



Quantitative Assessment and Multi-Criteria Analysis of the Geomorphological Heritage of Chalus County (Case Study: Southern Plains of Alborz Province)

Leila Ebrahimi Jamnani¹

1. (Corresponding Author) Department of Geography, Department of Geography, Cha.C.Islamic Azad University, Chalous, Iran .

Email: Leyla.ebrahimi@iauc.ac.ir

Article Info

Article Type:

Research Article

Article History:

Received:

23 December 2025

Received in revised form:

22 February 2025

Accepted:

22 April 2025

pp. 173-192

Keywords:

Geomorphosite,
Multi-Criteria Analysis,
Chalus,
Geomorphological Heritage,
Aesthetic Value

ABSTRACT

Chalus County, as one of the potential areas in the southern coastal strip of the Caspian Sea, has extensive potential in the field of geotourism and geomorphological heritage, with a high diversity of geomorphological phenomena and unique natural landscapes. In this study, with the aim of identifying, evaluating, and comparing the outstanding geomorphosites of the region, the multi-criteria analysis (MCA) method was used based on the valid models of Renard (2007, 2016) and Brill (2016). For this purpose, 16 index geomorphosites including Namak Abrood, Harijan Valley and Waterfall, Siah Bish, Lake Volesht, Hasel Marsh, Dariyuk Dam Lake, Chalus River, Kanduchal Marsh, Sinava Cheshmeh Waterfall and Spring, La Rosser Spring and Hot Water, Angouran Site, Hezar Cham Grand Canyon, Dariyo Spring, Shah Alamdar, Kani Station Waterfall and Panjeh Gargi Valley of Hassan Abad were scored and ranked using indicators such as scientific value (rarity, clarity and ability to understand form, morphological dynamics), aesthetic value (landscape, color, index view), socio-functional value, as well as vulnerability and conservation capability. Also, to enhance the accuracy of the assessment, a complementary method focusing on aesthetic value based on visual perception was used. In order to measure the values more accurately, data were collected through structured questionnaires and evaluation by local and academic experts. The results showed that geomorphosites such as the Grand Canyon of Hezarcham, Harijan Valley and Waterfall, and Lake Volesht have the highest overall score in terms of scientific and aesthetic value. Sites such as the Chalus River (score 7.0) and Namak Abrood (6.9) experience the highest vulnerability due to severe erosion, extensive urban development, and tourism pressure. By comparing the findings with previous research, the present study emphasizes the importance of integrating multiple criteria in conservation planning and sustainable tourism development. As a practical suggestion, implementing tourism management programs based on carrying capacity, strengthening conservation infrastructure in sensitive areas, and organizing access routes with the aim of reducing environmental degradation are recommended. The results of this study can be a scientific basis for regional policymaking, geotourism planning, and effective management of the geomorphological heritage of Chalus County.

Cite this article: ebrahimi, L. (2026). Quantitative assessment and multi-criteria analysis of geomorphological heritage in Chalus County. *Quantitative Geomorphological Research*, 14(4). 173-192.

Doi: [10.22034/gmpj.2026.526392.1562](https://doi.org/10.22034/gmpj.2026.526392.1562)

Extended Abstract

Introduction

Geomorphological heritage (geoheritage) plays a vital role in environmental education, scientific research, and geotourism development. In northern Iran, particularly in Chalous County, the confluence of coastal, forest, and mountainous landforms has produced a unique and rich geomorphological landscape. Despite its significance, this potential remains underexplored and underutilized. The aim of this study is to conduct a comprehensive, quantitative assessment of key geomorphosites in Chalous, providing a framework for recognizing their value and guiding sustainable use. By applying a multi-criteria approach based on established international evaluation models, this research contributes to a systematic prioritization of geomorphological features within the context of conservation and geotourism planning.

Chalous County, located along the southern coast of the Caspian Sea, is considered one of the most geomorphologically diverse regions in northern Iran. Its unique natural landscapes, including valleys, waterfalls, wetlands, hot springs, and both natural and artificial lakes, make it highly suitable for the development of geotourism and the preservation of geomorphological heritage. Geomorphosites, as prominent landforms of scientific, aesthetic, and cultural value, play a vital role in sustainable tourism development. Evaluating and prioritizing these sites not only enhances understanding of their tourism potential but also provides a foundation for conservation planning, infrastructure development, and environmental policymaking. In this context, the integration of multi-criteria evaluation models with visual-aesthetic approaches can improve the accuracy and reliability of assessment outcomes.

Methodology

This research was conducted using a descriptive-analytical approach, applying Multi-Criteria Analysis (MCA) for the identification, assessment, and comparison of the most prominent geomorphosites in Chalous County. The study relied on well-

established models proposed by Reynard (2007, 2016) and Brilha (2016), which include evaluation criteria such as scientific value (rarity, form clarity, geomorphological activity), aesthetic value (landscape diversity, color, visual prominence), socio-economic and practical value, as well as vulnerability and conservation potential.

To collect data, 16 key geomorphosites were identified through fieldwork, review of scientific literature, and analysis of geological and geomorphological maps. These sites include Namak Abrood, Harijan Valley and Waterfall, Siyah Bish, Valasht Lake, Hasel Wetland, Daryook Dam Lake, Chalous River, Kando Chal Wetland, Sinava Waterfall and Spring, Larosar Hot Spring, Angouran Site, Hezar Cham Grand Canyon, Dariyo Spring, Shah Alamdar, Kani Station Waterfall, and Panje Gorgi in Hasanabad Valley.

Each site was scored based on the defined criteria and sub-indicators. A decision-making matrix was used for the MCA process to rank the geomorphosites. In order to improve aesthetic assessment, a complementary visual perception method was applied through direct field observation and image analysis. Vulnerability assessment also considered factors such as erosion intensity, tourism pressure, urban development, and infrastructural encroachment.

Results and discussion

The multi-criteria evaluation revealed that the Hezar Cham Grand Canyon received the highest overall scores in terms of scientific and aesthetic values due to its unique geomorphological features, landscape complexity, and rich color composition. Harijan Valley and Waterfall and Valasht Lake followed as second and third, respectively. These sites were identified as having high potential for attracting tourists and conveying scientific and visual significance.

Conversely, Chalous River (vulnerability score: 7.0) and Namak Abrood (6.9) were found to be the most vulnerable sites due to their proximity to urban areas, transportation networks, and high levels of tourism-related activities. These factors pose significant

threats to the sustainability of their natural and scientific values.

Other sites such as Hasel Wetland and Larosar Hot Spring were notable for their ecological, cultural, and therapeutic values, ranking high in the socio-economic and practical dimensions.

This study emphasized that the evaluation of geomorphosites should not be limited to scientific or aesthetic criteria alone. A comprehensive understanding of their importance requires the integration of multiple dimensions, including social values and conservation needs. Compared to similar research in other regions of Iran (e.g., Alizadeh et al., 2020; Sahraei et al., 2020), Chalous County stands out for its high density of geomorphosites and diversity of landforms, positioning it as a unique natural area in northern Iran.

Conclusion

The findings confirm that Chalous County possesses high potential for geotourism development and geomorphological heritage preservation. The assessment of 16 key geomorphosites showed that sites such as the Hezar Cham Grand Canyon, Harijan Valley, and Valasht Lake possess multiple values—scientific, aesthetic, and social—and should be prioritized in sustainable tourism planning and management strategies.

On the other hand, more vulnerable sites such as Chalous River and Namak Abrood require immediate conservation efforts and continuous monitoring. The integration of quantitative MCA techniques with visual-aesthetic approaches provided a robust framework for site evaluation, which can be adapted to other regions as well.

It is recommended that future studies incorporate additional criteria such as cultural-historical value and local community engagement to enhance the comprehensiveness of assessments. Overall, the outcomes of this research offer a scientific foundation for environmental policymaking, educational programs, and sustainable geotourism initiatives in Chalous County and beyond.earth system instability in the region.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content 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.

ارزیابی کمی و تحلیل چندمعیاره میراث ژئومورفولوژیک در شهرستان چالوس

لیلا ابراهیمی جمنانی^۱^۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران. رایانامه: Leyla.ebrahimi@iauc.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۱۰/۰۲

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۲/۰۲

صص. ۱۹۲-۱۷۳

واژگان کلیدی:

ژئومورفوسایت،

تحلیل چندمعیاره،

چالوس،

میراث زمین‌ریخت‌شناسی،

ارزش زیباشناختی

شهرستان چالوس به‌عنوان یکی از مناطق مستعد در نوار ساحلی جنوب دریای خزر، با برخورداری از تنوع بالای پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و چشم‌اندازهای طبیعی منحصربه‌فرد، ظرفیت‌های گسترده‌ای در زمینه ژئوتوریسم و میراث زمین‌ریخت‌شناسی دارد. در این پژوهش، با هدف شناسایی، ارزیابی و مقایسه ژئومورفوسایت‌های برجسته منطقه، از روش تحلیل چندمعیاره (MCA) بر پایه مدل‌های معتبر رینارد (۲۰۱۶، ۲۰۰۷) و روش مکمل زیباشناسی (کورانتزا و گیوستی، ۲۰۰۵؛ بریل، ۲۰۱۶) بهره‌گیری شد. بدین منظور، ۱۶ ژئومورفوسایت شاخص شامل نمک‌آبرود، دره و آبشار هریجان، سیاه‌بیش، دریاچه ولشت، مرداب هسل، دریاچه سد دریوک، رودخانه چالوس، مرداب کندوچال، آبشار و چشمه‌ی سینواچشمه، چشمه و آب گرم لاروسر، سایت انگوران، گرند کانیون هزارچم، چشمه داریو، شاه‌علمدار، آبشار ایستگاه کانی و پنجه‌گرگی دره حسن‌آباد با استفاده از شاخص‌هایی نظیر ارزش علمی (نادر بودن، وضوح و قابلیت درک فرم، پویایی ریخت‌شناسی)، ارزش زیباشناختی (چشم‌انداز، رنگ، نمای شاخص)، ارزش اجتماعی-کاربردی و نیز میزان آسیب‌پذیری و قابلیت حفاظت، امتیازدهی و رتبه‌بندی شدند. همچنین برای تقویت دقت ارزیابی، از روش مکمل با تمرکز بر ارزش زیباشناختی بر پایه ادراک بصری بهره‌گرفته شد. به‌منظور سنجش دقیق‌تر ارزش‌ها، داده‌ها از طریق پرسشنامه‌های ساختاریافته و ارزیابی خبرگان محلی و دانشگاهی گردآوری گردید. نتایج نشان داد ژئومورفوسایت‌هایی مانند گرند کانیون هزارچم، دره و آبشار هریجان و دریاچه ولشت بالاترین امتیاز کل را از نظر ارزش علمی و زیبایی‌شناسی دارند. سایت‌هایی مانند رودخانه چالوس (امتیاز ۷۰) و نمک‌آبرود (۶۰۹) بیشترین آسیب‌پذیری را به دلیل شدت فرسایش، توسعه شهری گسترده و فشار گردشگری تجربه می‌کنند. مطالعه حاضر با مقایسه یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین، تأکید بر اهمیت تلفیق معیارهای چندگانه در برنامه‌ریزی حفاظتی و توسعه گردشگری پایدار دارد. به‌عنوان پیشنهاد کاربردی، اجرای برنامه‌های مدیریت گردشگری مبتنی بر ظرفیت برد، تقویت زیرساخت‌های حفاظتی در نقاط حساس، و سامان‌دهی مسیرهای دسترسی با هدف کاهش تخریب محیطی توصیه می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنایی علمی برای سیاست‌گذاری‌های منطقه‌ای، برنامه‌ریزی ژئوتوریسم و مدیریت مؤثر میراث ژئومورفولوژیک شهرستان چالوس قرار گیرد.

