

Geodiversity and Geomorphodiversity Differences in the Coastal of Oman Sea and Makran Zone from Cape Jask to Gwadar Bay

Masoud Sistani Badooei¹, Samad Fotoohi^{2*}, Hossein Negaresh³
Mohamad Hosein Ramesht⁴, Mahasa Roostaei⁵

1. Ph.D Student of Geomorphology, University of Sistan and Baluchestan
2. Associate Professor of Geomorphology, University of Sistan and Baluchestan
3. Professor of Geomorphology, University of Sistan and Baluchestan
4. Professor of Geomorphology, University of University of Isfahan
5. Assistant Professor of Geophysics- Seismology, Geological Survey and Mineral Exploration, Tehran



Sistani Badooei, M & Fotoohi, S & Negaresh, H & Ramesht, M H & Roostaei, M. (2021). [Geodiversity and Geomorphodiversity Differences in the Coastal of Sea of Oman and Makran Zone from Cape Jask to Gwadar Bay]. *Geography and Development*, 19 (63), 39-66.

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6169>

Received: 25/06/2020

Accepted: 20/01/2021

Keywords:

Coastal
Geomorphology,
Geodiversity,
Geomorphodiversity,
Oman coast, Oman
Coastal Plain.

ABSTRACT

The need for management of the coastal of Oman Sea and Makran as a vast stretch of the Iranian territory with great development potentials in various areas. One of the most important areas for progress in this region is the enhancement of the tourism industry. One of the effective and potential capabilities that can be utilized for enhancing tourism is the geodiversity and the geomorphodiversity in the region. These diversities have been emphasized as the main bases for tourism in the region and steps have been taken to analyze and evaluate them. The study area, extends from the shorelines of Jask Bay to those of the Gwadar Bay and its land area stretches for approximately 120 kilometers from the coastline to the conical fold in the Makran zone. This research used quantitative, statistical and remote sensing methods to study the roles of active geological and tectonic factors, climate and proximity to the sea as the main parameters in the formation and expansion of geomorphological relief. It also evaluated the capability of each one, based on priorities, in the development of tourism in the area covered by the main drainage basins. The results show that geomorphodiversity with PRD of 0.0009, SHDI of 3.3529, SHEI of 0.9329, SIDI of 0.9578, and SIEI of 0.9774, is more importance and valuable than the geodiversity. Therefore, it is essential that the responsible authorities build the infrastructures required for the development of the Geomorpho-tourism industry in order to develop the coastal in southeastern Iran.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1. Introduction

Knowing the coast and the coastal region by geomorphologists has been able to study and review the effective forms and processes in the

past and present, analyze the trend of coastal geomorphological changes in the future and provide systematic management solutions appropriate to the region. One of the most important and fundamental studies of beaches and coastal areas is geodiversity and geomorphodiversity analysis, which geologists and geomorphologists have used to describe the types of geological and geomorphological diversity in nature. Formed in the last three decades in pursuit of geotourism and dating back to the early 1990s, this ideology encompasses the boundaries between geology, geomorphology and soil science. Meanwhile, the landforms of Oman Sea coast and its coastal region, which has great diversity in

*Corresponding Author:

Samad Fotoohi

Address: Department of Geomorphology
University of Sistan and Baluchestan

Tel: +98 (9177312688)

E-mail: fotoohi@gep.usb.ac.ir

geomorphological features, have a high potential for tourism development and is one of the most unique and diverse geomorphological landscapes in Iran that can play an important role in the development of tourism industry. However, structural and managerial weakness in this region of the country has caused inconsistencies between the diversity of geomorphological forms and geomorphosites with the real potential of the tourism industry and the facilities needed for welfare and services in the region and except for small urban and rural areas, there are no facilities and transmission lines. The power and communication roads are not in good condition either. Therefore, identifying these potentials requires detailed studies and comprehensive and complete studies.

One of the most basic measures in this field is to identify the geological, geomorphological and geodiversity and geomorphodiversity analysis capabilities of the region. Because identifying and locating the best places and using its existing capacities, will play an important and effective role in the development of the tourism industry, followed by employment, security and population distribution. Therefore, in this study, the experiences of researchers in this field have been used and the coastal region of Oman Sea and Makran zone from Jask Cape to Goatherd Bay with an area of 5000 square kilometers and a circumference of 1000 kilometers with a coastline of 500 km in Hormozgan and Sistan and Baluchestan provinces. And Kerman is located between $11^{\circ} 11' 57''$ to $11^{\circ} 11' 61''$ east longitude and $11^{\circ} 11' 25''$ to $11^{\circ} 11' 26''$ north latitude in terms of geomorphology, geology, geodiversity and geomorphodiversity in a wide and accurate Six main catchments have been analyzed in the coastal plain of Oman Sea.

2. Methods and Material

Statistical analyses and remote sensing were used in this study. Various data and statistics including 1:250000 and 1:100000 geological maps from Geological Survey and Mineral Explorations of Iran (GIS), 1:25000 topographical maps from Iran National Cartographic Center, the digital elevation model (DEM) of the region with a cell size of 30 meter from ASTER satellite, Landsat 8 satellite images, daily statistics of synoptic, climatological and rain-gage stations in Sistan and Baluchestan, Hormozgan, and Kerman provinces, and precipitation and temperature data from the Climatic Research

Unit (CRU) database were used for this purpose. The collected data were analyzed by RS and GIS. The parameters and maps required for this purpose were prepared. Various geostatistics and tools (Geostatistical Analyst) in ArcGIS10.4 were used. Interpolation was carried out by the simple cokriging method to produce the modified layer of the koppen's classification. For preparation of the geological layer, the DEMs were first integrated and then converted into a Raster layer through scale normalization. In addition to topographic maps and Landsat 8 satellite images, the dip layers, hypsometry, TPI and curvature were used for preparation of the geomorphological map. After preparation of climatological, geological, geomorphological, and morphometric maps with a pixel size of 30 m, the above four layers were integrated to produce and classify the final layer. The final layer in the ASCII format was then exported to FRAGSTATS 4.2, and the results were analyzed.

3. Results and Discussion

According to the calculations, Gabrik catchment, among the six main catchments, despite its smaller area, has the highest rank in terms of quantitative indicators and is equal to the density of unevenness 10, Shannon 5 diversity, Shannon 8 unevenness, Simpson 2 diversity and Simpson unevenness. With 9, it has the highest rankings, the main reasons for which are the mountainous and rough surface of the basin, low levels with gentle slopes and geomorphological and geological diversity per unit area. But what shows a big difference compared to the geodiversity index is the geomorphodiversity index, which is very recognizable in the calculations and the share of these factors with the density of unevenness 12, Shannon variation 7, Shannon unevenness 10, diversity Simpson 11 and Simpson ruggedness 13 are more valuable than geological diversity and more geological diversity. Also, the study of the coastal plain of the Oman Sea shows that its geomorphological diversity is more valuable than other regions and with the density of unevenness 20, diversity of Shannon 8, unevenness of Shannon 11, diversity of Simpson 14 and unevenness of Simpson equal to 17 the highest score. Self-assigned.

4. Conclusion

The results obtained in the study area show that the scores of diversity of geomorphological factors were higher than geological diversity. Since Makran zone

belongs to the second and third periods of geology, most of its formations are composed of mixed facies, flysch with Paleocene to Oligocene and Molasses with Miocene and younger and no significant diversity is seen in its geological formations. However, since the diversity of geomorphological forms in this region is very high and even in one type of geological formation, a large number of geomorphological features may be seen, so it can be said that the geomorphology of the region has more quantitative and qualitative value than geology. The main reasons for this in the region are the high erosion of formations, active climatic and erosive factors and exposure to the open waters of the Oman Sea. However, in the study area, the geomorphological features of the coastal plain, according to the evaluations, have more diversity than other areas of Makran zone, which shows the high potential of coastal geomorphotourism in this area and its development is of great importance. To this end, the expansion of communication infrastructure and improving the situation of facilities and increasing funding for the development of the tourism industry in the region can provide the necessary conditions for sustainable development.

Keywords: Coastal geomorphology, Geodiversity, Geomorphodiversity, Oman coast, Makran coastal plain.

5. References

- Alaei Taleghani, M. (2017). Geomorphology of Iran, Ghoomes publishing company, Tehran, Iran. PP.360.
- Ansari Far, M., Roshan Raai, H. Roshan Zamiri, A. Roshan Zamiri, E. (2014). The Geodaiversity of Bashagard Tang-e-Sohran Dam, Makran (SE Iran), The first National Conference on Virtual Earth Sciences, Islamic Azad university, Zahedan, Iran. 1-5. https://www.civica.com/Paper-GEOCKU01-GEOCKU01_114.html
- Avramidis, P., Iliopoulos, G., Nikolaou, K., Kontopoulos, N. (2017). Holocene sedimentology and coastal geomorphology of Zakynthos Island, Ionian Sea: A history of a divided Mediterranean island, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol 487, 340-354. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S031018217305278>
- Benito, A. (2004). Análisis geomorfológico y reconstrucción de paleopaisajes neógenos y Cuaternarios en la Sierra de Atapuerca y el valle medio del río Arlanzón. PhD Tesis, Universidad Complutense, Madrid, Spain, 381. <https://eprints.ucm.es/5282/>
- Benito-Calvo, A., Perez-Gonzalez, A., Magri, O., Meza, P. (2009). Assessing regional Geodiversity: the Iberian Peninsula. Earth Surface Processes and Landforms. Vol 34, 1433-1445. https://www.researchgate.net/publication/227733902_Assessing_regional_geodiversity_The_Iberian_Peninsula
- Bruschi VM. (2007). Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad, PhD Thesis, Universidad de Cantabria, Santander. 355. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/10611;jsessionid=9A70BEA29A545634E792C52FCC2EDC82>
- Comprehensive Consulting Engineers of Iran (2009). Watershed justification studies of Gabrik catchment Basin, Forests, Range and Watershed Management Organization, Hormozgan, Iran.
- Darvish Zadeh, A. (2010). Geology of Iran: stratigraphy, tectonics, metamorphism and magmatism, Amir Kabir Publications, Tehran, Iran. 436.
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Meirvenne, M. V., Verniers, J., Crombé, P. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. Geomorphology, Vol 186, 39-49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X12005739>
- Deumlich, D., Schmidt, R., Sommer, M. (2010). A multiscale soil-landform relationship in the glacial-drift area based on digital terrain analysis and soil attributes. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Vol 173, 843-851. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200900094>
- Farhoudi, G., Karig, D.F. (1977). Makran of Iran and Pakistan as an Active Arc System, Geology, Vol 5, 664-668. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/5/11/664/198712>
- Francés, A.P., Lubczynski, M.W. (2011). Topsoil thickness prediction at the catchment scale by integration of invasive sampling, surface geophysics, remote sensing and statistical modeling. Journal of Hydrology, Vol 405, 31-47. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411003052>
- Gabaldón, V., Álvaro, M., Apalategui, O., Baena, J., Balcells, R., Barnolas, A., Barrera, J., Cueto. (1994). Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1 000 000. CARTOGRAFIA.IGME: Madrid. [http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_\(2015\)&language=es](http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_(2015)&language=es)

- Gary L. R. (2002). Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS: a spatial statistics program, *Computers & Geosciences*, Vol 28, 168-179. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300401000309>
- Golimokhtari, L., Neghaban, S., Shafiei, N. (2019). Geodetical Comparison Analysis (Geological Diversity) in Northwest Basins of Fars Province Using FRAGTATSE software, *Quantitative Geomorphological Research*, Volume 7, Issue 3. 151-163. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_83474.html
- Gray, M. (2008). Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 300. 31-36. <https://sp.lyellcollection.org/content/300/1/31>
- Gray, M., Gordon, G.E., Brown, E.J. (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists Association*. Vol 124, 659-673. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016787813000047>
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Wiley, Londres. 433.
- Haji Hosseini, H.R., Haji Hosseini, M.R., Najafi, A.R., Morid, S., Delavar, M. (2014). Assessment of changes in hydro-meteorological variables upstream of Helmand Basin during the last century using CRU data and SWAT model, *Iran-Water resources research*. Volume 10, Issue 3. 38-52. http://iwrr.sinaweb.net/article_13462.html
- Harris, I., Jones, Philip, Osborn, Timothy and Lister, David (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, Vol 34, 623-642. <https://rsmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3711>
- Hassani Pak, A.A. (2013). *Geostatistics*, Tehran University Publications, Tehran, Iran. P 328.
- Hosseini-Moghari, S.M., Araghinejad, SH., Ibrahim, K. (2017). Evaluation of Global Gridded Precipitation Datasets Accuracy over Urmia Lake Basin, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, Volume 48, Issue 3. 587-598. https://ijswr.ut.ac.ir/article_63429.html
- Illés, G., Kovács, G., Heil, B. (2011). Comparing and evaluating digital soil mapping methods in a Hungarian forest reserve. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol 91, 615-626. <https://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.4141/cjss2010-007>
- Kaskela, A.M., Rousi, H., Ronkainen, M., Orlova, M., Babin, A., Gogoberidze, G., Kostamo, K., Kotilainen, A.T., Neevin, I., Ryabchuk, D., Sergeev, A., Zhamoïda, V. (2017). Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems, *Continental Shelf Research*, Vol 142, 1-13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278434316300188>
- Khosravian, M., Entezari, A.R., Rahmani, A., Baaghde, M. (2017). Monitoring the Disturbance of Lake District Water Level Changes Using Remote Sensing Indices, *Hydrogeomorphology*, Volume 4, Issue 13. 99-120. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_7125.html
- Koh, Y.K., Oh, K.H., Youn, S.T., Kim, H.G. (2014). Geodiversity and geotourism utilization of islands: Gwanmae Island of South Korea, *Marine and Island Cultures*. Vol 3, 106-112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212682114000183>
- Kozłowski S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przełąd Geologiczny* Vol 52, 833-837. https://www.researchgate.net/publication/259011668_Geodiversity_The_concept_and_scope_of_geodiversity
- Lesschen, J.P., Kok, K., Verburg, P.H., Cammeraat, L.H. (2007). Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in southeast Spain. *Catena*, Vol 71, 110-121. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816206002050>
- Liu, H., Bu, R., Liu, J., Leng, W., Hu, Y., Yang, L., Liu, H. (2011). Predicting the wetland distributions under climate warming in the Great Xing'an Mountains, northeastern China. *Ecological Research*, Vol 26, 5-613. <https://esj-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1007/s11284-011-0819-2>
- Liu, M., Hu, Y., Chang, Y., He, X., Zhang, W. (2009). Land Use and Land Cover Change Analysis and Prediction in the Upper Reaches of the Minjiang River, China. *Environmental management*, Vol 43, 899-907. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-008-9263-7>
- Maghsoudi, M., Moghimi, E., Yamani, M., Rezaei, N., Moradi, A. (2019). Geomorphodiversity Investigation of Damavand volcano and its surroundings based on the Gml Index, *Quantitative Geomorphological Research*, Volume 8, 52-69. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_91725.html
- Manosso, F.C., Nobrega, M.T. (2015). Calculation of Geodiversity from Landscape Units of the Cadeado Range Region in Parana, Brazil. *Geoheritage*, September 2016, Vol 8, 189-199. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-015-0152-1>
- Martinez, C., Contreras-Lopez, M., Winckler, P., Hidalgo, H., Godoy, E., Agredano, R. (2017). Coastal erosion in central Chile: A new hazard? , *Ocean & Coastal Management* Vol 156, 141-155. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569117301564>
- Mavromatidi, A., Briche, E., Claeys, C. (2018). Mapping and analyzing socio-environmental vulnerability to coastal hazards induced by climate change: An application to coastal Mediterranean cities in France. *Cities*, Vol 72, 189-200. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275116307272>
- Masoodian, A. (2012). *Climatology of Iran*, Sharia Toos Publications, Mashhad, Iran. 288.
- McGarigal, K., Tagil, S., Cushman, S. (2009). Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, Vol 24, 433-450. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/34075>

