

## برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS

سعید راستگو، بیژن قهرمان، حسین ثنایی‌نژاد، کامران داوری و سعیدرضا خداشناس<sup>۱</sup>

### چکیده

حوضه مورد بررسی در شمال شهر کرمانشاه قرار گرفته است. مساحت حوضه ۱۴۳۴۸ هکتار، حداکثر ارتفاع آن ۳۳۰۰ و حداقل آن ۱۴۰۰ متر می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه و دمارتن، اقلیم حوضه از نوع مرطوب و پوشش زنده گیاه در آن از ۲۵ تا ۵۵ درصد متغیر است. بر اساس مطالعات قابلیت اراضی و خاک‌شناسی، چهار تیپ اصلی اراضی کوهستانی، تپه‌ای، آبرفت‌های باد بزنی شکل سنگ‌ریزه‌دار و دشت‌های دامنه‌ای در حوضه مشخص شده‌اند. در این پژوهش لایه‌های مربوط به مدل‌های MPSIAC (Modified Pasific Southwest Inter Agency) و EPM (Erosion Potential Method) ابتدا در محیط نرم‌افزار Autocad اصلاح شدند و سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc-Info برای لایه‌های اطلاعاتی توپولوژی ساخته شد. بعد از انجام این مراحل عملیات مدیریتی و انطباق لایه‌ها به وسیله نرم‌افزار Arc-View انجام شد. بر اساس روش MPSIAC، میزان فرسایش سالانه حوضه  $1002/7 \text{ m}^3/\text{km}^2$  و بر اساس روش EPM این مقدار  $1739/2 \text{ m}^3/\text{km}^2$  به دست آمد. هم‌چنین میزان رسوب سالانه در روش MPSIAC و EPM به ترتیب برابر با  $307/8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  و  $521/7 \text{ m}^3/\text{km}^2$  محاسبه شد. کلاس فرسایشی مدل MPSIAC متوسط و کلاس فرسایشی مدل EPM در گروه شدید قرار گرفت که با مشاهدات صحرائی چندان منطبق نبود. با توجه به تحقیقات صورت گرفته مدل MPSIAC، نتایج بهتری را نسبت به مدل EPM ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، رسوب، MPSIAC، EPM، GIS

### مقدمه

جلوگیری از تنفس و تغذیه موجودات آبی و آلودگی آب شرب روزمره شده است (۱۷). به این ترتیب فرسایش به برنامه توسعه کشاورزی لطمه وارد می‌سازد. نمونه‌های فراوانی از مشکلات فرسایش و رسوب می‌توان یافت. علی‌رغم مقدار پیش‌بینی شده دو میلیون مترمکعبی رسوب سالانه ورودی به

امروزه شورشدن تدریجی اراضی، از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش حاصل‌خیزی خاک، افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری و آلودگی شیمیایی خاک‌ها باعث بروز مشکلاتی برای کشاورزان و مدیران شده است. غلظت زیاد رسوب باعث کدورت آب و

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

رسوبات در سطح حوضه مورد بررسی اشاره کرد.

## مواد و روش ها

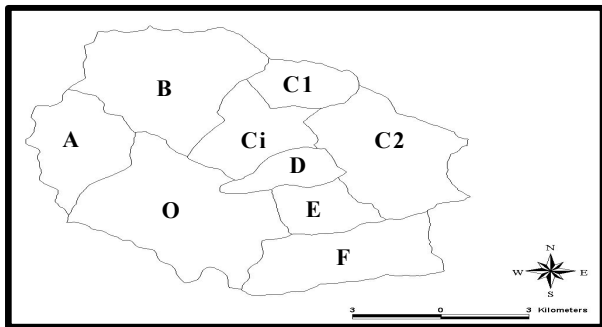
### ۱. موقعیت طبیعی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز تنگ کنشت در شمال شهر کرمانشاه و در بین طول‌های جغرافیایی  $47^{\circ}15'17''$  تا  $47^{\circ}5'50''$  و عرض‌های جغرافیایی  $34^{\circ}23'2''$  تا  $34^{\circ}30'29''$  قرار گرفته است. این حوضه از شمال به کوه روین‌تن و کوه گل‌زرد و از جنوب به کوه واسه و شهر کرمانشاه متصل می‌شود. مساحت حوضه  $14348$  هکتار و حداکثر ارتفاع آن  $3300$  و حداقل ارتفاع آن  $1400$  متر است. ارتفاع متوسط وزنی حوضه نیز  $1837$  متر برآورد شده است. حوضه آبخیز تنگ‌کنشت بر اساس وضعیت شیب و پستی و بلندی آن به  $9$  واحد هیدرولوژی تقسیم‌بندی شده است. موقعیت حوضه تنگ‌کنشت و زیرحوضه‌های حوضه آبخیز تنگ‌کنشت در شکل‌های  $1$  و  $2$  مشخص شده‌اند. منشأ اصلی بارندگی‌های حوضه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن، سیستم‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای است که از سمت غرب وارد کشور می‌شوند. البته بارندگی‌های کوهستانی ناشی از ناپایداری‌های محلی نیز بخشی از این بارندگی‌ها را تشکیل می‌دهد که رطوبت این بارندگی‌ها نیز ناشی از عبور همان کم‌فشارهای مدیترانه‌ای است. میانگین  $27$  ساله بارندگی (مختوم به سال آبی  $80-81$ ) حوضه  $798$  میلی‌متر و اقلیم آن بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه و دمارتن ( $9$ )، از نوع مرطوب می‌باشد. منطقه مورد مطالعه بخشی از قسمت دگرگون نشده زون سندج - سیرجان محسوب می‌شود و خود به دو بخش تقسیم می‌شود که شامل سنگ‌های آهکی بیستون و رادیولاریت‌های کرمانشاه می‌باشد ( $11$ ). تا پیش از شروع جنگ تحمیلی بخش‌هایی از حوضه تنگ‌کنشت محل سکونت روستاییان و پوشش گیاهی این حوضه مورد تعلیف دام‌های آنان بود که در نتیجه مراتع رو به ضعف گذاشته بودند. ولی بعد از شروع جنگ تحمیلی و تناسب منطقه از نظر استراتژیکی، ساکنان منطقه آنجا را ترک کردند و در نتیجه پوشش گیاهی

سد سفیدرود، حجم سالانه رسوب آن در حدود  $38$  میلیون مترمکعب می‌باشد ( $12$ ). برنامه توسعه سازمان ملل ( $20$ ) فرسایش خاک در ایران را در حال حاضر نزدیک به  $20$  تن در هکتار تخمین زده است که نسبت به  $10$  سال گذشته  $10$  تن در هکتار افزایش یافته است. دشت‌های قابل کشت نسبت به کل خشکی‌های زمین  $1$  به  $3$  می‌باشند، بنابراین هر کیلومتر مربع زمین قابل کشت باید جواب‌گوی احتیاجات غذایی  $90$  نفر باشد. ولی سرانه زمین برای کشاورزی در نقاط مختلف جهان یکسان نیست و سرانه آن در آسیا  $0/21$  هکتار و در آمریکا  $1/25$  هکتار یعنی بیش از شش برابر آسیا می‌باشد ( $8$ ).

اکثر حوضه‌های کشور فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده و به این منظور دست‌یابی به مدل‌های مبتنی بر شرایط ویژه حوضه‌های کشور ضروری است ( $10$ ). این روش‌ها از مدل‌های ساده که شامل یک رابطه آماری تا معادلات ترکیبی که مرتبط با فیزیک اجزا و یا مکانیزم روند فرسایش می‌باشند، متغیرند ( $18$ ). چند سالی است که کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در جهان رونق یافته و در دنیای صنعت، مبالغ گزافی برای تهیه آن هزینه می‌گردد و پیش بینی می‌شود که در دهه آینده میلیاردها دلار در این زمینه هزینه شود ( $13$  و  $15$ ). ایران نیز به عنوان یک کشور در حال توسعه در استفاده از این سیستم‌ها مستثنی نیست و وزارت کشاورزی در به کارگیری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پیش قدم بوده است ( $14$ ).

جریان‌های سطحی حوضه آبخیز تنگ‌کنشت وارد شهر کرمانشاه می‌شود. وجود فرسایش در این حوضه باعث بروز مشکلاتی برای اهالی با توجه به گل‌آلود بودن آب شده است. بنابراین از اهداف این پژوهش می‌توان به بررسی میزان فرسایش پذیری و رسوب‌دهی حوضه تنگ‌کنشت با استفاده از دو مدل تجربی MPSIAC و EPM با توجه به اثبات کارایی آنها در حوضه‌های آبخیز کشور ( $1$ )، به کمک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و کارایی این سیستم‌ها در مطالعات فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز و در نهایت ارائه راه حل‌های مناسب برای جلوگیری از فرسایش پذیری و کاهش حجم



شکل ۲. نقشه زیر حوضه‌های موجود در تنگ گنشت



شکل ۱. موقعیت حوضه تنگ گنشت در استان کرمانشاه

مدل، حاصل جمع امتیاز آنها درجه رسوب‌دهی (R) خوانده می‌شود. با استفاده از درجه رسوب‌دهی این امکان ایجاد می‌شود که میزان تولید رسوب در واحدهای مطالعاتی محاسبه شود. رابطه ۱ برای این منظور پیشنهاد شده است (۶).

$$Q_s = 38.77 e^{0.353 R} \quad [1]$$

که در آن  $Q_s$  میزان رسوب دهی سالانه (مترمکعب در کیلومترمربع) و R درجه رسوب دهی یعنی مجموع امتیازات عوامل مختلف در نظر گرفته شده در مدل PSIAC و e عدد نپر (۲/۷۱۸) می‌باشد. نکته‌ای را که نباید از نظر دور داشت این است که در روش اولیه PSIAC عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی امتیازی بین ۱۰- تا ۱۰+ را به خود اختصاص می‌دهند ولی در روش اصلاح شده امتیاز این عوامل بین ۰ تا ۲۰ متغیر است ولی رابطه نهایی محاسبه فرسایش و رسوب برای هر دو روش اولیه و جدید یکسان می‌باشد و این در حالی است که با توجه به نمایی بودن رابطه نهایی با تغییر درجه رسوب‌دهی (R) به میزان ۱۰ واحد تغییرات زیادی در میزان رسوب محاسبه شده به وجود می‌آید (۵). بعد از تعیین درجه رسوب‌دهی برای هر کدام از واحدهای همگن کلاس رسوب‌دهی مطابق جدول ۲ به دست می‌آید.

همان طور که در جدول ۱ دیده شد پارامترهای ۸ و ۹ از روش BLM به دست می‌آیند. مدل BLM بر اساس ارزیابی ۷ عامل حرکت خاک، وجود لاشبرگ در سطح زمین، وضعیت سنگ‌ها، قطعات سنگی تحکیم یافته، وجود فرسایش شیاری، فرم آبراه‌ها و وجود فرسایش خندقی و با دادن امتیاز بین صفر تا پانزده، بر

منطقه تا مرحله کلیماکس پیش رفت. حوضه تنگ گنشت از نظر پوشش گیاهی به ۱۰ تیپ تقسیم می‌شود و پوشش زنده گیاه در آنها از ۲۵ تا ۵۵ درصد متغیر می‌باشد (۳). درصد اراضی لخت در این تیپ‌ها نیز بین ۶ تا ۵۴ درصد برآورد شده است. براساس مطالعات قابلیت اراضی و خاک‌شناسی، چهار تیپ اصلی اراضی کوهستانی، تپه‌ای، آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگ‌ریزه‌دار و دشت‌های دامنه‌ای در حوضه مشخص شده‌اند (۴). چهار تیپ اراضی نام برده شامل ۲۶ جزء واحد اراضی می‌باشد. این واحدها از نظر همگنی و مدیریت دارای اختلاف‌هایی مانند ارتفاع، شیب و عمق خاک هستند (۵).

## ۲. مدل MPSIAC

نسخه اولیه این مدل در سال ۱۹۶۸ توسط Pacific Southwest Inter Agency Committee در آمریکا برای برآورد فرسایش خاک در حوضه‌های فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری رسوب ارائه گردید. این مدل مبتنی بر ارزیابی ۹ عامل زمین‌شناسی، خاک، اقلیم، روان‌آب، پستی و بلندی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فرسایش فعلی حوضه و فرسایش خندقی می‌باشد و به هر عامل امتیازی تعلق می‌گیرد. جانسون و گمبهارت (۱۶) اصلاحاتی را در این مدل به وجود آوردند و آن را فرمول اصلاح شده پسپاک (MPSIAC) نامیدند و مدل را از حالت کیفی به صورت کمی تبدیل کردند. جدول ۱ عوامل پیشنهاد شده در این روش و نحوه امتیازدهی به آن را مشخص می‌کند. پس از تعیین امتیاز هر یک از عوامل نه‌گانه در

جدول ۱. عوامل مؤثر در مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن

ردیف	عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب	نحوه محاسبه امتیاز در روش MPSIAC	شرح پارامترها
۱	زمین شناسی	$Y_1 = X_1$	$X_1$ : امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش آبی
۲	خاک <sup>۱</sup>	$Y_2 = 26/67K$	K: عامل فرسایش پذیری در معادله جهانی
۳	آب و هوا	$Y_3 = 0/2X_3$	$X_3$ : بارندگی ۶ ساعته با دور بازگشت ۲ سال
۴	روان آب	$Y_4 = 0/006R + 10Qp$	R: ارتفاع روان آب سالانه (mm) و Qp دبی ویژه سالانه (CMS/km <sup>2</sup> )
۵	پستی و بلندی	$Y_5 = 0/33S$	S: شیب متوسط حوضه (%)
۶	پوشش گیاهی	$Y_6 = 0/2X_6$	$X_6$ : درصد اراضی لخت
۷	کاربری اراضی	$Y_7 = 20 - 0/2X_7$	$X_7$ : درصد تاج پوشش
۸	وضعیت فعلی فرسایش	$Y_8 = 0/25X_8$	$X_8$ : مجموع امتیازات مدل BLM*
۹	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب	$Y_9 = 1/67X_9$	$X_9$ : امتیاز فرسایش خندقی در مدل BLM*

۱. با کمک جدول تکمیلی استون و هیلبرن (۱۹)

\*: در ادامه از مدل BLM (Bureau of Land Management) بیشتر صحبت خواهد شد.

جدول ۲. تعیین میزان تولید رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش PSIAC

نمرات نشان دهنده رسوب دهی	تولید رسوب سالانه		شدت رسوب دهی	کلاس رسوب دهی
	(ton/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )		
>۱۰۰	۲۱۴۳/۵	>۱۴۲۹	خیلی زیاد	V
۷۵-۱۰۰	۷۱۴-۲۱۴۳/۵	۴۷۶-۱۴۲۹	زیاد	IV
۵۰-۷۵	۳۵۷-۷۱۴	۲۳۸-۴۷۶	متوسط	III
۲۵-۵۰	۱۴۲/۵-۳۵۷	۹۵-۲۳۸	کم	II
۰-۲۵	۱۴۲/۵	<۹۵	خیلی کم	I

حسب میزان تأثیر آنها در فرسایش استوار است و مجموع شده است (۹):

$$WSP = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1/5} \quad [2]$$

امتیازات عوامل مختلف در این بخش به ۱۰۰ می رسد (۹).

که در آن H بارندگی سالانه (mm)،  $\pi$  عدد ۳/۱۴، WSP نیز

میزان فرسایش (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yr) و Z ضریب شدت فرسایش که از

رابطه ۳ به دست می آید:

$$Z = Y \cdot Xa (f + I^{1/5}) \quad [3]$$

که در آن Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش،

Xa ضریب استفاده از زمین، f ضریب فرسایش منطقه و I

### ۳. مدل (Erosion Potential Method) EPM

روش EPM پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی

سابق به دست آمد و در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی

رژیم رودخانه توسط گاوریلویچ (Gavrilovic) ارائه شد (۹).

