یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

مقایسه مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز یعقوب آباد)

صفر معروفی[۱*]، محمد محمدی[۲]، حمیدرضا خودنما[۳]

[۱] استاد هیدرولوژی و منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. (*نویسنده مسئول) marofi@basu.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. md.mohamadi@basu.ac.ir

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.h.khodnama@gmai.com

چکیده

فرسایش پدیده ایست که طی آن مواد خاکی توسط عواملی از قبیل آب، باد و نیروی ثقل انتقال می‌یابند و موجب هدر رفت خاک می‌شود. فرسایش و تولید رسوب تهدیدی جدی برای محیط زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها بوده و ازمهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در جهان است. هدف از این مطالعه شناخت وضعیت فرسایش و تولید رسوب با استفاده از دو مدل EPM و MPSIAC می‌باشد که در نتیجه آن بتوان راهکارهای مناسب جهت حفاظت از خاک در برابر فرسایش و تولید رسوب ارائه کرد. با شناخت و مطالعه دقیق حوضه یعقوب آباد و جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، چهار عامل موثر در مدل EPM تعیین گردید و فرسایش و رسوب ویژه به ترتیب ۲۸۰/۸۱ و ۱۹۲/۷۹ ($M^3/km^2/year$) به‌دست آمد. در روش MPSIAC پس از تعیین عوامل نه‌گانه مورد نیاز مدل و محاسبه درجه رسوب‌دهی هر واحد، با استفاده از روابط مربوطه، میزان فرسایش و رسوب متوسط حوزه به‌ترتیب ۳۷۱/۸۲ و ۲۹۲/۴ ($M^3/km^2/year$) به‌دست آمد.

کلمات کلیدی: فرسایش، رسوب، EPM، MPSIAC، سیستم اطلاعات جغرافیایی

Comparison of EPM and MPSIAC Models for Estimating Erosion and Sediment Production Using Geographic Information System (Case Study: Yaghoob-Abad Watershed)

Safar Marofi[*1], mohamad mohamadi[2], Hamidreza Khodnama[3]

[1] Professor of hydrology, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. marofi@basu.ac.ir ([*]Corresponding Author)

[2] MSc Student of Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. md.mohamadi@basu.ac.ir

[3] MSc Student of Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. h.khodnama@gmai.com

Abstract

Erosion is a process in which soil is displaced by water, wind and gravity force and cause soil loss. Erosion and sediment production are a serious threat to the environment, health and well-being of humans and are among the most important environmental challenges in the world. The purpose of this study was to identify the erosion and sediment production status using two models of EPM and MPSIAC and present suitable methods for protecting soil from erosion and sediment production. Four important factors in the EPM model were determined thorough study of the Yaghoob-Abad basin and gathering of the required data. Based on this model, erosion and specific sediment was equal to 280.81 and 192.79 (M^3 / km^2 / year), respectively. In the MPSIAC method, after determining the nine factors required for the model and calculating the deposition rate of each unit, the mean erosion and mean sediment deposition levels of the watershed were estimated to be 371.82 and 292.4 (M^3 / km^2 / year), respectively.

Keywords: Erosion, Sediment, EPM, MPSIAC, Geographic Information System

۱- مقدمه

از آنجا که فرسایش پدیده ایست که موجب هدر رفت خاک می‌شود و به موجب آن ذرات خاک توسط عامل آب یا باد از بستر خود جدا شده و به مکان دیگر منتقل می‌گردند. بنابراین ضرورت دارد که برای مبارزه با فرسایش، به حفاظت خاک مبادرت نمود (احمدی و محمدی، ۱۳۸۹).

فرسایش خاک تهدیدی جدی برای محیط زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها بوده و پس از رشد جمعیت دومین چالش مهم زیست محیطی در جهان است (Pimental et al,1995) و درمناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته وحاصل‌خیزی خود را از دست می‌دهند (رمضانی، ۱۳۹۶).

فرسایش پدیده‌ای است که طی آن مواد خاکی توسط عواملی از قبیل آب، باد و نیروی ثقل انتقال می‌یابند. امروزه فرسایش خاک به عنوان یک مسئله جدی، رفاه انسان و توسعه پایدار را تهدید می‌کند و به همین دلیل مسئله مبارزه با فرسایش خاک یکی از مهمترین وظایف و اقدامات ملی در کشور ایران می‌باشد (ثروتی، ۱۳۸۷). با توجه به این که فرسایش ارتباط تنگاتنگی با پوشش گیاهی و نحوه استفاده از زمین دارد، لذا مطالعه فرسایش خاک غالبا بخشی از مطالعات منابع اراضی بشمار می‌رود (راهدان و همکاران، ۱۳۹۷).

در بیش‌تر کشورهای جهان به دلیل نبود آمار دقیق از میزان فرسایش و رسوب، بهره‌گیری از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب گریزناپذیر می‌باشد و درحقیقت یکی از مهم‌ترین کاربردهای مدل‌های رسوب‌دهی برآورد کمی و رقومی کردن داده‌های حاصل از رسوب‌دهی است (lee, 2000). مدل سازی یک ابزار مفید و پایدار برای تخمین فرسایش و رسوب در یک حوضه فاقد اطلاعات هیدرومتری است (Tazioli et al, 2015).

مشکلات مربوط به حفاظت خاک و جلوگیری از رسوب، فقدان تجهیزات مناسب برای تخمین رسوب و آمار ناسازگار در مورد اکثر حوضه‌های آبریز در ایران منجر به عدم نتایج مناسب، منطقی و مورد انتظار در ارزیابی فرسایش و زیان‌های حاصل از آن است. مدل‌های MPSIAC و EPM دو روش عملی برای ارزیابی فرسایش و رسوب‌گذاری هستند که توجه محققان ایرانی را به خود جلب کرده‌اند (Malekian et al, 2012).

(Noori et al, 2018) در تحقیقی قابلیت استفاده از دو روش جدید سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را به منظور تخمین متوسط تولید رسوبات توسط مدل MPSIAC مورد بررسی قراردادند ومیزان فرسایش و رسوب به ترتیب ۲۳۹۶/۵۷۴ و ۱۳۶۴/۶۵۶ به‌دست آمد که نشان‌دهنده اختلاف ۳۸ درصدی با مقادیر مشاهداتی بود. (Bagherzadeh ET AL, 2011) در تحقیقی، به بررسی خطر رسوب گذاری و پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز کارد توسط روش پراکندگی فرسایش EPM و مدل کمیته آتانس بین المللی اطلس ساحلی اقیانوس آرام (PSIAC) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، داده‌های ماهواره‌ای،مشاهداتی و میدانی پرداختند و میزان رسوب محاسبه شده توسط دو مدل EPM و MPSIAC به ترتیب ۱۴۷۸۵۹ و ۱۴۸۰۷۸ به‌دست آمد و داده‌های آن‌ها نشان‌دهنده کاربرد این دو مدل در حوضه‌های خشک و نیمه‌خشک بود.

(خدابخش و همکاران، ۱۳۸۸) در پژوهشی از دو روش تجربی MPSIAC و EPM برای برآورد فرسایش و رسوبزایی در زیرحوضه سزار به کمک سیستم اطالعات جغرافیایی استفاده کردند. همچنین با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، از دو روش خوشه‌سازی و مدل‌فازی به‌ترتیب برای پهنه‌بندی پیوسته و پیش‌بینی میزان رسوب‌زایی و فرسایش استفاده کردند. مقایسه روش‌ها نشان‌داد که روش ام‌پسیاک نتایج بهتری ارائه می‌کند.

(محمدیان و همکاران، ۱۳۸۶) با بررسی روش‌های برآورد فرسایش و رسوب براساس مدل‌های EMP، MPSIAC و PSIAC در حوضه گوهررود رشت به این نتیجه رسیده‌اند که مقادیر حاصل از مدل EPM با مقدار رسوب واقعی حوضه بسیار نزدیک و همسان می‌باشد بدین لحاظ این روش برای محاسبه فرسایش در حوضه‌های مشابه گوهررود که فاقد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی می‌باشند مدلی مناسب‌تر است.

با استفاده از فن سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، میانگین فرسایش و رسوب ویژه و همچنین نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرسایش در دو زیرحوضه‌ی بالادست سد دز، واقع در جنوب غربی استان لرستان، به نام‌های زیر حوضه‌های آب‌سرخ و کشور با مساحتی بالغ بر ۱۹۹۲۰ هکتار، به وسیله‌ی نمونه‌ی فیزیکی EPM انجام پذیرفته‌است و میزان متوسط فرسایش ویژه و بار رسوب تخمین زده شده در منطقه‌ی مطالعاتی به ترتیب برابر با ۳۲۰۳/۷۱۸ و ۲۲۰۴/۸۴۴ مترمکعب در کیلومترمربع در سال است (نوری و همکاران ۱۳۹۶).

استان همدان به دلیل داشتن شرایط خاص جغرافیائی و اقلیمی و به لحاظ نقش مهمی که در تولید محصولات کشاورزی دارد، یکی از مناطق مهم کشاورزی و منابع طبیعی کشور محسوب می‌شود. ایجاد یک برنامه‌ریزی صحیح و اصولی، بهره‌برداری بهینه از پتانسیل‌ها و منابع طبیعی، می‌تواند شرایط مطلوبی را در حفظ آن‌ها ایجاد نماید. مطالعات انجام شده نشان می دهد که میزان رسوب در شاخه‌های مختلف رودخانه‌های اصلی این استان متفاوت می‌باشد. درواقع میزان بار رسوبی رودخانه‌های استان تحت تاثیر عوامل زمین‌شناختی، پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی (ازقبیل نوع و میزان بارش) و مسائل مربوط به بهره‌برداری، قرار داشته که البته انواع مختلف فرسایش را در این مناطق سبب می‌شود.

