



بررسی و مقایسه فرسایش و تولید رسوب در زیر حوضه‌های حوضه آبریز ویلا دره (استان اردبیل)

عقیل مددی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران *

وصول: ۱۳۹۰/۳/۱ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۲، صص ۷۴-۶۱

چکیده

حوضه آبریز ویلا دره در استان اردبیل و شرق توده آتشفشانی سیلان و در شمال شهر توریستی سرعین واقع شده است. طول رودخانه ویلا دره ۳۵/۷۵ کیلومتر است که حوضه‌ای را به مساحت ۳۷/۳ کیلومتر مربع زهکشی می‌نماید. در سال‌های اخیر به دلایل متعدد میزان فرسایش در حوضه آبریز ویلا دره جای افزایش یافته است. برای آگاهی از میزان فرسایش و نیز جلوگیری از فرسایش خاک و کاهش رسوب‌زایی این مطالعه انجام شده است. هدف کلی تحقیق، بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه و پی بردن به مناطق حساس از نظر فرسایش است. برای رسیدن به هدف فوق از روش پتانسیل فرسایش (ای پی ام) استفاده شده است. ابزارهای گردآوری اطلاعات، انواع نقشه‌ها، روش مشاهده و منابع کتابخانه‌ای هستند. در این مطالعه با استفاده از روش ای پی ام (Erosion Potential Method) میزان فرسایش در هر یک از زیر حوضه‌ها (۴ زیر حوضه) بررسی شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که دلیل شیب زیاد در قسمت‌های بالا دست حوضه، (حوضه آبران دره)، در این قسمت شدت فرسایش زیاد است (شدید)، اما در قسمت پایین دست حوضه (حوضه‌های ویلا دره، اردی موسی و شمال اردی موسی) به علت شیب کم که باعث کاهش سرعت جریان آب می‌شود، شدت فرسایش زیاد نیست (متوسط). میزان فرسایش ویژه در کل حوضه ۱۰/۳ تن در هکتار در سال و در زیر حوضه‌های آبران دره، ویلا دره، اردی موسی و شمال اردی موسی به ترتیب ۱۴/۳، ۸/۷، ۸/۶ و ۸/۶ تن در هکتار در سال محاسبه شده است. توان رسوب دهی سالانه در کل حوضه مورد مطالعه ۲۹۰۰۸ متر مکعب در سال، و برای هریک از زیر حوضه‌های فوق‌الذکر به ترتیب ۱۰۳۳۱، ۷۹۱۲، ۵۶۷۶ و ۵۱۷۹ متر مکعب در سال به دست آمده است. علت زیاد بودن فرسایش ویژه و توان رسوب دهی در زیر حوضه آبران دره نسبت به حوضه‌های دیگر شیب زیاد و حساسیت سنگ‌ها نسبت به فرسایش است. در حالی که در دیگر حوضه‌ها عامل شیب اثر موثر دیگر را در تولید رسوب کاهش داده و باعث پایین آمدن توان رسوب دهی آنها شده است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، حوضه ویلا دره، تولید رسوب، روش ای پی ام

۱- مقدمه

به شمار می‌آید. در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود خاک‌ها بتدریج فرسایش یافته و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند (رفاهی، ۱۳۸۲: ۱۱). در سالهای اخیر افزایش بیش از اندازه جمعیت انسانی، حیوانی (حیوانات اهلی) و بهره‌برداری بی رویه و غیر

فرسایش عبارت از جابجایی مواد از نقطه‌ای به نقطه دیگر، پس از تخریب سنگ و یا خاک است (احمدی، ۱۳۷۴: ۲۲۷). امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او

اصولی از مراتع و زمین‌های کشاورزی در حوضه مورد مطالعه، سبب فقیر شدن پوشش گیاهی شده و در نتیجه خاک را در معرض فرسایش شدید قرار داده است و اگر این روند ادامه داشته باشد در آینده با مشکلات زیادی روبرو خواهیم بود. بنابراین، با توجه به مساله فوق هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه و پی بردن به مناطق حساس از نظر فرسایش است. برای پی بردن به میزان فرسایش در حوضه‌های آبریز روشهای متعددی وجود دارد که به دلیل محدودیت در صفحات مقاله از ذکر آنها صرف‌نظر می‌شود. در این مطالعه جهت رسیدن به هدف بالا از روش ای پی ام استفاده شده است. این روش به دلایل زیر برای برآورد رسوب در حوضه ویلادره مورد استفاده قرار گرفت: الف- فاکتورهای مورد استفاده محدود بوده و به آسانی می‌توان آنها را ارزیابی نمود. ب- فاکتورهای مورد استفاده از عوامل موثر در فرسایش محسوب می‌شوند. ج- با این روش می‌توان فرسایش را به صورت کمی و کیفی ارزیابی نمود. د- در ایران بیشتر محققین از این روش و روش پسیاک استفاده نموده و نتیجه رضایت بخشی را بدست آورده‌اند. ه- تا حال حوضه مورد نظر از نظر تولید رسوب مطالعه نشده است. عیب این روش آن است که چون روش برآورد پتانسیل فرسایش است، مقدار فرسایش را کمی بیش از واقعیت نشان می‌دهد.

این روش با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمینهای فرسایشی و اندازه گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق به دست آمده و برای اولین بار در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ^۱ ارائه گردیده

است(رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۵۷). در ایران افراد زیادی با استفاده از روش مذکور به بررسی فرسایش و تولید رسوب پرداخته‌اند از جمله: رفاهی و همکار (۱۳۷۲) با استفاده از این روش، فرسایش پذیری حوضه آبخیز الموت را مطالعه کرده است. صادقی(۱۳۷۲) در مطالعه فرسایش و رسوب در حوضه اوزون دره یکی از زیر حوضه‌های مهم حوضه قزل‌اوزن از روش‌های داگلاس، کرک بای، ای پی ام، و پسیاک استفاده نموده است. باقرزاده کریمی (۱۳۷۲) در حوضه آبخیز اوزون دره این روش را مورد استفاده قرار داده است. بیات و همکاران(۱۳۸۰) به بررسی کارایی مدل پسیاک و ای پی ام در حوضه طالقان پرداخته‌اند. نتیجه این تحقیق نشان داد که روش ای پی ام در برآورد رسوب ۷۵ درصد با مشاهدات میدانی هماهنگی دارد. راستگو و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از چهار روش فائو، ای پی ام، ام پسیاک و بلم برآورد فرسایش و رسوب در حوضه تنگ کنشت را انجام داده‌اند؛ این تحقیق نشان داد که روش ای پی ام و ام پسیاک نتیجه نزدیک به واقعیت را داده است. راستگو و همکاران(۱۳۸۵) با استفاده از مدل‌های پسیاک و ای پی ام به برآورد رسوب در حوضه تنگ کنشت پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که کلاس فرسایش در روش ای پی ام شدید و در روش پسیاک متوسط می‌باشد. تنگستانی^۲ (۲۰۰۶) حوضه آبریز افسر در جنوب غربی ایران را با استفاده از روش پتانسیل فرسایش(ای پی ام) و مدل پسیاک مورد مطالعه قرار داده است. نامبرده به این نتیجه رسیده که نتایج هر دو روش در مقایسه با مشاهدات زمینی قابل اطمینان است. محمدیان شوئیلی و سرور (۱۳۸۶) براساس مدل‌های رایج تجربی (پسیاک، ام پسیاک، ای پی ام) فرسایش و رسوب را در

۲- موقعیت حوضه آبریز ویلادره

حوضه آبریز ویلادره در شرق توده آتشفشانی سبلان و در شمال شهر توریستی سرعین واقع شده است. طول رودخانه ویلادره ۳۵/۷۵ کیلومتر است که حوضه‌ای را به مساحت ۳۷/۳ کیلومتر مربع زهکشی می‌نماید. این حوضه آبریز بخشی از حوضه آبریز بزرگ قره سو، ارس و بالاخره دریای خزر می‌باشد. حوضه آبریز ویلادره عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۷ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۱۳ دقیقه و ۲۱ ثانیه در نیمکره شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۸ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۹ دقیقه در نیمکره شرقی اشغال کرده است. از شمال به حوضه آبریز نوران یا کلور چای، از غرب به کوه سبلان، از جنوب به حوضه آبریز علی درویش چای و از شرق به دشت اردبیل محدود شده است. بلندترین نقطه در حوضه ویلادره در غرب به ارتفاع ۲۷۹۰ متر و پایینترین نقطه منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی روستای اردی موسی به ارتفاع ۱۴۵۰ متر می‌باشد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه به لحاظ قرار گرفتن در معرض بادهای مرطوب خزر و به لحاظ ارتفاع زیاد دارای آب و هوای مرطوب تا نیمه مرطوب سرد می‌باشد.

حوضه آبریز ویلادره از نظر زمین شناسی بخشی از توده ولکانیکی سبلان به شمار می‌رود که در شرق سبلان واقع شده است. چون سبلان یک کوه آتشفشانی است و از سنگهای خروجی تشکیل شده بنابراین این حوضه هم به تبع سبلان عمدتاً از سنگهای آذرین خروجی و آذر آواری تشکیل شده است، که در بحث حساسیت سنگها توضیحات بیشتر ارائه شده است.

حوضه آبخیز گوهر رود برآورد کرده اند. نتایج مطالعات نشان داد، مقادیر حاصل از مدل ای پی ام با مقدار رسوب واقعی حوضه بسیار نزدیک و همسان می باشد. بدین لحاظ این روش را برای محاسبه فرسایش - رسوب حوضه‌های مشابه گوهر رود که فاقد ایستگاه‌های رسوب سنجی می باشند، مناسب دانسته است. رنگ زن و همکاران (۱۳۸۷) دو مدل ای پی ام و ام پسیاک را در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند خوزستان بکار برده اند، مقایسه نتایج دو مدل ای پی ام و ام پسیاک با مشاهدات صحرائی حاکی از آن است که اگر چه نتایج بدست آمده از دو مدل ذکر شده در اکثر مناطق انطباق زیادی با هم دارند، اما نتایج مدل ای پی ام برای شناسایی مناطق دارای فرسایش بالا به اندازه مدل ام پسیاک قابل اطمینان نمی باشد. خدابخش و همکاران (۱۳۸۸) برآورد میزان فرسایش و رسوبزایی در زیر حوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی ای پی ام و ام پسیاک با کمک دانش فازی مقایسه نموده اند. این تحقیق نشان می دهد هر سه روش تمایل به بیش برآورد دارند. خدا بخشی و همکاران (۱۳۸۹) مطالعه فرسایش پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل ای پی ام در بخشی از حوضه آبریز زاینده رود - حوضه حیدری در شمال شهرکرد مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده روش اندیس جواب بهتری می دهد. به طور کلی می توان گفت که از این روش برای تخمین شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز و عمل رسوب در رودخانه‌ها استفاده می شود و به وسیله آن می توان برآورد اولیه ای از میزان رسوب گذاری در مخزن سدهای مخزنی به ویژه برآورد عمر مفید سدها استفاده نمود (سبحانی، ۱۳۷۶، ۱۴۶).

۳- روش تحقیق

به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روشهای مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی می‌بایست حجم کل میزان تولید رسوب سالانه در حوضه مورد مطالعه ارزیابی و برآورد گردد (رفاهی، ۱۳۸۲: ۲۴۷). برای این کار روشهای متعددی وجود دارد که به علت عدم وجود آمار و اطلاعات در مورد فرسایش خاک در حوضه آبریز ویلادره چای روش تجربی ای پی ام برای برآورد فرسایش و رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش ای پی ام که در حقیقت ضریب شدت فرسایش است، چهار عامل شامل ضریب فرسایش حوضه (Ψ)، ضریب استفاده از زمین (X_a)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه (I) در واحدهای مختلف (زیر حوضه‌ها) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در هریک از زیر حوضه‌ها براساس چهار عامل فوق، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش، متوسط سالانه رسوب ویژه (میزان رسوب تولید شده در واحد سطح) و مقدار رسوب تولید شده در طول سال در سطح زیر حوضه‌ها و بالاخره در کل حوضه محاسبه گردیده است. همچنین برای تکمیل اطلاعات و برداشت نمونه خاک، سازندهای سطحی و تطابق یافته‌ها با طبیعت از روش مشاهده نیز استفاده گردید. در کنار روشهای بالا از روش کتابخانه‌ای و روش آزمایشگاهی نیز استفاده گردیده است. در روش آزمایشگاهی نمونه‌های سازندهای سطحی و خاک که از قسمتهای مختلف منطقه برداشت شده بودند، مورد بررسی قرار گرفتند.

