

پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوزه آبخیز گل‌آباد اصفهان با استفاده از مدل MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی

مجید محمودآبادی^۱، امیرحسین چرخابی^۲، حسینقلی رفاهی^۳ و منوچهر گرجی^۴
۱، ۳، ۴، دانشجوی دکتری، استاد و استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲، استادیار پژوهشی، پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۹/۴

خلاصه

در میان فرایندهای مختلف تخریب اراضی، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای حفاظت منابع خاک و آب کشورمان می‌باشد. در این تحقیق، پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوزه آبخیز گل‌آباد اردستان با استفاده از مدل تجربی MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. حوزه آبخیز گل‌آباد با مساحت ۵۸۲/۷ کیلومتر مربع در شمال شرق اصفهان واقع شده است. ارتفاع این حوزه بین ۱۶۵۳ تا ۲۹۴۷ متر بالاتر از سطح دریا متغیر است. به علت تنوع زمین شناسی، اشکال مختلف زمین، کاربری نامناسب اراضی و پوشش پراکنده گیاهی، فرسایش در این حوزه متأثر از عوامل متعددی است. با امتیازدهی عوامل مدل با استفاده از داده‌های صحرایی، نقشه و گزارش‌های مربوطه، ۹ لایه اطلاعاتی در محیط GIS با استفاده از نرم افزار ILWIS, 3. Academic تهیه شد. از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM⁺ برای تصحیح نقشه واحدهای اراضی استفاده گردید. نتایج مدل نشان داد که تولید رسوب حوزه بین ۲۶۳/۳ تا ۴۹۶/۹ متغیر و به‌طور متوسط ۳۵۶/۴ تن در کیلومتر مربع در سال است. همچنین حداقل، حداکثر و متوسط شدت فرسایش به ترتیب ۸۷۷/۷، ۱۶۵۶/۳ و ۱۱۸۸/۰ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد. نتایج حاکی از آن است که واحدهای اراضی 1-2 و 4-2 (تپه‌ها) به ترتیب با ۴/۷ و ۵/۶ کیلومتر مربع مساحت (۱/۸ و ۲/۱۱ درصد از وسعت کل حوزه) بیشترین میزان حساسیت را به فرسایش و تولید رسوب دارند. نتایج مقدماتی بررسی کارایی مدل نشان می‌دهد که برای حوزه‌های بدون آمار خشک و نیمه‌خشک ایران قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر فرسایش، تولید رسوب، مدل MPSIAC، سامانه اطلاعات

جغرافیایی، ETM⁺، حوزه گل‌آباد

مقدمه

فرسایش دارند (۱۲). شناخت و کمی نمودن تغییرات فرسایش خاک در جهت پیشرفت این علم، ارزیابی مدل‌ها و طراحی آزمایش‌های مربوط به آن ضروری است. فرسایش در مقیاس حوزه، متنوع و ناهمگن بوده و در نتیجه ارزیابی آن مشکل است (۱۵). این مشکل با استفاده از مدل‌های برآوردکننده فرسایش

برآوردهای صحیح از خطر فرسایش در بهبود توصیه‌های مدیریت اراضی نقش مهمی دارد (۲۰). رواناب سطحی و فرسایش خاک تهدیدهای اصلی برای کشاورزی پایدار بوده و سازمان‌های ملی و بین‌المللی توجهی ویژه برای تهیه نقشه خطر

مواد و روش‌ها

خصوصیات حوزه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گل‌آباد اردستان با مساحت ۵۸۲/۷ کیلومتر مربع در شمال شرق اصفهان و در محدوده جغرافیایی ۵۶' و ۵۱' تا ۱۴' و ۵۲' طول شرقی و ۰۱' و ۳۳' تا ۲۲' و عرض شمالی، معادل با ۵۸۷۲۱۱ تا ۶۱۵۵۸۵ متر شرقی و ۳۶۹۲۶۷۲ تا ۳۶۵۴۰۶۷ متر شمالی در سیستم UTM واقع شده است (شکل ۱). در داخل حوزه، هیچ‌گونه ایستگاه هواشناسی وجود نداشته و آماری از وضعیت آب و هوایی آن در دست نیست. نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به حوزه گل‌آباد، اردستان و نطنز می‌باشند. متوسط دما و بارندگی سالانه در ایستگاه اردستان به ترتیب ۱۶/۹ درجه سانتیگراد و ۱۱۴/۹ میلیمتر، و در ایستگاه نطنز به ترتیب ۱۳/۸ درجه سانتیگراد و ۱۳۱/۴ میلیمتر است (۷). پوشش گیاهی حوزه با توجه به میزان بارش و توزیع آن و همچنین چرای بی‌رویه و تغییر کاربری مراتع به دیمزار و رهاسازی این زمین‌ها در وضعیت بدی قرار دارد. شرایط مناسب از نظر حرارت و رطوبت برای تکامل خاکها فراهم نبوده، بارندگی کم و غالباً شدت بالایی داشته که بر میزان فرسایش می‌افزاید لذا، خاکهای این حوزه تکامل پروفیلی کمی داشته و فقط در برخی قسمت‌های کوهپایه‌ای علاوه بر افق سطحی اکریک، افق کلسیک نیز دیده می‌شود. رده‌بندی خاکهای حوزه غالباً اریدی‌سول و انتی‌سول است. حوزه مورد مطالعه با توجه به نقشه قابلیت و منابع اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (شکل ۲) شامل چهار تیپ کوه، تپه، فلات (هر کدام شامل سه واحد اراضی) و واریزه‌های بادبزنی شکل (شامل دو واحد اراضی) می‌باشد (۸). تنوع سنگ‌شناسی و رسوبات، عوامل زمین‌ساختی همچون چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی و همچنین فرسایش طبیعی، از جمله عوامل مؤثر در ایجاد اختلاف ارتفاع و شکل‌گیری ریخت‌شناسی حوزه است. سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری و سنگ‌های نفوذی، ارتفاعات عمده‌ای را در بخش میانی و قسمتی از غرب حوزه تشکیل داده‌اند (۱۰).

تا اندازه‌ای قابل حل است (۱۴). تدوین و اجرای مؤثر برنامه‌های کنترل فرسایش، نیاز به درک کامل فرایندهای فرسایش خاک، دقت در اندازه‌گیری و برآورد شدت آن، شناخت عمیق مسأله و در نهایت کنترل علمی آن دارد (۱۹). از آنجایی که، این پدیده حاصل اثرات متقابل مجموعه عواملی است که در طول زمان و مکان تغییر می‌کنند، هیچ مدل ساده‌ای وجود ندارد که بتواند تمام این عوامل را مورد بررسی قرار دهد (۱۲). قبل از اجرای طرح‌های حفاظتی، لازم است که سیمای فرسایش هر حوزه و عوامل کنترل کننده آن مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس پهنه‌بندی خطر فرسایش، اولویت‌های حفاظتی و مدیریتی اعمال شود. در این راستا، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS^۱ در بررسی رواناب و انتقال رسوب در حوزه‌ها پتانسیل قابل توجهی را عرضه می‌کند (۱۸).

مدل PSIAC^۲ در سال ۱۹۶۸، توسط زیرکمیته مدیریت آب آمریکا برای محاسبه شدت تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالت متحده ارائه شد و برای اولین بار در یک حوزه آبخیز تحقیقاتی به نام والنات گالچ^۳ واقع در جنوب شرق ایالت آریزونا مورد آزمایش قرار گرفت (۱۶). این مدل اولین بار در ایران در سال ۱۳۵۲، در حوزه آبخیز سد دز استفاده شد (۳). مدل مذکور توسط جانسون و گبهارت^۴ مورد تجدید نظر قرار گرفت که تحت عنوان مدل MPSIAC در حوزه‌های مشابه استفاده می‌شود (۱۳). تحقیق حاضر در حوزه آبخیز گل‌آباد اردستان که مسأله فرسایش و بروز سیلاب از معضلات آن است، با هدف بررسی خطر فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC و با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای در جهت توسعه پایدار انجام شده است.

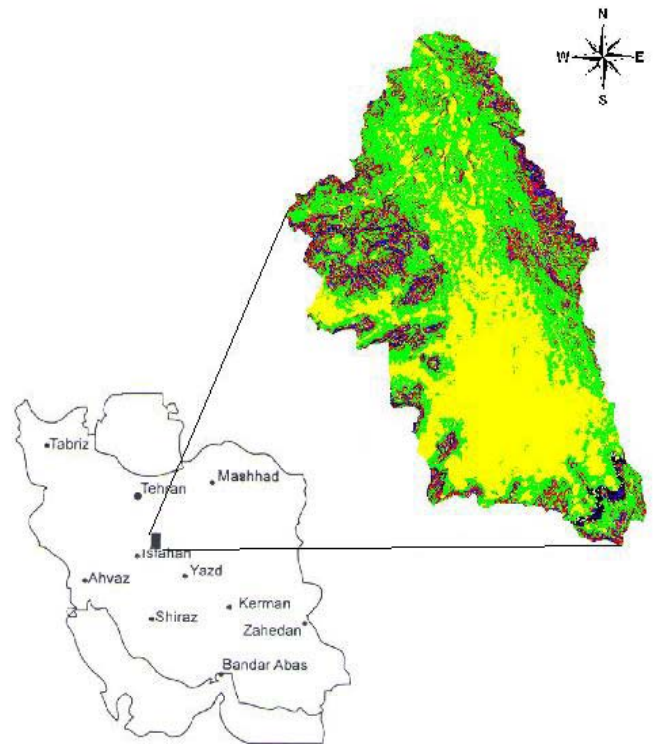
1. Geographical Information System(GIS)
2. Pacific Southwest Inter - Agency Committee (PSIAC)
3. Walnut Gulch
4. Johnson & Gebhardt

بررسی مدل

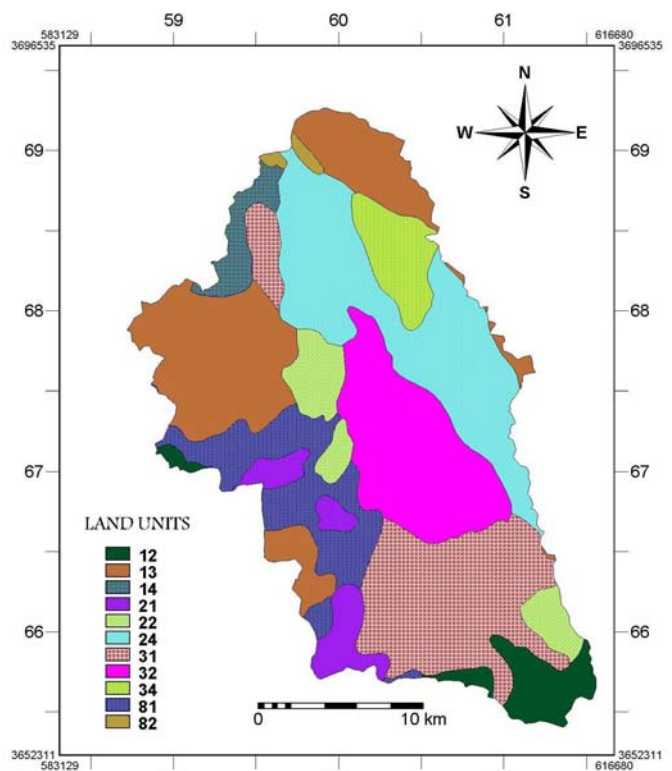
با توجه به اینکه در هیچ کدام از زیرحوزه‌ها و رودخانه‌های فرعی و یا واحدهای هیدرولوژیکی، شبکه اندازه‌گیری و ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد، لذا، بایستی از روشی تجربی که با وسعت قلمرو مطالعاتی، شرایط طبیعی موجود، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز و عمق و دقت مطالعه متناسب باشد، استفاده نمود. بدین منظور، جهت بررسی میزان و شدت فرسایش خاک از مدل MPSIAC که متداول‌ترین روش تجربی برای تخمین مقدار تولیدی رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور می‌باشد، استفاده شد.

تعیین محدوده مطالعاتی حوزه و واحدهای کاری

در اولین گام برای تعیین محدوده مطالعاتی و مشخص کردن مرز حوزه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و همچنین عکس‌های هوایی منطقه استفاده گردید (۹). در این تحقیق عملیات GIS با استفاده از نرم‌افزار الویس^۱ نسخه ۳ آکادمیک انجام شد. نرم افزار الویس سامانه تلفیق اطلاعات آب و اراضی است که قابلیت پردازش تصاویر ماهواره‌ای را نیز دارد. این نرم‌افزار توسط مؤسسه بین‌المللی نقشه‌برداری هوایی و علوم زمینی (ITC) در سال ۱۹۸۵ پایه‌ریزی شده است (۲۲). تمام مراحل اجرای مدل اعم از تهیه، تلفیق و تفسیر داده‌ها با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد. با رقومی نمودن مرز حوزه در سامانه مذکور از آن به عنوان قالبی برای تمام مراحل پردازش داده‌ها استفاده گردید. همچنین از تصویر ماهواره‌ای (سال ۲۰۰۰ میلادی) سنجنده^۲ ETM⁺ مربوط به ردیف ۱۶۳ و گذر ۳۷ به صورت زمین مبنای^۳ استفاده شد. با توجه به جدول همبستگی، باندهای ۱، ۵ و ۷ کمترین همبستگی را با یکدیگر داشتند لذا، ترکیب رنگی از آنها ساخته شد. برای انتخاب واحدهای همگن در حوزه، نقشه واحدهای اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ مبنای قرار داده شد (۸). پس از رقومی کردن این واحدها بر روی تصویر رنگی ماهواره‌ای انداخته شد. به خاطر اینکه واحدهای نقشه با



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز گل‌آباد بر روی نقشه ایران



شکل ۲- نقشه واحدهای اراضی حوزه آبخیز گل‌آباد (۸)

1. Integrated Land and Water Irrigation System (ILWIS)
2. Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM⁺)
3. Georeference

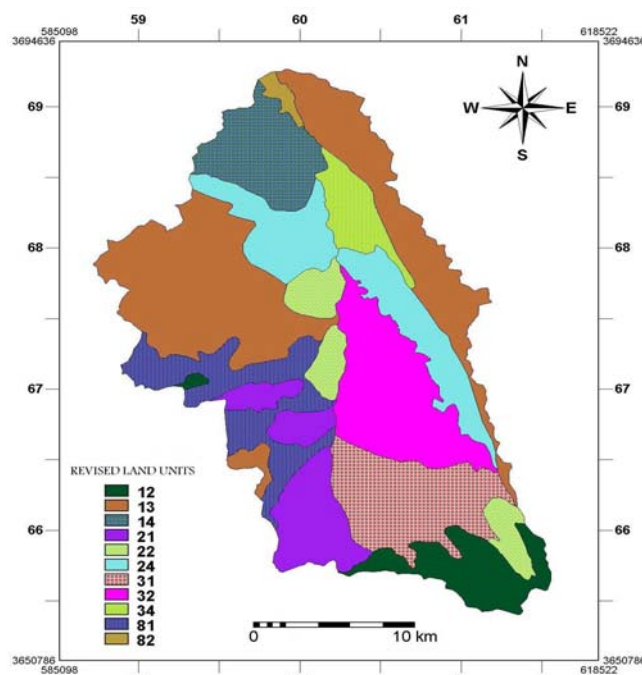
علت وجود مقدار زیاد سنگریزه، کلاس نفوذپذیری خاک بایستی اصلاح شود. در صورتی که، درصد وزنی بخش سنگریزه بزرگتر از دو میلیمتر (RW) و همچنین، هدایت آبی اشباع بخش ریز کوچکتر از دو میلیمتر (Kf) را داشته باشیم، از طریق معادله زیر می‌توان هدایت آبی اشباع توده خاک حاوی سنگریزه (Kb) را بدست آورد (۱۷).

$$K_b = (1 - R_w)(K_f) \quad (1)$$

برای تعیین عامل آب و هوا نیاز به بارندگی شش ساعته با دور بازگشت دو سال است. به دلیل عدم وجود آمار بارندگی درون منطقه‌ای، با استفاده از فرمول وزیری (۱۱) برای منطقه پنج کشور میزان این عامل محاسبه شد. عامل رواناب سطحی تابعی از ارتفاع رواناب و دبی ویژه اوج است. از آنجایی که آمار بارندگی و دبی حوزه و زیرحوزه‌ها وجود نداشت لذا، این دو عامل به طور غیرمستقیم تعیین شدند. مهدوی (۱۳۸۰) در همین حوزه، با همپوشانی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و نقشه کاربری اراضی، نقشه CN را تهیه نمود (۵). ایشان با استفاده از آمار ایستگاه‌های مجاور، دقت بیشتر روش CN را نسبت به روش استدلالی ابراز داشت (۵). در ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و خطوط آبراهه، کل حوزه به ۹ زیرحوزه تقسیم شد. با داشتن عدد منحنی و در نظر گرفتن حداکثر بارندگی روزانه ۳۰ میلیمتر با توجه به آمار ایستگاه‌های مجاور، ارتفاع رواناب از روش عدد منحنی (CN) محاسبه گردید (۶).

در مرحله بعد با رقومی نمودن آبراهه اصلی در هر زیرحوزه و محاسبه طول و درصد وزنی شیب هر یک و همچنین مساحت و زمان تمرکز هر زیرحوزه، دبی ویژه اوج از روش SCS و فرمول ماکوس بدست آمد (۶). با استفاده از نقشه توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ منطقه (۹) خطوط توپوگرافی با فواصل ارتفاعی ۲۰ متر رقومی شد که با درون‌یابی این خطوط، نقشه‌های شیب و مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه تهیه گردید.

واحدهای تفکیک‌شده از تصویر ماهواره‌ای همخوانی نداشت بنابراین، برای اصلاح نقشه واحدهای اراضی از تصویر ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافی زمین مبنا شده، استفاده شد. واحدهای تصحیح شده به‌عنوان واحدهای همگن نهایی در مراحل تحقیق مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه واحدهای اصلاح شده اراضی حوزه آبخیز گل‌آباد.

تهیه و محاسبه عوامل نه‌گانه مدل

مدل MPSIAC نه عامل را در تولید رسوب در نظر می‌گیرد. این عوامل به‌صورت معادلات عددی مطابق جدول ۱ ارائه شده‌اند. عامل زمین‌شناسی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوط به منطقه تعیین گردید (۱۰). پس از رقومی سازی واحدهای سنگ‌شناسی، امتیاز حساسیت به فرسایش هر واحد بین صفر تا ۱۰ لحاظ شد که برای تعیین آن از امتیازدهی مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک و همچنین وضعیت سختی و هواپدیدی استفاده شد (۴، ۵). با برداشت نمونه خاک سطحی از عمق ۱۰ سانتیمتری از واحدهای اراضی مختلف و تعیین خصوصیات مورد نظر شامل سیلت و ماسه خیلی ریز، ماسه درشت‌تر از ۰/۱ میلی‌متر، ماده آلی، کلاس ساختمان و نفوذپذیری خاک، مقادیر فرسایش‌پذیری با استفاده از معادله ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) محاسبه گردید (۲۱). به

1. Curve Number(CN)

1. Interpolation

2. Digital Elevation Model (DEM)

جدول ۱- عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC و معادلات آنها (۱۲،۱).

عوامل مدل	معادله	شرح متغیرهای معادله
زمین‌شناسی سطحی	$Y1 = X1$	X1 : شاخص فرسایش زمین‌شناسی است و بر اساس نوع، سختی، شکستگی و هوادیدگی سنگ و با استفاده از گزارشات زمین‌شناسی تعیین می‌شود
خاک	$Y2 = 16.67 X2$	X2 : عامل فرسایش‌پذیری خاک در معادله جهانی فرسایش
آب و هوا	$Y3 = 0.2 X3$	X3 : مقدار باران شش ساعته با دور بازگشت دو سال بر حسب میلی‌متر
رواناب	$Y4 = 0.2 X4$	X4 : مجموع 0.3 برابر ارتفاع رواناب سالانه بر حسب میلی‌متر با 50 برابر شدت جریان حداکثر سالانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع
پستی و بلندی	$Y5 = 0.33 X5$	X5 : شیب بر حسب درصد
پوشش زمین	$Y6 = 0.2 X6$	X6 : درصد خاک لخت
کاربری اراضی	$Y7 = 20 - 0.2 X7$	X7 : درصد تاج پوشش
وضعیت فعلی فرسایش	$Y8 = 0.25 X8$	X8 : جمع هفت عامل مدل BLM
فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	$Y9 = 1.67 X9$	X9 : امتیاز عامل فرسایش خندقی در روش BLM

رسوبدهی یکسان، حدود دو برابر مقدار حاصل از معادله ۳ برآورد می‌شود. در این پژوهش با استفاده از معادله ۳ مقدار تولید رسوب در واحدهای مختلف اراضی حوزه برآورد شد. از آنجایی که میزان خاک فرسایش یافته برابر مقدار رسوب نیست، از نسبت تحویل رسوب (SDR) برای برآورد فرسایش استفاده شد. SDR نسبت تولید رسوب به میزان فرسایش است که با استفاده از مساحت واحدهای اراضی و بافت خاک تعیین و نقشه آن تهیه گردید (۳).

نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج امتیازهای عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC را با استفاده از معادلات جدول ۱ برای واحدهای مختلف اراضی نشان می‌دهد. حوزه گل‌آباد از تنوع زمین‌شناسی زیادی برخوردار است و در مجموع تعداد ۴۹ واحد سنگ‌شناسی در آن جدا شد. بخش عمده‌ای از جنوب، مرکز و غرب حوزه را سازندهای دوران چهارم تشکیل می‌دهند که حساسیت بالایی به فرسایش دارند. دامنه فرسایش‌پذیری (K) خاک‌ها بین 0.20 تا 0.44 و به‌طور متوسط 0.30 اندازه‌گیری شد. واحدهای اراضی 1-3 و 3-4 بیشترین مقدار عامل رواناب را و واحدهای اراضی 8-2 و 2-3 کمترین مقدار این عامل را نشان دادند. تهیه نقشه شیب و مدل ارتفاع رقومی نشان داد که 81% از مساحت حوزه،

مقادیر دو عامل پوشش زمین و کاربری اراضی با استفاده از نقشه پوشش اراضی و گزارش مربوطه (۲) تعیین شد. با امتیازدهی صحرائی وضعیت فعلی فرسایش از مجموع امتیازات هفت‌گانه در روش اداره مدیریت اراضی آمریکا (BLM) ارزیابی گردید. برای تعیین عامل فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب از امتیاز عامل هفتم (فرسایش خندقی) در روش مذکور استفاده شد.

تلفیق لایه‌های نه‌گانه مدل و تهیه نقشه رسوب

لایه مربوط به درجه رسوبدهی (R) در مدل MPSIAC از تلفیق لایه‌های نه‌گانه تهیه شد. با قرار دادن درجه رسوبدهی در رابطه زیر میزان تولید رسوب (Qs) سالانه مدل PSIAC بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع بدست می‌آید (۳).

$$Qs = 38.77 [EXP(0.0353R)] \quad (2)$$

در مدل PSIAC دو عامل پوشش و کاربری اراضی مقادیر منفی را نیز شامل می‌شوند حال آن‌که، در مدل MPSIAC این عوامل بین صفر و 20 متغیرند. لیفت (۱۳) با توجه به تغییراتی که در امتیازهای این دو عامل صورت گرفته است، معادله ۳ را برای برآورد رسوبدهی سالانه ارائه کرده است.

$$Qs = 0.253 [EXP(0.036R)] \quad (3)$$

که در آن Qs تولید رسوب مدل MPSIAC بر حسب تن بر هکتار و R جمع عوامل نه‌گانه مدل با استفاده از جدول ۱ است. میزان تولید رسوب با استفاده از معادله ۲ در مقادیر درجه

درجه رسوبدهی حوزه (R)

قسمت اعظم حوزه را درجه رسوبدهی متوسط و زیاد تشکیل داده‌اند که مبین لزوم توجه به وضعیت فرسایش و اعمال تدابیر حفاظتی است. جدول ۳ مقادیر R برای واحدهای اراضی مختلف را نشان می‌دهد. مقدار آن برای کل حوزه به‌طور متوسط ۷۳/۵ بدست آمد. حداقل و حداکثر آن بین ۶۵/۰۷ تا ۸۲/۷۱ متغیر است. واحدهای اراضی 3-2 و 3-1 حداقل و واحدهای 2- و 4-1 حداکثر آن را نشان دادند.

شیبی کمتر از ۲۵ درصد دارد. همچنین ۵۷ درصد از حوزه در کلاس ارتفاعی بین ۲۰۰۰ تا ۲۲۵۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار می‌گیرد. مقدار عامل کاربری اراضی در مورد تمام واحدها نسبتاً زیاد و نزدیک به یکدیگر است که علت آن را می‌توان به پوشش گیاهی ضعیف و تراکم عمومی کم در کل حوزه نسبت داد. واحدهای اراضی 2-1 و 2-4 بیشترین و واحدهای اراضی 3-1 و 3-2 کمترین مقادیر دو عامل وضعیت فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای را نشان دادند.

جدول ۲- نتایج امتیازهای عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC در واحدهای مختلف اراضی.

واحد اراضی	زمین‌شناسی	خاک	آب و هوا	رواناب	توپوگرافی	پوشش زمینی	کاربری اراضی	وضعیت فرسایش	فرسایش رودخانه‌ای
1-2	۵/۴	۷/۳۳	۳/۹۷	۰/۶	۹/۷۹	۶/۹۸	۱۷/۲	۱۱/۸	۱۱/۶۹
1-3	۵/۲	۳/۳۳	۳/۹۷	۲/۴۱	۹/۱۸	۸/۳۲	۱۶/۲	۱۳/۸	۱۱/۶۹
1-4	۴/۷	۳/۳۳	۳/۹۷	۱/۵۳	۴/۱۷	۱۰/۹	۱۷/۳	۱۳/۸	۱۱/۶۹
2-1	۷/۳	۴/۸۳	۳/۹۷	۰/۶۷	۵/۰۴	۸/۹۱	۱۵	۱۹/۵	۱۶/۷
2-2	۷/۲	۵/۳۳	۳/۹۷	۰/۶۸	۴/۵۲	۱۱	۱۵/۶	۱۴/۳	۱۳/۳۶
2-4	۶/۴	۶/۱۷	۳/۹۷	۱/۵	۴/۵۱	۱۱/۵	۱۶/۶	۱۷	۱۵/۰۳
3-1	۸/۴	۵/۵	۳/۹۷	۰/۵۵	۰/۹۴	۱۰/۱	۱۵/۸	۱۰/۵	۱۰/۰۲
3-2	۸/۲	۳/۶۷	۳/۹۷	۰/۲۶	۱/۲۹	۱۱	۱۵/۷	۱۱	۱۰/۰۲
3-4	۶/۳	۳/۸۳	۳/۹۷	۲/۳۶	۳/۲۳	۱۳/۹	۱۸	۱۳/۳	۱۳/۳۶
8-1	۸/۴	۴/۶۷	۳/۹۷	۱/۱	۲/۵۷	۸/۱۱	۱۴/۳	۱۱/۳	۱۱/۶۹
8-2	۶/۹	۴/۶۷	۳/۹۷	۰/۲۱	۳/۶۹	۱۳/۸	۱۶/۵	۱۱/۳	۱۱/۶۹
حداقل	۴/۷	۳/۳۳	۳/۹۷	۰/۲۱	۰/۹۴	۶/۹۸	۱۴/۳	۱۰/۵	۱۰/۰۲
حداکثر	۸/۴	۷/۳۳	۳/۹۷	۲/۴۱	۹/۷۹	۱۳/۹	۱۸	۱۹/۵	۱۶/۷
متوسط	۶/۸	۴/۷۹	۳/۹۷	۱/۰۸	۴/۴۵	۱۰/۴	۱۶/۲	۱۳/۴	۱۲/۴۵

جدول ۳- نتایج نهایی مدل MPSIAC در واحدهای مختلف اراضی.

واحد اراضی	مساحت (km ²)	درجه رسوبدهی (R)	تولید رسوب (t km ⁻² yr ⁻¹)	SDR	فرسایش (t km ⁻² yr ⁻¹)
1-2	۳۶/۴	۷۴/۶۸	۳۷۲/۱	۰/۳۲	۱۱۶۳/۰
1-3	۱۶۴/۵	۷۴/۰۵	۳۶۳/۸	۰/۲۹	۱۲۵۴/۵
1-4	۴۱/۴	۷۱/۳۲	۳۲۹/۷	۰/۳۱	۱۰۶۳/۷
2-1	۴۷/۴	۸۱/۹	۴۸۲/۶	۰/۳۱	۱۵۵۶/۸
2-2	۲۸/۶	۷۵/۹۶	۳۸۹/۷	۰/۳۳	۱۱۸۰/۹
2-4	۶۵/۵	۸۲/۷۳	۴۹۷/۲	۰/۳	۱۶۵۷/۵
3-1	۵۷/۹	۶۵/۸۳	۲۷۰/۶	۰/۳	۹۰۲/۰
3-2	۶۸/۰	۶۵/۰۴	۲۶۳/۰	۰/۳	۸۷۶/۷
3-4	۲۰/۳	۷۸/۲۳	۴۲۲/۹	۰/۳۴	۱۲۴۳/۸
8-1	۴۸/۸	۶۶/۰۲	۲۷۲/۵	۰/۳۱	۸۷۸/۹
8-2	۳/۹	۷۲/۶۷	۳۴۶/۲	۰/۳۹	۸۸۷/۶
حداقل	-	۶۵/۰۷	۲۶۳/۳	-	۸۷۷/۷
حداکثر	-	۸۲/۷۱	۴۹۶/۹	-	۱۶۵۶/۳
متوسط	-	۷۳/۴۸	۳۵۶/۴	-	۱۱۸۸/۰

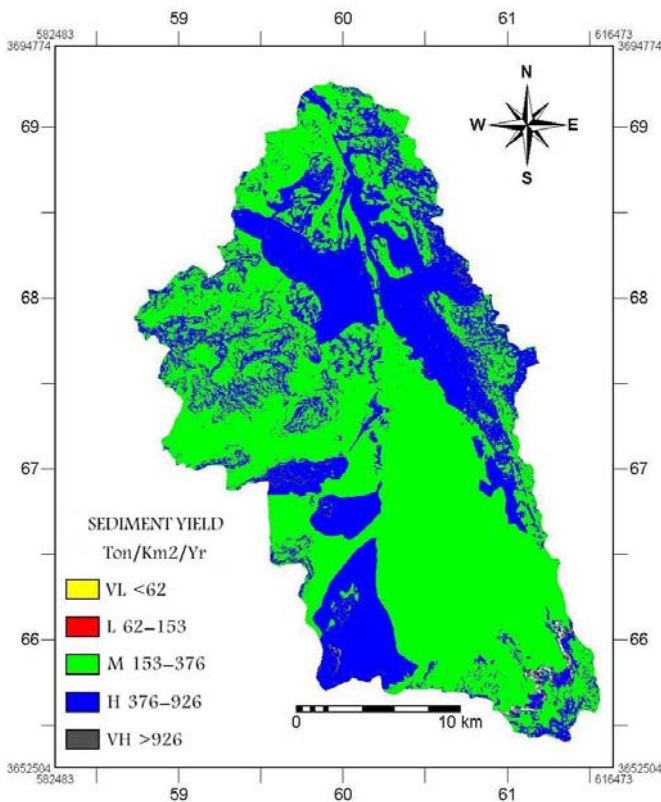
شدت تولید رسوب حوزه (Qs)

با استفاده از معادله ۳ میزان حداقل، حداکثر و متوسط وزنی تولید رسوب حوزه به ترتیب ۲۶۳/۳، ۴۹۶/۹ و ۳۵۶/۴ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد. واحدهای اراضی 2-1 و 2-4 به ترتیب با ۴۹۷/۲ و ۴۸۲/۶ تن در کیلومتر مربع در سال بیشترین مقدار تولید رسوب را نشان دادند. به علت حساسیت زمین‌شناسی، تراکم کم پوشش گیاهی، لختی سطح زمین، شرایط توپوگرافی و بالا بودن فرسایش‌پذیری نسبی این واحدها، تولید رسوب در آنها بحرانی‌تر است. با توجه به این مقدار تولید رسوب و مقایسه آن با شدت فرایندهای خاکساز، اعمال تدابیر حفاظتی بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. کمترین مقدار تولید رسوب مربوط به واحدهای 3-2، 3-1 و 8-1 به ترتیب با ۲۶۳، ۲۷۰/۶ و ۲۷۲/۵ تن در کیلومتر مربع در سال می‌باشد. شکل ۴ نقشه تولید رسوب حوزه را در ۵ کلاس نشان می‌دهد.

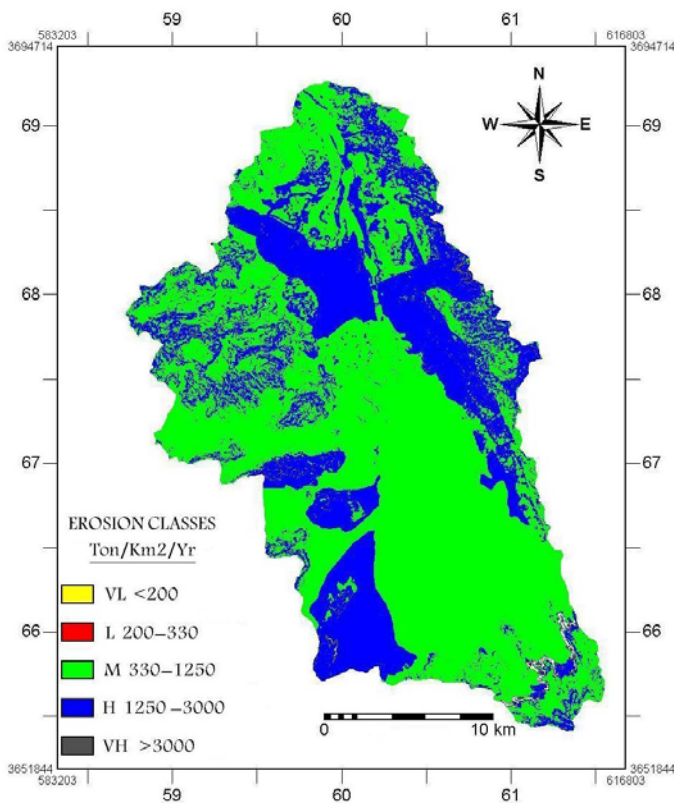
فرسایش حوزه

با استفاده از لایه‌های SDR و تولید رسوب حوزه (Qs) لایه مربوط

به فرسایش تهیه شد که در جدول ۳ مقادیر آن برای واحدهای مختلف اراضی نشان داده شده است. حداقل، حداکثر و متوسط وزنی فرسایش حوزه به ترتیب ۸۷۷/۷، ۱۶۵۶/۳ و ۱۱۸۸/۰ تن بر کیلومتر مربع در سال برآورد شد. واحدهای اراضی 2-4 و 2-1 به ترتیب با ۱۶۵۷/۵ و ۱۵۵۶/۸ تن بر کیلومتر مربع بر سال بیشترین و واحدهای اراضی 3-2، 8-1 و 8-2 کمترین میزان فرسایش را نشان دادند. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) این امکان را به ما می‌دهد که در بررسی لایه‌های مختلف مدل، عوامل مؤثر در تولید رسوب را بهتر، سریع‌تر و دقیق‌تر شناسایی کرده تا بتوان برای جلوگیری از تولید بیشتر رسوب راهکارهای حفاظتی اعمال نمود. در نقشه‌های رسوب و فرسایش تهیه شده هر پیکسل ارزش مشخصی از نظر تولید رسوب و فرسایش را نشان می‌دهد که خود مبین تأثیر متقابل عوامل مؤثر بر فرایند فرسایش (لایه‌های نه‌گانه) است. بنابراین در یک حوزه می‌توان به طور دقیق، مناطق بسیار کوچک را از نظر وضعیت تولید رسوب و فرسایش طبقه‌بندی کرد. البته باید توجه داشت که در



شکل ۴- نقشه تولید رسوب حوزه آبخیز گل‌آباد



شکل ۵- نقشه فرسایش حوزه آبخیز گل‌آباد.

مؤثر در فرسایش و همچنین لزوم توجه به بحرانی بودن تخریب اراضی بیش از پیش نمود پیدا می‌کند.

سپاسگزاری

این تحقیق از طریق اعتبارات طرح ملی فرسایش و مهار آن در حوزه‌های آبخیز کشور به شماره ثبت ۷۹۰ متعلق به آقای دکتر امیرحسین چرخایی، مصوب شورای عالی پژوهش‌های علمی کشور اجرا گردیده که بدین وسیله قدردانی می‌گردد. همچنین از مسئولین محترم آبخیزداری اردستان به‌خاطر همکاری‌شان سپاسگزاری می‌گردد.

استفاده از نقشه‌های با مقیاس‌های متفاوت، دقت نهایی به دقت کوچک مقیاس ترین نقشه بستگی دارد. شکل ۵ وضعیت فرسایش حوزه را در ۵ کلاس فرسایش نشان می‌دهد. با توجه به کلاس‌های فرسایش حاصله، می‌توان در جهت اولویت‌بندی و اقدامات حفاظتی برای جلوگیری از فرسایش و یا کاهش آن، تدابیر لازم را اندیشید. البته باید توجه داشت که در هر منطقه، وضعیت فرسایش را باید در ارتباط با سرعت تشکیل و تکامل خاک‌های آن منطقه و عوامل مؤثر بر آن بررسی کرد. در حوزه گل‌آباد به دلیل سرعت کند تشکیل و تکامل خاک در صورتی که شرایط اقلیمی آن را هم مورد توجه قرار دهیم، اهمیت عوامل

REFERENCES

مراجع مورد استفاده

۱. احمدی، ح. ۱۳۷۴. ژئومرفولوژی کاربردی (فرسایش آبی). جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.
۲. امیری، ب. ۱۳۷۶. مطالعات جامع احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های زاینده رود و اردستان. جلد نهم: مرتع. مهندسین مشاور یکم. وزارت کشاورزی، معاونت برنامه و بودجه، تهران.
۳. رفاهی، ح. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران.
۴. فیض‌نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی، شماره (۴۷): ۹۵-۱۱۶.
۵. مهدوی، ا. ۱۳۸۰. بررسی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و تأثیر آن بر سیلاب منطقه گل‌آباد اردستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. مهدوی، م. ۱۳۷۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.
۷. مهندسین مشاور رویان، ۱۳۷۵. مطالعات مرحله توجیهی آبخیزداری حوزه آبخیز اردستان. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی، تهران.
۸. نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ (شیت کاشان). ۱۳۷۵. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
۹. نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (شیت‌های عباس‌آباد، دایزولو، نسران و طرُق). ۱۳۷۳. سازمان جغرافیایی ارتش.
۱۰. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (شیت‌های اردستان و طرُق). ۱۳۷۸. سازمان زمین‌شناسی کشور.
۱۱. وزیری، ف. ۱۳۷۱. تعیین روابط منطقه‌ای بارندگی کوتاه مدت در ایران. دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
12. Daroussin, J. & D. King, 2001. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, Vol. 46: 207-220.
13. Johnson, C. W. & K. A. Gebhardt, 1982. Predicting Sediment yields from sagebrush rangelands. In proceedings of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands, Tucson, Arizona. USDA-SEA- ARM western series, No. 26: 145-156.
14. Lufafa, A., M. M. Tenywa, M. Isabirye, M. J. G. Majaliwa, & P. L. Woomer, 2003. Prediction of soil erosion in a lake Victoria basin catchment using a GIS based Universal Soil Loss Model. *Agri. Systems*, Vol. 76: 883-894.
15. Nearing, M. A., G. Govers, & L. D. Norton. 1999. Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Sci. Soc. Am. J*, Vol. 63: 1829-1835.

16. Pacific Southwest Inter-Agency Committee (PSIAC). 1968. Factors affecting sediment yield in the Pacific southwest area and selection and evaluation of measures for reduction of erosion and sediment yield. Report of the Water Management Subcommittee.
17. Romkens, M. J. M., R. A. Young, J. W. A. Poesen, D. K. McCool, S. A. El-Swaify, & J. M. Bradford. 1997. Soil erodibility factor (K), In: Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool, and D. C. Yoder, (Coordinator), Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), pp. 65-99, US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703.
18. Roo, A. 1998. Modelling runoff and sediment transport in catchments using GIS, Hydr. Application of GIS Hydrological Processes., Vol. 12, pp. 905-922
19. Toy, T. J., G. R. Foster, & K. G. Renard. 2002. Soil erosion processes, prediction, measurement and control. John Wiley and Sons, Inc, New York. 338pp.
20. Victora, C., A. Kacevas, & H. Fiori. 1998. Soil erodibility assessments with simulated rainfall and with the USLE nomograph in soil from Uruguay. Proceeding of 16th World Congress of Soil Science, Montpellier. France.
21. Wischmeier, W. H., C. B. Johnson, & B. V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil Water Conserv, Vol. 26:189-193.
22. Westen, C. V. & J. Farifteh. 1997. Ilwis 2.1 for windows user's guide. ILWIS department ITC.

Zonation of Soil Erosion Hazard, Using MPSIAC Model and Geographical Information System (GIS), in Golabad Watershed, Isfahan

**M. MAHMOODABADI¹, A. H. CHARKHABI²,
H. GH. RAFAHI³ AND M. GORJI⁴**

1, 3, 4, Ph. D. Student, Professor and Assistant Professor, University College of Agriculture & Natural Resources (UCAN), University of Tehran, Karaj, Iran

2, Assistant Research Professor, Soil Conservation and Catchment Basin Research Faculty, Tehran

Accepted. Nov. 22, 2004

SUMMARY

Among different land degradation processes, soil erosion is particularly a serious threat to soil and water conservation in Iran. In this research, zonation of soil erosion hazard was investigated in Golabad watershed using MPSIAC erosion model, Geographical Information System (GIS) and satellite data. Golabad watershed with an area of 582.7 Km² is located in northeast Isfahan in central Iran. The elevation in this region varies from 1653 to 2947 meters above sea level. Due to diverse geology, different landforms, unsuitable land uses and scattered plant cover, erosion is affected by these different factors and processes in this watershed. Though field ratings while using maps and reports, nine layers of the model were integrated in a GIS framework using ILWIS 3. Academic software, Landsat ETM⁺ image was used to introduce the necessary modifications in the map of land units. The results indicated that sediment yield varied from 263.3 to 496.9 with an average of 356.4 ton km⁻² yr⁻¹. The minimum, maximum and average erosion rates, were estimated at 877.7, 1656.3 and 1188.0 tons km⁻² yr⁻¹, respectively. The results also indicated that 2-1 and 2- 4 land units (hill) with 47.4 and 65.5 km² area respectively (8.1% and 11.2% of total watershed area), are the most sensitive to erosion and sediment yield. Preliminary regarding results applicability of MPSIAC model shows that it can be recommended to be applied in arid and semiarid watersheds in Iran. Watersheds for which there exist have no hydrologic and sediment data.

Key words: Erosion risk zonation, Sediment yield, MPSIAC model, Geographical Information System, Landsat ETM⁺, Golabad watershed.