محاسبه میزان فرسایش بر این اساس به صورت رابطه ۲ ارائه

MPSIAC و EPM لایه‌های زیادی وجود دارند و از این لایه‌ها باید نقشه شدت فرسایش و میزان رسوب‌دهی تهیه شود، لازم است که این لایه‌ها با هم همپوشانی داده شوند. بنابراین عملیات زیر به روی لایه‌ها صورت گرفته است: تبدیل مختصات جغرافیایی چهار گوشه نقشه‌های اسکن شده به سیستم UTM، ژئورفرنس (نقاط کنترل) نمودن لایه‌های اطلاعاتی برای دقت در انطباق لایه‌ها با نقشه‌های اولیه، انطباق مرز حوضه و زیر حوضه‌ها با لایه‌های مختلف، پلی‌گونی نمودن واحدهای مورد نظر و دادن ضرایب مناسب به هر پلی‌گون، تبدیل لایه‌های پلی‌گونی به رستر (Raster)، برهم‌نهی لایه‌های رستری زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، آب و هوا، روان‌آب، فرسایش خندقی و به دست آوردن نقشه شدت فرسایش بر اساس وزن هر کدام از واحدهای همگن. لازم به ذکر است که در کلیه مراحل فوق ابتدا در محیط Autocad 2000 ویرایش‌های لازم انجام و سپس در محیط Arc-Info برای عوارض توپولوژی ساخته شد و در نهایت در محیط ArcView مدیریت بانک‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه‌های هم‌امتیاز و نقشه‌های نهایی فرسایش و رسوب‌خیزی انجام شد (۵).

## نتایج و بحث

بعد از تهیه نقشه‌های لازم در مدل EPM و MPSIAC، وزن‌دهی به پارامترهای مؤثر در فرسایش و رسوب در محیط GIS صورت پذیرفت.

### ۱. مدل MPSIAC

بر اساس روش نام برده در موارد مورد نیاز ابتدا مرز حوضه و زیرحوضه‌ها با نقشه‌های مورد مطالعه (زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، شیب، کاربری اراضی و فرسایش فعلی) در محیط GIS تطبیق و سپس میانگین ضرایب در هر کدام از زیرحوضه‌ها محاسبه شد. هم‌چنین شدت بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال در سطح حوضه

میانگین شیب حوضه می‌باشد. T نیز ضریب درجه حرارت است که از رابطه ۴ به دست می‌آید و در آن t میانگین دمای سالانه حسب سانتی‌گراد می‌باشد:

$$T = (t / 10 + 0.1)^{0.5} \quad [4]$$

### ۴. روابط فرسایش و رسوب

کلیه مواد فرسایش یافته به صورت بار رسوبی از حوضه خارج نمی‌شوند. ضرایب ثابتی این دو عامل را به هم مرتبط می‌کنند. در مدل MPSIAC برای محاسبه فرسایش ویژه از ضریب در مدل (Sediment Delivery Ratio) SDR (نسبت رسوب به فرسایش) مطابق رابطه ۵ استفاده می‌شود که در آن A مساحت زیرحوضه (مایل مربع) می‌باشد (۶):

$$\text{Log}(\text{SDR}) = 1/8768 - 0.14191 \text{ Log}(10A) \quad [5]$$

در روش EPM نیز این ضریب به صورت نسبت مقدار مواد فرسایش یافته در هر مقطع از رودخانه به مقدار کل فرسایش در سطح حوضه و مطابق رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\text{Ru} = (\text{P.D})^{0.5} / L + 10 \quad [6]$$

که در آن P محیط و L طول حوضه (km) و D نیز اختلاف ارتفاع حوضه (km) می‌باشد. بعد از تعیین Ru، مقدار رسوب ویژه از روابط ۷ و ۸ حاصل می‌شود (۹).

$$\text{GSP} = \text{WSP} \cdot \text{Ru} \quad [7]$$

$$\text{GS} = \text{GSP} \cdot F \quad [8]$$

که در آنها GSP دبی رسوب ویژه و WSP مقدار فرسایش ویژه ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$ )، Ru ضریب رسوب‌دهی، GS دبی رسوب کل ( $\text{m}^3/\text{yr}$ ) و F مساحت حوضه ( $\text{km}^2$ ) می‌باشند.

### ۵. اجرای مدل فرسایش خاک با استفاده از GIS

اطلاعات مورد نیاز این پژوهش نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰: ۱ شامل شیت‌های کندوله با شماره III ۵۴۵۹، بیستون با شماره I ۵۴۵۸ و کرمانشاه با شماره IV ۵۴۵۸ سازمان جغرافیایی ارتش، نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی می‌باشند. با توجه به این‌که در مدل

جدول ۳. امتیازات عوامل نه‌گانه مؤثر در روش MPSIAC برای زیرحوضه‌های تنگ‌کنشت

عامل*	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>in</sub>	D	E	F	O	کل <sup>۱</sup>
زمین‌شناسی	۷/۲۸	۷/۳	۶/۴۴	۵/۵۵	۷/۲	۶/۱۵	۶/۱۷	۵/۶۸	۷	۶/۶۱
خاک	۴/۳۹	۴/۳	۳/۹۷	۵/۵۶	۴/۴۶	۴/۴۶	۴/۶۶	۴/۴۵	۴/۰۳	۴/۴۸
روان‌آب	۴/۰۷	۸/۷۶	۵/۶۷	۳/۳۲	۵/۴۶	۱/۷۶	۲/۶	۴/۶۶	۶/۴۱	۴/۷۴
توپوگرافی	۸/۰۵	۱۰/۱	۱۴/۳۲	۱۵/۷۴	۵/۷۴	۹/۲۴	۱۸/۱۵	۱۶/۲۷	۹/۲۱	۱۱/۵۵
پوشش گیاهی	۴/۴۱	۴/۲۴	۳/۷۳	۲/۷۶	۴/۵۸	۳/۳۲	۲/۹۳	۳/۱۷	۴/۵۳	۳/۸۶
کاربری اراضی	۱۲/۵۹	۱۲/۵۱	۱۲/۳	۱۲/۲۸	۱۲/۵۷	۱۲/۲۵	۱۲/۶	۱۲/۳۲	۱۲/۴۵	۱۲/۴۱
فرسایش فعلی	۸/۷۵	۸	۵/۷۵	۵/۲۵	۶	۵/۵	۶	۶/۲۵	۹/۵	۷/۲۸

\*: امتیاز دو عامل آب و هوا و فرسایش خندقی برای کل حوضه ثابت و به ترتیب برابر ۶/۱ و ۱/۶۷ می‌باشد.

۱. حوضه آبخیز یکپارچه دیده شده است.

شکل ۸ می‌باشد. بعد از تهیه نقشه درجه رسوب‌دهی (R) مجدداً با استفاده از معادله ۱ نقشه جدیدی تحت عنوان نقشه رسوب خیزی با توجه به جدول ۲ به دست آمد که در شکل ۹ مشاهده می‌شود. همچنین این تقسیمات به تفکیک برای هر کدام از زیرحوضه‌های تنگ‌کنشت محاسبه شد. ولی در این قسمت تنها به ارائه مقدار کل فرسایش و رسوب و کلاس هر کدام از زیرحوضه‌ها اشاره می‌شود که در جدول ۴ آمده است.

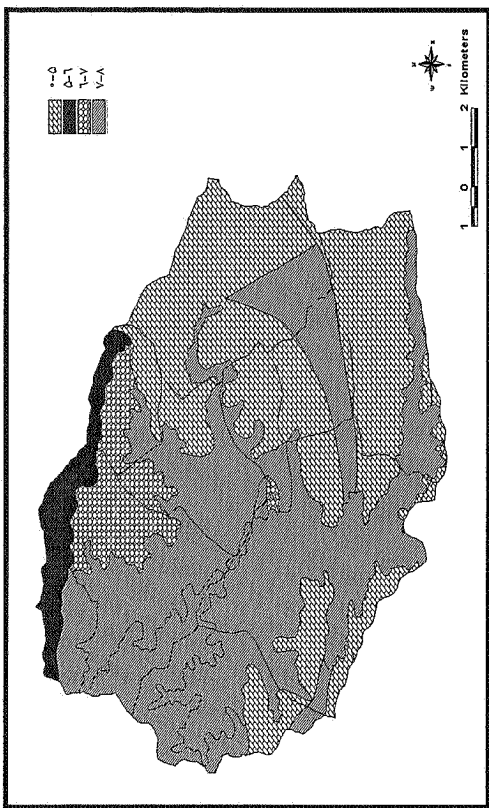
## ۲. مدل EPM

با توجه به مدل EPM ضریب سازندها برابر با ۱/۲ در نظر گرفته شد و رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه‌ای نیز ضریب ۲ را به خود اختصاص دادند (۹). مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در حوضه تنگ‌کنشت در جدول ۵ و شکل ۱۰ که در محیط ArcView تولید شده‌اند، مشخص شده است.

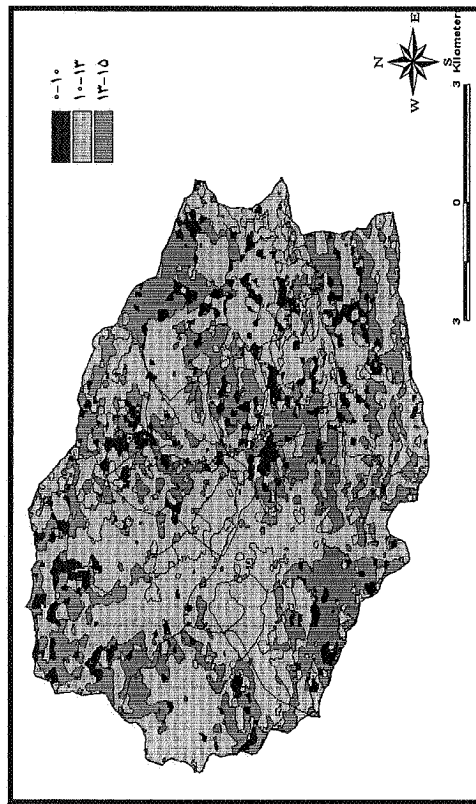
ضریب فرسایش منطقه‌ای (f) که در اصل وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه را در بر می‌گیرد، بعد از انطباق مرز حوضه و زیرحوضه‌ها با نقشه فرسایش برای هر کدام از زیرحوضه‌ها و حوضه تنگ‌کنشت محاسبه شد که در جدول ۵ آمده است. شکل ۱۱ نقشه حساسیت حوضه مورد مطالعه به

۵/۰۹ میلی‌متر در ساعت محاسبه و برای کل حوضه ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که آخرین رتبه آبراهه در کل حوضه ۶ می‌باشد، تراکم زه‌کشی حوضه زیاد و در نتیجه دبی اوج حوضه افزایش می‌یابد. از سوی دیگر نسبت انشعاب در کل حوضه برابر ۳/۶ برآورده شده است که خود بیانگر بالا بودن اوج هیدروگراف سیلاب می‌باشد. برای به دست آوردن لایه شیب حوضه نقشه توپوگرافی در محیط Autocad رقومی شد و سپس در محیط ArcView نقشه سه‌بعدی آن و از طریق آن نقشه شیب حوضه به دست آمد. وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه و فرسایش خندقی در حوضه نیز بر اساس روش BLM محاسبه شد. با توجه به این‌که فرسایش خندقی در حوضه مشاهده نشد امتیاز کل این عامل در حوضه برابر ۱/۶۷ در نظر گرفته شده است. جدول ۳ امتیازات عوامل نه‌گانه مؤثر در روش MPSIAC برای زیرحوضه‌های تنگ‌کنشت را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ۳ الی ۷ نقشه امتیاز حساسیت هر کدام از عوامل مذکور می‌باشد که در محیط GIS تهیه شده‌اند (۵).

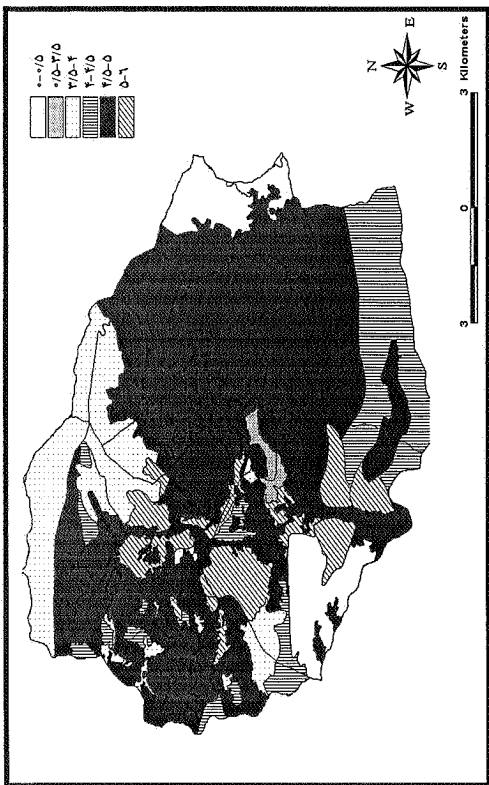
بعد از وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی می‌توان تمام لایه‌ها را به طور عمقی با هم جمع نمود. حاصل این تلفیق به دست آوردن



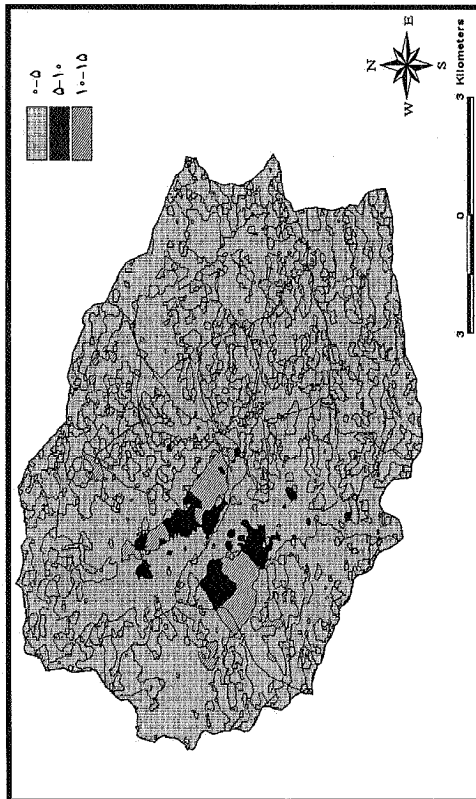
شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی حوضه تنگ کشت بر اساس امتیاز حساسیت به فرسایش در روش MPSIAC



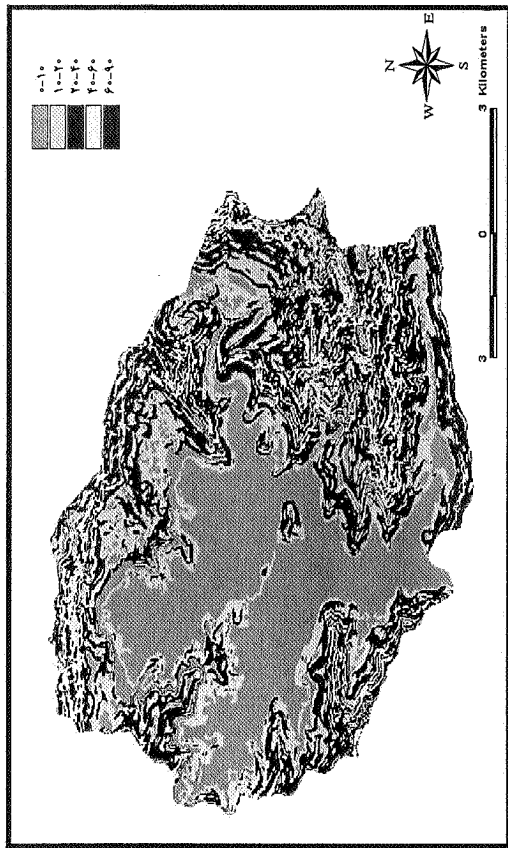
شکل ۵. نقشه کاربری حوضه تنگ کشت بر اساس امتیاز حساسیت به فرسایش در روش MPSIAC



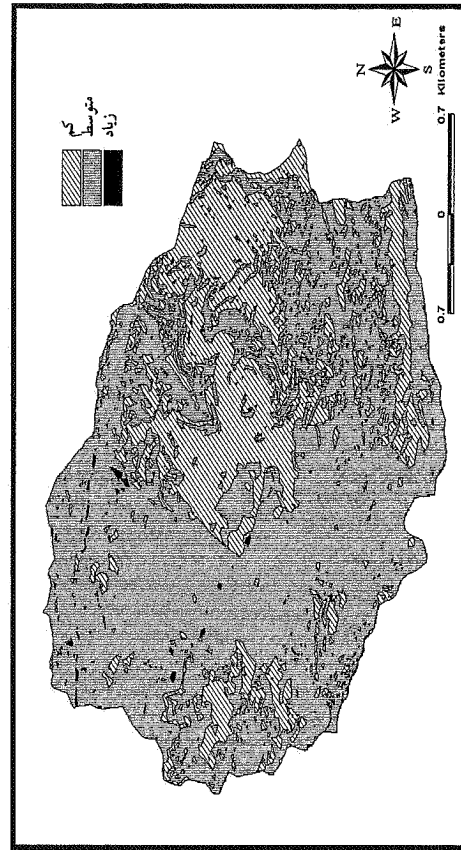
شکل ۴. نقشه خاک‌شناسی حوضه تنگ کشت بر اساس امتیاز حساسیت به فرسایش در روش MPSIAC



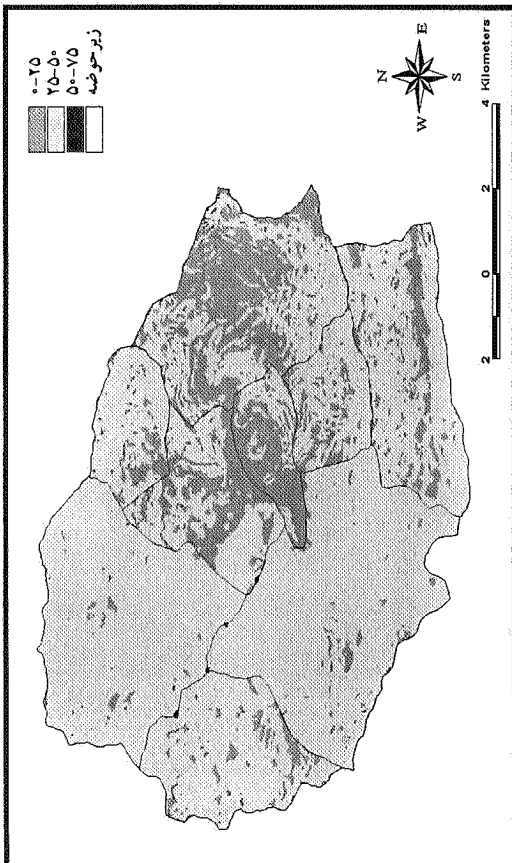
شکل ۶. نقشه پوشش گیاهی حوضه تنگ کشت بر اساس امتیاز حساسیت به فرسایش در روش MPSIAC



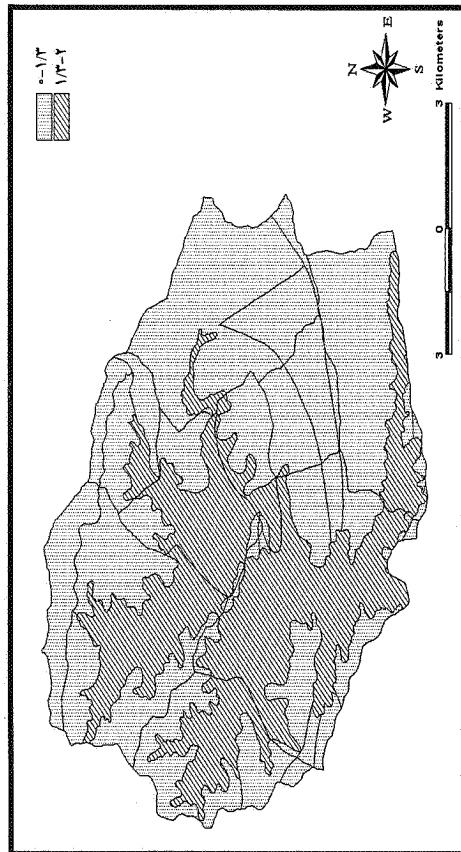
شکل ۷. نقشه شیب اراضی حوضه تنگ کشت بر اساس  
امتیاز حساسیت به فرسایش در روش MPSIAC



شکل ۹. نقشه مقدار رسوبدهی حوضه آبخیز تنگ کشت به  
روش MPSIAC



شکل ۸. نقشه درجه رسوبدهی (R) حوضه  
آبخیز تنگ کشت به روش MPSIAC



شکل ۱۰. نقشه امتیاز زمین و خاک حوضه تنگ کشت بر اساس امتیاز  
حساسیت به فرسایش در روش EPM



جدول ۴. مقدار فرسایش و رسوب محاسبه شده برای زیرحوضه‌های تنگ کنشت در مدل MPSIAC

زیر حوضه	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>in</sub>	D	E	F	O
رسوب سالانه (m <sup>3</sup> /yr)	۳۶۶۰/۱	۸۴۰۱/۰۶	۱۸۹۹/۹	۵۱۱۱/۳	۲۸۴۹/۵	۱۲۰۲/۳	۱۸۹۷/۶	۴۵۷۱/۵	۹۰۶۹/۱
فرسایش سالانه (m <sup>3</sup> /yr)	۷۹۰۷/۸	۲۱۱۲۳/۳	۳۷۵۹	۱۱۶۲۵	۵۹۰۲/۴	۲۲۸۸	۳۶۹۷/۸	۱۰۲۳۷/۴۸	۲۳۴۲۶/۵
کلاس رسوب‌دهی	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط	متوسط

جدول ۵. ضرایب سه گانه محاسبه شده در روش EPM

زیرحوضه	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>in</sub>	D	E	F	O	کل
Y	۱/۶۸	۱/۳۸	۱/۲۱	۱/۵	۱/۷۱	۱/۲۳	۱/۳۳	۱/۴۹	۱/۵۳	۱/۴۷
F	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۶	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۶
Xa	۰/۶۲	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۵۳	۰/۴۹
Z	۰/۸	۰/۷۸	۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۴۹	۰/۷	۰/۸۵	۰/۷۱

جدول ۶. محاسبه ضرایب t براساس میانگین درجه حرارت سالانه برای زیرحوضه‌های حوضه تنگ کنشت

زیرحوضه	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>in</sub>	D	E	F	O	کل
T	۵/۲	۴/۸	۶/۸	۶/۸	۶/۸	۷/۱	۷/۶	۷/۸	۸/۱	۶/۶
T	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۸۷

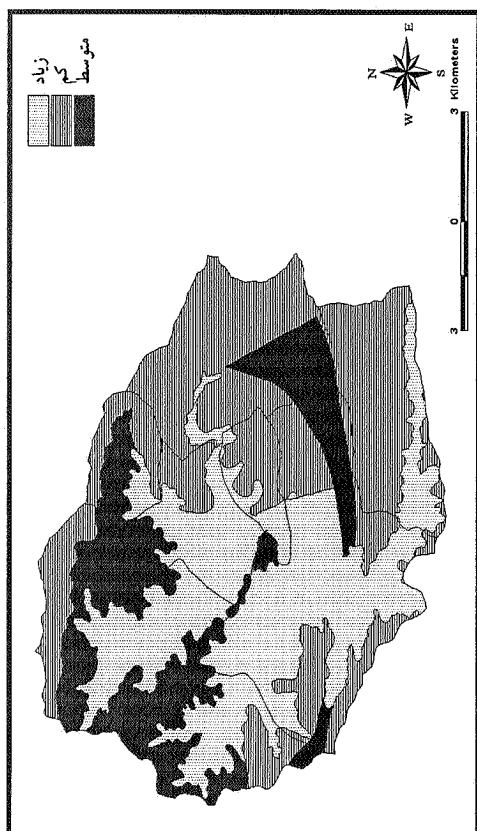
فرسایش را نشان می‌دهد. نمود. هم‌چنین بعد از تعیین نقشه Z و برای تعیین نقشه فرسایش حوضه، ضریب T در هر زیرحوضه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد که در جدول ۶ آمده است. سپس مطابق رابطه ۲ میزان فرسایش (WSP) حوضه به دست آمد (جدول ۷). شکل ۱۴ بیانگر نقشه فرسایش منطقه می‌باشد.

### ۳. بررسی کارایی مدل‌ها در برآورد فرسایش و رسوب حوضه تنگ کنشت

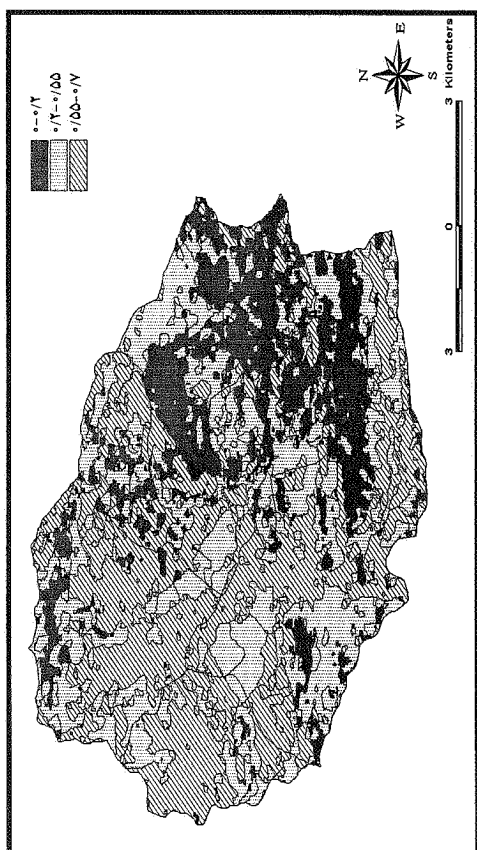
سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، نقش اعمال سلیقه‌های شخصی در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین واحدهای کاری را تقریباً به صفر می‌رساند و مناطق مختلف فرسایشی را از نظر کیفی و کمی طبقه‌بندی می‌کند. هم‌چنین این امکان را فراهم می‌کند که

فرسایش را نشان می‌دهد. عامل کاربری اراضی (Xa) نیز با توجه به مشاهدات صحرائی محاسبه شد که در جدول ۵ آمده است. به دلیل نظامی بودن منطقه و عدم استفاده از بعضی تیپ‌های گیاهی و نیاز دام‌های منطقه، تعادل در تیپ‌های دیگر به هم خورده و موجب تخریب اراضی در بعضی نقاط شده است و عدم دسترسی به مراتع مرتفع کوهستانی باعث تشدید این امر شده است. شکل ۱۲ ضریب کاربری اراضی را در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

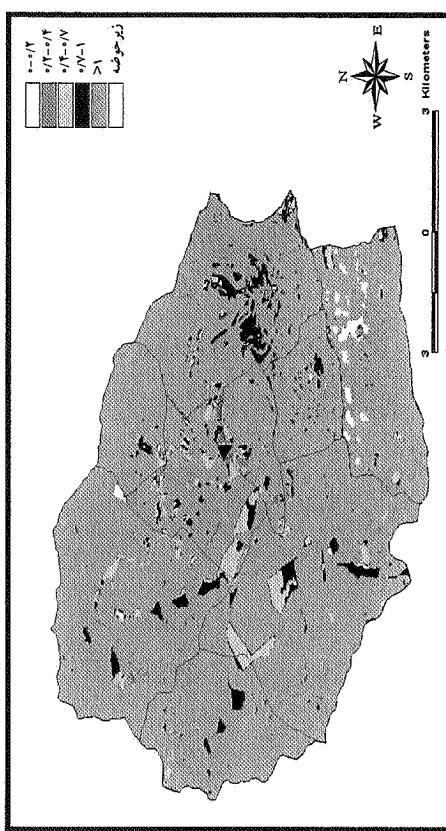
برای تهیه نقشه فرسایش، نقشه Z منطقه براساس جدول ۵ کلاس‌بندی شد که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. براساس این نقشه می‌توان نقاط حساس به فرسایش را در حوضه مشخص



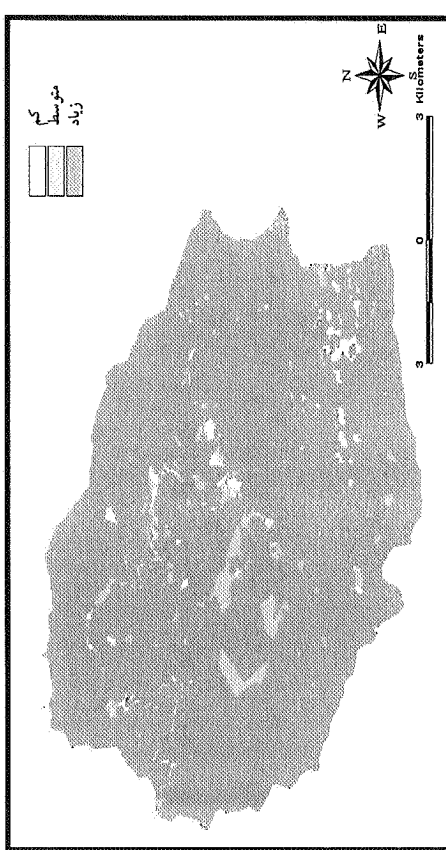
شکل ۱۱. نقشه حساسیت سازندهای حوضه تنگ کشت به فرسایش



شکل ۱۲. نقشه کاربری حوضه تنگ کشت بر اساس امتیاز حساسیت به فرسایش در روش EPM



شکل ۱۳. نقشه درجه رسوبدهی حوضه تنگ کشت در روش EPM (نقشه Z)



شکل ۱۴. نقشه شدت فرسایش حوضه تنگ کشت در روش EPM (نقشه WSP)

جدول ۷. مقدار فرسایش و رسوب محاسبه شده برای زیرحوضه‌های تنگ‌کنشت در مدل EPM

O	F	E	D	C <sub>in</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	B	A	زیر حوضه
۱۲۹۹۱/۲	۹۸۷۶/۲	۲۳۹۸/۱	۱۳۲۳/۳	۱۴۲۶/۴	۹۰۷۷/۵	۲۶۴۳/۶	۱۰۷۲۸/۳	۲۰۵۹/۵	رسوب سالانه (m <sup>3</sup> /yr)
۴۰۵۹۹	۲۷۴۲۸/۶	۷۴۷۹/۵	۵۴۸۰	۱۱۸۸۰/۷	۲۲۶۹۳/۸	۱۰۱۶۸	۳۲۵۱۰/۵	۹۳۶۱	فرسایش سالانه (m <sup>3</sup> /yr)
شدید	شدید	شدید	شدید	شدید	شدید	شدید	شدید	شدید	کلاس رسوب‌دهی

بتوان مناطق حساس به فرسایش را اولویت‌بندی نمود.

