

Investigating the uncertainty of factors affecting water erosion Hazards in the Qharnaveh watershed using the Bayesian Averaging Model

Seyed Pedram Nainiva*, Ali Najafinejad, Habib Nazarnejad, Arash Zare Garizi

Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Rengland and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

* Corresponding author: Pedram.Nainava@gmail.com

(Received: 13 January 2024 Revised: 07 February 2024 Accepted: 20 February 2024)

Extended Abstract

Introduction: It is necessary to evaluate, identify and prioritise areas prone to erosion. However, the nature of soil erosion and its processes have necessitated effective water and soil conservation strategies, which require hazard assessment at various temporal and spatial scales. Therefore, the current research utilizes the PAP/RAC qualitative model to predict and determine the water erosion hazard status of the Qharnaveh watershed. It also investigates the uncertainty of the factors affecting the erosion hazard map obtained from this model using Bayesian Model Averaging (BMA). This is done to enhance the evaluation, identification, and prioritization of points at risk of water erosion, thereby providing effective strategies for water and soil conservation to mitigate the trend and development of soil erosion.

Materials and Methods: The Priority Actions Program/Regional Activity Centre (PAP/RAC), established in 1977, is one of the six Regional Action Centers of the Mediterranean Action Program (MAP), which is itself part of the United Nations Environment Program (UNEP). The MAP includes 21 Mediterranean countries and the European Union, with a common objective of creating a healthier Mediterranean environment on the basis of sustainable development principles. The main area of PAP/RAC is to support Mediterranean countries in improving the sustainable management of their coasts, in particular through the adoption and implementation of the Integrated Management Protocol in the Mediterranean Coastal Zones. In 1998, the PAP/RAC model and approach were presented and employed as a PAP/RAC. According to the executive structure of the PAP/RAC model, in the first stage (predictive approach), in the first step, a Watershed slope map was prepared from a DEM at a height of 30 m, and based on the valuation manual, it was divided into five classes. In the second step, the lithological map was prepared from 1:250,000 geological maps of Golestan province, which was divided into five classes based on the valuation manual. In the third step, the slope erodibility map, which is the result of integration of the rock unit map and the slope map, was evaluated and prepared according to the instructions. In the fourth step, a land use map was prepared based on the classification of the Sentinel 2 satellite images of August 2023 in the Google Earth Engine along with the existing regional information and divided into four categories: residential, forest, pasture and agriculture and evaluated according to the instructions. In the fifth step, the vegetation density map for August 2023 was calculated using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and evaluated according to the instructions. In the sixth step, integrating the land use map and vegetation density map according to the instructions, the soil conservation map was created. In the seventh step, a predicted erosion hazard map was prepared by integrating the erodibility map (integration of slope and lithology) and the soil conservation map, considering the influence of slope factors, lithology, land use, and land cover. After creating the erosion hazard map of the region, field survey and aerial photos were used to assess the erosion states, facilitating the implementation of a descriptive approach to the model. Finally, by overlaying the erosion states on the erosion hazard prediction map, the model integration approach was executed. For the second approach of this research, the area of the watershed (each hectare) was considered as the size of the statistical population. Cochran's formula was utilized to determine the number of random points. Using the 'Create Random Points' command corresponding to the boundary of the Qharnaveh watershed in the ArcGIS software, random points were placed. Based on the value of each point in the model factors (slope, geology, vegetation, and land use) using the BMA method, the impact of each factor on the water erosion hazard map was determined in the R program environment.

Results and Discussion: The results of the PAP/RAC qualitative model showed that 0.19, 3.34, 34.94, 227.28, and 514.53 km² of the watershed area were classified as very low, low, moderate, high, and very high erosion hazard, respectively. In other words, 741.81 km² of the watershed area exhibited high and very high erosion hazard. Generally, according to the factors of the PAP/RAC qualitative model, the results indicate the high potential of this watershed for erosion and soil loss. Further, examination of uncertainty with the BMA reveals the significant importance of slope and lithology in the model output.

Conclusion: Considering the importance of evaluating erosion-prone points, it is recommended that the assessment of PAP/RAC model factors in the field should be conducted more meticulously. Additionally, if feasible, model guidelines tailored to the conditions of Iran should be developed to devise more effective water and soil conservation strategies based on the model results, aiming to mitigate the trend and development of soil erosion.

Keywords: Bayesian Averaging Model, PAP/RAC Approach and Model, Qualitative Modeling, Soil Loss

Citation: Nainiva, S. P., Najafinejad, A., Nazarnejad, H., & Zare Garizi, A. (2024). Investigating the uncertainty of factors affecting water erosion Hazards in the Qharnaveh watershed using the Bayesian Averaging Model. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 20-34. doi: 10.22034/iwm.2024.2019913.1123

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه با استفاده از رویکرد میانگین‌گیری بیزین

سید پدram نی‌نیوا*، علی نجفی‌نژاد، حبیب نظر‌نژاد، آرش زراع‌گاریزی

گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*نویسنده مسئول: Pedram.Nainava@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

چکیده مبسوط

مقدمه: ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مستعد فرسایش امری ضروری است اما ماهیت فرسایش خاک و فرآیندهای دخیل در آن موجب شده است که راهبردهای مؤثر در زمینه حفاظت آب‌وخاک، نیازمند ارزیابی خطر در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد و مدل کیفی PAP/RAC به پیش‌بینی و تعیین وضعیت خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه و بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر نقشه وضعیت خطر فرسایش حاصل از مدل مذکور با روش میانگین‌گیری بیزین، به منظور ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی بهتر نقاط در معرض خطر فرسایش آبی، به جهت ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌وخاک در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک پرداخته است.

مواد و روش‌ها: مرکز فعالیت منطقه‌ای/ برنامه اقدامات اولویت‌دار (PAP/RAC) که در سال ۱۹۷۷ تأسیس شد، یکی از شش مرکز فعالیت منطقه‌ای برنامه اقدام مدیریتانه (MAP) است که خود بخشی از برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP) است. بیست‌ویک کشور مدیریتانه‌ای و همچنین اتحادیه اروپا، MAP را تشکیل می‌دهند و هدف مشترک آن‌ها ایجاد محیط سالم‌تر مدیریتانه‌ای است که بر اصل توسعه پایدار تکیه دارد. حوزه اصلی فعالیت PAP/RAC حمایت از کشورهای مدیریتانه‌ای در بهبود مدیریت پایدار سواحل خود، به‌ویژه از طریق تصویب و اجرای پروتکل مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی در مدیریتانه است. در سال ۱۹۹۸ مدل و رویکرد PAP/RAC ارائه و با عنوان مرکز فعالیت منطقه‌ای/ برنامه اقدامات اولویت‌دار مورد استفاده قرار گرفت. طی این پژوهش با توجه به ساختار اجرایی مدل و رویکرد PAP/RAC در مرحله اول (رویکرد پیش‌بینی) در گام اول ابتدا نقشه شیب حوضه از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری تهیه و بر اساس دستورالعمل ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام دوم نقشه سنگ‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ استان گلستان (شیت کوه کورخود) تهیه و بر اساس دستورالعمل ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام سوم نقشه فرسایش‌پذیری شیب که حاصل برهم‌نهی (ادغام) نقشه رخساره‌های سنگی و نقشه شیب مطابق دستورالعمل ارزش‌گذاری و تهیه شد. در گام چهارم کاربری اراضی از طبقه‌بندی تصاویر مردادماه سال ۱۴۰۲ ماهواره سنتینل ۲ در محیط سامانه Google Earth Engine همراه با اطلاعات منطقه‌ای موجود تهیه و به چهار طبقه مسکونی، جنگل، مرتع و زراعت تقسیم‌بندی و مطابق دستورالعمل ارزش‌گذاری شد. در گام پنجم نقشه تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) برای بازه زمانی مردادماه سال ۱۴۰۲ محاسبه و مطابق دستورالعمل ارزش‌گذاری شد. در گام ششم نقشه حفاظت خاک از ادغام نقشه کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی مطابق دستورالعمل‌ها ایجاد شد. در گام هفتم نقشه وضعیت خطر فرسایش پیش‌بینی شده که تأثیر عوامل شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش زمین را در نظر می‌گیرد از ادغام نقشه فرسایش‌پذیری (تلفیق شیب و سنگ‌شناسی) و نقشه حفاظت خاک مطابق دستورالعمل‌ها ایجاد شد. پس از ایجاد نقشه وضعیت خطر فرسایش منطقه، با رجوع به منطقه و با استفاده از عکس‌های هوایی، حالت‌های فرسایشی منطقه به منظور انجام رویکرد توصیفی مدل، برداشت و درنهایت با جانمایی حالت‌های فرسایشی برداشت‌شده بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش، رویکرد ادغام مدل اجرا گردید. در هدف دوم این پژوهش، با در نظر گرفتن مساحت حوزه (هر هکتار) به‌عنوان حجم جامعه آماری و استفاده از رابطه کوکران، تعداد نقاط تصادفی تعیین و با استفاده از دستور Create Random points متناسب با مرز آبخیز قرناوه، در نرم‌افزار ArcGIS نقاط تصادفی جانمایی شد و بر اساس ارزش هر نقطه در عامل‌های مدل (شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی) با استفاده از روش میانگین‌گیری بیزین میزان تأثیر هر عامل بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش آبی در محیط برنامه R مشخص شد.

نتایج و بحث: نتایج حاصل از بررسی مدل کیفی PAP/RAC نشان داد که ۰.۱۹/۳۴، ۳۴/۹۴، ۲۲۷/۲۸ و ۵۱۴/۵۳ کیلومترمربع از حوضه به ترتیب در وضعیت خطر فرسایش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد است. به‌عبارت‌دیگر ۷۴/۱/۸۱ کیلومترمربع از حوضه در وضعیت خطر فرسایش زیاد و بسیار زیاد است که به‌طور کلی نتایج بیانگر پتانسیل بالای این حوضه در فرسایش و هدررفت خاک با توجه به عامل‌های مدل کیفی PAP/RAC است و همچنین نتایج بررسی عدم قطعیت با مدل میانگین بیزین، گویای اهمیت بالای شیب و سنگ‌شناسی در نتیجه و خروجی مدل است.

نتیجه‌گیری: با توجه به اهمیت ارزیابی نقاط مستعد فرسایش پیشنهاد می‌شود، ارزش‌گذاری (رتبه‌دهی) در زمینه عامل‌های مدل PAP/RAC با دقت بیشتری انجام گیرد و در صورت امکان دستورالعمل‌های مدل متناسب با شرایط کشور ایران تهیه گردد تا ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌وخاک با توجه به نتایج مدل و در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک، مؤثرتر واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: رویکرد و مدل PAP/RAC، مدل میانگین‌گیری بیزین، مدل‌سازی کیفی، هدررفت خاک

استناد: نی‌نیوا، س.پ.، نجفی‌نژاد، ع.، نظر‌نژاد، ح.، زراع‌گاریزی، آ. (۱۴۰۳). بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه با استفاده از رویکرد میانگین‌گیری بیزین. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۳۴-۲۰.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

در جهان همراه با تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی، خاک‌های حاصلخیز جزو منابع ضروری برای حمایت از بشریت محسوب می‌شوند (Tahouri et al., 2022). خاک یکی از باارزش‌ترین ثروت‌های ملی هر کشور است (Zangiabadi et al., 2010) که اگر استفاده از آن بر اساس استعداد، قدرت تولیدی آن و مبتنی بر رعایت اصول صحیح و علمی باشد، میزان هدررفت خاک^۱ به حداقل می‌رسد (Refahi, 2000). با این حال، خاک‌ها اغلب در برابر پویایی فرسایش آبی، آسیب‌پذیر هستند که همچنان یک تهدید بزرگ در بسیاری از نقاط جهان محسوب می‌شود (Tahouri et al., 2022). چراکه اگر میزان فرسایش خاک بیشتر از سرعت تشکیل خاک باشد، تهدید برای پایداری به حساب می‌آید و بر بهره‌وری خاک تأثیر منفی می‌گذارد (Hembram & Saha, 2020). فرسایش خاک ممکن است در آینده نزدیک به دلیل تغییرات آب‌وهوایی در نقاط مختلف جهان شدیدتر شود (Amore et al., 2004). از آنجایی که فرسایش خاک و تخریب اراضی از مشکلات جدی تلقی می‌شود، به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی، ضروری است که مقدار کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری در حوزه‌های آبخیز، مورد ارزیابی قرار گیرد (Nainiva & Satarvand, 2023). اما از یک‌سو استراتژی‌های مؤثر حفاظت آب‌و خاک، نیازمند ارزیابی خطر در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است؛ چراکه ماهیت فرسایش و فرآیندهای همراه با آن و وابستگی آن به عواملی همچون نوع خاک، پوشش زمین، کاربری زمین و عوامل مدیریتی، موجب گوناگونی مکانی و زمانی فرسایش شده است (Hassanzadeh, 2020). از سوی دیگر یک چالش برای تصمیم‌گیران مدیریت حوضه، شناسایی مدل‌هایی است که پیچیدگی فرآیندهای حوضه را با

استفاده از داده‌های موجود به‌طور دقیق شبیه‌سازی می‌کنند (Nguyen et al., 2019). مسئله اساسی مدل‌سازی فرسایش، بررسی عدم قطعیت و قابلیت اطمینان نتیجه است. از آنجایی که در اکثر حوزه‌های آبخیز ایران کمبود اطلاعات وجود دارد (Esmaili et al., 2020). روش‌های متعددی از جمله USLE²، RUSLE³، SIMWE⁴، LISEM⁵، QUERIM⁶، PSIAC⁷، PAP/RAC⁸ و غیره برای پیش‌بینی و ارزیابی فرسایش خاک و برنامه‌ریزی حفاظت از خاک استفاده شده است. از میان روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی، مدل‌های ارزیابی کیفی، مبتنی بر شناختی که بر عوامل مؤثر بر فرسایش تأثیر می‌گذارند نیز می‌توانند نقش مهمی در تعیین اولویت‌های مؤثر بر فرسایش و حساسیت به فرسایش داشته باشند (Najia et al., 2021 and Esmaili Gholzom et al., 2020). از میان مدل‌های کیفی موجود، می‌توان به رویکرد و مدل PAP/RAC که نمونه‌ای از مدل‌های کیفی در زمینه ارزیابی خطر فرسایش است اشاره نمود. ویژگی بارز مدل‌های کیفی نیازمندی کم به داده و اطلاعات به جهت شناسایی مناطق خطر فرسایش در غیاب اطلاعات لازم در حوزه‌های آبخیز است (Nainiva & Parichereh, 2023)؛ لذا با توجه به کمبود اطلاعات اکثر حوزه‌های آبخیز ایران و عدم قطعیت در خصوص متغیرهای ورودی مدل‌ها به‌منظور حصول اطمینان از نتیجه، هدف از این پژوهش بهره‌گیری از رویکرد و مدل کیفی PAP/RAC برای پیش‌بینی و تعیین وضعیت خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه و بررسی عدم

2. Universal Soil Loss Equation
3. Revised Universal Soil Loss Equation
4. The Simulation Water Erosion
5. Lisem Integrated Spatial Earth Modeller
6. Pacific Southwest Inter-Agency Committee
7. Modified Pacific South-West Inter-Agency Committee
8. Priority Actions Programme Regional Activity Centre

1. Soil Loss

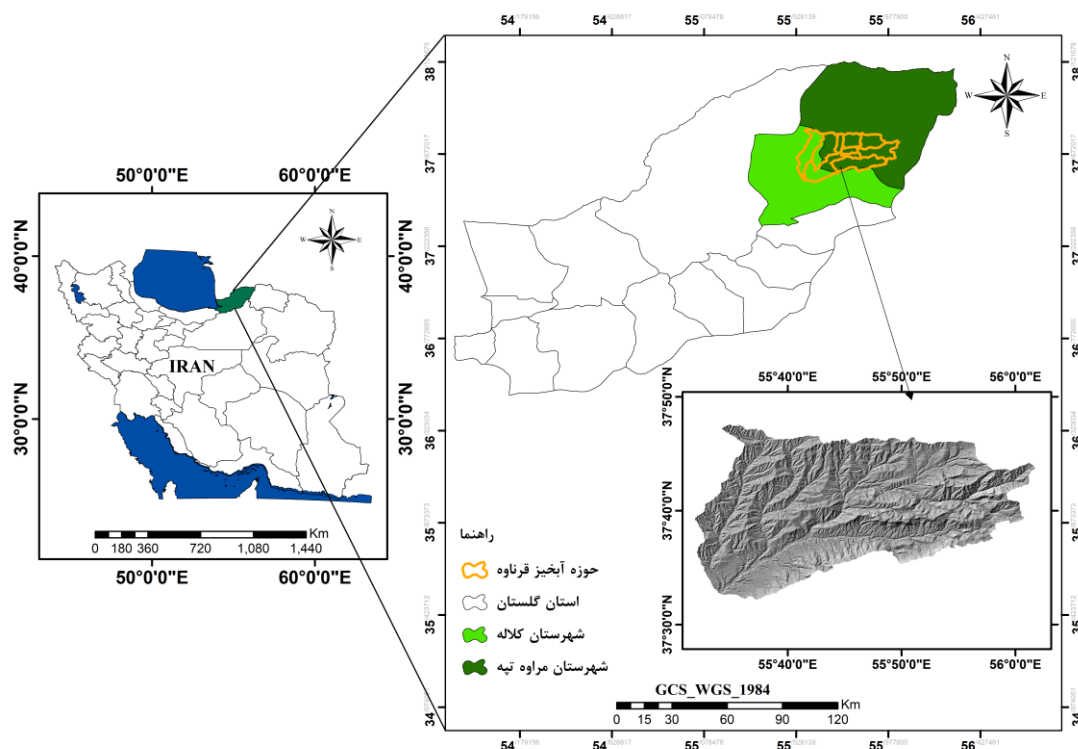
می‌شود (Saber chenari *et al.*, 2016). علی‌رغم گستردگی مساحت حوزه قرناوه، ایستگاه هیدرومتری در داخل این آبخیز وجود ندارد اما ایستگاه هیدرومتری تهر، یکی از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های هیدرومتری آبخیز گرگان‌رود و استان گلستان است و دارای طول دوره آماری و پیوستگی داده‌برداری مناسبی است (Tajiki *et al.*, 2022). ایستگاه‌های هواشناسی حوزه نیز شامل ایستگاه پیشکمر، کریم ایشان، قرناق و گلیداغ و تهر است (Tajiki *et al.*, 2022). حوزه قرناوه بخشی از زون گرگان-رشت بوده که بخش عمده این حوزه پوشیده از نهشته‌های لسی و آبرفتی است (Hafezi Moghaddas *et al.*, 2011). کاربری عمده حوزه نیز شامل مرتع و زراعت است (Saber chenari *et al.*, 2016). از دیگر ویژگی‌های این حوزه اختلاف ارتفاعی آن است که از ۱۴۷ متر تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

قطعیت عوامل مؤثر بر نقشه وضعیت خطر فرسایش حاصل از مدل مذکور با روش میانگین‌گیری بیزین، به‌منظور ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی بهتر نقاط در معرض خطر فرسایش آبی، به‌منظور ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌و‌خاک در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قرناوه در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 30'$ تا $37^{\circ} 45'$ عرض شمالی و $55^{\circ} 30'$ تا $56^{\circ} 00'$ طول شرقی واقع شده است. حوزه آبخیز قرناوه از سرشاخه‌های گرگان‌رود است و مهم‌ترین شاخه‌های فرعی این حوزه، قرناوه و شور دره هستند که پس از اتصال این انشعابات و پیوستن رودخانه‌های مادر سو و چهل‌چای در پایین‌دست حوزه، گرگان‌رود را تشکیل داده‌اند که در نهایت این رودخانه به دریای خزر تخلیه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز قرناوه در استان گلستان و کشور ایران

Figure 1 - Geographic Position of the Qharnaveh Watershed in Golestan Province, Iran

۲-۲- رویکرد و مدل PAP/RAC

مرکز فعالیت منطقه‌ای / برنامه اقدامات اولویت‌دار (PAP/RAC) که در سال ۱۹۷۷ تأسیس شد، یکی از شش مرکز فعالیت منطقه‌ای برنامه اقدام مدیریتانه (MAP)^۹ است که خود بخشی از برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP)^{۱۰} است. بیست‌ویک کشور مدیریتانه‌ای و همچنین اتحادیه اروپا، MAP را تشکیل می‌دهند و هدف مشترک آن‌ها ایجاد محیط سالم‌تر مدیریتانه‌ای است که بر اصل توسعه پایدار تکیه دارد. حوزه اصلی فعالیت PAP/RAC حمایت از کشورهای مدیریتانه‌ای در بهبود مدیریت پایدار سواحل خود، به‌ویژه از طریق تصویب و اجرای پروتکل مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی در مدیریتانه است. در طول دهه ۱۹۹۰، بسیاری از سازمان‌ها مانند فائو (سازمان غذا و کشاورزی)، DGCONA^{۱۱} (اداره کل حفاظت از طبیعت) و PAP / RAC (برنامه‌های اقدام اولویت / مرکز فعالیت منطقه‌ای) برای توسعه یک روش ساده، انعطاف‌پذیر و سازگار با شرایط خاص منطقه مدیریتانه همکاری کردند (Ousmana *et al.*, 2017 and Mesrar *et al.*, 2015). درنهایت در سال ۱۹۹۸ مدل و رویکرد PAP/RAC ارائه و با عنوان مرکز فعالیت منطقه‌ای / برنامه اقدامات اولویت‌دار مورد استفاده قرار گرفت (PAP/RAC, 1998a). مدل و رویکرد PAP/RAC حالت‌های فرسایشی، پویایی فرایندهای فرسایش آبی و ارزیابی روندهای خطر در مقیاس‌های مختلف حوزه آبخیز را ممکن می‌سازد (Tahouri *et al.*, 2022). این مدل برای ارزیابی کیفی حساسیت به فرسایش آبی بر اساس پیوندها و وابستگی متقابل عوامل علی خطر^{۱۲} و درک این پدیده است. ماهیت وابستگی متقابل این عوامل، مستلزم یک رویکرد کار توگرافی برای چندین عملیات تلاقی،

پردازش و تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌ها است (PAP/CAR, 1998c; PAP/CAR, 1998b;) (PAP/RAC, 2000). ساختار اجرایی مدل PAP/RAC شامل سه رویکرد پیش‌بینی، توصیف و ادغام (یکپارچه‌سازی) است که به شرح ذیل است:

۱-۲-۲- رویکرد پیش‌بینی

این رویکرد شامل شناسایی، ارزیابی و ادغام کلیه پارامترهای فیزیکی به‌منظور تعیین فرضیه‌های اولیه و همچنین به دست آوردن اطلاعات در مورد وضعیت فعلی تخریب زمین با توجه به تأثیر بالقوه عوامل مختلفی است که فرسایش را کنترل می‌کنند (Tahouri *et al.*, 2022). رویکرد پیش‌بینی بر اساس پردازش داده‌ها بر اساس یک توالی از هفت گام و دستورالعمل در ارزش‌گذاری نقشه‌های حاصل (جدول‌های ۱ تا ۱۰) تهیه شده است:

- گام‌های ۱ و ۲: تهیه نقشه شیب و سنگ‌شناسی.
 گام ۳: تهیه نقشه فرسایش‌پذیری از ادغام نقشه سنگ‌شناسی و نقشه شیب.
 گام‌های ۴ و ۵: تهیه کاربری اراضی و نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی.
 گام ۶: تهیه نقشه حفاظت خاک از ادغام نقشه پوشش کاربری اراضی و نقشه تراکم پوشش.
 گام ۷: تهیه نقشه خطر فرسایش از ادغام نقشه فرسایش‌پذیری و نقشه حفاظت خاک.

جدول ۱- الگوی طبقه‌بندی شیب در مدل PAP/RAC (Benchettouh *et al.*, 2022)

شیب (درصد)	ارزش طبقه	تأثیر در فرسایش طبقه
0-3	1	خیلی کم
3-12	2	کم
12-20	3	متوسط
20-35	4	زیاد
بیشتر از 35	5	شدید

9. Mediterranean Action Plan

10. UN Environment

11. General Directorate for the Conservation of the Nature

12. The Causal Factors of Risk

جدول ۵- الگوی طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی در مدل
Diani et al., 2023, Benchettouh et al.,) PAP/RAC
(2022 and Tahouri et al., 2022

Table 5 - Land Use Classification Pattern in the
PAP/RAC Model 1 (Diani et al., 2023,
Benchettouh et al., 2022 and Tahouri et al., 2022)

نوع کاربری	ارزش طبقه	حفاظت
کشت در زمین خشک یا لخت مرتع و خاک لخت	1	خیلی کم
درختکاری و احیای جنگل	2	کم
کشت آبی	3	متوسط
جنگل‌ها طبیعی	4	زیاد
بوته‌زار یا بیشه‌زار متراکم	5	بسیار زیاد

جدول ۶- الگوی طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی در مدل
(Tahouri et al., 2022) PAP/RAC

Table 6 - Vegetation Cover Density
Classification Pattern in the PAP/RAC Model
(Tahouri et al., 2022)

تراکم (درصد)	ارزش طبقه	توصیف تراکم طبقه
کمتر از 25	1	کم
25-50	2	متوسط
50-75	3	زیاد
بیشتر از 75	4	بسیار زیاد

جدول ۷- ماتریس ادغام نقشه‌های کاربری اراضی و
تراکم پوشش گیاهی (Labbaci et al., 2020)

Table 7 - Integration Matrix of the Land Use
and Vegetation Cover Density Maps (Labbaci et
al., 2020)

طبقه‌بندی کاربری اراضی	طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی			
	1	2	3	4
1	5	5	4	4
2	5	5	4	3
3	3	2	1	1
4	4	3	2	1
5	5	4	3	2

در جدول ۷ اعداد یک تا پنج، به ترتیب بیانگر ارزش
خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم می‌باشد.

جدول ۲- الگوی طبقه‌بندی سنگ‌شناسی در مدل
(Diani et al., 2023) PAP/RAC

Table 2 - Lithological Classification Pattern in
the PAP/RAC Model (Diani et al., 2023)

نوع واحد سنگی	ارزش طبقه	توصیف مقاومت
سنگ‌های فشرده غیر هوازده، کنگلومراهای بسیار سیمانی	1	شدید
سنگ یا خاک منسجم شکسته یا با هوازده متوسط	2	زیاد
سنگ یا خاک رسوبی که کمی یا نسبتاً فشرده شده است (سنگ، شیل، مارن و غیره)	3	متوسط
سنگ‌ها / یا خاک‌هایی با مقاومت ضعیف یا هوازده‌گی شدید (مارن، گچ، تخته‌سنگ رسی و غیره)	4	کم
رسوبات سست و غیر چسبنده یا خاک و مواد آواری	5	خیلی کم

جدول ۳- ماتریس ادغام نقشه‌های سنگ‌شناسی و شیب
(Diani et al., 2023)

Table 3 - Integration Matrix of the Geological
and Slope Maps (Diani et al., 2023)

طبقات شیب	طبقه‌بندی رخساره سنگی				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	2
2	1	1	2	3	3
3	2	2	3	4	4
4	3	3	4	5	5
5	4	4	5	5	5

در جدول ۳ اعداد یک تا پنج، به ترتیب بیانگر ارزش
خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد.

جدول ۴- الگوی طبقه‌بندی نقشه فرسایش‌پذیری
(Diani et al., 2023)

Table 4 - Classification Pattern of the Erodibility
Map (Diani et al., 2023)

طبقه	توصیف طبقه
1	خیلی کم
2	کم
3	متوسط
4	زیاد
5	بسیار زیاد (شدید)

به جای استفاده از تنها یک مدل پیش‌بینی می‌کند (Hatamerad *et al.*, 2022)؛ بنابراین این روش برای برآورد مدل‌ها، اطمینان از انتخاب متغیرها و مدل‌هایی که با وجود این متغیرها تعریف می‌شوند برخوردار است.

۵-۲- روش انجام پژوهش

طی این پژوهش در مرحله اول (رویکرد پیش‌بینی) در گام اول ابتدا نقشه شیب حوضه از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری تهیه و بر اساس جدول ۱ ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام دوم نقشه سنگ‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان گلستان (شیت کوه کورخود) تهیه و بر اساس جدول ۲ ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام سوم نقشه فرسایش‌پذیری شیب که حاصل برهم‌نهی (ادغام) نقشه رخساره‌های سنگی و نقشه شیب مطابق جدول ۳ و ۴ ارزش‌گذاری و تهیه شد. در گام چهارم کاربری اراضی از طبقه‌بندی تصاویر مردادماه سال ۱۴۰۲ ماهواره سنتینل ۲ در محیط سامانه Google Earth Engine همراه با اطلاعات منطقه‌ای موجود تهیه و به چهار طبقه مسکونی، جنگل، مرتع و زراعت تقسیم‌بندی و مطابق جدول ۵ ارزش‌گذاری شد. در گام پنجم نقشه تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) برای بازه زمانی مردادماه سال ۱۴۰۲ محاسبه و مطابق جدول ۶ ارزش‌گذاری شد. در گام ششم نقشه حفاظت خاک از ادغام نقشه کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی مطابق جدول ۷ و ۸ ایجاد شد. در گام هفتم نقشه وضعیت خطر فرسایش پیش‌بینی شده که تأثیر عوامل شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش زمین را در نظر می‌گیرد از ادغام نقشه فرسایش‌پذیری (تلفیق شیب و سنگ‌شناسی) و نقشه حفاظت خاک مطابق جدول‌های ۹ و ۱۰ ایجاد شد. پس از ایجاد نقشه وضعیت خطر فرسایش منطقه، با رجوع به منطقه و با استفاده از عکس‌های هوایی، حالت‌های فرسایشی منطقه به جهت انجام رویکرد

ویژگی موجود در جامعه، استفاده می‌شود (Nanjundeswaraswamy and Divakar, 2021). به‌طور کلی از فرمول کوکران برای دو جامعه آماری معلوم (محدود) و نامعلوم (نامحدود) استفاده می‌شود. معادله کوکران برای جامعه نامحدود به شکل رابطه ۱ و معادله کوکران برای جامعه محدود به شکل رابطه ۲ بیان می‌گردد:

$$n_0 = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2} \quad (1)$$

که در آن n_0 حجم نمونه، Z^2 مساحت زیر ناحیه پذیرش در یک توزیع نرمال است $(1 - \alpha)$ ، d سطح ترجیحی دقت، p نسبت تخمینی یک ویژگی در جامعه و q هم $1-p$ است (Nanjundeswaraswamy and Divakar, 2021).

$$n_0 = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} \quad (2)$$

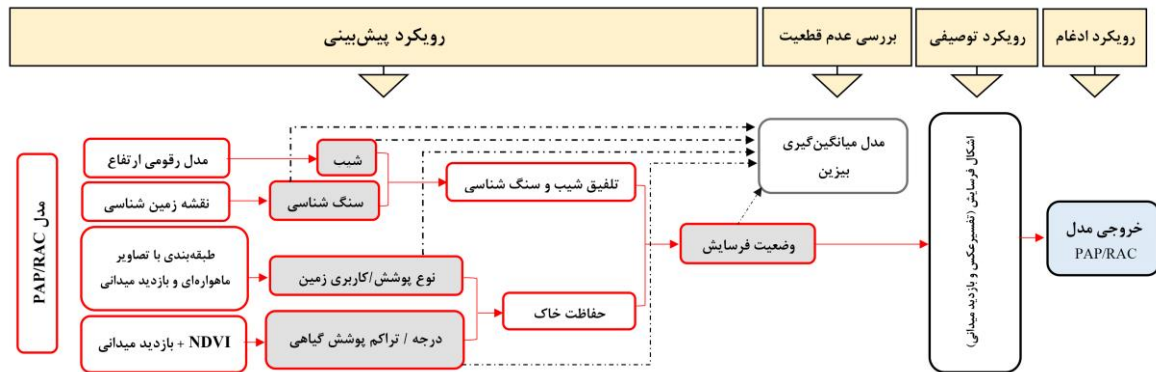
که در آن n_0 حجم نمونه و N حجم جامعه است.

۴-۲- روش میانگین‌گیری بیزین

روش میانگین‌گیری بیزین رویکرد جامع برای حل عدم قطعیت مدل است و این توانایی را دارد که با محاسبه توزیع‌های بعدی برای ضرایب و مدل‌ها، مقاومت نتایج را در برابر مشخصات جایگزین ارزیابی کند. این روش به‌عنوان یک روش مفید در آمار از دهه ۱۹۹۰ شناخته شد و در زمینه اقتصادسنجی گسترش یافته است (Raftery, 1995 and Draper, 1995). مدل‌سازی برای مدل‌های معمولی غیربیزی شامل انتخاب متغیرهای مستقل، توابع وابسته و تقریب بر اساس آزمون‌های واریانس است که هر ترکیب احتمالی از انتخاب‌های مختلف، مدل متفاوتی را با پاسخ‌های متفاوت تعریف می‌کند (Hatamerad *et al.*, 2022). لذا فقدان یک مدل قوی که نشان دهد کدام متغیرها باید در مدل وجود داشته باشند کاملاً آشکار به نظر می‌رسد. در میانگین‌گیری روش بیزی، دو مشکل انتخاب مدل (معیارهای جستجوی مدل و انتخاب مدل) به‌طور طبیعی در میانگین‌گیری مدل ادغام شده است که ترکیبی از اطلاعات همه مدل‌ها را

در نرم‌افزار ArcGIS نقاط تصادفی جانمایی شد و بر اساس ارزش هر نقطه در عامل‌های مدل (شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی) با استفاده از روش میانگین‌گیری بیزین میزان تأثیر هر عامل بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش آبی در محیط برنامه R مشخص شد. شکل ۲ مراحل انجام پژوهش را نمایش می‌دهد.

توصیفی مدل، برداشت و درنهایت با جانمایی حالت‌های فرسایشی برداشت‌شده بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش، رویکرد ادغام مدل اجرا گردید. برای هدف دوم در این پژوهش، با در نظر گرفتن مساحت حوزه (هر هکتار) به‌عنوان حجم جامعه آماری و استفاده از روابط ۱ و ۲، تعداد نقاط تصادفی تعیین و با استفاده از دستور Create Random points متناسب با مرز حوزه آبخیز قرناوه،



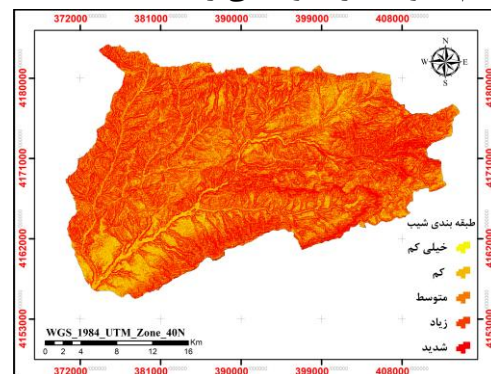
شکل ۲- روش انجام پژوهش

Figure 2- Research Method

۳- نتایج

۳-۱- نقشه شیب

شکل ۳ نقشه طبقات شیب را نشان می‌دهد. مطابق نقشه شیب آبخیز قرناوه، حداقل، حداکثر و میانگین شیب به ترتیب صفر، ۱۳۵/۶۲ و ۲۴/۲۵ درصد است که از مساحت کل این حوضه مطابق دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۹/۸۳، ۱۴۱/۳۰، ۱۸۲/۷۸، ۲۸۵/۵۵ و ۱۶۰/۸۳ کیلومترمربع به ترتیب دارای شیب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است.



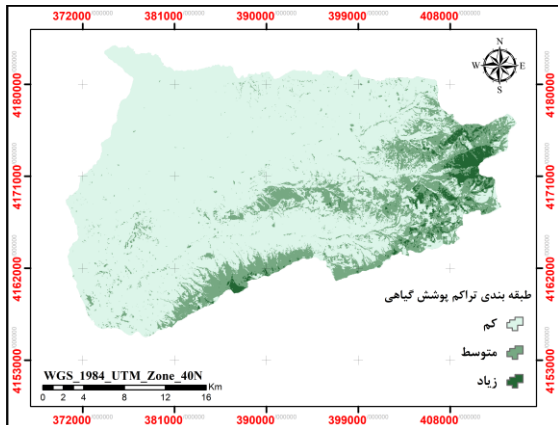
شکل ۳- شیب آبخیز قرناوه

Figure 3- Slope of Qharnaveh Watershed

۳-۲- نقشه سنگ‌شناسی

شکل ۴ طبقه‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی را نشان می‌دهد. مطابق نقشه واحدهای سنگ‌شناسی آبخیز قرناوه، کمترین و بیشترین مساحت واحد سنگی با ۵/۲۴ و ۵۹۰/۱۱ کیلومترمربع، به ترتیب مربوط به سنگ‌آهک و لس است. همچنین مطابق نقشه واحدهای سنگی از مساحت کل آبخیز قرناوه مطابق دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۶۵۳/۵۰، ۳۴/۸۱، ۹۰/۷۳ و ۵/۲۴ کیلومترمربع به ترتیب دارای مقاومت خیلی کم، کم، متوسط و زیاد است.

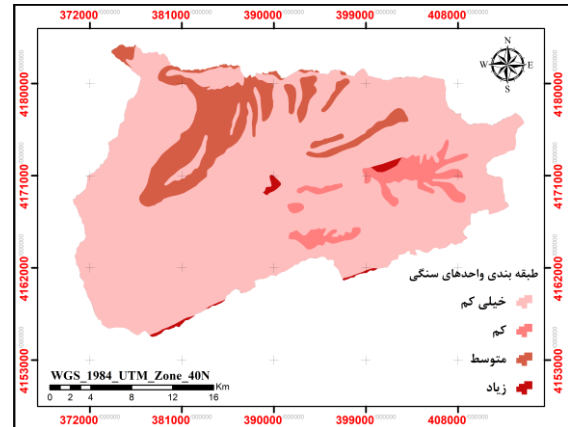
مطابق شرایط منطقه ۰/۲۹- تا ۰/۱۵ دسته کم، ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ دسته متوسط و ۰/۳۰ تا ۰/۴۵ دسته زیاد در نظر گرفته شد که از مساحت کل آبخیز قرناوه مطابق دستورالعمل مدل، ۶۳۳/۷۵، ۱۳۲/۰۳ و ۲۰/۷۵ کیلومترمربع به ترتیب دارای تراکم کم، متوسط و زیاد است.



شکل ۶- تراکم پوشش گیاهی آبخیز قرناوه
Figure 6- Vegetation Cover Density of Qharnaveh Watershed

۳-۵- نقشه فرسایش پذیری

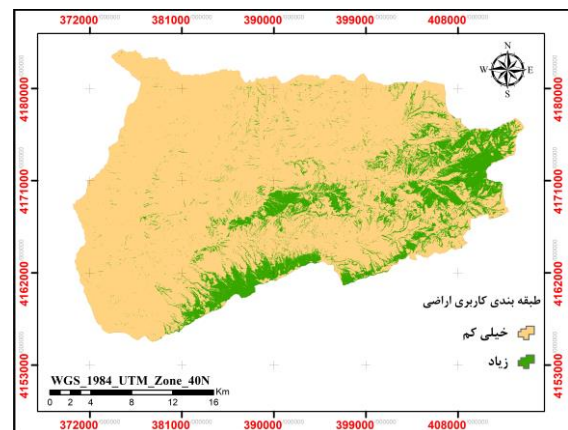
شکل ۷ نقشه فرسایش پذیری (تلفیق شیب و سنگ شناسی) آبخیز قرناوه را نشان می‌دهد، این نقشه گویای این است که از مساحت کل این حوضه، ۱/۶۶، ۲۳/۱۲، ۱۴۹/۶۸، ۱۹۸/۱۵ و ۴۰۷/۶۸ کیلومترمربع به ترتیب دارای فرسایش پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است که ۶۰۵/۸۳ کیلومترمربع از مساحت حوضه در فرسایش پذیری زیاد و خیلی زیاد واقع است.



شکل ۴- واحدهای سنگی آبخیز قرناوه
Figure 4- Geological Units of Qharnaveh Watershed

۳-۳- نقشه کاربری اراضی

آبخیز قرناوه دارای کاربری‌های اراضی زراعت، باغات، مراتع، مسکونی و جنگل است. مطابق نقشه کاربری اراضی (شکل ۵) از مساحت کل آبخیز قرناوه مطابق دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۶۶۰/۲۴ و ۱۲۳/۹۹ کیلومترمربع به ترتیب دارای نقش حفاظتی خیلی کم و زیاد است.

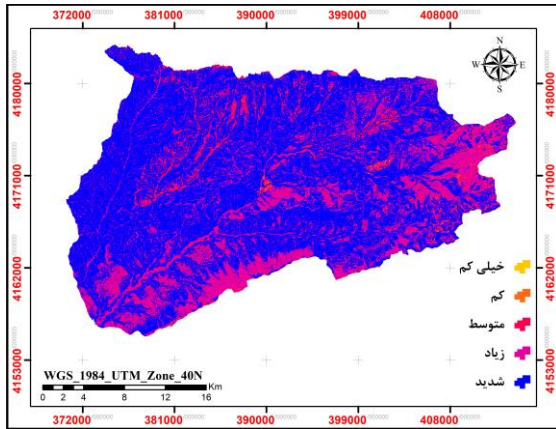


شکل ۵- کاربری اراضی آبخیز قرناوه
Figure 5 - Land Use of the Qharnaveh Watershed

۳-۴- نقشه تراکم پوشش گیاهی

شکل ۶ طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مطابق نقشه تراکم پوشش گیاهی، دامنه تغییرات شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در تابستان سال ۱۴۰۲، ۰/۲۹- تا ۰/۴۵ است که

شکل ۹ نقشه وضعیت خطر فرسایش آبی حوضه را نشان می‌دهد. مساحت طبقه‌بندی وضعیت فرسایش حوضه در جدول ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۹- وضعیت خطر فرسایش آبی آبخیز قرناوه

Figure 9- Erosion Hazard Status the Qharnaveh Watershed

بررسی نتایج جدول ۱۱ گویای این است که ۷۴۱/۸۱ کیلومترمربع از مساحت حوضه در معرض خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد است.

جدول ۱۱- مساحت طبقات خطر فرسایش و رسوب‌زایی

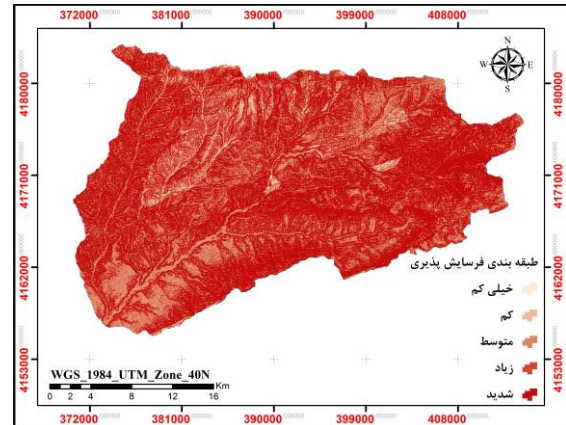
حوزه آبخیز قرناوه

Table 11 - Area of Erosion and Sedimentation Hazard Classes in the Qharnaveh watershed

طبقه‌بندی	میزان خطر	مساحت (کیلومترمربع)
1	خیلی کم	0.19
2	کم	3.34
3	متوسط	34.96
4	زیاد	227.28
5	خیلی زیاد	514.53

۳-۸- نقاط تصادفی

با در نظر گرفتن هر هکتار از مساحت ۷۹۰۰۰ هکتاری آبخیز قرناوه به‌عنوان یک نمونه از جامعه، حجم نمونه‌های تصادفی ۳۸۲ نقطه تعیین شد که شکل ۱۰ موقعیت نقاط تصادفی را به‌منظور بررسی عدم قطعیت نشان می‌دهد.

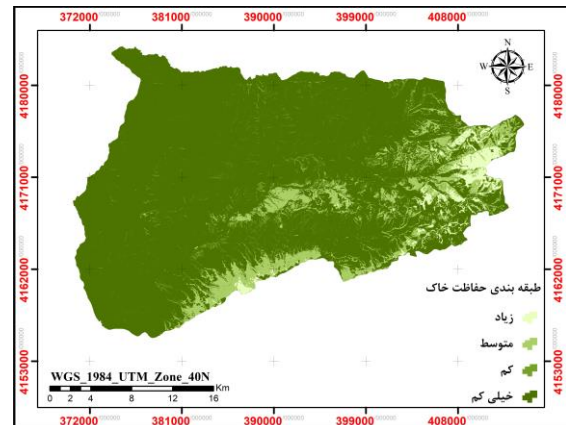


شکل ۷- فرسایش‌پذیری آبخیز قرناوه

Figure 7- Erodibility of Qharnaveh Watershed

۳-۶- نقشه حفاظت خاک

مطابق نقشه حفاظت خاک آبخیز قرناوه (شکل ۸) از مساحت کل این حوضه، ۶۵۹/۲۵، ۲۵/۱۸، ۸۰/۰۵ و ۱۹/۷۰ کیلومترمربع به ترتیب دارای حفاظت خیلی کم (خیلی ضعیف)، کم (ضعیف)، متوسط، زیاد (خوب) و خیلی زیاد (خیلی خوب) است که ۹۹/۷۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در حالت حفاظت متوسط تا زیاد واقع است.

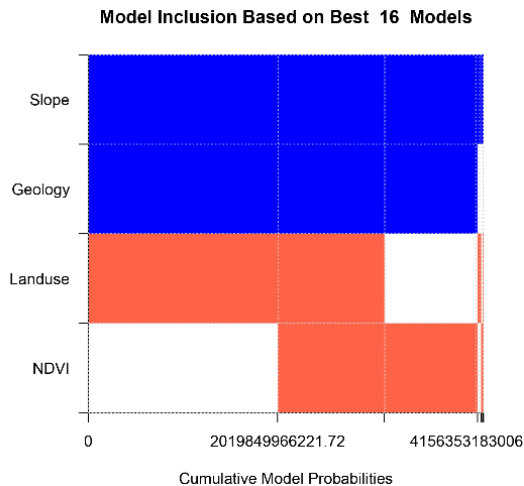


شکل ۸- حفاظت خاک آبخیز قرناوه

Figure 8- Soil Conservation of Qharnaveh Watershed

۳-۷- نقشه وضعیت خطر فرسایش آبی

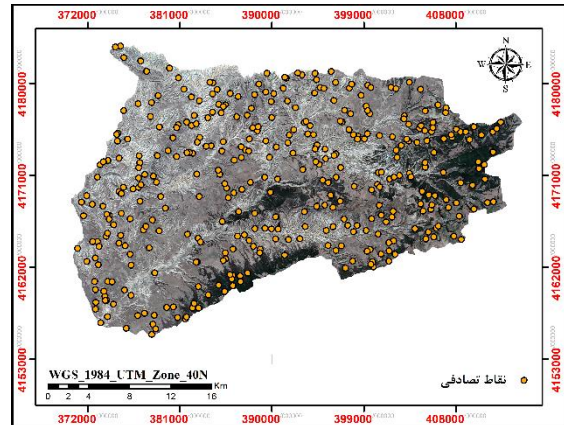
جهت تهیه نقشه وضعیت خطر فرسایش آبی آبخیز قرناوه، نقشه حفاظت خاک با نقشه فرسایش‌پذیری ادغام و سپس متناسب با جدول ۱۰ طبقه‌بندی شد.



شکل ۱۱- نمودار چگالی احتمال حضور در الگو
Figure 11 - Probability Density Plot in the Pattern

۱۰-۳- بحث

بررسی نتایج مدل PAP/RAC گویای این است که ۷۴۱/۸۱ کیلومتر مربع از مساحت حوضه در معرض خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد است که با توجه به بررسی میزان تأثیر ورودی‌های مدل بر روی خروجی نهایی آن با استفاده از رویکرد میانگین بیزین (BMA)، شیب، سنگ‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی به ترتیب دارای تأثیر زیاد تا کم می‌باشند. نتیجه مدل میانگین بیزین به‌طور کلی اعلام می‌دارد که ارزش‌گذاری در زمینه عامل‌های مدل PAP/RAC به‌ویژه سنگ‌شناسی و شیب بایستی با دقت بیشتری انجام گیرد چراکه نتایج خروجی مدل تأثیرپذیری بالایی را نسبت به این دو عامل دارند. همچنین مقایسه نتایج مدل PAP/RAC با مطالعه Saber chenari و همکاران (۲۰۱۶) که ۶۸ درصد مساحت حوضه را در طبقه خطر زیاد و بسیار زیاد با مدل Dempster-Shafer برآورد نمودند، نشان می‌داد که تشابه بالایی در نتایج نهایی وجود دارد. مطالعه Erfanian و همکاران (۲۰۱۵) در تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک با مدل RUSLE و استفاده از منطق فازی نشان داد با صحت ۷۶ درصدی آنان در اعلام خطر زیاد فرسایش، نتایج این مطالعه نیز همچون نتایج مدل آنان، تأکید بر خطر زیاد فرسایش است. مطالعه Tajiki و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی



شکل ۱۰- موقعیت نقاط تصادفی حوزه آبخیز قرناوه
Figure 10 - Locations of Randomly Selected Points in the Qharnaveh Watershed

۹-۳- بررسی عدم قطعیت

شکل ۱۱ احتمال حضور در الگو را نشان می‌دهد. تفسیر خروجی مدل میانگین بیزین نیازمند درک بالایی است چراکه تعداد و نحوه تعریف متغیرها می‌توانند بر روی خروجی مدل تأثیرگذار باشد. در تفسیر خروجی مدل میانگین بیزین (شکل ۱۱)، رنگ آبی نشان‌دهنده رابطه مثبت، رنگ قرمز نشان‌دهنده رابطه منفی و رنگ سفید نشان‌دهنده عدم حضور در مدل است. همان‌طور که از شکل ۱۱ مشخص است شیب و سنگ‌شناسی به‌عنوان رابطه مثبت در مدل معرفی شده‌اند که شیب چگالی بیشتری را با توجه به مدل‌های توسعه‌یافته نشان می‌دهد. همچنین کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی دارای رابطه منفی در نتیجه مدل است؛ اما در اینجا بایستی توجه نمود که تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی دارای رابطه مثبت است و به علت اینکه ارزش‌گذاری آن کاملاً عکس ارزش‌گذاری نقشه خطر فرسایش است به همین دلیل مدل رابطه را منفی معرفی نموده است؛ اما به‌طور کلی از شکل ۱۱ می‌توان استدلال نمود که شیب و سنگ‌شناسی دارای تأثیر بسیار زیادی در نتیجه پیش‌بینی مدل PAP/RAC است.

مدل مذکور با روش میانگین‌گیری بیزین، به‌منظور ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی بهتر نقاط در معرض خطر فرسایش آبی پرداخته است. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این حوضه در فرسایش و هدررفت خاک با توجه به عامل‌های مدل کیفی PAP/RAC است و همچنین نتایج بررسی عدم قطعیت گویای اهمیت شیب و سنگ‌شناسی در خروجی مدل است؛ لذا با توجه به اهمیت ارزیابی نقاط مستعد فرسایش پیشنهاد می‌شود، ارزش‌گذاری (رتبه‌دهی) در زمینه عامل‌های مدل PAP/RAC با دقت بیشتری انجام گیرد و در صورت امکان دستورالعمل‌های مدل متناسب با شرایط کشور ایران تهیه گردد تا ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌و خاک در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک با توجه به نتایج مدل، مؤثرتر واقع گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب بخشی از رساله دکتری نویسنده اول به‌عنوان دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت گرفته است.

References

- Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A. & Santoro, V. C. (2004). Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian Watersheds. *Journal of Hydrology*, 293(1-4), 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.018>
- Benchettouh, A., Jebari, S., Kouri, L. & Kherchi, F. (2022). Mapping of soil erosion using the PAP/RAC directive in the Seklafa catchment, Djebel Amour region (Saharan Atlas-Algeria). *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 8(2), 2419-2428.
- Diani, K., Ettazarini, S., Hahou, Y., El Belrhiti, H., Allaoui, W., Mounir, K. & Gourfi, A. (2023). Identification of soil erosion sites in semiarid zones: Using GIS, remote sensing, and PAP/RAC model. *In Handbook of Hydroinformatics*, 169-183.

اثر بخشی اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوب‌دهی نیز بیانگر تأیید کارایی مدل در برآورد وضعیت فرسایش منطقه بود؛ اما بر اساس مطالعه Elbadaoui و همکاران (۲۰۲۳) در ادغام مدل پتانسیل فرسایش (EPM) و دستورالعمل‌های PAP/RAC و بیان اینکه مدل EPM می‌تواند برای طراحی اقدامات مؤثر کنترل فرسایش استفاده شود و مدل PAP/RAC می‌تواند برای توسعه یک استراتژی جامع برای مدیریت پایدار حوضه استفاده شود می‌توان اعلام داشت مدل PAP/RAC بهترین و ساده‌ترین مدل در جهت برآورد خطر فرسایش آبی است که با در نظر گرفتن نتایج بررسی عدم قطعیت عامل‌های مورد استفاده در این مدل، بایستی جهت برآورد بهتر در ارزش‌گذاری عامل شیب و سنگ‌شناسی دقت بالایی به خرج داد.

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با بهره‌گیری از رویکرد و مدل کیفی PAP/RAC (اولین بار در کشور ایران) به پیش‌بینی و تعیین وضعیت خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه و بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر نقشه خطر فرسایش

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821961-4.00003-8>

- Draper, D. (1995). Assessment and propagation of model uncertainty. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 57(1), 45-70.

<https://doi.org/10.1111/j.25176161.1995.tb02015.x>

- Esmaili Gholzom, H., Ahmadi, H., Moeini, A. & Motamed Vaziri, B. (2020). Erosion risk assessment and identification of susceptibility lands using the ICONA model and RS and GIS techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-18.

<https://doi.org/10.5194/nhess-2020-85.2020>

- Elbadaoui, K., Mansour, S., Ikirri, M., Abdelrahman, K., Abu-Alam, T. & Abioui, M. (2023). Integrating Erosion Potential Model (EPM) and PAP/RAC Guidelines for Water Erosion Mapping and Detection of

- Vulnerable Areas in the Toudgha River Watershed of the Central High Atlas, Morocco. *Land*, 12(4), 837. <https://doi.org/10.3390/land12040837>
- Erfanian, M., Ghaharahmani Saatloo, P. & Saadat, H. (2015). Preparation of soil erosion potential risk map using fuzzy logic in Gharnaveh Watershed, *jwmseir*, 23(7), 43-52. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1392.7.23.3.1> (In Persian)
- Hafezi Moghaddas, N., Nikudel, M. & Bahrami, K. (2011). Evaluation of collapsibility of loess deposits of Gharnaveh catchment in north of Kalale, Golestan province. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 4 (Number 1 & 2), 39-46. (In Persian)
- Hassanzadeh, H. (2020). *Estimation of erosion and destruction of the catchment area of Bidovaz dam using EPM model and GIS software*, Master's thesis. Bojnord University. (In Persian)
- Hatamerad S, Haghghat J, Asgharpur H. & Adrangi B. (2022). Evaluation of macro factors affecting stock price index: Bayesian averaging approach. *qjefp*; 10 (37), 73-111. (In Persian)
- Hembram, T. K. & Saha, S. (2020). Prioritization of sub-watersheds for soil erosion based on morphometric attributes using fuzzy AHP and compound factor in Jainti River Watershed, Jharkhand, Eastern India. *Environment, Development and Sustainability*, 22(2), 1241-1268. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0247-3>
- Labbaci, A., Marghadi, S., Laaribya, S., & Moukrim, S. (2020). Integrating Sentinel-2 Data and PAPCAR Model to Map Water Erosion: Case of Beni Boufrah Watershed. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.4314/rjeste.v3i1.4S>
- Mesrar, H., Sadiki, A., Navas, A., Faleh, A., Quijano, L. & Chaaouan, J. (2015). Modélisation de l'érosion hydrique et des facteurs causaux, Cas de l'oued Sahla, Rif Central, Maroc. *Zeitschrift für geomorphologie*, 59(4), 495-514.
- Nainiva, S. P. & Parichereh, M. (2023). Erosion Hazard classification using the Fargas qualitative model in the Chehelgazi Sub-Watershed of Kurdistan province. *Integrated Watershed Management*, 3(1), 89-99. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.1995873.1068> (In Persian)
- Nainiva, S. P. & Satarvand, A. (2023). Evaluation and estimation of the intensity of soil erosion under Chehelgazi Sub-Watershed of Kurdistan province. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(39), 38-47. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.26454777.1401.10.39.8.8> (In Persian)
- Najia, F., Bouchta, E., Mohamed, M., Benzougagh, B. & El Brahimi, M. (2021). Evaluation of water erosion by mapping and application of the PAP/RAC method in the perifer of ouazzane. *Ecology, Environnement and Conservation*, 12.
- Nanjundeswaraswamy, T. S. & Divakar, S. (2021). Determination of sample size and sampling methods in applied research. *Proceedings on engineering sciences*, 3(1), 25-32. <https://doi:10.24874/PES03.01.003>
- Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., Huynh, P., Braithwaite, D., Updegraff, G. & Hsu, K. (2019). The CHRS Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific data*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.296>
- Ousmana, H., El Hmaidi, A., Essahlaoui, A., Bekri, H. & El Ouali, A. (2017). Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de La Terre*, 39, 103-119.
- PAP/CAR (1998a). Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-S/PP/GL.1.split, centre d'activités régionales pour le programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO.
- PAP/CAR. (1998b). Directives pour l'approche int_egr_ee au d_veloppement, _a la gestion et _a l'utilisation des ressources en eau, centre d'activit_es r_egionales pour le

- Programme d'actions prioritaires [rapport]. - [s.l.]: PAP-3/1998/G.1. Split, 1998a.
- PAP/CAR. (1998c). Rapport de l'Atelier sur l'état de l'érosion des sols par la pluie dans les zones côtières méditerranéennes, [Rapport]. - Murcie: PAP-8/W.1/1, 1998.
- PAP/RAC. (2000). National reports on problems and practices of erosion control management in the mediterranean region [rapport]. [s.l.]: PAP/RAC, split, 2000.
- Raftery, A. E. (1995). Bayesian model selection in social research. *Sociological methodology*, 111-163. <https://doi.org/10.2307/271063>
- Refahi, H. (2000). *Water erosion and its control*, Tehran University Publications. (In Persian)
- Saber chenari, K., Bahreman, A., Sheikh, V. B. & Komaki, C. B. (2016). Gully Erosion Hazard Zoning Using of Dempster-Shafer Model in The Gharnaveh Watershed, Golestan Province. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(2), 219-231. <https://doi:10.22059/ije.2016.59663>. (In Persian)
- Tahouri, J., Sadiki, A., Karrat, L. H., Johnson, V. C., weng Chan, N., Fei, Z. & Te Kung, H. (2022). Using a modified PAP/RAC model and GIS-for mapping water erosion and causal risk factors: Case study of the Asfalou watershed, Morocco. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 254-272. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.003>
- Tajiki M, Najafinejad A, Gholipour M, Siroosi H, Sadodin A, Sheikh V B, et al. (2022). Efficiency of Watershed Management Measures on Erosion and Sedimentation of Qarnaveh watershed, Golestan Province. *jwmr*. 13(26), 163-177. <https://doi:10.52547/jwmr.13.26.163>. (In Persian)
- Zangiabadi, M., Rangavar, A., Rafahi, H. G., Shorafa, M. & Bihamta, M. R. (2010). Investigation of the most Important Factors Affecting on Soil Erosion in Kalat Semi-Arid Rangelands. *Water and Soil*, 24(4), . doi: 10.22067/jsw.v0i0.3894. (In Persian)