دراین مطالعه از دو مدل EPM و MPSIAC و نرم‌افزار GIS برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در سطح حوضه آبخیز یعقوب آباد استان همدان استفاده شده‌است و براساس بررسی‌های کیفی و کمی صورت گرفته اولویت‌بندی از نظر مناطق حساس صورت گرفت و زیر حوضه‌ها در سه کلاس قرار گرفتند و همچنین راهکارهای حفاظتی مناسب به تفکیک هرکلاس ارائه گردید.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز یعقوب آباد از نظر تقسیمات سیاسی جزء استان همدان و در شهرستان تویسرکان واقع شده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در بین طول‌های جغرافیایی "۹ '۲۱ °۴۸ تا "۳۵ '۲۶ °۴۸ شرقی و در بین عرض‌های جغرافیایی "۳۹ '۲۴ °۳۴ تا "۷ '۲۸ °۳۴ شمالی قرار گرفته است. این حوضه در بر گیرنده روستاهای یعقوب‌آباد، بوستاندره و زاغه و اراضی همجوار آن‌ها می‌باشد.

مساحت حوضه مورد مطالعه ۲۸۶۸/۸ هکتار و محیط آن ۲۶/۸۸ کیلومتر برآورد گردیده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۳۱۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۷۴۲ متر از سطح دریا می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت حوضه مطالعاتی در استان همدان ارائه گردیده است.

Figure 1. Location of study area.

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

به منظور محاسبه شدت فرسایش و ارزیابی آن در حوضه آبخیز مورد مطالعه توسط دو مدل EPM و MPSIAC، از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ ،نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، اطلاعات کاربری اراضی، پوشش گیاهی، وضعیت خاک، شیب، سنگ‌شناسی و اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه‌های مجاور استفاده گردید.

از نرم‌افزارهای GIS 10.5 و EXCELL 2018 جهت تجزیه، تحلیل و استخراج اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز استفاده شد و برای تکمیل اطلاعات، صحت‌سنجی و برطرف کردن کاستی‌های آن بازدیدهای میدانی انجام گرفت.

۲-۳- مدل EPM (Erosion Potential Method)

این مدل با توجه به بیش از ۲۰ سال تحقیق در پلات‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب در کشور یوگسلاوی ارائه گردیده و موارد کاربرد نسبتاً متعددی نیز داشته است و اصولاً یک مدل کیفی می‌باشد، ولی می‌تواند به صورت کمی نیز بکار برده شود و میزان آورد رسوبی سالانه یک حوضه را محاسبه نماید.

بر اساس این مدل، فرآیند فرسایش نتیجه روابط متقابل سنگ مادر، خاک، توپوگرافی و نوع بهره برداری از اراضی می‌باشد و ضریب شدت فرسایش به صورت رابطه زیر بیان می‌شود .

$$Z = Y \times Xa \times \left(\psi \times I^{0.5}\right) \qquad (۲)$$

که در آن Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، Ψ ضریب فرسایش حوضه، I شیب متوسط حوضه و Z ضریب شدت فرسایش می‌باشد.

سپس با استفاده از ضریب شدت فرسایش و جدل مربوط به مدل EPM، شدت فرسایش طبقه بندی می‌گردد.

جدول ۱- طبقه بندی شدت فرسایش در مدل EPM.

Table 1. Classification of erosion severity in the EPM model.

طبقه بندی فرسایش	شدت فرسایش	مقدار Z	
		متوسط	حدی
I	خیلی شدید	Z= 1.25	Z > 1
II	شدید	Z= 0.85	1 > Z > 0.71
III	متوسط	Z= 0.55	0. 7 > Z > 0.41
IV	کم	Z= 0.3	0.4 > Z > 0.2
V	خیلی کم	Z= 0.1	0.19 > Z

تعیین مقدار فرسایش ویژه حوضه

جهت محاسبه رسوب در رودخانه‌ها با استفاده از روابط زیر می‌توان مقدار خاک فرسایش یافته را در طول یک سال و در واحد سطح زیرحوضه‌ها و کل حوضه آبخیز برآورد نمود.

$$Wsp = T \times H \times \pi \times Z^{1.5} \quad (۲)$$

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

که در آن Wsp متوسط سالانه فرسایش ویژه، برحسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، T ضریب درجه حرارت، H ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه آبخیز، بر حسب میلیمتر ، Z ضریب شدت فرسایش، π برابر با ۳/۱۴ و t درجه حرارت سالانه در حوضه آبخیز، برحسب درجه سانتیگراد می‌باشد.

تعیین ضریب رسوب‌دهی

نسبت مواد فرسایش یافته که در هر مقطع توسط رودخانه منتقل می‌شود به مقدار فرسایش کل در سطح حوضه آبخیز را ضریب رسوب‌دهی گویند. این مقدار خاک فرسایش یافته در حوضه آبخیز است که وارد جریانات رودخانه می‌شوند و بطور قابل توجهی به توپوگرافی، شکل و بزرگی حوضه آبخیز بستگی داشته و از روابط زیر به‌دست می‌آید.

$$Ru = \frac{4(P \times D)^{0.5}}{L + 10} \quad (۴)$$

$$D = D_{AV} - D_0 \quad (۵)$$

که در آن Ru ضریب رسوب‌دهی حوضه آبخیز، P طول محیط حوضه آبخیز، بر حسب کیلومتر، L طول آبخیز، برحسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع، بر حسب کیلومتر، D_{AV} ارتفاع متوسط حوضه آبخیز، بر حسب کیلومتر و D_0 ارتفاع نقطه خروجی در رودخانه، بر حسب کیلومتر می‌باشد.

لازم به ذکر است که در شرایط یکسان، ضریب رسوب‌دهی برای حوضه‌های آبخیز بزرگ، کمتر از حوضه‌های کوچک می‌باشد. چنانچه در بعضی از مواقع، ضریب رسوب‌دهی بیشتر از یک شود، این مسئله با توجه به ماهیت ضریب مذکور، قابل قبول نخواهد بود. زیرا در یک حوضه آبخیز میزان رسوب نمی‌تواند بیش‌تر از میزان فرسایش باشد. . لذا با ایجاد یک‌سری محدودیت‌ها در استفاده از این روش، اشکال ایجاد شده، بر طرف می‌گردد. بدین ترتیب در حوضه‌های دایره‌ای شکل و با مشخصات زیر، فرمول EPM جهت محاسبه ضریب رسوب‌دهی صادق می‌باشد.

حوضه‌هایی که طول آن‌ها بین ۱۰- ۵ کیلومتر بوده و نسبت D/L کوچک‌تر از ۰/۱۸ باشد.

حوضه‌هایی که طول آن‌ها بین ۲۰-۱۰ کیلومتر بوده و نسبت D/L کوچک‌تر از ۰/۰۸ باشد.

حوضه‌هایی که طول آن‌ها بین ۵۰-۲۰ کیلومتر بوده و نسبت D/L کوچک‌تر از ۰/۰۴۵ باشد.

حوضه‌هایی که طول آن‌ها بیشتر از ۵۰ کیلومتر بوده و نسبت D/L کوچک‌تر از ۰/۰۲۹ باشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

تعیین رسوب ویژه و رسوب کل حوضه آبریز

برای محاسبه رسوب ویژه می‌توان مقدار فرسایش ویژه را در ضریب رسوب‌دهی ضرب نمود. رسوب کل رودخانه نیز با توجه به رسوب ویژه قابل محاسبه است. روابط مربوطه بصورت زیر می‌باشند.

$$Gsp = Wsp \times Ru \quad (۶)$$

$$Gs = Gsp \times F \quad (۷)$$

که در آن Gsp رسوب ویژه، بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، Wsp مقدار فرسایش ویژه، بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، Ru ضریب رسوب‌دهی حوضه آبخیز، Gs رسوب کل بر حسب مترمکعب در سال و F مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومترمربع می‌باشد.

۲-۴- مدل MPSIAC (Modified PSIAC)

نسخه اولیه این مدل توسط Pasific Southwest Inter Agency Committee (۱۹۶۸) در آمریکا برای برآورد فرسایش خاک در حوضه‌های بدون ایستگاه‌های اندازه گیری رسوب ارائه شد (PASIAC, 1968). این مدل مبتنی بر نه عامل زمین‌شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش گیاهی، کاربری زمین‌ها، فرسایش فعلی حوضه و فرسایش خندقی است و برای هر عامل امتیازی درنظر می‌گیرد.

Johnson & Gebhardt (۱۹۸۲) اصلاحاتی در این مدل به وجود آوردند و آن را فرمول اصلاح شده پسیاک (MPSIAC) نامیدند و مدل را از حالت کیفی به حالت کمی تبدیل نمودند. جهت برآورد فرسایش و رسوب، امتیاز هر فاکتور محاسبه می‌شود سپس با توجه به جمع کلیه امتیازهای این عوامل، میزان درجه رسوبدهی (R) حوضه تعیین می‌گردد، با استفاده از درجه رسوبدهی و فرمول پیشنهادی زیر می‌توان میزان رسوبدهی در واحد های مطالعاتی را به‌دست آورد (رفاهی، ۱۳۸۷).

$$Q_S = 38.77e^{0.0358R} \quad (۸)$$

که در آن Q_s میزان رسوب سالانه در واحد سطح، بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال و R درجه رسوب‌دهی حوضه آبخیز می‌باشد.

ضریب رسوب زایی (SDR)

SDR ضریبی است که نشان می‌دهد چه مقداری از فرسایش (درصد) تبدیل به رسوب می‌گردد و همواره مقدار SDR کوچکتر از یک می‌باشد. عوامل متعددی در SDR مؤثرند که از آن جمله می‌توان به شیب حوضه، شیب آبراهه اصلی، وسعت دشت‌های سیلابی و مناطق مسطح موجود در مسیر جریان، وسعت حوضه، بافت خاک و نوع عامل فرسایشی اشاره کرد.

در روش MPSIAC میزان SDR با توجه به مساحت حوضه یا واحدهای هیدرولوژیک و براساس یکی از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$SDR = 46.7\,A^{0.2071} \quad (۹)$$

$$SDR = 64.6\,A^{0.2775} \quad (۱۰)$$

$$\text{Log}\,SDR = (1876\text{-}0.14191) \times \text{Log}\,(A) \quad (۱۱)$$

که در آن A مساحت حوضه یا واحد هیدرولوژیک بر حسب مایل مربع می‌باشد.

