

ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوب‌دهی حوضه آبریز سد شهریار میانه با استفاده از تکنیک‌های GIS و مدل EPM

حسین حسینخانی*

کارشناس ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۹

چکیده

فرسایش خاک و تولید رسوب از جمله محدودیت‌های اساسی در استفاده از منابع آب و خاک به شمار می‌رود، از این رو ارزیابی فرایندهای حاکم بر رفتار آنها به منظور درک بهتر سامانه‌های آبخیزداری و تبیین شیوه‌های مدیریتی مناسب ضروری است. به همین دلیل این پژوهش با هدف مطالعه فرسایش در حوضه آبریز سد شهریار میانه واقع در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. با توجه به وضعیت موجود سازندها و مشاهدات انجام گرفته، این سد در معرض رسوب‌گذاری زیاد است. بدیهی است این رسوبات سبب پر شدن مخزن سد و کوتاه شدن عمر مفید آن می‌شود. از این رو مطالعه فرسایش و برآورد رسوب‌دهی بالادست حوضه ضروری است، بنابراین از جمله اهداف اصلی این تحقیق تعیین میزان حساسیت سازندها به فرسایش و نقش آنها در تشکیل رسوبات جدید می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، ابتدا با کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ زنجان، میانه و هشترود، مرزحوضه آبخیز سد شهریار مشخص گردید. این منطقه به دقت بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان، میانه و هشترود پیاده شد. نقشه آبراهه‌ها، نقشه زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، گسل‌ها، میزان بارش و توپوگرافی منطقه رقومی گردیدند. در گام بعد با استفاده از تکنیک‌های امتیازدهی و تلفیق لایه‌ها، شدت فرسایش به کمک GIS درحوضه مذکور بررسی گردید. از طرفی جهت برآورد توان رسوب‌دهی سازندهای موجود در حوضه آبخیز از روش EPM استفاده گردید.

در این تحقیق مشخص گردید که واحدهای حساس به فرسایش اغلب در نواحی شمالی - جنوبی حوضه استقرار داشته، هر چند در قسمت غربی نیز سنگ‌های مستعد به فرسایش وجود دارد. براساس شاخص‌های موجود سامانه (GIS)، میزان رسوب‌دهی کل حوضه آبریز سد شهریار در حد متوسط می‌باشد. از سوی دیگر، طبق نتایج مدل EPM، ضریب فرسایش و تولید رسوب (Z) برای این حوضه به کلاس فرسایشی بسیار شدید می‌افتد که بر همین اساس، توان تولید رسوب در سطح حوضه زیاد بوده و نزدیک به ۶۰ هزار تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نقشه پهنه بندی شدت فرسایش بخش عمده این رسوب از بخش‌های تامین می‌شود که در پهنه‌بندی انجام شده در این تحقیق در پهنه فرسایشی زیاد قرار می‌گیرد. مدل نهائی نشان‌دهنده این واقعیات است که سه عامل لیتولوژی، پوشش زمین و فرسایش آبراهه‌ای نقش اساسی را در کنترل فرسایش و رسوب ایفا می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: خطر فرسایش خاک، EPM، GIS، حوضه آبریز، سد شهریار، میانه.

مقدمه

فرسایش خاک موسوم به سرطان خاک فرایند پیچیده همراه با اثرات زیست محیطی و اجتماعی آشکار و پنهانی می‌باشد که خطری بالقوه برای حیات بشری به شمار می‌آید (Owengh, 2003). به همین سبب تخمین و پیش‌بینی رسوبات فرسایش یافته بوسیله جریان در پروژه‌های مدیریت منابع آب، کاهش سیل و پایداری محیط زیست بسیار مهم می‌باشد (Hergoult et al., 2010). همچنین آگاهی از مقدار و تغییرات بار رسوبی رودخانه‌ها در تنظیم تغییرات بستر و کناره رودخانه‌ها، مدیریت و برنامه‌ریزی برای تاسیسات مربوطه و جلوگیری از کاهش سریع عمر سدها، ظرفیت کانال‌های آبیاری، تونل‌های بهره‌برداری و تاسیسات پائین دست کمک شایانی می‌نماید (ذاکری و صادقی، ۱۳۹۱). متأسفانه سالانه نزدیک به ۲ میلیارد تن از خاک‌های با ارزش کشور به هدر می‌رود و خسارت هنگفتی معادل $18/5 \times 10^{12}$ ریال بر کشور وارد می‌شود (مقصودی و حبیبی، ۱۳۸۸). این پدیده همراه با کاهش میزان حاصلخیزی خاک، منجر به تخریب اکوسیستم‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع می‌شود (Bayramin et al., 2003). علاوه بر آن، یکی از اصلی‌ترین منابع آلودگی غیر نقطه‌ای در بسیاری از حوضه‌های آبخیز می‌باشد (Wang and Cui, 2005). به همین خاطر ممانعت از این خسارت، به اتخاذ روش مناسب در جلوگیری از فرسایش و حرکت رسوب دارد که لازمه آن، وجود اطلاعات دقیق در زمینه شدت فرسایش در سطح حوضه‌های آبخیز است. گرچه روش‌های برآورد و پیش‌بینی فرسایش توسعه یافته، ولی ارزیابی دقیق میزان فرسایش به دلیل وجود مشکلات جدی در کمی کردن عوامل و نبود داده‌های آماری طولانی مدت و دقیق به طور کامل امکان‌پذیر نشده است (Franzi and Bianco, 2001).

با توجه به مطالب مذکور، یکی از مناطقی که لزوم بررسی و برآورد فرسایش در آن اهمیت دارد، حوضه آبریز سد شهریار میانه می‌باشد. باتوجه به وضعیت موجود سازندها و مشاهدات انجام گرفته، این سد در معرض رسوب‌گذاری زیاد است. بدیهی است این رسوبات سبب پر شدن مخزن سد و کوتاه شدن عمر مفید آن می‌شود. از این رو مطالعه فرسایش و برآورد رسوب‌دهی بالادست حوضه ضروری است، بنابراین از جمله اهداف اصلی این تحقیق تعیین میزان حساسیت سازندها به فرسایش و نقش آن‌ها در تشکیل رسوبات جدید می‌باشد.

قابل ذکر است که یکی از مشکلات مطالعات فرسایش و رسوب کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز می‌باشد. این مساله در کشورهای در حال توسعه حادث بوده و کشور ما ایران از جمله کشورهایی است که با این معضل روبرو است. بنابراین به دلیل پیچیدگی فرایندها و کمبود آمار مناسب و فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری و به منظور سهولت کار، اغلب مطالعات فرسایش و رسوب کشور با استفاده از روش‌های تجربی انجام می‌گیرد (قضاوتی و همکاران، ۱۳۹۱).

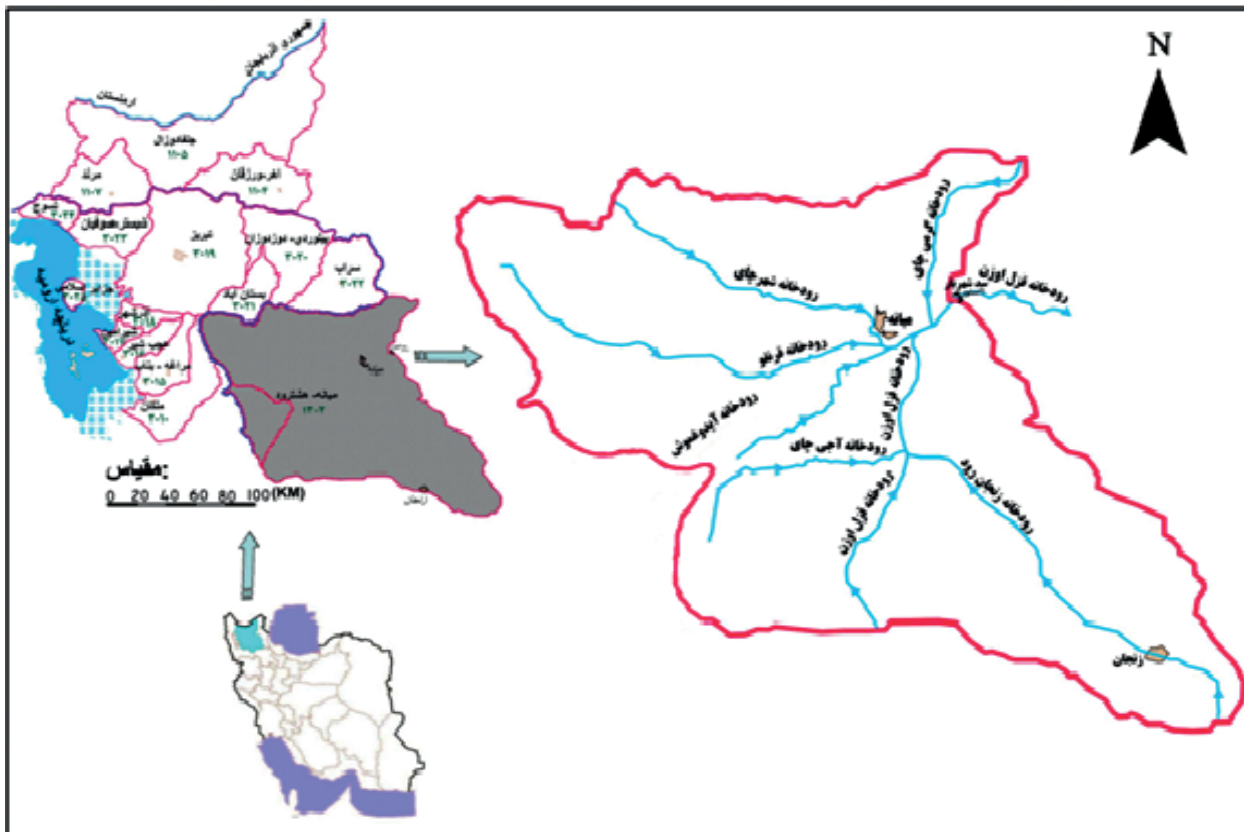
از جمله روش‌های متداولی که به منظور برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد

می‌توان به روش‌های EPM, GIS, MPSIAC و... اشاره نمود. در این پژوهش میزان فرسایش حوضه آبخیز سد شهریار میانه به کمک GIS و EPM مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. کارهای انجام شده در رابطه با برآورد میزان فرسایش خاک با روش GIS و EPM متعدد است. به عنوان مثال Spanner et al. (1983) برای پیش‌بینی فرسایش خاک از GIS استفاده کردند. Ghedira (1991) دینامیک فرسایش را با استفاده از GIS در یک حوضه آبریز در منطقه Zaghouan تونس مطالعه کرد. از کارهای جدید دیگر در زمینه استفاده از GIS جهت برآورد فرسایش و رسوب می‌توان به (Tangestani 2001, 2006), Amini et al. (2010) و (Amiri 2010) اشاره نمود. ضمناً کارتیریس و همکاران (Karteris et al., 1988) اظهار داشته‌اند که تکنیک‌های GIS برای مدیریت منابع طبیعی و خصوصاً مدیریت حوضه‌های آبریز بسیار مناسب هستند. در ارتباط با مدل EPM، رنگزن و همکاران (۱۳۸۷)، در تحقیقی درحوضه پگاه سرخ گتوند خوزستان، ضمن مقایسه دو مدل MPSIAC و EPM، عنوان نموده‌اند که EPM مدلی است که قادر است به عنوان ابزاری در جهت بدست آوردن یک برآورد اولیه از میزان بار رسوب آبراهه‌ها در طرح‌های مربوط به سدهای در حال احداث و یا سایر سازه‌هایی که به نحوی به این گونه داده‌ها نیازمندند، بکار گرفته شود. همچنین رفاهی (۱۳۸۲)، اظهار داشته است که این مدل هنوز هم در تحقیقات مرتبط با فرسایش به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (یمانی و ابراهیم‌خانی، ۱۳۸۹).

نهایت اینکه (Amiri and Tabatabaie 2009) در تحقیقی مبنی بر ارزیابی فرسایش خاک، جهت کاهش سطح خطا به حداقل ممکن از دو روش GIS و EPM استفاده نموده‌اند.

توصیف ناحیه مطالعاتی

حوضه آبریز سد شهریار در منطقه میانه، از هفت زیرحوضه، بنام‌های زیرحوضه رودخانه قزل اوزن، زینجان رود، آجی چای، گرمی چای، شهر چای، قرنقو و آیدوغموش تشکیل شده است. وسعت این حوضه در این تحقیق بالغ بر ۱۴۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی و در بین رشته کوه‌های البرز و زاگرس بین طول‌های جغرافیایی 24° و 46° تا 48° و 48° شرقی و عرض‌های جغرافیایی 36° تا 48° و 37° شمالی واقع است (شکل ۱). ناحیه مورد نظر از نظر ساختار زمین شناسی جزئی از زون البرز - آذربایجان محسوب می‌شود (نبوی، ۱۳۵۵). واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده حوضه مذکور مربوط به پالئوزوئیک تا سنوزوئیک و عهد حاضر بوده و از جمله سازندهای مربوط به پالئوزوئیک می‌توان به سازندهای سلطانیه، باروت، لالون، میلا و آهک روته اشاره کرد که در دوره مذکور عمدتاً واحدهای آهکی - دولومیتی و شیلی - مارنی ته نشست شده‌اند. در زمان مزوزوئیک عمدتاً رسوبات تخریبی و آهکی در محدوده مطالعاتی ته نشست شده‌اند. از جمله سازندهای مربوط به این دوره می‌توان سازندهای شمشک، دلیچای و واحد آهکی -



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز نسبت به کشور ایران و استان آذربایجان شرقی (حسینخانی، ۱۳۹۰).

فرسایش و نقش آن در تولید رسوب و اثر آن بر سد شهریار می‌باشد، با توجه به مشاهدات صحرائی و بررسی نقشه‌های مربوطه ۷ متغیر تأثیرگذار مانند تکنونیک منطقه (گسل‌های منطقه)، واحدهای زمین‌شناسی (سازندها)، رتبه‌بندی شبکه آبراهه‌ها (تراکم آبراهه‌ها)، سطوح ارتفاعی، شیب، میزان بارش و پوشش گیاهی به خاطر نقش موثر در ایجاد فرسایش در روش GIS دارای اهمیت تلقی گردیدند. درگام بعدی برای هر عامل موثر بر فرسایش، یک لایه اطلاعاتی در محیط نرم افزار GIS تهیه شد. در نهایت لایه‌های تولید شده در محیط نرم افزار Arc GIS به روش Overlay Index با هم تلفیق گردیدند و نقشه شدت فرسایش بدست آمد.

از طرفی جهت برآورد رسوب و فرسایش با استفاده از روش EPM، از چهار فاکتور شامل، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، وضعیت فعلی فرسایش و شیب به روش Gavrilovic (1988) استفاده شده است. شاخص‌های مورد استفاده در این روش محدود بوده و به آسانی می‌توان ارزیابی کرد.

در این تحقیق نتایج حاصل از بکارگیری روش EPM در برآورد فرسایش و تولید رسوب بررسی گردیده و برای تعیین دقت بکارگیری آن با نقشه شدت فرسایش که با استفاده از GIS ترسیم شده، مورد مقایسه قرار گرفته است. در زیر به شرح هر کدام از روش‌ها پرداخته شده است:

کنگلومرایی کرتاسه بالایی را نام برد. در اوایل سنوزوئیک عمدتاً رسوبات آذرآواری بجا گذاشته شده‌اند که به سمت کواترنری به رسوبات تخریبی - تبخیری تبدیل می‌گردند. بر اساس برآورد حسینخانی (۱۳۹۰)، حوضه مذکور از نظر اقلیم‌شناسی طبق اقلیم نمای آمبرژه جزء مناطق نیمه خشک سرد محسوب می‌گردد، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳ درجه سلسیوس است، بالاترین آن در مرداد ماه و پائین‌ترین آن در دی ماه و میانگین بارندگی سالانه ۳۵۱/۹ میلی‌متر می‌باشد. ضمناً طیف ارتفاعی ناحیه تحت مطالعه از ۹۹۹ متر تا ۳۷۰۷ متر متغیر است و عمده محصولات کشاورزی آن شامل گندم، جو، حبوبات و ذرت است.

روش مطالعه

مواد لازم برای تحقیق این پروژه شامل:

- نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ زنجان، میانه و هشتروند جهت تهیه نقشه‌های موضوعی
 - نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ جهت تعیین وضعیت سازندهای منطقه
 - عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۱۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای: (ETM; July; 2010)، جهت تهیه نقشه‌های رخساره‌ها، وضعیت فعلی فرسایش و کاربری اراضی
 - داده‌های بارش و درجه حرارت از ایستگاه‌های سینوپتیک زنجان و میانه (۱۳۸۴-۱۳۶۵)
- از آنجا که هدف اصلی پژوهش تعیین مناطق حساس به

روش EPM

روش پتانسیل فرسایش EPM¹ با هدف بررسی شدت فرسایش خاک و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق به کار گرفته شده است و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه در کشور چین توسط Gavrilovic ارائه گردیده است. در این مدل برای تعیین شدت فرسایش از معادله زیر استفاده شده است (Gavrilovic, 1988):

$$Z = X_a \times Y (\phi + I^{0.5})$$

که در آن Z ضریب شدت فرسایش، X_a ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، ϕ ضریب فرسایش حوضه آبخیز و I شیب متوسط حوضه آبخیز می‌باشد. به منظور برآورد مقادیر X_a ، y و ϕ از جداول مربوطه استفاده گردیده است (Gavrilovic, 1988). این ضریب برای هر یک از هفت زیرحوضه هیدرولیکی بطور جداگانه محاسبه شده و میانگین آن‌ها برای کل حوضه در نظر گرفته شد. مقدار کمی ضریب مذکور (Z) جهت تفکیک شدت فرسایش به کلاس‌ها مطابق جدول ۱ استفاده شده است. سپس با توجه به محاسبه شدت فرسایش هر یک از زیر حوضه‌ها و رابطه زیر، فرسایش ویژه محاسبه گردید که می‌تواند مقدار متوسط فرسایش سالانه هر

واحد را تعیین نماید.

$$W_{sp} = T \times H \times \pi \times Z^{3/2}$$

در فرمول بالا W_{sp} متوسط سالانه رسوب ویژه ($m^3/km^2/y$)، T ضریب درجه حرارت که از رابطه $T = (\frac{t}{10} + 0.1)^{1/2}$ به دست می‌آید، t متوسط درجه حرارت سالانه (C^0) در حوضه آبریز می‌باشد، H ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبریز (mm) و π عدد پی می‌باشد.

این مقدار برای هر یک از زیرحوضه‌ها و کل حوضه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال محاسبه شده که مقدار متوسط برای کل حوضه ۲۰/۳ متر مکعب در سال برآورد شده است (جدول ۲). در این مدل، مقدار رسوب سالانه حوضه از رابطه $VP = F \cdot WSP$ به دست می‌آید. که در آن VP مقدار رسوب سالانه بر حسب مترمکعب در سال و F مساحت حوضه (km^2) می‌باشند. در صورتیکه مقدار به دست آمده برای VP در وزن مخصوص تقریبی خاک $1/4 \text{ ton}/m^3$ ضرب شود وزن رسوب بر حسب تن در هکتار در سال به دست می‌آید (احمدی، ۱۳۸۶). نتایج مدل مذکور برای هر یک از زیرحوضه‌ها و کل حوضه در جدول ۲ ارائه شده است.

باتوجه به جدول فوق بیشترین قابلیت تولید رسوب مربوط به رودخانه قزل اوزن و کمترین آن مربوط به رودخانه آیدوغموش

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت فرسایش (احمدی، ۱۳۸۶)

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

جدول ۲. مقدار متوسط فرسایش سالانه در هر یک از زیر حوضه‌ها

وزن رسوب تولیدشده (تن در هکتار در سال)	ضرایب مورد استفاده در روش EPM										زیر حوضه
	VP	F	Wsp	Z	H	T	I	Y	Xa	Ψ	
۶۱۰۶/۳۸	۴۳۱۶۱/۷	۹۳۸	۴/۶۵	۲/۳۶	۳۸۵/۴	۱/۱۴	۶/۵	۱/۰۶	۰/۷۰	۰/۶۴	گرمی چای
۱۸۰۴	۱۲۸۹	۴۶۵	۲/۷۷	۱/۷۲	۳۴۳/۹	۱/۱۴	۵	۱/۱۳	۰/۵۳	۰/۶۵	آیدوغموش
۹۶۵۹/۳۶	۶۸۹۹/۵۴	۶۷۳/۹	۲/۸۴	۴/۲۷	۳۲۴/۲	۱/۱۴	۶	۱/۶	۰/۸۱	۰/۸۵	آجی چای
۸۷۳۹/۲	۶۲۴۲/۳۲	۲۱۹۸	۲/۸۴	۱/۶۵	۳۷۵/۶	۱/۱۴	۴/۸	۰/۹۵	۰/۶۳	۰/۵۷	شهرچای
۱۰۴۱۶/۵۶	۷۴۴۰/۴	۳۳۸۲	۲/۲	۱/۴	۳۷۳/۵	۱/۱۴	۴/۵	۱/..	۰/۵۴	۰/۴۹	قرنقو
۸۵۶۸	۶۱۲۰	۳۶۰۰	۱/۷	۱/۲۸	۳۲۹/۵	۱/۱۴	۱/۶	۱/۰۳	۰/۶۷	۰/۶۰	زنجان چای
۱۴۴۹۴/۲۸	۱۰۳۵۳/۰۶	۳۰۵۴	۳/۳۹	۲/۰۳	۳۲۷/۸	۱/۱۴	۳/۲	۱/۲۴	۰/۶۸	۰/۶۲	قزل اوزن

این شاخص برای تصاویر ماهواره‌ای لندست به صورت زیر بیان می‌شود: (Rouse et al, 1973).

$$NDVI = \frac{Band_4 - Band_3}{Band_4 + Band_3}$$

عدد پیکسلی تصویری که شاخص NDVI بر آن اعمال می‌گردد، بین +1 تا -1 خواهد بود. هرچه پوشش گیاهی منطقه متراکم‌تر باشد. این میزان به +1 نزدیک‌تر و در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف، این اندیس به سمت -1 تمایل پیدا می‌کند.

پوشش گیاهی حوضه عمدتاً به صورت پراکنده است و برخی اراضی از نظر پوشش گیاهی بسیار فقیر می‌باشند (ناحیه جنوبی). بر اساس بازدیدهای صحرائی، خاک سطوح اخیر اغلب برهنه و یا دارای پوشش سنگی است. از نظر پوشش گیاهی، سطوح اراضی تا امتیاز 10 پهنه‌بندی شده است. این عامل بر اساس درصد پوشش گیاهی در سطح حوضه طبق روش پسیاک (PSIAC, 1968) تعیین شده است، بدین ترتیب که مناطق با پوشش گیاهی فقیر به علت فرسایش پذیری بالا بیشترین امتیاز و مناطق با پوشش گیاهی مناسب به علت مقاومت در برابر فرسایش امتیاز کمتری به خود اختصاص داده است (شکل 2).

۲- لایه زمین‌شناسی سطحی:

عامل زمین‌شناسی به عنوان یکی از پارامترها (متغیر مستقل) در ایجاد فرسایش به شمار می‌رود. زیرا زمین‌شناسی و ساختار متنوع آن اغلب باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع جنس خاک می‌شود (Ayalew and Yamagi-shi, 2005). برای استخراج این لایه، از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس 1/1000000 استفاده گردیده است (شکل 3). امتیاز عامل زمین‌شناسی از منابع مختلف (Tangestani, 2006؛ یمانی و اسکندری‌نژاد، 1389 و خاکسار و همکاران 1385) اخذ و طی آن از نظر مقاومت برای سنگ‌شناسی دامنه بین 1 تا 10 لحاظ شده است. به طوری که سنگ‌های سست و بسیار حساس به فرسایش بیشترین امتیاز (عدد 10) و سنگ‌های مقاوم و سخت کمترین امتیاز (عدد 2) را به خود اختصاص داده‌اند.

۳- لایه شیب:

شیب حوضه رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای با نفوذ آب و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک دارد و در میزان فرسایش تولید رسوب حوضه موثر می‌باشد. زیرا هرچه شیب بیشتر باشد فرایندهای فرسایش نیز تأثیرگذارتر می‌شوند. در یک دامنه یک شکل، با خواص مواد برابر، افزایش شیب دامنه، بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده‌ای دارد (Dai and Lee, 2002). بنابراین وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیرگذار در روند فرسایش می‌تواند داشته باشد. امتیاز این عامل از روش امتیازدهی یمانی و اسکندری‌نژاد (1388) کسب گردیده است. به‌طوریکه بیشترین شیب بالای 40 درصد، امتیاز 7 و کمترین شیب در دامنه 0-5 درصد امتیاز 1 به خود اختصاص داده است (شکل 4).

است. از طرفی، مطابق داده‌های جدول 2، ضریب فرسایش و تولید رسوب (Z) برای تمام زیرحوضه‌ها بزرگ‌تر از 1 بوده و در کلاس فرسایشی بسیار شدید (طبق جدول 1) قرار گرفته‌اند که در این میان زیرحوضه آجی چای بالاترین (Z = 4/27) و زنجان چای کمترین (Z = 1/28) شدت فرسایش را دارا می‌باشند. از آنجاکه فاکتورهای موثر در این مدل محدود بوده و بیشتر به لیتولوژی منطقه وابسته هستند، لذا مناطقی که از سنگ‌های سست تشکیل یافته‌اند دارای توان تولید رسوب زیادی می‌باشند. به همین دلیل زیرحوضه آجی چای علیرغم مساحت کم نسبت به چهار زیرحوضه دیگر (آیدوغموش، زنجان‌چای، گرمی چای و شهرچای) دارای توان بالای ایجاد رسوب است که بیانگر لیتولوژی ناپایدار این زیرحوضه است. این مطلب طبق بررسی‌های نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات صحرائی صورت گرفته از این زیرحوضه که عمدتاً از سنگ‌های سست (رس، سیلت، شیل، مارن، ماسه و تبحیری‌ها) تشکیل یافته است، تایید می‌شود. بنابراین ترتیب توان رسوبزایی زیر حوضه‌ها با استفاده از روش مدل پتانسیل فرسایش به صورت زیر است:

$10416/56 > 14494/28 > 1006/38 > 8568 > 1804 > 9659/36 > 8739/2 > 6106/38 > 1006/38 > 8568 > 1804$
 > آجی > چای > قرقو > قزل اوزن: زیرحوضه (رودخانه)
 آیدوغموش > زنجان‌چای > گرمی چای > شهرچای
 لذا طبق روش مدل پتانسیل فرسایش (EPM)، کل رسوب تولید شده در حوضه آبریز سد شهریار میانه برابر 59787/78 تن در هکتار در سال می‌باشد (حسینی‌خانی، 1390).

