

# مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی ای پی ام و ام پسیاک با کمک دانش فازی

سعید خدابخش<sup>(۱)\*</sup>، اکبر محمدی<sup>۲</sup>، بهروز رفیعی<sup>۳</sup> و عیسی بزرگزاده<sup>۴</sup>

۱. دانشیار، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳. استادیار، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴. کارشناس ارشد عمران شرکت آب نیرو

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

## چکیده

در این پژوهش از دو روش تجربی MPSIAC و EPM برای برآورد فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار (حوضه سد دز، استان لرستان) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. نقشه‌های توپوگرافی، کنترل صحرائی، تصاویر سنجنده LISS III ماهواره IRS-1D، نتایج ایستگاه‌های رسوب‌سنجی از جمله داده‌های اولیه این پژوهش می‌باشند. با استفاده از این اطلاعات، میزان شاخص‌های موثر در مدل‌های ام پسیاک و ای پی ام در محیط GIS محاسبه و سپس از تلفیق این لایه‌ها میزان رسوب ویژه و سالانه برحسب زیرحوضه‌ها تخمین زده شده است. در هر دو روش بیش از ۸۰ درصد منطقه در رده فرسایشی زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفتند. مناطق با فرسایش پذیری زیاد در جنوب غربی منطقه و در جایی که از سازندهای پابده، گورپی و گچساران تشکیل شده‌اند واقع شده‌اند. در گام بعدی، با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، از دو روش خوشه‌سازی و مدل فازی به ترتیب برای پهنه‌بندی پیوسته و پیش‌بینی میزان رسوب‌زایی و فرسایش استفاده گردیده است. نتایج حاصل از پهنه‌بندی پیوسته نشان داده که مرزها در طبیعت به صورت تدریجی می‌باشد. در نهایت میزان رسوب ویژه و سالانه حوضه آبریز سزار در مدل‌های ای پی ام و ام پسیاک به ترتیب برابر با ۱۵۱۵/۹۸، ۵۲۰۵۷۲۵/۱۲ مترمکعب در کیلومتر مربع و ۸۸۰/۱۸، ۲۹۴۲۸۱۸/۲۰ مترمکعب برآورد شدند. این مقادیر برای مدل‌های تلفیقی فازی- ای پی ام و فازی- ام پسیاک به ترتیب برابر با ۱۶۹۷/۹۰، ۵۸۳۰۴۱۲/۰۰، ۸۵۹/۰۸ و ۲۸۶۹۲۸۰/۳۰ می‌باشند. هم‌چنین مقایسه هر سه روش نشان می‌دهد که هر چند هر سه روش تمایل به بیش برآورد دارند، ولی روش ام پسیاک نتایج بهتری ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ام پسیاک، ای پی ام، حوضه سزار، فرسایش و رسوب‌زایی

## مقدمه

زاگرس، تغییر کاربری زمین، پوشش ضعیف گیاهی و سازندهای حساس به فرسایش مثل مارن و شیل می‌باشند که سالانه باعث تولید میلیون‌ها تن رسوب می‌شوند (Tangestani, 2006). این رسوبات توسط عوامل متعددی حمل شده و در دشت‌ها و یا مخزن سدها ته‌نشین می‌گردند.

محاسبه میزان فرسایش در یک حوضه آبریز در صورت موجود بودن آمار کافی از دبی و رسوب، با به کارگیری روش‌های آماری امکان‌پذیر می‌باشد. ولی نبود یا کمبود داده‌ها در زمینه فرسایش

فرسایش خاک یکی از مشکلات عمده‌ای است که سالانه صدمات جبران‌ناپذیری را به اقتصاد کشورها وارد می‌کند. فرسایش خاک نه تنها موجب از بین رفتن خاک حاصل‌خیز داخل حوضه می‌گردد، بلکه در خارج از حوضه (مناطق نظیر کانال‌های انتقال آب و سدهای مخزنی و ...) نیز تاثیر منفی دارد. از مهم‌ترین عوامل تشدید فرسایش حوضه‌های آبریز حاشیه‌کوه‌های

\* نویسنده مرتبط

زاگرس چین خورده و بخش کوچکی از آن در زاگرس مرتفع واقع شده و غالباً از سنگ‌های شیل، مارن، آهک مارنی، آهک، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است. قدیمی ترین واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه شامل شیل و آهک سازند میلا به سن اوردوسین و جوان ترین واحد سنگی با سن پلیو- پلیوستوسن شامل کنگلومرای سازند بختیاری می باشد.

### تولید داده ها

روش مورد مطالعه در این پژوهش شامل مقایسه فرسایش و رسوب زایی با استفاده از روش های تجربی ای پی ام و ام پسیاک و سپس مقایسه نتایج آن ها با استفاده از دانش فازی است. داده های مورد نیاز در این مطالعه شامل، نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای Land Sat ETM، عکس های هوایی، بازدیدهای صحرایی (سنجش شدت فرسایش، کنترل زمین شناسی سطحی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب) و داده های مطالعات پیشین است. از داده های مطالعات پیشین بر روی حوضه دز (دزآب، ۱۳۸۴) در محاسبه مشخصه (پارامتر) های مرتبط با شدت فرسایش و رسوب زایی و از نتایج خاک شناسی (جاماب، ۱۳۶۵) در محاسبه ضریب فرسایش پذیری خاک استفاده شده است.

تمام محاسبات، تخمین ها و تهیه نقشه های مرتبط با فرسایش و رسوب زایی با استفاده از دانش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نرم افزار ARC/GIS) امکان پذیر شده است. در ادامه، روش تولید این لایه ها اطلاعاتی در هر مدل به کار رفته توصیف خواهند شد.

### مدل ای پی ام

این روش برای اولین بار با استفاده از اطلاعات حاصل از اندازه گیری رسوب زایی زمین های مستعد فرسایش، در یک دوره ۴۰ ساله در کشور یوگسلاوی سابق ارایه گردیده است (Gavrilovic, 1988). از آنجا که این روش قادر است با استفاده از ۴ مشخصه (پارامتر) نتایج مناسب و قابل قبولی از میزان فرسایش را محاسبه نماید، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه آبخیز (J)، ضریب استفاده از زمین (Xa)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه (I) در واحدهای مختلف اراضی یا در شبکه های ایجاد شده در نقشه هایی با فرمت رستر<sup>۱</sup> و با پیکسل هایی در ابعاد ۲۴×۲۴ متری مورد بررسی قرار گرفته است.

شرایط فرسایش حوضه آبخیز (J) - با توجه به این که فرسایش حوضه آبخیز به مشخصه های شیب، پوشش گیاهی، خاک، سنگ های رخنمون یافته و کاربری زمین وابسته می باشد، مقدار این پارامتر در منطقه مورد مطالعه از ترکیب لایه های فوق در نرم افزار ARC/GIS محاسبه گردیده است.