فرسایش سالانه (E_S)

با استفاده از ضریب رسوب‌زایی می‌توان فرسایش سالانه را به کمک رابطه زیر تعیین نمود.

$$E_S = \frac{SDR \times Q_S}{100} \quad (۱۲)$$

با داشتن میزان رسوب‌دهی سالیانه (Q_s) و درجه رسوب‌دهی (R) و استفاده از جدول زیر کلاس‌بندی رسوب‌دهی فرسایش انجام می‌گیرد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول ۲- کلاس بندی رسوب دهی فرسایش.

Table 2. Classification of erosion deposition.

کلاس رسوب‌دهی	تولید رسوب سالیانه (Qs)		درجه رسوب‌دهی
فرسایش	مترمکعب در کیلومترمربع	تن در کیلومترمربع	(R)
V	> 1429	> 2500	> 100
IV	476 – 1429	1500 - 2500	75 - 100
III	238 - 476	500 - 1500	50 – 75
II	95 - 238	200 - 500	25 – 50
I	< 95	< 200	0 - 25

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق چهار عامل ضریب فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت خاک به فرسایش و همچنین شیب متوسط حوضه برای هر زیر حوضه و کل حوضه محاسبه گردید، سپس مقادیر Z (ضریب شدت فرسایش) از طریق رابطه (۱) بدست آمد. نتایج طبقه‌بندی شدت فرسایش حوضه یعقوب آباد به روش EPM در جدول (۳) و نقشه تغییرات میزان شدت فرسایش حوضه، در شکل (۲) ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر شیب متوسط حوضه (I)، ضریب استفاده از زمین(Xa)، ضریب حساسیت خاک به فرسایش(Y)، ضریب فرسایش(Ψ)، شدت فرسایش و طبقه بندی فرسایش.

Table 3. Mean slope of the basin (I), land use coefficient (Xa), coefficient of soil sensitivity to erosion (Y), erosion coefficient (Ψ), erosion severity and erosion classification (Z).

حوضه	مساحت (km^2)	I (%)	Xa	Y	Ψ	Z	شدت فرسایش	طبقه فرسایش
M1	6.40	29.8	0.63	0.63	0.50	0.41	متوسط	III
M2	2.20	32.72	0.57	0.63	0.55	0.40	متوسط	III
M3	3.62	44.88	0.54	0.63	0.50	0.39	کم	IV
M4	3.34	34.62	0.52	0.50	0.65	0.32	کم	IV
M5	7.40	28.86	0.54	0.50	0.55	0.29	کم	IV
M6	5.74	15.5	0.54	0.38	0.70	0.22	کم	IV
کل حوضه	28.69	24.44	0.56	0.53	0.57	0.31	کم	IV

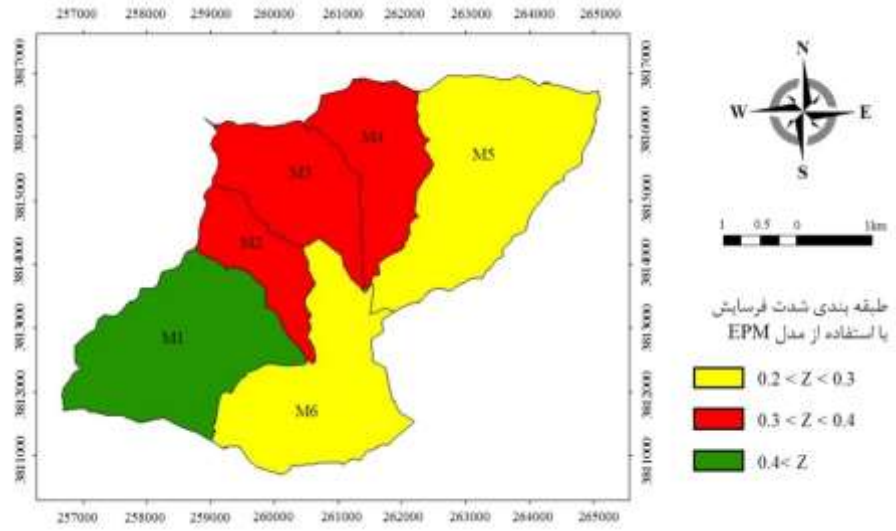

Figure 2. Classification of the erosion severity rate in the sub-basins of the Yaqhoob-Abad.

شکل ۲- تغییرات میزان شدت فرسایش در زیرحوضه‌های یعقوب آباد.

بررسی انجام شده بیانگر آن است که شرایط طول حوضه و نسبت D/L برای کلیه زیرحوضه‌ها و کل حوضه بعقوب آباد صادق می‌باشد، درنتیجه ضریب رسوبدهی Ru محاسبه شده از فرمول EPM قابل قبول می‌باشد. مقادیرفرسایش ویژه توسط رابطه (۲) وضریب رسوبدهی توسط رابطه (۴) و رسوب ویژه و رسوب کل حوضه توسط روابط (۶) و (۷) برای حوضه یعقوب آباد به دست آمد. نتایج در جدول (۴) آورده شده است. همچنین در شکل(۳) تغییرات میزان رسوب کل زیرحوضه‌های منطقه، در چهار کلاس رسوبدهی که شامل ۴۰۰-۰، ۸۰۰-۴۰۰ و ۱۶۰۰-۸۰۰ تن در سال می‌باشند، ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیرمحاسبه شده فرسایش ویژه (Wsp)، ضریب رسوبدهی (RU)، رسوب ویژه (Gsp) و رسوب کل (Gs) توسط مدل EPM.

