



Application Landscape Metrics in Assessing Geomorphodiversity of Desert Areas the Case Study of Masileh Playas

Alireza Salehipour Milani ^a  , Seyed Hassan Sadough ^b, Rasoul Rafiei ^c

^a. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: ar.salehipour@gmail.com

^b. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: h-sadough@sbu.ac.ir

^c. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: rafiei.rasoul53@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Geomorphodiversity,
Landscape Metrics,
Desert Area,
Playa,
Masileh.

Article History:

Received:

24 August 2023

Received in revised form:

26 November 2023

Accepted:

29 December 2023

Available online:

30 January 2024

pp. 85-102

ABSTRACT

The desert areas of the playas are important due to the diversity of geomorphological landforms and the great potential for geotourism development. These areas can be provided using statistical and quantitative models to determine the areas with a higher geomorphological diversity value to land planners for the sustainable development. This research was conducted to evaluate the geomorphodiversity in Mesileh playas in Namak Lake and Hoz-e- Sultan region. The geomorphological landforms in this area were extracted using satellite images and field studies, Fragstats software and the eight quantitative indicators of the landscape metrics include Patch Richness Density, Relative Patch Richness, Simpsons Evenness Index, Index Shannon Evenness, Shannons Diversity Index, Simpson's Diversity Index, Modified Simpson's Diversity Index, Modified Sahanon Evenness Index were exerted to evaluate the richness of geomorphological units in Masileh playas. The results indicate that the geomorphological units of alluvial fans, salt flats, salt mud flats and dunes, respectively, have the highest value among the landscape metrics. In addition, from the point of view of the landscape metrics, the northwest regions of Kashan and Abuzeydabad have the most incredible variety of geomorphology. This research showed that geomorphological units could be used as a suitable indicator in evaluating the diversity of the landscape, especially in flat areas with morphometric and geological diversity.

Citation: Salehipour Milani, A., Sadough, S. H., Rafiei, R. (2023). Application Landscape Metrics in Assessing Geomorphodiversity of Desert Areas the Case Study of Masileh Playas. *Geographical planning of space quarterly journal*, 13 (4), 85-102.

 <http://doi.org/10.30488/GPS.2023.382991.3616>



© The Author(s)

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

The assessment of geographic diversity in natural environments has developed in the earth sciences. It is a process by which non-living elements are assessed using qualitative, quantitative or quantitative-qualitative methods. Qualitative methods are descriptive and usually associated with nominal or ordinal data. Quantitative methods are based on parameters commonly used to calculate the geographic diversity index. Desert areas such as playas are of great importance due to the great variety of geomorphological landforms that have great potential for the development of geotourism. The evaluation of these areas using statistical and quantitative models to determine areas with high geomorphodiversity value can provide land planners with a new approach to the sustainable development of these areas. This research was conducted to evaluate geomorphodiversity in the Salt Lake and Hoz Sultan playas. These flat areas can have a lot of geomorphological diversity independent of the morphological and geological parameters of the land surface. Therefore, it is necessary to evaluate the diversity of the landscape in these areas by using the diversity variable of geomorphological units. This research aimed to evaluate their geomorphodiversity by using the nature of geomorphology and landscapes in a desert area, including Salt Lake and Hoz Sultan. In addition to evaluating the effectiveness of land surface metrics in evaluating the geomorphological diversity of the studied area, a new path was taken to study the geomorphological diversity analysis of this region and its similar regions.

Methodology

This research is descriptive, analytical, and quantitative. The border of salt lakes and Hoz Sultan was prepared using the Alos-Plasar digital elevation model with a spatial resolution of 12.5 meters and the ArcHydro plugin in ArcGis10.7 software. The geomorphological units in the studied area

were divided into three main units as an alluvial fan, playa, and sandy areas. Geomorphological forms in this area were extracted using satellite images and field studies and from the quantitative indicators of landscape metrics, including eight indicators, Patch Richness Density, Relative Patch Richness, Simpsons Evenness Index, Index Shannon Evenness, Shannons Diversity Index, Simpson's Diversity Index, Modified Simpsons Diversity Index, Modified Simpsons Evenness Index in Fragstats software were exerted to evaluate the value of geomorphological units as well as areas of the studied area.

Discussion and results

The results show that the geomorphological units of alluvial fans, salt flats, salt mud flats and sand dunes respectively have the highest value among the geomorphological landforms. One of the reasons for the very high value of this unit in the studied area is the number of alluvial fans, the distribution and extent of this geomorphological unit in the playa of Salt Lake and Hoze Sultan. Alluvial fans can be seen in almost all foothills of the studied area. The number of alluvial fans in the studied area is equal to 258 and covers an area of about 5242 Km^2 , which is the largest area among the geomorphological units, both in terms of frequency and area. In addition, from the point of view of landscape metrics, the northwest region of Kashan and Abuzeydabad has the greatest variety of geomorphology. Due to the variety of wind geomorphological forms such as barchan, longitudinal dune, sand dune, and sand flats, it has a great variety of geomorphological units. Therefore, the region south of Salt Lake has a high potential for developing tourism-related programs focused on geotourism and geomorphotourism.

Conclusion

One of the most important elements of studies in the field of geotourism and finding the potential of different areas in natural fields in tourism is to identify and evaluate the diversity of geomorphology. Among the geomorphological units, desert areas and

especially playas have a great place in the tourism development in Iran due to the variety of landforms. However, most of the models that are used in order to evaluate the geological and geomorphological diversity in the country and other parts of the world are related to mountainous areas, and no serious studies have been conducted in lowland and flat areas such as playas. Therefore, evaluating the effectiveness of land diversity evaluation models in desert areas based on geomorphological units can bring a new model in line with the studies of desert areas.

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.

کاربرد سنجه‌های سیمای سرزمین در ارزیابی ژئومورفودایورسیتی مناطق بیابانی مطالعه موردی-پلایای مسیله

علیرضا صالحی پور میلانی^۱ ، رسول رفیعی سقالساری^۲، سید حسن صدوق^۳

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. Email: mohandesrafighi@gmail.com

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. Email: Saligheh@khu.ac.ir

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. Email: mehryakbary@khu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مناطق هموار بیابانی همانند پلایاها، به دلیل تنوع فراوان اشکال ژئومورفولوژی و پتانسیل زیادی که جهت توسعه ژئوتوریسم دارند، از اهمیت بالایی برخوردار است. ارزیابی این مناطق با استفاده از مدل‌های آماری و کمی جهت تعیین پهنه‌هایی که ارزش ژئومورفودایورسیتی بالایی دارند، می‌تواند رویکرد جدیدی را جهت توسعه پایدار این مناطق در اختیار برنامه ریزان سرزمین قرار دهد. این تحقیق باهدف ارزیابی ژئومورفودایورسیتی در پلایای مسیله در محدوده دریاچه نمک و حوض سلطان انجام گرفت. اشکال ژئومورفولوژی در این منطقه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی استخراج گردید و از شاخص‌های کمی سنجه‌های سیمای سرزمین شامل هشت شاخص تراکم ناهمواری هر قطعه، غنای نسبی هر قطعه، شاخص ناهمواری سیمپسن، شاخص ناهمواری شانون، شاخص دایورسیتی شانون، شاخص دایورسیتی سیمپسن، شاخص دایورسیتی اصلاح‌شده سیمپسن و شاخص اصلاح‌شده ضریب ناهمواری سیمپسون، در نرم‌افزار Fragstats به‌منظور ارزیابی غنای واحدهای ژئومورفولوژی در پلایای مسیله استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که واحدهای ژئومورفولوژی مخروط افکنه، کفه نمکی و کفه‌های گلی نمکی و تپه‌های ماسه‌ای به ترتیب بیشترین ارزش را در بین سنجه‌های سیمای سرزمین به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر آن از دیدگاه سنجه‌های سیمای سرزمین منطقه شمال غرب کاشان و ابوزیدآباد بیشترین تنوع ژئومورفولوژی را دارا هستند. این پژوهش نشان داد که استفاده از واحدهای ژئومورفولوژی می‌تواند به‌عنوان شاخصه مناسبی در ارزیابی تنوع سیمای سرزمین به‌خصوص در مناطق هموار که تنوع مورفومتری و زمین‌شناختی دارند، مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی:

ژئومورفودایورسیتی،
سنجه‌های سیمای
سرزمین،
پلایا،
مسیله.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۶/۰۲

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۱۰/۰۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۱۱/۱۰

صص. ۱۰۲-۸۵

استناد: صالحی پور میلانی، علیرضا؛ رفیعی سقالساری، رسول و صدوق سید حسن. (۱۴۰۲). کاربرد سنجه‌های سیمای سرزمین در ارزیابی ژئومورفودایورسیتی مناطق بیابانی مطالعه موردی-پلایای مسیله. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۳ (۴)، ۸۵-۱۰۲.

 <http://doi.org/10.30488/GPS.2023.382991.3616>

مقدمه

ارزیابی تنوع جغرافیایی در محیط‌های طبیعی در علوم زمین گسترش یافته است و این فرآیندی است که توسط آن عناصر غیرزنده با استفاده از روش‌های کیفی، کمی یا کمی-کیفی ارزیابی می‌شوند (Burnett et al, 2018:685). روش‌های کیفی توصیفی بوده و معمولاً با داده‌های اسمی یا ترتیبی مرتبط هستند و روش‌های کمی مبتنی بر مجموعه‌ای از داده‌های عددی استوار است که معمولاً برای محاسبه شاخص تنوع جغرافیایی استفاده می‌شوند (Zwolinski et al, 2018:32). هنگام ارزیابی تنوع زمین، تعدادی از عوامل غیرزنده مانند نوع سنگ، شکل زمین، شبکه هیدروگرافی، خاک و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند (Chelariu & Hapciuc, 2017:18). پیچیدگی تنوع زمین توسط محققان به‌عنوان چالشی برای ارزیابی آن شناخته شده است. روش‌ها و مفاهیم استاندارد شده و یک مدل جامع از تعامل همه متغیرهای مرتبط باید برای دستیابی به ارزیابی تنوع جغرافیایی مورد استفاده قرار گیرد (Perotti et al, 2019:28). تنوع جغرافیایی یک منطقه به‌عنوان گستره طبیعی (تنوع) آن تعریف می‌شود که عبارت‌اند از تنوع در زمین‌شناسی (سنگ‌ها، کانی‌ها، فسیل‌ها)، ژئومورفولوژیکی (فرم‌های زمین، فرآیندهای فیزیکی) و ویژگی‌های خاک (Gray, 2004:75). این تعریف تنوع جغرافیایی سه مؤلفه اصلی غیرزنده مهم دخیل در مدل‌سازی چشم‌انداز را ارائه می‌دهد: ۱- پارامترهای زمین‌شناسی، ۲- فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و ۳- شکل‌های زمین و انواع خاک که شرایط شروع چرخه‌های زیستی هستند. تکنیک‌ها و پارامترهای مختلفی در گذشته جهت ارزیابی ژئودایورسیتی یا تنوع زمین‌شناختی استفاده می‌شد.

