

بررسی مکانیسم‌های فرسایش و رسوبزایی زیرحوضه‌های افجه و لوارک با استفاده از مدل‌های تجربی و مقایسه آن‌ها از طریق روش زمین‌آماري

زهرا نجم^۱، خلیل رضایی^۲، سید حمید وزیری^۳، علی نعیمی نظام آباد^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۲- استادیار دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم) تهران

۳- استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۴- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۹/۱۸ تاریخ تصویب: ۹۲/۲/۳۰

چکیده

زیرحوضه‌های افجه و لوارک هر یک به مساحت ۶۶۵۱/۹۵ و ۱۰۵۵۷/۲ هکتار در شمال شرقی استان تهران و در حاشیه جنوبی البرز مرکزی قرار دارند. گستره زیرحوضه‌ها از سازندهای مختلفی پوشیده شده است که اساساً سنگ‌های رسوبی مانند شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آذرآواری‌های توفی، نسبت به سنگ‌های آذرین، سطح بیشتری از زیرحوضه‌ها را پوشانده‌اند. قدیمی‌ترین سازند موجود در زیرحوضه افجه، سازند باروت به سن کامبرین و در زیرحوضه لوارک سازند میلا به سن کامبرین میانی و پسین می‌باشد و در هر دو زیرحوضه جدیدترین واحدهای سنگی متعلق به نهشته‌های کواترن است. این تحقیق با هدف مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب زیرحوضه‌ها با استفاده از تکنیک GIS انجام گرفته است. بدین منظور با انجام مطالعات صحرایی و آزمایشات رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی، تأثیر لیتولوژی و شرایط زمین‌شناسی و خاک بر میزان تولید رسوب در هر منطقه بررسی شد و در انتها با استفاده از مدل زمین‌آمار، دو مدل تجربی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرسایش در قسمت‌های شیلی، مارنی، توف‌های هوازده و نهشته‌های آبرفتی زیرحوضه‌ها و منطبق بر سازندهای حساس به فرسایش یعنی کرج و رسوبات کواترن می‌باشند. همچنین براساس نقشه پتانسیل فرسایش، بیش از ۷۵ درصد زیرحوضه‌ها دارای پتانسیل بالایی هستند. میزان رسوب سالانه براساس مدل MPSIAC برای زیرحوضه افجه ۷۶۹/۳ و برای زیرحوضه لوارک ۵۸۳/۲۱ متر مکعب در کیلومتر مربع، تعیین شد. براساس مدل EPM نیز میزان رسوب سالانه زیرحوضه افجه ۷۰۱/۳ و زیرحوضه لوارک ۵۴۳/۲ متر مکعب در کیلومتر مربع می‌باشد و میزان فرسایش سالانه برای هر دو زیرحوضه در حد زیاد و شدید برآورد گردید. در مقایسه، مدل MPSIAC نتایج قابل قبول‌تری را ارائه داده است.

واژگان کلیدی: افجه، لوارک، فرسایش، رسوب، MPSIAC، EPM، زمین‌آمار

مقدمه

فرسایش خاک، که به سرطان زمین شهرت یافته [16]، یک پدیده طبیعی است، ولی عواملی که نتیجه فعالیت غیر اصولی انسان در جریان بهره‌برداری از زمین می‌باشد، به‌عنوان کاتالیزور در تسریع آن دخالت دارند. از جمله عوامل مهمی که در وقوع فرسایش مؤثرند می‌توان به مقدار و شدت بارندگی، رواناب، خاک، شیب و پوشش گیاهی اشاره نمود که البته وجود یا عدم وجود تمهیدات حفاظتی و عوامل دیگر هم، نقش اساسی را در توسعه و شدت فرسایش خاک بازی می‌کنند [۹].

با تعیین مقاومت سنگ‌ها و سازندها می‌توان به گونه‌ای مناسب منطقه‌های مختلف را از نظر حساسیت به فرسایش مشخص نمود. برای رتبه‌بندی مقاومت سنگ‌ها به فرسایش، ویژگی‌هایی از سنگ مانند سختی، درز و شکاف، شدت هوازدگی سنگ‌ها و مواد ناپیوسته، بافت، ساختمان و نفوذپذیری مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۲].

از سوی دیگر یکی از مشکلات اساسی برای تخمین میزان فرسایش و رسوب به منظور برنامه‌ریزی‌های مربوط به بهره‌برداری از منابع آب و خاک، عدم وجود آمار، به‌ویژه در حوضه‌های آبریز کوچک می‌باشد. جهت تخمین و برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه‌های فاقد آمار، مدل‌های تجربی متعددی مانند: Modify Pacific Southwest Inter-Agency) MPSIAC (Committee) و (Erosion Potential Method) EPM معرفی شده که کارایی این دو مدل، با مطالعه زیرحوضه‌های افجه و لوارک واقع در شمال‌شرق استان تهران بررسی شده است.

روش تحقیق

در این تحقیق پس از مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی نقشه‌های پایه زمین‌شناسی و توپوگرافی و مطالعه و تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، عملیات صحرائی و نمونه‌برداری از سنگ‌ها و رسوبات به منظور امتیازدهی به عوامل مؤثر در فرسایش رسوبزایی زیرحوضه‌ها، براساس دستورالعمل ارائه شده در روش‌های تجربی صورت گرفت.

همچنین فرسایش و انواع آن در منطقه بررسی شد و نهایتاً با تهیه نقشه‌های مختلف در محیط GIS و جداول مربوطه و با تلفیق داده‌های به‌دست آمده، در پایان میزان رسوب دهی زیرحوضه‌های افجه و لوارک برآورد گردید و با استفاده از روش‌های آماری و زمین آماری، کارآمدی دو مدل مورد بررسی قرار گرفت. این نوشتار نتایج مطالعات رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی را در بر نمی‌گیرد.

کل محدوده مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی $51^{\circ}, 38', 38''$ تا $51^{\circ}, 50', 24''$ طول شرقی و $35^{\circ}, 46', 55''$ تا $35^{\circ}, 54', 23''$ عرض شمالی و در ارتفاعات حاشیه جنوبی البرز مرکزی در شمال شرقی استان تهران واقع شده است.

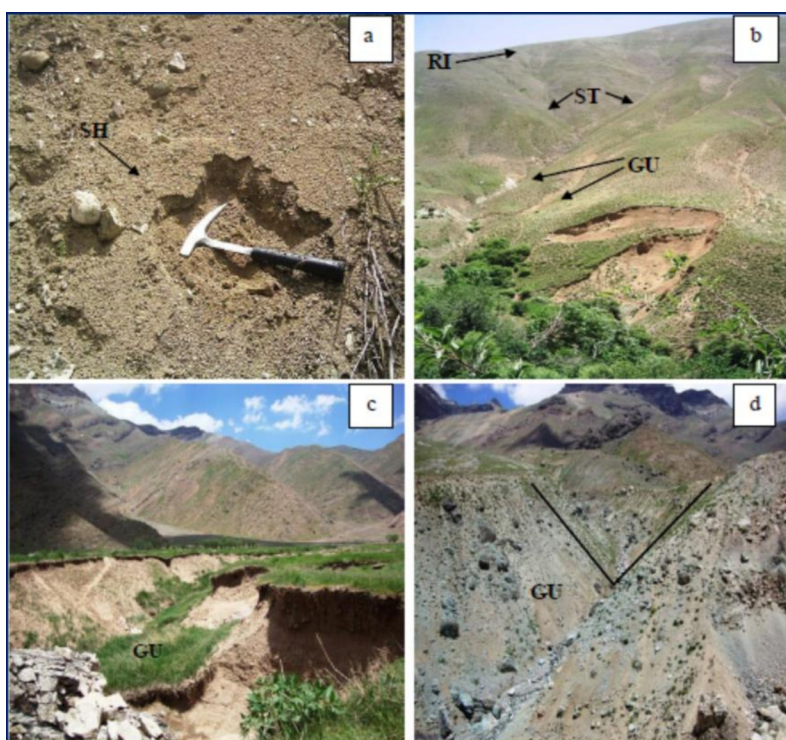
زیرحوضه افجه از شمال با حوزه آبخیز سد لار، شاخه آب چهل بره، از شرق با حوزه آبخیز برگ‌جهان، از جنوب با دریاچه سد لتیان و از غرب با حوزه آبخیز کند هم مرز است.

زیرحوضه لوارک نیز از شمال به حوزه آبخیز سد لار، از غرب به حوزه آبخیز رودخانه افجه، از جنوب‌غربی با دریاچه سد لتیان هم‌جوار بوده و یکی از منابع تأمین کننده آب سد لتیان می‌باشد.