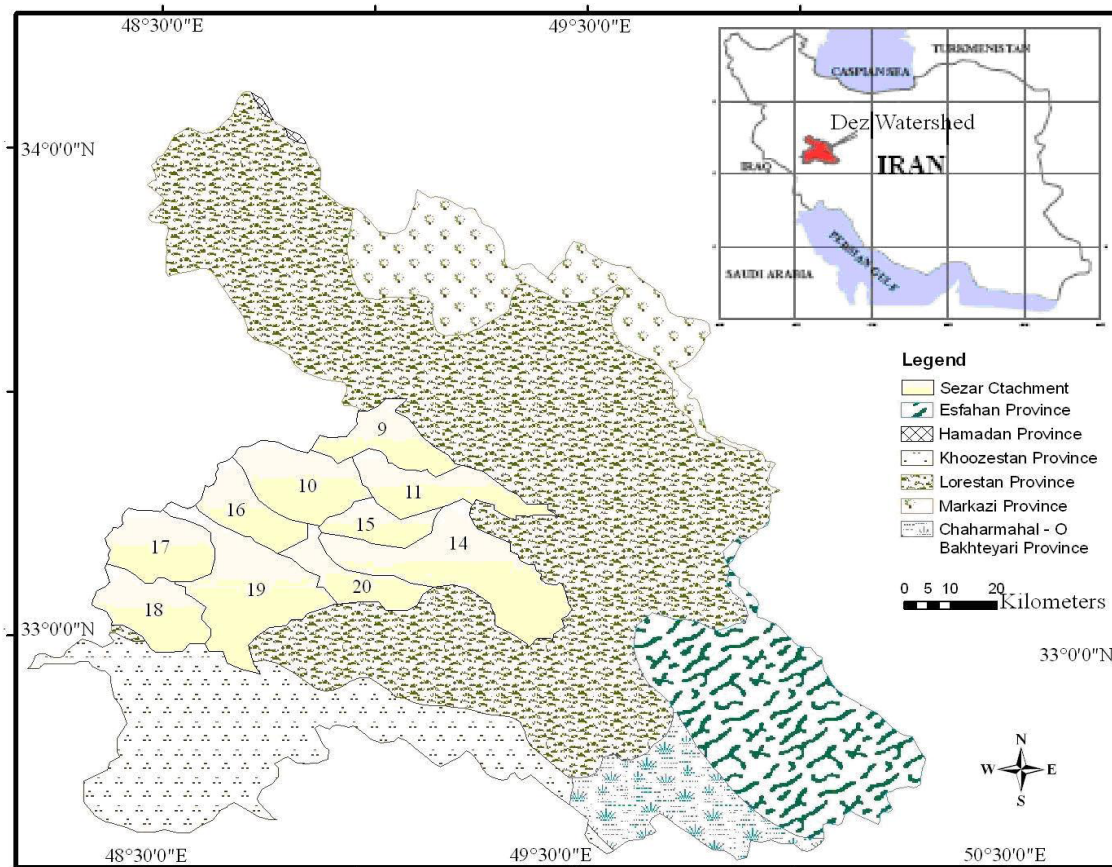
خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه های کشور کاربرد روش های تجربی را برای برآورد فرسایش خاک الزامی می کند. استفاده از این روش ها در شرایط نبود یا کمبود آن می تواند به عنوان جایگزین برای برآوردن فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد.

روش پسیاک (PSIAC, 1968) اولین بار در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب آمریکا به کار برده شده و بعضی بر این عقیده هستند که به کارگیری این روش برای مناطق مشابهی در ایران مناسب است (باقرزاده، ۱۳۷۲، جلالیان و همکاران، ۱۳۷۴. Sadeghi, 1993)؛ روش ای پی ام برای اولین بار در کشور یوگسلاوی سابق (Gavrilovic, 1988) به کار رفته و در برخی از حوضه های ایران نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Sadeghi, 1993; Refahi and Nematti, 1995; Tangestani, 2001, 2006) کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و دانش سنجش از دور در سال های اخیر در زمینه فرسایش و رسوب زایی توسعه زیادی یافته است. با استفاده از سنجش از دور می توان به ارزیابی داده های مورد نیاز برای محاسبه فرسایش پرداخت و سپس داده های تولید شده را در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش نمود. پیشرفت های اخیر، کاربردهای نوینی از سیستم استنتاج فازی در مطالعات حوضه آبریز (Zhu et al., 1997; Zhu and Mitra et al., 1998; Zhu, et al., 2001) و کاربرد مدل سازی فازی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیا در زمینه فرسایش پذیری (Baja Metternicht and Gonzalez, 2005; et al., 1999, NisarAhamed et al., 2000; Robinson, 2002) را در دسترس قرار می دهند.

بر این اساس، در پژوهش حاضر از دو روش ای پی ام و ام پسیاک به عنوان روش های تجربی جهت محاسبه فرسایش و رسوب زایی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. در گام بعد به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش فازی، مرزهای تدریجی در نقشه های پهنه بندی شناسایی شده اند.

### منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه سزار قسمتی از حوضه آبریز سد دز (زون زاگرس، استان لرستان) با مساحت ۳۳۷۰ کیلومتر مربع و طول محیط ۲۶۷ کیلومتر می باشد. این زیرحوضه در محدود ۳۰'، ۴۹° تا ۱۰'، ۴۸° طول شرقی و ۲۷'، ۳۳° تا ۵۸'، ۳۲° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). بیشینه بارش سالانه در محدوده مورد مطالعه بین ۱۱۷۵/۵ میلیمتر در ایستگاه تنگ پنج تا ۳۱۸/۸ میلیمتر در ایستگاه دو خواهران متغیر است (دزآب، ۱۳۸۴). کمینه ارتفاع درحوضه در حدود ۵۰۰ و بیشینه آن به بیش از ۴۰۰۰ متر از سطح دریا می رسد. پوشش گیاهی حوضه شامل نوع آلپی در ارتفاعات، نیمه استپی در ارتفاعات پایین حوضه و سه ناحیه بینابینی جنگل های خشک زی، در ارتفاعات بالا، متوسط و پایین می شود (جاماب، ۱۳۶۵). قسمت عمده زیر حوضه سزار در زون



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه‌های مورد مطالعه در محدوده حوضه آبریز سد دز.

جدول ۱- نحوه امتیازدهی به عامل زمین‌شناسی سطحی (Y در مدل ای پی ام و Y1 در مدل ام پسیاک)

امتیاز MPSIAC	امتیاز EPM	لیتولوژی	زمین‌شناسی سطحی
۵	۱	شیل و آهک	سازند میلا
۶	۱/۲	آهک و دولومیت	سازند خانه کت
۴	۰/۸	دولومیت آهک	سازند نیریز
۳	۰/۶	آهک و دولومیت	سازند سورمه
۴	۰/۸	آهک	سازند امیران
۸	۱/۶	شیل و مارن	سازند گورپی
۸	۱/۶	شیل و مارن	سازند پابده
۶	۱/۲	ماسه و آهک	سازند کشکان
۴	۰/۸	آهک	سازند تله زنگ
۲	۰/۵	آهک	سازند آسماری
۹	۲	مارن	سازند گچساران
۳	۰/۶	کنگلوپرا	سازند بختیاری
۱	۰/۲۵	آهک	آهک های پرمین

به دست می‌آید (t میانگین درجه حرارت سالانه در حوضه آبخیز به درجه سانتیگراد). برای این منظور حوضه مورد مطالعه با توجه به ایستگاههای هواشناسی و ارتفاع آنها در حوضه به نقاط همگن همانند شکل ۵ و جدول ۲ تقسیم بندی شده است.

جدول ۲- ضریب درجه حرارت (T) در منطقه مورد بررسی برای رده های مختلف دمایی.

Temperature (°C)	T
۵-۰	۰/۵۹۲
۱۰-۵	۰/۹۲۲
۱۵-۱۰	۱/۱۶۲
۲۰-۱۵	۱/۳۶۰
۲۵-۲۰	۱/۵۲۳

جهت تعیین متوسط سالانه تولید رسوب ویژه برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی، ابتدا متوسط وزنی Z برای هر واحد هیدرولوژیکی محاسبه شده، سپس مقدار رسوب سالانه حوضه با استفاده از رابطه ۳ (Gavrilovic, 1988) تعیین می‌گردد.

(۳)

$$V_p = F * W_{sp}$$

که در آن  $V_p$  رسوب حوضه برحسب مترمکعب در سال و F مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع میباشد (جدول ۳).

### روش MPSIAC

در این روش ۹ ضریب مختلف بر اساس جدول استاندارد و رابطه‌های تعریف شده در مدل محاسبه شده و سپس نتایج به صورت لایه‌های اطلاعاتی با فرمت رستر وارد محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی گردیده است.

**زمین‌شناسی سطحی (Y1)** - در روش ام پسیاک امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی از رابطه ۴ (جدول ۳) حاصل می‌شود که بر اساس نوع سنگ، سختی، شکستگی و هوازدگی تعیین می‌گردد. جهت تعیین این عامل از نقشه زمین‌شناسی موجود برای امتیازگذاری فرسایشی سازندهای زمین‌شناسی سطحی استفاده گردید. بر اساس مقاومت سنگ‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش (فیض نیا، ۱۳۷۴)، ۵ رده شناخته شده است که کم‌ترین امتیاز در آنها به آهک‌های پرمین و بیشترین امتیاز به بخش مارنی سازند گچساران نسبت داده شده است (جدول ۱).

**ضریب استفاده از زمین (Xa)** - مقدار این پارامتر پس از تولید نقشه پوشش گیاهی که بر مبنای عکس‌های ماهواره‌ای ایجاد شده است به دست آمده است. نقشه پوشش گیاهی نیز با جدول استاندارد مدل ای پی ام (Gavrilovic, 1988) مقایسه و ضرایب کاربری اراضی در آنها اعمال شد.

**حساسیت خاک و سنگ به فرسایش (Y)** - این پارامتر از ترکیب دو لایه زمین‌شناسی و خاک شناسی در محیط ARC/GIS محاسبه گردیده است. مقدار این پارامتر با توجه به رخنمون‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) بر اساس روش فیض نیا (۱۳۷۴) و نمونه‌های خاک، به ترتیبی تقسیم بندی گردیده است که کم‌ترین امتیاز (۰/۲۵) به آهک‌های پرمین، به علت مقاومت بالا در برابر فرسایش اختصاص داده شود (جدول ۱).

**شیب متوسط حوضه (I)** - در این مطالعه جهت استخراج پارامتر شیب، ابتدا نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده در بانک داده‌ها با استفاده از روش درون‌یابی<sup>۱</sup> در محیط GIS به نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM تبدیل شدند و آنگاه از این نقشه با دستور SLOPE در محیط نرم افزاری، نقشه درصد متوسط شیب استخراج گردیده است (شکل ۳).

با توجه به چهار فاکتور محاسبه شده در مرحله قبل (شرایط فرسایش حوضه آبخیز، ضریب استفاده از زمین، حساسیت خاک و سنگ به فرسایش و شیب متوسط حوضه)، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش برای هر یک از اجزای واحد اراضی یا شبکه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (Gavrilovic, 1988).

(۱)

$$Z = Y \cdot X_a (J + I^{0.5})$$

با قرار دادن مقدار Z در جدول استاندارد (Gavrilovic, 1988) که براساس شدت فرسایش و ضریب شدت فرسایش (Z) تنظیم شده است، رده (کلاس) فرسایش برای هر واحد یا شبکه از حوضه تعیین می‌گردد و نقشه فرسایش حوضه نیز بر اساس رده‌های فرسایش واحدهای اراضی و یا شبکه‌ها تهیه می‌گردد. برای این منظور، با اعمال فرمول ۱ در محیط ARC/GIS، نقشه فرسایش حوضه بدست آمده است. سپس این نقشه مطابق با جدول استاندارد به کلاسهای مختلف در گستره حوضه آبخیز طبقه‌بندی گردید (شکل ۴). در روش EPM برای تخمین متوسط سالانه رسوب ویژه در حوضه آبخیز، از رابطه ۲ (Gavrilovic, 1988) استفاده شده است.

(۲)

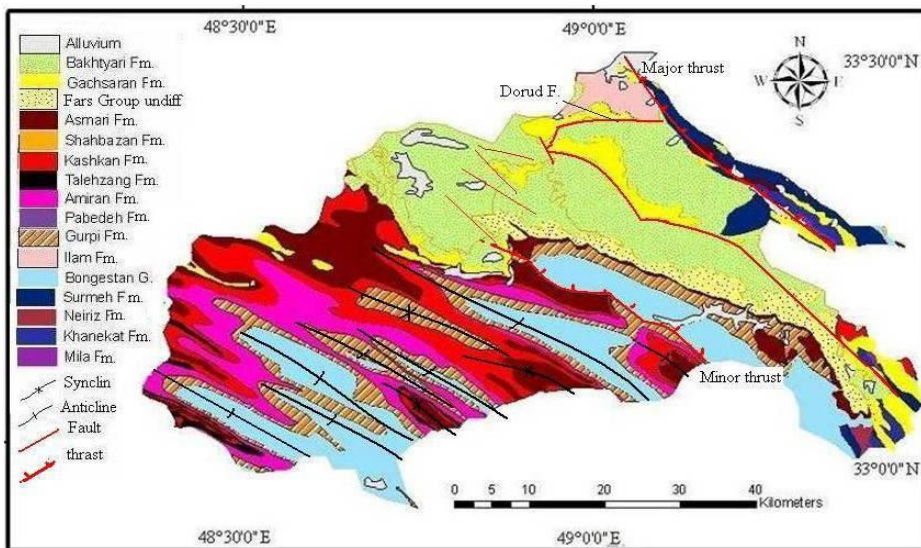
$$W_{sp} = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1.5}$$

$W_{sp}$ : بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال

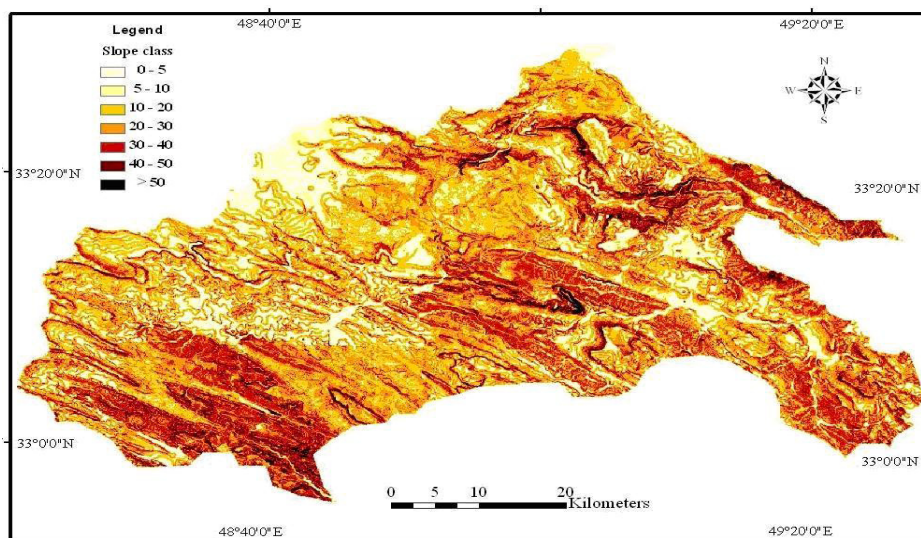
H: ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبخیز بر حسب میلی‌متر،