یکی از شاخص‌هایی که در رابطه با ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی مورد استفاده قرار گرفته است شاخص ژئومورفولوژی است. در این شاخص روش کمی برای ارزیابی شاخص ژئومورفولوژی به‌طور کلی چندین پارامتر زمین مانند مجموعه داده‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدروگرافی و توپوگرافی را در نظر می‌گیرد. اگرچه تولید نقشه‌های ژئومورفولوژیکی با تکنیک‌های جدید دیجیتال همسو شده است (Gustavsson et al, 2006:91)، با این وجود ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی بسیار مشکل است زیرا نقشه‌های ژئومورفولوژی مناسبی برای مناطق مختلف در مقیاس‌های کوچک و بزرگ وجود ندارد. علاوه بر این، اطلاعات ژئومورفولوژیکی به دلیل حجم عظیمی از داده‌های مرتبط با آن برای نمایش بسیار پیچیده است، بنابراین نقشه‌ای را به وجود می‌آورد که به راحتی به فرمت دیجیتال تبدیل نمی‌شود (Melelli; Carton et al, 2005:209). نکته دیگری که در بسیاری از این مطالعات مشاهده می‌شود این است که در ارزیابی تنوع زمین‌شناختی و جغرافیایی بیشتر مطالعات در مناطق کوهستانی متمرکز شده است. این مناطق به واسطه دارا بودن تنوع ساختارهای زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و خاک می‌توانند به‌طور مستقل تنوع ژئومورفولوژی منحصر به فردی داشته باشند و به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی تنوع زمین مورد استفاده قرار گیرند. ولی چالشی که در ارزیابی تنوع زمین‌شناختی در مناطق غیر کوهستانی و همواره همانند جلگه‌های ساحلی، حوضه‌های انتهایی مناطق خشک، دشت‌های سیلابی، پلایاها وجود دارد این است که بسیاری از پارامترهای خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و هیدروژئولوژیکی از تنوع فراوانی برخوردار نیستند. به‌طور مثال تنوع شیب، جهت شیب، واحدهای سنگ‌شناسی و شبکه زهکشی در این واحدها بسیار محدود است و از شاخص‌های ارزیابی تنوع سیمای سرزمین مربوط به مناطق کوهستانی نمی‌توان استفاده نمود. از این رو نیاز است با استفاده از متغیرهایی همانند تنوع واحدهای ژئومورفولوژی^۱ به ارزیابی تنوع سیمای سرزمین در این مناطق پرداخت. این تحقیق به دنبال پاسخ به این سؤال است که در این مناطق هموار با وجود این محدودیت‌ها، آیا واحدهای ژئومورفولوژی می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی ژئودایورسیتی و ژئومورفوردایورسیتی در یک منطقه مورد مطالعه قرار گیرد و آیا سنجه‌های

سیمای سرزمین می‌توانند به‌عنوان روشی در ارزیابی این مناطق مورد استفاده قرار گیرد؟. در این تحقیق سعی بر این است که با استفاده از ماهیت ژئومورفولوژی و چشم‌اندازهای موجود در منطقه پست بیابانی پلایای مسیله، نسبت به ارزیابی ژئومورفودایورسیتی آن‌ها اقدام نماید. از این‌رو ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای واحدهای ژئومورفولوژی این مناطق تفکیک و بعد از طبقه‌بندی آن‌ها با توجه به شاخص‌های سنجش سیمای سرزمین نسبت به ارزش‌گذاری واحدهای ژئومورفولوژی اقدام شد. همچنین پراکندگی تنوع ژئومورفولوژیکی در پلایای مسیله در سلول‌های ۱۰*۱۰ کیلومتری این منطقه محاسبه گردید. علاوه بر آن کارایی سنجه‌های سیمای سرزمین در ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد، سعی شد مسیر جدیدی در راستای مطالعه بر روی تحلیل تنوع ژئومورفولوژی این منطقه و مناطق مشابه آن برداشته شود.

مبانی نظری

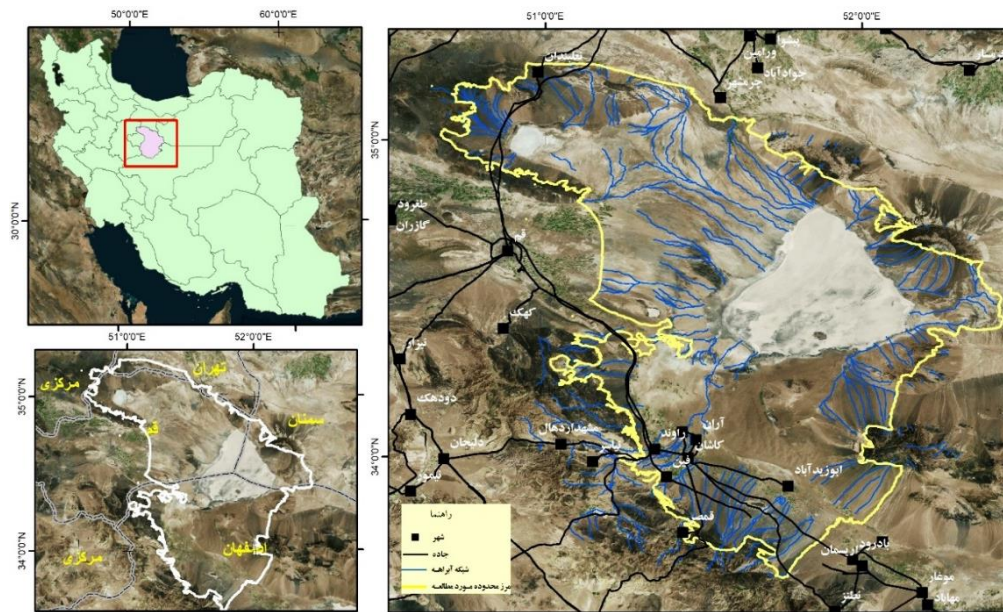
برنت و همکاران (۱۹۹۸:۳۶۷) و نیکولز و همکاران (۱۹۹۸:۳۷۴) اولین نویسندگانی هستند که روش‌های ارزیابی اولیه را برای تعیین کمیت تنوع زمین بر اساس شاخص تنوع شانون-ویور را توسعه دادند. (Shannon & Weaver, 1963:24) در ابتدا ارزیابی ژئودایورسیتی، بیشتر بر ارزیابی فرایندهای توپوگرافی و مورفومتری سطح زمین تأکید داشته است (Benito-Serrano, & Ruiz- Manosso, 2012; Hjort & Luoto, 2010:112; Müller, 2011, Calvo et al, 2009:1440). در بررسی‌های جدیدتر در حوزه ژئودایورسیتی محققان در تلاش بودند تا از تمامی شاخص‌ها و عناصر غیرزنده سطح زمین در تحلیل ژئودایورسیتی استفاده نمایند (Carcavilla de Paula Silva et al, 2015:338; Pereira et al, 2013:541; Forste et al, 2018:208; Flauto, 2007:145; et al, 2008:1300). در تلاش‌های اخیر در ارزیابی تنوع جغرافیایی، سعی شده است همه عناصر غیرزنده را در نظر گرفته و استفاده از رویکردهای روش‌شناختی یا ابزارهای جدید در مسیر شناسایی کمی تنوع جغرافیایی اقدام نمایند. به‌عنوان مثال، فررو والرو (۲۰۱۹:۶۷۱) اخیراً رویکردهای پایگاه داده رایانه‌ای را برای ذخیره اطلاعات تنوع جغرافیایی خط ساحلی اتخاذ کرده‌اند و از یک شبیه‌ساز پرواز کره مجازی که با داده‌های فضایی تنوع جغرافیایی پوشانده شده بود برای کمی کردن تنوع زمین استفاده کردند. زارنتسکی و همکاران (۲۰۱۹:۵۴۹) تکنیک‌های سنجش‌ازدور را برای تعیین کمیت و پیوند تنوع زمین‌شناسی به تنوع زیستی اتخاذ کرده‌اند. استنلی و همکاران (۲۰۲۳:۸۳۵) از ابزار GIS برای ارزیابی ژئودایورسیتی و نقشه‌کشی ژئو سیستم‌ها در ویرجینیای آمریکا استفاده کردند و نتایج این مطالعه نشان داد که ۳۳ درصد از وسعت منطقه مورد مطالعه از دیدگاه زیبایی‌شناختی، ۲۲ درصد از دیدگاه خدمات ژئوسیستم هنری و ۱۲ درصد از دیدگاه آموزشی حائز اهمیت است. دلا هرا پورتیلو و همکاران (۲۰۲۲:۱۴) از مدلی جهت ژئودایورسیتی ژئو پارک لاس لوراس استفاده کردند که مبنای آن بر پایه ارتباط متقابل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، تکتونیک و آب‌شناسی بوده است و یافته‌های این تحقیق نشان داد که این مدل توانسته به‌خوبی به‌عنوان پایه‌ای جهت حفاظت از میراث زمین‌شناسی بسیار غنی در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد. ماریکوئیز و همکاران (۲۰۲۳:۴۷) در مطالعه‌ای که در سواحل شیلی انجام داد، چشم‌انداز سرزمین را به‌عنوان شاخص برای ارزیابی ژئودایورسیتی و بیهو دایورسیتی مطرح نمود تا از طریق آن بتوان از تنوع زیستی در این منطقه محافظت نمود. همچنین اریک استات و همکاران (۲۰۲۳:۵۱) در راستای ارزیابی ژئو دایورسیتی در بخش‌هایی از نروژ و سوئد، از تجزیه و تحلیل چند معیاره داده‌های زمین‌شناسی بهره گرفتند و این روش توانست از لحاظ ژئودایورسیتی منطقه مورد مطالعه را به ۱۶ گروه از دیدگاه سنگ‌شناسی، خاک و ویژگی‌های محیطی تقسیم‌بندی نموده و الگویی جهت ارزیابی ژئودایورسیتی در این مناطق باشد. یکی از روش‌های ارزیابی ژئودایورسیتی در یک منطقه، استفاده از سنجه‌های

سیمای سرزمین است. سنجه‌های سیمای سرزمین (شاخص‌ها) در تعیین ویژگی‌های منظر چه ساختاری و چه عملکردی به‌طور فزاینده‌ای محبوب شده‌اند. ساختار با معیارهای مربوط به پیکربندی منظر (وضعیت تکه‌ها در فضا، جداسازی، تضادها) و ترکیب (سهم و تعداد انواع سطح، شاخص‌های یکنواخت) تعریف می‌شود. سنجه‌های سیمای سرزمین اغلب برای ارزیابی تنوع زیستی، تنوع جغرافیایی زیستگاه‌ها، ناهمگونی چشم‌انداز و زیبایی‌شناسی، اثرات مدیریت و برنامه‌ریزی (به‌عنوان مثال اثرات ترکیب و پیکربندی چشم‌انداز بر کیفیت آب) و همچنین عملکرد چشم‌انداز تأکید دارند (Uuemaa et al, 2009:5)؛ (Solon, 2002; McGarigal et al, 2009:440). در ایران نیز مطالعاتی در زمینه ژئودایورسیتی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین انجام گرفته است. قهرودی و همکاران (۵:۱۴۰۱) در بررسی ژئودایورسیتی حوضه بالادست سد کرج به این نتیجه رسیدند که سنجه‌های سیمای سرزمین مقادیر بالایی از دیدگاه ژئودایورسیتی داشته و ارتباط نزدیکی با لندفرم‌های موجود در این منطقه دارد. صالحی پور میلانی و همکاران (۸۷:۱۴۰۰) ژئودایورسیتی حوضه‌های آبریز مشرف به چاله دریاچه حوض سلطان و دریاچه نمک را با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین و با استفاده از ۶ متغیر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که حوضه‌های آبریز جنوب شرق کاشان از لحاظ تنوع جغرافیایی بالاترین ارزش را در بین حوضه‌های مورد مطالعه دارا است. گلی مختاری و همکاران (۱۵۳:۱۳۹۷) در تحقیق خود در حوضه‌های شمال غرب استان فارس از شاخص‌های پنج‌گانه ژئودایورسیتی و متغیرهای شیب، اقلیم و انحنای دامنه استفاده نمود و به این نتیجه رسید که حوضه نورآباد به دلیل تنوع مورفومتری بیشتر از دیدگاه سنجه‌های سیمای سرزمین از ارزش بالاتری برخوردار است. شایان یگانه و همکاران (۱۳۹۹) در ارزیابی ژئودایورسیتی پیشنهادی در غرب خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند در مناطقی که سیستم شکل زایی باد مسلط است، پتانسیل ژئودایورسیتی کم است. اسلام فرد و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل پراولنگ لند فرم‌های منطقه پنج دانگ ساری را مورد مطالعه قرار دادند و در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که منطقه باداب سورت بالاترین ارزش ژئوتوریستی را به خود اختصاص داده است. با وجود مطالعات بسیار زیادی که بر روی ژئودایورسیتی در جهان صورت گرفته است، مطالعات بر روی ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی بسیار محدود است و نیاز به انجام مطالعات در این حوزه مطالعاتی ضروری است.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پلایای مسیله و شامل دو واحد ژئومورفولوژیکی مهم دریاچه نمک و همچنین حوض سلطان و مناطق مجاور آن است. به‌طور کلی و بر پایه شواهد موجود به نظر می‌رسد که این منطقه شامل دریاچه نمک، حوض سلطان و حوضه جنوب مرنجاب در مجموع یک واحد بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهد که خود بخشی از حوضه بزرگ نئوژن در ایران مرکزی بوده است (شکل ۱). سپس در اثر فرآیندهای تکتونیکی، حوض سلطان از دریاچه نمک جدا شده و به دو حوضه مستقل تقسیم شده که البته توسط یک کانال طبیعی کماکان به یکدیگر مرتبط بودند؛ اما به تدریج این ارتباط کاهش یافت و فقط محدود به فصول مرطوب سال شده است (مستوفی، ۲۰۳:۱۳۵۰). از نظر زمین‌شناسی دریاچه نمک در یک فرونشست کم‌ژرفای زمین ساختی تشکیل شده که پیرامون آن تعدادی گسل‌های اصلی و فرعی وجود دارد که بعضی از آن‌ها مانند گسل‌های مرنجاب، راوند، سیاه کوه و دوازده امام، از گسل‌های جوان و فعال کواترن به شمار می‌روند. رسوبات دریاچه با دو چین‌خوردگی و به‌صورت تقریباً افقی مشخص شده‌اند. منطقه مورد مطالعه از لحاظ آب‌وهوایی جزو آب‌وهوای نیمه بیابانی به شمار می‌آید. تابستان این منطقه گرم و خشک است و زمستان‌هایی تقریباً سرد دارد (روحانی و همکاران، ۲۴۳:۱۴۰۰). رودخانه‌هایی که در این منطقه جاری هستند، بیشتر فصلی بوده و به سمت کویر جریان یافته و پس از پیمودن مسافتی، در آبرفت‌های بستر خود، فرو می‌روند. دریاچه نمک قم در حوضه اصلی دریاچه نمک و در شمال غرب این دریاچه

قرار گرفته است و حوضه خود را به مساحت ۸۱۵۳۷ کیلومترمربع زهکشی می‌کند و فقط زمستان‌ها آب دارد. شکل و وسعت دریاچه متناسب با ورود آب و میزان بارندگی آن در فصول مختلف سال متفاوت است مساحت تقریبی حوض سلطان حدود ۲۴۰ کیلومترمربع در شمال شرق شهرستان قم واقع شده است و رشته کوه‌های البرز در شمال آن قرار دارد. در کنار این واحدها واحدهای مخروط افکنه‌ای، سبخا، تپه‌های ماسه‌ای و دشت‌های سیلابی از جمله واحدهای مهم ژئومورفولوژی این منطقه به شمار می‌آید.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (پلاپای مسیله)

روش پژوهش

این پژوهش، توصیفی، تحلیلی و کمی می‌باشد. مرز دریاچه‌های پلاپای مسیله با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی Alos-Plasar با توان تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و با بهره‌گیری از افزونه ارک هیدرو در نرم‌افزار ArcGis10.5 تهیه گردید. در ادامه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای موجود در سامانه گوگل ارث، تصاویر سنتینل ۲ و مطالعات میدانی، واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه در سه واحد اصلی مخروط افکنه، پهنه نمکی و همچنین پهنه‌های ماسه‌ای تفکیک گردید. به منظور ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی واحدهای ژئومورفولوژی محدوده مورد مطالعه، از سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شد. سنجه‌های سیمای سرزمین الگوریتم‌هایی برای کمی کردن خصوصیات مکانی لکه‌ها، کلاس‌ها، یا موزاییک‌های کل سیمای سرزمین هستند. در محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین از هشت شاخصه شامل تراکم ناهمواری هر قطعه (PRD)^۱، غنای نسبی هر قطعه (RPR)^۲، شاخص ناهمواری سیمپسن (SIEI)^۳، شاخص ناهمواری شانون (SHEI)^۴، شاخص دایورسیتی شانون (SHDI)^۵، شاخص دایورسیتی سیمپسن (SIDI)^۶، شاخص دایورسیتی

1. Patch Richness Density
2. Relative Patch Richness
3. Simpsons Evenness Index
4. Index Shannon Evenness
5. Shannons Diversity Index
6. Simpson's Diversity Index

اصلاح شده سیمپسون (MSIDI)^۱ شاخص اصلاح شده ضریب ناهمواری سیمپسون (MSIEI)^۲ استفاده گردید. در شاخص تراکم ناهمواری هر قطعه (میزان غنی بودن واحدها و سلولها مورد ارزیابی قرار می دهد. مفهوم غنای نسبی هر قطعه (RPR) شبیه به شاخص PRD می باشد اما غنی بودن آن را به عنوان درصد از حداکثر غنای بالقوه مشخص شده توسط کاربر را نشان می دهد. در شاخص دایورسیتی شانون (SHDI) مساحت هر واحد نسبت به مساحت کل در نظر گرفته می شود. در این روش تعداد کلاسها و فراوانی هر کلاس در محدوده مورد مطالعه مدنظر قرار می گیرد. این شاخص تا حدودی در رابطه با نوع رده واحدهای نادر، نسبت به سیمپسون حساس تر است. شاخص دایورسیتی سیمپسون (SIDI) در واقع بیان کننده این است که هر واحد با چند واحد مجاور خود در ارتباط است. شاخص ناهمواری شانون (SHEI) هر واحد را نسبت به حداکثر تعداد واحدهای موجود در محدوده مورد مطالعه ارزیابی می نماید.

جدول ۱. ساختار سنجه های سیمای سرزمین (Malinowska and Szumacher, 2013)

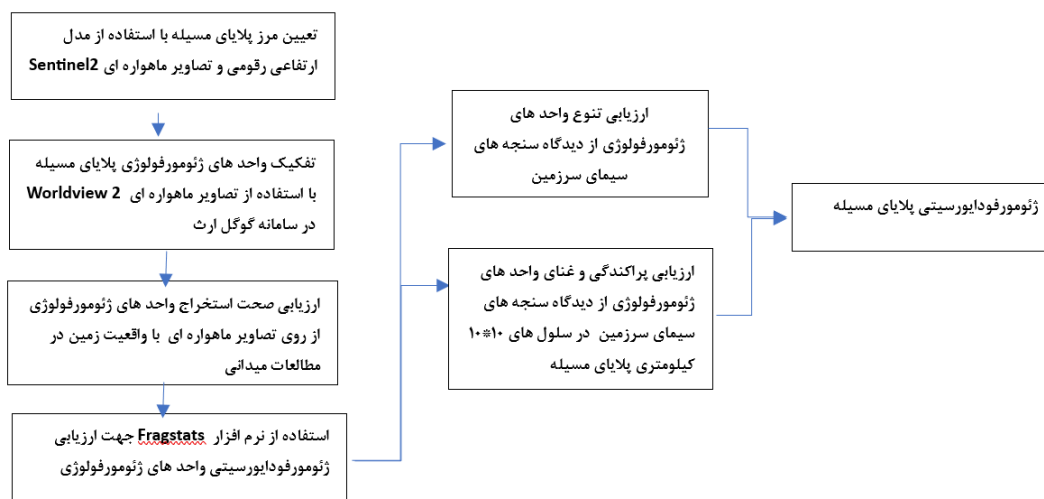
شاخص	دامنه	فرمول	واحد
تراکم ناهمواری هر قطعه (PRD)	PRD > 0, without limit	$PRD = m/A(10^4) (10^2)$	عدد بر ۱۰۰ هکتار
غنای نسبی هر قطعه (RPR)	$100 > RPR > 0$	$RPR = m/m_{max}(100)$	درصد
شاخص دایورسیتی شانون (SHDI)	SHDI > 0 without limit	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$	-
شاخص ناهمواری شانون (SHEI)	$0 \leq SHEI \leq 1$	$SHEI = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i) / \ln m$	-
شاخص دایورسیتی سیمپسون (SIDI)	$0 \leq SIDI \leq 1$	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m (p_i^2)$	-
شاخص ناهمواری سیمپسون (SIEI)	$0 \leq SIEI \leq 1$	$SIEI = 1 - \sum_{i=1}^m \left(\frac{p_i^2}{1} - \frac{1}{m} \right)$	-
شاخص دایورسیتی اصلاح شده سیمپسون (MSIDI)	$0 \leq MSIDI \leq 1$	$MSIDI = - \ln \sum_{i=1}^m (p_i^2)$	-
شاخص اصلاح شده ضریب ناهمواری سیمپسون (MSIEI)	MSIEI > 0, without limit	$MSIEI = \left(\frac{- \ln \sum_{i=1}^m p_i^2}{\ln m} \right)$	-

Pi = بخشی از چشم انداز که توسط نوع کلاس اشغال شده است = M. تعداد کلاسهایی که در چشم انداز وجود دارند، شامل مرز چشم انداز (در صورت وجود) = A مساحت کلی واحد

سنجه های سیمای سرزمین با استفاده از نرم افزار Fragstats v4.2.1 محاسبه شد. این نرم افزار دربرگیرنده یک برنامه تجزیه تحلیل الگوی فضایی است که باهدف کمی نمودن ساختار سیمای سرزمین مورد استفاده قرار می گیرد. به منظور ارزیابی و شناسایی پراکندگی پهنه های بارزش بالا از لحاظ تنوع ژئومورفولوژی در شاخص های سنجه های سیمای سرزمین، منطقه مورد مطالعه به سلول های ۱۰*۱۰ کیلومتری و در مجموع ۱۸۵ سلول تقسیم بندی شده و در هر سلول مجموعه شاخص های سیمای سرزمین مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و برای هر شاخص به طور جداگانه نقشه های پراکندگی ارزش های هر سلول مشخص گردید. در انتها با میانگین گیری هر سلول از مجموع شاخص ها، سلول های و مناطقی که تنوع ژئومورفولوژی بیشتری دارند شناسایی شد.

1- Modified Simpsons diversity Index

2- Sahanon Evenness Index Modified



شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق

یافته‌ها

ژئومورفولوژی پلاهای مسیله

به‌منظور ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی در پلاهای مسیله ابتدا نقشه ژئومورفولوژی این منطقه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی تفکیک و نقشه ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۳، و جدول ۲). در بررسی‌های به‌عمل‌آمده واحدهای ژئومورفولوژی متعددی شناسایی شد که از آن جمله می‌توان به مخروط افکنه، کفه‌نمک، کفه گلی نمکی، تپه ماسه‌ای، پهنه ماسه‌ای، تپه ماسه‌ای طولی، تپه ماسه‌ای طولی به همراه نیکا، برخان فرسایش خندقی، دشت سیلابی به همراه پوشش پراکنده گیاهی، باجادا، سبخا، دشت سیلابی فاقد پوشش، بدلند، دشت‌سر، جزیره، نیکا، باتولیت، تپه شاهد اشاره نمود؛ که به توضیح برخی از مهم‌ترین این واحدها و پراکندگی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. واحد مخروط افکنه در تمامی مناطق پای کوهی منطقه مورد مطالعه به چشم می‌خورد ولی گسترده‌ترین آن‌ها در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه به‌خصوص در غرب و جنوب غرب کاشان، شمال ابوزیدآباد، غرب بند ریگ کاشان و همچنین در شمال و غرب حوض سلطان مشاهده می‌شود (شکل ۴A). در این بررسی تعداد ۲۶۲ مخروط افکنه با وسعت ۵۲۶۴ کیلومترمربع شناسایی شده که وسیع‌ترین واحد ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه است. همچنین دشت‌سر یا پدیمت با شیب ملایم از پای دیواره کوهستان به سمت ارتفاعات پائین تر کشیده شده و ممکن است تا پایین‌تر از کوهستان نیز ادامه داشته باشد. این واحد با وسعت ۴۲۸ کیلومترمربع و تعداد ۵۶ واحد در کنار دشت‌سرهای به‌هم‌پیوسته (باجادا) با ۴۳۲۵ کیلومترمربع و تعداد ۴۱ واحد از مهم‌ترین واحدها در پایکوه‌های منطقه مورد مطالعه به شمار می‌آیند. در برخی از مناطق وجود تپه‌ماهورها در مناطق پای کوهی به‌خصوص در مناطقی که مخروط افکنه‌ها در آنجا قرار دارند نشان‌دهنده حضور این دشت‌سرهای می‌باشد. این دشت‌سرهای در مناطق پای کوهی تقریباً تمامی واحدها منطقه مورد مطالعه به چشم می‌خورد به‌خصوص در منطقه غرب کاشان نمود بیشتری دارند. بعد از واحد مخروط افکنه، محدوده دشت سیلابی مشاهده می‌شود و مناطق جنوبی به‌خصوص در جنوب و جنوب غرب و غرب منطقه مورد مطالعه گسترش فراوانی دارند و مساحتی در حدود ۵۷۰ کیلومترمربع را در ۳۳ محدوده مجزا به خود اختصاص داده است. یکی از مهم‌ترین لند فرم‌ها در منطقه مورد مطالعه که تراکم بالایی به‌خصوص در جنوب دریاچه نمک دارند، اشکال ناشی از حمل‌ونقل بادی است. از جمله این اشکال بادی برخان است. اندازه برخان‌ها بسیار متفاوت است این عوارض فراوانی زیادی در جاده آران به مرزنجاب و به‌خصوص در مسیر ابوزیدآباد به کاشان دارد. در این بررسی تعداد ۲۰۸ برخان به وسعت ۱۰/۱۴ کیلومترمربع شناسایی شد

که هم از لحاظ ژئومورفولوژی و هم از لحاظ زیبایی‌شناختی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (شکل، ۴B). تپه ماسه‌ای، تپه شنی یا تل ماسه (Sand Dune) به تپه یا رشته ارتفاعات شنی که بر اثر وزش باد و جابجا شدن شن پدید آمده باشد گفته می‌شود. شرط اساسی برای تشکیل تپه‌های ماسه‌ای وجود باد و مقدار کافی ماسه‌های قابل انتقال توسط باد است. بزرگ‌ترین پهنه ماسه‌ای در این منطقه ریگ کاشان است و در حدفاصل کاشان تا دریاچه نمک وجود دارد و وسعتی در حدود ۶۶۴ کیلومترمربع را به خود اختصاص داده است که به‌عنوان مهم‌ترین واحد ماسه‌ای در این منطقه مشاهده می‌شود. علاوه بر ریگ کاشان، تپه‌های ماسه‌ای پراکنده‌ای در منطقه به چشم می‌خورند که تعداد آن‌ها ۲۲ واحد و مساحتی در حدود ۴۰ کیلومترمربع را در بر گرفته است (شکل، ۴D). همچنین تلماسه‌های طولی^۱ از واحدهای مهم پهنه‌های تحت تأثیر حمل‌ونقل بادی است و پشته‌های طولی از ماسه که به موازات جهت بادهای غالب تشکیل می‌شود. این تلماسه‌ها درجایی تشکیل می‌شوند که مقدار ماسه محدودتر باشد. تعداد این تپه‌ها در منطقه مورد مطالعه ۱۵۸ واحد و با وسعتی در حدود ۲۱۳ کیلومترمربع در شمال آران و بیدگل و در مسیر جاده آران به مرنجاب به وفور به چشم می‌خورند و پراکندگی زیادی نیز در جاده ابوزیدآباد به کاشان دارند. علاوه بر اشکال فوق نیکا تقریباً از اشکال غالب ژئومورفولوژی به‌خصوص در جنوب دریاچه نمک به شمار می‌آید (شکل، ۴C). این واحد ژئومورفولوژی، گسترش فراوانی در جنوب دریاچه نمک در محدوده شمالی کاشان، جاده مرنجاب و منطقه ابوزیدآباد دارند. واحدهای مرتبط با محیط‌های رسوبی و تبخیری از اشکال ژئومورفولوژی غالب در منطقه مورد مطالعه است. سبخا یکی از محیط‌های تشکیل نمک‌های تبخیری است و شامل سبخاهای قاره‌ای و سبخاهای ساحلی می‌باشد. سبخاها در محدوده مورد مطالعه ۳۰ پهنه مجزا با مساحتی معادل ۳۸۴/۶ کیلومترمربع را به خود اختصاص داده‌اند که در اطراف دریاچه نمک و حوض سلطان و در بخش بلافصل کفه نمکی مشاهده می‌شوند. کفه نمکی یا نمک زار منطقه‌ای است که به دلیل موقعیت جغرافیایی (معمولاً ختم رودخانه‌ها در آن) و حرارت شدید آفتاب به نمکزار بدل شده باشد. برخی کویرها قبلاً دریاچه یا دریاچه‌هایی بوده‌اند که در اثر تبخیر آب از آن‌ها به نمکزار بدل شده‌اند و دو پهنه نمکی دریاچه نمک و حوض سلطان هم از دریاچه‌های قدیمی این منطقه به شمار می‌آید. در مجموع دو دریاچه نمک و حوض سلطان حاوی کفه نمکی است که مهم‌ترین عارضه ژئومورفولوژیکی این منطقه به شمار می‌آیند و این واحد در سطح منطقه وسعتی در حدود ۱۷۶۴/۸ کیلومتر را در بر گرفته است (شکل، ۴E). زمینه‌ای پف کرده با ساخت تی پی^۲ عمدتاً در پهنه‌های گلی نمکی اطراف دریاچه به‌صورت زمینه‌ای پف کرده دیده می‌شوند این ساخت‌ها به دلیل تبخیر آب درون منفذی موجود در پهنه‌های گلی و رسوب کانی‌های تبخیری کانی‌های سری سولفات‌ها و کلریدها موجود در این آب‌ها در سطح بالائی پهنه‌های گلی تشکیل می‌شوند. در اطراف دریاچه‌های نمک و حوض سلطان و در ورای منطقه سبخا این واحد ژئومورفولوژی به چشم می‌خورند که تعداد این واحد در سطح منطقه ۷۰ پهنه و وسعتی در حدود ۱۷۱۹/۱ کیلومترمربع را شامل می‌شود (شکل، ۴F).

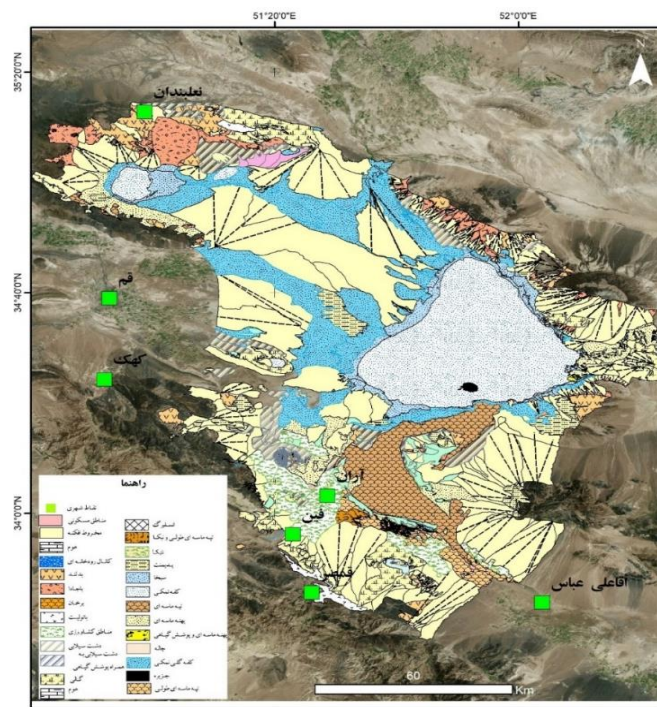
جدول ۲. وسعت، تعداد واحدهای شناسایی‌شده در منطقه مورد مطالعه

واحد ژئومورفولوژی	تعداد واحد	مساحت	واحد ژئومورفولوژی	تعداد واحد	مساحت
مخروط افکنه	۲۶۲	۵۶۶۴/۲۵	نیکا	۱۵	۵۴/۲۳
باجادا	۵۶	۴۲۸/۱	سبخا	۳۰	۳۸۴/۶
دشت سیلابی فاقد پوشش	۳۲	۵۵۵/۱۲	کفه نمک	۳	۱۷۶۱/۸۶
دشت سیلابی به همراه پوشش پراکنده گیاهی	۱	۱۴/۱۸	کفه گلی نمکی	۷۰	۱۷۱۹/۱۳
دشت سر	۴۱	۳۲۵/۴	بدلند	۳۱	۳۶۹/۸

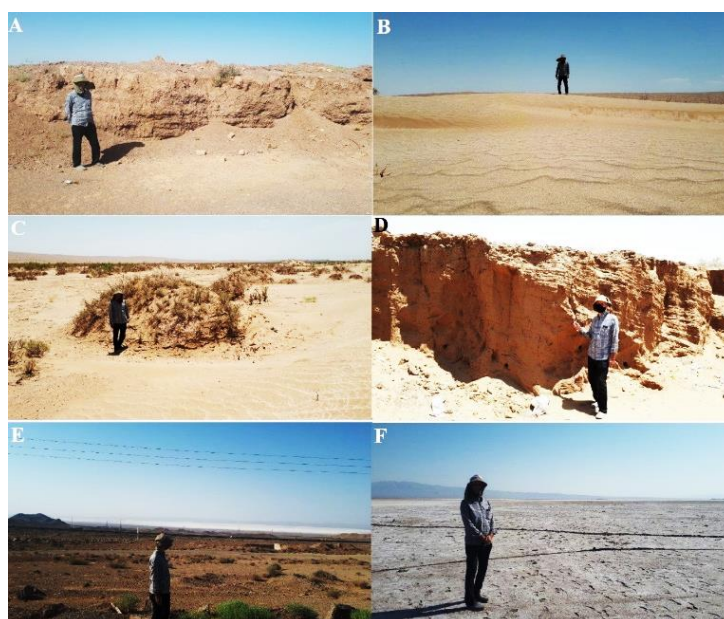
1. Longitudinal dunes

2. Tippiland

۶۲۱/۷	۷۴	فرسایش خندقی	۱۳۰/۱۹	۱۷	کانال رودخانه‌ای
۰/۰۸	۱	تپه شاهد	۱۸۶/۷	۱۵۸	تپه ماسه‌ای طولی
۴/۲۳	۸	اینسلابرگ	۲۶/۶۶	۱	تپه ماسه‌ای طولی و نیکا
۹/۳	۱	جزیره	۱۰/۴۵	۲۰۸	برخان
۸۵/۳	۴	باتولیت	۵۱۹/۰۷	۲۵	پهنه ماسه‌ای
۴۵۸/۶۷	۱۳	مناطق کشاورزی	۷۰۴/۴۵	۲۳	تپه ماسه‌ای
			۶/۷	۱۸	پهنه ماسه‌ای و نیکا



شکل ۳. نقشه ژئومورفولوژی پلایای مسیله



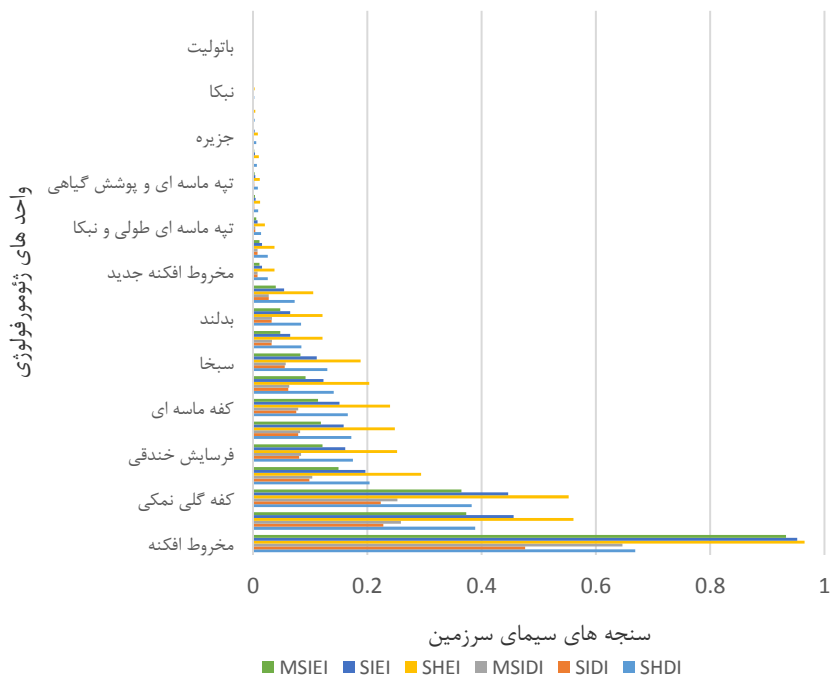
شکل ۴. A: نیمرخ لایه‌های گراولی در مخروط افکنه - دامنه‌های مشرف به حوض سلطان، B: واحد برخان در مرنجاب، C: نیکا - مرنجاب، D: لایه‌های رسوبی تپه‌های ماسه‌ای، E: نمایی از دریاچه حوض سلطان، F: - ساخت تی پی - حوض سلطان

ارزیابی تنوع واحدهای ژئومورفولوژی

ارزیابی تنوع سیمای سرزمین در ارتباط با واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که واحد ژئومورفولوژی مخروط افکنه در تمامی شاخص‌های سنجش سیمای سرزمین بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است (جدول ۲ و شکل ۵). مقادیر این واحد در شاخصه‌ای MSIEI معادل ۰/۹۳۲، در SHDI برابر با ۰/۶۷ و در MSIDI ۰/۴۴۶ است و در انتها در شاخص SIDI با ارزش ۰/۴۷۶ کمترین وزن را دریافت کرده است. یکی از دلایل ارزش بسیار بالای این واحد در منطقه مورد مطالعه از دیدگاه سنجش‌های سیمای سرزمین، تعداد مخروط افکنه‌ها، پراکندگی و وسعت این واحد ژئومورفولوژی در پلائیای مسیله دانست. مخروط افکنه‌ها تقریباً در تمامی پایکوه‌های منطقه مورد مطالعه به چشم می‌خورند. تعداد مخروط افکنه‌ها در منطقه مورد مطالعه برابر با ۲۶۲ مخروط است و وسعتی در حدود ۵۶۶۴ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است که هم از لحاظ فراوانی و هم مساحت بیشترین وسعت را در بین واحدهای ژئومورفولوژی منطقه داشته است. از آنجایی که ارزیابی سنجش‌های سیمای سرزمین بر مبنای تعداد واحدها، مساحت اشغال شده و تعداد کلاس واحدها طراحی شده است، از این رو بالا بودن ارزش این واحد در منطقه مورد مطالعه به واسطه شاخص‌های ارزیابی می‌باشد و سایر واحدها ژئومورفولوژی نیز بر این پایه این متغیرها ارزش‌گذاری و رتبه‌بندی شوند. بعد از مخروط افکنه، دومین واحد ژئومورفولوژی که بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است، کفه نمک یا همان په‌نه نمکی دریاچه نمک و حوض سلطان با وسعت ۱۷۶۱ کیلومتر مربع است که در ارزیابی سنجش‌های سیمای سرزمین در جایگاه دوم قرار گرفته است و به ترتیب در شاخص SHEI ارزشی معادل ۰/۵۶۰ و شاخص SIEI آن برابر با ۰/۴۵۶ است. مقادیر سایر سنجش‌های سیمای سرزمین در این واحد نیز نسبت به سایر واحدها بالاتر قرار دارد به گونه‌ای که در سنجش MSIEI ارزشی معادل ۰/۳۷۳، SHDI ضریب دایورسیتی شانون ۰/۳۸۸، در شاخص (MSIDI) دارای ارزش ۰/۲۵۸ و کمترین ارزش را در شاخص SIDI به مقدار ۰/۲۲۸ به خود اختصاص داده است. از لحاظ مقادیر سنجش‌های سیمای سرزمین در بین واحدهای ژئومورفولوژی، کفه گلی نمکی در رتبه سوم قرار گرفته است. این واحد در پیرامون کفه نمکی دو دریاچه نمک و حوض سلطان حضور دارند. وسعت و پراکندگی این واحد در این منطقه باعث شده است که ارزش ژئومورفودایورسیتی بالایی نسبت به سایر واحدهای که مساحت کمتری دارند، داشته. بیشترین مقادیر سیمای سرزمین در این واحد مربوط به سنجش (SHEI) با ارزشی معادل ۰/۵۶۰ قرار دارد و بعد از آن به ترتیب (SIEI) با مقدار ۰/۴۴۶، (MSIEI) با ارزش ۰/۳۶۴، (SHDI) با ارزش ۰/۳۸۲ و همچنین شاخص (MSIDI) است که مقدار این سنجش برابر با ۰/۲۵۲ است. کمترین ارزش نیز مربوط به واحد شاخص (SIDI) است که مقادیر آن ۰/۲۲۳ است. در بین اشکال بادی تپه‌های ماسه‌ای در جایگاه چهارم قرار دارد و بقیه واحدهای ژئومورفولوژی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند که شامل: فرسایش خندقی، دشت سیلابی، کفه ماسه‌ای، آبراهه، باجادا، سبخا، کفه نمکی، بدلند، تپه ماسه‌ای طولی، مخروط افکنه جدید است. بقیه سنجش با مقادیر بسیار کم شامل دشت سر، تپه ماسه‌ای طولی و نکا، تپه شاهد، کفه ماسه‌ای و پوشش گیاهی، ناوه یا چاله، جزایر، دشت سیلابی با پوشش گیاهی، اینسلیبرگ، باتولیت، برخان کمترین ارزش را از لحاظ سنجش‌های سیمای سرزمین به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳. سنجه‌های سیمای سرزمین در پلایای مسیله

MSIEI	SIEI	SHEI	MSIDI	SIDI	SHDI	واحد ژئومورفولوژی
۰/۹۳۲	۰/۹۲۵	۰/۹۶۵	۰/۶۴۶	۰/۴۷۶	۰/۶۶۹	مخروط افکنه
۰/۳۷۳	۰/۴۵۶	۰/۵۶۱	۰/۲۵۹	۰/۲۲۸	۰/۳۸۸	کفه نمک
۰/۳۶۵	۰/۴۴۷	۰/۵۵۲	۰/۲۵۳	۰/۲۲۳	۰/۳۸۲	کفه گلی نمکی
۰/۱۵۰	۰/۱۹۷	۰/۲۹۴	۰/۱۰۳	۰/۰۹۸	۰/۲۰۴	تپه ماسه‌ای
۰/۱۲۱	۰/۱۶۱	۰/۲۵۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸	۰/۱۷۹	فرسایش خندقی
۰/۱۲	۰/۱۵۹	۰/۲۴۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۷۲	دشت سیلابی به همراه پوشش پراکنده گیاهی
۰/۱۱۳	۰/۱۵۱	۰/۲۴۰	۰/۰۷۹	۰/۰۷۵	۰/۱۶۶	پهنه ماسه‌ای
۰/۰۹۲	۰/۱۲۳	۰/۲۰۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۱	۰/۱۴۱	باجادا
۰/۰۸۳	۰/۱۱۲	۰/۱۸۸	۰/۰۵۷	۰/۰۵۶	۰/۱۳	سیخا
۰/۰۴۸	۰/۰۶۵	۰/۱۲۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۲	۰/۰۸۴	دشت سیلابی فاقد پوشش
۰/۰۴۷	۰/۰۶۵	۰/۱۲۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۲	۰/۰۸۴	بدلند
۰/۰۴	۰/۰۵۴	۰/۱۰۵	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۸۳	تپه ماسه‌ای طولی
۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۳۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۲۶	دشت سر پدیمنت
۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	تپه ماسه‌ای طولی و نیکا
۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	تپه شاهد
۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	تپه ماسه‌ای و پوشش گیاهی
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۵	جزیره
۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳	اینسلبریگ
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲	نیکا
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	کانال رودخانه‌ای
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷	باتولیت
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	برخان

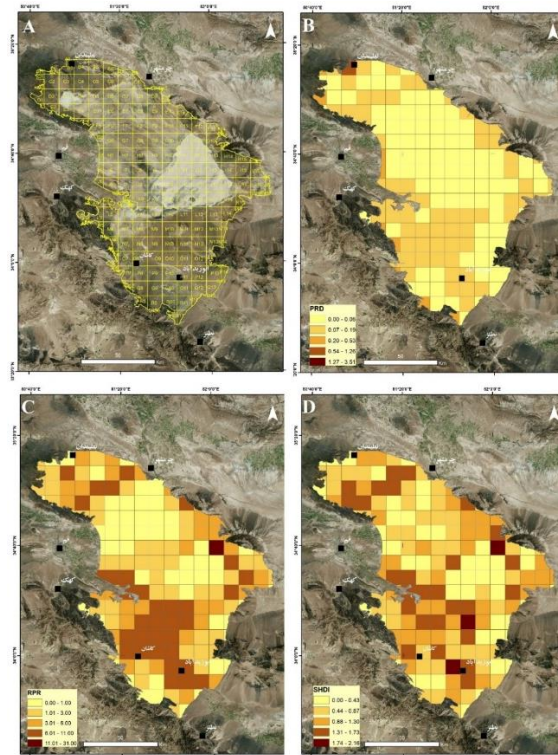


شکل ۵. سنجه‌های سیمای سرزمین در واحدهای ژئومورفولوژیکی پلایای مسیله

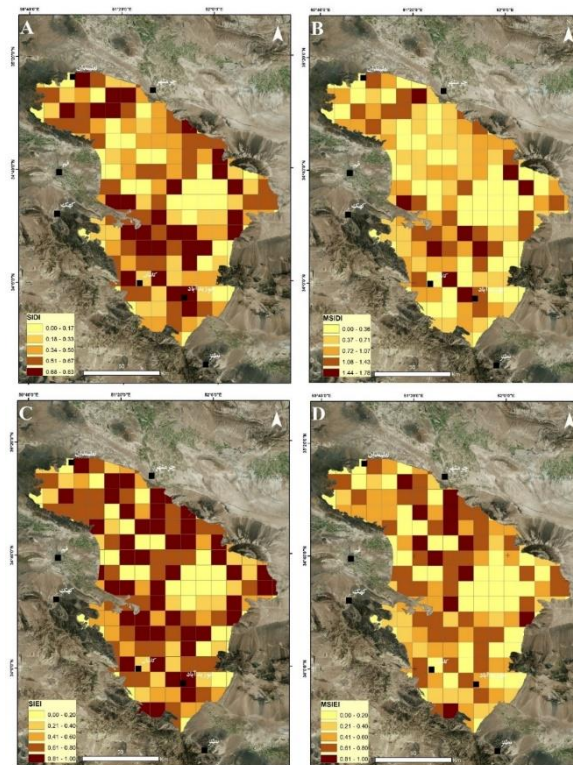
بحث

ارزیابی پراکنش تنوع ژئومورفولوژی در پلایای مسیله

به منظور مشخص نمودن پراکندگی و غنای پهنه‌های پلایای مسیله از دیدگاه تنوع ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه به ۱۸۹ سلول ۱۰*۱۰ کیلومتری تقسیم‌بندی شد و ارزش هر شاخص در هر سلول مشخص گردید و در ادامه ارزش هر سلول برای تعیین مناطق با تنوع بیشتر و پتانسیل بالاتر جهت برنامه‌ریزی توسعه‌ای در پلایای مسیله ارائه شد. بر مبنای شاخص تراکم ناهمواری هر قطعه (PRD) و با توجه به شکل ۶B، تنها قسمت خیلی کوچک در شرق دریاچه حوض سلطان (سلول B3) دارای بیشترین ارزش (۳,۵۱) در شاخص PRD را به خود اختصاص داده است. همان‌طور که در شکل ۵B مشاهده می‌شود، در قسمت میانی پلایای مسیله در محدوده واحد ژئومورفولوژی کفه نمکی دریاچه نمک و مخروط‌های مسلط به آن قرار دارد و به واسطه اینکه در این بخش تنها یک یا تعداد محدودی واحد ژئومورفولوژی در هر سلول وجود دارد، از تنوع و ارزش کمتر در تنوع ژئومورفولوژی برخوردار است. با بررسی غنای نسبی هر قطعه (RPR) مشخص می‌شود که بیشترین مقادیر این سنجه در قسمت جنوب نقشه و در منطقه ابوزیدآباد، کاشان و شمال کاشان قرار دارد. در این بخش تراکم تپه‌های ماسه‌ای از جمله ریگ کاشان، تپه‌های ماسه‌ای طولی، برخان‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای به میزان زیادی مشاهده می‌شود و از این رو غنی‌شدگی بیشتر در این بخش از دیدگاه این سنجه به چشم می‌خورد (شکل، ۶C). همان‌طور که در شکل ۶D مشاهده می‌شود، در شاخص دایورسیتی شانون (SHDI) بیشترین تنوع ژئومورفولوژی با ۲/۱۶ در شمال دریاچه حوض سلطان، شرق و جنوب دریاچه نمک مشاهده می‌شود و در دیگر مناطق مخصوصاً جنوب منطقه مورد مطالعه مقادیر کمتری را به خود اختصاص داده است و علت آن را می‌توان فروانی کمتر واحدهای ژئومورفولوژی دانست. در شاخص دایورسیتی سیمپسون (SIDI) بیشترین ارزش در مناطق مجاور واحد مخروط افکنه‌ها در اطراف دریاچه حوض سلطان و در بخش شمالی نقشه و همچنین در جنوب و جنوب غربی دریاچه نمک در اطراف ابوزیدآباد قرار دارد و بالاترین ارزش را با ۱/۷۸ به خود اختصاص داده است (شکل، ۶A). در بررسی شاخص دایورسیتی اصلاح‌شده سیمپسون (MSIDI) نیز بیشترین ارزش‌ها در منطقه ابوزیدآباد و همچنین شمال شرق و جنوب و جنوب غربی دریاچه نمک با ارزشی معادل ۰/۶۳ و قسمت جنوبی و حوالی جنوب و شرق کاشان دارای کمترین تنوع در منطقه مورد مطالعه است (شکل، ۷B). در شاخص ناهمواری سیمپسن (SIEI) تعداد سلول‌های بیشتری دارای ارزش بالا هستند، که از آن جمله می‌توان به شمال شرق دریاچه حوض سلطان، شمال شرق و جنوب دریاچه نمک اشاره نمود که ارزش‌ها بین ۰/۸ تا ۱ را به خود اختصاص داده و کمترین مقدار این شاخص در جنوب منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل، ۷C). با توجه به شاخص MSIEI نیز بیشترین ارزش سیمای سرزمین متکی بر مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه به خصوص مخروط افکنه جنوب کاشان، در شمال دریاچه نمک و تمرکز آن بر واحدهای سبختا و کفه‌های گلی نمکی است ولی در جنوب دریاچه این اعداد حداقل است (شکل، ۷D). در نهایت در شاخص ناهمواری شانون SHEI بیشترین تنوع ژئومورفولوژی در مناطق شمال دریاچه نمک و کمترین در جنوب در حوالی کاشان و ابوزیدآباد وجود دارد (شکل، ۸A).



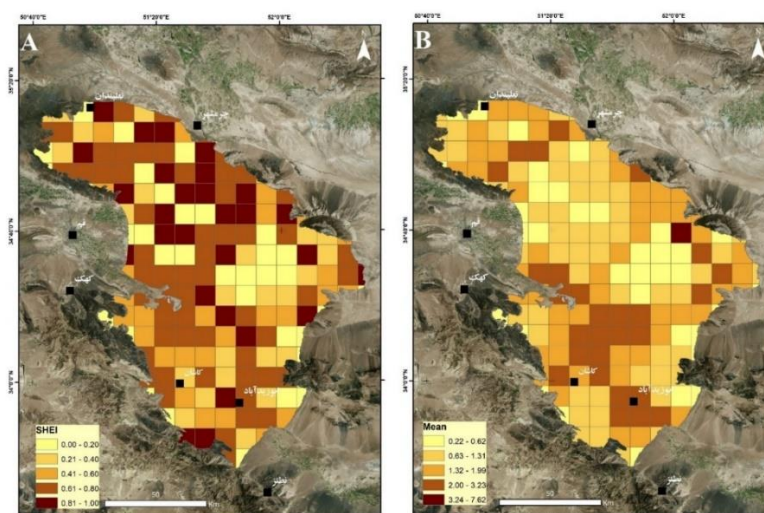
شکل ۶. A: تقسیم‌بندی سلولی پهنه مورد مطالعه، پراکنده‌گی مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در سنجه‌های B: PRD، C: RPR، D: SHDI



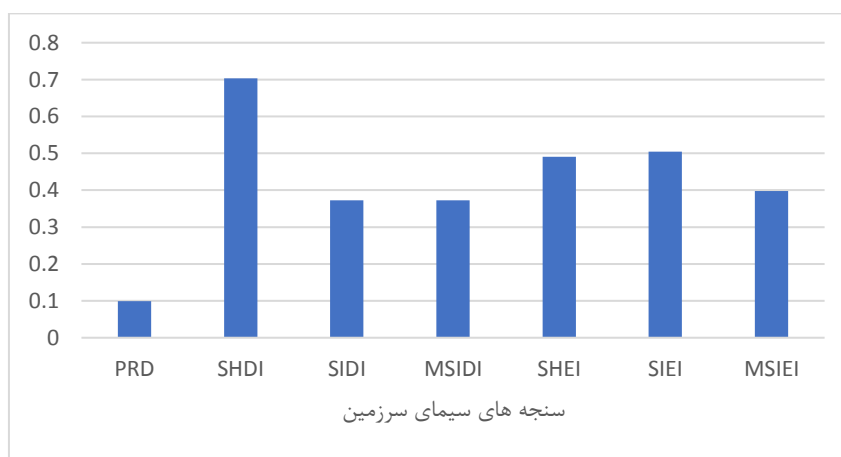
شکل ۷. پراکنده‌گی مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در سنجه‌های A: SIDI، B: MSIDI، C: SIEI و D: MSIEI

به منظور ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی پهنه‌های پلایای مسیله با توجه به سنجه‌های سیمای سرزمین و تعیین مناطق با پتانسیل بالا از دیدگاه تنوع ژئومورفولوژی، میانگین همه شاخصه‌ها در سلول‌ها مورد ارزیابی با یکدیگر جمع شده و نتیجه

در شکل ۸B و ۹ مشاهده می‌شود. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سلول H14 با ارزش ۷/۶۲ بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. این سلول در شمال شرق دریاچه نمک و در پای مخروط افکنه های این منطقه قرار گرفته است. این سلول هم‌زمان چندین واحد ژئومورفولوژیکی همانند مخروط افکنه، سبخا، کفه‌نمکی زمینهای پف‌کرده با ساخت تی پی را به خود اختصاص داده‌اند و فراوانی و تنوع واحدهای ژئومورفولوژیکی متعددی در آن مشاهده می‌شود. علاوه بر آن در منطقه ابوزیدآباد (سلول‌های P10 و P11 و همچنین تا Q12)، در جنوب غرب دریاچه نمک در شمال کاشان (در سلول‌های L9 تا L11، M8 تا M11، 9، N8) به دلیل تنوع اشکال ژئومورفولوژی بادی همانند برخان، تپه ماسه‌ای طولی، تپه ماسه‌ای، پهنه‌های ماسه‌ای تنوع بسیار زیادی از واحدهای ژئومورفولوژی در خود داشته است. از این رو منطقه جنوب دریاچه نمک به دلیل پهنه‌ها متنوع و همچنین فراوانی واحدهای ژئومورفولوژی از پتانسیل بالایی جهت توسعه برنامه‌های مرتبط با گردشگری متمرکز بر ژئوتوریسم و ژئومورفوتوریسم برخوردار است.



شکل ۸. A: پراکندگی مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در سنجه SHEI و B: میانگین سنجه‌های سیمای سرزمین در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹. مقادیر میانگین سنجه‌های سیمای سرزمین در پالایای مسیله

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین عناصر مطالعاتی در حوزه ژئوتوریسم و پتانسیل‌یابی مناطق مختلف در عرصه‌های طبیعی در گردشگری،

شناسایی و ارزیابی تنوع و همچنین توان‌های ژئومورفولوژی در یک منطقه است. در بین واحدهای ژئومورفولوژی، مناطق بیابانی و به‌خصوص پلایاها به دلیل تنوع لندفرم‌ها، جایگاه بسیار زیادی در توسعه گردشگری در کشور ایران دارند و پلایای مسیله از این امر مستثنا نیست. با این وجود اکثر مدل‌هایی که در راستای ارزیابی تنوع زمین‌شناختی و ژئومورفولوژی در کشور و سایر نقاط دنیا استفاده می‌شود مربوط به مناطق کوهستان است و در مناطق پست و همواری همانند پلایاها، مطالعاتی جدی انجام نگرفته است. از این رو، استفاده و ارزیابی کارایی مدل‌های ارزیابی تنوع سیمای سرزمین در مناطق بیابانی با تکیه بر واحدهای ژئومورفولوژی می‌تواند الگویی جدید را در راستای مطالعات مناطق بیابانی و سایر مناطق مشابه به همراه داشته باشد. نتایج بررسی‌های این تحقیق نشان داد که اولاً امکان ارزیابی تنوع ژئومورفولوژی در یک محیط در صورتی که تنوع واحدهای ژئومورفولوژی زیادی داشته باشد همانند پلایای مسیله امکان‌پذیر است و همچنین سنجه‌های سیمای سرزمین توانسته به خوبی تنوع و ارزش‌گذاری واحدها و پهنه‌های ژئومورفولوژی را مورد ارزیابی قرار دهد. در منطقه مورد مطالعه واحد ژئومورفولوژی مخروط افکنه‌ها به دلیل گسترش و همچنین پراکندگی که در منطقه مورد مطالعه دارد توانسته بالاترین ارزش‌ها را در تمامی سنجه‌های سیمای سرزمین به خود اختصاص دهد و بعداز آن کفه نمکی، کفه گلی نمکی و همچنین تپه‌های ماسه‌ای در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با بخش‌بندی منطقه مورد مطالعه به سلول‌های مختلف و بررسی تنوع ژئومورفولوژی هر سلول با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین مشاهده شد که منطقه شمال کاشان، شرق و جنوب شرق کاشان در منطقه ابوزیدآباد تنوع ژئومورفولوژی بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند و علت آن را می‌توان حضور واحدهای ژئومورفولوژی متعدد در این منطقه از جمله تپه‌های ماسه‌ای، برخان، تپه‌های ماسه طولی، پهنه‌های ماسه‌ای، کفه نمکی، کفه گلی نمکی و سایر واحدهای ژئومورفولوژی در این مناطق دانست که باعث شده بالاترین ارزش‌ها را از دیدگاه سنجه‌های سرزمین دریافت کنند. ارزیابی مناسب تنوع واحدهای ژئومورفولوژی و همچنین پتانسیل‌یابی مناطق مختلف برای توسعه گردشگری با استفاده از سنجه‌ها سیمای سرزمین نشان داد که از این مدل علاوه بر پلایاها و مناطق بیابانی می‌توان در سایر مناطق همانند مناطق هموار و فاقد تنوع مورفومتری و سنگ‌شناسی همانند سواحل و دشت‌های سیلابی استفاده نمود.

منابع

- اسلام فرد، فاطمه؛ علیزاده، محمدرضا؛ علم الهدی، محمدعلی و فرحی، فرزانه. (۱۳۹۴). ارزیابی توانمندی‌های ژئومورفوتوریسمی لند فرم‌ها مطالعه موردی منطقه پنج دانگ ساری با مدل پرالونگ. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۵(۱۸)، ۱۶۸-۱۵۳
- روحانی، نیما؛ رجائی، طاهر؛ مجردی، برات؛ جباری، احسان؛ شفیعی دارابی، سید احمد و حیدری بنی، مهران. (۱۴۰۰). مطالعه اقلیمی تغییرات منابع عمده آب در استان قم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فناوری‌های سنجش‌ازدور. *فصلنامه علوم محیطی* ۲۳۹-۲۵۸(۱)۱۹
- شایان یگانه، علی‌اکبر؛ زنگنه اسدی، محمدعلی و امیراحمدی، ابوالقاسم. (۱۳۹۹). ارزیابی کمی ژئودایورسیتی ژئوپارک پیشنهادی غرب خراسان رضوی برای حفاظت از میراث زمین‌شناسی آن. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۰(۳۶)، ۷۷-۹۹
- صالحی پور میلانی، علیرضا؛ صدوق، سید حسن و رفیعی، رسول. (۱۴۰۰). ارزیابی ژئودایورسیتی حوضه‌های آبریز مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۰(۲)، ۱۰۵-۸۴
- گلی مختاری، لایلا؛ نگهبان، سعید و شفیعی، نجمه. (۱۳۹۷). تحلیل مقایسه‌ای ژئودایورسیتی (تنوع زمین‌شناختی) در حوضه‌های شمال غربی استان فارس. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷(۳)، ۱۵۱-۱۶۳.
- قهرودی تالی، منیژه؛ علی نوری، خدیجه و فرجادی نیا، سجاد. (۱۴۰۱). کاربرد ژئودایورسیتی در مدیریت محیط (مطالعه موردی

حوضه بالادست سد کرج). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۰(۴)، ۱۷-۱.

مستوفی، احمد. (۱۳۵۰). گزارش‌های جغرافیایی حوضه مسیله. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵، ۲-۱۹۳.

References

- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., & Meza, P. (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth surface processes and landforms*, 34(10), 1433-1445.
- Burnett, M. R., August, P. V., Brown, J. H., & Killingbeck, K. T. (1998). The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity I. A patch-scale perspective. *Conservation Biology*, 12(2), 363-370.
- Carcavilla, L., Durán, J. J., & López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10(2008), 1299-1303.
- Carton, A., Coratza, P., & Marchetti, M., (2005). Guidelines for geomorphological sites mapping: examples from Italy. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 11(3), 209-218.
- Cavalli, M., & Marchi, L., (2008). Characterisation of the surface morphology of an alpine alluvial fan using airborne LiDAR. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(2), 323-333.
- Chelariu, C., & Hapciuc, O. E. (2017). Geodiversity assessment of Moldova catchment in the mountain area. *Lucrările Seminarului Geografic "Dimitrie Cantemir"*, 45, 5-14.
- De la Hera-Portillo, Á., López-Gutiérrez, J., Moreno-Merino, L., Llorente-Isidro, M., Fensham, R., Fernández, M., & Laftouhi, N. E. (2023). Geodiversity of Las Loras UNESCO Global Geopark: Hydrogeological Significance of Groundwater and Landscape Interaction and Conceptual Model of Functioning. *Resources*, 12(1), 14.
- De Paula Silva, J., Rodrigues, C., & Pereira, D. I. (2015). Mapping and analysis of geodiversity indices in the Xingu River basin, Amazonia, Brazil. *Geoheritage*, 7(4), 337-350.
- Eslam far, F., Alizadeh. M.R., Alam Ol Hoda, M.A., & Farahi, F., (2016). Land geomorphotourism evaluation forms capabilities, Sari dengue case study of five models Praloong. *Geographical Planning of Space*, 5(18), 153-168. [In Persian]
- Erikstad, L., Bakkestuen, V., Dahl, R., Arntsen, M. L., Margreth, A., Angvik, T. L., & Wickström, L. (2022). Multivariate Analysis of Geological Data for Regional Studies of Geodiversity. *Resources*, 11(6), 51.
- Ferrer-Valero, N., Hernández-Calvento, L., & Hernández-Cordero, A. I. (2019). Insights of long-term geomorphological evolution of coastal landscapes in hot-spot oceanic islands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(2), 565-580.
- Forte, J. P., Brilha, J., Pereira, D. I., & Nolasco, M. (2018). Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. *Geoheritage*, 10(2), 205-217.
- Fuertes-Gutiérrez, I., & Fernández-Martínez, E. (2012). Mapping geosites for geoheritage management: A methodological proposal for the Regional Park of Picos de Europa (León, Spain). *Environmental management*, 50(5), 789-806.
- Ghahroudi Tali, M., Alinoori, K., & Farjadinia, S. (2022). Application of Geodiversity in Environmental Management (Case Study of Karaj Dam Upstream Basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 10(4), 1-17. [In Persian]
- Golimokhtari, L., Neghaban, S., & Shafiei, N. (2019). Geodetical Comparison Analysis (Geological Diversity) in Northwest Basins of Fars Province Using FRAGTATSE software. *Quantitative Geomorphological Research*, 7(3), 151-163. [In Persian]
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons.
- Gustavsson, M., Kolstrup, E., & Seijmonsbergen, A. C. (2006). A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, 77(1-2), 90-111.
- Hjort, J., & Luoto, M. (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology*, 115(1-2), 109-116.
- Malinowska, E., & Szumacher, I. (2013). Application of landscape metrics in the evaluation of

- geodiversity. *Miscellanea Geographica*, 17(4), 28-33.
- Manosso, F. C. (2012). Potencialidades da paisagem na Região da Serra do Cadeado-PR: abordagem metodológica das relações entre a estrutura geocológica, a geodiversidade e o geoturismo (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá).
- Manríquez, H., Mansilla, P., Figueroa-Sterquel, R., & Moreira-Muñoz, A. (2019). Geodiversity meets Biodiversity: a landscape approach for biogeocultural conservation and governance in Mediterranean central Chile. *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management*, 11, 43-48.
- McGarigal, K., Tagil, S., & Cushman, S. A. (2009). Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape ecology*, 24(3), 433-450.
- Mellelli, L. (2014). Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *Geojournal of tourism and geosites*, 7(1), 13.
- Mostofi, A., (1971). Geographical report of Masileh palya. *Geographical research Quaterly*. 5, 2-193.
- Müller, A. (2011). Géodiversité et diversité paysagère: évaluation de concepts spatiaux pour l'étude de la diversité des milieux et paysages: application au site Natura 2000 Madres-Coronat (Pyrénées-Orientales, France) (Doctoral dissertation, Toulouse 2). [In Persian]
- Nichols, W. F., Killingbeck, K. T., & August, P. V. (1998). The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity II. A landscape perspective. *Conservation Biology*, 12(2), 371-379.
- Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J., & Santos, L. (2013). Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environmental management*, 52(3), 541-552.
- Perotti, L., Carraro, G., Giardino, M., De Luca, D. A., & Lasagna, M. (2019). Geodiversity evaluation and water resources in the Sesia Val Grande UNESCO Geopark (Italy). *Water*, 11(10), 2102. 27-52.
- Rohani, N., Rajaei, T., Mojaradi, B., Jabbari, E., Shafiei Darabi, S. A., & Heidari Bani, M. (2021). Climate Study of Changes of Major Water Resources in Qom Province Using Satellite Data and Remote Sensing Technologies. *Environmental Sciences*, 19(1), 239-258. doi: 10.52547/envs.33643. [In Persian]
- Salehipour Milani, A., Šadough, S. H., & Rafiei, R. (2021). Geodiversity Assessment in Catchments of Salt and Hoz-e-Soltan Lakes. *Quantitative Geomorphological Research*, 10(2), 84-105.
- Serrano, E., & Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica helvetica*, 62(3), 140-147. [In Persian]
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1963). *The Mathematical Theory of Communication*, (first published in 1949). *Urbana: University of Illinois Press*.
- Shayan yeganeh, A. A., zangane asadi, M. A., & Amir-Ahmadi, A. (2020). The quantitative assessment of geodiversity of Proposed Geopark of West Khorasan Razavi to protect its geoheritage.. *Geographical Planning of Space*, 10(36), 77-90 [In Persian]
- Solon, J. (2002). Ocena różnorodności krajobrazu na podstawie analizy struktury przestrzennej roślinności (Vol. 185). IGI PAN.
- Stanley, K. B., Resler, L. M., & Carstensen, L. W. (2023). A Public Participation GIS for Geodiversity and Geosystem Services Mapping in a Mountain Environment: A Case from Grayson County, Virginia, USA. *Land*, 12(4), 835.
- Uuemaa, E., Antrop, M., Roosare, J., Marja, R., & Mander, Ü. (2009). Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living reviews in landscape research*, 3(1), 1-28.
- Xavier-da-Silva, J., Persson, V. G., Lorini, M. L., Bergamo, R. B. A., Ribeiro, M. F., Costa, A. J. S. T., ... & Abdo, O. E. (2001). Índices de geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade. Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão novas metodologias de avaliação e monitoramento. *Rio de Janeiro*,

- Voices*, 299-316.
- Zarnetske, P. L., Read, Q. D., Record, S., Gaddis, K. D., Pau, S., Hobi, M. L., & Finley, A. O. (2019). Towards connecting biodiversity and geodiversity across scales with satellite remote sensing. *Global Ecology and Biogeography*, 28(5), 548-556.
- Zwoliński, Z., Najwer, A., & Giardino, M. (2018). Methods for assessing geodiversity. In *Geoheritage*, 27-52).
- Zwoliński, Z. (2009). The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. *Landform Analysis*, 11, 77-85.