استناد: ابراهیمی، لیلا. (۱۴۰۵). ارزیابی کمی و تحلیل چندمعیاره میراث ژئومورفولوژیک در شهرستان چالوس. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۱۴(۴)، ۱۷۳-۱۹۲.

Doi: 10.22034/gmpj.2026.526392.1562

مقدمه

میراث ژئومورفولوژیکی به عنوان بازتابی از ساختارهای زمین‌شناسی و فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناسی که شکل‌دهنده چشم‌اندازهای طبیعی می‌باشند، نقش مهمی در شناخت تحولات زمین‌شناختی و حفاظت از محیط زیست ایفا می‌کند (شارپلز^۱، ۲۰۲۲: ۳۲). این میراث شامل گستره‌ای از ویژگی‌های طبیعی غیرزیستی مانند سنگ‌ها، کانی‌ها، فسیل‌ها، اشکال زمین‌شناسی و فرآیندهای فیزیکی است که در کنار یکدیگر عناصر ژئومورفولوژیکی و تنوع زمین‌شناسی یک منطقه را می‌سازند (گری^۲، ۲۰۱۳: ۱۲).

نواحی ساحلی به دلیل تلاقی عوامل زمین‌شناسی، دریایی و انسانی، دارای تنوع و پیچیدگی ویژه‌ای در میراث ژئومورفولوژیکی خود هستند که این تنوع می‌تواند ارزش‌های علمی، زیباشناسی و فرهنگی قابل توجهی داشته باشد (گودی، ۲۰۲۳: ۸۵). به عنوان مثال، به گفته شارپلز^۳ (۱۹۹۵: ۴)، «میراث زمین‌شناسی^۴» یا مهم‌ترین بخش از تنوع زمین‌شناختی است که می‌تواند فهم تاریخ زمین و فرآیندهای آن را تسهیل کند. کلادینو-سالس^۵ (۲۰۱۸: ۵۹) نیز تأکید می‌کند که میراث ژئومورفولوژیکی بسته به منشأ و نوع اشکال مورد مطالعه، می‌تواند شامل میراث زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و هیدرولوژیکی باشد.

با وجود اهمیت این میراث، نواحی ساحلی به دلیل فشارهای توسعه شهری، تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی، با تهدیدهای فراوانی مواجه هستند که می‌تواند منجر به از بین رفتن یا تخریب میراث ژئومورفولوژیکی گردد (ترنهایل^۶، ۲۰۲۰: ۱۱۷). از این رو، ضرورت حفظ و مدیریت این میراث بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، ارزیابی کمی میراث ژئومورفولوژیکی با استفاده از شاخص‌ها و معیارهای علمی و استاندارد، امکان مقایسه دقیق‌تر و علمی‌تر نواحی مختلف را فراهم می‌آورد و می‌تواند مبنای مستحکمی برای حفاظت و بهره‌برداری پایدار از این میراث باشد (پانیتسا و پیاتشنته^۷، ۲۰۰۳: ۶۸).

مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی کمی میراث ژئومورفولوژیکی صورت گرفته‌اند که روش‌های متنوعی را برای تعیین ارزش‌های علمی، زیباشناسی، فرهنگی و اقتصادی این میراث ارائه کرده‌اند (ماسلینک^۸ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۸۱). برای نمونه، روش توسعه‌یافته توسط رینارد و همکارانش که بیش از یک دهه تحقیق بر روی آن انجام شده است، بر ارزش علمی به عنوان محور اصلی تمرکز دارد (رینارد^۹، ۲۰۰۶: ۱۹۰؛ رینارد و همکاران، ۲۰۱۶: ۷۲؛ موچی‌وونا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۳۵). در مقابل، برخی رویکردها، ارزش زیباشناسی را نیز به عنوان یک معیار مهم در نظر می‌گیرند؛ چرا که برخی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی ممکن است ارزش علمی بالایی نداشته باشند، اما به دلیل فرم‌های نمادین و زیبایی‌شان، قابلیت بالایی برای جلب توجه جامعه و ترغیب به حفظ میراث دارند (کلادینو-سالس، ۲۰۱۸: ۶۳).

در مطالعات بین‌المللی، پژوهشگران مختلف روش‌های کمی و چندمعیاره متنوعی را برای ارزیابی میراث ژئومورفولوژیکی ارائه کرده‌اند. در مطالعه مورینو^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۵) یک روش تازه‌پیاپیاده‌سازی شده برای سنجش ارزش ژئومورفوسایت‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها ارائه گردیده است. در این مطالعه، برخلاف بسیاری از رویکردهای سنتی که تنها بر ارزش علمی و زیباشناختی تأکید دارند، مجموعه‌ای از معیارهای علمی، تکمیلی و کاربردی به صورت کمی تعریف و دسته‌بندی شد. این روش با بهره‌گیری از شاخص‌هایی ویژه‌ی لندسلاید—از جمله میزان پویایی و تحول‌پذیری، ادراک خطر، نشانه‌های اثر

1- Sharples

2 - Gray

3- Goudie

4 - Geoheritage

5 - Claudino-Sales

6 - Trenhaile

7 - Panizza & Piacente

8 - Masselink

9 - Reynard

10 - Mucivuna

11 - Morino

انسان ساخت، و پیامدهای مرتبط با تغییرات اقلیمی—توانست تصویری چندبعدی تر از ارزش و حساسیت ژئومورفولوژیکی این پدیده‌ها ارائه دهد. نوآوری اصلی این پژوهش در آن است که برای نخستین بار ژئومورفوسایت‌ها از یک نوع مشخص (زمین لغزش‌ها) در قالب یک مدل کمی مقایسه‌ای ارزیابی شدند؛ امری که منجر به ارتقای دقت در تحلیل ارزش‌های حفاظتی، کارکردی و چشم‌اندازی شد. کومانسکو^۱ و همکاران (۲۰۲۵) ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها را در قالب منظرسازی زمین و توسعه ژئوتوریسم بررسی کرده‌اند. این پژوهش با شناسایی و طبقه‌بندی واحدهای ژئومورفولوژیکی کوهستان سیوکاش رومانی، رویکردی تلفیقی به کار گرفته که علاوه بر معیارهای علمی و زیبایی‌شناختی، ظرفیت‌های توریستی، قابلیت دسترسی، ارزش فرهنگی و نقش اقتصادی ژئومورفوسایت‌ها نیز لحاظ شده است. در این مطالعه، هدف اصلی ایجاد چارچوبی برای برنامه‌ریزی ژئوتوریسم و توسعه پایدار است و ارزیابی‌ها بیشتر با تأکید بر قابلیت تفسیرپذیری چشم‌انداز، جذابیت دیداری و پتانسیل ارائه خدمات گردشگری انجام گرفته‌اند. تامانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۳) مطالعه دیگری در هند شرقی با استفاده از مدل GAM ژئومورفوسایت‌ها را برای توسعه ژئوتوریسم و حفاظت ارزیابی انجام دادند. در این پژوهش، شاخص‌های علمی، زیباشناختی، کاربردی و آسیب‌پذیری به‌طور همزمان لحاظ شدند و امتیازدهی کمی انجام گرفت. این رویکرد به‌ویژه برای مناطق پروتروژوئیک که کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند کاربرد دارد و نشان می‌دهد ترکیب ارزش علمی، زیبایی و قابلیت گردشگری می‌تواند مبنایی قوی برای مدیریت پایدار و حفاظت سایت‌ها فراهم کند. بیداس^۳ و همکاران (۲۰۲۳) مطالعه‌ای در نواحی آتشفشانی با تمرکز بر مناظر آتشفشانی، ژئومورفوسایت‌ها را با استفاده از ترکیب مطالعات میدانی، نقشه‌برداری ژئومورفولوژیک و مدل‌سازی چندمعیاره شناسایی و اولویت‌بندی کردند. در این پژوهش، شاخص‌های علمی، زیباشناختی، دسترسی و قابلیت حفاظت لحاظ شد و معیارهای اختصاصی برای پویایی خاکستر و جریان‌های آتشفشانی اضافه گردید. نتایج نشان داد تلفیق ارزش علمی، منظر و مدیریت حفاظتی برای برنامه‌ریزی ژئوتوریسم و حفاظت از مناظر آتشفشانی ضروری است. هونگ^۴ و همکاران (۲۰۲۱) با تمرکز بر ژئومورفوسایت‌های ساحلی و کوهستانی، ارزش علمی، زیباشناختی و کاربردی سایت‌ها را با استفاده از ارزیابی چندمعیاره سنجیده و اولویت‌بندی کرده‌اند. این پژوهش با ترکیب ارزیابی علمی، منظر و گردشگری، توصیه‌های مدیریتی و حفاظتی برای توسعه پایدار ژئوتوریسم ارائه داده است.

در ایران نیز مطالعاتی در طی سال‌های اخیر انجام شده است. شایان یگانه و همکاران (۱۴۰۲) با هدف بررسی و مقایسه مدل بومی طراحی‌شده توسط خودشان با مدل‌های جهانی بریلها، کومانسکو و فاسولاس انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل بومی شایان یگانه با مدل بریلها بیشترین تطابق را دارد و این مدل برای ارزیابی مناطق کوهستانی و دشتی گرم و خشک طراحی شده است. این پژوهش نوآوری مهمی دارد زیرا نخستین بار مدل بومی ایرانی برای ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها و ژئوسایت‌ها به‌طور جامع مورد بررسی قرار گرفته و نقاط قوت و محدودیت‌های آن نسبت به مدل‌های بین‌المللی مشخص شده است. شیبانی (۱۳۹۸) در پژوهشی بر ژئوسایت‌های معدنی شهرستان طبس به‌عنوان یک ژئوپارک معدن محور، با استفاده از شاخص ارزیابی فاسولاس و همکاران (۲۰۱۲)، توانمندی معادن فعال و متروکه قدیمی را در زمینه ارزش علمی، زیباشناختی و چشم‌اندازها بررسی کرد و تأکید نمود که با تقویت زیرساخت‌های حفاظتی و مدیریت، ژئوپارک طبس می‌تواند به یکی از ژئوپارک‌های معدن محور ایران و جهان تبدیل شود. شایان یگانه و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی جامع به بررسی روش‌های ارزیابی ژئوسایت‌ها و ژئومورفوسایت‌ها در ایران پرداختند و نقاط ضعف و قوت مدل‌های مختلف تا سال ۲۰۱۵ را تحلیل کردند. آن‌ها نشان دادند که روش کومانسکو کامل‌ترین روش موجود برای ارزیابی

1 - Comănescu

2 - Tamang

3 - Bidias

4 - Hoang

ژئومورفوسایت‌هاست، هرچند در بررسی نقش خدماتی و کاربردی ژئومورفوسایت‌ها محدودیت‌هایی دارد. روش‌های پرالونگ، لوئیس کوبالی‌کوا، بریلا و فاسولاس در رتبه‌های بعدی قرار دارند، اما هیچ‌یک به تنهایی نمی‌تواند تمام پتانسیل‌های یک ژئومورفوسایت را ارزیابی کند. این پژوهش تأکید دارد که در ایران نیاز به یک روش جامع و تلفیقی برای ارزیابی علمی، زیباشناختی و کاربردی ژئومورفوسایت‌ها و ژئوسایت‌ها وجود دارد، که در طراحی چارچوب‌های مدیریت و توسعه ژئوتوریسم قابل استفاده باشد.

شهرستان چالوس به‌عنوان یکی از نواحی مهم ساحلی در شمال ایران، به واسطه ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی، فرسایش‌های دریایی و فعالیت‌های انسانی، دارای پتانسیل‌های قابل توجهی در زمینه میراث ژئومورفولوژیکی است. با این حال، تاکنون ارزیابی‌های کمی و تطبیقی جامعی برای شناسایی، اولویت‌بندی و حفاظت از عناصر ژئومورفولوژیکی این ناحیه انجام نشده است. نبود داده‌های دقیق و مقایسه‌ای در این حوزه باعث شده تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی حفاظتی در این منطقه با چالش‌های جدی مواجه شود. نوآوری اصلی این تحقیق در پرداختن به ارزیابی کمی و تطبیقی میراث ژئومورفولوژیکی شهرستان چالوس به عنوان یکی از مناطق ساحلی کمتر مورد مطالعه در شمال ایران است که تاکنون فاقد تحلیل جامع و سیستماتیک با بهره‌گیری از معیارها و شاخص‌های استاندارد بین‌المللی بوده است. این پژوهش با تلفیق روش‌های متداول ارزیابی علمی و شاخص‌های زیبایی‌شناسی، نگاهی چندبعدی به ارزش‌های ژئومورفولوژیکی منطقه ارائه می‌دهد که تا کنون در مطالعات مشابه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌های پیشین در زمینه ارزیابی میراث ژئومورفولوژیکی عمدتاً بر یکی از دو محور ارزش‌های علمی یا زیباشناختی متمرکز بوده‌اند و اغلب در مقیاس‌های محدود (مانند یک ژئوسایت یا یک ژئومورفوسایت مشخص) انجام گرفته‌اند. بخش قابل توجهی از این تحقیقات—مانند مطالعات رینارد، بریل و بسیاری از پژوهش‌های داخلی—به ارزیابی عمومی ژئومورفوسایت‌ها پرداخته و کمتر به نواحی ساحلی به‌عنوان سیستم‌هایی پویا، پیچیده و در معرض تهدیدهای شدید انسانی و اقلیمی توجه داشته‌اند.

مبانی نظری

میراث ژئومورفولوژیکی به مجموعه‌ای از ساختارها، فرآیندها و شکل‌های ریخت‌شناسی اطلاق می‌شود که نمایانگر تاریخ زمین‌شناسی و تحولات محیطی هر منطقه هستند (شارپلز، ۲۰۲۲: ۳۲). این میراث، علاوه بر اهمیت علمی در مطالعه تحولات زمین، دارای ارزش‌های زیباشناسی، فرهنگی و اقتصادی نیز هست و از این رو حفاظت از آن در چارچوب مفهومی جامع‌تری تحت عنوان حفاظت ژئومورفولوژیکی^۱ مطرح می‌شود (بریل^۲، ۲۰۰۵: ۳۹). حفاظت ژئومورفولوژیکی به‌عنوان فرایندی نظام‌مند برای حفظ و بهره‌برداری پایدار از تنوع ریخت‌شناسی، شامل مراحل مختلفی نظیر شناسایی، ثبت، ارزیابی کمی، طبقه‌بندی و مدیریت میراث ژئومورفولوژیکی است (رینارد و همکاران، ۲۰۱۶: ۷۱). ارزیابی کمی نقش مهمی در این فرایند ایفا می‌کند، چرا که با ارائه معیارهای استاندارد و شاخص‌های کمی، امکان مقایسه میان سایت‌ها و تعیین اولویت‌های حفاظتی فراهم می‌شود (پانیستا و پیاتشتنه^۳، ۲۰۰۳: ۶۸). روش‌های متعددی برای ارزیابی کمی میراث ژئومورفولوژیکی پیشنهاد شده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها روش‌های مبتنی بر ارزش علمی، زیباشناسی، فرهنگی و اقتصادی سایت‌ها هستند. برای نمونه، روش رینارد (۲۰۰۴: ۱۹۳) که بیشترین کاربرد بین‌المللی را دارد، عمدتاً بر ارزش علمی و آموزشی ژئومورفوسایت‌ها تأکید دارد، در حالی که برخی روش‌های دیگر مانند روش پیشنهادی توسط موچی‌وونا و همکاران (۲۰۱۹: ۲۳۵)، توجه ویژه‌ای به ارزش زیباشناسی و نقش اجتماعی میراث ژئومورفولوژیکی دارند. در نواحی ساحلی، تعامل پیچیده میان عوامل زمین‌شناسی، هیدرودینامیکی و انسانی متجر به ایجاد مجموعه‌ای از میراث ژئومورفولوژیکی با تنوع بالا می‌شود که ارزش آن‌ها نه تنها در فهم فرایندهای ریخت‌شناسی بلکه در حفاظت از زیست‌بوم‌های ساحلی و توسعه پایدار این

¹ - Geoconservation

² - Brilha

³ - Panizza & Piacente

نواحی اهمیت دارد (ماسلینک و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۸۱). از سوی دیگر، فشارهای ناشی از تغییرات اقلیمی، فرسایش ساحلی و فعالیت‌های انسانی، تهدیدات جدی بر این میراث وارد می‌کند که ضرورت مدیریت و ارزیابی دقیق و علمی را دوچندان می‌سازد (ترنهایل، ۲۰۲۰: ۱۱۷).

با توجه به مبانی نظری مطرح‌شده، مشخص است که میراث ژئومورفولوژیکی نه تنها از جنبه علمی، بلکه از لحاظ زیباشناختی، فرهنگی و اقتصادی نیز دارای ارزش است و ارزیابی کمی این میراث، گامی کلیدی در راستای برنامه‌ریزی حفاظتی و توسعه پایدار مناطق مختلف، به‌ویژه نواحی حساس ساحلی محسوب می‌شود (رینارد، ۲۰۰۴: ۱۹۳؛ بریل، ۲۰۰۵: ۴۲؛ موجی‌وونا و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۳۷). همچنین تأکید مطالعات اخیر بر اهمیت چندبعدی ارزش‌گذاری سایت‌های ژئومورفولوژیکی، به‌ویژه در نواحی ساحلی با پیچیدگی‌های زمین‌ساختی و انسانی، مؤید ضرورت اتخاذ رویکردهای جامع‌تر و بومی‌شده در ارزیابی این میراث است (ماسلینک و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۸۲؛ ترنهایل، ۲۰۲۰: ۱۱۹). بنابراین، این پژوهش در صدد است با بهره‌گیری از روش‌های کمی ارزیابی میراث ژئومورفولوژیکی، همانند چارچوب مفهومی رینارد و همکاران (۲۰۰۷، ۲۰۱۶) و همچنین با در نظر گرفتن رویکردهای تکمیلی که بر ارزش‌های زیباشناسی و اجتماعی نیز تأکید دارند، به شناسایی، سنجش و اولویت‌بندی مؤلفه‌های میراث ژئومورفولوژیکی در ناحیه ساحلی شهرستان چالوس بپردازد. این ناحیه با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی و تلاقی پویایی‌های کوهستانی و دریایی، دارای پتانسیل بالای ژئومورفولوژیکی است که تاکنون به‌طور نظام‌مند ارزیابی نشده است. در مدل مفهومی این پژوهش، سه دسته ارزش‌گذاری اصلی شامل ارزش علمی^۱، زیباشناسی^۲ و کاربردی-اجتماعی^۳ به‌عنوان ابعاد کلیدی ارزیابی میراث ژئومورفولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند. هر یک از این ابعاد با شاخص‌های کمی مشخصی مانند تنوع شکل، نادر بودن، خوانایی ژئوفرم، میزان تأثیرپذیری از مخاطرات طبیعی یا انسانی، و قابلیت ادراک و جذابیت بصری سنجیده شده و در قالب ماتریس ارزیابی و اولویت‌بندی مورد تحلیل قرار می‌گیرند. همچنین، تلفیق امتیازات حاصل از این شاخص‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۴، به استخراج نقشه نهایی ارزش و اولویت حفاظت ژئومورفوسایت‌ها در منطقه خواهد انجامید.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان چالوس یکی از شهرستان‌های استان مازندران در شمال ایران است که در جلگه میانی کرانه دریای خزر واقع شده است. این شهرستان از شمال به دریای خزر، از شرق به شهرستان نوشهر، از غرب به شهرستان عباس‌آباد و از جنوب به شهرستان‌های کرج و کلاردشت محدود می‌شود.

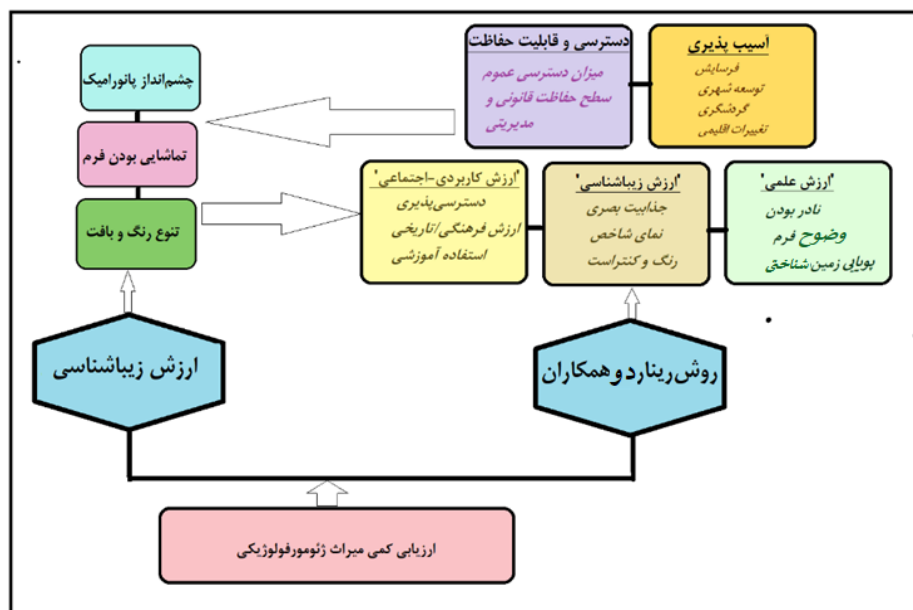
مختصات جغرافیایی شهرستان چالوس تقریباً در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی قرار دارد. این موقعیت جغرافیایی باعث شده تا چالوس از آب و هوای معتدل و مرطوب دریای خزر بهره‌مند باشد و دارای چشم‌اندازهای طبیعی و گردشگری منحصر به فردی باشد. شهرستان چالوس شامل دو بخش مرکزی و مرزن‌آباد است و مرکز آن، شهر چالوس، یکی از شهرهای تاریخی و گردشگری استان مازندران به شمار می‌آید. این شهرستان با داشتن جاذبه‌های طبیعی، تاریخی و فرهنگی متعدد، مقصدی محبوب برای گردشگران داخلی و خارجی محسوب می‌شود (حسینی لرگانی و ابراهیمی جمنانی، ۱۴۰۲: ۴۵).

¹ - Scientific Value

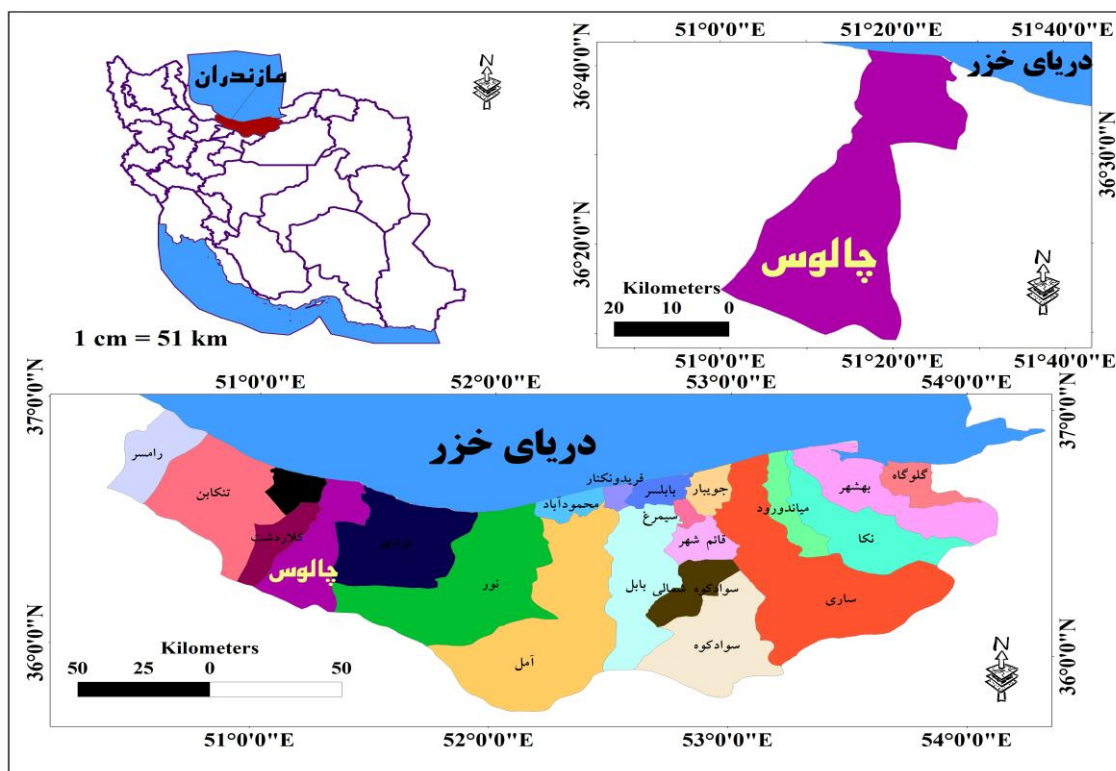
² - Aesthetic Value

³ - Use and Cultural Value

⁴ - MCDM



شکل ۱: مدل مفهومی تحقیق



شکل ۲: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

مراحل تحقیق:

۱. شناسایی ژئومورفوسایت‌ها

بر اساس مطالعات توصیفی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، اشکال ژئومورفولوژیکی شاخص در ناحیه ساحلی چالوس شناسایی شدند که شامل ساختارهای ساحلی (تپه‌های ماسه‌ای، صخره‌های بازالتی، سواحل ماسه‌ای، تالاب‌ها و خلیج‌های کوچک) می‌باشد. انتخاب این نمونه‌ها با توجه به معیارهایی از جمله ارزش علمی (نوآوری، نادر بودن)، ارزش زیبایی‌شناختی، اهمیت فرهنگی-تاریخی، درجه آسیب‌پذیری و وضعیت حفاظتی صورت گرفت.

۲. تعریف شاخص‌های ارزیابی کمی میراث ژئومورفولوژیکی

ارزیابی کمی ژئومورفوسایت‌ها در دو مرحله با سه روش مکمل انجام شد:

الف) روش رینارد و همکاران (۲۰۰۷، ۲۰۱۶)

- ارزش علمی^۱: میزان منحصربه‌فرد بودن پدیده و قابلیت مطالعه علمی آن (ارزیابی بر اساس استانداردهای بین‌المللی میراث ژئومورفولوژیکی) (شارپز، ۲۰۰۲: ۲۳۴).
 - ارزش زیبایی‌شناسی^۲: جذابیت بصری و چشم‌انداز طبیعی منطقه (کورتزا، ۲۰۱۵).
 - اهمیت فرهنگی و تاریخی^۳: ارتباط نمونه با تاریخ محلی، سنت‌ها یا کاربری‌های انسانی در طول زمان (هنریکس^۴ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۴).
 - آسیب‌پذیری^۵: میزان تهدیدات ناشی از فرسایش، توسعه شهری، گردشگری و تغییرات اقلیمی (گودی، ۲۰۱۳).
 - دسترسی و قابلیت حفاظت^۶: میزان دسترسی عموم و سطح حفاظت قانونی و مدیریتی موجود (گری، ۲۰۱۳).
- هر شاخص بر اساس مقیاس درجه‌بندی عددی (از ۰ تا ۱۰) نمره‌دهی شده و وزن هر شاخص براساس اهمیت علمی و ادبیات موضوع تخصیص داده شد (بریل، ۲۰۱۶). نهایتاً امتیاز کلی ارزش میراث ژئومورفولوژیکی هر نمونه با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره (MCA) محاسبه گردید.
- ب) روش مکمل با تمرکز بر ارزش زیباشناسی (کوراتزا و گیوستی، ۲۰۰۵؛ بریل، ۲۰۱۶)
- با هدف در نظر گرفتن نقش مهم ادراک بصری در مطالعات میراث ژئومورفولوژیکی، معیارهای ارزش زیباشناختی (مانند چشم‌انداز پانورامیک^۷، تماشایی بودن فرم‌ها^۸، تنوع رنگ و بافت^۹) نیز به صورت جداگانه با استفاده از چک‌لیست‌های معتبر (کوراتزا و گیوستی، ۲۰۰۵؛ بریل، ۲۰۱۶) امتیازدهی شدند. این اطلاعات در بخش تحلیل تلفیق شدند.

۳- تحلیل نهایی:

برای امتیازدهی و وزن‌دهی از نظرات ۲۵ کارشناس و خبره استفاده شده است. این کارشناسان و خبرگان همگی دارای مدرک فوق لیسانس و دکتری رشته ژئومورفولوژی، گردشگری و برنامه‌ریزی محیطی و جزء اساتید دانشگاه بودند. پس از امتیازدهی، با استفاده از تحلیل چندمعیاره (MCA)، امتیاز تلفیقی نهایی برای هر ژئومورفوسایت محاسبه شد.

¹ - Scientific Value

² - Aesthetic Value

³ - Cultural-Historical Value

⁴ - Henriques

⁵ - Vulnerability

⁶ - Accessibility and Conservation Status

⁷ - Panoramic View

⁸ - Spectacular Forms

⁹ - Color and Texture Variety

۴- صحت‌سنجی و اعتبارسنجی

به‌منظور اطمینان از صحت و اعتبار نتایج حاصل از ارزیابی کمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس، از سه رویکرد مکمل برای اعتبارسنجی درون‌پژوهی بهره گرفته شد. این رویکردها شامل تحلیل همبستگی شاخص‌ها، تحلیل حساسیت و مقایسه تجربی با منابع معتبر علمی و اسناد توسعه گردشگری منطقه‌ای است.

یافته‌های تحقیق

در این مطالعه، ارزیابی کمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس با تمرکز بر ارزش‌های علمی، زیبایی‌شناسی و اهمیت فرهنگی-تاریخی انجام شد. با استفاده از دو روش مکمل شامل روش رینارد و همکاران (۲۰۰۷, ۲۰۱۶) و ارزیابی زیباشناسی بر اساس معیارهای معتبر بین‌المللی، ویژگی‌های کلیدی یازده ژئومورفوسایت مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱: شناسنامه علمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس

ژئومورفوسایت	نوع ژئومورفولوژیکی	موقعیت جغرافیایی	فرایندهای غالب	ویژگی‌های شاخص	منشا زمین‌شناسی
نمک‌آبرود	صخره‌های ساحلی	کیلومتری ۱۲ غرب چالوس	فرسایش ساحلی و هوازدگی	صخره‌های برجسته، فرسایش فعال	آهکی-نمکی
دره و آبشار هریجان	دره-آبشار	منطقه حفاظت‌شده کلاردشت	آبشاری، فرسایش رودخانه‌ای	آبشار ۸۰ متری، پوشش جنگلی	رسوبی و آذرین
سیاه‌بیشه	حوضه فرسایشی	محدوده سد و نیروگاه	حرکات توده‌ای، رودخانه‌ای	چشم‌انداز کوهستانی، سد طبیعی	سنگ‌های دگرگونی
دریاچه ولشت	دریاچه کوهستانی	کیلومتری ۲۵ جاده چالوس	رسوب‌گذاری دریاچه‌ای	پهنه آبی نادر، چشم‌انداز زیبا	رسوبی-کوهستانی
مرداب هسل	تالاب	جنوب غرب چالوس	رسوب‌گذاری آلی-مردابی	رنگ‌های متنوع، تنوع زیستی	آبرفتی
دریاچه سد دریوک	دریاچه سدّی	حوالی دریوک	تجمع آب پشت سد	پهنه آبی با پس‌زمینه کوهستان	رسوبات آبرفتی
رودخانه چالوس	رودخانه دائمی	بین کندوان تا دریای خزر	فرسایش رودخانه‌ای، طغیان	بستر تنگ، جریان تند، فرسایش فعال	آبرفتی-سنگی
مرداب کندوچال	تالاب کوچک	جنگل فین، ۷ کیلومتری جاده چالوس	رسوب‌گذاری آلی	عمق محدود، چشم‌انداز طبیعی	آبرفتی
آبشار و چشمه سینوا	آبشار - چشمه	روستای سینوا	آبشاری و رسوب‌گذاری آهکی	آبشار ۲۵ متری، چشمه دائمی	آهکی-تراورنتی
چشمه و آب‌گرم لاروسر	چشمه گرم	منطقه مرزن‌آباد	فرایندهای هیدروترمال	آب گرم، رسوب‌گذاری تراورتن	آهکی-آهک‌چشمه‌ای
سایت انگوران	تپه ماسه‌ای	مرزن‌آباد	فرسایش و جابه‌جایی بادی	فرم‌های ماسه‌ای خاص	ماسه بادی-آبرفتی
گرند کانیون هزارچم	دره عمیق	غرب تونل کندوان	فرسایش رودخانه‌ای شدید	کانیون عمیق، چشم‌انداز پانورامیک	سنگ‌های سخت کوهستان
چشمه داربو	چشمه گازدار	کندیچال، کیلومتر ۳۰ چالوس	رسوب‌گذاری تراورتن	چشمه گازدار، ارزش درمانی	آهکی
شاه‌علمدار	دامنه کوهستان	ارتفاعات جنوبی چالوس	لغزش و فرسایش دامنه‌ای	چشم‌انداز کوهستانی	سنگ‌های سخت
آبشار ایستگاه کانی	آبشار	ایستگاه کانی جاده چالوس	فرسایش آبشاری	چشم‌انداز زیبا، آب دائمی	سنگ‌های رسوبی

الف) روش رینارد

تحلیل ارزیابی ارزش زیباشناختی

در ارزیابی ارزش زیباشناختی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس، سه شاخص کلیدی شامل جذابیت بصری، نمای شاخص و رنگ و کنتراست مورد توجه قرار گرفتند (جدول ۲). هر یک از این شاخص‌ها بر اساس اهمیت آن در ادراک بصری، وزن مشخصی به خود اختصاص دادند؛ جذابیت بصری با وزن ۰.۴۵، نمای شاخص با وزن ۰.۳۵ و رنگ و کنتراست با وزن ۰.۲۰. بر این اساس، امتیاز کلی ارزش زیباشناختی هر ژئومورفوسایت با ضرب نمرات هر شاخص در وزن مربوطه و جمع آنها محاسبه گردید. در راستای تکمیل ارزیابی چندمعیاره ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس، بخش مهمی از پژوهش به تحلیل ارزش زیباشناختی اختصاص یافته است. این ارزیابی بر اساس سه مؤلفه اصلی شامل جذابیت بصری (با وزن ۰.۴۵)، نمای شاخص (۰.۳۵) و رنگ و کنتراست (۰.۲۰) صورت گرفته است؛

جدول ۱: وزن‌دهی ارزش زیباشناختی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس

ژئومورفوسایت	رنگ و کنتراست (۰.۲۰)	نمای شاخص (۰.۳۵)	جذابیت بصری (۰.۴۵)	امتیاز کل ارزش زیباشناختی (۰-۱۰)
مرداب هسل	۹	۸	۹	۸/۲۰
چشمه داریو	۸	۸	۸	۸
گرند کانیون هزارچم	۶	۹	۶	۷/۹
دریاچه سد دریوک	۹	۶	۹	۷/۹
نمک‌آبرود	۶	۸	۶	۷/۶
دره و آبشار هریجان	۵	۷	۵	۷/۵
آبشار ایستگاه کانی	۸	۵	۸	۷/۴
چشمه و آبگرم لاروسر	۷	۸	۷	۷/۳
رودخانه چالوس	۹	۸	۹	۷/۳
سیاه‌بیشه	۷	۹	۷	۷/۲
دریاچه ولشت	۷	۶	۷	۷/۱
مرداب کندوچال	۶	۹	۶	۷
آبشار و چشمه سینوا	۷	۵	۷	۶/۷
شاه‌علمدار	۶	۵	۶	۶/۵
سایت انگوران	۴	۶	۴	۶/۵
پنجه‌گرگی دره حسن‌آباد	۴	۷	۴	۵/۹

نتایج حاصل از این ارزیابی نشان می‌دهد که مرداب هسل با کسب بیشترین امتیاز تلفیقی (۸.۲۰)، بالاترین ارزش زیباشناختی را در میان سایت‌های مورد مطالعه داراست. دلیل این امتیاز بالا را می‌توان در چشم‌انداز منحصر به فرد، پوشش گیاهی متراکم، تنوع رنگی و جلوه‌های بصری فوق‌العاده این تالاب جست‌وجو کرد. پس از آن، چشمه داریو و گرند کانیون هزارچم نیز به‌ترتیب در جایگاه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند که این امر نشان از موقعیت برجسته آن‌ها از نظر ادراک زیبایی‌شناسی دارد. برخی دیگر از سایت‌ها نظیر دریاچه سد دریوک، دره و آبشار هریجان، و آبشار ایستگاه کانی نیز با امتیازهای بالا، به‌وضوح دارای ویژگی‌های بصری قابل توجه هستند که می‌توانند نقش مهمی در جذب گردشگران طبیعت‌گرا ایفا کنند. در مقابل، سایت‌هایی مانند پنجه‌گرگی دره حسن‌آباد و سایت انگوران با امتیاز پایین‌تر، یا از نظر دید بصری کمتر برجسته‌اند یا اینکه تنوع رنگ و کنتراست کمتری نسبت به سایر مناطق دارند. به‌طور کلی، این ارزیابی کمی ارزش زیباشناختی نه تنها امکان مقایسه عینی و عددی ژئومورفوسایت‌ها را فراهم کرده، بلکه بستری دقیق برای اولویت‌بندی برنامه‌ریزی

حفاظتی و گردشگری در منطقه فراهم می‌سازد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در تصمیم‌سازی‌های آتی برای مدیریت پایدار میراث طبیعی و توسعه گردشگری طبیعت‌محور در شهرستان چالوس به کار گرفته شود.

تحلیل ارزش علمی

این ژئومورفوسایت‌ها از منظر نادر بودن، وضوح و قابلیت درک فرم، پویایی زمین ریختی، جذابیت بصری و نقش تاریخی و فرهنگی تحلیل شدند تا بتوانند به عنوان میراث ژئومورفولوژیکی شاخص معرفی گردند (جدول ۳). شهرستان چالوس دارای ژئومورفوسایت‌های متنوع و ارزشمندی است که از منظر علمی، اهمیت قابل توجهی دارند. در این میان، رودخانه چالوس به دلیل نادر بودن شکل زمین‌شناسی خاص در محل برخورد آب رودخانه به دریای خزر، وضوح و قابلیت درک فرم واضح و پویایی زمین ریختی بالا از جمله پدیده‌های برجسته است. جریان‌های آبی و رسوب‌گذاری در این منطقه نمونه‌ای زنده از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی فعال به شمار می‌آید که مطالعه آن برای شناخت تغییرات ساحلی و هیدرودینامیکی اهمیت دارد. کوه‌های نمک‌آبرود نیز از نظر نادر بودن بسیار خاص هستند؛ این صخره‌ها ترکیبی از سازندهای نمکی و سنگ‌های آهکی را نشان می‌دهند که وضوح و قابلیت درک فرم در آن‌ها با وضوحی بالا قابل مشاهده است. پویایی زمین ریختی این منطقه به دلیل تاثیر فرآیندهای فرسایش شیمیایی و مکانیکی بر روی نمک‌ها و آهک‌ها، در سطح قابل توجهی است و از این جهت یک نمونه خوب برای مطالعه تغییرات ژئومورفولوژیکی آهکی-نمکی به شمار می‌رود. دریاچه ولشت به عنوان یک پهنه آبی-ژئومورفولوژیکی، ارزش علمی قابل توجهی دارد، زیرا نادر بودن آن در منطقه باعث شده تا روندهای رسوب‌گذاری، تراکم زیستی و تعاملات بین آب و خاک به خوبی قابل مطالعه باشند. وضوح و قابلیت درک فرم‌های زمین ریختی در اطراف دریاچه شامل دامنه‌های شیب‌دار، رسوبات آبرفتی و بادزده است که همه نشان‌دهنده پویایی چشمگیر این اکوسیستم طبیعی هستند. ارزیابی ارزش علمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس بر پایه چهار شاخص کلیدی شامل نادر بودن پدیده، وضوح و قابلیت درک فرم، پویایی ریخت‌شناسی، و جذابیت بصری انجام شده و نتایج حاصل از این ارزیابی، تفاوت‌ها و مزیت‌های نسبی هر سایت را به‌خوبی روشن می‌سازد.

در صدر جدول، مرداب هسل با کسب امتیاز نهایی ۸۰۱۰ قرار دارد. این امتیاز بالا ناشی از ترکیب استثنایی از پویایی ریخت‌شناسی (۹)، وضوح فرم (۹) و سطح بالای جذابیت بصری (۹) است که آن را به یکی از علمی‌ترین و قابل‌مطالعه‌ترین سایت‌ها در منطقه تبدیل کرده است. این دریاچه از نظر ریخت‌شناسی دارای الگوهای قابل توجه و منحصربه‌فردی است که آن را از منظر ژئومورفولوژیکی به یک موضوع پژوهشی غنی بدل می‌کند. در جایگاه دوم، آبشار و چشمه سینوا با امتیاز ۸۰۰۵، ارزش علمی بالایی دارد که بیش از هر چیز به دلیل نادر بودن (۹) و وضوح و قابلیت درک فرم (۹) آن است. وجود ساختارهای آبی فعال و متغیر، این مکان را برای بررسی پویایی‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری مناسب می‌سازد. سایت‌هایی مانند دره و آبشار هریجان و آبشار ایستگاه کانی هر دو با امتیاز ۷۰۷۰ در جایگاه سوم قرار دارند. این دو محل، به دلیل ترکیب مناسبی از نادر بودن، پویایی ریخت‌شناسی و جذابیت بصری، پتانسیل بالایی برای آموزش میدانی، مستندسازی علمی و توسعه ژئوتوریسم دارند. گرند کانیون هزارچم و سایت انگوران نیز با امتیازهای بالا (به ترتیب ۷۰۵۰ و ۷۰۴۵) از جمله ژئومورفوسایت‌هایی هستند که به‌ویژه از منظر پویایی ریخت‌شناسی قابل توجه‌اند. الگوهای فرسایشی، گسل‌ها و اشکال ریخت‌شناسی پیچیده در این سایت‌ها، ظرفیت‌های تحقیقاتی فراوانی ایجاد می‌کند. در میانه جدول، سایت‌هایی چون نمک‌آبرود، دریاچه ولشت، شاه‌علمدار و رودخانه چالوس قرار دارند که امتیازهای بین ۷ تا ۶۰۹۰ دارند. این سایت‌ها با وجود جذابیت علمی متوسط، هنوز از لحاظ پژوهشی دارای اهمیت هستند؛ به‌ویژه در زمینه مطالعات منطقه‌ای، چشم‌اندازشناسی و ارتباط بین میراث طبیعی و فعالیت‌های انسانی.

در انتهای جدول، سایت‌هایی مانند سیاه‌بیشه (امتیاز ۶۰۲۰) و پنجه‌گرگی دره حسن‌آباد (امتیاز ۵۰۵۰) قرار دارند که امتیاز پایین‌تر آن‌ها ناشی از خوانایی ضعیف‌تر فرم‌ها و پویایی محدود ریخت‌شناسی است. این بدان معنا نیست که این مناطق

فاقد ارزش‌اند، بلکه نشان می‌دهد برای انتخاب آن‌ها در اولویت پروژه‌های تحقیقاتی علمی یا توسعه گردشگری تخصصی، لازم است ملاحظات بیشتری در نظر گرفته شود.

در مجموع، این تحلیل نشان می‌دهد که تنوع ژئومورفولوژیکی شهرستان چالوس بسیار بالاست و هر سایت از منظر علمی می‌تواند نقشی متمایز در آموزش، پژوهش یا توسعه پایدار ایفا کند. امتیاز نهایی ارزش علمی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص کلیدی در اولویت‌بندی حفاظت، معرفی و بهره‌برداری علمی-آموزشی از این میراث طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۳: وزن‌دهی ارزش علمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس

ژئومورفوسایت	جاذبیت بصری (۰/۲۰)	قابلیت درک فرم (وزن ۰/۲۵)	پویایی زمین‌ریختی (وزن ۰/۲۵)	نادر بودن (وزن ۰/۳۰)	امتیاز کل ارزش علمی (۰-۱۰)
مرداب هسل	۹	۹	۹	۶	۸/۱
چشمه داریو	۸	۹	۶	۹	۸
گرند کانیون هزارچم	۹	۶	۸	۸	۷/۷
دریاچه سد دریوک	۹	۸	۶	۸	۷/۷
نمک‌آبرود	۸	۶	۸	۸	۷/۵
دره و آبشار هریجان	۸	۶	۹	۷	۷/۴
آبشار ایستگاه کانی	۸	۶	۷	۸	۷/۲
چشمه و آب‌گرم لاروسر	۸	۷	۷	۷	۷/۲
رودخانه چالوس	۸	۹	۶	۶	۷/۱
سیاه‌بیشه	۸	۷	۵	۸	۷
دریاچه ولشت	۶	۶	۶	۹	۷/۹
مرداب کندوچال	۶	۶	۷	۸	۶/۸
آبشار و چشمه سینوا	۸	۵	۸	۶	۶/۶
شاه‌علمدار	۷	۶	۵	۸	۶/۵
سایت انگوران	۶	۸	۶	۵	۶/۲
پنجه‌گرگی دره حسن‌آباد	۶	۵	۵	۶	۵/۵

تحلیل ارزش کاربردی-اجتماعی

ارزیابی شاخص‌های کاربردی-اجتماعی نشان می‌دهد (جدول ۴) در ارزیابی جدید ارزش کاربردی-اجتماعی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس، شاخص‌های اهمیت فرهنگی و تاریخی و قابلیت دسترسی نقش برجسته‌تری یافته‌اند و بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس، رودخانه چالوس همچنان در صدر قرار دارد و با امتیاز ۸.۱۵، جایگاه مهم خود را به عنوان سایت برجسته فرهنگی و با دسترسی مناسب حفظ کرده است.

سایت‌های دره و آبشار هریجان و نمک‌آبرود نیز به ترتیب با امتیازهای ۷.۳۰ و ۶.۸۵، اهمیت فرهنگی و قابلیت دسترسی مناسبی دارند که امکان بهره‌برداری بهینه از این سایت‌ها برای اهداف آموزشی و فرهنگی را فراهم می‌کند. مرداب‌های هسل و کندوچال همچنان در سطح متوسطی قرار دارند، با تأکید بر ارزش فرهنگی و دسترسی نسبتاً مطلوب که می‌تواند مبنایی برای حفاظت و آموزش‌های زیست‌محیطی باشد.

سایت‌های چشمه‌ای و آبی مانند چشمه و آب گرم لاروسر، چشمه داریو و شاه علمدار با امتیازهای بین ۶.۲۵ تا ۶.۳۵ به دلیل اهمیت فرهنگی بالا و دسترسی متوسط، از گزینه‌های مناسب برای توسعه برنامه‌های آموزشی محسوب می‌شوند. در پایین جدول، سایت‌هایی همچون سیاه بیشه و دریاچه سد دریوک با امتیازهای کمتر (حدود ۳.۹۵ و ۳.۹۰) به چشم می‌خورند که به علت دسترسی محدود و ارزش فرهنگی پایین‌تر، نیازمند توجه ویژه برای بهبود شرایط دسترسی و ارتقای شناخت اجتماعی هستند.

جدول ۴: وزن‌دهی ارزش فرهنگی-تاریخی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس

ژئومورفوسایت	استفاده آموزشی (+/۱۵)	دسترسی‌پذیری (+/۴۰)	ارزش فرهنگی- تاریخی (+/۴۵)	امتیاز کل کاربردی- اجتماعی (۱۰-۰)
رودخانه چالوس	۷	۸	۹	۸/۱
دره و آبشار هریجان	۷	۷	۸	۷/۳
نمک آبرود	۶	۷	۷	۶/۸
دریاچه ولشت	۷	۶	۷	۶/۶
مرداب هسل	۶	۷	۶	۶/۳
مرداب کندوچال	۶	۶	۶	۶/۳
چشمه و آب گرم لاروسر	۶	۵	۸	۶/۲
چشمه داریو	۶	۶	۷	۶/۳
شاه علمدار	۶	۵	۸	۶/۲
سایت انگوران	۵	۵	۶	۵/۳
آبشار و چشمه سینوا	۶	۴	۷	۵/۵
آبشار ایستگاه کانی	۵	۵	۷	۵/۶
گرند کانپون هزارچم	۵	۴	۵	۴/۶
پنجه گرگی دره حسن آباد	۴	۴	۵	۴/۲
سیاه بیشه	۴	۳	۵	۳/۹
دریاچه سد دریوک	۵	۳	۴	۳/۹

تحلیل آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس بر اساس چهار عامل کلیدی ارزیابی شده است. فرسایش با وزن ۴۰ درصد، بیشترین تاثیر را در تعیین میزان آسیب‌پذیری داشته است که نشان‌دهنده اهمیت پدیده‌های طبیعی فرسایشی در این منطقه است.

سایت‌هایی مانند رودخانه چالوس (امتیاز ۷.۰) و نمک آبرود (۶.۹) بیشترین آسیب‌پذیری را به دلیل شدت فرسایش، توسعه شهری گسترده و فشار گردشگری تجربه می‌کنند. این موضوع ضرورت توجه ویژه به برنامه‌های حفاظتی در این مناطق را برجسته می‌کند.

از سوی دیگر، سایت‌هایی مانند مرداب هسل، مرداب کندوچال و پنجه گرگی دره حسن آباد به دلیل موقعیت جغرافیایی دورتر از مناطق پرجمعیت و فشار کمتر گردشگری، کمترین آسیب‌پذیری را دارند.

عوامل توسعه شهری و گردشگری به طور خاص در مناطقی که دسترسی آسان و فعالیت انسانی زیاد است، افزایش یافته و باعث کاهش پایداری ژئومورفوسایت‌ها می‌شوند. همچنین، تغییرات اقلیمی با وزن کمتری در این ارزیابی در نظر گرفته شده اما نمی‌توان نقش بلندمدت آن را نادیده گرفت. (جدول ۵).

این نتایج بیانگر ضرورت اتخاذ سیاست‌های حفاظتی هدفمند و مدیریت پایدار برای مناطق با آسیب‌پذیری زیاد مانند ساحل توسکاتپه و دهانه رودخانه چالوس است. همچنین تاکید می‌کند که شناسایی دقیق عوامل تهدید و آسیب‌پذیری، پیش‌شرط حیاتی برای برنامه‌ریزی محافظتی موثر و مداخلات به موقع در حفاظت از میراث ژئومورفولوژیکی شهرستان چالوس می‌باشد.

جدول ۵: وزن‌دهی آسیب‌پذیری ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس

تغییرات اقلیمی (۰/۱۰)	گردشگری (۰/۲۰)	توسعه شهری (۰/۳۰)	فرسایش (۰/۴۰)	امتیاز کل آسیب‌پذیری (۰-۱۰)
۵	۶	۸	۷	۶/۹
۶	۷	۵	۶	۵/۹
۴	۴	۳	۵	۴/۱
۵	۵	۴	۶	۵/۱
۶	۳	۳	۴	۳/۶
۶	۵	۵	۷	۵/۹
۶	۷	۶	۸	۷
۵	۴	۳	۴	۳/۸
۵	۷	۵	۶	۵/۸
۵	۵	۴	۵	۴/۷
۵	۴	۵	۵	۴/۸
۶	۵	۲	۷	۵
۴	۳	۴	۴	۳/۸
۵	۴	۴	۵	۴/۵
۵	۶	۴	۶	۵/۳
۴	۳	۳	۴	۳/۵

تحلیل دسترسی و قابلیت حفاظت

در این ارزیابی، ژئومورفوسایت‌های منطقه چالوس بر اساس دو شاخص کلیدی «دسترسی» و «قابلیت حفاظت» مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با در نظر گرفتن وزن مساوی برای هر شاخص (۰.۵)، مشخص شد که تفاوت‌های چشمگیری در میزان دسترسی عمومی و امکان مدیریت حفاظتی در میان این سایت‌ها وجود دارد (جدول ۶).

در صدر جدول، نمک‌آبرود با بالاترین امتیاز نهایی (۸.۵) قرار دارد. علت این جایگاه ممتاز، دسترسی بسیار آسان (به واسطه زیرساخت‌های مناسب گردشگری مانند تله‌کابین، جاده آسفالته، و تابلوهای راهنما) و همچنین سطح بالای حفاظت رسمی و غیررسمی است که از مخاطرات انسانی جلوگیری می‌کند. رودخانه چالوس نیز با امتیاز بالا (۸.۰) از لحاظ دسترسی آسان و سطح حفاظت نسبتاً خوب، جایگاه دوم را به خود اختصاص داده است.

در میانه جدول، ژئومورفوسایت‌هایی مانند دریاچه ولشت، دره و آبشار هریجان و دریاچه سد دریوک با امتیازهایی در بازه ۶.۵ تا ۷.۰ قرار دارند. این سایت‌ها دارای دسترسی قابل قبول و اقدامات حفاظتی محدود اما مؤثر هستند.

در مقابل، سایت‌هایی مانند چشمه داریو، پنجه گرگی دره حسن‌آباد و نهایتاً گرند کانیون هزارچم در پایین جدول قرار گرفته‌اند. گرند کانیون هزارچم با کمترین امتیاز نهایی (۳.۵)، به دلیل دسترسی دشوار و نبود زیرساخت‌های گردشگری و

حفاظتی، در پایین‌ترین سطح قرار دارد. این امر از یک سو آسیب‌پذیری محیطی آن را کاهش می‌دهد، اما از سوی دیگر امکان مدیریت، آموزش و گردشگری پایدار را نیز محدود می‌سازد.

نتایج این جدول بر اهمیت توسعه متوازن زیرساخت‌های دسترسی در کنار تقویت سازوکارهای حفاظتی برای بهره‌برداری پایدار از میراث ژئومورفولوژیک منطقه تأکید می‌کند. در عین حال، اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی در مناطقی با امتیاز پایین می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده نقش کلیدی ایفا کند.

جدول ۶: وزن‌دهی دسترسی و قابلیت حفاظت ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس

ژئومورفوسایت	حفاظت قانونی و مدیریتی (۰/۵۰)	دسترسی عموم (۰/۵۰)	امتیاز کل دسترسی و حفاظت (۱۰-۰)
نمک آبرود	۸	۹	۸/۵
دره و آبشار هریجان	۷	۷	۷
سیاه بیشه	۶	۸	۷
دریاچه ولشت	۶	۷	۶/۵
مرداب هسل	۶	۶	۶
دریاچه سد دریوک	۷	۶	۶/۵
رودخانه چالوس	۷	۹	۸
مرداب کندوچال	۶	۵	۵/۵
آبشار و چشمه سینوا	۶	۶	۶
چشمه و آب گرم لاروسر	۷	۵	۶
سایت انگوران	۶	۶	۶
چشمه داریو	۵	۴	۴/۵
شاه علمدار	۶	۵	۵/۵
آبشار ایستگاه کانی	۵	۶	۵/۵
پنجه گرگی دره حسن‌آباد	۵	۴	۴/۵
گرند کانپون هزارچم	۴	۳	۳/۵

جدول ۷: وزن‌دهی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس با استفاده از روش مکمل با تمرکز بر ارزش زیباشناختی

ژئومورفوسایت	تنوع رنگ و بافت (۰.۲۵)	تماشایی بودن فرم‌ها (۰.۳۵)	چشم‌انداز پانورامیک (۰.۴)	امتیاز کل زیبایی‌شناسی (۱۰-۰)
گرند کانپون هزارچم	۸	۹	۱۰	۹/۱
دره و آبشار هریجان	۸	۹	۹	۸/۷
مرداب هسل	۹	۷	۸	۸/۹
دریاچه ولشت	۸	۷	۸	۷/۶
دریاچه سد دریوک	۷	۷	۸	۷/۴
رودخانه چالوس	۷	۷	۷	۷
چشمه داریو	۸	۶	۷	۶/۹
سیاه بیشه	۷	۶	۷	۶/۶
شاه علمدار	۷	۶	۶	۶/۲
آبشار و چشمه سینوا	۶	۶	۶	۶
پنجه گرگی دره حسن‌آباد	۷	۵	۶	۶
سایت انگوران	۶	۵	۶	۵/۹
نمک آبرود	۶	۶	۵	۵/۶
چشمه و آب گرم لاروسر	۶	۵	۵	۵/۲

مرداب کندوچال	۵	۵	۵	۵
آبشار ایستگاه کانی	۵	۵	۴	۴/۶

ب) روش مکمل با تمرکز بر ارزش زیباشناختی (کوراتزا و گیوستی، ۲۰۰۵؛ بریل، ۲۰۱۶)

در این مرحله، با استفاده از روش مکمل با تمرکز بر ارزش زیباشناختی و با در نظر گرفتن اهمیت ادراک بصری در مطالعات میراث ژئومورفولوژیکی، ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس از نظر زیبایی‌شناسی ارزیابی شدند (جدول ۷). مطابق نتایج، گرند کانیون هزارچم بالاترین امتیاز نهایی زیباشناختی (۹.۱۵) را داراست. چشم‌انداز وسیع و پانورامیک این سایت به‌همراه فرم‌های عمیق و بدیع، آن را به یکی از منحصربه‌فردترین مناظر طبیعی منطقه تبدیل کرده است. پس از آن، دره و آبشار هریجان نیز با چشم‌اندازی باشکوه و ترکیبی از آبشار و پوشش جنگلی، جایگاه دوم را به خود اختصاص داده است.

مرداب هسل و دریاچه ولشت نیز به‌دلیل تنوع رنگی چشمگیر در فصول مختلف و هماهنگی طبیعی با چشم‌انداز اطراف، نمره بالایی کسب کرده‌اند. در سوی دیگر طیف، آبشار ایستگاه کانی و مرداب کندوچال با کمترین امتیاز قرار گرفته‌اند که می‌تواند ناشی از محدود بودن گستره دید، فرم‌های تکراری و کنتراست رنگی کمتر باشد.

در مرحله بعد با استفاده از روش سلسله مراتبی وزن نهایی هر یک از متغیرها به دست آمد (جدول ۸).

جدول ۸: وزن‌دهی نهایی شاخص‌ها

شاخص	وزن نهایی (W)
روش مکمل با تمرکز بر ارزش زیباشناختی	۰/۳۲
ارزش علمی	۰/۳۰
ارزش زیباشناسی	۰/۲۵
اهمیت فرهنگی و تاریخی	۰/۱۵
آسیب‌پذیری (وارونه‌شده)*	۰/۲۰
دسترسی و قابلیت حفاظت	۰/۱۰

* یادآوری: از آنجایی که آسیب‌پذیری نشان‌دهنده تهدید است، در تحلیل تلفیقی برای حفظ منطق ارزیابی مثبت، مقدار آن وارونه (۱۰ - امتیاز آسیب‌پذیری) در نظر گرفته شده است.

محاسبه امتیاز تلفیقی نهایی:

امتیاز نهایی هر ژئومورفوسایت از مجموع حاصل ضرب هر شاخص در وزن متناظر آن به دست می‌آید:

$$MCA = (Aesthetic \times 0.32) + (Scientific \times 0.30) + (Aesthetic \times 0.25) + (Cultural \times 0.15) + ((10 - Vulnerability) \times 0.20) + (Access \times 0.10)$$

تحلیل چندمعیاره (MCA) ابزاری کارآمد برای ارزیابی و رتبه‌بندی ژئومورفوسایت‌ها بر اساس ترکیبی از شاخص‌های علمی، زیبایی‌شناختی، فرهنگی، آسیب‌پذیری و قابلیت دسترسی است (جدول ۹).

د. تحلیل بر اساس شاخص‌ها

۱. ارزش علمی

سایت‌هایی مانند چشمه داریو، مرداب هسل و گرند کانپون هزارچم بالاترین امتیاز علمی را دارند. این امر نشان‌دهنده اهمیت زمین‌شناختی و ساختاری آن‌ها بوده و آن‌ها را به گزینه‌هایی مناسب برای گردشگری علمی، آموزش دانشگاهی و حفاظت ژئومورفولوژیکی تبدیل می‌کند.

۲. ارزش زیبایی‌شناختی

رودخانه چالوس و مرداب هسل از لحاظ زیبایی‌شناسی درخشان هستند. این عامل برای جذب گردشگران طبیعت‌دوست و فعالان رسانه‌ای نقش کلیدی دارد. سایت‌هایی با منظره‌های چشم‌نواز مستعد توسعه گردشگری طبیعی و اکوتوریسم هستند.

۳. اهمیت فرهنگی و تاریخی

دره و آبشار هریجان و رودخانه چالوس از جایگاه فرهنگی-تاریخی بالایی برخوردارند. این عامل می‌تواند نقطه اتصال ژئوتوریسم با گردشگری فرهنگی باشد و به طراحی تورهای ترکیبی فرهنگی-طبیعی کمک کند.

۴. آسیب‌پذیری

سایت‌هایی مانند مرداب هسل و مرداب کندوچال آسیب‌پذیری کمتری دارند. این ویژگی مزیتی برای توسعه پایدار است، چرا که مداخلات انسانی در این سایت‌ها به‌سادگی قابل کنترل یا جبران است. در مقابل، دریاچه ولشت و نمک آبرود دارای آسیب‌پذیری بالاتری است و نیاز به مدیریت دقیق‌تر و کنترل گردشگری دارد.

۵. دسترسی و قابلیت حفاظت

نمک آبرود، رودخانه چالوس و دریاچه ولشت دسترسی مناسبی دارند و پتانسیل بهره‌برداری گردشگری بدون نیاز به زیرساخت‌های گسترده را دارا هستند. در مقابل، سایت‌هایی مانند گرند کانپون هزارچم به‌رغم ارزش‌های بالای علمی، از نظر دسترسی ضعیف هستند و به بهبود زیرساختی نیاز دارند.

جدول ۹: امتیاز تلفیقی چندمعیاره (MCA)

امتیاز نهایی	ژئومورفوسایت	ردیف
۷/۲	نمک آبرود	۱
۷/۱	رودخانه چالوس	۲
۶/۹	دریاچه ولشت	۳
۶/۸	مرداب هسل	۴
۶/۹	چشمه داریو	۵
۶/۸۹	گرند کانپون هزارچم	۶
۶/۸۲	دره و آبشار هریجان	۷
۶/۵۸	چشمه و آب گرم لاروسر	۸
۶/۵۶	مرداب کندوچال	۹
۶/۴۹	دریاچه سد دریوک	۱۰
۶/۴۳	سیاه بیشه	۱۱
۶/۳	آبشار ایستگاه کانی	۱۲
۶/۱	شاه علمدار	۱۳
۶/۱۴	آبشار و چشمه سینوا	۱۴
۵/۹	سایت انگوران	۱۵
۵/۴	پنجه گرگی دره حسن‌آباد	۱۶

تحلیل نهایی MCA

برترین سایت‌ها بر اساس MCA شامل مرداب هسل (۷۰۲۸) و رودخانه چالوس (۷۰۱۶) هستند که از نظر زیبایی‌شناسی و فرهنگی بسیار برجسته بوده و از سطح مناسبی از دسترسی و حفاظت برخوردارند. این سایت‌ها گزینه‌های اصلی برای توسعه گردشگری علمی و طبیعت‌گردی هستند.

گردد کانپون هزارچم با وجود جایگاه ویژه علمی و بصری، به دلیل ضعف در دسترسی و حفاظت، در رده میانی قرار گرفته است (۶۰۹۱) و نیاز به مدیریت حفاظتی ویژه و توسعه زیرساختی دارد.

سایت‌هایی مانند سیاه بیشه، پنجه‌گرگی دره حسن‌آباد و سایت انگوران امتیازهای پایین‌تری دارند که عمدتاً ناشی از امتیازهای پایین در ارزش فرهنگی یا دسترسی است. این مناطق نیازمند مطالعات بیشتر و برنامه‌ریزی هدفمند جهت ارتقا در رتبه‌بندی کلی هستند.

۵. اعتبارسنجی روش ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها

در نخستین گام، برای بررسی همخوانی و انسجام درونی مدل ارزیابی، تحلیل همبستگی بین شاخص‌های اصلی شامل ارزش علمی، ارزش زیباشناختی و ارزش کاربردی-اجتماعی انجام شد. نتایج نشان داد که همبستگی بین ارزش علمی و زیباشناختی برابر با ۰/۸۱، بین ارزش علمی و کاربردی ۰/۷۴ و بین ارزش زیباشناختی و کاربردی ۰/۶۸ است. این همبستگی‌های مثبت و نسبتاً بالا حاکی از آن است که شاخص‌های مختلف در جهت واحدی عمل کرده و ارزیابی به صورت منطقی و مبتنی بر واقعیت‌های محیطی انجام شده است (جدول ۱۰).

در مرحله دوم، به منظور بررسی پایداری مدل ارزیابی در برابر تغییرات احتمالی در وزن‌دهی شاخص‌ها، تحلیل حساسیت انجام گرفت. در این تحلیل، وزن شاخص ارزش زیباشناختی به‌طور آزمایشی از ۲۰ درصد به ۳۰ درصد افزایش یافت. نتایج تحلیل نشان داد که ترتیب رتبه‌بندی ژئومورفوسایت‌ها تغییر چشمگیری نکرد و سایت‌هایی مانند رودخانه چالوس، دریاچه ولشت، کوه‌های نمک‌آبرود و چشمه و آب گرم لاروسر همچنان در صدر قرار گرفتند. این پایداری مدل نشان می‌دهد که رتبه‌بندی نهایی متأثر از تغییرات جزئی وزن‌ها نیست و بنابراین از پایایی ساختاری بالایی برخوردار است.

جدول ۱۰: نتایج همبستگی پیرسون

شاخص‌ها	ضریب همبستگی (r)	نوع رابطه
علمی ↔ زیباشناسی	۰/۸۱	بالا، مثبت
علمی ↔ کاربردی-اجتماعی	۰/۷۴	نسبتاً بالا
زیباشناسی ↔ کاربردی-اجتماعی	۰/۶۸	متوسط، مثبت

در گام سوم، برای اعتباربخشی تجربی به یافته‌ها، نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های ثانویه، گزارش‌های سازمان‌های مرتبط با محیط‌زیست و منابع علمی معتبر مقایسه شد. نتایج این تطبیق نشان داد که ژئومورفوسایت‌هایی که در این پژوهش دارای امتیاز بالایی بودند، در مطالعات پیشین و نیز در برنامه‌های رسمی گردشگری و حفاظتی نیز به عنوان نواحی با ارزش ژئومورفولوژیکی بالا معرفی شده‌اند. برای نمونه، دریاچه ولشت در اسناد ملی و منطقه‌ای به‌عنوان یک جاذبه ژئوتوریسمی ممتاز شناخته شده است.

بر اساس مجموعه این سه رویکرد، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارزیابی مورد استفاده از اعتبار درونی و بیرونی مناسبی برخوردار بوده، قابلیت تعمیم‌پذیری دارد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری علمی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، حفاظتی و توسعه گردشگری در نواحی مشابه به کار رود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که با هدف ارزیابی کمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان چالوس و بر پایه مدل ترکیبی رینارد و روش مکمل زیباشناسی انجام شد، نشان می‌دهد که این منطقه به واسطه تنوع چشمگیر اشکال ریخت‌زمین‌ساختی، هم‌نشینی مناظر ساحلی، جنگلی و کوهستانی، و پویایی فرایندهای ژئومورفیک، از ظرفیت بالایی برای توسعه ژئوتوریسم علمی و مدیریت میراث طبیعی برخوردار است. ارزیابی ۱۶ ژئومورفوسایت منتخب با بهره‌گیری از تحلیل چندمعیاره و بر اساس شاخص‌های علمی، زیباشناختی، فرهنگی-تاریخی، آسیب‌پذیری و قابلیت حفاظت نشان داد که سایت‌هایی مانند گرند کانیون هزارچم، دره و آبشار هریجان و دریاچه ولشت از بالاترین ارزش تلفیقی برخوردارند و می‌توانند به‌عنوان نقاط کانونی توسعه ژئوتوریسم منطقه معرفی شوند.

مقایسه نتایج با مطالعات پیشین (از جمله رینارد ۲۰۰۷؛ بریل ۲۰۱۶؛ هنریکواسات ۲۰۱۱؛ تامانگ ۲۰۲۳؛ و پژوهش‌های داخلی نظیر شایان یگانه ۱۴۰۲ و صحرایی ۱۳۹۹) نشان می‌دهد که یافته‌های این تحقیق با ادبیات علمی جهانی و منطقه‌ای همخوان است و تأکید بر نقش ارزش‌های علمی و زیباشناختی در اولویت‌بندی ژئومورفوسایت‌ها رویکردی معتبر و قابل اتکا محسوب می‌شود. نوآوری این پژوهش در توجه همزمان و برجسته به شاخص‌های آسیب‌پذیری و قابلیت حفاظت است؛ حوزه‌ای که در بسیاری از مطالعات بین‌المللی کمتر مورد توجه بوده اما در مناطق گردشگرپذیر و حساس شمال ایران نقشی تعیین‌کننده دارد. این رویکرد امکان شناسایی دقیق‌تر سایت‌هایی را فراهم کرد که علی‌رغم ارزش چشمگیر، با تهدیدات محیطی و مدیریتی جدی روبه‌رو هستند.

نتایج همچنین نشان داد که برخی ژئومورفوسایت‌ها، مانند نمک‌آبرود و دریاچه سد دریوک، با وجود ارزش‌های علمی قابل توجه، به دلیل محدودیت‌های دسترسی، فشار فعالیت‌های انسانی و حساسیت اکولوژیکی، نیازمند اقدامات حفاظتی ویژه و برنامه‌ریزی مدیریتی مبتنی بر اصول ژئوتوریسم پایدار هستند. در مقابل، سایت‌هایی با آسیب‌پذیری کمتر و قابلیت تفسیرپذیری بالا واجد پتانسیل تبدیل شدن به مسیرهای جدید گردشگری علمی‌اند.

به طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های ارزیابی کمی و تحلیل تلفیقی چندمعیاره—در صورت بومی‌سازی و انطباق با شرایط منطقه‌ای—می‌تواند ابزاری کارآمد برای شناسایی، مقایسه و اولویت‌بندی ژئومورفوسایت‌ها در مقیاس محلی باشد. یافته‌ها همچنین بر ضرورت تقویت چارچوب‌های مدیریتی، توسعه زیرساخت‌های مناسب برای بازدید علمی، ارتقای آگاهی عمومی، و ایجاد نظام‌های حفاظتی مبتنی بر GIS و پایش مستمر تأکید دارد. این پژوهش با محدودیت‌هایی از جمله دسترسی محدود به برخی ژئومورفوسایت‌ها، نبود داده‌های بلندمدت اقلیمی و زمین‌شناسی با جزئیات بالا و محدودیت زمان مطالعه مواجه بود. برای پژوهش‌های آتی توصیه می‌شود از پایش بلندمدت فرایندهای ژئومورفولوژیکی، استفاده گسترده از سامانه‌های GIS و سنجش از دور، و مشارکت گسترده‌تر کارشناسان بین‌رشته‌ای بهره گرفته شود. همچنین، طراحی برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی، تقویت زیرساخت‌های حفاظتی و مسیرهای دسترسی پایدار، و توسعه گردشگری علمی مبتنی بر مدیریت زیست‌محیطی می‌تواند به حفاظت و بهره‌برداری بهینه از ژئومورفوسایت‌ها کمک کند.

منابع

- ایلانلو، م. (۱۴۰۴). تحلیل پویایی پیوستگی ژئومورفیک تحت تأثیر تغییر اقلیم و کاربری زمین در حوضه زربینه‌رود، شمال غرب ایران. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۴(۳)، ۱۶۶-۱۴۷.
- حسینی لرگانی، م.، ابراهیمی جمنانی، ل. (۱۴۰۲). سنجش آسیب‌پذیری شهرها براساس اصول پدافند غیرعامل با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (نمونه موردی: شهر چالوس). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۱۴(۱)، ۲۰-۳۷.

- شایان یگانه، ع.ا، زنگنه اسدی، م.ع، امیر احمدی، ا. (۱۴۰۲). ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها و ژئوکانزرویشن ژئوپارک پیشنهادی غرب خراسان رضوی با استفاده از مدل بومی شایان یگانه و همکاران و مقایسه این مدل با مدل‌های جهانی کومانسکو، فاسولاس، بریلیا. برنامه ریزی فضایی، ۱۳(۱)، ۲۰-۱.
- شایان یگانه، ع.ا، زنگنه اسدی، م.ع، امیر احمدی، ا. (۲۰۱۶). نگرشی نوین در ارزیابی ژئومورفوسایتها و ژئوسایتها در ایران. فصلنامه مطالعات مدیریت گردشگری، ۱۱(۳۴)، ۴۱-۶۴.
- شرقی، س.، سکوند، ح.، و کمالی، ز. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات مکانی-زمانی مورفولوژی رودخانه سیلاخور در استان لرستان. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸(۳)، ۱۱۵-۱۳۱.
- شیبانی، و. (۱۳۹۸). بررسی و ارزیابی ژئوسایت‌های معدنی شهرستان طبس به‌عنوان یک ژئوپارک معدن‌محور در شرق ایران مرکزی. جغرافیای توسعه ناحیه ای، ۱۷(۲)، ۱۹۱-۲۱۵.
- صحرايي، م.، نادری، ن.، و رضوی، پ. ۱۳۹۹. ارزیابی ژئومورفوسایت‌های شهرستان رامسر با تأکید بر توسعه ژئوتوریسم. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۲(۴)، ۸۹-۱۰۵.
- Bidias, L. A. Z. A., Kameni, L. H. N., Moundi, A., & Kamgang, P. (2023). Geoheritage of the volcanic landscapes of Fombot-Koumboum region, Noun Plain, Cameroon: Geomorphological features and assessment of geomorphosites. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(3), 464-482.
- Brilha, J. (2005). Geoconservation and protected areas. *Environmental Geology*, 50(2), 151-158.
- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: A review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134.
- Claudino-Sales, V. (2018). *Coastal World Heritage Sites*. Springer.
- Coratza, P., & Giusti, C. (2005). Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *Il Quaternario*, 18(1), 305-313.
- Coratza, P., Panizza, M., & Piacente, S. (2015). Geodiversity and geoheritage: A new approach. *Annals of Geomorphology*, 59(3), 55-66.
- Goudie, A. (2013). *The human impact on the natural environment*. John Wiley & Sons.
- Goudie, A. (2023). *Geomorphology in the Anthropocene*. Routledge.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons.
- Henriques, M.H., Brilha, J., & Neto, C. (2011). Geoheritage and geoconservation in Portugal: State of the art and future perspectives. *Geoheritage*, 3(3), 149-162.
- Hoang, T. P. C., Ha, Q. H., & Nguyen, T. Q. N. (2021). Geomorphosites of Nui Chua National Park, Ninh Thuan Province, Vietnam. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(4), 375-390.
- Morino, C., Coratza, P., Ghirotti, M., Pasuto, A., & Soldati, M. (2025). Landslide-geomorphosite assessment in the Dolomites (Italy): Application of a newly implemented method. *Geomorphology*, 109844.
- Masselink, G., Hughes, M.G., & Knight, J. (2014). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Routledge.
- Mucivuna, V., Brilha, J., Lima, F. F. de., & Neumann, V. H. (2019). Geoheritage and geodiversity in Brazilian semiarid regions. *Geoheritage*, 11(3), 743-757.
- Panizza, M., & Piacente, S. (2003). Geomorphosites: A bridge between scientific research, cultural heritage and geotourism. *Il Quaternario*, 16(1), 547-554.
- Rynard, E. (2004). Geosite: Definition and assessment. *Revue de Géographie Alpine*, 92(3), 77-90.
- Rynard, E. (2006). Scientific research and tourist promotion of geomorphological heritage. *Geographica Helvetica*, 61(3), 151-159.

- Rynard, E., Fontana, G., Kozlik, L., & Scapozza, C. (2007). A method for assessing scientific and additional values of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 62(3), 148–158.
- Rynard, E., Perret, A., & Bussard, J. (2016). Integrating geomorphological heritage into environmental management: Issues and perspectives. *Geoheritage*, 8(2), 105–114.
- Sharples, C. (1995). *Geoconservation in forest management – Principles and procedures*. Forestry Tasmania.
- Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*. Tasmania Parks and Wildlife Service.
- Sharples, C. (2022). Geoheritage: Past, present and future. In: رینارد, E. (Ed.), *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. Springer.
- Trenhaile, A. S. (2020). *Coastal environments: Problems and management*. CRC Press
- Comănescu, L., Nedelea, A., & Păunescu, C. (2025). Geolandscapes of the Ciucas Mountains (Eastern Carpathians, Romania)-the assessment of geomorphosites and development of geotourism. *Geomorphology*, 480, 109753.
- Tamang, L., Mandal, U. K., Karmakar, M., Banerjee, M., & Ghosh, D. (2023). Geomorphosite evaluation for geotourism development using geosite assessment model (GAM): A study from a Proterozoic terrain in eastern India. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(1), 82-99.