

مطالعه فرسایش پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل EPM به کمک GIS در بخشی از حوضه آبریز زاینده رود - حوضه حیدری در شمال شهر کرد

زینب خدابخشی، کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان

ناصر ارزانی، دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور اصفهان *

خدایار عبداللهی، کارشناس مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی شهرکرد

علیرضا داودیان، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه شهرکرد

چکیده

فرسایش سازند های سنگی و ورود حجم عظیمی از رسوبات به دریاچه سد زاینده رود، در شمال شهر کرد، اهمیت و لزوم مطالعه چگونگی تولید و حمل رسوبات در حوضه آبریز این سد را مشخص می کند. حوضه حیدری یکی از حوضه های رودخانه و سد زاینده رود است که مساحتی بالغ بر ۱۱۷/۲ کیلومتر مربع دارد و از نظر زمین شناسی در زون سنندج - سیرجان و در مجاورت زاگرس مرتفع واقع است. با توجه به توان تولید رسوب از سازند های سنگی منطقه مورد مطالعه، کارآیی مدل های زمین شناسی مانند اندیس فرسایش و EPM در برآورد رسوب در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور حوضه آبریز مورد مطالعه به شش زیرحوضه تقسیم و ابتدا از سرشاخه های آبراهه های اصلی نمونه برداری شده است. پس از انجام دانه بندی و مطالعات سنگ شناسی رسوبات روی غربالها، اندیس فرسایش واحدهای سنگی محاسبه و سپس میزان حساسیت به فرسایش آنها تعیین گردیده است. شدت رسوبدهی در این حوضه با استفاده از چهار پارامتر مربوط به مدل EPM محاسبه شده است. علاوه بر آن به روش بیلان رسوب سالانه، میزان واقعی رسوبدهی حوضه تعیین گردیده است. مقایسه نتایج این مطالعه بر اساس داده های حاصل از مطالعات رسوب شناسی با داده های بدست آمده از مدل EPM و استفاده از تکنیک Cross Validation با شاخص قراردادن نتایج حاصل از بیلان رسوب سالانه، مشخص می کند که روش اندیس فرسایش به واقعیت نزدیکتر بوده و این اندیس با توجه به عوامل لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی و در بخش های مختلف حوضه آبریز برای یک واحد سنگی متفاوت است.

واژه های کلیدی: حوضه حیدری و سد زاینده رود، رسوب، فرسایش، اندیس فرسایش، EPM

مقدمه

میزان فرسایش واحد‌های سنگی و حمل رسوبات توسط عوامل حمل و نقل به حوضه‌های رسوبی، یکی از پارامترهای تعیین‌کننده ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و اختصاصات تجمع و یا جابجایی مجدد توده‌های رسوبی است (Jones 2004; Vente and Poesen 2005; Brown et al. 2009; Sui et al. 2009). فرسایش و حمل رسوبات در حوضه‌های رسوبی و رسوبگذاری در مخازن سدها باعث کوتاه شدن عمر مفید سدها می‌شود و بنابراین مطالعه فرآیندهای موثر در این رسوبگذاری اهمیت دارد (برای مثال: Grams and Schmidt 2005) و ارومیه‌ای و همکاران (۱۳۸۱). در مطالعات حوضه‌های رسوبی و بخصوص تولید و حمل رسوبات و با توجه به حجم بالای داده‌های مورد بررسی، به ابزاری نیاز است که بتواند کلیه مراحل اجرای مدل‌ها آسانتر، دقیقتر و سریعتر صورت گیرد. امروزه مدل‌های مختلفی از جمله مدل‌های کمیته‌های بین‌آژانس جنوب شرق پاسیفیک (PSIAC)^۱، معادله جهانی فرسایش (USLE)^۲، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP)^۳ و مدل روش پتانسیل فرسایش (EPM)^۴ برای این منظور استفاده می‌شوند. فن‌آوری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) با توجه به توانایی‌های بالای آن برای کار با داده‌های جغرافیایی، امکان انجام چنین مطالعاتی با هزینه کمتر و دقت و سرعت بیشتر را فراهم میکند. در واقع با در نظر گرفتن چنین هدف، تمامی مراحل بکارگیری مدل‌های مذکور به کمک GIS انجام شده است (برای مثال مراجعه شود به: Solaimani et al. 2009; Tangestani 2006 و همکاران (۱۳۷۹)).

در این مطالعه به منظور درک شرایط تولید و حمل رسوب به مخزن سد و دریاچه زاینده رود، حوضه

حیدری به عنوان یکی از حوضه‌های آبریز در شمال شهر کرد انتخاب و با استفاده از روش مدل EPM به کمک GIS شدت رسوبدهی هر زیرحوضه مشخص و با بهره‌گیری از مطالعات رسوب‌شناسی و با شاهد قرار دادن نتایج بدست آمده از روش بیلان رسوب سالانه، داده‌ها با هم مقایسه شده‌اند. نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌تواند مناطق حساس به فرسایش در این حوضه را شناسایی کند و سپس با اندیشیدن راهکارهای صحیح برای کنترل تولید و حمل و نقل رسوبات، عمر مفید سد را افزایش دهد.

موقعیت طبیعی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

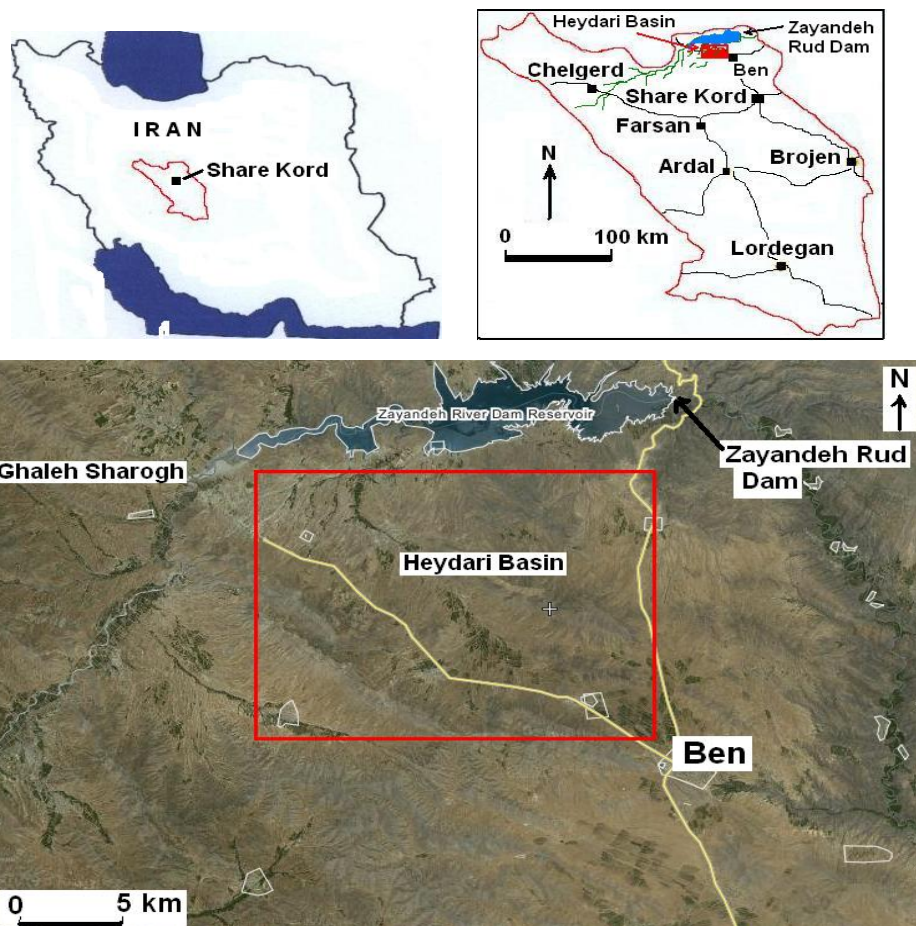
منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه‌های آبریز رودخانه زاینده رود در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد (شکل ۱). حوضه آبریز حیدری در فاصله حدود ۴۵ کیلومتری شمال شهرستان شهرکرد و بین طول $50^{\circ}31'44''$ تا $50^{\circ}41'10''$ شرقی و عرض $32^{\circ}33'20''$ تا $32^{\circ}40'34''$ شمالی قرار دارد. این حوضه با وسعت حدود $117/2$ کیلومتر از شمال به دریاچه سد زاینده رود و از غرب و جنوب به رشته کوه‌های که از کوه برآفتاب تا سید بهاء‌الدین و کوه لاطان کشیده شده است، ختم می‌شود. کوه‌های شیدا و یان چشمه در قسمت شرقی این حوضه واقع شده‌اند. منطقه مورد مطالعه در نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شاه‌آباد (سازمان جغرافیای ارتش ۱۳۷۷) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چادگان (قاسمی و همکاران ۱۳۸۵) قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی در زون سندج - سیرجان و در مجاورت زاگرس مرتفع واقع شده است (درویش زاده (۱۳۷۱)).

¹-Pacific Southwest Inter Agency Committee

²- Universal Soil Loss Equation

³- Water Erosion Prediction Project

⁴- Erosion Potential Method



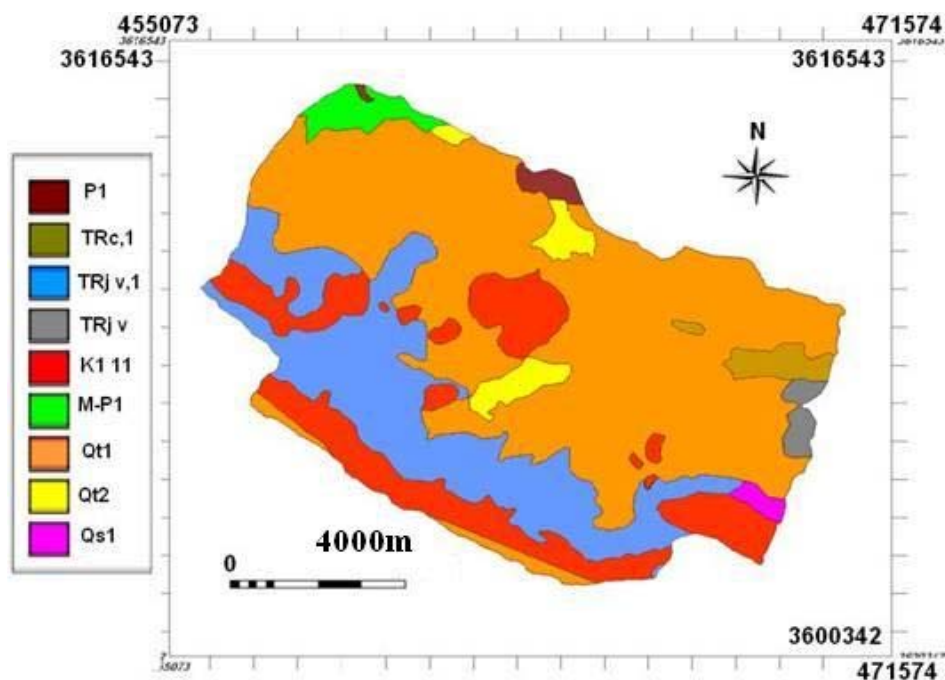
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه های ارتباطی و عکس ماهواره ای منطقه مورد مطالعه (حوضه حیدری) در شمال شهر کرد در استان چهار محال و بختیاری (عکس ماهواره از سایت Wikimapia.org)

قسمت جنوبی حوضه مورد مطالعه کوهستانی و پر شیب بوده و به سمت شمال از شیب حوضه کاسته شده است و اکثر مناطق حوضه هموار و دارای شیب ملایم می باشند. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۵۰۰ متر و حداقل آن ۲۱۲۰ متر از سطح آزاد دریا است. رسوبات بستر در مناطق پر شیب دارای ویژگی های مخروط افکنه بوده و به مرور به نوع رسوبات رودخانه ای تبدیل شده است و انشعابات در شبکه رودخانه در اکثر مناطق به صورت موازی و گاهی درختی به یکدیگر متصل گردیده است.

گسل های اصلی مؤثر در منطقه مورد مطالعه شامل گسل های بن و شیدا هستند. این گسل ها از نوع معکوس با راستای شمال باختر- جنوب خاور می باشند و بر خلاف گسل شیدا، گسل بن به سمت شمال خاور شیب دارد. حوضه آبریز مورد مطالعه دارای سازند های چینه ای متنوعی است. قدیمی ترین سازندهای موجود در حوضه مربوط به پالئوزوئیک فوقانی (پرمین) بوده و جدیدترین آن مربوط به کواترنر است (قاسمی و همکاران ۱۳۸۵). واحد های سنگی که در همین حوضه رخنمون دارد در شکل (۲) و جدول (۱) مشخص شده است.

جدول ۱: راهنمای واحدهای سنگی موجود در حوضه حیدری در شمال شهر کرد که در شکل (۲) مشخص شده است (بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چادگان، ۱۳۸۵).

