Geographical planning of space quarterly journal

Online ISSN: 2538-4821

Journal Homepage: gps.gu.ac.ir

Assessment of the Geomorphodiversity of the Lut Desert

Mohsen Pourkhosravani [1], Sadegh Karimi [2], Zahra Dareh Kordi [3]

1. (Corresponding Author) *Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*
Email: pourkhosravani@uk.ac.ir
2. *Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*
Email: karimi.s.climatologist@uk.ac.ir
3. *Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*
Email: darehkordi@ens.uk.ac.ir

ARTICLEINFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received:
6 June 2024
Received in revised form:
27 August 2024
Accepted:
30 September 2024
Available online:
4 November 2024

Keywords:
Diversity,
complexity,
Geomorphodiversity,
GMI method,
Lut basin.

ABSTRACT

The assessment of the geomorphological characteristics of a territory through internal and external comparison, as well as their scientific and aesthetic value, is called geodiversity. Places that have high diversity will play an important role in the development of tourism and sustainable development of regions. The assessment of geodiversity is considered a fundamental step in the direction of geoconservation. In this regard, this research investigates the Lut basin's geodiversity. The current research is of applied type, which was done by descriptive and analytical method. For this purpose, the GmI method has been used. This index consists of the algebraic sum of five factors as geological diversity, drainage density diversity, roughness diversity, slope condition index diversity and landform classification diversity. The results show that the study area has a high value and position in terms of geomorphodiversity index in all indices. The old and new tectonic activities have created numerous landforms such as volcanic cones and basalt zones. On the other hand, the dominance of external processes in large parts of the basin has caused the formation of various landforms, such as the forms of wind erosion, yardang and sand dunes on a large scale. Thus, the region has a prominent position in terms of geodiversity and deserves the development of geotourism and geoconservation.

Citation: Pourkhosravani, M., Karimi, S., & Dareh Kordi, Z. (2024). A Assessment of the Geomorphodiversity of the Lut Desert. *Geographical planning of space quarterly journal, 14* (3), 63-78.
http://doi.org/10.30488/gps.2024.416494.3687

© The Author (s)
Publisher: Golestan University Press
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Diversity was first proposed in biological and environmental sciences, meaning diversity and equilibrium in a system. In the same sciences, other concepts were proposed under the title of complexity, stability, stability, dynamic equilibrium. A specific evaluation of the geomorphological features of a territory, by comparing them externally and internally and according to their scientific quality level, research scale and research goal, is called geomorphodiversity.

Geomorphodiversity is a function of landscape sensitivity and reaction to nonlinear and dynamic processes in different temporal and spatial scales. Areas with high geomorphodiversity can provide a wide range of services, including providers (production of goods and food), regulators (regulation of erosion), and supporters (land and water as a platform for human activities). At the regional or national level, they can also provide cultural services such as geotourism and landscape beauty, artistic inspiration, knowledge of understanding physical processes and the origin of landforms. All these services indicate the importance of areas with high geomorphodiversity. In this regard, this research tries to evaluate the geomorphodiversity of the Lut Basin.

Methodology

This research is applied and carried out by descriptive and analytical methods. For this purpose, the Geomorphological Diversity Index (GMI) has been used. This index was presented by Melelli et al. (2017). The GMA index consists of the algebraic sum of five diversity factors as, geology, drainage density, roughness, slope condition index and landform classification.

Results and discussion

Geology is one of the most critical factors affecting geomorphological diversity. In this regard, there is a great diversity in the geological formations of the Lut basin. So there are more than 253 petrological units in the basin level, which is a large number. The average slope in the study area is about 6.3%. In this regard, almost 68% of the area of Lot basin has a slope of less than 5%. Also, about 14% of the area of the basin has a slope of 5-10%, about 1% of the basin has a slope of 30-35% and 4% of it has a slope of more than 35%. The average height of the Lut basin is 1099 meters, its minimum height is 100 meters and its maximum height is 4461 meters (heights in the west of the basin). The standard deviation of the height is 544 meters and the range of height changes is 4361 meters. However, most of the basin has an altitude of less than 1000 meters. According to Dumarton's climate classification method, a significant part of the basin becomes a dry climate in the direction of the altitudes of the ultra-arid climate type. In this way, parts of the peripheral strip of the study basin are in the dry climate type, which include about 19% of the basin area. The semi-arid and Mediterranean climatic types correspond to the heights of the region, especially the heights of Kerman. In fact, the semi-humid climate types are limited to the highest parts of the Kerman highlands in the southwest of the basin. In general, about 79% of the area of Lut basin is located in the ultra-arid climate class.

Conclusion

Lut Basin is a unique region in Iran with high geological and geomorphological diversity, which has attracted the attention of researchers, geotourists and environmental managers. Although, at first glance, the climatic conditions of this basin indicate uniformity and lack of diversity in this basin, the topographical conditions and the performance of diverse and complex processes have led to the creation of diverse landscapes in this basin. The research results show that, in terms of the geomorphodiversity index, a large part of the studied area has a high value in each index. There are more than 253 lithological units in the region, the variety of roughness was prepared in the form of five classes. The variation factor of slope condition index (Scv) and the variation factor of landform classification (Lcv) have high positive values in relation to peaks and ridges.

Funding
There is no funding support.

Authors' Contribution
Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest
Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments
We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

مجله آمایش جغرافیایی فضا

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۱-۲۵۳۸

Journal Homepage: gps.gu.ac.ir

ارزیابی ژئومورفودایورسیتی حوضه لوت

محسن پورخسروانی [۱]، صادق کریمی [۲]، زهرا دره کردی [۳]

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. **Email:** pourkhosravani@uk.ac.ir

۲- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. **Email:** karimi.s.climatologist@uk.ac.ir

۳- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. **Email:** darehkordi@ens.uk.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۳/۱۷

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۷/۰۹

تاریخ چاپ:
۱۴۰۳/۰۸/۱۴

واژگان کلیدی:
تنوع،
پیچیدگی،
ژئومورفودایورسیتی،
روش GMI،
حوضه لوت.

چکیده

ارزیابی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی یک قلمرو از طریق مقایسه درونی و بیرونی و همچنین ارزش علمی و زیبایی‌شناختی آن‌ها ژئودایورسیتی نامیده می‌شود. ارزیابی ژئودایورسیتی گامی اساسی در جهت حفاظت زمین‌شناختی به شمار می‌رود. مکان‌هایی که از تنوع بالایی برخوردار باشند نقش مهمی در توسعه گردشگری و به‌تبع آن توسعه پایدار مناطق خواهند داشت. در این راستا این پژوهش سعی دارد ژئودایورسیتی حوضه لوت را موردبررسی قرار دهد. تحقیق حاضر از نوع کاربردی است که به روش توصیفی و تحلیلی انجام‌شده است. بدین منظور از روش GmI استفاده‌شده است. این شاخص مشتمل بر جمع جبری پنج فاکتور تنوع زمین‌شناسی، تنوع تراکم زهکشی، تنوع زبری ناهمواری، تنوع شاخص وضعیت شیب و تنوع طبقه‌بندی لندفرم می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد از نظر شاخص ژئومورفودایورسیتی در تمامی شاخص‌ها، منطقه مطالعاتی دارای ارزش و جایگاه بالایی است. فعالیت‌های کهن و جدید زمین‌ساختی باعث ایجاد لندفرم‌های متعدد نظیر مخروط‌های آتش‌فشانی و پهنه‌های بازالتی شده است. از سوی دیگر حاکمیت فرایندهای بیرونی در قسمت‌های وسیعی از حوضه باعث شکل‌گیری انواع لندفرم‌ها نظیر اشکال فرسایش بادی کلوت‌ها و تپه‌های ماسه‌ای در مقیاسی وسیع گردیده است. بدین ترتیب منطقه از نظر ژئودایورسیتی دارای جایگاه برجسته‌ای بوده و شایسته توسعه ژئوتوریسم و حفاظت زمین‌شناختی می‌باشد.

استناد: پورخسروانی، محسن؛ کریمی، صادق و دره کردی، زهرا. (۱۴۰۳). ارزیابی ژئومورفودایورسیتی حوضه لوت. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۴ (۳)، ۷۸-۶۳.

http://doi.org/10.30488/gps.2024.416494.3687

© نویسندگان

ناشر: انتشارات دانشگاه گلستان

مقدمه

سیستم ژئومورفیک عبارت از عملکرد نیروهای درونی و بیرونی است که باعث شکل‌گیری لندفرم‌ها می‌شود. تنوع و پیچیدگی جزو ویژگی‌های ذاتی سیستم‌های ژئومورفیک به شمار می‌رود. مفهوم تنوع[1] نخستین بار در علوم زیست‌شناسی و محیط‌شناسی مطرح شد و هدف از آن نشان دادن گوناگونی و فراوانی در یک سیستم بود. در حوزه علوم مذکور مفاهیم دیگری تحت عنوان پیچیدگی[2]، پایداری[3]، ثبات، تعادل دینامیک[4] و... مطرح گردید. باید توجه داشت که، یکی از حالت‌های مطلوب سیستم، مفهوم پایداری است. برای آنکه سیستم بتواند به پایداری کلی دست یابد، می‌بایست قادر باشد در طی دوره زمانی مشخص، بقا و کارکرد خود را به‌واسطه تغییر و سازگاری با شرایط جدید، حفظ کرده و دوره کامل حیات مورد انتظار خود را تکمیل کند. در حوزه علوم محیطی پایداری به عوامل گوناگونی از جمله تنوع و پیچیدگی سازمانی نسبت داده می‌شود (محمدرضایی، ١٣٨٨: ١٦٥). به‌عبارت‌دیگر تنوع در سازمان یک زیست‌بوم عاملی مهم در وحدت و یکپارچگی، پایداری، ثبات و تاب‌آوری آن در برابر تغییرات بیرونی است. به‌طوری‌که مفاهیمی چون ثبات، پایداری، تاب‌آوری در دانش اکولوژی همه مدیون دو مفهوم تنوع و پیچیدگی یک سیستم است. در حیطه علم گردشگری و بخصوص ژئومورفوتوریسم، مفاهیم تنوع و پیچیدگی نقش مهمی در شکل‌گیری ژئومورفوسایت‌ها دارند که پایه و اساس ژئومورفوتوریسم را تشکیل می‌دهند. باید توجه داشت که ژئومورفوتوریسم شاخه‌ای از گردشگری مبتنی بر طبیعت است که، ضمن حفظ هویت جغرافیایی یک مکان، پدیده‌های ژئومورفیک موجود در آن را با رویکرد زیبایی‌شناختی به گردشگران ارائه می‌نماید. از طرفی محافظت از این پدیده‌ها و کمک به توسعه مناطق از اهداف اصلی این شاخه از گردشگری می‌باشد. به‌طورکلی ژئودایورسیتی پایه‌هایی را برای تأمین مایحتاج زندگی جوامع مدرن فراهم کرده و منابع طبیعی، از قبیل سنگ‌های ساختمانی، سنگ‌دانه‌ها، معادن، گاز طبیعی، نفت و آب‌های زیرزمینی را در اختیار انسان قرار می‌دهد. همچنین بر مکان زندگی ما اثر می‌گذارد و چشم‌اندازهای ارزشمند و خاص اطرافمان را افزایش می‌دهد (شایگان یگانه و همکاران، ١٣٩٩: ٧٧). بر همین اساس و با توجه به اهمیت موضوع پژوهش‌های مختلفی در این رابطه صورت گرفته است. از جمله، مقصودی و همکاران (١٣٩٨) به بررسی ژئومورفودایورسیتی آتش‌فشان دماوند و پیرامون آن با استفاده از شاخص GmI پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق با ارزش ژئومورفودایورسیتی زیاد بین ٢٠ الی ٢٥ عمدتاً در ضلع شرقی دماوند و در امتداد دره هراز قرار دارد. قهرودی تالی و همکاران (١۴٠١) کاربرد ژئودایورسیتی در مدیریت محیط را در یک مطالعه موردی (حوضه بالادست سد کرج) تبیین نمودند. روش تحقیق مبتنی بر کاربرد شاخص‌های ژئودایورستی و استفاده از روش گونه‌شناسی بوده است. در روش گونه‌شناسی ژئوسایت‌ها از نظر داشتن ارزش ذاتی، شاخص بودن در ژئودایورسیتی و ابعاد زمین‌شناسی مورد شناسایی و ارزیابی قرارگرفته است. نتایج حاصله از شاخص‌ها بیانگر این موضوع بود که حوضه سد کرج از ژئودایورسیتی بالایی برخوردار است و رابطه نزدیکی با لندفرم‌ها دارد. باتجربه و همکاران (١۴٠١) ضمن شناسایی نقاط داغ ژئودایورسیتی حوضه آبریز رودخانه درون‌نگر با استفاده از تجربه و تحلیل‌های GIS و شاخص ژئودایورسیتی نتیجه می‌گیرند که، ١١ درصد از منطقه از تنوع زمین‌شناختی بالایی برخوردار است. همچنین حجازی و همکاران (١۴٠٢) در پژوهشی تحت عنوان، بررسی توانمندی‌های ژئوتوریسمی ژئوسایت‌های شهرستان بوکان نتیجه می‌گیرند که، شهرستان بوکان دارای پتانسیل بالا برای توسعه ژئوتوریسم در همه ابعاد می‌باشد. در تحقیق مذکور از رویکرد کیفی برای شناخت ژئوسایت‌ها و از مدل کامنسکو برای ارزیابی کمی ژئوسایت‌ها استفاده‌شده

1. Ddiversity
2. Complexity
3. Sustainability, Steady state
4. Dynamic equilibrium

است. حاتمی نژاد و همکاران (۱۴۰۰) ضمن تحلیل تحولات فضایی بخش مرکزی شهر تهران بر اساس نظریه پیچیدگی بیان می‌کنند که، در بستر زمان رابطه معکوسی بین افزایش پیچیدگی سیستم شهری بخش مرکزی شهر تهران و برنامه‌ریزی تحولات آن وجود داشته است. کریسپ[1] و همکاران (۲۰۲۱) روندهای روش‌شناختی و فضایی را در ارزیابی ژئودایورسیتی کمی در جغرافیای طبیعی را ارزیابی کردند. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی تنوع ژئومورفولوژیکی از یک روش رتبه‌بندی در بستر GIS استفاده‌شده است. بریل‌ها[2] و همکاران (۲۰۱۸) در چارچوب یک مقاله مروری ضمن تبیین مفهوم ژئودایورسیتی بیان می‌کنند که اهمیت آن به‌این‌علت است که طبیعت زنده و غیر زنده عناصر اصلی پایداری جامعه بشری هستند. پاردو–لگازکویزا[3] و همکاران (۲۰۲۲) تنوع جغرافیایی سازندهای کارستیک در پارک ملی استان مالاگا اسپانیا را مورد ارزیابی قرار دادند. پژوهش مذکور متکی بر تهیه نقشه‌های ژئومورفیک با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک بالا و کارهای میدانی بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ویژگی آموزشی سازندهای کارستیک منطقه حاکی از افزایش آگاهی در مورد میراث جغرافیایی و دارایی‌های آموزشی جغرافیایی بوده است. سینگه و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی تحت عنوان، ارزیابی پتانسیل و محدودیت منطقه جامارکوتر از دیدگاه میراث جغرافیایی، ژئوپارک و ژئوتوریسم نتیجه می‌گیرند که، این منطقه دارای حداکثر پتانسیل با ویژگی‌های کالبدی و فرهنگی مناسب است. در این تحقیق مجموعه‌ای از داده‌های کمّی و کیفی، مانند نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، مورداستفاده قرارگرفته و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل SWOT تجزیه‌وتحلیل شده‌اند. در سیستم‌های محیطی هر چه پیچیدگی آن بیشتر باشد، بین عوامل مختلف روابط دادوستدی بیشتر و متنوع‌تری صورت خواهد گرفت و درنتیجه آن سیستم در برابر تغییراتی که به آن تحمیل می‌شود آسیب کمتری دیده و یک ویژگی در آن افزایش زیادی پیدا می‌کند که اصطلاحاً به آن ثبات[4]گفته می‌شود. به تعبیری پیچیدگی و تنوع را می‌توان عامل ثبات یعنی مانایی (اینرسی)[5] پایایی[6] و رزیلیینس[7] هر سیستم تلقی نمود (محمودی محمدآبادی، ۱۳۹۴). بر همین اساس و با توجه به ویژگی‌های محیطی اثر جهانی بیابان لوت که توسط یونسکو به ثبت جهانی رسیده، و گرم‌ترین نقطه دنیا را در دل خود جای‌داده است، سؤال اساسی این تحقیق این‌گونه مطرح می‌گردد که با توجه به شرایط محیطی بیابان لوت وضعیت ژئودایورسیتی این حوضه چگونه است؟ مطالعه ژئومورفودایورسیتی مناطق مختلف نقش مهمی در ارزیابی پتانسیل‌های گردشگری و همچنین حفاظت از میراث زمین‌شناختی آن‌ها داشته و موجبات توسعه پایدار آن‌ها را فراهم می‌سازد. در همین راستا این پژوهش سعی دارد ژئومورفودایورسیتی حوضه لوت را ارزیابی و تحلیل نماید.

مبانی نظری

درک مفهوم ژئودایورسیتی در ارتباط با مفاهیمی مانند میراث طبیعی، میراث زمین‌شناختی، ژئوپارک‌ها و حفاظت زمین‌شناختی امکان‌پذیر است که جزء مهم‌ترین مؤلفه‌های ژئوتوریسم محسوب می‌شوند. در سال ۲۰۰۶، یونسکو تعریفی

1. Crisp et al
2. Brilha et al
3. Pardo-Igúzquiza and et.al

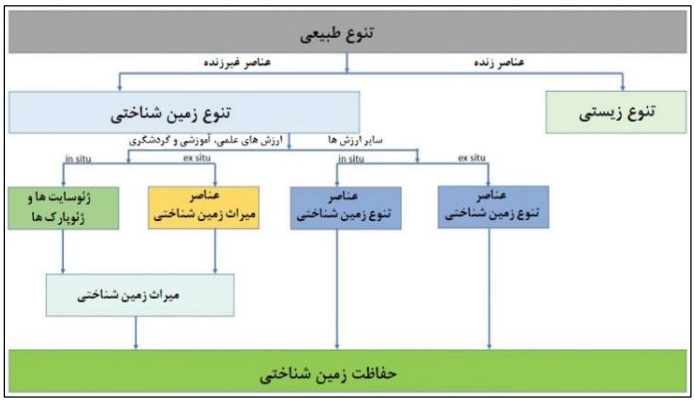
۴. (Stability) توانایی یک سیستم در بازگشت به حالت نرمال بعد از بروز آشفتگی‌هاست.

۵. (inertia) اینرسی یا ماندگاری مقاومتی است که یک سیستم در برابر آشفتگی‌ها از خود نشان می‌دهد.

۶. (constancy) پایایی توانایی یک سیستم در حفظ حدود آستانه هویتی انست

۷. (resilience) توانایی پذیرش تغییرات ناشی از فشارهای بیرونی یک سیستم و تبدیل آن به انرژی برای بازگشت به حالت اول.

بدین شرح از «میـراث طبیعـی»[1] ارائه نمود: عوارض طبیعی شامل عناصر فیزیکی و زیست‌شناختی که از نظر زیبایی‌شناختی یا علمی ارزش جهانی برجسته‌ای دارند؛ عناصر زمین‌شناسی و فیزیوگرافی و زیستگاه‌های گونه‌های گیاهی و جانوری در معرض خطر که از نظر علمی یا حفاظتی دارای جایگاه برجسته جهانی می‌باشند؛ مناطق طبیعی خاص و ارزشمند که ازنقطه‌نظر علم، حفاظت یا زیبایی طبیعی ارزش جهانی برجسته‌ای دارند (Chakraborty et al.,2018:1-2). «میراث زمین‌شناسی- ژئومورفولوژی» مجموعه‌ای از ژئوتوپ‌ها، نهشته‌ها، فرم‌ها و فرآیندهایی است که تاریخ زمین‌شناسی هر منطقه را در برمی‌گیرد و حفظ این میراث دارای بار فرهنگی است. هدف میراث زمین‌شناختی برجسته کردن تنوع سیاره ما برای نشان دادن اهمیت عوامل زنده و غیر زنده است (درینیا و همکاران، ۲۰۲۲: ۶). زمین‌شناسان و ژئومورفولوژیست‌ها در دهه ۱۹۹۰ از اصطلاح «تنوع زمین‌شناختی» برای توصیف تنوع در طبیعت غیرزنده استفاده کردند (Gray,2004:5). این مفهوم شامل شاخص‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، خاک و زیرشاخص‌هایی مانند انرژی و زبری سطح، مواد زمینی (فسیل، سنگ‌شناسی، رسوبات سطحی)، میکرولندفرم‌ها، لندفرم‌های فرسایشی یا تراکمی، فرایندها، عناصر هیدرولوژی و همچنین رده و زیررده خاک می‌باشد (Serrano & Ruiz-Flaño,2007:143). به بیان ساده‌تر، تنوع پدیده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی در یک منطقه مشخص می‌باشد (Erikstad,2013). تنوع زمین‌شناختی یکی از اجزای حیاتی سیستم زمین است و به‌عنوان تنوع غیرزنده سطح زمین توصیف می‌شود. تنوع زمین‌شناختی، همراه با تنوع زیستی، تنوع طبیعی سیاره ما را شکل می‌دهد (Drinia et al.,2022:7). پیوند بین میراث زمین‌شناسی و تنوع زمین‌شناختی بسیار پیچیده بوده و همه عناصری که در ایجاد و توسعه زمین نقش دارند را در برمی‌گیرد (شکل ۱). ژئومورفودایورسیتی[2] به‌عنوان ارزیابی خاص از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی یک قلمرو، با مقایسه آن‌ها به‌صورت بیرونی (مقایسه با مناطق دیگر) و درونی (تنوع و پیچیدگی لندفرم‌ها در منطقه) و با توجه به سطح کیفیت علمی آن‌ها، مقیاس تحقیق و هدف پژوهش تعریف‌شده است (Panizza,2009:37). ژئومورفودایورسیتی تابعی از حساسیت چشم‌انداز و واکنش در برابر فرآیندهای غیرخطی و دینامیک در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است (Thomas,2012:83). در همین رابطه ژئومورفولوژی دینامیک (پیچیدگی فرآیندها، ناهمسانی اقلیمی، تغییرات مداوم فرآیندهای سطحی)، پیشینه لندفرم‌ها (تنوع کرونولوژیکی، پیشینه تکتونیک و اقیم) و میراث زمین‌شناختی (تنوع لندفرم‌ها، تنوع پتروگرافیک، تنوع تکتونیک) اجزای اصلی ژئومورفودایورسیتی را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱. چارچوب مفهومی تنوع زمین‌شناختی، میراث زمین‌شناسی، و حفاظت زمین‌شناختی (درینیا و همکاران، ۲۰۲۲: ۷).

1 . Natural heritage
2. Geomorphodiversity

حفاظت زمین‌شناختی[1] یک زمینه علمی نسبتاً جدید است که در دهه‌های اخیر به دلیل اهمیت روزافزون حفاظت و استفاده پایدار از منابع محیط‌زیست مطرح‌شده است (درینیا و همکاران، ۲۰۲۲: ۷). حفاظت زمین‌شناختی به‌عنوان «اقدامی است که با هدف حفظ و تقویت عوارض، فرآیندها، مکان‌ها و سایت‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و خاک انجام می‌شود. در رابطه با اقدامات مربوطه می‌توان به فعالیت‌های تبلیغاتی، افزایش آگاهی، ثبت و نجات داده‌ها یا نمونه‌هایی از عوارض و مکان‌های در معرض خطر تخریب یا صدمه اشاره نمود» (Prosser,2013). طبق ادبیات بین‌المللی، حفاظت زمین‌شناختی حوزه وسیعی است که با دغدغه‌هایی مانند مدیریت زیست‌محیطی، مخاطرات زمین‌شناختی و توسعه پایدار سروکار دارد. بنابراین، روشن است که حفاظت زمین‌شناختی در ابتدا بخشی از تنوع زمین‌شناختی همراه با تنوع زیستی است که با هم دو مؤلفه اصلی محیط‌زیست را تشکیل می‌دهند (درینیا و همکاران، ۲۰۲۲: ۷). ایجاد یک طبقه‌بندی و ارزیابی و تحلیل جامع از ژئومورفودایورسیتی و به‌تبع آن ژئوکانزرویشن نقش مهمی در آگاهی بخشی، محافظت و توسعه جوامع انسانی دارد. همچنین آگاهی و شناخت مفهوم ژئومورفودایورسیتی نقش مهمی در مطالعات اکولوژیکی، محیطی و کاربری اراضی و درک ارتباط آن با توسعه انسانی دارد (Gary,2018). در نهایت، ژئوپارک‌ها مناطقی هستند که در آن میراث طبیعی مبتنی بر ویژگی‌های زمین‌شناسی یا ژئومورفولوژیکی است؛ بااین‌حال، صِرف داشتن نشانه‌های مهم زمین‌شناسی برای تعریف یک منطقه به‌عنوان یک ژئوپارک کافی نیست. برای اینکه منطقه موردنظر با موفقیت به‌عنوان یک ژئوپارک شناخته شود، باید الگویی برای توسعه پایدار به‌واسطه ارتقای منحصربه‌فرد بودن زمین‌شناسی/ژئومورفولوژیکی آن باشد (اعلامیه شیمابارا[2] تصویب‌شده در پنجمین کنفرانس بین‌المللی یونسکو در مورد ژئوپارک‌ها در سال ۲۰۱۲).

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی است که با روش توصیفی تحلیلی انجام‌شده است. بدین منظور تنوع ژئومورفولوژیکی یا ژئومورفودایورسیتی حوضه آبریز لوت بر اساس شاخص GMI مورد ارزیابی قرارگرفته است. شاخص تنوع ژئومورفولوژیکی یا ژئومورفودایورسیتی (GmI) توسط ملهلی[3] و همکاران (۲۰۱۷) ارائه گردیده است. این شاخص مشتمل بر جمع جبری پنج فاکتور است. فاکتورهای مذکور بیانگر شبکه‌های پارامترهای مختلف ناهمواری‌های سطح زمین می‌باشند. معادله شاخص GmI به شرح زیر است:

$$GmI = Geov + Ddv + Rgv + Spv + Lcv$$ رابطه (۱)

در این رابطه: GmI: شاخص ژئومورفودایورسیتی، Geov: فاکتور تنوع زمین‌شناسی، Ddv: فاکتور تنوع تراکم زهکشی، Rgv: فاکتور تنوع زبری ناهمواری، Spv: فاکتور تنوع شاخص وضعیت شیب، Lcv: فاکتور تنوع طبقه‌بندی لندفرم می‌باشد.

تنوع (V) در این فرمول به پنج طبقه V1 (خیلی کم)، V2 (کم)، V3 (متوسط)، V4 (زیاد) و V5 (خیلی زیاد) طبقه‌بندی‌شده است. برای تهیه هر یک از لایه‌های مذکور از داده‌هایی به شرح زیر استفاده به عمل آمد:

– فاکتور تنوع زمین‌شناسی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد.

1. geoconservation
2. Shimabara
3. Melhelli

– فاکتور تنوع تراکم زهکشی منطقه با استفاده از تصویر مدل رقومی منطقه (DEM) مربوط به ماهواره استر تهیه شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از ابزار هیدرولوژی نرم‌افزار ArcGIS شبکه‌های زهکشی حوضه آبریز لوت استخراج شد. سپس با استفاده از دستور تراکم خط نرم‌افزار مذکور نسبت به تهیه لایه تراکم زهکشی اقدام گردید.

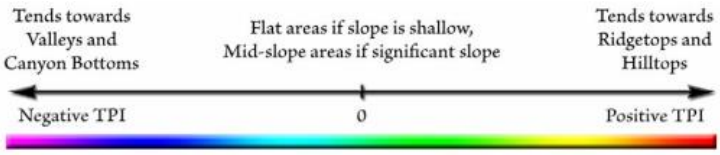
– زبری ناهمواری با استفاده از تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه در بستر نرم‌افزار SAGAGIS تهیه شد. نقشه مذکور به محیط نرم‌افزار ArcGIS منتقل‌شده و تنوع زبری ناهمواری با استفاده از دستور مربوطه تهیه گردید.

– شاخص وضعیت شیب و لندفرم‌های منطقه نیز با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط نرم‌افزار SAGAGIS تهیه شد. نرم‌افزار مذکور برای استخراج انواع شاخص‌های ژئومورفومتری از کارایی بالایی برخوردار بوده و امکانات گسترده‌ای را در اختیار قرار می‌دهد.

– طبقه‌بندی ارائه‌شده توسط ویس[1] (۲۰۰۱) و جنس[2] (۲۰۰۶) برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها در منطقه مطالعاتی مورداستفاده قرار گرفت. در این روش، از شاخص موقعیت یا وضعیت توپوگرافیک[3]یا TPI استفاده می‌شود و بر اساس آن، ده نوع لندفرم طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۱). شاخص موقعیت توپوگرافیک (TPI) ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاعی را با ارتفاع هر یک از همسایه‌های مشخص در اطراف آن مقایسه می‌کند (ویس، ۲۰۰۱). طبق رابطه (۲)، ارتفاع میانگین محلی از مقدار ارتفاع در مرکز سلول محلی کسر می‌شود (سیف، ۲۰۱۴: ۳۳–۳۹):

رابطه (۲)
$$TPI_i = Z_0 - \frac{\sum_{1-n} Z_n}{n}$$

که در آن: Z0 = ارتفاع نقطه مدل موردبررسی، Zn = ارتفاع شبکه[4](گرید) در داخل پنجره محلی و n = تعداد کل نقاط پیرامون درنظر گرفته‌شده در بررسی می‌باشد. مقادیر مثبت TPI نقاطی را نشان می‌دهد که نسبت به میانگین پنجره محلی بزرگ‌تر هستند (مانند خط‌الرأس‌ها). مقادیر منفی TPI نقاطی را نشان می‌دهد که پایین‌تر هستند (مانند خط‌القعرها). مناطق مستوی (شیب نزدیک به صفر) و یا مناطقی که شیب آن‌ها ثابت است (مناطقی که شیب نقطه به میزان زیادی بزرگ‌تر از صفر است)، مقادیر بالای مثبت در ارتباط با قله‌ها و خط‌الرأس‌ها می‌باشند، دارای TPI نزدیک به صفر می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲. مقادیر شاخص موقعیت توپوگرافیک و نوع لندفر

جدول ۱. طبقه‌بندی لندفرم بر اساس TPI

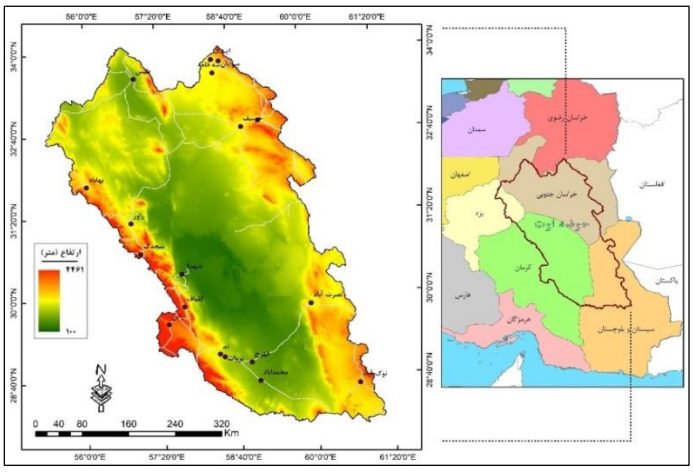
کلاس	توصیف
کانیون‌ها، آبراهه‌های عمیقاً حفرشده	همسایگی کوچک: Zo ≤ −۱؛ همسایگی بزرگ: Zo ≤ −۱
زهکش‌های دامنه‌های میانی، دره‌های کم‌عمق	همسایگی کوچک: Zo ≤ −۱؛ همسایگی بزرگ: −۱ < Zo < ۱
زهکش‌های مرتفع، سرچشمه‌ها	همسایگی کوچک: Zo ≤ −۱؛ همسایگی بزرگ: Zo ≥ ۱
دره‌های U شکل	همسایگی کوچک: −۱ < Zo < ۱؛ همسایگی بزرگ: Zo ≤ −۱
دشت‌های کوچک	همسایگی کوچک: −۱ < Zo < ۱؛ همسایگی بزرگ: Zo < −۱؛ شیب ≤ ۵°

1. Weiss
2. Jenness
3. Topographic Position Index (TPI)
4 . grid

دامنه‌های باز (فراخ)	همسایگی کوچک: $-1 < Zo < 1$؛ همسایگی بزرگ: $-1 < Zo < 1$؛ شیب $< 5^{\circ}$
دامنه‌های فوقانی، مزاها	همسایگی کوچک: $-1 < Zo < 1$؛ همسایگی بزرگ: $Zo \geq 1$
ستیغ‌های محلی/ تپه‌های موجود در دره‌ها	همسایگی کوچک: $Zo \geq 1$؛ همسایگی بزرگ: $Zo \leq -1$
ستیغ‌های میانی، تپه‌های کوچک موجود در دشت‌ها	همسایگی کوچک: $Zo \geq 1$؛ همسایگی بزرگ: $-1 < Zo < 1$
قله کوه‌ها، ستیغ‌های مرتفع	همسایگی کوچک: $Zo \geq 1$؛ همسایگی بزرگ: $Zo \geq 1$

محدوده موردمطالعه

حوضه آبریز لوت، به‌عنوان یکی از حوضه‌های بسته ایران، در محدوده، ۲۹ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی قرارگرفته است. منطقه مطالعاتی یکی از زیر حوضه‌های بزرگ حوضه آبریز فلات مرکزی ایران به شمار می‌رود که در محدوده استان‌های خراسان جنوبی، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان واقع‌شده است. حوضه لوت یکی از خشک‌ترین و کم بارش‌ترین مناطق ایران محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که میزان بارندگی سالانه دشت لوت کمتر از ۵۰ میلی‌متر است و احتمال دارد حتی برای چند سال متوالی هیچ بارندگی صورت نگیرد (کلینسلی، ۱۳۸۱: ۲۳). بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن بخش عمده‌ای (حدود ۷۵ درصد) از حوضه آبریز لوت دارای اقلیمی فراخشک می‌باشد. با توجه به منحنی‌های همبارش منطقه (ارائه‌شده توسط سازمان منابع طبیعی کشور) میانگین بارش سالانه در پهنه‌های مذکور کمتر از ۷۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه بین ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد متغیر است. استیلای پرفشار جنب حاره و قرارگیری در موقعیت بادپناهی مهم‌ترین نقش را در بروز خشکی شدید در سطح حوضه مطالعاتی بر عهده دارد. در جهت ارتفاعات منطقه تیپ اقلیم فراخشک به اقلیم خشک تبدیل می‌شود. بدین ترتیب، بخش‌هایی از نوار پیرامونی حوضه مطالعاتی در تیپ اقلیمی خشک قرار می‌گیرند که حدود ۱۹ درصد محدوده حوضه را شامل می‌شوند. این امر در ارتباط مستقیم با عامل ارتفاع می‌باشد. تیپ اقلیمی نیمه‌خشک مساحت بسیار محدودی از حوضه لوت را به خود اختصاص داده‌اند و منطبق بر پیکره کوهستان‌های مرتفع منطقه، مخصوصاً ارتفاعات کرمان، می‌باشند (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت منطقه موردمطالعه

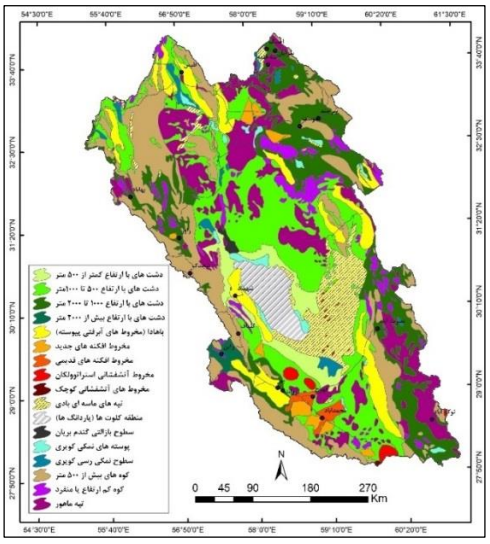
بیابان لوت بخشی از حوضه آبریز لوت می‌باشد که در سال ۱۳۹۵ به‌عنوان نخستین اثر (میراث) طبیعی ایران در فهرست میراث جهانی یونسکو به ثبت رسید. محدوده بیابان لوت برای ثبت در میراث جهانی یونسکو بالغ بر ۴۰ هزار کیلومترمربع می‌باشد. وجود بلندترین کلوت‌های جهان در قسمت شرقی کلوت‌ها، وجود طولانی‌ترین کلوت‌های جهان،

وجود گرم‌ترین نقطه جهان با بیش از ۷۰/۷ درجه سانتی‌گراد، وجود یکی از بلندترین نبکاهای جهان و وجود بلندترین تپه‌های ماسه‌ای جهان در ریگ یلان در شرق بیابان لوت از مهم‌ترین ویژگی‌های منحصربه‌فرد این منطقه است. بدین ترتیب، منطقه مطالعاتی از نظر ژئومورفولوژی و ژئوتوریسم حائز اهمیت زیادی بوده و شایسته بررسی از ابعاد متعدد است.

شکل ٤. کلوت‌های بیابان لوت

شکل ٥. نبکا در بیابان لوت

در شکل (۶) نقشه ژئومورفولوژی حوضه آبریز لوت ارائه‌شده که اقتباسی از نقشه ژئومورفولوژی ایران (موسسه جغرافیا) می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث تغییراتی در نقشه مذکور اعمال‌شده است. پیرامون حوضه لوت توسط ناهمواری‌هایی با ارتفاع متفاوت احاطه‌شده است. در این میان، ارتفاعات کرمان از حجم و ارتفاع بیشتری برخوردار می‌باشند. پایکوه‌های ارتفاعات مشرف به حوضه لوت توسط مخروط‌افکنه‌های بزرگ و کوچکی پوشیده شده که در بسیاری از قسمت‌ها تشکیل باهادهای گسترده‌ای را داده‌اند. در نیمه جنوبی حوضه، کلوت‌ها (یاردانگ‌ها) و تپه‌های ماسه‌ای در مقیاسی وسیع تشکیل‌شده‌اند. به دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی، مخروط‌های جدید در بستر و یا مجاورت مخروط‌افکنه‌های قدیمی شکل‌گرفته‌اند.



شکل ٦. نقشه ژئومورفولوژی حوضه لوت

یافته‌ها

فاکتور تنوع زمین‌شناسی (Geov)

زمین‌شناسی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در تنوع ژئومورفولوژیکی می‌باشد. انواع سنگ‌های آذرین و آتش‌فشانی،

سنگ‌های دگرگونی، انواع سنگ‌آهک، انواع ماسه‌سنگ، کنگلومراهای متنوع، رسوبات و تراس‌های آبرفتی، ماسه‌های بادی، فلات‌های رسی و پهنه‌های نمکی از مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه هستند (جدول ۲).

جدول ۲. نوع واحدهای زمین‌شناسی حوضه لوت

عنوان	واحد	عنوان	واحد	عنوان	واحد
ریولیت، سنگ‌های آتش‌فشانی	Edvb	ریولیت	Pldsv	افیولیت و ماس سنگ	Jph
شیل، مارن، سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتش‌فشانی	Efv	سنگ‌آهک، شیل و ماسه‌سنگ	TRn4	توف و شیل	Ek
سرپانتینیت	sr	سنگ‌آهک اوربیتولین دار	Ktzl	شیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک	Sn
سنگ‌های آتش‌فشانی	Qvc	تپه ماسه‌ای	Qs,d	ماسه‌سنگ، شیل، سنگ‌های کربناته	Jh
سنگ‌های آتش‌فشانی	Mv	دیاباز	db	توف‌های آندزیتی	OMat
رسوبات آبرفتی	Qft2	دولومیت، سنگ‌آهک، شیل	pC-Cs	سنگ‌آهک	Pel
سیلت، ژیپس، ماسه‌سنگ	Olm,s,c	گابرو، سنگ‌آهک	Kupl	سنگ‌آهک	Je
شیل، کنگلومرا و ماسه‌سنگ	Msc	پیروکسن	px	سنگ‌های کربناته	Qm
مارن قرمز، ماسه‌سنگ و کنگلومرا	Mur	تراس‌های دریاچه‌ای	Qmt	شیل	TRs
شیل و ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک	OMssh	کنگلومرآ، ماسه‌سنگ، مارن	OMrb	شیل و ماسه‌سنگ	Jbg
شیل قرمز، سنگ‌آهک، سنگ‌های آتش‌فشانی	Eslv	بازالت	Mav	آندزیت و سنگ‌های آتش‌فشانی	Jd.avs
هارزبورگیت	hz	توف، ماسه‌سنگ و سیلتستون	Mvs	ماسه‌سنگ قرمز، شیل و سنگ‌آهک	Pd
کنگلومرا، ماسه‌سنگ	PlQc	سنگ‌آهک، شیل، بازالت، آندزیت	om3	سنگ‌های پرمین	P
کنگلومرا، ماسه‌سنگ	Plc	سنگ‌های کرتاسه	K	مارن، ماسه‌سنگ	Murm
گابرو	gb	سنگ مرمر	mb	سنگ‌آهک و مارن	Jupl
ژیپس	Jugy	شیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک	K2shm	آندزیت	PAEavs
دولومیت، کوارتز، شیل و سنگ‌آهک	Cd	مارن، سنگ‌آهک	K1-2lm	فلات رسی	Qcf
دیوریت	Pz1di	کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سیلت	Oc	کنگلومرا و ماسه‌سنگ	OMc
سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، مارن	K1m	سنگ‌آهک	K2l	فلیش، شیل، سنگ‌آهک و کنگلومرا	Kuf
سنگ‌های اسپلیتی	sp	ایگنمبریت، توف	EOt	شیل و ماسه‌سنگ	Kufsh
گابرو، دیوریت	om1	سنگ‌آهک	Jel	گرانیت و گرانودیوریت	pCgr
گابرو	OMgb	آندزیت، داسیت	Jdav	گنیس و گرانیت	pCgn
تراس‌های آبرفتی	Qft1	سنگ‌های دگرگونی، میکا، آندالوزیت	h	سنگ‌های کرتاسه	Kl
ماسه‌سنگ، شی، سیلت، مارن و سنگ‌آهک	Ekv3	شیل‌های خاکستری، ماسه‌سنگ کوارتزیتی	pCk	بازالت و آندزیت	ba
تپه‌های ماسه‌ای	Qs	چرت قرمز	Jr	بازالت	K1bv
کنگومرای قرمز و ماسه‌سنگ	Mc	سنگ‌های آتش‌فشانی	pCrr	دریاچه نمکی	Qsl
ملانژهای تکتونیکی، سنگ‌آهک، شیل، چرت، سنگ‌های رسوبی	tm	گرانیت و گرانودیوریت	Olgr	رسوبات آبرفتی	Qal
شیل و توف	E2sht	دولومیت، سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ	pC-Cd	ماسه‌سنگ	Jss
بازالت و سنگ‌های آتش‌فشانی	Qbv	کوارتزیت، دولومیت، ژیپس	Dp	سنگ‌های دگرگونی شده	pCmt2
گرانیت و شیل	Jugr	تراس‌های دریاچه‌ای رسوبات ریزدانه و رسوبات دریاچه‌ای	PlQm	سنگ‌آهک	E1l
ریولیت	L.E-Odsv	فیلیش، ماسه‌سنگ، شیل، سنگ‌آهک	E1-2f	گرانیت و گرانودیوریت	OMgr-di
سنگ‌های کرتاسه فوقانی	Ku	گنیس گرانیتی	Jugn	مارن، سنگ‌آهک	E1m
ماسه‌سنگ، شی، سنگ‌آهک	KPef	سنگ‌آهک، شیل و مارن	Db-sh	افیولیت	PeEph
تراورتن	Qtr	ریولیت	EOdsv	دیوریت	pCdi
سنگ‌آهک، مارن، شیل، ژیپس	DCkh	ملانژ رسوبی	sm1	گرانیت	pgr

در مرحله بعدی ارزش تنوع لایه زمین‌شناسی با استفاده از ابزار تابع کانونی در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. ارزش لایه رستری حاصله بین ۱ (کمترین شرایط پاسخ توپوگرافیکی) تا ۱۰ (بیشترین شرایط پاسخ توپوگرافیکی) متغیر می‌باشد (شکل ۷).

فاکتور تنوع تراکم زهکشی (Ddv)

تراکم زهکشی جزو متغیرهای هیدروژئومورفولوژیکی به شمار می‌رود که بیان‌کننده میزان توزیع شبکه آبراهه‌ای در واحد مساحت حوضه آبریز می‌باشد. تراکم زهکشی تأثیر مهمی بر روی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز دارد. برای تهیه لایه مذکور ابتدا شبکه آبراهه‌ای حوضه مطالعاتی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) و با کاربست ابزار هیدرولوژی نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. سپس تراکم زهکشی حوضه مطالعاتی با بهره‌گیری از ابزار تراکم[1] حاصل شد. در نهایت، تنوع تراکم زهکشی با استفاده از ابزار تابع کانونی در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. لایه نهایی با استفاده از روش شکست طبیعی (روش بهینه‌سازی جنکس) به ۵ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۸). بهینه‌سازی جنکس یک روش خوشه‌بندی داده است که چیدمان بهینه مقادیر را در کلاس‌های مختلف تعیین می‌کند. این روش به دنبال پیدا کردن حداقل انحراف میانگین از میانگین کلاس است، درحالی‌که انحراف هر کلاس را از میانگین‌های سایر کلاس‌ها حداکثر می‌سازد (Jenks,1967:189). بنابراین، واریانس داخل کلاس‌ها را کاهش داده و واریانس بین کلاس‌ها را حداکثر می‌سازد.

فاکتور زبری و تنوع ناهمواری (Rgv)

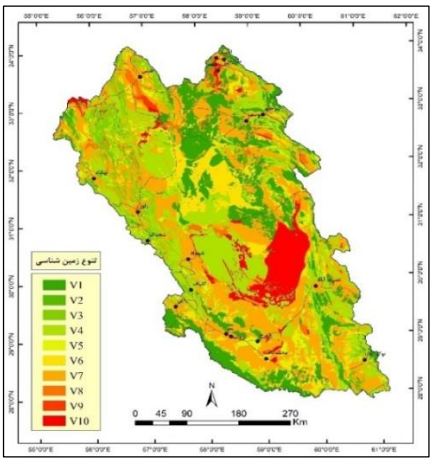
محاسبه یک سطح توپوگرافیک نامنظم، زبری ناهمواری نامیده می‌شود (Hani et al.,2011:185). مقادیر بالای فاکتور زبری مربوط به مناطقی است که از نظر زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی ناهمگن هستند. به‌طور مثال ارتفاعات دارای قلل و دره‌های متوالی و سطوح ناهمواری خشن از فاکتور زبری بیشتری برخوردار هستند (Melelli,2014:9)؛ استخراج فاکتور زبری ناهمواری با اندازه سلولی ۲۵ × ۲۵ متر با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)۳۰ متر صورت گرفته است. مساحت هر سلول با توجه به ارتفاع سلول به همراه ارتفاعات ۸ سلول مجاور محاسبه شد (جنس، ۲۰۰۶: ۱۳). فضای سه‌بعدی از نقاط مرکزی هر سلول شروع می‌شود و به ۹ ستون با ارتفاع مناسب با ارزش ارتفاعی هر سلول می‌رسد. سپس فاصله اقلیدسی، در یک فضای سه‌بعدی، بین نقاط مرکز سلول کانونی و نقاط مرکزی هر یک از هشت سلول اطراف محاسبه شد. در نهایت، تنوع زبری ناهمواری در قالب پنج کلاس تهیه شد (شکل ۹).

فاکتور تنوع شاخص وضعیت شیب (Scv) و فاکتور تنوع طبقه‌بندی لندفرم (Lcv)

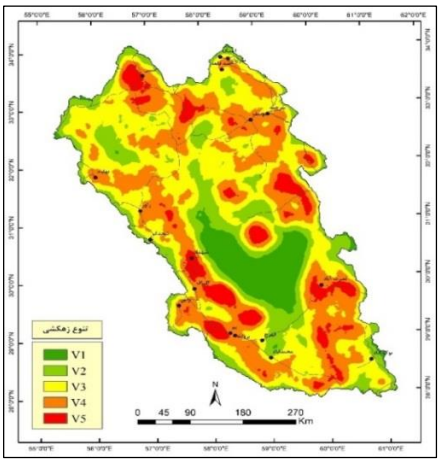
دو شاخص وضعیت شیب (Scv) و لندفرم (Lcv) در ارتباط با یکدیگر بوده و نشان‌دهنده وضعیت شیب سطح زمین و لندفرم‌های موجود می‌باشند. تنوع بیشتر وضعیت شیب در ارتباط با ناهمواری‌های پیرامون و کلوت‌های نیمه جنوبی حوضه می‌باشد. بخش‌های قابل‌توجهی از حوضه مطالعاتی دارای شیب ملایم و هموار بوده و درنتیجه از نظر وضعیت شیب دارای تنوع زیادی نیستند. بااین‌حال، حوضه از وسعت زیادی برخوردار بوده و درنتیجه، پهنه‌های قابل‌توجهی از نظر پستی‌وبلندی و شیب سطح زمین دارای تنوع زیادی بوده که در نقشه مربوطه نیز منعکس‌شده است (شکل ۱۰). در رابطه با تنوع لندفرم‌ها نیز می‌توان گفت بخش‌های قابل‌توجهی از حوضه منطبق بر واحد دشت‌های هموار بوده که باعث

1. Density

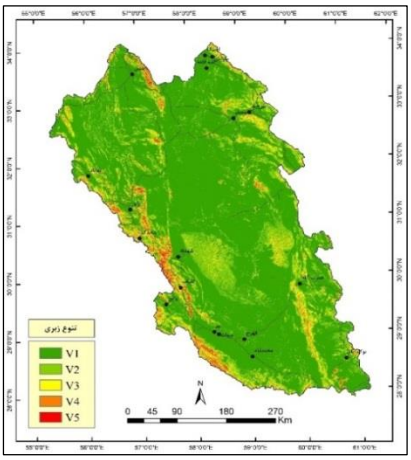
کاهش تنوع در این قسمت‌ها می‌شود؛ بااین‌حال، وجود ارتفاعات پیرامون حوضه و همچنین واحد کلوت‌ها و تپه‌های ماسه‌ای با مورفولوژی ناهموار باعث گردیده است که وضعیت حوضه از نظر تنوع لندفرم‌ها نیز مطلوب باشد (شکل ۱۱).



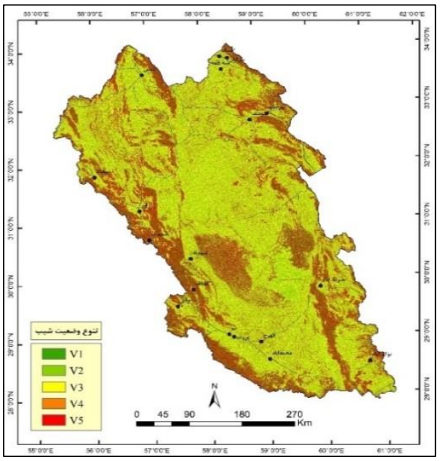
شکل ۷. تنوع زمین‌شناسی (Geov) حوضه لوت



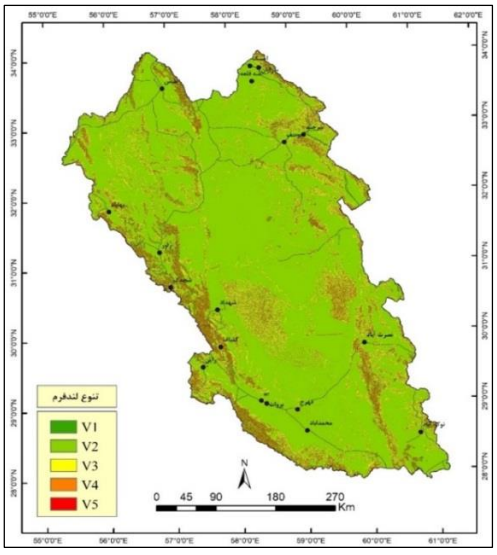
شکل ۸. تنوع تراکم زهکشی (Ddv) حوضه لوت



شکل ۹. تنوع زبری ناهمواری (Rgv) حوضه لوت

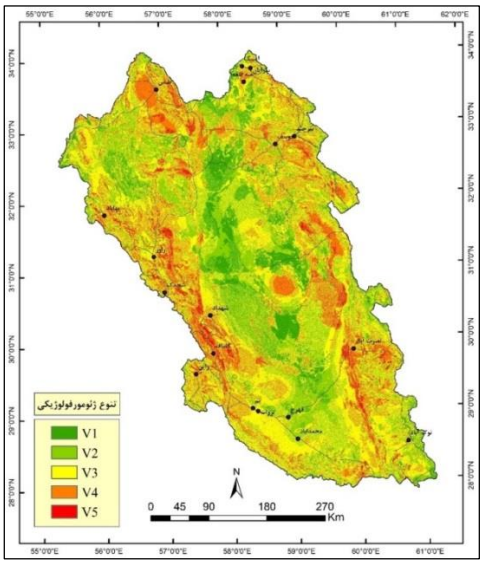


شکل ۱۰. تنوع شاخص وضعیت شیب (Scv)

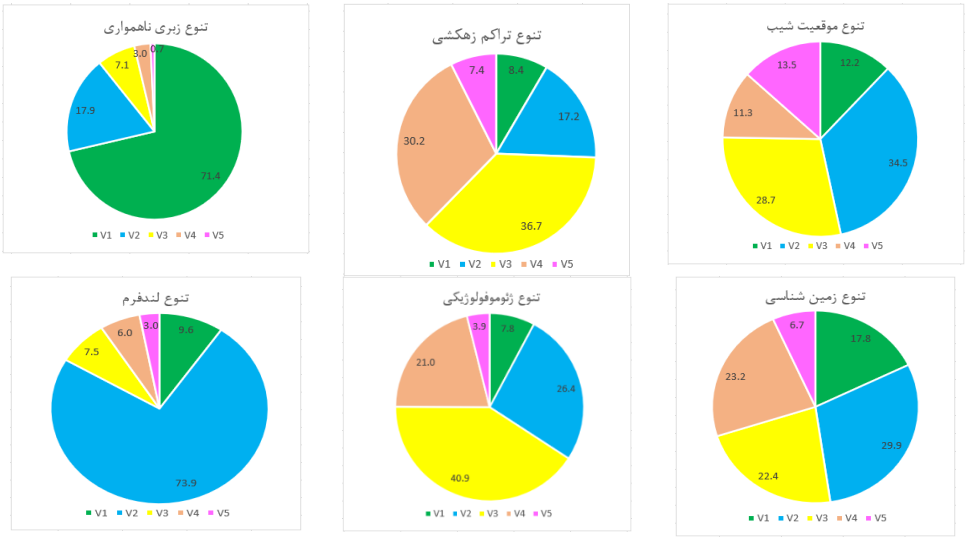


شکل ۱۱. تنوع لندفرم (Lcv) حوضه لوت

در نهایت لایه‌های پنج‌گانه مذکور (با ارزش‌های در دامنه ۱ تا ۵) از طریق جمع جبری ترکیب‌شده و لایه تنوع ژئومورفولوژیکی حوضه مطالعاتی حاصل گردید. ارزش لایه نهایی در دامنه بین ۵ تا ۲۳ قرار گرفت که با استفاده از روش شکست طبیعی (روش جنکس) به ۵ گروه طبقه‌بندی شد (شکل ۱۲). درصد مساحت تنوع عوامل مؤثر در ژئومورفودایورسیتی حوضه لوت در شکل (۱۳) نشان داده‌شده است.



شکل ۱۲. تنوع ژئومورفولوژیکی یا ژئومورفودایورسیتی حوضه لوت



شکل ۱۳. درصد مساحت تنوع عوامل مؤثر در ژئومورفودایورسیتی منطقه موردمطالعه

بحث

ژئومورفودایورسیتی (تنوع زمین‌ریخت‌شناسی) ویژگی از چشم‌انداز به شمار می‌رود که در ارتباط با تنوع و ناهمگونی لندفرم‌های سطح زمین است. مکان‌هایی که از تنوع زمین‌ریخت‌شناسی بالایی برخوردار باشند نقش مهمی در توسعه گردشگری و به‌تبع آن توسعه پایدار مناطق خواهند داشت. حوزه لوت از جمله پدیده‌های طبیعی ایران می‌باشد که به علت ویژگی‌های منحصربه‌فرد به‌عنوان دومین اثر طبیعی ایران ثبت جهانی شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در

عین منحصربه‌فرد بودن این حوزه تنوع و تکثر از ویژگی‌های مهم آن می‌باشد. به‌طوری‌که انواع مختلفی از سازندهای زمین‌شناسی از جمله، سنگ‌های آذرین تا سنگ‌های رسوبی سیمانی مانند کنگلومرا و ماسه‌سنگ، رسوبی تبخیری مانند سنگ‌آهک، انواع سازندهای دگرگونی، تا رسوبات آبرفتی و پهنه‌های رسی وجود دارد در این حوزه وجود دارند. همچنین حوضه لوت از نظر وضعیت یا موقعیت شیب دارای بیشترین تنوع و از نظر شاخص زبری ناهمواری دارای کم‌ترین تنوع می‌باشد. نقشه نهایی تنوع ژئومورفولوژیکی (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که حوضه لوت دارای تنوع ژئومورفولوژیکی قابل‌توجهی می‌باشد. که در تطابق با نتایج پژوهش‌های سایر محققین (باتجربه و همکاران ۱۴۰۱، رستگار ۱۴۰۱، قهرودی تالی و همکاران، ۱۴۰۱، مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸) می‌باشد. در این رابطه می‌توان گفت که وسعت زیاد حوضه و فعالیت فرایندهای مختلف ژئومورفیک باعث ایجاد لندفرم‌های متعددی شده است. بخشی از لندفرم‌ها در ارتباط با فعالیت نیروهای درونی زمین می‌باشند. در این رابطه می‌توان به فعالیت‌های نئوتکتونیکی اشاره نمود که مخصوصاً در قسمت‌های پایکوه‌های مشرف به دشت لوت باعث ایجاد لندفرم‌های متعدد از قبیل پرتگاه‌های گسلی، دست‌کاری مخروط‌افکنه‌های قدیمی و شکل‌گیری مخروط‌های جدید شده‌اند. بخش قابل‌توجهی از لندفرم‌ها نیز حاصل حاکمیت فرایندهای ژئومورفیک بیرونی بوده که باعث شکل‌گیری لندفرم‌های منحصربه‌فردی مانند کلوت‌ها، تپه‌های ماسه‌ای و نبکاها شده‌اند. بدین ترتیب، با اینکه در پهنه‌هایی همگنی در اشکال ژئومورفولوژیکی دیده می‌شود اما وجود لندفرم‌های دیگر در مجاورت پهنه‌های مذکور باعث افزایش قابل‌توجه در تنوع ژئومورفولوژیگی شده است. در این رابطه می‌توان به منطقه کلوت‌های نیمه جنوبی حوضه اشاره نمود که در مجاورت آن‌ها لندفرم‌های متعددی نظیر تپه‌های ماسه‌ای گسترده، مخروط‌افکنه‌های بزرگ و کوچک، اشکال مرتبط با نمکزارها و کویرها، مخروط‌های آتش‌فشانی و پهنه بازالتی گندم بریان قرارگرفته‌اند.

نتیجه‌گیری

حوضه لوت منطقه‌ای منحصربه‌فرد در ایران با تنوع زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی بالاست که موردتوجه محققان، ژئوتوریست‌ها و مدیران محیط‌زیست قرارگرفته است. اگرچه در نگاه اول شرایط اقلیمی این حوضه حاکی از یکنواختی و عدم تنوع در این حوضه است، اما شرایط توپوگرافیک و عملکرد فرآیندهای متنوع و پیچیده منجر به خلق چشم‌اندازهای متنوع در این حوضه شده است. به‌طوری‌که نتایج پژوهش نشان می‌دهد که، از نظر شاخص ژئومورفودایورسیتی در تک‌تک شاخص‌ها بیشتر منطقه موردمطالعه دارای ارزش بالا و تنوع ژئومورفولوژیکی زیاد می‌باشد. در سطح منطقه بالغ بر ۲۵۳ واحد سنگ‌شناسی وجود دارد، سختی متفاوت این واحدهای سنگ‌شناسی و عملکرد متفاوت آن‌ها در برابر نیروهای فرسایشی منجر به خلق انواع مختلفی از لندفرم‌ها در این منطقه شده است. میانگین شیب در سطح حوضه لوت حدود ۶/۳ درصد است. بدین ترتیب منطقه مطالعاتی در مقیاسی وسیع شامل اراضی کم شیب و هموار است. بااین‌حال، وجود اراضی پرشیب و تپه‌ماهوری در پایکوه‌ها، وجود حصارهای کوهستانی پیرامون حوضه، مخروط‌های آتش‌فشانی متعدد و همچنین حضور کلوت‌ها (یاردانگ‌ها) و تپه‌های ماسه‌ای در نیمه جنوبی حوضه باعث شده است که در قسمت‌هایی از حوضه، زبری ناهمواری دارای تنوع قابل‌توجهی باشد. این امر در مورد شاخص‌های وضعیت شیب و لندفرم‌ها نیز صادق می‌باشد. بدین ترتیب هر یک از قسمت‌های حوضه مطالعاتی از نظر لندفرم‌های مشخصی دارای ارزش و جایگاه منحصربه‌فردی می‌باشند. در نیمه جنوبی حوضه غلبه با فرایندهای فرسایش بادی می‌باشد که لندفرم‌های منحصربه‌فرد کلوت‌ها و تپه‌های ماسه‌ای را در مقیاسی وسیع ایجاد نموده است. در این قسمت‌ها همچنین فرایندهای نو

زمین‌ساختی و رودخانه‌ای نیز اشکال متعددی را به وجود آورده‌اند که موجب ارتقای ژئودایورسیتی منطقه شده‌اند. در نیمه شمالی حوضه حاکمیت با فرایندهای رودخانه‌ای و زمین‌ساختی می‌باشد که به‌صورت مخروط‌افکنه‌ها، تراس‌های رودخانه‌ای، لندفرم‌های آتش‌فشانی، پهنه‌های بازالتی و پهنه‌های کویری نمود یافته‌اند. در نهایت باید گفت که شاخص تنوع ژئومورفولوژیکی (GmI) ارزیابی سریع و جامعی از وضعیت تنوع اشکال ژئومورفولوژیکی در مقیاس‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد که از نظر ژئوتوریسم حائز اهمیت زیادی می‌باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه‌کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

باتجربه، ملیحه؛ حسین‌زاده، سیدحسین؛ محسنی رودپشتی، ندا و لکزیان، امیر. (۱۴۰۱). شناسایی نقاط داغ ژئودایورسیتی حوضه آبریز رودخانه درون‌نگر با استفاده از یک روش کمی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، ۱۱ (۳)، ۱۰۲-۸۸.
Doi:10.22034/gmpj.2022.334069.1340.

حاتمی نژاد، حسین؛ پوراحمد، احمد؛ زیاری، کرامت‌اله و بهبودی مقدم، حسین. (۱۴۰۰). تحلیل تحولات فضایی بخش مرکزی شهر تهران بر اساس نظریه پیچیدگی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۱ (۴۱)، ۴۲-۲۳. doi: 10.30488/gps.2021.206086.3123

حجازی، سیداسداله؛ رسولی، عادل؛ ایمان‌زاده، طاها و حیدری، سیدعبدالسلام. (۱۴۰۲). بررسی توانمندی‌های ژئوتوریسمی ژئوسایت‌ها با استفاده از روش کامنسکو. مطالعه موردی: ژئوسایت‌های شهرستان بوکان. *مجله جغرافیا و روابط انسانی*، ۶ (۱)، ۲۴۲-۲۵۹. doi:10.22034/gahr.2023.400655.1890

شایگان‌یگانه، علی‌اکبر؛ زنگنه اسدی، محمدعلی و میراحمدی، ابوالقاسم. (۱۳۹۹). ارزیابی کمی ژئودایورسیتی ژئوپارک پیشنهادی غرب خراسان رضوی برای حفاظت از میراث زمین‌شناسی آن. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۰(۳۶)، ۹۰-۷۷.
doi: 10.30488/gps.2019.95118.2566

قهرودی تالی و منیژه؛ علی‌نوری، خدیجه و فرجادی نیا، سجاد. (۱۴۰۱). کاربرد ژئودایورسیتی در مدیریت محیطی (مطالعه موردی حوضه بالادست سد کرج). *فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۰(۴)، ۱-۱۷. doi: 10.22034/gmpj.2021.291188.1283

کلینسلی، دانیل. (۱۳۸۱). *کویرهای ایران*. ترجمه عباس پاشایی. تهران: انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

محمدرضایی، شهریار. (۱۳۸۸). *رویکرد سیستمی به تجزیه‌وتحلیل اکوسیستم‌ها*. چاپ اول، تهران: نشر آییژ.

محمودی محمدآبادی، طیبه. (۱۳۹۴). *تأثیر عناصر ژئومورفیک در همگرایی هسته مدنی ایران*. رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان.

مرادی‌پور، فاطمه؛ یمانی، مجتبی و مرادی، انور. (۱۴۰۲). ارزیابی ژئوبیودایورسیتی منطقه اشترانکوه بر اساس شاخص GBI. *مجله جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳(۱)، ۸۹-۷۱. doi: 10.22126/ges.2022.8136.2568

مقصودی، مهران؛ مقیمی، ابراهیم؛ یمانی، مجتبی؛ رضایی، ناصر و مرادی، انور. (۱۳۹۸). بررسی ژئومورفودایورسیتی آتش‌فشان دماوند و پیرامون آن بر اساس شاخص GmI. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۸ (۱)، ۶۹-۵۲.

References

Batajrobe, M., Hosseinzadeh, S.R., Mohseni, N., & Lakzian, A. (2022). Geodiversity assessment of Dorungar river basin using modified Serrano and Ruiz-Flaño method. *Quantitative Geomorphological Research, 11*(3), 88-102. doi:10.22034/gmpj.2022.334069.1340 [In Persian]

Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I., & Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy*, *86*, 19-28. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001

Chakraborty, A., Mokudai, K., Cooper, M; Watanabe, M., & Chakraborty, Sh. (2018*). Natural Heritage of Japan: Geological, Geomorphological, and Ecological Aspects*. Springer International Publishing.

Crisp, J. R., Ellison, J. C. & Fischer, A. (2021). Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 45(4), 514-540. https://doi.org/10.1177/0309133320967219.

Drinia, H., Voudouris, P., & Antonarakou, A. (2022). Geoheritage and Geotourism Resources: Education, Recreation, Sustainability. *Geosciences, 12*, 251. https://doi.org/10.3390/geosciences12060251.

Erikstad, L. (2013). Geoheritage and geodiversity management – the questions for tomorrow. *Proceedings of the Geologists' Association*, *124*, 713–719. https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.07.003

Gray, M. (2018). *Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation.* In: Reynard, E., Brilha, J. (Eds.), Geoheritage: Assessment, Protection, and Management. Elsevier, Amsterdam, pp. 13-25. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00001-0

Ghahroudi Tali, M., Alinoori, Kh., & Farjadinia, S. (2022). Application of Geodiversity in Environmental Management (Case Study of Karaj Dam Upstream Basin). *Quantitative Geomorphological Research,10*(4), 1-17. doi:10.22034/gmpj.2021.291188.1283 [In Persian]

Hani, A. F. M., Sathyamoorthy, D., & Asirvadam, V. S. (2011). A method for computation of sur-face roughness of digital elevation model terrains via multiscale analysis. *Comput. Geosci*, *37* (2), 177–192. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.05.021

Hatami nejad, H., pourahmad, A., zyari, K., & behbodimoghadam, H. (2021). Analysis of spatial transformation in the central part of Tehran based on the theory of complexity. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal, 11*(41), 23-42. doi:10.30488/gps.2021.206086.3123 [In Persian]

Hijazi, S.A., rasouli, A., Imanzadeh, T., & Heydari, S.A. (2023). The study of Geotourism capabilities of geosites using Comanesco method, Case study: geosites of Bukan city. *Geography and Human Relationships*, *6*(21), 242-259. doi:10.22034/gahr.2023.400655.1890 [In Persian].

Jenks, G.F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *Int Yearb Cartogr*, *7*, 186–190.

Jenness, J. (2006). *Topographic Position Index* (TPI) v. 1.2. http://www.jennessent.com

Klinsley, D. (2002). *The deserts of Iran.* Translated by Abbas Pashaei. Tehran: Publications of the Geographical Organization of the Armed Forces. [In Persian].

Mahmoudi Mohammadabadi, T. (2014). *The effect of geomorphic elements in the convergence of Iran's civil core*. phd thesis in geomorphology, Isfahan University. [In Persian].

Maghsoudi, M., Moghimi, E., Yamani, M., Rezaei, N., Moradi, A. (2019). Geomorphodiversity Investigation of Damavand volcano and its surroundings based on the GmI Index. *Quantitative Geomorphological Research, 8*(1), 52-69. [In Persian].

Melhelli, L. (2014). Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *GeoJournal of Tourism and Geosites, 13* (1), 2–12. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.101

Melhelli, L., Vergari, F., Liucci, L., Del Monte, M. (2017). Geomorphodiversity index: Quantifying the diversity of landforms and physical landscape. *Science of the Total Environment, 584–585*, 701–714. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.101

Mohammad Rezaei, Sh. (2009). *A systemic approach to the analysis of ecosystems*. first edition, Tehran, Aeizh Publishing. [In Persian].

Panizza, M. (2009). The geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): A key of geoheritage assessment. *Geoheritage, 1*, 33-42. doi: 10.1007/s12371-009-0003-z

Moradipour, F., Yamani, M., & Moradi, a. (2023). Geobiodiversity Assessment of Oshtorankuh Region Based on GBI Index. *Geography and Environmental Sustainability, 13*(1), 71-89. doi:10.22126/ges.2022.8136.2568 [In Persian].

Pardo-Igúzquiza, E., Durán-Valsero, J.J., Dowd, P.A., Luque-Espinar, J.A., Heredia, J., & Robledo-Ardila, P.A. (2022). Geodiversity of closed depressions in a high relief karst: Geoeducation asset and geotourism resource in the" Sierra de las Nieves" National Park (Málaga Province, Southern Spain). *International Journal of Geoheritage and Parks, 10*(2), 196-217.http s://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.04.001

Prosser, C.D. (2013). Our rich and varied geoconservation portfolio: the foundation for the future. *Proc Geol Assoc, 124*, 568–580. https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.06.001

Serrano, E., & Ruiz-Flaño, P., (2007). Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica, 62*(3), 140–147. doi: 10.5194/gh-62-140-2007

Singh, B.V.R., Sen, A., Verma, L.M., Mishra, R., & Kumar, V. (2021). Assessment of potential and limitation of Jhamarkotra area: A perspective of geoheritage, geopark and geotourism. *International Journal of Geoheritage and Parks, 9*(2), 157-171. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.04.001

shayan yeganeh, A.A., zangane Asadi, M.A., & AmirAhmadi, A. (2020). The quantitative assessment of geodiversity of Proposed Geopark of West Khorasan Razavi to protect its geoheritage. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal, 10*(36), 77-90. doi:10.30488/gps.2019.95118.2566 [In Persian].

The Shimabara Declaration. (2012). *The Shimabara Declaration*. http:// www.geopark.jp/about/pdf/geoparks2012_en.pdf. Accessed 21 Nov 2016.

Thomas, M. F. (2012). A geomorphological approach to geodiversity - its applications to geoconservation and geotourism. *Quaestiones Geographicae, 31*(1), 81-89. doi:10.2478/v10117-012-0005-9, ISSN 0137-477X.

Weiss, A. (2001). Topographic Position and Landforms Analysis. *Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.* https://www.bibsonomy.org/bibtex/49bc1e8fca47811c1f90086d66170f91