فرسایش در مناطق مورد مطالعه

به‌طور کلی پتانسیل فرسایش یک منطقه ترکیب دو بخش فرسایش‌دهندگی (شامل اقلیم یا رواناب) و فرسایش‌پذیری (شامل خصوصیات خاک، توپوگرافی، سنگ و کاربری اراضی) است [۱۳]. فرسایش دارای اثرات نامطلوب و عواقب نامناسبی است که در زمینه‌های مختلف باعث خسارات فراوان می‌گردد. از این قبیل می‌توان به کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش آب‌های زیرزمینی، کاهش و نوسان آب‌های سطحی،

پرشدن مخزن سدها و ایجاد سیلاب‌های خطرناک اشاره نمود [۲]. براساس نوع سازند و خاک و شدت بارندگی و شیب زمین اشکال مختلفی از انواع فرسایش به‌وجود می‌آیند [۴]. به‌طور اجمال اشکال ذیل از فرسایش در منطقه قابل مشاهده هستند: فرسایش پاشمانی یا قطره بارانی (Splash)، ورقه‌ای (Sheet)، شیاری (Rill)، آبراهه‌ای (Stream)، خندقی (Gully)، بدلدن یا هزاردره (Bad Land)، مکانیکی (Mechanical)، کناره‌ای (Bank) [۱۰].



شکل ۱- اشکال مختلف فرسایش در مناطق مورد مطالعه (a) نمایی از فرسایش ورقه‌ای در منطقه، (b) نمایی از فرسایش شیاری، آبراهه‌ای و خندقی که البته زمین لغزش هم در آن دیده می‌شود، دید به سمت شرق، (c) نمایی از فرسایش خندقی U شکل، دید به سمت شمال شرق، (d) نمایی از فرسایش خندقی V شکل، دید به سمت شمال شرق.



شکل ۲- (a) نمایی از فرسایش هزار دره یا بدلند در منطقه دید به سمت شمال شرق، (b) فرسایش کناره‌ای، دید به سمت شرق

X_1 = شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی است که براساس نوع سنگ، سختی، شکستگی و هوازدگی تعیین می‌شود.

برهمن اساس ابتدا واحدهای زمین‌شناسی زیرحوضه‌های افجه و لوارک در محیط نرم‌افزاری ArcGIS

به‌صورت رقومی شده تهیه گردید. نهایتاً با توجه به مطالعه منابع و استفاده از ضرایب وزنی موجود برای هر عامل در مدل MPSIAC، نقشه نهایی شده مربوط به عامل زمین‌شناسی سطحی در سطح زیرحوضه‌های مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۳ و جدول ۲). در زیرحوضه‌های افجه و لوارک با توجه به لیتولوژی-های موجود، نهشته‌های آبرفتی، مارن، شیل و توف-های هوازده بیشترین تولید رسوب و سنگ‌های آهکی، توف‌های آهکی و سنگ‌های آذرین در مقایسه با سایر سنگ‌ها مقاومت بیشتری دارند.

عوامل نه‌گانه مؤثر در مدل MPSIAC

این مدل، یکی از مدل‌های برآورد فرسایش خاک می‌باشد که برحسب تجربه برای اقلیم‌هایی نظیر کشور ایران پاسخ مناسبی داده است [۶].

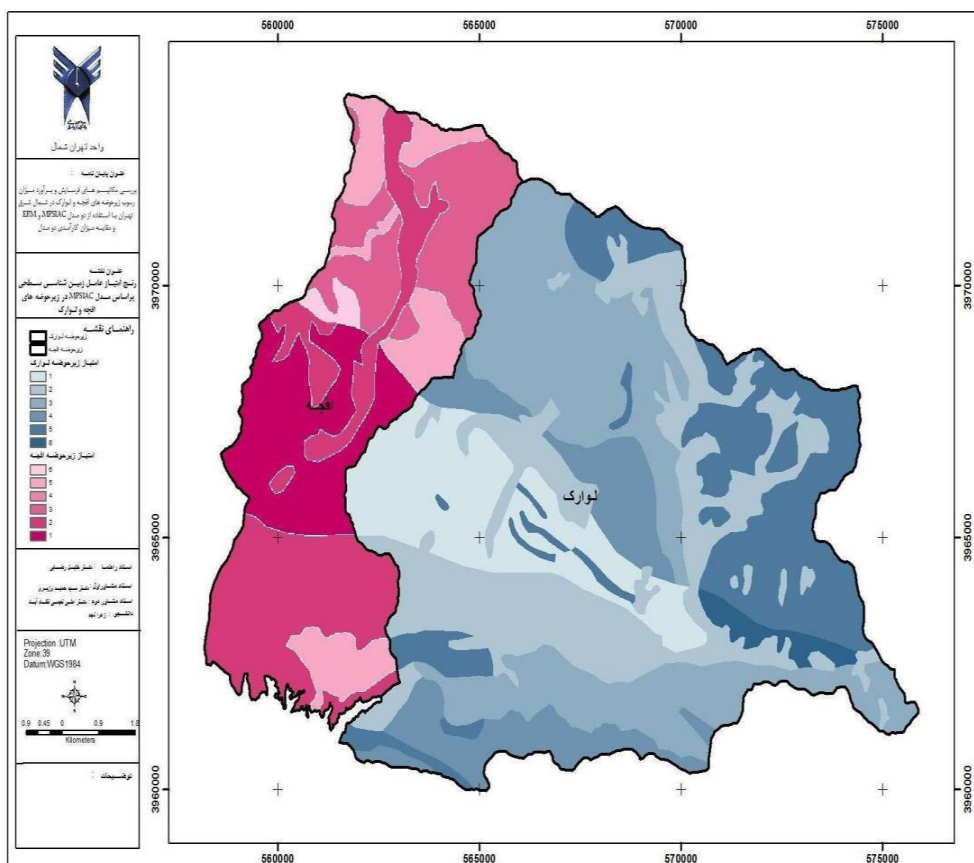
عامل زمین‌شناسی سطحی

میزان فرسایش در سطح سنگ‌ها و تولید رسوب را می‌توان تحت تأثیر عوامل دینامیکی مانند آب و هوا و شرایط جغرافیایی و عوامل استاتیکی که بیشتر به ساختار لیتولوژیکی واحدهای زمین‌شناسی وابسته هستند، در نظر گرفت [۷]. در روش MPSIAC بسته به این‌که مقاومت سنگ در مقابل فرسایش با توجه به شرایط محیطی به چه اندازه باشد از درجاتی استفاده شده و در رابطه (۱) جایگزین می‌شود.

$$Y_1 = X_1 \quad (1)$$

جدول ۲- واحدهای زمین‌شناسی و ضرایب اختصاص یافته به هر کدام در زیرحوضه‌های افجه و لوارک

نام زیرحوضه	کرج	کند	کواترنر	باروت	سازند قرمز	فجن	لالون	لار	میلا	هزاردره
افجه	۵	۴	۲	۶	-	۳	۲	-	۱	۲
لوارک	۵	۴	۲	-	۸	۳	-	۴	۱	۲



شکل ۳- نقشه عامل زمین‌شناسی سطحی در زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل MPSIAC