همان طوری که در بالا ذکر شد، برای سهولت و دقت کار در بدست آوردن میزان فرسایش و تولید رسوب، ابتدا کل حوضه ویلادره چای را به چهار زیر حوضه به نامهای آیران دره، ویلادره، اردی موسی و

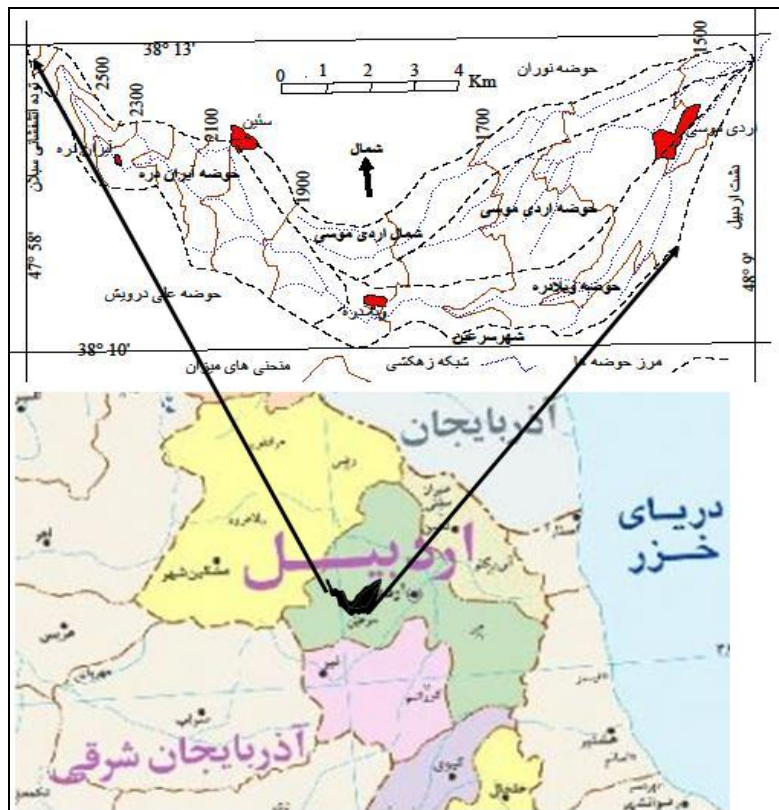
شمال اردی موسی تقسیم نمودیم. سپس عوامل موثر در تولید رسوب در این روش در هریک از این حوضه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله آخر میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از فرمولها و ضرایب مربوطه بدست آمده است که در زیر به بررسی هریک از عوامل چهارگانه خواهیم پرداخت.

الف) ضریب فرسایش حوضه (Ψ)

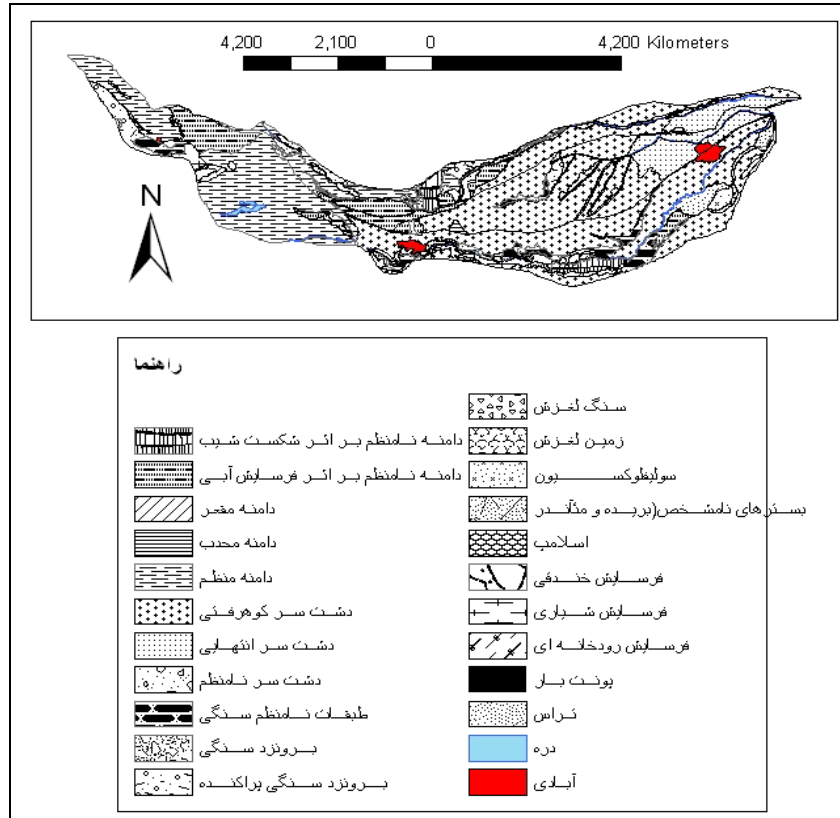
دقیق‌ترین روش جهت تعیین ضریب فرسایش، تهیه نقشه ژئومورفولوژی حوضه می باشد، با عنایت به نقشه ژئومورفولوژی (شکل ۲) و با استفاده از جدول ضریب فرسایش (احمدی، ۱۳۷۴: ۵۱۸) می توان ضریب فرسایش حوضه را به دست آورد، که آوردن این جدول در اینجا به دلیل محدودیت صفحات مقاله مقدور نمی باشد. با توجه به این جدول میزان ضریب فرسایش در هر یک از زیر حوضه‌های محاسبه و نتایج حاصله در شکل ۳ نمایش داده شده است.

ب) ضریب استفاده از زمین (X_a):

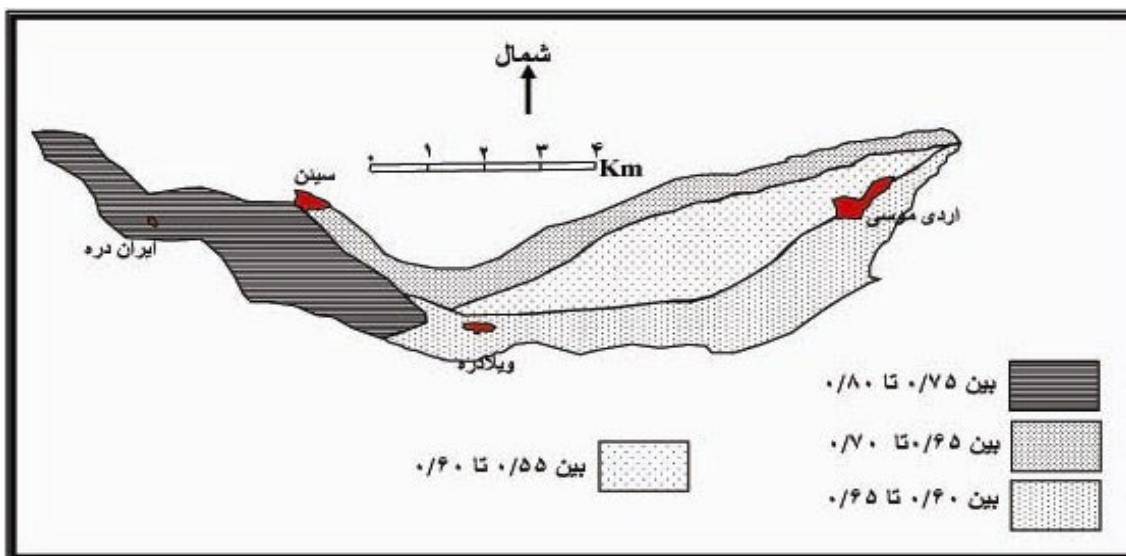
برای تعیین ضریب استفاده از زمین از روش آمریکایی استفاده می‌شود. طی بررسیهای انجام شده در کشور آمریکا، در مورد چگونگی استفاده از زمین، مقادیر مختلفی برای مناطق کشاورزی و منابع طبیعی تدوین گردیده که که آوردن آن مقدور ناست (احمدی، ۱۳۷۴: ۵۱۹). با توجه به داده‌های منطقه که در ستونهای ۲ تا ۷ جدول ۱ درج شده است، ضریب بهره برداری از زمین در ستون هشتم جدول ۱ بدست آمده است. برای این منظور ابتدا واحدهای مختلف کاربری مشخص شده (شکل ۴) و سپس در هر واحد کاربری میزان ضریب مشخص شده است. در نهایت از تمام اعداد مربوط به ضریب استفاده از زمین، میانگین وزنی گرفته شده است (شکل ۵).



