نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
صفحات ۷۷ – ۹۶

تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز عموقین اردبیل

فریبا اسفندیاری درآباد؛ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رئوف مصطفی‌زاده[1]؛ دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
امیرحسام پاسبان؛ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
بهروز نظافت تکله؛ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۰۲/۲۱ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۸/۱۱

چکیده

فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیطزیست به‌شمار می‌رود. در این راستا، اطلاعات زمانی و مکانی فرسایش خاک در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش و مدیریت حوزه‌های آبخیز نقش مؤثری دارد. امروزه عدم استفاده صحیح از اراضی و تغییرات کاربری اراضی مانند تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی، چرای مفرط، شخم روی شیب‌های تند، باعث افزایش میزان فرسایش خاک و رسوب شده است. کاربری‌های مختلف اراضی مقادیر مختلف فرسایش را ایجاد می‌کنند و مدیریت اراضی نقش به‌سزایی در جلوگیری از فرسایش دارد. در مطالعه حاضر، هدف تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز عموقین با استفاده از مدل RUSLE است. لایه پارامترهای مدل RUSLE شامل لایه فرسایندگی باران، لایه خاک، لایه توپوگرافی، لایه پوشش گیاهی و عامل حفاظتی خاک هم‌چنین آمارهای مختلف مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری، نقشه‌های توپوگرافی، و زمین‌شناسی و نیز بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و سنجش از دور استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه در دامنه بین ۱/۲۱ تا ۵/۵۳ تن در هکتار در سال متغیر است. هم‌چنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) دارای ارتباط کمی با میزان فرسایش سالانه خاک به‌وسیله مدل RUSLE دارد. هم‌چنین در بررسی دیگر بین شاخص‌های زمینی با مدل RUSLE نتایج نشان داد که عامل پوشش گیاهی با ضریب تعیین ۰/۴۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های مورد مطالعه دارای هم‌بستگی بیش‌تری است، شاخص قدرت جریان نیز با ضریب تعیین ۰/۰۷ درصد دارای کم‌ترین هم‌بستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه است. این تحقیق امکان تلفیق شاخص‌های موثر توپوگرافی و پوشش گیاهی بر فرسایش و نیز امکان استفاده از سایر شاخص‌های موثر را تائید می‌نماید.

واژه های کلیدی: **برآورد فرسایش خاک، اولویت‌بندی، مدیریت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی.**

[1] - نویسنده مسئول Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

مقدمه

منابع طبیعی یکی از ارزشمندترین ثروت‌های خدادادی کشور است که بهره‌برداری و مدیریت آن دقت و ظرافت خاصی می‌طلبد و سهل‌انگاری در بهره‌برداری و حفاظت از آن خسارت جبران ناپذیری به‌دنبال دارد. شواهد متعددی در خصوص ضرورت مطالعه و پویایی زمانی و مکانی کاربری اراضی و مدیریت آبخیز برای درک فرآیندهای رواناب و رسوب و تدوین استراتژی‌های مدیریتی وجود دارد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹، مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). انسان در طبیعت با اقدامات خواسته و ناخواسته موجب برهم خوردن تعادل و تشدید روند تخریب طبیعت می‌شود. از طرفی امروزه افزایش جمعیت و تقاضا برای محصولات کشاورزی موجب شده تا پوشش گیاهی به‌ویژه در اکوسیستم‌های جنگلی مرتعی با سرعت هشدار دهنده‌ای توسط انسان تخریب و باعث افزایش فرسایش شود. از آنجا که پوشش گیاهی مهم‌ترین مانع در برابر فرسایش است می‌توان تأثیر آن را بر میزان هدر رفت خاک مشاهده کرد (احمدی، ۱۳۸۸). فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر یا فرسایش تشدیدی، نه‌تنها در محل وقوع خود، در حوضه‌ها و اراضی زراعی به‌صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌نماید، بلکه در محل خارج از وقوع آن به‌صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری و هم‌چنین ایجاد آلودگی توسط رسوبات و فلزات سنگین و مواد شیمیایی همراه آن، امروزه بیش از هر زمان دیگری مشهود است. بررسی پژوهش‌های علمی نشان می‌دهد، حدود ۵۸ درصد از تخریب اراضی در جهان به علت فرسایش خاک بوده که بیش‌تر این تخریب، از زمان جنگ جهانی دوم رخداده است و باعث کاهش ۱۷ درصدی تولید محصول و آسیب زیست‌محیطی شده است. اخیراً حدود ۸۰ درصد از زمین‌های کشاورزی در جهان از فرسایش متوسط تا شدید رنج می‌برند بنابراین، جلوگیری از این پدیده، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل جهت حفاظت از منابع طبیعی به‌شمار می‌رود (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). با توجه به اهمیت حفاظت خاک و هم‌چنین اولویت‌بندی و تعیین مناطق بحرانی جهت ضروری است و برای ارائه برنامه‌های مدیریتی در حفاظت از خاک و کنترل رسوب، اطلاع از ماهیت، اهمیت نسبی و منشأ، منابع اصلی رسوب در حوضه‌های آبریز ضروری است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ عسگری و همکاران، ۱۳۹۹). در این راستا، محققان مختلف سعی نمودند عوامل فرسایش را شناسایی نمایند و مدل‌هایی را برای ارزیابی خاک ارائه دهند (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۴). از مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به معادله‌های جهانی فرسایش خاک (USLE[۱])، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP[۲])، ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT[۳]) و مدل اروپایی فرسایش خاک (EURUSEM[٤]) اشاره نمود (حبشی و همکاران، ۱۳۹۶). در طی ۴۰ سال اخیر مدل USLE به‌سبب داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات مدیریتی مختلف بر آن بوده است (Kinnell,۲۰۰۰). به‌دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدیدنظر شده جهانی هدررفت خاک (RUSLE[٥]) توسعه‌یافته که برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای R، K، C و P فرسایش خاک انجام می‌دهد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

۱. Universaal Soil Loss Equation (USLE)
۲. Water Erosion Prediction project (WEPP)
۳. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
٤. Europen Soil Erosion Model (EURUSEM)
٥. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

پژوهش‌ها و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز مختلف در سراسر جهان صورت گرفته است. خطیبی (۱۳۹۴)، به‌منظور بررسی علل و عوامل فرسایش آبی و برآورد و پیش‌بینی محدوده‌های تحت خطر فرسایش خاک از مدل USLE و از تکنیک‌های GIS استفاده نمودند. ایشان به این نتیجه رسیدند که در بین عوامل مورد بررسی طول و شیب دامنه به‌عنوان عامل توپوگرافی، نقش اصلی را در فرایند فرسایش ایفا می‌کند هم‌چنین با تهیه نقشه پهنه‌بندی از خطر فرسایش حوضه سراسکندچای نشان دادند که شیب‌های منتهی به دشت‌های سیلابی از پتانسیل بالایی برای فرسایش آبی برخوردارند. صفاری و همکاران (۱۳۹۷)، به‌وسیله مدل RUSLE و با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده‌های OLI، ETM و TM ماهواره لندست در یک بازه ۳۰ ساله برای سه سال ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ تأثیر تغییرات پوشش زمین بر پتانسیل فرسایش خاک در حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان را موردبررسی قراردادند. نتایج تغییرات پوشش زمین نشان‌دهنده کاهش پوشش‌های جنگل متراکم، جنگل با تراکم کم و باغ و مرتع در برابر افزایش سطوح کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی در طی بازه سی‌ساله است. هم‌چنین نتایج مدل RUSLE سیر افزایشی پتانسیل فرسایش خاک در حوضه آبخیز قره‌سو را نشان می‌دهد. عرب و همکاران(۱۳۹۷)، به بررسی وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز اوغان با مساحت ۳۸۹/۲۵ کیلومتر مربع پرداختند. آن‌ها در این تحقیق برای برآورد فرسایش خاک از مدل RUSLE استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش سالیانه خاک در کل محدوده مطالعاتی از ۰ تا ۶۵۷۴ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل برآورد شده است، هم‌چنین نشان دادند که فاکتور پوشش گیاهی بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. آرمین و همکاران (۱۳۹۹)، باهدف ارزیابی خطر فرسایش خاک و توزیع مکانی آن با استفاده از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش و شناسایی و اولویت‌بندی مناطق حساس شهرستان بهمئی در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند. آن‌ها برای تحقق این هدف از تصاویر سنجنده‌های OLI و ETM+ ماهواره لندست در سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۷ استفاده کردند و درنهایت به این نتیجه رسیدند که حدود ۸۰ درصد منطقه موردمطالعه دارای شیبی کم‌تر از ۳۰ درصد بوده که از این نظر منطقه باید دارای فرسایش کمتر باشد. هم‌چنین مطالعه پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۳ نشان داد که ۸ درصد منطقه دارای پوشش گیاهی بیشتر از ۶۰ درصد است درصورتی‌که در سال ۲۰۱۷ این میزان به ۷۰ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است لذا کاهش پوشش گیاهی به‌مرور زمان می‌تواند منجر به افزایش خطر فرسایش خاک شود. یوسفی‌مبرهن (۱۳۹۹)، با هدف بررسی کارایی سامانه اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه فرسایش و ارائه روش‌های کنترل فرسایش پرداختند. ایشان دو نوع طبقه‌بندی شامل فرسایش متوسط و زیاد برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفتند و به این نتیجه رسیدند که مقدار متوسط فرسایش براساس روش MPSIAC[۱] در حوضه موردنظر ۸۱/۴ تن در هکتار در سال و نسبت تحویل رسوب ۳/۷۴ و متوسط رسوب حوضه برابر ۵۸/۳ تن در هکتار در سال برآورد شد. این مقادیر بیانگر این است که فرسایش و رسوب‌زائی متوسط در کل حوضه و مقدار زیاد در بعضی زیرحوضه‌ها مشهود است. بوخیر و همکاران (Bou Kheir et al.,۲۰۰۷)، نقشه حساسیت فرسایش خندقی در لبنان را با استفاده از GIS و متغیرهای شکل زمینی تهیه نمودند. ایشان با استفاده از مدل رگرسیون درختی به این نتیجه رسیدند که این مدل ساده و سریع بوده و می‌توان آن را در دیگر مناطق مدیترانه‌ای با شرایط مشابه به‌کار برد. گین و همکاران (Qin et al., ۲۰۰۹)، برای محاسبه شاخص رطوبت توپوگرافی از چهار نوع حوضه مصنوعی استفاده کردند و به این