Table 4. Calculated values for specific erosion (Wsp), deposition coefficient (RU), specific sediment (Gsp) and total sediment (Gs) using EPM model.

حوضه	D (km)	L (km)	D/L	RU	Wsp ($M^3/km^2/year$)	Gsp ($M^3/km^2/year$)	Gs ($M^3/year$)	Gs (Ton/year)
M1	0.1605	3.66	0.044	0.40	427.74	170.32	1089.21	1470.43
M2	0.1235	3	0.041	0.30	400.03	121.46	266.73	360.09
M3	0.1465	3.17	0.046	0.36	391.72	139.76	505.66	682.64
M4	0.155	3.12	0.050	0.37	280.18	103.60	346.03	467.14
M5	0.2555	4.32	0.059	0.51	262.64	133.28	985.98	1331.08
M6	0.141	1.76	0.080	0.46	157.71	72.05	413.64	558.41
کل حوضه	0.284	6.1	0.047	0.69	280.81	192.79	5530.68	7466.42

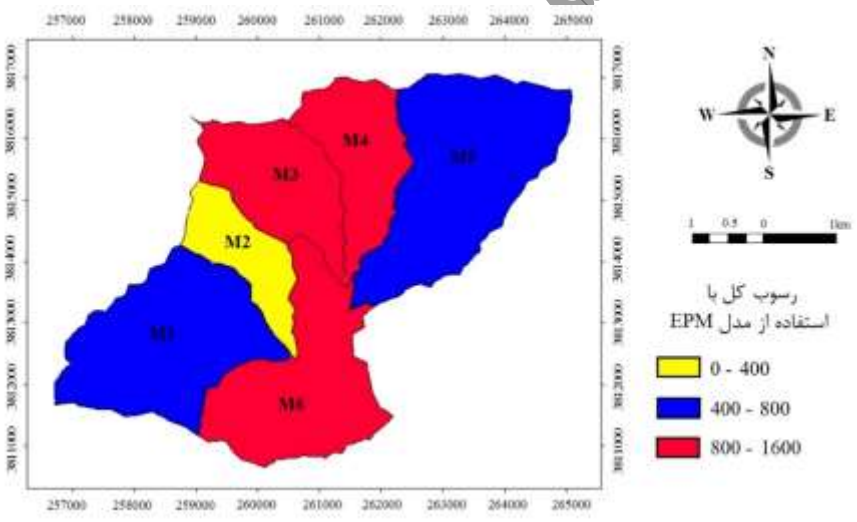

Figure 3. Total deposition rate (tonne/year) in the Yaghoob-Abad watershed.

شکل ۳- تغییرات میزان رسوب دهی کل برحسب تن در سال در زیر حوضه‌های یعقوب آباد.

برای محاسبه فرسایش توسط مدل MPSIAC درابتدا هر یک از عوامل نه گانه آن ارزش گذاری شد بدین منظور وضعیت زمین شناسی سطحی منطقه (Y1) از نقشه های زمین‌شناسی ، وضعیت خاک‌شناسی منطقه (Y2) از نقشه‌ها و عامل فرسایش‌پذیری خاک، وضعیت بارندگی و اقلیم منطقه (Y3) از بارش شش ساعته با دوره بازگشت دو ساله، جریان‌های سطحی منطقه (Y4) از ارتفاع روناب سالانه و دبی ویژه اوج حوضه، وضعیت توپوگرافی منطقه (Y5) از نقشه‌های توپو گرافی و شیب متوسط حوضه، وضعیت پوشش گیاهی منطقه (Y6) از نقشه کاربری اراضی و تعیین مناطق لخت و فاقد پوشش، وضعیت کاربری اراضی منطقه (Y7) از نقشه کاربری اراضی و سطوح اراضی آبی، دیم و مرتع، وضعیت فعلی فرسایش در منطقه (Y8) از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی و وضعیت فرسایش خندقی و رودخانه‌ای منطقه (Y9) از بررسی وضعیت و شدت انواع فرسایش‌های آبراهه‌ای موجود در حوضه و نقش آن‌ها در تولید رسوب خروجی از حوضه مشخص گردید.

پس از ارزش گذاری عوامل نه گانه موثر در تولید رسوب، از جمع امتیازات این عوامل، میزان درجه رسوب‌دهی (R) به دست آمد. مقدار ارزش

هریک از عوامل و میزان درجه رسوب‌دهی برای هر زیر حوضه و کل حوضه در جدول (۵) ارائه گردیده است.

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده عوامل نه گانه موثر در تولید رسوب و میزان درجه رسوب دهی(R).

Table 5. Calculated values for the nine effective factors in sediment production and degree of deposition (R).

حوضه	مساحت (km^2)	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	R
M1	6.40	15.55	7.5	5.62	8.583	9.83	12	7	8	11.69	85.78
M2	2.20	15.55	7.5	5.62	11.448	10.80	12	10	8	11.69	92.61
M3	3.62	16.20	7.5	5.62	10.222	14.81	12	10	8	11.69	96.04
M4	3.34	14.58	7.5	5.62	8.834	11.42	12	10	8	11.69	89.65
M5	7.40	14.90	7.5	5.62	9.644	9.52	12	7	8	11.69	85.88
M6	5.74	14.90	7.5	5.62	1.674	5.12	12	7	8	11.69	73.50
کل حوضه	28.69	15.22	7.5	5.62	7.104	8.07	12	8	8	11.69	83.20

با داشتن مقدار R و استفاده از رابطه (۸)، مقدار تولید رسوب سالانه در واحد سطح حوضه در طی یک سال تعیین گردید. همچنین با استفاده از مساحت حوضه و روابط (۹) الی (۱۱) میزان ضریب رسوب‌زایی SDR محاسبه گردید در جدول (۶) مقادیر ضریب رسوب‌زایی، کلاس فرسایش و تولید فرسایش و رسوب سالانه برای کل حوضه و زیرحوضه‌های آن آورده شده است. در شکل (۴) نیز نقشه تغییرات میزان فرسایش سالانه حوضه یعقوب آباد در دو کلاس ۳۰۰-۲۰۰ و ۴۰۰-۳۰۰ تن در کیلومترمربع در سال ارائه شده است.

جدول ۶- مقادیر بدست آمده ضریب رسوب‌زایی (SDR)، کلاس فرسایش، رسوب سالانه (Qs) و فرسایش سالانه (Es) توسط مدل MPSIAC.

Table 6. Obtained values for sediment coefficient (SDR), erosion class, annual Sediment (Qs) and annual erosion (ES) using MPSIAC model.

حوضه	مساحت (km^2)	Qs ($M^3/km^2/year$)	کلاس فرسایش	SDR (%)	Es ($M^3/km^2/year$)
M1	6.40	231.7	IV	37.0	407.97
M2	2.20	207.4	IV	44.6	521.65
M3	3.62	234.8	IV	40.9	590.37
M4	3.34	216.1	IV	41.5	468.90
M5	7.40	238.0	IV	36.1	409.44
M6	5.74	194.8	III	37.7	262.22
کل حوضه	28.69	292.4	IV	28.5	371.82

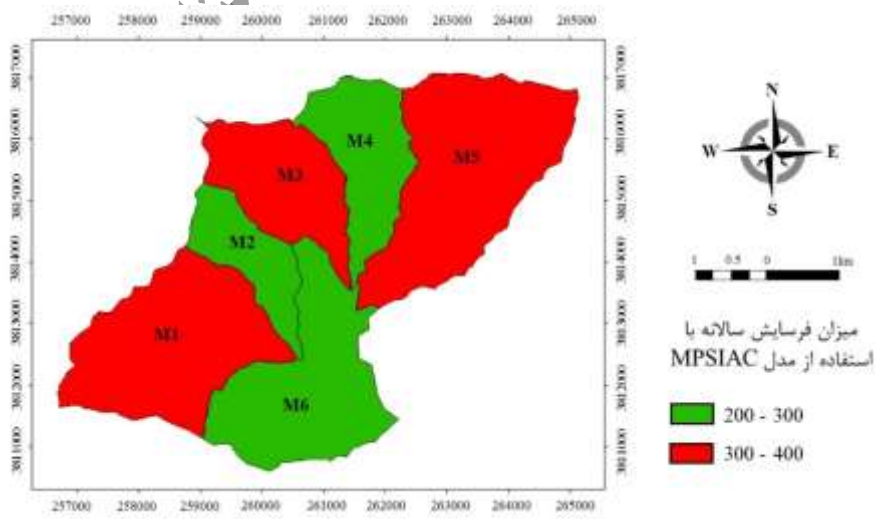

Figure 4. Annual erosion rate ($m^3/km^2/year$) in the **sub-basins of Yaghoob abad .**

شکل ۴- تغییرات میزان فرسایش سالانه برحسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال در زیرحوضه‌های یعقوب آباد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشینهای کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از اطلاعات موجود از حوضه، چهار عامل مورد نیاز مدل EPM تعیین گردید و فرسایش و رسوب ویژه به ترتیب ۲۸۰/۸۱ و ۱۹۲/۷۹ (مترمکعب در کیلومترمربع در سال) به‌دست آمد. در روش MPSIAC پس از تعیین عوامل نه‌گانه مورد نیاز مدل و محاسبه درجه رسوب‌دهی هر واحد، با استفاده از روابط مربوطه، میزان فرسایش و رسوب متوسط حوزه به‌ترتیب ۲۹۲/۴ و ۳۷۱/۸۲ (مترمکعب در کیلومترمربع در سال) به‌دست‌آمد.

