

Optimal Routing of Road Network with Emphasis on Natural Environment Parameters According to the Least Cost Pathway Algorithm and GIS

(Case Study: Delijan-Aligudarz)

Arefeh Alimohammadi¹, Alireza Ildoromi²*, Mir Mehrdad Mirsanjari³, Sahar Abedian⁴

1- MSc, Department of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran

2- Associate professor, Department of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran

(*Corresponding Author Email: ildoromi@gmail.com)

3- Assistant Professor, Department of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran

4- Instructor, Department of Natural Resources and Environmental Sciences, Payame Noor University, Kerman, Iran

Introduction

Road construction is one of the most important needs of different countries. To achieve development, it is necessary to use transportation methods to transport goods and services in less time and more safety. As a result, the development and creation of new roads seem inevitable, and their construction is part of infrastructure projects that have many social, economic, political, and environmental consequences. In addition, it should be noted that the selection of unsuitable routes for construction can have potentially negative consequences for the environment of a region. These negative consequences include habitat destruction, fragmentation of wildlife populations, road accidents, floods, soil erosion, landscape degradation, and increased public access to untapped natural resources, etc. Therefore, the optimal and sustainable use of the environment in road development projects is one of the most important and fundamental stages of sustainable development in optimal routing and reducing the negative effects of the environment. The Delijan-Aligudarz route is one of the important transit roads. This road passes by the Moteh Wildlife Sanctuary, which has caused serious damages to this wildlife habitat. Therefore, environmental characteristics should be considered in the routing process to reduce damages to natural resources and achieve sustainable development goals. The purpose of this study is to choose the least costly route from an environmental and economic point of view. To achieve this goal, optimal routing and GIS have been used in this study.

Methodology

In this study, 3 groups of criteria including ecological, technical-safety, and economic-social criteria and 12 sub-criteria for optimal routing were developed. Criteria include slope, altitude, land use, geology, erosion, landslide, distance from the fault, distance from protected areas, distance from

groundwater level, distance from the river, and urban and rural centers. Then the effective criteria in the GIS were digitized. Because each benchmark map has different measurement ranges and scales, the standardization process was used to standardize the measurement scales and convert them into comparable units. Criteria and constraint maps were standardized based on Fuzzy and Boolean logic, respectively. In the next stage, the AHP and WLC methods were used for weighting and integrating the criteria, respectively, and a multi-criteria evaluation map is obtained. According to this map, a friction layer was created in the GIS environment. A friction map is a raster format map in which each cell has a value that can be considered as a relative or absolute barrier to path passage. In the next step, a cumulative cost map was prepared. The cost level map shows the cost of passing from one cell to another in different directions cumulatively. Finally, the path was designed using the Least Cost Pathway Algorithm and the destination point in ArcGIS software.

Discussion

The designed and the current path were compared in terms of environmental parameters to select the path that causes less damage to the environment as the optimal path. Choosing the optimal route is a type of Multi-Criteria Decision Making. The weight of the AHP method showed that slope, distance from protected areas, and landslide sensitivity have gained the most weight, and are of the highest importance in optimal routing according to experts. The results showed that the privacy of effective environmental criteria in road construction has been observed in the designed route so that the designed route has not passed the Mooteh Wildlife Sanctuary and is more than four kilometers away, while 8.6% of the current route is located less than one kilometer from this wildlife refuge. Also, 16, 25 and 2.8% of the current route has passed through the urban, rural, and fault areas, while these environmental criteria are regarded in the designed path.

Conclusion

The results show that the designed route is much better in terms of environmental criteria than the current route. As a result, it is suggested that in road construction projects, first of all, the influential factors be identified and a suitable path in terms of the environment be designed by observing the laws and principles of the environment and using GIS.

Keywords: Least Cost Pathway Algorithm, Multi-Criteria Evaluation, GIS, Routing.

References:

- Ascensão, F., Mata, C., Malo, J. E., Ruiz-Capillas, P., Silva, C., Silva, A. P., ... & Fernandes, C. (2016). Disentangle the Causes of the Road Barrier Effect in Small Mammals Through Genetic Patterns. *PLoS One*, 11(3), e0151500.
- Bagli, S., Geneletti, D., & Orsi, F. (2011). Routeing of Power Lines through Least-Cost Path Analysis and Multicriteria Evaluation to Minimise Environmental Impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(3), 234-239.

- Chandio, I. A., Matori, A. N. B., WanYusof, K. B., Talpur, M. A. H., Khahro, S. H., & Mokhtar, M. R. M. (2012). Computer Application in Routing of Road Using Least-Cost Path Analysis in Hillside Development. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(10), 907-911.
- Chen, H. L., & Koprowski, J. L. (2016). Barrier Effects of Roads on an Endangered Forest Obligate: Influences of Traffic, Road Edges, and Gaps. *Journal of Biological Conservation*, 199, 33-40.
- Collinson, W. J., Parker, D. M., Bernard, R. T., Reilly, B. K., & Davies- Mostert, H. T. (2014). Wildlife Road Traffic Accidents: A Standardized Protocol for Counting Flattened Fauna. *Ecology and Evolution*, 4(15), 3060-3071.
- Collischon, W., & Pillar, J. V. (2000). A Direction Dependent Least Cost Path Algorithm for Roads and Canals. *International Journal of Geographic Information System*, 14(4), 491-508.
- Eastman, J. R. (2006). *Idrisi Andes Guide to GIS and Image Processing*. USA: Clark University.
- Effat, H. A., & Hassan, O. A. (2013). Designing and Evaluation of Three Alternatives Highway Routes Using the Analytical Hierarchy Process and the Least-Cost Path Analysis, Application in Sinai Peninsula, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2), 141-151.
- Enache, A., Stampfer, K., Ciobanu, V., Branzea, O., & Duta, C. (2011). Forest Road Network Planning with State of the Art Tools in a Private Forest District from Lower Austria. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II*, 4(2): 33-40.
- Guarini, M. R., Battisti, F., & Chiovitti, A. (2018). A Methodology for the Selection of Multi-Criteria Decision Analysis Methods in Real Estate and Land Management Processes. *Sustainability*, 10(2), 507-519.
- Gyabeng, B. A. (2020). Selection of Optimum Petroleum Pipeline Routes Using a Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Least-Cost Path Approach. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10(6), 572-579.
- Laurance, W. F., Sayer, J., & Cassman, K. G. (2014). Agricultural Expansion and Its Impacts on Tropical Nature. *Journal of Trends in Ecology and Evolution*, 29(2), 107-116.
- Laurance, W. F., Sloan, S., Weng, L., & Sayer, J. A. (2015). Estimating the Environmental Costs of Africa's Massive "Development Corridors". *Journal of Current Biology*, 25(24), 3202-3208.
- Ngunyi, J., Mundia, C., & Gachari, M. (2017). Analysis of Standard Gauge Railway Using GIS and Remote Sensing. *American Journal of Geographic Information System*, 6(2), 54-63.
- Rinner, C., & Malczewski, J. (2002). Web-Enabled Spatial Decision Analysis Using Ordered Weighted Averaging. *Journal of Geographical System*, 4(4), 385-403.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Mcgraw.
- Sari, F., & Şen, M. (2017). Least Cost Path Algorithm Design for Highway Route Selection. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 1-8.
- Son, S. W., Kil, S. H., Yun, Y. J., Yoon, J. H., Jeon, H. J., Son, Y. H., & Kim, M. S. (2016). Analysis of Influential Factors of Roadkill Occurrence-A Case Study of Seorak National Park. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 44(3), 1-12.

- Suleiman, S., Agarwal, V., Lal, D., & Sunusi, A. D. (2015). Optimal Route Location by Least Cost Path (LCP) Analysis Using (GIS) a Case Study. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 4, 9621-9626.
- Tomlin, D. (1999). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Vanthomme, H., Kolowski, J., Korte, L., & Alonso, A. (2013). Distribution of a Community of Mammals in Relation to Roads and Other Human Disturbances in Gabon, Central Africa. *Journal of Conservation Biology*, 27(2), 281-291.
- Ware, H. E., McClure, C. J., Carlisle, J. D., & Barber, J. R. (2015). A Phantom Road Experiment Reveals Traffic Noise Is an Invisible Source of Habitat Degradation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(39), 12105-12109.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۲۲-۱

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۱

مسیریابی بهینه شبکه جاده‌ای با تأکید بر پارامترهای محیط طبیعی و بهره‌گیری از الگوریتم کم‌هزینه‌ترین مسیر و سامانه اطلاعات جغرافیایی نمونه پژوهش: دلیجان - الیگودرز

عارفه علی‌محمدی، کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

alimohammadiar890@gmail.com

علیرضا ایلدرمی *، دانشیار دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

ildoromi@gmail.com

میرمهرداد میرسنجری، استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

mehrdadmirsanjari@yahoo.com

سحر عابدیان، دکترای تخصصی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه پیام‌نور، کرمان، ایران

sahar.abedian1985@gmail.com

چکیده

در پروژه‌های راه‌سازی به‌منظور کاهش آثار منفی محیط‌زیستی و توسعه اقتصادی اجتماعی در فرایند مسیریابی باید پارامترهای محیط‌زیستی لحاظ شود؛ در همین زمینه پارامترهای تأثیرگذار در تعیین مسیر بهینه استخراج شدند؛ شامل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فرسایش، زمین‌لغزش، فاصله از گسل، فاصله از مناطق حفاظت‌شده، فاصله از سطح آب‌های زیرزمینی، فاصله از رودخانه و مراکز شهری و روستایی؛ سپس از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی و از روش ترکیب خطی وزن‌دار شده برای ادغام معیارها استفاده شد؛ در نهایت با استفاده از الگوریتم کم‌هزینه‌ترین مسیر برای تعیین مسیر بهینه اقدام شد. نتیجه مقایسه مسیر طراحی شده و مسیر فعلی نشان می‌دهد در مسیر طراحی شده، حریم تمامی معیارهای مؤثر محیط‌زیستی در راه‌سازی رعایت شده است؛ به طوری که مسیر طراحی شده به هیچ‌وجه از پناهگاه حیات وحش موزه عبور نکرده است و در فاصله بیش از چهار کیلومتری آن قرار دارد؛ در حالی که ۸/۶ درصد از مسیر فعلی در فاصله کمتر از یک کیلومتری از این منطقه حفاظتی قرار گرفته است؛ همچنین ۱۶، ۲۵ و ۲/۸ درصد از طول مسیر فعلی از حریم‌های محیط‌زیستی شهر، روستا و گسل عبور کرده است؛ در حالی که مسیر طراحی شده، حریم محیط‌زیستی این معیارها را رعایت کرده است. نتایج نشان می‌دهد مسیر طراحی شده از لحاظ محیط‌زیستی به مراتب بهتر از مسیر اصلی است. در نتیجه پیشنهاد می‌شود در پروژه‌های راه‌سازی، نخست عوامل تأثیرگذار شناسایی و سپس با رعایت قوانین و اصول محیط‌زیست و با استفاده از GIS، مسیر مناسب از نظر محیط‌زیستی طراحی شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم کم‌هزینه‌ترین مسیر، ارزیابی چندمعیاره، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مسیریابی

*نویسنده مسئول

Copyright©2021, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/GEP.2021.126758.1389](https://doi.org/10.22108/GEP.2021.126758.1389)

مقدمه

راهها به‌مثابه پیش‌نیاز و زیربنای توسعه، نقشی اساسی و بنیادی در باروری امکانات و استعدادهای بالقوه جوامع دارد و موجب برقراری و تقویت هرچه سریع‌تر و گسترده‌تر در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشورها می‌شود (بیات و ابوالحسنی، ۱۳۹۵: ۱)؛ البته در کنار این مزایای اقتصادی و اجتماعی، باید به این نکته نیز توجه داشت که انتخاب مسیرهای نامناسب برای احداث راهها ممکن است پیامدهای منفی بالقوه ای برای محیط‌زیست منطقه داشته باشد. این پیامدهای منفی شامل تخریب زیستگاه (Ware et al., 2015: 12105; Laurance et al., 2015: 3205)، تکه‌تکه‌شدن جمعیت حیات وحش و از بین رفتن پویایی آنها (Ascensão et al., 2016: 12; Chen and Koprowski, 2016: 33)، سوانح جاده‌ای (Collinson et al., 2014: 3060; Son et al., 2016: 6)، تأثیرات ثانویه با افزایش دسترسی مردم به منابع طبیعی بکر (Vanthomme et al., 2013: 281; Laurance et al., 2014: 107) و نظایر آن است. در این رابطه بسیار مهم است که تمام مراحل طراحی و ساخت شبکه‌های جاده‌ای به روشی انجام شوند که با ارزش‌های محیط‌زیستی و مدیریت پایدار سازگار باشد (Enache et al., 2011: 33).

از دیدگاه محیط‌زیستی، بهترین مکان استقرار برای یک نوع کاربری، مکانی است که از آن کاربری کمترین بار و فشار به محیط وارد و خود کاربری نیز کمترین آسیب یا فشار را از جانب تغییرات محیط‌زیستی ناشی از استقرار خود در مکان مزبور متحمل شود (بهرام سلطانی، ۱۳۸۷: ۷۹). در این زمینه، در طراحی جاده لازم است با استفاده از روش مسیریابی به شیوه خودکار در تلفیق با تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS، علاوه بر توجه به مسائل فنی و اقتصادی به مسائل محیط‌زیستی نیز توجه شود تا آثار منفی محیط‌زیستی ناشی از ساخت جاده به کمترین حد برسد (Chandio et al., 2012; Gyabeng, 2020).

ارزیابی چندمعیاره، یک روش عمومی برای ارزیابی و جمع‌بندی بسیاری از معیارها به‌منظور یافتن یک راه‌حل بهینه است (Rinner and Malczewski, 2002; Guarini et al., 2018). در این زمینه در بیشتر پژوهش‌ها به استفاده از روش مسیریابی به شیوه خودکار در تلفیق با تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور کاهش آسیب‌رسانی به منابع محیط‌زیستی توجه شده است؛ از جمله:

انگانی و همکاران^۱ (2017) در پژوهشی به‌منظور مسیریابی بهینه از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در تلفیق با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد مسیر بهینه از نظر محیط‌زیستی ۹۰ کیلومتر طولانی‌تر از مسیر مهندسی است. آنها دریافتند این لزوماً به معنی هزینه‌های بیشتر نیست؛ زیرا مزایایی که به حفظ محیط‌زیست می‌انجامد، ممکن است جایگزین پیشرفت‌هایی شود که در مسیر مهندسی کوتاه‌تر است.

باگلی و همکاران^۲ (2011) برای مسیریابی خطوط انتقال نیرو از معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد با در نظر گرفتن معیارهای محیط‌زیست و استفاده از مدل‌های ارزیابی محیط‌زیست، مسیر بهینه به‌لحاظ طول مسیر و میزان هزینه ساخت بهتر از مسیر خطوط انتقال نیروی فعلی است.

1. Ngunyi et al.

2. Bagli et al.

سلمان‌ماهینی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی سیزده معیار اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی مؤثر در تعیین مسیر را از نقشه‌های پایه استخراج و برای تولید نقشه هزینه ارزش‌گذاری و ترکیب کردند. نتایج آنها نشان داد در صورت استفاده نکردن از روش‌های ارزیابی چندمعیاره و الگوریتم مسیریابی، مسیر مدنظر از مناطق ممنوعه می‌گذرد که این مسئله به افزایش هزینه‌های محیط‌زیستی و اقتصادی ناشی از استقرار ناموزون آن می‌انجامد.

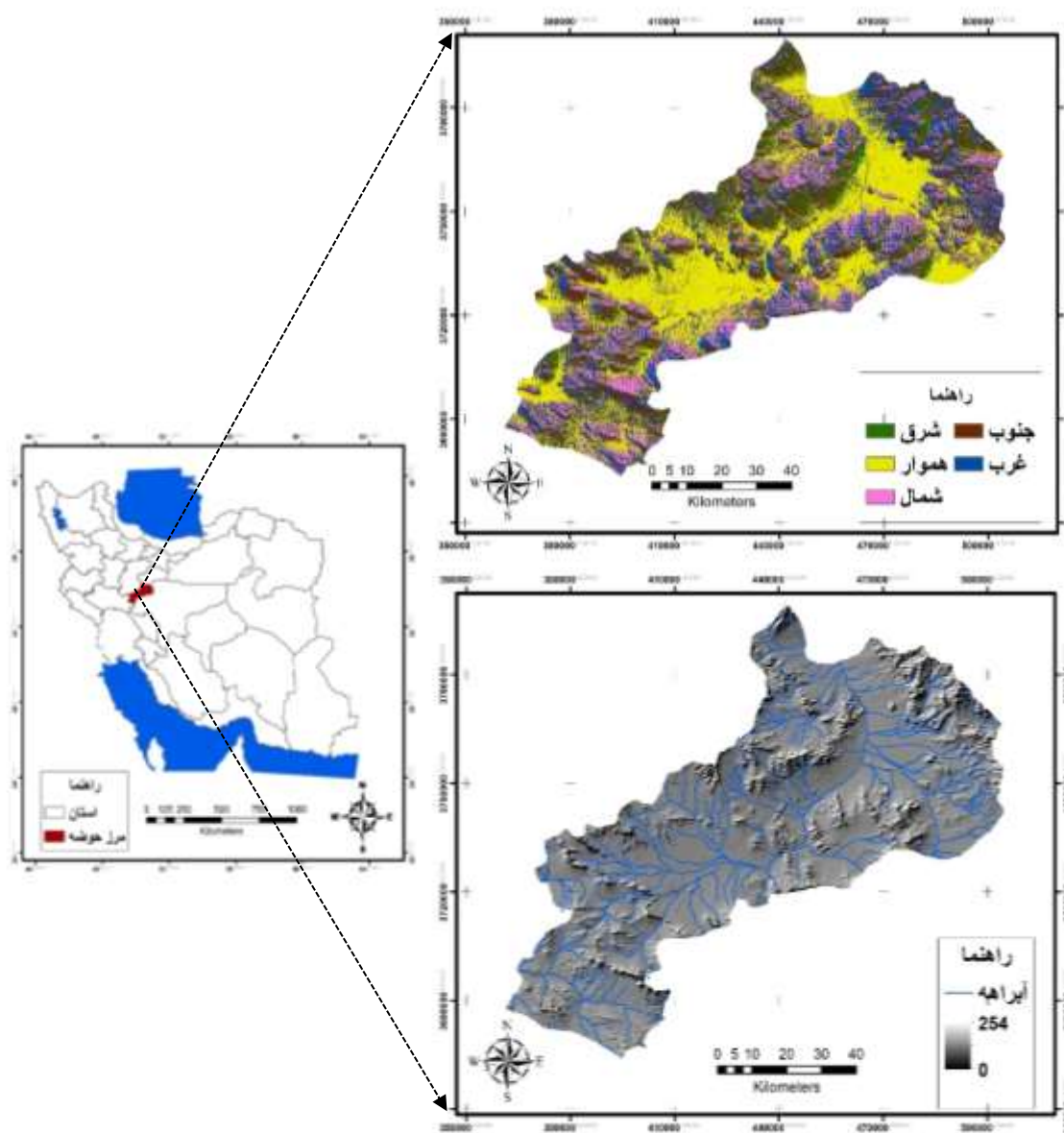
ابراهیمی‌پور و همکاران (۱۳۸۴) پانزده پارامتر را در تعیین مسیر خطوط لوله انتقال آب انتخاب و در نهایت مسیر احداث شده را با مسیر تعیین شده با الگوریتم کمترین هزینه و الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند. نتیجه نشان می‌دهد دو مسیر بر هم منطبق هستند و مقایسه هزینه این مسیر با در نظر گرفتن پارامترهای محیط‌زیستی با مسیر احداث شده، حدود ۲۰ درصد کاهش هزینه را نشان می‌دهد.

ستوده و همکاران (۱۳۸۶) به منظور تلفیق مشخصه‌های تأثیرگذار در مسیریابی جاده پارچین از روش ارزیابی چندمعیاره و روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد استفاده از این روش‌ها برای مسیریابی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. با این روش‌ها می‌توان با بهره‌گیری از عوامل تأثیرگذار و استفاده از GIS براساس شرایط خاص منطقه، مسیر مناسب برای احداث راهها را ضمن رعایت اصول محیط‌زیست با کمترین هزینه تعیین کرد.

از آنجایی که راهها به مثابه یکی از ساختارهای زیربنایی در توسعه اقتصاد ملی، در مرحله ساخت و بهره‌برداری آثار محیط‌زیستی زیادی بر اکوسیستم‌ها دارند، به منظور کاهش این آثار باید ملاحظات محیط‌زیستی در همه مراحل مسیریابی، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از طرح‌های عمرانی در نظر گرفته شود. محدوده مطالعه شده یعنی مسیر دلیجان-الیگودرز، یکی از همین راههای ترانزیتی است که در تردد جمعیت زیاد بین شهرهای همجوار نقش دارد؛ این در حالی است که این جاده از کنار پناهگاه حیات وحش موته می‌گذرد. این مسئله باعث شده است آسیب‌های جدی به این زیستگاه حیات وحش وارد شود؛ تصادفات جاده‌ای حیات وحش جانوری به ویژه گونه‌های آهو و کفتار راه‌راه در این پناهگاه، افزایش احتمال شکار و همچنین آثار ناشی از تقطیع زیستگاه بر فعالیت‌های روزمره و کوچ حیوانات از پیامدهای منفی احداث این جاده است که در مطالعات موسوی و همکاران (۱۳۹۷)، ستایش و جهان‌دیده (۱۳۹۶) و گزارش‌های خبرگزاری‌های رسمی ارائه شده است؛ به همین منظور برای کاهش آسیب‌رسانی به منابع طبیعی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار، باید مشخصه‌های محیط‌زیستی در فرایند مسیریابی دخالت داده شوند.

محدوده پژوهش

محدوده پژوهش، مسیر دلیجان-الیگودرز است که در موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). بخش عمده محدوده، کوهستانی و پایین‌ترین و بالاترین نقطه ارتفاعی آن، ۱۳۱۳ و ۳۴۵۶ متر است. طول مسیر انتخابی، ۱۳۹ کیلومتر است. مسیر دلیجان-الیگودرز از کنار پناهگاه حیات وحش موته می‌گذرد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده پژوهش

Figure 1. Geographical location of the study area

روش شناسی پژوهش

متغیرها و شاخص‌های پژوهش

در این پژوهش نخست با مرور منابع خارجی (Bagli et al., 2011; Ngunyi et al., 2017; Effat and Hassan, 2013) و داخلی (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ستوده و همکاران، ۱۳۸۶؛ ابراهیمی‌پور و همکاران، ۱۳۸۴)، نظر افراد خبره و قوانین و شیوه‌نامه‌های محیط‌زیستی، معیارهای محیط‌زیستی تأثیرگذار در مسیریابی شبکه جاده‌ای در سه گروه شامل اکولوژیکی، اجتماعی اقتصادی و فنی‌ایمنی در جدول ۱ تدوین شد. با تعیین مجموعه‌ای از معیارها، نیاز

است هر معیار به صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده‌های مبتنی بر GIS نشان داده شود. لایه‌های شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه با اندازه سلول ۳۰ متری استخراج شدند. نقشه زمین‌شناسی و گسل از نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد. نقشه رودخانه‌ها، راههای ارتباطی، راه‌آهن و نقاط شهری و روستایی از روی نقشه توپوگرافی تهیه شد. نقشه‌های تیپ اراضی، پوشش گیاهی و حساسیت به فرسایش نیز از اداره منابع طبیعی شهرستان اراک تهیه شد.

جدول ۱. معیارهای استفاده‌شده در مسیریابی، نویسندگان، ۱۳۹۸

Table 1. The criterion used in road routing (Authors, 2019)

گروه	زیرگروه	معیار	اطلاعات مورد نیاز	دلیل اهمیت معیار
اکولوژیکی	شکل زمین	ارتفاع	ارتفاع از سطح دریا	کاهش آثار زیانبار محیط‌زیستی، کاهش حجم خاک‌برداری
		شیب	درصد شیب زمین	کاهش فرسایش، خطر کم وقوع زمین‌لغزش، حفظ و پایداری خاک
	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	انواع واحدهای سنگی	کاهش تخریب سطح زمین، کاهش رسوب و...
		فرسایش	طبقه‌بندی فرسایش خاک	تخریب چشم‌انداز طبیعی، تشدید میزان از دست رفتن خاک و...
	محدوده آبی	رودخانه	رودخانه‌های اصلی و فرعی	کاهش افت کیفیت آب، کاهش فرسایش و رسوبات
		سطح آب‌های زیرزمینی	سطح آب چاهها	کاهش نفوذ مواد زائد نفتی، کاهش آلودگی آب زیرزمینی
محدوده محیط‌زیست	مناطق حفاظت‌شده	محدوده مناطق حفاظتی	حفاظت از محیط‌زیست طبیعی	
اجتماعی و اقتصادی	کاربری زمین	کاربری اراضی	اراضی کشاورزی، جنگل، زمین بایر و مراتع	حفظ منابع طبیعی و کاهش هزینه‌ها
	محدوده جمعیتی	مناطق شهری و روستایی	اطلاعات توصیفی از شهرها، روستاها و مناطق مسکونی	حفظ امنیت، کاهش آلودگی صوتی و هوا و...
فنی و ایمنی	گسل	گسل	خطوط گسل	کاهش خطر زمین‌لغزش، کاهش هزینه ساخت و نگهداری
	زمین‌لغزش	زمین‌لغزش	پهنه‌بندی زمین‌لغزش	تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب اراضی و مناطق مسکونی، فرسایش خاک و انتقال حجم زیاد رسوب

تلفیق معیارها براساس روش ارزیابی چندمعیاره

با توجه به اینکه معیارهای بررسی شده مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوتی دارند، معیارها باید بی‌مقیاس و بدون بعد شوند تا در ارزیابی چندمعیاره از آنها استفاده شود. در این پژوهش برای همسان‌سازی مقیاس‌های اندازه‌گیری و تبدیل آنها به واحدهای قابل مقایسه از روش فازی و مدل بولین استفاده شد.

استانداردسازی معیارها در منطق فازی در مقیاس بین صفر تا ۲۵۵ صورت گرفت. برای انجام منطق فازی، چهار نوع تابع عضویت (توابع S شکل، J شکل، خطی و تعریف‌شده توسط کاربر) تعریف شده است. نوع منحنی عضویت فازی به شکل یکنواخت افزایشی، یکنواخت کاهشی و متقارن است که برای فازی‌کردن لایه‌های نقشه باید موقعیت دست‌کم ۲ تا ۴ نقطه a, b, c و d روی نمودار توابع معین شود (Eastman, 2006: 50). در این پژوهش حدود آستانه‌ها با توجه به مقررات سازمان محیط‌زیست و مرور مقالات تعیین شد؛ همچنین نقشه‌های محدودیت براساس منطق بولین در مقیاس صفر و یک و با اپراتور AND به دست آمده است تا به مناطقی که از لحاظ ویژگی‌های محیط‌زیستی و اقتصادی به هیچ‌وجه قابلیت ساخت مسیر را ندارند، ارزش صفر داده شود.

همچنین نیاز است میزان اهمیت هر معیار نسبت به دیگری سنجیده شود. در این پژوهش اهمیت نسبی هر کدام از معیارها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد. روش یادشده شامل سه مرحله است؛ تشکیل ماتریس مقایسه دوتایی با درجه اهمیت یک تا نه (جدول ۲) برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار، محاسبه وزن‌های معیار و تخمین نسبت توافق (CR). اگر میزان CR از ۰/۱ کمتر باشد، مقایسه‌ها پذیرفته و وزن‌های محاسبه‌شده استخراج می‌شود (قدسی پور، ۱۳۸۷: ۶۵). در این پژوهش، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار IDRISI TerrSet انجام شد.

جدول ۲. مقیاس اهمیت نسبی معیارها براساس مقایسه زوجی

Table 2. The scale of relative importance of the criteria based on pairwise comparison (Saaty, 1980)

توصیف	اهمیت یکسان	نسباً مرجح	ترجیح زیاد	ترجیح خیلی زیاد	ترجیح فوق‌العاده	ارزش‌های بینابین
درجه اهمیت	۱	۳	۵	۷	۹	۲، ۴، ۶، ۸

در گام بعدی نیاز است نقشه‌ها با یکدیگر براساس روش ترکیب خطی وزنی^۱ ادغام شوند. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیلگر مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد؛ سپس با ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن ویژگی، یک مقدار نهایی برای هر گزینه براساس رابطه ۱ به دست می‌آید. پس از مشخص شدن مقدار نهایی هر گزینه، گزینه‌ای که بیشترین مقدار را داشته باشد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مدنظر خواهد بود (پرهیزکار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵: ۳۳۶)؛ سپس با جمع نتایج گزینه‌ها و ضرب آن در حاصل ضرب محدودیت‌ها، نقشه مطلوبیت برای توسعه شبکه جاده‌ای به دست می‌آید.

$$1) \quad S = \sum W_i X_{ij} \Pi C_j$$

S = میزان مطلوبیت هر سلول، W_i = وزن فاکتور i ، X_i = ارزش استاندارد شده معیار i و C_j = ارزش استاندارد شده محدودیت j است. پس از تعیین وزن معیارها، لایه‌های فازی و محدودیت‌ها به روش ترکیب خطی وزن‌دار با هم تلفیق شدند و نقشه مطلوبیت منطقه پژوهش به دست آمد؛ سپس با توجه به این نقشه، لایه اصطکاک^۱ برای انجام مراحل مسیریابی تهیه شد که توضیحات آن در زیر آمده است.

مسیریابی شبکه جاده‌ای براساس الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر

ایجاد سطح هزینه یا اصطکاک

سطح هزینه به سطحی می‌گویند که مقدار هر سلول آن نشان‌دهنده میزان مقاومت یا هزینه عبور از آن سلول است. واحدهای سلولی این سطح ممکن است هزینه، زمان، مسافت و ریسک باشند؛ اما مسئله مهم، میزان مقاومت هر سلول است که میزان ارزش آن سلول را مشخص می‌کند (Collischon and Pilar, 2000: 493). نقشه اصطکاک، نقشه‌ای است که در آن هر سلول مقدار عضویتی در بازه صفر تا ۲۵۵ دارد که مانعی نسبی یا مطلق در برابر عبور مسیر به شمار می‌رود (ستوده و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۹).

ایجاد سطح هزینه تجمعی^۲

در مرحله بعد با استفاده از نقشه اصطکاک و تعیین نقطه مبدأ، نقشه هزینه تجمعی تهیه شد (همان، ۶۹). سطح وزن یا اصطکاک، هزینه حرکت از یک سلول به سلول دیگر براساس فاصله، زمان، هزینه و... است. نقشه سطح هزینه، مقاومت در برابر عبور از یک سلول به سلول دیگر را در جهات مختلف به صورت تجمعی نشان می‌دهد (Tomlin, 1999; Collischon and Pilar, 2000: 493). ایجاد یک سطح هزینه تجمعی با استفاده از تابع COST در نرم‌افزار IDRISI TerrSet، درحقیقت تلاشی برای تعیین سلول با کمترین هزینه است؛ این کار یک فرایند یا عملیات تکراری است که از نقطه شروع آغاز می‌شود و هدف آن، ارزش‌دارکردن سلول‌های سطح براساس هزینه حرکت از نقطه شروع است. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که همه سلول‌ها هزینه‌دار شوند (ابراهیمی پور و همکاران، ۱۳۸۴: ۵).

طراحی مسیری با کمترین هزینه^۳

در مرحله آخر، با استفاده از نقطه مقصد و لایه هزینه تجمعی و با به‌کارگیری تابع Pathway، کم‌هزینه‌ترین مسیر به صورت خودکار ایجاد می‌شود. این تابع از مقصد به مبدأ و برعکس حرکت می‌کند و پیکسلی با کمترین هزینه تجمعی را به مثابه جهت حرکت در نظر می‌گیرد (سلیمان‌ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸: ۱۸۲؛ عابدیان، ۱۳۸۸: ۶۴). در این پژوهش با استفاده از نقاط مبدأ و نقشه اصطکاک، نقشه هزینه تجمعی تهیه و سپس با روش الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و استفاده از نقطه مقصد، مسیر بهینه طراحی شد.

1. Friction
2. Accumulated Cost Surface
3. Least Cost Pathway

یافته‌های پژوهش

استانداردسازی معیارها

در این پژوهش، فرایند استانداردسازی نقشه‌های معیار براساس دو منطق فازی و بولین صورت پذیرفته است. به منظور فازی کردن نقشه‌های معیار، پیکسل‌ها براساس درجه عضویت در دامنه فازی ۰ تا ۲۵۵ ارزش گذاری شدند که درجات بالای عضویت (ارزش ۲۵۵) نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر پیکسل به دلیل کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی برای مسیریابی است. جدول ۳ و ۴ مقادیر آستانه و نوع تابع فازی برای استانداردسازی معیارهای پیوسته و معیارهای گسسته در منطق فازی را نشان می‌دهد. در این پژوهش مقادیر آستانه معیارهایی چون شیب، ارتفاع و فاصله از سطح آب زیرزمینی با استفاده از نظر کارشناسان مهندسی راه و ترابری و مرور منابع داخلی (رأفت‌نیا و همکاران، ۱۳۸۵؛ رستمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۴) و معیارهای فاصله از رودخانه، مناطق حفاظت‌شده و شکار ممنوع، فاصله از شهر و روستا و فاصله از گسل براساس قوانین و شیوه‌نامه‌های محیط‌زیستی (شاعری و رحمتی، ۱۳۹۱، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۴) تعیین شد. معیارهای گسسته مانند زمین‌شناسی براساس رده‌بندی فیض‌نیا (۱۳۷۴) طبقه‌بندی و استاندارد شد؛ همچنین استانداردسازی معیارهای زمین‌لغزش، کاربری اراضی و فرسایش براساس نظرات افراد خبره و استادان راهنما صورت گرفته است.

در این پژوهش از دو تابع عضویت کاهنده خطی و افزایشنده خطی استفاده شد؛ برای نمونه یکی از معیارهای مؤثر در مسیریابی، شیب زمین است که تابع عضویت فازی آن از نوع یکنواخت خطی و فرم کاهشی است و دامنه ارزش آن در مسیریابی بین ۰ تا ۱۲ درصد در نظر گرفته شده است. براساس نظر کارشناسان راه و ترابری شیب‌های ۰ تا ۵ درصد به دلیل کاهش هزینه‌های گودبرداری و تسطیح در یک طبقه قرار می‌گیرند و در بالاترین حد مطلوبیت (ارزش ۲۵۵) قرار دارند. درجه مطلوبیت شیب از ۵ درصد به تدریج کاهش می‌یابد و تا ۱۲ درصد به کمترین حد خود می‌رسد که ارزش صفر برای آن در نظر گرفته شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه، شیب‌های بیش از ۱۲ درصد براساس نظر کارشناسان به دلیل افزایش هزینه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی توجیهی نداشته و معادل صفر در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

یکی دیگر از معیارهای مؤثر در مسیریابی، گسل است که خطر لرزه‌خیزی و مشکلات ساخت و نگهداری را برای راهها به وجود می‌آورد. در این پژوهش به منظور استانداردسازی، نقشه فاصله از گسل‌ها تهیه و سپس براساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ وزارت راه و شهرسازی، حریم ۱۰۰۰ متری در نظر گرفته شد (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴). تابع عضویت فازی از نوع یکنواخت خطی و فرم افزایشی است که میزان مطلوبیت از ۱۰۰۰ متر (ارزش ۰) تا بالاترین فاصله اقلیدسی در نقشه به صورت خطی تا ارزش ۲۵۵ افزایش می‌یابد (شکل ۳)؛ همچنین در شکل‌های ۴ و ۵ چند نمونه از نقشه‌های حاصل از استانداردسازی معیارها نشان داده شده است.

جدول ۳. استانداردسازی معیارهای پیوسته براساس منطق فازی (نویسندگان، ۱۳۹۸)

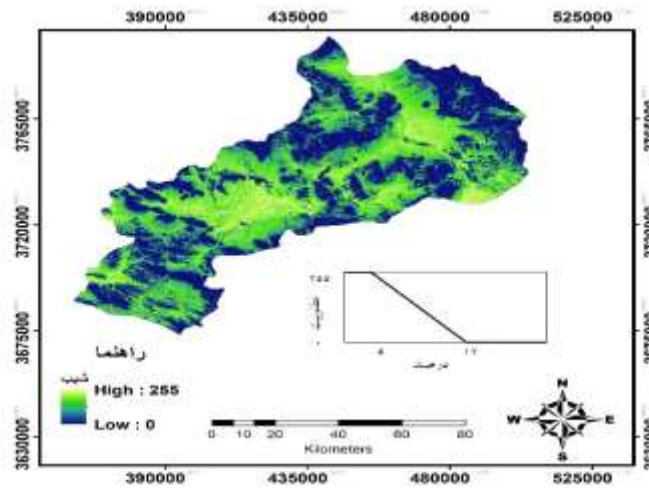
Table 3. Standardization of continuous criteria based on fuzzy logic (Authors, 2019)

معیار	مطلوبیت	محدودیت	شکل و نوع تابع عضویت	نقاط کنترلی
شیب	۰ تا ۵ درصد مطلوبیت ۲۵۵ و از ۵ تا ۱۲ درصد معادل ۲۵۵ تا ۰	۱۲ درصد به بالا	کاهنده-خطی	c=۰ d=۱۲
ارتفاع	۱۸۰۰ تا ۲۴۰۰ معادل ۲۵۵ تا ۰	۲۴۰۰ متر به بالا	کاهنده-خطی	c=۱۸۰۰ d=۲۴۰۰
فاصله از رودخانه	از ۱۵۰ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۱۵۰ متر	افزاینده-خطی	a=۰ b=۱۵۰
فاصله از سطح آب زیرزمینی	از ۱۲ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۱۲ متر	افزاینده-خطی	a=۱۲ b=۸۰
مناطق حفاظت‌شده	از ۱۰۰۰ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۱۰۰۰ متر	افزاینده-خطی	a=۱۰۰۰ b=۳۰۰۰
مناطق شکار ممنوع	از ۱۰۰۰ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۱۰۰۰ متر	افزاینده-خطی	a=۱۰۰۰ b=۳۰۰۰
فاصله از شهر	از ۱۰۰۰ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۱۰۰۰ متر	کاهنده-خطی	c=۱۰۰۰ d=۳۰۰۰
فاصله از روستا	از ۷۵۰ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۷۵۰ متر	کاهنده-خطی	c=۷۵۰ d=۲۰۰۰
فاصله از گسل	از ۱۰۰۰ متر به بالا معادل ۰ تا ۲۵۵	۰ تا ۱۰۰۰ متر	افزاینده-خطی	c=۱۰۰۰ d=۳۰۰۰

جدول ۴. استانداردسازی معیارهای گسسته براساس تابع User define (نویسندگان، ۱۳۹۸)

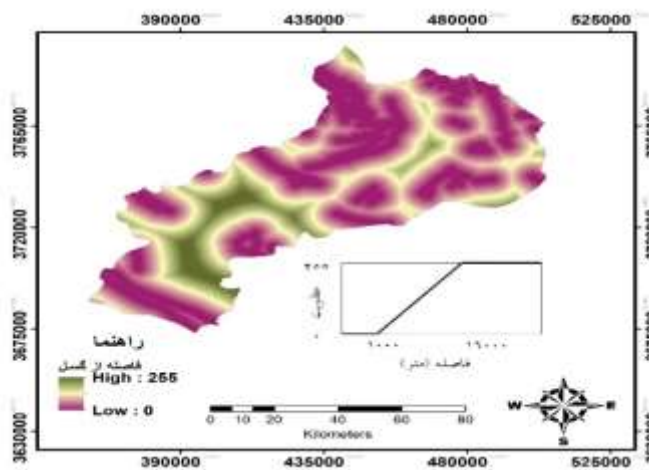
Table 4. Standardization of discrete criteria based on User define (Authors, 2019)

معیار	نام طبقه	امتیاز	معیار	نام طبقه	امتیاز
زمین‌شناسی	پادگانه‌های آبرفتی جدید	۸۰	کاربری اراضی	کشاورزی و باغ‌ها	۱۶۰
	توف‌های آتشفشانی، بازالت و آندزیت	۱۵۵		جنگل	۰
	شیل خاکستری و ماسه‌سنگ	۱۳۰		مراتع خوب	۳۶
	ماسه‌سنگ، فیلیت و سنگ آهک متبلور	۱۵۵		مراتع متوسط	۱۱۰
	سنگ آهک اوریتولین‌دار	۲۰۵		مراتع ضعیف	۱۸۰
	شیل توفی و توف سبز	۱۵۵		اراضی بایر	۲۵۵
	مارن گچی، مارن ماسه‌ای، شیل کربناته با لایه‌هایی از سنگ آهک	۱۰۵		مناطق مسکونی	۰
فرسایش	فرسایش کم	۲۵۵	فرسایش	پهنه‌ها با لغزش کم	۲۵۵
	فرسایش متوسط	۱۷۵		پهنه‌ها با لغزش متوسط	۱۷۵
	فرسایش زیاد	۱۰۰		پهنه‌ها با لغزش زیاد	۱۳۰
	فرسایش خیلی زیاد	۲۵		پهنه‌ها با لغزش خیلی زیاد	-



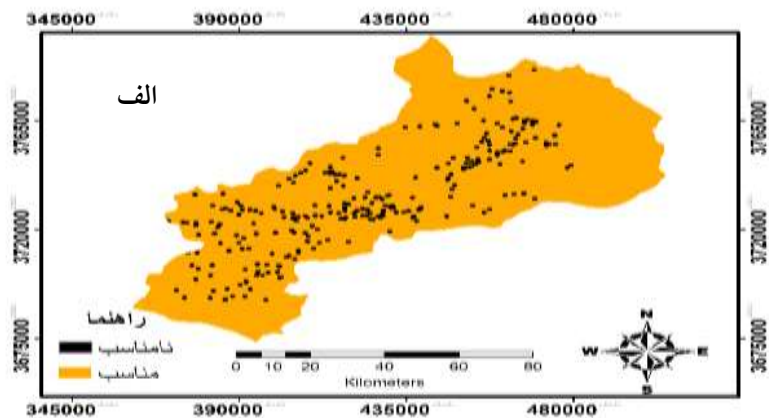
شکل ۲. استانداردسازی معیار شیب به همراه تابع عضویت

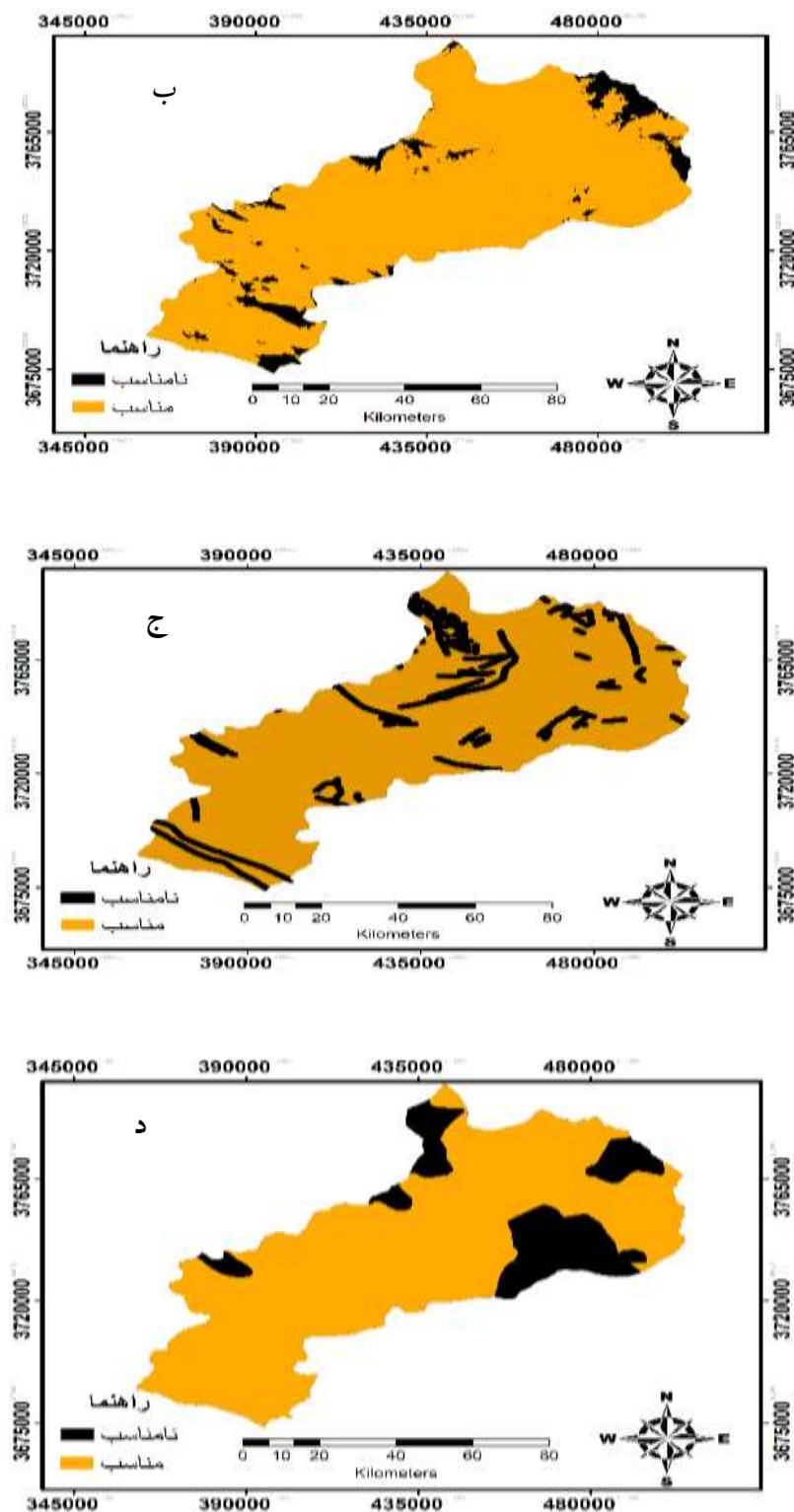
Figure 2. Standardization of slope criterion with the membership function



شکل ۳. استانداردسازی معیار فاصله از گسل به همراه تابع عضویت

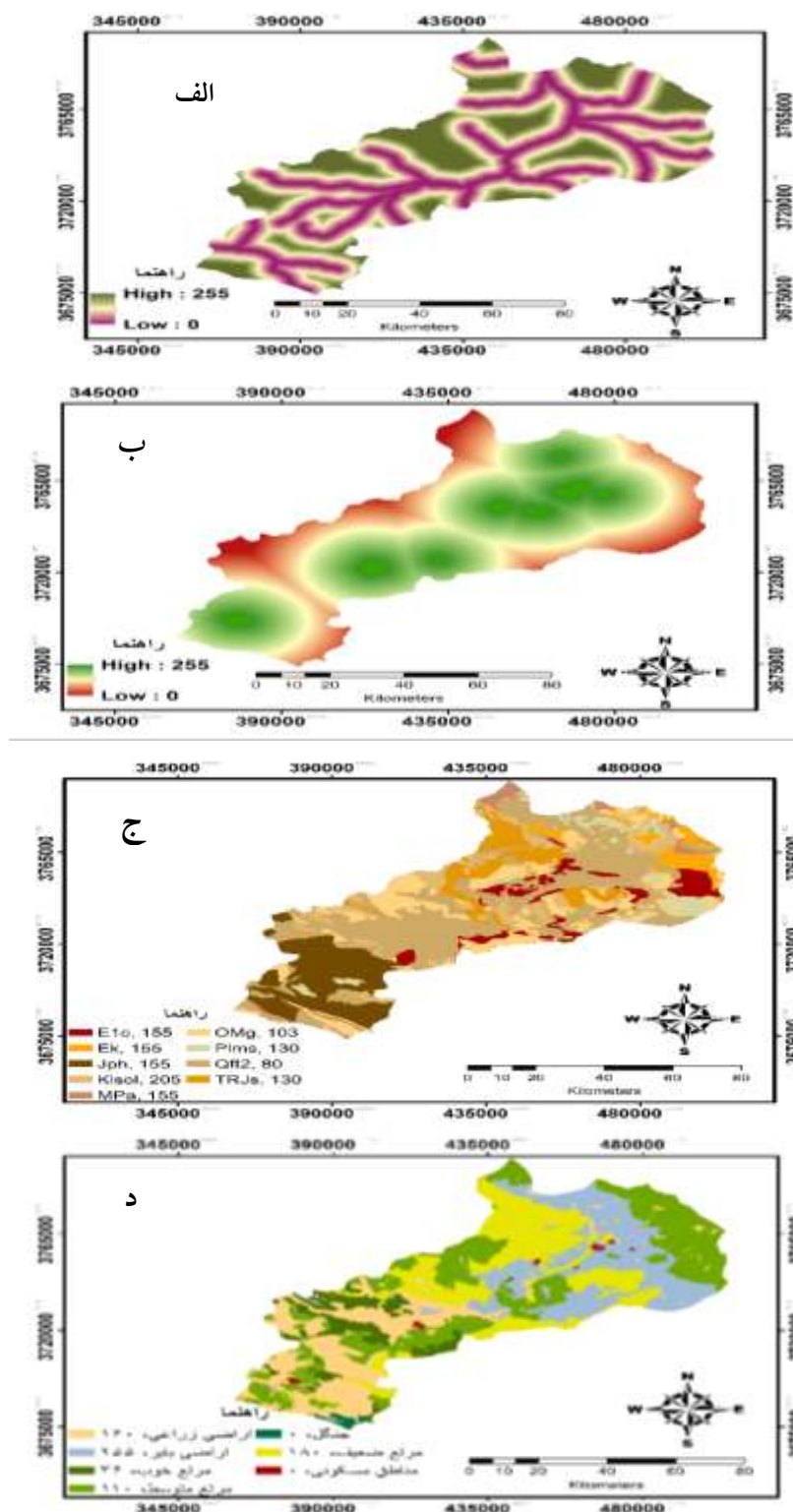
Figure 3. Standardization of the distance from the fault criterion with the membership function





شکل ۴. نمونه‌ای از نقشه‌های محدودیت براساس منطق بولین؛ الف. بولین مناطق روستایی؛ ب. بولین ارتفاع؛ ج. بولین بولین گسل؛ د. بولین مناطق حفاظتی

Figure 4. An example of constraint maps based on Boolean logic; A. Boolean rural areas; B. Boolean elevation; C. Boolean fault; D. Boolean protection areas



شکل ۵. نمونه‌ای از نقشه‌های معیار براساس منطق فازی؛ الف. فازی فاصله از رودخانه؛ ب. فازی مناطق شهری؛ ج.

فازی زمین‌شناسی؛ د. فازی کاربری اراضی

Figure 5. An example of criteria maps based on fuzzy logic; a. fuzzy distance from the river; b. fuzzy urban areas; c. fuzzy geology; d. fuzzy land use

وزن‌دهی معیارها

در این پژوهش، میانگین میزان سازگاری ۰/۰۷ به دست آمد که چون کمتر از ۰/۱ بود، صحت آن تأیید شد. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود، بیشترین ضریب وزنی به معیار شیب (۰/۱۰۹) اختصاص یافت و معیارهای فاصله از مناطق حفاظت‌شده (۰/۱۰۷)، حساسیت به زمین‌لغزش (۰/۰۹) و منطقه شکار ممنوع (۰/۰۸۸) به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

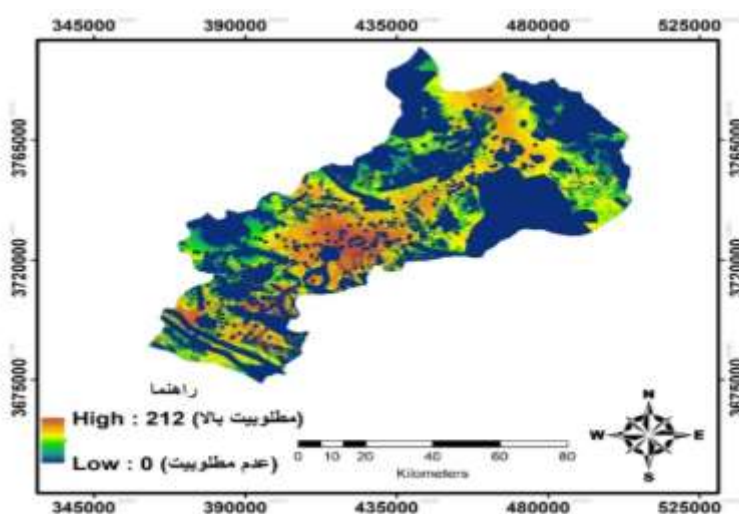
جدول ۵. وزن‌های حاصل از روش مقایسه زوجی (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Table 5. The obtained Weights from the comparison method (Authors, 2019)

ردیف	معیارها	وزن	ردیف	معیارها	وزن
۱	شیب	۰/۱۰۹	۸	حساسیت به فرسایش	۰/۰۶۸
۲	شده‌فاصله از منطقه حفاظت	۰/۱۰۷	۹	فاصله از شهر	۰/۰۶۷
۳	فاصله از منطقه شکار ممنوع	۰/۰۸۸	۱۰	فاصله از روستا	۰/۰۶۵
۴	حساسیت به لغزش	۰/۰۹۰	۱۱	زمین‌شناسی	۰/۰۶۴
۵	فاصله از گسل	۰/۰۸۲	۱۲	فاصله از رودخانه	۰/۰۶۳
۶	ارتفاع	۰/۰۸۰	۱۳	کاربری اراضی	۰/۰۵۴
۷	فاصله از سطح آب‌های زیرزمینی	۰/۰۵۹	-	--	--

تلفیق معیارها با روش ارزیابی چندمعیاره

پس از محاسبه وزن معیارها برای تلفیق لایه‌های فازی، محدودیت‌ها و وزن معیارها، از روش ترکیب خطی وزن‌دار استفاده شد و نقشه مطلوبیت منطقه پژوهش به دست آمد (شکل ۶). دامنه ارزش‌های مطلوبیت این نقشه بین ۰ تا ۲۱۲ است؛ در نواحی مرکزی محدوده بیشترین میزان مطلوبیت برای مسیریابی بهینه و در نواحی جنوبی آن به دلیل وجود پناهگاه حیات وحش موته، در نواحی شمالی و شرقی آن به دلیل شیب و ارتفاع زیاد و در نواحی غربی به علت وجود گسل‌ها و احتمال زمین‌لغزش زیاد کمترین مطلوبیت برای مسیریابی بهینه مشاهده شده است.

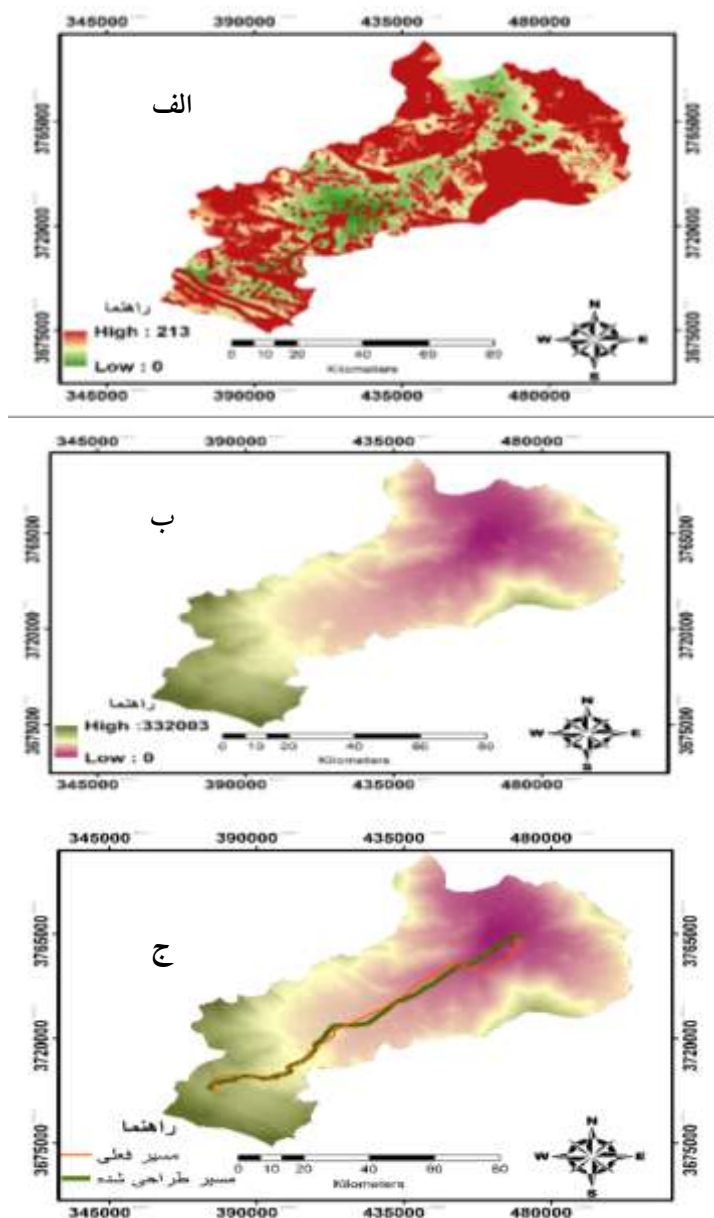


شکل ۶. نقشه ارزیابی توان چندمعیاره در منطقه پژوهش

Figure 6. Multi-criteria evaluation map in the study area

تعیین مسیر بهینه روی سطح شبکه‌ای

نقشه اصطکاک در یک فرمت رستری تهیه شد که در آن هزینه حرکت از یک سلول به سلول دیگر نشان داده می‌شود (شکل ۷ الف). پس از تولید نقشه اصطکاک، تعیین نقطه مبدأ و با کمک تابع هزینه، نقشه هزینه تجمعی ایجاد شد (شکل ۷ ب). در نهایت با استفاده از نقاط مبدأ و مقصد و لایه هزینه تجمعی و با به‌کارگیری تابع Pathway مسیر بهینه طراحی شد (شکل ۷ ج).



شکل ۷. تعیین مسیر بهینه در منطقه پژوهش؛ الف. نقشه اصطکاک؛ ب. نقشه هزینه تجمعی؛ ج. نقشه مسیر طراحی شده و مسیر فعلی

Figure 7. Determining the optimal route in the study area; A. friction map; B. cumulative cost map; C. Designed route map and current route

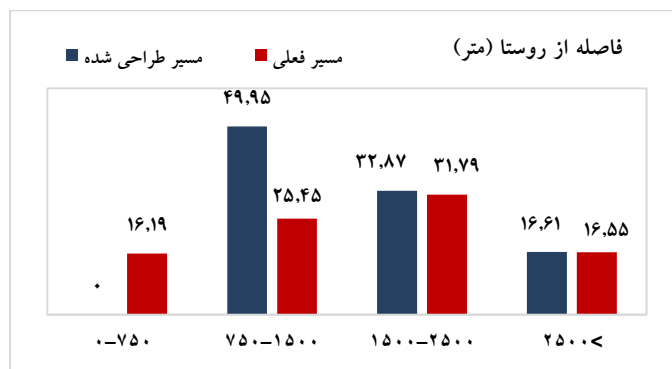
مقایسه مسیر طراحی شده و مسیر اصلی

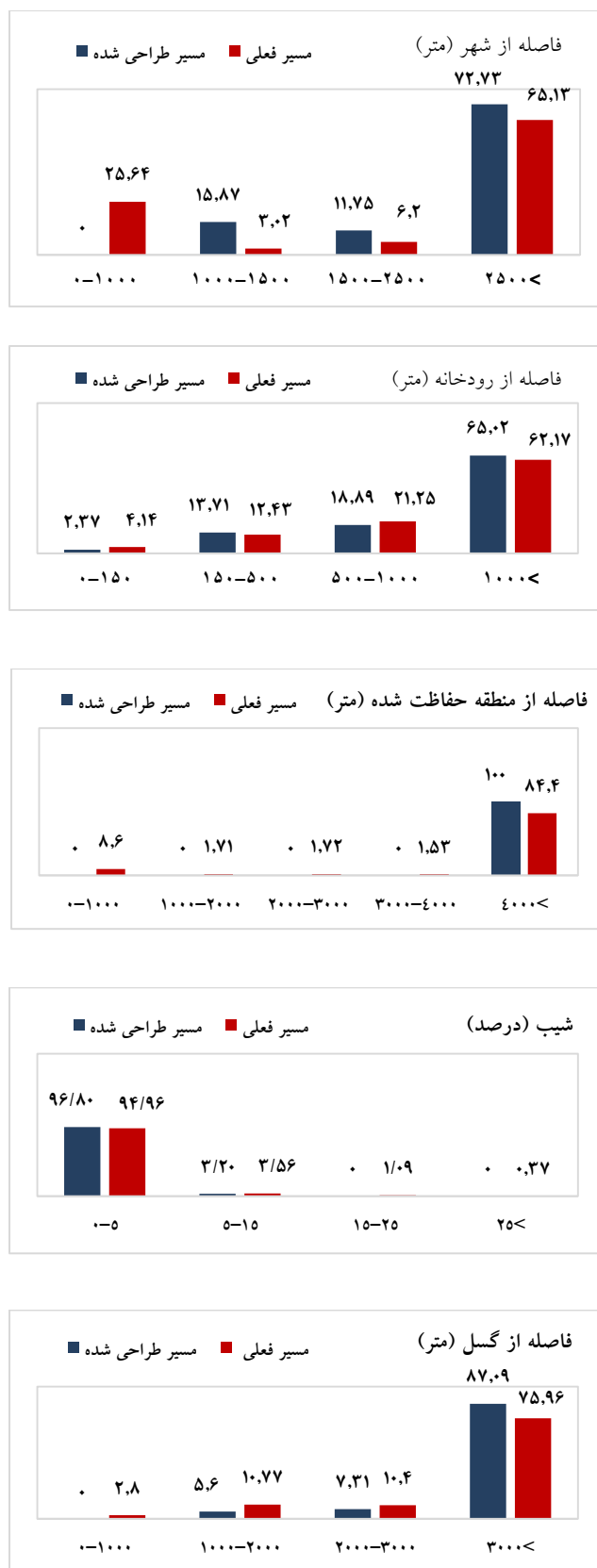
پس از طراحی مسیر در GIS، مسیر طراحی شده با مسیر فعلی از نظر پارامترهای محیط‌زیستی ارزیابی شد تا بتوان مسیری را که آسیب کمتری به محیط‌زیست وارد می‌کند به‌مثابه مسیر بهینه انتخاب کرد (شکل ۸). انتخاب مسیر بهینه در واقع نوعی تصمیم‌گیری چندمعیاره به شمار می‌رود که هدف در این پژوهش، انتخاب کم‌هزینه‌ترین مسیر از دیدگاه محیط‌زیستی و اقتصادی است.

معیارهای مهم در مقایسه مسیر طراحی شده با مسیر اصلی براساس نظرات کارشناسان شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از شهر، فاصله از روستا، فاصله از منطقه حفاظت‌شده و فاصله از رودخانه است. براساس بررسی انجام‌شده، جاده طراحی شده حریم‌های محیط‌زیستی معیارهایی چون شهر و روستا را رعایت کرده است؛ این در حالی است که حدود ۱۶ و ۲۵ درصد از طول جاده فعلی فاصله‌ای کمتر از ۷۵۰ و ۱۰۰۰ متر از مناطق روستایی و شهری دارد.

همچنین در رعایت فاصله از حریم رودخانه‌ها، با توجه به نحوه پراکنش و توزیع رودخانه‌ها در بخش مرکزی منطقه، عبور از آن ناگزیر روی می‌دهد؛ اما باید سعی شود به‌منظور کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی، کمترین میزان عبور روی دهد. براساس نتایج ۲/۳ درصد از مسیر طراحی شده از حریم ۱۵۰ متری رودخانه عبور می‌کند؛ در حالی که برای مسیر فعلی این میزان حدود ۴/۱۴ درصد است؛ همچنین مسیر طراحی شده به هیچ‌وجه از پناهگاه حیات وحش موته عبور نکرده است و در فاصله بیش از ۴ کیلومتری آن قرار دارد؛ در حالی که ۸/۶ درصد از طول مسیر فعلی در فاصله کمتر از ۱۰۰۰ متری از این منطقه حفاظتی قرار گرفته است.

شیب و ارتفاع مسیر طراحی شده کمتر است؛ یعنی مسیری که براساس معیارهای محیط‌زیستی طراحی شده از مناطقی با ارتفاع و درصد شیب زیاد کمتر عبور کرده است که در نتیجه باعث کاهش وقوع خطر زمین‌لغزش و فرسایش می‌شود؛ همچنین مسیر طراحی شده به هیچ‌وجه در فاصله ۱۰۰۰ متری از گسل‌ها طراحی نشده است؛ این در حالی است که ۲/۸ درصد از طول مسیر فعلی در فاصله کمتر از ۱۰۰۰ متری گسل‌ها قرار دارد. نتایج نشان می‌دهد لحاظ کردن معیارهای محیط‌زیستی و استفاده از قابلیت‌های GIS و روش الگوریتم کم‌هزینه‌ترین مسیر باعث شده است مسیر طراحی شده از لحاظ ویژگی‌های محیط‌زیستی و همچنین به‌لحاظ طول مسیر و هزینه‌های اقتصادی نسبت به مسیر فعلی بهتر باشد.





شکل ۸. مقایسه مسیر طراحی شده و مسیر فعلی براساس معیارهای محیط‌زیستی

Figure 8. Comparison of designed route and current route based on environmental criteria

وزن‌های حاصل از روش مقایسه زوجی در مسیریابی بهینه نشان می‌دهد معیارهای شیب، فاصله از مناطق حفاظت‌شده و حساسیت به زمین‌لغزش به ترتیب بیشترین وزن را کسب کرده‌اند و بیشترین اهمیت را در این فعالیت از نظر کارشناسان دارند. عامل شیب به علت آسیب‌پذیری دامنه‌ها نسبت به فرسایش، ایجاد خطر و نیاز به عملیات خاکبرداری و خاکریزی در مسیریابی شبکه جاده‌ای اهمیت زیادی دارد. سلمان‌ماهینی و همکاران (۱۳۹۴) و ساری و سن^۱ (۲۰۱۷) در پژوهش‌های خود عامل شیب را معیاری مهم در نظر گرفته‌اند؛ همچنین مناطق حفاظت‌شده به دلیل داشتن نقش حیاتی در بقای اکوسیستم‌ها و تأمین زیستگاههای تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی و جانوری و ملاحظات قانونی به‌مثابه معیار مهم دوم در نظر گرفته شده است.

نتیجه مقایسه مسیر طراحی‌شده و مسیر فعلی نشان می‌دهد در مسیر طراحی‌شده، حریم تمامی معیارهای مؤثر محیط‌زیستی در جاده‌سازی رعایت شده است. گل‌سفیدی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند در تعیین مسیر احداث‌شده به عواملی مانند فاصله از خطوط گسل و رودخانه‌ها، دسترسی به مراکز جمعیتی و توپوگرافی توجه بیشتری شده و مسیر حاصل از اعمال وزن‌دهی دانش پایه و وضعیت مناسب‌تری در تأمین معیارهای مختلف نسبت به مسیر احداث‌شده به روش دستی دارد؛ همچنین نتایج پژوهش سلمان‌ماهینی و همکاران (۱۳۹۴) با نتایج این پژوهش همسوست. آنها معتقدند جاده طراحی‌شده به میزان کمتری از موانع نسبی نظیر رودخانه‌ها، نواحی شهری و روستایی عبور و از همه مناطق حساس محیط‌زیستی دوری می‌کند. در نتیجه هزینه کل که حاصل جمع هزینه لایه‌های مختلف اطلاعاتی است، به دلیل رعایت حریم‌ها و کاهش آثار نامطلوب محیط‌زیستی کمتر است.

همسو با نتایج پژوهش، میرعبداللهی و همکاران (۱۳۹۳) دریافتند مسیرهای طراحی‌شده به شیوه خودکار از لحاظ محیط‌زیستی به مراتب قوی‌تر از مسیرهای طراحی‌شده با روش دستی است.

نصیری هنده‌خاله و گنجی (۱۴۰۰) در پژوهش خود بیان کردند محدودیت‌ها به‌ویژه پراکنش آنها نقش مهمی در تعیین مسیر دارد؛ به بیانی اصلی‌ترین نقش را دارد و محدوده مسیر براساس این عوامل محدودکننده و با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین فاصله تعیین می‌شود.

نتایج پژوهش عابدیان (۱۳۸۸) و سلیمان و همکاران^۲ (۲۰۱۵) نیز مؤید این مطلب است که روش‌های ارزیابی چندمعیاره در تلفیق با الگوریتم کم‌هزینه‌ترین مسیر، یک روش مؤثر در مسیریابی براساس اصول محیط‌زیستی است؛ بنابراین با توجه به اهمیت زیاد محیط‌زیست و تأثیرات فراوانی که جاده بر ویژگی‌های محیط‌زیستی دارد، پیشنهاد می‌شود قوانین و مقررات سازمان محیط‌زیست رعایت شود تا آثار نامطلوب محیط‌زیستی و هزینه‌های اقتصادی کاهش و ایمنی افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

به دلیل اینکه در فرایند مسیریابی پارامترهای کمی و کیفی مختلف عملاً مستقل از یکدیگر نیستند و بر هم تأثیر متقابل دارند، لازم است از روش‌های ارزیابی چندمعیاره به‌مثابه روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در GIS استفاده کرد.

1. Sari and Şen
2. Suleiman et al.

نتایج نشان دادند در مسیریابی شبکه جاده‌ای استفاده از GIS و روش‌های ارزیابی چندمعیاره و الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، نقش مهمی در مسیریابی براساس اصول محیط زیستی دارد؛ در همین زمینه معیارهای محیط‌زیستی تأثیرگذار بر روند طراحی جاده بررسی و سپس با استفاده از قابلیت‌های GIS و الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، مسیر جدیدی طراحی و با مسیر اصلی مقایسه شد. مقایسه مسیر تعیین شده به وسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و استفاده از قابلیت تجزیه و تحلیل در محیط GIS نشان داد با استفاده از این روش، امکان دستیابی به مسیر بهینه وجود دارد و جاده طراحی شده در این پژوهش به نحوی است که امکان دستیابی به هدف مدنظر را فراهم می‌کند؛ بنابراین استفاده از این روش برای مسیریابی نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

براساس بررسی‌های انجام شده، جاده طراحی شده به میزان کمتری از موانع نسبی نظیر فاصله از رودخانه، شهر، روستا و منطقه حفاظت شده عبور و از تمامی مناطق حساس محیط‌زیستی دوری می‌کند؛ در نتیجه مسیر طراحی شده از نظر طول مسیر و میزان هزینه‌های اقتصادی به دلیل رعایت استانداردها و کاهش آثار نامطلوب محیط زیستی، روشی مورد تأیید است؛ بنابراین مسیر طراحی شده از لحاظ محیط زیستی به مراتب از مسیر اصلی بهتر است؛ همچنین حدود آستانه‌ها در طراحی مسیر پیشنهادی با توجه به قوانین و مقررات سازمان محیط زیست در نظر گرفته شده است. رعایت این نکته موجب کاهش آثار نامطلوب محیط‌زیستی و هزینه‌های اقتصادی و افزایش ایمنی می‌شود.

منابع

- ابراهیمی پور، احمدرضا، تیموریان، کتایون، آل‌شبیخ، علی‌اصغر، (۱۳۸۴). مسیریابی خطوط انتقال آب با استفاده از GIS و الگوریتم ژنتیک، مقالات سومین همایش سیستم اطلاعات مکانی، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- بیات، روح‌الله، ابوالحسنی، سجاد، (۱۳۹۵). تأثیر گسترش شبکه جاده‌ای بر توسعه اقتصاد، اولین همایش بین‌المللی انسجام مدیریت و اقتصاد در توسعه شهری، تبریز.
- پرهیزکار، اکبر، غفاری گیلانده، عطا، (۱۳۸۵). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، چاپ اول، تهران، انتشارات سمت.
- درویش‌صفت، علی‌اصغر، احمدی، هما، مخدوم، مجید، ابوالقاسمی، شیرین، (۱۳۸۶). مسیریابی براساس اصول زیست‌محیطی با استفاده از GIS؛ مطالعه موردی: جاده پارچین در شرق تهران، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۰، شماره ۱، ۲۱۱-۲۰۳.
- بهرام‌سلطانی، کامبیز، (۱۳۸۷). مجموعه مباحث و روش‌های شهرسازی، محیط زیست، چاپ چهارم، تهران، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- رأفت‌نیا، نصرت‌الله، عبدی، امید، شتابی، شعبان، (۱۳۸۵). تعیین روش مناسب پیش‌بینی مقدماتی مسیر جاده‌های جنگلی و کوهستانی با استفاده از GIS. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۱۴، شماره ۳، ۲۵۷-۲۴۴.

- رستمی، میثم، کیامهر، رامین، بیات، رامین، (۱۳۹۴)، ارائه روشی دانش‌پایه جهت وزن‌دهی درون‌لایه‌ای به‌منظور تعیین مسیر بهینه با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی؛ مطالعه موردی: محور ایلام-حمیل، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۹۶، ۱۹-۵.
- ستایش، بهروز، جهان‌دیده، مجتبی، (۱۳۹۶)، آثار محیط‌زیستی جاده‌ها بر حیات وحش و زیستگاه‌های مناطق حفاظت‌شده اصفهان، هفتمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری، اصفهان.
- ستوده، احد، درویش‌صفت، علی‌اصغر، مخدوم، مجید، (۱۳۸۶). استفاده از اصول محیط‌زیستی در مسیریابی راه‌آهن با استفاده از GIS؛ مطالعه موردی: راه‌آهن رشت-انزلی، محیط‌شناسی، دوره ۳۳، شماره ۴۴، ۷۲-۶۵.
- سلمان‌ماهینی، عبدالرسول، عابدیان، سحر، علیزاده، افشین، خراسانی، نعمت‌الله، (۱۳۹۴). استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در مسیریابی شبکه جاده‌ای در شهرستان‌های کردکوی، بندرگز و گلوگاه، فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۶، شماره ۱۵، ۹۴-۸۱.
- سلمان‌ماهینی، عبدالرسول، کامیاب، حمیدرضا، (۱۳۸۸). سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی، چاپ اول، تهران، انتشارات مهر مهدیس.
- شاعری، علی‌محمد، رحمتی، علیرضا، (۱۳۹۱). قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط زیست انسانی، چاپ اول، تهران، انتشارات حک.
- عابدیان، سحر، (۱۳۸۸). تأثیر احداث شبکه جاده‌ای روی اکوسیستم‌ها از دیدگاه بوم‌شناسی سیمای طبیعت (شهرستان کردکوی، بندرگز و گلوگاه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: علیزاده، افشین، دانشگاه تهران، گروه محیط زیست.
- فیض‌نیا، سادات، (۱۳۷۴)، مقاومت سنگ‌ها درمقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، ۹۵-۱۱۶.
- قدسی‌پور، حسن، (۱۳۸۷). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- گل‌سفیدی، مجید، کریم‌پور، فرید، شریفی، محمدعلی، (۱۳۹۵). ارائه مدل مسیریابی دریایی زمانمند جهت بهینه‌سازی زمان سفر با در نظر گرفتن عوامل محیطی ناوبری، فصلنامه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۴، ۲۶۸-۲۵۵.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۴). آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش سوم، چاپ اول، وزارت راه و شهرسازی.
- موسوی، سیده مرضیه، کاظمی، المیرا، پورسینا، منصور، (۱۳۹۷). تلفات جاده‌ای گوشتخواران با تأکید بر تلفات جاده‌ای یوزپلنگ و پلنگ در ایران، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، دوره ۱۶، شماره ۲، ۱۵۱-۱۴۳.

- میرعبداللہی، سید کمال، سرکارگر اردکانی، علی، کرمی، جلال، (۱۳۹۳). **تعیین مسیر بهینه قطار بین شهری یزد- اردکان با استفاده از منطق فازی**، همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، یزد.
- نصیری هنده‌خاله، اسماعیل، گنجی، نسرین، (۱۴۰۰). **تعیین مسیر بهینه شبکه راهها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی: مسیر رودسر- قزوین**، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۵۳، شماره ۱، ۸۴-۳۵.
- Ascensão, F., Mata, C., Malo, J.E., Ruiz-Capillas, P., Silva, C., Silva, A.P., Fernandes, C., (2016). **Disentangle the causes of the road barrier effect in small mammals through genetic patterns**, PLoS One, Vol 11 (3): e0151500.
- Bagli, S., Geneletti, D., Orsi, F., (2011). **Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts**, Environmental Impact Assessment Review, Vol 31 (3): 234-239.
- Chandio, I.A., Matori, A.N.B., WanYusof, K.B., Talpur, M.A.H., Khahro, S.H., Mokhtar, M.R.M., (2012). **Computer application in routing of road using least-cost path analysis in hillside development**, Research Journal of Environmental and Earth Sciences, Vol 4 (10): 907-911.
- Chen, H.L., Koprowski, J.L., (2016). **Barrier effects of roads on an endangered forest obligate: influences of traffic, road edges, and gaps**, Biological conservation, Vol 199: 33-40.
- Collinson, W.J., Parker, D.M., Bernard, R.T., Reilly, B.K., Davies-Mostert, H.T., (2014). **Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna**, Ecology and evolution, Vol 4 (15): 3060-3071.
- Collischon, W., Pillar, J.V., (2000). **A direction dependent least cost path algorithm for roads and canals**, International Journal of Geographic Information System, Vol 14 (4): 491-508.
- Effat, H.A., Hassan, O.A., (2013). **Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Vol 16 (2): 141-151.
- Eastman, J.R., (2006). **Idrisi Andes guide to GIS and Image processing**, USA:Clark University.
- Enache, A., Stampfer, K., Ciobanu, V., Branzea, O., Duta, C., (2011). **Forest road network planning with state of the art tools in a private forest district from Lower Austria. Bulletin of the Transilvania University of Brasov**, Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II, Vol 4 (2): 33-40.
- Guarini, M.R. Battisti, F. Chiovitti, A., (2018). **A Methodology for the Selection of Multi-Criteria Decision Analysis Methods in Real Estate and Land Management Processes**, Sustainability, Vol 10 (2): 507-519.
- Gyabeng, B.A., (2020). **Selection of Optimum Petroleum Pipeline Routes Using A Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Least-Cost Path Approach**, International Journal of Scientific and Research Publications, Vol 10 (6): 572-579.
- Laurance, W.F., Sayer, J., Cassman, K.G., (2014). **Agricultural expansion and its impacts on tropical nature**, Trends in ecology & evolution, Vol 29 (2): 107-116.
- Laurance, W.F., Sloan, S., Weng, L., Sayer, J.A., (2015). **Estimating the environmental costs of Africa's massive "development corridors"**, Current Biology, Vol 25 (24): 3202-3208.

- Ngunyi, J., Mundia, C., Gachari, M., (2017). **Analysis of Standard Gauge Railway Using GIS and Remote Sensing**, American Journal of Geographic Information System, Vol 6 (2): 54-63.
- Rinner, C., Malczewski, J., (2002). **Web-enabled spatial decision analysis using ordered weighted averaging**, Journal of Geographical System, Vol 4(4): 385–403.
- Saaty, T.L., (1980). **The Analytic Hierarchy Process**, New York: Mcgraw.
- Sari, F., & Şen, M., (2017). **Least cost path algorithm design for highway route selection**, International Journal of Engineering and Geosciences, Vol 2 (1): 1-8.
- Son, S.W., Kil, S.H., Yun, Y.J., Yoon, J.H., Jeon, H.J., Son, Y.H., Kim, M.S., (2016). **Analysis of influential factors of roadkill occurrence-A case study of Seorak National Park**, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, Vol 44 (3): 1-12.
- Suleiman, S., Agarwal, V, Lal, D., & Sunusi, A. D., (2015). **Optimal route location by least cost path (LCP) analysis using (GIS) a case study**, International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, Vol 4: 9621-9626.
- Tomlin, D., (1999). **Geographic information Systems and Cartographic Modeling**, New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Vanthomme, H., Kolowski, J., Korte, L., Alonso, A., (2013). **Distribution of a community of mammals in relation to roads and other human disturbances in Gabon, Central Africa**, Conservation Biology Vol 27 (2): 281-291.
- Ware, H.E., McClure, C.J., Carlisle, J.D., Barber, J.R., (2015). **A phantom road experiment reveals traffic noise is an invisible source of habitat degradation**, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol 112 (39): 12105-12109.

