

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ششم، شماره بیستم و سوم، بهار ۱۳۹۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۰۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۱۳

صص ۸۲-۹۵

ارزیابی برآورد رسوب حوضه آبریز شهرچای میانه

با استفاده از مدل‌های EPM و Fournier در محیط GIS

محمد حسین رضایی مقدم، استاد ژئومورفولوژی - دانشگاه تبریز

صغری اندریانی*، دانشجوی دکتری مدیریت محیطی - دانشگاه تبریز

محمد رضا نیکجو، استادیار ژئومورفولوژی - دانشگاه تبریز

ابوالفضل مختاری اصل، کارشناس ارشد مرتع داری - اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری آذربایجان شرقی

چکیده

هر ساله هزاران تن خاک حاصلخیز از اراضی مختلف کشور مشتمل بر اراضی جنگلی، مرتعی و زراعی در اثر فرسایش خاک از دسترس خارج شده و با انباشت در مناطق رسوب‌گذاری موجب بروز خسارات قابل ملاحظه‌ای می‌شوند. برای جلوگیری و مهار این پدیده لازم است مناطق تولید رسوب (تحت فرسایش) همراه با شدت و مقدار آن شناسایی شوند تا از این طریق افزون بر تعیین نقاط بحرانی و رده‌بندی مناسب بتوان اقدام به برنامه‌ریزی مقتضی در قالب طرح‌های حفاظت خاک یا آبخیزداری نمود. هدف از تحقیق حاضر، بررسی نتایج مدل‌های EPM و فورنیه با هدف تعیین مناسب‌ترین مدل برای برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبریز شهرچای میانه و همچنین بررسی کارایی مدل ساده‌ای مانند مدل فورنیه به جای مدل‌های هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد. به منظور ارزیابی مدل‌های مورد استفاده و تعیین مدل مناسب، از داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده‌ی رسوب (آمار ۴۰ ساله ایستگاه کوهسالار) استفاده گردید. بدین منظور ۲۲ زیر حوضه در منطقه‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شد. برای هر یک از زیر حوضه‌ها، لایه‌های مورد نیاز اعم از لایه‌های عناصر اقلیمی مانند دما و بارش، توپوگرافی مانند شیب و ... با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS تهیه گردید. نتایج نشان می‌دهد مدل EPM با خطای نسبی ۹/۹ درصد همخوانی نزدیکی با وزن رسوب مشاهداتی دارد. همچنین مدل فورنیه بسیار کم‌تر از حد، وزن رسوب تولیدی را نشان می‌دهد و تغییر وزن رسوب ویژه در زیر حوضه‌ها تقریباً عدد مشابهی را در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند و این پارامتر مساحت زیر حوضه‌ها است که در تبدیل رسوب ویژه به رسوب کل عامل تغییر در مقدار وزن رسوب در زیرحوضه‌ها می‌گردد.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، مدل EPM، مدل فورنیه، شهرچای میانه، GIS.

* Email: s.andaryani@gmail.com

۱- مقدمه

فرسایش، به ویژه فرسایش خاک تهدیدی جدی برای منابع آب و خاک می‌باشد؛ چرا که خاک ترکیبی از مواد ریزدانه، مواد معدنی و آلی هم‌چنین محیط طبیعی پویایی است که گیاهان در آن رویش می‌یابند. امروزه فرسایش خاک یکی از مسائل و مشکلاتی است که موجب تحمیل خسارت‌های جدی در کشور ایران می‌گردد. هر ساله نزدیک به ۷۵ میلیارد تن خاک حاصلخیز کشاورزی و میلیاردها تن خاک از دیگر اراضی فرسایش می‌یابد (لافن و رز^۱، ۱۹۹۸: ۳۹) در ایران نیز، میزان فرسایش خاک طی دهه‌های اخیر افزایش چشم‌گیری یافته است؛ به طوری که میزان آن در سال ۱۳۳۰ حدود ۵۰۰ میلیون تن، در سال ۱۳۴۰ حدود ۷۵۰ میلیون تن، در سال ۱۳۵۰ حدود یک میلیارد تن، در سال ۱۳۷۲ بین ۲ تا ۲/۲ میلیارد تن و در سال ۱۳۸۲ بیش از ۴ میلیارد تن گزارش شده است (حسینی و قربانی، ۱۳۸۴: ۱۲۶).

تدوین و اجرای مؤثر برنامه‌های کنترل فرسایش، به درک کامل فرایندهای فرسایش، دقت در اندازه‌گیری و برآورد شدت آن، شناخت عمیق مسئله و در نهایت کنترل علمی آن نیاز دارد (طوی^۲ و همکاران، ۲۰۰۲: ۶۵). چنان‌چه در یک حوضه‌ی آبریز آمار و اطلاعات مربوط به دبی و رسوب به اندازه کافی موجود نباشد، کاربرد روش‌های تجربی مناسب، برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوب‌زایی الزامی است. البته مدل‌هایی را که در شرایط خارج از ایران ساخته می‌شوند، بدون آزمون آماری و تطبیق با شرایط آب و هوایی و طبیعی منطقه نمی‌توان با اطمینان مورد استفاده قرار داد (رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۴). مدل‌های تجربی زیادی در طی دو دهه‌ی گذشته برای مطالعه‌ی فرسایش خاک به کار رفته‌اند. اخیراً محققین زیادی در سراسر جهان با بهره‌گیری از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور و با استفاده از این مدلها اقدام به برآورد فرسایش و رسوب به صورت کمی می‌نمایند (هاشمی و عرب خدری، ۱۳۸۶: ۴۵). هر منطقه با توجه به ویژگی‌های مختلف جغرافیایی خود، تحت تأثیر عوامل متنوع فرسایش قرار دارد و شدت این عوامل و خصوصیت‌های منطقه، تعیین کننده‌ی میزان تغییرات در آن منطقه است (مقیم و نگهبان، ۱۳۹۱: ۱۵).

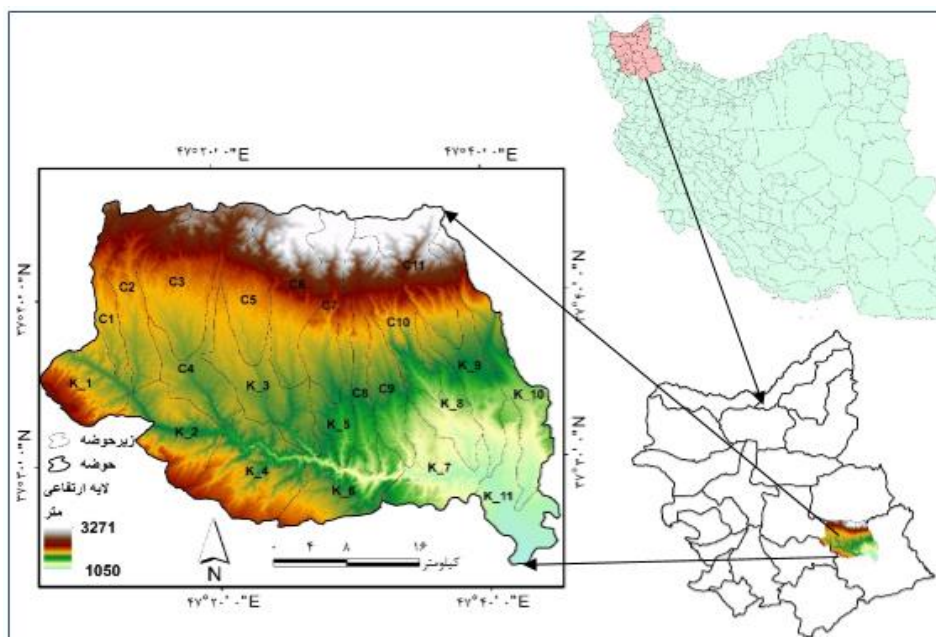
فرسایش خاک، به دلیل داشتن اثرات چند جانبه آشکار و پنهان زیست محیطی و اجتماعی، به "سرطان زمین" شهرت یافته و یکی از فرآیندهای پیچیده و خطرناک محیطی است (اوتق^۳، ۲۰۰۳). این مسئله تهدیدی جدی برای محیط زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها بوده و پس از رشد جمعیت، دومین چالش مهم زیست محیطی در جهان است (پیمنتال^۴ و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۱۱۷). انواع و اشکال مختلف فرسایش، همراه با فرآیندها و حرکات مواد دامنه‌ای از مهم‌ترین عوامل مسئول در تغییر شکل ناهمواری‌ها به شمار می‌روند (رفاهی، ۱۳۷۹). اکثر حوضه‌های کشور فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده و به این منظور دستیابی به مدل‌های ترکیبی مبتنی بر شرایط ویژه حوضه‌های کشور ضروری است (عرب خدری و زرگر، ۱۳۷۴: ۲۳). این روش‌ها از مدل‌های ساده که شامل یک رابطه‌ی آماری تا معادلات ترکیبی که مرتبط با فیزیک اجزا و یا مکانیزم روند فرسایش بوده، متغیر می‌باشند (رومپایی و گاورز^۵، ۲۰۰۲: ۶۶۴). از میان روش‌های مختلف برآورد فرسایش در حوضه‌های بدون آمار، مدل EPM به عنوان یک مدل تجربی پس از تقریباً ۴۰ سال تحقیق و اندازه‌گیری فرسایش و رسوب در کشور یوگسلاوی در سال ۱۹۸۸ توسط گاوریلوویچ ارائه گردیده و برای کاربرد در حوضه‌های سیل‌خیز جنوب و جنوب شرقی یوگسلاوی توسعه یافته و در چندین کشور دیگر با شرایط آب و هوایی مختلف به کار گرفته شده است. EPM مدل ساده‌ای است که قادر می‌باشد برآورد اولیه‌ای از میزان رسوب آبراهه‌ها در طرح‌های مربوط به سدهای در حال احداث و یا سایر سازه‌ها که به این گونه داده‌ها نیازمندند ارائه نماید (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۵). Portner (۱۹۹۸) مدل گاوریلوویس را در پنج حوضه‌ی آلپ در سوئیس با مساحت‌هایی تا ۳۶۲۱۰ کیلومتر مربع به کار برد و ضریب همبستگی ۰/۸۶ بین مقادیر برآورد شده رسوب با مدل EPM و مقادیر اندازه‌گیری شده، به دست آورد.

- 1- Lafen & roose
- 2- Toy
- 3- Ownegh
- 4- Pimental
- 5- Rompaey & Govers

Oduro (۱۹۹۹) با استفاده از شاخص فورنیه و آمار بارندگی ماهانه و سالانه برای مدت ۳۰ سال به تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در غنا پرداخت و کشور غنا را به ۵ ناحیه از نظر خطر فرساینده‌گی باران تقسیم نمود. Tangestani (۲۰۰۶) دو مدل PSIAC و EPM را برای بررسی فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌ی آبریز آفر به کار برد و نشان داد که نتایج مدل PSIAC نسبت به مدل EPM معتبرتر بوده و با توجه به تحقیقات میدانی صورت گرفته، نتایج مدل پسیاک از قطعیت و اطمینان بیشتری برخوردار می‌باشد. Anton و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از روش‌های فورنیه و فورنیه اصلاح شده به برآورد فرساینده‌گی سالانه بارش در کشور افریقا جنوبی پرداختند و توانستند میانگین فرساینده‌گی بارش را تخمین بزنند. Eltaif و همکاران (۲۰۱۰) نیز از شاخص فورنیه برای پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی باران در شمال اردن استفاده کردند و نتیجه‌ی تحقیق نشان‌دهنده‌ی این بود که میزان فرساینده‌گی در شمال غرب اردن بیش‌تر از شمال شرق است. Ufoegbune و همکاران (۲۰۱۱)، در منطقه‌ی اوگان در نیجریه با استفاده از آمار بارندگی ۲۰ ساله به بررسی میزان فرساینده‌گی باران با استفاده از شاخص فورنیه‌ی اصلاح شده پرداختند. مقدار فرساینده‌گی سالانه ۱۹۵۸۳/۸۲ (MJ.mm/ha.h.yr) و ضریب همبستگی بین مقدار فرساینده‌گی سالانه و بارندگی سالانه ۰/۷۷ به دست آمد و با رسم نقشه‌های فرساینده‌گی مشخص گردید بیش‌ترین مقدار آن مربوط به جنوب غرب منطقه است. Sadeghi & Tavangar (۲۰۱۵) با استفاده از آمار ۲۳ ساله‌ی مربوط به ۱۴ ایستگاه در ایران به تهیه‌ی نقشه‌ی فرساینده‌گی باران با روش ویشمایر و اسمیت پرداختند. این شاخص با شاخص‌های مختلف فورنیه، فورنیه‌ی اصلاح شده، Lo و Roose تخمین زده شد و نتایج نشان داد که شاخص Roose و Lo انطباق بیش‌تری در تخمین شاخص ویشمایر و اسمیت با ضریب تبیین ۳۱ تا ۹۸ درصد ($P < 0.32$) و خطای نسبی ۹ و ۹۸/۳ درصد دارد. صادقی (۱۳۷۲) با پژوهشی در زیر حوضه‌ی اوزون دره برای تعیین میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های پسیاک، EPM، داگلاس، فورنیه و کرک بای به این نتیجه رسید که مدل پسیاک بهتر از سایر مدل‌ها بوده و هم‌چنین مدل EPM، نیز از دقت قابل قبولی برخوردار بوده است. احمدی و محمدی (۱۳۸۹)، به بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های PSIAC و EPM پرداختند و بیان نمودند که هر دو مدل تا حدودی دارای نتایجی نزدیک به هم بوده اما مدل PSIAC را با توجه به جامع و کامل بودن آن، برای تخمین رسوب‌دهی توصیه کردند. محسنی و همکاران (۱۳۹۰)، دقت و کارایی چهار مدل EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی را برای برآورد فرسایش و رسوب مورد ارزیابی قرار دادند و مدل ژئومورفولوژی را با اختلاف نسبی ۳/۳۶ درصد به عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی نمودند. موعلی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تصاویر ماهواره IRS-LISS و دیگر ابزار و مواد حاصل از آن‌ها مدل‌های EPM و MPSIAC را مورد مقایسه قرار دادند و با مقایسه‌ی آماری دو مدل مشخص کرد که دقت و کارایی مدل امپسیاک در سطح اطمینان ۹۵ درصد بیش‌تر می‌باشد. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از برخی روش‌های درون یابی اقدام به پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی باران به روش فورنیه در استان قزوین نمودند و نهایتاً سطح استان را به ۴ پهنه‌ی فرسایشی ناچیز، کم، متوسط و زیاد تقسیم کردند. با توجه به نتایج متفاوت به دست آمده از بررسی مدل‌های مختلف، هدف تحقیق حاضر بررسی مدل‌های EPM و فورنیه و اعتبارسنجی مدل‌های مذکور با داده‌های مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری کوهسالار واقع در حوضه‌ی شهرچای میانه می‌باشد هم‌چنین در صورت معتبر بودن مدل فورنیه در منطقه‌ی مورد مطالعه، معرفی این مدل به جای مدل‌های پرهزینه و زمان‌بر در برآورد رسوب می‌باشد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز شهرچای با مساحت حدود ۱۵۱۰ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی و در قسمت شمال غرب شهرستان میانه قرار دارد و یکی از سرشاخه‌های رودخانه قزل اوزن می‌باشد. حوضه‌ی مورد مطالعه دارای مختصات ۱۰" و ۴۵' و ۴۷° تا ۲۰" و ۰۸' و ۴۷° طول شرقی و ۴۰" و ۴۵' و ۳۷° تا ۱۰" و ۲۴' و ۳۷° عرض شمالی است. با توجه به هدف تحقیق حاضر، منطقه‌ی مورد مطالعه به ۲۲ زیرحوضه تقسیم گردید. شکل شماره‌ی (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی، زیرحوضه‌ها و ارتفاع حداکثر و حداقل حوضه‌ی آبریز را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به استان آذربایجان شرقی، زیر حوضه‌ها و ارتفاع حوضه

۳- مواد و روش

در تحقیق حاضر برای نیل به هدف مورد نظر از مواد زیر استفاده گردید:

نقشه‌ی توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه‌های موضوعی، نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ جهت تعیین وضعیت سازند منطقه، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۴ و عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰، جهت تهیه‌ی وضعیت فعلی فرسایش و کاربری و پوشش اراضی، هم‌چنین استفاده از مطالعات خاک‌شناسی گزارش مرحله شناسایی - توجیهی حوضه‌های هیدرومتری شهرچای (۱۳۸۶)، داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی به صورت ماهانه جهت استفاده در مدل‌ها و داده‌ی ایستگاه هیدرومتری کوهسالار جهت بررسی رسوب‌دهی حوضه. جدول شماره‌ی (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. هم‌چنین استفاده از نرم‌افزار Arc GIS برای تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی اعم از نقشه‌های خطوط هم‌دما و هم‌بارش، نقشه‌ی کاربری و پوشش اراضی و تشکیل پایگاه داده، نرم افزار ENVI5 جهت استخراج کاربری و پوشش اراضی در منطقه.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی	
				عرض	طول
۱	بستان‌آباد	باران سنجی	۱۷۰۰	۵۱-۳۷	۴۹-۴۶
۲	خواجه شاهی	تبخیر سنجی	۱۶۰۰	۱۸-۳۷	۵۷-۴۶
۳	هشت رودسراسکند	تبخیر سنجی	۱۷۵۰	۲۹-۳۷	۰۳-۴۷
۴	کوهسالارمیانه	باران سنجی	۱۵۰۰	۳۱-۳۷	۲۳-۴۷
۵	میرکوه حاجی	تبخیر سنجی	۱۸۳۰	۰۲-۳۸	۳۰-۴۷
۶	اونلیق	باران سنجی	۱۳۲۰	۳۲-۳۷	۳۹-۴۷
۷	میانه ثبات	تبخیر سنجی	۱۱۰۰	۲۵-۳۷	۴۲-۴۷
۸	سبزارباط میانه	تبخیر سنجی	۱۰۵۰	۲۵-۳۷	۴۶-۴۷
۹	استور	باران سنجی	۱۰۰۰	۳۱-۳۷	۵۹-۴۷
۱۰	نیر(نیرچای)	تبخیر سنجی	۱۵۶۰	۰۲-۳۸	۵۹-۴۷
۱۱	میانه	کلیماتولوژی	۱۱۰۰	۲۰-۳۷	۴۲-۴۸
۱۲	مهربان	باران سنجی	۱۹۰۰	۰۴-۳۸	۰۷-۴۷
۱۳	سعید آباد	باران سنجی	۱۹۵۰	۵۷-۳۷	۳۵-۴۶
۱۴	کوهسالار	باران سنجی	۱۶۷۰	۳۷-۳۷	۰۹-۴۷
۱۵	چرم خوران	باران سنجی	۱۹۸۰	۴۵-۳۷	۵۹-۴۶
۱۶	باشی زوجن	باران سنجی	۱۸۵۰	۴۲-۳۷	۴۴-۴۶
۱۷	کوهسالار میانه	هیدرومتری	۱۴۸۰	۳۲-۳۷	۲۱-۴۷

مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر بدین شرح می‌باشد: پیشینه‌ی مدل EPM، به سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویس^۶ در کشور چین باز می‌گردد (گاوریلوویس، ۱۹۸۸: ۴۱۱-۴۲۲) با استفاده از این روش می‌توان شدت فرسایش خاک، میزان تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز را به‌خصوص رودخانه‌های فاقد ایستگاه رسوب‌سنجی و یا در سدهایی که فاقد داده‌های کافی و صحیح در ارتباط با میزان رسوب ورودی به مخزن هستند برآورد نمود. بر این اساس محاسبه‌ی میزان فرسایش از طریق رابطه‌ی ۱ به شرح زیر می‌باشد:

$$W_{sp} = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1.5} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که در آن W_{sp} : فرسایش ویژه برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، T : ضریب درجه حرارت هوا، H : ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوضه‌ی آبریز (میلی‌متر)، π : عدد پی، Z : ضریب شدت فرسایش می‌باشد. در رابطه‌ی مذکور مقادیر Z و T از روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه است:

$$Z = Y \cdot X_a (\varphi + I^{0.5}) \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

که در آن Z : ضریب شدت فرسایش، Y : ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، X_a : ضریب استفاده از زمین، φ : ضریب فرسایشی و I : شیب متوسط حوضه‌ی آبریز برحسب درصد است.

جهت به دست آوردن لایه Z ، ابتدا با استفاده از فناوری‌های نوین RS و GIS، لایه‌های واحدهای اراضی، حساسیت زمین‌شناسی به صورت رقومی تهیه گردید. به کمک بازدیدهای میدانی، نرم‌افزار Google Earth و تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ خصوصیات از جمله نوع کاربری و ضریب استفاده از زمین، شدت و اشکال فرسایش برای هر واحد تعیین گردید. شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استر با توان تفکیک ۳۰ متر و متوسط درجه حرارت و بارندگی سالانه با

استفاده از مدل‌های جبری و به ترتیب، گرادیان دما و بارش نسبت به ارتفاع و ایجاد نقشه خطوط هم دما و هم باران برای استفاده در رابطه‌های ۳ و ۱ استخراج گردید. در ادامه‌ی کار بر اساس روش مدل مذکور، نقشه‌ی ضریب فرسایش (Z) بر اساس وزن‌دهی ویژگی لایه‌های تولیدی که در منبع (رفاهی، ۱۳۷۹) به طور مفصل تشریح گردیده، به دست آمد.

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

t : متوسط درجه حرارت سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد

طبق رابطه‌ی ۴ عدد به دست آمده از فرسایش ویژه (W_{sp}) در مساحت حوضه ضرب گردید.

$$V_p = W_{sp} \cdot A \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

V_p : فرسایش کل حوضه بر حسب مترمکعب در سال، A مساحت حوضه بر حسب مترمربع

برای محاسبه‌ی میزان رسوب بر اساس این مدل ابتدا ضریب رسوب‌دهی حوضه بر اساس رابطه‌ی ۵ به دست آمد (ضیایی، ۱۳۸۰: ۲۰۷):

$$R_u = \frac{4(P.D)^{0.5}}{L+10} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

R_u : ضریب رسوب‌دهی حوضه، L : طول حوضه‌ی آبریز (km)، P : طول محیط حوضه‌ی آبریز (km) و D : اختلاف ارتفاع (km) که از رابطه‌ی ۶ قابل محاسبه است:

$$D = D_{av} - D_0 \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

D_{av} : ارتفاع متوسط حوضه‌ی آبریز (km) و D_0 : ارتفاع نقطه خروجی در رودخانه (km) در ادامه رسوب ویژه با استفاده از رابطه‌ی ۷ قابل محاسبه است:

$$G_{sp} = W_{sp} \cdot R_u \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

G_{sp} : رسوب ویژه بر حسب مترمکعب در سال در کیلومتر مربع

در نهایت میزان رسوب کل در یک حوضه آبریز از رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$G_s = G_{sp} \cdot A \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

در رابطه‌ی فوق G_s : رسوب کل بر حسب متر مکعب در سال، A : مساحت حوضه‌ی آبریز بر حسب کیلومتر مربع است.

در نهایت وزن رسوب با در نظر گرفتن وزن مخصوص رسوبات به عبارتی $1/36$ تن در مترمکعب به دست آمد.

مدل Fournier فورینه جهت برآورد رسوب در یک حوضه‌ی آبریز دو روش متفاوت ارائه کرده است که با استفاده از رابطه‌های ۹ و ۱۰ قابل بیان است:

(الف) روش اول (رفاهی، ۱۳۷۹):

$$\log Q_s = 2.65 \log \frac{p_w^2}{Pa} + 0.46 \log H(\tan S) - 1.56 \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

Q_s : رسوب ویژه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، p_w : میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه هر سال در دوره‌ی آماری مورد نظر بر حسب میلی‌متر، Pa : میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر در دوره‌ی آماری مورد نظر، H : ارتفاع متوسط حوضه بر حسب متر، S : شیب متوسط حوضه بر حسب درجه (به جای $\tan(S)$ از درصد شیب متوسط حوضه نیز می‌توان استفاده کرد).

(ب) روش دوم (همان منبع، ۱۳۷۹):

$$\log Q_s = 2.65 \log \frac{p_w}{Pa} + 0.46 \log \frac{H^2}{S} - 1.56 \quad \text{رابطه‌ی ۱۰}$$

p_w : میانگین پرباران‌ترین ماه در دوره آماری بر حسب میلی‌متر، S : سطح حوضه بر حسب کیلومتر مربع. لازم به ذکر است که بقیه پارامترها در هر دو رابطه مشابه می‌باشد.

برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، با توجه به پارامترهای مورد نیاز برای دو روش فورینه موارد زیر انجام گردیده است:

۱- تعیین میانگین بارندگی سالانه زیرحوضه‌ها از طریق تعریف گرادیان میانگین بارش سالانه به ازای ارتفاع، سپس استفاده از معادله خطی به دست آمده برای برآورد بارش ماه‌های دوره‌ی آماری و تعیین پرباران‌ترین ماه در هر یک از زیرحوضه‌ها، ۲- تعیین شیب متوسط هر یک از زیرحوضه‌ها.

در تحقیق حاضر بعد از به دست آوردن میزان رسوب برآوردی برای هر یک از زیرحوضه‌ها، آمار ۴۰ ساله (۱۳۵۱ - ۱۳۹۱) ایستگاه هیدرومتری درجه ۱ کوهسالار برای اعتبارسنجی نتایج مدل‌ها استفاده گردید. یکی از روش‌های متداول محاسبه تولید رسوب معلق رودخانه‌ها استفاده از روش منحنی سنج رسوب - دبی روزانه جریان است. مواد لازم برای رسم منحنی سنج رسوب و به دست آوردن رابطه‌ی برآوردی، دبی جریان و دبی رسوب متناظر با آن می‌باشد. سپس برای مقایسه نتایج مشاهداتی و برآوردی، درصد خطای نسبی (RE) مورد استفاده قرار گرفت. این درصد با استفاده از رابطه‌ی ۱۱ محاسبه گردید:

$$RE = \left| \frac{Q_o - Q_e}{Q_o} \right| * 100 \quad \text{رابطه‌ی ۱۱}$$

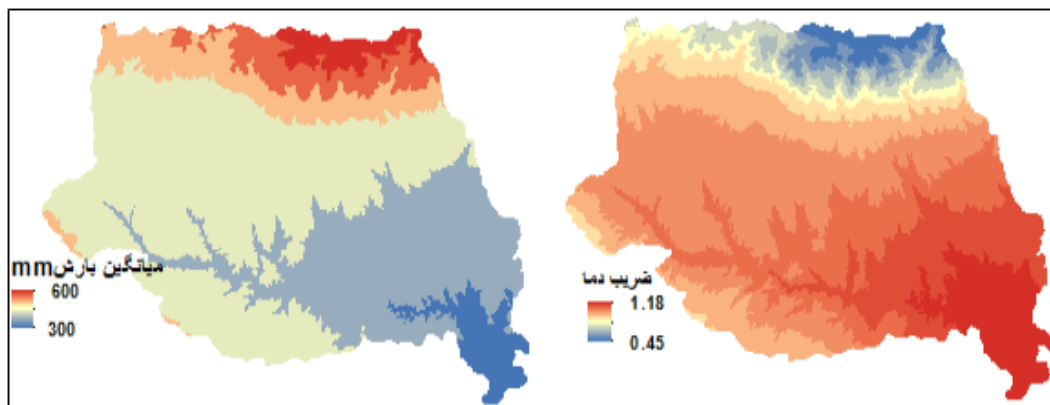
Q_o : مقادیر مشاهده‌ای، Q_e : مقادیر برآوردی.

۴- بحث و نتایج

جدول شماره‌ی (۲) رابطه‌ی خطی بین ارتفاع و داده‌های بارش و دما را نشان می‌دهد. شکل شماره‌ی (۲) نتایج حاصل از برآورد میانگین بارش سالانه و ضریب دما و استخراج شده از لایه‌ی دما در سطح منطقه را نشان می‌دهد.

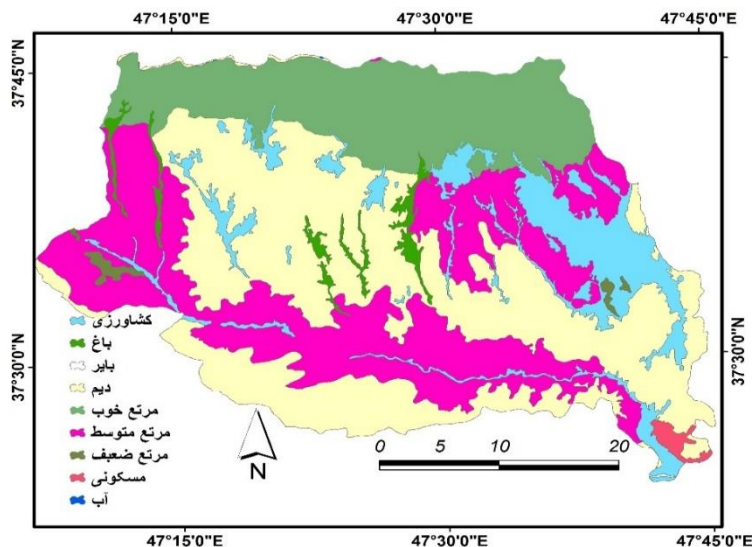
جدول ۲: رابطه‌های محاسبه شده برای برآورد لایه‌های بارش و دما در منطقه‌ی مورد مطالعه

پارامترها	رابطه
رابطه بین ارتفاع و بارش سالانه	$P = 0/1321 H + 141/1$
رابطه بین ارتفاع و دما سالانه	$T = -0/0056H + 19/147$



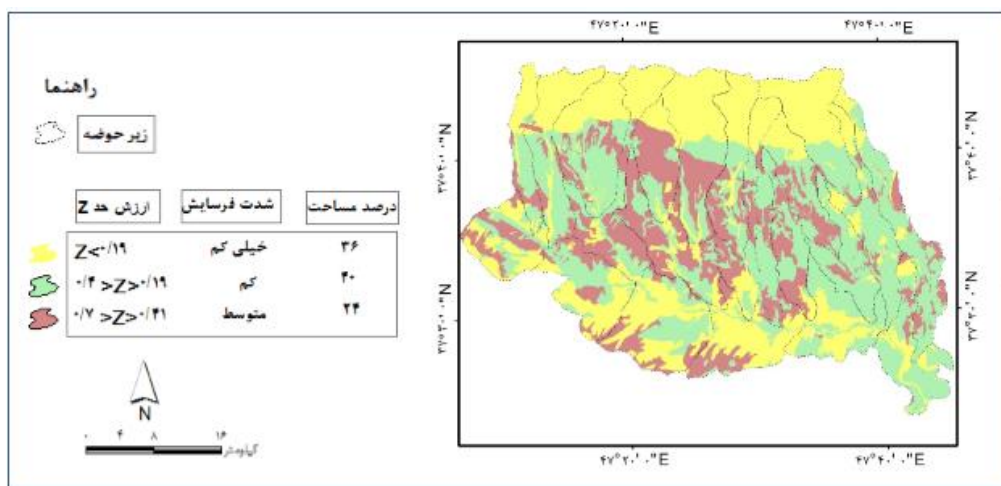
شکل ۲: لایه‌های برآوردی میانگین بارش سالانه و ضریب دما در سطح منطقه

شکل شماره‌ی (۳) لایه‌ی کاربری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان را نشان می‌دهد. شکل، نشان‌دهنده‌ی بیش‌ترین مساحت مربوط به کاربری دیم در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۳: انواع کاربری و پوشش اراضی موجود در منطقه شهرچای

جدول شماره ۳ (۳) داده‌های لازم برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه‌ی مورد مطالعه بعد از وزن‌دهی و محاسبه‌ها برای هر یک از زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل شماره ۴ (۴) شدت و درصد مساحت فرسایش حوضه را نشان می‌دهد. شکل مذکور نشان‌دهنده‌ی شدت فرسایش منطقه‌ی مورد مطالعه در سه کلاس بسیار کم، کم و متوسط می‌باشد که بیش‌ترین درصد مربوط به شدت فرسایش با کلاس کم می‌باشد. هرچند شدت فرسایش متوسط با کلاس متوسط نیز دارای درصد مساحت چشم‌گیری می‌باشد.



شکل ۴: طبقه‌بندی کیفی شدت فرسایش و درصد مساحت شدت فرسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه

همان‌طور که ذکر گردید شدت فرسایش با کلاس متوسط با توجه به شکل شماره ۴ (۴) در حدود ۲۶ درصد می‌باشد. در این کلاس فرسایش، جدا شدن و جابه‌جایی ذرات خاک به میزانی است که اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب در آن ضرورت دارد. اکثر این مناطق بر روی اراضی مرتعی قرار دارد و از عوامل اثرگذار در این مناطق، شیب زیاد و پوشش ضعیف و سازندهای حساس به فرسایش است. در این مناطق عملیات مکانیکی باید با احتیاط و دقت بیش‌تری صورت گیرد. احیای گیاهان مرتعی، عملیات بیولوژیک و جلوگیری از چرای دام اکیداً توصیه می‌گردد.

جدول ۳: داده‌های لازم جهت محاسبه شدت فرسایش خاک زیر حوضه‌ها با مدل‌های EPM و Fournier

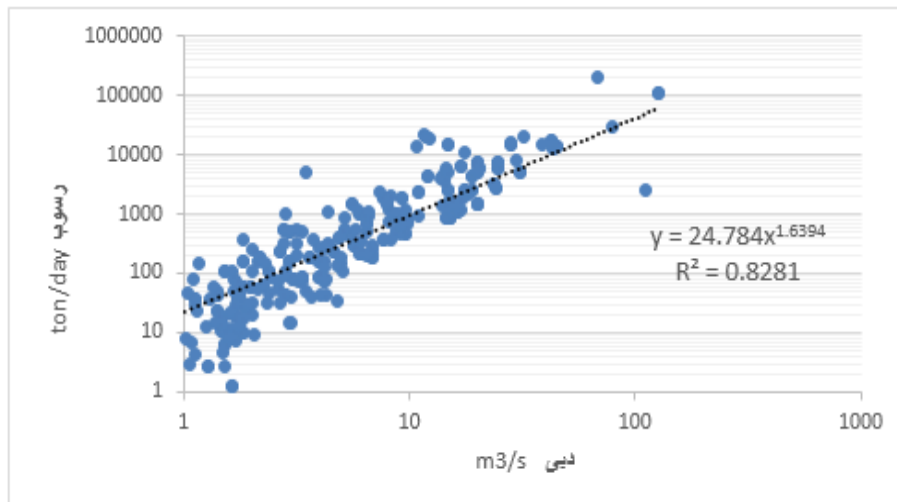
ضرب رسوب دهی	شدت فرسایش	میلگین شیب (°)	ضرب حساسیت سنگ و خاک	ضرب فرسایش	ضرب استفاده از زمین	ضرب درجه حرارت	میلگین بارندگی پرباران‌ترین ماه (mm)	میلگین بارندگی سالانه (mm)	طول آبریز (km)	مساحت (Km ²)	محیط حوضه (km)	ارتفاع متوسط حوضه (m)	زیر حوضه
۰.۴۸	۰.۱۸	۱۷.۲۶	۰.۶۳	۰.۴۴	۰.۳۳	۰.۹۴	۷۴	۴۱۲.۸۵	۲۴.۸۱	۳۹.۸۳	۶۱.۲۷	۱۸۶۳	C1
۰.۶۱	۰.۲۱	۱۷.۳۲	۰.۷۸	۰.۴۰	۰.۳۳	۰.۹۴	۷۲	۴۱۶.۱۵	۲۳.۸۷	۷۴.۱۳	۸۲.۶۵	۱۸۷۷	C2
۰.۵۸	۰.۰۹	۱۶.۵۷	۰.۳۴	۰.۴۲	۰.۳۲	۰.۹۴	۷۴	۴۱۳.۷۳	۱۵.۸۲	۹۵.۴۶	۵۰.۴۴	۱۸۸۲	C3
۰.۶۳	۰.۱۷	۱۹.۱۷	۰.۵۹	۰.۴۳	۰.۳۲	۰.۹۴	۸۲	۴۱۷.۴۹	۱۹.۶۶	۸۲.۴۸	۵۷.۲۶	۱۸۴۸	C4
۰.۳۹	۰.۳۰	۱۷.۱۲	۱.۰۱	۰.۴۸	۰.۳۳	۰.۹۵	۷۴	۴۰۹.۶۴	۳۲.۶۵	۵۴.۰۲	۷۹.۲۸	۱۸۵۸	C5
۱.۰۶	۰.۱۷	۲۵.۸۹	۰.۶۳	۰.۴۴	۰.۲۸	۰.۸۳	۷۳	۴۵۳.۲۹	۸.۲۱	۹۶.۹۵	۳۶.۶۷	۲۱۷۵	C6
۱.۲۵	۰.۲۳	۲۲.۰۵	۰.۸۶	۰.۴۵	۰.۲۹	۰.۸۵	۷۵	۴۴۵.۶۱	۸.۵۶	۶۹.۷۱	۵۳.۱۳	۲۱۰۳	C7
۰.۷۱	۰.۳۲	۲۰.۶۷	۰.۹۴	۰.۵۷	۰.۳۳	۰.۹۴	۶۷	۴۰۸.۸۴	۲۶.۳۷	۵۰.۶۶	۷۰.۱۰	۱۸۶۲	C8
۰.۵۶	۰.۲۳	۱۵.۲	۰.۶۲	۰.۶۲	۰.۳۶	۱.۰۴	۶۷	۳۶۹.۸۵	۱۸.۶۷	۵۰.۰۴	۴۶.۰۰	۱۵۵۹	C9
۰.۶۸	۰.۳۰	۲۵.۱۸	۰.۷۴	۰.۶۷	۰.۳۴	۰.۹۷	۷۲	۴۰۰.۰۶	۲۰.۲۴	۵۸.۲۳	۵۴.۰۰	۱۷۹۷	C10
۰.۹۲	۰.۱۸	۳۱.۲۶	۰.۶۶	۰.۴۳	۰.۲۷	۰.۷۶	۷۵	۴۷۴.۳۹	۱۸.۹۱	۷۸.۵۰	۵۵.۸۰	۲۳۴۵	C11
۰.۴۶	۰.۲۵	۲۰.۵۹	۰.۸۳	۰.۴۰	۰.۳۵	۰.۹۷	۷۲	۴۰۳.۶۳	۱۸.۱۶	۶۲.۵۰	۴۶.۴۷	۱۷۶۷	K_1
۰.۷۴	۰.۲۱	۲۱.۳۱	۰.۷۳	۰.۴۲	۰.۳۳	۰.۹۹	۷۲	۳۹۳.۲۲	۹.۹۸	۷۲.۳۵	۵۹.۸۶	۱۷۰۰	K_2
۰.۹۱	۰.۱۷	۱۴.۷۹	۰.۵۵	۰.۵۱	۰.۳۵	۱.۰۱	۷۲	۳۸۹.۹۴	۷.۶۰	۷۷.۶۵	۵۲.۵۷	۱۶۴۷	K_3
۰.۸۱	۰.۲۱	۲۳.۹۸	۰.۶۳	۰.۴۳	۰.۳۷	۰.۹۹	۷۱	۳۸۹.۲۷	۹.۲۲	۹۹.۵۴	۴۳.۶۳	۱۶۹۷	K_4
۰.۸۱	۰.۲۴	۱۵.۶۰	۰.۷۰	۰.۵۲	۰.۳۷	۱.۰۳	۷۳	۳۷۲.۱۳	۱۱.۰۴	۴۱.۰۶	۶۰.۳۳	۱۵۹۷	K_5
۰.۷۱	۰.۳۳	۲۲.۰۲	۱.۰۴	۰.۳۸	۰.۳۷	۱.۰۴۴	۶۷	۳۷۱.۰۹	۱۶.۵۷	۷۷.۰۰	۶۶.۷۳	۱۵۴۸	K_6
۰.۶۶	۰.۲۹	۱۸.۴۵	۰.۸۵	۰.۵۰	۰.۳۷	۱.۱۱	۶۹	۳۴۲.۲۳	۱۹.۴۵	۶۷.۸۹	۵۱.۷۶	۱۳۰۱	K_7
۰.۷۸	۰.۲۴	۱۴.۸۳	۰.۶۷	۰.۶۳	۰.۳۵	۱.۰۹	۶۲	۳۵۴.۸۵	۱۵.۷۵	۵۰.۰۷	۴۵.۷۸	۱۳۹۱	K_8
۰.۶۱	۰.۲۸	۱۴.۲۱	۰.۹۹	۰.۵۱	۰.۳۲	۱.۰۳	۶۲	۳۷۲.۲۷	۱۳.۸۹	۶۵.۳۱	۳۵.۲۹	۱۵۸۴	K_9
۰.۵۵	۰.۲۰	۱۶.۰۳	۰.۶۷	۰.۵۱	۰.۳۳	۱.۰۳	۶۷	۳۷۰.۲۶	۱۷.۲۰	۸۱.۴۲	۴۲.۵۴	۱۵۵۵	K_10
۰.۴۷	۰.۱۸	۱۰.۸۵	۰.۶۱	۰.۵۳	۰.۳۴	۱.۱۴	۵۷	۳۱۲.۲۸	۱۱.۹۸	۶۶.۰۶	۴۲.۷۵	۱۱۷۱	K_11

جدول شماره‌ی (۴) فرسایش ویژه و کل، هم‌چنین رسوب ویژه و کل در مدل‌های مورد استفاده در هریک از زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴: برآورد فرسایش و رسوب ویژه و کل در زیرحوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش‌های مورد استفاده

وزن رسوب به روش دوم فورنیه (تن در سال)	وزن رسوب به روش اول فورنیه (تن در سال)	وزن رسوب (تن در سال)، مدل EPM	وزن رسوب ویژه (تن در کیلومتر مربع در سال)، مدل EPM	فرسایش کل (متر مکعب در سال)، مدل EPM	فرسایش ویژه (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال)، مدل EPM	زیر حوضه
۱۷۵۲,۳۳	۱۵۴۲,۱۹	۲۹۰۱,۷۸	۶۰,۷۹	۳۶۷۳,۱۵	۹۲,۲۲	C1
۲۶۵۸,۲۷	۲۴۱۹,۲۴	۸۶۱۴,۱۶	۹۶,۹۶	۸۶۲۷,۷۶	۱۱۶,۳۹	C2
۲۸۴۱,۴۶	۳۵۶۴,۹۱	۲۹۱۷,۴۱	۲۵,۵۰	۳۰۶۷,۸۱	۳۲,۱۴	C3
۱۹۴۰,۱۸	۵۸۰۹,۰۹	۷۲۴۲,۱۰	۷۳,۲۶	۷۰۶۹,۴۲	۸۵,۷۱	C4
۲۰۳۶,۲۴	۲۱۷۰,۳۸	۶۸۵۷,۳۵	۱۰۵,۹۱	۱۰۷۰۶,۷۳	۱۹۸,۲۰	C5
۳۴۵۱,۰۹	۳۶۱۱,۰۰	۱۳۹۰۶,۶۵	۱۱۹,۶۸	۸۰۷۰,۵۷	۸۳,۲۴	C6
۲۵۹۷,۵۴	۲۷۳۰,۵۸	۱۸۴۴۶,۰۵	۲۲۰,۷۸	۹۰۴۷,۶۶	۱۲۹,۷۹	C7
۲۶۲۰,۷۰	۱۳۰۷,۳۹	۱۳۰۳۸,۷۴	۲۱۴,۷۴	۱۱۲۲۷,۳۵	۲۲۱,۶۲	C8
۲۲۱۰,۷۲	۱۳۷۶,۲۲	۶۰۶۲,۸۱	۱۰۱,۰۹	۶۶۳۰,۵۷	۱۳۲,۵۱	C9
۲۲۴۱,۴۹	۲۷۵۷,۱۴	۱۲۷۰۳,۴۵	۱۸۲,۰۲	۱۱۴۹۷,۹۴	۱۹۷,۴۶	C10
۳۰۶۰,۲۸	۳۶۵۸,۱۴	۱۰۱۱۹,۸۱	۱۰۷,۵۶	۶۷۲۴,۱۷	۸۵,۶۶	C11
۲۲۶۶,۷۸	۲۵۱۷,۹۳	۶۵۶۹,۸۱	۸۷,۷۰	۸۷۴۸,۲۲	۱۳۹,۹۷	K_1
۲۴۱۹,۶۲	۳۰۷۴,۵۳	۸۴۰۵,۲۵	۹۶,۹۳	۶۹۴۹,۹۰	۹۶,۰۶	K_2
۲۴۶۰,۹۵	۲۶۳۴,۴۱	۱۰۱۵۱,۹۳	۱۰۹,۰۸	۶۸۵۲,۳۶	۸۸,۲۵	K_3
۲۹۵۱,۴۰	۴۴۸۵,۷۵	۱۵۸۸۷,۲۹	۱۳۳,۱۷	۱۲۰۲۱,۶۳	۱۲۰,۷۷	K_4
۱۶۰۱,۵۸	۱۸۱۸,۸۹	۷۶۰۸,۵۴	۱۵۴,۶۱	۵۷۷۰,۴۱	۱۴۰,۵۴	K_5
۲۸۰۱,۱۳	۲۵۹۹,۷۱	۲۰۵۶۴,۹۵	۲۲۲,۸۴	۱۷۷۲۶,۱۶	۲۳۰,۲۱	K_6
۲۰۰۲,۴۸	۳۰۶۲,۵۰	۸۳۷۶,۳۷	۱۰۲,۹۴	۱۲۵۱۳,۶۹	۱۸۴,۳۲	K_7
۲۴۸۳,۳۵	۹۷۱,۶۵	۶۰۱۵,۵۷	۱۰۰,۲۴	۶۹۹۸,۷۷	۱۳۹,۷۸	K_8
۳۱۷۵,۹۵	۱۱۴۱,۱۷	۱۲۷۸۵,۲۵	۱۶۳,۳۴	۱۱۷۶۰,۴۴	۱۸۰,۰۷	K_9
۲۸۰۴,۴۱	۲۴۰۷,۴۰	۹۲۲۵,۷۷	۹۴,۵۴	۸۸۹۲,۹۳	۱۰۹,۲۲	K_10
۳۰۱۲,۳۹	۱۰۴۴,۱۶	۳۷۸۳,۳۷	۴۷,۷۸	۵۵۹۶,۵۱	۸۴,۷۲	K_11

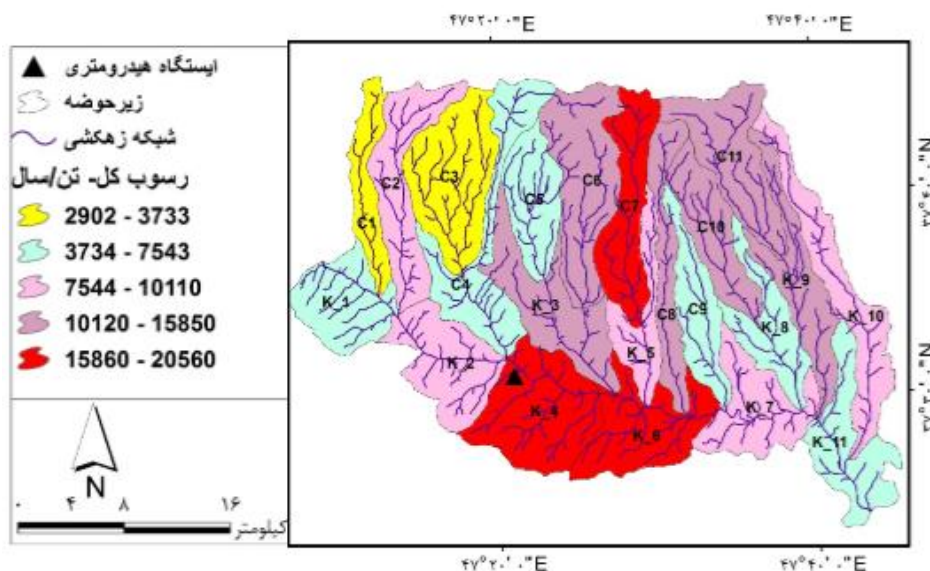
با توجه به جدول شماره ۴ بیشترین حد میزان رسوب مربوط به مدل EPM و کمترین حد آن مربوط به هر دو روش مدل فورنیه می‌باشد. در این مدلها مقدار حداکثر و حداقل وزن رسوب برآوردی در مدل‌های EPM و فورنیه در هیچ کدام از زیرحوضه‌ها همخوانی وجود ندارد. برای بررسی همخوان بودن مدل‌های مورد استفاده با مقدار مشاهده‌ای با داشتن دبی مشاهده‌ای و دبی رسوب مشاهده‌ای، منحنی سنج رسوب رسم گردید. در نهایت، نمودار دبی آب- دبی رسوب به همراه معادله مربوطه و ضریب همبستگی آن برای حوضه آبریز مورد مطالعه به دست آمد، که نتیجه آن در شکل شماره ۵ آمده است.



شکل ۵: منحنی سنج رسوب در ایستگاه هیدرومتری کوهسالار

متوسط رسوبدهی بار معلق مشاهده شده (طی ۴۰ سال آماری) در ورودی زیرحوضه k_4 (ایستگاه هیدرومتری کوهسالار) برابر ۲۶۶۳۸/۳۱ تن در سال می‌باشد که با احتساب ۲۵ درصد بار رسوب کف (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۰) مقدار رسوبدهی کل جمعاً برابر ۳۳۳۳۵/۳۸ تن در سال است.

شکل شماره ۶ نشان دهنده وزن فرسایش بیشتر به ترتیب در زیرحوضه‌های K_6, K_4, و C6 می‌باشد و این نشان دهنده انتخاب مکان مناسب برای ایجاد ایستگاه هیدرومتری می‌باشد هرچند در زیر حوضه K_4 ایستگاه هیدرومتری کوهسالار وجود دارد ولی به نظر می‌آید اگر ایستگاه مذکور از نظر مکانی در خروجی این زیرحوضه ایجاد می‌گردید مناسب تر بود.



شکل ۶: وزن فرسایش کل در زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل EPM، موقعیت ایستگاه هیدرومتری و شبکه زهکشی منطقه‌ی مورد مطالعه

با توجه به شکل شماره‌ی (۶) ایستگاه هیدرومتری کوهسالار در ورودی زیرحوضه k_4 قرار دارد و زیرحوضه‌های k_1, k_2, C1, C2, C3, و C4 به سوی این ایستگاه زهکش می‌شوند. لذا در محاسبه‌ی بار رسوبی برای مقایسه میزان

رسوب مشاهداتی و برآوردی، جمع وزن رسوبات زیرحوضه‌های مذکور در نظر گرفته شد. جدول شماره‌ی (۵) مقایسه‌ی وزن رسوب مشاهداتی و برآوردی و درصد خطای نسبی در هر یک از مدل‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقایسه وزن رسوب مشاهداتی و برآوردی با استفاده از مدل‌های مورد استفاده

رسوب	وزن رسوب برآوردی (تن در سال) با مدل EPM	وزن رسوب برآوردی (تن در سال) با روش اول Fournier	وزن رسوب برآوردی (تن در سال) با روش دوم Fournier
مقدار	۳۶۶۵۰/۵۱	۱۸۹۲۷/۸۹	۱۳۸۷۸/۶۴
خطای نسبی (%)	۹/۹۴	۴۳	۵۸

با توجه به جدول شماره‌ی (۵) مدل EPM با احتساب وزن مخصوص ۱۳۶۰ کیلوگرم در مترمکعب با وزن رسوب مشاهداتی دارای خطای نسبی ۹/۹۴ درصد می‌باشد. به دلیل استفاده کم‌تر مدل EPM از پارامترهای مؤثر در فرسایش و کم هزینه بودن نسبت به دیگر روش‌ها مانند امپسیاک استفاده از روش EPM توصیه می‌گردد. با توجه به نتیجه‌ی به دست آمده از مقایسه‌ی مقدار مشاهداتی و برآوردی، میزان خطای مطلق (۳۳۱۵ تن در سال) با توجه به مساحت زیرحوضه‌های زهکشی شده (۴۲۶ کیلومترمربع) به زیرحوضه‌ی ایستگاه هیدرومتری، به کل حوضه تعمیم یافت و با کسر میزان ۱۱۷۲۹ تن در سال، از برآورد وزن رسوب در کل حوضه با روش EPM میزان وزن رسوب کل حوضه حدوداً ۲۰۰۴۵۴ تن در سال برآورد گردید. در مورد روش فورنیه نیز می‌توان گفت هیچ‌گونه همخوانی با مقدار مشاهداتی ندارد و نمی‌تواند به عنوان مدلی برای برآورد رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه مطرح شود. مخصوصاً روش دوم آن که به هیچ عنوان قابل ارائه به عنوان مدلی برای برآورد رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه نمی‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مدل‌های فرسایش با هدف تعیین بهترین مدل برای برآورد رسوب در حوضه‌ی آبریز شهرچای میانه به کار گرفته شد. به دلیل ساده و کم هزینه بودن مدل فورنیه، این مدل مورد بررسی قرار گرفت تا در صورت کارایی آن در برآورد وزن رسوب، مورد استفاده قرار گیرد ولی به دلیل بسیار ساده بودن و عدم استفاده از پارامترهای مؤثر در فرسایش، مدل مذکور نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل‌های پرهزینه و زمان بر مانند امپسیاک یا EPM باشد. در بررسی مدل EPM و اعتبارسنجی آن با داده‌های مشاهداتی همخوانی نسبتاً خوبی با اختلاف نسبی ۹/۹ درصد مشاهده گردید. هم‌چنین با اعمال مقدار اختلاف مطلق در مدل EPM با داده‌های مشاهداتی میزان رسوب در کل حوضه به ۲۰۰۴۵۴ تن در سال می‌رسد که این میزان رسوب به دلیل مساحت شدت فرسایش کلاس متوسط در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که در این کلاس فرسایش، جدا شدن و جابه‌جایی ذرات خاک به میزانی است که اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب در آن ضرورت دارد. اکثر این مناطق بر روی اراضی مرتعی قرار دارد و از عوامل اثرگذار در این مناطق شیب زیاد و پوشش ضعیف و سازندهای حساس به فرسایش است. در این مناطق، عملیات مکانیکی باید با احتیاط و دقت بیشتری صورت گیرد. احیای گیاهان مرتعی، عملیات بیولوژیک و جلوگیری از چرای دام اکیداً توصیه می‌گردد. با بررسی منابع می‌توان گفت نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات صورت گرفته توسط Beyer Portner (۱۹۹۸)، صادقی (۱۳۷۲) و احمدی و محمدی (۱۳۸۹)، همخوانی بیشتری دارد و مدل EPM را در برآورد میزان رسوب حوضه‌ی آبریز شهرچای توصیه می‌کند.

۶- منابع

۱. احمدی، حسن، جوادی، محمدرضا، صلواتی، عقیق، (۱۳۹۳). پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی به روش فورنیبه با استفاده از برخی روش‌های درون‌یابی (مطالعه‌ی موردی: استان قزوین)، نشریه‌ی علمی و پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۲، صص ۱۴-۱.
۲. احمدی، حسن، محمدی، علی اصغر (۱۳۸۹). بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های PSIAC و EPM با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز ده نمک)، فصلنامه‌ی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره‌ی ۱۷، صص ۳۵۲-۳۴۰.
۳. حسینی، سید صفدر، قربانی، محمد (۱۳۸۴). اقتصاد فرسایش خاک، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۹). فرسایش آبی و کنترل آن، تهران، انتشارات سمت.
۵. رنگزن، کاظم، زراسوندی، علیرضا، حیدری، ارسلان (۱۳۸۷). مقایسه‌ی دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی پگاه سرخ گتوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۴، صص ۱۲۳-۱۳۶.
۶. صادقی، حمیدرضا (۱۳۷۲). مقایسه چند برآورد فرسایش و رسوب در حوضه‌ی آبخیز اوزون دره، مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاست‌ها و روش‌های بهره‌برداری بهینه از اراضی، تهران.
۷. ضیایی، حجت‌ا... (۱۳۸۰). اصول مهندسی آبخیزداری، چاپ اول، مشهد: آستان قدس. بعد از مکان نشر دونقطه می‌آید
۸. عرب خدری، محمود، زرگر، احمد (۱۳۷۴). برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیونی، پژوهش و سازندگی، شماره‌ی ۲۹، صص ۲۹-۲۲.
۹. محسنی، بهروز، قدوسی، جمال، احمدی، حسن، طهماسبی، رمضان (۱۳۹۰). ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۲۲، صص ۱۲۷-۱۲۲.
۱۰. مطالعه و گزارش شناسایی توجیهی حوضه آبخیز شهرچای (۱۳۸۶). اداره کل منابع طبیعی، استان آذربایجان شرقی.
۱۱. مقیمی، ابراهیم، نگهبان، سعید (۱۳۹۱). بررسی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی شورفدामी (استان فارس) با استفاده از مدل آنتروپی، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره‌ی ۸۱، صص ۱۶-۱.
۱۲. موغلی، مرضیه، خلیلی زاده، مجتبی، آبی، یوسف (۱۳۹۱). بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و پهنه‌بندی فرسایش حوضه‌ی آبخیز وربند (لارستان)، فصلنامه‌ی جغرافیایی طبیعی، شماره‌ی ۱۵، صص ۲۰-۹.
۱۳. هاشمی، سیدعلی اصغر، محمود عرب خدری (۱۳۸۶). ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب سنجی مخازن سدهای کوچک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره‌ی ۴۲، صص ۳۴۵-۳۵۵.
14. Anton, V., G.M. Sterk, & S. de Jong, (2010). Satellite- based estimation of rainfall erosivity for Africa. *Journal of Hydrology*. pp 235-241.
15. Beyer Portner, N. (1998). Erosion des bassins versant alpins scusses par ruissellement de surface. Ph.D Thesis, Laboratoire de Constructions Hydrauliques-LCH, No. 1815, lausanne, Switzerland.
16. Eltaif, N., M.A. Gharaibeh, F. AL-zaitawi, & M. N. Alhamad (2010). Approximation of rainfall erosivity factors in North Jordan. Department of natural resources and environment, faculty of agriculture, Jordan University of Science and Technology. *Journal ELSEVIER*, pp 711-717.
17. Gavrilovic, z. (1988). The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in staded or torrential streams, International Conference on Rriver Regime – Joh, Wiley and sons, Paper 12, pp 411-422.
18. Lafen, J.M & Roose, E.J. (1997). Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. In Lal, R., Blum, W. H., Valentine, c., Stewart, B. A (Eds), *Methods for assessment of degradation*, Londaon New York Washington, D.C., CRC press, Bo Ca Raton. 576 p.
19. Oduro K. (1999). Rainfall erosivity map for Ghana. Department of physical University of Ghana. *ELSEVIER Journal*, pp 161-166.

20. Ownegh, M. (2003). Land Use planning and integrated management of natural hazard in Golestan, In: seminar on flood hazard prevention and mitigation, 15-16 janurary, Gorgan, Abstract, P9.
21. Pimental, D., C., Harvary, P., Resosudarmo, K., Sinclair, D., kurz, M., MCN air, S., crist, L., Shipritz, L., Fitton, R., saffouri, Blair, R. (1995). Environmental end economic costs if soil erosion and conservation benefit, Science, Volume 267, pp 1117-1123.
22. Rompaey, A., Govers, G. (2002). Data quality and model complexity for regional scale soil erosion prediction, Geographical Information Science, Volume 16(7), pp 663-680.
23. Sadeghi, S.H.R., Tavangar, S. (2015). Development of stational models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. Journal of Natural Hazards, Volume 77, pp 429-443.
24. 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, Volume 27, pp 585-597.
25. Toy, T. J., Foster, G. R., Renard, K. G. (2002). Soil erosion processes, prediction, measurement and control, John weily and sons ,Inc, new York.
26. Ufoegbune, G.C., Bello, N.J., Ojekunle, Z.O., Orunkoye, A.R., Eruola, A.O., Amori, A.A. (2011). Rainfall Erosivity Pattern of Ogun River Basin Area (Nigeria) using Modified Fournier Index. European Water Journal, Volume 35: pp 23-29.