با استفاده از نتایج بدست آمده و بررسی‌های کمی و کیفی انواع فرسایش و رسوب در منطقه، حوضه از نظر مناطق حساس به سه دسته تقسیم شد و راه کارهای مناسب هر منطقه برای جلوگیری از فرسایش و رسوب ارائه گردید. بدین ترتیب زیرحوضه‌های M1 و M5 در اولویت اول قرار گرفتند و راهکارهای حفاظتی شامل اجرای عملیات مکانیکی خشکه چینی در آبراهه‌های درجه ۱ و ۲ سر شاخه‌ها، گابیون در آبراهه درجه ۳ و ۴ با تیپ‌های ۲ و ۳، سدهای ملاتی با ارتفاع متوسط تا بلند، اجرای بیولوژیکی و نهال‌کاری حاشیه آبراهه‌ها می‌باشد.

حوضه های M3 و M6 در اولویت دوم قرار گرفتند و راهکارهای حفاظتی شامل اجرای عملیات مکانیکی، خشکه چینی در سرشاخه‌ها، گابیون در آبراه‌های درجه ۳ و ۴ با تیپ‌های ۲ و ۳، سدهای ملاتی با ارتفاع متوسط، دیوارکشی کناره رودخانه و نهال‌کاری می‌باشد.

حوضه های M2 و M4 در اولویت سوم قرار گرفتند و راهکارهای حفاظتی شامل اجرای عملیات حفاظت و قرق ، اجرای عملیات بیولوژیکی و کپه‌کاری و اجرای عملیات مکانیکی در صورت وجود منابع قرضه می‌باشند.

۵- مراجع

1. Ahmadi, H. Mohamadi, A. (2010). Evaluation of sediment estimation of E.P.M and P.S.I.A.C models using geomorphology method (case study: Dehnamak Watershed). Iranian journal of Rangelend and Desert Research, 17(3),340-352.(Persian)
2. Bagherzadeh, A., & Daneshvar, M. R. M. (2011). Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semi-arid region. Frontiers of Earth Science, 5(2), 207.(English)
3. Johnson, C.W., & Gebhardt, K. A. (1982). Predicting Sediment yield from sagebrush rangelands, In proceeding of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands,Tucson, Arizona, USDASEA-ARM western series, No. 26: 145-156.(English)
4. Khodabakhsh, S., Mohammadi, A., Rafie, B., & BOZORG, Z. I. (2010). COMPARISON OF EROSION AND SEDIMENT YIELD ESTIMATION IN SEZAR SUB-BASIN (DEZ DRAINAGE BASIN) BY MPSIAC AND EPM EMPIRICAL METHODS, USING GIS. IRANIAN JOURNAL OF GEOLOGY, 3(12), 51 To 61.(persian)
5. Lee, R., 2000- Chemical weathering, atmospheric and climate, Annu. Rev. Earth planet Sic, 28, PP. 611-617.(English)
6. Malekian, A., Dehghani, M., Ghasemi, H. (2012). Priority Places reduce flood and erosion control operations using fuzzy logic (Case Study: Watershed Fourg). Journal of Watershed Management Research, 66 (1), 73-88.(English)
7. Mohamadian, Sh, M., Soroor, J. (2007). Estimation of erosion and sediment estimation based on common experimental models (PSIAC, MPSIAC, EPM) in Gohar Roud watershed. Fourth National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering Management of watersheds, Karaj, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. https://www.civilica.com/Paper-WATERSHED04-WATERSHED04_043.html.(Persian)
8. Noori, H., Karami, H., Farzin, S., Siadatmousavi, S. M., Mojaradi, B., & Kisi, O. (2018). Investigation of RS and GIS techniques on MPSIAC model to estimate soil erosion. Natural Hazards, 91(1), 221-238.(English)
9. Noori, H., Siadatmousavi, S. M., & Mojaradi, B. (2017). Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Based on Satellite Imagery Using the GIS Technique and EPMloying Erosion Potential Method (EPM) on Watersheds (Case study: the Dez Watershed). Water Resources Engineering, 10(32), 45-54.(Persian)
10. Pacific Southwest Iinter-Agency Committee, 1968- Report on factors affecting sediment yield in the pacific southwest area and selection and evaluation of measures for the reduction of erosion and sediment yield. Water management subcommittee, sedimentation Task force.(English)
11. Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267(5201), 1117-1123.(English)
12. Rahedan, A., Tamizifar, M., Rahimi, M., & Beigi, H. (2018). Estimation of erosion and sediment yield using MPSIAC model in GIS environment (Case study: Qomishlou Protected Area, Isfahan Province). Second National Conference on Agricultural Science and Technology, Natural Resources and Environment of Iran. https://www.civilica.com/Paper-MDCONF02-MDCONF02_255.html.(Persian)
13. Ramezani, B., Ebrahimi, H., Haghparast, L. (2017). The role of natural environment parameters in erosion and sediment production using MPSIAC and EPM methods (case study: Branjestank dam basin). Journal of the Geographical Engineering of Territory, 2(2), 49-59.(Persian)

14. Servati, M. (2008). Regional geomorphology of Iran. IRAN,TEHRAN, First Edition, Army Geographic Organization Publications, 168.(Persian)

15. Tazioli A., Mattioli A., Nanni T., Vivalda P.M. (2015). Natural hazard analysis in the Aspio equipped basin. Engineering geology for Society and Territory, Vol.3, 431-535.(English)

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران