جغرافیا و توسعه شماره ۴۵ زمستان ۱۳۹۵
وصول مقاله : ۱۳۹۴/۰۲/۲۱
تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۰۶/۱۰
صفحات : ۲۶۸-۲۴۳

برآورد شدت فرسایش و رسوب حوزه‌ی آبخیز ایور با استفاده از روش تجربی MPSIAC

حمید علی پور*[۱]، دکتر آرش ملکیان[۲]، دکتر میرمسعود خیرخواه‌زرکش[۳]، سعید قره‌چلو[۴]

چکیده

فرسایش و رسوب‌زایی یکی از مشکلات مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز کشور می‌باشد. فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره برداری انسان از طبیعت از اوائل قرن بیستم، آثار منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. مطالعات فرسایش خاک به علت پیامدهای نامطلوب زیست محیطی و اقتصادی، شور شدن تدریجی اراضی، از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری، آلودگی شیمیایی خاک و آثار سوء بر مدیریت پایدار اراضی، اهمیّت قابل توجهی پیدا کرده است. جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب در زیرحوزه‌ها و حوزه‌ی آبخیز ایور استان خراسان شمالی از مدل MPSIAC بر اساس نه فاکتور زمین‌شناسی، خاک،آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، استفاده از اراضی، وضعیت فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب استفاده شد. بطوری که پس از مشخص شدن نقشه واحد کاری امتیازات مربوط به عوامل نه گانه مدل در هر واحد کاری برآورد و در هر واحد کاری مقدار رسوب محاسبه گردید. سپس با میانگین وزنی از واحدهای کاری مقدار رسوب برای هر زیرحوزه و کل حوزه برآورد گردید و در نهایت با محاسبه SDR برای حوزه و زیرحوزه‌ها مقدار فرسایش محاسبه گردید. با توجه به نتایج حاصل مقدار متوسط فرسایش در کل منطقه به میزان ۷/۰۱ تن بر هکتار بر سال و زیرحوزه‌های I'9 و I'10 با داشتن حدود ۱۴ تن فرسایش سالیانه‌ی خاک، بیشترین مقدار فرسایش را دارا می‌باشند. از میان رخساره‌های ژئومرفولوژی نیز رخساره‌های مسیل با داشتن فرسایشی معادل ۴۵/۳۲ تن بر هکتار اختلاف فاحشی با سایر رخساره‌ها دارد. زیرحوزه I´9 و I´10 با مقادیر رسوبدهی بالای ۷ تن بر هکتار در سال بیشترین مقدار تولید رسوب را به خود اختصاص داده‌اند. مقدار متوسط رسوبدهی در کل منطقه به میزان ۲/۹۵ تن بر هکتار بر سال و طبقه رسوبدهی متوسط بیشترین مساحت حوزه را به خود اختصاص داده است. واحدهای زمین‌شناسی Qal (بستر رودخانه) دارای بیشترین مقدار فرسایش می‌باشد. میزان فرسایش در مناطق مرتفع و سراب حوزه به دلیل بارندگی بیشتر نسبت به نقاط خروجی و پست ترحوزه افزایش می‌یابد. با افزایش حجم رواناب خصوصاً در بخش‌های پایینی حوزه میزان فرسایش به شدت افزایش خواهد یافت. از مهمترین عوامل فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز ایور نوع تشکیلات زمین‌شناسی خصوصاً در بخش‌های خروجی حوزه می‌باشد. وجود تشکیلات حساس مارنی که در برخی مناطق بطور کامل در سطح زمین ظاهر شده‌اند و در برخی نقاط نیز در محدوده‌ی فرسایش‌های آبراهه‌ای ظهور پیدا نموده‌اند، از دلایل وجود فرسایش طبیعی در منطقه می‌باشد. در بخش‌های خروجی حوزه میزان فرسایش افزایش یافته و در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، رسوب، MPSIAC، حوزه‌ی آبخیز ایور.

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد*
۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران
۴- عضو هیأت علمی دانشگاه سمنان

alipor.hamid@gmail.com
malekian@ut.ac.ir
kheirkhah@itc.nl
sgharachelo@yahoo.com

مقدمه

در طول دهه‌های اخیر، بشر همواره با تلاش گسترده به دنبال توسعه و فن‌آوری جدید بوده و در این راه از هیچ کوششی در تغییر شکل طبیعت فروگذار نبوده است (Hill, 1993: 19). ارتکاب هر گونه اشتباهی در بهره‌برداری از خاک موجب وارد آوردن خسارت جبران‌ناپذیری می‌گردد و خاکی که برای تشکیل آن سال‌های زیادی وقت لازم است، در مدت بسیار کوتاهی از بین می‌رود (*رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۳۰*). مطالعات فرسایش خاک به علت پیامدهای نامطلوب زیست-محیطی و اقتصادی، شور شدن تدریجی اراضی، از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری، آلودگی شیمیایی خاک و آثار سوء بر مدیریت پایدار اراضی، اهمیّت قابل توجهی پیدا کرده است (Saedi et al,2005: 201).

فرسایش و رسوب‌زایی یکی از مشکلات مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز کشور می‌باشد. فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوائل قرن بیستم، آثار منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است (Lu et al, 2001: 127).

به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی ضرورت دارد که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش پذیری در یک حوزه آبخیز ارزیابی و برآورد گردد (*علیزاده، ۱۳۶۸: ۹۴*). سالیانه مقدار زیادی خاک از سطح حوزه‌های آبخیز به وسیله‌ی آب شسته شده و از محل اصلی خود جابجا می‌شود. حجم زیادی از این رسوبات در پشت سدها، آب‌های‌ساکن،چاله‌های داخلی و یا دریاها و اقیانوس‌ها ته‌نشین می‌گردد. بخش زیادی از این رسوبات در اثر فرسایش خاک حاصلخیز سطحی ایجاد می‌شود که با بررسی و توجه بیشتر به چگونگی پیدایش خاک اهمیّت این عنصر طبیعی مشخص خواهد شد (*رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۳۰*). خاک طیّ فرآیندهای پیچیده‌ای که تحت تأثیر پنج عامل اصلی اقلیم، توپوگرافی، سنگ مادر، پوشش گیاهی و زمان است تشکیل می‌شود (*جعفری و سرمدیان، ۱۳۸۲: ۴۵۷*). در صورت مساعد بودن چهار عامل اولی، زمان طولانی برای تشکیل خاک نیاز است. با توجه به این‌که آب و خاک مهمترین عوامل در تأمین مایحتاج بشری می‌باشند، کوچک‌ترین کم‌توجهی در حفظ و نگهداری این دو خسارات جبران‌ناپذیری را وارد خواهد کرد. عمده‌ترین دلیل تخریب منابع آب و خاک بر هم خورد تعاد ل طبیعی در یک منطقه است که علت اصلی آن دست‌کاری و دخالت انسان در آن است (*احمدی، ۱۳۷۸: ۳۵۴*).به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز ضرورت دارد تا مقدار رسوب و منبع آن مشخص شود تا بتوان مدیریت مناسب خاک را اعمال کرد (Davari et al, 2006: 103).

مشکل‌واقعی در این‌مناطق عدم وجود آمار و اطلاعات کافی در سطح حوضه می‌باشد. زیرا اکثر حوضه‌های کشور فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده و به این ترتیب دستیابی به مدل مبتنی بر شرایط ویژه در حوزه‌های آبخیز ضروری می‌باشد (*عرب‌خدری، ۱۳۷۴: ۲۲*). در این میان مدل‌های تجربی زیادی ارائه شده اند و در این بین برروی مدل‌هایی نظیر MPSIAC و EPM در حوزه‌های آبخیز کشور بیشتر کار شده است (*اسکندری و محمدی، ۱۳۸۰: ۱۱۴*).

از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای مطالعه و بررسی روش‌های فرسایش در رابطه با تغییرات زمین

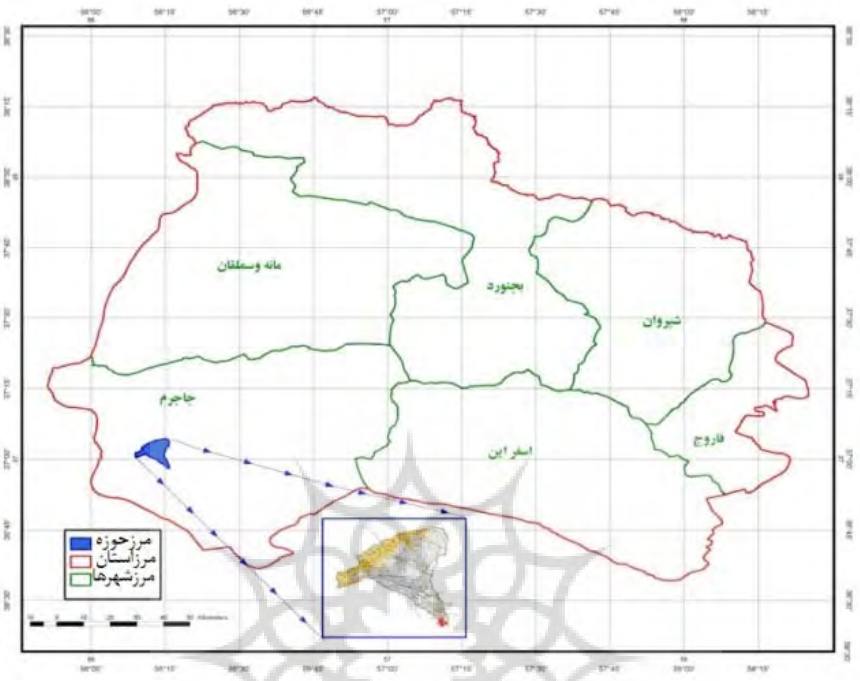
و چگونگی استفاده از آن و شناخت منابع رسوبی استفاده کرد *(Feng et al, 2010:239)*.

آگاهی از وضعیت فرسایش و حجم کل میزان تولید رسوب سالیانه در حوضه‌ای آبخیز نیاز به مطالعه و بررسی شناخت عوامل مؤثر در این فرایند پیچیده دارد *(شیرزادی، ۱۳۸۸: ۳۷)*.

فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز سد ایلام را با استفاده از مدل MPSIAC برآورد کرده و از نظر کلاس‌های فرسایشی و شدت رسوبدهی حوضه مطالعه شده را به سه کلاس کم، متوسط و زیاد تفکیک کرده‌اند *(Rastgoo, 2006: 91)*. در برآورد فرسایش و رسوب به‌کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC حوزه‌ی‌آبخیز زیارت نشان‌دادند که بخش اعظم حوضه بر اساس طبقه‌بندی کیفی مدل MPSIAC در کلاس متوسط قرار دارد *(تاجگردان و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۸)*. در تحقیقی به مقایسه‌ی مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS در حوزه‌ی آبخیز قلعه قافه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر می‌باشد *(قضاوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۷)*. برای برآورد میزان فرسایش و نرخ تولید رسوب با استفاده از روش MPSIAC در حوزه‌ی آبخیز سد شوریجه نتیجه گرفتند که در هر سال حدود ۶۴/۳۷ مترمکعب رسوب در هر کیلومتر مربع تولید می‌شود *(دهقان و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۴)*. در تحقیقی به بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای به روش EPM پرداختند *(عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۷)*. همچنین تعیین شدت فرسایش با استفاده از مدل‌های fargas و BLM را در حوضه‌ی آبخیزبندره بررسی کردند *(نوجوان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۹)*. همچنین *(Amini et al, 2010:78)* و *(Amiri, 2010:3)* در تحقیقی به بررسی فرسایش و رسوب پرداختند. هدف از این تحقیق برآورد شدت فرسایش و رسوب حوزه آبخیز ایور با استفاده از روش تجربی پسیاک اصلاح شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

حوزه‌ی آبخیز ایور با مساحتی در حدود ۵۵۰۰ هکتار، در استان خراسان شمالی، شهرستان جاجرم و در فاصله‌ی طول جغرافیایی ۵۶درجه و ۸ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۱۵ دقیقه و۵۳ ثانیه وعرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴دقیقه و ۲۶ثانیه واقع شده است. منابع آب سطحی شامل جریان آب رودخانه وزهکش اصلی حوزه است و جریان آن غیر دائمی است. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن اقلیم منطقه خشک ارزیابی می‌شود. میزان متوسط سالانه‌ی بارندگی در حوزه‌ی ایور برابر ۱۶۸ میلی‌متر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴/۱، متوسط حداقل درجه حرارت سالیانه ۷/۸، متوسط حداکثر درجه حرارت سالیانه ۲۲/۱، حداقل مطلق سالیانه ۸/۱- در دی ماه و حداکثر مطلق سالیانه۴۰/۱ درجه سانتیگراد در مردادماه می‌باشد. باد غالب منطقه شرقی و به میزان ۱۷/۳ درصد از کل بادها می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

مدل MPSIAC در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته‌ی مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه‌ی شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شده و برای اولین بار در یک حوزه‌ی تحقیقاتی به نام Walnut Gulch واقع در جنوب شرقی ایالت آریزونای آمریکا آزمایش شد. یکی از دقیق‌ترین روش‌های بر آورد میزان رسوب تولیدی حوزه‌های آبخیز استفاده از آمار اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هیدرومتری و برآورد منحنی سنجه‌رسوب و در نهایت تولید رسوب می‌باشد. در نقاطی که این ایستگاه‌ها به‌تعداد کافی وجود داشته باشند میزان رسوب قابل اندازه‌گیری می‌باشد. از آنجا که در این حوزه هیچ‌گونه تجهیزات اندازه‌گیری رسوب وجود ندارد لذا استفاده از روش‌های آماری جهت برآورد مقدار فرسایش و رسوب حوزه امکان‌پذیر نمی‌باشد و به ناچار از روش تجربی MPSIAC به منظور برآورد میزان فرسایش و رسوب در داخل حوزه آبخیز ایور استفاده گردید. بطوری که پس از مشخص شدن نقشه واحد کاری امتیازات مربوط به عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC در هر واحد کاری برآورد و در هر واحد کاری مقدار رسوب محاسبه گردید. سپس با میانگین وزنی از واحدهای کاری مقدار رسوب برای هر زیرحوزه و کل حوزه برآورد گردید. و در نهایت با محاسبه SDR برای حوزه و زیرحوزه‌ها مقدار فرسایش محاسبه گردید. همچنین در این تحقیق جهت تهیه‌ی نقشه‌های مختلف از نرم‌افزار ARC GIS استفاده شده است.

طرز تهیه‌ی لایه‌های مختلف مدل MPSIAC در محیط GIS

عامل زمین‌شناسی سطحی:

یکی از عوامل مهم در فرسایش آبی نوع سازند و ساختار سنگ‌شناسی بخصوص از نظر بافت ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آنها است. سنگ‌های سست و نرم معمولاً به سادگی فرسوده شده و نقش مهمی را در تولید رسوب بر عهده دارند. در این روش بسته به اینکه مقاومت سنگ در مقابل فرسایش در هر یک از رخساره‌های ژئومرفولوژی چه اندازه باشد بین ۰ تا ۱۰ به آن اختصاص می‌یابد. در روش پیشرفته PSIAC امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Y1=X1 \qquad (۱)$$

که در آن Y1 امتیاز عامل زمین‌شناسی و X1 شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی است که بر اساس نوع سنگ، سختی، شکستگی و هوازدگی تعیین می‌شود. براساس مطالعات‌زمین‌شناسی‌منطقه و نظر کارشناسی و با توجه به جداول مدل MPSIAC سنگ‌های مختلف موجود در منطقه به صورت جدول۱ از لحاظ حساسیت به فرسایش امتیازدهی شدند.

جدول۱: امتیاز واحدهای سنگ‌شناسی منطقه

حساسیت نسبی فرسایش	علامت واحد زمین‌شناسی	لیتولوژی	امتیاز PSIAC
خیلی زیاد	Qal	رسوبات بستر مسیل	۱۰
زیاد	Q^{t2},Q^{cf}	پادگانه‌های آبرفتی جدیدو پهنه‌های رسی	۷
	Q^{t1},Q^{f1}	پادگانه‌های آبرفتی قدیم – مخروط افکنه‌های قدیم	۶
	Ng^{m}	مارن قرمز،ماسه سنگ وسیلت بامیان لایه‌های میکروکنگلومرایی	۸
متوسط	K2	سنگ آهک ، سنگ آهک شیلی و شیل	۵
کم	Jl	تناوبی از سنگ آهک و آهک دولومیتی(سازند لار)	۳/۵
	Jd	تناوبی از سنگ آهک خاکستری ومارن سبز(سازند دلیچای)	۳

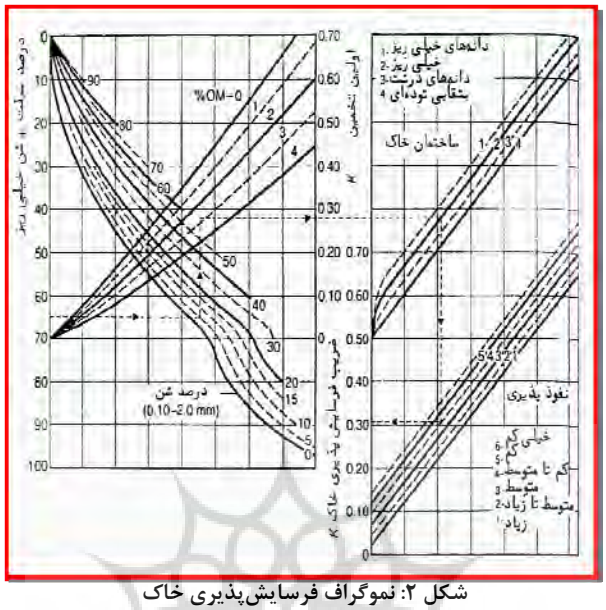
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

عامل خاک:

برای عامل خاک امتیاز بین صفر تا ده اختصاص، که بر اساس بافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، میزان آهک، مواد آلی، قابلیت پخش رس و رطوبت اولیه‌ی خاک تغییر می‌نماید. در روش جدید PSIAC برای تعیین عامل خاک از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$X2 = 16/67 * K \qquad (۲)$$

که در آن X2 امتیاز رسوبدهی خاک در روش پسیاک و k عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش می‌باشد. در فرمول جهانی فرسایش (USLE) برای تعیین k از مشخصه‌های درصد سیلت به اضافه شن خیلی ریز، درصد شن، درصد ماده آلی، ساختمان خاک و قابلیت نفوذ استفاده به عمل می‌آید. با در دست داشتن این مشخصه‌ها مقدار k را می‌توان از نموگراف زیر به دست آورد.



شکل ۲: نموگراف فرسایش‌پذیری خاک
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

با توجه به مطالعات گلدمن وهمکاران به منظورتعیین فاکتور K از بیان ریاضی این نموگراف به صورت زیر استفاده شد :

(۳)

$$Kfact=(1/292)[(2/1*10-6*Fp1/14(12-Pom)) + 0/0325(Sstruc-2)+0/025(Fperm-3)]$$

$$Fp=Psilt+vfs(100-Pclay)$$

که در آن: Fp :پارامتراندازه ذرات (بی بعد)

Pom: درصد مواد آلی

Sstruc: کلاس ساختمان خاکدانه

Fperm: کلاس نفوذپذیری پروفیل

Pclay: درصد رس

Psilt+vfs : درصدسیلت + شن خیلی ریز

با توجه به مطالعات خاکشناس منطقه وآزمایشات خاکشناسی عوامل مربوط به k تعیین گردید و سپس با استفاده از رابطه فوق میزان k و نهایتاً X2 در هر یک از اجزای واحد اراضی منطقه محاسبه شد. با توجه به مطالعات انجام شده در آفریقا می‌توان نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک را باتوجه به جدول ۲ طبقه‌بندی کرد و شکل ۳ نقشه فرسایش پذیری خاک حوزه را نشان می‌دهد.

جدول۲: طبقات فرسایش پذیری خاک

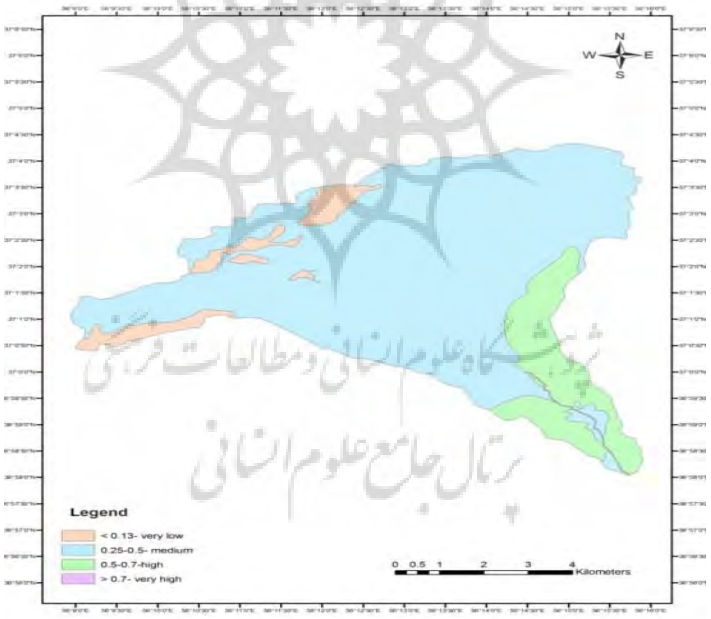
مقدار K	کلاس فرسایش‌پذیری
۰/۷ >	خیلی زیاد
۰/۵-۰/۷	زیاد
۰/۲۵-۰/۵	متوسط
۰/۱۳-۰/۲۵	کم
<۰/۱۳	خیلی کم

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۳: مقدار k در هر جزء واحد اراضی

LANDUNIT	مقدار K
3-1-1	۰/۳۶
5-2-1	۰/۴۰
2-3-1	۰/۴۴
2-2-3	۰/۴۴
2-1-1	۰/۳۶
5-1-1	۰/۴۰
5-3-1	۰/۴۹
2-4-1	۰/۶۵
X-1-1	۰/۹۰
2-2-1	۰/۰۰
2-2-2	۰/۴۴

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل۳: نقشه کلاس فرسایش پذیری خاک

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

عامل آب و هوا

فرسایش و رسوبزایی هر منطقه تا حد زیادی وابسته به اقلیم و آب و هوای آن منطقه می‌باشد ، زیرا آب و هوا علاوه بر تاثیر بر روی پدیده خاک‌زایی بر روی وضع پوشش گیاهی نیز تأثیر دارد. بسته به شدت تأثیر عوامل امتیازی بین صفر تا ده در نظر گرفته شده است. در مدل جدید پسیاک برای تعیین امتیاز عامل آب و هوا از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X3= 0/2P2 \quad (۴)$$

که در آن X3 امتیاز عامل آب و هوا وP2 مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ سال بر حسب میلیمتر می‌باشد که با استفاده از اطلاعات آمار هواشناسی محاسبه می‌گردد. به منظور بدست آوردن مقدار P2 از اطلاعات هواشناسی حوزه استفاده شد. بدین ترتیب مقدار بارش ۶ ساعته منطقه ۱۶/۸ میلیمتر می‌باشد و بنابراین مقدار X3 در این حوزه ۳/۳۶ به دست می‌آید.

عامل رواناب

امتیاز رواناب بین صفر برای مناطق با نفوذ پذیری بالا و ۱۰ برای مناطقی با نفوذپذیری خاک پایین متغیّر می‌باشد. در روش اصلاح شده پسیاک برای برآورد امتیاز عامل رواناب رابطه‌ی زیر ارائه شده است:

$$X4 = 0/006R + 10\ Qp \quad (۵)$$

که در آن: X4: امتیاز عامل رواناب در روش PSIAC R: ارتفاع رواناب سالانه برحسب میلیمتر. Qp: دبی ویژه پیک برحسب مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع می‌باشد. بدین منظور مقادیر عامل رواناب در نقشه واحدهای هیدرولوژیک (زیرحوزه‌ها) مطابق جدول ۴ محاسبه و با وارد سازی مقادیر پارامتر X4 به نقشه واحدهای هیدرولوژیکی نقشه رستری عامل رواناب تهیه گردید و در نهایت مقدار X4 در هر واحدکاری خلاصه‌برداری گردید.

جدول۴: مقادیر دبی های پیک برای زیر حوزه‌های منطقه

زیرحوزه	مساحت (km^2)	ارتفاع رواناب mm	دبی M3/s/km2	X4=(0/006 R+ 10Qp)
I1	۲/۰۶۸	۱۱/۸	۰/۹۷	۹/۷۸
I2	۷/۷۹۹	۱۲/۴	۰/۵۲	۵/۲۹
I3	۲/۹۴۶	۱۲/۸	۰/۸۲	۸/۳۱
I4	۵/۱۳۹	۱۳/۱	۰/۶۳	۶/۴۳
I5	۵/۳۵۷	۱۴/۴	۰/۶۲	۶/۳۲
I6	۱/۹۰۴	۱۲/۰	۱/۰۱	۱۰/۱۷
I7	۵/۳۵۸	۱۲/۷	۰/۶۲	۶/۳۰
I8	۱/۷۵۱	۱۲/۲	۱/۰۵	۱۰/۵۸
I9	۲/۹۹۰	۱۳/۷	۰/۸۲	۸/۲۸
I10	۴/۵۸۴	۱۵/۵	۰/۶۷	۶/۸۲
I11	۱/۸۵۴	۱۱/۵	۱/۰۲	۱۰/۲۹
I'1	۰/۱۰۰	۱۲/۲	۴/۰۳	۹/۳۳
I'2	۱/۷۱۶	۱۲/۱	۱/۰۶	۱۰/۷۸
I'3	۱/۷۱۶	۱۲/۰	۱/۰۶	۱۰/۶۸
I'4	۱/۰۵۴	۱۱/۸	۱/۳۳	۱۳/۳۹
I'5	۰/۰۲۸	۱۱/۸	۷/۳۰	۱۳/۳
I'6	۰/۳۶۸	۱۱/۷	۲/۱۸	۱۴/۸۸
I'7	۱/۰۵۴	۱۱/۶	۱/۳۳	۱۳/۳۸
I'8	۵/۱۷۸	۱۱/۰	۰/۶۳	۶/۳۷
I'9	۱/۰۳۷	۱۱/۲	۱/۳۴	۱۳/۴۷
I'10	۱/۶۱۲	۱۰/۶	۱/۰۹	۱۰/۹۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

عامل پستی و بلندی

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در هر منطقه پستی و بلندی است که معمولاً با شاخص شیب سنجیده می‌شود. فرسایش معمولاً در شیبهای تند که دارای طول زیادی نیز می‌باشند افزایش می‌یابد، دلیل این امر اضافه شدن مقدار و سرعت رواناب و همچنین افزایش نقش طرات باران در ایجاد فرسایش می‌باشد. در روش جدید برای تعیین امتیاز توپوگرافی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X5 = 0/33\ R \qquad (۶)$$

که در آن X5 درجه رسوبدهی و S شیب حوزه بر حسب درصد می‌باشد.

عامل پوشش زمین

هرگونه پوششی اعم از تاج پوشش گیاهی، لاشبرگ و باقیمانده گیاهی و سنگ و سنگریزه که خاک را در برابر عوامل فرساینده مانند قطرات باران،روان آب،و باد محافظت نماید، منجر به کاهش فرسایش و رسوبدهی اراضی خواهد شد. برای تعیین امتیاز عامل پوشش زمین در روش جدید از رابطه زیر استفاده می‌کنند.

که در آن X6 امتیاز عامل پوشش زمین و Pb درصد اراضی لخت و فاقد پوشش می‌باشد. مقدار عامل X6 در واحدهای کاری باغات و اراضی زراعی آبی با در نظر گرفتن حدود ۳ ماه از سال عاری از هر گونه پوشش گیاهی بدست آمده است. بدین ترتیب برای باغات و اراضی زراعی آبی حدود ۱۵ درصد اراضی لخت و بدون پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است:

$$X6 = 0/2\ Pb \qquad (۷)$$

جدول ۵: امتیاز عامل X6 در هر یک از تیپ‌های گیاهی

X6	درصدخاک لخت	تیپ پوشش گیاهی
۴/۶۶	۲۳/۳	Ar.si
۷/۱۸	۳۵/۹	Ar.si-Am.or
۱۱/۹۵	۵۹/۷۵	Ar.si-Co.fr-Er.ce
۱/۴	۷	Ar.si-Er.ce-Hy.ke
۱۰/۳	۵۱/۵	Ar.si-Ly.de
۰/۷	۳/۵	Ar.si-Zy-er
۳	۱۵	اراضی زراعی آبی و باغات
۲۰	-	مسیل
۰	-	اراضی صخره‌ای

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

عامل نحوه استفاده از اراضی

برای تعیین امتیاز کاربری اراضی معمولاً دو معیار عملیات کشاورزی در سطح منطقه و وضعیت چرای دام مورد ارزیابی و امتیاز دهی قرار می‌گیرد. این عامل در روش پسیاک بین ۱۰- برای مناطق با پوشش گیاهی انبوه و ۱۰ برای مناطقی که عملیات کشاورزی بدون رعایت اصول حفاظت آب و خاک صورت گرفته و یا چرای سنگین اعمال شده ، متغیّر می‌باشد. برای تعیین عامل استفاده از اراضی در مدل تجدیدنظر شده پسیاک از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X7 = 20 - 0/2Pc \qquad (۸)$$

که در آن X7 امتیاز درجه رسوبدهی عامل نحوه استفاده از اراضی و PC مقدار تاج پوشش بر حسب درصد می‌باشد. مقدار عامل X7 در واحدهای کاری باغات و اراضی زراعی آبی با در نظر گرفتن حدوداً ۹ ماه دارای پوشش گیاهی برای باغات بدست آمده است. بدین ترتیب برای باغات و اراضی زراعی آبی حدود ۸۵ درصد تاج پوشش در نظر گرفته شده است.

جدول۶: امتیاز عامل X7 در هر یک از کاربریهای اراضی

X_7	P_C	کاربری‌ها	
۱۹/۰۸	۴/۶	Ar.si	مرتع
۱۸/۱۸	۹/۱	Ar.si-Am.or	
۱۷/۵۵	۱۲/۲۵	Ar.si-Co.fr-Er.ce	
۱۵/۴	۲۳	Ar.si-Er.ce-Hy.ke	
۱۷/۵	۱۲/۵	Ar.si-Ly.de	
۱۸/۵	۷/۵	Ar.si-Zy-er	
۳	۸۵	اراضی زراعی آبی و باغات	
۲۰	-	مسیل	
۰	-	اراضی صخره‌ای	

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

عامل وضعیت فرسایش در سطح حوزه‌ی آبخیز

برای بررسی نقش عامل فوق در تولید رسوب، فرسایش سطحی موجود در منطقه مانند فرسایش بارانی، ورقه‌ای، شیاری و خندقی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به دلیل اهمیت این عامل در تولید رسوب امتیاز آن بین صفر تا ۲۵ متغیّر می‌باشد. در MPSIAC برای تعیین امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X8 = 0/25\ SSF \qquad (۹)$$

که در آن X8 امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش و SSF امتیاز عامل سطحی خاک می‌باشد که با استفاده از روش اداره مدیریت اراضی آمریکا (BLM) بدست می‌آید. در این روش برای تعیین امتیاز عامل سطحی خاک (SSF) از هفت عامل استفاده بعمل می‌آید که عبارتند از:سایش‌سطحی, پوشش سطح زمین، فرسایش شیاری، لاشبرگ سطحی، آثار تخریب در سطح زمین، آثار جریانات سطحی و فرسایش خندقی. با در دست داشتن جمع ارقام عامل سطحی خاک امتیاز وضعیت فعلی فرسایش در مورد هر یک از اجزای واحد اراضی و واحدهای هیدرولوژیک از رابطه X8 = 0/25 SSF محاسبه می‌گردد.

جدول ۷: امتیاز عامل X8 در هر یک از رخساره‌های فرسایشی

رخساره	SSF	X_8
1-1-2	۲۹	۷/۲۵
1-2-2	۵	۱/۲۵
1-3-2	۲۳	۵/۷۵
1-4-2	۴۹	۱۲/۲۹
1-5-3	۳۰	۷/۵۰
2-2-2	۲۹	۷/۲۵
2-5-3	۹۵	۲۳/۷۵
3-2-2	۲۹	۷/۲۵
3-5-3	۳۰	۷/۵۰
4-5-3	۵۵	۱۳/۷۵
5-5-3	۹۸	۲۴/۵۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

عامل فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب

در این عامل دو پدیده فرسایش کناره‌ای و حمل رسوب توسط سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تعیین امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب در روش جدید از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X9 = 1/67\ SSFg \qquad (۱۰)$$

که در آن X9 امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و SSFg نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM می‌باشد.

جدول۸: امتیاز عامل X9 در هر یک از رخساره‌ها

رخساره	SSFg	X9
1-1-2	۱	۱/۶۷
1-2-2	۰	۰/۰۰
1-3-2	۰	۰/۰۰
1-4-2	۴	۶/۹۶
1-5-3	۳	۵/۰۱
2-2-2	۱	۱/۶۷
2-5-3	۱۲	۲۰/۰۴
3-2-2	۱	۱/۶۷
3-5-3	۳	۵/۰۱
4-5-3	۵	۷/۹۳
5-5-3	۱۳	۲۱/۷۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول۹: عوامل مؤثر بر فرسایش‌خاک در روش پسیاک اصلاح شده

عوامل مؤثر بر فرسایش	معادلات روش اصلاح شده	توضیحات
زمین‌شناسی سطحی	$Y_1 = X_1$	X_1 = حساسیت سنگ‌ها به فرسایش (۱۰-۰)
خاک	$X_2 = ۱۶/۶۷ K$	K = حساسیت خاک به فرسایش با استفاده از فرمول جهانی فرسایش خاک
آب و هوا	$X_3 = ۰/۲ P_2$	P_2 = مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت دو سال
رواناب	$X_4 = ۰/۰۰۶ R + ۱۰ Qp$	R = ارتفاع رواناب Qp = دبی ویژه پیک سالیانه
پستی و بلندی	$X_5 = ۰/۳۳ S$	S = شیب متوسط بر حسب درصد
پوشش زمین	$X_6 = ۰/۲ P_b$	P_b = درصد اراضی لخت و فاقد پوشش
استفاده از زمین	$X_7 = ۰/۲ P_c$	P_c = درصد تاج پوشش
فرسایش سطحی	$X_8 = ۰/۲۵ SSF$	SSF = فرسایش سطحی خاک که با استفاده از روش BLM محاسبه می‌شود
فرسایش خندقی	$X_9 = ۱/۶۷ SSF_g$	SSF_g = امتیاز عامل فرسایش خندقی در روش BLM

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

محاسبه درجه رسوبدهی (R)

پس از تهیه واحدهای کاری، مقادیر مختلف X1، X2، X3، X6، X7، X8، X9 به‌ترتیب به کمک نقشه زمین‌شناسی، اطلاعات و نقشه‌های خاکشناسی، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات و نقشه پوشش گیاهی، نقشه ژئومورفولوژی محاسبه و در هر واحد کاری وارد گردید. با توجه به محاسبه فاکتورهای مؤثر در عامل X4 در زیرحوزه‌ها شامل ارتفاع رواناب و میزان دبی ویژه پیک، ابتدا این عامل در زیرحوزه‌ها محاسبه گردید. سپس نقشه‌ای رستری از آن تهیه گردید و با قرار دادن واحدهای کاری به عنوان نقشه زمینه در محل هر رکورد میزان X4 محاسبه گردید. مقادیر X5 نیز به کمک اعمال رابطه آن در نقشه شیب درصدی تهیه و مانند فاکتور X4 در محل هر رکورد نقشه واحدهای کاری خلاصه‌برداری گردید. در نهایت با الحاق فاکتورهای X5 و X4 به نقشه واحدهای کاری فاکتورهای مؤثر در مدل MPSIAC کامل شد که با جمع مقادیر فوق مقادیر درجات رسوبدهی بدست آمد.

محاسبه شدت رسوبدهی: به منظور محاسبه شدت رسوبدهی از معادله زیر استفاده شد.

$$Qs \quad Qs=0/253 * e\ 0/036\ R \qquad (۱۱)$$

میزان رسوبدهی سالانه بر حسب تن بر هکتار در سال R: درجه رسوبدهی یعنی مجموع امتیازات عوامل مختلف در نظر گرفته شده در مدل پسیاک. نقشه شدت رسوبدهی نیز با تبدیل مقادیر شدت‌های رسوبدهی در هر واحد کاری از فرمت وکتوری به فرمت رستری تهیه گردید. نقشه طبقات رسوبدهی نیز به کمک طبقه‌بندی یکی از نقشه‌های درجات رسوبدهی و یا شدت رسوبدهی با استفاده از جدول شماره ۱۰ تهیه می‌گردد. سپس با در اختیار داشتن امکانات نرم‌افزاری و با معرفی نقشه‌های رخساره‌های ژئومورفولوژی، تیپ‌های فرسایشی و زیرحوزه‌ها به عنوان لایه زمینه میزان رسوبدهی در محل لایه‌های زمینه خلاصه‌برداری شد.

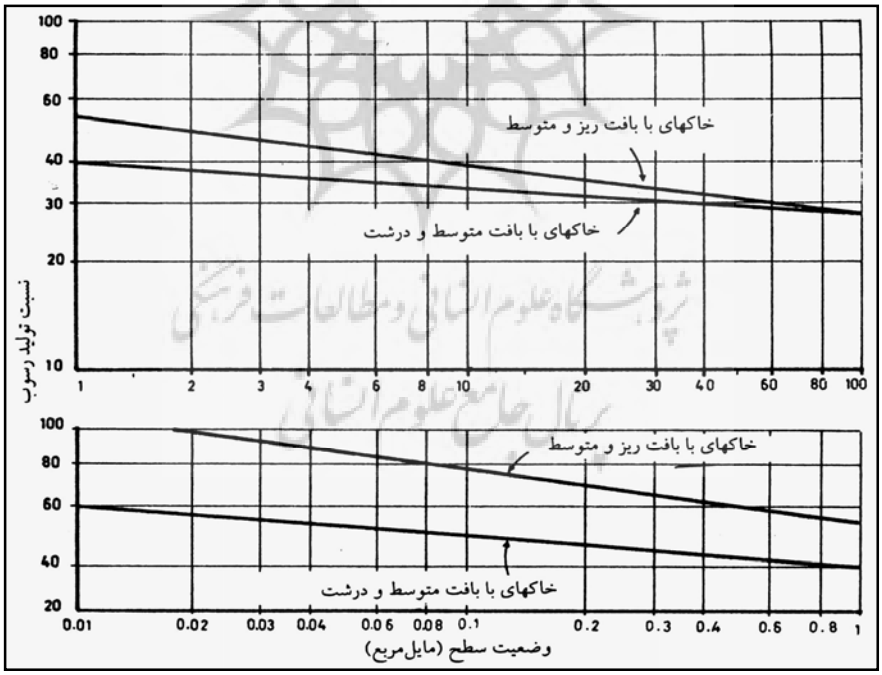
برآورد میزان فرسایش

برای برآورد فرسایش ویژه ابتدا نیاز است SDR[1] یا نسبت تحویل رسوب برای هر زیر حوزه بدست آید. به منظور محاسبه مقدار SDR نیز با داشتن مساحت هر واحد هیدرولوژیک و بافت خاک از منحنی‌های شکل ۴ استفاده گردید (۶). با در دست داشتن SDR در هر واحد هیدرولوژیک مقدار فرسایش ناخالص در آنها از رابطه زیر محاسبه می‌شود: تولید رسوبفرسایش=SDR

جدول ۱۰: کلاس‌های رسوبدهی و فرسایش در مدل پسیاک

کلاس رسوبدهی و فرسایش	شدت رسوبدهی	تولید رسوب سالانه (Ton/ha/yr)	نمرات نشان‌دهنده شدت رسوبدهی
V	خیلی زیاد	> ۹/۲۶	>۱۰۰
IV	زیاد	۳/۷۶-۹/۲۶	۷۵-۱۰۰
III	متوسط	۱/۵۲-۳/۷۶	۵۰-۷۵
II	کم	۰/۶۲-۱/۵۲	۲۵-۵۰
I	خیلی کم	<۰/۶۲	۰-۲۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۴: نمودارهای تعیین میزان SDR

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

نتایج و بحث

با توجه به اینکه در مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب با لایه‌های مختلف اطلاعاتی سر و کار داریم و در برآورد این پارامترها بایستی دقت کافی را مبذول داشت بنابراین اهمیّت‌استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نیز در برآورد فرسایش و رسوب بیش از پیش نمایان می‌شود. استفاده از GIS با توجه به توانایی‌های زیاد این سیستم در ورود داده‌ها, تجزیه و تحلیل و ارائه اطلاعات بصورت فضایی (نقشه) و غیر فضایی (جدول و متن)، می‌تواند در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های مختلف و افزایش دقت و سرعت برآورد فرسایش و رسوب کمک مؤثری باشد. یکی از دقیق ترین روش‌های بر آورد میزان رسوب تولیدی حوزه‌های آبخیز استفاده از آمار اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هیدرومتری و برآورد منحنی سنجه رسوب و در نهایت تولید رسوب می‌باشد. در نقاطی که این ایستگاه‌ها به تعداد کافی وجود داشته باشند میزان رسوب قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در این تحقیق ابتدا به بررسی ۹ عامل مؤثر بر فرسایش خاک در روش پسیاک اصلاح شده پرداخته شد و سپس نتایج حاصل از مدل به تفکیک هر زیر حوزه در حوزه آبخیز ایور مورد مطالعه و بر اساس ۹ عامل لحاظ شده در مدل مقادیر درجه رسوبزایی، رسوب کل و فرسایش کل به تفکیک زیر حوزه‌های۲۱ گانه و کل حوزه آبخیز در جداول مربوطه آورده شده است. جدول ۱۱ مقادیر متوسط رسوبدهی را در هر زیرحوزه هیدرولوژیک و کل حوزه و شکل ۵ نیز نمودار شدت رسوبدهی در زیرحوزه‌های حوزه ایور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول و شکل دیده می‌شود مقادیر رسوبدهی از حدود ۱/۶۱ تن بر هکتار در سال در زیرحوزه I5 در بالادست‌حوزه شروع و حداکثر تا ۷/۶۹ تن بر هکتار در زیرحوزه I´9 می‌رسد. در بین زیرحوزه‌های حوزه، زیرحوزه I´9 و I´10 با مقادیر رسوبدهی بالای ۷تن بر هکتار در سال بیشترین مقدار تولید رسوب را بخود اختصاص داده‌اند.