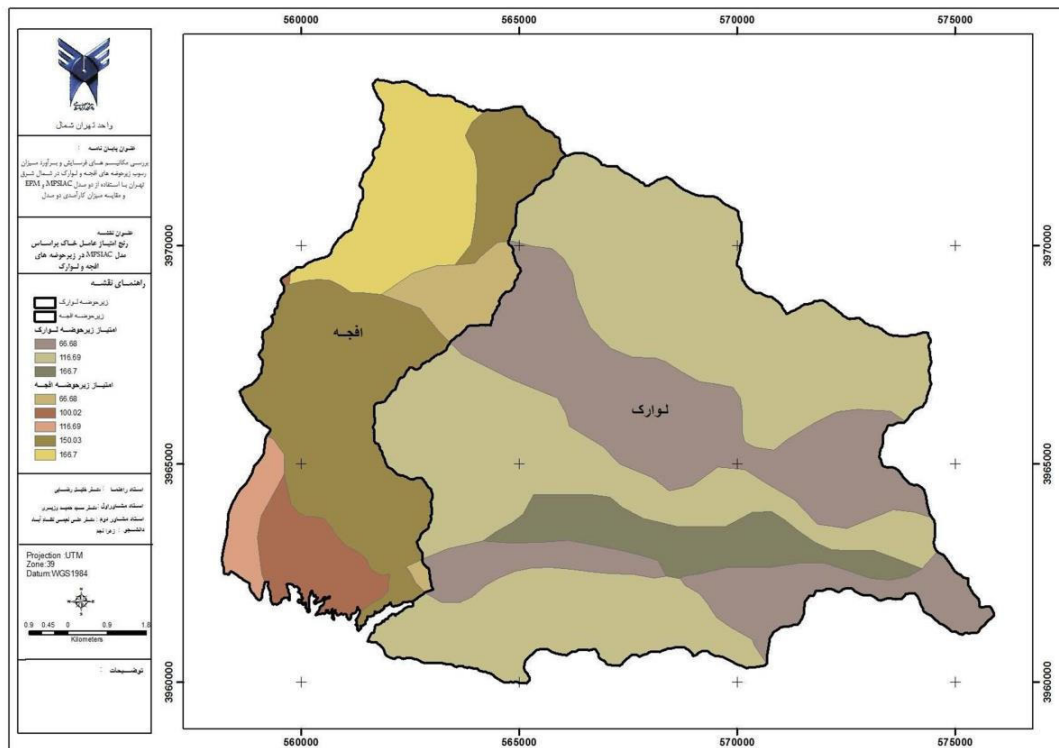
عامل خاک

درصد ماده آلی، ساختمان خاک و قابلیت نفوذ استفاده می‌شود [۷]. در تعیین وضعیت فرسایش پذیری خاک، از روی نقشه‌های واحدهای منابع اراضی که براساس تلفیق پارامترهای مختلف خاک‌شناسی و شرایط توپوگرافی تهیه می‌گردد، نقشه واحدهای خاک و همچنین پارامتر فرسایش پذیری خاک در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه شد و متعاقباً با اعمال ضریب اصلاحی مدل MPSIAC (ضریب ۱۶/۶۷) به عنوان یکی از عوامل اصلی در محاسبه وضعیت فرسایش-پذیری در محاسبه نهایی مورد استفاده واقع گردید (شکل ۴).

در روش PSIAC دامنه تغییرات عامل خاک براساس بافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، میزان آهک، مواد آلی، قابلیت پخش رس و رطوبت اولیه خاک استوار است. در روش MPSIAC برای تعیین عامل خاک از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Y_p = 16/67 X_p \quad (2)$$

X_p (یا K) = عامل فرسایش پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش در فرمول جهانی فرسایش برای تعیین مقدار ضریب فرسایش پذیری خاک (ضریب K) از مشخصه‌های درصد سیلت به اضافه شن خیلی ریز، درصد شن،



شکل ۴- نقشه عامل خاک در زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل MPSIAC

عامل اقلیم (آب و هوا)

فرسایش و رسوبزایی هر منطقه تا حد زیادی وابسته به اقلیم و آب و هوای آن منطقه است، زیرا آب و هوا علاوه بر تأثیر بر روی پدیده‌های خاکزائی، بر روی وضع پوشش گیاهی نیز تأثیر دارد [۱]. اکثر بارندگی‌های منطقه از اواسط پائیز تا اواسط اردیبهشت اتفاق می‌افتد. جریان‌های جنوب‌غرب به شمال‌شرق با توجه به جهت ارتفاعات شمالی تهران در آنجائی که ارتفاعات عمود بر جریانات می‌باشد، بارندگی‌های شدیدی را ایجاد می‌کند [۱۱].

$$Y_p = 0.2 X_p \quad (3)$$

X_p = مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال برحسب میلی‌متر می‌باشد که با استفاده از اطلاعات آمار هواشناسی محاسبه می‌گردد. محاسبات مربوط به این مهم، براساس اطلاعات بارش در محیط نرم‌افزاری SPSS انجام گرفت که در جدول (۳) انطباق نتایج حاصله با مطالعات موجود را می‌توان مشاهده کرد.

جدول ۳- امتیاز عامل آب و هوا در حوضه‌های مطالعاتی

امتیاز	بارش حداکثر ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله (mm)	نام زیرحوضه
۱۳/۲۵	۲/۶۵	افجه
۴۰/۶۵	۸/۱۳	لوارک

عامل رواناب

دبی ویژه یا آب‌دهی در واحد زمان و سطح، معیار مناسبی برای ارزیابی عامل رواناب می‌باشد. در این رابطه عوامل آب و هوا و هرزآب دو عامل مرتبط با یکدیگر می‌باشند. بنابراین درجه رسوب‌دهی عامل رواناب با توجه به عامل آب و هوا تعیین و در محاسبه وارد می‌شود [۸].

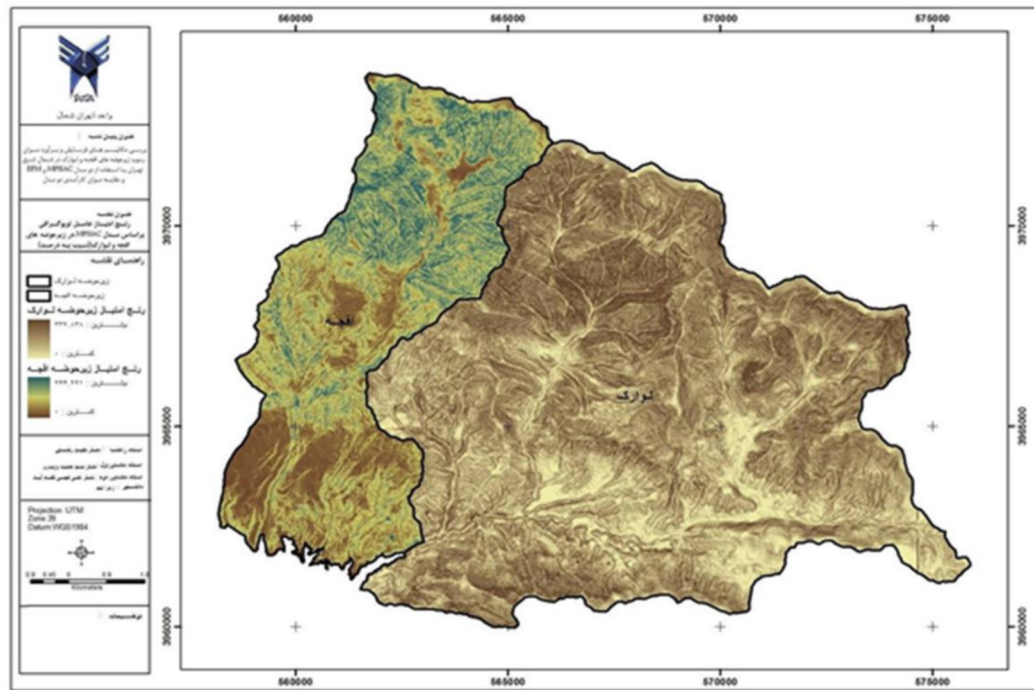
در منطقه مورد مطالعه وضعیت رواناب‌ها تا حدود زیادی بستگی به شرایط ریزش‌های جوی و نیز وضعیت لیتولوژی سطحی از لحاظ نفوذپذیری سازند های منطقه دارد.

$$Y_f = 0.2(0.3R + 50Q_p) \quad (4)$$

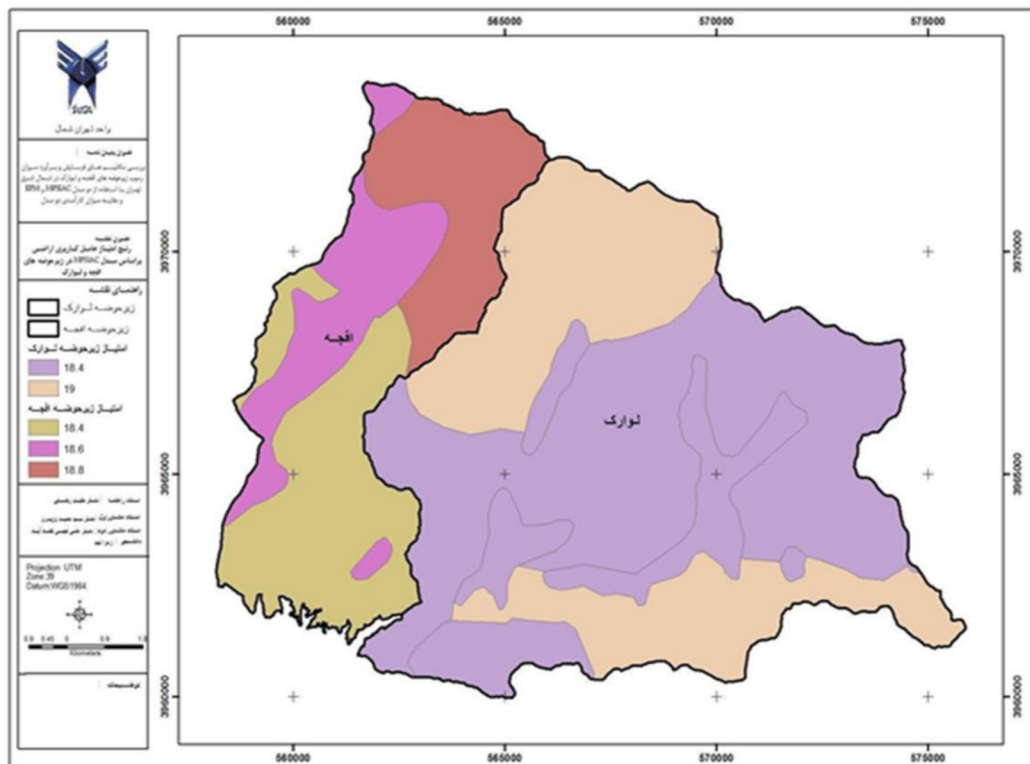
همان‌طور که ملاحظه می‌شود در اختیار داشتن ارتفاع رواناب سالیانه برحسب میلی‌متر (R) و دبی ویژه پیک برحسب مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع (Q_p) موجبات شکل‌گیری فرمول محاسباتی عامل رواناب سطحی (Y_f) می‌گردد. با در اختیار داشتن این اعداد و متناسب با فرمول، محاسبات مربوط به عامل رواناب یا جریان سطحی جهت به‌کارگیری در اجرای نهایی مدل MPSIAC مورد استفاده واقع گردیده و نتایج برای زیرحوضه افجه ۱۵/۰۷ و برای زیرحوضه لوارک ۱۵/۰۳ برآورد شده است.

عامل توپوگرافی

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در هر حوزه آبخیز، پستی و بلندی است که معمولاً با شاخص شیب سنجیده می‌شود. فرسایش معمولاً در شیب‌های تند که دارای طول زیادی نیز می‌باشند افزایش می‌یابد. دلیل این امر، اضافه شدن مقدار و سرعت رواناب و همچنین افزایش نقش قطرات باران در ایجاد فرسایش می‌باشد [۷]. در روش MPSIAC برای تعیین امتیاز پستی و بلندی مقدار شیب متوسط محاسبه و در رابطه ۵ جایگزین گردیده و در نهایت امتیاز عامل به‌دست آمده است که با در دست داشتن داده‌ها و اطلاعات حاصل شده، نقشه وزن پستی و بلندی زیرحوضه‌های افجه و لوارک تهیه گردیده است (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه عامل توپوگرافی در زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل MPSIAC



شکل ۶- نقشه عامل کاربری اراضی در زیرحوضه‌ها براساس مدل MPSIAC

$$Y_0 = 0.33 X_0 \quad (5)$$

X_0 (یا S) = شیب متوسط برحسب درصد

عامل پوشش سطح زمین

پوشش زمین عبارت از هرگونه پوششی است که خاک را در مقابل عوامل فرساینده مانند ضربه قطرات باران، رواناب و باد حفاظت نماید. انواع پوشش زمین عبارت است از پوشش گیاهی، لاشبرگ و پوشش سنگی که می‌توانند تأثیرهای متفاوتی در سطح زمین در مقابل قطرات باران و تولید رسوب دارا باشند [۸]. برای تعیین امتیاز عامل پوشش زمین در روش جدید از رابطه زیر استفاده می‌کنند:

$$Y_1 = 0.2 X_1 \quad (6)$$

X_1 (یا pb) = درصد اراضی لخت و فاقد پوشش

در مناطق مورد مطالعه با استفاده از مطالعات پوشش گیاهی و فیزیوگرافی و رابطه فوق، عامل پوشش زمین برای هر یک از زیرحوضه‌ها ۶/۳۱ (زیرحوضه افجه) و ۴/۷۵ (زیرحوضه لوارک) تعیین شده است.

عامل کاربری اراضی

به‌طورکلی هر استفاده‌ای که موجب کاهش درصد پوشش زمین بر روی یک شیب شود به‌شدت بر روی تولید رسوب اثر می‌گذارد.

مهم‌ترین عاملی که در این بخش نقش تعیین‌کننده‌ای را در ایجاد لایه وضعیت استفاده از زمین در محیط نرم‌افزاری ArcGIS ایفاء می‌کند، اثر عامل مقدار تاج پوشش گیاهی برحسب درصد است. با تهیه این نقشه و با توجه به فرمول ۷، نقشه عامل کاربری اراضی نیز ترسیم شد (شکل ۶).

$$Y_7 = 20 - 0.2 X_7 \quad (7)$$

X_7 (یا pc) = مقدار تاج پوشش برحسب درصد

عامل وضعیت فرسایش در سطح حوزه آبخیز

در مدل پسیاک اولیه، این عامل تحت عنوان فرسایش سطحی نام گرفته که فقط اشکال فرسایش را مورد بررسی قرار می‌دهد، در صورتی که در اصلاحات انجام شده عوامل دیگری، نیز در آن دخالت داده شده است. برای تعیین امتیاز این عامل از فرمول ۸ استفاده می‌شود.

$$Y_8 = 0.25 X_8 \quad (8)$$

X_8 (یا S.S.F) = امتیاز عامل سطحی خاک که از روش BLM بدست می‌آید.

در این روش برای تعیین امتیاز عامل سطحی خاک (S.S.F) از هفت عامل BLM استفاده به‌عمل می‌آید که عبارت‌اند از حرکت توده خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیاریهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و توسعه فرسایش خندقی [۸]. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS و Landsat ETM کمک بسیار زیادی در تعیین این عامل به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل در مدل MPSIAC نمود. بر این اساس امتیاز نهایی شده عامل هشتم، یعنی فرسایش سطح حوضه برای زیرحوضه افجه ۱۶/۵ و برای زیرحوضه لوارک ۱۴/۷۵ به‌دست آمده است.

عامل فرسایش آبراهه‌ای (رودخانه‌ای)

در هر حوزه آبخیز فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌تواند سهم زیادی از رسوبزایی را به خود اختصاص دهد؛ در این عامل دو پدیده فرسایش کناره‌ای و حمل رسوب توسط سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. از جمله عوامل مؤثر در فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌توان شیب متوسط بستر

با استفاده از درجه رسوب‌دهی این امکان ایجاد می‌شود که میزان تولید رسوب در واحدهای مطالعاتی محاسبه شود [۵]. در مدل MPSIAC برای محاسبه میزان تولید رسوب، فرمول ۱۰ توسط جانسون و گمبهارت [15]، ارائه شده است:

$$Q_s = 0.253e^{0.37R} \quad (10)$$

Q_s = میزان تولید رسوب بر حسب تن در هکتار
 R = درجه رسوب‌دهی یا مجموع نمرات عوامل نه‌گانه با روش MPSIAC

$$e = \text{عدد نپرین معادل } 2.718$$

بر این اساس نقشه میزان تولید رسوب بر حسب تن در هکتار در زیرحوضه‌های افجه و لوارک تهیه گردید (شکل ۸) و میزان رسوب تولیدی در هر یک از زیرحوضه‌ها در جدول (۴) نشان داده شده است.

رودخانه‌ها، نوع سنگ‌ها در مسیر رودخانه و انرژی پتانسیل جریان سیلاب‌ها را نام برد. برای تعیین امتیاز این عامل در روش MPSIAC از رابطه ۹ استفاده می‌شود:

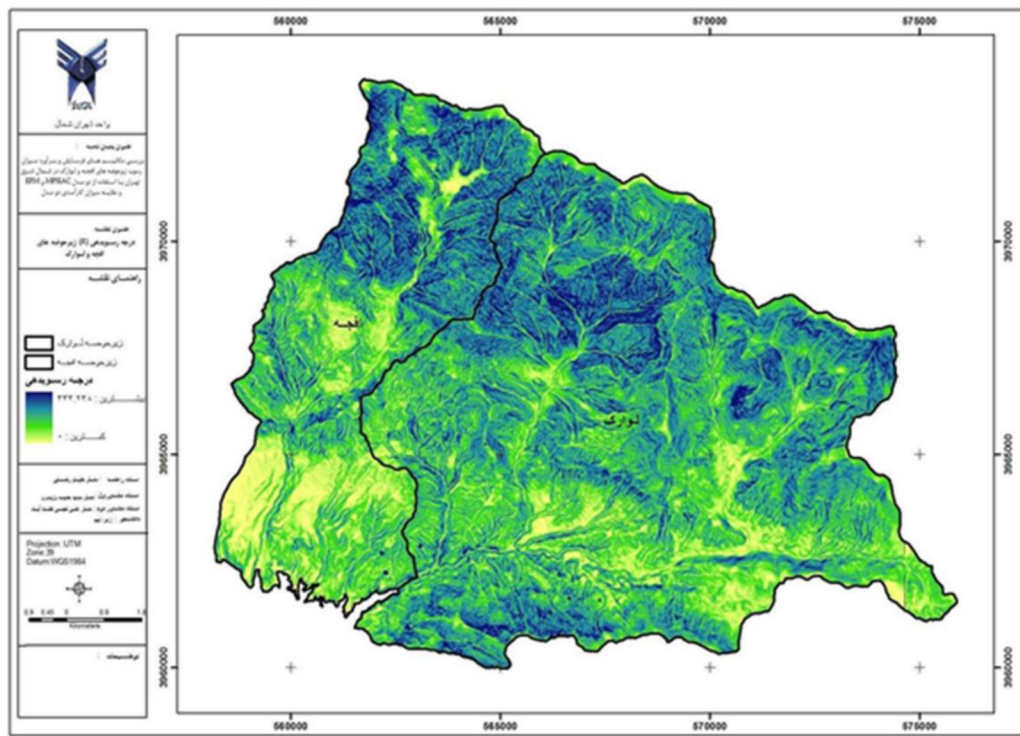
$$Y_9 = 1/67X_9 \quad (9)$$

X_9 (یا $SSF.g$) = نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM می‌باشد.

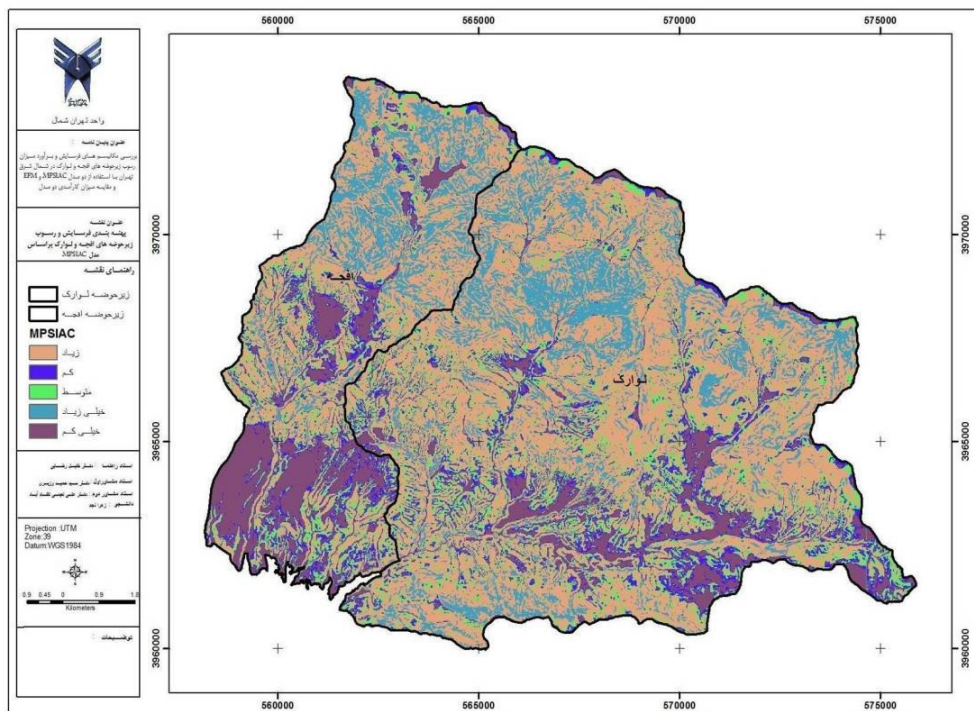
امتیاز این عامل برای زیرحوضه افجه ۱۶۷ و برای زیرحوضه لوارک ۸/۳۵ به دست آمده است.

تلفیق داده‌ها و میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها

پس از تعیین امتیاز هر یک از عوامل نه‌گانه در مدل MPSIAC، حاصل جمع امتیاز آن‌ها درجه رسوب‌دهی (R) خوانده می‌شود. جهت محاسبه R در محیط نرم‌افزاری ArcGIS ابتدا کلیه عوامل نه‌گانه به ساختار رستری درآمده و متناسب با این ساختار در دستور Raster calculator با همدیگر تلفیق گردیدند (شکل ۷).



شکل ۷- نقشه درجه رسوب‌دهی (R) زیرحوضه‌های افجه و لوارک



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی فرسایش و رسوب زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل MPSIAC

جدول ۴- میزان رسوبدهی زیرحوضه‌های مطالعاتی

با استفاده از روش MPSIAC

نام زیرحوضه	رسوب سالانه متر مکعب در کیلومتر مربع	شدت رسوبدهی	کلاس رسوبدهی
لوارک	IV	زیاد	۵۸۳/۲۱
افجه	IV	زیاد	۷۶۹/۳

مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه آبریز (ϕ) ، ضریب استفاده از زمین (Xa) ، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه (I) در واحدهای مختلف اراضی مورد بررسی قرار می‌گیرند که می‌توان به متغیرهای موجود براساس جداولی که وجود دارد، امتیاز لازم را داد.

ضریب فرسایش حوضه (ϕ)

ضریب فرسایش حوضه برای بررسی شرایط فرسایش در تولید رسوب، فرسایش سطحی موجود در حوضه آبریز از جمله فرسایش بارانی، ورقه‌ای، خندقی و شیاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۸]. با استفاده از عکس‌های هوایی و بررسی‌های صحرایی نوع

عوامل چهارگانه مؤثر در مدل EPM

با توجه به لزوم مقایسه کارایی دو مدل MPSIAC و EPM در زیرحوضه‌های مورد مطالعه، این مدل نیز جهت برآورد فرسایش و رسوب مورد استفاده واقع گردیده است. در این روش که اولین بار توسط گاوریلوویچ در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید [۱۴]، چهار

ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

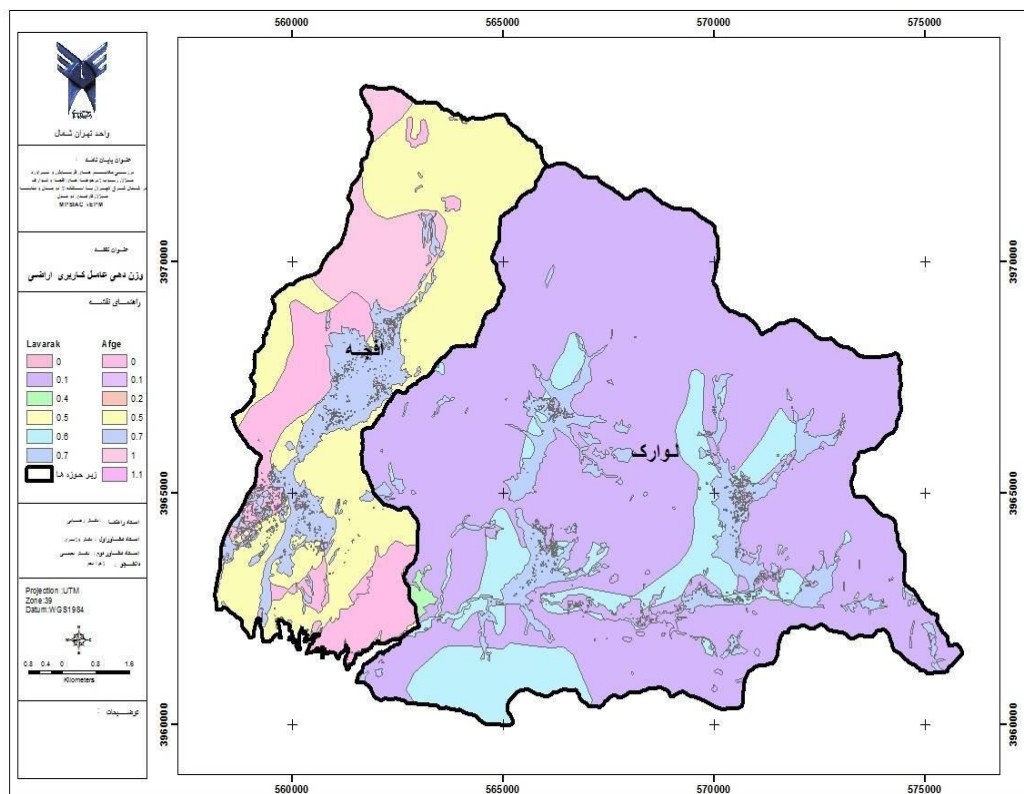
ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و از نقشه کاربری اراضی و جدول مربوطه تعیین می‌شود. براساس این جدول زمین‌هایی که قابلیت کشت خود را از دست داده‌اند دارای بالاترین ضریب و مناطقی که بهترین وضعیت را دارا هستند کمترین ضریب را دارند. در پایان بر همین اساس نقشه این عامل در محیط ArcGIS ترسیم شد (شکل ۱۰). خاک‌شناسی و جدول مربوطه تعیین می‌گردد که بر همین اساس جدول (۵) وضعیت نمره‌دهی به ساختارهای زمین‌شناسی مختلف در دو زیرحوضه افجه و لوارک را نشان می‌دهد.

فرسایش مشخص گردیده سپس با استفاده از جدول مربوطه، این ضریب تعیین می‌شود [۱۳] (شکل ۹).

ضریب کاربری اراضی (Xa)

میزان این عامل با بهره‌برداری بیشتر از زمین افزایش می‌یابد.

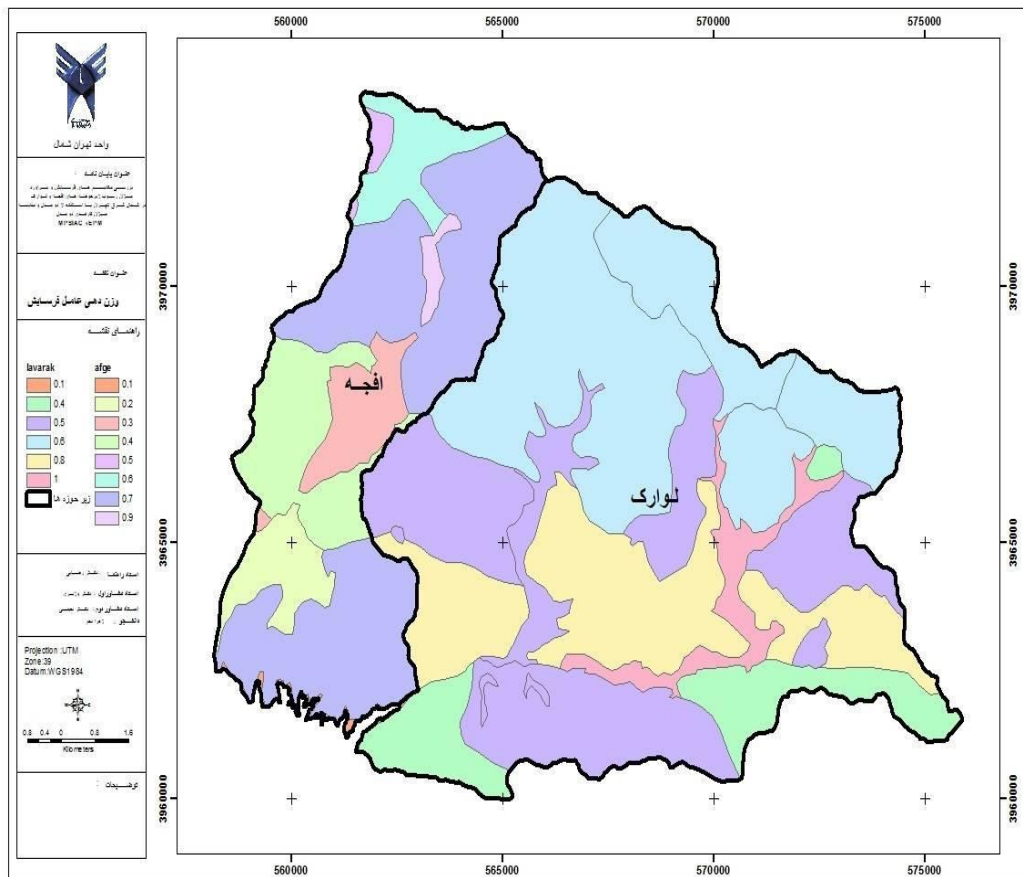
از عمده‌ترین این فعالیت‌ها می‌توان به عملیات آماده نمودن زمین برای کشت، بهره‌برداری غیراصولی از جنگل‌ها و مراتع، بهره‌برداری از معادن و احداث جاده‌های غیراصولی اشاره نمود. این ضریب با استفاده رفتار سنگ‌ها در مقابل هوازگی و فرسایش بستگی به عوامل متعددی دارد که بعضی از آنها مربوط به سرشت خود سنگ و بعضی در ارتباط با محیط خارجی می‌باشد.



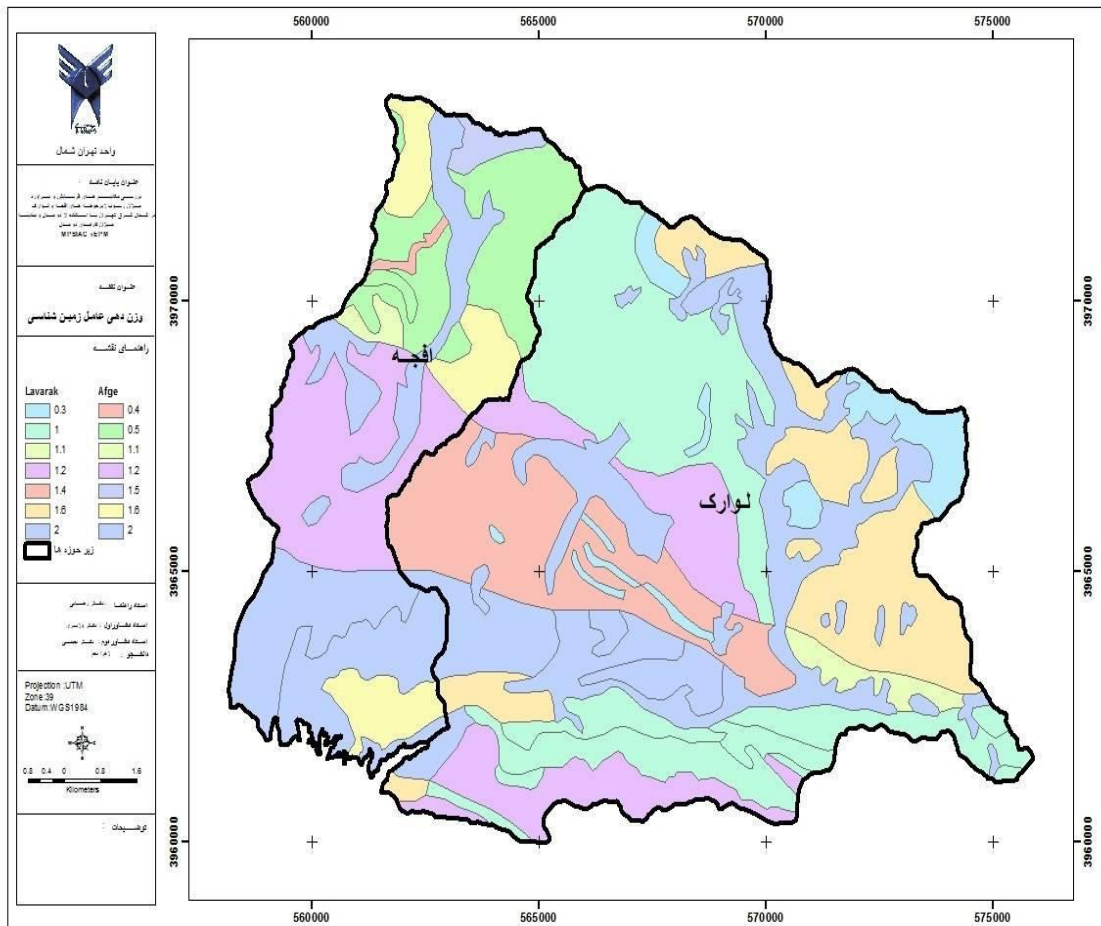
شکل ۹- نقشه ضریب فرسایش زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل EPM

جدول ۵- واحدهای زمین‌شناسی و نمره حاصل از هر واحد در زیرحوضه‌های افجه و لوارک

نام زیرحوضه	کرج	کواترنر	فجن	میلا	کند	هزاردره	لالون	باروت	لار	سازند قرمز
افجه	۱/۶ - ۰/۴	۲	۰/۵	۱/۲	۱/۲	۲	۱/۱	۱/۱	-	-
لوارک	۱/۶ - ۱۰/۳	۲	۱	۱/۴	۱/۲	۲	-	-	۱/۲	۱/۱



شکل ۱۰- نقشه ضریب کاربری اراضی زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل EPM

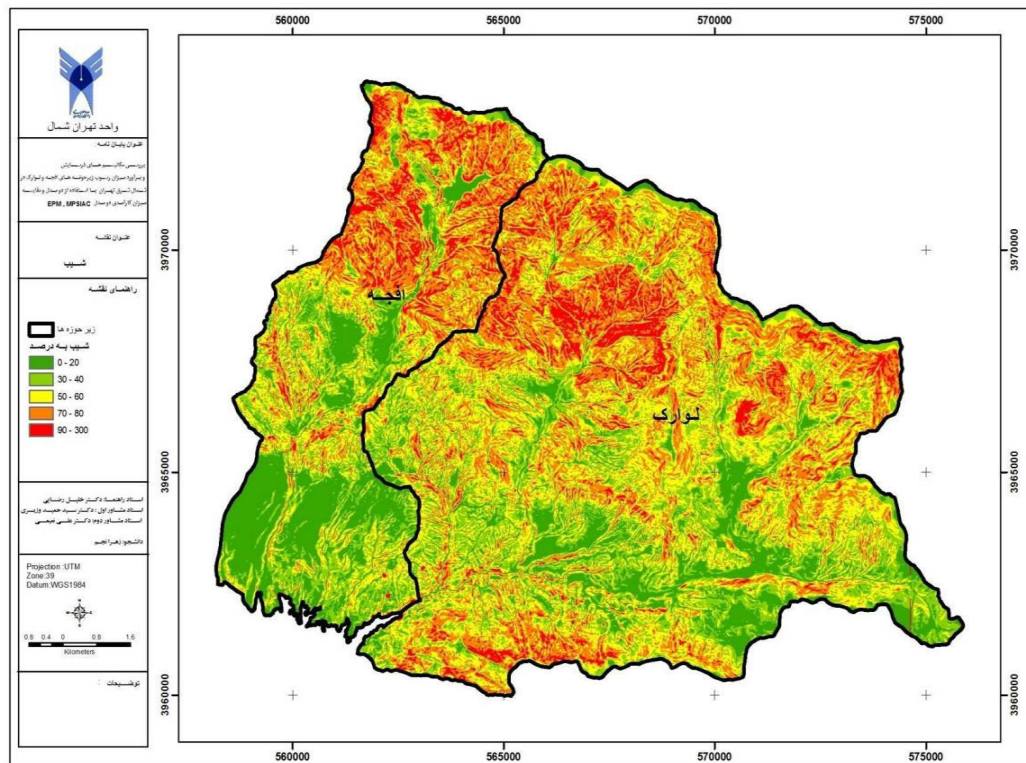


شکل ۱۱- نقشه عامل حساسیت سنگ و خاک به فرسایش زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل EPM

شیب متوسط حوضه (I)

شیب متوسط حوضه را بر حسب درصد بیان می‌کنند که این مقدار برای زیرحوضه‌های افجه و لوارک به- ترتیب ۳۰/۱ و ۱۶/۷ می‌باشد (شکل ۱۲).

شیب نقش اصلی در میزان رواناب ایجاد شده و میزان نفوذ و شدت سیلاب بر عهده دارد. افزایش شیب، جابجایی ذرات تخریب شده را افزایش می‌دهد در نتیجه قدرت سایندگی بیشتر می‌شود [۳].



شکل ۱۲- نقشه شیب زیرحوضه‌های افجه و لوارک برحسب درصد

اطلاعاتی، نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری در مدل EPM تهیه گردید (شکل ۱۳).

جدول ۶- میزان رسوب دهی زیرحوضه‌های مطالعاتی با استفاده از روش EPM

شدت فرسایش	میانگین رسوب سالانه مترمکعب در کیلومتر مربع	نام زیرحوضه	ردیف
شدید	۷۰۱/۳	افجه	۱
شدید	۵۴۳/۲	لوارک	۲

شدت فرسایش (Z)

براساس چهار فاکتور ارزیابی شده، مقدار ضریب شدت فرسایش (Z) از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۸].

$$Z = Y \cdot Xa (\phi + I^{1/5}) \quad (10)$$

Z = ضریب شدت فرسایش

Y = ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش

Xa = ضریب کاربری اراضی

ϕ = ضریب فرسایش

I = شیب متوسط حوزه آبخیز (درصد)

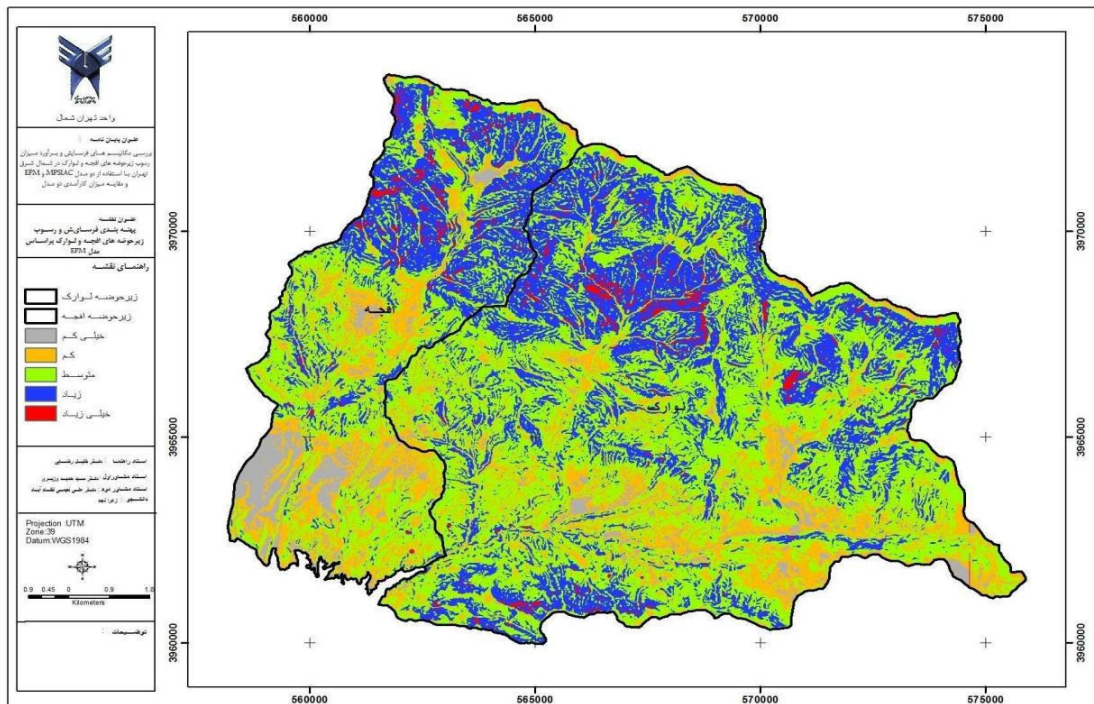
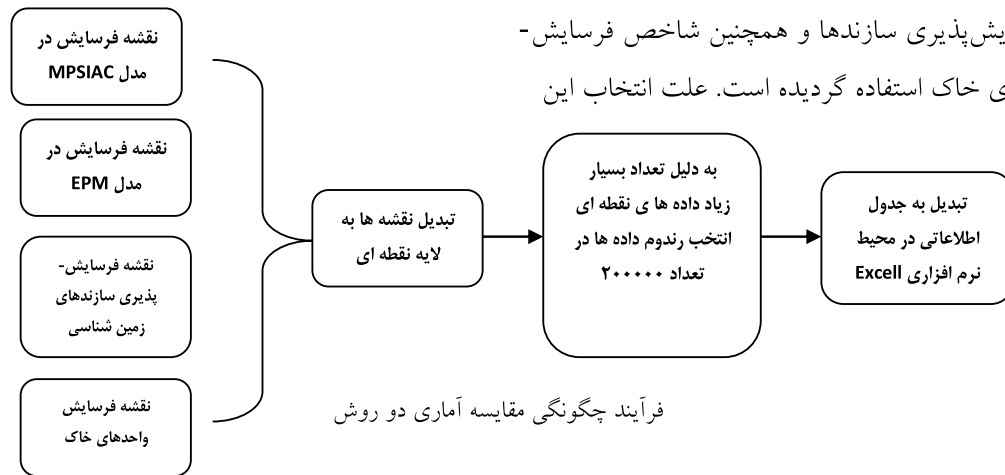
جدول (۶) نمایانگر برآورد رسوب رخ داده در زیرحوضه‌های مطالعاتی در مدل EPM است.

همچنین با استفاده از فرمول محاسباتی مدل EPM و وزن دهی صورت پذیرفته بر روی لایه‌های

دو پارامتر به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی نیز بالا بودن دقت و تأثیرگذاری بسیار بالای آن‌ها در رخداد فرسایش در زیرحوضه‌ها است. به دلیل ماهیت غیر فضایی محاسبات آماری، داده‌های خروجی از نقشه‌های فرسایش و شاخص‌های ارزیابی (زمین-شناسی و خاک‌شناسی) بدون بعد فضایی می‌باشد. کلیه این فرآیندها در محیط نرم افزاری ArcGIS انجام پذیرفته است.

مقایسه دو روش **MPSIAC** و **EPM** در برآورد فرسایش و رسوب

به منظور مقایسه دو مدل از حیث کارایی و نزدیک بودن به واقعیت از دو ساختار متفاوت، شامل آنالیز مقایسه‌ای آماری و زمین آماری استفاده گردیده است. با توجه به فضایی و زمین مرجع بودن داده‌ها و اطلاعات، به‌منظور بررسی کارایی دو مدل، از شاخص فرسایش‌پذیری سازندها و همچنین شاخص فرسایش-پذیری خاک استفاده گردیده است. علت انتخاب این



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی فرسایش و رسوب زیرحوضه‌های افجه و لوارک براساس مدل EPM

نتیجه‌گیری

- از بین واحدهای لیتولوژیکی مختلفی که در هر دو زیرحوضه وجود دارند، بیشترین مقدار فرسایش مربوط به قسمت‌های شیلی، ماری، توف‌های هوازده و نهشته‌های آبرفتی زیرحوضه‌ها و منطبق بر سازندهای حساس به فرسایش یعنی کرج و رسوبات کواترنر می‌باشند.

- براساس مدل MPSIAC میزان تولید رسوب سالانه در زیرحوضه افجه ۷۶۹/۳ و برای زیرحوضه لوارک ۵۸۳/۲۱ متر مکعب در کیلومتر مربع تعیین شده است.

- براساس مدل EPM میزان تولید رسوب سالانه در زیرحوضه افجه ۷۰۱/۳ و در زیرحوضه لوارک ۵۴۳/۲ متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد شده است.

- زیرحوضه‌های مورد مطالعه از نظر درجه فرسایش و تولید رسوب، براساس هر دو مدل، در وضعیت درجه زیاد قرار داشته و در کلاس فرسایش IV قرار می‌گیرند. ضمناً بیش از ۷۵٪ زیرحوضه‌ها، از پتانسیل فرسایش بالایی برخوردارند. بنابراین می‌توان گفت که در این زیرحوضه‌ها جدا شدن و جابه‌جایی ذرات خاک به میزانی است که اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب ضرورت دارد.

- با مقایسه صورت گرفته بر روی دو مدل MPSIAC و EPM، مشخص شد که در زمینه برآورد واقعی‌تر فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبریز، مدل MPSIAC به دلیل برخورداری از پارامترهای بیشتر و واقعی‌تر بودن ضرایب رابطه حاکم در آن، از کارایی بسیار بالاتری نسبت به مدل EPM در این حوضه‌های آبریز برخوردار است.

پس از تهیه جدول اطلاعاتی در محیط نرم افزاری Excell از آنالیز رگرسیون خطی برای محاسبه میزان ضریب رابطه‌ای بین نقشه‌های فرسایشی و شاخص‌های ارزیابی استفاده گردیده است.

با توجه به این متد مقایسه (آنالیز رگرسیونی)، مدل MPSAIC نتایج نزدیک‌تری نسبت به مدل EPM به شاخص‌های ارزیابی دارا است.

به منظور تکمیل کردن مطالعات و تصمیم‌گیری مناسب‌تر در زمینه مقایسه مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، با توجه به ماهیت فضایی نقشه‌ها و کلیه داده‌ها و اطلاعات، از آنالیز زمین‌آمار نیز استفاده شده است. آنالیز زمین‌آمار ساختار محاسبه آماری داده‌ها و اطلاعات فضایی است. بررسی پیشینه زمین‌آمار مشخص می‌نماید که این شاخه از علم آمار، بیشتر برای بحث‌های کشف، درون‌یابی و آنالیزهای تخمین، پیش‌بینی و محاسبه خطاها مورد استفاده است.

ولی در این تحقیق از بخش ترسیم نمودارهای مقایسه بین عناصر QQPLOT که بر مبنای تعریف روند مقایسه داده‌ها و اطلاعات محورهای X که شاخص ارزیابی و محور Y میزان فرسایش در مدل MPSAIC و EPM است، استفاده شده است. نوآوری این بخش از تحقیق به دلیل در اختیار بودن ماژول محاسباتی Geostatistic Wizard در محیط نرم افزاری ArcGIS است. بر این مبنای و پس از تعریف واریوگرام‌های مقایسه‌ای و بررسی ارتباط بین عناصر مقایسه‌ای مشخص گردید که روند ارتباط بین شاخص‌های اندازه‌گیری و نقشه‌های فرسایش در مدل MPSAIC نسبت به مدل EPM بیشتر است.

منابع

- ۱- احمدی، ح.، (۱۳۸۸)، ژئومورفولوژی کاربردی، فرسایش آبی، دانشگاه تهران، جلد اول، ۶۸۸ ص.
- ۲- اسمعیلی، ا. و عبداللهی، خ.، (۱۳۸۹)، آبخیزداری و حفاظت خاک، محقق اردبیلی، ۶۰۰ ص.
- ۳- بلوطی، ش.، غضنفری، پ. و امینی، ا.، (۱۳۹۰)، برآورد حجم رسوب ویژه و تعیین حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش در حوضه آبخیز سرره (رودخانه کردان) با روش MPSIAC، فصلنامه زمین شناسی محیط زیست، ش ۱۶، ۷۷-۸۹ ص.
- ۴- جوکار سرهنگی، ع.، (۱۳۸۲)، بررسی کمی و کیفی اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای (مطالعه موردی: حوضه سیاهرود)، مجله تحقیقات جغرافیایی، ش ۶۹۷، ۹۹-۱۱۵ ص.
- ۵- راستگو، س.، (۱۳۸۵)، برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره اول، ۶۷ ص.
- ۶- رضایی، خ.، همتی، ر. و کنگازیان، ع.، (۱۳۸۹)، بررسی فرسایش خاک در حوضه مرغاب مسجد سلیمان با مدل MPSIAC، اولین کنگره زمین شناسی کاربردی علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۵۶ ص.
- ۷- رفاهی، ح.، (۱۳۸۵)، فرسایش آبی و کنترل آن، دانشگاه تهران، ۶۷۱ ص.
- ۸- رفاهی، ح.، (۱۳۸۷)، فرسایش آبی و کنترل آن، دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۷۱ ص.
- ۹- شرکت جاماب ایران، (۱۳۷۶)، مطالعات فرسایش و رسوب حوضه آبخیز ارسباران شمالی، فاز توجیهی، ۱۱۷ ص.
- ۱۰- شرکت مهندسی مشاور جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، (۱۳۸۷)، گزارش فرسایش و رسوب طرح جامع حفاظت و احیاء منابع طبیعی شمال تهران و شمیرانات (البرز جنوبی)، ۹۲ ص.
- ۱۱- شرکت مهندسی مشاور جهاد تحقیقات آب و انرژی، (۱۳۸۷)، گزارش هوا و اقلیم شناسی طرح جامع حفاظت و احیاء منابع طبیعی شمال تهران و شمیرانات (البرز جنوبی)، ۲۲۶ ص.
- ۱۲- فیض‌نیا، س.، (۱۳۷۴)، مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ش ۴۷، ۱۰۷-۱۳۱ ص.
- ۱۳- فیض‌نیا، س.، (۱۳۸۷)، رسوب شناسی کاربردی با تأکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۵۶ ص.
- 14- Gavrilovic, S., (1988), The use of empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams, Intern. Conf. on River Regime, W.R. White (Ed.), John Wiley, 18-20 May, paper 32411-423 pp.
- 15- Johnson, C.W. and Gebhardt, K.A., (1982), Predicting sediment yield from Sagebrush Rangelands, U.S. Dept. of Agriculture, SEA, Agricultural Research Service, Agricultural Reviews and Manuals , AEW-Western Series, no.26. 145-156 pp.
- 16- PSIAC (Pacific Southwest Inter-Agency Committee), (1968) , Factors affecting sediment yield and measures for the reduction of erosion

and sediment yield, Report of the water

management subcommittee, 13 P.

17- Ownegh. M., (2003), Land use planning

and integrated management of natural hazard in

Golestan province, In: seminar on flood hazard

prevention and mitigation, 15-16 january,

Gorgan, Iran, Abstract, 9 P.

