Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۲
زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۳۷-۱۲۳

*ابوالفضل رحمانی[۱]
ابوالقاسم امیر احمدی[۲]
علی محمدخورشیددوست[۳]

کاربرد فناوری GIS در پهنه بندی و برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه آبریز آجی‌چای

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

چکیده

رشد روزافزون جمعیت و استفاده بیش از اندازه و غیراصولی از منابع طبیعی به ویژه خاک باعث به وجود آمدن مشکلات بسیاری گردیده است که مهم‌ترین آن مربوط به فرسایش خاک و تولید رسوب می‌باشد؛ که می‌تواند لطمات جبران‌ناپذیری بر جوامع طبیعی و بشری داشته باشد. برای انجام این تحقیق نقشه واحدهای همگن با استفاده از نقشه‌های شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی تهیه گردید. هر یک از عوامل مؤثر در فرسایش و فشارسنج هواهای موجود در مدل‌ها به طور جداگانه در هر واحد کاری اندازه‌گیری و در نهایت برای هر یک از زیر حوضه‌ها میزان فرسایش و تولید رسوب سالانه محاسبه شد. نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست ۸ بعد از کلاس‌بندی تهیه گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق میزان رسوب تولیدی سالیانه با روش MPSIAC در زیرحوضه واحد A حوضه‌ی مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۲٦/۳٤ متر مکعب بر کیلومتر مربع، ٦۱۰٦ تن بر هکتار، در زیرحوضه واحد B به‌ترتیب ۷٤/ ۱٦۷ متر مکعب بر کیلومتر مربع، ۱۸۰٤ تن بر هکتار و زیرحوضه واحد C به‌ترتیب ۱۵۰/۳٦ متر مکعب بر کیلومتر مربع، ۹٦۵۹ تن بر هکتار برآورد گردید. (واحدهای کاری در نظر گرفته شده در این پژوهش سه زیر حوضه اصلی رودخانه آجی‌چای می‌باشد که با حروف A، B و C

*۱- دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری. (نویسنده مسئول). E-mail: rahmani870916@gmail.com
۲- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری.
۳- گروه آب‌وهواشناسی دانشگاه تبریز.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

نام‌گذاری شده‌اند). نتایج حاصل از مقایسه میزان فرسایش، در تعیین صحت روش‌ها نشان داد که روش MPSIAC برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب سالیانه در شرایط طبیعی و خاکی حوضه مورد مطالعه نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: فرسایش خاک، حوضه آبریز آجی‌چای، مدل MPSIAC، GIS.

مقدمه

فرسایش خاک و تولید رسوب با محورهای توسعه پایدار (نظیر فقر، رشد جمعیت، امنیت و تخریب منابع) پیوند تنگاتنگ دارد اما متناسب با اهمیت آن‌ها پیگیری نشده است. با توجه به روند رو به رشد فرسایش خاک و تولید رسوب، اقدام فوری جامعه جهانی برای مقابله با این معضل ضرورت می‌یابد. برنامه‌ریزان باید با ارائه سیاست‌های مناسب برای بازسازی زیست‌بوم دست به‌کار شده و روش‌های حفاظتی مؤثری برای نگهداشت و افزایش حاصل خاک فراهم آورند (Refahi, 2015). امروزه فرسایش خاک به عنوان خطر جدی برای رفاه و حیات انسان‌ها به‌شمار می‌رود (Refahi, 2015). کاربری اراضی یک رفتار اجتماعی و اقتصادی است که در آن انسان با توجه به نیازهای اقتصادی و اجتماعی خود از زمین بهره‌برداری می‌کند. تغییر گسترده کاربری اراضی فرسایش خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد که یکی از آسیب‌های بزرگ زیست‌محیطی می‌باشد. تغییرات کاربری اراضی به خصوص توسعه فیزیکی مناطق شهری و استفاده گسترده از زمین برای مصارف کشاورزی ممکن است تأثیر مثبت روی فرسایش خاک به دلیل شرایط اقلیمی و زیست‌محیطی و اقتصادی داشته باشد. تغییرات پوشش‌گیاهی به‌طور قابل‌توجهی فرسایش خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تبدیل اراضی، به زمین‌های بایر باعث افزایش فرسایش خاک و توسعه جنگل‌ها، باعث کاهش فرسایش خاک می‌شود. همین امر موجب ایجاد مخاطرات طبیعی از جمله زمین لغزش در این مناطق می‌گردد (Amir Ahmadi et al., 2015). امروزه کاربران با استفاده از تکنیک‌های خاص تفسیر رقومی می‌توانند انواع مختلفی از نقشه‌های کاربری اراضی را از تصاویر ماهواره‌ای استخراج نمایند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس اطلاعات طیفی دارای محدودیت‌هایی است بنابراین برای افزایش دقت طبقه‌بندی باید از منابع اطلاعاتی دیگری نیز در طبقه‌بندی استفاده کرد. در میان روش‌های پردازش تصویر به‌منظور استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، پردازش شیء گرای تصاویر به علت استفاده از اطلاعات طیفی و اطلاعات مربوط به بافت و محتوا در فرآیند طبقه-بندی از دقت بالاتری برخوردار است (Yan, 2003). بررسی و مدل‌سازی آسیب‌پذیری حوضه‌های آبریز از لحاظ فرسایش از موارد مورد توجه در مطالعات محیطی می‌باشد و می‌توان در مدیریت پایدار فرسایش از نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی مناطق مستعد فرسایش استفاده کرد. برای اجرای اقدامات لازم است تا اثرات عوامل مختلف فرساینده و روند تولید رسوب شناسایی شده و اطلاعاتی در مورد نحوه فرسایش، شدت تولید رسوب و پراکنش مکانی آن به دست آید (Baqerzadeh Karimi, 1994). با توجه به این‌که اکثر حوضه‌های آبخیز کوچک فاقد ایستگاه‌های رسوب سنجی بوده و از طرف دیگر احداث چنین ایستگاه‌های نیز پرهزینه است، لذا یافتن یک روش تجربی مناسب را

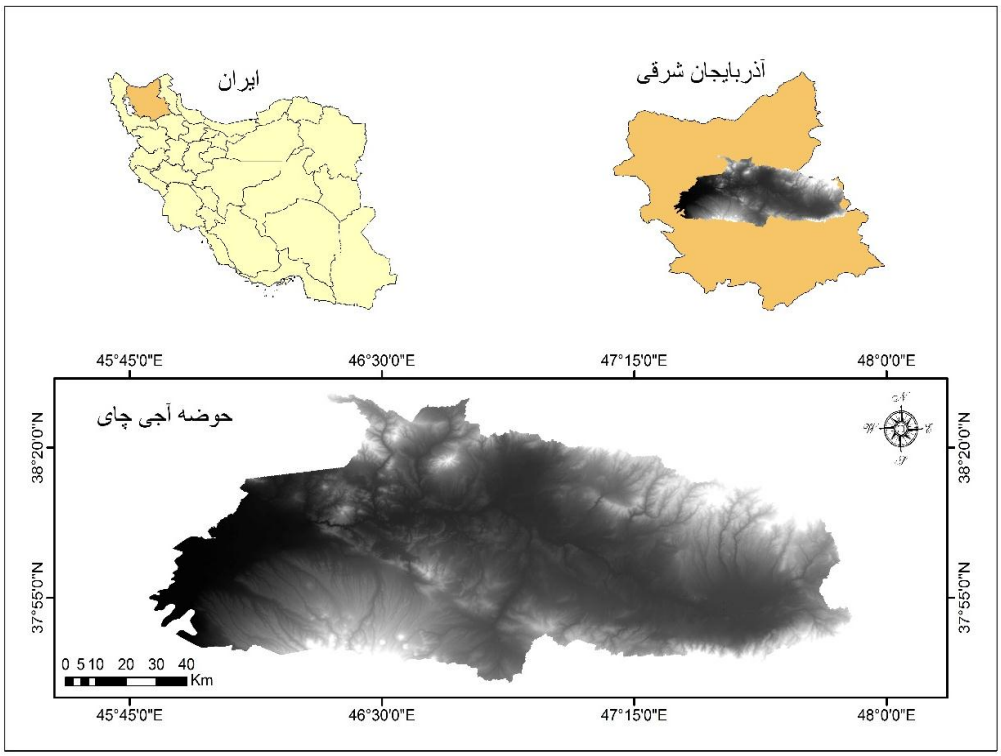
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

جهت برآورد رسوب ضروری می‌سازد که ضمن عملی بودن از دقت لازم نیز برخوردار باشد. در سال ۱۳۳۹ مطالعات حفاظت خاک در قسمتی از حوضه آبخیز سدکرج در منطقه سراچال توسط متخصصان ایرانی با همکاری کارشناسان فائو انجام شد (Refahi, 1999). شرکت عمران و منابع آب امریکا در ایران در طی سال‌های ۱۳۴۹ و ۱۳۵۹ روش پسیاک را برای مطالعه فرسایش و رسوب در حوضه دز به‌کار برد و سپس با توجه به دقت نسبتاً خوب این روش در مقایسه با سایر روش‌ها و مدل‌های تجربی این روش در اکثر حوضه‌های آبخیز کشور مورد استفاده قرار گرفت. همچنین (Ahmadzadeh, 2005) پژوهشی را در همین موضوع انجام داده و به این نتیجه رسیده که همبستگی خوبی میان نتایج مشاهداتی و میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها وجود دارد. هدف از تحقیق حاضر برآورد شدت فرسایش و میزان رسوب حوضه آجی‌چای با استفاده از مدل تجربی MPSIAC و با توجه به اثبات کارایی آن‌ها در حوضه‌های آبخیز کشور، به کمک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و کارایی این سیستم‌ها در مطالعات فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز و در نهایت جلوگیری از کاهش حاصل‌خیزی و هدررفت خاک، برهم خوردن امنیت غذایی، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، کاهش حجم رسوبات در سطح حوضه و نهایتاً پشت سدها و جلوگیری از پر شدن مخازن سدها، آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، گل آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آن، آلودگی آب‌های مناطق پایین‌دست و تخریب محیط‌زیست می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز آجی‌چای واقع در استان آذربایجان‌شرقی می‌باشد. حوضه‌آجی چای در شمال‌غرب ایران یکی از مهم‌ترین زیر حوضه‌های هفت گانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد و به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های ´۴۲ °۳۷ تا ´۳۰ °۳۸ شمالی و طول ´۴۰ °۴۵ تا ´۵۳ °۴۷ شرقی واقع شده است. این حوضه از شرق به حوضه آبریز قره‌سو، از جنوب به سرشاخه‌های قزل اوزن، از شمال به حوضه آبریز اهرچای و از غرب به دریاچه ارومیه محدود شده است (Rasooli and Adhami, 2007). این حوضه از ارتفاع ۳۴۰۰ متری دامنه‌های جنوب و جنوب‌غربی کوه سبلان و حدود ۳۳ کیلومتری شهرستان سراب شروع شده و با عبور از شمال شهر تبریز، در غرب آذرشهر در ارتفاع ۱۲۷۰ متری به دریاچه ارومیه ختم می‌شود. وسعت این حوضه آبریز حدود ۱۲۷۹۰ کیلومترمربع می‌باشد (Rasooli and Adhami, 2007). موقعیت حوضه آبریز آجی‌چای در شکل (۱) نشان داده شده است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the study area

مواد و روش ها

در انجام این پژوهش با توجه به موضوع و ماهیت تحقیق از مواد و روش‌های زیر استفاده شده است: نقشه‌های پایه شامل نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلّح و سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۵ و ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳٤٦ منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ارزیابی منابع و قابلیت استفاده از اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی، آمار و اطلاعات هواشناسی تهیه شده از سازمان هواشناسی کشور می‌باشد. با توجه به مدل به‌کار رفته در این پژوهش، مدل MPSIAC نقش نه عامل (زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب‌وهوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای) مؤثر در فرسایش جدول (۱) را به‌ترتیب زیر مورد ارزیابی قرار می‌دهد. پس از انجام بررسی‌ها و مطالعات صحرایی و شناسایی اشکال مختلف فرسایش، از طریق تفسیر عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، اطلاعات لازم جمع‌آوری گردید. همچنین داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی در حوضه جمع‌آوری گردیده و پارامتر آب‌وهوای منطقه با استفاده از تجزیه‌وتحلیل آمار و اطلاعات هواشناسی، به‌دست آمد. همچنین جهت بررسی رواناب با توجه به تهیّه لایه واحدهای هیدرولوژیکی، محاسبات دبی پیک و دبی ویژه هر یک از زیر حوضه‌ها انجام گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS10/3 در محیط ARC MAP،

