیم شده، مورد مقایسه قرار گرفته اند. از اینرو، با توجه به اهداف تحقیق حاضر، این تحقیق عملاً در پنج مرحله به شرح زیر اجرا شده است:

I- ژئورفرنس و رقومی کردن نقشه ها با استفاده از نرم افزار ILWIS. در این مرحله از مطالعه، پس از تهیه نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ... ، هر کدام از نقشه ها به صورت جداگانه وارد محیط نرم افزار ILWIS گردید و سپس آنها را زمین مرجع نموده و بعد از رقومی کردن برای هر کدام از آنها پایگاه داده ایجاد شد، تا براساس این جداول اطلاعاتی، تجزیه و تحلیل‌ها انجام گیرد.

II - تهیه نقشه های ثانوی مربوط به حوضه از قبیل نقشه شیب، جهت شیب، فرسایش آبراهه ای و.... با استفاده از نرم افزار ILWIS. طی این مرحله با استفاده از قابلیت نرم افزار و معادله های مربوطه از نقشه های رقومی شده، نقشه های مورد نیاز بر اساس اهداف تحقیق استخراج گردید.

III – ایجاد پایگاه داده ها برای نقشه های فوق، وزن دهی به هر لایه بر اساس جداول مربوطه، روی هم گذاری لایه ها و تهیه نقشه پهنه بندی فرسایش حوضه با استفاده از معادله هر کدام از مدل های مورد بررسی در محیط ILWIS .

IV – مقایسه طبقات فرسایشی در روش ایی‌پی‌ام، پسیاک و فائو با نقشه شدت فرسایش حوضه، از طریق همپوشانی نقشه های فـوق، به منظور انتخاب منطبق ترین مدل با شرایط طبیعی حوضه آبخیز مریم نگار.

V – برآورد میزان رسوب حوضه با استفاده از آمار رسوب سنجی و مقایسه آن با مقدار رسوب برآورد شده به روش های تجربی.

یافته‌های تحقیق

تولید و وزن دهی لایه های اطلاعاتی مورد استفاده در مدل ها

بکار گیری مدلها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مستلزم این است که برای هر عامل موثر بر فرسایش، یک لایه اطلاعاتی تهیه شود (الشیخ، ۱۹۹۹). لذا در این راستا با استفاده از نقشه های پایه و بهره گیری از GIS لایه های مورد نیاز با مشخصات زیر تهیه گردید.

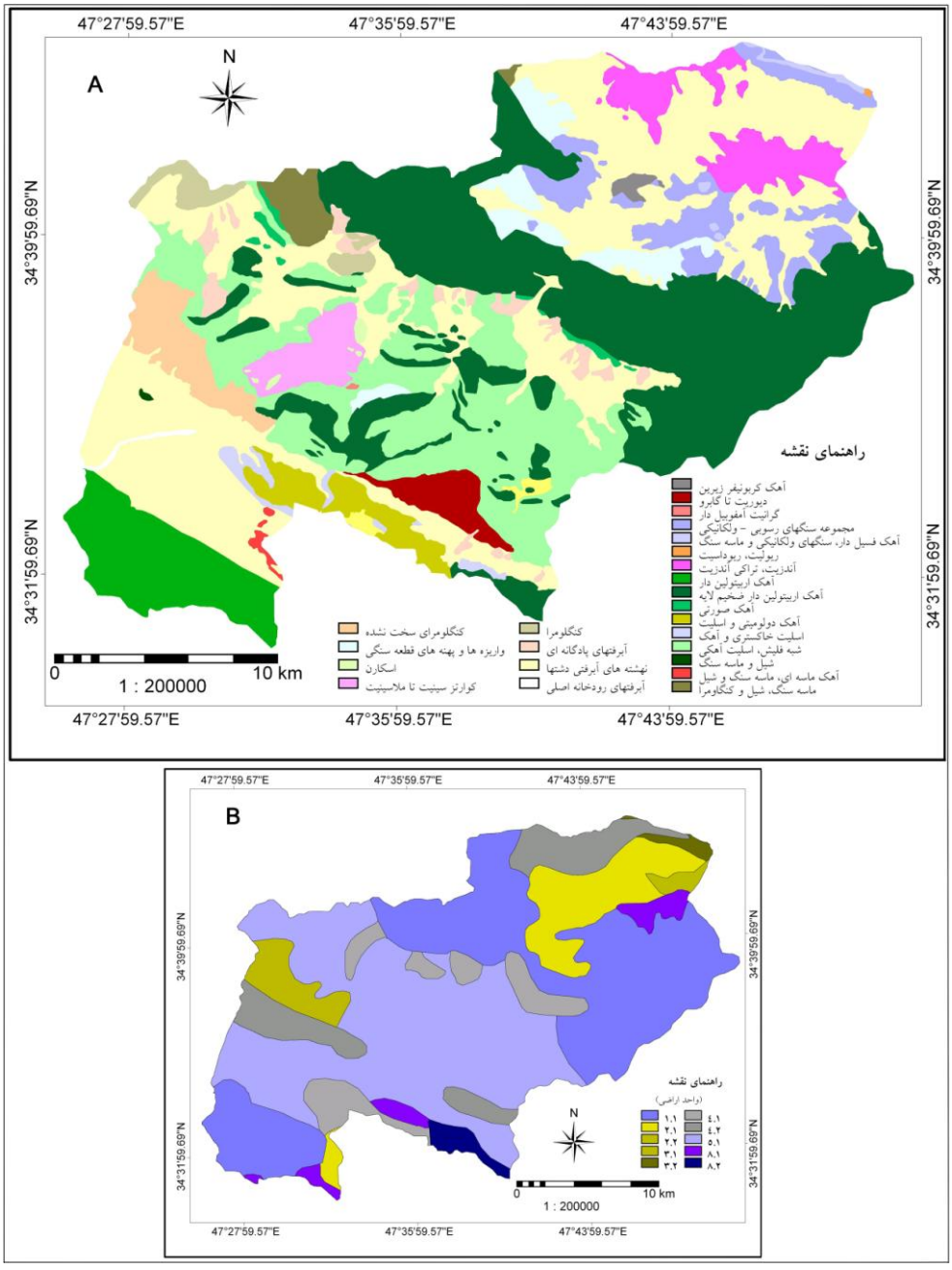
۱-**لایه زمین شناسی سطحی** ـ این لایه با استفاده از نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور تهیه شد (شکل۲،A). اطلاعات لازم برای تعیین ضریب سختی و مقاومت به فرسایش

سنگها، از منابع مختلف (رافائلی و همکاران، ۲۰۰۱; تنگستانی، ۲۰۰۶; خاکسار، ۱۳۸۵ ؛ احمدی، ۱۳۷۸؛ سرابی و همکاران،۱۳۵۷؛ و فیض‌نیا،۱۳۷۴) کسب شده و در نهایت با انطباق این اطلاعات با جداول امتیازدهی عامل سنگ شناسی هر یک از مدل‌ها، امتیازات نهایی برای ورود به پایگاه اطلاعاتی نرم افزار ILWIS استخراج شده است (جدول۱).

جدول ۱- امتیازدهی عامل زمین شناسی سطحی حوضه مورد مطالعه

سنگ شناسی سطحی	**مدل** PSEAC	**مدل**ایی پی ام	**مدل** فائو
گرانیت آمفوبیل دار	۲	۰/۲۵	۵
ریولیت تا ریوداسیت	۳	۰/۲۵	۳
کوارتز سینیت تا ملاسینیت	۳	۰/۲۵	۵
ریولیت تا گابرو	۳	۰/۲۵	۱
آندزیت و تراکی آندزیت	٤	۰/۲۵	۱
مجموعه سنگهای رسوبی ولکانیکی (آندزیت)	٤	۰/۷	٤
اسکارن	٤	۰/۷	۵
آهک اربیتولین دار ضخیم لایه، آهک بیستون، آهک کربونیفر	۵	۰/۹	۵
آهک فسیل دار و کمی سنگهای ولکانیکی و ماسه سنگ	٦	۰/۹	۵
آهک دولومیتی و اسلیت	٦	۰/۹	٤
کنگلومرا	۷	۱/۱	۵
آهک ماسه ای و ماسه سنگ	۷	۱/۱	۸
ماسه سنگ، شیل	۸	۱/۱	۸
شبه فلیش- اسلیت آهکی	۸	۱	۸
نهشته‌های آبرفتی دشتها، آبرفتهای پادگانه ای	۹	۰/٦	۱۲
کنگلومرای سخت نشده	۹	۱/۱	۸
واریزه‌ها و پهنه های قطعه سنگی	۹	۲	۱۰
رسوبات آبرفتی عهد حاضر (نهشته های بستر رود)	۱۰	۰/٦	۱۲

۲ - لایه خاک ــ این لایه با استفاده از نقشه و گزارش ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان کرمانشاه (مهاجر شجاعی، ۱۳۶۸) با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ تهیه شده است (شکل B،۲)(جدول ۲).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی A و واحد اراضی (خاکشناسی) B درحوضه آبخیز مریم نگار

جدول ۲- امتیازدهی عامل خاک شناسی حوضه مورد مطالعه

واحد اراضی	مدل پسیاک	مدل فائو
واحد اراضی ۱- ۱ و ۲- ۱	۰	۱
واحد اراضی ۱- ۲ ، ۲- ۲	۱	۵
واحد اراضی ۱- ۳	۱	۱۰
واحد اراضی ۲- ۳	۲	۱۰
واحد اراضی ۱- ٤	٤	۱۰
واحد اراضی ۱- ۸ ، ۲- ۸	٤	۱۲
واحد اراضی ۲- ٤	۵	۷
واحد اراضی ۱- ۵	٦	٤

۳- لایه کاربری اراضی ـ برای تعیین امتیاز چگونگی استفاده از زمین و پوشش سطحی زمین، از لایه رقومی پوشش زمین، که توسط سازمان جنگل ها و مراتع کشور از تصویر ماهواره‌ای لندست 7 (سنجنده +ETM ، فریم ۱۶۷ـ ۰۳۶ ، تاریخ ۲۰۰۲/۱۰/۲۸) تهیه شده، بهره گرفته شده است (شکل۳،A) (جدول،۳).

جدول ۳- امتیازدهی کاربری اراضی و پوشش زمین حوضه مورد مطالعه

واحد های همگن	کاربری اراضی			پوشش زمین	
	مدل پسیاک	مدل ابی پی ام	مدل فائو	مدل پسیاک	مدل فائو
زراعت آبی و باغات	۱۰	۰/٦۵	۸	-۱۰	۱
زراعت دیم	۱۰	۰/۸	۱۲	-۱۰	٤
مراتع متراکم	-۱۰	۰/۳	۱	-۱۰	۲
مراتع نیمه متراکم	۰	۰/٤	۵	-۳	۱۲
مراتع کم تراکم	۱۰	۰/۵	۸	۱۰	۲۰
مناطق مسکونی	۱۰	۰/۰۵	۰	-۱۰	۱
جنگل پراکنده	-۵	۰/٦	۲	-۳	۱۲
جنکل های دست کاشت	-۱۰	۰/۲	۲	-۳	۱۲

۴- لایه وضعیت فعلی فرسایش ــ برای تهیه نقشه وضعیت فعلی فرسایش، با تفسیر بصری عکسهای هوایی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و مشاهدات میدانی، سطح حوضه با توجه به میزان فرسایش شیاری، خندقی و زمین لغزه به پنج واحد همگن تقسیم بندی شد (شکل۴،A) و در نهایت هر یک از واحد ها، طبق جداول ارائه شده در مدل ها، امتیاز دهی شدند (جدول۴).

۵- لایه اقلیم ــ از آنجائیکه در حوضه مورد بررسی در این پژوهش، اطلاعاتی در زمینه پهنه بندی شدت و مدت بارش وجود ندارد، و در مدل پسیاک امتیازدهی به این عامل بر حسب شدت و مدت بارش است. مطالعاتی در زمینه رابطه بین مقدار و شدت و مدت بارش انجام شد، تا بتوان با توجه به مقدار بارش که برای حوضه محاسبه شده است، امتیازهای مناسب با شرایط موجود محاسبه و در مدل فوق بکار گرفته شود.

طبق مطالعات (ونت و همکاران، ۲۰۰۵) که در زمینه، بررسی رابطه بین مقدار بارش و میزان رسوب انجام شده، جدول ۵ برای لایه آب و هوا تهیه گردیده است. با این حال باید در نظر داشته باشیم که مقدار بارندگی سالانه به تنهایی نمی‌تواند منعکس کننده شدت، مدت و فراوانی بارش باشد، و این می تواند تأثیر قابل توجهی در مقدار رسوب بگذارد (شکل۳،B).

۶- لایه شیب ــ جهت تهیه نقشه شیب از نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش استفاده شده است. از روی نقشه های توپوگرافی کلیه منحنی های میزان محدوده تحقیق، رقومی و درونیابی شده و نهایتاً نقشه مدل ارتفاعی زمین در فرمت رستری ساخته شد. با استفاده از فیلترهایی که اختلاف ارتفاع را در جهات محورهای y و x محاسبه می کنند، نقشه شیب حوضه تهیه و طبقه بندی شد (شکل۳،C) (جدول،۶).

جدول ٤- امتیازدهی وضعیت فعلی فرسایش حوضه مورد مطالعه

وضعیت فعلی فرسایش	مدل PSEAC	مدل ایی پی ام	مدل فائو
خیلی کم	۱	۰/۲	۳
کم	۵	۰/٤	٦
متوسط	۱۰	۰/۵	۱۰
زیاد	۱۵	۰/۷	۱۳
خیلی زیاد	۲۰	۰/۹	۱۵

جدول ۵- امتیازدهی آب و هوایی حوضه مورد مطالعه

مقدار بارش (MM)	مدل پسیاک
نواحی با بارش ۵۰۰- ٤۰۰ میلیمتر	٤
نواحی با بارش ٦۰۰- ۵۰۰ میلیمتر	۵
نواحی با بارش ۷۰۰- ٦۰۰ میلیمتر	٦
نواحی با بارش ۸۰۰- ۷۰۰ میلیمتر	۷
نواحی با بارش ۹۰۰- ۸۰۰ میلیمتر	۸
نواحی با بارش ۱۰۰۰- ۹۰۰ میلیمتر	۹
نواحی با بارش بیش از ۱۰۰۰ میلیمتر	۱۰

جدول ٦- امتیازدهی عامل شیب حوضه مورد مطالعه

مقدار شیب بر حسب درصد	مدل پسیاک	مدل ایی‌پی‌ام	مدل فائو
۰ -۵	۰	۰/۰۲۵	۰
۵ -۱۰	۵	۰/۰۷۵	۲
۱۰ -۲۰	۱۰	۰/۱۵	۲
۲۰ -۳۰	۱۵	۰/۲۵	۱۰
۳۰ -٤۰	۲۰	۰/۳۵	۱۰
٤۰ -۵۰	۲۰	۰/٤۵	۱۳
۵۰ -٦۰	۲۰	۰/۵۵	۱٦
٦۰ -۷۰	۲۰	۰/٦۵	۱٦
> ۷۰	۲۰	۰/۸۰	۱٦

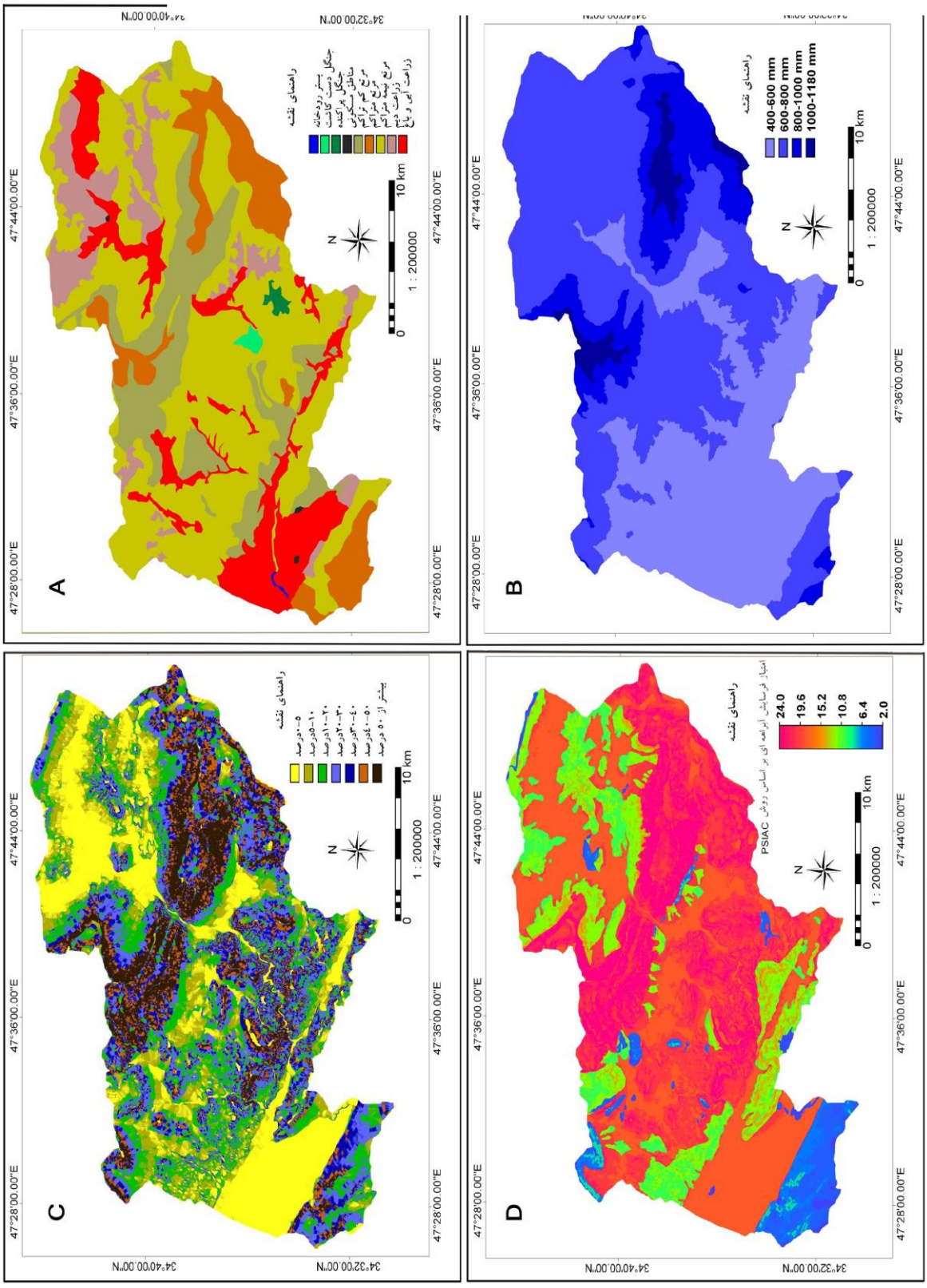
۷- لایه رواناب ـــ برای امتیازدهی به عامل رواناب در ابتدا حوضه آبخیز مریم نگار به هفت زیر حوضه تقسیم شد. ارتفاع رواناب برای هر زیر حوضه با استفاده از فرمول تجربی موسسه تحقیقاتی هند (ICAR) محاسبه شد (ضیائی،۱۳۸۰؛ مهدوی، ۱۳۷۸).

$$Q = \frac{(1.115\,P^{1.44})}{T^{1.34}\,A^{0.0613}} \qquad (۷)$$

که در آن Q ارتفاع رواناب (cm)، P میزان متوسط بارندگی حوضه آبریز (cm)، T دمای متوسط سالانه حوضه (C°)، A مساحت حوضه (کیلومتر) می‌باشد. با توجه به مقدار رواناب در هر زیر حوضه و تطبیق آن با مطالعاتی که در این زمینه انجام شده (ونت و همکاران، ۲۰۰۵؛ علیزاده،۱۳۸۲)، امتیاز مربوط به هر زیر حوضه محاسبه و در پایگاه اطلاعاتی مربوطه وارد شد (جدول۷).

جدول ۷- امتیازدهی رواناب حوضه مورد مطالعه

نام زیر حوضه	ارتفاع رواناب (CM)	مدل پسیاک
بابا کمال	۸/٦	۵
میر طاهری	۱۱/۲	٦
کلم کبود	۱۲/۹	۷
فارسینج	۱۲/۵	۷
سرخ علیجه	۱۳/۹	۸
لنگر شاه	۱٤/۷	۹
جیحون آباد	۹	۵



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی A ،سطوح همبارش B ،شیب C و فرسایش آبراهه ای D ،حوضه آبخیز مرسم نگار

۸-لایه فرسایش آبراهه ای ــ به منظور تهیه لایه فرسایش آبراهه ای مطابق با روش ارائه شده توسط تنگستانی ابتداً نقشه حساسیت سازندهای زمین شناسی به فرسایش آبراهه ای تهیه شد، که در آن سازندهای زمین شناسی با توجه به میزان حساسیتشان به فرسایش آبراهه ای، به سه گروه با حساسیت زیاد، متوسط و کم تقسیم بندی شده اند. در مرحله بعد با همپوشانی نقشه

تهیه شده در مرحله قبل با نقشه شیب که در چهار گروه طبقه بندی شده، نقشه جدیدی به عنوان نقشه پهنه بندی فرسایش آبراهه ای بدست می آید (شکل۳،D). در نقشه اخیر، ۱۲ واحد قابل شناسایی است که طبق جدول ۸ امتیازی بین ۲۴- ۲ را به خود اختصاص می دهند.

جدول ۸- امتیازدهی فرسایش آبراههای حوضه مورد مطالعه

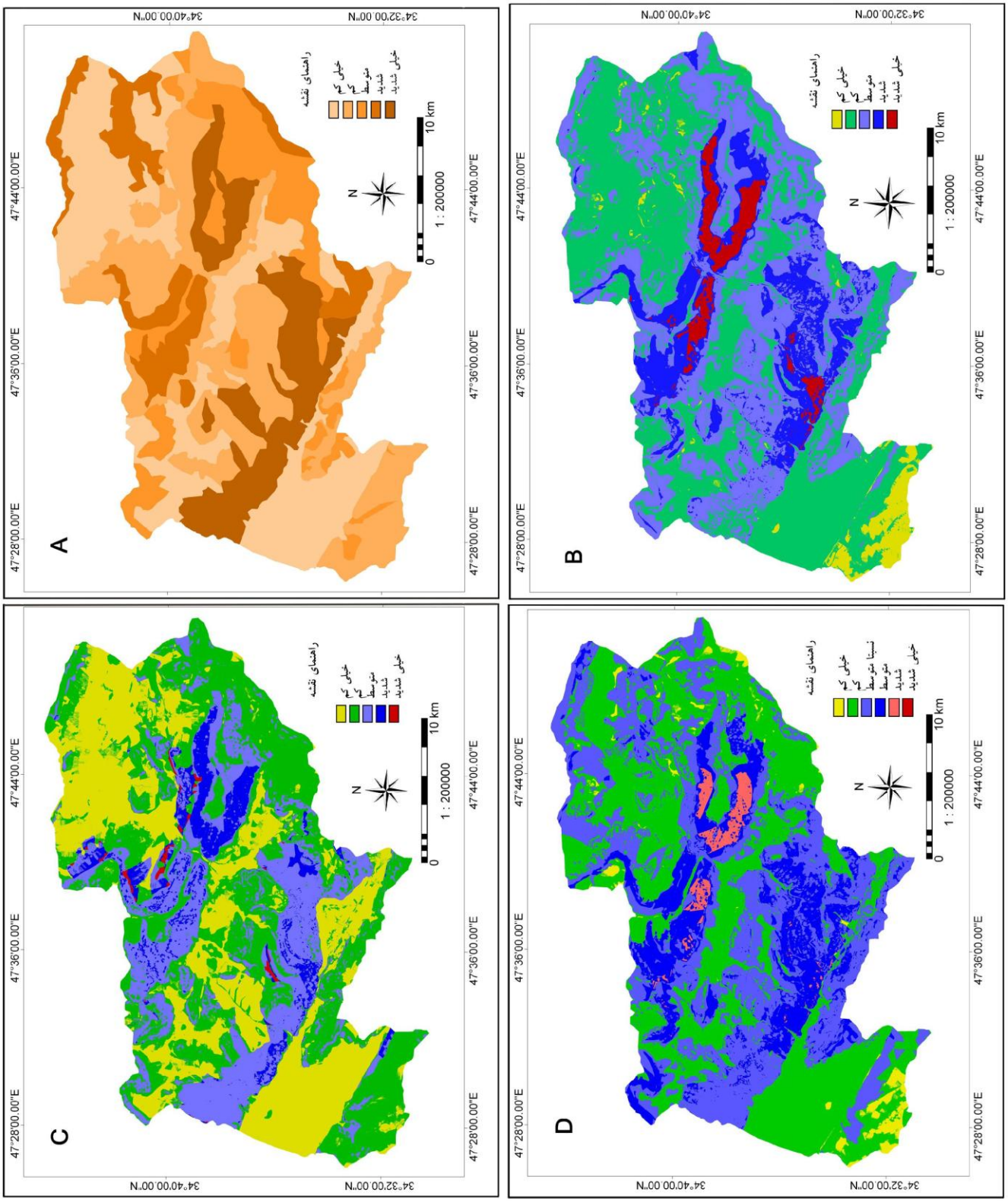
میزان حساسیت سازند زمین شناسی به فرسایش آبراههای	شیب بر حسب درصد	مدل پسیاک
حساسیت زیاد به فرسایش آبراههای	۰ -۱۰	۱۸
	۱۰ -۳۰	۲۰
	۳۰ -۵۰	۲۲
	> ۵۰	۲٤
حساسیت متوسط به فرسایش آبراههای	۰ -۱۰	۱۰
	۱۰ -۳۰	۱۲
	۳۰ -۵۰	۱٤
	> ۵۰	۱٦
حساسیت کم به فرسایش آبراههای	۰ -۱۰	۲
	۱۰ -۳۰	٤
	۳۰ -۵۰	٦
	> ۵۰	۸

تلفیق لایه‌های وزنی و تعیین میزان رسوب در مدل های مورد بررسی

پس از وزن دهی و نهایی سازی لایه های اطلاعاتی که به صورت لایه های وزنی درآمده اند اقدام به تلفیق لایه‌ها با توجه به فرمول هر یک از مدل ها شده است. حاصل این تلفیق به دست آمدن نقشه ای است که مقادیر آن نشان دهنده درجه رسوبدهی حوضه است. در مدل پسیاک پس از بررسی عوامل نه گانه موثر در فرسایش خاک، امتیاز نهایی این عوامل با هم جمع و برابر با ۵۶/۵۲ محاسبه گردیده است. با توجه به معادله $Q_S = 18.6e^{0.036R}$ ، میزان رسوبدهی سالانه، ۱۴۲/۲۵(m^3/km^2) برآورد شده است (شکل۴، A وB). در مدل ایی پی ام ، لایه های وزنی بر اساس رابطه $Z = X_a Y(\varphi + I^{0.5})$ با هم تلفیق شده و ضریب شدت فرسایش، طبق محاسبات نرم افزار ILWIS ۰/۳۳ محاسبه گردیده است. با توجه به ضریب شدت فرسایش، مقدار رسوب ویژه این حوضه آبخیز، معادل ۴۷۱/۷۸ ($m^3/km^2/y$) برآورد شده که با اعمال ضریب رسوبدهی حوضه آبخیز در آن (که معادل ۰/۵۴ محاسبه گردیده)، میزان رسوب ویژه حوضه آبخیز برابر با ۲۵۴/۷ (m^3/km^2) بدست می آید (شکل۴، C). ضریب شدت فرسایش در روش فائو ، برای حوضه آبخیز مریم نگار، ۴۰/۱۱ محاسبه گردیده است که با توجه به طبقه بندی این روش، حوضه آبخیز مریم نگار از نظر طبقه بندی شدت فرسایش، در کلاس فرسایشی نسبتاً متوسط قرار می گیرد (شکل۴، D) (جدول۹).

جدول ۹- مساحت و درصد هر یک از طبقات شدت فرسایش در مدل های مورد بررسی

کلاس فرسایش	مدل پسیاک		مدل ایی پی ام		مدل فائو	
	مساحت (KM^2)	درصد	مساحت (KM^2)	درصد	مساحت (KM^2)	درصد
خیلی کم	۱۹/۲	۳/۲۲	۱۹۳/۹	۳۲/٤۸	۲۳/۸۸	٤
کم	۲۵۸/۹	٤۳/۳۷	۲۲٤/۲	۳۷/۵۵	۳٤٦/۲٦	۵۸
متوسط	۲۱٦/۹	۳٦/۳۳	۱٤۰/۳	۲۳/۵	۱۹۱/۰٤	۳۲
زیاد	۸۰/۳	۱۳/٤۵	۳۵/۹	٦/۰۱	۸۲,۳۵	٦
خیلی زیاد	۲۱/۷	۳/٦۳	۲/۷	۰/٤۵	۰	۰



شکل ٤: نقشه فرسایش فعلی A ،فرسایش مدل پسیاک B ،مدل ای پی ام C ، مدل فائو D در حوضه آبخیز مریم نگار

مقایسه طبقات فرسایشی در روش پسیاک، ایی‌پی‌ام و فائو با نقشه شدت فرسایش حوضه

به منظور مقایسه نقشه های حاصل از مدل های مورد بررسی با نقشه فرسایش موجود حوضه آبخیز مریم نگار، هر یک از این نقشه ها به صورت جداگانه با نقشه شدت فرسایش حوضه، (شکل ۴، A) قطع داده شد و از انطباق آنها، مقدار اختلاف نسبی هر یک از کلاس های فرسایشی بدست آمد که نتایج حاصله به صورت جدول ۱۰ و شکل ۵ ارائه می‌گردد.

شکل ۵- میزان اختلاف طبقات فرسایشی حوضه آبخیز مریم نگار با استفاده از مدل‌های مورد بررسی

جدول ۱۰- نتایج همپوشانی نقشه پهنه بندی شدت فرسایش مدل های مورد بررسی با نقشه پهنه بندی شدت فرسایش حوضه آبخیز مریم نگار

مدل‌های مورد بررسی	درصد مساحت کلاسهای فرسایشی مشابه بین مدل مورد بررسی با نقشه فرسایش موجود از حوضه آبخیز مریم نگار + کلاسهای فرسایشی با اختلاف یک طبقه فرسایشی با یکدیگر نسبت به مساحت کل حوضه آبخیز					جمع
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	
مدل پسیاک	۳/۱٤	٤۰/۵۲	۲٦/۸۸	۱۱/٦٦	۳/٦۲	۸۵/۸۲
مدل ایی پی ام	۲۸/۰۲	۳۳/۷۳	۱۳/۱۷	٤/۷٦	۰/۱۱	۷۹/۷۹
مدل فائو	۳/۲۳۳۱	۵۱/۸۵٦۵	۱۹/۷۸۸۸	٦/۵۷۹۷	۰/۰۰۰۵	۸۱/٤۵

همانطور که جدول فوق گویای آن است، در مدل پسیاک ، ۸۵/۸۲ درصد، در مدل ایی پی ام ، ۷۹/۷۹ درصد و در مدل فائو ، ۸۱/۴۵ درصد از مساحت حوضه، بصورت مشابه و یا با یک کلاس فرسایشی اختلاف با واقعیت موجود پهنه بندی شده است. بنابراین با توجه به نتایج فوق، مدل پسیاک به عنوان مدل بهینه برای پهنه بندی شدت فرسایش در حوضه آبخیز مریم نگار شناسایی می شود. از طرفی مقایسه جداول ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که در هر سه مدل پسیاک ، ایی پی ام و فائو میزان همپوشانی نقشه پهنه‌بندی فرسایش و نقشه پهنه‌بندی شدت فرسایش حوضه در طبقه متوسط ، پائین‌تر از سایر طبقات می‌باشد. این درحالیست که طبقات دیگر دارای همپوشانی بیشتری می‌باشند.

مقایسه رسوب برآورد شده به روشهای تجربی با آمار رسوب مشاهده شده

با اندازه گیری بار مواد رسوبی معلق در ایستگاه هیدرومتری کله جوب، میزان رسوب زایی حوضه مورد بررسی، با توجه به اطلاعات ثبت شده از میزان رسوب و آبدهی روزانه ثبت شده در محل ایستگاه و نیز بهره گیری از روش دوام رسوب، برآورد شده که برابر با ۱۴۴/۷ ($Ton/km^2/y$) است. از مقایسه مقادیر برآورد شده رسوب، با استفاده از دو روش تجربی پسیاک و ایی پی ام و همچنین مقدار محاسبه شده از آمار ایستگاه رسوب سنجی به عنوان شاهد، مشخص گردید که برآورد روش پسیاک از مقدار رسوب، ۳۳ درصد با آمار مشاهده شده اختلاف داشته و برآورد حاصل از بکارگیری روش ایی پی ام با آمار رسوب مشاهده شده، ۱۳۹ درصد اختلاف دارد (جدول ۱۱).

جدول۱۱- میزان اختلاف مقادیر برآورد شده رسوب از روشهای تجربی با آمار رسوب مشاهده شده

آمار رسوب مشاهده شده (تن در سال)	روش پسیاک (تن در سال)	روش ایی پی ام (تن در سال)
۸۶۳۸۵/۹	۱۱۵۴۹۵	۲۰۶۷۹۶
مقدار اختلاف با آمار رسوب	۲۹۱۳۶	۱۲۰۴۳۷
درصد اختلاف	۳۳	۱۳۹

نتیجه گیری

بعد از زمین مرجع کردن و ایجاد پایگاه داده ها برای این لایه ها، با استفاده از جداول ارائه شده در هر یک از مدل های مورد بررسی، امتیازات متناسب برای نواحی همگن در حوضه آبخیز استخراج و با تلفیق لایه های ذکر شده با توجه به رابطه های ارائه شده در هر یک از مدلها، نقشه پهنه بندی شدت فرسایش برای منطقه تهیه شد. مدل پسیاک ، ۴۳/۳۷ درصد از مساحت حوضه را در کلاس فرسایشی کم، ۳۶/۳۳ درصد آن را در کلاس فرسایشی متوسط، طبقه بندی کرده است. به عبارتی این مدل بیش از ۷۹ درصد از سطح حوضه را در دو کلاس فرسایش کم و متوسط، طبقه بندی کرده است در حالی که مدل ایی پی ام ، ۳۲/۴۸ درصد از مساحت حوضه در کلاس فرسایشی خیلی کم

و ۳۷/۵۵ درصد از مساحت حوضه در کلاس فرسایشی کم، طبقه بندی می کند. بعبارتی این مدل، حوضه آبخیز مریم نگار را از نظر فرسایش، نسبت به مدل پسیاک در یک کلاس فرسایشی پایین تر جای می دهد، که علت آن در نحوه امتیازدهی به عامل سنگ شناسی است. روش فائو ، ۴۲/۲۶ و ۳۸/۲۷ درصد از سطح حوضه را به ترتیب در کلاسهای فرسایشی کم و نسبتاً متوسط طبقه بندی می کند، این ارقام نشان دهنده این است که این مدل از نظر پهنه بندی شدت فرسایش در سطح حوضه، تقریباً شبیه به مدل پسیاک عمل می‌کند. با مقایسه نقشه های شدت فرسایش استخراج شده از مدل ها با نقشه فرسایش حوضه آبخیز، می توان چنین نتیجه گرفت که در مدل پسیاک ، ۸۵/۸۲ درصد، در مدل ایی پی ام ، ۷۹/۷۹ درصد و در مدل فائو ، ۸۱/۴۵ درصد از مساحت حوضه، به صورت مشابه و یا با یک کلاس فرسایشی اختلاف با واقعیت موجود پهنه بندی شده است. بنابراین با توجه به نتایج فوق، مدل پسیاک به عنوان مدل بهینه برای پهنه بندی شدت فرسایش در حوضه آبخیز مریم نگار شناسایی می‌شود.

دو مدل پسیاک و ایی پی ام علاوه بر پهنه بندی شدت فرسایش در حوضه ها، می توانند مقدار رسوب سالانه حوضه آبخیز را برآورد کنند. به منظور مقایسه رسوب برآورد شده از این مدل ها با واقعیت منطقه، با استفاده از آمار رسوب ایستگاه هیدرومتری کله جوب و روش دوام رسوب، مقدار رسوب حوضه آبریز مریم نگار محاسبه شده است که برابر با ۸۶۳۸۵/۹ تن در سال بوده و به عنوان رسوب شاهد در مقایسه با مقدار رسوب برآورد شده توسط دو مدل ذکر شده، در نظر گرفته شد. روش پسیاک میزان رسوب حوضه را ۳۳ درصد بیشتر از رسوب شاهد، برآورد نموده است و مدل ایی پی ام با اختلاف ۱۳۹ درصدی، میزان رسوب حوضه را محاسبه کرده است. از آنجایی که غالباً داده های مربوط به اندازه گیری های غلظت مواد رسوبی رودخانه ها، بیشتر مربوط به آب پایه است و در مواقع سیلابی که قسمت عمده بار رسوبی رودخانه ها تولید می‌شود، به علت مشکلات اندازه گیری و نبود امکانات، تعداد نمونه برداریها بسیار کم است. این امر باعث می شود، برآورد رسوب با استفاده از آمار این ایستگاهها، مقدار کمتری نسبت به واقعیت موجود را نشان دهد. از طرف دیگر رودخانه مریم نگار بعد از خروج از ناحیه کوهستانی تا رسیدن به ایستگاه هیدرومتری کله جوب مسافتی در حدود ۱۸ کیلومتر را در شیب کمتر از ۵ درصد طی می کند، که باعث ته نشین شدن مقدار بسیار زیادی از بار رسوبی آن می شود. این شرایط در برآورد مقدار رسوب بوسیله مدل های تجربی مورد استفاده، لحاظ نشده و به همین علت مقدار رسوب برآورد شده توسط این مدل ها با آمار مشاهده شده در ایستگاه کله جوب، دارای اختلاف است. با توجه به مطالب بالا می توان مدل پسیاک را به عنوان مدل نسبتاً مناسبی برای برآورد میزان رسوب سالانه حوضه معرفی نمود.

شایان ذکر است که نتایج ارائه شده توسط مدل‌های فوق لزوم اجرای روش‌های آبخیزداری و حفاظت خاک و همچنین مطالعات تفضیلی آبخیزداری در پهنه‌هایی که دارای شدت فرسایش بالا و خیلی بالا می‌باشند را بیش از پیش ضروری می‌سازد. همچنین با توجه به فراوانی روش‌های برآورد میزان فرسایش خاک و روش‌های جدیدی که در این خصوص ارائه شده است لازم است نتایج این مطالعه با این روش‌ها نیز مقایسه و مورد تحلیل قرار گیرد.

منابع

-احمدی، ح.، ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران.

-خاکسار، ک.، گودرزی، م.، غریب رضا، م.، و رحمتی، م.، ۱۳۸۵. تعیین حساسیت سازندهای زمین شناسی حوضه آبریز مهارلو به فرسایش، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۲، صفحات ۱۱۶-۱۲۹.

-داوری، م.، بهرامی، ح، ع.، قدوسی، ج.، و طهماسبی‌پور، ن.، ۱۳۸۴. علوم آب و خاک، شماره ۱۹، ۷۶-۶۱ صفحه.

-رفاهی، ح.، ۱۳۸۵؛ فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران.

-سحابی، ف.، ایران پناه، ا.، و زرعیان، س.، ۱۳۵۷. سنگ شناسی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

-ضیائی، ح، ا.، ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات دانشگاه امام رضا.

-علیزاده، ا.، ۱۳۸۲. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.

-غلامی، ش.، ۱۳۷۹. مدل شبیه سازی رسوب روزانه با استفاده از مدل توزیعی SWAT در حوضه های کوهستانی «حوضه آبخیز معرف امامه»؛ دومین همایش ملی فرسایش و رسوب «مجموعه مقالات»؛ دانشگاه لرستان.

-فیض نیا، س.، ۱۳۷۴. مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف، مجله منابع طبیعی، شماره ۴۷.

-مسلم کوپایی، ع.، ۱۳۷۶. بررسی فرسایش و رسوب به روش ایی پی ام و روش ژئومورفولوژی در حوزه های آبخیز درکه و سولقان، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری؛ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

-مهاجر شجاعی، م.ح.، ۱۳۶۸. ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان کرمانشاه «منطقه سنقر»، انتشارات موسسه خاکشناسی و حاصلخیزی خاک.

-مهدوی، م.، ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران.

-Alesheikh, A.A,. Blasis, J.A.R., Chapman, M.A., and Karimi, H., 1999. Rigorous Geospatial Data Uncertainty Models for GIS, in "Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources", Chapter 24. Edited by: Kim Lowell and Annick Jaton. Ann Arbor Press, Michigan, USA.

-Clark, K.B., 1999. An estimate of sediment yield for two small watersheds in a Geographic Information System. M. Sc. Thesis, Geography, University of New Mexico.

-Gavrilovic, Z., 1988. The use of an empirical method production and transportation in unstudied or torrential streams. Proceeding of International Conference on River Regime. Published by John Wiley and Sons. v. 12. p. 411-422.

- Rafaelli, S.G., and et al., 2001. A comparison of thematic mapping of erosional intensity to GIS driven process models in an Andean drainage basin; Journal of Hydrology, 244 P.
- Tangestani, M. H., 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, v. 27.
- Vente. Joris de and Verstraeten, G., 2005. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rate for the prediction of basin sediment yield in Spain; Journal of Hydrology, v. 305.

-Vente. Joris de and Poesen, J., 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi- quantitative models; Earth-Science Reviews.