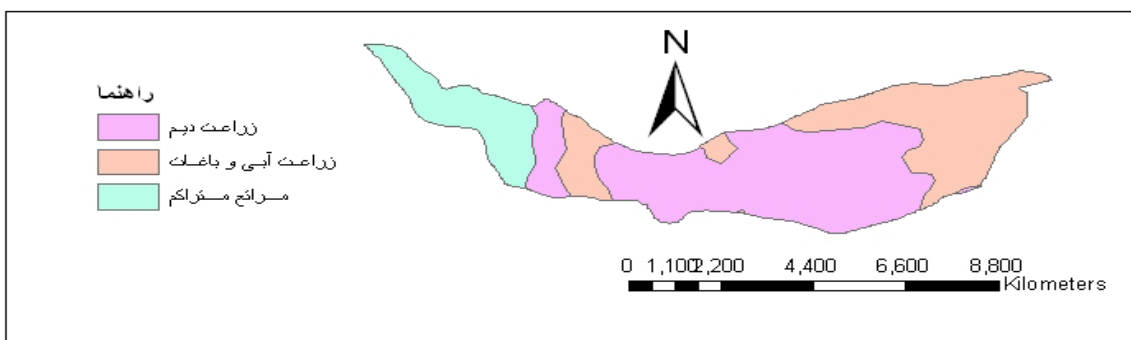
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران (بر گرفته از نقشه توپوگرافی)



شکل ۲- نقشه ژئومورفولوژی حوضه ویلادره



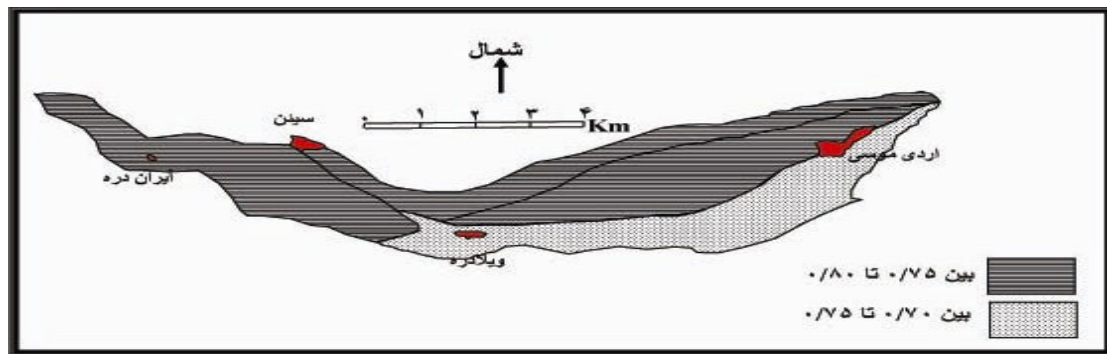
شکل ۳- نقشه ضریب فرسایش خاک در زیر حوضه‌های ویلادره به روش ای پی ام



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی

جدول ۱- ضریب کاربری اراضی در زیر حوضه‌های ویلادره‌چای

| ضریب بهره برداری از زمین | مساحت به هکتار | | | | | | نام حوضه |
|--------------------------|-----------------|----------------|-----------|------------|-----------------|---------------|----------------|
| | زمین آبی (۰/۶۳) | زمین دیم (۰/۸) | باغ (۰/۷) | مرتع (۰/۶) | توده سنگی (۰/۹) | مسکونی (۰/۸۵) | |
| ۰/۷۶ | - | ۷۶۰ | - | ۱۹۶ | ۲ | - | آیران دره |
| ۰/۷۴ | ۴۲۰ | ۶۵۷ | ۵۴ | - | ۲ | ۳۵ | ویلادره |
| ۰/۷۶ | ۱۶۴ | ۶۴۲ | ۵۵ | - | ۴ | ۱۳ | اردیموسی |
| ۰/۷۹ | ۴۰ | ۶۸۴ | ۵۸ | - | ۹ | ۰/۳۶ | شمال اردی موسی |
| ۰/۷۶ | ۶۲۴ | ۲۷۴۳ | ۱۶۷ | ۱۹۶ | ۱۵ | ۴۸/۳۶ | کل حوضه |



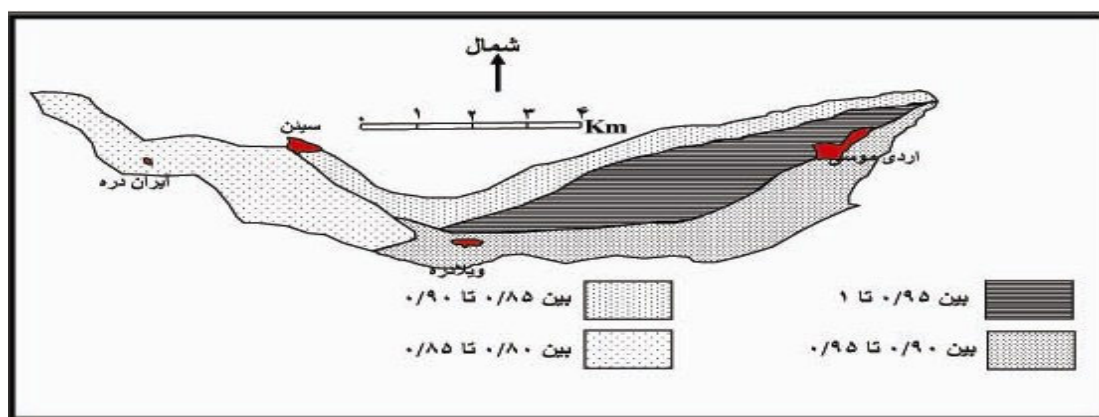
شکل ۵- نقشه ضریب کاربری اراضی در زیر حوضه‌های ویلادره با استفاده از روش ای پی ام

آنها نمایان نیست. این سنگها با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی در اثر فازهای انبساطی پس از کوهزایی معادل لارامید بوجود آمده اند (خدابنده و همکاران، ۱۹۹۷، ۲). این مجموعه تحت تاثیر فازهای آپی جوان قرار گرفته و چین خورده اند ولی میزان فعالیتهای آتشفشانی از دوره ائوسن به بعد کاهش یافته و جنبشهای کوهزایی آپی در اواخر میوسن نیز فعالیت ولکانیکی و برون ریزی گدازه‌های عمدتاً اسیدی و کمتر بازیک را موجب شده است که به اشکال مختلف بطور ناهمساز بر روی سنگهای آتشفشانی ائوسن قرار گرفته اند. در فاصله زمانی بین پلئو- پلیستوسن فاز زمین ساختی والاچین- پاسادینین به وقوع پیوسته است. مترادف با این رخداد زمین شناسی فعالیت آتشفشانی سبلان در کوتاهترین ایجاد گردیده است که باعث خروج مواد گدازه ای و محصولات آذر-آواری ناشی از آن گردیده است. تاثیرات تکتونیک ترشیری و ایجاد آتشفشان سبلان در کوتاهترین عمده ترین عامل شکل گیری ساختمانی منطقه است فعالیتهای آتشفشانی و خروج گدازه‌های سبلان به طور کلی موجب بالا رفتن درجه حرارت و ظهور چشمه‌های آبگرم معدنی متعدد در منطقه و در امتداد گسلها

(ج) ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) ویژگی فیزیکی سنگها در برابر اثرات اقلیمی و زیستی نقش تعیین کننده‌ای دارند (محمودی، ۱۳۸۳: ۶). به عبارت دیگر همه سنگها در مقابل عوامل فرسایش مقاومت یکسانی ندارند. بنابراین برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در روش ای پی ام لازم است حساسیت سنگها در منطقه مورد مطالعه ارزیابی شود. برای این منظور ابتدا تشکیلات زمین شناسی منطقه از روی نقشه‌های زمین شناسی و مطالعات میدانی مورد مطالعه و شناسایی قرار گرفت. که در ادامه برخی از ویژگیهای زمین شناسی حوضه اشاره می شود. حوضه آبریز ویلادره از نظر زمین شناسی بخشی از توده ولکانیکی سبلان به شمار می رود که در شرق سبلان واقع شده است. چون سبلان یک کوه آتشفشانی است و از سنگهای خروجی تشکیل شده، بنابراین این حوضه هم به تبع سبلان عمدتاً از سنگهای آذرین خروجی و آذر آواری تشکیل شده است. این بخش مثل دیگر مناطق آذربایجان شامل ضخامت بسیار زیادی از سنگهای آتشفشانی پالئوژن می باشد که با شیب کم بر روی رسوبات قدیمی قرار گرفته اند و اغلب قسمت زیرین

ساخت. گسل دیگر گسل ویند - سردابه است که از روستای ویند در جنوب حوضه مورد مطالعه شروع شده و در امتداد شمال از آبادی‌های کلخوران، ورنیاب، سرعین، ارجستان، آغام (آتشگاه) عبور نموده و به روستای سردابه در شمال حوضه منتهی می‌شود. بعد از مطالعه زمین شناسی منطقه، با توجه به جدول ضریب حساسیت سنگ و خاک در سنگهای مختلف (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۵۹) که نحوه محاسبه ضریب حساسیت سنگ و خاک را به فرسایش نشان می‌دهد، مقابله گردید و نهایتاً امتیاز این عامل برای زیر حوضه‌های مورد مطالعه بدست آمد (شکل ۶).

گردیده است. از جمله این آبگرم‌ها در حوضه مورد مطالعه آبگرم معدنی ویلادره می باشد. علاوه بر فعالیتهای آتشفشانی تظاهرات زمین ساختی به صورت فعالیت گسلها خود را در منطقه نشان می دهد. از جمله گسلهایی که در حوضه آبریز وجود دارد گسل اردی موسی - ویلادره می باشد که دارای روند غربی - شرقی و جنوبغربی - شمالشرقی می باشد که از جنوبغربی روستای اردی موسی شروع و در روستای ویلادره به گسل شمالی - جنوبی ویند - سردابه متصل می شود. این گسل در زلزله اسفند ماه ۱۳۷۵ منطقه اردبیل فعال بوده و موجب خرابی آبادیها اطراف شده که از جمله روستای ویلادره را ویران



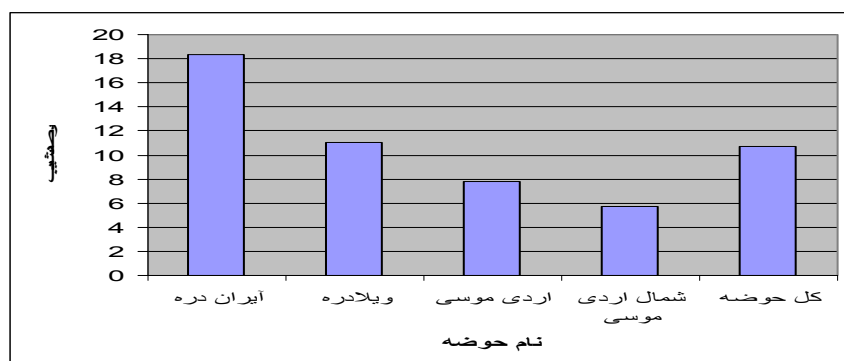
شکل ۶- نقشه ضریب حساسیت سنگها و خاکها در زیر حوضه‌های ویلادره با روش ای پی ام

SW = شیب متوسط وزنی، ai = مساحت جزئی کلاس شیب مورد نظریه کیلومتر مربع، b1 = حد پایین کلاس شیب مورد نظر، b2 = حد بالائی کلاس شیب مورد نظر و A = مساحت کل حوضه آبخیز یا واحد هیدرولوژیکی می باشد. با توجه به رابطه ۱، میزان شیب وزنی در هریک از زیرحوضه محاسبه و نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است.

د- شیب متوسط حوضه (I) روشهای مختلفی برای محاسبه شیب حوضه وجود دارد. که در اینجا از روش شیب متوسط وزنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت محاسبه شیب متوسط وزنی رابطه ۱ استفاده شده است :

$$SW = \frac{\sum_{i=1}^n ai(b_1 + b_2) / 2}{A}$$

رابطه ۱: که در آن:



شکل ۷- میزان شیب در هریک از زیر حوضه‌های ویلادره چای

مقایسه مقدار Z بدست آمده در زیرحوضه‌های مورد مطالعه با جدول ۲ که کلاسهای فرسایش را نشان می‌دهد، کلاس فرسایشی در هریک از زیر حوضه‌ها بدست آمده و نتایج در جدول ۳ و شکل ۸ ارائه شده است.

ه- شدت فرسایش به روش ای پی ام براساس چهار عامل فوق در هر یک از اجزای واحد اراضی یا شبکه‌ها ضریب شدت فرسایش از رابطه ۲ (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۵۷) محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه ۲: } Z = Y \cdot X_a (\Psi + I^{.5})$$

که در آن: Y = ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، X_a = ضریب استفاده از زمین، Ψ = ضریب فرسایش حوضه و I = شیب متوسط حوضه

جدول ۲- طبقه بندی شدت فرسایش (اقتباس از رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۵۹)

| طبقه بندی فرسایش | شدت فرسایش | مقادیر حد | مقادیر متوسط Z |
|------------------|------------|------------------|------------------|
| I | خیلی شدید | $Z > 1$ | ۱/۲۵ |
| II | شدید | $1 > Z > 0.71$ | ۰/۸۵ |
| III | متوسط | $0.7 > Z > 0.41$ | ۰/۵۵ |
| IV | کم | $0.4 > Z > 0.2$ | ۰/۳۰ |
| V | خیلی کم | $0.19 > Z$ | ۰/۱۰ |

جدول ۳- ضریب شدت فرسایش در زیر حوضه‌های منطقه

| نام حوضه | ضریب فرسایش | ضریب کاربری | ضریب حساسیت | شیب متوسط (%) | ضریب شدت فرسایش | شدت فرسایش |
|----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|------------|
| آیران دره | ۰/۷۸ | ۰/۷۶ | ۰/۸۴ | ۱۸/۳۴ | ۰/۷۷ | شدید |
| ویلادره | ۰/۶۴ | ۰/۷۴ | ۰/۹۲ | ۱۱ | ۰/۶۶ | متوسط |
| اردی موسی | ۰/۵۹ | ۰/۷۶ | ۰/۹۸ | ۷/۸۲ | ۰/۶۴ | متوسط |
| شمال اردی موسی | ۰/۶۸ | ۰/۷۹ | ۰/۸۶ | ۵/۷۵ | ۰/۶۲ | متوسط |
| کل حوضه | ۰/۶۷ | ۰/۷۶ | ۰/۹ | ۱۰/۷ | ۰/۶۸ | متوسط |

بعد از محاسبه رسوب ویژه در هر یک از حوضه‌ها، مقدار رسوب سالانه حوضه که نشان دهنده مقدار رسوب تولید شده در سطح کل حوضه می باشد از رابطه ۵ (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۶۱) استفاده می شود.

$$V_p = F.W_{sp} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن V_p رسوب حوضه بر حسب متر مکعب در سال و F مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع می باشد. نتیجه حاصل از کاربرد روابط فوق که منجر به محاسبه فرسایش ویژه و نیز فرسایش کل در زیر حوضه‌ها گردیده است در جدول شماره ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است وزن مخصوص رسوب با توجه به گزارش خاک‌شناسی و بازدیدهای میدانی ۱/۳ در نظر گرفته شده است. علیزاده (۱۳۷۴: ۵۹۳) وزن مخصوص مواد رسوبی را ۱/۴ در نظر گرفته است.

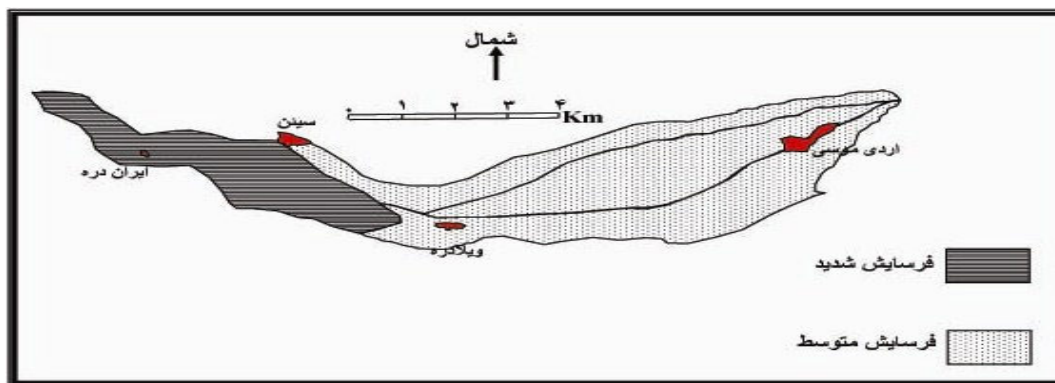
در روش ای پی ام برای تخمین متوسط سالانه فرسایش ویژه که در حقیقت میزان فرسایش و تولید رسوب را در واحد سطح (هکتار یا کیلومتر مربع) حوضه نشان می‌دهد، از رابطه ۳ (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۵۹) استفاده می‌شود:

$$T.H.\pi.Z^{1.5} = W_{sp} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن: W_{sp} = متوسط سالانه رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، H = ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه به میلیمتر، π = عدد پی و T = ضریب درجه حرارت می باشد که از رابطه ۴ بدست می‌آید (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۶۰)

$$T = (t/10 + 0.1)^{0.5} \quad \text{رابطه ۴}$$

t = میانگین درجه حرارت سالانه در حوضه به درجه سانتیگراد



شکل ۸- نقشه شدت فرسایش در زیر حوضه‌های ویلادره چای

جدول ۴- فرسایش ویژه و تولید رسوب در زیر حوضه‌های ویلادره چای

| حوضه | ضریب شدت فرسایش | درجه حرارت | ضریب درجه حرارت | بارش (mm) | فرسایش ویژه (m ³ /km ² /y) | فرسایش ویژه (ton/ha) | رسوب حوضه (m ³ /y) |
|----------------|-----------------|------------|-----------------|-----------|--|----------------------|-------------------------------|
| آیران دره | ۰/۷۷ | ۶/۳ | ۰/۸۵ | ۶۰۹/۲ | ۱۰۹۹ | ۱۴/۳ | ۱۰۳۳۱ |
| ویلادره | ۰/۶۶ | ۸/۱ | ۰/۹۵ | ۴۳۰/۴ | ۶۸۸ | ۸/۷ | ۷۹۱۲ |
| اردی موسی | ۰/۶۴ | ۸/۱ | ۰/۹۵ | ۴۳۱/۹ | ۶۶۰ | ۸/۶ | ۵۶۷۶ |
| شمال‌اردی موسی | ۰/۶۲ | ۷/۸ | ۰/۹۴ | ۴۶۰/۷ | ۶۶۴ | ۸/۶ | ۵۱۷۹ |
| کل حوضه | ۰/۶۸ | ۷/۶ | ۰/۹۲ | ۴۸۳ | ۷۷۷/۷ | ۱۰/۳ | ۲۹۰۰۸ |

۴- بحث اصلی

همان طوری که شکل ۳ نشان می‌دهد متوسط ضریب فرسایش در کل حوضه (متوسط زیر حوضه‌ها) ۰/۶۷ است، که نشان دهنده ضریب فرسایش متوسط در حوضه است. در بین ۴ زیر حوضه مطالعه شده، حوضه‌های ایران دره با متوسط ۰/۷۸ بیشترین ضریب فرسایش را دارا هستند که علت این امر بالا بودن نسبت انشعاب و فرسایش پذیر بودن نهشته‌های سطحی (رسوبات جوان کواترنر) در حوضه ایران دره است. پایین‌ترین ضریب فرسایش مربوط به زیر حوضه اردی موسی می‌باشد، دلیل این امر عدم وجود فرسایش خندقی با عمق زیاد و فرسایش شیاری و نیز وجود سنگهای مقاوم می‌باشد. به طور کلی در حوضه‌های با شیب ملایم به دلیل این که قدرت آبهای جاری کاهش می‌یابد، بنابراین اشکال مختلف فرسایش نیز کمتر دیده می‌شود؛ در حالیکه در حوضه‌های کوهستانی بر عکس این است.

همانطوری که شکل ۵ نشان می‌دهد، ضریب استفاده از زمین در تمام زیر حوضه با همدیگر تفاوت چندانی ندارند و بین ۰/۷۴ و ۰/۷۹ است (ضریب کاربری کل حوضه ۰/۷۶ است). در بین ۴ حوضه، زیر حوضه شمال اردی موسی با ضریب ۰/۷۹ بیشترین ضریب استفاده از زمین و زیر حوضه ویلادره کمترین ضریب کاربری را دارا است. علت این امر کوهستانی بودن حوضه و استفاده کمتر از زمینهای کوهستانی حوضه ویلادره نسبت به زمینهای حوضه شمال اردی موسی است. زیرا در حوضه‌های کوهستانی به غیر از کاربری مراتع، کاربری دیگری وجود ندارد که این کاربری ضریب کمتری نسبت به کاربری‌های دیگر دارد. در حالی که حوضه شمال اردی موسی با شدت

تمام مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا کاربری آنها عمدتاً کشاورزی است و این سبب شده که ضریب استفاده از زمین در این حوضه بالاتر باشد.

ضریب حساسیت سنگها و خاکها در زیر حوضه‌های ویلادره چای در شکل ۶ نمایش داده شده است. همان طوری که این شکل نشان می‌دهند ضریب حساسیت در زیر حوضه‌ها بالا است، به طوری که این ضریب در کل حوضه ۰/۹ بدست آمده است. در بین چهار حوضه مورد مطالعه سنگهای حوضه اردی موسی بیشترین (۰/۹۸) و ایران دره کمترین (۰/۸۴) ضریب حساسیت را به خود اختصاص داده اند، دلیل این امر مقاومت زیاد سنگها (سنگهای آذرین) و کم بودن سازندهای سست و فرسایش پذیر در حوضه ایران دره و وجود نهشته‌های سست و منفصل کواترنر در حوضه اردی موسی می‌باشد، که به راحتی در مقابل عوامل فرسایش قابل حمل هستند. همچنان که شکل ۷ نشان می‌دهد، شیب متوسط کل حوضه آبریز ویلادره چای ۱۰/۷ درصد است. از بین چهار زیر حوضه، حوضه ایران دره با ۱۸/۳ درصد بیشترین شیب را دارا می‌باشد و حوضه شمال اردی موسی با ۵/۷۵ درصد شیب کمترین شیب را دارا می‌باشند که علت این امر کوهستانی بودن حوضه ایران دره و هموار بودن حوضه شمال اردی موسی است.

همان طوری که جدول ۳ و شکل ۸ نشان می‌دهد ضریب شدت فرسایش در حوضه‌ها بین ۰/۶۲ در حوضه شمال اردی موسی و ۰/۷۷ در حوضه ایران دره متغییر می‌باشد که در بین چهار عامل تاثیر گذار بیشتر از همه نقش شیب زیاد می‌باشد که باعث تفاوت در ضریب شدت فرسایش شده است. شدت و کلاس

فرسایش و شیب متوسط حوضه) به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. ارزش کمی هر کدام از عوامل فوق در کل حوضه به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۷۶، ۰/۹، ۱۰/۷، بدست آمده است. براساس این داده‌ها ضریب شدت فرسایش در کل حوضه ۰/۶۸ می باشد که با توجه به جدول طبقه بندی شدت فرسایش (جدول ۲)، میزان شدت فرسایش در حد متوسط است. در بین چهار زیر حوضه، حوضه آیران دره بیشترین ضریب فرسایش را دارا است (۰/۷۷) که بر اساس جدول ۳ ضریب فرسایش در حد شدید است. علت این امر شیب زیاد حوضه (۱۸/۳۴ درصد) و حساسیت بالای سنگها به فرسایش است، به طوری که به لحاظ شیب زیاد دامنه‌ها، بارندگی زیاد و عمق مناسب خاک، انواع مختلف فرسایش (فرسایش خندقی، رودخانه‌ای، حرکات توده‌ای و...) در منطقه دیده می شود. در قسمت پایین دست حوضه (حوضه‌های ویلادره، اردی موسی و شمال اردی موسی) به علت شیب کم و هموار بودن شدت فرسایش زیاد نیست (متوسط) می باشد. میزان فرسایش ویژه و توان رسوب دهی سالانه در کل حوضه به ترتیب ۱۰/۳ تن در هکتار در سال و ۲۹۰۰۸ متر مکعب در سال، حوضه آیران دره ۱۴/۳ تن در هکتار در سال و ۱۰۳۳۱ متر مکعب در سال، حوضه ویلادره ۸/۷ تن در هکتار در سال و ۷۹۱۲ متر مکعب در سال، حوضه اردی موسی ۸/۶ تن در هکتار در سال و ۵۶۷۶ متر مکعب در سال و بالاخره در حوضه شمال اردی موسی به ترتیب ۸/۶ تن در هکتار در سال و ۵۱۷۹ متر مکعب در سال در کل زیر حوضه است. به طور کلی در حال حاضر میزان فرسایش و تولید رسوب در حد متوسط است. اما اگر

فرسایش نیز به غیر از حوضه آیران دره که دارای شدت زیاد و کلاس دوم می باشد در بقیه حوضه متوسط و کلاس سوم را دارا هستند.

همان طور که جدول ۴ نشان می‌دهد فرسایش ویژه در کل حوضه ۷۷۷/۷ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال یا ۱۰/۳ تن در هکتار می باشد. در بین زیر حوضه‌ها، حوضه آیران دره به دلیل شیب زیاد، نسبت انشعاب بالا و ضریب فرسایش زیاد دارای فرسایش ویژه بیشتری (۱۰۹۹ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال یا ۱۴/۳ تن در هکتار) نسبت به حوضه‌های دیگر می باشد؛ در حالیکه حوضه اردی موسی به دلیل شیب کم دارای فرسایش ویژه کمتری (۶۶۰ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال یا ۸/۶ تن در هکتار) است.

همان طور که جدول شماره ۴ نشان می دهد، کل حوضه در طول سال می تواند ۲۹۰۰۸ متر مکعب رسوب تولید نماید. بیشترین تولید رسوب مربوط به زیر حوضه آیران دره است که به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی و پر شیب و مساحت نسبتاً زیاد (۹/۴ کیلومتر مربع) میزان تولید رسوب در آن زیاد است (۱۰۳۳۱ متر مکعب در سال) و کمترین تولید رسوب مربوط به زیر حوضه شمال اردی موسی است که به دلیل هموار بودن و شیب ملایم و مساحت کم (۷/۸ کیلومتر مربع) نسبت به حوضه‌های دیگر از میزان فرسایش کمتری برخوردار است.

۵- نتیجه گیری

برای بدست آوردن میزان رسوب در هریک از زیر حوضه‌ها چهار عامل (ضریب استفاده از زمین، ضریب فرسایش حوضه، ضریب حساسیت سنگ و خاک به

زاینده رود - حوضه حیدری در شمال شهرکرد، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال بیست و ششم، شماره پیاپی ۳۹، شماره دوم، ص ۳۳-۴۸.

راستگو، سعید، قهرمان، بیژن، داوری، کامران (۱۳۸۳)، مقایسه موردی چهار روش EPM، MPSIAC، FAO و BLM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کنشت، مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، شیراز: دانشگاه شیراز، ص ۱۰-۲۰.

راستگو، سعید، قهرمان، بیژن، ثنایی نژاد، حسین، داوری، کامران، خدائشناس، سعید رضا (۱۳۸۵)، برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS، نشریه کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره ۱، صفحه ۹۱-۱۰۵.

رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۵)، فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ اول، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.

رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۲)، فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ چهارم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۱ صفحه.

رفاهی، حسینقلی، نعمتی، محمدرضا (۱۳۷۲)، بکارگیری روش EPM در مطالعه فرسایش پذیری و تولید رسوب حوضه آبخیز طالقان الموت رود، مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۲۶، ص ۳۲-۴۵.

رنگ زن، کاظم، زراسوندی، علیرضا، حیدری، ارسلان (۱۳۸۷)، مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ

چنانچه روند کنونی (چرای بی رویه، استفاده بدون برنامه‌ریزی و) ادامه داشته باشد در آینده شاهد فرسایش بیشتری در حوضه خواهیم بود.

منابع

احمدی، حسن (۱۳۷۴)، ژئومورفولوژی کاربردی جلد ۱ (فرسایش آبی)، چاپ دوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۴ صفحه.

باقرزاده کریمی، مسعود (۱۳۷۲)، بررسی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در مطالعات فرسایش خاک، پایان نامه کارشناسی ارشد، قدوسی، جمال دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، ۱۸۵ صفحه.

بیات، رضا، سرمیدیان، فریدون، درویش صفت، علی اصغر، رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۰)، بررسی کارایی مدل EPM و MPSIAC در برآورد رسوب حوزه آبخیز طالقان به کمک GIS، مجله علوم کشاورزی ایران، دوره ۳۲، شماره ۱، ص ۲۰۳-۲۱۷.

خدابخش، سعید، محمدی، اکبر، رفیعی، بهروز، بزرگزاده، عیسی (۱۳۸۸)، مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوبزایی در زیر حوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی EPM و MPSIAC با کمک دانش فازی، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره دوازدهم، ص ۵۱-۶۱.

خدابخشی، زینب، ارزانی، ناصر، عبداللهی، خدایار، داودیان، علیرضا (۱۳۸۹)، مطالعه فرسایش پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل EPM به کمک GIS در بخشی از حوضه آبریز

مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاستها و روشهای بهره برداری بهینه از اراضی، تهران: وزارت جهاد سازندگی - معاونت آبخیزداری، ص ۴۰-۷۵.

علیزاده، امین (۱۳۷۴)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ پنجم، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی، ۶۳۴ صفحه.

محمدیان شوئیلی، محمد حسن، سرور، جلیل الدین (۱۳۸۶)، روش‌های برآورد فرسایش و رسوب براساس مدل‌های رایج تجربی (PSIAC, EPM, MPSIAC) در حوضه آبخیز گوهر رود، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز، تهران: دانشگاه تهران، ص ۱۵۷-۱۷۶.

محمودی، فرج الله، (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ ششم، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۲۶ صفحه.

Tangestani, Majid H (2006), comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar catchments, Fars Province, Iran, Journal of Asian earth sciences, vol. 27, issue 5, P.585- 597.

گتوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS، فصلنامه پژوهشهای جغرافیایی، سال چهارم، شماره ۶۴، ص ۱۲۳-۱۳۶.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۳۵)، عکسهای هوایی ۱:۵۵۰۰۰ منطقه.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۵۴)، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ نیر و سرعین.

سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل (۱۳۸۳)، گزارش مطالعات تلفیق و طراحی حوضه آبخیز سبلان، ۳۴۰ صفحه.

سازمان زمین شناسی کشور (۱۹۹۷)، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اردبیل و مشگین شهر.

سازمان هواشناسی کشور، آمار و داده‌های هواشناسی ایستگاههای اردبیل، سرعین، نیر.

سبحانی، بهروز (۱۳۷۶)، تجزیه و تحلیل قابلیت رسوب دهی حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، قدوسی، جمال، دانشگاه تربیت مدرس گروه جغرافیا، ۲۱۰ صفحه.

صادقی، حمید رضا (۱۳۷۲)، مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در حوضه اوزون دره،