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

عملیات زمین مرجع نمودن و رقومی‌سازی لایه‌ها صورت گرفته و پس از کلاسه‌بندی، لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نقشه اشکال فرسایش حوضه و عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب‌زایی حوضه و میزان تأثیرگذاری هر یک از این عوامل براساس امتیازات به‌دست آمده برابر جدول (۱)، مشخص گردیده است. در نهایت اقدام به برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه و ترسیم نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش حوضه نموده‌ایم.

جدول ۱- عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در روش MPSIAC

Table 1- Effective factors in soil erosion and sediment production in MPSIAC method

شماره	فرسایش خاک و تولید رسوب	رابطه رگرسیونی نمرات عوامل	ویژگی‌های مهم عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب شاخص X
۱	سنگ‌شناسی	y1=x1	نوع سنگ، سختی، خردشدگی، هوا دیدگی و حساسیت
۲	خاک	y2=16/67x2	(x2) ضریب فرسایش پذیری خاک
۳	آب و هوا	y3=0/2x3	مقدار بارندگی ٦ ساعته با دوره بازگشت دو ساله به میلی‌متر
٤	رواناب	y4=0/2x	برابر با مجموع ارتفاع رواناب سالانه به میلی‌متر ضربدر ۰/۰۳
٥	پستی و بلندی	y5=0/33x5	تندی شیب به درصد است
٦	پوشش سطح زمین	y6=0/2x6	برابر با درصد خاک لخت می‌باشد
۷	استفاده از زمین	y7=20-0/2x7	برابر با درصد تاج پوشش گیاهی می‌باشد
۸	وضعیت فرسایش	y8=0/25x8	برابر با مجموع نمرات عامل سطحی خاک (SSF) است
۹	فرسایش رودخانه‌ای	y9=1/67x9	برابر با نمره فرسایش خندقی عامل سطحی خاک (SSFg)

یافته‌ها و بحث

کلیه داده‌ها که عبارت‌اند از لایه مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری سنجنده Aster اخذ شده از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (شکل ۷)، لایه شیب مستخرج از مدل رقومی ارتفاع، لایه جهت شیب مستخرج از مدل رقومی ارتفاع، لایه زمین‌شناسی اخذ شده از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ اخذ شده از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا، لایه آبراهه‌های حوضه آبریز آجی‌چای اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی و تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ تهیه و برای استفاده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، برای این منظور از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS 10/3 استفاده خواهد شد. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حوضه آبریز آجی‌چای اقدام به استخراج زیر حوضه‌های این حوضه آبریز خواهد شد. برای این منظور در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و با استفاده از تابع Filled DEM اقدام به تهیه لایه DEM پر شده خواهد شد، سپس با استفاده از تابع Flow Direction لایه رستری جهت جریان ایجاد خواهد شد. در ادامه با استفاده از تابع Flow accumulation لایه تجمع جریان استخراج می‌شود که با استفاده از آن اقدام به تهیه لایه شبکه زهکشی خواهد شد (شکل ۵). بدین منظور از تابع Stream Network استفاده خواهد شد. به‌منظور اتصال لایه‌های آبراهه از تابع Stream Links بهره برده خواهد شد. پس از این مرحله و به منظور رتبه‌بندی آبراهه‌ها از روش رتبه‌بندی استرالر استفاده خواهدشد در نهایت زیر-

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

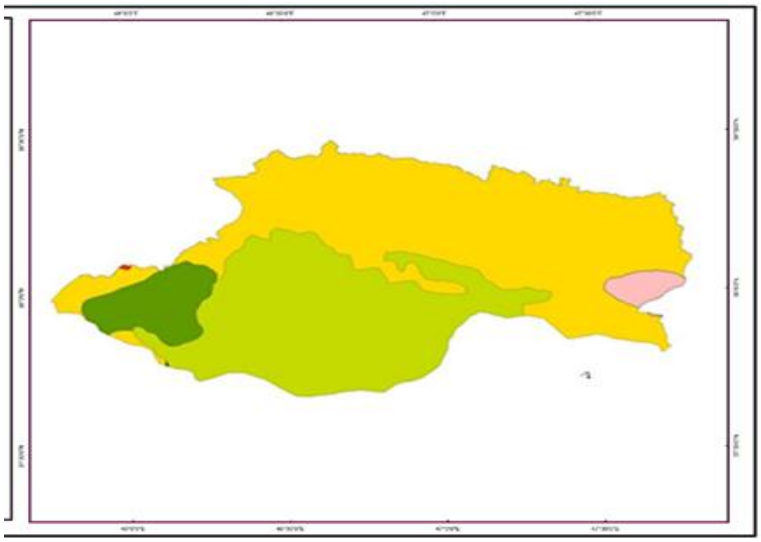
حوضه‌ها با استفاده از روش استخراج منطقه‌ای استخراج خواهند شد. بر مبنای عوامل فرسایشی مدل تجربی MPSIAC، هر یک از عوامل نه‌گانه به عنوان متغیرهای فرسایشی حوضه، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و به شرح زیر ارزش‌گذاری شده است:

عامل زمین‌شناسی سطحی

یکی از عوامل تأثیرگذار در فرسایش خاک و تولید رسوب در روش MPSIAC عامل زمین‌شناسی است. امتیاز این عامل بر اساس نوع سنگ، سختی، شکستگی و هوازدگی تعیین می‌شود. عامل زمین‌شناسی از طریق رابطه (۱) $Y1=X1$ حاصل می‌شود که در آن X1 عامل زمین‌شناسی و Y1 شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی است (Refahi, 2003). عامل زمین‌شناسی مدل اصلاح‌شده پسیاک در حوضه آجی‌چای ۵/۹۸ می‌باشد (جدول ۳).

عامل خاک

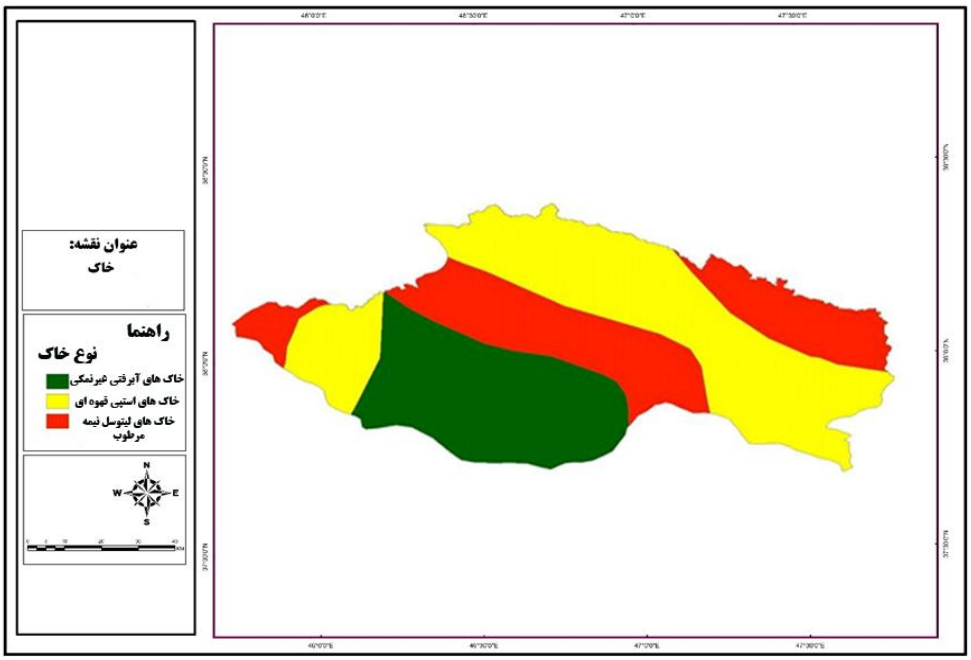
ویژگی‌های فیزیکی خاک تأثیر زیادی در ظرفیت نفوذ می‌گذارد و سبب می‌شود که ذرات خاک از هم جدا شده و حمل شوند (Schwab et al., 1993: 92). در اثر باران ثابت برخی از خاک‌ها با سهولت بیش‌تری نسبت به خاک‌های دیگر فرسوده می‌شوند که ناشی از ماهیت متفاوت آن‌ها است که به فرسایش‌پذیری خاک معروف است و به خصوصیات ذاتی خاک بستگی دارد (Refahi, 2003). تعیین امتیاز فاکتور خاک برای هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه از طریق رابطه (۲) $X2=16/67K$ که در آن X2 امتیاز عامل رسوب‌دهی خاک و K ضریب فرسایش خاک در فرمول جهانی فرسایش می‌باشد، محاسبه می‌گردد (شکل ۳). طبق محاسبات انجام گرفته عامل خاک در مدل اصلاح-شده پسیاک در حوضه آجی‌چای ۵/۳ به‌دست آمده است (جدول ۳).



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی حوضه

Figure 2: Geological map of the basin

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025



شکل ۳: نقشه پراکنش ضریب فرسایش خاک (K)

Figure 3: Soil erosion coefficient distribution map (K)

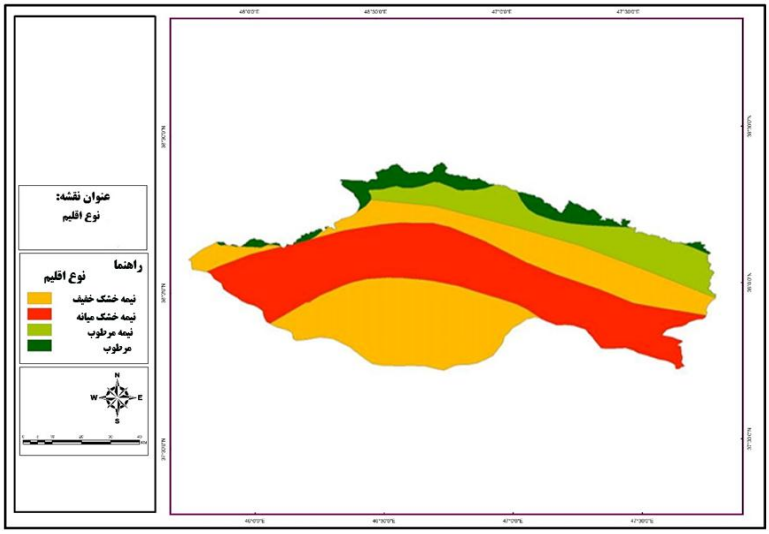
عامل آب‌وهوا

عامل اصلی فرسایش آبی خاک که شامل جدایی ذرات و متعاقبا انتقال آن‌ها می‌باشد، ذرات باران و رواناب است. (Cook and Durkamp, 1998) عامل آب‌وهوا در هر یک از زیرحوضه‌ها از طریق رابطه‌ی (3) X3=0/2P 3 که در آن X3 امتیاز عامل آب‌وهوا و P2 مقدار بارندگی ٦ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال برحسب میلی‌متر می‌باشد. طبق محاسبات، بر روی داده‌های هواشناسی ایستگاه اهر میزان بارندگی ٦ ساعته با دوره بازگشت دوساله برای حوضه آجی چای حدود ۵۸/۷۰ میلی‌متر می‌باشد که با قرار دادن آن در رابطه‌ی فوق امتیاز عامل آب‌وهوا ۳/۲۵ تعیین شد (جدول ۳).

عامل رواناب

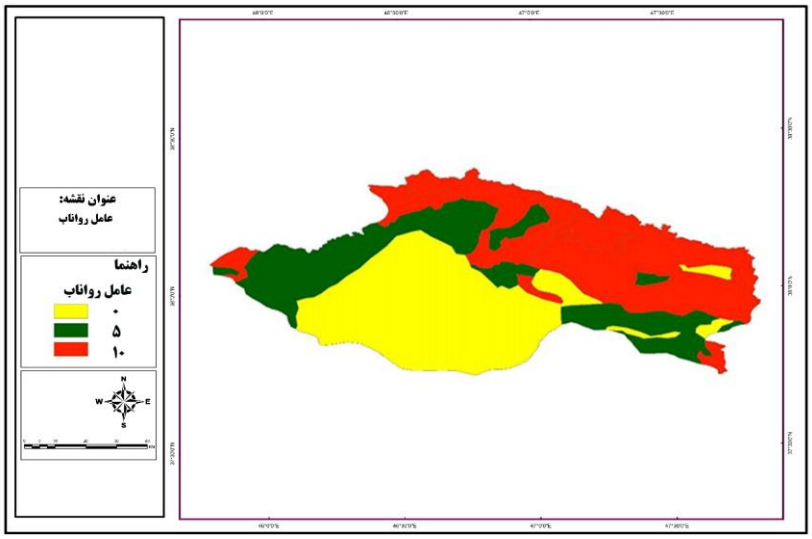
در مطالعه اثر رواناب بر روی فرسایش می‌توان خصوصیات هیدرولوژیک حوضه مانند دبی ویژه سیلاب‌ها، دبی ویژه با دوره‌های بازگشت مختلف، شدت طغیان، تداوم و تکرار طغیان‌ها و یا هر خصوصیتی که باعث شناخت هر چه بیش‌تر این عامل و تأثیر آن بر روی فرسایش و تولید رسوب گردد را بررسی نمود. امتیاز عامل رواناب از رابطه (٤) X4=0/2 (0/0/3+50QP)=0/006R+10QP که در آن X4 امتیاز عامل رواناب، R ارتفاع رواناب برحسب میلی-متر و Qp دبی ویژه پیک برحسب متر مکعب بر ثانیه در هر کیلومتر مربع می‌باشد، به‌دست می‌آید (جدول ۳).

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025



شکل ٤: نقشه خطوط همباران حوضه

Figure 4: Isohypes map of the basin



شکل ٥: نقشه شبکه هیدرولوژیکی حوضه

Figure 5: Hydrological network map of the basin

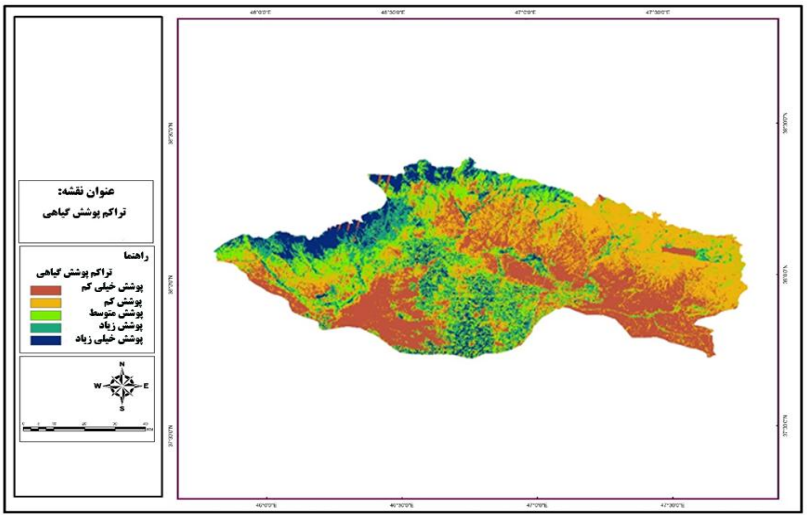
عامل پستی و بلندی

فرسایش معمولا در شیب‌های تند که دارای طول زیادی نیز می‌باشند، افزایش می‌یابد. دلیل این امر اضافه شدن مقدار و سرعت رواناب و همچنین افزایش نقش قطرات باران در ایجاد فرسایش می‌باشد. عامل پستی و بلندی در مدل اصلاح شده پسیاک در هر یک از زیرحوضه‌های آبخیز از طریق رابطه (٥) X5=0/33S که در آن X5 درجه رسوب-دهی و S شیب متوسط حوضه برحسب درصد می‌باشد، تعیین می‌شود. جهت برآورد دقیق این عامل با استفاده از نقشه شیب حوضه مورد مطالعه و کلاسه‌بندی آن امتیاز ٦/٨ به این عامل اختصاص یافته است (جدول ٣).

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

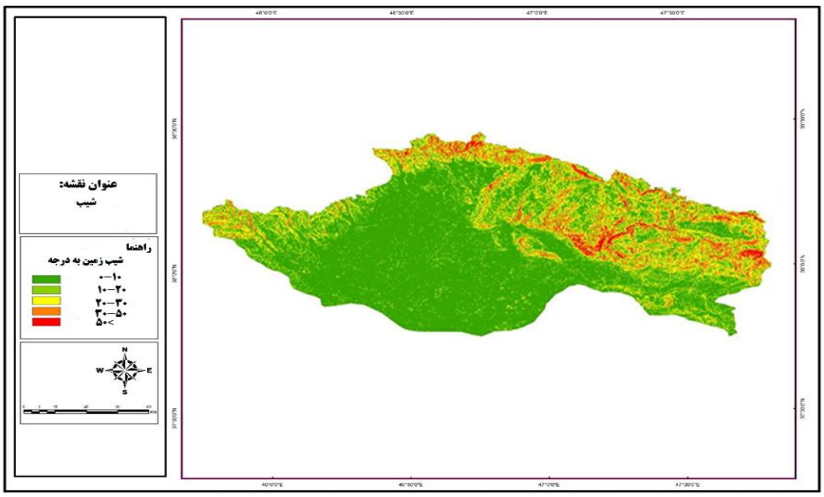
عامل پوشش زمین

منظور از پوشش زمین عبارتست از هرگونه پوششی که خاک را در برابر عوامل فرساینده مانند قطرات باران، رواناب و باد حفاظت نماید. تعیین امتیاز پوشش از طریق رابطه (٦) X6=0/2pb که در آن X6 امتیاز عامل پوشش زمین و pb نشان‌دهنده‌ی درصد اراضی لخت و فاقد پوشش‌گیاهی می‌باشد. طبق محاسبات انجام شده امتیاز عامل پوشش زمین در کل حوضه ۳/۵ به‌دست می‌آید (جدول ۳).



شکل ٦: نقشه پوشش گیاهی حوضه

Figure 6: Basin vegetation map



شکل ۷: نقشه مدل ارتفاع رقومی حوضه

Figure 7: Digital elevation model map of the basin

عامل کاربری اراضی

نحوه استفاده از زمین در افزایش حاصل‌خیزی خاک‌ها یا از بین رفتن آن‌ها بسیار مؤثر می‌باشد (Rjaee, 1994). برای تعیین امتیاز عامل کاربری معمولا دو معیار یکی عملیات کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبخیز و دیگری وضعیت

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

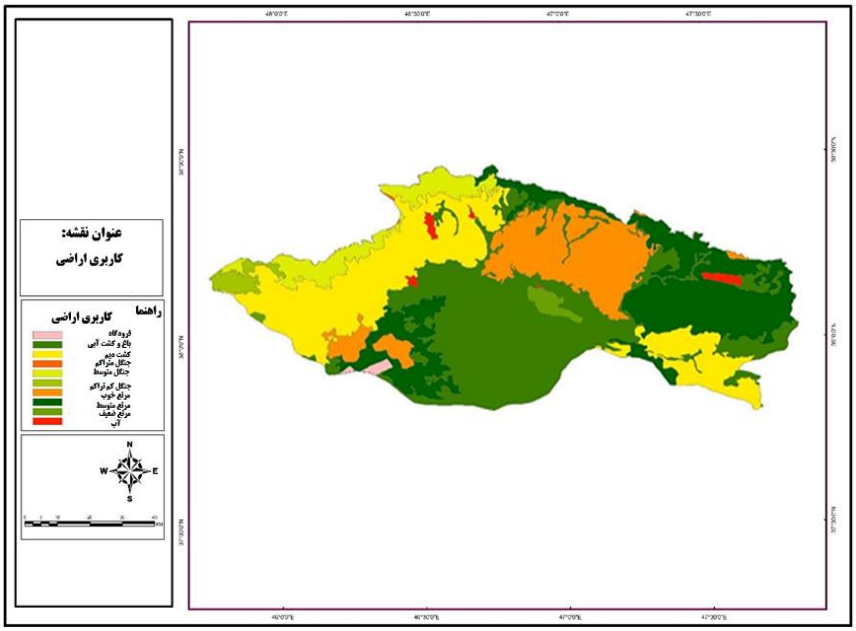
چرای دام مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تعیین امتیاز استفاده از اراضی از طریق رابطه (۷) X7=20-0/2PB که در آن X7 امتیاز درجه رسوب‌دهی عامل کاربری اراضی و PB مقدار تاج پوشش برحسب درصد می‌باشد. امتیاز کاربری اراضی در حوضه ۵/۷۶ به‌دست آمده است (جدول ۳).

عامل وضعیت فرسایش فعلی در سطح حوضه

برای بررسی این عامل در تولید رسوب، فرسایش سطحی موجود در حوضه آبخیز مانند فرسایش بارانی، فرسایش ورقه‌ای، فرسایش شیاری و فرسایش خندقی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تعیین امتیاز فرسایش سطحی حوضه در مدل اصلاح شده پسیاک از رابطه (۸) X8=0/25SSF که در آن X8 امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش و SSF امتیاز عامل سطحی خاک است که با استفاده از روش BLM[4] (اداره مدیریت اراضی) به‌دست می‌آید.

عامل فرسایش رودخانه‌ای

آخرین عامل در فرسایش خاک مدل امپسیاک فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب می‌باشد که نتیجه شستشو، زیربری و تخریب دیواره‌ای آبراهه توسط جریان آب می‌باشد و در مواقع سیلابی با توجه به بالا رفتن میزان مواد درشت دانه جریان آب بر شدت آن افزوده می‌شود. تعیین امتیاز برای عامل فرسایش رودخانه‌ای از طریق رابطه (۹) X9=1/67SSF.g که در آن X9 امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و SSF.g نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM است، محاسبه می‌گردد. امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای برای کل حوضه ۲/٤٤ به‌دست آمده است (جدول ۳).



شکل ۸: نقشه مدل ارتفاع رقومی حوضه آبخیز آجی چای

Figure 8: Digital elevation model map of Aji Chay watershed

4- Bureau of Land Management

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

امتیاز ۹ عامل در مدلMPSIAC با استفاده از روابط موجود در هر واحد کاری تعیین گردیده، در نسبت مساحت آن ضرب شده و با هم جمع امتیازهای به‌دست آمده میزان درجه رسوب‌دهی (R) کل حوضه مورد مطالعه به‌دست آمد. با قرار دادن میزان R در رابطه زیر

QS=38/77e0/0353R

QS= میزان رسوب‌دهی سالانه برحسب مترمکعب بر کیلومترمربع در سال (مجموع بار کف و معلق)

R= درجه رسوب‌دهی (مجموع نمرات در نظرگرفته شده)

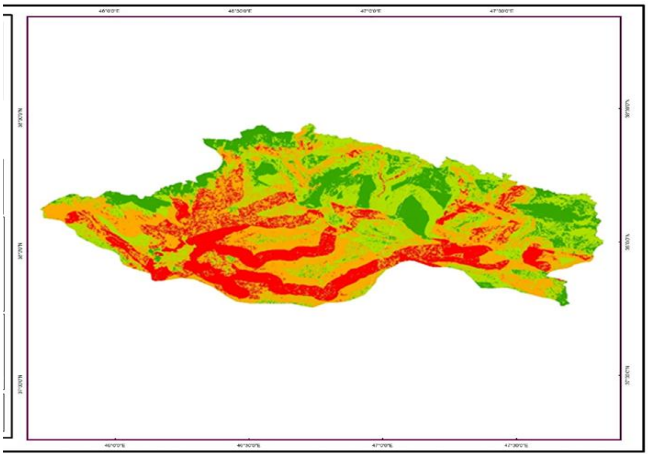
e= عدد نپر تقریبا برابر ۲/۷۱۸

مقدار رسوب ویژه برآورد گردید. با ضرب نمودن مقدار رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در هکتار در وزن مخصوص ذرات رسوب به طور متوسط (۱/۵) مقدار رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال به‌دست آمد و با استفاده از جدول (۲) شدت رسوب‌دهی و کلاس فرسایش منطقه مورد مطالعه مشخص شد، سپس با استفاده از عملیات هم‌پوشانی در محیط GIS رابطه فوق در میزان رسوب‌دهی هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه گردیده است (جدول ٤) و نقشه‌ی میزان رسوب در حوضه در شکل (۹) ترسیم شده است.

جدول ۲- تعیین میزان تولید رسوب سالانه و کلاس فرسایش در روش MPSIAC

Table 2- Determination of annual sediment production and erosion class in MPSIAC method

کلاس فرسایش	شدت رسوب‌دهی	میزان رسوب به m3/km2/yr	نمرات شدت رسوب‌دهی
V	خیلی زیاد	>۱٤۲۹	>۱۰۰
IV	زیاد	٤۷٦-۱٤۲۹	۷۵-۱۰۰
III	متوسط	۲۳۸-٤۷٦	۵۰-۷۵
II	کم	۹۵-۲۳۸	۲۵-۵۰
I	خیلی کم	<۹۵	۰-۲۵



شکل ۹: نقشه برآورد فرسایش به روش MPSIAC در حوضه آبریز آجی‌چای

Figure 9: Erosion estimation map by MPSIAC method in Aji Chay catchment

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

جدول ۳- امتیاز عوامل نه‌گانه در واحدهای هیدرولوژیک حوضه آجی‌چای

Table 3- Score of nine factors in the hydrological units of Aji Chai basin

عامل / زیرحوضه	زمین‌شناسی سطحی	خاک	آب‌وهوا	رواناب	توپوگرافی	پوشش زمین	کاربری اراضی	فرسایش سطحی	فرسایش رودخانه‌ای	مجموع امتیازات y
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	
DK1	٦/٢٤	٥/٣	٣	٤/٥	٦/٦	٢	٣/٢	٣/٤	٢/٢٣	٣٧/٧٧
DK 2	٧/٢	٧	٣/١	٤/٢	٦/٧	٤/١	٦/١	٣/٦	٢/٥	٤٤/٥٠
DK 3	٤/٥	٣/٧	٣/٧	٣/٦	٧/١	٤/٤	٨	٣/٨	٢/٦	٤١/٤٠
کل‌حوضه	٥/٩٨	٥/٣	٣/٢٥	٤/١	٦/٨	٣/٥	٥/٧٦	٣/٦	٢/٤٤	٤٠/٧٣

جدول ٤- محاسبه ضریب رسوب‌دهی و تولید رسوب با استفاده از روش MPSIAC در زیر حوضه‌ها

Table 4- Calculation of sedimentation coefficient and sediment production using MPSIAC method in sub-basins

زیر حوضه	R	کلاس فرسایش	مساحت (ha)	مساحت (km2)	رسوب		
					M3/km2/y	Ton/h/y	Ton/y
DK1	٨٢/١٦	زیاد	٤٩٥٣٤/٠٢	٤٩٥/٣٤	٧٠٤/٧٨٦	١٠/٥٧	٥٢٣٧١٨/٢٤
DK 2	٨٦	زیاد	٩٩٩٦٥/٧٦	٩٩٩/٦٥	٨٠٧/٠٩٩	١٢/١١	١٢١١٥٧٠/٠١
DK 3	٨٦/٧١	زیاد	٩٨٤٦	٩٨/٤٦	٨٢٧/٥٨٣	١٢/٤١	١٢٢٢٦٢/٢١
کل‌حوضه	٨٤/٨٥	زیاد	١٥٩٣٤٥/٧٨	١٥٩٣/٤٥	٧٧٤/٩٩١	١١/٦٢	١٨٥٢٣٧٣/١٨

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت حوضه انتخابی که یکی از بزرگ‌ترین زیر حوضه‌های چندین سد می‌باشد و مقدار بار رسوبی حاصل از فرسایش خاک این حوضه مشکلات فراوانی را برای سد مذکور ایجاد می‌نماید لذا جهت اتخاذ تدابیر مدیریتی و حفاظت محیط پیرامون این سدهای بزرگ ضرورت برآورد مقدار فرسایش رسوب این حوضه را مشخص می‌نماید. روش مورد استفاده در این تحقیق مدل تجربی MPCIAC با تاکید بر ۹ عمل تاثیرگذار ژئومورفولوژیکی می‌باشد که با توجه به جدول (۳) امتیاز کلیه عوامل محاسبه گردیده است. درجه رسوب‌دهی حوضه برابر ٨٤/٨٥ می‌باشد که با قرار دادن در رابطه QS=38/77e0/0353R مقدار رسوب ویژه طبق جدول (٤) برای کل حوضه برابر ٧٧٤/٩٩١ متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد که با احتساب وزن مخصوص رسوب برابر ١/٥ میزان رسوب برابر ١١/٦٢ تن بر هکتار در سال و وزن مواد رسوبی در سال برابر ١٨٥٢٣٧٣/١٨ تن

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

می‌باشد. بر اساس جدول (۲) مشخص گردید که حوضه آبخیز آجی‌چای از نظر فرسایش و تولید رسوب در حد بالایی قرار دارد. همچنین از لحاظ شدت فرسایش و تولید رسوب برابر جدول کلاس‌بندی مدل MPCIAC مابین ۱٤۲۹–٤۷٦ در کلاس فرسایشی دوم و از نظر درجه‌بندی کیفی فرسایش در درجه زیاد قرار دارد. با توجه به وضعیت موجود یکی از دلایل عمده و به وجود آورنده فرسایش کمبود و فقر پوشش گیاهی، استفاده بیش از اندازه از زمین، چرای مفرط مراتع توسط دامداران، شخم زدن غیراصولی زمین در سطح وسیع و سایر موارد می‌باشد. لذا برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در این منطقه بسیار ضروری می‌باشد؛ و همچنین با انجام اقداماتی از قبیل آموزش کشاورزان و دامداران با شخم زدن صحیح و کاهش چرای دام‌ها در مراتع ضعیف از لحاظ پوشش گیاهی، کاشت بوته و درختچه‌های بومی در مناطق شیب‌دار و اعمال تراس‌بندی در شیب‌های تند می‌توان تا حدودی از فرسایش خاک این مناطق جلوگیری نمود.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

References

- Abdollahzadeh, Y., Abdollahzadeh, K., (2006), "***Statistics and probability***", Tehran; Aliz Publications. [In Persian].
- Ahmadi, H., (1997), "***Applied geomorphology***", Tehran: Tehran University Press. [In Persian].
- Ahmadzadeh, H., (2005), "Modeling of erosion and sedimentation of Qala-e-Chay Ajabshir watershed", M. Sc. Thesis, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz. The Modeling of Erosion and Sedimentation in Ghalea Chai Drainage Basin By the Use of Satellite Data in GIS Environment. [In Persian].
- Alizadeh, A., (1374), "***Principles of applied hydrology***", Mashhad: Imam Reza University Press. [In persian].
- Bagherzadeh, K., (1373), "***Investigation of the efficiency of erosion and sediment models and remote sensing and GIS techniques in soil erosion studies***", Arsh bachelor's thesis, Tarbiat Modares University.
- Cook, R. U., Dorkamp, G. C., (1998), "***Geomorphology and environmental management***", translated by shapur Goodarzinejad, Volume I, Samat pub: Tehran. [In Persian].
- Eivazi, J., (1373), "***Geomorphology of Iran***", Tehran: Payame Noor Pub. [In Persian].
- El. Swaify, S. A., (1994), "***State of the art for assessing soil and water conservation nedds)***", Adopting conservation on the farm, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, pp.13-27.
- Faiznia, S., (1374), "Resistance of rocks to erosion in different climates of Iran", ***Iranian Journal of Natural Resources***, 47: 95-116. [In Persian].
- Forster, G. R., (2002), "***Modeling soil erosion, and sediment yield***", Soil research methods, New you, Soil, and water conservation society, U. S. A.
- Frederick, R., Troeh, J., Arthur, H, Roy, L. D., (1991), "***Soil and water conservation***", Prentice-Hall: New Jersey.
- Ghahroudi Tali, M., (2013), "Modeling sediment estimation in Lar basin", PhD Thesis, Faculty of Humanities, University of Tehran. [In Persian].
- Ghahroudi Tali, M., Thorati, M. R., (2005), "Application of metadata (GIS metadata) in integrated coastal management", ***Journal of Geography and Regional Development***, 5: 201-220. [In Persian].
- Ghazavi, R., Vali Abbas, A., Maghami, Y., Abdi, J., Sharafi, S., (2012), "Comparison of EPM, MPSIAC and PSIAC models in estimating erosion and sediment using GIS", ***Geography and Development***, (10) 27: 117-126. [In Persian].
- Glymph, L. M., (2004), "***Evolving emphases in sediment-yield predictions. Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources***", Proceedings of the Sediment-Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory: Oxford.
- Johnson, C. W., Karl A. G., (2005), "***Predicting sediment yields from Sagebrush ranges. proceeding of Workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands***", Tuscson: Arizona, pp. 129-144.
- Johnson, C. W., Gebhardt, K, A., (1982), "***Predicting sediment yields from rangelands. In proceedings of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands***", Tucson: Arizona.
- Kordvani, P., (1374), "***Geography of soils***", Tehran", Payame Noor Pub. [In Persian].

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 15:06 IRST on Tuesday December 2nd 2025

- Logan, T. J., Urban D. R., Adams, J. R., Yakisch, S. M., (1982), "Erosion control potential with conservation tillage in the lake erie basin, Estimates using the universal soil loss equation and Land Resource Information System (LRIS)", ***Journal of Soil and water conservation***, 37: 50-55.
- Mahmoudi, F., (1374), "***Construction geomorphology***", Tehran: Payame Noor Pub. [In Persian].
- Natural Resources Consultation Engineers (NRCE), (1992), "***Watershed management studies of Damavand***", Ministry of Construction: Tehran.
- Oskooi, R., (1996), "***Calibration of modified PSYAC method for quantitative sediment estimation in West Azerbaijan watersheds***", research design, page 140. [In Persian].
- Pacific Southwest Inter-Agency Committee, (1968), "***Report on factors affecting sediment yield in the pacific southwest area and selection and evaluation of measures for the reduction of erosion and sediment yield***", Water Management Subcommittee, Sedimentation Task Force.
- Pimental, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., shpritz, L., Saffouri, R., Blair, R., (1995), "Environmental costs of soil erosion and conservation benefits, ***Science***, 267: 1117-1123.
- Qanavati, E., (1992), "Hydrogeomorphological modeling of flood and sediment (Case study of Venus and Khairabad)", PhD Thesis; Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University. [In persian].
- Rajaei, A., (1994), "***Application of geomorphology in AMA and environmental management***", Tehran: Qoms Pub. [In Persian].
- Refahi, H., (2004), "***Water erosion and its control***", Tehran: University of Tehran Press. [In persian].
- Singh, V. P., (2005), "***Elementary hydrology***", Prentice-Hall Inc: New Jersey.
- Tahmasbipour, N., (1994), "Application and evaluation of PSYAC new model for erosion and sedimentation map in Jajroud watershed using satellite and GIS images", M. Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University. [In Persian].
- Tahmasebipour, N., (1994), "Study of modified PSYAC method and its comparison with sediment measurement stations in Jajroud watershed (Lavark)", M. Sc. Thesis, Faculty of natural resources Tarbiat Modares University. [In Persian].
- Talebond, Y., (1998), "Analysis of effective factors in soil erosion", M. Sc. Thesis, Faculty of Literature and Humanities, University of Isfahan. [In Persian].
- Wanielista, M. P., Yousef, A., (1993), "***Storm water management***", John Wiley and Sons Inc., Toronto, Canada.