واحد سنگی	سن	علامت	لیتولوژی
کربناته پرمین	پرمین	P^1	آهکهای خاکستری روشن تا سفید، آهکهای خاکستری تیره
تخریبی - کربناته	تریاس	$TR^{C,1}$	کنگلومرال با سیمان آهکی، آهک های خاکستری
آذرین بیرونی - کربناته	تریاس - ژوراسیک	$TRJ^{V,1}$	تراکی آندزیت تا بازالتیک تراکی آندزیت، ساب ولکانیک و درون لایه های آهکی
آذرین بیرونی	تریاس - ژوراسیک	TRJ^V	تراکی آندزیت تا آندزیتیک بازالت، ساب ولکانیک
کربناته	کرتاسه زیرین	K_1^{11}	سنگ آهک رس دار، سنگ آهک ماسه ای
مارنی	میوسن - پلیوسن	$M - P1$	مارن سبز متمایل به خاکستری، سنگ آهک ماسه ای خاکستری تا کرم ژپیس دار
رسوبات کواترنری	کواترنری	Q^{t1}	تراس های قدیمی
		Q^{t2}	تراس های رودخانه ای جوان
		Q^{s1}	واریزه های دامنه ای



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ساده شده حوضه مورد مطالعه شامل بیرون زدگیهای پرمین (P)، تریاس (TR)، تریاس - ژوراسیک (TRj)، کرتاسه (K)، پلیوسن-میوسن (MP) و کواترنری (Q). برای توضیح به جدول (۱) مراجعه شود (اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چادگان، ۱۳۸۵).

شاهد قرار دادن نتایج بدست آمده از روش بیلان رسوب سالانه با هم مقایسه می شوند (برای مثال: Tangestani 2006; Fanetti and Vezzoli 2007; Solaimani et al. 2009).

با توجه به بکارگیری روش های فوق در این مطالعه، حوضه حوضه حیدری در شمال شهرکرد به شش زیرحوضه (A, B, C, D, E, F)، که در هر کدام آبراهه ها نیز مشخص هستند، تقسیم شده است (شکل ۳). از سرشاخه های اصلی منطقه با در نظر گرفتن تغییرات لیتولوژی در بخش های مختلف حدود ۳۳ نمونه برداشت شده است. نمونه ها به گونه ای برداشت شده اند که نشانگر ویژگی های رسوب در کل محل نمونه برداری باشند. پس از خشک کردن نمونه ها در آون و دانه بندی آنها، رسوبات مانده روی الکهای ۱۰، ۳۰ و ۶۰ با استفاده از میکروسکوپ دو چشمی (Binocular) و تهیه مقطع نازک از نمونه های رسوبی و واحدهای سنگی مورد بررسی کانی شناسی و سنگ شناسی قرار گرفته است. با نسبت دادن فراوانی های مشخص از دانه ها به هر واحد همگن X (واحد های سنگی که اندیس فرسایش در آن محاسبه می شود) و در نظر گرفتن مساحت های مرتبط با آنها، اندیس فرسایش برای هر یک از واحدهای منطقه به کمک رابطه (۱) (فیض نیا ۱۳۸۷) محاسبه گردیده است.

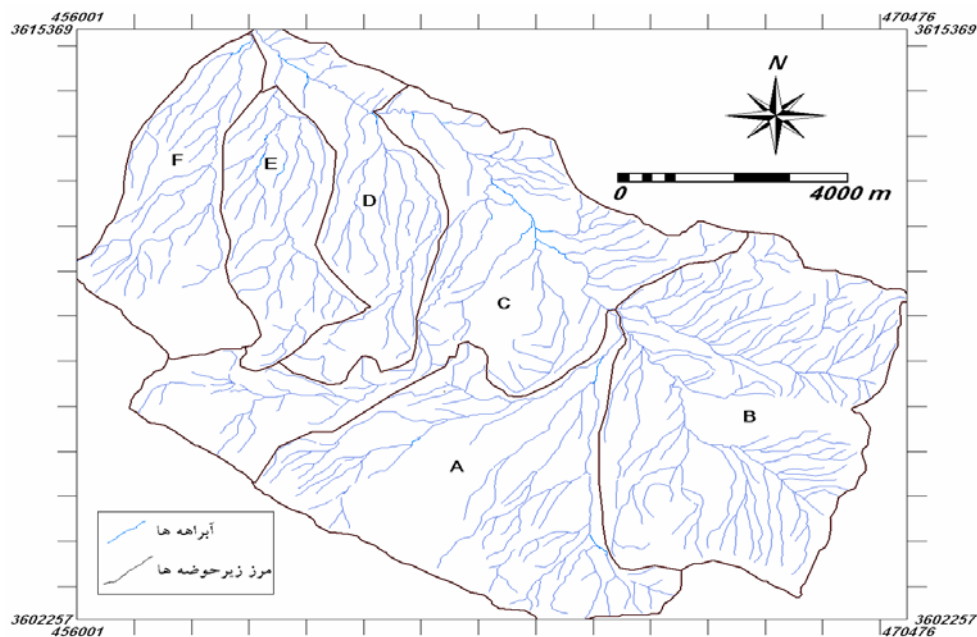
اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس روش کوپن (Koppen) (نقل از عزیزاده ۱۳۸۴)، اقلیم معتدل سرد همراه با تابستانهای بسیار گرم و خشک می باشد. رژیم بارندگی در حوضه مورد مطالعه به گونه ای می باشد که قسمت اعظم بارندگی در نیمه دوم سال اتفاق افتاده و حداکثر بارندگی در دی ماه به میزان ۶۵/۶ میلی متر می باشد.

روش مطالعه

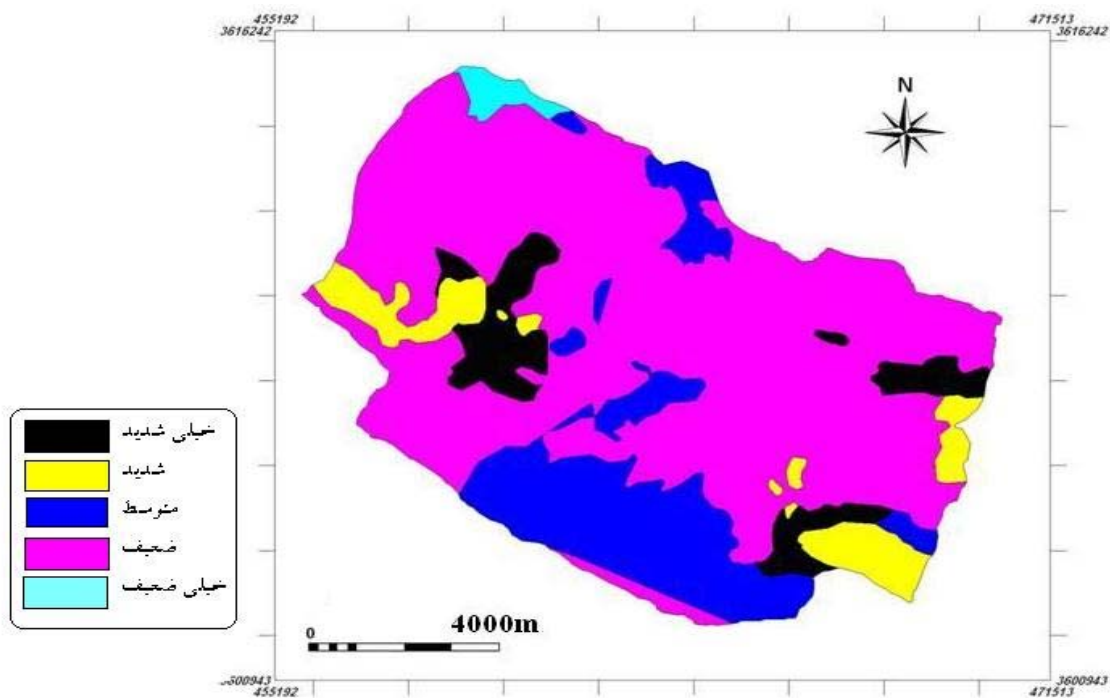
- مطالعه رسوب شناسی و اندیس فرسایش

به منظور مطالعه وضعیت رسوب شناسی و فرسایش پذیری واحدهای سنگی یک حوضه رسوبی ابتدا لازم است که با استفاده از نقشه های زمین شناسی و عکس های ماهواره ای دید کلی از وضعیت زمین شناسی آن منطقه بدست آورده و سپس از زیرحوضه های موجود و از سرشاخه های آبراهه های اصلی نمونه برداری شود. بطور کلی اندیس فرسایش هر زیرحوضه با دانه بندی این نمونه ها و تجزیه و تحلیل داده های حاصل از بررسی های کانی شناسی و سنگ شناسی خرده سنگ های موجود تعیین می شود. در این روش، بعد از مشخص کردن اندیس فرسایش، با استفاده از مدل EPM شدت رسوبدهی هر زیرحوضه مشخص می شود و سپس به روش عملی بیلان رسوب سالانه، میزان رسوبدهی حوضه بدست می آید. در پایان نتایج حاصل از مدل EPM و مطالعات رسوب شناسی با

$$(1) \quad \text{درصد فراوانی رسوب حاصل از واحد همگن X} = \frac{\text{اندیس فرسایش}}{\text{درصد مساحت واحد همگن X}}$$



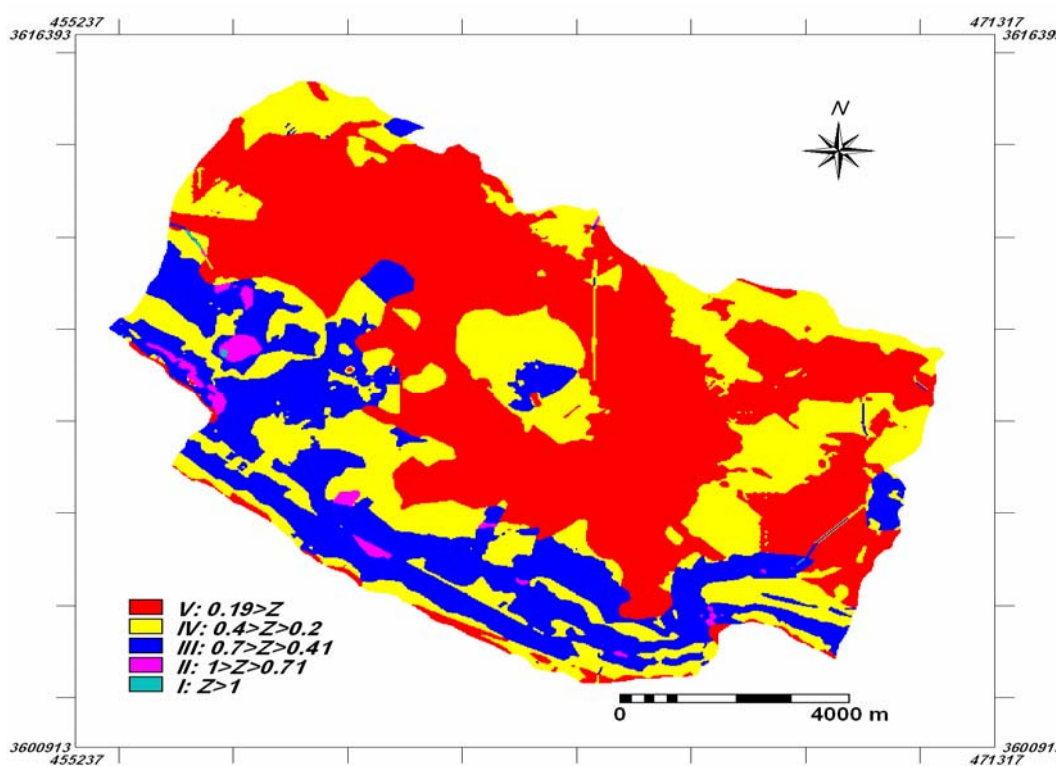
شکل ۳: حوضه آبریز حیدری در شمال شهر کرد، زیرحوضه ها و آبراهه های موجود در آن (بر اساس نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ یان چشمه، مشهد کاوه، بن و بارده در استان چهارمحال بختیاری).



شکل ۳: نقشه حساسیت به فرسایش حوضه حیدری در شمال شهر کرد (به روش رسوب شناسی اندیس فرسایش). برای شرح و بحث به متن مقاله و جدول (۲) مراجعه شود.

شدید، بین ۱۰۰-۲۰۰ معرف فرسایش پذیری متوسط، بین ۵۰-۱۰۰ معرف فرسایش پذیری ضعیف و برای مقادیر کمتر از ۵۰، معرف فرسایش پذیری خیلی ضعیف است. نتایج حاصل در جدول (۲) آورده شده است. سپس با استفاده از مقادیر بدست آمده برای اندیس فرسایش واحدهای سنگی در هر زیرحوضه، نقشه فرسایش پذیری واحدهای سنگی به تفکیک تهیه شده است (شکل ۴).

رابطه بالا تنها نشانگر بار بستر یک حوضه است و با توجه به این که بار معلق نیز بخش مهمی از رسوبات می باشد، بدین منظور اعداد بدست آمده از رابطه (۱) را، در عددی بین ۱-۲ ضرب می کنیم. کمترین آن مربوط به واحدهای آهکی و دولومیتی با ضریب ۱ و بیشترین آن مربوط به واحدهای رسی و مارنی با ضریب ۲ می باشد. در صورتی که عدد بدست آمده بزرگتر از ۳۰۰ باشد معرف فرسایش پذیری خیلی شدید، بین ۲۰۰-۳۰۰ معرف فرسایش پذیری



شکل ۴: نقشه طبقه بندی شده شدت فرسایش (Z) حوضه حیدری در شمال شهر کرد (براساس روش EPM) برای شرح به متن مقاله مراجعه شود.

جدول ۲: اندیس فرسایش واحد های سنگی در حوضه آبریز حیدری (زیرحوضه های A تا F). برای توزیع اندیس، شکل های ۳ تا ۵ را ملاحظه کنید.

زیر حوضه	واحد سنگی	اندیس فرسایش	ضریب بار معلق	اندیس فرسایش پس از اعمال ضریب بار معلق	وضعیت فرسایش
A	K_1^{I1}	۱۹۳/۱۰	۱	۱۹۳/۱۰	فرسایش متوسط
	$TRJ^{V,1}$	۹۷/۹۴	۱/۱	۱۰۷/۷۴	فرسایش متوسط
	Q^{I1}	۲/۴۳	۱/۵	۳/۶۵	فرسایش ضعیف
B	K_1^{I1}	۲۵۰/۳۸	۱	۲۵۰/۳۸	فرسایش شدید
	$TRJ^{V,1}$	۶۳۴/۶۷	۱/۱	۶۹۸/۱۴	فرسایش خیلی شدید
	$TR^{C,1}$	۴۱۴/۶۳	۱/۱	۴۵۶/۱۰	فرسایش خیلی شدید
C	TRJ^V	۲۰۶/۷۴	۱/۲	۲۵۱/۶۹	فرسایش شدید
	K_1^{I1}	۶۰/۷۳	۱	۶۰/۷۳	فرسایش ضعیف
	$TRJ^{V,1}$	۶۰/۷۵	۱/۱	۶۶/۸۳	فرسایش ضعیف
D	P^1	۱۱۳/۳۴	۱	۱۱۳/۳۴	فرسایش متوسط
	K_1^{I1}	۱۴۱/۶۴	۱	۱۴۱/۶۴	فرسایش متوسط
	$TRJ^{V,1}$	۳۶۶/۵۸	۱/۱	۴۰۳/۲۳	فرسایش خیلی شدید
E	$M - P1$	۱۲/۳۵	۲	۵۳۴/۶۹	فرسایش خیلی شدید
	K_1^{I1}	۲۱۲/۰۴	۱	۲۱۲/۰۴	فرسایش شدید
	$TRJ^{V,1}$	۲۸۹/۶۰	۱/۱	۳۱۸/۵۶	فرسایش خیلی شدید
F	K_1^{I1}	۲۰۶/۳۲	۱	۲۰۶/۳۲	فرسایش شدید
	$TRJ^{V,1}$	۸۵/۶۵	۱/۱	۹۴/۲۲	فرسایش ضعیف
	$M - P1$	۴۴/۵۶	۲	۲۸۹/۱۲	فرسایش شدید

واریزه های دامنه ای سست هستند و با بارندگی شدید تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته و با ریزش تحت تاثیر فرسایش قرار می گیرند

– مدل EPM

مدل EPM، با استفاده از اطلاعات قطعه زمین های فرسایشی و اندازه گیری رسوب پس از ۴۰ سال

با توجه به لیتولوژی، پوشش گیاهی، وضعیت تکنیکی و شیب منطقه، میزان اندیس فرسایش برای یک واحد سنگی از یک زیرحوضه به زیرحوضه دیگر در منطقه مورد مطالعه متفاوت می باشد. مشاهدات صحرائی و توجه به فرسایش پذیری رسوبات آبرفتی نشان می دهد که رسوبات مربوط به تراس های قدیمی سخت شده و در مقابل فرسایش نسبتاً مقاومند ولی تراس های جوان و

شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ چادگان سازمان زمین شناسی کشور، نقشه کاربری اراضی و نقشه حساسیت به فرسایش از مطالعات آبخیزداری حوضه آبریز می باشند. باتوجه به این که در مدل EPM لایه های زیادی وجود دارد و از این لایه ها باید نقشه شدت فرسایش و میزان رسوبدهی تهیه شود، لازم است که این لایه ها با یکدیگر همپوشانی داده شوند. بنابراین به کمک نرم افزار ILWIS، پس از تبدیل مختصات جغرافیایی چهار گوشه نقشه های اسکن شده به سیستم UTM و ژئورفرنس (نقاط کنترل) نمودن لایه های اطلاعاتی برای دقت در انطباق لایه ها با نقشه های اولیه، عمل انطباق مرز حوضه و زیرحوضه ها با لایه های مختلف و پلی گونی نمودن واحدهای مورد نظر و دادن ضرایب مناسب به هر پلی گون و سپس تبدیل لایه های پلی گونی به رستر صورت گرفت. ضرایب محاسبه شده در جدول (۵) ارائه گردیده است. سپس به منظور تهیه نقشه شیب، پس از رقومی کردن منحنی های میزان نقشه توپوگرافی و درون یابی این منحنی ها در محیط GIS نقشه ای به نام مدل رقومی ارتفاع حاصل گردید و بنابر تعریف شیب (تغییرات ارتفاع نسبت به فاصله) از اعمال فرمول مربوطه روی مدل رقومی منطقه، نقشه شیب بدست آمده و پس از تبدیل به ارزشهای با شکل صدم لایه مناسب برای محاسبه EPM گردید. سپس در خط فرمان ILWIS با استفاده از فرمول (۸) مقدار ضریب Z در قالب نقشه محاسبه شد.

$$Z_{map} = Y.Xa(\Phi + S^{0.5}) \quad (۸)$$

S در فرمول (۸) شیب متوسط حوزه است.

تحقیقات در کشور یوگسلاوی بدست آمده و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلویچ^۱ ارائه گردیده است (رفاهی ۱۳۸۲). در این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه آبریز (ϕ)، ضریب استفاده از زمین (Xa)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه (I) در واحد های مختلف اراضی مورد بررسی قرار می گیرد. با استفاده از این عوامل می توان شدت فرسایش را محاسبه و نهایتاً نقشه فرسایش را تهیه نمود. براساس این چهار فاکتور مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش از رابطه (۲) محاسبه می شود. این عوامل و محدوده امتیازات مربوط به مدل EPM در جدول (۳) و جمع امتیازات مرتبط به ۴ شاخص که مشخص کننده کلاس شدت رسوبدهی است در جدول (۴) ارائه شده است.

$$Z = Y.Xa(\phi + 1)^{1.5} \quad (۲)$$

محاسبه میزان فرسایش بر این اساس به صورت رابطه ۳ ارائه شده است:

$$WSP = T.H.\pi.Z^{1.5} \quad (۳)$$

که در آن H میانگین بارندگی سالانه (mm)، π عدد ۳/۱۴، Wsp نیز میانگین سالانه فرسایش ویژه ($m^3 / Km^2 / yr$) است و T ضریب درجه حرارت است

که از رابطه ۳ به دست می آید و در آن t میانگین دمای سالانه برحسب سانتی گراد می باشد (رابطه ۴):

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5} \quad (۴)$$

اطلاعات مورد نیاز این پژوهش نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شاه آباد سازمان جغرافیای ارتش، نقشه زمین

^۱-Gavrilovic

جدول ۳: مقادیر میانگین ضرایب موثر در فرسایش خاک و رسوبدهی در مدل EPM

حدود امتیاز	ضرایب
۰/۱ - ۱	ضریب فرسایش منطقه (ϕ)
۰/۱ - ۱	ضریب استفاده از زمین (Xa)
۰/۲۵ - ۲	ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

جدول ۴: طبقه بندی شدت فرسایش (رفاهی ۱۳۸۲). برای مقایسه با حوضه حیدری به شکل (۴) مراجعه شود

شدت فرسایش	ارزش متوسط Z	ارزش حد Z	طبقه بندی فرسایش
خیلی شدید	۱/۲۵	$Z > 1$	۱
شدید	۰/۸۵	$1 > Z > 0.71$	۲
متوسط	۰/۵۵	$0.71 > Z > 0.41$	۳
کم	۰/۲	$0.41 > Z > 0.2$	۴
خیلی کم	۰/۱	$0.19 > Z$	۵

جدول ۵: ضرایب محاسبه شده در روش EPM

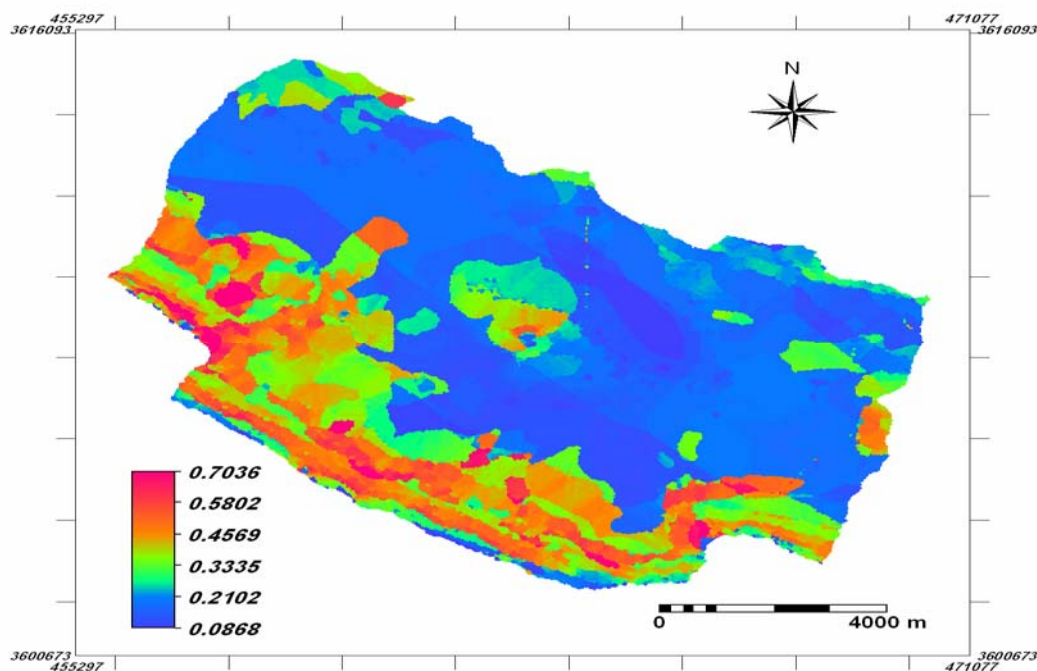
F	E	D	C	B	A	زیرحوضه
۱	۰/۹۳	۱	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۸۵	Y
۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۶۴	Xa
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	ϕ

گردید. نقشه کلاس بندی شدت فرسایش در شکل (۵) دیده می شود. برای تخمین متوسط سالانه رسوب در محیط نرم افزار ILWIS از فرمول (۹) بهره گرفته شد:

نقشه حاصل نقشه ای است که مقدار مدل EPM را بصورت توزیعی ارائه می نماید. برای طبقه بندی شدت فرسایش نقشه رستری فوق با فرمان Slicing به طبقات خیلی کم، کم، متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه بندی

$$WSP = T.P.3.13.Z^{1.5} \quad (9)$$

P در فرمول (۹) ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز بر حسب میلیمتر است. بدین ترتیب نقشه WSP که شدت فرسایش ویژه را بر حسب مترمکعب در سال به ما نشان می دهد، حاصل گردید (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه شدت فرسایش ویژه حوضه حیدری در شمال شهر کرد (براساس روش EPM).

حوضه می باشد و به دلیل اینکه در شمال شرق و به ویژه در مرکز حوضه شیب بسیار کم است و جنس منطقه تقریباً یکنواخت است میزان رسوب دهی ویژه کمترین مقدار را نشان می دهد.

با توجه به نتایج حاصل از مدل EPM (جدول ۶) و نقشه های (۵) و (۶)، بیشترین میزان رسوبدهی ویژه در غرب حوضه و به ویژه در زیر حوضه های A و F می باشد و کمترین میزان رسوبدهی در حوضه شمال شرقی قرار دارد، که دلیل این امر تغییرات لیتولوژیکی و شیب بیشتر در غرب

جدول ۶: نتایج محاسبه برآورد رسوب در روش EPM در حوضه آبریز حیدری (برای بحث به متن مقاله و برای محل زیر حوضه ها به شکل ۲ مراجعه شود)

زیر حوضه	مساحت زیر حوضه Km^2	درصد گسترش	مقدار رسوب تولیدی بر حسب تن در سال	اولویت رسوبزایی	کلاس فرسایش	درصد تولید رسوب
A	۲۴/۹۷	۲۱/۳	۶۶۲/۸۵	۲	کم	۲۱/۴۶
B	۳۰/۵۲	۲۶/۰۴	۳۴۷/۹۲	۵	کم	۱۱/۲۷
C	۲۶/۶۳	۲۲/۷۲	۴۵۸/۲۹	۴	کم	۱۴/۸۴
D	۱۲/۸۳	۱۰/۹۴	۳۳۷/۲۱	۶	کم	۱۰/۹۲
E	۹/۵۶	۸/۱۵	۴۹۰/۸۲	۳	کم	۱۵/۸۹
F	۱۲/۶۷	۱۰/۸۱	۷۹۰/۴۴	۱	متوسط	۲۵/۶۰

– روش بیان رسوب سالانه

در لیتر محاسبه کرد. از آنجا که مواد انحلالی، تقریباً دارای غلظت یکسانی در نقاط مختلف مقطع عرضی رودخانه می باشند لذا برداشت یک نمونه از این مقطع و در دبی های مختلف، کافی به نظر می رسد. اما همواره بخشی از ذرات ریز شامل کلئیدها، رس و لای (سیلت) و گاهی ماسه نرم بصورت بار معلق (T.S.S) حمل می شوند. جمع کل مواد معلق (T.S.S) نمونه آب برداشته شده از پشت سد اصلاحی در جدول (۷) آمده است.

سالانه حجم بسیار زیادی از رسوبات به حالتهای مختلف از بالادست حوضه ها حرکت کرده و از حوضه خارج می گردد و باعث می شود خسارات بسیار زیادی به طبیعت و انسانها وارد گردد. این رسوبات می توانند از منشا مختلف باشند (Coleman and Scatena 1986; Renschler and Harbor 2002). مواد مختلفی را که توسط آب حمل می شوند، می توان به سه گروه شامل بار انحلالی، بار معلق و بارکف (باربستر) تقسیم کرد (مهدوی ۱۳۸۱). جمع کل مواد محلول در آب (T.D.S) را می توان از طریق برداشت حجم معینی از نمونه آب و توزین باقیمانده املاح پس از تبخیر، بر حسب میلی گرم

جدول ۷: نتایج آنالیز آب از پشت سد اصلاحی آبخیزداری واقع در انتهای منطقه مورد مطالعه (خروجی حوضه

حیدری)

پارامترهای محاسبه شده نمونه آب	مقدار بر حسب میلی گرم در لیتر
بیکربنات کلسیم	۱۴۲/۳
TSS بار معلق	۳۸/۴
TDS بار انحلالی	۲۸۶

با توجه به این که مواد انحلالی در آب مشکل قابل توجهی را در رسوب گذاری مخازن ایجاد نمی کنند لذا وزن کل مواد رسوبی رودخانه را از جمع بار معلق و بارکف به دست می آورند (رابطه ۷).

میزان تخریب متوسط سالانه را در واحد سطح را تخریب مخصوص یا تخریب ویژه می نامند و واحد آن تن بر کیلومتر مربع در سال و یا تن بر هکتار در سال می باشد.

$$\text{تخریب ویژه} = \frac{\text{وزن بار معلق} + \text{بار کف}}{\text{مساحت حوضه}} \quad (۷)$$

منظور تعیین میزان بار انحلالی و میزان بیکربنات کلسیم و بار معلق موجود در آب جاری منطقه، یک نمونه آب از پشت سد اصلاحی آبخیزداری که در طول ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه و ۲۶ ثانیه شرقی و در عرض ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه و

از آنجا که اندازه گیری مورد نیاز این روش عملی بوده و درصد خطا پایین است، بنابراین نتایج حاصل از آن واقعی بوده و بعنوان یک شاخص جهت محاسبه مقدار واقعی رسوبدهی سالانه استفاده گردیده است. به

مورد مطالعه برابر ۷/۴۱ تن در کیلومتر مربع در سال می باشد (براساس جدول ۷). با ضرب میزان تخریب ویژه در مساحت حوضه میزان رسوبدهی بدست می آید. بنابراین میزان رسوبدهی از کل حوضه آبریز برابر ۶۸۹/۱۴ تن در سال است. میزان واقعی رسوب سالانه زیرحوضه ها در جدول (۸) مشاهده می گردد.

۴۴ ثانیه شمالی و در روستای حیدری (در انتهای حوضه) واقع گردیده است، مورد آنالیز قرار گرفت. هم چنین به منظور محاسبه میزان بار کف در حوضه مورد مطالعه، با محاسبه حجم و وزن مخصوص رسوبات جمع شده پشت سد اصلاحی آبخیزداری، وزن بار کف انباشته شده در پشت سد بدست آمد.

با در نظر گرفتن وزن رسوبات و میزان بار معلق بدست آمده از آنالیز آب، میزان تخریب ویژه در منطقه

جدول ۸: مقدار واقعی رسوب زایی زیر حوضه ها در حوضه حیدری

زیرحوضه	A	B	C	D	E	F
مقدار واقعی رسوبزایی (تن در سال)	۱۸۵/۰۳	۲۲۶/۱۵	۱۹۷/۳۳	۹۵/۰۷	۷۰/۸۴	۹۳/۸۸

از مقایسه داده های حاصل از روش EPM (شکل ۵)، در مناطق مورد مطالعه و داده های حاصل از مطالعات رسوب شناسی (اندیس فرسایش) (شکل ۴) مشاهده می شود که مناطقی را که داده های حاصل از مطالعات رسوب شناسی، در کلاس با شدت فرسایش خیلی کم، کم و متوسط قرار می دهند، با داده های حاصل از روش EPM تا حدود زیادی همخوانی دارد ولی مناطقی را که داده های حاصل از مطالعات رسوب شناسی، در کلاس با شدت زیاد و خیلی زیاد فرسایش قرار می دهد، با داده های حاصل از روش EPM، همخوانی ندارد و داده های EPM، مقادیر کمتری را نشان می دهد و بر اساس روش EPM در سطح بسیار محدودی از حوضه آبریز فرسایش خیلی شدید وجود دارد در صورتیکه در روش اندیس فرسایش سطح مربوط به فرسایش خیلی شدید، بیشتر است.

در پایان به روش عملی بیلان رسوب سالانه میزان رسوب دهی سالانه از کل حوضه بدست آمد که به دلیل واقعی بودن نتایج حاصل از این روش، به عنوان یک شاهد

مقایسه روش مطالعه اندیس فرسایش، EPM و بیلان رسوب سالانه

با توجه به لیتولوژی، پوشش گیاهی، وضعیت تکنونیک منطقه و شیب منطقه از یک زیرحوضه به زیرحوضه دیگر، میزان اندیس فرسایش برای یک واحد سنگی متفاوت می باشد (شکل ۴). برای مثال واحد سنگی آذرین بیرونی - کربناته ($TRJ^{V,1}$) در زیرحوضه E، حساسیت به فرسایش خیلی شدید داشته در صورتی که در زیرحوضه F دارای حساسیت به فرسایش ضعیف است. دلیل این امر وجود درز و شکاف فراوان در زیرحوضه E و شیب بیشتر منطقه است و بر اساس داده های حاصل از روش EPM (شکل ۵)، بخش اعظم مناطق مورد مطالعه در کلاس های شدت رسوبدهی خیلی کم تا متوسط قرار می گیرند و بیشترین میزان رسوبدهی ویژه در غرب حوضه و به ویژه در زیر حوضه های A و F می باشد و کمترین میزان رسوبدهی در حوضه شمال شرقی قرار دارد.

در نظر گرفته شد. سپس از طریق تکنیک Cross Validation نقشه های نهایی حاصل از اندیس فرسایش زیرحوضه های کنترل گردیدند (جدول ۹).

جدول ۹: نتایج حاصل از تکنیک Cross Validation برای مدل های اندیس فرسایش و EPM در حوضه آبریز

حیدری

مقدار واقعی فرسایش	نتیجه حاصل از مقایسه نقشه مربوط به روش اندیس فرسایش با نقشه زیرحوضه ها	نتیجه حاصل از مقایسه نقشه مربوط به روش EPM با نقشه زیرحوضه ها	زیر حوضه
۱۸۵/۰۳	۳۵۴۹/۳۳	۱۵۳۷۱/۲۵	A
۲۶۶/۱۵	۳۰۵۰/۲۵	۱۴۹۷۱/۲	B
۱۹۷/۳۳	۴۹۹۹	۱۵۷۸۲	C
۹۵/۰۷	۱۲۶۴/۳۳	۱۰۴۳۱/۳۳	D
۷۰/۸۴	۱۲۶۴/۲۵	۷۹۵۰/۶۷	E
۹۳/۸۸	۱۲۸۵/۷۵	۶۱۷۷/۲	F

سالانه بعنوان شاهد بدست آمد. بر اساس این شاخص آماری مقایسه روشی واقعی تر است که میزان شاخص آماری مقایسه آن (RMSE) کمتر باشد.

در مرحله بعد به کمک شاخص آماری مقایسه که مجذور مربعات خطا را از طریق فرمول زیر برآورد می کند، مجذور مربعات خطا در دو روش اندیس فرسایش و EPM با در نظر گرفتن نتایج حاصل از روش بیلان رسوب

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X - X_i)^2}$$

میزان اندیس فرسایش برای یک واحد سنگی در منطقه مورد مطالعه از یک زیرحوضه به زیرحوضه دیگر با توجه به لیتولوژی، پوشش گیاهی، وضعیت تکتونیکی منطقه و شیب منطقه، متفاوت است. بطور کلی در مطالعه فرسایش پذیری واحد های سنگی و تولید رسوب نتایج این مطالعه نشان می دهد که بر اساس شاخص آماری مقایسه روشی واقعی تر است که میزان شاخص آماری مقایسه آن (RMSE) کمتر باشد. با توجه به کمتر بودن مقدار حاصل

به کمک شاخص آماری مقایسه، مقدار حاصل از روش اندیس فرسایش ۲۷۸۵/۷۴ و مقدار محاسبه شده از روش EPM ۱۲۲۲۶/۰۴ گردید. با توجه به کمتر بودن مقدار حاصل از روش اندیس فرسایش نسبت به نتیجه حاصل از روش EPM، روش اندیس فرسایش در این حوضه آبریز واقعی تر و مناسب تر است.

نتیجه گیری

۸- عبداللهی، خ.، ۱۳۸۲، گزارش آب و هوا و پوشش گیاهی فاز تفصیلی، اجرایی حوضه آبخیز حیدری شهرکرد: بخش مطالعات آبخیزداری شهرستان شهرکرد.

۹- علیزاده، ا.، ۱۳۸۴، اصول هیدرولوژی کاربردی: انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ هجدهم، ۸۱۵ صفحه.

۱۰- مهدوی، م.، ۱۳۸۱، هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم): انتشارات دانشگاه تهران.

۱۱- نقشه زمین شناسی، ۱:۱۰۰۰۰۰ چادگان: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵.

۱۲- نقشه سیاحتی ۱:۵۰۰۰۰۰ استان چهارمحال و بختیاری: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، ۱۳۸۶.

13- Brown, A.G., Carey, C., Erkens, G., Fuchs, M., Hoffmann, T., Macaire, J.J., Moldenhauer, K.M., and D.E., Walling, 2009, From sedimentary records to sediment budgets: multiple approaches to catchment sediment flux: *Geomorphology*, v. 108, (1-2), p. 35-47.

14- Coleman, D.J., and F.N., Scatena, 1986, Identification and evaluation of sediment sources. In: R.F., Hardy, (Ed.). *Drainage Basin Sediment Delivery: IAHS Publication*, v. 159. p. 3-18.

15- Fanetti, D., and L., Vezzoli, 2007, Sediment input and evolution of lacustrine deltas: The Breggia and Greggio rivers case study (Lake Como, Italy): *Quaternary International*, v. 173, p. 113-124.

16- Grams, P.E., and J.C., Schmidt, 2005, Equilibrium or indeterminate? Where sediment budgets fail: Sediment mass balance and adjustment of channel form, Green River downstream from Flaming Gorge Dam, Utah and Colorado: *Geomorphology*, v. 71 (1), p. 156-181.

از روش اندیس فرسایش نسبت به نتیجه حاصل از روش EPM، روش اندیس فرسایش در این حوضه آبریز واقعی تر و مناسب تر است.

منابع

۱- ارومیه ای، ع.، رستگار لاری، ع. و م.، کیهان فرد، ۱۳۸۱، پهنه بندی خطر فرسایش پذیری و برآورد میزان رسوب زایی در حوضه آبریز سد درود زن: مجموعه مقالات سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۳۰ تا ۳۴.

۲- بیات، رضا، رفاهی، ح.، درویش صفت، ع. و ف.، سرمیدان، ۱۳۷۹، بررسی کارایی مدل های EPM و MPSIAC در برآورد رسوب حوضه آبخیز طالقان به کمک GIS: مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۲، شماره ۱، ص ۲۰۳ تا ۲۱۷.

۳- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۱، زمین شناسی ایران: نشر امروز، ۶۷۱ صفحه.

۴- رفاهی، ح.، ۱۳۸۲، فرسایش آبی و کنترل آن: انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.

۵- فیض نیا، س.، ۱۳۸۷، رسوب شناسی کاربردی با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب. انتشارات دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۶- فیض نیا، س.، دستورانی، ج.، احمدی، ح. و ج.، قدوسی، ۱۳۸۷، بررسی حساسیت به فرسایش و رسوبزایی سازندهای زمین شناسی در حوزه آبخیز گرگان.

نشریه منابع طبیعی ایران، ش ۱، ص ۱۳-۲۷.

۷- قاسمی، ا.، حاج حسینی، م. و م.، حسینی، ۱۳۸۵، شرح نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه چادگان: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Environmental Science and Technology, v. 6 (3), p. 415-424.

21- Sui, J., He, Y., and C., Liu, 2009, Changes in sediment transport in Kuye River in the Loess Plateau in China: International Journal of Sediment Research, v. 24 (2), p.201-213.

22- Tangestani, M.H., 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, v. 27 (5), p.585-597.

23- Vent, T. D., and J., Poesen, 2005, Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issue and semi-quantitative models: Earth-Science Reviews, v. 71, p. 95-125.

17- Ibbeken, H., and R., Schleyer, 1991, Source and Sediment: A Case Study of Provenance and Mass Balance at an Active Plate Margin (Calabria, Southern Italy), Springer 286p.

18- Jones, S.J., 2004, Tectonic controls on drainage evolution and development of terminal alluvial fans, southern Pyrenees, Spain, Terra Nova, v. 16, p. 121-127.

19- Renschler, C.S., and J., Harbor, 2002, Soil erosion assessment tools from point to regional scales—the role of geomorphologists in landmanagement research and implementation: Geomorphology, v. 47 (2–4), p. 189–209.

20- Solaimani, K., Modallaldoust, S., and S., Lotfi, 2009, Investigation of land use changes on soil erosion process using geographical information system: International Journal of