



مجله علمی و فناوری آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از یک مدل فازی در آبخیز قرناوه گلستان

* مهدی عرفانیان^۱، پریسا قهرمانی ساعتلو^۲ و حسین سعادت^۳

^۱ استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری،

دانشگاه ارومیه، ^۲ استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱

چکیده

آگاهی از میزان خطر فرسایش خاک در آبخیزها، امکان شناسایی نواحی بحرانی و اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی را فراهم می‌سازد. هدف از این پژوهش، تهیه و اعتبارسنجی یک مدل فازی برای ارزیابی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرناوه گلستان است. تهیه نقشه خطر فرسایش خاک در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول، نقشه شاخص حفاظت خاک (SPI) با استفاده از دو لایه کاربری اراضی - پوشش اراضی (LU-LC) و شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) تهیه شد و در مرحله دوم نقشه شاخص پتانسیل فرسایش خاک (PERI) براساس سه لایه رستری درجه - طول شیب (LS)، فاکتور فرسایش‌دگی باران (R) و فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) تهیه شد. در مرحله نهایی، نقشه‌های SPI و PERI با هم ترکیب شده و نقشه خطر فرسایش خاک (AERI) به‌دست آمد. معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) به‌منظور اعتبارسنجی نقشه فازی خطر مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ضریب کاپا برای کلاس خطر خیلی بالا نشان داد که نقشه AERI در مقایسه با نقشه خطر مبتنی بر مدل RUSLE (نقشه مرجع) در شناسایی نواحی بحرانی از کارایی به‌نسبت خوبی برخوردار می‌باشد. کاربرد این مدل فازی در تهیه نقشه خطر فرسایش خاک، برای مدیران و تصمیم‌گیران به‌عنوان یک روش ساده و آسان در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های بحرانی و انتخاب اقدامات آبخیزداری مناسب توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل فازی، خطر فرسایش خاک، AERI، RUSLE، قرناوه گلستان

* مسئول مکاتبه: erfanian.ma@gmail.com

مقدمه

در دهه‌های اخیر، فرسایش خاک به وسیله آب به عنوان یک موضوع جهانی مطرح شده است (اسواران و همکاران، ۲۰۰۱). فرسایش آبی توسط خصوصیات اقلیمی، توپوگرافی، خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی کنترل می‌شود. بسیاری از فرآیندهای سطح زمین توسط عواملی که به طور عمده شامل ارتفاع، شیب، خصوصیات خاک، اقلیم و پوشش‌های طبیعی است مربوط می‌شود (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). در سال‌های اخیر در مناطق مختلف جهان، زمین‌های کشاورزی به صورت غیرقانونی و بی‌رویه جایگزین اراضی جنگلی شده است. فرآیند تخریب زمین، موجب بحران محیطی بسیار جدی در مورد فرسایش خاک بالادست، افزایش تخلیه رسوب در رودخانه‌ها و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی شده و این موضوع باعث آلودگی آب‌های سطحی و تغییرات رژیم رودخانه می‌شود (ریسون، ۲۰۰۷). مدل‌های برآورد فرسایش آبی، به عقیده طراحان و توسعه‌دهندگان آن‌ها برای مناطق دارای کرت یا پلات‌های فرسایشی توصیه می‌شوند و کاربرد آن‌ها در سطوح کوچک تا متوسط مورد تأکید قرار گرفته است. به عبارت دیگر، کاربرد مدل‌های غیرفازی برآورد فرسایش مانند RUSLE در سطح منطقه‌ای و ناحیه‌ای با محدودیت‌های زیادی همراه است (مریت و همکاران، ۲۰۰۳). در مقابل، مزیت‌های مدل فازی در تهیه نقشه خطر فرسایش خاک شامل انعطاف‌پذیری بالای آن در مناطق جغرافیایی مختلف در مقیاس‌های کوچک تا منطقه‌ای، امکان ترکیب یا تلفیق سریع و آسان عامل‌های مؤثر در فرسایش، فهم آسان و کاربرد نقشه‌های خروجی در مقایسه با مدل‌های تجربی و فیزیکی می‌باشد (مندل، ۱۹۹۵). در مدل فازی چندمرحله‌ای، امکان ترکیب نتایج هر مرحله با مرحله یا مراحل قبل وجود داشته و با ارزیابی هر مرحله به طور مستقل با تغییر در تعداد قواعد فازی (تعداد فاکتورهای ورودی) توسط محقق، امکان ارزیابی سریع و آسان نتایج مدل فازی خطر فرسایش خاک فراهم می‌باشد (اوینام، ۲۰۱۰). تهیه نقشه خطر فرسایش خاک با مدل‌های فازی در صورت وجود داده‌های ورودی کیفی، کارایی و سهولت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (ویریلینگ و همکاران، ۲۰۰۶). در بسیاری از نقاط جهان، تهیه نقشه خطر فرسایش خاک به منظور شناسایی مناطق بحرانی از نظر شدت فرسایش و در نتیجه اولویت‌بندی برنامه‌های حفاظتی آب و خاک مورد توجه قرار گرفته است (فوکس و همکاران، ۲۰۰۶). تاکنون در کشور ایران مدل‌سازی فازی برای تهیه نقشه خطر فرسایش خاک به عنوان یک نقشه راهنما و هشداردهنده برای تصمیم‌گیران، مورد توجه جدی قرار نگرفته است. مهم‌ترین پژوهش‌های انجام شده در ایران و خارج شامل موارد ذیل می‌باشد:

صادقی (۲۰۰۵) واحدهای کاری همگن را برای منطقه‌ای در ایران براساس قابلیت اراضی، لیتولوژی، شیب، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از روش شناسایی BLM^۱ به‌کار برده و در نهایت شدت فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی برای هر واحد کاری را تهیه کرده است. احمدی و همکاران (۲۰۰۸) در آبخیز لتیان، از منطق فازی برای کمی کردن روش کیفی ژئومورفولوژیکی برآورد فرسایش خاک (احمدی، ۱۳۷۴) استفاده کردند. نقشه تهیه شده با استفاده از اپراتور فازی گاما برابر ۰/۸ دارای بالاترین دقت بوده و ضریب توافق کل (صحت کل) برابر ۰/۹۱ به‌دست آمد. بوخیر و همکاران (۲۰۰۸) نقشه فرسایش خاک را برای منطقه‌ای در لبنان با استفاده از داده‌های کیفی پوشش گیاهی، شبکه زهکشی، مدل رقمی ارتفاعی^۲، خاک و زمین‌شناسی و با اضافه کردن داده‌های مربوط به مشاهدات زمینی تهیه کرده و انواع فرسایش شیاری، خطی و توده‌ای را به‌صورت کمی برآورد کردند. تیمن (۲۰۰۷) نقشه فرسایش خاک را برای منطقه‌ای در اتیوپی با استفاده از لایه رقمی ارتفاع، داده‌های بارش، خاک و پوشش گیاهی تهیه کرد. وریلینگ و همکاران (۲۰۰۲)، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ چند مدل کیفی را برای تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از نقشه رقمی عوامل مختلف مانند زمین‌شناسی، خاک، شیب، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی با تأکید بر استفاده از داده‌های سنجش از دور ارائه دادند. میترا و همکاران (۱۹۹۸) از منطق فازی برای برآورد فرسایش خاک در یک حوزه به‌نسبت بزرگ (آبخیز War Eagle واقع در شمال‌غربی آرکانزاس، واشنگتن) با استفاده از متغیرهای ورودی محدود استفاده کردند. نیگل و راپوف (۲۰۱۰) نقشه خطر فرسایش خاک را با استفاده از ترکیب دو لایه فرسایش‌دگی باران و توپوگرافی (عامل LS) در سایر فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک (کاربری اراضی، NDVI^۳ و فرسایش‌پذیری خاک) تهیه کرده و از آن برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق با فرسایش زیاد استفاده کردند. بوازیز و همکاران (۲۰۱۱) از داده‌های سنجش از دور، نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، خصوصیات خاک و اقلیم استفاده کرده و با وزن‌دهی نقشه‌های ورودی، نقشه کیفی خطر فرسایش خاک را برای منطقه‌ای در مرکز اتیوپی تهیه کردند. وو و همکاران (۲۰۰۷) ارزیابی خطر فرسایش خاک در استان Shanxi چین را با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۴، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۵، سنجش از دور و مدل فازی انجام دادند. آن‌ها

- 1- Bureau of Land Management
- 2- Digital Elevation Model (DEM)
- 3- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 4- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 5- Geographical Information System (GIS)

نشان دادند که کاهش ۲۰ درصدی پوشش گیاهی باعث افزایش درجه خطر فرسایش تا ۲۰ درصد می‌شود. پژوهش‌های خسروپناه و همکاران (۲۰۰۷) در مورد تهیه نقشه خطر فرسایش برای منطقه‌ای واقع در ایسلند با استفاده از مدل USLE^۱ و GIS از جمله پژوهش‌های کاربردی در زمینه تهیه نقشه خطر فرسایش خاک می‌باشد.

خلاصه نتایج پژوهش‌های انجام شده در خارج در زمینه مطالعات فرسایش و رسوب بیانگر این است که تاکنون از مدل‌های تجربی و فیزیکی متعددی برای برآورد فرسایش خاک استفاده شده است (فاویس - مورتلاک و همکاران، ۱۹۹۷). از نظر کاربردی، وقتی یک مدل مناسب است که امکان تصمیم‌گیری درست و به موقع را به مدیر یا مجری طرح در انتخاب حوزه‌های بحرانی و اجرای عملیات آبخیزداری فراهم کند. مهم‌ترین دغدغه مدیران و کارشناسان طرح‌های اجرایی اولویت زیرحوزه‌ها و اجرای عملیات آبخیزداری براساس شدت فرسایش در آبخیزهای مورد نظر است. منطق فازی می‌تواند با لحاظ مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک براساس تجربه و دانش کارشناسی، به مدیران و مجریان طرح‌ها در شناسایی زیرحوزه‌های بحرانی و انتخاب عملیات آبخیزداری مناسب براساس وضعیت حاکم بر منطقه کمک کند (اوینام، ۲۰۱۱).

این پژوهش با هدف ارزیابی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرناوه گلستان براساس منطق فازی به‌عنوان یک پژوهش کاربردی و الگو برای سایر پژوهشگران و برنامه‌ریزان انجام شده است. ابتدا نقشه‌های رستری مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در فرآیند فرسایش آبی شامل کاربری - پوشش اراضی^۲، شاخص پوشش گیاهی NDVI، فاکتور شیب (S)، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) و فاکتور فرسایش‌پذیری باران (R) تهیه شد. فاکتورهای S، K و R در مدل RUSLE (به‌عنوان یک مدل مناسب در آبخیزهای کشاورزی) استفاده شد. نقشه خطر روش فازی با نقشه خطر مبتنی بر مدل RUSLE (به‌عنوان نقشه مرجع) مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

آبخیز قرناوه یکی از زیرحوزه‌های آبخیز گرگانرود با مساحت ۸۱۷/۱۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد که در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه

1- Universal Soil Loss Equation (USLE)

2- Land Use-Land Cover (LU-LC)

و ۳۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه واقع شده است. سطح غالب آن شامل اراضی کشت دیم و غلات بوده و در حدود ۵۰ درصد مساحت آبخیز را شامل می‌شود. حدود ۳۶ درصد آبخیز شامل مراتع بوده و اراضی جنگلی حدود ۱۱ درصد و سایر کاربری‌ها شامل اراضی تحت کشت آبی و مناطق مسکونی می‌باشد. این آبخیز از نظر زمین‌شناسی از سنگ آهک و رسوبات آبرفتی تشکیل شده و خاک آن سیلتی لومی و دارای سنگ‌های حساس به فرسایش می‌باشد. بیش‌تر خاک آبخیز در گروه هیدرولوژیکی B قرار داشته و فرسایش‌پذیری بالایی دارند. عوامل مؤثر و عمده در ایجاد فرسایش و تولید رسوب در این منطقه عبارت از حساسیت زیاد سنگ‌ها به فرسایش، نحوه استفاده از اراضی و بافت ناپایدار خاک (بافت لسی) می‌باشد (گزارش شرکت مهندسی مشاور لار، ۲۰۰۸). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و شکل ۲ (الف) نقشه مدل ارتفاعی رقومی آبخیز قرناوه گلستان را نشان می‌دهد.

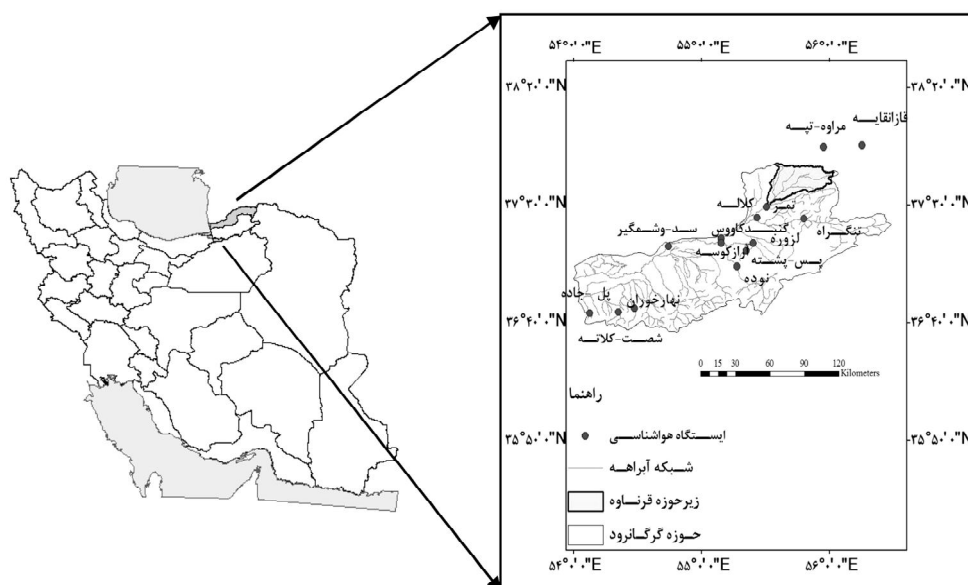
تهیه نقشه فاکتورهای مورد نیاز

فاکتور کاربری اراضی - پوشش اراضی (LU-LC): برای تهیه این نقشه از نتایج پژوهش‌های سعادت و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شده است. آن‌ها از تصویر ETM^+ لندست مربوط به اواخر تابستان (سپتامبر ۲۰۰۱) به دلیل کاهش خطاهای ناشی از وجود پوشش‌های گیاهی زودرس با عمر کوتاه استفاده کردند. این نقشه در شکل ۲ (ب) ارائه شده است.

شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI): در مطالعه حاضر لایه ماهانه NDVI با قدرت تفکیک زمینی ۲۵۰ متر از سایت محصولات سنجنده MODIS^۱ سری MOD13Q1 (ماه سپتامبر ۲۰۰۱) دانلود و آماده‌سازی شد. نقشه NDVI به منظور نشان دادن خصوصیات پوشش گیاهی در یک منطقه دارای اهمیت است. نقشه اولیه این شاخص با دستور نمونه‌برداری مجدد^۲ در ArcGIS 9.3 به نقشه رستری نهایی با اندازه سلول ۵۰ متری تبدیل شد (شکل ۲ ج). همه لایه‌ها به منظور ترکیب در نرم‌افزار MATLAB باید اندازه سلول یکسان داشته باشند.

1- Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer (MODIS)

2- Re-sampling

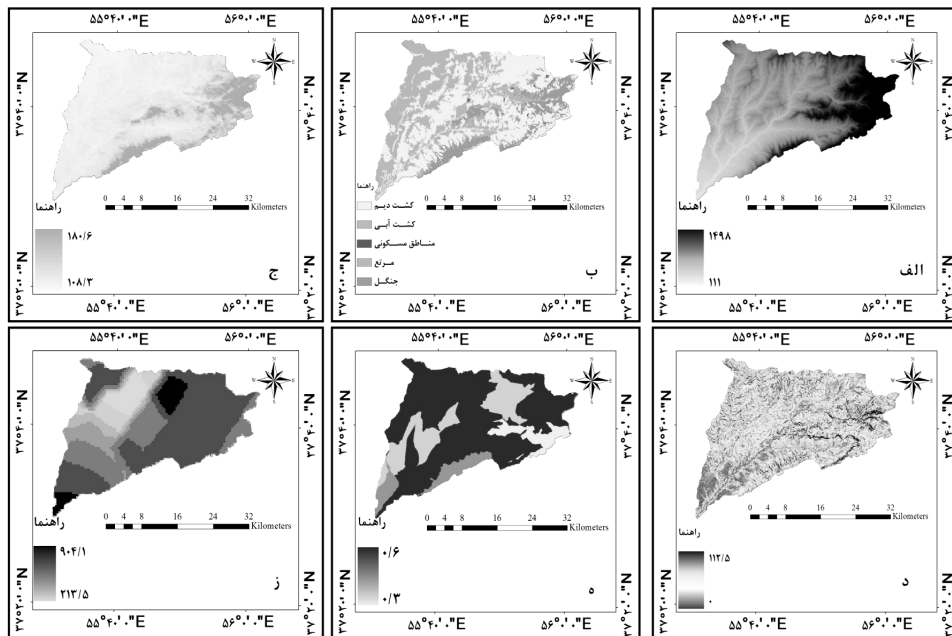


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز قرناوه نسبت به ایران و آبخیز گرگانرود.

فاکتور شیب: ابتدا مدل رقومی ارتفاع (DEM) از سایت سنجنده ASTER (قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) دانلود شد و سپس لایه رستری شیب با اندازه سلول ۵۰ متر تهیه شد (شکل ۲ د).

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): این عامل به‌طور گسترده در بسیاری از مدل‌های فرسایش مورد استفاده قرار گرفته و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مقادیر فرسایش‌پذیری خاک برای هر یک از اجزا واحد اراضی در آبخیز قرناوه گلستان، مطابق خلاصه گزارش شرکت تحقیقاتی لار (۲۰۰۸) مطابق شکل ۲ (ه) آماده شد. این نقشه براساس رابطه ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) و براساس نمونه‌های مختلف خاک آبخیز توسط شرکت نام‌برده تهیه شده است.

1- Soil Erodibility Factor



شکل ۲- الف) نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، ب) نقشه کاربری اراضی- پوشش اراضی (LU-LC)، ج) نقشه NDVI، د) نقشه شیب (درصد)، ه) نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک (K) و ز) نقشه فاکتور فرساینده گی باران (R).

فاکتور فرساینده گی باران (R): این فاکتور تابعی از خصوصیات فیزیکی بارش می باشد. با توجه به این که آبخیز مورد مطالعه از نظر مساحت کوچک و بدون هر گونه ایستگاه ثبت بارش می باشد بنابراین الگوی بارندگی با استفاده از ایستگاه های ثابت موجود در سطح استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، برای محاسبه فاکتور سالانه R از داده های ماهانه بارندگی ۱۴ ایستگاه بارانسنجی با دوره آماری ۱۲ ساله (۲۰۰۹-۱۹۹۸) استفاده شد. به دلیل نبود آمار مربوط به شدت و مدت بارش در ایستگاه های انتخابی، از روش رنارد و فریموند (۱۹۹۴) که مبتنی بر مقادیر متوسط بارندگی ماهانه و سالانه می باشند، برای تخمین مقدار سالانه فاکتور فرساینده گی باران (R) در هر ایستگاه استفاده شد. در این روش، فاکتور R در هر ایستگاه از طریق روابط زیر و با محاسبه شاخص اصلاح شده فورنیه (F) برآورد می شود:

1- Rainfall Erosivity Factor

$$R = 0.7397F^{1/847}, \quad F < 55mm \quad (1)$$

$$R = 95/77 - 6/0.81F + 0.477F^2, \quad F > 55mm \quad (2)$$

$$R = MF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i}{P} \quad (3)$$

که در آن، F : شاخص فورنیه اصلاح شده، P_i : متوسط بارندگی ماه i ام (میلی‌متر)، \bar{P} : متوسط بارندگی سالانه در دوره آماری ۱۲ ساله (میلی‌متر) و R : شاخص فرساینده‌گی سالانه بر حسب مگاژول میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال می‌باشد. در صورت نبود داده‌های بلندمدت شدت رگبار (حداقل دوره آماری بیست ساله) روابط نام‌برده در سراسر جهان و در شرایط اقلیمی مختلف مورد استفاده پژوهشگران زیادی قرار گرفته است (دابرال و همکاران، ۲۰۰۸). با استفاده از ابزار Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ArcGIS 9.3، در نهایت نقشه رستری R براساس روش زمین‌آماري کریجینگ معمولی مطابق شکل ۲ (ز) تهیه شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، اندازه سلول در تمام لایه‌های رستری برابر ۵۰ متر می‌باشد.

مدل فازی نقشه خطر فرسایش خاک: در منطق منطق باینری، منطق دو ارزشی به مفهوم درست (۱) و نادرست (۰) است و ارزش دیگری قابل تعریف نیست. در حالی که منطق فازی بیانگر مفهوم چندارزشی می‌باشد. منطق فازی در واقع روش جدیدی برای فرموله کردن پدیده‌های با مفهوم کیفی و مبهم (فازی) ارائه می‌دهد. منطق فازی براساس مجموعه‌های فازی می‌باشد و اعضای یک مجموعه فازی دارای مقدار فازی از ۰ تا ۱ می‌باشند. خروجی مدل فازی براساس سیستم استنتاج فازی مبتنی بر یک‌سری قواعد فازی به‌دست می‌آید. قواعد فازی براساس دانش کارشناسی و پیشینه پژوهش‌ها در زمینه فرآیندهای فرسایش خاک تعریف می‌شوند.

در این پژوهش، مدل فازی فرسایش خاک شامل سه مرحله است که از ترکیب لایه‌های رستری خروجی دو مرحله اول، نقشه خروجی یا نهایی مدل (نقشه خطر فرسایش خاک) در مرحله سوم به‌دست می‌آید. هر مرحله از مدل شامل فازی‌سازی لایه‌های ورودی، تعریف قواعد

فازی و اعمال آن‌ها، برگشت از حالت فازی و تهیه نقشه غیرفازی^۱ (قطعی) می‌باشد. تعریف توابع عضویت مربوط به فازی‌سازی، تعریف و اعمال قواعد فازی و همچنین مرحله غیرفازی در نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته است. از روش مرکز ثقلی^۲ (به‌عنوان متداول‌ترین روش) برای غیرفازی‌سازی نقش‌های فازی استفاده شد. شکل ۳ سه مرحله مدل فازی تهیه نقشه خطر فرسایش خاک را نشان می‌دهد.

مرحله اول: شاخص حفاظت خاک (SPI)^۳: شاخص حفاظت خاک به‌عنوان تابعی از الگوهای کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی (NDVI) در نظر گرفته شده است. کلاس‌های کاربری اراضی به‌منظور فازی‌سازی به پنج متغیر زبانی از بسیار کم تا بسیار زیاد تقسیم‌بندی شد. متغیرهای زبانی، تأثیر بالقوه کلاس‌های مختلف LULC را بر SPI در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. فاکتور NDVI نیز به چهار تابع عضویت یا متغیر زبانی شامل بسیار کم، کم، متوسط و بالا طبقه‌بندی شد. قواعد فازی مربوط به شاخص SPI براساس تجربه کارشناسی و پیشینه پژوهش‌ها تعریف شده است. تعداد قواعد فازی، برابر حاصل ضرب تعداد کلاس‌های تعریف شده برای هر یک از فاکتورهای ورودی در هر مرحله می‌باشد، بنابراین در مرحله اول، تعداد ۲۰ قاعده فازی تعریف شد (جدول ۱).

جدول ۱- قواعد فازی تعریف شده برای تهیه شاخص SPI (بر مبنای اگر- آنگاه).

پوشش گیاهی (۴ کلاس)			شاخص حفاظت خاک (۲۰ قاعده)	
زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	کاربری اراضی (۵ کلاس)
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی زیاد (جنگل)
زیاد	کم	کم	خیلی کم	زیاد (مرتع)
متوسط	کم	خیلی کم	خیلی کم	متوسط (منطقه مسکونی)
متوسط	کم	خیلی کم	خیلی کم	کم (مزارع آبی)
زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	خیلی کم (مزارع دیمی)

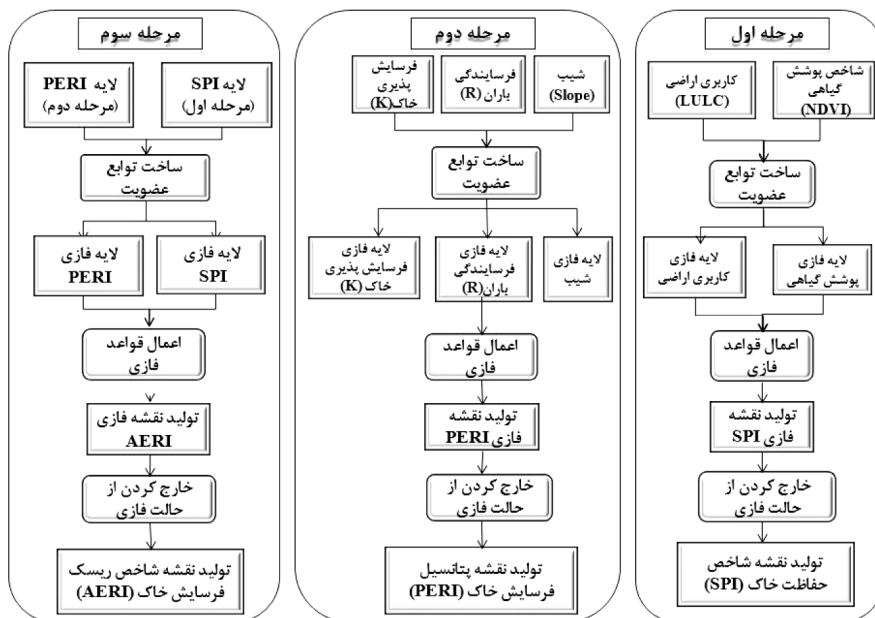
- 1- Crisp
- 2- Centroid
- 3- Soil Protection Index (SPI)

مرحله دوم: نقشه شاخص پتانسیل فرسایش خاک (PERI)^۱: این شاخص بیانگر استعداد ذاتی خاک به فرسایش آبی بدون در نظر گرفتن تأثیر هر گونه عامل حفاظتی مثل پوشش گیاهی و عملیات کاربری اراضی می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های فرسایش‌پذیری خاک (K)، شاخص فرسایش‌پذیری باران (R) و درصد شیب به‌عنوان لایه‌های ورودی مدل فازی در این مرحله می‌باشند. شاخص پتانسیل فرسایش خاک در یک مقیاس کیفی ۰ تا ۱۰۰ طبقه‌بندی شده و در پنج کلاس از بسیار کم (VL) تا بسیار زیاد (VH) تعریف می‌شود. درصد شیب نیز به پنج کلاس از خیلی کم تا خیلی زیاد، عامل K به سه کلاس کم، متوسط و زیاد و عامل R به سه کلاس کم، متوسط و بالا طبقه‌بندی شد. در این مرحله تعداد ۴۵ قاعده فازی برای تهیه نقشه PERI تعریف شد.

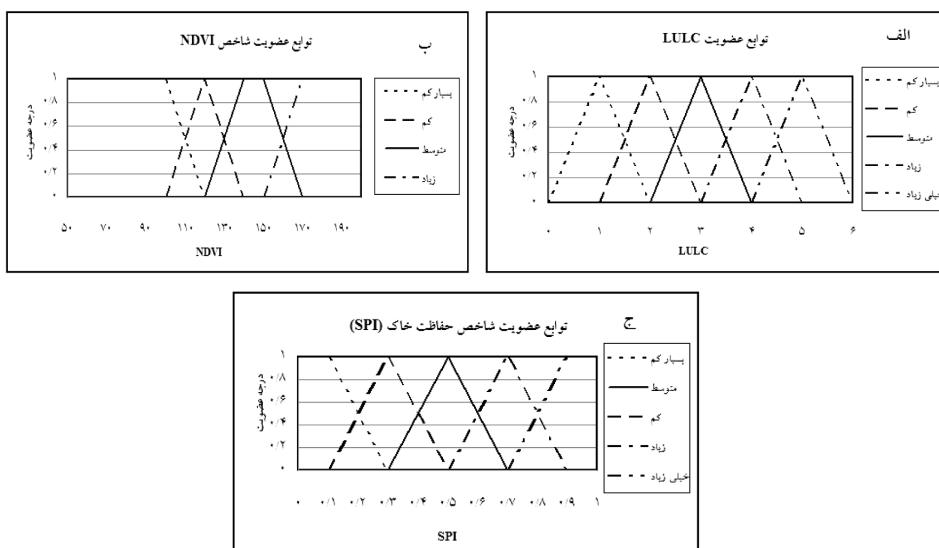
مرحله سوم: نقشه شاخص فرسایش طبیعی خاک (AERI)^۲: لایه‌های SPI و PERI به‌عنوان لایه‌های ورودی مرحله سوم مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که باید تأثیر SPI روی PERI کمی شود بنابراین مجموعه‌های فازی مورد استفاده برای AERI، مشابه خروجی مرحله دوم (PERI) بوده است. شکل ۳ نمودار جریان‌ی مراحل سه‌گانه مدل فازی برای تهیه نقشه خطر فرسایش خاک را نشان می‌دهد. توابع عضویت مربوط به مرحله اول و دوم مدل‌سازی در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همچنین قواعد فازی مربوط به تهیه شاخص SPI در جدول ۱، قواعد مربوط به تهیه شاخص PERI در جدول ۲ و قواعد فازی مربوط به تهیه نقشه AERI در جدول ۳ ارائه شده است. برای مثال، در جدول ۱ اگر کاربری اراضی در کلاس جنگل (کلاس حفاظتی خیلی زیاد) و پوشش گیاهی (NDVI) در کلاس زیاد باشد آن‌گاه SPI در کلاس خیلی زیاد خواهد بود. قواعد فازی مربوط به هر مرحله از مدل‌سازی فازی، با استفاده از دانش و نظر کارشناسی افراد متخصص و مجرب تهیه شد. لازم به ذکر است که توابع عضویت، قواعد فازی، سیستم استنتاج فازی، فازی‌سازی و تبدیل به حالت غیرفازی برای مراحل سه‌گانه مدل فازی در نرم‌افزار MATLAB (نسخه R2010a) تعریف و اجرا شد (قهرمانی، ۲۰۱۲).

1- Potential Erosion Risk Index (PERI)

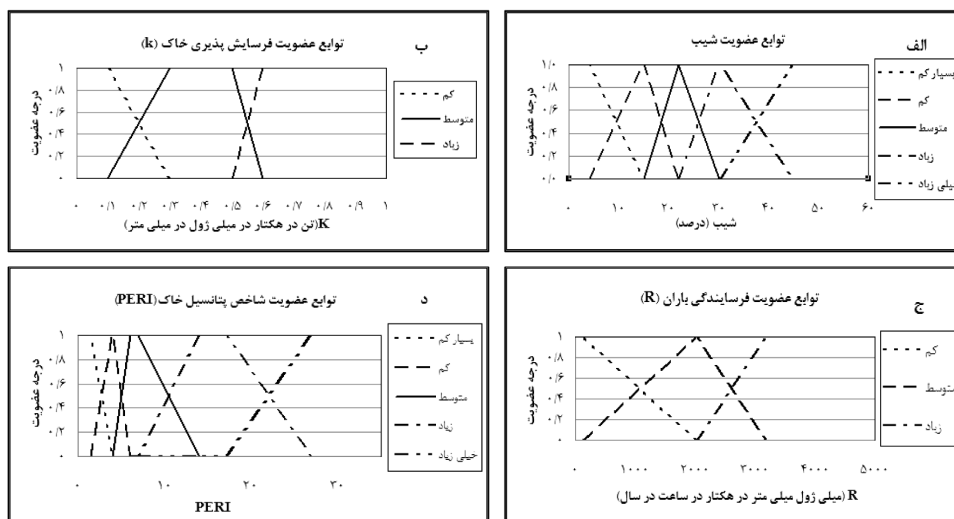
2- Actual Erosion Risk Index (AERI)



شکل ۳- مدل ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از مدل فازی.



شکل ۴- توابع عضویت مرحله اول الف) نقشه LULC، ب) شاخص (NDVI) و ج) شاخص حفاظت خاک (SPI).



شکل ۵- توابع عضویت مرحله دوم: الف) درصد شیب، ب) فاکتور K (ج) فاکتور R و د) شاخص خطر پتانسیل فرسایش (PERI).

جدول ۲- قواعد فازی تعریف شده برای تهیه نقشه فازی PERI (بر مبنای اگر- آنگاه).

نتیجه		قواعد پیش شرط			نتیجه		قواعد پیش شرط		
ردیف	K	R	شیب (درصد)	PERI	ردیف	K	R	شیب (درصد)	PERI
۱	کم	کم	کم	کم	۲۳	متوسط	متوسط	بسیار زیاد	بسیار زیاد
۲	کم	کم	متوسط	متوسط	۲۴	متوسط	کم	زیاد	بسیار زیاد
۳	کم	کم	بسیار زیاد	زیاد	۲۵	متوسط	کم	بسیار کم	کم
۴	کم	کم	زیاد	متوسط	۲۶	متوسط	کم	کم	متوسط
۵	کم	کم	بسیار کم	بسیار کم	۲۷	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد
۶	کم	متوسط	کم	کم	۲۸	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	بسیار زیاد
۷	کم	متوسط	متوسط	متوسط	۲۹	متوسط	زیاد	زیاد	بسیار زیاد
۸	کم	متوسط	بسیار زیاد	زیاد	۳۰	متوسط	زیاد	بسیار کم	کم
۹	کم	متوسط	زیاد	زیاد	۳۱	زیاد	کم	کم	متوسط
۱۰	کم	متوسط	بسیار کم	بسیار کم	۳۲	زیاد	کم	متوسط	زیاد
۱۱	کم	زیاد	کم	کم	۳۳	زیاد	کم	بسیار زیاد	بسیار زیاد
۱۲	کم	زیاد	متوسط	متوسط	۳۴	زیاد	کم	زیاد	بسیار زیاد

مهدی عرفانیان و همکاران

ادامه جدول ۲-

نتیجه		قواعد پیش شرط			نتیجه		قواعد پیش شرط		
PERI	شیب (درصد)	R	K	ردیف	PERI	شیب (درصد)	R	K	ردیف
کم	بسیار کم	کم	زیاد	۳۵	بسیار زیاد	بسیار زیاد	زیاد	کم	۱۳
متوسط	کم	متوسط	زیاد	۳۶	بسیار زیاد	زیاد	زیاد	کم	۱۴
زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	۳۷	کم	بسیار کم	زیاد	کم	۱۵
بسیار زیاد	بسیار زیاد	متوسط	زیاد	۳۸	کم	کم	کم	متوسط	۱۶
بسیار زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	۳۹	زیاد	متوسط	کم	متوسط	۱۷
متوسط	بسیار کم	متوسط	زیاد	۴۰	بسیار زیاد	بسیار زیاد	کم	متوسط	۱۸
متوسط	کم	زیاد	زیاد	۴۱	زیاد	زیاد	کم	متوسط	۱۹
بسیار زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	۴۲	بسیار کم	بسیار کم	کم	متوسط	۲۰
بسیار زیاد	بسیار زیاد	زیاد	زیاد	۴۳	کم	کم	متوسط	متوسط	۲۱
بسیار زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	۴۴	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	۲۲
کم	بسیار کم	زیاد	زیاد	۴۵					

جدول ۳- قواعد فازی تعریف شده برای تهیه شاخص AERI (اگر '...' SPI= و '...' PERI=، آنگاه '...' AERI).

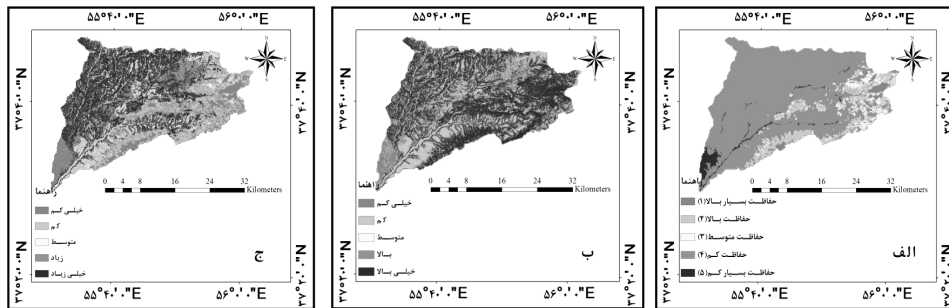
PERI (۵ کلاس)				شاخص AERI (۲۵ قاعده)	
بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم	SPI (۵ کلاس)
بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم	بسیار کم
زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم	کم
متوسط	متوسط	کم	بسیار کم	بسیار کم	متوسط
کم	کم	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	زیاد
بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	بسیار زیاد

تهیه نقشه خطر فرسایش براساس مدل **RUSLE**: به منظور اعتبارسنجی نقشه خطر فرسایش خاک مبتنی بر مدل فازی، از مدل **RUSLE** به دلیل کاربرد گسترده آن در مطالعات فرسایش و رسوب، سادگی مدل، مشابهت سه فاکتور آن با مدل فازی (**R**، **K** و **S**) و سطح غالب آبخیز شامل اراضی دیم استفاده شد. قبلاً روش تهیه نقشه‌های فرسایش‌پذیری خاک (**K**) و فرساینده‌گی باران (**R**) توضیح داده شد. نقشه **LS** با استفاده از معادله ارایه شده توسط دسمت و گاورز (۱۹۹۶) به دست آمد. از جدول

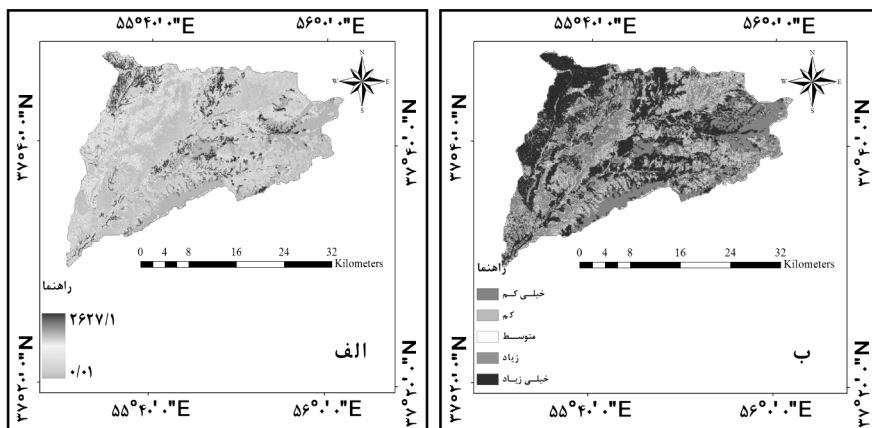
مقادیر پیشنهادی توسط شین (۱۹۹۹) و داوون و همکاران (۲۰۰۶) برای تهیه نقشه‌های رستری عوامل C و P استفاده شد. ابتدا نقشه تلفات خاک طبق رابطه $(R \times K \times LS \times C \times P)$ تهیه شد و سپس نقشه خطر فرسایش خاک آبخیز شامل پنج کلاس خطر فرسایش خاک از بسیار کم تا بسیار زیاد به دست آمد. این نقشه به عنوان نقشه مرجع برای اعتبارسنجی نقشه خطر مدل فازی استفاده شد و ضریب کاپای شرطی (برای هر یک از کلاس‌های خطر) محاسبه شد (قهرمانی، ۲۰۱۲). هرچه مقدار این ضریب به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر انطباق بیشتر بین نقشه‌های خطر مبتنی بر مدل فازی و مدل RUSLE در کلاس خطر مورد نظر می‌باشد.

نتایج

تهیه نقشه‌های فازی خطر: نقشه شاخص حفاظت خاک با استفاده از نقشه LULC و نقشه NDVI مربوط به سپتامبر سال ۲۰۰۱ تهیه شد. شکل ۶ (الف) نشان می‌دهد که حدود ۸۱ درصد از منطقه مورد مطالعه در کلاس حفاظتی کم واقع شده است. همچنین بسیاری از مناطق آبخیز قرناوه واقع در کلاس‌های حفاظتی کم و خیلی کم SPI در اراضی کشت دیم قرار گرفته‌اند و این موضوع به وجود پوشش گیاهی ضعیف در اراضی تحت کشت دیم و مرتع و مقادیر کم شاخص NDVI در مناطق مرکزی و شمالی آبخیز مربوط می‌شود. ارایه چنین نقشه کیفی می‌تواند به یک مجری یا مدیر طرح‌های حفاظتی و آبخیزداری، اطلاعاتی در مورد تأثیر پوشش گیاهی و کاربری اراضی بر توزیع خطر فرسایش خاک ارایه دهد. با توجه به شکل ۶ (ب) بیش‌تر سطح آبخیز (حدود ۴۴ درصد) در کلاس خطر بسیار بالا قرار گرفته‌اند. همچنین خطر پتانسیل کم نیز با ۲۹ درصد به صورت رگه‌هایی در تمام سطح آبخیز قابل مشاهده است. قسمت خروجی آبخیز به دلیل شیب کم‌تر در کلاس خطر بسیار کم قرار گرفته است. مطابق شکل ۶ (ج)، درصد سطح آبخیز در کلاس خطر خیلی بالا حدود ۳۵ درصد و برای کلاس خطر کم حدود ۲۰ درصد می‌باشد. نقشه AERI در تهیه طرح‌های آبخیزداری و حفاظت خاک کاربردی بوده و کمک شایانی به مجریان و تصمیم‌گیران برنامه‌های مدیریتی می‌کند. نقشه تلفات خاک براساس تن در هکتار در سال در شکل ۷ (الف) ارایه شده است. مطابق نقشه خطر فرسایش خاک RUSLE (شکل ۷ ب) اکثر مناطق واقع در کلاس خطر بالای فرسایش در شیب‌های تند و کاربری‌های کشاورزی و مرتع واقع شده‌اند. به عبارت دیگر این مناطق دارای پتانسیل بالای وقوع فرسایش می‌باشند.



شکل ۶- الف) SPI مربوط به سپتامبر ۲۰۰۱، ب) کلاسه‌بندی شاخص پتانسیل فرسایش خاک (PERI)، ج) کلاسه‌بندی شاخص خطر فرسایش خاک (AERI).



شکل ۷- الف) شدت فرسایش پتانسیل Rusle (تن در هکتار در سال) و ب) کلاسه‌بندی فرسایش خاک مدل Rusle.

اعتبارسنجی نقشه AERI: جدول ۴، جدول درهمی یا ماتریس خطا که برای محاسبه ضریب کاپا و درصد صحت کل مورد نیاز است را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، از مقادیر این جدول برای ارزیابی صحت نقشه خطر مدل فازی براساس نقشه خطر مدل Rusle به‌عنوان نقشه مرجع (رفرنس) استفاده شده است. بر این اساس مقدار ضریب کاپا ۰/۲۵ و مقدار صحت کل برابر ۴۵/۴ درصد به‌دست آمد. همچنین براساس جدول ۵ بیش‌ترین ضریب کاپا (کلاس خطر خیلی‌بالا) برابر ۰/۵۴ می‌باشد. شکل ۸ نشان می‌دهد که تطابق بالایی بین درصد اراضی واقع در کلاس‌های پنج‌گانه خطر فرسایش خاک طبق مدل فازی و مدل Rusle وجود دارد. در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد،

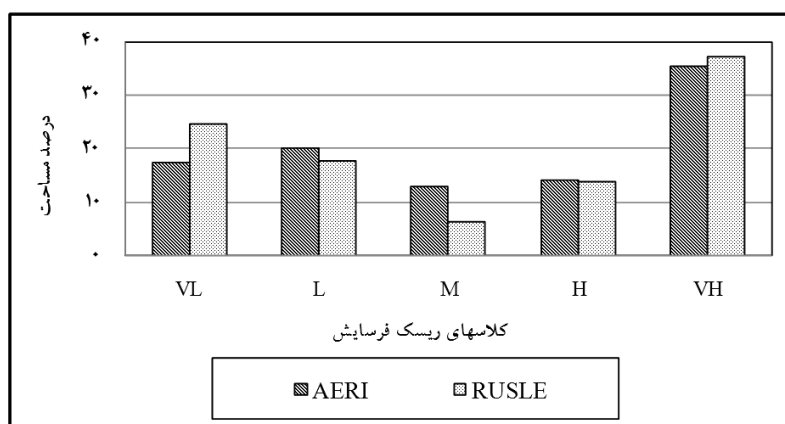
مدل فازی در مقایسه با مدل RUSLE از کارایی بسیار خوبی در شناسایی مناطق بحرانی برخوردار است. نتایج به دست آمده در این پژوهش، با یافته‌های پژوهش میترا و همکاران (۱۹۹۸)، پراسانکومارو همکاران (۲۰۱۲)، آلكساكيس و همكاران (۲۰۱۳) و پارک و همکاران (۲۰۱۱) که روش‌های مختلف تهیه نقشه خطر فرسایش را با مدل RUSLE مورد مقایسه قرار داده‌اند، تا حدود زیادی مطابقت دارد.

جدول ۴- درصد مساحت کلاس‌های خطر فرسایش خاک در روش مدل فازی و مدل RUSLE.

نقشه خطر مبتنی بر مدل RUSLE (نقشه مرجع)						کلاس‌های خطر	درصد مساحت
جمع	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم		
۲۴/۶	۴/۲	۸	۸	۴	۱۴/۸	بسیار کم	نقشه خطر AERI (مدل فازی)
۱۵/۴	۴/۶	۱/۲	۱/۶	۲/۲	۵/۸	کم	
۹/۲	۳/۴	۱/۶	۶	۲/۲	۱/۴	متوسط	
۱۶/۲	۱/۸	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۱/۶	زیاد	
۳۴/۶	۲۶/۶	۱/۲	۲/۲	۳/۶	۱	خیلی زیاد	
۱۰۰	۴۹/۶	۶	۶/۴	۱۳/۴	۲۴/۶	جمع	

جدول ۵- ضریب کاپای کلاس‌های خطر پتانسیل فرسایش خاک (درصد).

کلاس خطر	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
ضریب کاپای شرطی	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۴۷



شکل ۸- مقایسه درصد کلاس‌های مختلف خطر کل آبخیز بر اساس مدل‌های فازی و RUSLE.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مدل فازی ساده و کاربردی برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به منظور ارزیابی خطر فرسایش خاک در منطقه قرناوه گلستان تهیه و به کار گرفته شد. توابع عضویت و قواعد فازی در سه مرحله مدل فازی براساس تجربیات کارشناسی و مرور بر منابع تعریف شده است. انتخاب فاکتورهای ورودی مدل فازی، براساس تجربه و قضاوت کارشناسی، مطالعات و پژوهش‌های فرسایش خاک در ایران و خارج و در نظر گرفتن شرایط آبخیز مورد مطالعه بوده است. مدل فازی تهیه شده با انتخاب مؤثرترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک، قابلیت شناسایی مناطق بحرانی را از نظر خطر فرسایش نشان داد. ضریب کاپای ۰/۵۴ کلاس خطر خیلی زیاد نشان می‌دهد که قواعد فازی به کار گرفته شده بر خلاف تعداد بالای آن‌ها، تقریباً قادر به شناسایی نواحی بحرانی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرناوه گلستان می‌باشد. مقادیر به نسبت پایین ضرایب کاپای مربوط به سایر کلاس‌های خطر، تا حد زیادی به دلیل وجود اختلاف در روش کلاسه‌بندی نقشه فازی AERI و نقشه اولیه RUSLE در تهیه نقشه خطر فرسایش خاک در هر یک از مدل‌های نام‌برده مربوط می‌باشد. به‌طور کلی، توابع عضویت و قواعد فازی مورد استفاده در مدل‌سازی فازی، می‌تواند برای تهیه نقشه خطر فرسایش خاک در مقیاس ناحیه‌ای و بزرگ‌تر هم به کار رود. پیشنهاد می‌شود با تهیه نقشه خطر فرسایش خاک طبق روش پیشنهادی صادقی (۲۰۰۵) براساس روش BLM، مدل‌سازی فازی در آبخیزها در مقیاس‌های کوچک تا ناحیه‌ای در سطح ایران انجام شود تا در مورد میزان اعتبار مدل فازی ارایه شده در این پژوهش با اطمینان بیش‌تری قضاوت کرد.

منابع

1. Ahmadi, H., Maleki, M., Jafari, M., Ghodusi, J., Azarnivand, H., and Mosayebi, M. 2008. Quantification of qualitative geomorphology method for water erosion estimation (Case Study: Three sub-watersheds of Latian Dam basin). J. Iran. Natur. Resour. 61: 4. 775-795. (In Persian)
2. Alexakis, D.D., Hadjimitsis, D.G., and Agapiou, A. 2013. Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of "Yialias" in Cyprus. J. Atm. Res. 131: 108-124.
3. Bou Kheir, R., Abdallah, C., and Khawlie, M. 2008. Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using Remote Sensing and GIS. Engineering Geology. 99: 239-254.

4. Bouaziz, M., Leidig, M., and Gloaguen, R. 2011. Optimal parameter selection for qualitative regional erosion risk monitoring: A remote sensing study of SE Ethiopia. *Geoscience Frontiers*. 2: 2. 237-245.
5. Dabral, P.P., Baithuri, N., and Pandey, A. 2008. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and Remote Sensing. *Water Resources Management*. 22: 1783-1798.
6. Dawen, Y., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., and Musiaka, K. 2006. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *J. Hydrol. Proc.* 17: 2913-2928.
7. Desmet, P.J.J., and Govers, G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J. Soil Water Cons.* 51: 5. 427-433.
8. Eswaran, H., Lal, R., and Reich, P.F. 2001. Land degradation: an overview. P 20-35. *The Second International Conference on Land Degradation and Desertification at Khon Kaen, Thailand.*
9. Favis-Mortlock, D.T., Boardman, J., and Bell, M. 1997. Modelling long-term anthropogenic erosion of a loess cover: South Downs, UK. *The Holocene*. 7: 1. 79-89.
10. Lar Consulting Engineers Company. 2008. Final report of erosion and sediment, Iran. (In Persian)
11. Fox, A.D., Desholm, M., Kahlert, J., Christensen, T.K., and Petersen, K. 2006. Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds. *Special Issue: Wind, Fire and Water: Renewable Energy and Birds*. 148: 129-144.
12. Ghahramani, P. 2012. Assessment of soil erosion risk based on fuzzy logic and using GIS and Remote Sensing in Ghernaveh Watershed, Golestan Province. Urmia University, Iran. Master Thesis. 132p. (In Persian)
13. Khosrowpanah, Sh., Heitz, L.F., Wen, Y., and Park, M. 2007. Developing a GIS- based soil erosion potential model of the UGUM watershed. *Technical Report No. 117.*
14. Merritt, W.S., Letcher, R.A., and Jakeman, A.J. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*. 18: 761-799.
15. Mitra, B., Scott, H.D., Dixon, J.C., and McKimay J.M. 1998. Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in large watershed. *Geoderma*. 86: 183-309.
16. Nigal, R., and Rughooputh, S.D.D.V. 2010. Soil erosion risk mapping with new dataset: An improved prioritisation of high erosion risk area, *Catena*. 82: 3. 191-205.
17. Oinam, B. 2011. Integrated Fuzzy-GIS approach for assessing regional soil erosion risks. University of Stuttgart, Germany. Ph.D. Thesis. 169p.

18. Park, S., Oh, Ch., Jeon, S., Jung, H., and Choi, Ch. 2011. Soil erosion risk in Korean watersheds, assessed using the revised universal soil loss equation. *J. Hydrol.* 399: 263-273.
19. Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., and Geetha, N. 2011. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers*. 3: 2. 209-215.
20. Renard, K.G., and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *J. Hydrol.* 157: 287-306.
21. Rison, B. 2007. Application of Remot Sensing on soil erosion assessment at beta river Basin India. *J. Environ. Poll.* 27: 145-158.
22. Saadat, H., Adamowski, J., Bonnell, R., Sharifi, F., Namdar, M., and Ale-Ebrahim, S. 2011. Land use and land cover classification over a large area in Iran based on single date analysis of satellite imagery. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* 66: 608-619.
23. Sadegi, S.H.R. 2005. A semi-detailed technique for soil erosion mapping based on BLM and satellite image applications. *J. Agric. Sci. Technol. (JAST)*. 7: 133-142.
24. Shin, K.J. 1999. The Soil Loss Analysis Using GIS in Watershed. A Master Thesis, Kangwon National University, Gangwon-do, Korea, 116p.
25. Thiemann, S.D. 2007. Detection and assessment of erosion and soil erosion risk in the watershed of the Bilate River-Southern Ethiopian Rift Valley. Freie University, Berlin, Germany. Ph.D. Thesis. 236p.
26. Vrieling, A., Sterk, G., and Beaulieu, N. 2002. Erosion risk mapping: a methodological case study in the Colombian Eastern Plains. *J. Soil Water Cons.* 57: 158-163.
27. Vrieling, A., Sterk, G., and Vigiak, O. 2006. Spatial evaluation of soil erosion risk in the West Usambara Mountains, Tanzania. *Land Degradation and Development*. 17: 301-319.
28. Vrieling, A., de Jong, S.M., Sterk, G., and Rodrigues, S.C. 2008. Timing of erosion and satellite data: a multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *Inter. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.* 10: 267-281.
29. Wischmeier, W.H., and Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook No. 537. 58p.
30. Wu, Q., and Wang, M. 2007. A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach. *J. Hydrol.* 337: 11-21.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Assessment of soil erosion risk using a fuzzy model in Gharnaveh Watershed, Golestan

***M. Erfanian¹, P. Ghahramani Saatloo² and H. Saadat³**

¹Assistant Prof., Dept. of Watershed Management Engineering, Urmia University,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management Engineering, Urmia University,

³Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran

Received: 05/22/2013; Accepted: 12/22/2013

Abstract

The awareness of soil erosion risk in watersheds can facilitate the identification of critical areas as well as the prioritizing of soil conservation and management plans. The present research aims to develop a new fuzzy model and its validation for soil erosion risk mapping in Gharnaveh watershed, located in Golestan province, Iran. Soil erosion risk mapping was conducted in three steps: at first, the map of soil protection index (SPI) (NDVI) was created using two primary factors of Land Use-Land Cover (LU-LC) and the normalized difference vegetation index. At the second stage, a map of potential erosion index (PERI) was created based on three raster layers of slope, rainfall erosivity and soil erodibility. Finally, The output of the fuzzy modeling (the SPI and PERI maps) were combined to produce the actual erosion risk index (AERI) map. The RUSLE model was utilized to validate the fuzzy model of soil risk map. The kappa coefficient of the class of very high risk (VH) reveals that the reclassified AERI map could identify relatively well the critical areas with high soil erosion potential in Gharnaveh watershed compared with the RUSLE soil erosion risk map (as reference map). The findings in this research are very useful for managers, decision makers with respect to projects implementation, the prioritization of sub-watersheds and choosing proper watershed management practices.

Keywords: Fuzzy model, Soil erosion risk, AERI, RUSLE, Garnaveh

* Corresponding Author; Email: erfanian.ma@gmail.com