T: ضریب درجه حرارت با استفاده از رابطه  $T = (t / 10 + 0.1)^{0.5}$

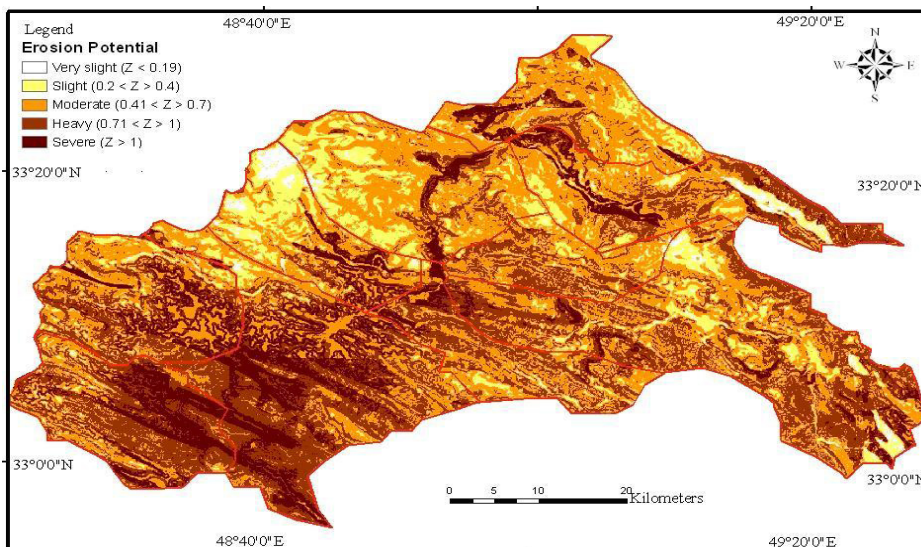




شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳- نقشه شیب متوسط (درصد) حوضه آبریز سزار.



شکل ۴- نقشه فرسایش زیرحوضه سزار بر اساس ضریب شدت فرسایش (Z) به روش EPM

جدول ۳- عوامل موثر در مدل MPSIAC ونحوه امتیازدهی به آنها (Safamanesh et al., 2006).

ردیف	عوامل موثر در فرسایش و تولید رسوب	شرح پارامترها	نحوه محاسبه امتیاز در روش MPSIAC
۱	زمین شناسی	$X_1$ : امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش (۰-۱۰)	$Y_1 = X_1$ رابطه ۴
۲	خاک	$K$ : عامل فرسایش پذیری خاک در معادله جهانی	$Y_2 = 16.67k$ رابطه ۵
۳	آب و هوا	$X_3$ : بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله	$Y_3 = 0.2 X_3$ رابطه ۶
۴	روان آب	$R$ : ارتفاع روان آب سالانه $Qp$ و $(mm)$ دبی ویژه سالانه $(m^3/s.km^2)$	$Y_4 = 0.006 R + 10 QP$ رابطه ۷
۵	پستی و بلندی	$S$ : درصد شیب	$Y_5 = 0.33 S$ رابطه ۸
۶	پوشش گیاهی	$P_b$ : درصد اراضی لخت	$Y_6 = 0.2 P_b$ رابطه ۹
۷	کاربری اراضی	$P_c$ : درصد تاج پوشش گیاهی	$Y_7 = 20 - 0.2 P_c$ رابطه ۱۰
۸	وضعیت فعلی فرسایش	$SSF$ : امتیاز عامل سطحی خاک در مدل B.L.M	$Y_8 = 0.25 SSF$ رابطه ۱۱
۹	فرسایش رودخانه ای	$SS.F.G$ : امتیاز فرسایش خندقی در مدل B.L.M	$Y_9 = 1.67 SS.F.G$ رابطه ۱۲

درصد تاج پوشش گیاهی، مشخصه نحوه استفاده از زمین محاسبه می‌گردد. در مطالعات سنجش از دور، جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی، از اعمال شاخص های پوشش گیاهی بر روی تصویر ماهواره ای استفاده می‌شود. جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی، شاخص NDVI<sup>۱</sup> به دلیل این که هم بستگی بالایی را با درصد تاج پوشش گیاهی نشان می‌دهد، انتخاب گردیده است. مقدار این پارامتر پس از اعمال رابطه ۹ (جدول ۳) به دست می‌آید.

**پوشش زمین (Y7)** - منظور از پوشش زمین عبارت است از هر گونه پوششی که خاک را در مقابل عوامل فرساینده مانند ضربه قطرات باران، باد و روان آب محافظت نماید (رفاهی، ۱۳۷۵). در روش MPSIAC برای تعیین امتیاز پوشش زمین از رابطه ۱۰ (جدول ۳) استفاده می‌شود.

**وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه (Y8)** - در روش MPSIAC برای تعیین امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش، از رابطه ۱۱ (جدول ۳) استفاده می‌شود. تعیین این عامل در حوضه با کمک اطلاعات مربوط به داده‌های صحرایی و با توجه به نوع فرسایش در سطح حوضه آبریز با استفاده از جدول BLM صورت گرفته است.

**فرسایش آبراهه‌ای (رودخانه‌ای) و انتقال رسوب (Y9)** - برای تعیین امتیاز این عامل از رابطه ۱۲ (جدول ۳) استفاده شده

**خاک شناسی (Y2)** - در این بررسی ضریب فرسایندهی خاک ( $k$ ) برای محاسبه فاکتور خاک شناسی ( $Y2$ ) خاک از رابطه ۵ (جدول ۳) استفاده شده است.

**آب و هوا (Y3)** - عامل آب و هوا از روی شدت بارش با مدت دوام شش ساعته (در دوره بازگشت دو ساله) در ایستگاه‌های باران-سنجی محدوده مورد مطالعه برآورد شده است (رابطه ۶ در جدول ۳).

**رواناب (Y4)** - در روش MPSIAC برای برآورد امتیاز عامل روان آب، از رابطه ۷ (جدول ۳) استفاده می‌شود. لازم به توضیح است که برای مطالعه آب دهی براساس تناوب دوره‌های خشک و مرطوب، دوره شاخص مطالعات سیلاب بین سال‌های ۸۰-۱۳۳۴ در نظر گرفته شده است، سپس مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای و رواناب برای هر زیرحوضه تعیین گردیده است.

**توپوگرافی (Y5)** - در این مطالعه جهت استخراج پارامتر شیب، ابتدا نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده و در بانک داده قرار گرفتند، سپس این خطوط با استفاده از روش درون‌یابی در محیط GIS به نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM تبدیل شده‌اند و آنگاه از این نقشه با دستور SLOPE در محیط نرم افزاری، نقشه درصد متوسط شیب استخراج گردید (شکل ۲) و پس از اعمال رابطه ۸ (جدول ۳)، نقشه پارامتر  $Y5$  بدست آمده است.

**نحوه استفاده از زمین (Y6)** - در روش ام پسیاک بر مبنای

1- Normalized Difference Vegetation Index

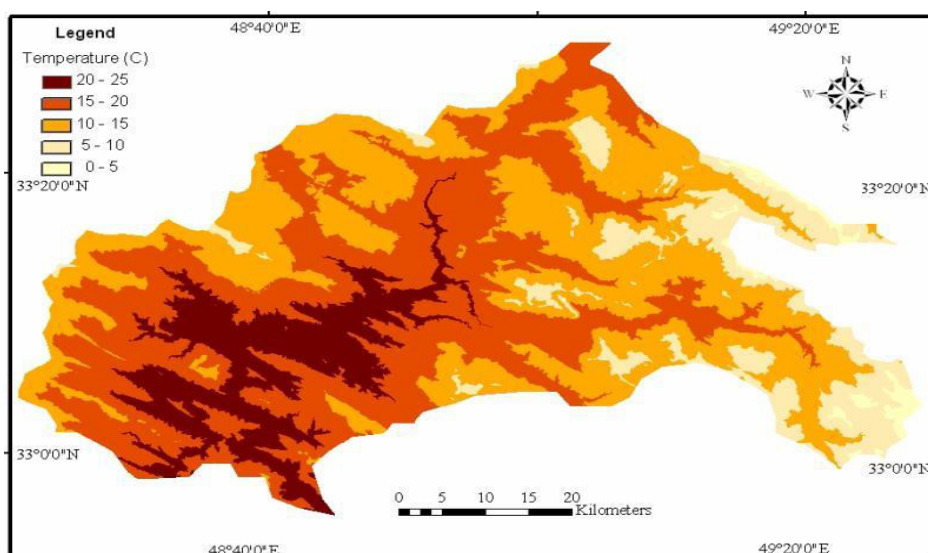
### خوشه سازی فازی با استفاده از روش FCM

در این روش، داده‌های موجود شامل امتیاز فرسایش‌پذیری در طبقه‌بندی ام پسیاک برای ۹ متغیر و هم‌چنین امتیاز فرسایش‌پذیری در طبقه‌بندی ای پی ام برای چهار متغیر از لایه‌های موجود و با استفاده از نرم افزار ARC/View استخراج گردیده است. سپس با حفظ داده‌های مکانی، وارد جعبه ابزار فازی نرم افزار ریاضی Ma-Lab شده و با استفاده از دستورات این جعبه ابزار یا رابط گرافیکی Find cluster روی داده‌ها، خوشه‌سازی (Math Works Co, 2001) انجام گرفته است. با آزمایش سعی و خطا بر روی مراکز خوشه‌ها چنین نتیجه گیری شده است که می‌توان داده‌ها را به سه خوشه تقسیم کرد (جدول های ۴ و ۵). درجه عضویت‌های حاصل، به بانک اطلاعاتی برگردانده شده و با مختصات خود هماهنگ گردیده‌اند، به طوری که جدول حاصله شامل طول و عرض

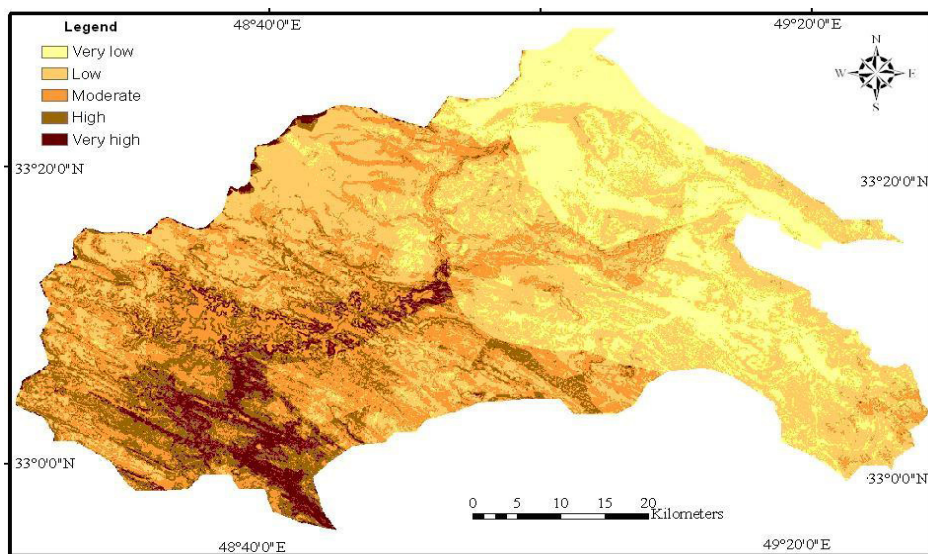
است. به منظور تعیین امتیاز فرسایش آبراهه‌ای و انتقال رسوب، SSF به عنوان یکی از پارامترهای جدول BLM مد نظر قرار گرفته و در نهایت به صورت لایه‌ای اطلاعاتی با فرمت رستر وارد محیط GIS گردیده است. در ادامه جهت انجام برآورد رسوب حاصل از فرسایش، طبق مدل ام پسیاک از رابطه ۱۳ استفاده شده است (Safamanesh et al., 2006).

$$Q_s = 3877e^{0.0353R} \quad (13)$$

در این فرمول، R: امتیاز نهایی حاصل از جمع ۹ پارامتر موجود در مدل پسیاک و  $Q_s$ : میزان رسوبدهی سالانه برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع) میباشد. این ضریب، معیار محاسبه رسوب ویژه و رسوب سالانه قرار گرفته است (جدول ۵).  
نقشه فرسایش حوضه، بر مبنای سلولهای  $24 \times 24$  متر مربعی، مطابق با جدول استاندارد و در رده‌های مختلف در گستره حوضه آبریز تهیه گردیده است (شکل ۶).



شکل ۵- پراکنده‌گی درجه حرارت در حوضه آبریز سزار.



شکل ۶- نقشه فرسایش زیرحوضه سزار بر اساس ضریب شدت فرسایش (R) به روش MPSIAC بر مبنای سلول های  $24 \times 24$  متری.



جدول ۴- مراکز خوشه‌ها در روش MPSIAC با استفاده از روش FCM در حوضه سزار.

شمار خوشه	امتیاز متغیرها در مراکز خوشه در روش MPSIAC									
	زمین شناسی	خاک	آب و هوا	روان آب	پذیر	پوشش گیاهی	کاربری زمین	فرسایش زمین‌های مرتفع	فرسایش رودخانه‌های	امتیاز فرسایش پذیری در روش پسیاک (Z)
۱	۴/۳۵	۵/۰۱	۰/۹۹	۵/۲۳	۷/۵۹	۱۴/۶۴	۱۵/۶۴	۹/۰۸	۱۳/۲۰	۷۵/۱۱
۲	۴/۷۴	۶/۱۸	۱/۲۳	۶/۸۹	۸/۱۸	۱۴/۶۷	۱۵/۶۷	۹/۵۸	۲۰/۵۷	۸۵/۴۳
۳	۵/۵۹	۷/۷۹	۱/۴۷	۸/۸۶	۹/۲۸	۱۵/۰۶	۱۶/۰۶	۱۲/۴۴	۲۰/۹۷	۹۷/۵۶

### بحث

نتایج روش ای پی ام نشان می دهد براساس مشخصه حساسیت خاک و سنگ به فرسایش نشان می دهد، سنگ های نامقاوم و فرسایش پذیر در جنوب غرب منطقه متمرکز می باشند. مقادیر بالای ضریب فرسایش (بیش از ۰/۷) نیز در این ناحیه مشاهده می شود. کم بودن پوشش گیاهی نیز موجب شده تا بیشتر منطقه مورد مطالعه دارای ضریب استفاده از زمین بیش از ۰/۶ باشد. محاسبه میزان تولید رسوب سالانه و رسوب زایی ویژه در مناطق مختلف حوضه نشان داده است بیش ترین مقادیر مربوط به زیرحوضه شماره ۱۹ و کم ترین میزان این دو مشخصه به ترتیب مربوط به زیرحوضه های ۱۵ و ۱۴ می باشد. مقدار رسوب محاسبه شده به این روش بر اساس سلول هایی با ابعاد ۲۴×۲۴ متر در محیط ARC/GIS، در حدود ۵۲۰۵۷۲۵/۱۲ مترمکعب در سال تخمین زده شده است.

نتایج بررسی روش ام پسیاک و تلفیق ۹ مشخصه این روش، نقشه تولید رسوب سالانه حاصل شده است. این نقشه همانند نتایج روش ای پی ام نشان می دهد که تقریباً ۸۰ درصد از حوضه آبریز مورد مطالعه در زمره نواحی با فرسایش پذیری و تولید رسوب بالا قرار می گیرد. با مقایسه نتایج این پژوهش و نتایج کارهای قبلی، مشخص می شود که روش ام پسیاک نتایج دقیق تری را نسبت به روش ای پی ام حاصل می نماید. دلیل این موضوع این است که روش ام پسیاک نسبت به روش ای پی ام در برگزیده پارامترهای بیشتری است که در فرسایش دخالت دارند. میزان برآورد رسوب با استفاده از روش های ام پسیاک و فازی مطابقت زیادی را با همدیگر (شکل های ۹ و ۱۰) و اختلاف زیادی را با روش ای پی ام و ام نشان می دهند. مقایسه نتایج روش فازی با روش ام پسیاک نشان می دهد که هرچند انطباق کامل بین نقشه های حاصل از مدل فازی و نقشه های تولید شده در روش ام پسیاک وجود ندارد، ولی روندهای کلی، به ویژه مناطق با فرسایش پذیری بالا را می توان در این نقشه ها تشخیص داد. نکته قابل توجه آن است که استفاده از پهنه بندی پیوسته به روش FCM نشان داده است که مرز مناطق با فرسایش پذیری متفاوت در طبیعت به صورت تدریجی است و با این روش می توان با دقت بالایی این گونه نقشه های منطقه بندی شده را ایجاد نمود.

جغرافیایی مرکز چهارگوش می باشد و Z در آن، درجه عضویت به خوشه را نشان می دهد. نتیجه حاصل به صورت شکل های (۷ و ۸) نمایش داده شده است.

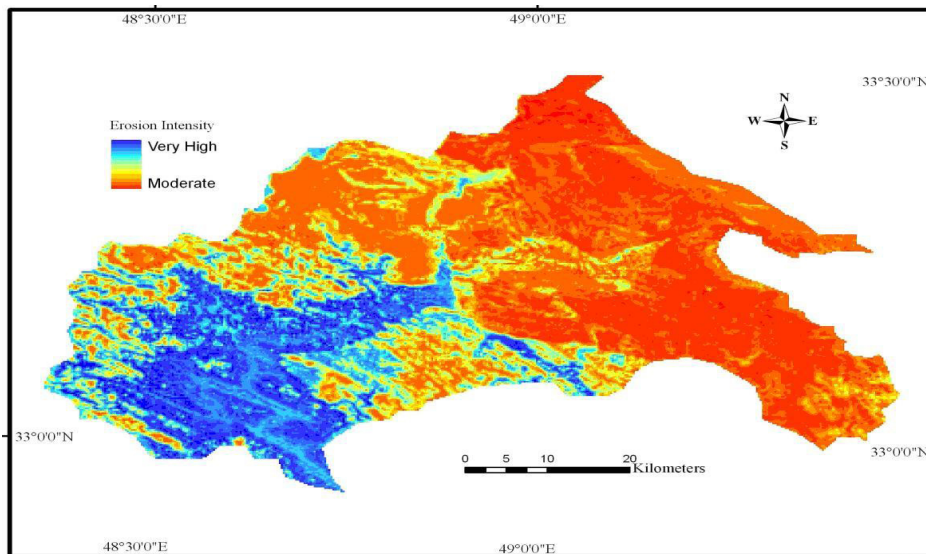
جدول ۵- مراکز خوشه‌ها در روش EPM با استفاده از روش FCM در حوضه سزار.

شمار خوشه	امتیاز متغیرها در مراکز خوشه در روش EPM				
	ضریب فرسایش حوضه آبریز	ضریب استفاده از زمین	ضریب متوسط حوضه	حساسیت خاک و سنگ به فرسایش	ضریب فرسایش پذیری در روش (Z) EPM
۱	0.58	0.24	0.35	0.9	0.83
۲	0.81	0.2	0.51	1.1	1.08
۳	0.34	0.22	0.26	1	0.35

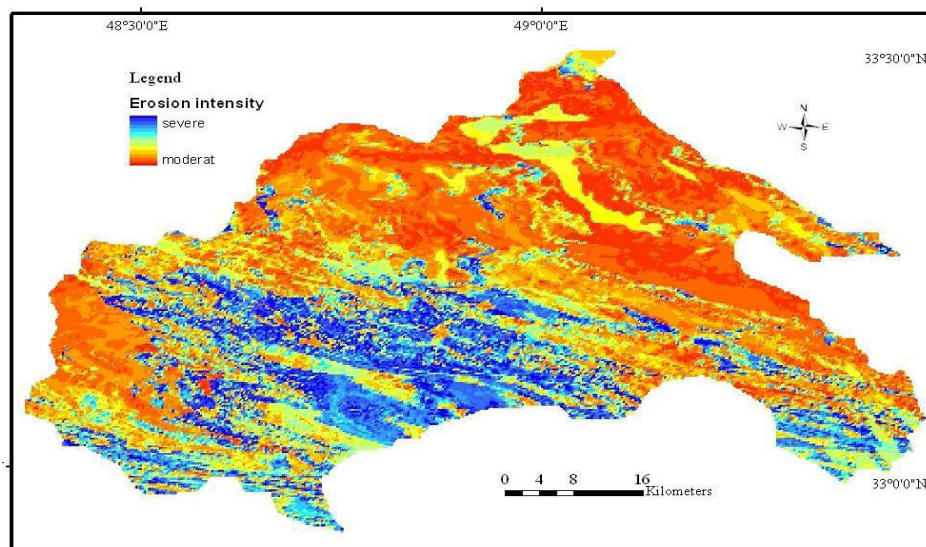
### سیستم استنتاج فازی (FIS)

در این مرحله، ابتدا داده‌ها به ساختار مناسب (برای نرم افزار MatLab) تبدیل می شوند، سپس با استفاده از روش چو (Chiu, 1994) مدل فازی منطقه بر مبنای داده‌ها، و با استفاده از پایگاه قواعد "اگر- آنگاه" ساخته می شود. برای انجام این قسمت از مطالعه، نه متغیر ورودی در روش ام پسیاک و چهار متغیر در روش ای پی ام وارد سیستم می گردد. در ادامه، داده‌ها به صورت یک Mfile که از جمله ساختارهای قابل شناسایی برای Mat Lab است، ذخیره گردیده و آماده بارگذاری در سیستم شده است. روش استفاده شده به تفصیل در (Math Works Co, 2001) آورده شده است. پس انجام محاسبات و انجام روش سعی و خطا، بهترین شعاع تاثیر برای روش MPSIAC و EPM به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۰/۴ نتیجه شده است. در این شعاع تاثیر کم ترین خطا به سیستم اعمال می گردد. در نهایت نتایج استخراج شده با روش های تجربی مقایسه گردیده است (جدول ۶ و شکل های ۹ و ۱۰).





شکل ۷- خوشه بندی (رده بندی شدت فرسایش) حوضه آبریز سزار در روش MPSIAC با استفاده از روش FCM (به مرزهای تدریجی توجه شود).



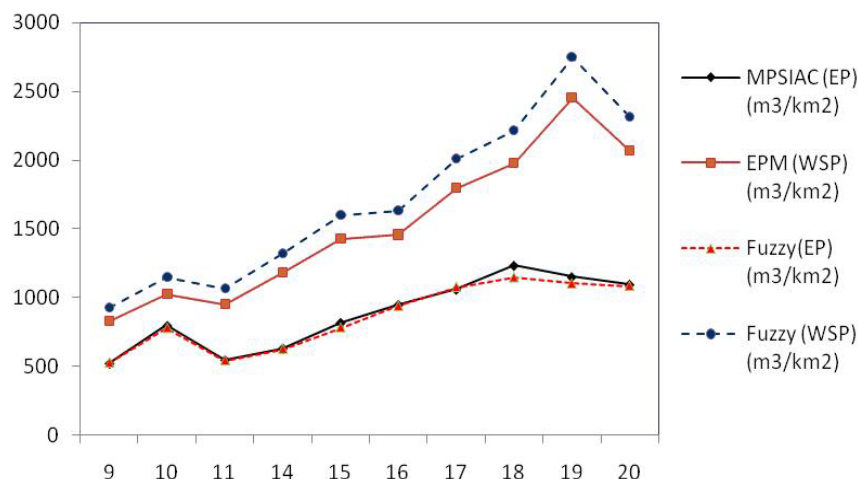
شکل ۸- خوشه بندی (رده بندی شدت فرسایش) حوضه آبریز سزار در روش EPM با استفاده از روش FCM (به مرزهای تدریجی توجه شود).

جدول ۶- میزان رسوب سالانه<sup>۱</sup> (ASY) و رسوب ویژه<sup>۲</sup> (EP) به سه روش EPM، MPSIAC و Fuzzy برحسب زیرحوضه های مورد مطالعه WSP رسوب ویژه VP رسوب سالانه در روش EPM).

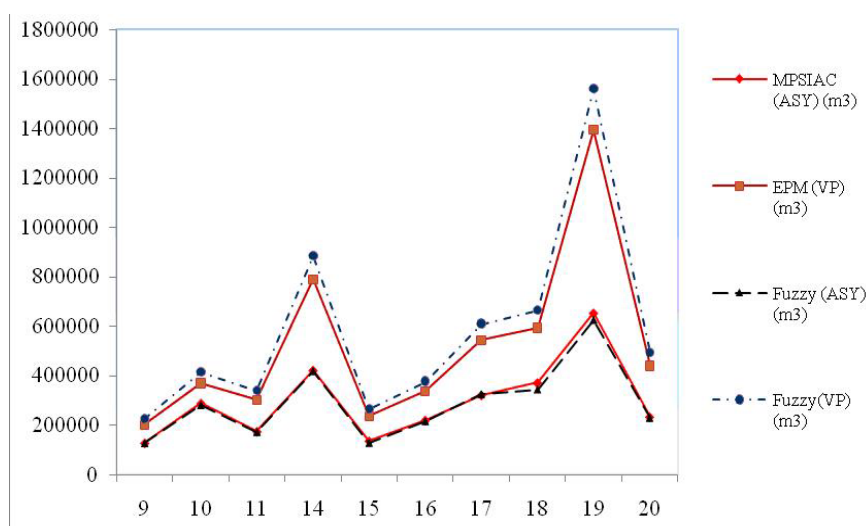
Fuzzy (VP) (m <sup>3</sup> )	Fuzzy (WSP) (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	EPM (VP) (m <sup>3</sup> )	EPM (WSP) (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	Fuzzy (EP) (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	Fuzzy (ASY) (m <sup>3</sup> )	MPSIAC (EP) (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	MPSIAC (ASY) (m <sup>3</sup> )	Area (km <sup>2</sup> )	Sub basin
225788.5	926.8823	۲۰۱۵۹۶/۹	۸۲۷/۶	۴۵۸/۶	۱۱۱۷۲۰/۳	۵۲۱/۳	۱۲۶۹۸۲/۲	۲۴۳/۶	۹
414235	926.8823	۳۶۲۸۵۹/۷	۱۰۲۲/۵	۷۵۰/۶	۲۷۱۵۰۴/۷	۷۶۹/۲	۲۸۷۹۷۷/۵	۳۶۱/۷	۱۰
338658.9	926.8823	۳۰۲۳۷۴/۰	۹۴۹/۹	۵۱۱/۰	۱۶۲۶۵۲/۱	۵۴۶/۱	۱۷۳۸۲۵/۵	۳۱۸/۳	۱۱
883956.6	926.8823	۷۸۹۲۴۲/۹	۱۱۸۰/۳	۶۱۰/۳	۴۰۸۱۳۲/۷	۶۳۰/۶	۴۲۱۶۸۷/۷	۶۶۸/۷	۱۴
264431.4	926.8823	۲۳۶۰۹۹/۵	۱۴۲۷/۴	۷۵۶/۸	۱۲۸۱۵۲/۲	۸۱۷/۴	۱۳۵۱۹۹/۳	۱۶۵/۴	۱۵
376653.6	926.8823	۳۳۶۲۹۷/۸	۱۴۵۷/۱	۸۹۴/۸	۲۰۶۵۳۲/۶	۹۴۸/۲	۲۱۸۸۴۳/۴	۲۳۰/۸	۱۶
609271	926.8823	۵۴۳۹۹۱/۹	۱۷۹۵/۹	۱۰۴۱/۳	۳۱۵۴۱۲/۵	۱۰۶۰/۵	۳۲۱۲۲۰/۵	۳۰۲/۹	۱۷
665203.9	926.8823	۵۹۳۳۹۲/۰	۱۷۹۹/۱	۱۱۴۴/۷	۳۴۳۸۶۶/۱	۱۲۳۴/۲	۳۷۰۷۵۱/۲	۳۰۰/۴	۱۸
1559825	926.8823	۱۳۹۲۷۰۰/۰	۲۴۵۴/۹	۱۱۰۰/۱	۶۲۴۱۰۶/۴	۱۱۵۱/۵	۶۵۳۲۲۶/۶	۵۶۷/۳	۱۹
492388.7	926.8823	۴۳۹۶۳۲/۸	۲۰۶۶/۹	۱۰۳۵/۱	۲۲۰۱۷۰/۶	۱۰۹۵/۹	۲۳۳۱۰۴/۴	۲۱۲/۷	۲۰

1- Annual Sediment Yield

2- Erosion Potentential



شکل ۹- مقایسه میزان رسوب ویژه به روش های MPSIAC، EPM، مدل فازی EPM و مدل فازی MPSIAC در حوضه آبریز سزار (محور افقی: شماره زیر حوضه و محور عمودی: رسوب ویژه به واحد متر مکعب در کیلومتر مربع).



شکل ۱۰- مقایسه میزان رسوب سالانه به روش های MPSIAC، EPM، مدل فازی EPM و مدل فازی MPSIAC در حوضه آبریز سزار (محور افقی: شماره زیر حوضه و محور عمودی: رسوب سالانه به واحد متر مکعب).

## نتیجه گیری

حالی است که در روش ام پسیاک زیر حوضه شماره ۹، ۱۰، ۱۱ در رده فرسایشی متوسط، زیرحوضه های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۲۰ در رده فرسایشی زیاد و زیرحوضه های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ در رده فرسایشی خیلی زیاد قرار می گیرند.

در هر سه روش ای پی ام، ام پسیاک و فازی بیشترین میزان تولید رسوب مربوط به سازندهای پاینده و گورپی و گچساران می باشد که در جنوب و جنوب غربی حوضه واقع شده اند. اختلاف بین مقادیر محاسبه شده میزان رسوب سالانه به روش ام پسیاک و مدل فازی ناچیز می باشد. این در حالی است که این اختلاف در مدل فازی به روش ای پی ام زیاد می باشد و دقت روش ام پسیاک در برآورد میزان رسوب را نشان می دهد. در نهایت میزان رسوب ویژه و سالانه حوضه آبریز سزار در مدل های ای پی ام، ام پسیاک، مدل فازی ای پی ام و مدل فازی ام پسیاک به ترتیب برابر با ۸۸۰/۱۸، ۹۰/۱۸، ۱۵۱۵/۹۸، ۲۹۴۲۸۱۸/۲۰، ۵۲۰۵۷۲۵/۱۲ مترمکعب در کیلومتر مربع می باشد.

این پژوهش با هدف برآورد میزان فرسایش و رسوب زایی و همچنین پهنه بندی مناطق حساس به فرسایش در ۱۰ زیرحوضه از حوضه آبریز سزار به سه روش ای پی ام، ام پسیاک و فازی انجام شده است. نتایج حاصله نشان می دهند که در هر دو روش ای پی ام و ام پسیاک، بیشترین میزان فرسایش مربوط به زیرحوضه شماره ۱۹ و کمترین مقدار آن مربوط به زیرحوضه شماره ۹ می باشد. میزان برآورد رسوب با استفاده از روش های ای پی ام و ام پسیاک اختلاف زیادی را با هم نشان می دهند. منطبقه مورد مطالعه از لحاظ فرسایش پذیری در سه رده فرسایشی متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار می گیرد. نتایج هر دو روش نشان می دهند که حدود ۸۰ درصد از حوضه آبریز سزار در رده فرسایشی شدید و خیلی شدید قرار می گیرند. در روش ای پی ام، زیر حوضه شماره ۹ در رده فرسایشی متوسط و زیرحوضه های ۱۰، ۱۱، ۱۴ و ۱۵ در رده فرسایشی زیاد و زیرحوضه های ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در رده فرسایشی خیلی زیاد قرار می گیرند. این در

## منابع

west Area and Selection and Evaluation of Measures for Reduction of Erosion and Sediment Yield. American Society of Civil Engineers, 98, Report No. HY12.

- Refahi, H., Nematti, M., 1995. Erodibility assessment of the Alamout subcatchment and its effect on the sediment yield. Journal of Agricultural Sciences, Iran 26, 48-56 (in Persian).

- Robinson, V. B., 2002. A Perspective on Geographic Information Systems and Fuzzy Sets. Proceedings, of North American Fuzzy Information Processing Society Proceedings, 1 - 6.

- Sadeghi, H., 1993. Comparison of some erosion potential and sediment yield assessment models in Ozon-Dareh subcatchment. Proceedings of the National Conference on Land Use Planning, Tehran, Iran 1993.

- Safamanesh, R., Azmin Sulaiman, W. N., Ramli, M. F., 2006. Erosion Risk Assessment using an Empirical Model of Pacific South West Inter Agency Committee Method for Zargeh Watershed, Iran. Journal of Spatial Hydrology 6(2).

- Tangestani, H. M., 2001. Integrating geographic information systems in erosion and sediment yield applications using the erosion potential method (EPM) Proceedings of the GIS Research UK, Ninth Annual Conference, 621-623.

- Tangestani, H. M., 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, 27, (585-597).

- Zhu, A. X., Band, L., 1994. A knowledge - based approach to data integration for soil mapping, Canadian Journal of Remote Sensing, 20 (4).

- Zhu, A. and Band, L., 1998. Fuzzy Inference of soil Patterns: Implications for watershed modeling. Canadian Journal of Remote Sensing, 135 - 149.

- Zhu, A., Band, L., Vertessy, R., Dutton, B., 1997. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SOLIM). Soil Science Society of American Journal, 61 (2), 523 - 533.

Zhu, A. X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D., 2001. Soil Mapping Using GIS, Expert Knowledge and Fuzzy Logic, American Journal of Soil Science Society, 65, 1463-1472.

- باقرزاده، م.، ۱۳۷۲. مطالعه کارایی مدل های فرسایش و رسوب زایی با استفاده از دانش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۶ صفحه.

- جاماب، ۱۳۶۵. مطالعات توجیهی آبخیزداری حوضه آبخیز سزار استان لرستان، گزارش شماره ۴ خاک شناسی و طبقه بندی اراضی دیم.

- جلالیان، ا.، قصاره، ا.، م و کریمزاده، ه.، ر.، ۱۳۷۴، تخمین فرسایش برخی از حوضه های آبریز در ایران، مجله دانشگاه اصفهان.

- دزآب، ۱۳۸۴. گزارش مطالعات برآورد رسوب در مناطق حاد فرسایشی حوضه رودخانه دز.

- رفاهی، ح.، ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ ص.

- فیض نیا، س.، ۱۳۷۴. مقاومت سنگ ها در برابر فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ۴۷، ۱۱۶ - ۹۵.

- Baja, S., Chapman D. M., Dragovich, D., 1999. Fuzzy Modelling of Environmental Suitability Index for Rural Land Use Systems: An Assessment Using A GIS. Journal Geoderma 6(13), 593-606.

- Chiu, S., 1994. Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation, J. of Intelligent & Fuzzy Systems, Clustering Algorithms. Journal of Classification, 5, 237-247.

- Gavrilovic, Z. 1988. The use of an empirical method for calculating sediment production and transport in unstudied or torrential streams. Int. Conf. for River Regimw, 411-422

- Math Works Co, 2001. Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB, Useres Guide. Math Works.

- Metternicht, G. and Gonzalez, S., 2005. Fuzzy Erosion: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction. Journal of Environmental Modelling & Software, 20, 715-728.

- Mitra. B., Scott. H. D., Dixon. J. C., McKimmey. J. M., 1988. Applications of Fuzzy Logic to the Prediction of Soil Erosion in a Watershed. Journal of Geoderma, 86, 183 - 209.

- Nisar Ahamed T.R, Gopal Rao, K., Murthy, J. S. R., 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. Journal of Agricultural Systems, 63, 75-95.

- PSIAC, 1968. Report of the Water Management Subcommittee on Factors Affecting Sediment Yield in the Pacific South-