

جغرافیا و توسعه شماره ۲۷ تابستان ۱۳۹۱

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۶/۱۱

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۲/۲۰

صفحات : ۱۲۶-۱۱۷

مقایسه‌ی مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS

دکتر رضا قضاوی^۱، دکتر عباسعلی ولی^۲، یاسر مقامی^۳، ژاله عبدی^۴، سیامک شرفی^۵

چکیده

مدیریت صحیح منابع آب و خاک در یک حوضه‌ی آبخیز مستلزم شناخت توان تولید رسوب آن بوده و از طرفی جهت شناسایی دقیق عوامل تخریب خاک نیاز به اطلاعات پایه‌ی دقیق می‌باشد. امروزه وجود سامانه‌های دقیق و ابزار و مدل‌های مختلف این توانایی را در اختیار محققان قرار داده تا بتوانند اطلاعات پایه را ذخیره، بازیابی و به روز نمایند. هدف از انجام این مطالعه بررسی و برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در یک حوضه‌ی آبخیز با استفاده از مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC و بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد. برای انجام این تحقیق نقشه واحدهای همگن با استفاده از نقشه‌های شیب، کاربری اراضی و زمین-شناسی تهیه گردید. هر یک از عوامل مؤثر در فرسایش و پارامترهای موجود در مدل‌ها به طور جداگانه در هر واحد کاری اندازه‌گیری و در نهایت برای هر یک از زیرحوضه‌ها میزان فرسایش و تولید رسوب سالانه محاسبه شد. نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست بعد از کلاس‌بندی تهیه گردید.

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق میزان رسوب تولیدی سالیانه با روش‌های MPSIAC، EPM و PSIAC در زیرحوضه شماره‌ی یک حوضه‌ی مورد مطالعه به ترتیب ۱۴/۲۲، ۱۵/۲ و ۱۳/۵ تن بر هکتار، در زیرحوضه شماره ۲ به ترتیب ۱۴/۱۹، ۱۸ و ۴ تن بر هکتار و برای کل حوضه ۲۲/۰۵، ۱۴/۹ و ۱۲ تن بر هکتار برآورد گردید. نتایج حاصل از مقایسه RMSE در تعیین صحت روش‌ها نشان داد که روش PSIAC برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب سالیانه در شرایط طبیعی و خاکی حوضه مورد مطالعه نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، رسوب، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)، MPSIAC، EMP، PSIAC.

ghazavi@kashanu.ac.ir

vali@kashanu.ac.ir

yasermaghani@alumni.ut.ac.ir

sharafi.64@gmail.com

۱- استادیار بخش آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان (نویسنده مسؤول)

۲- استادیار بخش علوم بیابان دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی

۴- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

۵- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

مقدمه

فرسایش خاک از جمله عوامل عمده‌ی زیست-محیطی قرن حاضر می‌باشد. رسوبات ناشی از این فرآیند باعث آلودگی آب‌ها، پر شدن مخازن سدها و افت پتانسیل محیط می‌شود. بنابراین آگاهی از وضعیت فرسایش و حجم کل میزان تولید رسوب سالیانه در حوضه‌های آبخیز نیاز به مطالعه‌ی بیشتر و بررسی و شناخت عوامل مؤثر در این فرآیند پیچیده دارد (شیرزادی، ۱۳۸۸: ۳۷).

چنانچه در یک حوضه‌ی آبخیز آمار و اطلاعات مربوط به دبی آب و رسوب به اندازه‌ی کافی موجود نباشد، کاربرد روش‌های تجربی مناسب، برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوب‌زایی الزامی است. البته باید در نظر داشت که مدل‌هایی را که در شرایط خارج از ایران ساخته می‌شوند بدون آزمون‌های آماری و تطبیق با شرایط آب و هوایی و طبیعی منطقه نمی‌توان با اطمینان مورد استفاده قرار داد (رفاهی، ۱۳۷۵: ۵۴). از روش‌های متداولی که به منظور برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان از روش‌های پتانسیل تولید رسوب (EPM مخفف) Eroision potential method، پسیاک (PSIAC PacificShout - west inter - Agency): committee) و روش پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) می‌باشد (دادخواه و همکاران، ۱۳۷۸: ۴۱).

روش EPM شامل تعیین شدت فرسایش در یک حوضه‌ی آبخیز، اندازه‌گیری میزان حمل رسوب و محاسبه میزان رسوب‌گذاری در قسمت‌های مختلف یک حوضه می‌باشد. در روش پسیاک ۹ عامل جهت محاسبه و برآورد فرسایش در نظر گرفته شده است و به هر یک از عوامل از نظر کمی و کیفی نمره داده می‌شود و سپس بر اساس حاصل جمع امتیازات، حوضه‌ی آبخیز از نظر میزان فرسایش ارزیابی می‌شود. در روش پسیاک اصلاح شده، برای هر یک از عوامل

۹گانه ضرابی در نظر گرفته شده است تا نتایج حاصل به واقعیت نزدیکتر شود. در استفاده از این مدل‌ها نیاز به آمار و اطلاعات دقیق می‌باشد و هر چه اطلاعات ورودی به این مدل‌ها کامل‌تر و دقیق‌تر باشد نتیجه حاصل نیز دقت بیشتری خواهد داشت.

یکی از مهمترین مشکلات مطالعات فرسایش و رسوب کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز می‌باشد. این مسأله در کشورهای در حال توسعه حاد تر بوده و کشور ما ایران نیز از جمله کشورهایی است که با این معضل روبرو است. به دلیل پیچیدگی این فرآیندها و کمبود آمار مناسب و فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور سهولت کار اغلب مطالعات فرسایش و رسوب کشور با استفاده از روش‌های تجربی و رابطه‌های سایر کشورها انجام می‌گیرد (راستگو و همکاران، ۱۳۸۵: ۱). امروزه سامانه‌ی دقیق GIS با قابلیت‌های فراوان این توانایی را در اختیار ما قرار داده است تا بتوانیم اطلاعات پایه‌ای موجود را به صورت لایه‌ها یا جداول اطلاعاتی ذخیره، بازیابی و به روز نماییم. با بهره‌گیری از این سامانه می‌توان عامل خطاهای انسانی را به حداقل رساند (شیرزادی، ۱۳۸۸: ۴۵). در گذشته تحقیقاتی توسط محققین مختلف در زمینه استفاده از GIS و سنجش از راه دور جهت برآورد فرسایش و رسوب انجام گرفته است.

از جمله آن‌ها می‌توان به کارهای (Hill, 1993)، (Tangestani, 2001 & 2005)، ضیایی‌اسفندرانی (۱۳۸۳)، (Gobin et al, 2003)، (Zhou et al, 2008)، جلیلی و همکاران (۱۳۸۴)، (Amini et al, 2010)، برزو و همکاران (۱۳۸۷)، (Amiri, 2010)، و رنگزن و مرادزاده (۱۳۸۴) اشاره نمود.

رنگزن و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی در حوضه‌ی پگاه سرخ‌گتوند خوزستان، بعداز مقایسه‌ی دو روش EPM و MPSIAC به این نتیجه رسیدند که اگر چه نتایج به دست آمده از دو روش در اکثر مناطق انطباق

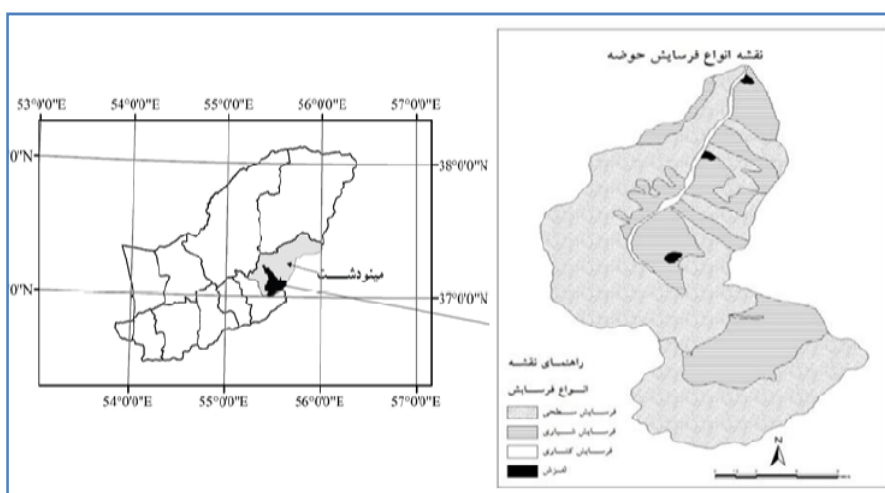
تحلیل قرار گرفته است بنابراین هدف از انجام این مطالعه استفاده از توانایی‌های مشترک سنجش از دور و GIS در جهت ارزیابی سه مدل EPM، MPSIAC و PSIAC برای برآورد فرسایش و رسوب یک حوضه آبخیز می‌باشد.

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، حوضه‌ی آبخیز قلعه‌قافه با مساحت ۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در ۲۵ کیلومتری جنوب مینودشت واقع در شرق استان گلستان و بین عرض‌های جغرافیایی "۵۲° ۵۹' ۳۶" تا "۴۱° ۰۷' ۳۷" شمالی و طول‌های "۲۳° ۲۵' ۵۵" تا "۲۰° ۳۱' ۵۵" شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین ارتفاع این حوضه ۱۳۰۴ متر (بیشینه ارتفاع ۲۰۹۰ m و کمینه آن ۵۳۰ m) از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. میانگین شیب حوضه برابر ۴۲/۰۴ درصد و طول آن ۱۴/۳ کیلومتر می‌باشد. حوضه‌ی آبخیز قلعه-قافه از ۲ زیرحوضه با مساحت‌های ۳۶/۵۳ و ۳۳/۴۷ کیلومتر مربع تشکیل شده است. از لحاظ وضعیت آب و هوایی، حوضه‌ی آبخیز قلعه-قافه در منطقه نیمه‌مرطوب واقع شده است و منشاء عمده‌ی بارندگی‌های آن کوهستانی است. میانگین ریزش‌های جوی سالیانه حوضه‌ی آبخیز قلعه‌قافه برابر ۶۵۴ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه‌ی آن برابر ۱۵/۴ درجه‌ی سانتیگراد ثبت گردیده است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی سازندهای موجود در این حوضه را سازند خوش‌ییلاق، سازند مبارک، سازند کشف‌رود و سازند مزدوران تشکیل می‌دهد.

زیادی با هم دارند، اما نتایج مدل EPM برای شناسایی مناطق دارای فرسایش بالا به اندازه مدل MPSIAC، قابل اطمینان نمی‌باشد. رفاهی و همکاران (۱۳۷۹) با تلفیق سنجش از دور و GIS و مدل MPSIAC میزان رسوب سالانه حوضه‌ی آبخیز طالقان تهران را با دقت ۹۸/۳ درصد رسوب اندازه‌گیری شده برآورد نموده‌اند. تاجگردان و همکاران (۱۳۸۶) برای برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز زیارت از مدل MPSIAC، داده‌های ماهواره‌ای و GIS استفاده کردند. نزدیکی نتایج حاصل از مدل مورد بررسی با نتایج ضبط شده در ایستگاه هیدرومتری نشان داد که با استفاده از برخی مشاهدات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان مقدار رسوب را در حوضه‌ی مورد مطالعه با دقت بالایی برآورد نمود. دهقان و همکاران (۱۳۸۸) برای برآورد میزان فرسایش و نرخ تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC، داده‌های ماهواره‌ای و GIS در حوضه‌ی آبریز سد شوربجه نتیجه گرفتند که در هر سال حدود ۶۴/۳۷ متر مکعب رسوب در هر کیلومتر مربع تولید می‌شود. نتایج این تحقیق قابلیت تلفیق مدل‌های تجربی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را در تهیه‌ی اطلاعات دقیق و بهنگام از حوضه‌های آبریز و قابلیت سامانه اطلاعات مکانی را در تحلیل این اطلاعات مشخص می‌کند.

در این تحقیق به بررسی فرآیند فرسایش با استفاده از تکنیک‌های نوین در مطالعه حوضه‌ای منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. اطلاعات مورد نیاز مدل‌های رایج برآورد فرسایش به کمک سنجش از دور و GIS تلفیق گردیده است و نتایج حاصل مورد



شکل ۱: موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه همراه با نقشه وضعیت فعلی فرسایش

مأخذ: نگارندگان

PSIAC، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب حوضه و وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه‌ی آبخیز با استفاده از GIS (شکل ۱) تهیه شد و سپس نسبت به تعیین امتیاز عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش آبی در حوضه اقدام گردید.

برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست استفاده شد (شکل ۲). پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و هندسی که به ترتیب با نرم‌افزارهای ENVI و PCI Geomatica انجام گرفت، اقدام به کلاس‌بندی با استفاده از نقاط نمونه- برداری شده و همچنین تفسیر چشمی نموده و نقشه‌ی کاربری اراضی تهیه گردید. نقشه‌ی زمین‌شناسی نیز پس از اسکن، در نرم‌افزار Arc GIS رقومی و تهیه شد (شکل ۲). برای برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از روش MPSIAC، از ۹ عامل روش PSIAC استفاده شده است با این تفاوت که برای هر کدام از این عوامل ضریب اصلاحی در نظر گرفته شده و به عامل ۸ (بررسی وضعیت سطح خاک و فرسایش) اهمیت زیادی داده شده است. ضریب این عامل با استفاده از روش BLM تعیین می‌گردد. برای تعیین این ضریب ۷ عامل دخالت داده شده است که عبارتند از:

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای تعیین شدت فرسایش و پتانسیل رسوبدهی حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه از روش‌های EPM، MPSIAC و PSIAC و تکنیک‌های RS و GIS استفاده شده است. با استفاده از هر سه مدل، عوامل مؤثر در فرسایش در واحدهای کاری ارزیابی و امتیازدهی شد. با توجه به رابطه‌ی بین رسوبدهی و میزان رسوب، پتانسیل رسوبدهی هر واحد کاری و نهایتاً زیرحوضه‌ها تعیین شد. همچنین با توجه به میزان رسوبدهی، شدت فرسایش از نظر کیفی برآورد گردید. در ابتدا برای بررسی وضعیت فرسایش و شناخت انواع فرسایش در حوضه‌ی مورد مطالعه بازدید میدانی صورت گرفت و سپس با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های ذکر شده نسبت به برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه اقدام شد. در روش PSIAC نقش ۹ عامل مؤثر در فرسایش مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، استفاده از زمین وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌باشد. برای به دست آوردن پتانسیل رسوبدهی فرسایش آبی در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه با استفاده از روش

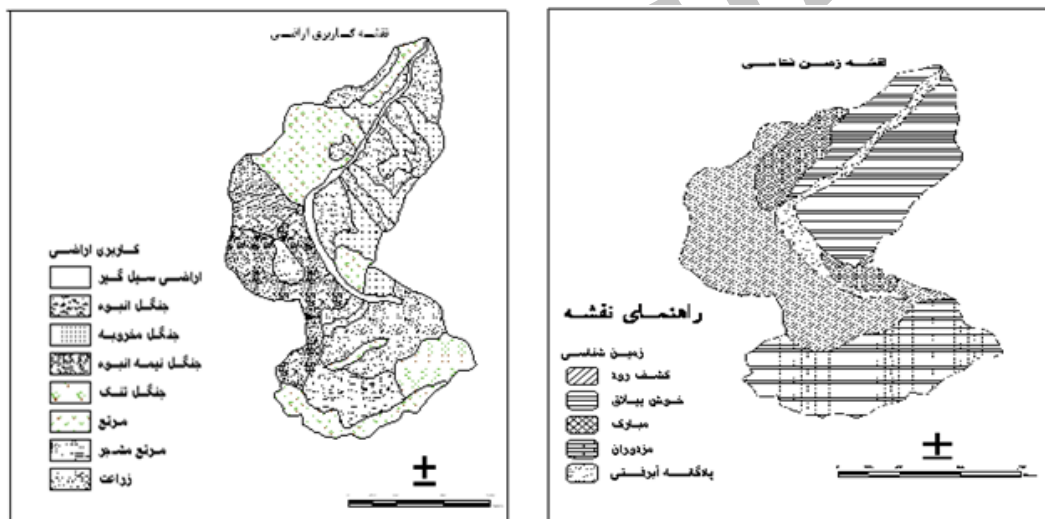
و شیب متوسط، محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه (۱) ضریب شدت فرسایش هر واحد کاری محاسبه و با استفاده از جدول (۱)، شدت فرسایش هر واحد کاری و زیرحوضه‌ها تعیین گردید.

$$Z = Y \times X (\psi + I^{0.5}) \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن Z - ضریب شدت فرسایش، Y ضریب حساسیت خاک به فرسایش، X ضریب استفاده از زمین، ψ ضریب فرسایش خاک و I شیب متوسط حوضه به درصد است.

۱- فرسایش سطحی، ۲- لاشبرگ سطحی، ۳- پوشش گیاهی، ۴- آثار تخریب خاک و گیاه، ۵- فرسایش شیاری و ابعاد آن، ۶- جریان‌های سطحی و رسوبات آن، ۷- اشکال فرسایش خندقی و درصد آن.

به منظور برآورد میزان فرسایش با روش EPM، با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی، کاربری اراضی و شیب، واحد‌های همگن این حوضه (۲۶ واحد) تعیین گردید (شکل ۳). در هر واحد کاری و زیرحوضه‌ها ضرایب مؤثر در فرسایش شامل ضریب حساسیت خاک به فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب فرسایش



شکل ۲: نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی حوضه‌ی آبخیز قلعه‌قافه
مأخذ: نگارندگان

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت فرسایش

شدت فرسایش	ارزش متوسط Z	ارزش حد Z	طبقه‌بندی فرسایش
خیلی شدید	۱/۲۵	$Z > 1$	I
شدید	۰/۸۵	$1 > Z > 0.71$	II
متوسط	۰/۵۵	$0.7 > Z > 0.41$	III
کم	۰/۲	$0.4 > Z > 0.2$	IV
خیلی کم	۰/۱	$0.19 > Z$	V

مأخذ: احمدی، ۱۳۷۸

T = ضریب درجه دما که از رابطه‌ی (۳) به دست می‌آید:

$$T = (t/10 + 1/0) \cdot 0.5 \quad \text{رابطه ۳:}$$

سپس با در اختیار داشتن مقدار Z ، مقدار فرسایش ویژه (Wsp) بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال محاسبه گردید.

$$Wsp = T \cdot H \pi Z^{3/2} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن:

Wsp = فرسایش ویژه سالیانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال؛

H = متوسط مقدار بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر؛

$$\pi = \text{عدد پی (۳/۱۴)};$$

Z = ضریب شدت فرسایش.

مؤثر در فرسایش در واحدهای کاری مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با میانگین‌گیری به صورت وزنی، امتیاز هر یک از عوامل در منطقه و زیرحوضه‌ها با استفاده از معادلات ارایه شده در مدل محاسبه شد. در ادامه برای هر واحد کاری درجه‌ی رسوب‌دهی از حاصل جمع نمرات عوامل نه‌گانه (R) محاسبه گردید و سپس برای هر یک از زیرحوضه‌ها میزان تولید رسوب برحسب متر مکعب در هر کیلومتر از رابطه‌ی (۶) محاسبه شد.

$$Q = 38/77 \text{ EXP}(0/35R) \quad \text{رابطه ۶:}$$

جدول (۲) نتایج حاصل از محاسبه ضریب رسوب‌دهی و توان تولید رسوب برای هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: طبقه‌بندی کمی و کیفی فرسایش حوضه با روش

