جغرافیا و توسعه شماره ۲۸ پاییز ۱۳۹۱
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۹/۲۵
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۴/۲۸
صفحات : ۱۶۸-۱۵۳

تحلیل کمّی و کیفی فرسایش در حوضه‌های آبریز جنوبی مشرف به شهر مشهد و پیامدهای زیست‌محیطی آن

دکتر محمدجعفر زمردیان[۱]، رامین رحیمی[۲]

چکیده

بدیهی است که فرسایش دارای پیامدهای متعددی چون ازبین رفتن خاک، آلوده شدن آب‌ها ،کاهش ظرفیت مخازن آب و پرشدن سدها،تهدید سلامت و تندرستی عمومی و... می‌باشد. لذا توجه به فرسایش و پیامدهای آن گام مهمی در جهت نیل به توسعه‌ی پایدار است. منطقه‌ی مورد مطالعه شامل حوضه‌های آبریز جنوب مشهد (طرق، مایان، دهبار و جاغرق) بوده و طبیعتاً نتایج حاصل از فرسایش این حوضه‌ها متوجه کلانشهر مشهد نیز می‌گردد. این حوضه‌ها حدود ۴۲۹ کیلومترمربع وسعت دارند و از لحاظ ژئومورفولوژی بخشی از دامنه‌ی شمالی ارتفاعات بینالود می‌باشند. از نظر لیتولوژی نیز شیست‌های متامورفیک و فیلیت مشهد حدود ۹۰ درصد این حوضه‌ها را پوشش داده‌اند. چند گسل نیز منطقه‌ی مورد مطالعه را تقطیع نموده‌اند که معروف‌ترین آن گسل سنگ بست- شاندیز است. این تحقیق بر پایه‌ی روش تجربی. تحلیل‌های کمّی و کیفی و بررسی‌های میدانی انجام گرفته و با توجه به ویژگی‌های طبیعی منطقه (۹عامل زمین-شناسی، خاک،آب و هوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش گیاهی،کاربری اراضی، فرسایش سطحی خاک، فرسایش رودخانه‌ای)، با استفاده از مدل ام پسیاک مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل با داده‌های ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مقایسه گردید. نتایج این بررسی حاکی از آن است که اولاً حوضه‌ی آبریز جاغرق نسبت به سایر حوضه‌های مورد مطالعه بیشترین فرسایش و رسوب را دارد. ثانیاً مدل ام پسیاک در این منطقه به خوبی پاسخ می‌دهد. زیرا به عنوان نمونه مقدار رسوب برآورد شده در حوضه‌ی جاغرق با مدل ام پسیاک ۵۳۱ تن در کیلومترمربع در سال بوده، در حالی‌که در ایستگاه رسوب‌سنجی حوضه مربوطه ۵۴۷ تن در هکتار در سال می‌باشد. ثالثاً مقدار فرسایش و رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه رو به افزایش بوده و این امر حاصل تغییرات کاربری اراضی و دخل و تصرف‌های انسانی می‌باشد. همچنین این افزایش فرسایش و رسوب نیز پیامدهای زیست محیطی را در منطقه به دنبال داشته است.

کلیدواژه‌ها: حوضه آبریز، فرسایش، رسوب، MPSIAC، ایستگاه رسوب‌سنجی، زیست‌محیطی.

۱- دانشیار جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسؤول) zomorrodian@u.s.m.ir
۲- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی Raminrahimi96@yahoo.com

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 و 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.

رسوب‌های ناشی از فرسایش، عمر مفید مخازن آب را به مخاطره می‌اندازند. از مهمترین ابنیه آبی که به منظور حفظ و بهره‌برداری از منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند سدها هستند. مطالعه‌ی مسایل مختلف مربوط به پروژه‌های سدسازی، ازجمله ارزیابی فرسایش حائز اهمیت فراوان است و نتایج حاصل از این مطالعات، احتمال موفقیت پروژه را افزایش می‌دهد.

فرسایش خاک به طور طبیعی وجود دارد اما دخالت انسان آن را تشدید می‌نماید و این درحالی است که تشکیل مجدد خاک به قرن‌ها زمان نیاز دارد. با توجه به اینکه فرسایش طیّ دهه‌های اخیر در سطح کشور روند صعودی داشته است و همچنین با ملاحظه‌ی اهمیت منابع طبیعی، ضروریست فرآیندهای تخریب و فرسایش توسط روش‌های دقیق‌تری مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرند. تدوین و اجرای مؤثر برنامه‌های کنترل فرسایش، به درک کامل فرآیندهای فرسایش، دقت در اندازه گیری و برآورد شدت آن، شناخت عمیق مسأله و در نهایت کنترل علمی آن نیاز دارد. *(Foster,2002:65)* تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر فرسایش از این لحاظ که نمایشگر مناطق بحرانی از لحاظ فرسایش خاک می باشد، می‌تواند دارای اهمیت زیادی باشد.لذا این نقشه‌ها ازنظر ارزیابی مقدار تخریب و فرسایش بسیار کارآ و سودمند می‌باشد. هیچ مدل ساده‌ای وجود ندارد که بتواند تمامی عوامل مؤثر بر فرسایش را موردبررسی قراردهد *(محمودآبادی،۱۳۸۴: ۲۷)* بدین منظور انتخاب یک مدل کمی که بتواند برآورد رسوب و فرسایش را در حوضه آبریز با دقت قابل قبول انجام دهد، مهم می‌باشد.

در این تحقیق، بر اساس مدل پسیاک اصلاح شده نقش نه عامل (زمین‌شناسی، خاک، اقلیم، رواناب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین،کاربری، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای) مؤثر در فرسایش (از طریق وارد نمودن لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS، رقومی‌سازی و کلاسه‌بندی هر یک از لایه‌ها) مورد بررسی قرار گرفت و عوامل غالب و مؤثرتر در فرسایش مشخص و سپس میزان تأثیر هر عامل در فرسایش و رسوب‌زایی حوضه تعیین گردید.

پیشینه تحقیق

برای اولین بار در سال ۱۹۱۵ پژوهش های اساسی در فرسایش خاک آغاز شد وونلی[1] اولین تحقیق رادر این زمینه انجام داد. در سال ۱۹۱۷ نیز میلر[2] مطالعات و آزمایش‌هایی را در پلات‌های آزمایشی تحقق بخشید. در سال ۱۹۴۷ Musgrave اثر بارندگی را درفرسایش خاک مورد بررسی قرار داد و فرمولی را برای محاسبه‌ی میزان فرسایش بر اساس بارندگی ارائه نمود*(احمدی، ۱۳۸۵: ۵۰۲)*

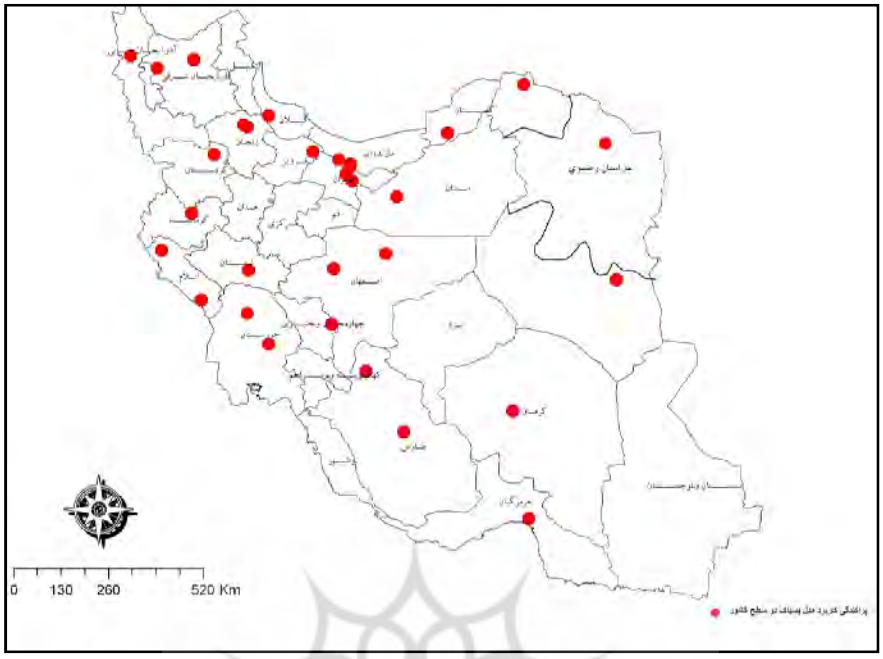
در همین ارتباط برای برآورد فرسایش، مدل‌های مختلفی ارائه شد که می‌توان به معادله‌ی جهانی فرسایش، مدل استلیک- فورنیه- داگلاس- کرک بای- اسکالوگرام مورگان- فائو- ای پی‌ام- پسیاک و پسیاک اصلاح شده اشاره کرد.

سال ۱۹۶۸ مدل پسیاک به وسیله‌ی کمیته‌ی میان واسطه‌ای جنوب غرب پاسفیک[3] ارائه گردید.این مدل اولین بار در حوضه‌ی والنات گالچ[4]در جنوب شرق ایالت آریزونا موردآزمایش قرارگرفت *(psiac,1968:43)*

1-Wollny
2-Miller
3-Committee pacific south west interagency
4-Walnut Gulch

در این روش ۹ عامل جهت برآورد فرسایش معرفی شده است. بعدها مدل مذکور توسط جانسون و گبهارت در سال ۱۹۸۲ مورد بازنگری قرار گرفت و به پسیاک اصلاح شده معروف شد *(Jhanson,1982:71)*. مدل پسیاک اصلاح شده با توجه به نتایج مفید و سودمندی و انطباق نسبی آنها با واقعیت محیط طبیعی ایران به عنوان یکی از کارآمدترین مدل ها در کشور مطرح است. در ایران این مدل اولین بار توسط مهندسین مشاور توسعه‌ی منابع برای برآورد رسوب تولیدی در حوضه‌های آبخیز به کار برده شد و سپس با توجه به کارایی و سهولت محاسبه و دقت لازم در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور مورد استفاده قرار گرفت. از جمله طهماسبی‌پور در سال ۱۳۷۳ با بررسی این مدل و نیز مقایسه مقدار رسوب محاسبه شده در روش جدید پسیاک با متوسط رسوبگذاری در سد لتیان، به این نتیجه رسید که این روش در حدود ۸۵ درصد دقت دارد. علاوه بر این در ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوضه‌ی آبخیز لوارک مشخص گردید که تصاویر ماهواره‌ای کاسموس رنگی و عکس‌های هوایی سیاه و سفید (پانکروماتیک) با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای تعیین وضعیت و محدوده‌ی گسترش فرسایش‌های خندقی، توده‌ای و کناره‌ای بسیار مناسب هستند. در حالی‌که تصاویر ماهواره‌ای سیستم MSS با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برای ارزیابی فرسایش خاک کارآیی لازم را ندارد و تصاویر ماهواره‌ای TM فقط در ارزیابی فرسایش‌های خندقی و توده‌ای آن هم در محدوده‌ی وسیع کاربرد دارند *(طهماسبی، ۱۳۷۴: ۵۲)*. نیکجو نیز در سال۱۳۷۳ دریافت که مدل PSIAC جهت برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز دریانچای با درصد اطمینان بالایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و به‌کارگیری آن در حوض‌های مشابه و فاقد آمار رسوب می‌تواند توصیه گردد *(نیکجو،۱۳۷۳: ۱۷)*. نتایج تحقیق حسنلو در سال ۱۳۸۲ نشان می‌دهد که با استفاده از مدل MPSIAC و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان میزان فرسایش و رسوب را برآورد نموده و فرمول MPSIAC را برای مناطق مختلف واکاوی کرد، بطوری‌که فرمول به دست آمده همبستگی خوبی با نتایج مشاهداتی دارد. وی همچنین با استفاده از برنامه SPSS مشخص نمود که نقش عوامل شیب و زمین‌شناسی در تولید رسوب خیلی بیشتر از سایر عوامل بوده و در سطح اطمینان ۹۵ درصد نقش این عوامل در تولید رسوب معنی‌دار می‌باشد. همچنین نقاط مختلف حوضه از نظر میزان فرسایش و تولید رسوب از هم تفکیک، و پهنه‌بندی فرسایش برای حوضه‌ی مورد مطالعه انجام گردید. یمانی نیز در سال ۱۳۸۲ با بررسی این مدل در حوضه‌های آبریز منتهی به تنگه‌ی هرمز دریافت که نحوه‌ی استفاده از زمین و فقر عمومی پوشش گیاهی مؤثرترین عامل در فرسایش‌پذیری حوضه‌های آبریز مورد مطالعه است. صادقی در مطالعه‌ی فرسایش و رسوب در حوضه‌ی آبخیز اوزن‌دره در یکی ازحوضه‌های مهم حوضه‌ی رودخانه‌ی قزل‌اوزون از روش‌های داگلاسی و فورینه و کرک‌بای و EPM و PSIAC استفاده نموده و به این نتیجه رسیده است که بین روش‌های مذکور روش PSIAC مناسب‌ترین روش برای تخمین میزان‌فرسایش و رسوب در حوضه‌ی سفیدرود می‌باشد *(صادقی، ۱۳۷۲: ۳۲)*.

نگارندگان با بررسی اسناد کتابخانه‌ای پراکندگی مطالعات عمده علمی- پژوهشی مربوط به مدل پسیاک و پسیاک اصلاح شده را در نقشه‌ی شماره‌ی ۱ به نمایش گذاشته‌اند.

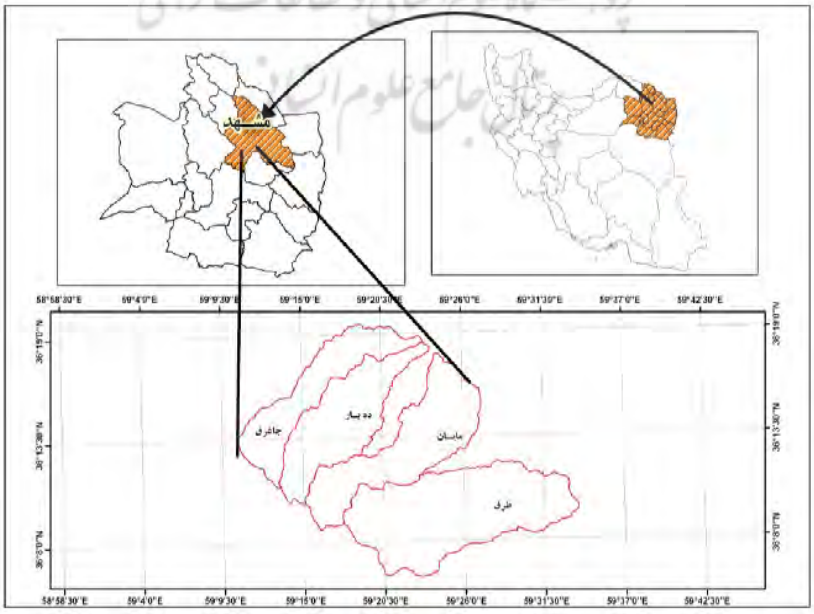


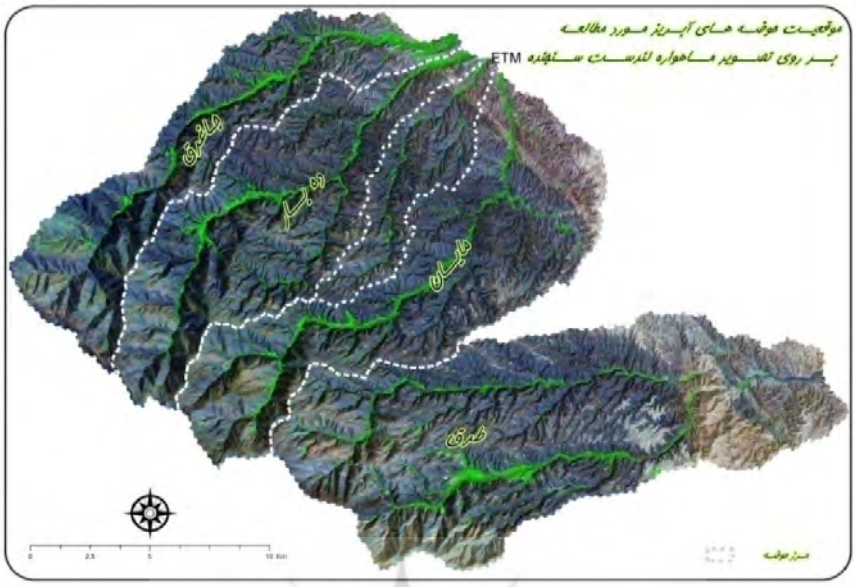
شکل ۱: نمایش تحقیقات انجام شده بر اساس مدل پسیاک و پسیاک اصلاح شده در ایران

مأخذ : مطالعات کتابخانه‌ای نگارندگان

موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۶ درجه ۲۱ دقیقه شمالی و طول‌های ۵۹ درجه ۱۰ دقیقه تا ۵۹ درجه ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده است. این محدوده شامل ۴ حوضه آبریز به نام‌های طرق، مایان، ده‌بار و جاغرق می‌باشد که در شمال شرقی ایران و در استان خراسان رضوی واقع شده است. تمام حوضه‌های مذکور به کشف‌رود منتهی شده و از لحاظ توپوگرافی بخشی از ارتفاعات بینالود و دشت مشهد چناران را در بر می‌گیرند





شکل ۲: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ : نگارندگان

مواد و روش‌ها

در این پژوهش روش کار بر پایه‌ی روش تجربی، تحلیل‌های کمّی و کیفی و بررسی‌های میدانی استوار است. بر این اساس ابتدا اسناد و مدارک سنجش از دور از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، نقشه‌ی قابلیت تیپ‌های خاک و پوشش گیاهی و نیز عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه و حوضه‌ها بر روی آنها تحدید و تفکیک گردید. در این میان نکته‌ی حائز اهمیت استفاده از تکنیک GIS&RS در تمام مراحل تحقیق است. همچنین آمارهای هواشناسی و اطلاعات هیدرومتری محدوده‌ی مورد مطالعه جمع‌آوری و عوامل پسیاک در هر یک از واحدها و حوضه‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است. سپس با بررسی‌های میدانی اشکال غالب فرسایش به تفکیک واحدها تعیین گردیده و در نهایت نقش هر یک از عوامل و متغیّرها در فرسایش‌پذیری واحدها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تحلیل کمّی فرسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه از مدل تجربی پسیاک اصلاح شده استفاده شده است. در این مدل ارزش‌گذاری عوامل ۹گانه به شرح زیر صورت گرفت:

۱ - عامل زمین‌شناسی $y1=x1$

به منظور ارزش‌دهی به عامل زمین‌شناسی در فرسایش‌پذیری سازندهای موجود در هر یک از حوضه-های آبریز ابتدا نقشه زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در دو شیت مشهد و طرقبه اسکن و رقومی گردید و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد. سپس بر اساس واحدهای سنگ‌شناسی نقشه حساسیت سنگ به عنوان پایه‌ی فرسایش تعیین گردید. منطقه‌ی مورد مطالعه بیشتر از فیلیت مشهد تشکیل شده که با واحدهای سنگی شیست ترکیب شده و در برخی نواحی کنگلومرا و ماسه‌سنگ و حتی گرانیت نیز به صورت محدود وجود دارد. با توجه به این واحدهای سنگی بر اساس حساسیت هر واحد لیتولوژیک نسبت به فرسایش به روش میانگین وزنی به هر یک از حوضه‌ها امتیاز داده شد که در جدول شماره ۴ آمده است.

شکل ۳: زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: نقشه زمین‌شناسی مشهد ۱:۲۵۰۰۰۰

۲- عامل خاک: y2=16.67x2

ازلحاظ رژیم حرارتی خاک‌های منطقه شامل خاک‌های مزیک[۱] و در قسمت‌هایی از نواحی مرتفع منطقه دارای رژیم حرارتی فریجید[۲] می‌باشد و از لحاظ رژیم رطوبتی از نوع اریدیک و توریک[۳] می‌باشد. معمولاً افزایش مقدار مواد آلی به دلیل آنکه به پایداری خاکدانه‌ها (و به طور کلی پایداری اپی پدون خاک) کمک می‌کند، فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد *(سینگر و مانس، ۱۳۷۵: ۴۹۸)*. X2 عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش (usle) می‌باشد که از طریق جدول مورگان قابل محاسبه است *(احمدی، ۱۳۸۵: ۵۰۷)*. برای این منظور نمونه‌هایی از عمق ۱۰ سانتیمتری از واحدهای اراضی مختلف برداشت شده و با تعیین خصوصیت نمونه‌های مورد نظر شامل سیلت- ماسه - رس و مطابقت آن با جدول مورگان ضریب k محاسبه گردید (جدول ۴).

۳ - عامل آب و هوا y3=0/2 x3

اقلیم منطقه بر اساس اقلیم نمای آمبرژه از نوع خشک سرد و براساس اقلیم نمای دو مارتن از نوع نیمه‌خشک سرد و میانگین بارندگی ۲۵۶/۳ میلی‌متر است.

X3 بارندگی ۶ ساعته با دوره‌ی برگشت ۲ساله می‌باشد که با استفاده از اطلاعات و آمار هواشناسی محاسبه می‌گردد برای حوضه‌ی مورد مطالعه بارندگی ۶ ساعته با دوره‌ی برگشت ۲ساله محاسبه شد و مقدار آن ۱۰/۳ میلیمتر به‌دست آمد *(مهندسین مشاور کاوش‌پی، ۱۳۸۵)* و مقادیر y3 برای کلیه‌ی زیرحوضه‌های منطقه برآورد گردید (جدول ۴).

۱- خاک‌های مزیک MESIC (میانی) دارای متوسط درجه حرارت سالیانه بین ۸ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشند.

۲- فریجید FRIGID (سرد،بسیار سرد،منجمد)

۳- آریدیک یا توریک: (Aridic or Torric) این خاک‌ها بیشتر از نصف زمانی که خاک یخ نزده است خشک می‌باشد و هیچ‌گاه ۹۰روز متوالی زمانی که دمای خاک در عمق ۵۰ سانتیمتری بیشتر از ۸ درجه سانتیگراد مرطوب نمی‌باشد. این حد حرارتی رژیم‌های دمایی اریدیک، پرجلیک، کراییک و ایزوفریجید را در برمی‌گیرد.

۴ - عامل رواناب Y4=0/2 x4

برای محاسبه و ارزش‌گذاری این پارامتر محاسبه ضریب رواناب برای یکایک واحدهای مطالعاتی بسیار ضروری است. ضریب مذکور خود متأثر از عوامل مختلفی از جمله مشخصات هندسی و ژئومتریک حوضه، پوشش سطحی، شرایط اقلیمی، کاربری اراضی و... است که با بررسی این عوامل محاسبه گردید.

X4=/2(/3R+50QP)

R= ارتفاع رواناب سالانه برحسب میلیمتر.

Q=دبی ویژه پیک برحسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع می‌باشد.

که نتایج آن در جدول ۲ منعکس گردیده است.

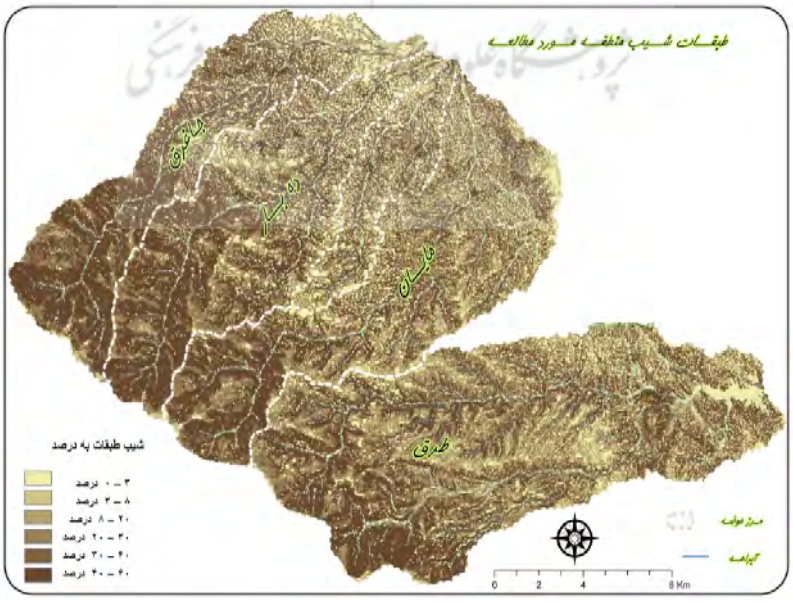
جدول ۱: برخی مشخصات ژئومتریک حوضه‌های مورد مطالعه در مدل ام پسیاک مقدار x4 از رابطه زیر محاسبه می‌گردد

نام‌حوضه	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (کیلومتر)	طول آبراهه اصلی(کیلومتر)	ارتفاع (متر)			
				حداکثر	حداقل	اختلاف	متوسط
جاغرق	۷۴/۲۵	۶۰	۲۷/۳۴	۳۰۷۴	۱۲۵۴	۱۸۲۰	۹۰۹
دهبار	۸۹	۵۴/۷	۲۳/۸۵	۲۹۲۰	۱۲۳۷	۱۶۸۳	۸۴۲
مایان	۱۰۵	۶۵/۶	۲۵	۲۸۱۷	۱۲۳۵	۱۵۸۲	۷۹۱
طرق	۱۳۹/۶۹	۵۹/۲۵	۲۴	۲۶۵۷	۱۲۲۰	۱۴۳۷	۷۱۹/۵

مأخذ: نگارندگان

۵- عامل توپوگرافی Y5=0/33 X5

X5 شیب متوسط بر حسب درصد است. برای محاسبه این پارامتر از جدیدترین و دقیق‌ترین نقشه‌های توپوگرافی سراسری سازمان نقشه‌برداری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده و بر اساس مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصله، شیب متوسط زیرحوضه‌ها طبق جدول ۴ محاسبه گردیده است.



شکل ۴: طبقات شیب منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ : استانداری خراسان

۶- عامل پوشش زمین Y=0/2 X6 (LC)

در این حوضه ها پوشش زمین شامل سطوح صخره‌ای، دامنه‌های اسکری، جاده‌ها و سازه‌های عمرانی، پوشش گیاهی، و رودها می‌شود. شایان ذکر است که سازه‌های عمرانی در حوضه‌ی جاغرق بیشتر از بقیه است.

در این فاکتور X6 درصد زمین بدون پوشش می‌باشد که برای این منظور از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی استفاده شد. برای این منظور با استفاده از دو باند ۴ و ۳ سنجنده ETM^+ و با استفاده از معادله زیر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در محدوده ۱+ تا ۱- ایجاد گردید که درآن ۱+ پوشش کامل و ۱- زمین بدون پوشش است

NDVI =(band4-band3)/(band4+band3)

این واقعیت که در NDVI به جای استفاده از قدر مطلق از حاصل جمع و تفاضل باندها استفاده می‌شود، کاربرد آن را در مطالعاتی که هدف مقایسه زمانی باشد مناسب‌تر می‌سازد زیرا NDVI کمتر تحت تأثیرات جوی قرار می‌گیرد *(دیسفانی ۱۳۷۴: ۲۶۲)*. به منظور کنترل نتایج با عملیات میدانی و GPS نقشه حاصله کنترل و تصحیح گردیده نتایج این کار برای هر یک از حوضه‌ها در جدول (۳) منعکس شده است.

۷ - عامل کاربری اراضی Y7=20-(.2 x7) (LU)

که در آن x7 درصد تاج پوشش می‌باشد. برای نیل به این هدف اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی شد. به همین منظور از تصویر لندست سنجنده ETM^+ ۲۰۰۷ استفاده شد. مقایسه این‌تصویر با تصاویر پیشین (قدیمی‌تر) و همچنین عکس‌های هوایی از منطقه نشان می‌دهد که طیّ سال‌های اخیر در حوضه‌های مورد مطالعه اراضی باغی و کشاورزی زیادی تبدیل به رستوران‌ها و سازه‌های عمرانی تبدیل شده و از این لحاظ حوضه جاغرق در جایگاه نخست قرار دارد. از روی نقشه‌ی کاربری ایجاد شده میزان تاج پوشش برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۴ آمده است.

الف- ۸ - فرسایش سطحی خاک Y8=0/25 X8

X8 عامل سطحی خاک (ضریب k) می‌باشد که با استفاده از روش BLM معین می‌گردد که در تعیین آن ۷ عامل دخالت دارد. حرکت توده‌ی خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و توسعه فرسایش خندقی. در این رابطه ابتدا نوع فرسایش سطحی و سپس با توجه به هر کدام از عوامل بالا وضعیت کلی فرسایش به تفکیک هر واحد محاسبه شده که نتایج مربوط در جدول (۴) منعکس گردیده است

۹ - عامل فرسایش رودخانه‌ای Y9=1/67 X9

که در آن X9 عامل فرسایش رواناب در مدل B.L.M می‌باشد که از جدول زیر استخراج می گردد.

جدول ۲: امتیاز دهی به عامل فرسایش سطحی خاک در مدل B.L.M

زیاد ۲۵	متوسط ۱۰	کم ۰
- بالا بودن دبی حداکثر در واحد سطح - حجم زیاد جریان در واحد سطح	- دبی حداکثر متوسط - حجم متوسط جریان آب در واحد سطح	- مناطق با شیب کم - آبراهه‌های کنترل شده - بستر تشکیل شده از سنگ مقاوم

مأخذ : رفاهی، ۱۳۷۶: ۲۵۲.

جدول۳ : دبی فصلی حوضه‌های مورد مطالعه (مترمکعب در ثانیه)

فصل	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		مجموع	
نام‌رودخانه	آبدهی	درصد	آبدهی	درصد	آبدهی	درصد	آبدهی	درصد	آبدهی	درصد
جاغرق	۲/۴۳	۷۱/۲۶	۰/۰۶	۱/۷۶	۰/۰۸	۲/۳۵	۰/۸۴	۲۴/۶۳	۳/۴۱	۱۰۰
دهبار	۳/۰۳	۶۱/۴۶	۰/۱۱۸	۲/۴	۰/۲۱۲	۴/۳	۱/۵۷	۳۱/۸۴	۴/۹۳	۱۰۰
مایان	۲/۹۲	۶۶/۳۴	۰/۰۷	۱/۵۹	۰/۲۵۲	۵/۷۳	۱/۱۶	۲۶/۳۴	۴/۴	۱۰۰
طرق	۲/۸۹	۵۷	۰/۱۸۲	۳/۲	۰/۱۸۵	۳/۶۴	۱/۸۲	۳۵/۸	۵/۰۷	۱۰۰

مأخذ: سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی

یافته‌های تحقیق

جدول ۴ : تعیین امتیاز نهایی برای تمامی زیرحوضه‌ها

عامل	زمین شناسی		خاک		اقلیم		رواناب		توپوگرافی (شیب)		پوشش زمین		کاربری اراضی		فرسایش سطحی		فرسایش خندقی		$\sum^{y}$
نام حوضه	x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	x5	y5	x6	y6	x7	y7	x8	y8	x9	y9	
طرق	۵/۵	۵/۵	/۶۹	۱/۱۶	۱۰/۳	۲/۰۲	۵/۷	۱۲/۰۳	٪۱۲/۳۰	۴/۰۱	٪۴۰	۸	۱۶/۶	۱۵/۹	۴۰	۱۰	۱/۲۵	۲/۱	۶۲/۷۲
مایان	۵/۵	۵/۵	/۷۱	۱/۲	۱۰/۳	۲/۰۲	۸/۳	۱۲/۸	٪۱۳/۵۰	۴/۵	٪۴۵	۹	۱۴/۲	۱۴/۲	۴۶	۱۱/۲۵	۱/۱۹	۲	۶۴/۴۷
دهبار	۴/۲	۴/۲	/۰۶	۱	۱۰/۳	۲/۰۲	۱۳/۶	۱۱	٪۱۲/۰۶	۴/۲	٪۲۲	۴/۵	۱۰/۲	۱۰/۲	۲۸	۷	۱/۰۱	۱/۷	۴۷/۸۲
جاغرق	۵/۸	۵/۸	/۱۴	۲/۵	۱۰/۳	۲/۰۲	۱۲/۳	۱۳	٪۱۹/۴۰	۶/۸	٪۵۷	۱۲/۵	۱۶/۲۴	۱۴/۲۴	۴۰	۱۰	۲/۷	۴/۷	۷۶/۵۶

مأخذ: نگارندگان

پس از بررسی عوامل نه‌گانه پسیاک برای هر یک از حوضه‌ها و نیز جمع‌بندی مربوطه طبقه‌بندی کیفی برای هر کدام از حوضه‌ها انجام شد.

جدول ۵: شاخص طبقه‌بندی کیفی

حاصل جمع اعداد بدست آمده از ۹ عامل مؤثر در فرسایش	طبقه‌بندی کیفی	تولید رسوب		کلاس فرسایش
		Ton/km2/y	$m^3/ Km^2/y$	
۱۰۰<	خیلی زیاد	۲۵۰۰<	۱۴۵۰<	۱
۷۵-۱۰۰	زیاد	۱۵۰۰-۲۵۰۰	۴۵۰-۱۴۵۰	۲
۵۰-۷۵	متوسط	۵۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰-۴۵۰	۳
۲۵-۵۰	کم	۲۰۰-۵۰۰	۹۵۰-۲۵۰	۴
۰-۲۵	ناچیز	<۲۰۰	<۹۵	۵

مأخذ: احمدی ۱۳۸۵: ۵۷۸

شکل ۵: درجه‌ی رسوبدهی حوضه‌های آبریز مورد مطالعه جمع کل y در مدل پسیاک اصلاح شده

مأخذ: نگارندگان

همانطور که از نمودار ۱ مشخص است بیشترین درجه‌ی رسوبدهی مربوط به حوضه‌ی جاغرق است که در کلاس رسوبدهی زیاد قرار دارد و سایر حوضه‌ها در کلاس متوسط، و متوسط به پایین قرار دارند.

محاسبه‌ی میزان تولید رسوب بر اساس مدل پسیاک اصلاح شده

پس از ارزش‌گذاری هر یک از عوامل نه‌گانه برای حوضه‌های مورد مطالعه و جمع‌بندی آنها با استفاده از جدول شماره‌ی ۲ به محاسبه میزان رسوب‌دهی که مشتمل بر بار معلق و بار کف است، پرداخته شد. این شاخص که برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع است با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه *(محمودآبادی، ۱۳۸۴)* و برای هر یک از زیرحوضه‌ها به طور جداگانه محاسبه شد:

$$Qs = 38.77\ [EXP\ (0.0353R)]$$

که در آن QS میزان رسوب سالانه برحسب تن در کیلومترمربع و R درجه رسوبدهی (جمع عوامل ام پسیاک) می‌باشد. صفت مهم هیدرولوژی حوضه‌های زهکشی، وجود نسبت معکوس بین بار رسوبی در واحد سطح و سطح حوضه زهکشی است. واضح است که هر چه حوضه‌ی زهکشی بزرگتر شود، آب و رسوب بیشتری از آن خارج می‌گردد اما در واحد سطح با افزایش سطح زهکشی، میزان تولید رسوب کم می‌شود *(چورلی و همکاران، ۱۳۷۹: ۲۶۰)*. در واقع تولید رسوب در حوضه‌های بزرگ به طور مطلق بیشتر از حوضه‌های کوچکتر است اما در واحد سطح نرخ تولید رسوب کمتر از حوضه‌های کوچکتر است.

جدول ۶ : میزان رسوب در حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	جمع امتیاز	کلاس فرسایش	میزان‌رسوب ویژه به m3/ Km2	میزان رسوب ویژه به Ton/km2/y
طرق	58/72	متوسط	308/11	369
مایان	60/47	متوسط	321/853	386
دهبار	43/82	کم	179/710	215
جاغرق	69/56	متوسط	442/414	531

مأخذ : نگارندگان

مقایسه‌ی نتایج مدل ام‌پسیاک با آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی

به منظور بررسی ارزش نتایج مقادیر برآورد شده رسوب و نتایج حاصل از مشاهدات واقعی (ایستگاههای رسوب‌سنجی) به بررسی و تفاوت این دو پرداخته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده‌ی مندرج در جدول شماره ۷ بیشترین میزان اختلاف به دست آمده در

ایستگاههای رسوب سنجی و مدل پسیاک اصلاح شده در زیرحوضه ده بار مشاهده شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده علت اختلاف این دو مقدار در حوضه ده بار بروز خطا در امتیاز دادن به فاکتورهای فرسایش در این زیرحوضه است.

جدول ۷: مقایسه آمار مدل ام پسیاک با ایستگاههای رسوب‌سنجی منطقه‌ی مورد مطالعه

نام حوضه	مقدار رسوب برآورد شده با مدل ام‌پسیاک Ton/km2/y	مقدار رسوب برآورد شده ایستگاه‌های رسوب‌سنجی Ton/km2/y	مقدار اختلاف Ton/km2/y	مقدار اختلاف (درصد)
طرق	369	350 [1]	19	6
مایان	386	365	21	5/5
دهبار	215	198	17	5/8
جاغرق	531	547	16	5

مأخذ: مهندسین مشاور سروآب

تحلیل کیفی فرسایش در منطقه

علاوه بر تحلیل‌های کمّی مبتنی بر مدل ام پسیاک که منتج به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش در منطقه شد، لازم است که در اینجا به تحلیل کیفی فرسایش نیز بپردازیم. در این خصوص به عواملی اشاره می‌شود که نه تنها زمینه ساز فرسایش هستند بلکه آن را تشدید هم می‌نمایند. عمده‌ی این عوامل عبارتند از:

الف- عناصر و عوامل محیطی و طبیعی

در این خصوص می‌توان به عناصر محیطی از جمله شرایط‌اقلیمی،زمین‌شناختی،توپوگرافیک و ژئومورفیک، و پوشش گیاهی اشاره نمود. منطقه‌ی مورد مطالعه چون کوهستانی است، بنابراین به لحاظ شرایط اقلیمی دارای آب و هوای کوهستانی سرد بوده و نه تنها بطور نسبی از بارندگی قابل توجهی برخوردار است، بلکه دارای ضریب برف نسبتاً زیادی می‌باشد. این دو ویژگی کیفیت و کمّیت حجم رواناب سطحی و جریان‌های رودخانه‌ای را (به لحاظ حجم دبی و نظم آبدهی...) متأثر ساخته و خود عاملی است برای تأثیر در فرسایش و رسوب. از طرفی دامنه‌ی گرمای شبانه‌روزی و فصلی قابل توجه، فرآیندهای آغازین از نوع ترموکلاستی (دما شکافتگی) و کرایو کلاستی (یخ‌شکافتگی) را در منطقه غالب ساخته است.

از نظر ویژگی‌های زمین‌شناختی نیز باید به ساخت و بافت سنگ‌های منطقه اشاره نمود. چراکه سنگ‌های منطقه عمدتاً ازنوع فیلیت و سنگ‌های دگرگونی دارای خاصیت شیستوزیته (تورق) بوده و سنگ‌های گرانیت و کنگلومرای موجود در منطقه نیز دارای بافت دانه‌ای می‌باشند. هر دو ویژگی شرایط را برای تخریب و هوازدگی شدید به خوبی فراهم می‌نمایند و بار لازم را برای فرسایش و رسوب ایجاد می‌کنند. شیب‌های زیاد و ویژگی‌های توپوگرافیک و ژئومورفولوپک نیز این ویژگی را تشدید می‌نمایند.

به لحاظ پوشش گیاهی هم، به غیر از خط‌القعرها و دامنه‌های مجاور رودخانه‌ها که پوشیده از درختان میوه و باغ‌ها هستند، در سطوح دیگر گیاهان عالی و درختی بسیار ناچیز در حد درختچه می‌باشند. این سطوح عمدتاً پوشیده از گیاهان بوته‌ای و مرتعی بوده و لذا نقش بازدارندگی را در برابر فرسایش و عوامل فرسایش ندارند.

ب-تغییرات کاربری اراضی

در طیّ چند دهه اخیر، در حوضه‌های آبریز مورد مطالعه، به ویژه در حوضه جاغرق بنا به دلایلی از جمله وجود آب و هوا و چشم‌انداز خوب، و جنبه‌های اکو توریستی آنها،خانه‌های دوم،رستوران‌ها، مراکز تفریحی، جاده‌های گوناگون برای دسترسی به این مراکز و امثال آن احداث شده‌اند که منجر به تخریب باغ‌ها و کاهش پوشش گیاهی درختی در این حوضه‌ها گردیده است. نتیجه آنکه در اثر این تغییرات و ساخت و سازهای مربوطه، از وسعت سطوح نفوذپذیر کاسته شده و در عوض سطوح نفوذناپذیر افزایش یافته و به این ترتیب شرایط برای فزونی یافتن رواناب و فرسایش و رسوب فراهم شده است.

۱- مهندسین مشاور کاوش پی ۱۳۸۴

شکل ۶: پهنه‌بندی خطر فرسایش درمنطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ : نگارندگان

شکل ۷: نمایش لکه‌های سفید ناشی از چرای بی‌رویه در حوضه‌ی آبریز طرق بر روی تصویر ماهواره‌ای

مأخذ : تصویر ماهواره‌ای لندست

ج- چرای بیش از حد

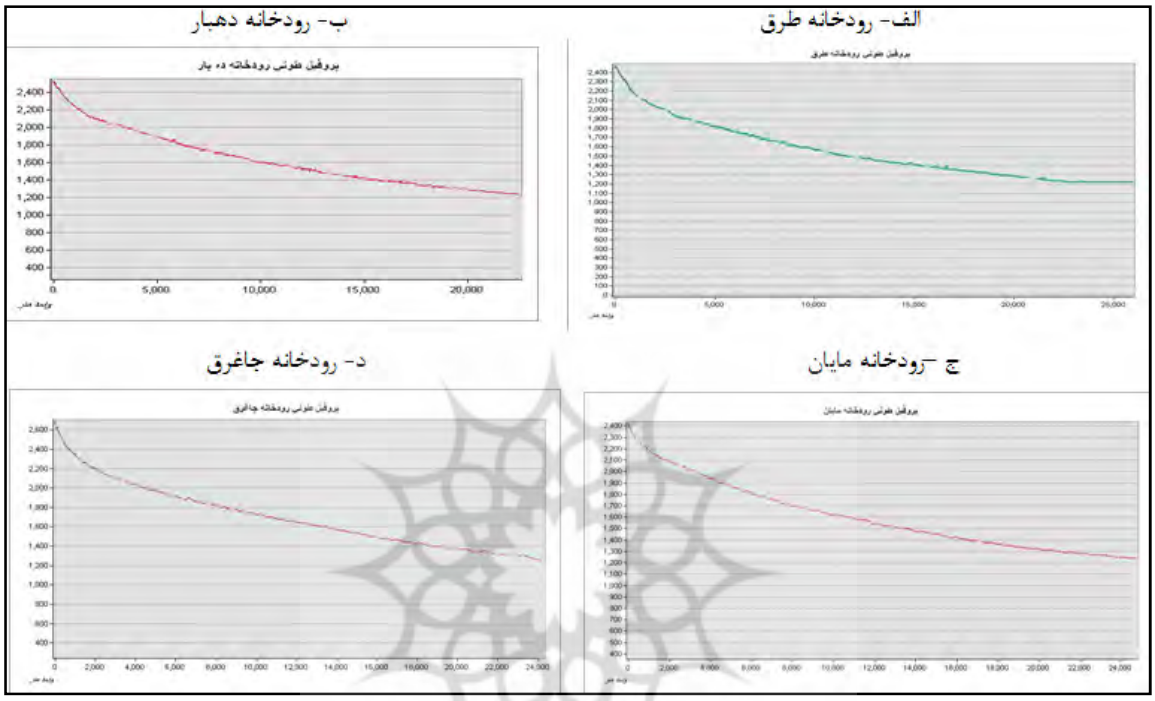
در سال‌های اخیر با افزایش جمعیّت منطقه‌ی مورد مطالعه، تغییرات زیادی در پوشش گیاهی حوضه‌ها به وجود آمده است. به عنوان نمونه چرای بیش از حد باعث شده که خاک توان چسبندگی خود را از دست داده و در اثر بارش، مقدار زیادی رسوب را به رواناب‌ها منتقل کند. گواه این ادعا وجود لکه‌های سفیدی است که در روی تصویر ماهواره‌ای قابل رؤیت است و مربوط به چرای بیش از حد دام در این نواحی می‌باشد.

پیامدهای‌فرسایش و رسوب درمنطقه‌ی موردمطالعه

مجموعه عوامل فوق باعث افزایش فرسایش و رسوب در منطقه شده و این خود پیامدهایی را در بر داشته است از جمله :

الف- تغییرات در نیمرخ طولی

با افزایش بار جامد رودخانه‌ها نیمرخ طولی آنها دستخوش تغییراتی شده که خود باعث افزایش سیل‌خیزی در منطقه می‌گردد. در شکل زیر نیمرخ طولی تمام رودخانه‌های مورد نظر در سیستم اطلاعات جغرافیایی توسط نگارندگان ترسیم شده است.



شکل ۸ : نیمرخ طولی رودخانه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ : نگارندگان

مطابق آنچه که از نمودارهای فوق برمی‌آید نیمرخ رودخانه جاغرق دارای شیب طولی بیشتری است و هرگونه تغییر در این نیمرخ توسط عوامل انسانی باعث واکنش سریع رود خواهد گردید.

ب- کاهش عمر مفید سدها

برای تأمین آب شرب مشهد لزوم توجه به احداث سد و میزان ذخیره‌ی آب در آن امریست اجتناب‌ناپذیر[1] با احداث هر سد عمر مفیدی برای آن پیش‌بینی می‌شود. هر ساله رواناب‌ها مقدار زیادی رسوب را در پشت سدها انباشته کرده و حجم زنده سد را پرمی‌نمایند. با افزایش فرسایش و رسوب در حوضه‌ها عمر مفید سدها که کاهش یافته و کیفیت آب نیز نامطلوب می‌گردد.

در محدوده‌ی مورد مطالعه نیز، هم سدّ قوسی طرق و هم بند گلستان وجود دارد.

سدّ طرق به منظور ذخیره‌ی آب رودخانه و تنظیم سیلاب‌های سالانه و نیز انتقال آب آن به تصفیه‌خانه (از طریق یک خط انتقال ۷۰۰ میلی‌متری فولادی) و در نهایت انتقال به شبکه آبرسانی مشهد احداث شد. سدّ طرق در حدود ۳۱ میلیون متر مکعب حجم مفید آن برآورد شده است. هر سال حدود ۵۱۶۶۰ تن مواد رسوبی در پشت این سد انباشته می‌شود. به عبارت دیگر در مدت ۵۰ سال حدود ۲۵۸۳۰۰۰ تن رسوب در پشت این سد انباشته می‌گردد با افزایش میزان فرسایش و عمر مفید این سد کاهش می‌یابد. این رسوبدهی در خطوط لوله و شبکه آبرسانی نیز ایجاد مشکل و دردسر می‌کند.

۱- قسمتی از آب مشهد توسط سد طرق و کارده تأمین می‌شود.

شکل ۹: تصویر ماهواره‌ای (ایکونوس) از دریاچه سد طرق ۱۳۸۷

مأخذ : ایکونوس

جدول ۸: میزان بار معلق و بار بستر هر یک از زیرشاخه‌های حوضه آبریز گلستان

ردیف	رودخانه	معادله دبی مواد جامد و شدت جریان	بار معلق سال (تن)	بار بستر سال (تن)	بار کل
۱	جاغرق	$Q_s=53.6\ Q_w^{1/939}$	۳۳۷۶۲	۶۷۵۲	۴۰۵۱۴
۲	دهبار	$Q_s=39.55\ Q_w^{1/902}$	۲۷۱۳۶	۵۴۲۷	۳۲۵۶۳
۳	مایان	$Q_s=39.55\ Q_w^{1/737}$	۱۶۰۹۵	۳۲۱۹	۱۹۳۱۴
۴	بند گلستان	-	۷۶۹۹۳	۱۵۹۳۸	۹۲۳۹۱

مأخذ: مهندسین مشاور سروآب

وضعیت فرسایش در حوضه‌ی طرق طبق مدل پسیاک اصلاح شده و ای‌پی‌م متوسط است. در حالی‌که در حوضه‌ی جاغرق اندکی بیش از متوسط است به همین دلیل بند گلستان که در ۸ کیلومتری غرب مشهد است، به لحاظ ذخیره‌ی آب از کارایی بالایی برخوردار نیست زیرا که مقدار زیادی از حجم مفید آن توسط رسوبات رودخانه‌ای پرشده است. این بند بر روی رودخانه‌های جاغرق، ده‌بار و مایان احداث گردیده است. میزان بار کل رسوبی این بند ۹۲۳۹۱ تن در سال است که بخش اعظم آن‌را رودخانه‌ی جاغرق تولید می‌کند. به طور کلی رسوب‌خیزی حوضه‌ی آبریز گلستان را باید در عواملی نظیر سیلاب‌های شدید فصلی، شیب زیاد آبراهه‌ها، و فرسایش‌پذیری بستر حوضه به لحاظ هوازده بودن، و سایر عوامل جستجو کرد. جنس بار معلق که در نواحی نزدیک به محل سد گلستان ته‌نشین می‌شود با توجه به بازدیدهای مکرر در زمان خشک بودن مخزن، از جنس سیلت و خاک آلی کشاورزی می‌باشد.

ج- تأثیر فرسایش بر روی هوای شهر مشهد

همانگونه که عنوان شد از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه در اثر چرای بیش از حد به صورت لکه‌های سفید و فرسایش‌پذیر ظاهر می‌شود. این مسأله می‌تواند موجب جابجایی ذرات منفصل و

سبکتر(با قطر کمتر از ۰/۵ میلیمتر) توسط باد گردد و به صورت معلق به نقاط دورتری انتقال یابد. در اثر وزش بادهای شدیدتر مخصوصاً در فصول تابستان و پاییز، احتمال وقوع توفان‌های گرد و غبار نیز می‌رود و چنانچه مسیر عبور این بادها در جهت شهر مشهد باشد، مزاحمت‌ها و زیان‌هایی را برای شهروندان موجب می‌گردد. بر اساس مشاهدات و تجربیات شخصی نگارنده یکی از مشکلات جدید شهر مشهد در طیّ سال‌های اخیر افزایش گرد و غبار در فصول تابستان و پاییز است. لذا حوضه‌های پیرامونی مشهد می‌تواند یکی از منابع اصلی تغذیه مواد معلق این بادهای غبارآلود باشد.

نتیجه

حوضه‌های آبریز طرق- مایان- دهبار- جاغرق در جنوب شهر مشهد و در دامنه‌ی شمالی رشته‌کوه بینالود واقع‌اند. این حوضه‌ها در حدود ۴۲۹ کیلومتر مربع وسعت دارند. از لحاظ شرایط اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک سرد به شمار می‌آمده از نظر زمین‌شناسی عمدتاً از سازند فیلیت (بسیار حساس به فرسایش) تشکیل شده و از دیدگاه ژئومورفولوژی بخشی از چین-خوردگی‌های تراستی و تکتونیزه بینالود را در بر می‌گیرند. این شرایط به علاوه سایر عناصر محیطی به ویژه تغییرات کاربری اراضی در طول سال‌های اخیر موجب تشدید فرسایش و ایجاد رسوب در منطقه گردیده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاربری اراضی در حوضه‌ی آبریز جاغرق بیشتر صورت گرفته است و این حوضه نسبت به سایر حوضه‌ها بیشترین میزان فرسایش رسوب را داراست. نکته‌ی دیگر آنکه این افزایش فرسایش در حوضه‌های مورد مطالعه پیامدهای زیست‌محیطی خاصی از جمله تغییرات نیمرخ طولی رودخانه‌ها- کاهش عمر مفید سدها و افزایش غبارآلودگی هوای منطقه را به دنبال داشته است.

منابع

۱- احمدی، حسن (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی کاربردی جلد دوم فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تهران.

۲- پژوهشکده اقلیم‌شناسی (۱۳۸۶). گزارش وضعیت اقلیمی مشهد.

۳- چورلی‌ریچارد، جی؛ اِ شوم‌استانلی؛ ای سودن‌دیوید. (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی؛ فرآیندهای دامنه‌ای، آبراهه‌ای، ساحلی و بادی، جلد سوم. ترجمه احمد معتمد. انتشارات سمت. چاپ اول.

۴- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۵) فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

۵- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۶) ژئومورفولوژی ایران جلد دوم فرآیندهای اقلیمی و دینامیک بیرونی، چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۶- سازمان هواشناسی استان‌خراسان‌رضوی- اطلاعات اقلیمی.

۷- سینگرمایکل،جی؛ ان مانس‌دونالد(۱۳۷۵).خاک‌شناخت، ترجمه غلامحسین حق‌نیا. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ سوم.

۸- صادقی، حسن (۱۳۷۲). مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در حوضه اوزن، مجموعه مقالات سیاست‌های بهره‌برداری از اراضی. تهران.

۹- طهماسبی‌پور، ناصر (۱۳۷۴). کاربرد و ارزیابی مدل جدید پسیاک برای تهیه نقشه فرسایش در حوضه آبخیز جاجرود با استفاده از تکنیک، مجموعه مقالات کنفرانس مدیریت آب GIS سنجش از دور.

۱۰- محمودآبادی، مجید و دیگران (۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه آبخیز گل‌آباداصفهان به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی، مجله علوم کشاورزی ایران.

۱۱- مهندسین مشاور سروآب (۱۳۷۶). بهره‌برداری از رودخانه گلستان.

۱۲- مهندسین مشاور کاوش‌پی (۱۳۸۷).گزارش سیمای طرح و برنامه‌ریزی منابع آب سد طرق.

۱۳- نجفی‌دیسفانی، محمد (۱۳۷۷). پردازش رقومی تصاویر سنجش از دور. انتشارات سمت.

۱۴- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی سازمان نقشه-برداری شیت‌های ۷۸۶۲۲ شمال‌غرب و شمال‌شرق و...

۱۵- نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان‌زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ شیت‌های طرقبه و مشهد.
۱۶- نیکجو، محمود (۱۳۷۳). مقایسه آمار به‌دست آمده با ایستگاههای رسوب‌سنجی حوضه دریانچای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
۱۷- ولایتی، سعداله (۱۳۸۷). بررسی اثرات سدهای مخزنی بر کمّیت و کیفیت آب زیرزمینی مخروط‌افکنه پایین-دست (سد طرق). مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ایی.
۱۸- یمانی، مجتبی؛ اصغر هدایی (۱۳۸۲). بررسی وضعیت رسوب و فرسایش در حوضه‌های آبریز منتهی به تنگه هرمز، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. دانشگاه تهران.
19- pasific southwest interagency committee (psiac), (1698).factor affecting sediment yield in south west pacific area and evulation of sediment and erosion yoeld.
20- Report of water management committee.
21- Toy, T. J., G. R. Foster, & K. G. Renard (2002). Soil erosion processes, prediction, measurement and control John weily and sons ,Inc, newyork.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی