

Efficiency Evaluation of RUSLE and ICONA models in erosion zoning of Baladeh watershed, Mazandaran province

Eisa Jokar Sarhangi^{1*} , Mohammadreza Dehghan Chachkami²

1. Corresponding Author, Associate Professor of Geomorphology, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
2. M.A. of Hydrogeomorphology, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 17 September 2021

Revised: 18 March 2022

Accepted: 16 April 2022

Keywords:

Soil erosion, RUSLE, ICONA, Baladeh watershed.

ABSTRACT

Evaluation and zoning of soil erosion using models that are more accurate, helps to implement conservation -activities and control soil erosion within the watershed and reduce the amount of sediment outside it. The aim of this study was to zoning the soil erosion intensity of Baladeh watershed using RUSLE and ICONA models and to investigate their accuracy with observations and terrestrial reality values. RUSLE model factors including rainfall erosion (R), soil erodibility (K), topography (LS), vegetation (C) and conservation operations (P) were calculated from rainfall data, soil map, digital elevation model and remote sensing techniques, respectively. In ICONA model, soil erodibility map was obtained by combining two layers of slope and rock surfaces. Then, in order to prepare soil conservation layer, vegetation index and land use layers of the area were overlapped and by combining erosion and soil conservation layers, erosion zoning map was prepared with this model. The accuracy of these models was evaluated using statistical indices and BLM method, all of which were obtained during field observations. For this purpose, a map with 2500 points was prepared as regular networking for sampling the maps obtained from the models and accordingly, RMSE statistics (root mean squares error), MAE (mean absolute error), MSE (mean squares error) and NSEC (Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient) were calculated. The results of the mentioned statistical indices and the errors of the models shows that the mentioned models are not sufficient in baladeh watershed, but the efficiency and degree of adaptation of the erosion classes of ICONA model with BLM output as reference map is higher, because the amount of RMSE, MAE and MSE is lower and NSEC is closer to number one.

Cite this article: Jokar sarhangi, E., & Dehghan Chachkami, M. (2022). Efficiency Evaluation of RUSLE and ICONA models in erosion zoning of Baladeh watershed, Mazandaran province. Journal of Natural Environmental Hazards, 11(34), 159-178. DOI: 10.22111/jneh.2022.39920.1843



© Eisa Jokar Sarhangi.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.39920.1843

* Corresponding Author Email: e.jokar@umz.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۲۴، زمستان ۱۴۰۱

ارزیابی کارایی مدل‌های ICONA و RUSLE در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه بلده، استان مازندران

عیسی جوکار سرهنگی^{۱*}، محمدرضا دهقان چاچکامی^۲

۱. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)

۲. کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	ارزیابی و پهنه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌هایی که دقت بیشتری داشته باشند، به اجرای فعالیت‌های حفاظتی و کنترل فرسایش خاک در داخل حوضه و کاهش میزان رسوب در خارج از آن کمک می‌کند. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی شدت فرسایش خاک حوضه بلده با استفاده از مدل‌های RUSLE و ICONA و بررسی میزان دقت آنها با مشاهدات و مقادیر واقعیت زمینی است. فاکتورهای مدل RUSLE شامل فرسایش پذیری باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) به ترتیب از داده‌های بارندگی منطقه، نقشه خاک، مدل رقمی ارتفاع و فن‌های سنجش‌ازدور محاسبه شده‌اند. براساس مدل ICONA در ابتدا از هم‌پوشانی دو لایه شیب و سنگ‌شناسی، نقشه فرسایش‌پذیری خاک به‌دست آمد. سپس برای تهیه نقشه حفاظت خاک، لایه‌های شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه همپوشانی شدند و در مرحله آخر با استفاده از لایه‌های فرسایش‌پذیری و حفاظت خاک، نقشه پهنه‌بندی فرسایش با این مدل نیز تهیه گردید. برای ارزیابی دقت این مدل‌ها از شاخص‌های آماری و روش BLM که تمامی عوامل آن طی مشاهدات میدانی به‌دست آمد، استفاده شده است. برای این منظور، یک نقشه با ۲۵۰۰ نقطه به‌صورت شبکه‌بندی منظم جهت نمونه‌برداری از نقشه‌های حاصل از مدل‌ها تهیه گردید و بر این اساس آماره‌های RMSE (جذر میانگین مربعات خطا)، MAE (میانگین خطای مطلق)، MSE (میانگین مربعات خطا) و NSEC (ضریب کارایی ناش و ساتکلیف) محاسبه شد. نتایج شاخص‌های آماری یادشده و خطاهای مدل‌ها نشان می‌دهند که مدل‌های یادشده در حوضه بلده کفایت بالایی ندارند، اما کارایی و میزان تطابق طبقات فرسایش مدل ICONA با خروجی BLM به‌عنوان نقشه مرجع اندکی بیشتر است، چرا که مقدار MAE، RMSE و MSE آن کمتر و NSEC آن به عدد یک نزدیک‌تر است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۶	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷	
واژه‌های کلیدی:	
کلیدی: فرسایش خاک، RUSLE، ICONA، حوضه بلده.	

استناد: جوکار سرهنگی، عیسی، دهقان چاچکامی، محمدرضا. (۱۴۰۱). ارزیابی کارایی مدل‌های RUSLE و ICONA در پهنه بندی فرسایش خاک حوضه بلده، استان مازندران. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴)، ۱۷۸-۱۵۹. DOI: 10.22111/jneh.2022.39920.1843



© عیسی جوکار سرهنگی*، محمدرضا دهقان چاچکامی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

فرسایش خاک یک مسئله محیطی جهانی است که از حاصلخیزی خاک و کیفیت خاک کاسته، رسوبزایی و احتمال ایجاد سیل را افزایش می‌دهد (کاوپانپور و همکاران، ۱۳۹۴). اگر به ارزش اقتصادی خاک و اهمیت زیاد آن در حیات انسان دقیقاً توجه شود، مشخص می‌شود که این گوهر گران‌بهای طبیعت سرمنشأ تولید تمامی مایحتاج اولیه بشر و تأمین‌کننده نیازهای کلیه موجودات زنده می‌باشد که زندگی انسان وابسته به آن است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱). اما فرسایش خاک یک فرایند پیچیده و خطر ژئومورفولوژیکی بالقوه است و مقدار آن بازتابی از نحوه مدیریت زمین و شاخص‌های محیطی تخریب به شمار می‌رود (سپهر و هنرمند نژاد، ۱۳۹۱). به دلیل وسعت زیاد بیشتر حوضه‌های آبخیز در ایران، امکان اجرای طرح‌های حفاظتی و کنترل فرسایش خاک در همه حوضه‌ها وجود ندارد. بنابراین برای افزایش عملکردهای طرح‌های آبخیزداری ابتدا باید مناطق بحرانی از نظر پتانسیل فرسایش خاک شناسایی و اولویت‌بندی شوند و سپس با اجرای برنامه‌های صحیح مدیریتی به ترتیب اولویت در کاهش و مهار فرسایش خاک مناطق سعی شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). اگرچه برای پیش‌بینی فرسایش خاک از مدل‌های تجربی از قبیل معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود، اما این گونه مدل‌ها بر مبنای داده‌های تجربی به دست می‌آیند و دقت آنها تابع ضرایب مورد استفاده و شرایط منطقه است (گیو و شیون^۱، ۲۰۱۷).

بررسی تحقیقات در رابطه با کاربرد USLE و برخی از نسخ آن بر توانایی متفاوت آنها در ارزیابی رسوب و فرسایش ناشی از رگبارها اذعان داشتند و ضرورت انجام مطالعات بیشتر در این زمینه را تأکید می‌کند (کارگر و همکاران، ۱۳۹۵). در این زمینه پژوهش‌های ارزنده‌ای صورت گرفته است. ابتدا رنارد و همکاران (۱۹۹۴) در پژوهش خود نشان دادند که می‌توان مدل اصلاح‌شده آن یعنی معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظرشده (RUSLE) را برای ارزیابی فرسایش خاک در حوضه‌های وسیع و برای کاربری‌های مختلف، از قبیل جنگل‌ها، مراتع و دیگر نواحی به کار گرفت. پونگسای^۲ و همکاران (۲۰۱۰) با استقرار پلات‌های آزمایشی در ۵ طبقه شیب مختلف و اندازه‌گیری و ثبت رسوب حاصل از چند نمونه رگبار به ارزیابی و واسنجی معادله جهانی فرسایش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که هر دو معادله اصلی USLE و معادله بازنگری‌شده آن توسط دونالد مک کول بار رسوب را در تمامی شیب‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. فارهان و ناویزه^۳ (۲۰۱۵) فرسایش خاک را در حوضه آبخیز کیوفرانجا واقع در شمال اردن با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظرشده و سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل RUSLE مبتنی بر سنجش‌ازدور و GIS در مقایسه با نتایج دیگر مدل‌های برآورد فرسایش، عملکرد مناسب‌تری دارد. جهان^۴ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظرشده (RUSLE) و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر ترکیبی معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظرشده و سامانه اطلاعات جغرافیایی یک ابزار مفید و کارآمد برای پیش‌بینی پتانسیل فرسایش خاک در درازمدت و ارزیابی اثرات فرسایش خاک است. نتیجه تحقیقات گانسری و رامش^۵ (۲۰۱۶) در

1 - Guo and Xion

2 - Pongsai

3 - Farhan and Nawaiseh

4 - Jahun

5 - Ganasri and Ramesh

حوضه نثراواتی^۱ نشان داد که مدل RUSLE می‌تواند پتانسیل فرسایش را بر مبنای سلول به سلول پیش‌بینی نماید و زمانی مؤثر است که در تلاش برای شناسایی الگوهای فضایی هدررفت‌ن فعلی خاک در منطقه‌ای بزرگ باشیم. سپس GIS می‌تواند برای جداسازی و پرس‌وجو از این مکان‌ها برای شناسایی نقش متغیرهای فردی که موجب افزایش ارزش بالقوه فرسایش می‌شود، مورداستفاده قرار گیرد. باگیو^۲ و همکاران (۲۰۱۷) فرسایش خاک را در زمان بارندگی-های طبیعی در شیب‌های با طول متفاوت بر روی خاک لخت اندازه‌گیری کرده و نتایج آن را با مقادیر تخمینی USLE و RUSLE مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مقادیر تخمینی به‌خصوص در مدل USLE کمتر از هدررفت خاک اندازه‌گیری شده بود. تاپا^۳ (۲۰۲۰) به بررسی تخمین مکانی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در منطقه دولاخا^۴ی نپال پرداخت. نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد که منطقه شمال شرقی به‌دلیل شیب زیاد از خطر فرسایش زیاد خاک رنج می‌برد و لازم است برنامه‌های حفاظت و مدیریت برنامه‌ریزی توسط برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان استفاده از زمین اعمال شود.

آرخی و نیازی (۱۳۸۹) به بررسی کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE در حوضه بالادست سد ایلام پرداختند. نتایج برآورد آن‌ها نشان داد که میانگین بار رسوب سالیانه درحوضه مورد مطالعه ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال است که نزدیک به مقدار به‌دست‌آمده از ایستگاه رسوب‌سنجی سد ایلام یعنی ۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال بود. بابایی و همکاران (۱۳۹۵) فرسایش خاک در حوضه آبخیز کن را با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک تجدیدنظرشده سه بعدی (RUSLE 3D) در قالب ابزار سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش در زمینه کاربرد مدل در این منطقه نشان داد که مدل، میزان فرسایش حوضه را بسیار بیشتر از حد انتظار تخمین زده است و این پژوهش کارایی مدل RUSLE 3D را در بررسی وضعیت فرسایش حوضه کن سولقان مناسب نمی‌داند. در پژوهشی دیگر واعظی و همکاران (۱۳۹۶)، مدل RUSLE همراه‌شده با سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی را در عرصه‌های زهکش کوچک در منطقه نیمه‌خشک شمال غربی ایران ارزیابی کردند. بر اساس نتایج، میانگین هدررفت خاک برآوردی ۴۳/۶۸ تن در هکتار در سال بود که ۶/۵۸ برابر بیشتر از میانگین رسوب سالانه (۸/۶۷ تن در هکتار در سال) در عرصه‌های زهکش بود.

پژوهش‌ها در زمینه کاربرد مدل ICONA جهت پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز کمتر است. ریس^۵ و همکاران (۲۰۱۷) خطر فرسایش آبی را با استفاده از GIS و مدل ICONA مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که، ۵۳/۶۷ درصد منطقه دارای فرسایش بسیار زیاد، ۳۸/۱ درصد دارای خطر زیاد، ۶/۹۴ درصد دارای خطر متوسط، ۱/۱۷ درصد دارای خطر کم و ۰/۱۲ درصد دارای خطر فرسایش خاک بسیار پایین می‌باشند. احسانی و غفاری شیروان (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر فرسایش آبی حوضه آبخیز حبله‌رود در استان سمنان را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و GIS و مدل ICONA انجام دادند. نقشه نهایی پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که ۴ درصد از سطح حوضه

1- Nethravathi

2 - Bagio

3 - Thapa

4 - Dolakha

5 - Reis

کلاس خطر فرسایشی زیاد را شامل می‌شوند. نوحه‌گر و کاظمی (۱۳۹۲) خطر فرسایش آبی را با استفاده از مدل ICONA در حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز پهنه‌بندی کردند. نقشه نهایی پژوهش‌های آن‌ها نیز نشان داد که از کل سطح حوضه ۴/۸ درصد از سطح حوضه دارای کلاس خطر فرسایشی خیلی زیاد است. انتظاری و خدادادی (۱۳۹۶) به بررسی ارزیابی خطر فرسایش آبی حوضه آبخیز طالقان رود با استفاده از مدل ICONA پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که از کل سطح حوضه ۱۸/۹ درصد کلاس خطر فرسایش زیاد و ۳۶/۷ درصد کلاس خطر فرسایش خیلی زیاد را به خود اختصاص داده‌اند. در پژوهشی دیگر، اسماعیلی قلم و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی خطر فرسایش در حوضه آبریز کسلیان با استفاده از مدل ICONA و فن‌های RS و GIS پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که ۱۰/۹۲ درصد از حوضه دارای خطر فرسایش بسیار بالا است و مرتع و قسمت‌هایی از اراضی کشاورزی در رتبه اول وسعت کلاس خطر فرسایش خیلی زیاد قرار دارند. همچنین صحت نتایج مدل با بررسی‌های میدانی مطابقت دارد. این مدل می‌تواند مناطق مستعد فرسایش را با حداقل زمان، با سرعت و دقت کافی در حوزه‌های آبخیز نشان دهد و برای تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان حفاظت خاک در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار مورد استفاده قرار گیرد.

جهت بررسی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی و کارایی مدل‌ها از آماره‌های مختلفی استفاده می‌شود. از جمله کوهپیما و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی نتایج مدل EPM در پنج حوضه آبخیز کوچک در استان سمنان از ضریب کارایی ناش و ساتکلیف و جذر میانگین مربعات خطا استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیانگر آن است که اگرچه میزان کیفیت مدل در محدوده قابل قبول است (۰/۰۵۶)، اما مدل کیفیت بالایی را نشان نمی‌دهد. همچنین آماره جذر میانگین مربعات خطا نشانگر کیفیت کم مدل در زمینه برآورد فرسایش حوضه‌های منطقه مورد مطالعه است. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) نقشه خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز قرناوه گلستان را با استفاده از مدل‌های RUSLE و فازی تهیه کردند و در آن برای اعتبارسنجی مدل از روش فازی استفاده نمودند. نتایج آنها بیانگر صحت کل ۵۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۶ برای طبقه فرسایش خیلی زیاد است که نشانگر تطابق بالا بین نقشه خطر مدل فازی و نقشه مدل RUSLE در این طبقه است. همچنین بیات و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی صحت و نحوه پراکنش طبقات فرسایش حاصل از مدل‌های EPM و MPSIAC در آبخیز شهریاری پرداختند. برای بررسی دقت و صحت مکانی نقشه‌های طبقات فرسایش حاصل از مدل‌ها ماتریس خطا و ضریب توافق کاپا، صحت کلی، صحت تولیدکننده و صحت کاربر تهیه شد. بررسی شاخص‌های آماری در پژوهش یادشده نشان داد که میزان تطابق طبقات فرسایش مدل MPSIAC بیشتر است.

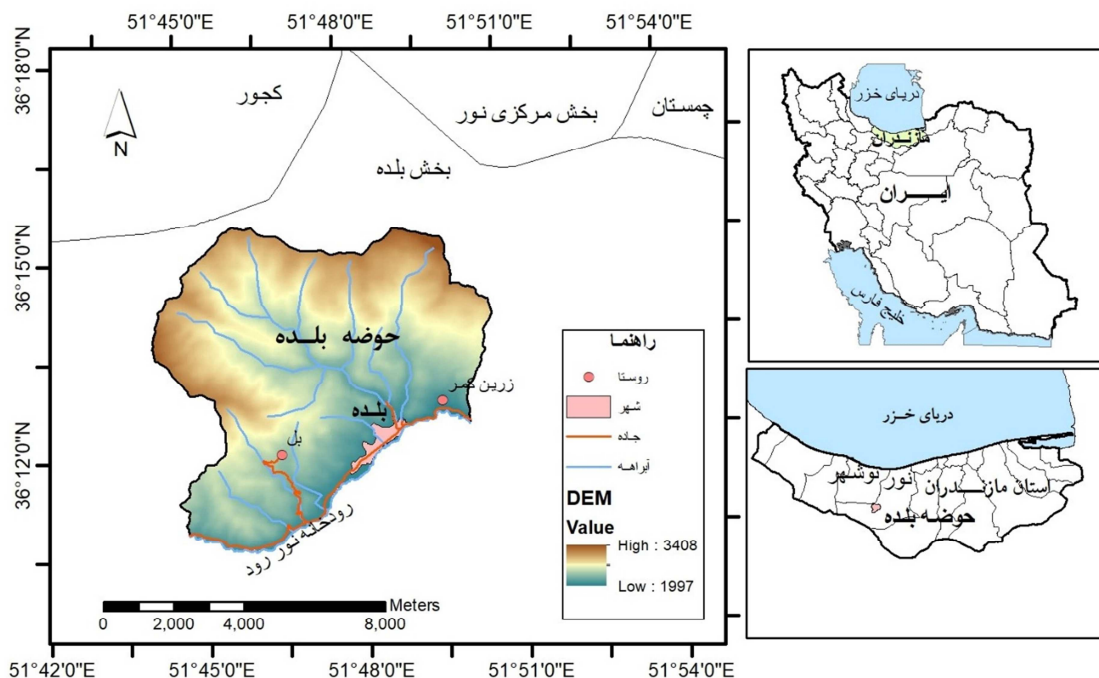
در حوضه بلده که در ارتفاعات و دامنه‌های شمالی البرز مرکزی قرار دارد، شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، شیب زیاد، ضعف پوشش گیاهی و وجود دام مازاد در منطقه باعث حساسیت زیاد به فرسایش خاک می‌شود. دخالت و بهره‌برداری‌های روزافزون از منابع طبیعی منطقه نیز تأثیر زیادی بر تشدید روند تخریب و فرسایش خاک گذاشته است. از این رو، ارزیابی فرسایش خاک و تهیه نقشه پهنه‌بندی حوضه جهت مدیریت منابع و کنترل بهره‌وری خاک در حوضه ضروری است. با تعیین مدل مناسب، امکان محاسبه دقیق فرسایش خاک در شرایط مختلف نیز فراهم می‌شود. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی شدت فرسایش خاک در حوضه بلده با استفاده از دو مدل RUSLE و ICONA و محاسبه میزان دقت آن‌ها به کمک مقادیر مشاهده‌ای مدل BLM و محاسبه آماره‌های RMSE، MAE، MSE و NSEC است. در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده برای اعتبارسنجی مدل RUSLE از آمار رسوب ایستگاه‌های رسوب-

سنجی استفاده شده است و تاکنون به بررسی صحت مکانی نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش حاصل از مدل‌های RUSLE و ICONA با استفاده از یک مدل پایه و شاخص‌های آماری توجه چندانی نشده است.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بلده با مساحت ۵۶۱۹ هکتار در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}10'27''$ الی $36^{\circ}15'25''$ عرض شمالی و $51^{\circ}14'44''$ الی $51^{\circ}50'41''$ طول شرقی واقع شده است. این حوضه از نظر تقسیمات کشوری به استان مازندران، شهرستان نور و بخش بلده تعلق دارد. از دیدگاه موقعیت زمین‌شناختی این منطقه در رشته کوه البرز واقع بوده و در حقیقت بخشی از البرز مرکزی با ویژگی‌های زمین‌شناختی ناهمسان با دیگر نقاط است. باتوجه به نقشه زمین‌شناسی ورقه بلده با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور) مجموعه زمین‌شناختی این منطقه دربرگیرنده واحدهای سنگی گوناگونی است که تنوع آن نشانه‌ای از چگونگی رخدادهای رسوبی و ساختمانی عهد گذشته را دارا است. قدیمی‌ترین تشکیلات در منطقه مورد مطالعه، توده‌های داسیت از زمان پرکامبرین می‌باشد که در قسمت شمال شهر بلده واقع است. سپس رسوبات از زمان پرمین با توده‌های آذرین بیرونی از جنس آندزیت و بازالت بوده و بعد رسوبات جدیدتر دوران دوم شامل سنگ آهک، ماسه‌سنگ و انواع کوارتز هستند. از دیگر رسوبات تشکیل‌دهنده دوران دوم در منطقه سازند شمشک است که شامل ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا بوده و رسوبات دوران سوم تنها شامل رسوبات پادگانه‌ای و آبرفتی عهد حاضر می‌باشد که در زمره نامقاوم‌ترین واحدها از نظر پتانسیل میزان فرسایش و تولید رسوب به‌شمار می‌رود. تنوع رسوبات در کنار یکدیگر به واسطه تأثیر عوامل تکتونیکی امکان‌پذیر و قابل‌توجه می‌باشد. محدوده مورد مطالعه از نظر تکتونیک و زمین‌ساخت، منطقه فعالی بوده و وجود سیستم‌های شکستگی و گسل‌های منطقه به‌همراه چین‌خوردگی‌های موجود شاهدهی بر این مدعا است. چین‌خوردگی‌های متعددی به‌صورت طاق‌دیس و ناودیس در منطقه مشاهده می‌شوند. این چین‌خوردگی‌ها تحت تأثیر فازهای کوهزایی آلپی مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک است. امتداد محوری چین‌ها به‌صورت شمال غربی- جنوب شرقی و هم‌رند با گسل‌های امتداد لغز منطقه می‌باشد. رودخانه‌ها و آبراهه‌ها منطبق بر گسل‌ها هستند و از این‌رو می‌توان از روی آن‌ها امتداد گسل‌ها را مشخص کرد. بزرگ‌ترین رودخانه در منطقه مورد مطالعه رودخانه نور رود است که در امتداد گسل تراستی هراز با روند غربی - شرقی در جنوب منطقه مورد مطالعه جریان دارد و به رودخانه هراز منتهی می‌شود. (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه بلده

روش پژوهش

در این پژوهش، نخست از دو مدل *RUSLE* و *ICONA* برای پهنه‌بندی شدت فرسایش خاک و از روش *BLM* جهت بررسی میزان دقت مدل‌ها و تعیین مدل مناسب در حوضه بلده استفاده شده است. مدل *RUSLE* یک مدل برآورد فرسایش در واحد سطح است که با شش عامل رابطه دارد. برای محاسبه عامل فرسایش باران از ایستگاه‌های داخل و اطراف حوضه بلده و برای تهیه نقشه فرسایش‌پذیری خاک از گزارش خاک‌شناسی منطقه استفاده گردید. عامل توپوگرافی یعنی لایه‌های ارتفاع و شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (*DEM*) منطقه با اندازه پیکسلی ۳۰ متر و برای تعیین عامل پوشش گیاهی از تصویر ماهواره لندست *TM* باندهای ۴ و ۵ استفاده شده است. در نهایت مدل *RUSLE* با استفاده از رابطه ۱ در محیط *ArcGIS* اجرا شده است.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

در این رابطه *A* متوسط تلفات خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، *R* فاکتور فرسایش باران ($Mj \ mm \ ha^{-1} \ h^{-1} \ y^{-1}$), *K* فاکتور فرسایش‌پذیری خاک ($Mj \ ha \ h \ ha^{-1} \ mm^{-1}$), *L* طول شیب، *S* درجه شیب، *C* مدیریت پوشش گیاهی و *P* عملیات حفاظتی است.

مدل *ICONA* نیز اولین بار توسط انجمن علمی حفاظت از طبیعت اسپانیا ارائه شده است. این مدل در کشورهای اروپایی و بسیاری از مناطق مدیترانه‌ای و نیمه مدیترانه‌ای قابل استفاده می‌باشد. در میان بسیاری از راه‌های مؤثر برای پیش‌بینی فرسایش به همراه استفاده از *GIS* و *RS* نتایج شبیه‌سازی این مدل به صورت همگانی پذیرفته شده است.

(نوحه گر و کاظمی، ۱۳۹۲). این مدل نیز در بطن خود از توانمندی و توانایی سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در برآورد پارامترها و پهنه بندی خطر فرسایش استفاده می کند (انتظاری و خدادادی، ۱۳۹۶). داده هایی که در این مدل استفاده می شوند عبارتند از: لایه شیب، لایه سطوح سنگی، لایه پوشش گیاهی و لایه کاربری اراضی (حبشی و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس این مدل، ابتدا نقشه شیب و نقشه زمین شناسی تهیه گردید و در ادامه از همپوشانی این دو لایه، لایه فرسایش پذیری خاک تهیه به دست آمد. در مرحله بعد، نقشه کاربری و نقشه پوشش گیاهی تهیه شد و با هم پوشانی لایه های آن ها، نقشه حفاظت خاک به دست آمد. در مرحله آخر، لایه فرسایش پذیری خاک با لایه حفاظت خاک هم پوشانی شد و نقشه پهنه بندی فرسایش منطقه با مدل ICONA حاصل شد.

جهت ارزیابی نتایج و تعیین مدل مناسب با توجه به اینکه تمامی عوامل روش BLM از طریق بازدید صحرایی و مشاهده میدانی به دست می آیند (رفاهی، ۱۳۸۸ و بیات و همکاران، ۱۳۹۹)، از این رو در این پژوهش به عنوان نقشه واقعیت زمینی طبقات فرسایش مورد استفاده قرار گرفت و نقشه طبقه بندی شده دو مدل RUSLE و ICONA با آن تلاقی داده شدند. همچنین یک نقشه نقطه ای به صورت شبکه بندی منظم برای نمونه برداری در ۲۵۰۰ نقطه از نقشه-های حاصل از مدل ها تهیه شد. الگوی نمونه برداری شبکه بندی منظم نیز با فواصل ۱۵۰ متر بود. بر اساس نقاط نمونه برداری نقشه یاد شده، میزان هر یک از آماره های $RMSE^1$ (جذر میانگین مربعات خطا)، MAE^2 (میانگین خطای خطای مطلق)، MSE^3 (میانگین مربعات خطا) و $NSEC^4$ (ضریب کارایی ناش و ساتکلیف) محاسبه گردید و میزان دقت نقشه های پهنه بندی فرسایش حاصل از مدل های RUSLE و ICONA به دست آمد.

جدول ۱: فرمول محاسبه شاخص های آماری

نام آماره	فرمول	نام آماره	فرمول
جذر میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{N}}$	میانگین مربعات خطا	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{N}$
میانگین خطای مطلق	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - P_i }{N}$	ضریب کارایی ناش و ساتکلیف	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O^-)^2}$

O_i : مقادیر مشاهده شده، O^- میانگین مقادیر مشاهده شده، P_i : مقادیر برآورد شده و n تعداد نمونه ها

یافته های پژوهش

اجرای مدل RUSLE

به منظور اجرای مدل RUSLE، از لایه های فرساینده باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS) و پوشش گیاهی (C) و عامل حفاظت خاک (P) استفاده شده است. عبارت فرساینده باران توسط ویشمایر و اسمیت

1- Root Mean Square Error

2- Mean Absolute Error

3- Mean Square Error

4- Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient

در سال ۱۹۵۸ به منظور لحاظ تأثیر تغییر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد (احمدآبادی و صدیقی فر، ۱۳۹۶). قدرت فرساینده باران نقش زیادی در فرسایش خاک داشته و می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش در مناطق مورد نظر باشد (فریدی و همکاران، ۱۳۹۲). برای مناطقی که جزییات داده‌های اقلیمی وجود ندارد، عامل R را می‌توان با استفاده از شاخص اصلاح‌شده فورنیر (رابطه ۲) تخمین زد:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad (2)$$

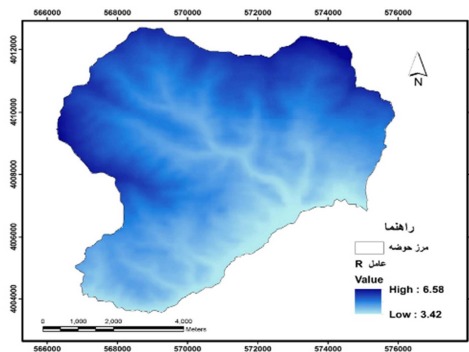
که در آن F شاخص فورنیر، P_i متوسط بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر در ماه i و P متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر است. از آنجا که شاخص‌های فورنیر (F) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش همگی کمتر از ۵۵ به دست آمده‌اند، از این رو برای محاسبه مقادیر فرساینده باران (R) در ایستگاه‌های منطقه از رابطه ۳ استفاده شده است.

$$R - Factor = \frac{(0.07397 * F^{1.847})}{17.2} \quad F < 55 \quad (3)$$

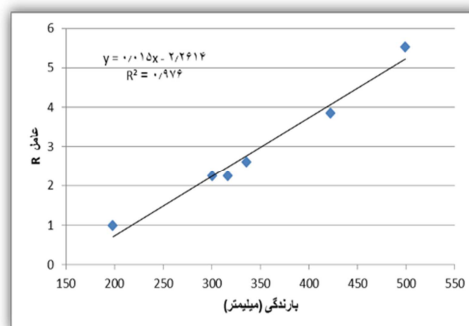
شاخص‌های فورنیر (F) و مقادیر فرساینده باران (R) با استفاده از رابطه ۲ و ۳ برای ۵ ایستگاه در طی دوره آماری ۲۰ ساله محاسبه شده که مقادیر این شاخص‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. در ادامه بر اساس رابطه بین ارتفاع و بارندگی منطقه و سپس بر اساس رابطه بارندگی و فاکتور R (شکل ۲)، نقشه فاکتور R حوضه بلده در محیط نرم‌افزار ArcGis10.3 به دست آمد (شکل ۳). مقادیر سالانه فاکتور فرساینده باران از 3.42 تا 6.58 ($MJ \text{ mm ha}^{-1} h^{-1} y^{-1}$) و میانگین و انحراف معیار آن به ترتیب 4.73 و 0.46 ($MJ \text{ mm ha}^{-1} h^{-1} y^{-1}$) می‌باشد. مقادیر فرساینده باران از شمال حوضه به سمت جنوب کاهش می‌یابد که در ارتباط با کاهش بارندگی و توزیع مکانی غیریکنواخت بارندگی در حوضه بلده است.

جدول ۲: مقادیر شاخص فورنیر به تفکیک هر ایستگاه

نام ایستگاه	ارتفاع (m)	بارش (mm)	F	R
بلده	۲۰۶۱	۳۱۱/۹	۲۹/۶۰۹۵۶	۲/۲۴۵۲۳۶
رزن	۱۲۴۰	۳۲۹/۸	۲۹/۶۴۳۸۱	۲/۲۵۰۰۳۵
ناکر	۱۷۰۰	۳۲۷/۸	۳۲/۰۸۹۰۸	۲/۶۰۴۷۶۹
پنجاب	۹۴۰	۲۰۱/۳	۱۸/۹۸۸۹۹	۰/۹۸۸۳۷۱
نمارستاق	۲۱۲۰	۴۱۳/۸	۳۹/۷۱۴۳۱	۳/۸۶۱۷۳۳
بطاهر کلا	۲۵۰۰	۵۳۳/۱	۴۸/۲۷۱۷	۵/۵۳۷۴۲



شکل ۳: نقشه فاکتور R



شکل ۴: رابطه بین بارندگی و فاکتور R

فرسایش پذیری خاک (K)، میزان تأثیرپذیری خاک نسبت به عوامل فرسایش می باشد. عوامل زیادی در فرسایش پذیری خاک مؤثرند؛ اما به دلیل غیرعملی بودن تعیین برخی از آن ها ۵ عامل مهم در نظر گرفته شد و به صورت نمودار ارائه گردید. درصد شن خیلی ریز + سیلت، درصد شن، درصد مواد آلی، ساختمان خاک و نفوذپذیری از جمله این عوامل بودند (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۴). فاکتور فرسایش پذیری خاک در مدل RUSLE از طریق رابطه ۴ محاسبه می شود (گانسری و رامش، ۲۰۱۵).

$$K = 27.66 * m^{1.14} 10^{-8} (12 - a) + (0.0043(b - 2)) + (0.0033(c - 3)) \quad (4)$$

در این رابطه: M: قطر ذره (درصد سیلت + درصد شن خیلی ریز) * (درصد رس - ۱۰۰)، a: درصد ماده آلی، b: کد ساختمانی خاک و c: کلاس نفوذپذیری پروفیل خاک می باشند. برای تعیین مقادیر فاکتور K در واحدهای قابلیت اراضی مختلف حوضه بلده از گزارش خاک شناسی مهندسین مشاور آبادگران طبیعت شمال (۱۳۹۴) استفاده شده است. باتوجه به شکل ۴، مقدار K در منطقه مورد مطالعه از ۰/۲۵ تا ۰/۴۷ متغیر بوده و میانگین آن ۰/۲۹ و انحراف معیار آن نیز ۰/۰۴ می باشد.

عامل توپوگرافی (LS) نشان دهنده تأثیر پستی و بلندی در میزان فرسایش است. برای تهیه نقشه طول شیب نیاز به مدل رقومی ارتفاعی (DEM) می باشد که هدف از آن یک مدل رستری است که به توان ویژگی های توپوگرافی حوضه را تحلیل کرد؛ زیرا طول شیب و درجه شیب پارامترهایی سه بعدی هستند که با طول و عرض و ارتفاع شناخته می شوند. به طور کلی می توان هر یک از عوامل طول شیب و درجه شیب را به طور جداگانه ارزیابی نمود و برای هر یک مقدار عددی مستقل مشخص نمود، اما از نظر کاربردی معمولاً طول و درجه شیب را باهم در نظر می گیرند که آن را با علامت LS نشان می دهند و در این پژوهش با استفاده از رابطه ۵ و همچنین استفاده از DEM حوضه مورد نظر، با تهیه نقشه جهت جریان (FLOW DIRECTION) و پس از آن نقشه جریان تجمع (FLOW ACCUMULATION) تهیه شد.

$$LS = \left(\frac{AS}{22.13} \right)^{0.4} \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (5)$$

در این رابطه (θ) درجه شیب زمین و AS معادل مساحت سلول‌هایی است که آب آن‌ها به داخل سلول موردنظر جاری می‌شود. برای محاسبه درجه شیب (θ) از مدل رقومی ارتفاع حوضه استفاده شده و به کمک تابع Spatial Analyst نرم‌افزار GIS مقادیر آن در سطح حوضه محاسبه گردید. مقادیر AS (سطح ویژه حوضه) نیز از حاصل ضرب جریان تجمعی در اندازه ابعاد سلول به دست آمد (مور و ویلسون، ۱۹۹۲). به این ترتیب، فاکتور LS با رابطه یادشده و در نظر گرفتن کنش متقابل بین توپوگرافی و جریان تجمعی آب محاسبه گردید (شکل ۵). همان‌طور که در شکل نشان داده شد، مقدار فاکتور LS از ۰ تا ۳۶۰ متغیر است و میانگین آن ۱۳/۲۵ با انحراف معیار ۱۵/۹۷ می‌باشد.

جهت استخراج عامل پوشش گیاهی (C) می‌توان از فناوری سنجش‌ازدور استفاده نمود. برای تصویر لندست این شاخص با رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})} \quad (۶)$$

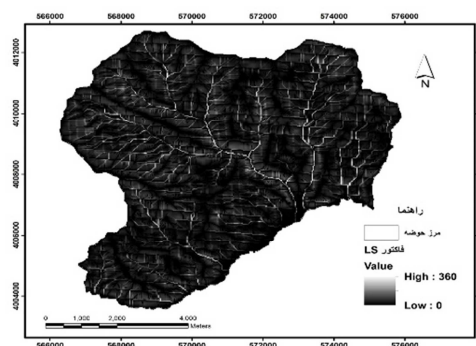
که در این رابطه ρ_{NIR} باند مادون‌قرمز نزدیک و ρ_{Red} باند قرمز سنجنده می‌باشد. این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است. پوشش گیاهی سالم دارای فعالیت فتوسنتزی (در بخش طیفی مادون‌قرمز در مقایسه با طیف قرمز) انعکاس بیشتری دارد؛ بنابراین مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی مثبت برای ابرها و منابع آبی منفی یا صفر خواهد شد. این شاخص همبستگی بالایی با زیست‌توده سطح زمین دارد و بعد از انجام تبدیل خطی معکوس رابطه بین فاکتور C و NDVI به دست آمد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). نقشه موضوعی NDVI با استفاده از ماهواره Landsat TM (باندهای ۴ و ۵) از منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. از آنجایی که مقادیر فاکتور C بین صفر و یک می‌باشد، مقدار صفر به پیکسل‌های با مقادیر منفی و عدد یک به پیکسل‌هایی با مقدار بیشتر از یک اختصاص یافت. در حقیقت این فاکتور به‌طور کامل رابطه معکوس با NDVI دارد. مقادیر فاکتور پوشش گیاهی برای منطقه از ۰/۴۹ برای مناطق با پوشش گیاهی متراکم و ۰/۱۴ برای مناطق با پوشش گیاهی ضعیف‌تر متغیر می‌باشد و میانگین آن برای حوضه ۰/۴۱ با انحراف معیار ۰/۰۳ به دست آمد (شکل ۶). کمترین مقادیر فاکتور C مربوط به مناطق پایین‌دست شیب‌ها می‌باشند. بر این اساس پوشش گیاهی منطقه تحت تأثیر پستی و بلندی است و با افزایش ارتفاع و شیب در منطقه از میزان این عامل کاسته می‌شود.

عامل حفاظت خاک (P) عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین‌رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پایین تندترین شیب، شخم زده شود. منظور از کارهای حفاظتی، بیشتر کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی، درختکاری، جلوگیری از قطع بی‌رویه درختان و جلوگیری از چرای بی‌رویه دام است. چنانچه هیچ کار حفاظتی صورت نگرفته باشد مقدار آن یک در نظر گرفته می‌شود. مقدار P را می‌توان بر اساس شیب منطقه هم به دست آورد. هر چه شیب کمتر باشد نیاز به عملیات حفاظتی کمتر می‌شود (رحیمی و مزبانی، ۱۳۹۲). باتوجه به این‌که در حوضه تحت بررسی عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته، ارزش P در تمام سطح حوضه عدد ۱ در نظر گرفته شده است.

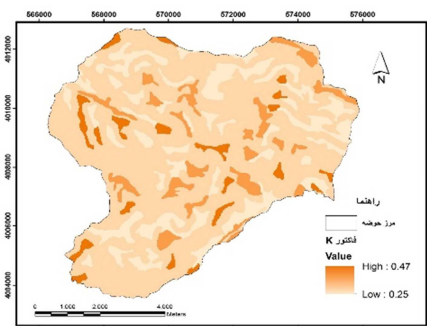
نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه بلده با مدل RUSLE

به‌منظور محاسبه فرسایش متوسط سالانه خاک حوضه بلده، لایه‌های تولیدشده شامل لایه‌های فرسایش‌پذیری باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی به کمک الحاقیه Spatial Analyst برنامه ArcGIS10.3 در

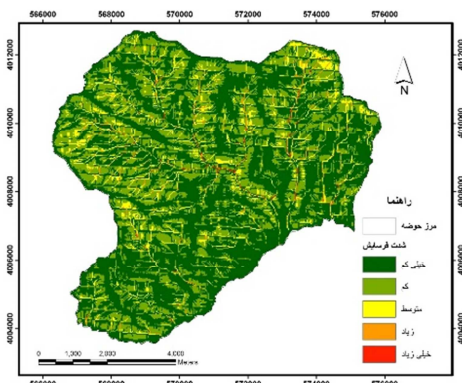
همدیگر ضرب شد و مقادیر فرسایش سالانه خاک (A) برحسب (تن در هکتار در سال) بر اساس سلول به سلول به دست آمد. نتایج اجرای مدل نشان داد که مقادیر فرسایش سالانه خاک در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۲۰/۳ تن در هکتار در سال متغیر است. در مرحله بعد، به منظور ارزیابی نتایج و مقایسه با مدل های دیگر، نقشه فرسایش یادشده به پنج کلاس شدت فرسایش طبقه بندی شده است (شکل ۷).



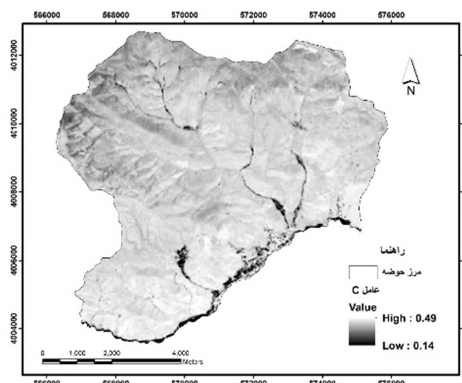
شکل ۵: نقشه فاکتور (LS)



شکل ۴: نقشه فاکتور (K)



شکل ۷: نقشه شدت فرسایش خاک با مدل RUSLE



شکل ۶: نقشه فاکتور (C)

اجرای مدل ICONA

در مرحله اول، جهت تعیین کلاس های شیب در منطقه، ابتدا لایه شیب حوضه تهیه شد و در پنج کلاس طبقه بندی گردید (شکل ۸). کلاس ۱ با شیب کمتر از ۵ درصد ۵۴/۸۹ هکتار، کلاس ۲ با شیب ۵ تا ۱۵ درصد ۴۱۰/۴۳ هکتار، کلاس ۳ با شیب ۱۵ تا ۲۵ درصد ۹۰۵/۱۶ هکتار و کلاس ۴ با شیب ۲۵ تا ۴۰ درصد ۱۹۷۳/۷۵ هکتار مساحت دارند. بیشترین مساحت شیب مربوط به کلاس ۵ با شیب بالای ۴۰ درصد است که ۲۲۷۷/۷۶ هکتار از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است.

در مرحله دوم، جهت تعیین کلاس‌های سنگ‌شناسی منطقه از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده (سازمان زمین‌شناسی کشور) استفاده شد. سازندهای زمین‌شناسی حوضه بلده بر طبق میزان مقاومت در برابر هوازدگی در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید (جدول ۳).

جدول ۳: جدول اطلاعات سطوح سنگی حوضه بلده

کلاس	سازندهای زمین‌شناسی	مساحت (هکتار)
۱	سنگ آهک دولومیتی-سنگ آهک-کوارتز آرانایت	۱۴۳۷/۷۶
۲	خاک رس- بستر ضخیم با سنگ آهک و دولومیت	۶۶۵/۳۷
۳	کنگومرا-ولکانیک‌ها شامل بازالت و آندزیت و داسیت	۲۵۴/۸۹
۴	شیل- ماسه سنگ و کنگومرا	۱۳۴۸/۷۸
۵	شیل- سیلت- کنگومرا- رسوبات پادگانه‌ای و تراورتن	۱۹۱۲/۳۹

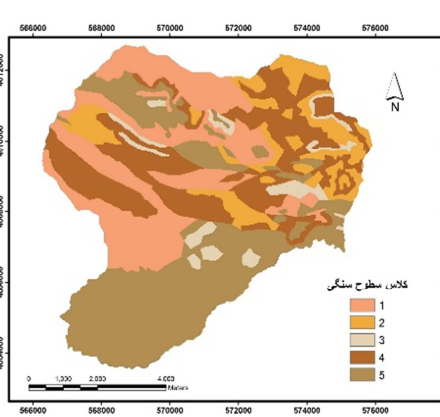
در مرحله سوم، برای تهیه نقشه فرسایش‌پذیری خاک حوضه بلده، لایه شیب (شکل ۸) با لایه سنگ‌شناسی حوضه (شکل ۹) همپوشانی شده است. به عبارتی، نقشه فرسایش‌پذیری خاک حوضه از ترکیب دو لایه یادشده به‌دست آمده است (شکل ۱۰). زمینه و سطح فرسایش‌پذیری در جدول ۴ و شاخص فرسایش‌پذیری نیز در جدول (۵) ارائه شده است. کلاس فرسایش‌پذیری صخره متراکم، دارای کلاس (۱) و شیب کمتر از ۵ درصد، مینیمم (EN) است و یا لس‌های فاقد رسوب/خاک چسبنده با شیب بیشتر از ۴۰ درصد، دارای کلاس فرسایش‌پذیری ماکسیمم (EX) می‌باشد.

جدول ۴: جدول زمینه و سطح فرسایش‌پذیری

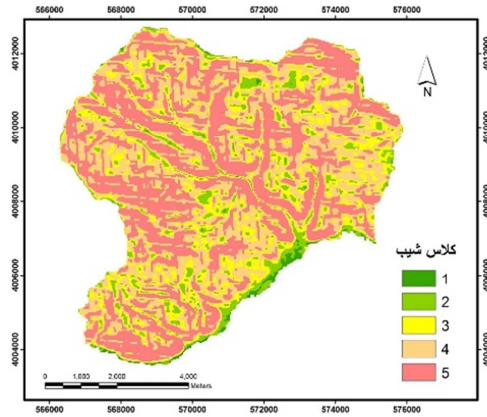
کلاس شیب	کلاس سنگ‌شناسی				
	1	2	3	4	5
۱	EN	EN	EN	EN	EB
۲	EN	EN	EB	EM	EM
۳	EB	EB	EM	EA	EA
۴	EM	EM	EA	EX	EX
۵	EA	EA	EX	EX	EX

جدول ۵: جدول شاخص فرسایش‌پذیری

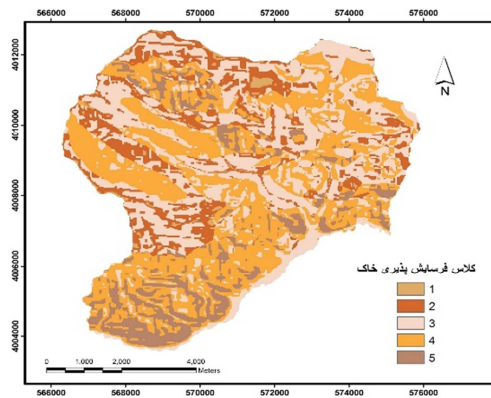
کلاس	۱	۲	۳	۴	۵
نوع	EN	EB	EM	EA	EX
توضیح	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت (هکتار)	۷۱/۸۸	۸۲۳/۴۵	۱۸۹۸/۲۴	۲۲۰۹/۱۳	۶۱۶/۲۹



شکل ۹: نقشه کلاس های سنگ شناسی حوضه بلده



شکل ۸: نقشه کلاس های شیب حوضه بلده



شکل ۱۰: نقشه فرسایش پذیری خاک حوضه بلده

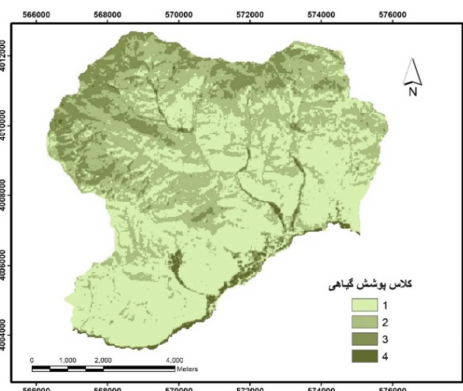
در مرحله چهارم، تصاویر ماهواره لندست و سنجنده TM با بیشترین احتمال الگوریتمی برای تشخیص گروه های مختلف کاربری موجود در منطقه طبقه بندی شدند. این کار با نمونه گیری های یکنواخت و همگن در کل منطقه صورت گرفت. پنج کلاس کاربری به وسیله این نمونه گیری ها در منطقه ی مورد مطالعه از هم تفکیک شدند (شکل ۱۱). کاربری های موجود در منطقه شامل کلاس ۱ با کاربری مسکونی و باغ ۹۷/۳۵ هکتار، کلاس ۲ با اراضی زراعی ۸۵/۳۱ هکتار، کلاس ۳ با اراضی مرتعی نوع ۱ به مساحت ۲۰۱۳/۶۲ هکتار، اراضی مرتعی نوع ۲ با کلاس ۴ به مساحت ۱۶۳۴/۱۵ هکتار و کلاس ۵ با اراضی مرتعی نوع ۳ به مساحت ۱۷۸۹/۲۱ هکتار می باشند.

در مرحله پنجم، کلاس های پوشش گیاهی منطقه و شاخص NDVI با استفاده از ماهواره Landsat سال ۲۰۱۸ (باند های ۴ و ۵) و رابطه ۷ تعیین شده است.

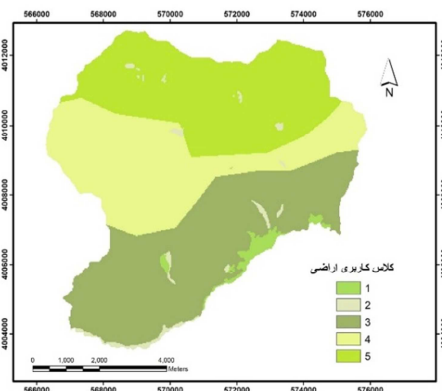
$$NDVI = \frac{NIR\ BAND - R\ BAND}{NIR\ BAND + RBAND}$$

(۷)

لایه NDVI در ۴ کلاس طبقه‌بندی شده و لایه پوشش گیاهی را تولید می‌کند (احسانی و غفاری شیروان، ۱۳۹۲). 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 مادون قرمز در مقایسه با بخش طیفی مرئی قرمز انعکاس بیشتری دارد؛ بنابراین مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). کلاس‌های پوشش گیاهی حوضه در شکل ۱۲ ارائه شده است. کلاس ۱ با درصد پوشش گیاهی کمتر از ۲۵٪، کلاس ۲ بین ۲۵٪ تا ۵۰٪، کلاس ۳ بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ و کلاس ۴ با درصد پوشش گیاهی بیشتر از ۷۵٪ به ترتیب ۲۶۸۹، ۲۱۱۴، ۷۳۲ و ۸۴ هکتار از سطح منطقه را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۱۲: کلاس‌های پوشش گیاهی حوضه بلده

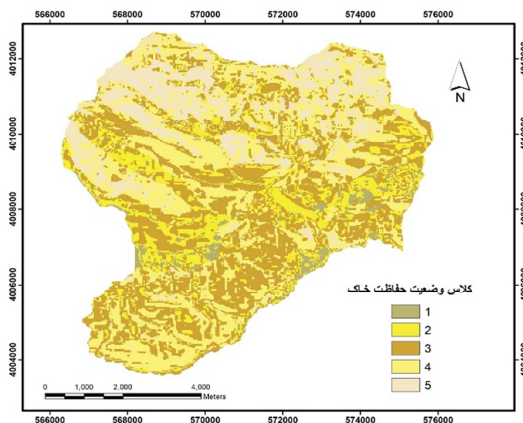


شکل ۱۱: کلاس‌های کاربری اراضی حوضه

در مرحله ششم، برای تهیه نقشه حفاظت خاک، لایه شاخص پوشش گیاهی با لایه کاربری منطقه همپوشانی شده است (شکل ۱۳). وضعیت حفاظت خاک حوضه بلده باتوجه به نوع کاربری و میزان پوشش گیاهی در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: وضعیت حفاظت خاک حوضه بلده

کاربری اراضی	کلاس پوشش گیاهی			
	۱	۲	۳	۴
۱	(خیلی ضعیف) ۵	(خیلی ضعیف) ۵	(ضعیف) ۴	(ضعیف) ۴
۲	(خیلی ضعیف) ۵	(خیلی ضعیف) ۵	(ضعیف) ۴	(متوسط) ۳
۳	(متوسط) ۳	(خوب) ۲	(خیلی خوب) ۱	(خیلی خوب) ۱
۴	(ضعیف) ۴	(متوسط) ۳	(خوب) ۲	(خیلی خوب) ۱
۵	(خیلی ضعیف) ۵	(ضعیف) ۴	(متوسط) ۳	(خوب) ۲



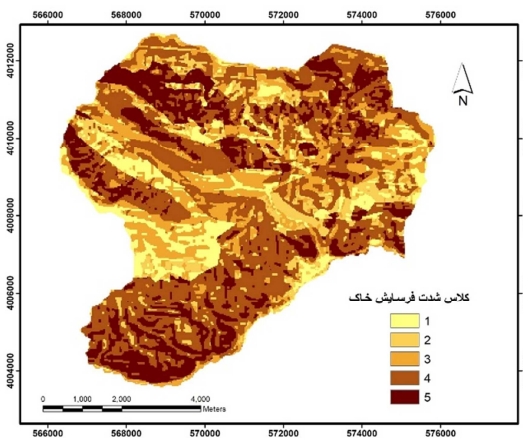
شکل ۱۳: کلاس های وضعیت حفاظت خاک حوضه بلده

نقشه شدت فرسایش خاک حوضه بلده با مدل ICONA

در مرحله آخر، برای تهیه نقشه پهنه بندی فرسایش خاک با مدل ICONA دو نقشه حفاظت خاک و نقشه فرسایش پذیری خاک تلفیق شدند که نتایج در جدول ۷ و شکل ۱۴ ارائه شده است.

جدول ۷: طبقات فرسایش خاک

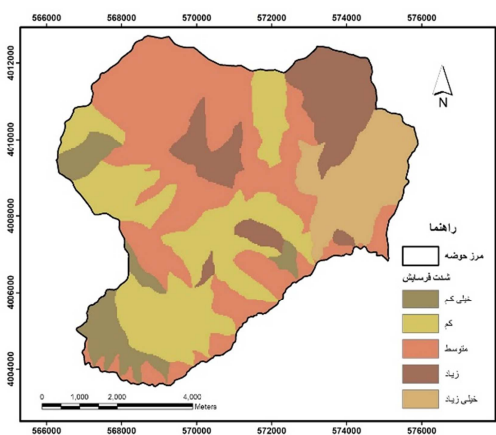
فرسایش		شاخص فرسایش پذیری				
		خیلی کم (EN)	کم (EB)	متوسط (EM)	زیاد (EA)	خیلی زیاد (EX)
وضعیت حفاظت خاک	خیلی خوب (۱)	۱	۱	۱	۲	۲
	خوب (۲)	۱	۱	۲	۳	۴
	متوسط (۳)	۱	۲	۳	۴	۴
	ضعیف (۴)	۲	۳	۳	۵	۵
	خیلی ضعیف (۵)	۲	۳	۴	۵	۵



شکل ۱۴: کلاس های شدت فرسایش خاک در حوضه بلده با مدل ICONA

ارزیابی مدل‌ها و تعیین مدل مناسب

برای بررسی دقت مکانی نقشه‌های فرسایش حاصل از دو مدل RUSLE و ICONA از خروجی روش BLM که توسط مهندسين مشاور آبادگران طبیعت شمال (۱۳۹۴) تهیه گردید، استفاده شده است. در این روش وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات عوامل هفت‌گانه در یک جدول امتیاز عوامل سطحی مشخص می‌شود. برای این منظور، هفت عامل از طریق مشاهده و بازدید صحرایی مورد ارزیابی مستقیم قرار می‌گیرند که عبارتند از: وضعیت حرکت خاک، لاشبرگ سطحی، پوشش سنگی سطح زمین، موانع فرسایشی، شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و فرسایش خندقی. برای به‌دست‌آوردن داده‌ها با در دست‌داشتن شرایط طبیعی استاندارد که برای هر کدام از عوامل هفت‌گانه مشخص شده است، به منطقه مراجعه و با مقایسه وضع موجود و شرایط استاندارد ارزش عددی هر عامل تعیین گردید. نقشه شدت فرسایش حوضه بلده با روش BLM در شکل ۱۵ ارائه شده است. در این نقشه طبقات شدت فرسایش خیلی زیاد و زیاد به ترتیب ۱۲/۰۳ و ۱۴/۲ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص دادند.



شکل ۱۵: شدت فرسایش خاک در حوضه بلده با روش BLM

برای ارزیابی صحت مدل‌ها و مقایسه نتایج از شاخص‌های آماری RMSE، MAE، MSE و NSEC بر اساس نقشه نقاط نمونه‌برداری استفاده شد که نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است. بررسی مقادیر شاخص‌های یادشده نشان می‌دهد که آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین مربعات خطا در مدل ICONA دارای مقادیر پایین‌تری هستند، در نتیجه این مدل دارای خطای کمتری است. همچنین بررسی مقدار ضریب کارایی ناش و ساتکلیف در دو مدل نشان داد که مقدار این ضریب در مدل ICONA به یک نزدیک‌تر است که نشان از کارایی بهتر این مدل در برآورد فرسایش دارد.

جدول ۸: مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی مدل‌های RUSLE و ICONA

شاخص	RMSE	MSE	MAE	NSEC
RUSLE	۱/۹۲۸	۳/۷۱۷	۱/۵۷۳	-۲/۰۷۸
ICONA	۱/۷۷۸	۳/۱۶۲	۱/۴۱۳	-۱/۶۱۹

نتیجه گیری

در این پژوهش دو مدل تجربی RUSLE و ICONA برای پهنه بندی فرسایش خاک در حوضه بلده اجرا شد و با استفاده از داده های مشاهده ای و شاخص های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اجرای مدل RUSLE، لایه های فرساینده گیاهی باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS) و پوشش گیاهی (C) و عامل حفاظت خاک (P) تهیه و باهم تلفیق شدند و نقشه فرسایش سالانه خاک حاصل گردید. مقادیر متوسط فاکتورهای R، K، LS، C و P در حوضه بلده به ترتیب برابر با ۴/۷۳ مگاژول/میلی متر/هکتار در ساعت در سال، ۰/۲۹ تن/ساعت/مگاژول/میلی متر در سال، ۱۳/۲۵، ۰/۳۱ و ۱ به دست آمده است. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که مقادیر فرسایش سالانه خاک در حوضه بین ۰ تا ۲۰۱/۳ تن در هکتار در سال متغیر است. طبقه بندی نقشه یاد شده در پنج کلاس شدت فرسایش، بیانگر آن است که طبقه فرسایشی زیاد و خیلی زیاد بیشتر در قسمت های میانی حوضه بلده و در مسیر رودخانه ها وجود دارد.

داده ها و اطلاعات مورد نیاز مدل ICONA از نقشه های شیب، سازندهای زمین شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به دست آمده است. بر اساس این مدل، از هم پوشانی لایه های شیب و جنس سنگ، لایه فرسایش پذیری خاک تهیه گردید و از هم پوشانی لایه های کاربری اراضی و پوشش گیاهی، لایه حفاظت خاک به دست آمد. سرانجام، لایه فرسایش پذیری خاک با لایه حفاظت خاک هم پوشانی شد و نقشه پهنه بندی فرسایش منطقه با مدل ICONA حاصل شد. نقشه توزیع طبقات فرسایش این مدل در مقایسه با مدل RUSLE تفاوت هایی را نشان می دهد که می تواند مربوط به تأثیر لایه های متفاوت مورد استفاده در دو مدل یاد شده باشد.

ارزیابی دقت نقشه های حاصل از مدل های RUSLE و ICONA و تعیین مدل مناسب با استفاده از روش BLM به - عنوان مقادیر مشاهده ای و آماره های RMSE (جذر میانگین مربعات خطا)، MAE (میانگین خطای مطلق)، MSE (میانگین مربعات خطا) و NSEC (ضریب کارایی ناش و ساتکلیف) در نقاط نمونه برداری شده انجام پذیرفت. مقادیر شاخص های آماری به ترتیب برای مدل RUSLE، ۱/۹۲۸، ۱/۵۷۳، ۳/۷۱۷ و ۲/۰۷۸- و برای مدل ICONA، ۱/۷۷۸، ۱/۴۱۳، ۳/۱۶۲ و ۱/۶۱۹- به دست آمد که نشان می دهند تفاوت از مدل پایه هستند و کفایت بالایی ندارند؛ اما نقشه توزیع مکانی فرسایش خاک با مدل ICONA در حوضه بلده اندکی از دقت بیشتری برخوردار است. این نتیجه با بسیاری از پژوهش ها از جمله پونگسای و همکاران (۲۰۱۰)، باگیو و همکاران (۲۰۱۷)، بابایی و همکاران (۱۳۹۵) و واعظی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. در این پژوهش ها کل فرسایش خاک برآوردی مدل RUSLE در منطقه با مقدار بار رسوب اندازه گیری شده در همان منطقه یکسان نیست. اسماعیلی قلمز و همکاران (۱۳۹۹) نیز نشان دادند نتایج مدل ICONA با بررسی های میدانی مطابقت دارد.

منابع

آرخی، صالح و نیازی، یعقوب (۱۳۸۹)؛ بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE حوضه بالادست سد ایلام، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره دوم، صص ۱-۲۶.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=150565>

- احسانی، امیر هوشنگ و غفاری شیروان، مؤده (۱۳۹۲)؛ مدل ICONA جهت پهنه بندی خطر فرسایش آبی با استفاده از داده های ماهواره ای و GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز حبله رود)، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران. صص ۱-۱۴. <https://civilica.com/doc/160180>
- احمدآبادی، علی و صدیقی فر، زهرا (۱۳۹۶)؛ برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب با کمک معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (RUSLE) در حوضه آبریز حبله رود، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دهم، شماره ۳۷، صص ۸۳-۱۰۳.
- http://jopg.iualarestan.ac.ir/article_538238.html?lang=fa
- اسماعیلی قلم، حسین، احمدی، حسن، معینی، ابولفضل، معتمدوزیری، بهارک (۱۳۹۹)؛ ارزیابی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز کسلیان با مدل ایکونا و استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پژوهش های دانش زمین، سال یازدهم، شماره ۴۲. https://esrj.sbu.ac.ir/?_action=xml&article=100753
- اسمعیلی، اباذر، فرهودی، محمدحسین، جعفریان، زینب، کاویان پور، امیرحسین (۱۳۹۴)؛ اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه سازی باران در مراتع نشو مازندران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۲، صص ۱۷۹-۱۹۰. https://gep.ui.ac.ir/article_18734.html?lang=fa
- انتظاری، مژگان و خدادادی، فاطمه (۱۳۹۶)؛ ارزیابی خطر فرسایش آبی حوضه آبخیز طالقان رود با استفاده از مدل ICONA، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره سیزدهم، صص ۳۱-۴۸. https://jneh.usb.ac.ir/article_3142.html
- بابایی، مهناز، حسینی، زین العابدین، نظری سامانی، علی اکبر، مدرسی، علی (۱۳۹۵)؛ پهنه بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE 3D، مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۸، شماره ۲، صص ۱۸۱-۱۶۵. https://jwem.areco.ac.ir/article_106454.html?lang=fa
- بیات، رضا، عرب خدری، محمود، بهنام، نجمه و گرامی، زهرا (۱۳۹۹)؛ بررسی کارایی مدل های EPM و MPSIAC در تعیین وضعیت فرسایش حوضه آبخیز شهریار، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۳، صص ۱-۱۶. <https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3067-fa.html>
- حبشی، خلیل، اسکندری دامنه، هادی و میاحی، جاسم (۱۳۹۶)؛ ارزیابی قابلیت داده های ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از مدل ICONA (مطالعه موردی: شرق اصفهان)، نخستین همایش بین المللی سامانه اطلاعات جغرافیایی جاده ابریشم، دانشگاه صنعتی اصفهان، صص ۱-۱۳. <https://civilica.com/doc/717379>
- رحیمی، خلیل و مزبانی، مهدی (۱۳۹۲)؛ ارزیابی تغییرات فرسایش حوضه آبخیز سیوند طی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل RUSLE، فصلنامه علمی-پژوهشی، پژوهش های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱، صص ۱-۱۸. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-129-fa.html>
- رخبین، معصومه، نوحه گر، احمد، کمالی، علیرضا و حبیب اللهیان، محمود (۱۳۹۳)؛ برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز لاورفین (استان هرمزگان) با استفاده از سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تجربی (RUSLE)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره سوم، شماره پیاپی ۱۱۴، صص ۸۹-۱۰۴. <http://georesearch.ir/article-1-348-fa.html>
- زندی، جلال، حبیب نژاد روشن، محمود و سلیمانی، کریم (۱۳۹۲)؛ ارزیابی نقشه خطر فرسایش خاک و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی، حوضه آبخیز وازرود مازندران، نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۶، شماره ۳، صص ۴۰۳-۴۱۵. https://jrwm.ut.ac.ir/article_36516.html
- سپهر، عادل و هنرمند نژاد، سعیده (۱۳۹۱)؛ تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک با استفاده از مدل کرین اصلاح شده حوضه آبخیز چهرم، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۳، صص ۵۷-۷۲. https://geoeh.um.ac.ir/index.php/article_25831.html
- سهرابی، صحبت اله؛ طهماسبی پور، ناصر، حقی زاده، علی و زینی وند، حسین (۱۳۹۴)؛ اندازه گیری فرسایش پذیری خاک به روش رومنس و پهنه بندی آن با کمک زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز مادیان رود، کنفرانس ملی کشاورزی پایدار، محیط زیست و توسعه روستایی، کوهدشت، صص ۱-۱۵. <https://civilica.com/doc/379025>
- عرفانیان، مهدی، قهرمانی ساعتلو، پریسا و سعادت، حسین (۱۳۹۳)؛ ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از یک مدل فازی در آبخیز قرناوه گلستان، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و یکم، شماره ششم، صص ۱۳۵-۱۵۳. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2284.html

- عرفانیان، مهدی، قهرمانی، پریسا و سعادت، حسین (۱۳۹۲)؛ تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی در حوضه آبخیز قرناوه گلستان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال هفتم، شماره ۲۳، صص ۴۳-۵۲.
<https://jwmsei.ir/article-1-280-fa.html>
- فریدی، پروانه، رضائی، پیمان، قربانی، منصور و کاظمی، محمد (۱۳۹۲)؛ کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدلینگ فاکتور فرسایش باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گابریک- جنوب خاوری استان هرمزگان)، فصلنامه پژوهش های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۲، صص ۳۹-۵۱. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-143-fa.html>
- کارگر، مجید، جوادی، محمدرضا، هاشمی، علی اصغر، محمد ابراهیمی، مریم (۱۳۹۵)؛ بررسی کارایی رابطه جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن در برآورد رسوب رگبارهای منفرد در مراتع نیمه خشک (مطالعه موردی: سایت تحقیقاتی مرگسر استان سمنان)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۳، صص ۲۶۳-۲۷۱. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-677-fa.html>
- کریمی، لیلیا و امین، سیف الله (۱۳۹۱)؛ پهنه بندی خطر فرسایش حوضه سد سیوند در مدل ICONA به وسیله تکنیک RS، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صص ۸-۱. <https://civilica.com/doc/181626>
- موسوی، سید علی اکبر، زاهدی فر، مریم و رجبی مریم (۱۳۹۱)؛ بررسی تغییرات مکانی فرسایش خاک و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از روش های زمین آماری، نهمین سمینار مهندسی رودخانه. صص ۱-۹. <https://civilica.com/doc/186513>
- مهندسین مشاور آبادگران طبیعت شمال (۱۳۹۴)؛ گزارش پایه حوضه بلده نور، اداره منابع طبیعی استان مازندران، ۱۱۳ ص.
- محمدی، شاهین، کریم زاده، حمیدرضا و علیزاده، میثم (۱۳۹۷)؛ برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE، اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۲، صص ۵۵۱-۵۶۹. https://ije.ut.ac.ir/article_65857.html?lang=fa
- محمدی، شاهین، کریم زاده، حمید رضا، حبشی، خلیل (۱۳۹۶)؛ ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از مدل ICONA (مطالعه موردی مندرجان، غرب اصفهان)، نخستین همایش بین المللی سامانه اطلاعات جغرافیایی جاده ابریشم، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، صص ۱-۱۲. <https://civilica.com/doc/717338>
- محمدی، مازیار، فلاح، مقدسه، کاویان، عطالله، غلامی، لیلیا و امیدوار، ابراهیم (۱۳۹۵)؛ کاربرد مدل RUSLE در تعیین توزیع مکانی خطر هدررفت خاک، اکوهیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۶۴۵-۶۵۸. https://ije.ut.ac.ir/article_60368.html
- نوحه گر، احمد، کاظمی، محمد (۱۳۹۲)؛ ارزیابی خطر فرسایش آبی با استفاده از مدل ICONA (مطالعه موردی: حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۴، صص ۱-۱۴. <http://georesearch.ir/article-1-428-fa.html>
- Bagio, B., Bertol, I., Wolschick, N.H., Schneiders, D., Santos, M.A.d.N.d., (2017); Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41 p. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160132>
- Bayramin, I., Dengiz, O., Baskan, O and Parlak, M., (2003); Soil Erosion Risk Assessment with ICONA Model, Case Study: Beypazari Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* For 27, pp 105-116. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/abstract.htm?id=6170>
- Farhan, Y., Nawaiseh, S., (2015); Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*. 74(6), pp 4649-4669. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-4430-7>
- Ganasri, B.P., Ramesh, H., (2016); Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), pp 953-961. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987115001255>
- Guo, Y., Xion, Y., (2017); Comparison of the implementation of three common types of coupled CFD-DEM model for simulating soil surface erosion. *International Journal of Multiphase Flow*, 91, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.01.006>
- Jahun, B, G. Ibrahim, R. Dlamini, N, S. Musa, S.M., (2015); Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9), pp 36-47. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/22312>
- Kavuc Kalashami, H., Kheirkhah Zarkesh, M., Almodaresi, S. A., (2014); Water erosion risk assessment using models ICONA and techniques RS & GIS (case study catchment basin Babavly of Siahkal). *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 4(3), pp 69-81. <https://www.ijfse.com/index.php/8-archive/32-volume-4-number-3-august-2014>
- Kouhpeima, A., Hashemi, S. A. A., Feiznia, S., (2011); A study on the efficiency of Erosion Potential Model (EPM) using reservoir sediments. *Elixir Pollution*, 38, pp 4135-4139. DOI: 10.14256/JCE.1602.2016
- Moore, I. D., Wilson J. P., (1992); Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation. Simplified method of estimation. *Journal of soil and water conservation*, 47(5), pp 423- 428.

<https://www.researchgate.net/publication/279600630>

Pongsai, S., Schmidt, D.V. Rajendra, P. Shetha, R. Clemente S., Eiumnoh, A., (2010); Calibration and Validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for Estimating Sediment Yield on Sloping Plots: A Case Study in Khun Satan Catchment of northern Thailand. Canadian Journal of Soil Sciences, 90(4), pp 585- 596.

<https://www.researchgate.net/publication/258705248>

Reis, m., Dotal, H., Bolat, N., Savac, G., (2017); Soil Erosion Risk Assessment Using GIS and ICONA: A Case Study in Kahramanmaras, Turkey. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University. 34(1), pp 64-75.

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183174459>

Thapa, P., (2020); Spatial estimation of soil erosion using RUSLE modeling: a case study of Dolakha district, Nepal. Environmental Systems Research, 9(15), pp 1-10.

<https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-020-00177-2>

Wischmeier, W. H., Smith, D. D., (1978); Predicting rainfall erosion. losses: a guide to conservation planning. US Department of Agriculture, Washington, DC, Agriculture Handbook, 67p.

References

References (in Persian)

- Arekhi, S., Niazi, Y., (2010); Investigating application of GIS and RS to estimate Soil Erosion and Sediment Yield Using RUSLE (Case study: Upper part of Ilam Dam Watershed, Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*, 17(2), pp 1-27. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=150565> [In Persian]
- Ahmadabadi, A., Sedighifar, Z., (2017); Estimation of erosion and sediment production using global modified soil erosion equation (RUSLE) in Hablehroud basin. *Physical Geography Quarterly*, 10(37), pp 83-103. http://jopg.iualarestan.ac.ir/article_538238.html?lang=fa [In Persian]
- Babaei, M., Hosseini, S., Nazari Samani, A., Almodaresi, S., (2016); Assessment of soil erosion using RUSLE 3D, case study: Kan Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 8(2), pp 165-181. https://jwem.areeo.ac.ir/article_106454.html?lang=fa [In Persian]
- Bayat, R., Arabkhedri, M., Behnam, N., Gerami, Z., (2020); Performance evaluation of EPM and MPSIAC Models for determination of Erosion Status of Shahriari Watershed. *Jsaeh*, 7 (3), pp 1-16. <https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3067-fa.html> [In Persian]
- Entezari, M., Khodadadi, F., (2017); Taleghanrood Watershed Soil Erosion Risk Assessment Model ICONA. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(13), pp 31-48. https://jneh.usb.ac.ir/article_3142.html [In Persian]
- Esmaeili Gholzom, H., Ahmadi, H., Moeini, A., Motamed Vaziri, B., (2021); Assessment of soil erosion risk in Kesilian watershed with ICONA model and by using GIS&RS techniques. *Researches in Earth Sciences*, 42. https://esri.sbu.ac.ir/?_action=xml&article=100753 [In Persian]
- Esmali, A., kavian, A., jafarian, Z., Kavianpoor, A., (2015); Effect of vegetation covers on decreasing runoff and soil loss using rainfall simulation in Nesho rangeland, Mazandaran province. *Geography and Environmental Planning*, 26(2), pp 179-190. https://gep.ui.ac.ir/article_18734.html?lang=fa [In Persian]
- Erfanian, M., Ghaharahmani Saatloo, P., Saadat, H., (2015); Assessment of Soil Erosion Risk using a Fuzzy Model in Gharnaveh Watershed, Golestan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(6), pp 135-154. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2284.html [In Persian]
- Erfanian, M., Ghaharahmani, P., Saadat, H., (2014); Preparation of soil erosion potential hazard map using fuzzy logic in Golestan Garnaveh watershed, Iran-Watershed Management. *Science & Engineering*, 7 (23), pp 43-52. <https://jwmsei.ir/article-1-280-fa.html> [In Persian]
- Faridi, P., Rezaee, P., Kazemi, M., (2013); Application of GIS in Modeling Rainfall Erosivity Factor (Case Study: Gabric Watershed- Hormozgan Province East South). *Environmental Erosion Research Journal*, 3 (2), pp 39-51. <https://jwmsei.ir/article-1-280-fa.html> [In Persian]
- Kargar, M., Javadi, M. R., Hashemi, S. A. A., Maryam, M. E., (2016); Efficiency of USLE and some it's Variations for Storm-Wise Sediment Yield in Semi-arid Ranges) Case Study: Margsar Anistitue of Semnan. *Journal of Watershed Management Research*, 7 (13), pp 271-263. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-677-fa.html> [In Persian]
- Mohammadi, M., Fallah, M., Kavian, A., Gholami, L., Omidvar, E., (2016); The Application of RUSLE Model in Spatial Distribution Determination of Soil loss Hazard. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(4), pp 645-658. https://ije.ut.ac.ir/article_60368.html [In Persian]
- Mohammadi, S., Karimzadeh, H., Alizadeh, M., (2018); Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2), pp 551-569. https://ije.ut.ac.ir/article_65857.html?lang=fa [In Persian]
- Nohegar, A., Kazemi, M. (2014). Evaluation of Water Erosion with ICONA Model. *Geographical Researches*, 28 (4), pp 1-14. <http://georesearch.ir/article-1-428-fa.html> [In Persian]
- Rahimi, KH., Mezvani, M., (2013); Evaluation of Sivand Basin Erosion by RUSLE Model During 1998 to 2009. *Environmental Erosion Researches*, 3 (1), pp 1-18. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-129-fa.html> [In Persian]
- Rokhbin, M., Nohegar, A., Kamali, A., Habibollahian, M., (2014); Evaluating the Amount of Erosion and Sediment in Lavarefin Watershed (Hormozgan Province) By Using Remote sensing (RS), Geographic Information System (GIS), and Empirical Model (RUSLE). *GeoRes*, 29 (3), pp 89-104. <http://georesearch.ir/article-1-348-fa.html> [In Persian]
- Sepehr, A., Honarmandnejad, S., (2012); Actual Soil Erosion Risk Mapping Using Modified CORINE Method (Case Study: Jahrom Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1 (3), pp 57-72. https://geoeh.um.ac.ir/index.php/article_25831.html [In Persian]
- Zandi, J., Habibnejad Roshan, M., Solaimani, K., (2013); Soil erosion risk assessment and its relationship with some environmental parameters (Case study: Vazroud watershed, Mazandaran). *Journal of Range and Watershed Management*, 66(3), pp 401-415. https://jrwm.ut.ac.ir/article_36516.html [In Persian]

References (in English)

- Bagio, B., Bertol, L., Wolschick, N.H., Schneiders, D., Santos, M.A.d.N.d., (2017); Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41p. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160132>

- Bayramin, I., Dengiz, O., Baskan, O and Parlak, M., (2003); Soil Erosion Risk Assessment with ICONA Model, Case Study: Beypazari Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* For 27, pp 105-116.
<https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/abstract.htm?id=6170>
- Farhan, Y., Nawaiseh, S., (2015); Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*. 74(6), pp 4649-4669. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-4430-7>
- Ganasri, B.P., Ramesh, H., (2016); Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), pp 953-961.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987115001255>
- Guo, Y., Xion, Y., (2017); Comparison of the implementation of three common types of coupled CFD-DEM model for simulating soil surface erosion. *International Journal of Multiphase Flow*, 91, 89-100.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.01.006>
- Jahun, B, G. Ibrahim, R. Dlamini, N, S. Musa, S.M., (2015); Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9), pp 36-47.
<https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/22312>
- Kavuc Kalashami, H., Kheirkhah Zarkesh, M., Almodaresi, S. A., (2014); Water erosion risk assessment using models ICONA and techniques RS & GIS (case study catchment basin Babavly of Siahkal). *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 4(3), pp 69-81. <https://www.ijfse.com/index.php/8-archive/32-volume-4-number-3-august-2014>
- Kouhpeima, A., Hashemi, S. A. A., Feiznia, S., (2011); A study on the efficiency of Erosion Potential Model (EPM) using reservoir sediments. *Elixir Pollution*, 38, pp 4135-4139. DOI: 10.14256/JCE.1602.2016
- Moore, I. D., Wilson J. P., (1992); Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation. Simplified method of estimation. *Journal of soil and water conservation*, 47(5), pp 423- 428.
<https://www.researchgate.net/publication/279600630>
- Pongsai, S., Schmidt, D.V. Rajendra, P. Shetha, R. Clemente S., Eiumnoh, A., (2010); Calibration and Validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for Estimating Sediment Yield on Sloping Plots: A Case Study in Khun Satan Catchment of northern Thailand. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 90(4), pp 585- 596.
<https://www.researchgate.net/publication/258705248>
- Reis, m., Dutal, H., Bolat, N., Savac, G., (2017); Soil Erosion Risk Assessment Using GIS and ICONA: A Case Study in Kahramanmaraş, Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*. 34(1), pp 64-75.
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183174459>
- Thapa, P., (2020); Spatial estimation of soil erosion using RUSLE modeling: a case study of Dolakha district, Nepal. *Environmental Systems Research*, 9(15), pp 1-10.
<https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-020-00177-2>
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D., (1978); Predicting rainfall erosion. losses: a guide to conservation planning. US Department of Agriculture, Washington, DC, Agriculture Handbook, 67p.