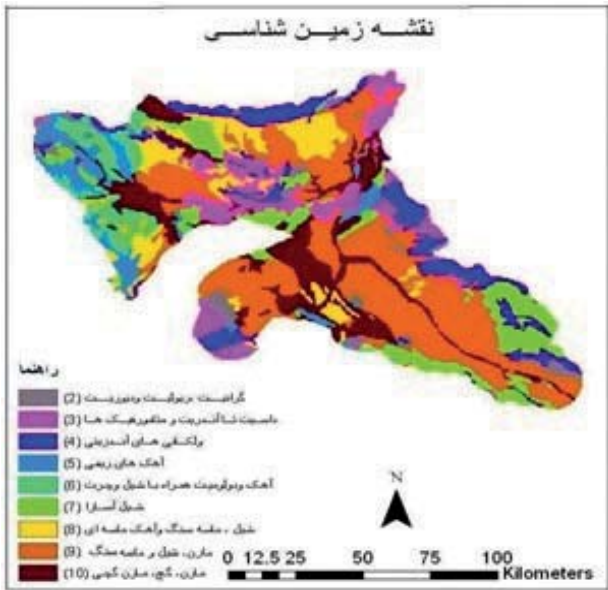
روش GIS

تولید داده‌ها

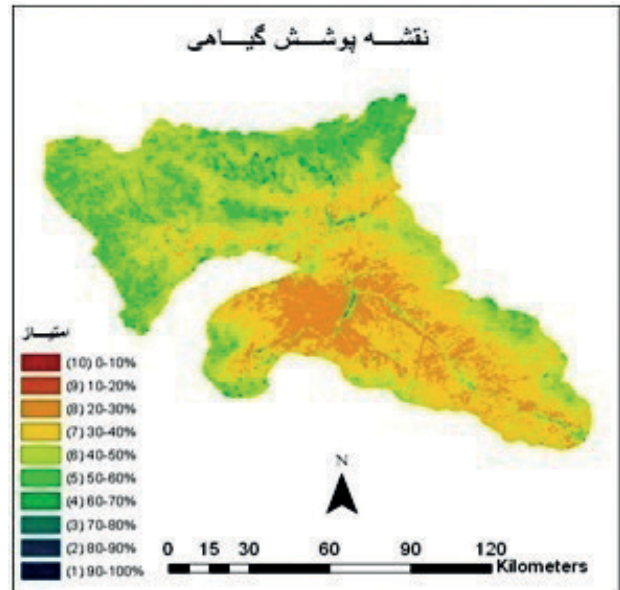
همانطور که قبلاً ذکر گردید، در این روش 7 متغیر تأثیر گذار از جمله گسل‌های منطقه، واحدهای زمین‌شناسی (سازندها)، رتبه‌بندی شبکه آبراهه‌ها (تراکم آبراهه‌ها)، سطوح ارتفاعی، شیب، میزان بارش و پوشش گیاهی به خاطر نقش موثر در ایجاد فرسایش دارای اهمیت تلقی گردیدند که برای هر کدام یک لایه اطلاعاتی توسط سامانه GIS به شرح زیر تهیه گردیده است:

۱- لایه پوشش گیاهی:

در مطالعات سنجش از دور، جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی، از اعمال شاخص‌های پوشش گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود (علوی پناه، 1382). از آنجاکه پوشش گیاهی یکی از فاکتور اصلی فرسایش خاک محسوب می‌گردد (Hazarika and Honda, 2001)، جهت استخراج آن از شاخص نرمال شده تمایز پوشش گیاهی (NDVI) به دلیل اینکه همبستگی بالایی را با درصد تاج پوشش گیاهی نشان می‌دهد استفاده شده است. در این رابطه رنگزن و مرادزاده (1384)، بین NDVI استخراج شده از سنجنده ETM و درصد پوشش گیاهی، رابطه‌ای با همبستگی 86 درصد بدست آوردند.



شکل ۳. نقشه زمین شناسی ناحیه مطالعاتی



شکل ۲. نقشه NDVI ناحیه مطالعاتی

و میزان تراکم زهکشی را کنترل می کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه ها تأثیر بسزایی دارد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸). در این خصوص پس از بررسی توپوگرافی حوضه مورد مطالعه و نقش آن در تولید رسوب، امتیاز نقاط ارتفاعی تعیین گردید. با توجه به شرایط محیطی حاکم، بیشترین فرسایش در ارتفاع بزرگتر از ۳۰۰۰ متری با امتیاز ۹ و کمترین فرسایش نیز در ارتفاع ۱۰۰۰ متر با امتیاز ۲ روی می دهد (شکل ۶).

۶- لایه اقلیم:

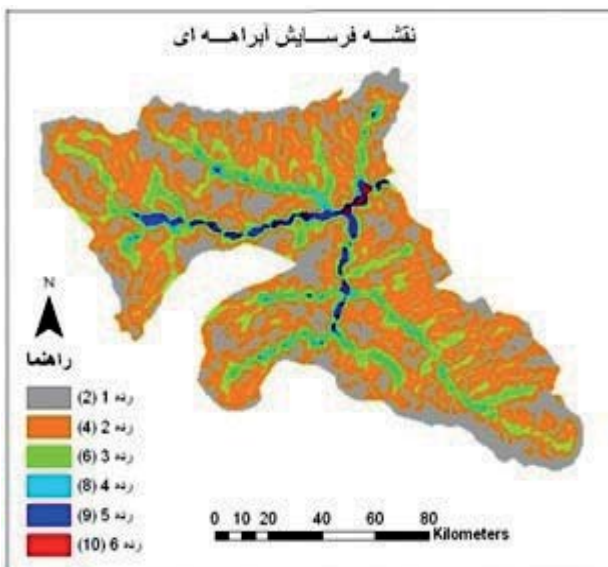
طبق مطالعات (Vente and Poesen, 2005) که در زمینه بررسی رابطه بین مقدار بارش و میزان رسوب انجام شده، لایه میزان بارش حوضه با درونیابی داده های مربوط به ایستگاه های موجود تهیه گردیده است. با توجه به اینکه بارندگی بالا تأثیر بیشتری بر

۴- لایه آبراهه ها:

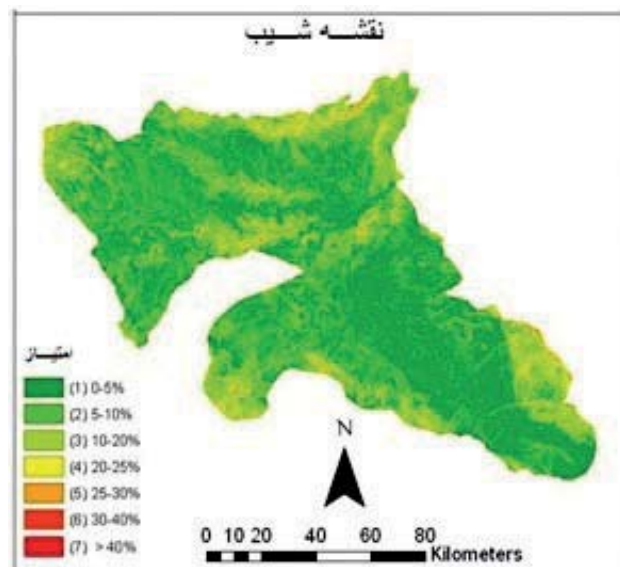
شبکه آبراهه های حوضه نشان دهنده چگونگی تخلیه رواناب از حوضه بوده و بررسی آن ها از اقدامات اساسی در عملیات هیدرولوژی است. سنجش درجه تکامل حوضه و شبکه رودخانه های آن با نمایه تراکم رده و انشعاب صورت می گیرد. در حوضه آبخیز مورد مطالعه آبراهه های درجه ششم با امتیاز ۱۰ بیشترین نقش در حمل فرسایش و رسوبدهی و آبراهه های درجه اول با امتیاز ۲ کمترین نقش را در فرسایش رسوبدهی حوضه داشته اند (شکل ۵).

۵- لایه پستی و بلندی (ارتفاع):

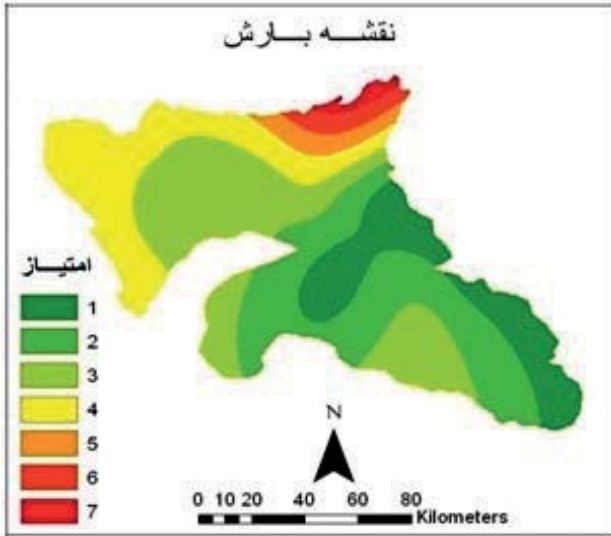
تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل موثر در ایجاد حرکات توده ای (فرسایش) محسوب می شود. این عامل، جهت روانابها



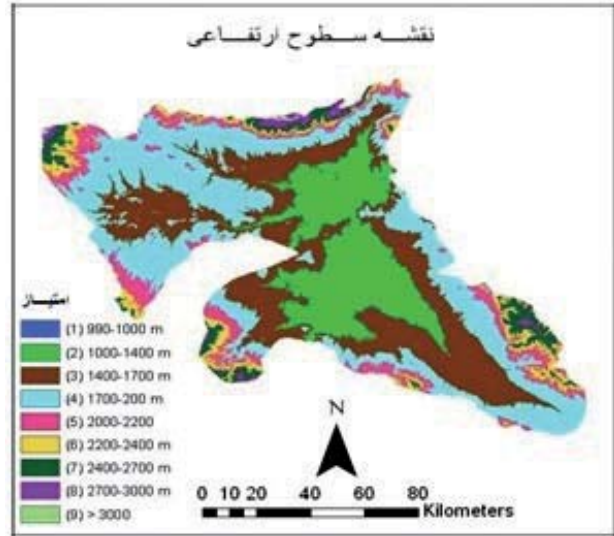
شکل ۵. نقشه فرسایش آبراهه ای ناحیه مطالعاتی



شکل ۴. نقشه شیب ناحیه مطالعاتی



شکل ۷. نقشه بارش ناحیه مطالعاتی



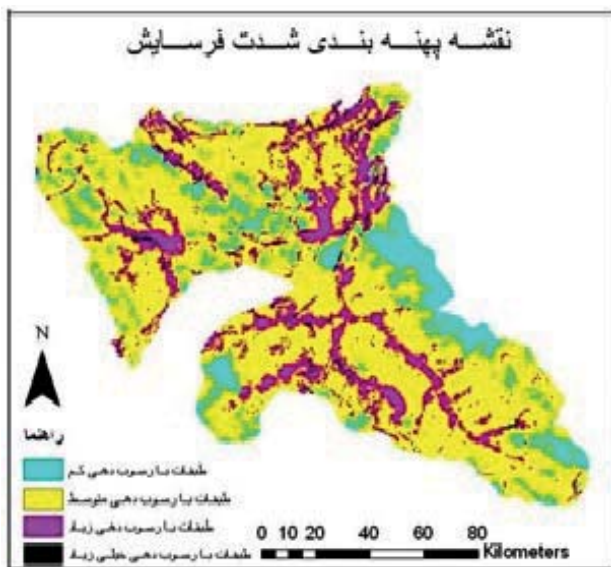
شکل ۶. نقشه سطوح ارتفاعی ناحیه مطالعاتی

در فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر امتیاز (عدد) صفر در نظر گرفته شد (شکل ۸).

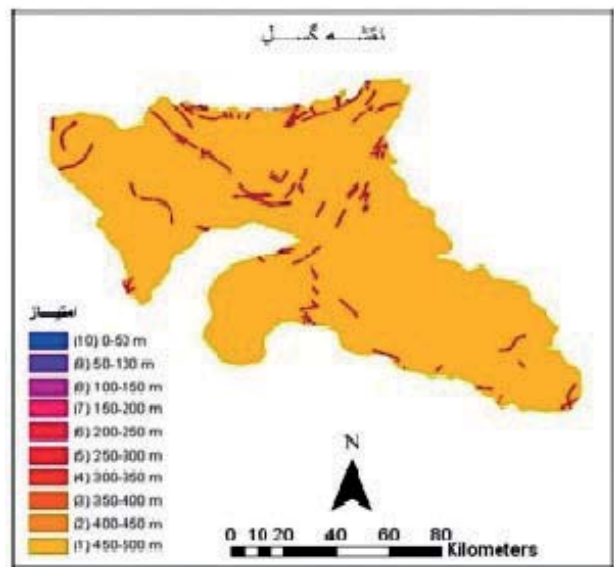
پس از تهیه لایه‌های مورد نیاز، با توجه به روش شاخص هم‌پوشانی^۱ در محیط نرم‌افزار Arc GIS، نقشه نهائی حاصل گردید که مناطق حساس به فرسایش در سطح حوضه را نشان می‌دهد (شکل ۹). همانطور که از نقشه معلوم است، دشت‌های میان کوهی و کناره‌های آبراه‌های اصلی و مناطق کوهستانی بخش شمالی، جنوبی و قسمت‌هایی از بخش غربی حوضه بیشترین مقدار رسوب را تولید می‌کنند که این امر بر اساس مشاهدات صحرائی و بررسی نقشه زمین‌شناسی این مناطق که عمدتاً از سازندهای آبرفتی دوران چهارم و تشکیلات ضعیف مارنی، مارن گچی، شیلی و ماسه‌ای تشکیل شده‌اند، تأیید می‌شود.

فرسایش دارد لایه بارش نیز از عدد یک تا ۷ امتیازدهی گردید و مناطقی با بارش بیشتر امتیاز بیشتری به خود گرفتند (شکل ۷).
۷- لایه گسل:

وجود گسل‌ها و خطواره‌ها به عنوان عامل ثانویه و یک متغیر مستقل در ایجاد فرسایش بسیار قابل توجه است. وجود گسل‌های فراوان در سطح حوضه، نقش مهمی در افزایش زاویه شیب دامنه‌ها داشته است. طبق بررسی‌های صورت گرفته حداکثر تأثیر گسل بر فرسایش تا فاصله ۵۰۰ متری می‌باشد و در فاصله بیشتر از آن عملاً تأثیری نخواهد داشت. لذا در محیط نرم‌افزار فاصله از گسل به ۵۰ متر بافر (میان‌گیر) گردید و به هرکدام از آنها بر حسب فاصله، امتیازی از عدد یک تا ده تعلق گرفت. بدین صورت که هرچه فاصله به گسل نزدیک‌تر بود امتیاز بیشتری منظور شد.



شکل ۹. نقشه شدت فرسایش ناحیه مطالعاتی



شکل ۸. نقشه گسل ناحیه مطالعاتی

ذکر این نکته حائز اهمیت است که بنابر نتایج روش GIS، سه فاکتور (پوشش گیاهی، لیتولوژی و فرسایش آبراهه‌ای) از میان هفت عامل، بیشترین نقش را در ایجاد رسوب دارند چرا که این سه عامل همبستگی بسیار بالایی با مناطق دارای پتانسیل فرسایشی زیاد دارند. به این معنی که طبقات کاربری اراضی نظیر پوشش گیاهی فشرده و مراتع خوب منطبق بر محدوده‌های با فرسایش کم می‌باشند. برعکس، خاک‌های برهنه و مراتع ضعیف در طبقات فرسایشی بسیار شدید واقع شده‌اند. عامل فرسایش پذیری سازندها و فرسایش رودخانه‌ای نیز همبستگی بالایی را با محدوده‌های طبقات فرسایشی نشان می‌دهند، بطوریکه مناطق با قابلیت فرسایش‌پذیری و تراکم زهکشی کم منطبق بر محدوده‌های پتانسیل فرسایش کم می‌باشند و برعکس. قابل توجه است که طبق شاخص‌های موجود سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، میزان رسوب دهی کل حوضه آبریز سد شهریار درحد متوسط می‌باشد.

نتیجه‌گیری پس از امتیازدهی و نهایی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی که بصورت لایه‌های وزنی در آمده‌اند اقدام به تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS به روش شاخص هم‌پوشانی شده است. حاصل این تلفیق به دست آمدن نقشه‌ای است که مقادیر آن نشان‌دهنده درجه رسوب‌دهی حوضه است. باتوجه به نقشه شدت فرسایش به نظر می‌رسد که بخش دشت‌های میان کوهی و کناره‌های آبراهه اصلی و مناطق کوهستانی بخش شمالی، جنوبی و قسمت‌هایی از بخش غربی حوضه که بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی نقشه زمین‌شناسی عمدتاً از سازندهای آبرفتی دوران چهارم و تشکیلات ضعیف مارنی، مارن گچی، شیلی و ماسه‌ای تشکیل شده‌اند، بیشترین رسوب را تولید می‌کنند. در ارتباط با نقش عوامل موثر در تولید رسوب قابل ذکر است که عامل پستی و بلندی، اقلیم، شیب و وضعیت تکتونیکی منطقه احتمالاً دارای کمترین تاثیر در امر فرسایش داشته‌اند. اما نتایج نهایی مبین این واقعیت است که بر اساس مدل EPM و روش GIS، محدوده‌های فرسایش همبستگی بسیار بالایی با وضعیت لیتولوژی، خاک و پوشش گیاهی و فرسایش آبراهه‌ای منطقه دارند چرا که سازندهای با حساسیت بالا، پوشش گیاهی ضعیف و تراکم زهکشی بالا منطبق بر نواحی با پتانسیل فرسایشی زیاد می‌باشند.

مطالعات قبلی اثبات نموده است که می‌توان ارزش مدل‌ها را از روی مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری تلفات خاک و مقدار پیش‌بینی شده تعیین نمود. همانطور که قبلاً اشاره شد، چون مدل EPM فاکتورهای محدودی را شامل می‌شود، طبیعتاً برآورد میزان رسوب آن نسبت به سایر مدل‌ها مانند MPCAC (که شامل ۹ فاکتور می‌باشد) از دقت کمتری برخوردار خواهد شد و لذا عموماً جهت تخمین سریع پتانسیل فرسایش در سدهای درحال احداث بکار گرفته می‌شود. بدیهی است که از نتایج حاصل از این مدل می‌توان در روند مدیریت منابع طبیعی با اجرای برنامه‌های آمایش سرزمین در حوضه‌های آبریز با در نظر گرفتن شرایط محلی بهره‌برداری کرد.

نتایج نهائی مطالعه جاری مؤید کارآمدی روش‌های دورسنجی و GIS در فرایند برآورد فرسایش خاک است. بنابراین، این فناوری‌ها را می‌توان برای حوضه‌های مشابه بکار گرفت. در چنین شرایطی، نظر کارشناسان مجرب در چگونگی تعیین عوامل موثر و بطور حتم در صحت و کارایی نتیجه نهایی بسیار تعیین‌کننده است. به همین دلیل، با تعیین نقش هر عامل موثر در فرآیند مدل‌سازی، ضمن برآورد میزان فرسایش کل حوضه‌های آبریز، باید به روند تغییرات مکانی و زمانی مکانیسم‌های فرسایش و رسوبگذاری نیز توجه خاصی مبذول داشت.

نتیجه اینکه باتوجه به برنامه‌ریزی برای احداث سدشهریار، رسوب حاصل از فرسایش و به ویژه تشدید میزان نقل و انتقال رسوب توسط رودخانه‌ها موجب پر شدن مخزن سد و کوتاه شدن عمر مفید آن می‌گردد. این مسئله لزوم ساماندهی و مدیریت حوضه را جهت کنترل فرسایش و تولید رسوب واحدهای حساس‌تر به فرسایش توجیه می‌کند.

منابع

- احمدی، ح.، ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی). چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸.
- حسینخانی، ح.، ۱۳۹۰. رسوب‌شناسی حوضه آبریز سد شهریار (استور) میانه و بررسی نقش لیتولوژی در میزان بار فرسایش آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۰.
- حسین‌زاده، م.م.، ثروتی، م.، ر.، منصوری، ع.، میرباقری، ب. و خضری، س.، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: محدوده مسیر سندج-دهگلان). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳ (۱۱)، ۲۷-۳۷.
- خاکسار، ک.، گودرزی، م.، غریب رضا، م.، و رحمتی، م.،

بر اساس شاخص‌های موجود سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، میزان رسوب‌دهی کل حوضه آبریز سد شهریار درحد متوسط می‌باشد و نشان‌دهنده شرایطی است که در صورت بی توجهی به اصول فرسایش می‌تواند به صدمات زیادی منجر گردد. از طرفی، نتایج حاصل از روش EPM بیانگر بیشترین رسوب‌دهی در زیرحوضه قزل اوزن واقع در محدوده جنوبی حوضه با میزان ۱۴۴۹۴ تن در هکتار در سال و کمترین مقادیر رسوب دهی در شرق حوضه در زیر حوضه آید و غموش معادل

نتیجه‌گیری

پس از امتیازدهی و نهایی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی که بصورت لایه‌های وزنی در آمده‌اند اقدام به تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS به روش شاخص هم‌پوشانی شده است. حاصل این تلفیق به دست آمدن نقشه‌ای است که مقادیر آن نشان‌دهنده درجه رسوب‌دهی حوضه است.

باتوجه به نقشه شدت فرسایش به نظر می‌رسد که بخش دشت‌های میان کوهی و کناره‌های آبراهه اصلی و مناطق کوهستانی بخش شمالی، جنوبی و قسمت‌هایی از بخش غربی حوضه که بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی نقشه زمین‌شناسی عمدتاً از سازندهای آبرفتی دوران چهارم و تشکیلات ضعیف مارنی، مارن گچی، شیلی و ماسه‌ای تشکیل شده‌اند، بیشترین رسوب را تولید می‌کنند. در ارتباط با نقش عوامل موثر در تولید رسوب قابل ذکر است که عامل پستی و بلندی، اقلیم، شیب و وضعیت تکتونیکی منطقه احتمالاً دارای کمترین تاثیر در امر فرسایش داشته‌اند. اما نتایج نهایی مبین این واقعیت است که بر اساس مدل EPM و روش GIS، محدوده‌های فرسایش همبستگی بسیار بالایی با وضعیت لیتولوژی، خاک و پوشش گیاهی و فرسایش آبراهه‌ای منطقه دارند چرا که سازندهای با حساسیت بالا، پوشش گیاهی ضعیف و تراکم زهکشی بالا منطبق بر نواحی با پتانسیل فرسایشی زیاد می‌باشند.

بر اساس شاخص‌های موجود سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، میزان رسوب‌دهی کل حوضه آبریز سد شهریار درحد متوسط می‌باشد و نشان‌دهنده شرایطی است که در صورت بی توجهی به اصول فرسایش می‌تواند به صدمات زیادی منجر گردد. از طرفی، نتایج حاصل از روش EPM بیانگر بیشترین رسوب‌دهی در زیرحوضه قزل اوزن واقع در محدوده جنوبی حوضه با میزان ۱۴۴۹۴ تن در هکتار در سال و کمترین مقادیر رسوب دهی در شرق حوضه در زیر حوضه آید و غموش معادل

- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The application of GIS- based logistic regression for landslide susceptibility mapping the Kakuda – yahiko Mountains. central Japan, Geomorphology, 65, 15–31.
- Bayramin, I., Dengis, O., Baskan, O. and Parlak, M., 2003. Soil erosion assessment with ICONA model: Case study: Bepyzari area. 27, 105-116.
- Dai, F.C. and Lee, C.F., 2002. Landslide characteristics and slop instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology, 31, 181 – 216.
- Franzi, L. and Bianco, G., 2001. A statistical method to predict debris flow deposited volumes on a Debris Fan. Elsevier Science, 26, 683-68.
- Ghedira, A., 1991. Study of erosion dynamic using GIS. National Seminar on GIS, Tunis, Tunisia, 10.
- Gavriolovic, Z. 1988. The use of an empirical method for calculating sediment production and transport in un-studied or torrential streams. International. Conference. for River Regime, 411-422.
- Hazarika, M.K., and Honda, K., 2001. Estimation of soil erosion using remote sensing and GIS, its valuation and economic implications on agricultural production, 10th International soil Conversation Organization Meeting, Purdue University.
- Hergault V., Fery ph. and Ois Me tivier, F., 2010. Image processing for the study of bed load transport of two- size spherical particles in a supercritical Flow, Experiments in Fluids, 49, 1095-1107.
- Karteris, M.A., Gatzoyannis, S. and Et Galanos, F., 1988. Use of second generation earth observation satelites in the implementation of forestry management models in Greece. Final Report to National Forest Nature Agency, Danish Ministry of Environment, 93.
- Owengh, M., 2003. Landuse planning and integrated management of natural hazards in Golestan province. Seminar on floods hazard prevention and mitigation , Gorgan, Iran, Abstract , 9
- PSIAC, 1968. Report of the water management sub-committee on factors affecting sediment yield in the pacific southwest area and selection and evaluation of erosion and sediment yield ASCE. 98, Report HY12.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation system in the Great Plain with the ERTS. Proceeding, third ERTS Symposium. 1, 48-62.
۱۳۸۵. تعیین حساسیت سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز مهارلو به فرسایش. فصلنامه علوم زمین، ۶۲، ۱۱۶-۱۲۹.
- ذاکری، م.ع. و صادقی، س.ح. ر.، ۱۳۹۱. تغییرات زمان توزیع اندازه رسوب بستر در رودخانه کجور، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- رنگزن، ک.، مرادزاده، م.، ۱۳۸۴. کاربرد سنجش از دور در تهیه لایه‌های اطلاعاتی پوشش زمین و کاربری اراضی مورد استفاده در مدل MPSIAC، همایش رسوب سازمان آب خوزستان.
- رنگزن، ک. و زراسوندی، ع. و حیدری، ا.، ۱۳۸۷. مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS. پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴، ۱۲۳-۱۳۶.
- علوی‌پناه، س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۴۷۸.
- قضاوتی، ر.، ولی، ع.ع.، مقامی، ی.، عبدی، ژ. و شرفی، س.، ۱۳۹۱. مقایسه مدل‌های MPSIAC، EPM و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS، جغرافیا و توسعه، ۲۷، ۱۱۷-۱۲۶.
- مقصودی، م. و حبیبی، ح.، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی فرسایش خاک و برآورد رسوب در حوضه آبخیز مریم نگار با استفاده از مدل‌های تجربی، پژوهش‌های علوم زمین، ۱، ۳۷-۴۲.
- نبوی، م.ح.، ۱۳۵۵. دیباچه بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹.
- یمانی، م. و اسکندری‌نژاد، ف.، ۱۳۸۹. تأثیر عوامل ژئومورفولوژیک بر رسوب‌زائی حوضه قزقنچای (زیرحوضه حبله رود در بالا دست سد نم‌رود) مجله پژوهش‌های علوم زمین، ۱، ۱-۱۷.
- یمانی، م. و ابراهیم‌خانی، ن.، ۱۳۸۹. ارزیابی فرسایش‌پذیری سازندها از طریق رسوب‌شناسی آبرفت‌های معرف (مطالعه موردی: حوضه حاجی عرب در استان قزوین)، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، ۸، ۷۰-۸۶.
- Amini, S., Rafiei, B., Khodabakhsh, S. and Heydari, M., 2010. Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan Damdrainage basin with EPM, using GIS. Iranian Journal of Earth Sciences, 2, 173-180.
- Amiri, F. and Tabatabaie, T., 2009. EPM Approach for erosion modeling using RS and GIS. 7th FIG Regional Conference, Vietnam, 19-22.
- Amiri, K., 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, 3.

- Spanner, A.M., Strahler, A.H. and Et Estes, E., 1983. Soil loss prediction in a geographic information system format. Proceeding. 17th International Symposium Remote Sensing of Enviroment., 89-102.
- Tangestani, M.H., 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi- arid envornment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 585-597.
- Tangestani, M.H., 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.
- Vente, J. and Poesen, J., 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi- quantitative models. Earth- Science Reviews, 71, 95-125.
- Wang, X. and P.Cui., 2005. Support Soil Conservation Practices by Identifying Critical Erosion Areas within an American Watershed Using the GIS-AGNPS MODEL. Retrieved:March 28, 2006 from http://www.spatialhydrology.com/Journal/paper/soil_conservation/AGNPS.