- Mir Alizadehfard, S.R., Mansouri, SH (2019). Evaluation of indicators of remote sensing measurement in quantitative and qualitative studies of surface water with Landsat-8 satellite images (Case study: South of Khuzestan province), RS and GIS For Natural Resources, Volume 10, Issue 2. 63-84. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_666799.html
- Miri, M., Azizi, G., Mohamadi, H., Khosh Akhlagh, F., Rahimi, M. (2017). Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran, Watershed Management Science, Vol 10. 39-50. <http://jwmsei.ir/article-1-587-fa.html>
- Mitchell. T.D., Jones.P.D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, International Journal of Climatology, Vol 25, 693-712. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1181>
- Mohammadi, M., Darvish Zadeh, A. (2007) Geology of Iran (Geography), Tehran University Publications, Iran. 308.
- Mora-Vallejo, A., Claessens, L., Stoorvogel, J., Heuvelink, G.B.M. (2008). Small scale digital soil mapping in southeastern Kenya. Catena, Vol 76, 44-53. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816208001355>
- Moridi-Farimani, A.A. (1999). Investigation of local stress disturbances in Makran zone, 3rd Symposium of Geological Society, Shiraz, Iran. 610-612. https://www.civilica.com/Paper-SGSI03-SGSI03_136.html
- Motamed, A., Gharib Reza, M.R. (2008). Evolution of Coastal Makran Zone During Late Quaternary, Physical Geography Research Quarterly, Volume 0, Issue 0, 77-87. https://jphgr.ut.ac.ir/article_26907.html
- Nader Sefat, M.H. (2008). Geomorphology of urban areas, Payame Noor Publications, Tehran, Iran. 239.
- Negaresh, H. (1996). Investigating the geomorphological evolution of a part of the coastal area of the Oman Sea from Ramin to Kalat, Education of Geography Growth, Vol 39. 5-15. <http://noo.rs/AaXp4>
- Negaresh, H (2004). Geomorphological characteristics of raised beaches of south east of Iran, territory, Vol 1, Issue 1. 93-104. http://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_6068.html
- Negaresh, H. (2006). Coastal Geomorphology of Estuary of Tang and its Characteristics, Geography And Development Iranian Journal, Vol. 4, Issue7. 69-88. http://gdij.usb.ac.ir/article_3800.html
- Negaresh, H. (2007). Coastal Geomorphology of Gwadr Bay, Geotechnical Geology, Vol 1. 1-10. <http://geo-tech.iauzah.ac.ir/fa/archive.php?lrid=87&rid=14>
- Negaresh, H. (2013). Structural and Dynamic Geomorphology, Marandiz Publications, Mashhad, Iran. 237.
- Nieto LM (2001). Geodiversity: proposal of an integrative definition. Boletín Geológico y Minero, Vol. 112, 3-12. https://www.researchgate.net/publication/259011659_Geodiversity_Proposal_of_an_integrative_definition
- Panizza M., Piacente S. (2003). Geomorfologia Culturale, Bologna: Pitagora, 350.
- Pellitero, R., Gonzalez-Amuchastegui, M. J. (2011). Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain), Geoheritage, Vol 3, 163-174. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-010-0022-9>
- Sistani Badooei, M. (2014). Investigating the Hydrogeomorphological Conditions of the Gabrik Drainage Basin and Its Effect on the Flooding Risk of region, The Dissertation of M.Sc. in Physical Geography (Natural Hazards), University of Sistan & Baluchestan, Zahedan, Iran. 101. <http://diglib.usb.ac.ir/diglib/WebUI/TreeBrowse.aspx?lang=fa&TreeId=0>
- Sistani Badooei, M., Negaresh, H., Fotoohi, S. (2015). The Granulometry of alluvial terraced sediment of Gabrik River and analyzing the relationship between geology formations and basin flooding, 33th Symposium of Geosciences, Tehran, Iran., 1-8. <http://33ngs.conference.gsi.ir/>
- Sistani Badooei, M., Negaresh, H., Fotoohi, S. (2017). Zoning Flood Hazard in the Gabrik Drainage Basin, Geography and Environmental Hazards, Volume 22, Issue 8. 163-182. <https://jm.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/59833>
- Stallins, JA (2006). Geomorphology and ecology: unifying themes for complex systems in biogeomorphology, Geomorphology, Volume 77, 207-216. <https://www.researchgate.net/publication/222402044>
- Tagil, S., Jenness, J. (2008). GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey, Journal of Applied Sciences, Vol 8, 910-921. <https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2008.910.921>
- Yamani, M. (2013). Coastal geomorphology, Tehran University Publications, Tehran, Iran. 562. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411003052>
- Yazdi, A., Dabiri, R. (2016). An introduction to geodiversity as a basis for development of geotourism, New Findings in Applied Geology, Volume 9, Issue 18, 74-82. https://nfag.basu.ac.ir/article_1392.html
- Yazdi, A., Foudazi, M., Shah Hoseini, E. (2015). Geological diversity, geoconservation and management principles in the use of geosites, First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, Tehran, Iran. 1-8. https://www.civilica.com/Paper-NCGTSD01-NCGTSD01_227.html
- Zangeneh Asadi, M.A., Amir Ahmadi, A., Shayan Yeganeh, A.A. (2016). Evaluation of Geomorphosites of Iran in order to protect and achieve sustainable development, 2nd International conference on sustainable development, strategies and challenges With a focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz, Iran. 1-14. https://www.civilica.com/Paper-ICSDA02-ICSDA02_628.html
- Zarea, M. (2009). Fundamentals of seismic hazard analysis, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology Publications, Tehran, Iran. 142

بررسی تفاوت ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی منطقه ساحلی دریای عمان و زون مکران از دماغه جاسک تا خلیج گواتر

مسعود سیستانی بدوئی^۱، دکتر صمد فتوحی^{۲*}، دکتر حسین نگارش^۳
دکتر محمدحسین رامشت^۴، دکتر مه آسا روستایی^۵

چکیده

مدیریت منطقه ساحلی دریای عمان و زون مکران به‌عنوان پهنه وسیعی از خاک ایران که پتانسیل توسعه فراوانی دارد، امری اجتناب‌ناپذیر است. از مهم‌ترین زمینه‌های پیشرفت در این منطقه، تقویت بنیادین صنعت گردشگری بوده که علاوه بر رونق اقتصادی و امنیت و اشتغال‌زایی، می‌تواند بخش قابل‌توجهی از درآمد را به خود اختصاص داده و سود زیادی را برای مردم و دیگر نهادها به ارمغان آورد. یکی از توان‌های مؤثر و بالقوه در این زمینه، تنوع زمین‌شناختی یا ژئودایورسیتی و مهم‌تر از آن تنوع ژئومورفولوژیک یا ژئومورفودایورسیتی است که به‌عنوان پایه‌های اصلی گردشگری در منطقه مورد تأکید بوده که نسبت به تحلیل، ارزیابی و اولویت‌بخشی به این دو عامل اقدام شده‌است. محدوده مورد مطالعه در استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان و کرمان واقع بوده که از ساحل جاسک تا گواتر و گستره آن در خشکی با فاصله تقریبی صدویست کیلومتری از خط ساحلی تا ارتفاعات اصلی زون مکران ادامه یافته‌است. در تحقیق حاضر با استفاده از روش‌های کمی، آماری و سنجش‌ازدور، نقش عوامل زمین‌شناسی و تکنونیک فعال، اقلیم و مجاورت با دریا به‌عنوان پارامترهای اصلی در شکل‌گیری و گسترش عوارض ژئومورفولوژیک بررسی شده و پتانسیل هر عامل براساس اولویت در توسعه صنعت گردشگری با توجه به محدوده حوضه‌های آبریز اصلی مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تنوع ژئومورفولوژیک زون مکران با تراکم ناهمواری ۰/۰۰۰۹، تنوع شانون ۳/۳۵۲۹، ناهمواری شانون ۰/۹۳۲۹، تنوع سیمپسون ۰/۹۵۷۸ و ناهمواری سیمپسون برابر با ۰/۹۷۷۴ نسبت به تنوع زمین‌شناختی اعتبار بالاتری داشته و ارزش بیشتری را به خود اختصاص داده‌است؛ بنابراین به‌منظور توسعه منطقه ساحلی جنوب شرق کشور و مکران، توجه مسئولان و رسیدگی و احداث زیرساخت‌های موردنیاز در توسعه صنعت ژئومورفوتوریسم لازم و ضروری است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۳، تابستان ۱۴۰۰
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۰۱
صفحات: ۶۶-۳۹



واژه‌های کلیدی:

ژئومورفولوژی ساحلی، ژئودایورسیتی، ژئومورفودایورسیتی، سواحل عمان، جلگه ساحلی مکران.

مقدمه

حال، روند تغییرات ژئومورفولوژیک ساحلی را در آینده تحلیل و راهکارهای مدیریتی نظام‌مندی را متناسب با شرایط منطقه ارائه دهند. از بررسی‌های مهم و اساسی سواحل و منطقه ساحلی، تحلیل تنوع زمین‌شناختی است که زمین‌شناسان و همچنین ژئومورفولوژیست‌ها این نام را برای انواع تنوع زمین‌شناسی در طبیعت بیان کرده‌اند (Gray, 2013: 661). ایدئولوژی ژئودایورسیتی که در سه دهه اخیر در راستای تبعیت از ژئوتوریسم

محققان علم ژئومورفولوژی، با داشتن زمینه‌های تخصصی در شناخت روابط متقابل میان فرایندهای فعال طبیعی و انسانی در سواحل، بهترین دانشمندان برای تصمیم‌گیری‌های مربوط در مدیریت سواحل هستند (نادرصفت، ۱۳۸۷: ۱۴۸). شناخت ساحل و منطقه ساحلی از سوی دانشمندان این علم توانسته است تا ضمن مطالعه و بررسی، فرم‌ها و فرایندهای مؤثر در گذشته و

ژئومورفودایورسیتی منطقه است؛ چراکه شناسایی و مکان‌یابی بهترین نقاط و استفاده از ظرفیت‌های موجود آن، نقش مهم و مؤثری در پیشرفت و توسعه گردشگری و در پی آن اشتغال، امنیت و توزیع جمعیت خواهد داشت. ایدئولوژی ژئودایورسیتی توسط محققان زیادی مورد تحلیل قرار گرفته که برخی همچون *Murray Gray, 2004: 1-433* به بیان نظری و تبیین آن پرداخته و برخی نیز با استفاده از ترکیب آن با فنون نوین سنجش‌ازدور، در پی ارائه روشی جدید به منظور رسیدن به اهداف خاص بوده تا بتوانند به تبیین نظریه‌های خود بپردازند. یکی از این روش‌ها پهنه‌بندی و مکان‌یابی مناطق دارای اولویت است که با استفاده از لایه‌های مورد نیاز، بهترین ژئومورفوسایت‌ها انتخاب می‌شود. از روش‌های دیگر، روش‌های کمی است که در آن با توجه به خصوصیات مختلفی چون زمین‌شناختی، ژئومورفولوژی و اقلیمی هر منطقه و با استفاده از دستورالعمل پیشنهادی، مناطق مختلف طبقه‌بندی می‌شود. در زیر به چند مورد از این تحقیقات اشاره می‌شود.

بنیتو و همکاران (۲۰۰۴) ژئودایورسیتی شبه‌جزیره ایبرین در اسپانیا را مورد تحقیق و بررسی قرار دادند (*Benito et al, 2004: 1-381*). آن‌ها با استفاده از نظرات گابالدون^۱ و همکاران (۱۹۹۴)، بنیتو^۲ (۲۰۰۴)، کازلوسکی^۳ (۲۰۰۴)، استالینز^۴ (۲۰۰۶)، براسچی^۵ (۲۰۰۷)، پانیزا و پیاسنته^۶ (۲۰۰۸) و نیتو^۷ (۲۰۰۱) مدلی را طراحی کرده و پتانسیل مناطق مختلف حوضه را از لحاظ تنوع زمین‌شناختی سنجیده و پهنه‌بندی

شکل گرفته (یزدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲) و سابقه آن به اوایل دهه ۱۹۹۰ می‌رسد، محدوده‌ای را بین زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و خاک‌شناسی شامل شده (*Gray, 2008: 33*) و بیانگر انواعی از تنوع زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و رسوب‌شناسی است (یزدی و دبیری، ۱۳۹۴: ۷۵). سواحل در همه کشورهای مورد توجه و نگاه ویژه بوده‌اند؛ به‌علاوه تنوع عوارض ژئومورفولوژیک در سواحل به‌دلیل منطقه فرسایشی فعال، بیشتر از دیگر مناطق بوده و چشم‌انداز آن را متمایز کرده‌است. در این بین، لندفرم‌های سواحل دریای عمان و منطقه ساحلی آن که دارای تنوع زیادی در عوارض ژئومورفولوژیک است، از پتانسیل توسعه گردشگری بالایی برخوردار بوده و از بی‌نظیرترین و متنوع‌ترین چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیک ایران است که می‌تواند نقش مهمی در توسعه صنعت گردشگری ایفا کند؛ اما ضعف ساختاری و مدیریتی در این منطقه از کشور باعث ناهماهنگی میان تنوع اشکال ژئومورفولوژیک و ژئومورفوسایت‌ها با توان واقعی صنعت گردشگری و امکانات مورد نیاز رفاهی و خدماتی در منطقه شده‌است. گردشگری یکی از پردرآمدترین صنایع جهان است، اما در سواحل دریای عمان به غیر از محدوده‌های اندک شهری و روستایی، هیچگونه امکاناتی وجود ندارد و خطوط انتقال نیرو و جاده‌های ارتباطی نیز در حد مطلوبی قرار ندارد؛ بنابراین شناسایی این پتانسیل‌ها نیازمند مطالعات دقیق و بررسی‌های جامع و کامل است. یکی از اساسی‌ترین اقدامات در این زمینه، شناسایی توانمندی‌های زمین‌شناختی، ژئومورفولوژیک و تحلیل ژئودایورسیتی و

1-Gabaldon

2-Benito

3-Kozlowski

4-Stallins

5-Bruschi

6-Panizza and Piacente

7-Nieto

دریای مدیترانه پرداختند (Avramidis, 2017: 340-354)

ماوروماتیدی^۷ و همکاران (۲۰۱۸) در منطقه ساحلی مدیترانه در کشور فرانسه، به بررسی و تحلیل مخاطرات ژئومورفولوژیک سواحل این منطقه پرداختند (Mavromatidi et al, 2018: 189-200).

مارتینز^۸ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، فرسایش ساحلی مرکز شیلی را به عنوان یک خطر جدی در این کشور معرفی کردند (Martinez et al, 2017: 141-155).

در ایران نیز یزدی و دبیری (۱۳۹۴)، ژئودایورسیتی ایران را عامل ارتقای ژئوتوریسم و توسعه پایدار دانسته و ضمن بیان مبانی نظری ژئودایورسیتی، آن را تحلیل کرده و یکی از پایه‌های اصلی توسعه ژئوتوریسم در مناطق مختلف را تنوع زمین‌شناختی معرفی کردند (یزدی و دبیری، ۱۳۹۴: ۷۴-۸۲). انصاری فر و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی ژئودایورسیتی منطقه سد تنگ سهران بشارگرد اقدام کرد (انصاری فر و همکاران، ۱۳۹۲: ۱-۵). یزدی و همکاران (۱۳۹۳) بر اهمیت ژئودایورسیتی به عنوان اصول مدیریتی در ژئوسایت‌ها تأکید کردند (یزدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱-۸). زنگنه‌اسدی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی ژئومورفوسایت‌های مختلف و تحلیل ژئودایورسیتی و نقش آن در توسعه پایدار پرداختند (زنگنه‌اسدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱-۱۴).

نگارش (۱۳۸۳، ۱۳۸۵) در سواحل جنوب شرق ایران به بررسی ژئومورفولوژی ساحلی خورتنگ، ژئومورفولوژی سواحل بالآمده و ژئومورفولوژی خلیج گواتر پرداخته و فرم‌ها و فرایندهای مؤثر در تغییرات ژئومورفولوژی ساحلی را تبیین و تحلیل کرد (نگارش، ۱۳۸۵: ۶۹-۸۸؛ نگارش، ۱۳۸۳: ۱۰۱-۹۰؛ نگارش، ۱۳۸۵: ۱-۱۰).

یمانی (۱۳۹۲) به تشریح مبانی نظری این علم پرداخته و جزئیات عملکرد ژئومورفولوژی ساحلی را بازگو کرده است (یمانی، ۱۳۹۲: ۱-۵۶۲). گلی مختاری و همکاران (۱۳۹۷) تنوع زمین‌شناختی حوضه‌های شمال غربی استان فارس را بررسی کردند (گلی مختاری و

کردند (Gabaldón et al, 1994: 1; Nieto, 2001: 3-12; Panizza & Piacente, 2003: 1-350; Benito, 2004: 1-381; Kozłowski, 2004: 833-837; Stallins, 2006: 207-2016; Bruschi, 2007: 1-355) پلی‌ترو و گونزالس^۱ (۲۰۱۱) تنوع زمین‌شناختی پارک‌های طبیعی و مناطق حفاظت‌شده Ebro و Rudron در اسپانیا را بررسی کردند و از پارامترهای سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و خاک استفاده کردند (Pellitero & Gonzalez, 2011: 163-174).

گری و همکاران^۲ (۲۰۱۳) با تأکید بر نقش تنوع زمین‌شناسی در علوم زمین و مدیریت یکپارچه محیط، به بررسی ژئودایورسیتی در منطقه Nea در انگلستان پرداختند و عواملی همچون تنوع زمین‌شناختی (سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های زمین‌گرمایی، مواد معدنی، مصالح ساختمانی، سنگ‌های قیمتی و فلزات)، تنوع خاک و رسوبات، تنوع لندفرم (ژئومورفولوژی، فرم‌ها، فرایندها)، وضعیت اتمسفر، شرایط دریایی و سیکل هیدرولوژیک را در منطقه بررسی کردند (Gray et al, 2013: 659-673).

کو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) امکان بهره‌برداری و استفاده از پتانسیل‌های ژئودایورسیتی و ژئوتوریسم جزیره گوانمی واقع در کره جنوبی را تحلیل کردند (Koh et al, 2014: 106-112). مانوسو و نوبرگا^۴ (۲۰۱۵)، ژئودایورسیتی منطقه کادایادو در حوضه رودخانه پارانا واقع در کشور برزیل را تحلیل کردند (Manosso & Nobrega, 2015: 189-199). کاسکلا^۵ و همکاران (۲۰۱۷) نقش تنوع زمین‌شناسی را در اکوسیستم سواحل شرقی کشور فنلاند بررسی کردند (Kaskela et al, 2017: 1-13).

آورامیدیس^۶ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی ژئومورفولوژی ژئومورفولوژی ساحلی جزیره زاکینتوس یونان واقع در

1-Pellitero and Gonzalez

2-Gray et al

3-Koh

4-Manosso and Nobrega

5-Kaskela

6-Avramidis

7-Mavromatidi

8-Martinez

همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶۳-۱۵۱). مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) به تحلیل ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند پرداختند. در این تحقیق به صورت دقیق منطقه ساحلی دریای عمان و زون مکران از لحاظ زمین‌شناختی، زمین‌ساخت، ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی بررسی شده و ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی منطقه با یکدیگر مقایسه و اولویت‌بندی شده و ضمن شناخت مهم‌ترین عامل در تنوع و نیز شناخت بهترین نقاط در گسترش صنعت توریسم در حوضه‌های آبریز اصلی و جلگه ساحلی دریای عمان تحلیل و بررسی شده است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه پژوهش با مساحتی بالغ بر ۵۷۵۲۴ کیلومتر مربع و محیط ۱۲۸۵ کیلومتر، بین ۲۱' ۴۰" ۵۷° تا

۰۳' ۵۳" ۶۱° طول شرقی و ۳۱' ۰۳" ۲۵° تا ۰۷' ۵۳' ۲۶° عرض شمالی واقع است که در جنوب استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان و شرق استان هرمزگان قرار دارد. این محدوده از شمال به ارتفاعات اصلی زون مکران، از جنوب به دریای عمان، از شرق به مرز ایران و پاکستان و از غرب به حوضه‌های آبریز جگین و جاسک گسترش یافته و دارای ۵۵۷ کیلومتر مرز آبی از جاسک تا گواتر است. از نظر تقسیمات سیاسی نیز منطقه مورد مطالعه در محدوده شهرستان‌های سرباز، چابهار، نیکشهر، کنارک، بشاگرد، جاسک و قلعه‌گنج قرار دارد (شکل ۱).

مکران، کرمان، سیستان و بلوچستان، هرمزگان

۵۸°۲۰'۰"E ۵۹°۱۵'۰"E ۶۰°۱۰'۰"E ۶۱°۵'۰"E

۲۶°۲۵'۰"N ۲۵°۳۰'۰"N

استان کرمان

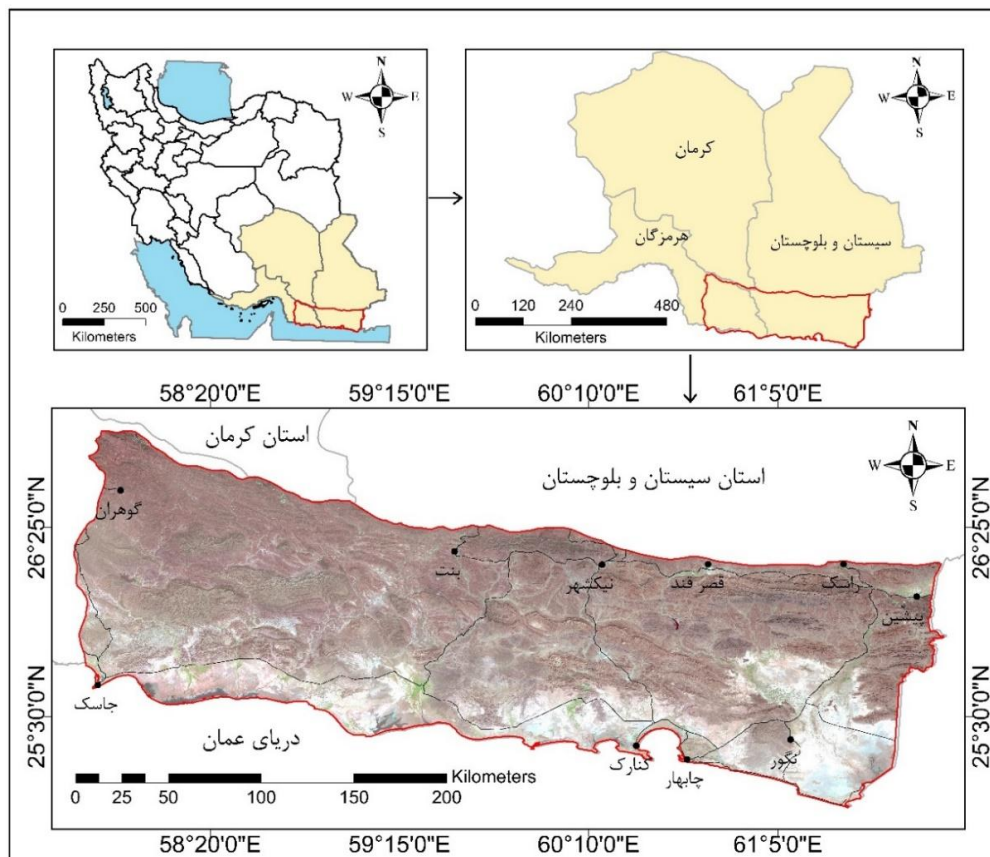
استان سیستان و بلوچستان

دریای عمان

۰ ۲۵ ۵۰ ۱۰۰ ۱۵۰ ۲۰۰ Kilometers

۰ ۱۲۰ ۲۴۰ ۴۸۰ Kilometers

۰ ۲۵ ۵۰ ۱۰۰ ۱۵۰ ۲۰۰ Kilometers



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

ساحلی آن، شاهد اشکال ژئومورفولوژی متنوعی که حاصل از دینامیک فعال درونی و بیرونی است، خواهیم بود (سیستانی بدوئی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶۷) که بیشتر در انحصار این منطقه است. تأثیر فرورانش پوسته اقیانوسی دریای عمان به زیر ایران مرکزی و زمین ساخت فعال منطقه، قرارگیری در برابر امواج سهمگین دریای عمان و بارندگی‌های بسیار شدید لحظه‌ای در فصول مختلف سال، عوارض ژئومورفولوژیک بسیاری را در زون مکران به وجود آورده است. از آنجایی که فرورانش پوسته دریای عمان به زیر مکران هنوز هم ادامه داشته و سالیانه به طور متوسط ۵ سانتی‌متر در حال فرورانش است، نشان از تکتونیک فعال و تکوین و توسعه پدیده‌های ژئومورفولوژیک منطقه دارد. در نتیجه این زیرراندگی سواحل بالآمده، به وجود آمده که سالیانه ۱ تا ۳ میلی‌متر در حال بالآمدن بوده است و از بندر جاسک تا بندر کراچی پاکستان دیده می‌شود (نگارش، ۱۳۹۱: ۲۲۳). از دیگر اثرات فرورانش دریای عمان، تشکیل گلفشان‌های متعدد است که عموماً در جلگه ساحلی دریای عمان قرار داشته و در حال فعالیت است. گلفشان‌های ناپگ، پیرگل، عین، سگاری، سیصاد، سندمیرسوبان و درابول شرقی و غربی نمونه‌های معروف این گلفشان‌ها هستند. اثر دیگر تکتونیک فعال در منطقه، تشکیل خلیج‌های نعل‌اسبی است که در واقع همان فرود محوری چین‌های باز ساحلی‌اند (نگارش، ۱۳۷۴: ۳) و فشار نیروهای تکتونیکی یکی از عوامل اصلی تشکیل خلیج‌هایی همچون گواتر (Farhoudi & Karig, 1977: 664-668) و دیگر خلیج‌های چابهار، پزم و گوردیم شده است (نگارش، ۱۳۷۴: ۸). وجود خورهای متعدد در داخل این خلیج‌ها همچون خورهای تنگ، گواتر و باهوکلان و دیگر پدیده‌ها همچون جنگل‌های حرا، تومبولو (جزیره‌ای که توسط فلش ماسه‌ای به خشکی اصلی متصل شود) (نگارش، ۱۳۸۵: ۷۲ و ۷۸) و بدلندها، از عوارض ژئومورفولوژیک هستند که در

زون مکران متعلق به دوران‌های دوم و سوم زمین‌شناسی بوده که بیشتر از رخساره‌های آمیزه رنگین، «فلیش» با سن «پالئوسن تا الیگوسن» و مولاس با سن «میوسن» و جوان‌تر تشکیل شده است (مریدی فریمانی، ۱۳۷۸: ۶۱۰). از دیگر ویژگی‌های این زون، وجود گسل‌های متراکم و بی‌نظمی است که در پیدایش ناهمواری‌های مکران نقش مهمی داشته‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۹۰: ۲۰۹). روند گسل‌ها غالباً شرقی-غربی و در اکثر موارد به صورت معکوس و رورانده بوده است (زارع، ۱۳۸۸: ۳۹) (شکل ۲). وضعیت ژئومورفولوژیک زون مکران از لحاظ شکل ناهمواری و ارتباط آن با جنس سنگ‌های آن متفاوت بوده و شکستگی شدیدی در ارتفاعات آن دیده می‌شود. علاوه بر نیروهای درونی، عوامل اقلیمی نیز نقش بسیار مهمی در زمینه نوع و میزان فرسایش ایفا کرده است. به دلیل عرض پایین جغرافیایی، مجاورت با دریای عمان و رطوبت زیاد و وزش بادهای گرم جنوبی، اقلیمی بسیار گرم، کم‌بارش و بسیار مرطوب داشته و سیستم‌های بارشی این منطقه را سامانه‌های بارشی غربی و کم‌فشار سودانی در فصول سرد سال و سامانه مونسون هند و کم‌فشار گنگ را در تابستان تشکیل می‌دهد. اقلیم این منطقه مطابق با روش کوپن، گرم و خشک بیابانی، براساس روش دمارتن اقلیم خشک، با استفاده از روش ایوانف اقلیم صحرائی قرار گرفته است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۲۱۷-۸۸). منطقه مورد مطالعه براساس تقسیمات اکولوژیک در مناطق رویشی نیمه‌بیابانی و استپی قرار گرفته و به دلیل اقلیم فراخشک منطقه و عدم حاصل‌خیزی و ریزدانه‌بودن خاک، دارای پوشش گیاهی ضعیف و بسیار کم است (مهندسین مشاور جامع ایران، ۱۳۸۸: ۳۲). میانگین دما و بارش سالانه منطقه به ترتیب ۲۷/۳ درجه سلسیوس و ۱۳۸/۵ میلی‌متر، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل حدود ۳۵۰۰ میلی‌متر و رطوبت نسبی آن نیز بیشتر از ۵۰ درصد است؛ براین اساس در مکران و منطقه

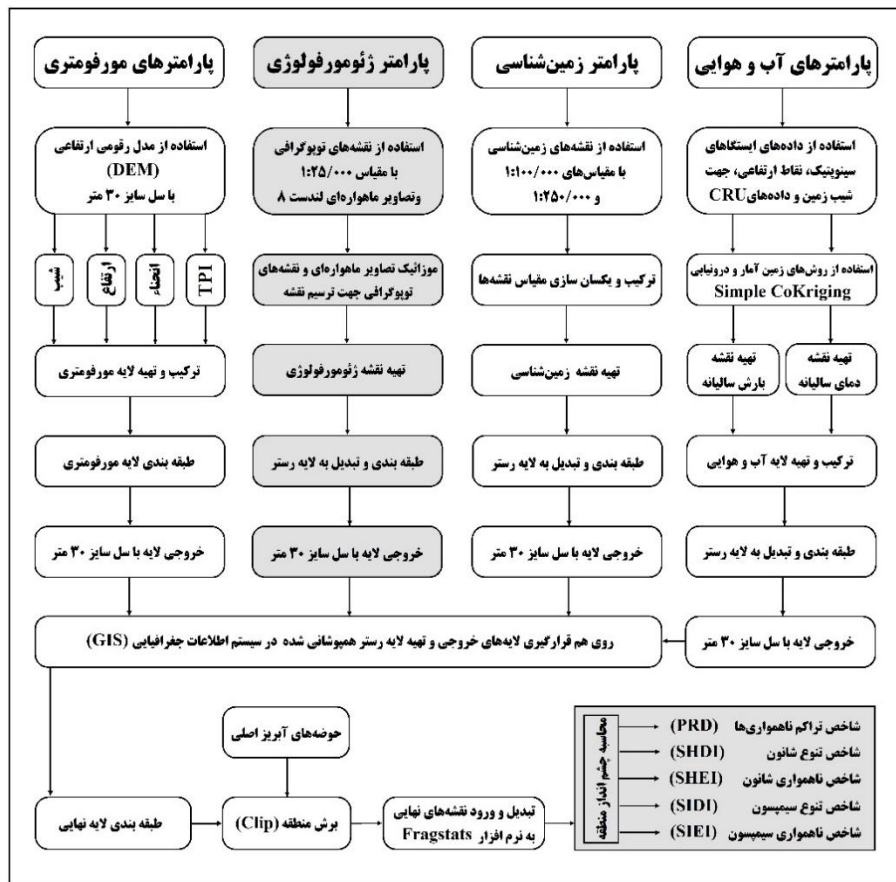
اقليمی، نقاطی به صورت شبکه‌بندی مربعی شکل با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه در ۰/۵ درجه در اختیار محققان قرار می‌دهد (Mitchell and Jones, 2005: 693) که شامل پارامترهای اقلیمی موردنیاز با دقت قابل قبول (میری و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۹) بوده و دوره آماری آن از سال ۱۹۸۱ تاکنون است (حاجی‌حسینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۹). در شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و داده‌های CRU در جهت درون‌یابی لایه‌های دما و بارش سالیانه مشخص شده‌است. در انجام این کار از روش‌های مختلف زمین‌آمار و ابزار Geostatistical Analyst استفاده شده‌است. درون‌یابی در این پژوهش پس از بررسی نرمال بودن یا عدم‌نرمال بودن داده‌های بارش و دما و لحاظ کردن پارامترهای ارتفاع، عرض جغرافیایی و جهت شیب به‌عنوان پارامترهای ثانویه با استفاده از روش Simple Cokriging انجام گرفته‌است. کریجینگ، یک میانگین متحرک وزن‌دار و یک تخمین‌گر ناریب با کمترین واریانس تخمین و خطای آن تابع مشخصات وایوگرام است که با تغییرات همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی کاهش می‌یابد (حسینی‌پاک، ۱۳۸۹: ۱۸۲)؛ بنابراین به‌منظور افزایش میزان دقت و کاهش خطای نقشه‌های درون‌یابی‌شده، از روش‌های مختلفی همچون فنون زمین‌آمار و نرم‌افزار GS+ در این زمینه برای انتخاب بهترین نوع گشتاور و محاسبات تغییرات همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی در جهت درون‌یابی پارامترهای اقلیمی استفاده شده‌است. پس از ورود داده‌های دما و بارش، به نرم‌افزار GS+، بهترین نوع گشتاور در انجام درون‌یابی برای پارامتر دما (Spherical) و پارامتر بارش (Gaussian) مشخص و لحاظ شده‌است.

کواترنر پسین تکامل یافته (معمد و غریب‌رضا، ۱۳۸۷: ۷۷) و این منطقه را متمایز کرده‌است.

مواد و روش‌های تحقیق

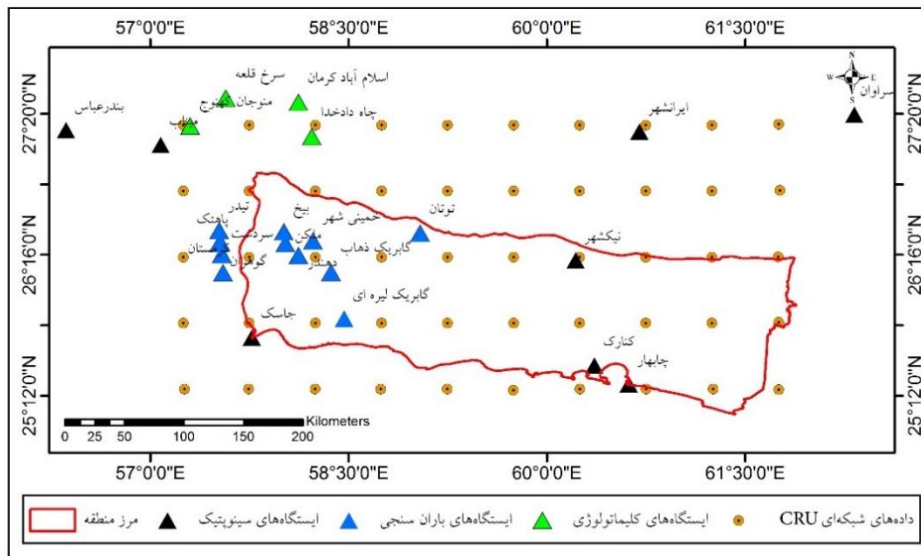
پژوهش حاضر به صورت تحلیلی بوده و روش انجام آن کمی، تحلیل آماری و سنجش از دور است. به‌منظور تحلیل ژئودایورسیتی و ژئومورفودیورسیتی منطقه، از داده‌ها و آمار مختلفی استفاده شده‌است. گسل‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی پوشش سراسری ایران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با دقت ۳۰ متر از ماهواره ASTER، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، آمار روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان از سازمان هواشناسی کشور و همچنین داده‌های بارش و دما نیز از پایگاه داده‌های CRU^۱ به‌نام واحد تحقیقات اقلیمی از منطقه تهیه شده‌است.

پژوهش حاضر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مورد تحلیل قرار گرفته‌است. بدین‌منظور، پارامترها و نقشه‌های موردنیاز برای این کار تهیه و استفاده شده که در نمودار ۱ اصول و روش‌های انجام تحقیق نشان داده شده‌است. به‌منظور تهیه لایه‌های آب‌وهوایی با روش اصلاح‌شده کوپن متناسب با شرایط منطقه، از ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و همچنین داده‌های CRU استفاده شده‌است. واحد تحقیقات اقلیمی CRU وابسته به دانشگاه انگلیا^۲ است که در شرق کشور انگلستان قرار داشته (حسینی‌موغاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۸۹) و پایگاه داده آن از آمار ایستگاه‌های هواشناسی همه کشورهای تهیه شده‌است (Harris et al, 2014: 623). این پایگاه داده‌های



شکل ۲: نمودار محاسباتی ارزیابی ژئومورفودایورسیتی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۳: ایستگاه‌های ثبت اقلیمی و داده‌های CRU برای درون‌یابی دما و بارش سالیانه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

هیپسومتری، انحناى زمین (Curvature) و $TPI^{\text{آ}}$ لایه‌ها با یکدیگر ترکیب شده و لایه مورفومتری تهیه شده‌است. شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) که کاربردهای بسیاری در علم ژئومورفولوژی (Tagil & Jenness, 2008: 910-921), (Liu et al, 2011: 605-613), (McGarigal et al, 2009: 433-450) زمین‌شناسی-910 (Tagil and Jenness, 2008: 921), (Deumlich et al, 2010: 843-851), (Illés et al, 2011: 615-626) هیدرولوژی، (Lesschen et al, 2007: 110-121), (Francés and Lubczynski, 2011: 910-921), (Liu et al, 2011: 605-613) و دیگر علوم دارد، یک الگوریتم منظم برای اندازه‌گیری موقعیت شیب توپوگرافی زمین است (De Reu et al, 2013: 39) که بر مبنای شیب زمین عوارض را بسته به وضعیت توپوگرافی منطقه مورد نظر، به گروه‌های ۳ طبقه‌ای (روش جنز و همکاران، ۲۰۱۱)، ۴ طبقه‌ای (روش دیکسونو بیر، ۲۰۰۶) و ۶ طبقه‌ای (روش وایز: ۲۰۰۱) تقسیم‌بندی می‌کند (گلی مختاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۵۷). این طبقه‌بندی با استفاده از افزونه Land Facet Corridor Designer در محیط نرم‌افزار GIS با واردکردن DEM منطقه انجام شده‌است. در تحقیق فوق به دلیل گستردگی منطقه، لایه TPI شش طبقه‌ای تهیه شده که در آن پستی و بلندی‌های سطح زمین به شش قسمت به صورت مجزا از یکدیگر مشخص شده که با توجه به خصوصیات منطقه، تغییرات اصلاح‌شده‌ای در تقسیم‌بندی آن‌ها انجام گرفته است (جدول ۱).

در تهیه لایه زمین‌شناسی، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی ادغام شده و سپس با مقیاس یکسان تبدیل به لایه رستری شده‌است. برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی نیز علاوه بر نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، از لایه‌های شیب، جهت شیب، نقشه سایه‌روشن و روش‌های سنجش‌ازدور استفاده شده و نقشه تهیه‌شده به لایه رستر تبدیل شده‌است؛ بدین‌منظور در تهیه نقشه ژئومورفولوژی برای شناسایی خورها و کانال‌های جزر و مدی، از شاخص تفاضل نرمال‌شده آب (NDWI) (خسرویان و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۶) و برای شناسایی جنگل‌های حرا یا مانگرو و پوشش گیاهی منطقه، از شاخص پوشش گیاهی تفاضل تعدیل‌شده خاک ($SAVI^{\text{ب}}$) (میرعلیزاده‌فرد و منصورى، ۱۳۹۸: ۶۹) استفاده شده‌است (رابطه ۱ و ۲).

رابطه ۱. شاخص تفاضل نرمال‌شده آب:

$$NDWI = \frac{Blue - NIR}{Blue + NIR}$$

رابطه ۲. شاخص پوشش گیاهی تفاضل تعدیل‌شده خاک:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L)$$

در این رابطه‌ها، NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵)، Blue باند آبی (باند ۲) و RED باند قرمز (باند ۴) در ماهواره لندست ۸ و L عددی ثابت بین صفر تا یک است.