همان‌طور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود در روش EPM میزان فرسایش بسیار بیشتر از روش MPSIAC برآورد شده است که این تفاوت با نتایج پژوهش انجام شده (۲، ۵، ۶، ۷ و ۸) مطابقت دارد. شاید بتوان از جمله دلایل عدم توفیق مدل EPM را مطابق نبودن جداول راهنمای آن برای شرایط ایران، اعمال نظر کارشناسی و بالاخره استفاده نکردن از سایر عوامل مهم در تولید رسوب مانند روان‌آب و پوشش گیاهی دانست. همان‌طور که از نام آن استنباط می‌شود (Erosion Potential Method) پتانسیل فرسایش در حوضه را برآورد می‌کند. البته اعمال نظر دقیق در این رابطه منوط به وجود داده‌های هیدرومتری می‌باشد که این آمار در حوضه تنگ‌کنشت موجود نبود. در مجموع با استفاده از نتایج این تحقیق و پژوهش‌های مشابه (۲، ۵، ۶ و ۷) به نظر می‌رسد که مدل EPM بتواند در مطالعات اجمالی فرسایش خاک موفقیت آمیز باشد و از مدل MPSIAC با توجه به این‌که پارامترهای بیشتری را تحت پوشش دارد برای مطالعات تفصیلی استفاده شود.

۲-۳ اولویت عوامل مؤثر بر فرسایش در حوضه تنگ‌کنشت به

#### روش EPM

درصد تأثیر هر کدام از عوامل مدل EPM را نمی‌توان همانند مدل MPSIAC تعیین کرد، ولی با توجه به نحوه محاسبه هر کدام از ضرایب و مقایسه آنها با جداول موجود می‌توان دریافت که ضرایب کاربری اراضی، فرسایش فعلی حوضه و هم‌چنین حساسیت سنگ و خاک به فرسایش عددی بیش از حد متوسط موجود در جداول را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که این عوامل تأثیر زیادی در فرسایش حوضه دارند. با توجه به مقدار شیب محاسبه شده برای هر کدام از زیرحوضه‌ها و شیب متوسط حوضه که حدود ۳۵ درصد می‌باشد، می‌توان دریافت که عامل شیب در این مدل نیز دارای تأثیر زیادی در فرسایش خواهد بود (۵).

#### نتیجه‌گیری

اولویت و تأثیر هر کدام از عوامل در میزان فرسایش‌پذیری حوضه در قسمت‌های قبل مشخص شد.

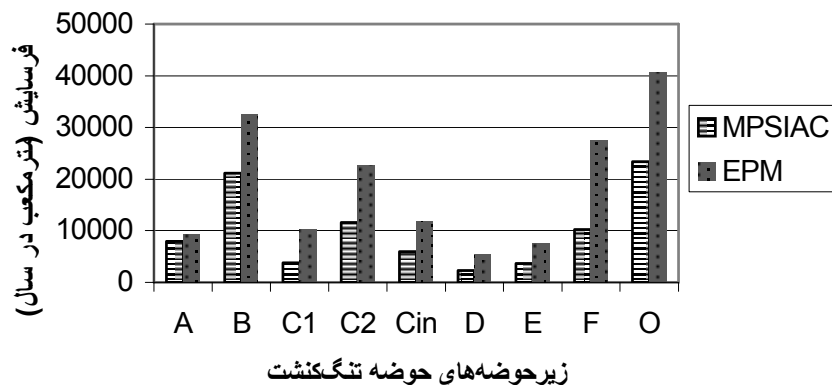
فرسایش سطحی حوضه با اختصاص ۱۲/۴ درصد از کل امتیازات رتبه چهارم را به خود اختصاص داده است. با این وجود این فرسایش تقریباً در کلیه سطوح حوضه فرسایش سطحی دیده شد.

فرسایش شیاری در بعضی از سطوح حوضه که شخم در جهت شیب و خاکریزهای دستی وجود دارند دیده شد. در سطح حوضه فرسایش کناره‌ای و خندقی رویت نشد و وجود گیاهان سبز در بستر رودخانه بیانگر رژیم آرام سیلاب در این

۱-۳ اولویت عوامل مؤثر بر فرسایش حوضه آبخیز تنگ‌کنشت در

#### روش MPSIAC

با توجه به امتیازات عوامل مشخص شد که عامل کاربری اراضی با ۲۱/۱۴ درصد از دارای بیشترین تأثیر در میزان رسوب‌خیزی حوضه می‌باشد (۵). جدول ۸ این اولویت‌ها را در روش MPSIAC برای هر زیرحوضه نشان می‌دهد.



شکل ۱۵. مقادیر فرسایش سالانه برآورد شده توسط دو مدل MPSIAC و EPM

جدول ۸. اولویت ۹ عامل مؤثر در فرسایش حوضه و زیر حوضه‌های تنگ کنشت به روش MPSIAC

اولویت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
A	کاربری (۰/۲۲)	فرسایش فعلی (۰/۱۵۳)	شیب (۰/۱۴)	زمین (۰/۱۲۷)	اقليم (۰/۱۰۶)	خاک (۰/۷۷)	پوشش زمین (۰/۷۷)	روان آب (۰/۷۲)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۹)
B	کاربری (۰/۱۹۹)	شیب (۰/۱۶)	روان آب (۰/۱۳۹)	فرسایش فعلی (۰/۱۲۷)	زمین (۰/۱۱۶)	اقليم (۰/۱۰۷)	خاک (۰/۶۸)	پوشش زمین (۰/۶۷)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۲)
C <sub>1</sub>	شیب (۰/۲۳۹)	کاربری (۰/۲۰۵)	زمین (۰/۱۰۷)	اقليم (۰/۱۰۲)	فرسایش فعلی (۰/۹۶)	روان آب (۰/۹۵)	خاک (۰/۶۶)	پوشش زمین (۰/۶۲)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۸)
C <sub>2</sub>	شیب (۰/۲۷)	کاربری (۰/۲۱۱)	اقليم (۰/۱۰۵)	خاک (۰/۹۵)	زمین (۰/۹۵)	فرسایش فعلی (۰/۹۲)	روان آب (۰/۵۷)	پوشش زمین (۰/۴۷)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۹)
C <sub>in</sub>	کاربری (۰/۲۳۴)	زمین (۰/۱۳۴)	اقليم (۰/۱۱۳)	فرسایش فعلی (۰/۱۱۲)	شیب (۰/۱۰۷)	روان آب (۰/۱۰۱)	پوشش زمین (۰/۸۵)	خاک (۰/۸۳)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۳۲)
D	کاربری (۰/۲۴۳)	شیب (۰/۱۸۳)	زمین (۰/۱۲۲)	اقليم (۰/۱۲۱)	فرسایش فعلی (۰/۱۰۹)	خاک (۰/۸۸)	پوشش زمین (۰/۶۱)	روان آب (۰/۴)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۳۳)
E	شیب (۰/۳۰۱)	کاربری (۰/۲۰)	زمین (۰/۱۰۲)	اقليم (۰/۱۰۱)	فرسایش فعلی (۰/۱۰)	خاک (۰/۷۷)	پوشش زمین (۰/۴۸)	روان آب (۰/۳۳)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۸)
F	شیب (۰/۲۶۹)	کاربری (۰/۲۰۳)	فرسایش فعلی (۰/۱۰۳)	اقليم (۰/۱۰۱)	زمین (۰/۹۴)	روان آب (۰/۷۷)	خاک (۰/۷۴)	پوشش زمین (۰/۵۳)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۷)
O	کاربری (۰/۲۰۴)	فرسایش فعلی (۰/۱۵۶)	شیب (۰/۱۵۱)	زمین (۰/۱۱۵)	روان آب (۰/۱۰۵)	اقليم (۰/۱۲۱)	پوشش زمین (۰/۷۵)	خاک (۰/۶۶)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۷)
کل	کاربری (۰/۲۱۱)	شیب (۰/۱۹۷)	روان آب (۰/۱۳۲)	فرسایش فعلی (۰/۱۲۴)	زمین (۰/۱۱۳)	اقليم (۰/۱۰۴)	خاک (۰/۷۶)	پوشش زمین (۰/۶۶)	فرسایش رودخانه‌ای (۰/۲۸)

در ارتفاعات شرقی و حداقل آن ۱۳۰۰ متر در خروجی حوضه می‌باشد. با توجه به خصوصیات منطقه، شیب و توپوگرافی از عوامل مؤثر در ظهور سیلاب هستند. از سوی دیگر زمان تمرکز کم (حدود ۱/۵ ساعت) و رتبه آبراهه که برابر ۶ می‌باشد تراکم بالای زه‌کشی حوضه را نشان می‌دهد که خود باعث افزایش دبی اوج سیلاب خواهد شد. نسبت انشعاب نیز در کل حوضه برابر ۳/۶ می‌باشد که نشانه تیز بودن نقطه اوج سیلاب و در نتیجه افزایش فرسایش پذیری حوضه است (۵).