جدول ۱۱: متوسط رسوبدهی در زیرحوزه‌ها

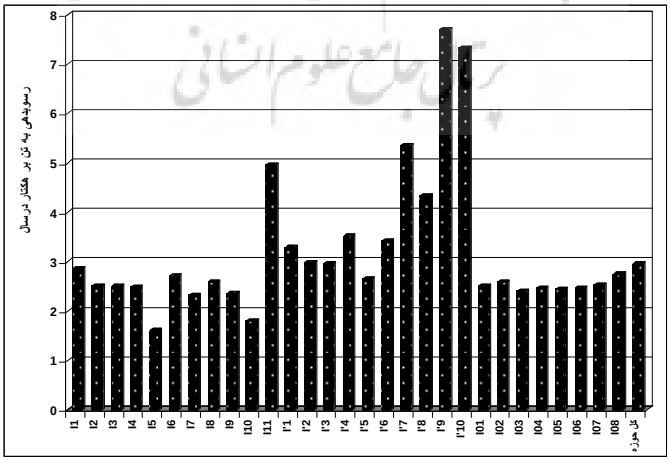
شدت رسوبدهی (تن بر هکتار در سال)	زیرحوزه	شدت رسوبدهی (تن برهکتاردرسال)	زیرحوزه
۲/۶۴	I'5	۲/۸۵	I1
۳/۴۱	I'6	۲/۵۱	I2
۵/۳۴	I'7	۲/۵۰	I3
۴/۳۳	I'8	۲/۴۹	I4
۷/۶۹	I'9	۱/۶۱	I5
۷/۳۲	I'10	۲/۷۲	I6
۲/۵۱	I01	۲/۳۳	I7
۲/۵۸	I02	۲/۵۹	I8
۲/۴۰	I03	۲/۳۵	I9
۲/۴۶	I04	۱/۸۰	I10
۲/۴۴	I05	۴/۹۵	I11
۲/۴۶	I06	۳/۲۸	I'1
۲/۵۲	I07	۲/۹۸	I'2
۲/۷۵	I08	۲/۹۶	I'3
۲/۹۵	کل‌حوزه	۳/۵۱	I'4

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول۱۲ : مساحت هر یک از طبقات رسوبدهی در هرزیرحوزه

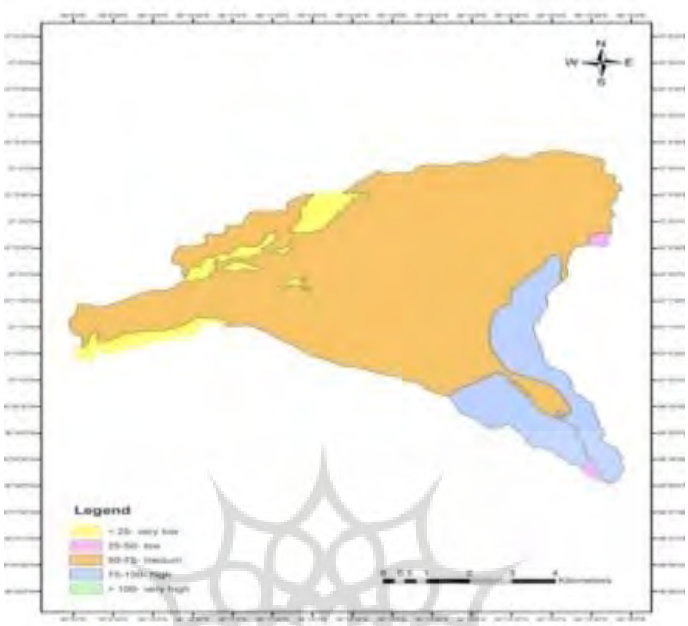
	مساحت هریک ازطبقات رسوبدهی (هکتار)				
زیرحوزه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
I1	۰/۰۰	۱۵/۹۱	۱۲۸/۰۵	۶۲/۸۰	۰/۰۰
I2	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۶۹/۱۰	۱۰/۸۴	۰/۰۰
I3	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۹۴/۶۳	۰/۰۰	۰/۰۰
I4	۷/۱۸	۰/۰۰	۵۰۶/۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰
I5	۱۶۲/۱۳	۰/۰۰	۳۷۳/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰
I6	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۹۰/۴۷	۰/۰۰	۰/۰۰
I7	۲۶/۱۱	۰/۰۰	۵۰۹/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰
I8	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷۵/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰
I9	۲/۵۷	۰/۰۰	۲۹۶/۴۱	۰/۰۰	۰/۰۰
I10	۱۱۷/۲۱	۰/۰۰	۳۴۱/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰
I11	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۰/۶۶	۱۵۴/۷۶	۰/۰۰
I'1	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۹۲	۴/۸۱	۰/۰۰
I'2	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳۴/۷۵	۳۶/۷۹	۰/۰۰
I'3	۰/۰۰	۰/۰۰	۸۷/۶۴	۲۲/۹۱	۰/۰۰
I'4	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۴/۶۴	۷۰/۷۶	۰/۰۰
I'5	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۸۲	۰/۰۰	۰/۰۰
I'6	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵/۰۶	۲۱/۷۸	۰/۰۰
I'7	۰/۰۰	۰/۰۰	۵۴/۲۴	۴۹/۰۵	۲/۱۲
I'8	۱/۴۲	۰/۰۰	۳۵۶/۵۸	۱۵۹/۷۲	۰/۰۰
I'9	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۵۴	۹۰/۱۵	۲/۹۹
I'10	۰/۰۰	۱۴/۱۳	۰/۰۰	۱۴۳/۹۸	۳/۰۸
کل حوزه	۳۱۶/۶۲	۳۰/۰۴	۴۳۱۶/۷۴	۸۲۸/۳۴	۸/۱۹

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



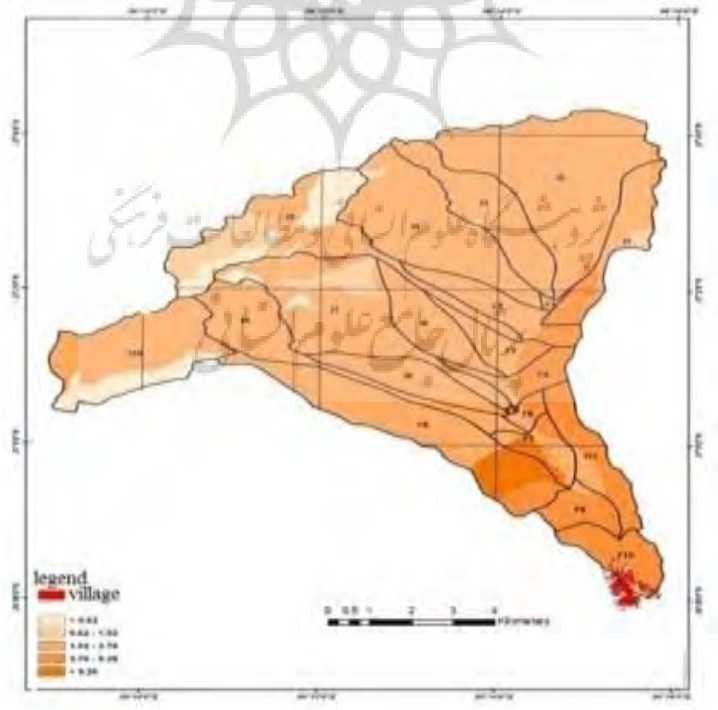
شکل۵: نمودارشدت رسوبدهی در زیرحوزه‌های حوزه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۶: طبقات رسوبدهی و فرسایش حوزه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل۷: نقشه شدت رسوبدهی حوزه‌ی آبخیز ایور

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

شکل ۶ طبقات رسوبدهی و فرسایش حوزه و شکل۷ نقشه شدت رسوبدهی حوزه‌ی آبخیز ایور نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است طبقه رسوبدهی متوسط بیشترین مساحت حوزه را به خود اختصاص داده‌اند. در بخش‌های خروجی حوزه میزان فرسایش افزایش یافته و در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. جدول ۱۲ نیز طبقات رسوبدهی را در هر زیرحوزه‌ی هیدرولوژیک نشان می‌دهد. بر اساس این جدول بیشترین مساحت مربوط به طبقه متوسط با ۴۳۱۶/۷۴ و کمترین مربوط به طبقه خیلی زیاد با ۸/۱۹ هکتار می‌باشد.

جدول۱۳: میزان SDR در زیر حوزه‌ها

زیرحوزه	مساحت (mi^2)	SDR(%)	زیرحوزه	مساحت (mi^2)	SDR(%)
I1	۰/۸۰	۴۱	I'1	۰/۰۴	۵۲
I2	۳/۰۱	۳۷	I'2	۰/۶۶	۴۲
I3	۱/۱۴	۴۱	I'3	۰/۶۶	۴۲
I4	۱/۹۸	۳۸	I'4	۰/۴۱	۴۴
I5	۲/۰۷	۳۹	I'5	۰/۰۱	۶۰
I6	۰/۷۴	۴۱	I'6	۰/۱۴	۵۰
I7	۲/۰۷	۳۹	I'7	۰/۴۱	۴۴
I8	۰/۶۸	۴۱	I'8	۲/۰۰	۳۸
I9	۱/۱۵	۴۱	I'9	۰/۴۰	۶۲
I10	۱/۷۷	۳۷	I'10	۰/۶۲	۵۹
I11	۰/۷۲	۵۸			

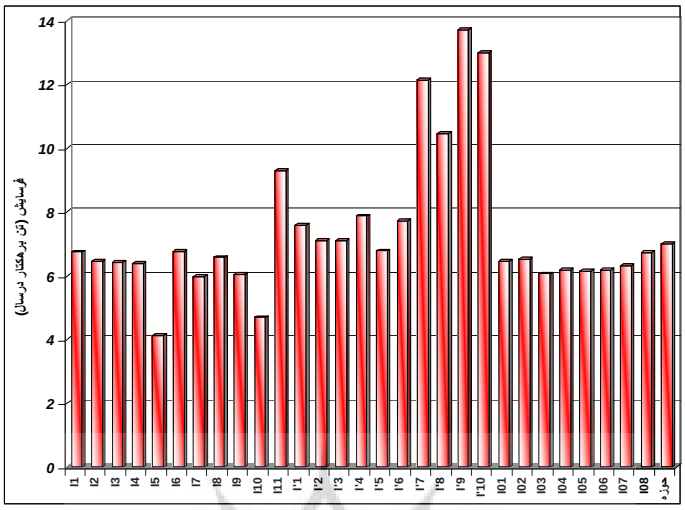
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول۱۳ مقدار SDR را در هر واحد هیدرولوژیک نشان می‌دهد. جدول۱۴ نیز مقدار فرسایش را در هر واحد هیدرولوژیک نشان می‌دهد. برطبق این جداول بیشترین و کمترین مقدار SDR در زیرحوزه‌ها به ترتیب مربوط به زیرحوزه I'10 با ۵۹ و I10 و I2 با ۳۷ درصد می‌باشند. همچنین مقدار متوسط فرسایش در کل منطقه به میزان ۷/۰۱ تن بر هکتار بر سال بدست آمد.

جدول ۱۴: مقادیر متوسط فرسایش در هر زیر حوزه

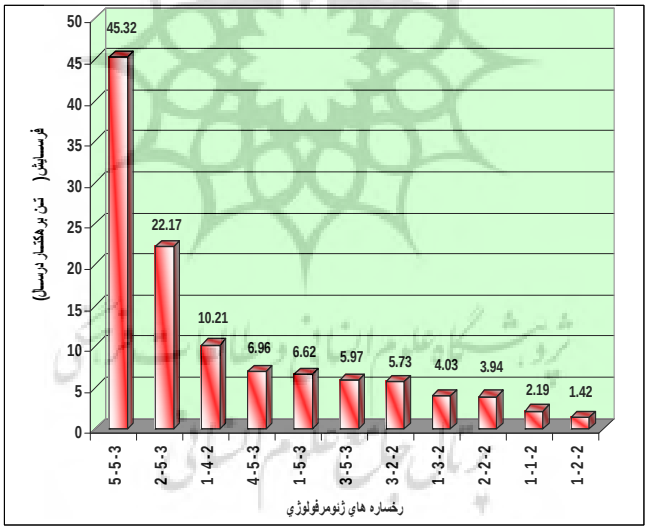
زیرحوزه	شدت فرسایش (تن بر هکتاردرسال)	زیرحوزه	شدت فرسایش (تن‌برهکتاردرسال)
I1	۶/۷۴	I'5	۶/۷۸
I2	۶/۴۵	I'6	۷/۷۳
I3	۶/۴۳	I'7	۱۲/۱۲
I4	۶/۳۹	I'8	۱۰/۴۷
I5	۴/۱۴	I'9	۱۳/۷۱
I6	۶/۷۵	I'10	۱۳/۰۰
I7	۵/۹۶	I01	۶/۴۵
I8	۶/۵۷	I02	۶/۵۲
I9	۶/۰۴	I03	۶/۰۶
I10	۴/۶۹	I04	۶/۱۷
I11	۹/۳۱	I05	۶/۱۴
I'1	۷/۵۹	I06	۶/۱۸
I'2	۷/۱۱	I07	۶/۳۲
I'3	۷/۱۰	I08	۶/۷۴
I'4	۷/۸۷	کل‌حوزه	۷/۰۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۸: نمودار میزان فرسایش در حوزه و زیرحوزه‌ها

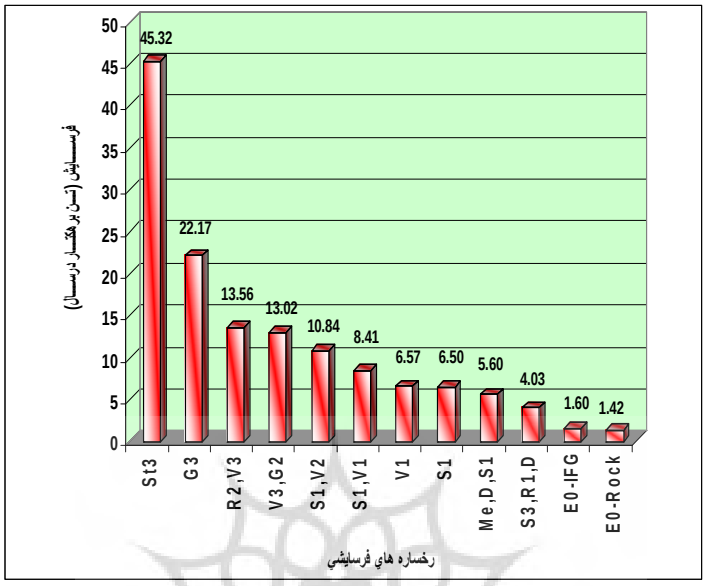
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل۹: نمودار متوسط فرسایش در هر رخساره ژئومورفولوژی

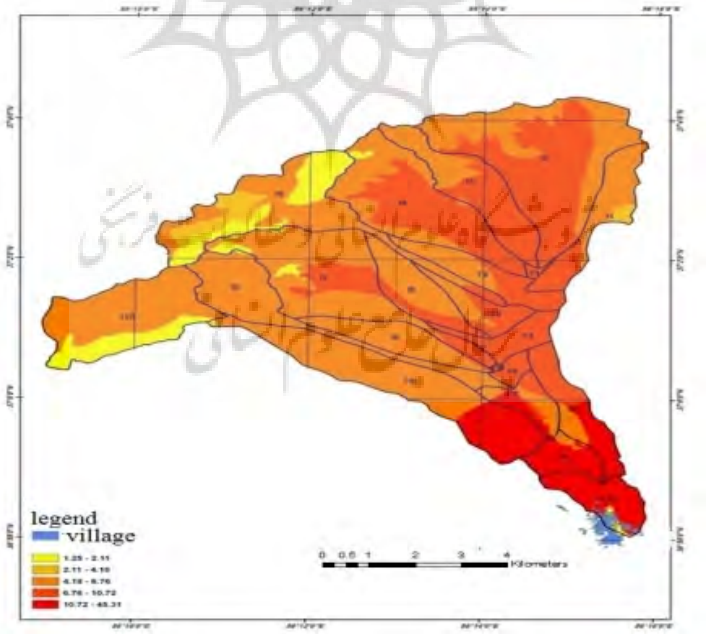
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

اشکال ۸، ۹و۱۰ نمودارهای شدت فرسایش را در حوزه و زیرحوزه‌ها، در رخساره‌های ژئومورفولوژی و رخساره‌های فرسایشی نشان می‌دهد. شکل ۱۱ شدت فرسایش را در حوزه نشان می‌دهد و بر طبق شکل و نمودارها زیرحوزه‌های I'9 و I'10 با داشتن حدود ۱۴ تن فرسایش سالیانه خاک، بیشترین مقدار فرسایش را دارا می‌باشند.



شکل۱۰: نمودار متوسط شدت فرسایش در هر رخساره فرسایشی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۱۱: نقشه شدت فرسایش حوزه‌ی آبخیز ایور

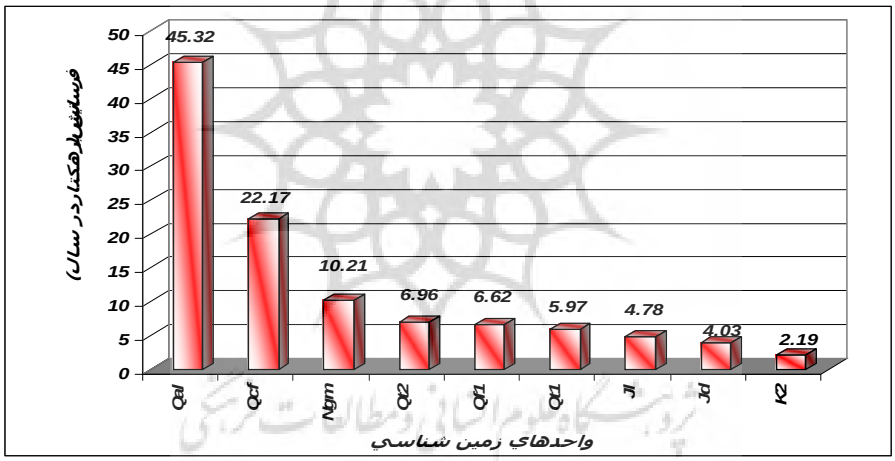
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

از میان رخساره‌های ژئومورفولوژی نیز رخساره‌های مسیل (۳-۵-۵) با داشتن فرسایشی معادل ۴۵/۳۲ تن بر هکتار اختلاف فاحشی با سایر رخساره‌ها دارد. رخساره فرسایشی این محدوده نیز بصورت فرسایش کناره‌ای شدید (St3) می‌باشد که دارای فرسایشی معادل رقم فوق می‌باشد.

رابطه بین سازندهای زمین‌شناسی با فرسایش خاک و تولید رسوب

مهمترین واحدهای لیتولوژیک حوزه عبارتند از: سازند دلیچای (Jd)، سازند لار (Jl)، سازند کلات (K2)، واحد Ngm، واحد Qcf، پادگانه‌های آبرفتی قدیم و جدید،مخروط‌افکنه‌های‌آبرفتی و رسوبات بستر رودخانه. واحدهای زمین‌شناسی Qal (بستر رودخانه) دارای بیشترین مقدار فرسایش می‌باشد.

واحد زمین‌شناسی Qcf (پهنه‌های رسی) نیز در محدوده بالادست روستای ایور نیز دارای فرسایش قابل توجهی می‌باشد. شیب کم این محدوده از دلایل کاهش نسبی فرسایش می‌باشد. شکل۱۲ نمودار میزان فرسایش در واحدهای زمین‌شناسی حوزه ایور را نشان می‌دهد.

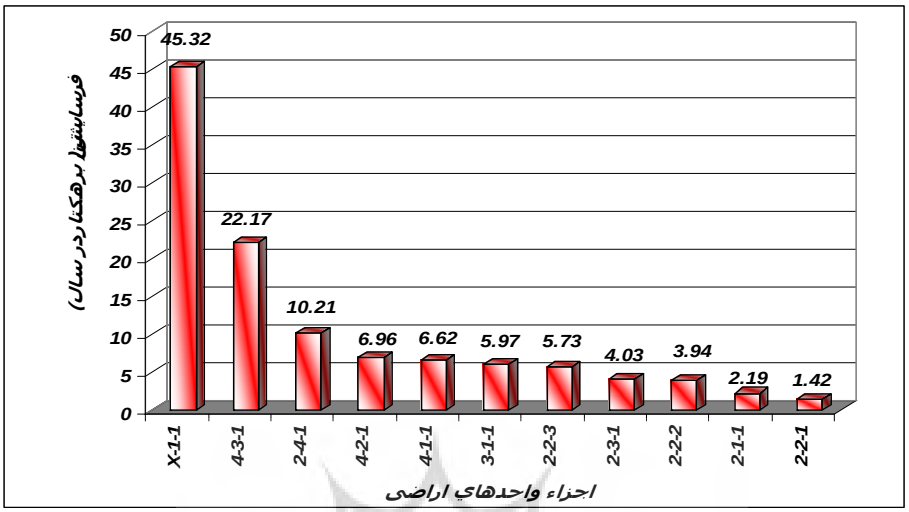


شکل۱۲:نمودار میزان فرسایش در واحدهای زمین‌شناسی حوزه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

رابطه‌بین‌وضعیت‌خاک‌بافرسایش‌خاک‌وتولیدرسوب

خصوصیاتی از خاک که در فرسایش پذیری آن مؤثرند عبارتند از: سرعت نفوذ، ظرفیت کل آب خاک، ظرفیت نگهداری آب و خاک، بافت خاک، ساختمان خاک. اجزاء واحد اراضی X-1-1 با داشتن ۴۵/۳۲ تن فرسایش سالیانه خاک دارای بیشترین مقدار فرسایش می‌باشد. این جزء اراضی محدوده مسیل در بخش خروجی حوزه می‌باشد. اجزاء واحد اراضی ۱-۳-۴ در محدوده‌ی کلوتهای رسی بالادست روستای ایور نیز دارای فرسایش قابل توجهی می‌باشد. شکل ۱۳ نمودار مقادیر فرسایش در اجزاء واحدهای اراضی حوزه ایور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نمودار مقادیر فرسایش در اجزاء واحدهای اراضی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

رابطه بین ریزش‌های جوی با فرسایش خاک و تولید رسوب

مهمترین خصوصیات باران که در فرسایش و حفاظت خاک اهمیّت دارند عبارتند از: مقدار باران، شدت بارندگی، اندازه قطرات باران، توزیع اندازه قطرات باران، سرعت نهایی باران و توزیع بارندگی. در میان عوامل مؤثر ریزش‌های جوی در ایجاد فرسایش، فاکتور شدت بارندگی دارای اهمیّت بیشتری می‌باشد. میزان فرسایش در مناطق‌مرتفع و سراب حوزه به‌دلیل بارندگی بیشتر نسبت به نقاط خروجی و پست ترحوزه (صرف نظر از فرسایش رودخانه‌ای) افزایش می‌یابد. بطور کلی میزان تغییرات در پارامترهای هواشناسی منطقه بدلیل سطح کم چندان قابل توجه نبوده ولی با افزایش ارتفاع از دمای هوا کاسته شده و ریزش‌های جوی بصورت برف خواهند بود که تأثیر بسیار زیادی در فرسایش مکانیکی و افزایش واریزه خواهند داشت که واریزه‌های ریز و درشت و فراوان موجود در منطقه دلیلی بر این مدعا می‌باشد. از مهمترین پارامترهای اقلیمی بسیار مؤثر در افزایش فرسایش در منطقه می‌توان به بارش‌های کوتاه‌مدت اشاره کرد که از مشخصات تمامی اقلیم‌های ایران می‌باشد. این بارش‌ها به دلیل عدم وجود زمان لازم برای نفوذ به داخل خاک، وجود سطوح عاری از پوشش گیاهی و سطوح سخت ناشی از عبور دام، بطور کامل در سطح خاک جریان یافته و سیلاب‌های بسیار شدیدی را بدنبال دارند. این سیلاب‌ها عمده‌ترین عامل افزایش فرسایش در مناطق می‌باشند.

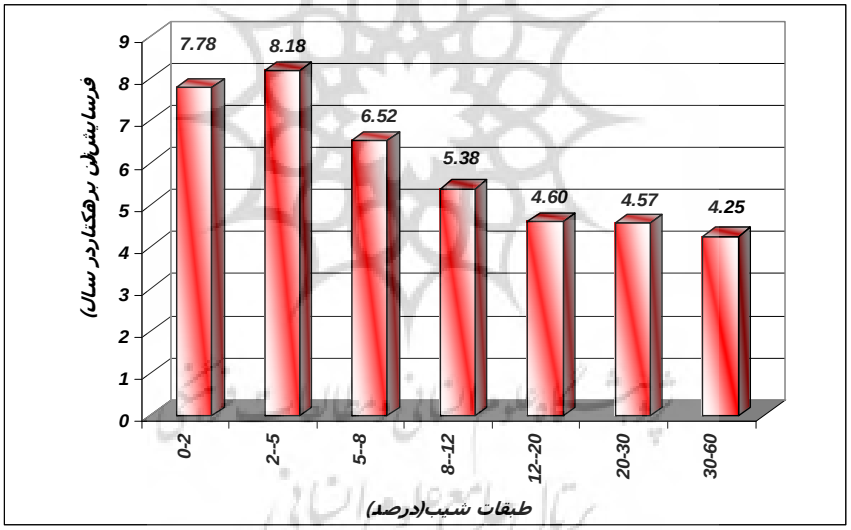
رابطه‌بین‌رواناب(هرزآب‌های‌سطحی)بافرسایش‌خاک

در منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به مطالعات هیدرولوژی مشخص می‌شود که میزان رواناب تولیدی در زیرحوزه‌ها به هم نزدیک بوده و از اینرو با در نظر گرفتن تنها این عامل در رابطه با میزان فرسایش تفاوت معنی‌داری در بین زیرحوزه‌ها وجود نخواهد داشت. اما آنچه در مورد هیدرولوژی، میزان رواناب و دبی پیک مطرح است اینست که با افزایش حجم رواناب خصوصاً در بخش‌های پایینی حوزه میزان

فرسایش بشدت افزایش خواهد یافت. فرسایش‌های کناره‌ای شدید در محدوده‌ی خروجی حوزه این امر را بخوبی توجیه می‌نماید.

رابطه‌بین‌وضعیت‌توپوگرافی‌وشیب‌حوزه‌بافرسایش خاک

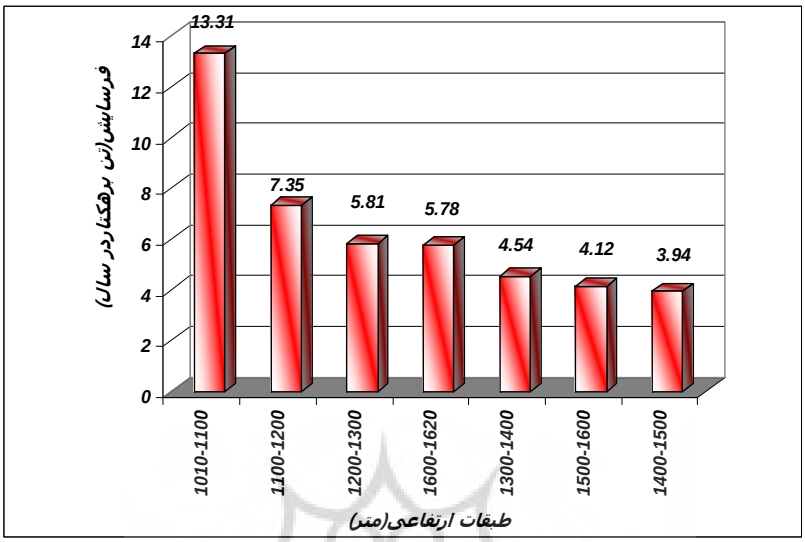
یکی از پارامترهای مؤثر در تولید فرسایش و رسوب حوزه عامل توپوگرافی می‌باشد بطوری که شیب حوزه بیشترین تاثیر را دارا می‌باشد. وضعیت فرسایش در طبقات شیب مختلف حوزه در شکل۱۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است با افزایش میزان شیب تا حدود ۵ درصد، میزان فرسایش نیز روند صعودی دارد. از شیب ۵ درصد به بالا میزان فرسایش با افزایش شیب کاهش می‌یابد. تأثیر پارامترهای مختلف از جمله نوع سازند در افزایش یا کاهش فرسایش از دلایل اصلی این روند می‌باشد. بطور کلی تاثیر شیب خصوصاً در میزان رواناب ظاهر شده و با افزایش میزان آن، فرسایش خصوصاً در مناطق خاکدار پایین‌دست‌افزایش‌می‌یابد. فرسایش‌های کناره‌ای شدید در پایین دست دلیلی بر این مدعا می‌باشد.



شکل۱۴: میزان فرسایش در طبقات شیب مختلف

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

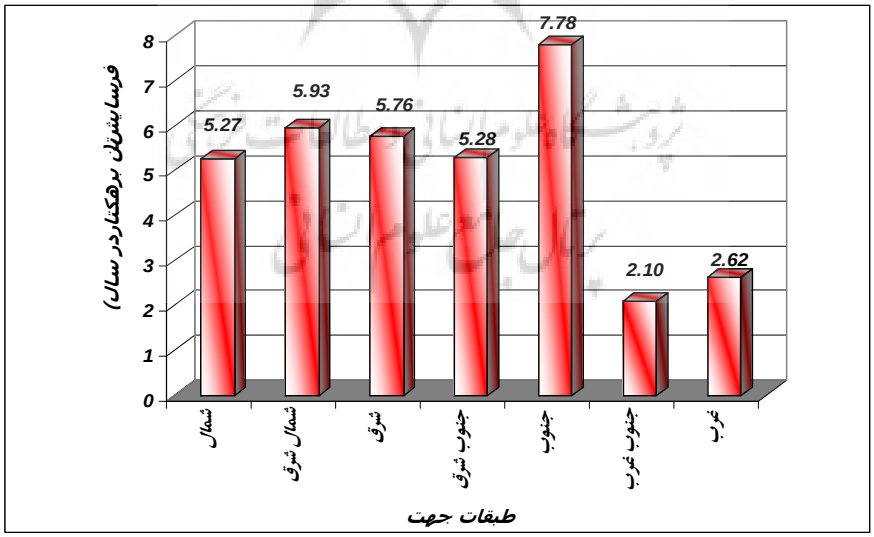
وضعیت فرسایش در طبقات ارتفاعی مختلف نیز در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است طبقه ارتفاعی ۱۱۰۰-۱۰۱۰ دارای بیشترین مقادیر فرسایش و رسوب می‌باشند. از ارتفاع ۱۱۰۰ متر به بالا میزان فرسایش بتدریج کاهش می‌یابد. دلیل این امر هم وجود سازندهای حساس در طبقات ارتفاعی پایین می‌باشد.



شکل۱۵: میزان فرسایش در طبقات ارتفاعی مختلف

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

وضعیت فرسایش در جهات مختلف شیب در شکل ۱۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است جهت شیب جنوبی دارای فرسایش بیشتری نسبت به سایر جهات می‌باشد.

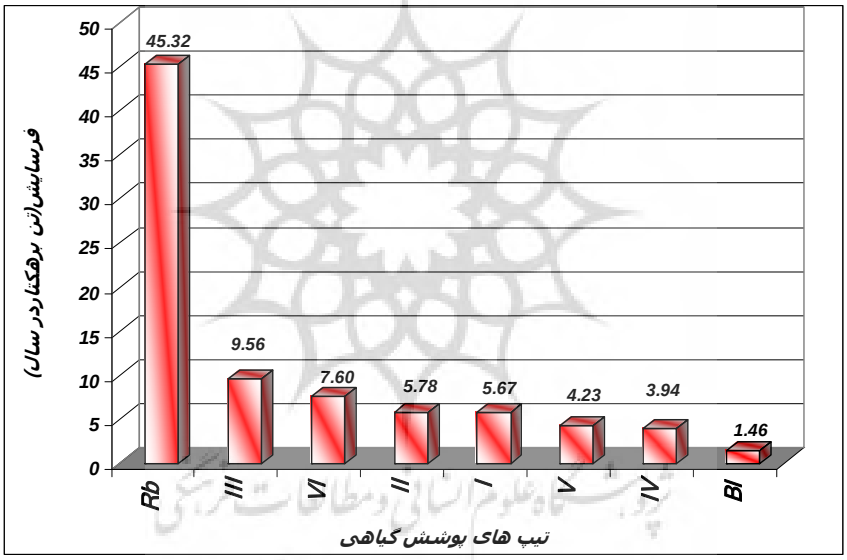


شکل۱۶: میزان فرسایش در جهات مختلف شیب

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

رابطه بین پوشش زمین با فرسایش خاک

از نظر رابطه میزان فرسایش با پوشش گیاهی می‌توان گفت که بسته به شدت چرا و دسترسی برای دام دارای مقادیر فرسایش متفاوت می‌گردد. وضعیت تیپ‌های پوشش گیاهی منطقه همراه با میزان فرسایش در آنها بصورت شکل ۱۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است حداکثر فرسایش در محدوده اراضی بایر بالادست روستای ایور (پهنه‌های رسی) دیده می‌شود. در تیپ‌های پوشش گیاهی نیز بطور مشخص می‌توان گفت که با افزایش درصد تاج پوشش، میزان لاشبرگ و سنگ و سنگریزه و کاهش درصد خاک لخت از میزان فرسایش کاسته می‌شود. با افزایش درصد خاک لخت (تیپ III) میزان فرسایش افزایش داشته است. در تیپ VI نیز فرسایش‌های از نوع سطحی و شیاری دیده می‌شود که سبب افزایش نسبی شدت فرسایش شده است. واحد زمین‌شناسی این بخش بصورت Jd (آهکی- مارنی) می‌باشد.



شکل ۱۷: وضعیت فرسایش در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

رابطه بین فرسایش کناره‌ای و فرسایش خاک

فرسایش رودخانه‌ای یا کناره‌ای موجود در حوزه ایور جاجرم از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده و این بدلیل اولاً وجود سازندهای حساس منطقه و ثانیاً عبور حجم زیادی از سیلاب از این بخش از اراضی می‌باشد. محاسبات میزان فرسایش در این بخش نشانگر حساسیت فوق‌العاده این بخش از اراضی نسبت به فرسایش می‌باشد. میزان فرسایش در این بخش از منطقه به حدود ۴۵ تن بر هکتار می‌رسد. شایان ذکر است که دلیل اصلی گل‌آلودگی رواناب خروجی از روستای ایور نیز همین بخش از اراضی می‌باشد. گل آلودگی بالای زیرحوزه‌های بخش خروجی حوزه، زیرحوزه‌های I′9 و I′10 با مقدار حداکثر گل آلودگی ۶۲ گرم بر لیتر این امر را بخوبی تأیید می‌نماید.

نتیجه

از آنجا که در این حوزه هیچ‌گونه تجهیزات اندازه-گیری رسوب وجود ندارد لذا استفاده از روش‌های آماری جهت برآورد مقدار فرسایش و رسوب حوزه امکان‌پذیر نمی‌باشد و به ناچار از روش تجربیMPSIAC به منظور برآورد میزان فرسایش و رسوب در داخل حوزه استفاده گردید. بطوریکه پس از مشخص شدن نقشه واحد کاری امتیازات مربوط به عوامل نه‌گانه مدل در هر واحد کاری برآورد و در هر واحد کاری مقدار رسوب محاسبه گردید. سپس با میانگین وزنی از واحدهای کاری مقدار رسوب برای هر زیرحوزه و کل حوزه برآورد گردید. و در نهایت با محاسبه SDR برای حوزه و زیرحوزه‌ها مقدار فرسایش محاسبه گردید. فرسایش آبی با از بین رفتن پوشش گیاهی به دلیل چرای مفرط شدت یافته و وجود سازندهای حساس به فرسایش مارن آنرا تقویت می‌کند. با تشدید این نوع فرسایش قابلیت نفوذ خاک کاهش یافته، خاک حاصلخیزی خود را از دست می‌دهد و پوشش‌گیاهی بیش از پیش تخریب می‌گردد و در نهایت زمینه برای شروع بیابانی شدن منطقه و تشدید فعالیت باد فراهم می‌گردد. همچنین با عبور سیلاب از روی سازندهای مارن و انتقال به دشت سرهای پوشیده و سپس تبخیر آب، املاح بر جای مانده و شوری خاک را سبب شده است. از نظر میزان تأثیر فرسایش آبی در تشدید پدیده بیابانزایی باید گفت که فرسایش آبی به نحوی در گسترش بیابان در منطقه‌ی مورد مطالعه نقش دارند و به منظور کنترل بیابانزایی در منطقه باید برای آن برنامه‌ریزی صورت گیرد. علی‌رغم حساسیت منطقه به فرسایش آبی، در منطقه‌ی مورد مطالعه قابلیت‌هایی نیز برای کنترل انواع فرسایش وجود داردکه با بالقوه کردن این قابلیت‌ها می‌توان گام‌های مؤثری در جهت کنترل پدیده بیابان‌زایی در منطقه برداشت.

با توجه به نتایج حاصل مقدار متوسط فرسایش در کل منطقه به میزان ۷/۰۱ تن بر هکتار بر سال و زیرحوزه‌های I′9 و I′10 با داشتن حدود ۱۴ تن فرسایش سالیانه خاک، بیشترین مقدار فرسایش را دارا می‌باشند. از میان رخساره‌های ژئومورفولوژی نیز رخساره‌های مسیل با داشتن فرسایشی معادل ۴۵/۳۲ تن بر هکتار اختلاف فاحشی با سایر رخساره‌ها دارد. مقادیر رسوبدهی از حدود ۱/۶۱ تن بر هکتار در سال در زیرحوزه I5 در بالادست حوزه شروع و حداکثر تا ۷/۶۹ تن بر هکتار در زیرحوزه I´9 می‌رسد. زیرحوزه I´9 و I´10 با مقادیر رسوبدهی بالای ۷ تن بر هکتار در سال بیشترین مقدار تولید رسوب را بخود اختصاص داده‌اند. مقدار متوسط رسوبدهی در کل منطقه به میزان ۲/۹۵ تن بر هکتار بر سال و طبقه رسوبدهی متوسط بیشترین مساحت حوزه را به خود اختصاص داده است. در بخش‌های خروجی حوزه میزان فرسایش افزایش یافته و در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند.

از مهمترین عوامل فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز ایور نوع تشکیلات زمین‌شناسی خصوصاً در بخش‌های خروجی حوزه می‌باشد. وجود تشکیلات حساس مارنی که در برخی مناطق بطور کامل در سطح زمین ظاهر شده اند و در برخی نقاط نیز در محدوده فرسایش‌های آبراهه‌ای ظهور پیدا نموده‌اند، از دلایل وجود فرسایش طبیعی در منطقه می‌باشد. از سوی دیگر جاری شدن رواناب ناشی از رخنمون‌های سنگی در بالادست و تجمع آنها در بخش خروجی حوزه، زمینه را برای تشدید فرسایش فراهم می‌نماید.

فرسایش‌شدید کناره‌ای در نزدیکی‌روستای ایور شرایط فوق را بخوبی توجیه می‌نماید.

اهمیت فرسایش‌های از نوع تشدیدی در حوزه‌ی آبخیز ایور بمراتب کمتر از فرسایش طبیعی می‌باشد هر چند که چرا و تخریب مراتع در بالادست در تشدید میزان دبی پیک سیلاب و رواناب مؤثر بوده و باعث افزایش شدت آن می‌شود. بر اساس مطالعات فرسایش و رسوب انجام شده در حوزه‌ی آبخیز ایور اولویّت‌بندی زیرحوزه‌ها نسبت به فرسایش به شرح ذیل می‌باشد:

I′9> I′10> I′7> I′8> I11>I′4> I′6> I′1> I′2> I′3> I′5> I6> I1> I8> I2> I3> I4> I9> I9> I7> I10> I5

مهمترین عملیات مکانیکی قابل پیشنهاد جهت جلوگیری از ورود حجم عظیمی از سیلاب به محدوده سازندهای حساس خروجی حوزه، احداث پشته‌های خاکی کوتاه در محدوده‌ی دشت سرها و انحراف آب به داخل آنها جهت پخش می‌باشد که علاوه بر کنترل سیلاب حوزه و تغذیه‌ی آبهای زیرزمینی، میزان فرسایش را در بخش‌های خروجی حوزه بسیار کاهش خواهد داد. به‌نظر می‌رسد این امر با وجود گل آلودگی بسیار کم سازندها و زیرحوزه‌های بالادست و سازند نفوذپذیر محدوده دشت سر از پروژه‌های بسیار موفق در منطقه باشد. با انجام عملیات بیولوژیکی سعی می‌شود به صورت مستقیم یا غیر مستقیم با استفاده از نقش پوشش گیاهی از فرسایش خاک جلوگیری شود. این عملیات در اراضی مرتعی زیر حوزه‌های منطقه شامل قرق،مدیریت‌چرا،کپه‌کاری،کشت گیاهان مثمر و غیرمثمر در محدوده‌ی پخش سیل و غیره می‌باشند.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۵۴ ص
- اسکندری، ذاکر؛ جواد محمدی (۱۳۸۰). برآورد پتانسیل فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز چغاخور با استفاده از مدل EPM و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات هفتمین‌کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۱۴-۱۲۲ص.
- تاجگردان،تکتم؛شمس‌الله ایوبی؛شعبان جویباری (۱۳۸۷). برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت)، مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۷۹. صفحات ۴۵-۳۸.
- جعفری، محمد؛ فریدون سرمدیان (۱۳۸۲). مبانی خاک‌شناسی و رده‌بندی خاک، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۵۷ ص
- دهقان، جعفر؛ تکتم تاجگردان؛ شعبان جویباری (۱۳۸۸). برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و با استفاده ازمدل MPSIAC، نشریه پژوهش و سازندگی. شماره ۷۹. صفحات ۴۵-۳۴
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۹). فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.۲۳۰ص
- شیرزادی، هیوا (۱۳۸۸). پتانسیل لغزش در جاده جدید سنندج- مریوان با استفاده از AHP، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- عابدینی، موسی؛ شنو شبرنگ؛ اباذر اسمعلی (۱۳۹۲). بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب دهی در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای به‌روش EPM، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۳۰. صفحات: ۱۰۰-۸۷.
- عرب‌خدری، محمود (۱۳۷۴). معادله جهانی اصلاح شده تلفات‌خاک،مجله پژوهش‌وسازندگی.شماره۲۵. ۲۷-۲۲ص.
- علیزاده،امین (۱۳۶۸). فرسایش و حفاظت‌خاک، انتشارات آستان قدس رضوی، ۹۴ ص
- قضاوی، رضا؛ عباسعلی ولی؛ یاسر مقامی؛ ژاله عبدی؛ سیامک‌شرفی(۱۳۹۱).مقایسه مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲۷. صفحات ۱۲۶-۱۱۷.

- نوجوان، مهدی؛ علی‌اصغر محمدی؛ وحید غلامی (۱۳۹۱). تعیین شدت فرسایش با استفاده از مدل‌های fargas و BLM در حوضه ی آبخیز بندره، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲۹. صفحات ۱۳۰-۱۱۹.
- Amiri, Kazem,H (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 2010:3-14.
- Amini, S ,Rafiei, B, Khodabakhsh, S, Heydari, M (2010). Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan Dam drainage basin with EPM, using GIS. Iranian Journal of Earth Sciences.78-91.
- Davari, M., H. Bahrami, J. Ghossousi and N. Tahmasebipour (2006). Using GIS in estimation soil erosion and sediment yield of Nojyan watershed Southeastern of Khorram Abad), Modarres Oloom Ensani 2: 103-122.
- 16-Feng, X. Wang, Y. Cheng, L. Fu, B. Bai, G(2010). Modeling soil erosion and response to land- use change in hilly catchments of the Chinese loess plateau, 118.
- Hill J (1993). Land Degradation and Soil Erosion Hazard Mapping in Mediterranean Environment With Operational Earth Observation Satellites. Proceedings of the international symposium of Operationalization of remote sensing,9,19-23.
- 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.31:127 Australia.
- Rastgoo,S., B. Ghahraman, H. Sanaiinejad, K.Davari and S.R. Khodashenas (2006). Estimation of erosion and sediment in Tang Kenshat watershed using MPSIAC & EPM models and GIS, Jour.of Agri. & Natural Resources Science and Techniques1: 91-104.
- Saedi,S.,E. Pazira, H. Roohipoor, M. R. Neishaboori, B. Saghafian & M. E. Sadeghzadeh (2005). Evaluation of process-based soil erosion model, GUEST, or one sample of soils of Khajeh (Tabriz) region, Jour. of Agricultural Scirnces 3:2 01-214.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی