

Spatial analysis of ecological vulnerability in the Kalybarchay watershed using multi - criteria decision making models

Fariba Karami*¹ , Masomeh Rajabi² , Isan Rostampur³ 

1- (*Corresponding author) Professor Department of geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: fkarami@tabrizu.ac.ir

2- Professor Department of geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: mrjabi@tabrizu.ac.ir

3- Master s degree graduate in spatial planning, Department of geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: isanrostampur@yahoo.com

Article Info

Date of receive:

2025/10/09

Date of last review:

2026/05/21

Date of accept:

2026/05/23

Date of online publication:

2026/05/23

Keywords:

Ecological vulnerability,
Ecological resilience,
Decision making models
Kalybarchay Watershed

Extended Abstract

Introduction

With the continuous development of society, human disturbance to the ecosystem is also growing, and the ecological environment is gradually deteriorating. This will seriously affect the sustainable development of human society and the ecological environment on which it depends. Generally, ecological vulnerability is the variability of ecosystem under natural or human factors, and this variability is not conducive to the development of ecosystem and human society. Ecological vulnerability is characterized by weak resistance and low resilience of ecosystems in response to external disturbances, including both natural and anthropogenic drivers, within a specific spatial scale. Spatial assessments of ecological vulnerability help identify areas that are exposed to environmental disturbances or pressures, thereby providing a scientific basis for controlling environmental degradation and promoting regional ecological development. In the assessment of ecological vulnerability, multiple variables—such as climate, topography, land resources, and human activities—are influential. The present study aims to conduct a spatial analysis and zoning of ecological vulnerability in the Kaleybarchay watershed. This watershed, located in East Azerbaijan Province, is one of the key regions for nature tourism and ecotourism. Therefore, assessing its ecological vulnerability is essential for sustainable management and conservation. The watershed covers an area of approximately 1,201 km² on the northern slopes of the Qaradagh (Arasbaran) mountain range. Over 27% of the watershed area is covered by dense, semi-dense, or sparse forests. Due to the sensitivity and fragility of this ecosystem, evaluating the ecological vulnerability of the Kaleybarchay watershed is considered necessary. ...  Page 98

How to Cite:

Karami, F. Rajabi, M. Rostampur, A. (2026). Spatial analysis of ecological vulnerability in the Kalybarchay watershed using multi- criteria decision making models. Scientific-Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 35(137), 97-117.

Materials and Methods

To achieve the research objectives, the AHP-Fuzzy model and Critic model, the Digital Elevation Model (DEM) of the Kaleybarchay watershed, and Landsat 8 OLI satellite imagery were utilized. The criteria (natural and human) and sub-criteria—including elevation, slope, slope aspect, precipitation, temperature, distance from rivers, lithology, soil erosion, vegetation cover, land use, distance from roads, distance from mines and industries, and distance from residential areas—were determined based on theoretical foundations and previous studies using the Delphi technique. Weighting of the layers was performed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) model, while the standardization of the layers was conducted through the Fuzzy logic model. The Critic model was used for validation. After integrating the weighted and standardized layers, a zoning map of ecological vulnerability for the Kaleybarchay watershed was produced.

Results and Discussion

According to the pairwise comparisons in the questionnaire, the average comparative weights of the criteria and sub-criteria related to ecological vulnerability zoning were obtained. Using the results from the Expert Choice software, weights for each criterion were determined. These weights were then applied to the shape file layers of the criteria in ArcGIS, and through map overlay, the final ecological vulnerability map was generated. The results showed that the criterion “distance from industries and mines” had the highest importance with a weight of 0.216, whereas “slope aspect” had the lowest importance with a weight of 0.009. Land-use change was identified as the second most influential factor affecting ecological vulnerability in the Kaleybarchay watershed. Zoning results indicated that approximately 40% of the watershed area exhibited high to very high ecological vulnerability, mainly concentrated in the central parts of the watershed. Meanwhile, about 40% of the area displayed low to very low vulnerability, predominantly located in the northern and southern regions of the basin.

Conclusion

The findings of this study indicate that human factors play a more significant role in the ecological vulnerability of the Kaleybarchay watershed. Human activities such as the expansion of industries and mines conflict with the ecological capacity of the region and lead to the degradation of environmental quality. Continued expansion of

industrial and mining activities would likely increase the level of ecological vulnerability. Moreover, land-use and land-cover changes are among the major contributing factors. Overlaying the vulnerability map with land-use and vegetation cover layers revealed that areas with high and very high vulnerability mostly overlap with sparsely to moderately dense forests, medium rangelands, and agricultural lands. Among the natural factors, lithological units and soil erosion were identified as the most influential variables affecting ecological vulnerability within the watershed. Comparing the results of the two methods confirmed the accuracy of the zoning. Also, the correlation coefficient between the results of the two methods was 0.89%.



صفحات ۹۷ - ۱۱۷

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (س) دوره ۳۵، شماره ۱۳۷، بهار ۱۴۰۵



مقاله پژوهشی

doi: <https://doi.org/10.22131/sepehr.2026.2074119.3156>

تحلیل مکانی آسیب‌پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلبرچای با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

فریا کرمی^{۱*}، معصومه رجبی^۲، آسان رستم‌پور^۳

۱- (*نویسنده مسئول) استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران fkarami@tabrizu.ac.ir

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران mrajabi@tabrizu.ac.ir

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران isanrostampur@yahoo.com

چکیده

آسیب‌پذیری اکولوژیکی، تغییرپذیری اکوسیستم تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی است و این تغییرپذیری برای توسعه اکوسیستم و جامعه بشری مناسب نیست. هدف پژوهش حاضر تحلیل مکانی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیکی حوضه آبریز کلبرچای است. حوضه آبریز کلبرچای یکی از مناطق طبیعت‌گردی و مقاصد اکوتوریستی در استان آذربایجان شرقی محسوب می‌شود. به دلیل حساسیت و شکنندگی اکوسیستم این منطقه تحلیل مکانی آسیب‌پذیری اکولوژیکی آن به منظور حفاظت و بهره‌برداری مطلوب ضروری به نظر می‌رسد. این حوضه با مساحتی بالغ بر ۱۲۰۱ کیلومتر مربع در دامنه‌های شمالی رشته کوه قره‌داغ (ارسباران) واقع شده است. در این پژوهش از روش AHP-FUZZY و روش CRITIC استفاده شد. معیارها (انسانی و طبیعی) و زیر معیارها (ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش، دما، فاصله از رودخانه‌ها، لیتولوژی، فرسایش خاک، پوشش گیاهی، کاربری زمین، فاصله از جاده، فاصله از معادن و صنایع و فاصله از مناطق مسکونی) براساس مبانی نظری و پیشینه تحقیق و با استفاده از تکنیک دلفی تعیین شدند. وزن‌دهی لایه‌ها از طریق روش AHP و استانداردسازی لایه‌ها با روش FUZZY انجام شد. پس از تلفیق لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیکی حوضه کلبرچای ترسیم شد. برای صحت‌سنجی پهنه‌بندی، روش CRITIC به اجرا درآمد و نتایج هر دو روش با هم مقایسه شدند. ضریب همبستگی بین دو روش ۰/۸۹ به دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که معیارهای انسانی اهمیت زیادی در آسیب‌پذیری اکولوژیکی حوضه کلبرچای دارند. نتایج پهنه‌بندی نیز نشان داد حدود ۴۰ درصد مساحت حوضه مورد مطالعه آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد دارند که بخش‌های میانی حوضه را بیشتر در بر گرفته‌اند. پیشنهاد می‌شود از اجرای پروژه‌های عمرانی و توسعه مانند احداث راه‌های ارتباطی، ساخت و سازهای مصنوعی مانند ویلاسازی در مناطق آسیب‌پذیر جلوگیری شود. همچنین مناطق با آسیب‌پذیری اکولوژیکی در اولویت اکتشاف و بهره‌برداری قرار نگیرند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۷/۱۷

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۵/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۳/۰۲

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۳/۰۲

واژه‌های کلیدی:

آسیب‌پذیری اکولوژیکی؛
تاب‌آوری اکولوژیکی؛
مدل‌های تصمیم‌گیری؛
حوضه آبریز کلبرچای

استناد به این مقاله:

کرمی، ف؛ رجبی، م؛ رستم‌پور، آ (۱۴۰۵) تحلیل مکانی آسیب‌پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلبرچای با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره: فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۵ (۱۳۷)، ۹۷-۱۱۷

۱- مقدمه

اکوسیستم جهانی و منطقه‌ای به دلیل تغییر اقلیم، توسعه اقتصاد و فعالیت‌های انسان، فشار و تخریب بی‌سابقه‌ای را تجربه می‌کند (چن^۱ و همکاران، ۲۰۱۷: ۳۸۳؛ می^۲ و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۱۱۵). با توسعه مداوم جوامع، انسان اکوسیستم را بیشتر آشفته می‌کند، به این ترتیب محیط زیست به تدریج در حال تخریب است. این امر به طور جدی بر توسعه پایدار جوامع انسانی و محیط اکولوژیکی که به آن بستگی دارد، تأثیر می‌گذارد. به طور کلی آسیب پذیری اکولوژیکی^۳، تغییر پذیری اکوسیستم تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی است و این تغییر پذیری برای توسعه اکوسیستم و جامعه بشری مناسب نیست (هو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱: ۱). نظریه آسیب پذیری اکولوژیکی از تئوری منطقه گذار اکولوژیکی^۵ ارائه شده در اوایل قرن بیستم نشأت گرفته است که به حساسیت اکوسیستم‌ها به دخالت‌های خارجی اشاره می‌کند (سانگ و دو^۶، ۲۰۲۲: ۱). ارزیابی‌های مکانی آسیب پذیری اکولوژیکی قادر به شناسایی نواحی هستند که به وسیله آشفته‌گی در معرض تغییر یا فشار قرار دارند و فراهم آوردن زمینه با هدف کنترل تخریب محیط زیست و ارتقاء توسعه منطقه‌ای محیط هست (لیو^۷ و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). به طور کلی تصور می‌شود که آسیب پذیری اکولوژیکی مقاومت ضعیف و تاب‌آوری کم اکوسیستم‌ها در پاسخ به مداخلات خارجی از جمله عوامل طبیعی و غیرطبیعی در یک مقیاس مکانی خاص است (برویا-ویتنر^۸، ۲۰۱۶: ۳۲۹؛ کیو^۹ و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۰۵). درجه آسیب پذیری اکولوژیکی مقیاس سنجشی است که یک اکوسیستم یا اجزای آن بر اثر قرار گرفتن در برابر عامل‌های محرک همچون آشفته‌گی یا فشار در عمل خسارت می‌بینند.

همچنین آسیب پذیری با مقدار حساسیت به تغییرات محیط زیستی و اقتصادی مؤثر بر ظرفیت اکوسیستم اکولوژیکی و انسانی تعریف شده است (موسویان و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۶۲). آسیب پذیری اکولوژیکی درجه‌ای است که سیستم به اختلالات و تنش‌های خارجی اعم از محیطی یا انسانی پاسخ می‌دهد و توانایی و ظرفیت سازگاری با آن‌ها را بیان می‌کند (مرادپناه و همکاران، ۱۳۹۹: ۸۲). به این ترتیب، آسیب پذیری اکولوژیکی به عنوان یک ضعف مقاومت اکوسیستم در پاسخ به مداخلات خارجی است. ارزیابی آسیب پذیری اکولوژیکی فرایندی بسیار پیچیده است و در حال حاضر هیچ استاندارد بین‌المللی شناخته شده یا قاعده‌ای وجود ندارد که تعیین کند چه تعداد و چه پارامترهایی بایستی انتخاب شوند تا ویژگی‌های آسیب پذیری اکولوژیکی را به طور کامل نشان دهند (سلاجقه و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۸). با این وجود نگویند و همکاران (۲۰۱۶) معتقدند در ارزیابی آسیب پذیری اکولوژیکی متغیرهای زیادی مانند آب و هوا، توپوگرافی، منابع زمین و فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مطالعات مربوط به آسیب پذیری اکولوژیکی به عنوان یک جنبه مهم ارزیابی‌های محیطی در دهه‌های اخیر رشد داشته است. اگرچه ارزیابی آسیب پذیری اکولوژیکی، یک موضوع نسبتاً جدید به شمار می‌رود، اما در سال‌های اخیر به سرعت توسعه یافته است (هو^۴ و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۲۹۳). برای مثال در مطالعات داخلی، حیدری مستعلی و همکاران (۱۳۹۴) به تعیین آسیب پذیری اکولوژیکی شهرستان طرقله شاندیز با استفاده از روش عینی پرداختند. در این زمینه از نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع، عمق خاک، تراکم پوشش گیاهی، اقلیم و زمین شناسی استفاده شد. نتایج نشان داد که ۱۹/۲۱ درصد از مساحت شهرستان در طبقه آسیب پذیر، ۵۳/۳۵ درصد در طبقه حساس، ۱۸/۱۴ درصد در طبقه نیمه حساس و ۹/۲۸ درصد از منطقه در طبقه مقاوم قرار دارد.

سلاجقه و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی، آسیب پذیری اکولوژیکی استان کرمان را برای توسعه پایدار صنعت

1- Chen

2- He

3- Ecological Vulnerability Assessment (EVA)

4- Hu

5- Ecological Transition Zone Theory

6- Song and Du

7- Liu

8- Beroya-Eitner

9- Qui

10- Hou

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سام)
تحلیل مکانی آسیب‌پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلیبرچای با ... / ۱۰۱

بر ارزش‌های اکولوژی از جمله از بین رفتن گیاهان درختی و درختچه‌ها، زیستگاه حیات وحش و کاهش تنوع زیستی هستند.

منصوری و همکاران (۱۴۰۳) آسیب‌پذیری اکوسیستم جنگلی و اولویت‌بندی عوامل تخریب منطقه دادآباد خرم‌آباد را با استفاده از مدل تخریب سیمای سرزمین با رویکرد مکانی و در تلفیق با سنج‌های سیمای سرزمین به‌منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری اکولوژی ارزیابی کردند. همچنین از روش ANP برای اولویت‌بندی مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی زمینه‌ساز تخریب در منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد ۵۸/۴ درصد مساحت منطقه با وضعیت تخریب کم و مستعد توسعه ارزیابی شد. در ضمن سه عامل تبدیل اراضی ملی به کشاورزی، وجود مسائل اقتصادی-اجتماعی و فعالیت‌های عمرانی مانند جاده‌سازی از مهم‌ترین عوامل تخریب در منطقه هستند.

طهماسب‌پور و دشتی (۱۴۰۴) آسیب‌پذیری پارک ملی و منطقه حفاظت‌شده ساریگل را در استان خراسان شمالی با استفاده از مدل DPSIR ارزیابی کردند. نتایج تحلیل‌ها آسیب‌پذیری شدید ارزش‌های اکولوژیکی را نسبت به زیرساخت‌های حمل‌ونقل، خشک‌سالی، جنگل‌زدایی و دامداری تأیید کرد. نتایج نشان داد آسیب‌پذیری توسط نیروهای محرکه انسانی و فشارهایی مانند چرای بی‌رویه، جنگل‌زدایی و توسعه زیرساخت‌ها ایجاد می‌شود.

هوو و همکاران (۲۰۱۵) به تحلیل GIS پایه تغییرات آسیب‌پذیری اکولوژیکی با استفاده از مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مکانی (SPCA) در فلات لوس شمال شانگسی چین پرداختند. در این پژوهش معیارهای کاربری اراضی، فرسایش خاک، توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و متغیرهای اقتصادی و اجتماعی استفاده شدند. نتایج نشان داد عوامل دولتی و اقتصادی و بارش دلایل اصلی تغییرات در آسیب‌پذیری اکولوژیکی در منطقه بودند.

نگوین^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به ارزیابی

بررسی کردند و در این زمینه با استفاده از روش (AHP) و هفت معیار (شیب، ارتفاع، لیتولوژی، گسل، عمق خاک، پوشش زمین و سیل‌خیزی) نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری را ترسیم کردند. نتایج پژوهش نشان داد که حدود ۱۴/۷ درصد استان کرمان دارای آسیب‌پذیری با شدت زیاد و خیلی زیاد از نظر توسعه صنعت است که دلیل اصلی آن وجود ارتفاعات، گسل‌ها و عمق نامناسب خاک در منطقه هست.

موسویان و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر واگذاری معادن بر وضعیت آسیب‌پذیری اکولوژیکی شهرستان طبس را با استفاده از روش عینی ارزیابی کردند. در این زمینه از عوامل توپوگرافی، پوشش گیاهی، اقلیم، آب زیرزمینی، خاک و زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد در نواحی شرقی و جنوب‌غربی شهرستان به دلیل حساسیت زیاد خاک و امکان فرسایش، به‌ویژه در نواحی با پوشش گیاهی کم و اراضی بدون پوشش، آسیب‌پذیری بیشتر است. بنابراین برای واگذاری، اکتشاف و بهره‌برداری بر پایه وضعیت آسیب‌پذیری این اراضی از اولویت کمتری برخوردار هستند. مرادپناه و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی آسیب‌پذیری اکولوژیکی سواحل انزلی را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی کردند. در این پژوهش هفت معیار و ۱۳ زیرمعیار با استفاده از روش (FAHP) بررسی شدند. نتایج به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد ۲۵ درصد از سواحل انزلی دارای آسیب‌پذیری شدید و خیلی شدید است. عامل خاک و کاربری زمین نیز بالاترین وزن‌ها را در تعیین مناطق با آسیب‌پذیری اکولوژیکی داشتند. باهری و همکاران (۱۴۰۲) عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده ارسباران و تدوین راهبردهای مدیریتی با استفاده از مدل DPSIR را تحلیل کردند. نتایج پژوهش نشان داد در منطقه حفاظت‌شده ارسباران احداث راه‌های ارتباطی، شکار غیرمجاز، دامداری و دامپروری، تخریب و تغییر کاربری اراضی و جنگل‌زدایی از مهم‌ترین تهدیدهای منطقه محسوب می‌شوند. همچنین بیشترین اثرات تهدیدی

اکولوژیکی یک شیب زیاد به کم از شرق به غرب را نشان می‌دهد. سطوح آسیب‌پذیری شدید و بسیار شدید در شرق عمدتاً در مناطق جریان اصلی با دخالت‌های فزاینده انسان تمایل به افزایش دارند.

لیو و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی تغییرپذیری آسیب‌پذیری اکولوژیکی منطقه‌ای را در استان سیچوان چین بررسی کردند. این مطالعه در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری اکولوژیکی (EVI) و مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام شد. نتایج نشان داد آسیب‌پذیری اکولوژیکی استان سیچوان در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۵ به صورت معناداری افزایش داشته است. برای هر یک از سال‌های مطالعه، بخش‌هایی با آسیب‌پذیری اکولوژیکی بالا، عمدتاً در سیچوان جنوبی و شرقی واقع شده‌اند. در حالی که بخش‌های مرکزی و غربی سیچوان، آسیب‌پذیری اکولوژیکی نسبتاً کم داشتند. فعالیت انسان نیز عامل اصلی در این مورد شناخته شد.

هو و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی آسیب‌پذیری اکولوژیکی شهر ویفانگ^۴ چین را با استفاده از روش (AHP-PSR) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که آسیب‌پذیری زیست محیطی از کم به زیاد به ترتیب ۴۴/۱ درصد، ۴۴/۳ درصد، ۹/۷ درصد، ۰/۸ درصد و ۱/۱ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل شدند. مناطق آسیب‌پذیر زیست محیطی ذاتی (طبیعی) از کم به زیاد به ترتیب ۲۷/۲ درصد، ۳۸/۲ درصد، ۱۸ درصد، ۶/۸ درصد و ۹/۸ درصد هستند. تفاوت نتایج ارزیابی‌های آسیب‌پذیری، به نقش جوامع انسانی در تغییر مقادیر تأکید دارد.

جیانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۳) آسیب‌پذیری اکولوژیکی شهرستان ژونگ شیان چین را با استفاده از شاخص اکولوژیکی سنجش از دور (RSEI) در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد در بازه زمانی مورد مطالعه، مناطق با آسیب‌پذیری ضعیف و ناچیز روند افزایشی داشته‌اند ولی به طور کلی، آسیب‌پذیری اکولوژیکی

آسیب اکولوژیکی استان توا تئنهو و بزرگ‌ترین سیستم رودخانه‌ای آن پرداختند. در این پژوهش ۱۶ متغیر با استفاده از روش (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند و نقشه آسیب‌پذیری تهیه شد. نتایج نشان داد که نواحی آسیب‌پذیر شدید و بسیار شدید در سرزمین‌های متوسط و ضعیف که فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی در آن‌ها به سرعت توسعه یافته است، قرار گرفته‌اند.

وو^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای برای تعیین آسیب‌پذیری اکولوژیک دلتای رود زرد چین با استفاده از روش FAHP و ۲۱ شاخص شامل پوشش گیاهی، کاربری، شرایط هواشناسی، خاک، وضعیت آب‌های زیرزمینی، لندفرم‌ها و غیره، نقشه آسیب‌پذیری اکولوژیکی را ترسیم کردند. نتایج نشان داد وضعیت خاک و آب‌های زیرزمینی به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۵ و ۰/۷۴ با آسیب‌پذیری اکولوژیکی ارتباط دارند. همچنین فعالیت‌های انسان نیز فشار قابل توجهی بر محیط اکولوژیکی وارد می‌کند.

هی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی، برای حفاظت و مدیریت محیط زیست، آسیب‌پذیری اکولوژیکی چین را با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که ۱/۳۲ درصد از جمعیت چین در نواحی با اکوسیستم آسیب‌پذیر زندگی نمی‌کنند و ۹۸/۶۸ درصد، یعنی چیزی حدود یک میلیارد و سیصد و چهل میلیون از جمعیت این کشور در نواحی آسیب‌پذیر و آسیب‌پذیری زیاد زندگی می‌کنند.

ایکسیو^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی حوضه رود تاریم^۳ در چین در یک دوره ۱۰ ساله و با استفاده از روش (FAHP) پرداختند. نتایج نشان داد که در اواخر این دوره، میانگین آسیب‌پذیری اکولوژیکی در سطح شدید بوده و این وضعیت رو به افزایش است. به طوری که به سطح آسیب‌پذیری بسیار شدید در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۳ رسیده است. همچنین آسیب‌پذیری

1- Wu

2- Xue

3- Tarim

4- Weifang

5- Jiang

به تدریج روند نزولی دارد.

۲- داده و روش

۲-۱- قلمرو حوضه آبریز کلیبرچای

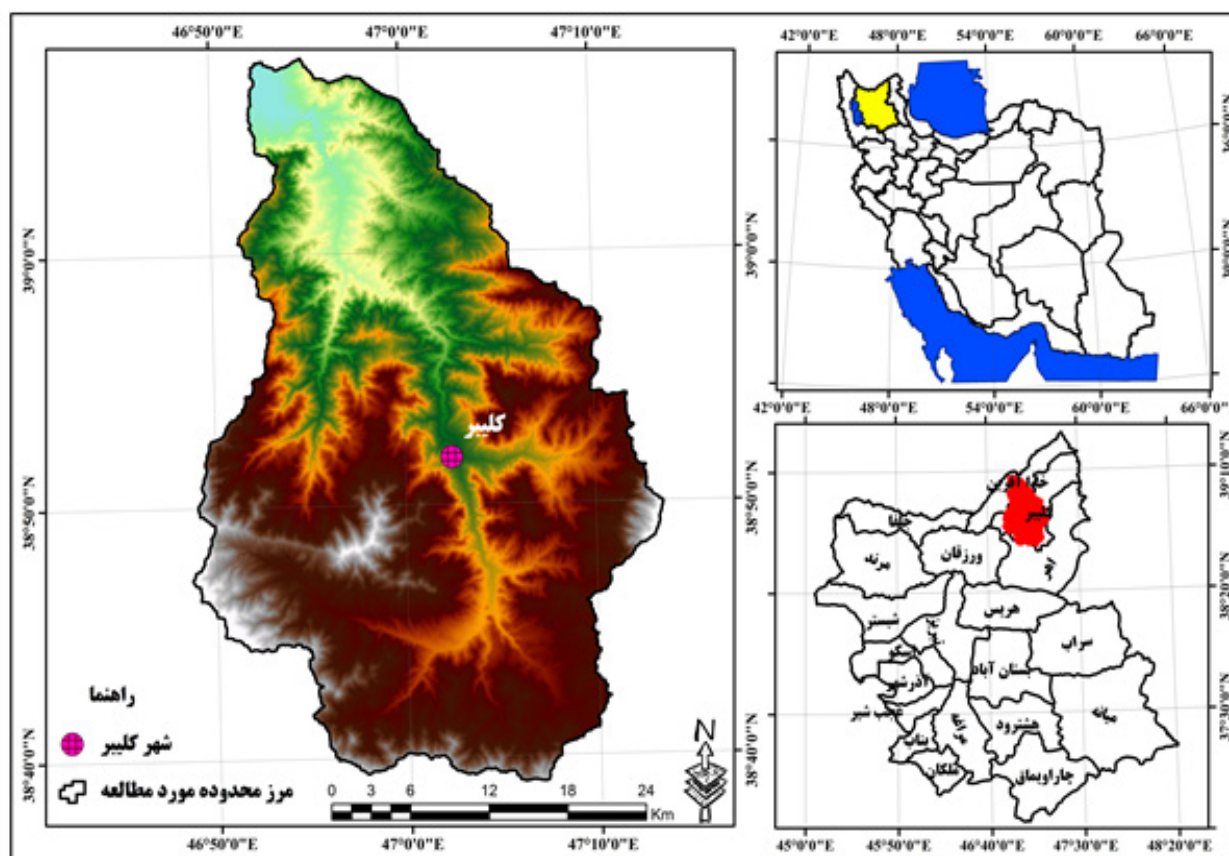
حوضه آبریز کلیبرچای با مساحتی بالغ بر ۱۲۰۱ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۳ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۱۳ دقیقه و ۳۲ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۸ دقیقه و ۵۹ ثانیه تا ۳۹ درجه و ۷ دقیقه و ۴۷ ثانیه عرض شمالی در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه قره‌داغ واقع شده است (نگاره ۱). رودخانه کلیبرچای یا جانانلوچای آبراهه اصلی این حوضه به شمار می‌رود. این رودخانه از ارتفاعات سایگرام‌داغ، کوه‌قندران‌باشی، ارمنی‌داغ، گشت‌سر، دامنه‌های شمالی شیویار و خرماپورت سرچشمه می‌گیرد. رودخانه کلیبر چای بعد از پیوستن به رودخانه مرز رود که زهکشی اصلی ارتفاعات قندوان باشی و سایگرام داغی است، به رودخانه مرزی ارس می‌ریزد (خالقی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۶۷). تمامی گستره حوضه آبریز کلیبرچای در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه قره‌داغ (قاراداغ، ارسباران) واقع شده‌است. بیش از ۲۷ درصد از مساحت این حوضه را جنگل به‌صورت جنگل‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک دربر گرفته‌است. اراضی جنگلی این حوضه عمدتاً در قسمت‌های میانی و مخصوصاً در غرب این حوضه پراکنده شده‌اند. در حوضه آبریز کلیبرچای، بخش عمده‌ای از پوشش زمین شامل مراتع هستند. بخش‌های شمالی و غربی این حوضه در منطقه حفاظت شده ارسباران قرار دارد (کرمی و همکاران، ۱۳۹۹). در حدود ۱۱۰ روستا در محدوده این حوضه استقرار یافته‌اند. مهم‌ترین سکونتگاه منطقه شهر کلیبر با جمعیتی بالغ بر ۹۳۲۴ نفر هست (سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵).

۲-۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر نوع، توصیفی تحلیلی است. در این پژوهش، گردآوری داده‌ها و اطلاعات به‌صورت روش‌های کتابخانه‌ای اعم از اسناد و مدارک، داده‌های مشاهده‌ای، داده‌های رقومی مانند تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های پیمایشی (پرسشنامه) صورت

شیی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) ویژگی‌های مکانی-زمانی و عوامل محرک آسیب‌پذیری اکولوژیکی را در منطقه شمال غربی استان لیاونینگ چین براساس چارچوب مدل حساسیت-تخریب و با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل مؤلفه اصلی و روش‌های آشکارساز جغرافیایی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند که در این بازه زمانی، مناطق با آسیب‌پذیری متوسط یا بالاتر به‌طور متوسط ۶۴/۷ درصد و مناطق بسیار آسیب‌پذیر ۳۲/۵ درصد را به خود اختصاص داده‌اند.

حوضه آبریز کلیبر چای در شمال غرب کشور و شمال آذربایجان به لحاظ طبیعت بکر، مناظر و چشم‌اندازهای زیبا و آب و هوای مناسب از مقاصد اکوتوریستی محسوب می‌شود که حجم زیادی از گردشگران را پذیرا هست. بیم آن وجود دارد که در آینده نزدیک تعداد گردشگران از ظرفیت و توانمندی‌های منطقه کلیبر فزونی یافته و صدمات و آسیب‌های جدی به محیط زیست و اکوسیستم آن وارد شود. همچنین به‌علت وجود پتانسیل‌ها و ذخایر کانسارها و مواد معدنی در منطقه و فعالیت‌های مربوط به اکتشاف و بهره‌برداری و توسعه شهری، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر اکولوژیکی به‌منظور اعمال سیاست‌های مدیریتی متناسب و توسعه پایدار ضرورت دارد. قبلاً ارزیابی توانمندی‌های اکولوژیکی شهرستان کلیبر برای توسعه گردشگری توسط روستایی و همکاران (۱۳۹۳) انجام شده‌است. با توجه به خلاء تحقیقاتی، هدف پژوهش حاضر ارزیابی معیارهای طبیعی مانند پوشش گیاهی و غیره، معیارهای انسانی مانند کاربری اراضی و تعیین مناطق مستعد آسیب‌پذیری اکولوژیکی براساس این معیارها در این منطقه است. جنبه نوآوری این پژوهش، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظر خبرگان در شناسایی پهنه‌های با آسیب‌پذیری اکولوژیکی خیلی زیاد و زیاد در حوضه آبریز کلیبرچای است.



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه کلیبرچای در شمال غربی ایران استان آذربایجان شرقی

روش AHP و استانداردسازی لایه‌ها با منطق FUZZY انجام شد. روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه برای وزن‌دهی به معیارها و انتخاب بهترین گزینه است. هدف این روش اولویت‌بندی تعدادی معیار است. پس از تعیین معیارهایی که براساس مبانی نظری و پیشینه تحقیق انتخاب می‌شوند، این معیارها باهم مقایسه زوجی می‌شوند و وزن آن‌ها تعیین می‌شود. معیارهای مورد استفاده در این پژوهش، شامل معیارهای طبیعی و انسانی هستند. این معیارها شامل زیرمعیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی، کاربری زمین، فرسایش خاک، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق سکونی، فاصله از معادن، اقلیم (دما و بارش) می‌شود. زیرمعیارها براساس مبانی نظری و

گرفته است. همچنین در این پژوهش از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلیبر مربوط به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، داده‌های خاک‌شناسی، اجزا و واحدهای اراضی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی، مدل رقومی ارتفاعی حوزه کلیبرچای و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI استفاده شد. در پژوهش حاضر پس از انتخاب معیارها و زیرمعیارهای مورد نظر، برای استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان پرسشنامه‌ای محقق ساخته طراحی شد. در این زمینه از نظر ۱۵ نفر از اساتید دانشگاه تبریز و برخی کارشناسان سازمان‌ها (منابع طبیعی و غیره) با استفاده از تکنیک دلفی بهره گرفته شد. در این پژوهش وزن‌دهی لایه‌ها از طریق

1- Analytical Hierarchy Process

جدول ۱: استانداردسازی معیارها براساس مدل منطق فازی

معیارها	درجه عضویت فازی	معیارها	درجه عضویت فازی	معیارها	درجه عضویت فازی
ارتفاع	کاهشی	بارش	افزایشی	فاصله از رودخانه	کاهشی
شیب	افزایشی	دما	افزایشی	فاصله از مناطق مسکونی	افزایشی
جهت شیب	افزایشی	فرسایش خاک	افزایشی	فاصله از جاده	کاهشی
پوشش گیاهی	افزایشی	لیتولوژی	افزایشی	فاصله از معادن	کاهشی
کاربری اراضی	افزایشی				

معیار، انحراف معیار (شدت تضاد) و ضریب همبستگی با سایر معیارها محاسبه می شود. معیاری که تضاد بالا و همبستگی پایین با دیگران داشته باشد، اطلاعات بیشتری ارائه می دهد و وزن بیشتری می گیرد.

مرحله سوم؛ استخراج وزن نهایی: وزن هر معیار از فرمول ترکیبی مقدار اطلاعات (C_j) استاندارد می شود به گونه ای که مجموع وزن ها برابر ۱ شود (دیاکلاکی و همکاران، ۲۰۱۸). نگاره (۲) مراحل انجام این پژوهش را به صورت نمودار جریان نشان می دهد.

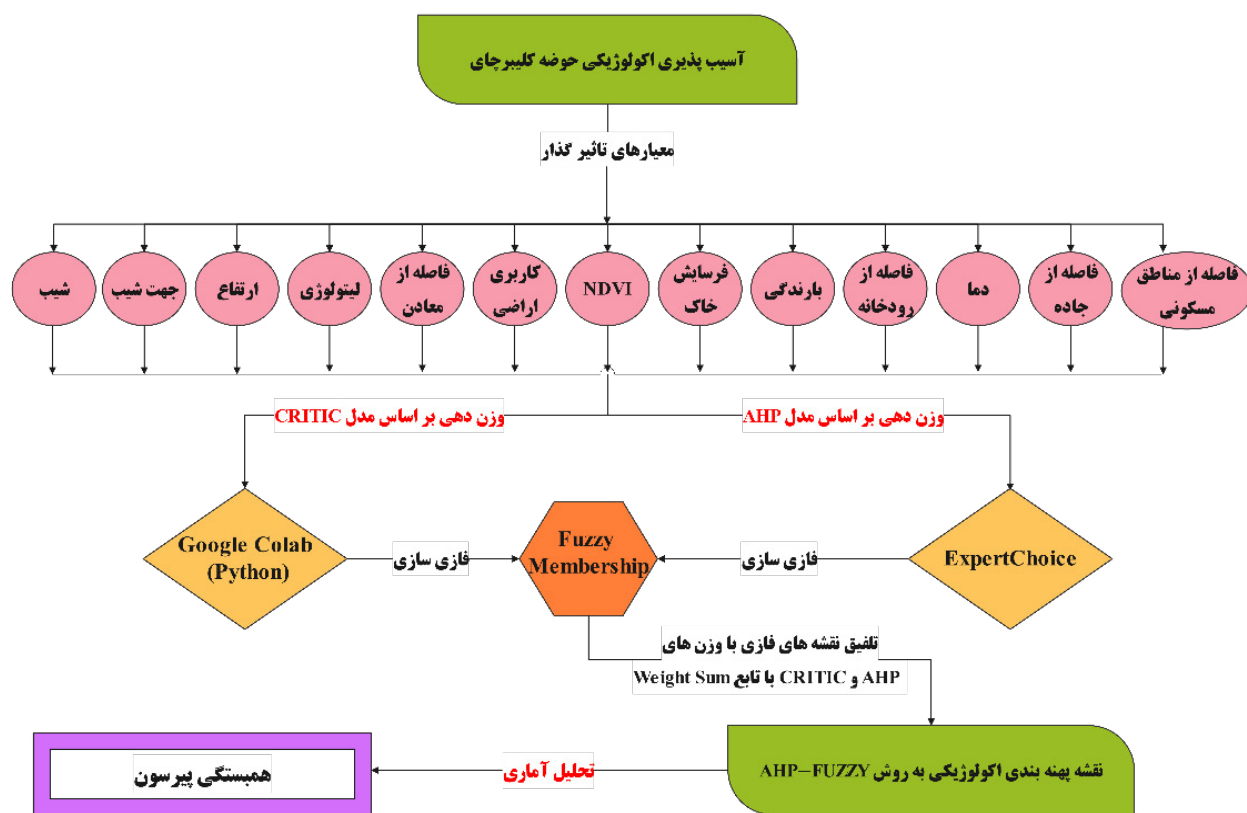
۳- بحث و یافته های تحقیق

ارتفاع: حوضه آبریز کلیبرچای از حوضه های با درجه ناهمواری بالا محسوب می شود و بخش عمده ای از مساحت این حوضه را واحد کوهستان تشکیل می دهد. برای درک نحوه توزیع ارتفاعات منطقه از تصاویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه استفاده شد. با توجه به مدل رقومی ارتفاع (DEM)، متوسط ارتفاع حوضه آبریز کلیبرچای ۱۵۳۲ متر، حداقل ارتفاع آن ۳۰۵ متر (در محل تلاقی به رودخانه ارس) و حداکثر ارتفاع آن ۲۹۳۱ متر از سطح دریا است. اختلاف ارتفاع در حوضه آبریز کلیبرچای به ۲۶۲۶ متر می رسد. نگاره (۳) نقشه مدل رقومی ارتفاع و نقشه فازی شده ارتفاع حوضه کلیبرچای را نشان می دهد.

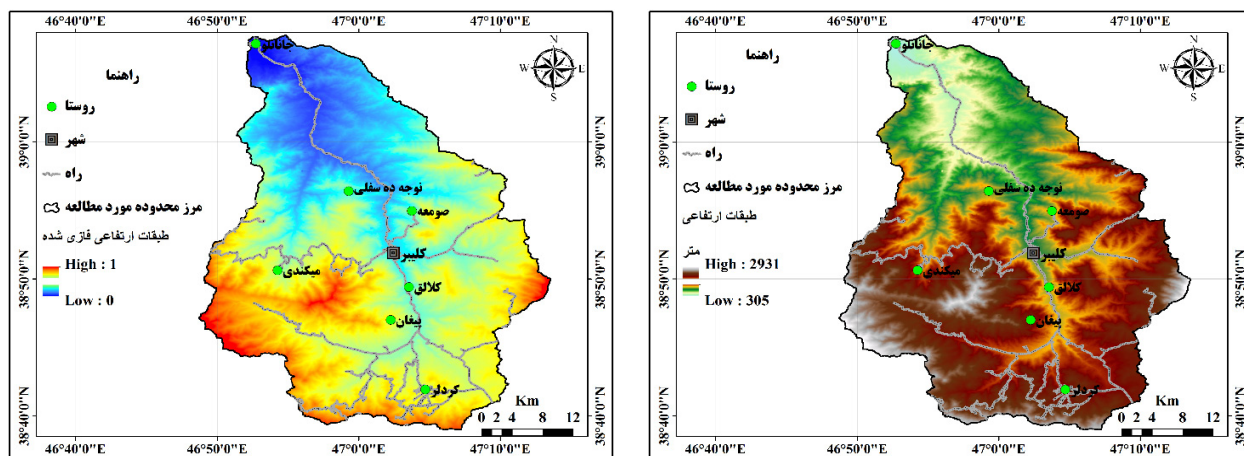
شیب: متوسط شیب حوضه آبریز کلیبرچای ۳۰/۷ درصد است که درجه بالای ناهمواری و غلبه اراضی پرتشیب در سطح حوضه مطالعاتی را نشان می دهد. در حدود ۲/۰۶

پژوهش های قبلی و با استفاده از تکنیک دلفی و نظر خبرگان انتخاب شده اند. جدول (۱) استاندارد سازی معیارها براساس مدل منطق فازی را نشان می دهد. در نهایت گزینه ها براساس هر معیار باهم مقایسه زوجی شده و اولویت نهایی گزینه ها مشخص می شود. همچنین با استفاده از ابزار الحاقی فازی در محیط نرم افزار GIS تک تک لایه ها فازی سازی شدند. یعنی اینکه تمامی معیارها (لایه) ارزش بین صفر و یک گرفته اند که صفر نشان دهنده وزن کمتر و یک بیشترین وزن و ارزش است. این کار به این دلیل انجام شده که این لایه ها در وزن های به دست آمده از روش AHP ضرب خواهند شد تا در نقشه نهایی؛ مکان های با آسیب پذیری خیلی زیاد تا خیلی کم مشخص شوند. در ادامه برای صحت سنجی نقشه آسیب پذیری اکولوژیکی با روش AHP - FUZZY از روش CRITIC استفاده شد. روش CRITIC (اهمیت معیارها از طریق همبستگی بین معیاری) توسط دیاکلاکی^۱ و همکاران (۱۹۹۵) معرفی شده و یکی از تکنیک های عینی وزن دهی در مسائل تصمیم گیری چندمعیاره است. برخلاف روش های ذهنی (CRITIC (AHP/ANP) وزن معیارها را صرفاً براساس داده های موجود و بدون نیاز به قضاوت کارشناسی محاسبه می کند. این روش از سه مرحله اصلی تشکیل شده است: مرحله اول؛ ساخت ماتریس تصمیم اولیه: مقدار عملکرد هر پهنه (یا پیکسل) در معیارهای مختلف وارد ماتریس می شود.

مرحله دوم؛ محاسبه شدت تضاد و همبستگی: برای هر



نگاره ۲: روند جریانی پژوهش

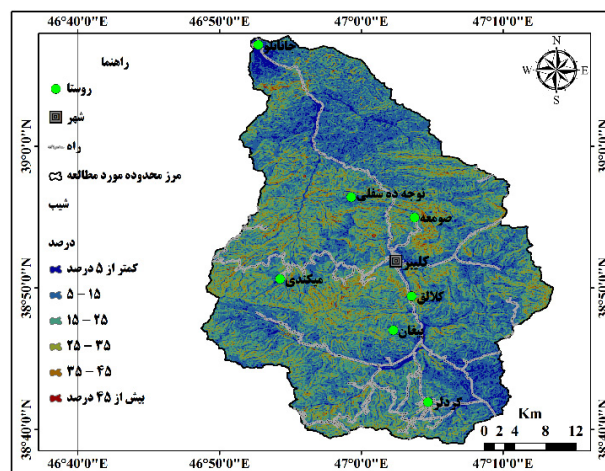
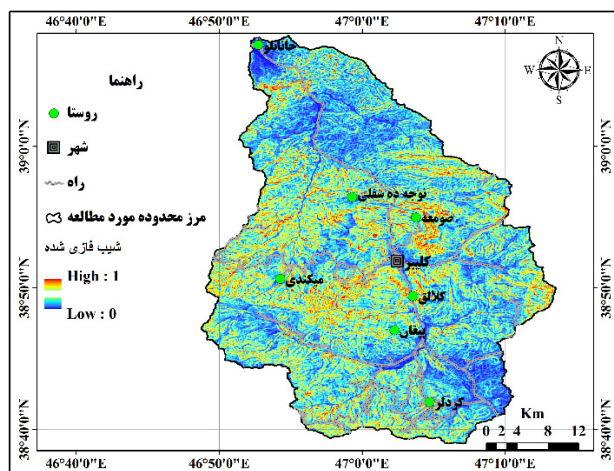


نگاره ۳: نقشه مدل رقومی ارتفاع و فازی شده ارتفاع حوضه کلیبرچای

داده‌اند. حتی شیب‌های بیشتر از ۴۵ درصد نیز در سطح این حوضه از فراوانی قابل توجهی برخوردار هستند؛ به گونه‌ای که، بالغ بر ۱۹/۴۸ درصد از سطح حوضه کلیبرچای دارای شیب‌های بیش از ۴۵ درصد هستند. این سطوح عمدتاً منطبق

درصد از سطح حوضه آبریز کلیبرچای دارای شیب‌های کمتر از ۵ درصد است. به تبعیت از توزیع ارتفاعات و ناهمواری‌های منطقه، شیب‌های تند درصد قابل توجهی از سطح حوضه‌های آبریز کلیبرچای را به خود اختصاص

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
تحلیل مکانی آسیب پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلیبرچای با ... / ۱۰۷



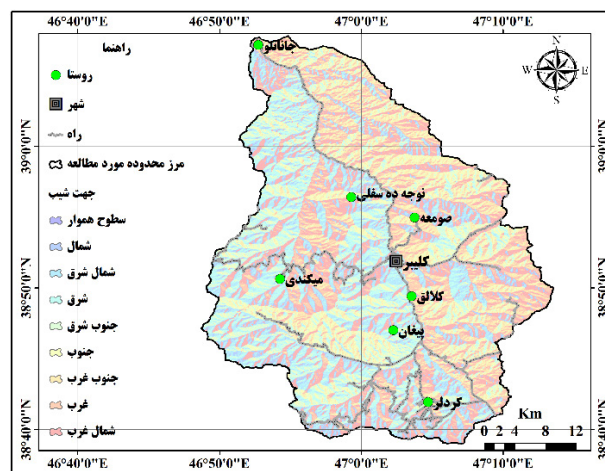
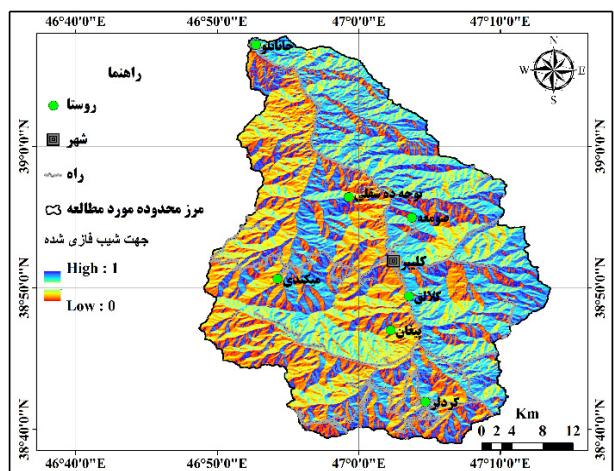
نگاره ۴: نقشه شیب و نقشه فازی شده شیب حوضه کلیبرچای

شرقی نیز ۱۲/۸۸ درصد مساحت حوضه را در بر می گیرند. در حدود ۱۰/۹۷ درصد جهت شیب حوضه به شیب های جنوبی تعلق دارد. نگاره (۵) نقشه جهت شیب و نقشه فازی شده جهت شیب را نشان می دهد.

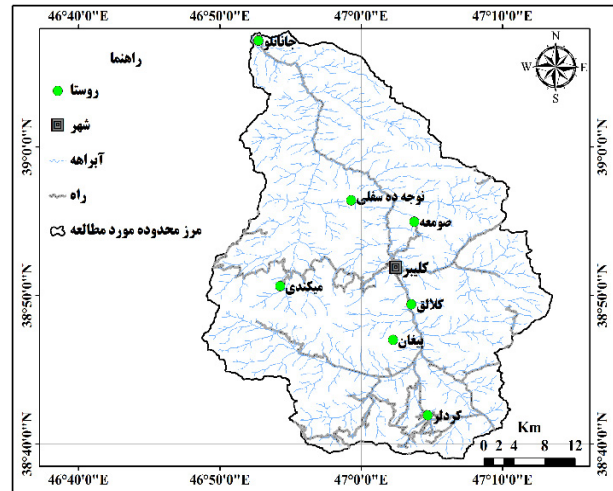
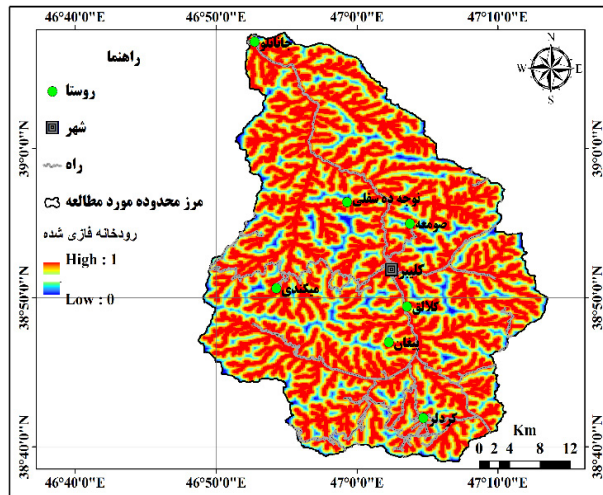
جهت شیب: جبهه شمالی به علت بهره مندی از رطوبت بیشتر، رشد گیاهان بیشتر و پوشش گیاهی انبوه تر از جبهه جنوبی است. جهت شمال شرقی نسبت به سایر جهات دامنه از پوشش گیاهی انبوه تری برخوردار است (مراجعه و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۳۶). در حوضه کلیبرچای بیشترین درصد مساحت جهت شیب (۲۰/۸ درصد) را شیب های شمالی تشکیل می دهد و کمترین درصد مساحت جهت شیب (۷/۴۶ درصد) شمال شرق را شامل می شود. شیب های

بر پرتگاه ها و ستیغ های موجود در منطقه هستند. نگاره (۴) نقشه شیب و نقشه فازی شده شیب حوضه کلیبرچای را نشان می دهد.

فاصله از رودخانه ها: آبراهه های زیادی در حوضه مورد مطالعه وجود دارند که دامنه های شمالی قره داغ را زهکشی می کنند. آبراهه اصلی کلیبرچای از روستای پیغام در جنوب شهر کلیبر شروع می شود و تا روستای قشلاق ادامه دارد. میانگین دبی سالانه رودخانه کلیبرچای در ایستگاه هیدرومتری کلیبر در حدود ۱/۲۱ مترمکعب در ثانیه با ضریب تغییرات ۶۷ درصد و در ایستگاه هیدرومتری پیغام



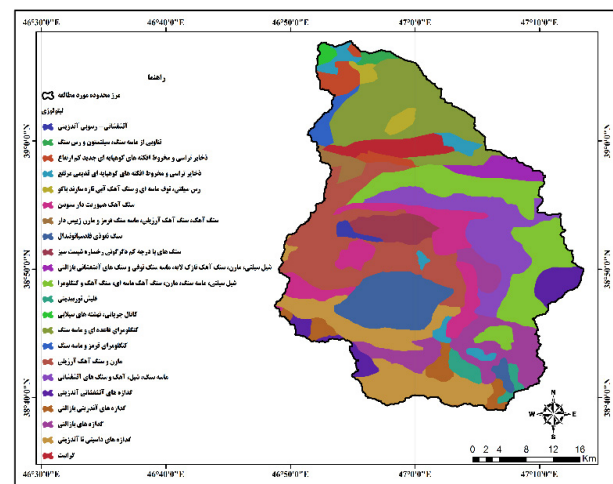
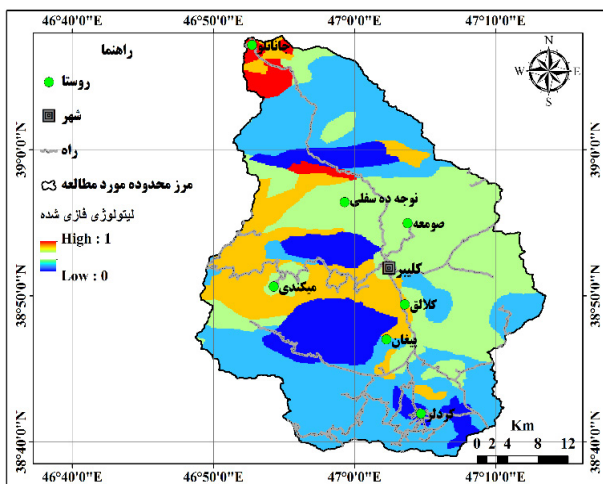
نگاره ۵: نقشه جهت شیب و نقشه فازی شده جهت شیب حوضه کلیبرچای



نگاره ۶: نقشه آبراهه‌ها و نقشه فازی شده آبراهه‌ها در حوضه کلیبرچای

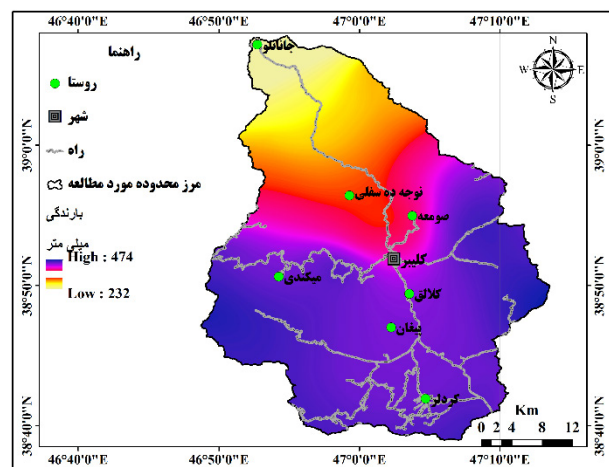
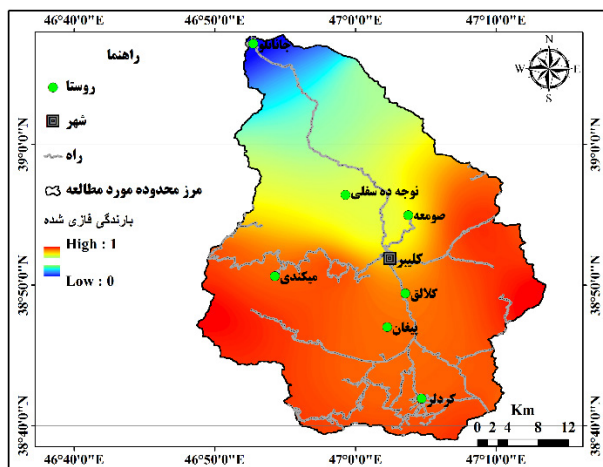
درصد سطح این حوضه متشکل از شیل سیلتی، ماسه‌سنگ، مارن، سنگ آهک ماسه‌ای، سنگ آهک و کنگلومراست و به‌طور عمده در شرق و قسمت‌های میانی حوضه رخنمون یافته است. تقریباً ۱۱/۵ درصد سطح حوضه کلیبرچای از کنگلومرای قاعده‌ای و ماسه‌سنگ پوشیده شده است. این سازند به‌صورت پهنه‌ای پیوسته در پایین‌دست حوضه گسترده شده و در واقع منطبق بر پایکوه‌های قره‌داغ است. گدازه‌های داسیتی تا آندزیتی در حدود ۱۰ درصد از سطح حوضه کلیبرچای را پوشش می‌دهد که به‌طور عمده در جنوب حوضه رخنمون یافته است. سازندهای ماسه‌سنگ،

در حدود ۰/۷۷ مترمکعب در ثانیه با ضریب تغییرات ۵۵ درصد است (کرمی و همکاران، ۱۳۹۹، ۵۵). نگاره (۶) نقشه آبراهه‌ها و نقشه فازی شده آبراهه‌ها در حوضه کلیبرچای را نشان می‌دهد. لیتولوژی: از نظر واحدهای لیتولوژی، در سطح حوضه آبریز کلیبرچای، به دلیل مساحت زیاد، سازندهای زمین‌شناسی از تنوع بیشتری برخوردار هستند (نگاره ۷). در حدود ۱۳ درصد از گستره حوضه آبریز کلیبرچای از مارن و سنگ آهک آرژیلی پوشیده شده است. این سازند در غرب حوضه کلیبرچای رخنمون یافته است. در حدود ۱۲



نگاره ۷: نقشه واحدهای لیتولوژی و نقشه فازی شده واحدهای لیتولوژی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سم)
تحلیل مکانی آسیب پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلیبرچای با ... / ۱۰۹



نگاره ۸: نقشه همبارش و نقشه فازی شده بارش در حوضه کلیبرچای

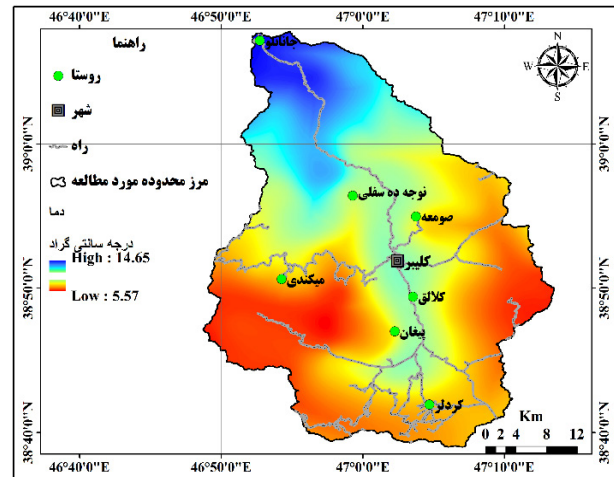
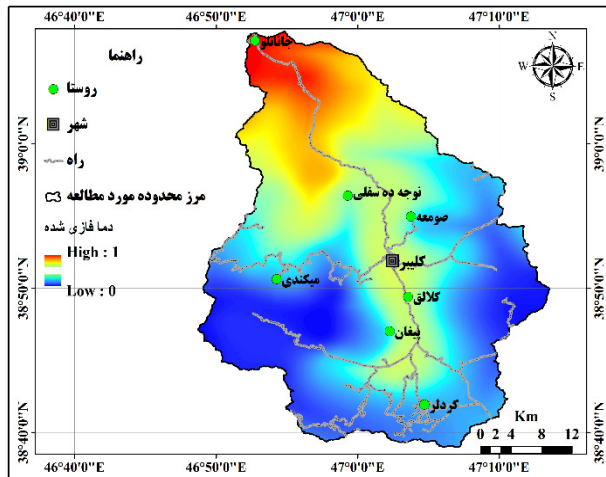
درجه سانتی گراد است. از نظر دماهای ماهانه، ماههای ژانویه (دی)، فوریه (بهمن) و دسامبر (آذر) به ترتیب با میانگین ۲/۳۵، ۳/۲۴ و ۴/۰۵ درجه سانتی گراد سردترین ماههای سال هستند. ماههای جولای (تیر) و اگوست (مرداد) با میانگین دمای حدود ۲۳ درجه سانتی گراد و ژوئن (خرداد) با میانگین دمای ۲۰/۱۳ درجه سانتی گراد گرمترین ماههای سال هستند. به این ترتیب از آبان تا فروردین به مدت شش ماه هوای سرد در منطقه حاکمیت دارد و منطقه بیش از سه ماه از سال دارای یخبندان است. تعداد روزهای یخبندان منطقه به طور متوسط حدود ۶۹ روز است. نگاره (۹) نقشه همدمای و نقشه فازی شده دما را نشان می دهد.

پوشش گیاهی و کاربری اراضی: در حوضه آبریز کلیبرچای، بخش عمده ای از پوشش زمین شامل مراتع می شود. در واقع مراتع با پوشش گیاهی متراکم تا ضعیف در حدود ۶۸ درصد از مساحت این حوضه را دربر می گیرند. مراتع با تراکم پوشش گیاهی متوسط تا کم عمدتاً در شمال حوضه پراکنده شده اند که دارای ارتفاع پایین بوده و نزولات جوی پایینی را نیز دریافت می کنند. بخش های قابل توجه از غرب و جنوب حوضه آبریز کلیبرچای جزء منطقه حفاظت شده ارسباران (قره داغ) به شمار می روند. همچنین بخش هایی از حوضه آبریز کلیبرچای جزئی از پارک ملی شده ارسباران است. در سطح حوضه آبریز کلیبرچای در داخل دره ها و

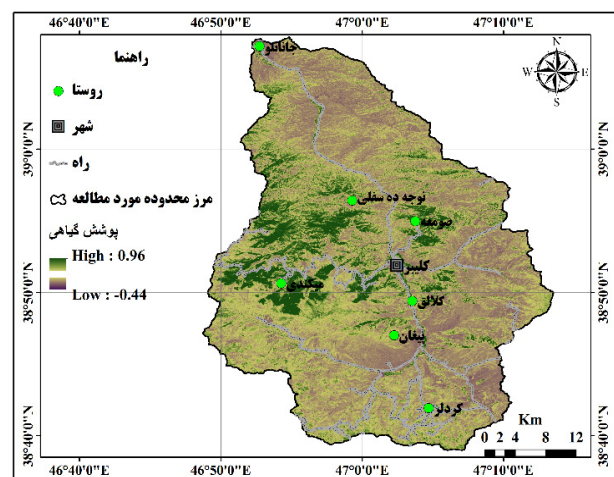
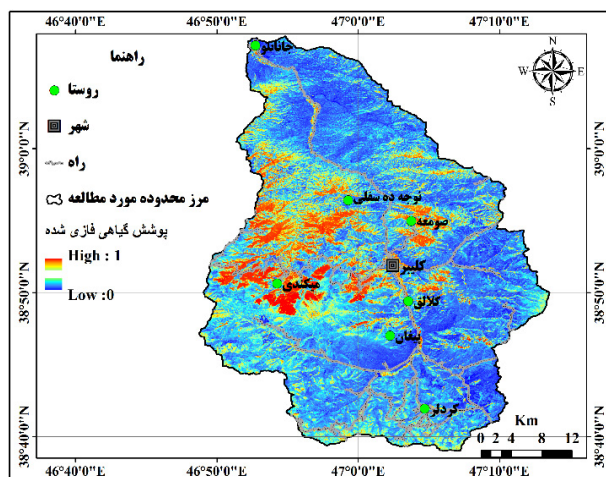
شیل، آهک و سنگ های آتشفشانی و گدازه های بازالتی در حدود ۸ درصد از سطح حوضه را پوشش می دهند که در قسمت های میانی و بالادست حوضه رخنمون یافته اند. نکته قابل توجه مربوط به رخنمون بسیار محدود سازندهای آبرفتی کواترنری در سطح حوضه کلیبرچای است. نگاره (۷) نقشه واحدهای لیتولوژی و نقشه فازی شده واحدهای لیتولوژی را نشان می دهد.

بارش: میانگین بارش سالانه منطقه در ایستگاه سینوپتیک کلیبر ۴۰۴/۳ میلی متر است. ماه های می (اردیبهشت)، آوریل (فروردین) و مارس (اسفند) به ترتیب با متوسط بارش ۷۵/۲، ۵۸/۹ و ۴۴/۹ میلی متر پربارش ترین ماه های سال در منطقه مطالعاتی هستند. در حدود ۴۲ درصد بارش های منطقه در فصل بهار نازل می شوند و بیش از ۲۲ درصد از کل بارش های سالانه منطقه مربوط به فصل پاییز است. بارش فراوان در اوایل فصل بهار با ذوب برف و یخ کوهستان ها همراه شده و در نتیجه، دبی رودخانه ها افزایش چشمگیری می یابد. بیشترین درصد بارش (۳۹/۳۴ درصد) در ارتفاعات بیش از ۴۰۰ متر رخ می دهد و کمترین درصد میزان بارش (۳/۰۵ درصد) در مناطق پست حوضه یعنی ۲۳۲-۳۰۰ متری حوضه می بارد. نگاره (۸) نقشه همبارش و نقشه فازی شده بارش را در حوضه کلیبرچای نشان می دهد.

دما: میانگین دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک کلیبر ۱۲/۴



نگاره ۹: نقشه هم دما و نقشه فازی شده دما در حوضه کلیبرچای

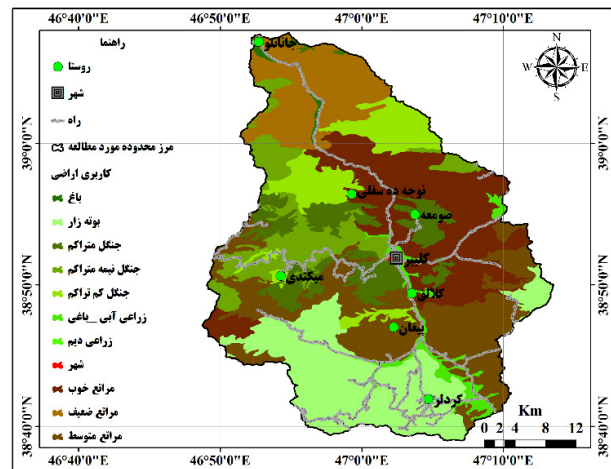
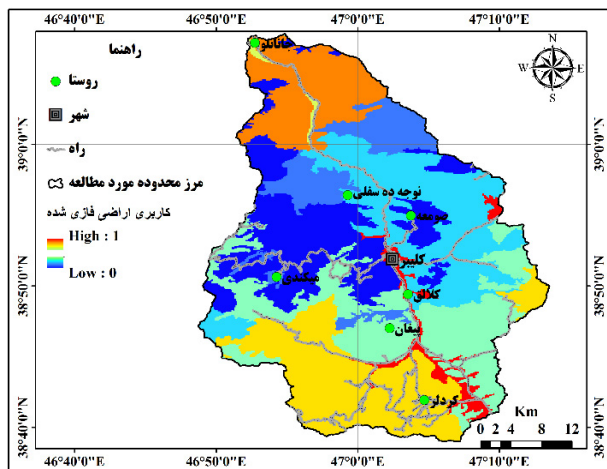


نگاره ۱۰: نقشه پوشش گیاهی و نقشه فازی شده پوشش گیاهی

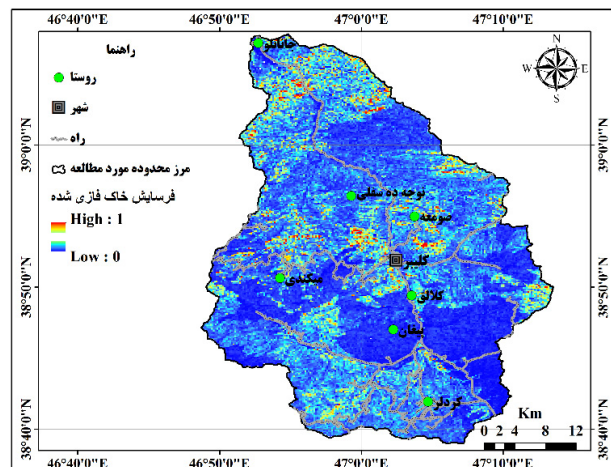
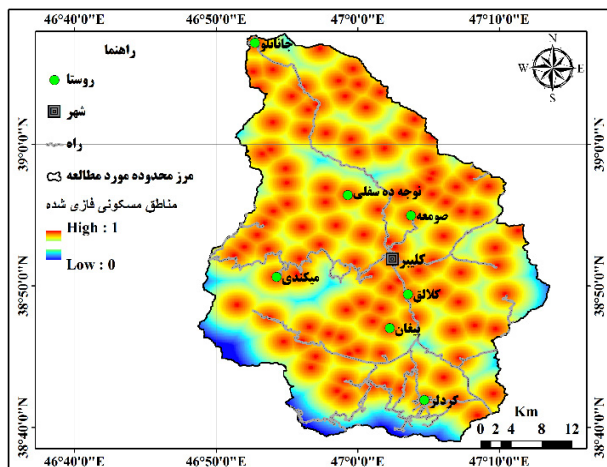
می‌شوند. نگاره (۱۱) نقشه کاربری زمین و نقشه فازی شده کاربری زمین را نشان می‌دهد. فرسایش: فرسایش یک فرآیند ترکیبی است که به عواملی مانند کاربری زمین، پوشش گیاهی، آب و هوا، توپوگرافی و غیره بستگی دارد. در صورت افزایش فرسایش خاک در حوضه‌های آبریز صدمات جبران ناپذیری در اکوسیستم آن‌ها رخ خواهد داد. نگاره (۱۲) نقشه فرسایش خاک فازی شده حوضه کلیبرچای را نشان می‌دهد. از دیگر معیارهای مورد استفاده فاصله از شهر و روستا (نگاره ۱۲)، فاصله از صنایع معادن و فاصله از جاده (نگاره ۱۳) هستند.

مجاورت آبراهه‌های اصلی فعالیت‌های کشاورزی نیز وجود دارد. نگاره (۱۰) نقشه پوشش گیاهی و نقشه فازی شده پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. در حوضه آبریز کلیبرچای مساحت مناطق جنگلی به حدود ۳۲۲ کیلومترمربع می‌رسد. یعنی بیش از ۲۷ درصد مساحت این حوضه شامل جنگل است که در این میان جنگل‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک به ترتیب در حدود ۱۲، ۱۱/۵ و ۳/۲ درصد سهم دارند. این مناطق عمدتاً در قسمت‌های میانی و مخصوصاً در غرب این حوضه پراکنده شده‌اند. همانطور که گفته شده در حوضه آبریز کلیبرچای، بخش عمده‌ای از پوشش زمین شامل مراتع

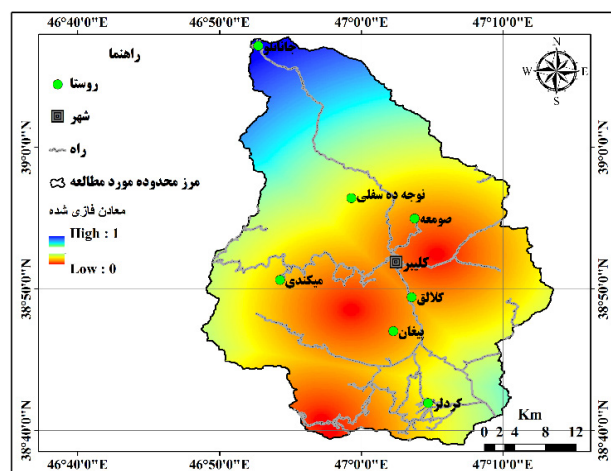
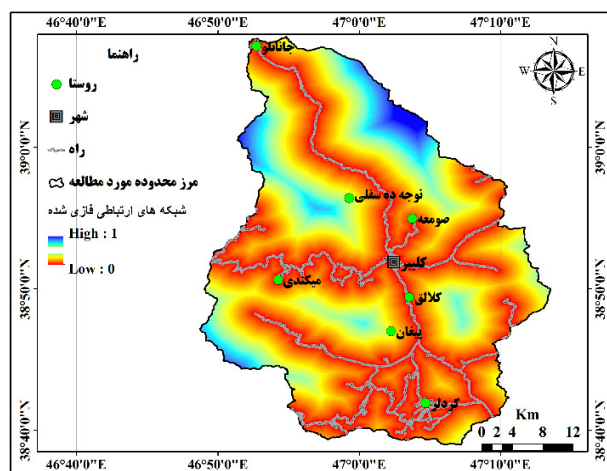
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
تحلیل مکانی آسیب پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلیرچای با ... / ۱۱۱



نگاره ۱۱: نقشه کاربری زمین و نقشه فازی شده کاربری زمین



نگاره ۱۲: نقشه فازی فرسایش خاک فازی شده و فاصله از شهر و روستا فازی شده



نگاره ۱۳: فاصله از صنایع و معادن و شبکه های ارتباطی فازی شده

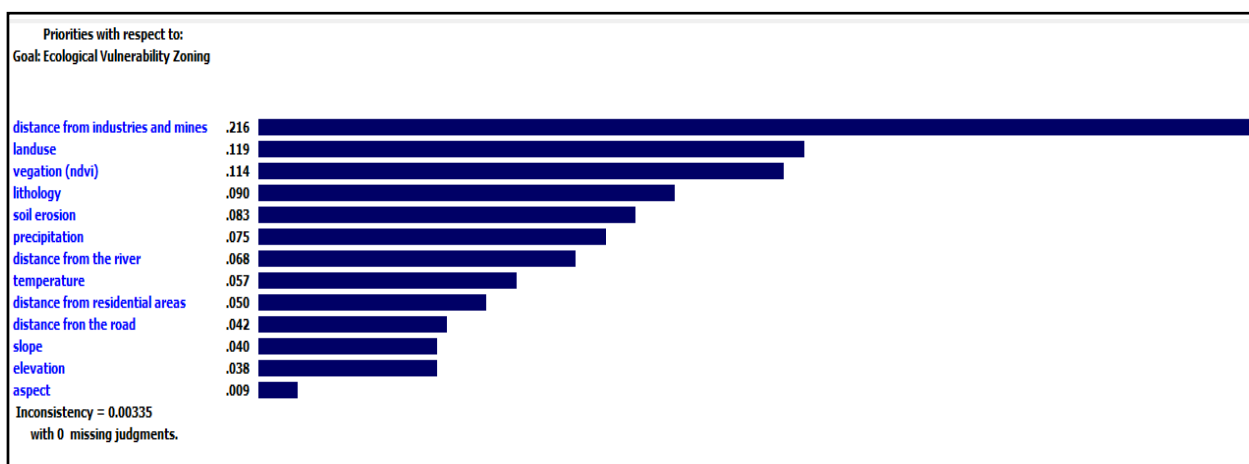
دومین و سومین معیار مهم در این ارزیابی به دست آمدند. پس از تفلیق زیرمعیارهای مدنظر در این پژوهش با استفاده از مدل های AHP و FUZZY نقشه نهایی آسیب پذیری اکولوژیکی حوضه آبریز کلیبرچای ترسیم شد (نگاره ۱۶).

براساس نتایج این پهنه بندی، بخش های میانی حوضه از آسیب پذیری بالایی برخوردار است. بخشی از مناطق با آسیب پذیری حوضه نیز در مناطق جنوبی دیده می شود. نتایج جدول (۲) نشان می دهد در حدود ۱۹/۷۷ درصد از مساحت این حوضه از آسیب پذیری بسیار زیاد اکولوژیکی برخوردار است. همچنین ۱۹/۹۳ درصد از مساحت حوضه دارای آسیب پذیری زیاد است. آسیب پذیری متوسط ۱۹/۶۸ درصد مساحت حوضه را دربرگرفته و آسیب پذیری کم

طبق مقایسات دودویی در پرسشنامه، میانگین مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها نسبت به پهنه بندی آسیب پذیری اکولوژیکی به دست آمده است. با توجه به میانگین به دست آمده از پرسشنامه به وسیله نرم افزار اکسپرت چویس (نگاره ۱۴)، اوزان برای هر معیار به دست آمده است که این اوزان در لایه های شیب فایل معیارها در نرم افزار Arc GIS ضرب شده و با روی هم گذاری نقشه ی نهایی به دست آمده است. براساس نتایج (نگاره ۱۵) زیرمعیار "فاصله از صنایع و معادن" با وزن ۰/۲۱۶ به عنوان مهم ترین پارامتر در ارزیابی آسیب پذیری اکولوژیکی حوضه کلیبرچای و معیار "جهت شیب" با وزن ۰/۰۰۹ کم اهمیت ترین پارامتر در این پژوهش شناسایی شدند. کاربری اراضی و پوشش گیاهی به ترتیب

	slope	elevation	aspect	temperatur	precipitatic	lithology	distance fr	soil erosior	landuse	vegation (n	distance fr	distance fr	distance fr
slope		2.0	7.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.0	2.0	6.0
elevation			2.0	2.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0
aspect				7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	27.0	7.0	7.0	7.0
temperature					3.0	6.0	5.0	7.0	7.0	6.75	5.0	3.0	7.0
precipitation						3.0	3.0	3.0	6.0	3.0	5.0	5.0	8.0
lithology							5.0	2.0	8.0	3.0	5.0	5.0	8.0
distance from the river								3.0	3.0	5.0	5.0	5.0	6.0
soil erosion									3.0	3.0	6.0	6.0	5.0
landuse										1.0	7.0	7.0	6.0
vegation (ndvi)											2.0	2.0	8.0
distance from the road												3.0	8.0
distance from residential areas													7.0
distance from industries and mines	Incon:0.0033												

نگاره ۱۴: ماتریس مدل سلسه مراتبی



نگاره ۱۵: وزن معیارها براساس مدل AHP با استفاده از نرم افزار EXPERT CHOICE

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مجله)
تحلیل مکانی آسیب پذیری اکولوژیکی در حوضه آبریز کلیبرچای با ... / ۱۱۳

مناطق با آسیب پذیری خیلی زیاد و زیاد در بخش های میانی حوضه کلیبرچای متمرکز شده است.

نتایج این پهنه بندی نشان داد ۲۰/۰۹ درصد حوضه کلیبرچای با آسیب پذیری خیلی زیاد و ۱۹/۹۴ درصد با آسیب پذیری زیاد مواجه است. در حدود ۱۹/۷۲ درصد دارای آسیب پذیری متوسط بوده و ۴۰/۲۵ درصد مساحت حوضه کلیبرچای که بیشتر بخش های غربی و شمالی حوضه را شامل می شود دارای آسیب پذیری کم و خیلی کم هست (جدول ۳). مقایسه طبقات آسیب پذیری هر دو روش مشابهت زیادی را نمایان می کنند. نگاره (۱۸) نیز همبستگی نتایج دو روش را ۰/۸۹ نشان می دهد.

جدول ۳: مساحت و درصد مساحت طبقات آسیب پذیری حوضه کلیبرچای با روش CRITIC

طبقات آسیب پذیری	درصد مساحت	مساحت (Km ²)
آسیب پذیری خیلی زیاد	۲۰/۰۹	۲۴۱/۱۴
آسیب پذیری زیاد	۱۹/۹۴	۲۳۹/۴۵
آسیب پذیری متوسط	۱۹/۷۲	۲۳۶/۷۲
آسیب پذیری کم	۱۹/۸	۲۳۷/۷۶
آسیب پذیری خیلی کم	۲۰/۴۵	۲۴۵/۵۱

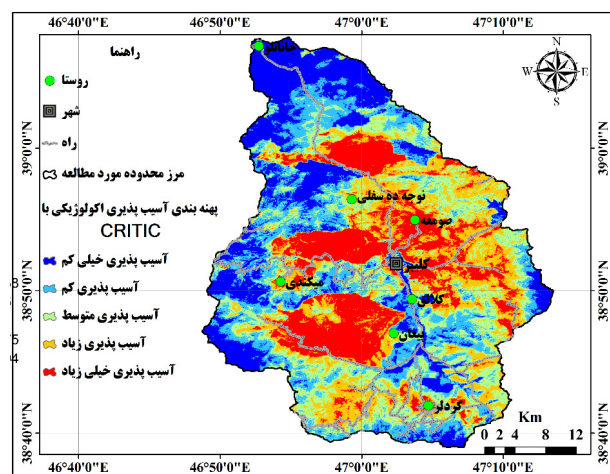
و خیلی کم که بیشتر بخش های شمالی و جنوبی حوضه را در بر می گیرند در حدود ۴۰/۶ درصد مساحت حوضه هستند. در واقع آسیب پذیری خیلی کم با ۲۰/۷۹ درصد بیشترین مساحت را دارد.

جدول ۲: مساحت و درصد مساحت طبقات آسیب پذیری حوضه کلیبرچای

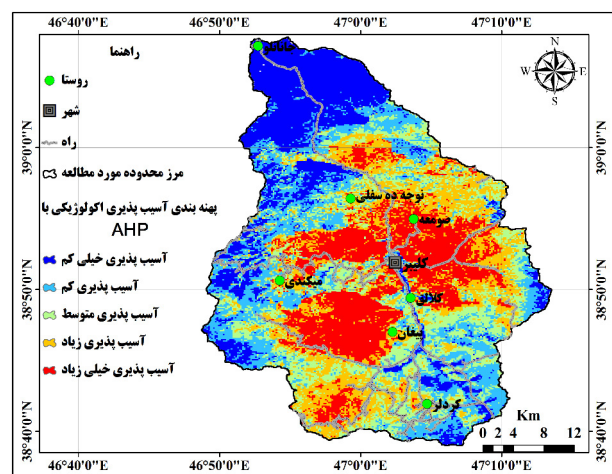
طبقات آسیب پذیری	درصد مساحت	مساحت (Km ²)
آسیب پذیری خیلی زیاد	۱۹/۲۶	۲۳۱/۲۷۶
آسیب پذیری زیاد	۱۹/۹۵	۲۳۹/۵۴
آسیب پذیری متوسط	۱۹/۰۵	۲۵۲/۷۴
آسیب پذیری کم	۱۹/۹۸	۲۳۹/۹۲
آسیب پذیری خیلی کم	۱۹/۷۴	۲۳۷/۰۸

اعتبارسنجی پهنه بندی آسیب پذیری اکولوژیکی حوضه کلیبرچای

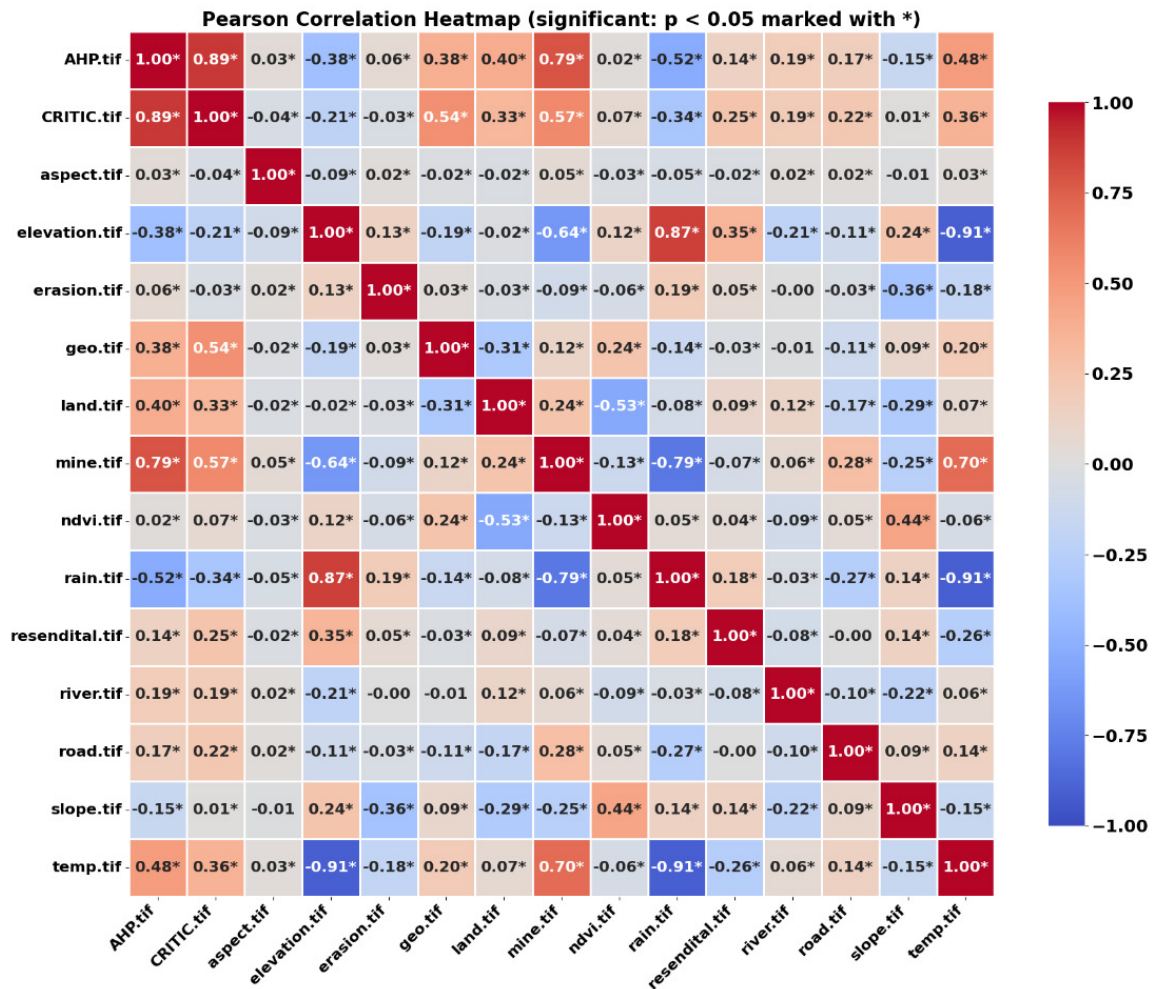
برای سنجش اعتبار نقشه پهنه بندی آسیب پذیری اکولوژیکی از روش CRITIC استفاده شد. به طوری که براساس همان پارامترها، نقشه پهنه بندی آسیب پذیری در حوضه کلیبرچای با روش CRITIC ترسیم (نگاره ۱۷) و نتایج آن با مدل AHP مقایسه شد. مطابق نتایج این پهنه بندی



نگاره ۱۷: نقشه پهنه بندی آسیب پذیری اکولوژیکی حوضه کلیبرچای با استفاده از مدل CRITIC



نگاره ۱۶: نقشه پهنه بندی آسیب پذیری اکولوژیکی حوضه کلیبرچای با استفاده از مدل AHP



نگاره ۱۸: نمودار ضریب همبستگی بین مدل‌های AHP و CRITIC و پارامترهای مورد استفاده

۴- نتیجه‌گیری

و روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy AHP) و سپس وزن عینی آن‌ها با روش CRITIC محاسبه شد. روش CRITIC با بهره‌گیری از انحراف معیار و همبستگی بین معیارها، امکان استخراج وزن عینی معیارها را فراهم می‌کند و می‌تواند مکمل وزن‌دهی ذهنی مبتنی بر نظر خبرگان (Fuzzy AHP) باشد. ضریب همبستگی این دو روش ۰/۸۹ به‌دست آمد که مشابهت زیاد نتایج مدل‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به تمرکز مناطق با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد در بخش میانی حوضه و نزدیکی به سکونتگاه‌های انسانی نتایج هر دو روش نشان داد که در آسیب‌پذیری اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه، عوامل انسانی نقش تأثیرگذارتری دارند.

یکی از اقدامات اساسی در برنامه‌ریزی مدیریتی و توسعه‌ای، در مقابله با محدودیت‌ها و تنگناهای منابع طبیعی به‌منظور توسعه مناطق، تعیین آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها است. حوضه آبریز کلیبرچای با ویژگی‌های طبیعی و پوشش گیاهی مناسب از مقاصد اکوتوریستی استان آذربایجان شرقی محسوب می‌شود و بخشی از مناطق حفاظت شده و پارک ملی ارسباران است، بنابراین سعی شد در این پژوهش آسیب‌پذیری اکولوژیکی و عوامل مؤثر در آن ارزیابی شود. دراین زمینه به‌منظور کاهش سوگیری و افزایش پایداری نتایج، ابتدا وزن ذهنی معیارها با استفاده از نظر خبرگان

تشکر و سپاسگزاری

پژوهشگران بر خود لازم می‌دانند که از تمامی مشارکت‌کنندگان در این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

- 1- Baheri, B., Dashti, S., Mokhtari, S. (2024). Analysis of Factors Affecting the Vulnerability of Arsbaran Protected Area and Development of Management Strategies Using the DPSIR Model, *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 12(4): 27-51. Doi: 10.22067/geoeh.2023.80676.1328 (In Persian)
- 2- Beroya-Eitner, M.A. (2016) Ecological vulnerability indicators. *Ecological Indicators* 60: 329–334.
- 3- Chen, Y.Z., He, L., Guan, Y.L., Lu, H.W., Li, J. (2017) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions and water-energy optimization for shale gas supply chain planning based on multi-level approach: Case study in Barnett, Marcellus, Fayetteville, and Haynesville shales. *Energy Convers. Manag.* 134, 382-398.
- 4- Darbandi, N., Pourmohammadi, M., Ghorbani, R. (2025). Investigating and evaluating the change of urban land use pattern with ecological footprint approach (Case study of Tabriz metropolis), *Journal of Geography and Planning*, 29(92): 21-40. Doi: 10.22034/gp.2023.55429.3103 (In Persian)
- 5- General Population and Housing Census (2016) Iran Statistics Center.
- 6- Gharachorlo, M., Esfandyari, F., Dalal Oghli, A. (2018) Study the role of geomorphologic parameters in distribution of vegetation cover using spatial regression analysis (case study, Arsbaran catchments: naposhtehcay, ilghinehcay and mardanqumcay). 18(63): 225-248. (In Persian)
- 7- He, L., Shen, J., Zhang, Y. (2018) Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management. *J. Environ. Manage.* 206,

این موضوع با نتایج پژوهش‌های وو و همکاران (۲۰۱۸) در دلتای رود زرد چین و طهماسب پور و دشتی (۱۴۰۴) در خراسان شمالی همخوانی دارد که فعالیت‌های انسانی فشار قابل توجهی بر محیط اکولوژیکی وارد می‌کند. همچنین نتایج نشان داد حضور و توسعه صنایع و معادن و تغییرات کاربری اراضی با ظرفیت و توان اکولوژیکی منطقه تناسب نداشته و کیفیت محیط اکولوژیکی را کاهش می‌دهد و در صورت تداوم و توسعه فعالیت‌ها در این مناطق، میزان آسیب‌پذیری افزایش خواهد یافت. در این زمینه نتایج پژوهش موسویان و همکاران (۱۳۹۹) در شهرستان طبس با نتایج این پژوهش همسو بوده و تأکید می‌شود مناطق با آسیب‌پذیری اکولوژیکی در اولویت اکتشاف و بهره‌برداری قرار نگیرند. از سوی دیگر تغییر کاربری اراضی و پوشش اراضی از عوامل مؤثر در این زمینه هستند. با انطباق نقشه آسیب‌پذیری با لایه کاربری زمین و پوشش گیاهی اراضی، معلوم می‌شود اغلب مناطق با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد با پوشش گیاهی کم تراکم و نیمه متراکم، مراتع متوسط و پهنه‌های زراعی همپوشانی دارند. این نتایج با مطالعات باهری و همکاران (۱۴۰۲) در منطقه حفاظت شده ارسباران منطبق هستند، به‌طوری‌که تخریب و تغییر کاربری زمین، جنگل زدایی، دامداری و دامپروری بیشترین آسیب را در منطقه وارد می‌کنند. واحدهای لیتولوژی و فرسایش خاک نیز از بااهمیت‌ترین عوامل طبیعی در زمینه آسیب‌پذیری اکولوژیکی در کلیبرچای هستند. به‌طوری‌که آبرفت‌های رودخانه‌ای و سیلابی، نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای، سازندهای مارن و سنگ آهک آرژیلی، مارن، سنگ آهک نازک لایه، ماسه سنگ توفی از واحدهای آسیب‌پذیر محسوب می‌شوند. به‌این وسیله، با شناسایی مناطق با آسیب‌پذیری بالا، می‌توان از اجرای پروژه‌های عمرانی و توسعه بیش از ظرفیت محیطی نواحی جلوگیری نموده و اجرای برنامه‌های عمرانی و توسعه‌ای را به سمت مناطق با آسیب‌پذیری کمتر هدایت کرد.

- 16- Mansouri, M., Badehian, Z., Maleknia, R., Ghobadi, M. (2024). Assessment of forest ecosystem vulnerability and prioritization of degradation factors of Dadabad region of Khorramabad. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (1), 1-22. DOI: 10.22069/JWFST.2024.21856.2042. (In Persian)
- 17- Moradpanah, M., Monavari, S.M., Shariat, S.M., Ghajar, I., Khan Mohammadi, M. (2020) Evaluation Estimating the severity of ecological vulnerability of coasts of the Caspian sea based on multi-criteria decision methods, *Journal of Marine Biology*, 12(2): 81-98. <http://jmb.ahvaz.iau.ir/article-1-838-en.htm>. (In Persian)
- 18- Mousavian, S.M.M. Vali, A.A. Mousavi, S.H. (2020) Assessing the Impact of Conceding Mines on the Vulnerability of Tabas Ecosystems, *Desert Management*, 15: 161-178. Doi: 10.22034/jdml.2020.44937 (In Persian)
- 19- Nguyen, T. T. X., Boneti, J., Rogers, K. & Woodroffe, C. D. (2016) Indicator-based assessment of climate change impacts on coasts: a review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean and Coastal Management*, 123 18-43.
- 20- Qiu, B.K., Li, H.L., Zhou, M., Zhang, L. (2015) Vulnerability of ecosystem services provisioning to urbanization: A case of China. *Ecological Indicators* 57: 505-513.
- 21- Rosstaei, Sh., Pirnazar, M., Hashemi Nasab, S.H., Mosavi Khojaabad, N. (2014). Assessing the ecological potential of Kalibar County for tourism development using GIS. The first scientific seminar on the attractions and repulsions of tourism in East Azerbaijan. Tabriz city. Iran.
- 22- Slajegheh, S., Jafari, H.R., Pourebrahim, Sh. (2020) Zoning of Ecological Vulnerability of Kerman Province to Achieve Sustainable Industrial Development Using AHP Technique, *Desert Ecosystem Engineering* 8(25): 97-111. Doi: 10.22052/deej.2018.7.25.49 (In Persian)
- 23- Song, Ch., Du, H. (2022) Spatial and Temporal Variations in the ecological Vulnerability of Northern China, *Hindawi*, 7232830, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/7232830>.
- 24- Tahmasebpour, H., Dashti, S. (2025) Vulnerability 1115-1125.
- 8- Heidari Masteali, S., Jabbarian Amiri, B., Alizade Shabani, A. (2015) Determination of ecological vulnerability in Torghabeh-Shandiz Township using objective vulnerability method, *Journal of Natural Environment*, 68(2): 213-223. Doi:10.22059/jne.2015.54949 (In Persian)
- 9- Hou, K., X.X. Li, and J. Zhang. (2015) GIS analysis of changes in ecological vulnerability using a SPCA model in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(4): 4292-4305.
- 10- Hu, X., Ma, Ch., Huang, P., Guo, X. (2021) Ecological vulnerability assessment based on AHP-PSR method and analysis of its single parameter sensitivity and spatial autocorrelation for ecological protection – A case of Weifang City, China. *Ecological Indicators*, 125: 1-11.
- 11- Jiang X, Guo X, Wu Y, Xu D, Liu Y, Yang Y and Lan G (2023), Ecological vulnerability assessment based on remote sensing ecological index (RSEI): A case of Zhongxian County, Chongqing. *Front. Environ. Sci.* 10:1074376: 1-14. doi: 10.3389/fenvs.2022.1074376.
- 12- Karakoulaki, M., Southgate, L., & Steiner, J. (2018). Critical perspectives on migration in the twenty-first century. E-International Relations Publishing.
- 13- Karami, F., Bayati Khatibi, M., Ghanbari, A., Roostamzadeh, H., Feyzizadeh, B. (2020) Investigating the relationship between geomorphological variables and vegetation distribution in the eastern Arasbaran region(Case study: Kaleibar chay and Saten Chay Basins), Final report of the research project, research affairs management, University of Tabriz. Iran (In Persian)
- 14- Khaleghi, S., mahdi Hosseinzadeh, M., Fatolah Atikandi, P. (2021). Simulation of Kaleibar Chai River Changes Using CAESAR Model, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(2): 165-178. Doi: 10.52547/jsaeh.8.2.165 (In Persian)
- 15- Liu, Y., Yang, S., Han, CH., Ni, W., Zhu, Y. (2020) Variability in Regional Ecological Vulnerability: A Case Study of Sichuan Province, China, *Int J Disaster Risk Sci*, 1-13.

Assessment in Sarigol National Park and Protected Area (North Khorasan Province, Iran), Environment and Interdisciplinary Development, Articles in Press, Accepted Manuscript, Available Online from 03 November 2025. <https://doi.org/10.22034/envj.2025.542658.1545> (In Persian)

25- Wu, C., Liu, G., Huang, C., Liu, Q., Guan, X. (2018) Ecological vulnerability assessment

26- based on fuzzy analytical method and Analytic hierarchy process in Yellow River

27- Delta. Int. J. Environ. Res. Public Health 15 (5), 855. doi:10.3390/ijerph15050855.

28- Xie, panelWenla., Zhao, Xuesheng., Fan, Deqin., Zhang, Jinyu., Wang, Jinghui. (2024) Assessing spatio-temporal characteristics and their driving factors of ecological vulnerability in the northwestern region of Liaoning Province (China), Ecological Indicators, 158: 111541, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111541>.

29- Xue, L.Q., Wang, J.; Wei, G.H. (2019) Dynamic Evaluation of the Ecological Vulnerability Based on PSR Modeling for the Tarim River Basin in Xinjiang. J. Hohai Univ. Nat. Sci., 47, 13–19.

COPYRIGHTS

©2026 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).