برای تهیه لایه‌های مورفومتری، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۳۰ متر استفاده شده و پس از ساخت، طبقه‌بندی و ترکیب لایه‌های شیب،

جدول ۱: طبقه‌بندی توپوگرافی براساس روش وایز و روش اصلاحی در ایجاد لایه TPI

روش وایز (نویسندگان)	روش وایز (Weiss 2001)	طبقه‌بندی‌های مورفولوژی (توپوگرافی)
$TPI \leq [-1] SD$	$Z_0 > SD$	دره‌ها (Valleys)
$[-1] SD < TPI \leq [-0.5] SD$	$SD \geq Z_0 > 0.5 SD$	شیب‌های کم و بسیار کم (Lower Slopes)
$[-0.5] SD < TPI \leq [0] SD$	$0.5 SD \geq Z_0 \geq -0.5 SD, slope > 5^\circ$	شیب‌های متوسط دامنه‌ای (Steep Slopes)
$[0] SD < TPI \leq [0.5] SD$	$0.5 SD \geq Z_0 \geq -0.5 SD, slope \leq 5^\circ$	شیب‌های ملایم دامنه‌ای (Gentle Slopes)
$[0] SD < TPI \leq [0.5] SD$	$-0.5 SD > Z_0 \geq -SD$	شیب‌های تند (Upper Slopes)
$TPI > [0.5] SD$	$Z_0 < -SD$	نوک قله‌ها یا خط الراس ارتفاعات (Ridges)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

زیاد منطقه و مقایسه تنوع زمین‌شناختی و ژئومورفولوژیک محدوده مورد مطالعه، شش حوضه آبریز اصلی آن شامل حوضه‌های آبریز جگین، گابریک، سدیچ، رابچ، نیکشهر و کهیر-سرباز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (شامل منحنی‌های میزان و شبکه‌های آبراه‌های) و همچنین با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) محدوده مورد نظر و جعبه‌ابزار Hydrology و اکستنشن ArcHydro در نرم‌افزار GIS به‌طور دقیق مشخص شده و شاخص‌های ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی در آن‌ها نسبت به یکدیگر مقایسه شده‌اند.

پس از تهیه چهار نقشه اقلیم‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و مورفومتری با اندازه پیکسل ۳۰ متر، چهار لایه فوق ترکیب شده و لایه نهایی تولید و طبقه‌بندی شده‌است. به‌منظور کمی‌سازی و تحلیل الگوهای مکانی نقشه طبقه‌بندی شده ژئودایورسیتی، از نرم‌افزار FRAGSTATS استفاده شده‌است که برای توصیف ویژگی‌ها و اجزای این ویژگی‌ها و چشم‌انداز آن‌ها در محیط طبیعی تهیه شده‌است (Gary, 2002: 169). پس از تبدیل نقشه نهایی به فرمت ASCII و ورود آن به نرم‌افزار فوق، شاخص‌های مربوط به ژئودایورسیتی مطابق با جدول ۲ محاسبه شده‌است. به‌دلیل وسعت

جدول ۲: معیارهای محاسباتی شاخص ژئودایورسیتی با نرم‌افزار FRAGSTATS

شاخص‌ها	فرمول محاسباتی	دامنه محاسباتی	واحد
تراکم ناهمواری‌ها (PRD ⁺)	$PRD = \frac{M}{A} (10^4)(10^2)$	$PRD > 0, \text{ without limit}$	تعداد، در هر ۱۰۰ هکتار
شاخص تنوع شانون (SHDI ⁺)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	$SHDI \geq 0, \text{ without limit}$	با توجه به وضعیت منطقه
شاخص ناهمواری شانون (SHEI ⁺)	$SHEI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) / \ln m$	$0 \leq SHEI \leq 1$	ندارد
شاخص تنوع سیمپسون (SIDI ⁺)	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$	$0 \leq SIDI \leq 1$	ندارد
شاخص ناهمواری سیمپسون (SIEI ⁺)	$SIEI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2 / 1 - \left(\frac{1}{m}\right)$	$0 \leq SIEI \leq 1$	ندارد

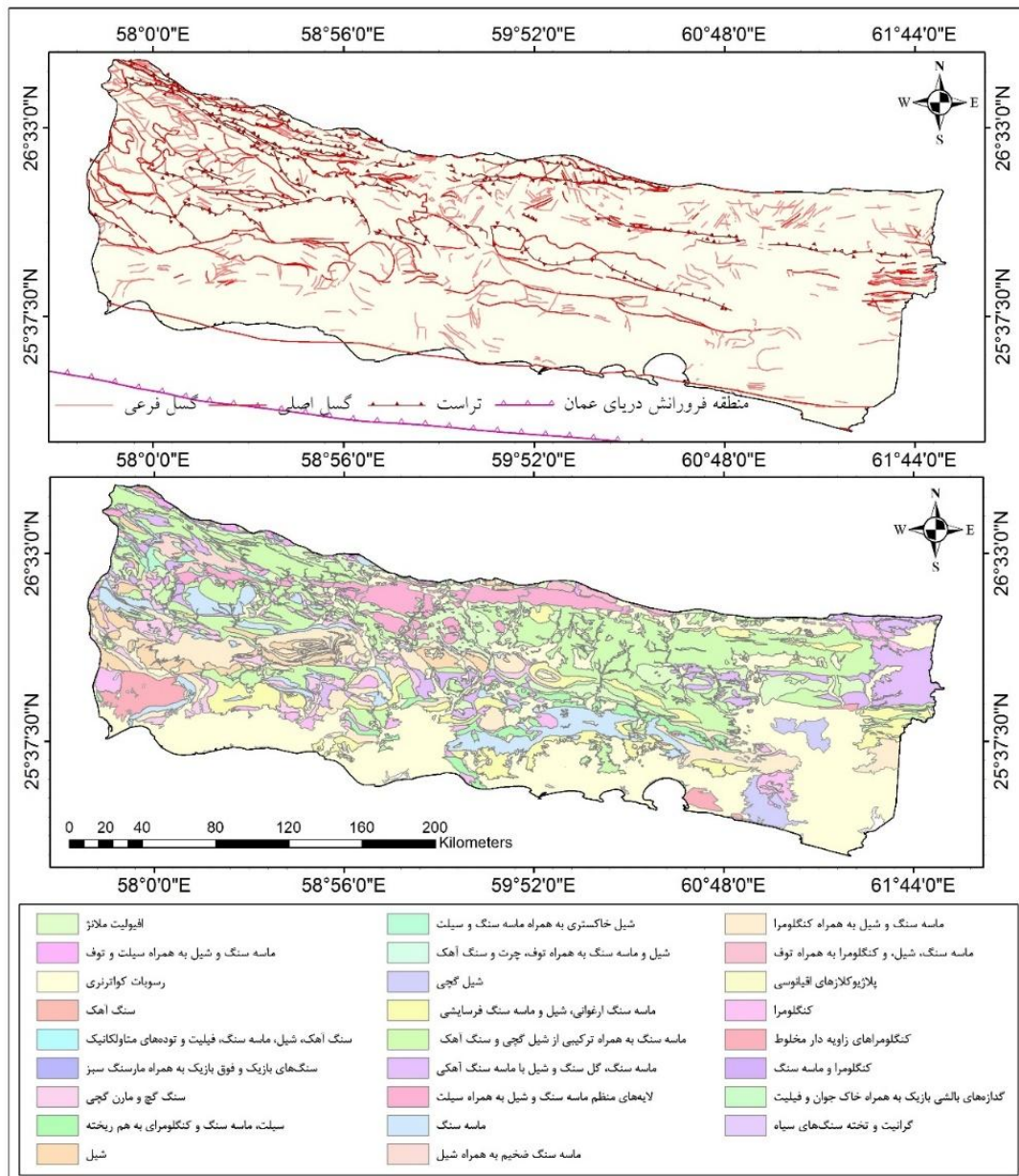
مأخذ: بنیتو و همکاران، ۲۰۰۹

- 1-Patch Richness Density
- 2-Shannon's Diversity Index
- 3-Shannon's Evenness Index
- 4-Simpson's Diversity Index
- 5-Simpson's Evenness Index

بحث و تفسیر داده‌ها

از آنجایی که رشته کوه‌های مکران روندی شرقی- غربی داشته (درویش‌زاده، ۱۳۸۹: ۶۱-۶۰) و دارای رسوبات نئوژن همچون ماسه سنگ، شیل و مارن بوده و ضخامت آن حدود ۱۰۰۰۰ متر است (درویش‌زاده و محمدی، ۱۳۸۶: ۶۴)، اما با تداوم فرورانش پوسته

دریای عمان به زیر ایران، همچنان تکتونیک منطقه فعال و در رسوبات چهره خشنی برجای گذاشته است؛ بنابراین نقش گسل‌های منطقه و همچنین عوامل فرسایشی در رخنمون لایه‌ها و ایجاد اشکال مختلف ژئومورفولوژیک بسیار مهم است (شکل ۳).

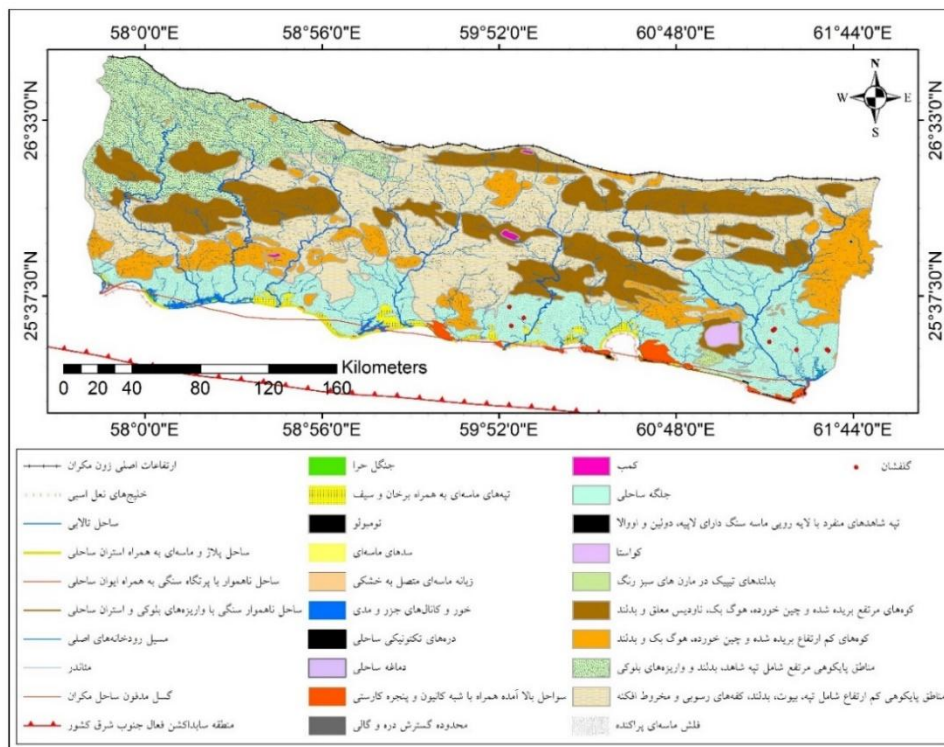


شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه

(منبع: سازمان زمین‌شناسی) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

پرتگاه ماسه‌سنگی، تنگ‌های عمیق، فرسایش دیفرانسیل بین لایه‌های ماسه‌سنگ و مارن و ایجاد برجستگی‌های تیغه‌ای شکل، ساختمان‌های چین‌خورده متعدد همراه با گسلش فراوان و تشکیل عوارضی همچون ناو معلق، هوگ‌بک و کمب، مخروط‌های واریزه‌ای، واریزه‌های بلوکی، مخروط‌افکنه‌های قدیمی ورنی‌شده و مخروط‌افکنه‌های جدید به‌صورت ساده و بدلند، گلفشان، اشکال قارچی شکل با لایه‌ی رویی مقاوم ماسه‌سنگ و لایه‌ی زیرین مارن، تافونی، سواحل بال‌آمده، تومبولو، خلیج‌های نعل‌اسبی، خورهای متعدد، جنگل‌های حرا، عوارض تراکمی ماسه‌ای، تیپ‌های مختلف سواحل و دیگر اشکال انحلالی مختلف هم در خشکی و هم در ساحل اشاره کرد که ژئومورفودیاپورسیتی ویژه‌ای به منطقه بخشیده است.

روند تحولات پیکر زمین‌ساختی مکران، فاصله‌ی زمانی کرتاسه بالایی- پالئوسن زیرین تا عهد حاضر را در برمی‌گیرد. در این فاصله‌ی زمانی بسیار کوتاه در مقیاس زمین‌شناسی، حجم ضخیمی از رسوبات در پیکر زمین‌ساختی کوه‌های مکران جای گرفته‌است (علایی‌طالقانی، ۱۳۸۱: ۲۰۶)؛ بنابراین بیشتر سازندهای مکران مربوط به رسوبات نفوژن بوده و تنوع زمین‌شناختی قابل‌توجهی در آن دیده نمی‌شود؛ اما آنچه در این منطقه جلب توجه می‌کند، تنوع ژئومورفولوژیک عوارض است که در نتیجه‌ی عوامل درونی و بیرونی به‌وجود آمده‌است. از ویژگی‌های اصلی مکران، وجود عوارض ژئومورفولوژیک متعدد در سازندهای زمین‌شناسی یکسان است (شکل ۴) که می‌توان به مئاندرهای محاط یا کوهستانی با دیواره‌های پرشیب، تراس‌های آبرفتی مطابق با اختلاف ارتفاع زیاد، کوه‌های بریده‌بریده شده، دیواره‌های کوهستانی با

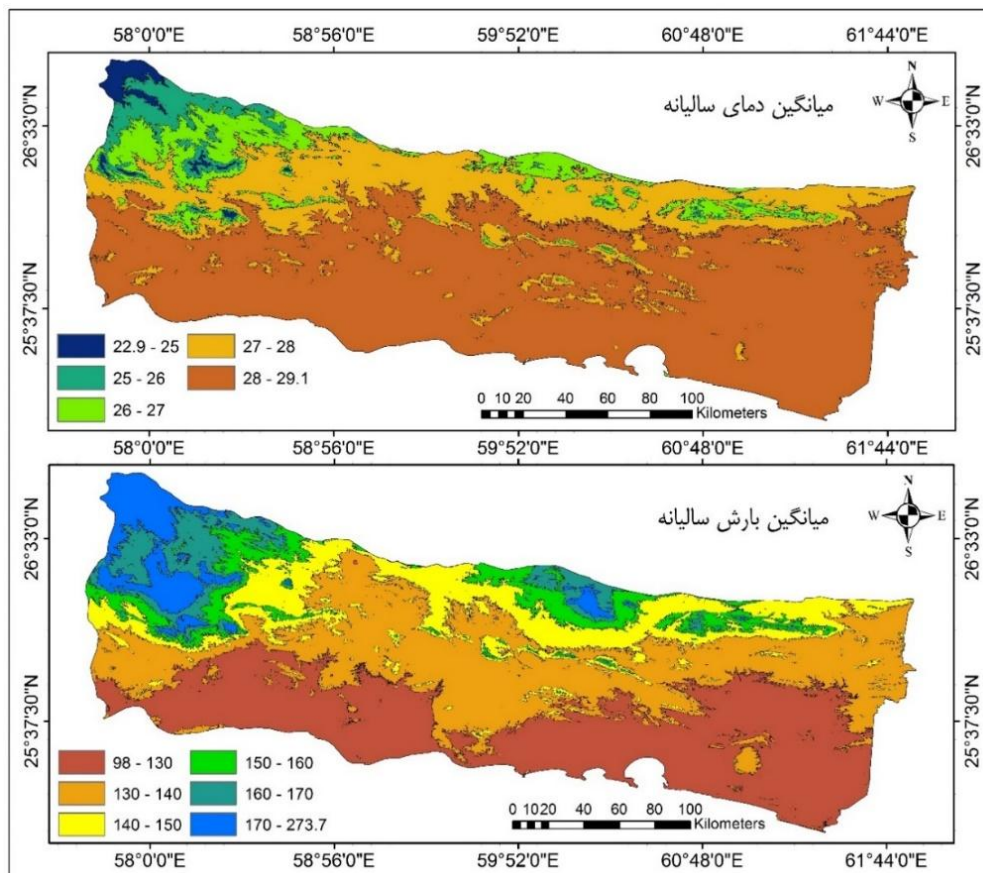


شکل ۵: نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

به سال دیگر نیز تغییر می‌کند؛ بنابراین یکی از عوامل اصلی تغییرات ژئومورفولوژیک در این منطقه را می‌توان در فرسایش شدید ناشی از اثرات هیدروژئومورفولوژیک در سازندهای زمین‌شناسی با فرسایش‌پذیری بالا تحلیل کرد. میانگین بلندمدت بارش سالیانه منطقه نیز ۱۳۸/۵ میلی‌متر محاسبه شده که حداکثر آن در شمال و حداقل آن در جنوب منطقه به ثبت رسیده‌است. از دلایل اصلی روند تغییرات دما و بارش از شمال به جنوب منطقه می‌توان به روند شرقی-غربی ارتفاعات، افزایش ارتفاع از جنوب به شمال و همچنین بالارفتن عرض جغرافیایی اشاره کرد (شکل ۵).

به دلیل قرارگرفتن منطقه مورد مطالعه در عرض‌های پایین و مجاورت با کمربند پرفشار جنب حاره^۱ (STHP)، میانگین دمای سالیانه بلندمدت آن با استفاده از درون‌یابی ۲۷/۳ درجه سلسیوس محاسبه شده‌است که نواحی شمالی و ارتفاعات اصلی زون مکران کمترین و نواحی جنوبی و پست ساحلی، بیشترین دما را به خود اختصاص داده‌است. متناسب با شرایط جغرافیایی و اقلیمی و تأثیر سامانه‌های بارشی غربی و کم‌فشار سودانی در فصول سرد سال و سامانه مونسون هند و کم‌فشار گنگ در تابستان، رژیم بارشی منطقه با وجود میانگین سالیانه کمی که دارد، اما بسیار شدید و لحظه‌ای بوده و بارش سالیانه آن تنها در چند روز از سال نزول می‌کند و از سالی

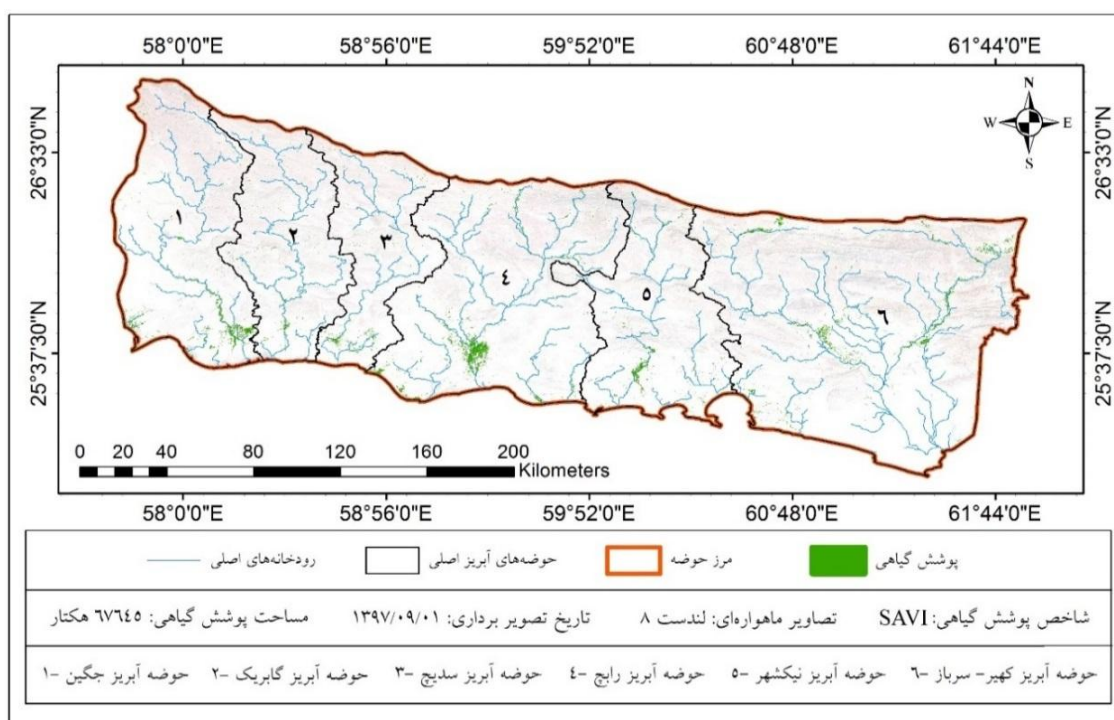


شکل ۶: نقشه بارش و دمای منطقه مورد مطالعه با استفاده از فنون زمین آمار

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

اثر عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی و تکتونیک باعث شده تا شش حوضه آبریز اصلی در مکران تشکیل شود. شبکه‌بندی آبراهه در این حوضه‌ها تابع وضعیت زمین‌شناسی و گسلش منطقه بوده و تراکم زهکشی آن نیز به دلیل ریزدانه‌بودن رسوبات و فرسایش‌پذیری شدید، بسیار بالا است. همچنین در رتبه‌بندی آبراهه‌ها مطابق با روش استرالرا، شبکه آبراهه‌ای و رودخانه‌ای به هفت رتبه طبقه‌بندی می‌شود که نشان از تکامل شبکه در این حوضه‌های آبریز است (سیستانی‌بدوئی، ۱۳۹۳: ۶۵). وضعیت پوشش گیاهی زون مکران به دلیل شرایط اقلیمی و خاک‌شناسی بسیار ضعیف است. در قسمت‌های شمالی حوضه، پوشش گیاهی قابل‌توجه تنها به دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها که شیب کم و خاک مناسبی دارند، محدود شده‌است؛ اما در قسمت‌های جنوبی به دلیل شیب کم جلگه ساحلی، خاک مناسب،

رطوبت زیاد، تبخیر کم منابع آبی و تأثیر عوامل انسانی همچون ساخت بند، سد و ساخت چاله‌ها و برکه‌های وسیع (هوتک) شاهد پوشش گیاهی بیشتری خواهیم بود؛ بنابراین به دلیل نبود پوشش گیاهی قابل‌توجه و در معرض فرسایش بودن سطح زمین، فرسایش بسیار شدیدتر است. همچنین وجود جنگل‌های حرا (جنگل‌هایی که در محیط آرام جزر و مدی سواحل حاره تشکیل می‌شود) در خورها و کانال‌های جزر و مدی، چهره دیگری از وضعیت متنوع ژئومورفولوژیک ساحلی را به نمایش درآورده‌است (شکل ۶). با توجه به موارد ذکرشده، تأثیر همه عوامل زمین‌شناختی، اقلیمی، تکتونیک، ژئومورفولوژی و دیگر عوامل ثانویه، نقشی اساسی در تکوین ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی زون مکران و منطقه ساحلی دریای عمان داشته‌است.

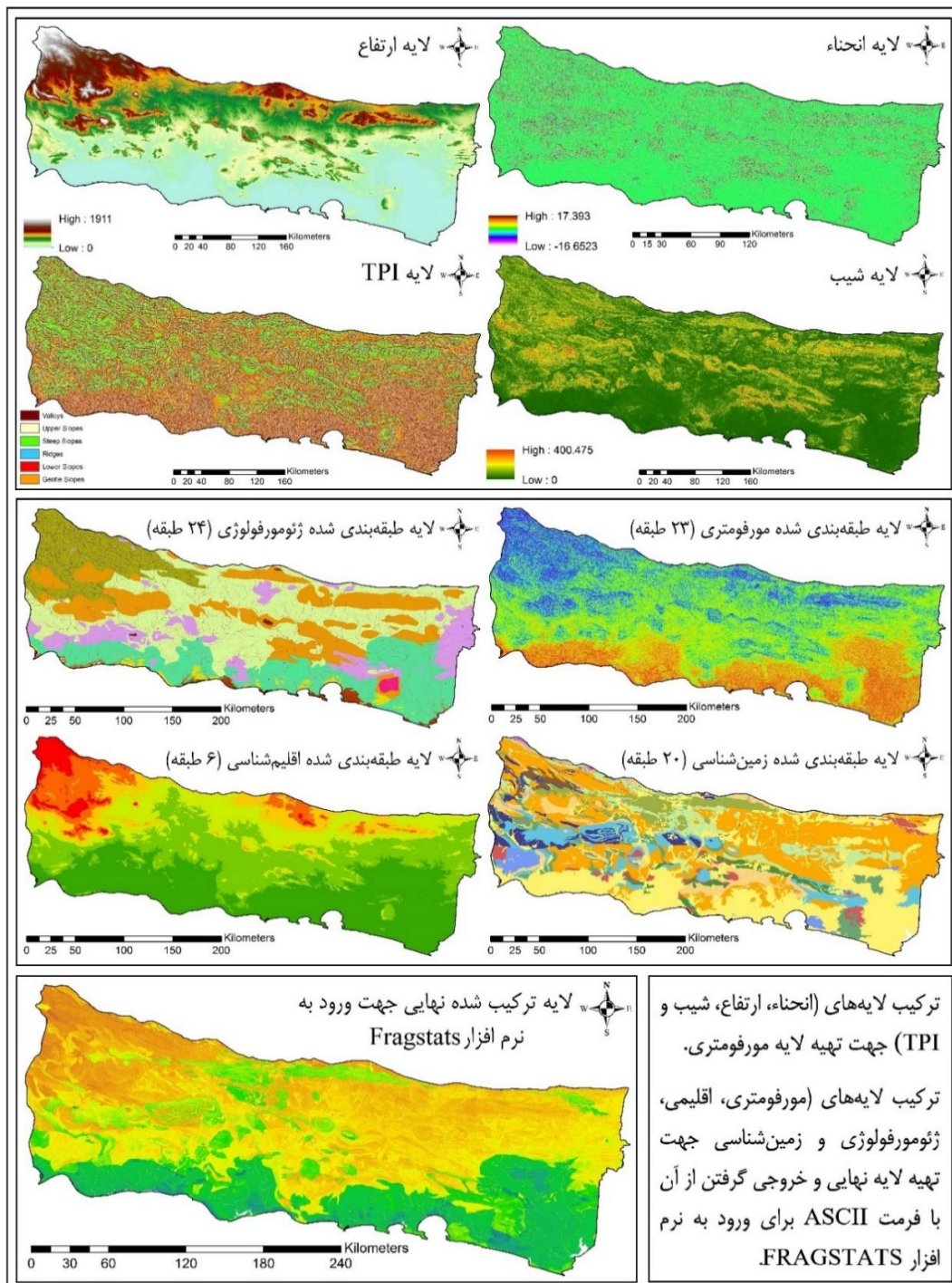


شکل ۷: حوضه‌های آبریز اصلی و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۷، جدول ۳ و نمودار ۲).

بنابراین پس از آماده سازی و طبقه بندی پارامترهای مؤثر تحقیق، ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی زون مکران و منطقه ساحلی دریای عمان به صورت کمی



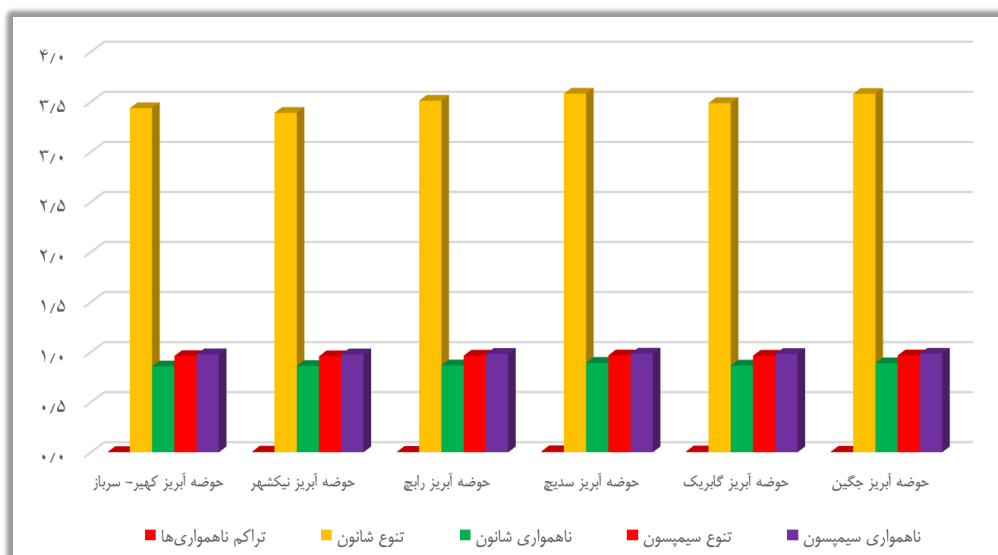
شکل ۸: نحوه ترکیب لایه های مختلف در محاسبه ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۳: شاخص‌های کمی محاسبه شده با استفاده از لایه نهایی در FRAGSTATS

ناهمواری سیمپسون (SIEI)	تنوع سیمپسون (SIDI)	ناهمواری شانون (SHEI)	تنوع شانون (SHDI)	تراکم ناهمواری‌ها (PRD)	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	حوضه‌های آبریز
۰/۹۸۵۵	۰/۹۶۷۹	۰/۸۸۹۶	۳/۵۸۰۸	۰/۰۰۶۵	۸۶۵۱/۵۶	جگین
۰/۹۸۲۵	۰/۹۶۴۹	۰/۸۶۶۸	۳/۴۸۹۰	۰/۰۰۹۰	۶۲۵۵/۸۴	گابریک
۰/۹۸۶۳	۰/۹۶۸۴	۰/۸۹۳۹	۳/۵۸۲۳	۰/۰۱۰۹	۵۰۵۳/۸۵	سدیچ
۰/۹۸۳۰	۰/۹۶۵۸	۰/۸۶۸۸	۳/۵۱۲۴	۰/۰۰۴۸	۱۲۰۲۱/۹۶	رابچ
۰/۹۷۸۳	۰/۹۵۹۱	۰/۸۶۲۴	۳/۳۹۱۰	۰/۰۰۷۱	۷۱۹۶/۰۹	نیکشهر
۰/۹۷۹۵	۰/۹۶۱۷	۰/۸۵۷۷	۳/۴۳۷۲	۰/۰۰۳۰	۱۸۳۴۴/۸۵	کهیر-سرباز

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



نمودار ۱: مقایسه مجموعه محاسبات شاخص‌های کمی در حوضه‌های آبریز منطقه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

تفاوت بسیار زیادی را در مقایسه با شاخص ژئودایورسیتی نشان می‌دهد، شاخص ژئومورفودایورسیتی است که این تفاوت در محاسبات به میزان زیادی قابل تشخیص است.

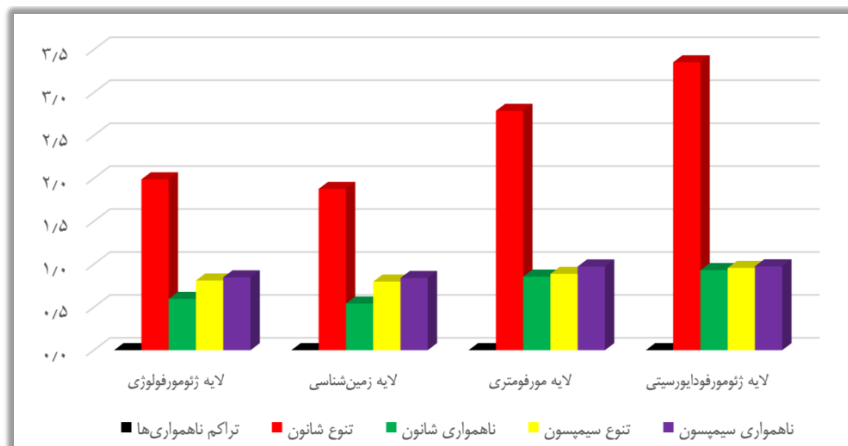
به منظور تأیید این فرضیه، شاخص‌های کمی در لایه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و مورفومتری در کل حوضه نسبت به یکدیگر مقایسه شده است. همچنین سه لایه اقلیم، مورفومتری و ژئومورفولوژی با یکدیگر ترکیب و به عنوان لایه ژئومورفودایورسیتی تولید شده است. جدول ۴ و نمودار ۳ نتایج محاسبات را نشان می‌دهد.

مطابق با محاسبات انجام شده، حوضه آبریز سدیچ با وجود مساحت کمتری نسبت به سایر حوضه‌های آبریز، بالاترین رتبه را از لحاظ شاخص‌های کمی دارد که از دلایل اصلی آن می‌توان به کوهستانی و خشن بودن سطح حوضه، کم بودن سطوح با شیب ملایم و تنوع ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی در واحد سطح اشاره کرد. لازم به ذکر است که در همه حوضه‌های آبریز در محدوده مورد مطالعه به دلیل وجود ویژگی‌های تقریباً یکسان از لحاظ زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی و ژئومورفولوژی، اعداد محاسباتی به یکدیگر نزدیک بوده و اختلاف چشم‌گیری در آن دیده نمی‌شود؛ اما آنچه

جدول ۴: شاخص‌های کمی محاسبه‌شده با استفاده از لایه‌های منفرد در کل حوضه

نام لایه	مساحت منطقه (کیلومتر مربع)	تراکم ناهمواری‌ها (PRD)	تنوع شانون (SHDI)	ناهمواری شانون (SHEI)	تنوع سیمپسون (SIDI)	ناهمواری سیمپسون (SIEI)
ژئومورفولوژی	۵۷۵۲۴	۰/۰۰۰۴	۱/۹۸۹۶	۰/۵۹۷۷	۰/۸۱۱۵	۰/۸۴۸۸
زمین‌شناسی	۵۷۵۲۴	۰/۰۰۰۳	۱/۸۷۸۳	۰/۵۴۳۷	۰/۷۹۹۲	۰/۸۴۱۳
مورفومتری	۵۷۵۲۴	۰/۰۰۰۴	۲/۷۸۷۸	۰/۸۵۷۱	۰/۸۸۹۱	۰/۹۷۵۳
ژئومورفودایورسیتی	۵۷۵۲۴	۰/۰۰۰۹	۳/۳۵۲۹	۰/۹۳۲۹	۰/۹۵۷۸	۰/۹۷۷۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



نمودار ۲: مقایسه شاخص‌های کمی با استفاده از لایه‌های منفرد در کل منطقه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

یکسانی دارد؛ اما وضعیت توپوگرافی و ژئومورفولوژیک از تنوع چشمگیر و بی‌نظیری بهره می‌برد. در این میان، حوضه آبریز سدیح بیشترین رتبه را در تراکم و حوضه آبریز جگین بیشترین رتبه را در تنوع و ناهمواری‌ها دارد (جدول ۵).

نتایج نشان می‌دهد سهم تنوع عوامل مورفومتری و ژئومورفولوژی (ژئومورفودایورسیتی) بیشتر از تنوع زمین‌شناسی (ژئودایورسیتی) و اقلیمی است؛ چراکه سازندهای زمین‌شناسی با توجه به وضعیت زمین‌شناختی زون مکران از تنوع زیادی برخوردار نبوده و اقلیم منطقه نیز به غیر از ارتفاعات شمالی، تقریباً ویژگی

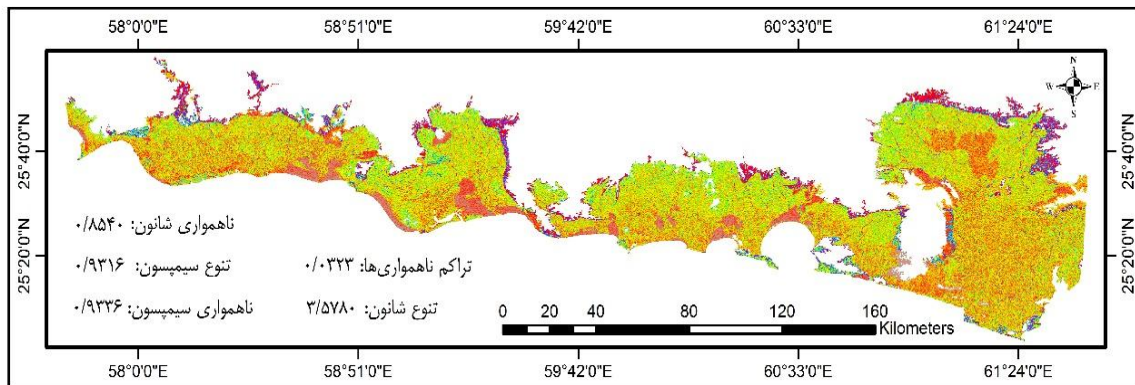
جدول ۵: شاخص‌های کمی محاسبه‌شده با استفاده از لایه ژئومورفودایورسیتی

حوضه‌های آبریز	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	تراکم ناهمواری‌ها (PRD)	تنوع شانون (SHDI)	ناهمواری شانون (SHEI)	تنوع سیمپسون (SIDI)	ناهمواری سیمپسون (SIEI)
جگین	۸۶۵۱/۵۶	۰/۰۰۵۸	۳/۳۱۰۲	۰/۸۴۸۶	۰/۹۵۶۲	۰/۹۷۶۶
گابریک	۶۲۵۵/۸۴	۰/۰۰۷۷	۳/۲۴۴۲	۰/۸۳۸۰	۰/۹۵۳۰	۰/۹۷۳۳
سدیح	۵۰۵۲/۸۵	۰/۰۰۹۳	۳/۱۴۳۹	۰/۸۱۶۶	۰/۹۴۴۵	۰/۹۶۵۰
رایج	۱۲۰۲۱/۹۶	۰/۰۰۳۸	۳/۱۲۹۰	۰/۸۱۷۳	۰/۹۴۴۱	۰/۹۶۵۱
نیکشهر	۷۱۹۶/۰۹	۰/۰۰۶۵	۳/۲۴۶۸	۰/۸۴۳۳	۰/۹۵۲۷	۰/۹۷۳۴
کهپیر- سرباز	۱۸۳۴۴/۸۵	۰/۰۰۲۶	۳/۲۶۷۴	۰/۸۴۶۲	۰/۹۵۵۸	۰/۹۷۵۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

از ارزش بالای این منطقه در راستای توسعه ژئومورفوتوریسم است (شکل ۸).

همچنین شاخص‌های کمی منطقه ساحلی دریای عمان که بهترین مکان از حیث تنوع ژئومورفولوژیک است، مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج حاصل



شکل ۹: استخراج جلگه ساحلی دریای عمان در منطقه و محاسبه شاخص‌های کمی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

جامع و مقایسه‌ای، ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی زون مکران با وسعت زیاد و دقت بالا انجام شده است.

نتیجه

در این تحقیق برای نخستین بار ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی منطقه ساحلی دریای عمان و قسمت اعظم زون مکران از دماغه جاسک تا خلیج گوادر مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ بنابراین به منظور تأیید یا رد فرضیه‌ای مبنی بر اهمیت و اولویت تنوع ژئومورفولوژیک نسبت به تنوع زمین‌شناختی، با استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و فنون کارتوگرافی دیجیتال، نقشه‌ها و لایه‌های مورد نیاز تهیه و تولید شده و سپس از طریق روش‌های کمی مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین تنوع زمین‌شناختی و ژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز اصلی منطقه مورد مطالعه برای اولویت در تنوع و تراکم شاخص‌های مختلف به منظور توسعه ژئوتوریسم نسبت به یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از لایه‌ها و اطلاعات با دقت بالا و فنون نوین در تهیه و تولید آن‌ها، نقش بسیار زیادی در دقیق بودن نتیجه و نقشه‌های نهایی دارد. مقایسه این نتایج با نتایج تحقیقات انجام شده توسط پژوهشگرانی همچون (Pellitero & Gonzalez, 2011: 163-174) گویای این گفته است؛ چراکه در تحقیق پلی‌ترو و گونزالس، از نقشه‌های با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۹۰ متر استفاده شده که دقت نتایج نهایی را کم کرده است؛ اما در تحقیق حاضر از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر و همچنین اضافه کردن لایه ژئومورفولوژی استفاده شده است. برای تهیه پارامترهای اقلیمی نیز از فنون زمین‌آمار استفاده شده و همه لایه‌ها نیز در ترکیب و پردازش به ۳۰ متر تبدیل شده است؛ بنابراین نتایج تحقیق پژوهشگرانی که در مقدمه تحقیق نام آن‌ها ذکر و نتایج آن‌ها تأیید شده است، تنها ارزیابی ژئودایورسیتی یا ژئومورفودایورسیتی در منطقه محدود با دقت متفاوت بوده است؛ اما در تحقیق حاضر به صورت

منابع

-انصاری فر، مجتبی؛ حسین روشن‌رأی؛ عبدالرضا روشن‌ضمیری؛ ادریس روشن‌ضمیری (۱۳۹۲). بررسی ژئودایورسیته منطقه سد تنگ سهران بشاگرد مکران (جنوب شرق ایران)، اولین همایش ملی مجازی علوم زمین، اسفند، زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، صفحات ۵-۱.

https://www.civilica.com/Paper-GEOCKU01-GEOCKU01_114.html

-حاجی‌حسینی، حمیدرضا؛ محمدرضا حاجی‌حسینی؛ علیرضا نجفی؛ سعید مرید؛ مجید دلاور (۱۳۹۳). ارزیابی تغییرات متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیک در بالادست حوضه هیرمند، طی سده گذشته با استفاده از داده‌های اقلیمی CRU و مدل SWAT، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۳، صفحات ۵۲-۳۸. http://iwrr.sinaweb.net/article_13462.html

-حسینی‌پاک، علی‌اصغر (۱۳۸۹). زمین‌آمار (ژئواستاتیک)، تهران، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۸ ص.

-حسینی موعاری، سیدمحمد؛ شهاب عراقی‌نژاد؛ کیومرث ابراهیمی (۱۳۹۶). بررسی دقت اطلاعات بارش شبکه‌بندی‌شده جهانی در حوضه دریاچه ارومیه، تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۸، شماره ۳، صفحات ۵۸۷-۵۹۸.

https://ijswr.ut.ac.ir/article_63429.html

-خسرویان، مریم؛ علیرضا انتظاری؛ ابوالفضل رحمانی؛ محمد باعقیده (۱۳۹۶). پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور، مجله هیدروژئومورفولوژی. دوره ۴، شماره ۱۳، صفحات ۹۹-۱۲۰.

https://journals.tabrizu.ac.ir/article_7125.html

-درویش‌زاده، علی (۱۳۸۹). زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم، تهران، شرکت چاپ و نشر بین‌الملل، ۴۳۶ ص.