کاربری اراضی و پوشش گیاهی، بیشترین سهم را در فرسایش حوضه تنگ‌کنشت دارد به طوری که ۲۱/۱۴ درصد از

مناطق می‌باشد. با این وجود در صورت عدم کنترل فرسایش شیاری و ادامه تخریب مراتع و ادامه ساخت و ساز در بستر رودخانه باعث این نوع از فرسایش نیز خواهد شد.

خاک منطقه عمدتاً از گروه‌های هیدرولوژیکی C و D می‌باشند. به دلیل نفوذپذیری کم تا بسیار کم، پتانسیل توانایی تولید روان آب و در نتیجه فرسایش پذیری در آنها بالاست.

عامل شیب با اختصاص ۱۹/۶۷ درصد امتیازات حدود یک پنجم رسوب‌دهی را به خود اختصاص داده است. در این بین زیرحوضه‌های C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub> و E رتبه اول و زیرحوضه‌های B و D رتبه دوم را دارا می‌باشند. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۳۸۵ متر

روش‌های کنترل فرسایش از سال‌ها پیش به خوبی شناخته شده‌اند. آموزش کشاورزان، قرق اراضی صخره‌ای، کاشت بوته و بذرها در نواحی پرشیب و اعمال برنامه‌های مدیریتی مانند بذرپاشی، بوته‌کاری در نواحی پرشیب به میزان زیادی می‌تواند از فرسایش سطحی بکاهد. با توجه به موقعیت حوزه آبریز تنگ کنشت، ما استفاده از گونه‌های بروموس، فستوک، علف‌گندمی و اسپرس و هم‌چنین استفاده از بوته‌هایی چون آتریپلکس، بادام وحشی و زرشک را توصیه می‌کنیم. شخم صحیح، کاهش تعداد دام در مراتع و جلوگیری از سوزاندن بقایای گیاهی روش‌های مناسبی برای جلوگیری از فرسایش شیاری می‌باشد. ایجاد تراس‌بندی در نواحی شیب‌دار نقش عمده‌ای در کاهش فرسایش ایفا می‌کند.

کل امتیازات را به خود اختصاص داده است. این عامل در زیرحوضه‌های A, B, C<sub>in</sub>, D و O رتبه اول و در زیرحوضه‌های C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, E و F رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. از کل مراتع حوضه ۵۵۳۵/۷ هکتار آن وضعیت متوسط به پایین دارند و ۳۸ درصد حوضه را در بر می‌گیرند. هم‌چنین ۷۹۳۱ هکتار وضعیت خوب و عالی دارند که در برگیرنده ۵۵/۳ درصد کل حوضه می‌باشند و عمدتاً در زیرحوضه‌های E و F قرار دارند ولی به دلیل نظامی بودن منطقه از دسترس خارج هستند. به طور کلی مراتع خوب بیشتر در بخش‌های غربی که عمدتاً نظامی هستند، واقع شده‌اند. ناحیه داخلی حوضه نیز در برگیرنده اراضی کشاورزی و زیرحوضه O می‌باشد که به دلیل کشت و کار و شخم در جهت شیب در خطر فرسایش زیاد قرار گرفته است. این اراضی ۷۰۲ هکتار را به خود اختصاص داده‌اند (۵).

## منابع مورد استفاده

- اسکویی، س.، ا. بروشکه، ج. قدومی و م. عرب خدری. ۱۳۸۰. ارزیابی کارایی مدل پسیاک اصلاح‌شده در برآورد رسوب پنج حوزه آبخیز استان آذربایجان غربی. پژوهش و سازندگی ۳۵: ۳۷-۵۲.
- بیات، ر.، ح. ق. رفاهی، ع. درویش صفت و ف. سرمیدان. ۱۳۸۰. بررسی کارایی مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد رسوب حوزه آبخیز طالقان به کمک GIS. علوم کشاورزی ایران ۳۲(۱): ۲۰۳-۲۱۷.
- بی‌نام. ۱۳۸۲. الف. گزارش مطالعات پوشش گیاهی حوضه آبخیز تنگ‌کنشت. انتشارات جهاد دانشگاهی کرمانشاه، ۴۰ صفحه.
- بی‌نام. ۱۳۸۲. ب. گزارش مطالعات خاک‌شناسی حوضه آبخیز تنگ‌کنشت. انتشارات جهاد دانشگاهی کرمانشاه، ۴۰ صفحه.
- راستگو، س. ۱۳۸۲. برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ‌کنشت به وسیله مدل‌های MPSIAC و EPM به کمک GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۷۶ صفحه.
- رفاهی، ح. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۰ صفحه.
- رفاهی، ح. و م. نعمتی. ۱۳۷۲. به کارگیری روش EPM در مطالعه فرسایش‌پذیری و تولید رسوب حوضه آبخیز الموت رود. علوم کشاورزی ایران ۲۶(۲): ۳۲-۴۵.
- شاکری، ش. و ف. بلالی پور. ۱۳۷۴. مقایسه موردی دو روش EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز دوآب. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحه ۲۷۳-۲۸۱.
- ضیایی، ح. ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبخیزداری. انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.
- عرب خدری، م. و ا. زرگر. ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیونی. پژوهش و سازندگی ۲۹: ۲۹-۲۹.

۱۱. غفوری، م. و ن. حافظی مقدس. ۱۳۸۲. گزارش مطالعات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه آبخیز تنگ‌کنشت. انتشارات جهاد دانشگاهی کرمانشاه، ۳۰ صفحه.
۱۲. غلامی، ش. ۱۳۷۹. مدل شبیه‌سازی رسوب روزانه با استفاده از مدل توزیعی SWAT در حوضه‌های کوهستانی. دومین همایش ملی فرسایش و رسوب. دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۱۸۵-۲۰۴.
۱۳. نوایی تورانی، آ. و م. عادل‌نیا. ۱۳۸۱. مقدمه‌ای بر GIS و آموزش نرم‌افزار Arcview. انتشارات مؤسسه فرهنگی و هنری دیباگران، تهران.
۱۴. نیک قوام، ج. ۱۳۷۹. چگونگی ساختار سیستم اطلاعات جغرافیایی کشاورزی گیلان (GIS). مجله مزرعه ۳۵: ۳۰-۳۲.
15. Burrough, P. A. 1989. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford Science Pub., UK.
16. Jhonson, C. W. and A. C. Gembhart. 1982. Predicting sediment yield from Sagerbrush range lands. USDA-SEA-ARM Western Series, 26: 145-156.
17. Lu, H., J. Geollant Prosser, L. Moran and G. Priestly. 2001. Prediction of sheet and rill erosion over the Australian continent: Incorporating monthly soil loss distribution. National Land & Water Resource. Technical Report No. 31, Australia.
18. Rompaey, A. and G. Govers. 2002. Data quality and model complexity for regional scale soil erosion prediction. Geograph. Inform. Sci. 16(7):663-680.
19. Stone, R. P. and D. Hilborn. 2003. Universal Soil Loss Equation (USLE). Queens Printer for Ontario, Ministry of Agriculture and Food pub., Canada.
20. UNDP. 1999. Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN. Chapter 8, PP: 109-121.