PSIAC

تولید رسوب m^3/km^2	طبقه بندی کیفی فرسایش	حاصل جمع اعداد به دست آمده از ۹ عامل (درجه رسوب‌دهی)	زیر حوضه
۲۵۰-۴۵۰	متوسط	۷۲	۱
۹۵-۲۵۰	کم	۴۳	۲
۲۵۰-۴۵۰	متوسط	۶۶	کل

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲ طبقه‌بندی کمی و کیفی فرسایش حوضه با روش PSIAC را نشان می‌دهد. در این روش چنانچه حاصل جمع اعداد بیشتر از ۱۰۰، بین ۱۰۰ و ۷۵، بین ۷۵-۵۰، بین ۲۵-۱۰۰ و بین ۰-۲۵ باشد میزان فرسایش از لحاظ کیفی به ترتیب خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و ناچیز به حساب می‌آید.

که در آن:

t = میانگین دمای سالیانه حوضه برحسب سانتی‌گراد می‌باشد.

در مدل EPM برای به دست آوردن میزان رسوب در حوضه‌ها لازم است از رابطه (۴) میزان ضریب رسوب‌دهی یا (Ru) را محاسبه نمود.

$$Ru = 4(P.D)^{0/5}/L + 10 \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن:

Ru = ضریب رسوب‌دهی حوضه‌ی آبخیز؛

L = طول حوضه آبخیز برحسب کیلومتر؛

P = محیط حوضه آبخیز برحسب کیلومتر؛

D = اختلاف ارتفاع برحسب کیلومتر که از رابطه‌ی (۵)

به دست می‌آید:

$$D = Dav - D0 \quad \text{رابطه ۵:}$$

که در آن:

Dav = ارتفاع متوسط حوضه‌ی آبخیز

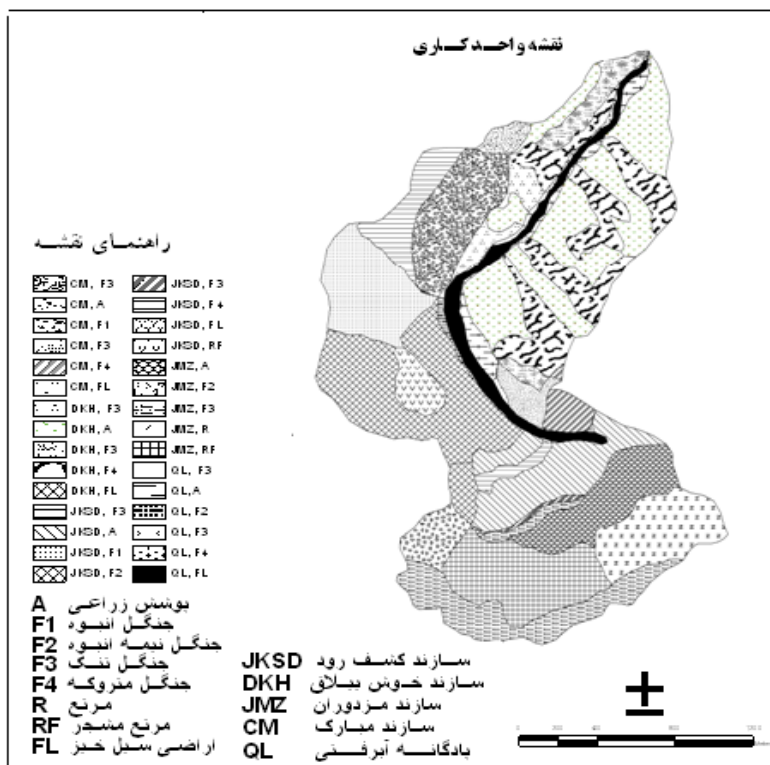
D0 = ارتفاع نقطه خروجی در رودخانه

بنابراین مقدار D را پس از محاسبه در رابطه (۴) قرار داده و ضریب رسوب‌دهی حوضه‌ی آبخیز را محاسبه می‌کنیم.

نتایج

محاسبه‌ی میزان تولید رسوب با روش PSIAC

برای تعیین امتیاز عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش خاک با استفاده از روش PSIAC، پس از تلفیق نقشه‌ها و مطالعات زمین‌شناسی، مورفولوژی، کاربری اراضی و تهیه‌ی نقشه واحد کاری، هر یک از عوامل



شکل ۳: نقشه واحد های کاری حوضه‌ی آبخیز قلعه قافه

مأخذ: نگارندگان

$$SDR = \frac{\text{رسوب}}{\text{فرسایش ناخالص}}$$

رابطه ۷:

می‌توان میزان SDR که برابر میزان Ru یا ضریب رسوبدهی حوضه است را از رابطه‌ی (۴) به دست آورد که نتایج آن در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴: میزان فرسایش و رسوب تولیدی به روش MPSIAC برای هر زیرحوضه

فرسایش m ³ /km ²	رسوب m ³ /km ²	Ru=SDR		زیر حوضه
		قبل از تصحیح (%)	بعد از تصحیح (%)	
۸۷۳/۳۶	۶۰۲/۶۲	۰/۷۲	۰/۶۹	۱
۱۶۶۲/۶۲	۱۱۸۳/۳	۰/۴۳	۰/۷۱	۲
۷۰۷/۶۳	۵۳۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۷۵	کل

مأخذ: نگارندگان

محاسبه‌ی میزان تولید رسوب با روش EPM
به منظور برآورد میزان فرسایش با روش EPM، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب، واحدهای همگن این حوضه (۲۶ واحد) تعیین

محاسبه میزان تولید رسوب با روش MPSIAC

برای محاسبه‌ی میزان فرسایش و رسوب در این روش، عوامل ۹ گانه تعیین و ضرایب مربوطه اعمال گردید. نتایج حاصل از برآورد میزان تولید رسوب با این روش در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳: ضریب رسوب‌دهی، تولید رسوب و طبقه‌بندی فرسایش در روش MPSIAC. (در این روش چنانچه ضریب رسوب‌دهی بین ۷۵-۱۰۰ باشد، میزان فرسایش از لحاظ کیفی زیاد به حساب می‌آید)

تولید رسوب m ³ /km ²	طبقه‌بندی کیفی فرسایش	ضریب رسوب‌دهی (R)	زیر حوضه
۶۰۲/۲	زیاد	۷۸/۳۹	۱
۱۱۸۳/۳	زیاد	۷۹/۶۷	۲
۵۳۰/۷۲	زیاد	۷۵	کل

مأخذ: نگارندگان

برای تعیین میزان فرسایش از ضریب رسوب‌دهی حوضه‌ی (SDR) استفاده می‌شود که با توجه به رابطه‌ی (۷) به دست می‌آید (احمدی، ۱۳۷۸).

استفاده از جدول (۱)، شدت فرسایش هر واحد کاری و زیرحوضه‌ها تعیین گردید. میزان فرسایش ویژه (Wsp) و ضریب رسوب‌دهی (Ru) نیز با استفاده از رابطه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ محاسبه گردید که نتایج آنها در جدول‌های (۵) و (۶) و شکل (۴) آمده است.

گردید. در هر واحد کاری و زیرحوضه‌ها ضرایب مؤثر در فرسایش شامل ضریب حساسیت خاک به فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب فرسایش و شیب متوسط، محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی (۱) ضریب شدت فرسایش هر واحد کاری محاسبه و با

جدول ۵: محاسبه‌ی ضرایب مؤثر در فرسایش و نتایج حاصل

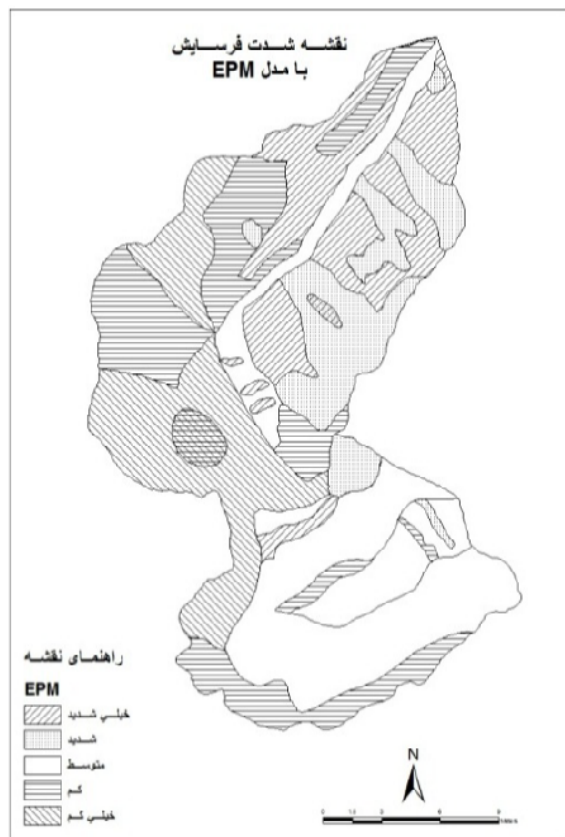
کل حوضه	دو	یک	زیر حوضه
۰/۷۲	۰/۳۷۳	۰/۷۵۱	عامل P ضریب فرسایشی
۰/۴۴۴	۰/۱۶۱	۰/۴۲۵	Xa ضریب استفاده از زمین ضریب
۱/۲	۱/۱۱	۱/۲۱	Y ضریب حساسیت خاک به فرسایش
۰/۷۲۸	۰/۱۹۰	۰/۶۵۲	Z ضریب شدت فرسایش‌پذیری
شدید	خیلی کم	متوسط	طبقه بندی شدت فرسایش
۶۵۴	۹۴۲	۵۴۵	H ارتفاع متوسط بارندگی سالیانه
۴۴/۵	۱۵/۵	۲۵/۵	P طول محیط حوضه‌ی آبخیز
۲۱/۵	۵/۷۵	۱۲/۵	L طول آبراهه اصلی
۱/۲۸	۱/۳۴	۱/۲۷	T ضریب دما
۱۶۳۳/۵	۳۲۸/۴	۱۱۴۴/۷	Wsp مقدار فرسایش ویژه
۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۹	Ru ضریب رسوب‌دهی حوضه
۱۲۲۵/۱۲۵	۲۳۳/۱۶	۷۸۹/۸۴	Gsp دبی رسوب ویژه
۸۶۴۰۸/۰۶	۲۴۴۱/۱۸	۲۸۸۵۲/۸۵	Gs دبی رسوب کل
۲۲/۰۵	۴/۱۹	۱۴/۲۲	میزان رسوب ویژه
۱۵۵۵۳۴/۵۱	۴۳۹۴۱/۱۲۴	۵۱۹۳۵/۱۳	کل رسوب تولید شده در هر زیر حوضه

مأخذ: نگارندگان

جدول ۶: طبقه‌بندی شدت فرسایش در واحدهای کاری

طبقه‌بندی شدت فرسایش	شیب متوسط (%)	واحد کاری	شماره	طبقه‌بندی شدت فرسایش	شیب متوسط (%)	واحد کاری	شماره
خیلی کم	۴۵/۴	F3-JKSD-S	۱۴	متوسط	۳۲/۱	R-JMZ-S	۱
کم	۳۷/۲	F3-CM-S	۱۵	خیلی شدید	۳۳/۷	A-JMZ-SH	۲
کم	۴۵/۳	F3-DKH-S	۱۶	متوسط	۲۷/۴	A-JKSD-SH	۳
کم	۳۸/۷	F3-DKH-S	۱۷	متوسط	۴۷/۲	A-JKSD-SH	۴
شدید	۷/۲	F4-JMZ-SH	۱۸	خیلی شدید	۴۳/۸	A-DKH-SH	۵
خیلی شدید	۳۹/۶	F4-JKSD-S	۱۹	شدید	۴۹/۹	A-DKH-L	۶
شدید	۳۶/۵	F4-CM-SH	۲۰	خیلی شدید	۴۶/۸	A-CM-SH	۷
خیلی شدید	۳۴/۳	F4-OL-SH	۲۱	کم	۴۸/۷	F1-JKSD-S	۸
خیلی شدید	۳۳/۹	F4-BKH-SH	۲۲	خیلی کم	۳۱/۲	F2-JMS-S	۹
شدید	۴۷/۴	F4-BKH-S	۲۳	خیلی کم	۴۷/۴	F2-JKSAD-S	۱۰
شدید	۳۶/۳	F4-CM-S	۲۴	متوسط	۷/۳	FL-OL-FK	۱۱
متوسط	۳۰/۸	RF-JMZ-S	۲۵	کم	۴۲/۶	F3-JMS-S	۱۲
کم	۳۱/۳	RF-JKSD-S	۲۶	کم	۴۹/۸	F3-JMS-FH	۱۳

مأخذ: نگارندگان



شکل ۴: نقشه شدت فرسایش با مدل EPM برای حوضه‌ی مورد مطالعه مأخذ: نگارندگان

بحث و نتیجه

نتایج حاصل از این سه روش در واحدهای همگن، به زیرحوضه‌های مربوطه و از آن به کل حوضه تعمیم داده شد و مشخص گردید که زیرحوضه‌ی شماره‌ی یک از نظر بررسی کیفی فرسایش در مدل EPM "متوسط" و در مدل MPSIAC "زیاد" و در مدل PSIAC "متوسط" را نشان می‌دهد. فرسایش از نظر کیفی در زیرحوضه شماره دو در مدل EPM "خیلی کم" و در مدل MPSIAC "زیاد" و در مدل PSIAC "کم" برآورد شده است. میزان کیفی فرسایش در کل حوضه در مدل EPM "شدید"، در MPSIAC "زیاد" و در مدل PSIAC "متوسط" اندازه‌گیری شده است. مرزبندی شاخص‌های کیفی بالا، با استفاده از جداول مربوط به هر کدام از روش‌ها انجام شده است. میزان کمی فرسایش برآورد شده با استفاده از هر کدام از روش‌ها نیز در جدول (۷) آمده است. نتایج حاصل از محاسبات انجام شده به روش‌های مختلف و به تفکیک زیرحوضه‌ها، نشان‌دهنده‌ی تفاوت بین نتایج حاصل از سه روش می‌باشد (جدول ۷).

جدول ۷: میزان رسوب برآورد شده و مشاهده‌ای و طبقه‌بندی فرسایش در زیرحوضه‌ها

MPSIAC		PSIAC		EPM		میزان بار رسوبی مشاهده‌ای در ایستگاه رسوب‌سنجی ton/ha	زیرحوضه
کمی ton/ha	کیفی	کمی ton/ha	کیفی	کمی ton/ha	کیفی		
۱۵/۲	زیاد	۱۳/۵	متوسط	۱۴/۲۲	متوسط	۱۴/۸۵	۱
۱۸	زیاد	۴	کم	۴/۱۹	خیلی کم	۵/۰۵	۲
۱۴/۹	زیاد	۱۲	متوسط	۲۲/۰۵	شدید	۱۰/۴	کل

مأخذ: نگارندگان

جدول ۸: نتایج آزمون صحت روش‌های مورد مطالعه در برآورد میزان رسوب

MPSIAC	PSIAC	EPM	روش‌ها
۷/۹۲	۱/۳۵	۶/۷۵	میزان خطا (RMSE)

مأخذ: نگارندگان

که در آن RMSE شاخص دقت روش، Esi مقدار رسوب برآورد شده، Eoi مقدار رسوب اندازه‌گیری شده

برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش‌های مورد مطالعه، با استفاده از شاخص RMSE، مقدار رسوب به دست آمده از روش‌های مورد بررسی با مقدار رسوب مشاهده شده در ایستگاه رسوب‌سنجی (رابطه ۸) مقایسه شد که نتایج آن در جدول (۸) آمده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Esi - Eoi)^2}{n}} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

۹- رنگزن، کاظم؛ مرادزاده، محسن (۱۳۸۴). کاربرد سنجش از دور در تهیه لایه‌های اطلاعاتی " پوشش زمین و کاربری اراضی " مورد استفاده در مدل MPSIAC. همایش رسوب سازمان آب خوزستان.

۱۰- شیرزادی، هیوا (۱۳۸۸)، پتانسیل لغزش در جاده جدید سندج- مریوان با استفاده از مدل AHP، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.

۱۱- ضیائی، حجت‌اله (۱۳۸۰). اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات آستان قدس رضوی.

۱۲- ضیایی اسفندرانی، حمیدرضا (۱۳۸۳). کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در مطالعه پهنه‌بندی فرسایش و برآورد رسوب قسمتی از حوضه آبریز سد شهید عباس‌پور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.

13- Amiri, Kazem (2010). Estimate of Erosion and Sedimentation in Semi-arid Basin using Empirical Models of Erosion Potential within a Geographic Information System. Air, Soil and Water Research 2010:3.

14- Amini, S, Rafiei, B, Khodabakhsh, S, Heydari, M (2010). Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan Dam drainage basin with EPM, using GIS. Iranian Journal of Earth Sciences.

15- Gobin A, Govers G (2003). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment. Third Annual report. European commission funded fifth framework project—contract QLK5-CT-1999-01323. Available at: <http://www.pesera.JR.C.it>.

16- Hill J (1993). Land Degradation and Soil Erosion Hazard Mapping in Mediterranean Environment With Operational Earth Observation Satellites. Proceedings of the international symposium of Operationalization of remote sensing, 9, 19-23 April, Enschede, The Netherlands.

17- Hudson, N. W (1987). Soil and Water Conservation, Semi arid and arid area. FAO, Soil Bulletins, No. 57.

18- Tangestani, M. H (2001). Integration Geographic Information System in Erosion and Sediment Yield Application Using the Erosion Potential Method of (EPM) Proceeding of the GIS Research UK.

19- Tangestani, M.H (2005). Comparison of EPM and PSIAC models in Gis for erosion and sediment yield assessment in a semi arid environment: Afzar catchment, Fars Province, Iran.

20- Weifeng Z Bingfang WU (2008). Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China, International Journal of Sediment Research, Volume 23.

و Π تعداد نمونه می‌باشد. بر اساس شاخص RMSE هر چه عدد به دست آمده کوچکتر و به صفر نزدیکتر باشد، نتیجه‌ی حاصل از روش‌های مورد مطالعه به واقعیت نزدیکتر می‌باشد. همان‌طور که از جدول بالا مشاهده می‌شود با توجه به میزان خطای محاسبه شده، روش PSIAC در برآورد میزان رسوب در مقایسه با روش‌های دیگر مناسب‌تر می‌باشد.

منابع

۱- احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱. انتشارات دانشگاه تهران.

۲- برزو، آرش؛ محمدرضا ممیزی؛ عباسعلی نیک‌اندیش (۱۳۸۷). مقایسه سه روش EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه چهل چشمه استان فارس، فصلنامه دانش کشاورزی ایران. جلد ۵، شماره ۱.

۳- تاجگردان، تکتم، ایوبی، شمس‌ا...، شتایی، جویباری، شعبان، (۱۳۸۶). برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و GIS با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت)، نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۹.

۴- جلیلی، خلیل؛ مسلم حدیدی (۱۳۸۴). برآورد کمی و کیفی- فرسایش خاک و تولید رسوب به روش MPSIAC با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کنشت کرمانشاه)، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب.

۵- دادخواه، منوچهر؛ علی نجفی‌نژاد (۱۳۷۶). کارایی مدل EPM در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز سد لتیان، مجله منابع طبیعی ایران.

۶- راستگو، سعید؛ بیژن قهرمان؛ حسین ثنایی‌نژاد؛ کامران داوری؛ سعیدرضا خداشناس (۱۳۸۵). برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ‌کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.

۷- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۵). فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

۸- رنگزن، کاظم؛ علیرضا زراسوندی؛ ارسلان حیدری (۱۳۸۶). مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ‌گتوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۴