نتایج جدول ۴ و نمودار ۳ نشان می‌دهد که تنوع ژئومورفولوژیک با تراکم ناهمواری ۰/۰۰۰۹، تنوع شانون ۳/۳۵۲۹، ناهمواری شانون ۰/۹۳۲۹، تنوع سیمپسون ۰/۹۵۷۸ و ناهمواری سیمپسون برابر با ۰/۹۷۷۴ نسبت به تنوع زمین‌شناختی، ارزش بیشتری داشته و بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده است. دلیل این امر، سازند زمین‌شناسی این منطقه است؛ چراکه به دلیل وضعیت ساختمانی و چینه‌شناختی مکران، تنوع قابل‌توجهی ندارد، اما از لحاظ ژئومورفولوژیک وضعیت متفاوت بوده و شاهد تنوع بسیار بالایی در عوارض خواهیم بود. به‌منظور بررسی نقش همه عوامل در جهت توسعه صنعت توریسم و اولویت‌بندی و شناسایی بهترین مناطق با پتانسیل بالا از لحاظ ژئودایورسیته و ژئومورفودایورسیته، شش حوضه آبریز اصلی منطقه ترسیم و نسبت به یکدیگر مقایسه شدند. نتایج جدول ۳ و نمودار ۲ نشان داد که حوضه آبریز سدیح با داشتن اندکی اختلاف نسبت به دیگر حوضه‌های آبریز، دارای بالاترین امتیاز در شاخص‌های کمی مورد نظر بوده و با تراکم ناهمواری ۰/۰۱۰۹، تنوع شانون ۳/۵۸۲۳، ناهمواری شانون ۰/۸۹۳۹، تنوع سیمپسون ۰/۹۶۸۴ و ناهمواری سیمپسون برابر با ۰/۹۸۶۳، بالاترین رتبه‌ها را به خود اختصاص داده است. همان‌گونه که اشاره شد، این تفاوت اندک بوده و نشان می‌دهد که همه منطقه به دلیل داشتن شرایط تقریباً یکسان، اختلاف قابل‌توجهی ندارد؛ اما عوارض ژئومورفولوژیک جلگه ساحلی منطقه مورد مطالعه، مطابق با ارزیابی شکل ۸، تنوع بیشتری داشته که نشان از پتانسیل بالای ژئومورفوتوریسم در این منطقه است که توسعه آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

- زارع، مهدی (۱۳۸۸). مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه، تهران، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. ۱۴۲ ص.
- زنگنه اسدی، محمدعلی؛ ابوالقاسم امیراحمدی؛ علی‌اکبر شایان‌یگانه (۱۳۹۴). ارزیابی ژئومورفوسایت‌ها در ایران به‌منظور حفاظت و نیل به توسعه پایدار آن، دومین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری، تبریز، صفحات ۱۴-۱.
- https://www.civilica.com/Paper-ICSDA02-ICSDA02_628.html
- سیستانی‌بدوئی، مسعود (۱۳۹۳). بررسی وضعیت هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز گابریک و تأثیر آن بر خطر سیل‌خیزی منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (مخاطرات طبیعی)، استاد راهنما دکتر حسین نگارش. دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۱۰۱ ص.
- <http://diglib.usb.ac.ir/diglib/WebUI/TreeBrowse.aspx?lang=fa&TreeId=0>
- سیستانی‌بدوئی، مسعود؛ حسین نگارش؛ صمد فتوحی (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز گابریک، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۲۲. صفحات ۱۸۲-۱۶۳.
- <https://jm.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/59833>
- سیستانی‌بدوئی، مسعود؛ حسین نگارش؛ صمد فتوحی (۱۳۹۳). گرانولومتری رسوبات تراس‌های آبرفتی رودخانه گابریک و تحلیل رابطه سازندهای زمین‌شناسی با سیل‌خیزی حوضه، مجموعه چکیده مقالات سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین. تهران. صفحات ۸-۱.
- <http://33ngs.conference.gsi.ir/>
- علایی طالقانی، محمود (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی ایران، تهران. نشر قومس. ۳۶۰ ص.
- گلی‌مختاری، لیلا؛ سعید نگهبان؛ نجمه شفیعی (۱۳۹۷). تحلیل مقایسه‌ای ژئودایورسیتی (تنوع زمین‌شناختی) در حوضه‌های شمال‌غربی استان فارس، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۷. شماره ۳. صفحات ۱۶۳-۱۵۱.
- http://www.geomorphologyjournal.ir/article_83474.html
- محمدی، مهین؛ علی‌درویش‌زاده (۱۳۸۶). زمین‌شناسی ایران (جغرافیا)، تهران. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۰۸ ص.
- مریدی‌فریمانی، علی‌اصغر (۱۳۷۸). بررسی آشفستگی‌های راستای تنش‌های محلی در زون مکران، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، صفحات ۶۱۲-۶۱۰.
- https://www.civilica.com/Paper-SGSI03-SGSI03_136.html
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۹۰). آب‌وهوای ایران، مشهد، انتشارات شریعه توس. ۲۸۸ ص.
- مقصودی، مهران؛ ابراهیم مقیمی؛ مجتبی یمانی؛ یاسر رضایی؛ انور مرادی (۱۳۹۸). بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن براساس شاخص GmI، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۸. شماره ۱. صفحات ۶۲-۵۹.
- http://www.geomorphologyjournal.ir/article_91725.html
- معتمد، احمد؛ محمدرضا غریب‌رضا (۱۳۸۷). تکامل مکران ساحلی طی کواترنر پسین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۰. شماره ۰. صفحات ۸۷-۷۷.
- https://jphgr.ut.ac.ir/article_26907.html
- مهندسین مشاور جامع ایران (۱۳۸۸). مطالعات توجیهی آبخیزداری حوضه آبریز گابریک. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، بندرعباس. استان هرمزگان.

- میرعلیزاده‌فر، سیدرضا؛ شهروز منصوری (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص‌های سنجش‌ازدور در مطالعات کمی و کیفی آب‌های سطحی با تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مطالعه موردی: جنوب استان خوزستان)، نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۱۰. شماره ۲. صفحات ۸۴-۶۳.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_666799.html
- میری، مرتضی؛ قاسم عزیزی؛ فرامرز خوش‌اخلاق؛ مجتبی رحیمی (۱۳۹۵). ارزیابی آماری داده‌های شبکه‌ای بارش و دما با داده‌های مشاهده‌ای در ایران، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دوره ۱۰. شماره ۳۵. صفحات ۵۰-۳۹.
<http://jwmsei.ir/article-1-587-fa.html>
- نادر صفت، محمدحسین (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی مناطق شهری، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور. ۲۳۹ ص.
- نگارش حسین (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی ساحلی خورتنگ (Tang) و ویژگی‌های آن، مجله جغرافیا و توسعه. دوره ۴. شماره ۷. صفحات ۸۸-۶۹.
http://gdij.usb.ac.ir/article_3800.html
- نگارش، حسین (۱۳۷۴). بررسی تحول ژئومورفولوژیک بخشی از ناحیه ساحلی دریای عمان از زمین تا کلات، مجله آموزش رشد جغرافیا. شماره ۳۹. صفحات ۱۵-۵.
<http://noo.rs/AaXp4>
- نگارش، حسین (۱۳۸۳). ویژگی‌های ژئومورفولوژیک سواحل بالآمده جنوب شرق ایران، فصلنامه جغرافیایی سرزمین. شماره ۱. صفحات ۱۰۱-۹۰.
http://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_6068.html
- نگارش، حسین (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی ساحلی خلیج گوآتر، نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک. سال دوم. شماره ۱. صفحات ۱۰-۱.
<http://geo-tech.iauzah.ac.ir/fa/archive.php?lrid=87&rid=14>
- نگارش، حسین (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک، مشهد. انتشارات مرنديز. ۲۳۷ ص.
- یزدی، عبدالله؛ رحیم دبیری (۱۳۹۴). درآمدی بر ژئودایورسیته به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه ژئوتوریسم، دوفصلنامه علمی- ترویجی یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. دوره ۹. شماره ۱۸. صفحات ۸۲-۷۴.
https://nfag.basu.ac.ir/article_1392.html
- یزدی، عبدالله؛ محمد فودازی؛ الهام شاه‌حسینی (۱۳۹۳). گوناگونی زمین‌شناختی، ژئوکانزرویشن و اصول مدیریت در کاربری ژئوسایت‌ها، اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار. مؤسسه ایرانیان. تهران. صفحات ۸-۱.
https://www.civilica.com/Paper-NCGTSD01-NCGTSD01_227.html
- یمانی، مجتبی (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی ساحلی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ۵۶۲ صفحه.
- Avramidis, P., Iliopoulos, G., Nikolaou, K., Kontopoulos, N (2017). Holocene sedimentology and coastal geomorphology of Zakynthos Island, Ionian Sea: A history of a divided Mediterranean island, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol 487, 340-354.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018217305278>
- Benito, A. (2004). Análisis geomorfológico y reconstrucción de paleopaisajes neógenos y cuaternarios en la Sierra de Atapuerca y el valle medio del río Arlanzón. PhD Tesis, Universidad Complutense, Madrid, Spain, 381.
<https://eprints.ucm.es/5282/>
- Benito-Calvo, A., Perez-Gonzalez, A., Magri, O., Meza, P(2009). Assessing regional Geodiversity: the Iberian Peninsula. Earth Surface Processes and Landforms. Vol 34, 1433-1445.
https://www.researchgate.net/publication/227733902_Assessing_regional_geodiversity_The_Iberian_Peninsula
- Bruschi VM (2007). Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad, PhD Thesis, Universidad de Cantabria, Santander. 355.
<https://www.thesisred.net/handle/10803/10611.jsessionid=9A70BEA29A545634E792C52FCC2EDC82>

- Gray, M., Gordon, G.E., Brown, E.J. (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists Association*. Vol 124, 659-673.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016787813000047>
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Wiley, Londres. p 433.
- Harris, I., Jones, Philip, Osborn, Timothy and Lister, David (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, Vol 34, 623-642.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3711>
- Illés, G., Kovács, G., Heil, B. (2011). Comparing and evaluating digital soil mapping methods in a Hungarian forest reserve. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol 91, 615-626.
<https://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.4141/cjss2010-007>
- Kaskela, A.M., Rousi, H., Ronkainen, M., Orlova, M., Babin, A., Gogoberidze, G., Kostamo, K., Kotilainen, A.T., Neevin, I., Ryabchuk, D., Sergeev, A., Zhamoida, V. (2017). Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems, *Continental Shelf Research*, Vol 142, 1-13.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278434316300188>
- Koh, Y. K., Oh, K.H., Youn, S.T., Kim, H.G. (2014). Geodiversity and geotourism utilization of islands: Gwanmae Island of South Korea, *Marine and Island Cultures*. Vol 3, 106-112.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212682114000183>
- Kozłowski S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny* Vol 52, 833-837.
https://www.researchgate.net/publication/259011668_Geodiversity_The_concept_and_scope_of_geodiversity
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Meirvenne, M.V., Verniers, J., Crombé, P. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, Vol 186, 39-49.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X12005739>
- Deumlich, D., Schmidt, R., Sommer, M. (2010). A multiscale soil-landform relationship in the glacial-drift area based on digital terrain analysis and soil attributes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol 173, 843-851.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200900094>
- Farhoudi, G., Karig, D.F. (1977). Makran of Iran and Pakistan as an Active Arc System, *Geology*, Vol 5, 664-668.
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/5/11/664/198712>
- Francés, A.P., Lubczynski, M.W (2011). Topsoil thickness prediction at the catchment scale by integration of invasive sampling, surface geophysics, remote sensing and statistical modeling. *Journal of Hydrology*, Vol. 405, 31-47.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411003052>
- Gabaldón, V., Álvaro, M., Apalategui, O., Baena, J., Balcells, R., Barnolas, A., Barrera, J., Cueto. (1994). *Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1 000 000*. CARTOGRAFIA.IGME: Madrid.
[http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_\(2015\)&language=es](http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_(2015)&language=es)
- Gary L. R. (2002). Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS: a spatial statistics program, *Computers & Geosciences*, Vol 28, 168-179.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300401000309>
- Gray, M. (2008). Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm, *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 300. 31-36.
<https://sp.lyellcollection.org/content/300/1/31>

- Mitchell. T.D., Jones.P.D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, Vol 25, 693-712.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1181>
- Mora-Vallejo, A., Claessens, L., Stoorvogel, J., Heuvelink, G.B.M. (2008). Small scale digital soil mapping in southeastern Kenya. *Catena*, Vol 76, 44-53.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816208001355>
- Nieto LM. (2001). Geodiversity: proposal of an integrative definition. *Boletín Geológico y Minero*, Vol 112, 3-12.
https://www.researchgate.net/publication/259011659_Geodiversity_Proposal_of_an_integrative_definition
- Panizza M., Piacente S. (2003). *Geomorfologia Culturale*, Bologna: Pitagora, 350.
- Pellitero, R., Gonzalez-Amuchastegui, M. J. (2011). Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain), *Geoheritage*, Vol 3, 163-174.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-010-0022-9>
- Stallins, JA. (2006). Geomorphology and ecology: unifying themes for complex systems in biogeomorphology, *Geomorphology*, Vol 77, 207-216.
<https://www.researchgate.net/publication/222402044>
- Tagil.S., Jenness.J. (2008). GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey, *Journal of Applied Sciences*, Vol 8, 910-921.
<https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2008.910.921>
- Lesschen, J. P., Kok, K., Verburg, P. H., Cammeraat, L.H. (2007). Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in southeast Spain. *Catena*, Vol 71, 110-121.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816206002050>
- Liu, H., Bu, R., Liu, J., Leng, W., Hu, Y., Yang, L., Liu, H. (2011). Predicting the wetland distributions under climate warming in the Great Xing'an Mountains, northeastern China. *Ecological Research*, Vol 26, 605-613.
<https://esj-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1007/s11284-011-0819-2>
- Liu, M., Hu, Y., Chang, Y., He, X., Zhang, W. (2009). Land Use and Land Cover Change Analysis and Prediction in the Upper Reaches of the Minjiang River, China. *Environmental management*, Vol 43, 899-907.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-008-9263-7>
- Manosso, F.C., Nobrega, M.T. (2015). Calculation of Geodiversity from Landscape Units of the Cadeado Range Region in Parana, Brazil. *Geoheritage*, September 2016, Vol 8, 189-199.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-015-0152-1>
- Martinez, C., Contreras-Lopez, M., Winckler, P., Hidalgo, H., Godoy, E., Agredano, R. (2017). Coastal erosion in central Chile: A new hazard? , *Ocean & Coastal Management* Vol 156, 141-155.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569117301564>
- Mavromatidi, A., Briche, E., Claeys, C. (2018). Mapping and analyzing socio-environmental vulnerability to coastal hazards induced by climate change: An application to coastal Mediterranean cities in France. *Cities*, Vol 72, 189-200.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275116307272>
- McGarigal, K., Tagil, S., Cushman, S. (2009). Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, Vol 24, 433-450.
<https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/34075>