۱. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

نتیجه رسیدند که خطای شاخص رطوبت توپوگرافی با استفاده ازاین رویکرد به‌طورکلی پایین است. هم‌چنین یک رویکرد کاربردی جدیدی را در یک حوضه کشاورزی دیگر کیلومترمربع) در ننجینگ شمال شرقی چین مورد استفاده قراردادند و به این نتیجه رسیدند که توزیع شاخص رطوبت توپوگرافی با این رویکرد شرایط بهتری از زمین‌های محلی را نشان می‌دهد. راوات و همکاران (Rawat et al.,۲۰۱۸)، به‌منظور ارزیابی و اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری فرسایش خاک در حوضه آبریز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش هند را با استفاده از RUSLE و GIS انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان‌داد که پوشش گیاهی فرسایش خاک را متوقف می‌کند هم‌چنین مطالعه نقشه‌های خطر فرسایش در ایجاد استراتژی‌های بهتر برای برنامه‌ریزی زمین و محیط زیست مفید خواهد بود. پاون (Pawan,۲۰۲۰) به‌منظور بررسی و برآورد مکانی فرسایش خاک در دولاخا با استفاده از مدل RUSLE و نیز اثر استفاده از زمین و پوشش زمین بر فرسایش خاک را مورد تجزیه‌وتحلیل قرارداد. ایشان میزان فرسایش خاک را بر اساس شدت فرسایش به شش گروه تقسیم کردند که شامل ۵ درصد از مناطق در معرض خطر شدید فرسایش، ۱۰ درصد در محدوده بالا و شدید، درحالی‌که ۱۵ و ۷۰ درصد مناطق به‌ترتیب در یک منطقه متوسط و کم‌خطر باقی مانده‌اند. بدین ترتیب ایشان به این نتیجه رسیدند که منطقه شمال شرقی به‌دلیل شیب زیاد از خطر فرسایش خاک زیاد رنج می‌برد. آماح و همکاران (Amah et al.,۲۰۲۰) از معادله تجدیدنظرشده جهانی هدررفت خاک (RUSLE) برای مطالعه فرایندهای فرسایش خاک در Edda Afikpo mesas حوضه‌های آبریز رودخانه کراس پایین نیجریه استفاده نمودند. آن‌ها در این پژوهش از داده‌های DEM، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه پایه منطقه استفاده نمودند. مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که ۱۸/۸ درصد از زمین‌های موجود برای توسعه در معرض بسیار زیاد خطر فرسایش است. از نتایج این تحقیق می‌توان برای اهداف حفاظت و سازگاری استفاده کرد.

حوزه‌های آبخیز استان اردبیل به‌دلیل تنوع توپوگرافی، اقلیمی، کاربری اراضی دارای تغییرات گسترده مکانی است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۹)، بنابراین پیش‌بینی مناطقی که پتانسیل خطر فرسایش خاک کاربری‌های مختلف به‌دلیل شرایط توپوگرافی و تشدید بهره‌برداری از اراضی حوضه آبخیز عموقین دارای اهمیت است. لذا هدف از این مطالعه برآورد تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز عموقین با استفاده از مدل RUSLE و ارائه راهکارهای مناسب جهت کنترل و کاهش اثرات ناشی از آن است.

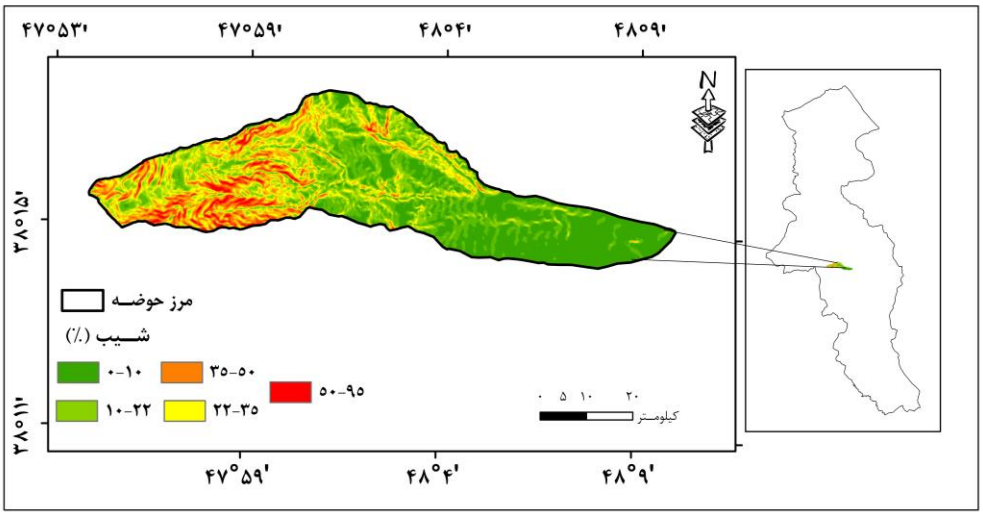
داده ها و روش‌کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

حوضه آبخیز عموقین با مساحتی حدود ۷۸۶۰ هکتار در محدوده جغرافیایی′۵۴°۴۷ تا ′۱۰°۴۸ طول شرقی ′۱۴ °۳۸ تا ′۱۸ °۳۸ عرض شمالی و روی رودخانه یدی‌بولیک چای شهرستان اردبیل واقع شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع منطقه به‌ترتیب برابر ۱۴۳۶ و ۳۸۴۸ متر است و قسمت درخور توجهی از منطقه را کاربری کشاورزی آبی و دیم با شیب ۱ الی ۲۵ درصد تشکیل می‌دهد خاک منطقه جز گروه‌های هیدرولوژیکی B، C و D است و در زون زمین‌ساختی آتش‌فشانی دوران سوم قرار دارد که آتش‌فشان‌های جدید نئوژن و کواترنر روی سنگ‌های آتش‌فشانی قدیمی‌تر قرار دارند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷). موقعیت حوزه آبخیز عموقین در شکل (۱) ارائه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]



شکل ۱. موقعیت جغرفیایی حوضه آبخیز عمو قین در سطح استان اردبیل.

- **روش تحقیق**

در این پژوهش بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و بازدید میدانی، عوامل مؤثر در فرسایش خاک در منطقه شناسایی شد. هم‌چنین پس از مشخص کردن متغیرهای مورد بررسی شامل کاربری اراضی، توپوگرافی، اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و اطلاعات مربوط به خاک اقدام به گردآوری داده‌ها شده است، هم‌چنین به منظور آنالیز و پردازش داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزارهای GIS ۱۰،۱، ENVI ۵،۳، و Excel ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با هم‌پوشانی لایه‌ها در محیط ArcGIS فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE به‌دست آمد.

○ مدل تجدیدنظر جهانی فرسایش خاک (RUSLE)

در این مطالعه از مدل تجدیدنظر جهانی فرسایش خاک RUSLE به‌منظور برآورد فرسایش خاک مورداستفاده قرار گرفت که لایه‌های آن را می‌توان با کمک تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به دست آورد. معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) در سال ۱۹۴۷ توسط سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات‌متحده آمریکا برای برآورد میزان فرسایش سطحی ارائه شد (Wischmeier and Smit, ۱۹۷۸). و نسخه تجدیدنظرشده آن (RUSLE) جهت تخمین فرسایش خاک و طراحی برنامه‌های حفاظتی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Renard et al.,۱۹۹۷). مدل RUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش عامل زیر ارتباط دارد و به‌صورت رابطه ۱ نشان داده می‌شود (Wischmeier and Smit, ۱۹۷۸).

$$A=R\times K\times LS\times C\times P \qquad (۱)$$

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار)، R عامل فرسایندگی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار بر ساعت در سال)، K عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن در ساعت بر مگاژول بر میلی‌متر)، L عامل طول شیب، S عامل درجه شیب، C عامل پوشش گیاهی و P عامل عملیات حفاظتی است. مقادیر C، P و LS بدون واحد هستند.

در رابطه ۱ فرسایش متوسط سالیانه خاک (A)، از طریق حاصل‌ضرب فاکتورهای فرسایندگی (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، عملیات‌حفاظتی (P)، مدیریت پوشش گیاهی (C)، توپوگرافی (LS)، محاسبه می‌شود. درنتیجه نقشه فرسایش به‌دست آمده از این مدل نشان داده خواهد شد. روش مذکور با تأکید بر مجموع انرژی بارش برای محاسبه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

شدت فرسایش سطحی که دربرگیرنده فرسایش ورقه‌ای و شیاری است توسعه یافته است. وجود مشکلات و محدودیت‌هایی باعث شده در سال ۱۹۸۷ این رابطه اصلاح گردد که به معادله جهانی اصلاح‌شده (RUSLE) موسوم است. مدل RUSLE دارای پایه فیزیکی قوی‌تری نسبت به USLE که رابطه تجربی است بوده و برای اراضی غیر زراعی و طبیعی نیز قابل‌استفاده است. این مدل علاوه بر فرسایش شیاری و ورقه‌ای، انواع فرسایش را در بر می‌گیرد. ازآنجا که پارامترهایی نظیر عامل پوشش، فرسایش‌پذیری خاک در مقیاس روز و ماهانه نیز تغییر قابل‌توجهی دارند، تغییرات زمانی پارامترهای مؤثر در فرسایش خصوصاً تغییرات فصلی بارش در این مدل در نظر گرفته شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶).

○ عامل فرسایندگی باران (R)

فرسایندگی باران به‌صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود که معمول‌ترین شاخص فرسایندگی باران، فاکتور R مربوط به مدل‌های USLE و RUSLE است. بررسی مقالات علمی نشان می‌دهد، در بسیاری از نقاط دنیا، فاکتور R همبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد همچنین فاکتور R برای دوره‌های مختلف، از حاصل‌ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I۳۰) به‌دست می‌آید. از آنجایی‌که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به‌ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، اغلب از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه، جهت برآورد فاکتور R در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). بنابراین برای محاسبه فاکتور R، بعد از تعیین ایستگاه‌های شاخص در منطقه موردمطالعه، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی موردمطالعه بازسازی گردید. در مرحله بعد با استفاده از معادله زیر شاخص فورنیر برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد که در جدول ۱ ارائه شده است. شاخص فورنیر F، به‌صورت رابطه (۲) ارائه شده است (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \qquad (۲)$$

در این رابطه pi متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه، i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است.

○ عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

فرسایش پذیری خاک، به مقاومت خاک در برابر جدا شدن و مقاومت ذرات در برابر انتقال اطلاق می‌شود (Shi, ۲۰۰۲). با توجه به اینکه عامل K با بافت، میزان ماده آلی، نفوذپذیری و ساختمان خاک رابطه دارد، اما با نوع تیپ خاک نیز همبستگی بیش‌تری دارد (Wischmeier,۱۹۷۸). براساس دستورالعمل ارائه شده توسط فائو (FAO, ۱۹۹۶) مقدار عامل فرسایش پذیری خاک براساس میزان مواد آلی، ترکیب خاک و نفوذپذیری بین ۰/۷۰ برای خاک‌های ضعیف(شکننده) تا ۰/۰۱ برای خاک‌های بسیار پایدار متغیر است (رخبین و همکاران، ۱۳۹۳). مورگان برای فاکتور فرسایش پذیری(K) خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد کرده است که در جدول (۱) ارائه شده است (احمدی، ۱۳۸۸). در این مطالعه نیز برای محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک بر اساس جدول (۱) و مطالعات مشابه سایر محققین استفاده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

جدول ۱. فرسایش‌پذیری خاک بر اساس یک درصد ماده آلی خاک (احمدی، ۱۳۸۸: حاجی و همکاران، ۱۳۹۷).

بافت خاک	عامل فرسایش‌پذیری خاک(K)
لومی سیلتی	۰/۳۷
لومی رسی شنی	۰/۴۲
رس سیلت	۰/۲۵

عامل توپوگرافی (LS)

به‌طورکلی، هرچه طول شیب، زیادتر باشد شدت فرسایش بیش‌تر می‌شود. میزان فرسایش در طول یک شیب، یکنواخت نمی‌باشد و به‌طور معمول در قسمت‌های انتهایی بیش‌تر است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴). فاکتورهای L و S در مدل RUSLE بیانگر تأثیر توپوگرافی بر روی فرسایش خاک می‌باشد. ثابت‌شده که افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود (Haan et al., ۱۹۹۴). بنابراین در این پژوهش با استفاده از ۲۰ DEM متر منطقه در محیط ArcGIS در قسمت ArcHydro تحلیل‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی ازجمله طول شیب حوضه به دست آمد، هم‌چنین درجه و درصد شیب حوضه از روی DEM (۲۰ متر) متر منطقه استخراج گردید که در قسمت تحلیل مکانی به دست آمد. به‌طورکلی می‌توان هر یک از عوامل طول شیب و درجه شیب را باهم در نظر گرفت که آن را با علامت LS نشان می‌دهند (رحیمی و مرزبانی، ۱۳۹۲). برای به‌دست آوردن عامل LS از رابطه ۳ در محیط Raster Calculator استفاده شد.

$$LS = (fa \times \frac{cell_size}{22.3})^{0.4}(\frac{\sin}{0}.0896)^{1.3} \quad (۳)$$

در این رابطه LS فاکتور طول دامنه، fa تجمیع جریان است.

○ **عامل پوشش گیاهی (C)**

روش‌های مختلفی برای برآورد عامل C با استفاده از شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده(NDVI [۱]) برای ارزیابی هدر رفت خاک توسط محققان مختلف توسعه داده‌شده است(محمدی و همکاران ۱۳۹۵) بنابراین، به‌منظور تهیه نقشه عامل C ابتدا باید مقادیر شاخص NDVI برای کل حوضه محاسبه شود. بدین منظور برای تهیه نقشه NDVI از تصویر ماهواره‌ای Landsat ۸ OLI سال ۲۰۱۸ منطقه مطالعه شده با استفاده از رابطه ۸ استفاده شد در نتیجه نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI منطقه موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI از رابطه (۴) به‌دست آمد.

$$NDVI = (P_{NIR} - P_{Red})/(P_{NIR} + P_{Red}) \quad (۴)$$

در این رابطه Pred باند قرمز و Pnr باند مادون نزدیک است.

پس از محاسبه NDVI برای کل حوضه، درنهایت توزیع مکانی مقادیر C در حوضه نیز با استفاده از رابطه (۵) و توسط تحلیلگر مکانی نرم‌افزار ArcGIS به‌دست آمد.

۱. Normalized difference vegetation index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

$$C = 0.407 - 0.5953 * NDVI \quad (۵)$$

○ **عامل حفاظت خاک (P)**

در مدل RUSLE عامل P نشان‌دهنده هدررفت خاک در شرایط اجرای عملیات حفاظتی (کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، تراس‌بندی و زهکشی زیرسطحی) نسبت به هدررفت خاک تحت زراعت شخم در جهت شیب است همچنین این عملیات حفاظتی به دلیل تأثیر بر سرعت رواناب، زمان تمرکز و نیروی هیدرولیکی رواناب بر خاک سبب کاهش فرسایش می‌شوند و ارزش عددی این عامل از صفر (نشان‌دهنده عملیات حفاظتی کامل) تا یک (بدون عملیات حفاظتی) متغیر است و لذا از آنجا که عامل حفاظت P در صورت نبود اطلاعات کافی درباره چگونگی مدیریت اراضی می‌تواند از معادله حذف شود (Wischmeier and Smit, ۱۹۷۸). در این تحقیق نیز به دلیل نبود اطلاعات کافی عامل P محاسبه نشده است.

○ **برآورد شاخص‌های مورد استفاده**

عامل توپوگرافی: فاکتور LS عبارت از شاخصی است که تأثیر توپوگرافی را بر فرسایش مشخص می‌کند و به‌صورت رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Luca, ۲۰۱۱).

$$LSF = (fa \times \frac{cell_size}{22.3})^{0.4} (\sin\theta / 0.896)^{1.3}$$

رابطه (۶)

در این رابطه LSF فاکتور طول دامنه، fa تجمیع جریان است همچنین θ شیب برحسب درجه است.

شاخص رطوبت توپوگرافی: نظریه شاخص رطوبت توپوگرافی اولین بار به‌وسیله بون و کرکبی (۱۹۷۹) در مدل بارش-رواناب TOPMODEL معرفی شد که می‌تواند تأثیر توپوگرافی را بر تولید رواناب به‌صورت کمی بیان کند و به‌عنوان یک شاخص فیزیکی، مکان مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک را برآورد می‌کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳). TWI در مقایسه با ویژگی‌های توپوگرافی ترکیبی دیگر، مانند شاخص قدرت جریان در بسیاری موارد در کاربردهای مربوط به کشاورزی دقیق، استفاده می‌شود که نمونه‌هایی از این کاربردها شامل استفاده از نقشه TWI به‌عنوان شاخصی برای الگوی رطوبت خاک در مزرعه به‌خصوص در اراضی تپه ماهوری، ترکیب TWI و ویژگی‌های توپوگرافی اصلی (مانند زاویه شیب، انحنای شیب) با یکدیگر به‌عنوان ورودی برای تهیه نقشه رقومی خاک برای پیش‌بینی توزیع مکانی نوع و ویژگی‌های خاک، در مقیاسی بهتر است (Qin et al., ۲۰۰۹). شاخص رطوبت توپوگرافی به‌صورت رابطه (۷) ارائه‌شده است (Moore and Grayson, ۱۹۹۱).

$$TWI = A_s / \tan\beta$$

رابطه (۷)

در رابطه ذکرشده A_s سطح ویژه حوضه برحسب مساحت تجمعی بالادست (مساحت بالادست در واحد طول خط تراز)، β درجه شیب است. این شاخص، گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از درجه شیب است. این شاخص، گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوضه (برحسب A_s) و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به پایین‌دست (برحسب $t\beta$ به‌عنوان شیب هیدرولیکی تقریبی) توصیف می‌کند.

شاخص قدرت جریان: قدرت جریان، میزان زمان مصرف انرژی است و به‌طور گسترده در مطالعات فرسایش و محل رسوب به‌عنوان اندازه‌گیری قدرت فرسایش آب جاری استفاده می‌شود همچنین این شاخص ظرفیت انتقال فضایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

توزیع شده را محاسبه می‌کند و ممکن است برای ارزیابی چشم‌انداز فرسایش بیش از سایر رویکردها مناسب باشد، زیرا این امر منجر به انعطاف و انحراف جریان می‌شود. این توزیع فضایی، پتانسیل خسارت خاک را با استفاده از بارش رواناب و باران یکنواخت محاسبه می‌کند (شارما، ۲۰۱۰). شاخص قدرت جریان (SPI) به‌صورت رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Sharma, ۲۰۱۰).

$$SPI = A_s \tan B$$ رابطه (۸)

در این رابطه $\tan B$ و A_s هستند به ترتیب منطقه خالص حوضه و شیب محلی هستند.

شاخص پوشش گیاهی: شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) پر کاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور به‌دست می‌آید. برای تصویر لندست این شاخص به‌صورت رابطه (۹) است.

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$ رابطه (۹)

این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقادیر NDVI بین ۱ - و ۱ + در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر NDVI به صفر نزدیک می‌شود. پوشش گیاهی سالم (دارای فعالیت فتوسنتزی) در بخش طیفی مادون‌قرمز (IR) (باند ۴ لندست) در مقایسه با بخش طیفی مرئی قرمز (R) (باند ۳ لندست) انعکاس بیش‌تری دارد. بنابراین مقادیر NDVI بـرای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر NDVI بین ۰/۱ و ۰/۱ - را نشان می‌دهند. ابرها و منابع آبی مقادیر منفـی یا صفر را نشان می‌دهند. شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای محاسبه داده‌هـای طیفی زمینی استفاده شده و نتایج آن نشان داده که این شاخص، همبستگی بالایی با زیست‌توده سطح زمین دارد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). به این ترتیب شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده NDVI برای حوضه مورد مطالعه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ تهیه شد.

شرح و تفسیر نتایج

- **شاخص فرسایندگی باران(R).**

مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی و نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرسایندگی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه رابطه (۶) در طی دوره آماری ۱۰ ساله در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین نقشه فاکتور فرسایندگی باران (R) در شکل (۲) ارائه شده است.

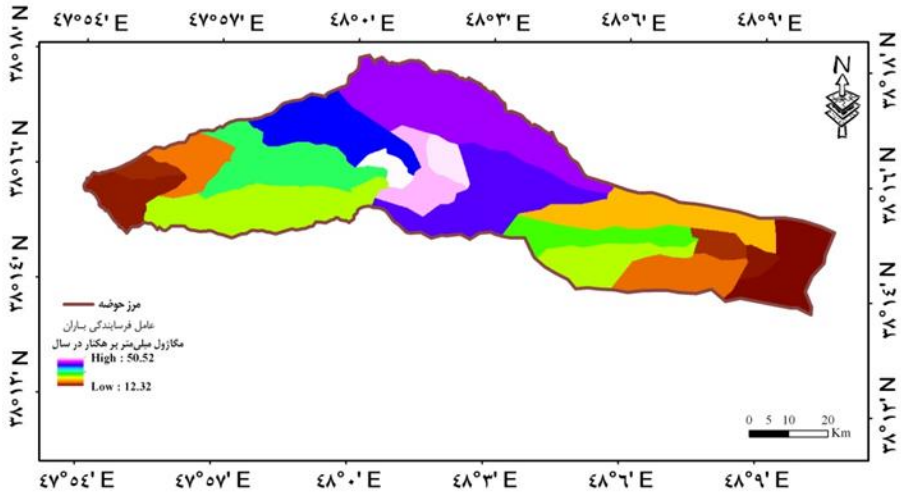
جدول ۲. محاسبه و برآورد عامل R برای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبخیز عموقین

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	بارندگی سالانه	R
۱	آتشگاه	۲۹-۰۳-۴۸	۵۸-۱۲-۳۸	۱۷۷۱	۴۴۳	۴۴/۶۲
۲	شمشیرخوانی	۳۹-۰۰-۴۸	۱۵-۱۶-۳۸	۲۱۶۰	۶۵۰	۵۶/۵۷
۳	سردابه	۰۶-۰۲-۴۸	۰۷-۱۷-۳۸	۱۹۳۲	۴۹۲	۶۰/۳۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

با توجه به جدول ۲، مقدار متوسط فاکتور R برای حوضه عموقین از ۴۴/۶۲ تا ۶۰/۳۲ مگاژول بر میلی‌متر بر هکتار برساعت در سال متغیر است.

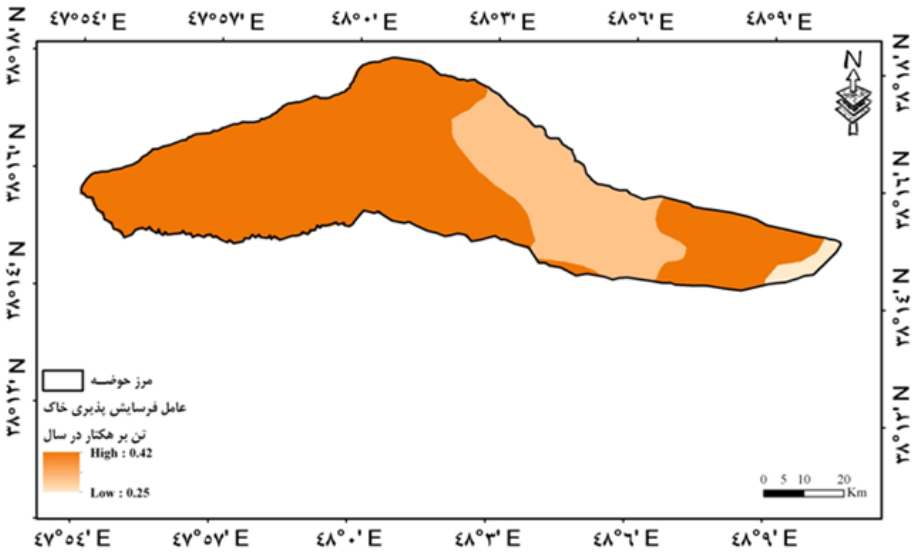


شکل ۲. نقشه عامل فرسایندگی باران(R) حوضه آبخیز عموقین.

مطابق شکل ۲، مقدار فاکتور R از ۱۲/۳۲ تا ۵۰/۵۲ مگاژول بر میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال متغیر است.

- **عامل فرسایش‌پذیری خاک(K)**

اطلاعات مورد نیاز از گزارش تفصیلی حوضه آبخیز عموقین استخراج گردید و پس از آن نقشه عامل K با توجه به جدول (۱) و مطالعات سایر محققین در محیط ArcGIS تهیه شد. نقشه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در شکل ۳ ارائه شده است. براساس شکل ۳ مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) برای حوضه عموقین بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۲ متغیر است.

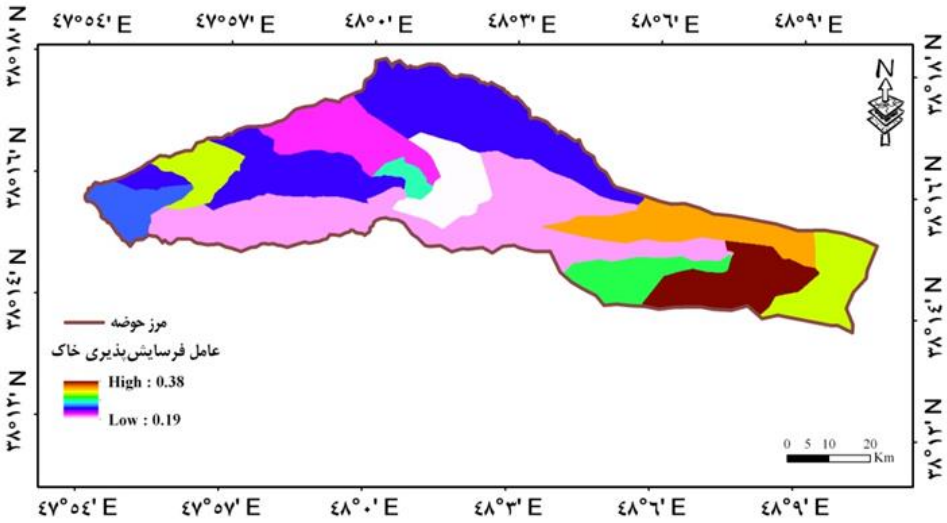


شکل ۳. نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک(K)، حوضه آبخیز عموقین.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

- **عامل توپوگرافی(LS)**

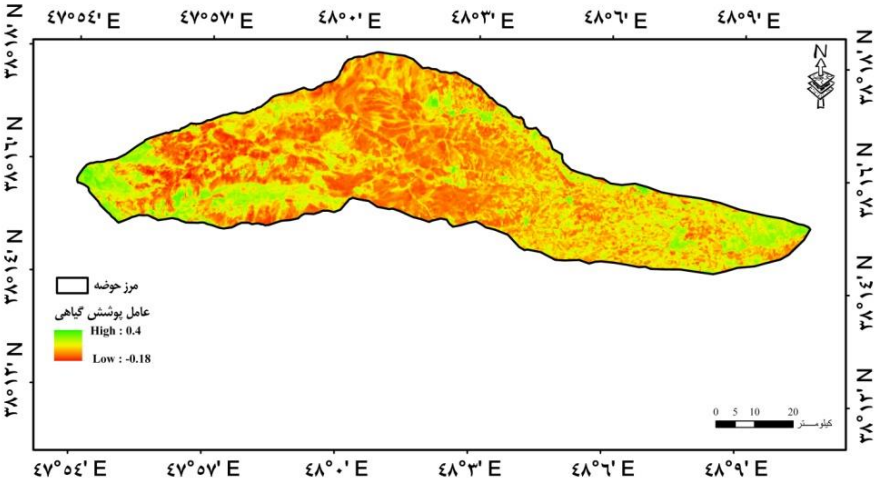
نقشه عامل توپوگرافی (LS) حوضه مورد مطالعه با تهیه و ایجاد لایه‌های لازم براساس رابطه ۷ به‌دست آمد که در شکل (۴) ارائه شده است. براساس شکل ۴ مقدار عامل LS برای حوضه آبخیز عموقین در دامنه بین ۰/۱۹ تا ۰/۳۸ متغیر است که در دامنه‌های پرشیب به‌خصوص اطراف آبراهه‌ها به‌دلیل کوهستانی بودن حوضه مورد مطالعه این مقدار بیش‌تر است.



شکل ۴. نقشه عامل توپوگرافی LS، حوضه آبخیز عموقین.

- **عامل پوشش گیاهی (C)**

نقشه عامل پوشش گیاهی C حوضه آبخیز عموقین براساس رابطه ۴ و ۵ تهیه شد که در شکل ۵ ارائه شده است. براساس شکل ۵ مقادیر عامل C از ۰/۱۸- الی ۰/۴ متغیر است. به‌طور کلی می‌توان گفت که نیمه مرکزی حوضه آبخیز عموقین به‌دلیل وسعت بیش‌تر اراضی جنگلی مقادیر کم‌تری از مقدار C را دارد و بیش‌ترین مقدار در نواحی غربی به خصوص نواحی جنوب غربی به‌دلیل اراضی مرتعی دیده می‌شود



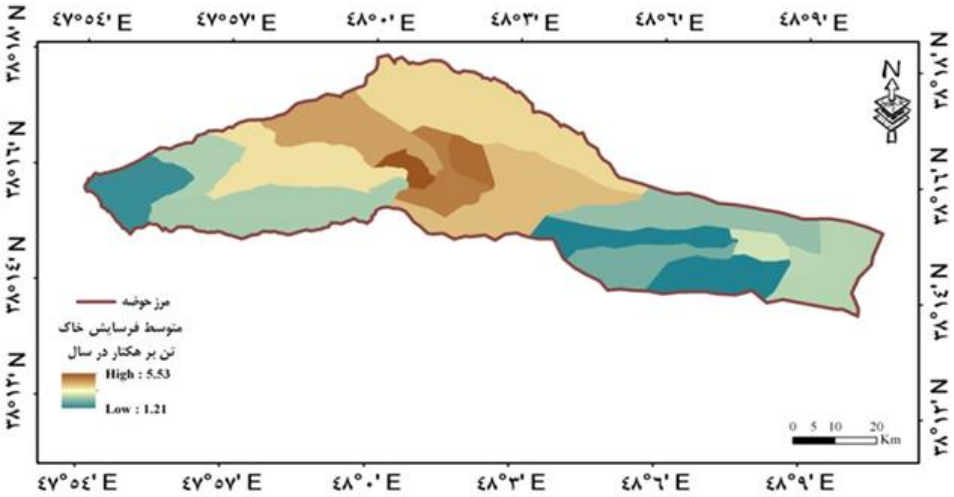
شکل ۵. نقشه عامل پوشش گیاهی (C) حوضه آبخیز عموقین.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

با توجه به عدم انجام اقدامات حفاظتی در منطقه مورد مطالعه، مقدار فاکتور P برای کل منطقه ۱ در نظر گرفته شد.

- **نقشه فرسایش خاک (RUSLE)**

جهت تهیه نقشه فرسایش متوسط سالانه خاک از حاصل‌ضرب فاکتورهای فرسایندگی باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، مدیریت پوشش گیاهی (C)، توپوگرافی (LS)، و عملیات حفاظت (P) براساس رابطه ۱ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه شد و مقادیر هدررفت سالانه خاک (A) بر حسب تن در هکتار در سال به‌دست آمد. نقشه به‌دست آمده در شکل (۶) ارائه شده است. بر اساس شکل (۶) مقادیر نقشه فرسایش سالانه خاک درحوضه عموقین بین ۱/۲۱ الی ۵/۵۳ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر است.



شکل ۶. نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک(RUSLE)، حوضه آبخیز عموقین.

طبق گزارش فائو حدود ۳۶ درصد از کل زمین‌ها و ۶۰ درصد از خاک‌های کشاورزی در ایران در معرض فرسایش هستند. در این میان عمده ترین دلیل فرسایش شدید خاک در ایران، از بین رفتن پوشش گیاهی است که می‌توان گفت تقریبا در همه مراتع چرای بی‌رویه باعث فرسایش خاک شده به‌طوری که تراکم دام در آن‌ها دو تا شش برابر ظرفیت چرای موجود است. بنابراین در چنین وضعیتی عجیب نیست که فرسایش خاک در ایران چند برابر متوسط جهانی است، این اتفاق درحالی رخ داده است که خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر کشاورزی برای احیای مجدد به زمان طولانی نیاز دارد (نژادافضلی و همکاران، ۱۳۹۸).

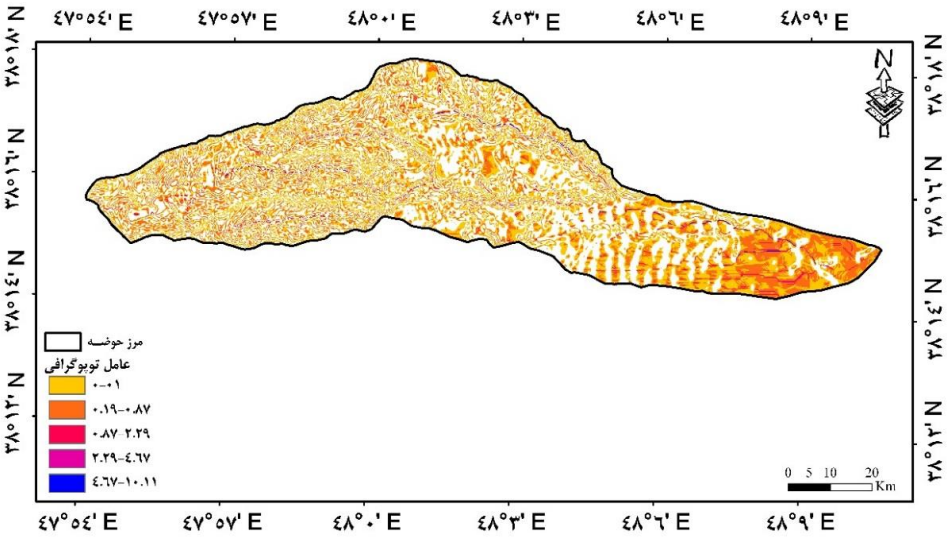
- **شاخص‌های زمینی**

در این مطالعه از لایه DEM با وضوح ۲۰ متری برای محاسبه شاخص‌های مختلف زمین ترکیبی استفاده شده است.

شکل (۷)، فاکتور LS نقاطی را نشان می‌دهد که دارای شیب تند و طول شیب نسبتاً بزرگی هستند. بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان شاخصی از مقدار بیش‌تر آب ورودی باانرژی جنبش بالا فرض کرد. مقدار فاکتور LS در حوضه آبخیز عموقین بین ۰ تا ۱۰ است. مقدار صفر عمدتاً به دلیل وجود سطح مسطح یا مساحتی با شیب ناچیز است. بااین‌حال

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

اکثریت حوضه آبخیز عموقین دارای مقادیر نسبتاً کمی از عامل LS است. فاکتور LS فرسایش نسبتا کم در مناطق با جریان آب همگرا و فرسایش بیش‌تر در برخی مناطق با جریان آب پراکنده را پیش‌بینی می کند. این محدودیت عامل LS عمدتا توسط شاخص قدرت جریان است. در شکل (۷)، شاخص توپوگرافی (LS) حوزه آبخیز عموقین ارائه شده است.

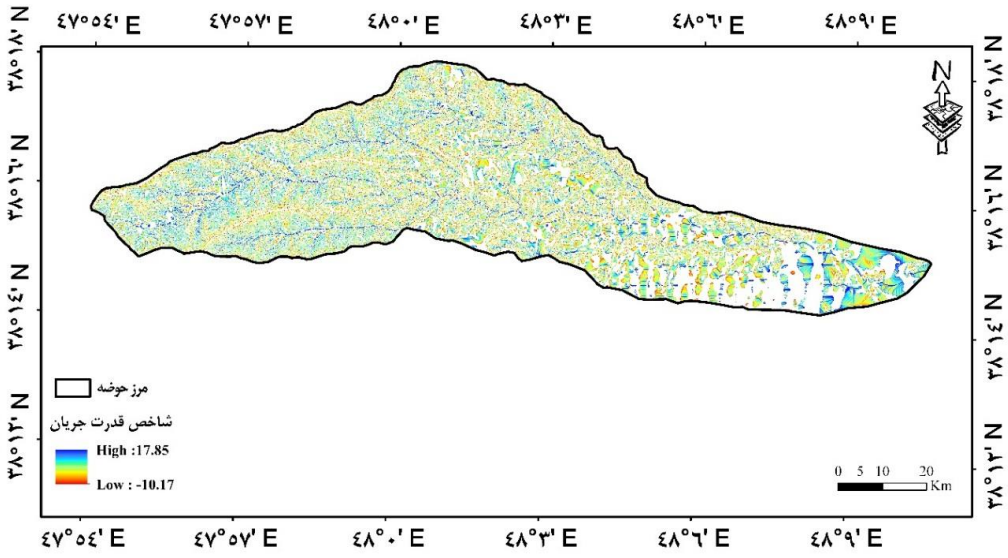


شکل۷.: شاخص توپوگرافی (LS) حوزه آبخیز عموقین.

شاخص قدرت جریان (SPI)، فرایندی است که خطوط جریان مشابه را مانند شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) پیش‌بینی می‌کند. بااین‌حال، مقادیر شبکه نشان‌دهنده شتاب جریان است که با افزایش سرعت شیب آب به‌سرعت در حال افزایش است. مقادیر SPI در حوضه آبخیز عموقین در محدوده ۱۷/۸۵ تا ۱۰/۱۷- است. از آنجا که شاخص قدرت جریان مستقیماً با پتانسیل فرسایش سازگار است، ازاین‌رو مناطقی که با شدت زیاد SPI همراه است دارای پتانسیل فرسایش بالا خواهد بود درحالی‌که مقادیر پایین‌تر نشان‌دهنده سطح پتانسیل رسوب است. از این‌رو شکل (۸)، نشان می‌دهد که مقادیر بالای شاخص قدرت جریان SPI بیش‌تر در قسمت شرق و غرب حوضه متمرکز است البته به‌صورت پراکنده در کل حوضه نیز مشاهده می‌شود. مقدار بالای SPI تقریبا با عامل LS که در منطقه‌ی تپه‌ای جنوبی حوضه آبریز یافت می‌شود مطابقت دارد. این افزایش چشمگیر شاخص قدرت جریان نشان می‌دهد که شکل‌گیری جریان (مناطق همگرایی جریان آب) حتی زمانی‌که عامل LS کوچک‌تر است، بیش‌تر قابل توجه است. در شکل (۸)، شاخص قدرت جریان (SPI) حوزه آبخیز عموقین ارائه شده است.

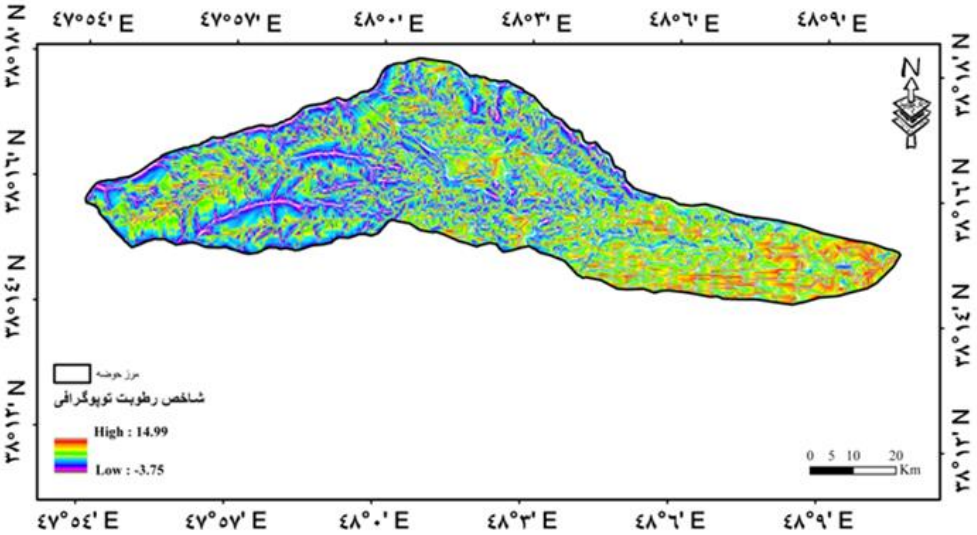
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]



شکل۸. شاخص قدرت جریان (SPI) حوزه آبخیز عموقین.

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) نشان دهنده تأثیرات چندگانه زمین در فرایندهای رواناب اضافی اشباع است و از مرتب‌سازی مواد رسوب معلق مرتبط است. توزیع همگن از شرایط خاک برای محاسبه رطوبت توپوگرافی خاک صورت گرفت. توزیع فضایی شاخص رطوبت توپوگرافی در حوضه آبخیز عموقین در شکل (۹) ارائه شده است. مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) در محدوده ۴/۹۹ تا ۳/۷۵- است. شکل (۹)، نشان می‌دهد که مقدار بالای شاخص رطوبت توپوگرافی بیش‌تر در قسمت شرق حوضه (سطح هموار و صاف) یافت می‌شوند، درحالی‌که مقادیر کم در قسمت غرب حوضه آبریز (مناطق شیب‌دار و ناپایدار)، معمول است. از طرفی مناطقی که دارای شاخص رطوبت توپوگرافی بالا هستند دارای اهمیت هستند زیرا خطر فرسایش روان بیش‌تری را نسبت به مناطقی که دارای مقادیر پایین شاخص رطوبت توپوگرافی دارند دارا است و بالعکس. در شکل (۹)، شاخص رطوبت توپوگرافی حوزه آبخیز عموقین ارائه شده است هم‌چنین در جدول (۳)، میانگین شاخص‌های تاثیرگذار در فرسایش خاک به ازاء زیرحوزه‌های آبخیز عموقین ارائه شده است.



شکل ۹. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) حوزه آبخیز عموقین.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

جدول۳. میانگین شاخص‌های تأثیرگذار در فرسایش خاک به ازاء زیرحوضه‌های عموقین.

زیرحوضه‌ها	RUSLE	NDVI	LS	SPI	TWI
۱	۱/۲۱	۰/۵۳	۰/۳۴	۲/۹۳	۲/۰۸
۲	۲/۳	۰/۴۹	۰/۳۵	۳/۲۹	۱/۸۷
۳	۱/۷۹	۰/۵۵	۰/۲۷	۲/۱۱	۱/۷۱
۴	۲/۴۵	۰/۵۴	۰/۳۸	۳/۳۸	۲/۰۲
۵	۲/۲۵	۰/۴۱	۰/۲۹	۲/۹۲	۲/۰۹
۶	۱/۲۱	۰/۵۶	۰/۲	۲/۰۵	۰/۹۴
۷	۲/۰۲	۰/۵۴	۰/۳۱	۲/۴۱	۱/۰۵
۸	۲/۱۶	۰/۵۴	۰/۲	۲/۲۶	-۰/۷۲
۹	۱/۳۵	۰/۴۲	۰/۲۴	۲/۴۸	-۰/۱۹
۱۰	۱/۳۷	۰/۴۸	۰/۲۳	۲/۵۷	-۰/۱۶
۱۱	۵/۵۳	۰/۶۶	۰/۲۶	۲/۴۲	۰/۲۹
۱۲	۳/۳	۰/۶۶	۰/۲	۲/۱۶	۰/۴
۱۳	۴/۰۷	۰/۷۲	۰/۱۹	۲/۱۶	۰/۴۸
۱۴	۲/۱۹	۰/۷۱	۰/۲۹	۲/۸۳	۰/۲۹
۱۵	۳/۹	۰/۷۲	۰/۱۹	۲/۰۸	۰/۰۵
۱۶	۳/۰۱	۰/۶۶	۰/۲۳	۲/۳۶	-۰/۴۶
۱۷	۳/۵۶	۰/۶۵	۰/۲۱	۲/۱۶	-۰/۵۳
۱۸	۳/۰۸	۰/۶۳	۰/۲۳	۲/۱۲	-۰/۱۵

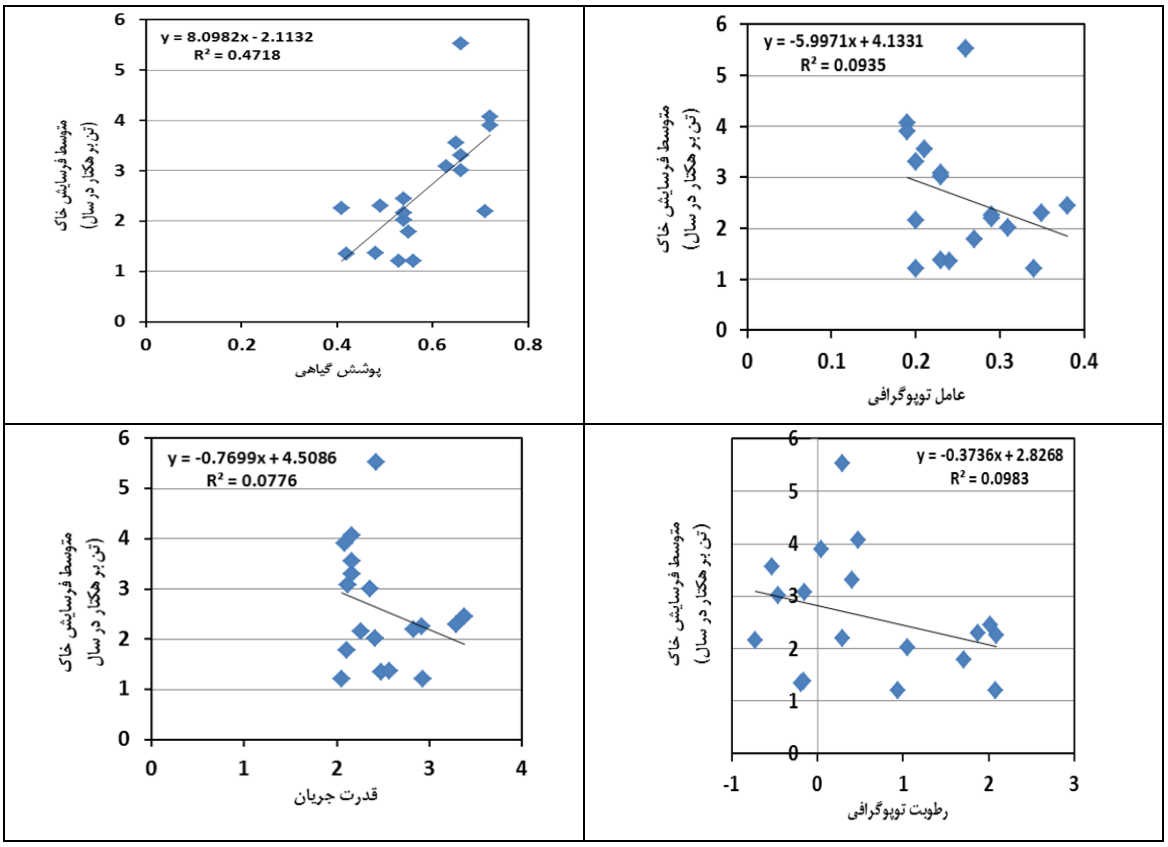
- **ارتباط میان شاخص‌های استخراج‌شده با مقادیر فرسایش در زیرحوزه‌های آبخیز عموقین**

ضریب تعیین یا R^2 نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته به‌وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود به‌عبارتی دیگر چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تأثیر متغیر مستقل مربوط بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل است. هم‌چنین ضریب تعیین همیشه بین ۰ تا ۱ درصد است که ۰ درصد نشان‌دهنده این است که مدل مورد استفاده هیچ یک از تغییر پذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین نمی‌کند و مقدار ۱ درصد نیز نشان می‌دهد که مدل مورداستفاده تغییرپذیری داده‌ها را در اطراف میانگین آن را تبیین می‌کند. در روش مورد نظر متوسط فرسایش خاک سالانه (RUSLE) به‌عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های مورداستفاده به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته‌شده است. از این‌رو با توجه به توضیحات مربوط به ضریب تعیین و نتایج حاصل از شاخص‌ها که در شکل (۱۰)، ارائه شده است می‌توان نتیجه گرفت که عامل پوشش گیاهی با ضریب تعیین ۰/۴۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های مورد مطالعه دارای هم‌بستگی بیش‌تری است، هم‌چنین شاخص قدرت جریان با ضریب تعیین ۰/۰۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

درصد دارای کم‌ترین هم‌بستگی بین شاخص‌های موردمطالعه است. در شکل (۱۰)، نتایج حاصل از همبستگی میان متوسط فرسایش خاک و شاخص‌های مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل۱۰. نتایج حاصل از همبستگی میان متوسط فرسایش خاک و شاخص‌های موردمطالعه (پوشش گیاهی، توپوگرافی، قدرت جریان، رطوبت توپوگرافی)، حوزه آبخیز عموقین.

نتیجه گیری

هدف از این مطالعه تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز عموقین با استفاده از مدل RUSLE است. ارزیابی این فرایند با توجه به فرسایش و رسوب‌گذاری، حوزه‌های آبریز را در معرض فرسایش قرار می‌دهد. در این تحقیق ارزیابی کمی فرسایش خاک در حوزه آبخیز عموقین با استفاده از مدل RUSLE و فناوری‌های نوین RS و GIS صورت گرفت. مدل معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظر شده (RUSLE) به داده‌های بارندگی، ویژگی‌های خاک و عملکرد حفاظت در برابر زمین و داده‌های پوشش گیاهی نیاز دارد. فرسایندگی باران (فاکتور R) برای سه ایستگاه شمشیرخوانی، سردابه و آتشگاه از میانگین داده‌های ماهانه بارش موجود استفاده شد. در نهایت با استفاده از رابطه موجود نقشه عامل R به‌دست آمد که مقدار آن بین ۴۴/۶۲ الی ۶۰/۳۲ مگاژول بر میلی‌متر بر هکتار برساعت در سال متغیر است. هم‌چنین مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک برای حوضه مورد مطالعه بین ۰/۲۵ الی ۰/۴۲ به‌دست آمد. عامل توپوگرافی به‌طور مستقیم از مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM) در محیط ArcView با استفاده از فرمول پیشنهاد شده محاسبه شد. مقدار فاکتور LS به میزان قابل توجهی بین ۰/۱۹ (در منطقه مسطح) الی ۰/۳۸ (در شیب تند) متفاوت است هم‌چنین نتیجه حاصل از فاکتور C نشان می‌دهد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

مقدار این عامل بین ۰/۱۸- الی ۰/۴ متغیر است. به‌طور کلی می‌توان گفت نیمه مرکزی حوضه عموقین مقادیر کم‌تری از مقدار C را دارد و بیش‌ترین مقدار در نواحی غربی به خصوص نواحی جنوب غربی به‌دلیل اراضی مرتعی دیده می‌شود. در نهایت متوسط نقشه فرسایش سالانه خاک از تلفیق نقشه عامل‌های P و C، LS، K، R در محیط GIS به‌دست آمد. نتایج نشان داد متوسط فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۲۱ الی ۵/۵۳ تن در هکتار در سال متغیر است. هم‌چنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) با بالاترین مقدار ضریب تعیین $R^2 = 0/93$ بیش‌ترین اهمیت رادر برآورد فرسایش سالانه خاک به‌وسیله مدل RUSLE دارد. هم‌چنین در بررسی روابط رگرسیونی بین شاخص‌های زمینی با مدل RUSLE نتایج نشان داد که عامل پوشش گیاهی با ضریب تعیین ۰/۴۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های مورد مطالعه دارای هم‌بستگی بیش‌تری است، شاخص قدرت جریان نیز با ضریب تعیین ۰/۰۷ درصد دارای کم‌ترین هم‌بستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه است. می‌توان بیان کرد که در شرایط فعلی حوضه از نظر نبود آمار واقعی فرسایش خاک، بهترین روش برای برآورد فرسایش خاک با هدف معرفی اقدامات حفاظت خاک در سطح حوضه استفاده از مدل‌های تجربی مرسوم است که مدل RUSLE، به گواه گستردگی استفاده در سایر مطالعات، نسبت به سایر مدل‌ها نتایج دقیق‌تری ارائه می‌کند. مدل RUSLE می‌تواند پتانسیل فرسایش خاک را به‌صورت سلول به سلول پیش‌بینی کند که هنگام تلاش برای شناسایی الگوی مکانی تلفات خاک فعلی در داخل یک منطقه بزرگ بسیار مفید است نتایج این پژوهش مشابه نتایجی است که برخی محققان به آن دست یافتند برای مثال عرب و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز اوغان با مساحت ۳۸۹/۲۵ کیلومترمربع پرداختند. آن‌ها در این تحقیق برای برآورد فرسایش خاک از مدل RUSLE استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش سالیانه خاک در کل محدوده مطالعاتی از ۰ تا ۶۵۷۴ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل برآورد شده است، هم‌چنین نشان دادند که فاکتور پوشش گیاهی بیش‌ترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. در تحقیقی دیگر آرمین و همکاران (۱۳۹۹)، با مطالعه پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۳ نشان داد که ۸ درصد منطقه دارای پوشش گیاهی بیشتر از ۶۰ درصد است درصورتی‌که در سال ۲۰۱۷ این میزان به ۷۰ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است لذا کاهش پوشش گیاهی به‌مرور زمان می‌تواند منجر به افزایش خطر فرسایش خاک شود. شارما (۲۰۱۰) باهدف تلفیق شاخص‌های شکل زمینی و پوشش گیاهی مناطق خطر فرسایش را در خرچند کشور هند موردبررسی قرارداد. ایشان با استفاده از شاخص‌های LS- NDVI- SPI- TWI برای سال‌های ۲۰۰۴- ۱۹۸۸ تهیه نموده و پس از تهیه نقشه فرسایش، مقادیر به‌دست‌آمده را با نتایج مدل RUSLE مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که هم‌خوانی مناسبی (۷۵ درصد) بین نتایج وجود دارد. راوات و همکاران (۲۰۱۸)، به‌منظور ارزیابی و اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری فرسایش خاک در حوضه آبریز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش هند را با استفاده از RUSLE و GIS انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی فرسایش خاک را متوقف می‌کند هم‌چنین مطالعه نقشه‌های خطر فرسایش در ایجاد استراتژی‌های بهتر برای برنامه‌ریزی زمین و محیط‌زیست مفید خواهد بود. بنابراین نتایج این تحقیق قابلیت بالای سیستم اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره‌ای را برای تهیه‌ی نقشه‌ی فاکتورهای RUSLE نشان داد که می‌توان به‌صورت مؤثر، در توسعه‌ی راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مسئله فرسایش خاک به‌کار گرفته شوند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

منابع

احمدی، ح. ۱۳۸۸. *ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)*، چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران.

آرخی، صالح و یعقوب نیازی. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد RS و GIS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE در حوضه بالادست سد ایلام. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، **۱۷**: ۲۷-۱.

آرمین، محسن؛ فاطمه اسکندری‌جهمانی، سهراب الوانی‌نژاد و محمدرضا میرزایی. ۱۳۹۹. اولویت‌بندی مناطق حساس به فرسایش خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی بخشی از شهرستان بهمئی کهگیلویه و بویر احمد. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، **۲**: ۵۸-۴۱.

بیاتی خطیبی، مریم. ۱۳۹۴. ارزیابی و پیش‌بینی خطر فرسایش خاک در حوضه سراسکندچای با استفاده از مدل RUSLE و GIS. *نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۵۴**: ۸۱-۶۱.

حاجی، خ.، اسمعلی‌عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، نظرنژاد ح. ۱۳۹۷. برآورد میزان فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف از طریق مدل RUSLE در حوزه آبخیز روضه‌چای ارومیه. حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی. **(۱)۷**: ۱۷۳ - ۱۸۹

حبشی، خلیل؛ شاهین محمدی، حمیدرضا کریم‌زاده و سعید پورمنافی. ۱۳۹۷. ارزیابی خطر فرسایش خاک در دشت کوه‌پایه سگزی با استفاده از مدل تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE). *مخاطرات محیط طبیعی*، **۱۵**: ۱۶۱-۱۷۸.

رحیمی، خلیل و مهدی مرزبانی. ۱۳۹۲. ارزیابی تغییرات فرسایش حوزه آبخیز سیوند طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل RUSLE. *فرسایش محیطی*، **۹**: ۱۸-۱.

رخبین، معصومه؛ احمد نوحه گر، علیرضا کمالی و محمود حبیب اللهیان. ۱۳۹۳. برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز لاورفین استان هرمزگان با استفاده از GIS و RS و مدل تجربی RUSLE. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۳**: ۱۰۴-۸۹.

رضایی، میثم؛ شادی قرقره‌چی، غلامرضا قانعی مطلق و شمس الله ایوبی. ۱۳۸۶. برآورد فرسایش خاک در حوزه زیارت با استفاده از مدل RUSLE. دهمین *کنگره علوم خاک ایران، کرج*، ۱۱۶۳-۱۱۶۱.

زندی، جلال؛ کریم سلیمانی و محمود حبیب نژاد روشن. ۱۳۹۲. اولویت بندی نواحی کنترل فرسایش خاک با استفاده از تکنیک های ارزیابی چند معیاره و GIS. *جغرافیا و توسعه*، **۳۱**: ۱۰۶-۹۳.

صالحی، محمدحسن. اسفندیارپور بروجنی، عیسی. مهاجر، رضا. و باقری، محسن. ۱۳۹۴. *حفاظت آب‌وخاک تکمیلی*، چاپ دوم. انتشارات دانشگاه پیام نور.

صفاری، امیر؛ عباسعلی نوری و جلال کرمی. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات پوشش و کاربری زمین در قابلیت فرسایش خاک حوضه قره‌سو گرگانرود. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۱**: ۹۶-۸۳.

عرب، داود؛ حامد روحانی، ابوالحسن فتح‌آبادی و سیدمرتضی سیدیان. ۱۳۹۷. برآورد فرسایش خاک با استفاده از روش RUSLE در حوضه آبخیز اوغان گلستان. *دومین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران، تهران.*

عسگری، ا.، اسمعلی‌عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، احمدزاده، غ.ر. ۱۳۹۹. تاثیر سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران. هیدروژئومورفولوژی. **(۲۲)۶**: ۱۷۷- ۲۰۳

عسگری، ا.، حسینی، س.ز.، مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۹۹. تعیین ارتباط و تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب معلق در حوضه‌های استان اردبیل. جغرافیا و توسعه، **(۶۱)۱۸**: ۱۴۹ - ۱۷۶

محمدی، شاهین؛ حمیدرضا کریم زاده، سعید پورمنافی و سعید سلطانی کوپایی. (۱۳۹۷). برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و سری‌های زمانی ماهواره لندست. مندرجان، اصفهان، *مرتع و آبخیزداری*، مجله منابع طبیعی ایران، **۳**: ۷۵۹-۷۷۴.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

مصطفی‌زاده، ر.، صادقی، س.ح.ر.، سعدالدین، ا. ۱۳۹۴. مدل‌سازی اثر نوع و الگوی پراکنش مکانی کاربری اراضی بر تغییرات آب‌نمود جریان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، **(۳۱)۹**: ۵۱ - ۵۸

مصطفی‌زاده، ر، حاجی، خ.، اسمعلی‌عوری، ا.، نظرنژاد ح. ۱۳۹۶. اولویت‌بندی زیرحوزه‌های بحرانی از لحاظ فرسایش و رسوب با استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه (WERM) و آنالیز مورفومتری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز روضه‌چای، استان آذربایجان غربی). *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*. **(۱۶)۸**: ۱۴۲ - ۱۵۶

ملکی، ص.، خرمالی، ف.، کریمی، ع.، ر.، ۱۳۹۳. معرفی الگوریتم‌های مختلف جریان، برای تهیه نقشه شاخص خیسی و کربن آلی خاک در بخشی از اراضی لسی، منطقه توشن استان گلستان، پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، **(۱)۲۱** :۱۴۱-۱۶۵

ملکی، صدیقه؛ فرهاد خرمالی و علیرضا کریمی. ۱۳۹۳. معرفی الگوریتم‌های مختلف جریان برای تهیه نقشه شاخص خیسی و کربن آلی خاک در بخشی از اراضی لسی منطقه توشن استان گلستان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، **۲۱**: ۱۶۵-۱۴۱.

میرزایی، شهناز؛ اباذر اسمعلی، رئوف مصطفی‌زاده، اردوغان قربانی و سجاد میرزایی. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و تحلیل ارتباط آن با سنجه‌های سیمای سرزمین در حوضه آبخیز عموقین استان اردبیل. *اکوهیدرولوژی*، **۲**: ۳۷۲-۳۵۷.

نژادافضلی، کرامت؛ محمدرضا شاهرخی و فاطمه بیاتانی. ۱۳۹۸. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی موثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکان (جنوب کرمان). *مخاطرات محیط طبیعی*، **۲۰**: ۳۸-۲۱.

یوسفی‌مبرهن، ابراهیم. ۱۳۹۹. کارایی سامانه اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه فرسایش و ارائه روش‌های کنترل فرسایش. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در برنامه‌ریزی، **۱**: ۴۳-۳۰.

Amah, J.I.; O.P. Aghamelu, O.V. Omonona and IM. Onwe. ۲۰۲۰. A Study of the Dynamics of soil Erosion Using RUSLE Modeling and Geospatial Tool in Edda-Aficpo Mesas, South Eastern Nigeria. *Pakistan Journal of Geology*, **۲:** ٥٦-٧١.

Bou Kheir, R. J.; Wilson and Y. Deng. ۲۰۰۷. Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. *Earth Surface Process Landforms*, **۱۲:**۱۷۷۰-۱۷۸۲.

FAO, ۱۹۹٦. Soil bulleten ۷۰ - Land Husbandry-Components and strategy .

Haan, C.T.; B.J. Barfield and J.C. Hayes.۱۹۹٤. Design hydrology and sedimentology for small catchments. *San DiegoAcademic Press.*

Kinnell P.I. A. ۲۰۰۰. AGNPS-UM: Applying the USLE within the agricultural non point source pollution model. *Environmental Modelling and Software*, **۳:** ۳۳۱-۳٤۱.

Lucà, F., Conforti, M., Robustelli, G., ۲۰۱۱. Comparison of GISbased gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy, Geomorphology, **۱۳٤:** ۲۹۷_۳۰۸.

Luca, F; M. Conforti and G. Robustelli. ۲۰۱۱. Comparison of GISbased gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, **۱۳٤:** ۲۹۷_۳۰۸.

Moore I.D. and R.B. Grayson. ۱۹۹۱. Landson. Digital terrain Modeling: A review of hydrological, *Geomorphological and Biological application. Hydr*, **٥:** ۳-۳۰.

Qin Ch.Z.; A.X. Zhu, T. Pei, B.L Li, T. Scholten, T. Behrens and C.H.H. Zhou. ۲۰۰۹. An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture*, **۱:** ۳۲-٤۳.

Rawat, K.S and S.K. Singh. ۲۰۱۸. Appraisal of Soil Conservation Capacity Using NDVI Model-Based C Factor of RUSLE Model for a Semi Arid Ungauged Watershed: a Case Study. *Water Conservation Science and Engineering*, **۱:** ٤٧-٥٨.

Renard K.G. and J.R. Freidmund. ۱۹۹٤. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE. National Agricultural Library, *Journal of Hydrology*, **۱٥٧:** ۲۸۷-۳۰٦.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]

Sharma A. ۲۰۱۰. Integrating terrain and Vegetation Indices for Identifying Potential Soil Erosion Risk Area. *Geo-Spatial Information Science* **۱۳:** ۲۰۱-۲۰۹.

Shi Z.H. ۲۰۰۲. Assessment of erosion risk with the RUSLE and GIS in the Middle and lower reaches of Hanjiang River. *12th ISCO Conference Beijing*.

Wischmeier W.H and D.D. Smith. ۱۹۷۸. Predicting rainfall erosion, losses: a guide to conservation planning. United States Department of Agriculture Handbook, *Washington DC* **۵۳۷:** ۱۳-۲۷.

Wischmeier W.H.; C.B. Johnson and B.V. Cross. ۱۹۷۱. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil Water Conservation* **۲۶:**۱۸۹-۱۹۲.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.5.1]