University of Sistan and Baluchestan

Geography and Territorial Spatial Arrangement

Print ISSN: 2345 - 2277 Online ISSN: 2783 - 5278

Association of Geography and Planning of Border Areas of Iran

The role of Geographic Technologies in the Routing of Intercity Communication Routes with an Emphasis on Dijkstra's Algorithm (Case Study: Ardabil - Sarcham road)

Mohammad Taqi Masoumi [1]✉, **Behnam Bagheri** [2]

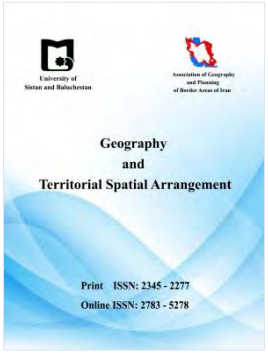
1. Assistant Professor Department of Geography and Urban planning, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran.
✉ E-mail: Taqi.masoumi@iauardabil.ac.ir
2. Assistant Professor Department of Geography, University payamnoor, Tehran, Iran.
E-mail: bagheribehnam@pnu.ac.ir

How to Cite: Masoumi, M.T & Bagheri, B. (2023). The role of Geographic Technologies in the Routing of Intercity Communication Routes with an Emphasis on Dijkstra's Algorithm (Case Study: Ardabil - Sarcham road). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13 (48), 65-70.

DOI: http://dx.doi.org/ 10.22111/GAIJ.2023.46833.3143

Article type:
Research Article

Received:
1/10/2023
Received in revised form:
08/11/2023
Accepted:
27/11/2023
Publisher online:
03/12/2023



Keywords:
Ardabil Sarcham, the way, Dijkstra's algorithm, geographical information system, least cost path Analysis.

ABSTRACT

Considering the correct criteria in determining the route of roads can play a major role in reducing economic costs, increasing safety and access to roads, along with preserving the environment, and provide the basis for the growth and prosperity of the region. This research is of a descriptive-analytical type and was conducted with the aim of identifying a low-cost and safe route to connect Ardabil city with the center of the country through Tabriz-Zanjan freeway. The data required to conduct the research, which includes elevation points obtained from the Google Erath image and the OLI Landsat-9 satellite image, were collected. Digital height model, topography map, slope map were extracted from Google Earth image and land use map from Landsat satellite image. Then, the current Ardabil-Sarcham road route was digitized from the Google Earth image, and the condition of the road was examined from the perspective of the slope, and dangerous slopes were identified. In the last stage, using the Geographical Information System Builder model and using Dijkstra's algorithm, the least expensive route from Ardabil to Sarcham has been identified by considering the slope factor and then by simultaneously considering the two factors of slope and land use in the region. The results of the research show that the optimal proposed route is much better and safer than the current route from Ardabil to Sarcham both in terms of road length and road slope and land use, so that the length of the road is reduced by 25 km and 43 km from the route It has a slope of up to 10% and was dangerous, it has been reduced to 23 km and this reduction will reduce the economic costs, more safety for travelers and native residents of the region. Also, in the proposed route, the crossing of the first-class pastures has been reduced from 36 km to 22 km, and the crossing of the water fields, which previously covered 26 km, has been reduced to 13 km in the optimal proposed route, and this has an important impact on It will protect the environment.

© the Author(s). **Publisher**: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

The construction and development of communication roads is one of the most important needs of different countries to achieve development and benefit from transportation methods to transfer goods and services in less time and with greater safety. The first step in the design of a road is to assess the need for its construction. In addition to this needs assessment, paying attention to reducing the negative effects of the development of roads with inappropriate design on the environment and considering the state of communication roads in terms of security, economy and society should not be neglected. Using new methods based on geographic information system can play a significant role in solving the routing problem. The area studied in this research is the Ardabil-Sarcham road, the connecting highway of this province with the center of the country. Most of the route is in the south of Ardabil province and part of it is in the Mianeh county in East Azerbaijan. The sensitivity of this communication route in terms of economic, social and tourism doubles the importance of choosing the optimal route of this road, and therefore, the current research was conducted with the aim of finding a least cost alternative route in terms of slope and land use for the current road.

Study Area

The study area is located in the middle of Ardabil, East Azarbaijan and Zanjan provinces. This route is the main communication artery of Ardabil province with the center of the country. The name of this road is based on the connection point that enters the Zanjan highway from Ardabil in Sarcham Zanjan district. This road starts from the Ardabil plain and after passing through the Khalkhal mountains with a height of nearly 2000 meters and passing through the deep valleys of the Mashkul hunting area in the conservation area of Khalkhal city, it enters the highway in Sarcham district. The characteristics of this road are the snow-covered areas of this road in the mountains, the steepness of the road in the mountains, the high number of vehicles passing through this road, and the high number of accidents on this road.

Material and Methods

The current research is applied research in terms of purpose and descriptive and analytical research in terms of method. In the first phase, the data required for analysis were collected from library documents and produced in the absence or lack of access to them. Extracting the studied area and preparing a network of elevation points using the create fishnet function in the geographic information system with the number of 9032 points to produce a digital model of the elevation and slope map of the area and classifying it into three classes: very suitable, suitable and dangerous, was carried out in the first phase of the research. In the second phase, the condition of the current route of Ardabil-Sarcham road was examined from the perspective of the slope, and in the third phase, the least cost path from Ardabil to Sarcham was identified by using the Geographic Information System model builder and using Dijkstra's algorithm. Most routing methods in practice are based on least cost path algorithms, and the Dijkstra's algorithm is one of the most effective and widely used of these algorithms. This algorithm is a centralized routing algorithm whose goal is to find the least cost of moving from a certain node to all other nodes and by optimizing the cost in multiple iterations, it determines the least cost paths from a source node to a destination node. In the process of applying this algorithm, first, the lest cost path is determined and suggested only by considering the slope factor, and then by simultaneously considering the two factors of slope and land use in the area.

Result and Discussion

The current route of Ardabil-Sarcham road has been replaced after the construction of Ardabil-Astara road that passed through Heran pass, and due to the connection of Ardabil-Sarcham road to Tabriz-Zanjan freeway and finally Shortening the travel time from Ardabil to the country capital, intercity buses from Ardabil to Tehran use it to transport passengers. Due to the dangerous slopes, the current route has witnessed the inability of drivers to control the vehicle and as a result of numerous accidents, and paying attention to the slope factor is one of the points that should be given new attention in planning this route along with environmental protection. The results of this research show that this important goal can be achieved by using the capabilities of the geographic information system and modern methods and algorithms to determine the least cost path such as Dijkstra algorithm. In this research, the length of the Ardabil-Sarcham road has been significantly reduced and the steep and dangerous slopes have been reduced. Reducing these two factors means protecting people from the dangers of the road and keeping them away from being exposed to more danger. Positive effects on the economy of the region and the country, such as reducing the amount of fuel consumption, lowering the

depreciation rate of cars, etc., positive social effects, such as increasing the quality of life of the residents, and environmental effects, such as reducing air pollution, etc., Positive effects on the economy of the region and the country, such as reducing the amount of fuel consumption, lowering the depreciation rate of cars, etc., positive social effects, such as increasing the quality of life of residents, and environmental effects, such as reducing air pollution, etc., are among the positive results of optimal routing in the region.

Conclusion

In order to design and place the optimal route proposed in this research, two effective factors were used in the region, for this reason, we focused on the factors of slope and land use. The results show that the current route from Ardabil to Sarcham is about 176 km. the proposed road reaches about 149 km based on the slope factor, and considering the slope factor and land use together, the length of the road will be 151 km. The amount of suitable road slopes (less than 4%) increased from 66.78% in the current road to 81.39% and dangerous slopes(more than 10%) decreased from 8.63% to 3.57%. The amount of road passing through grade 1 pastures has been reduced from 36 km to 22 km and in grade 2 pastures from 130 km to 82 km. The amount of road passing through irrigated fields has been reduced by 50% and finally, the amount of road passing through rainfed fields has increased from 10 km to 42 km.. In general, it can be said that the implementation of the proposed route can make the Ardabil-Sarcham road shorter and safer, and can reduce the social and economic costs of passing the road through the region and help protect the environment.

Key words: Ardabil Sarcham, the way, Dijkstra's algorithm, geographical information system, least cost path Analysis

References

Abedian, S., Salmanmahiny, A., Alizadeh, A., & khorasani, N. A. (2015). Using Least Cost Pathway in road routing in Kordkuy, Bandar-e-Gaz and Galugah Towns. Geographical Planning of Space, 5(15), 81-94. *(In Persian*)

https://gps.gu.ac.ir/article_10092.html

Alimohammadi, A., Ildoromi, A., Mirsanjari, M. M., & Abedian, S. (2021). Optimal Routing of Road Network with Emphasis on Natural Environment Parameters According to the Least Cost Pathway Algorithm and GIS (Case Study: Delijan-Aligudarz). Geography and Environmental Planning, 32(2), 1-22. *(In Persian*)

https://gep.ui.ac.ir/article_25665.html

Antikainen, H. (2013). Using the Hierarchical Pathfinding A* Algorithm in GIS to Find Paths through Rasters with Nonuniform Traversal Cost, ISPRS Int. J. Geo-Inf, 2(12),996-1014.

https://doi.org/10.3390/ijgi2040996

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.

https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.10.003

Bazargan, M., amirfakhriyan, M. (2017). Optimal Routing of Emergency Relief Vehicles Using Routing Algorithm in GIS (Case Study: Mashhad City). GeoRes .32 (3) ,35-51. *(In Persian*)

https://georesearch.ir/article-1-125-fa.html

Chandio, I. A., Matori, A. N. B., & Yusof, K. B. W. (2012). Routing of road using Least-cost path analysis and Multi-criteria decision analysis in an uphill site Development. In International Conference on Civil, Offshore & Environmental Engineering (ICCOEE2012); Kuala Lumpur Convention Centre (KLCC): Kuala Lumpur, Malaysia.

Danaeinia, A., Zaghiyan, M. (2019). Locating the Temporary Resettlement of Earthquakes in Historical Context; Basics and Strategies (Case Study: Mohtasham Neighborhood in Kashan). Spatial Planning, 8(4), 27-46. *(In Persian*)

https://sppl.ui.ac.ir/article_23243.html

Darvishsefat, A. A., Ahmadi, H., Makhdomfarkhondeh, M., & Abolghasemi, SH. (2007). Routing based on the principles of life (case study: Parchin road in the east of Tehran). Natural resources of Iran. 60(1), 203-211. *(In Persian*)

https://www.sid.ir/paper/22968/fa

Davarpanah, A., Vahidnia, M. H. (2022). Optimal route finding of water transmission lines by comparing different MCDM methods and the least-cost path algorithm in a raster (Case study: from Ardak to Mashhad). Water Resources Engineering, 14(51), 39-56. *(In Persian*)

https://wej.marvdasht.iau.ir/article_5012.html

De Lima, R. M., Osis, R., de Queiroz, A. R., & Santos, A. H. M. (2016). Least-cost path analysis and multi-criteria assessment for routing electricity transmission lines. IET Generation, Transmission & Distribution, 10(16), 4222-4230.

https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1119

Januadi, M. I., Nabila, D. N. U. (2020). Routing the highway development by using SuperMap Least Cost Path Analysis (LCPA) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) and its assessment toward spatial planning. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 561(1), 1-9. IOP Publishing.

https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/561/1/012019

Mahavar, V ., Prakash, I. & Pham, B. T. (2019). Development and Application of GIS Model in the Selection of Cost Effective Road Alignment. International Journal of Applied Engineering Research, 14(15), 3413-3428.

https://www.ripublication.com/ijaer19/ijaerv14n15_13.pdf

McDonald, M. D., Kessler, F. C. (2022). Least-Cost Path and Accessibility Analysis of a High Speed Railway Corridor: Victorville, CA to Las Vegas, NV. Journal of Geographic Information System, 14(1), 40-60.

http://doi: 10.4236/jgis.2022.141003

Mirabdollahi, S., Mirabdollahi, M. (2015). To determine optimal route of intercity train (Yazd-Ardakan) via fuzzy logic. Geography and Environmental Planning, 26(1), 191-202. *(In Persian*)

https://gep.ui.ac.ir/article_18717.html

Moffat, T., Hankard, P. (1998). Strategic ecological assessment of road development.

Nasiri Hendehkhale, E., & Ganji, N. (2021). Determining the Optimal Route Network, Using Geographic Information System (Case Study: RoodSar-Qazvin Road). Human Geography Research, 53(1), 65-84. *(In Persian*)

https://jhgr.ut.ac.ir/article_72865.html

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.

doi:10.5923/j.ajgis.20170602.02

Rahmani, M. (2016). Zoning of road accident-prone to determine the black spots by using GIS(Case Malayer, Hamedan path). , 9(34), 155-175. *(In Persian*)

https://ebtp.malayer.iau.ir/article_527330.html

Rees W.G. (2004). Least-cost paths in mountainous terrain.Computers & Geosciences, 30(3), 203-209.

https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.11.001

Rostami, M., Kiamehr, R., & Bayat, R. (2016). A Knowledge-based Approach to Inter-layer Weighting for Optimal Route Location using Geospatial Information System (GIS) (Case study: Ilam-Homeil road). Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 24(96), 5-19. *(In Persian*)

https://www.sepehr.org/article_18940.html

Saffarzadeh, M., Rad, A., Saffarzadeh, M., & Mirzabrojerdian, A. (2006). Preliminary Route Corridor Location Considering the Compulsory Points and the Protected Areas. Journal of Transportation Research, 3(1), 35-47. *(In Persian*)

https://www.trijournal.ir/article_11342.html

Sarı, F., Sen, M. (2017). Least cost path algorithm design for highway route selection , International Journal of Engineering and Geosciences , 2 (1) , 1-8 .

https://doi.org/10.26833/ijeg.285770

Suleiman, S., Agarwal, V., Lal, D., & Sunusi, A. (2015). Optimal route location by least cost path (LCP) analysis using (GIS) a case study. International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, 4(44), 9621-9626.

http://ijsetr.com/uploads/431265IJSETR7417-1645.pdf

Tang, Q., Dou, Wanfeng.(2023). An Effective Method for Computing the Least-Cost Path Using a Multi-Resolution Raster Cost Surface Model. ISPRS International Journal of Geo-Information. 12(7),1-20.

https://doi.org/10.3390/ijgi12070287

Yildirim, F., Kadi, F. (2022). Production of optimum forest roads and comparison of these routes with current forest roads: a case study in Maçka, Turkey. Geocarto International, 37(8), 2175-2197.

https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1818852

Youtube.(2016). Computer science channel uploaded.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۲۲۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۷۸
دانشگاه سیستان و بلوچستان

نقش فناوری‌های جغرافیایی در مسیریابی راه‌های ارتباطیِ بین‌شهری با تأکید بر الگوریتم دایکسترا (نمونهٔ موردی: جادهٔ اردبیل-سرچم)

محمدتقی معصومی[1*]، بهنام باقری[2]

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای
زمستان ۱۴۰۲، سال ۱۳، شمارهٔ ۴۹
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶
صفحات : ۹۲-۶۵

واژه‌های کلیدی:
اردبیل سرچم، راه، الگوریتم دایکسترا، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مسیر کم‌هزینه (LCPA)

چکیده

درنظرگرفتن معیارهای صحیح در تعیین مسیر جاده‌ها می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش هزینه‌های اقتصادی، افزایش ایمنی و دسترسی به جاده‌ها در کنار حفظ محیط‌زیست ایفا کرده و زمینهٔ رشد و شکوفایی منطقه را فراهم کند. این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و با هدف شناسایی مسیری کم‌هزینه و ایمن برای ارتباط شهر اردبیل با مرکز کشور ازطریق آزادراه تبریز-زنجان انجام شده است. داده های مورد نیاز برای انجام پژوهش که شامل نقاط ارتفاعی به‌دست‌آمده از تصویر Google Erath و تصویر ماهوارهٔ OLI Landsat-9 است، جمع آوری شد. مدل رقومی ارتفاع، نقشهٔ توپوگرافی، نقشهٔ شیب از تصویر گوگل‌ارث و نقشهٔ کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای لندست استخراج شد. سپس مسیر جادهٔ فعلی اردبیل-سرچم از تصویر گوگل‌ارث رقومی شده و وضعیت جاده از منظر شیب بررسی و شیب‌های خطرناک در آن شناسایی شده‌اند. در مرحلهٔ آخر با استفاده از مدل بیلدر سیستم اطلاعات جغرافیایی و با بهره‌گیری از الگوریتم دایکسترا، کم‌هزینه‌ترین مسیر از اردبیل به سرچم با درنظرگرفتن عامل شیب و سپس با درنظرگرفتن همزمان دو عامل شیب و کاربری اراضی منطقه شناسایی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مسیر پیشنهادی نسبت‌به مسیر فعلی اردبیل به سرچم، هم از لحاظ طول جاده و هم از لحاظ شیب جاده و کاربری اراضی، وضعیت به‌مراتب بهتر و ایمن‌تری دارد به‌طوری‌که طول جاده ۲۵ کیلومتر کم شده و ۱۵ کیلومتر از مسیر که دارای شیب تا ۱۰ درصد و خطرناک بود، به ۸/۶ کیلومتر کاهش یافته و این کاهش باعث کم‌شدن هزینه‌های اقتصادی، ایمنی بیشتر برای مسافران و ساکنان بومی منطقه خواهد شد. همچنین در مسیر پیشنهادی عبور جاده از مراتع درجه یک کاهش یافته و از ۳۶ کیلومتر به ۲۲ کیلومتر رسیده است، عبور از مزارع آبی مسیر که قبلاً ۲۶ کیلومتر را پوشش می‌داد، در مسیر پیشنهادی بهینه به ۱۳ کیلومتر کاهش یافته است و این تأثیر مهمی در حفظ محیط‌زیست خواهد داشت.

مقدمه

راه‌ها، مانند پیش‌نیاز و زیربنای توسعه، نقش اساسی و بنیادی در باروری امکانات و استعدادهای بالقوهٔ جوامع دارد و موجب برقراری و تقویت بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشورها می‌شود (علی محمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲). از طرفی توسعه‌های شهری، افزایش مسیرها و ارتباطات را به‌دنبال داشته که نقش جابه‌جایی را پررنگ می‌کند. آنچه در این میان اهمیت می‌یابد، مسیریابی و مدیریت حرکت در این مسیرهاست (بازرگان و امیرفخریان، ۱۳۹۶: ۳۵). مسئلهٔ انتخاب و طراحی جاده های جدید بین شهرها یک مشکل مشترک در مهندسی حمل‌ونقل محسوب می‌شود (SANI SULEIMAN et al, 2015: 9621). براین‌اساس عملکرد راه‌ها به‌عنوان یکی از ساختارهای زیربنایی در توسعهٔ اقتصاد ملی نیاز به تأکید بیشتری ندارد، اما با وجود این، توسعهٔ جاده هایی با طراحی نامناسب اثرهای منفی گسترده‌ای بر محیط‌زیست بر جای خواهد گذاشت (نصیری هندخاله و گنجی، ۱۴۰۰: ۶۶).

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) Taqi.masoumi@iauardabil.ac.ir
۲- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران bagheribehnam@pnu.ac.ir

احداث بزرگراه‌ها یکی از مهم‌ترین نیازهای کشورهای مختلف برای دست‌یابی به توسعه و بهره‌مندی از شیوه‌های حمل‌ونقل برای انتقال کالا و خدمات در زمان کم‌تر و ایمنی بیشتر است. درنتیجه توسعهٔ ایجاد بزرگراه‌های جدید، امری اجتناب‌ناپذیر است(Moffat and Hankard, 1998: 9). بزرگراه به‌عنوان اتصال شبکهٔ راه، نقش مهمی در توسعهٔ منطقه‌ای ایفا می‌کند که می‌تواند بر شکاف‌های توسعهٔ منطقه‌ای غلبه کند (Januadi & Nabila, 2020: 1). در این میان هزینه و ایمنی دو عامل مهم در تحلیل شبکهٔ راه‌ها هستند. مهم‌ترین ملاحظات در انتخاب مسیر برای بزرگراه ویژگی‌های فیزیکی منطقه‌ای که شامل توپوگرافی، شرایط زمین و کاربری اراضی اطراف است (Mahavar, et al., 2019: 3413). در مسیریابی اساسی‌ترین پارامتر یافتن کوتاه‌ترین راه یا زیرساخت خطی است (Chandio, et al., 2012: 1). در حالت ایدئال ارتباط پست‌های مبدأ و مقصد با یک خط مستقیم است؛ زیرا با کوتاه‌شدن مسیر خط، مقدار هزینهٔ عملیات اجرایی مانند نقشه‌برداری، زمین‌شناسی، مکانیک خاک و هزینه‌های آسفالت جاده از طرف دیگر کاهش چشم‌گیر خواهد یافت (میرعبدالهی و میرعبدالهی، ۱۳۹۴: ۱۹۱)؛ بنابراین انجام مطالعات گسترده برای تعیین معیارهای مؤثر در انتخاب مسیرهای جاده‌سازی به‌ویژه معیارهای محیط‌زیستی در همهٔ مراحل طراحی و بهره برداری، منجر به پیشگیری از وقوع بحران های محیط‌زیستی در آینده، تضمین کارایی مطلوب، کاهش تعارض بین کاربری‌ها و کاهش هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از استقرار ناموزون آن می‌شود (عابدیان و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۸). امروزه یافتن مسیر مناسب برای ایجاد یک راه ارتباطی در حوزهٔ جغرافیایی معیّن، جزو مراحل مهم پروژه‌های راه‌سازی به شمار می‌رود. مسیر نهایی باید حتی‌الامکان همهٔ شرایط و قیود مورد نیاز را برآورده سازد. از طرفی حساس‌بودن راه های ارتباطی از نظر امنیتی، اقتصادی و اجتماعی، اهمیت این موضوع را مضاعف کرده و توجه ویژه به مسیریابی صحیح و بهینه درجهت احداث راه‌ها بسیار ضروری است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶). نخستین مرحله در طراحی یک مسیر نیازسنجی ساخت آن است. این نیاز بستگی به برنامه‌های دولت در گسترش و پیشرفت کشور دارد. ساخت هر راه در هر گوشه‌ای از کشور، بافت آن منطقه را دگرگون می‌کند. برنامه‌ریزان کلان کشور در نیازسنجی راه‌ها و اولویت‌دهی به احداث آن‌ها از الگویی پیروی می کنند که مواردی را دربرمی گیرد، ازجمله: سیاست کشور در زمینهٔ اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، فرهنگی، صنعتی، نظامی و کشاورزی؛ چگونگی ترافیک حال و آینده؛ سیاست کشور در زمینهٔ به‌کارگیری یک روش ترابری مناسب، با توجه به فناوری روز؛ پراکندگی شبکهٔ راه های ساخته‌شده و گسترش آن‌ها. همانند هر پروژهٔ صنعتی، مسیریابی و ساخت راه باید بر پایهٔ یک نگرش قرار داشته باشد. هدف از ساخت راه بهبود ترابری (مسافر و کالا) است؛ بنابراین راهی که ساخته می شود باید از دیدگاه فنی تأمین‌کنندهٔ اهداف زیر باشد: ساخت مسیر هزینهٔ زیادی نداشته باشد؛ برای بهره‌بردار، ایمنی لازم را داشته باشد؛ آسایش و رفاه همهٔ مردم را در نظر داشته باشد؛ خسارت زیست‌محیطی آن از حداقل های مجاز فراتر نرود؛ مخارج نگهداری و بهره برداری آن بهینه باشد؛ مطابق با استانداردهای مطرح‌شده در آیین‌نامه‌های طرح هندسی راه باشد (صفارزاده و همکاران، ۱۳۸۵: ۳۵). از دیدگاه محیط‌زیستی نیز 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 (دانایی و زاغیان،۱۳۹۲: ۳۱). اغلب مسیرهای طراحی‌شده با روش‌های معمول از همهٔ ملاحظات و استانداردهای فنی-مهندسی، اقتصادی و زیست‌محیطی برخوردار نبوده و این امر به افزایش هزینه‌های احداث مسیرهای ارتباطی منجر شده و علاوه بر آن ممکن است با عبور از نواحی غیرمجاز موجب تخریب

محیط‌زیست شود و مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کند. با توجه به این مسئله فناوری مکانی ابزاری مفید در شناسایی کریدورهای زمینی برای شبکهٔ حمل‌ونقل است (McDonald and Kessler, 2022: 40). در این راستا، بهره‌گیری از اصول نوین و مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند نقش بسزایی در حل مسئلهٔ مسیریابی ایفا کند. در طراحی مسیر به‌وسیلهٔ سیستم اطلاعات جغرافیایی می توان عوامل مؤثری چون عوامل فنی-مهندسی، اقتصادی و زیست‌محیطی را مدلسازی و با انجام تحلیل‌های مورد نیاز مسیر بهینه را تعیین کرد (Antikainen, 2013: 998). محدودهٔ مورد مطالعه در این پژوهش جزو راه‌های اصلی استان اردبیل و شاهراه ارتباطی این استان با مرکز کشور است. قسمت اعظم مسیر در جنوب استان اردبیل بوده و بخشی نیز در حوزهٔ استحفاظی شهرستان میانه در آذربایجان شرقی قرار دارد. حساس‌بودن این مسیر ارتباطی از نظر اقتصادی، اجتماعی و گردشگری اهمیت موضوع انتخاب مسیر بهینه را دوچندان می کند. شاهراه ارتباطی و اصلی استان اردبیل با مرکز کشور و همچنین تغییر مسیر ترانزیت این استان از گیلان به سرچم باعث اهمیت روزافزون این مسیر شده است. درکنار این موضوع عوامل دیگری مانند حجم بالای ترافیک جادهٔ اردبیل-سرچم که باعث بروز تصادفات جاده ای زیادی شده است، کوهستانی و برفگیربودن این مسیر، داشتن شیب بالای جاده به طول ۳۲ کیلومتر، نبودن امکانات جاده‌ای مناسب و حجم بالای عبور وسایط نقلیهٔ سنگین و سبک ضرورت و اهمیت مطالعه و تعیین مسیر بهینه را کاملاً توجیه می‌کند. هدف این پژوهش بررسی وضعیت جادهٔ اردبیل-سرچم از نظر میزان شیب در قطعات مختلف جاده و کاربری اراضی متأثر از احداث این جاده بوده و درنهایت با توجه به دو مؤلفهٔ مذکور و با بهره گیری از قابلیت های تکنیک‌های جغرافیایی (سنجش‌ازدور و GIS) مسیرهای بهینه و کم‌هزینه شناسایی می‌شوند.

در طرح‌ها و پروژه‌های طراحی مسیر یا راه‌سازی برای به‌حداقل‌رساندن کاهش آسیب و کم‌کردن هزینه در کنار استفاده از منابع و امکانات، از مسیریابی با کمک سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود که تاکنون در این زمینه بررسی های زیادی انجام شده، ازجمله: داورپناه و وحیدنیا (۱۴۰۰) در تحقیقی برای تعیین مسیر بهینهٔ خطوط انتقال آب با مقایسهٔ روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره و الگوریتم مسیر بهینه در رستر در مسیر ارداک به مشهد، نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که دقت انجام این‌گونه مطالعات به مقدار زیادی وابسته به دقت نتایج استخراج‌شده از GIS است. بازرگان و امیر فخریان (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان مسیریابی بهینهٔ خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی در سیستم جغرافیایی مطالعهٔ موردی شهر مشهد، به بررسی مسیر پرداخته و نتیجه نشان می دهد در صورت سالم‌بودن مسیر اورژانس در فاصلهٔ زمانی ۵/۹ دقیقه به محل وقوع حادثه می رسد، اما در صورت خرابی مسیر زمان برای اورژانس به ۹/۹ دقیقه خواهد رسید. در تحقیقی دیگر، رحمانی (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی تصادفات جاده ای با هدف تعیین نقاط حادثه‌خیز با استفاده از GIS در مسیر همدان-ملایر پرداخته است. درویش‌صفت و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی با عنوان مسیریابی براساس اصول زیست‌محیطی با استفاده از GIS مطالعهٔ موردی جادهٔ پارچین، به این نتیجه رسیده‌اند که با استفاده از GIS به‌خوبی می‌توان مسیر مناسب برای احداث راه ها را ضمن رعایت اصول زیست‌محیطی تعیین کرد. بگلی[1] و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی برای تعیین مسیر خطوط انتقال نیرو در کشور ایتالیا، از تلفیق آنالیز کم‌هزینه‌ترین مسیر با تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند. نتایج نشان داده که مسیر بهینه به لحاظ طول مسیر و میزان هزینهٔ ساخت بهتر از مسیر خطوط

1 Bagli

انتقال نیروی فعلی است. در پژوهشی انگانی[1] و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور مسیریابی بهینه با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، به این نتیجه رسیده‌اند که مسیر بهینه از نظر محیط‌زیستی ۹۰ کیلومتر طولانی‌تر از مسیر مهندسی است. ییلدریم و کادی (۲۰۲۲) در تحقیقی که در ترکیه برای بهبود مسیرهای جنگلی موجود از تصمیم‌گیری چندمنظوره و مسیریابیGIS استفاده‌کردندو درنهایت‌راهکارهایی‌برای‌احداث مسیرهای‌جدیدارائه‌کردند.

مبانی نظری تحقیق

دلایل متعددی برای نشان‌دادن اهمیت برنامه‌ریزی مسیر راه‌های ارتباطی وجود دارد. به همان اندازه که شریان‌ها در بدن موجودات زنده اهمیت دارند، راه‌ها نیز از اهمیت برخوردارند؛ زیرا ازطریق این شریان‌ها جابه‌جایی انسان و کالاهای مورد نیاز آن‌ها صورت می‌گیرد. برنامه ریزی مسیر می‌تواند این اطمینان را ایجاد کند که تحویل کالاها به‌موقع انجام می‌شود و درنتیجه به بهبود رضایت مشتری کمک کرده و علاوه‌براین تضمین می‌کند که کالاها و خدمات به کارآمدترین روش ارائه می‌شوند و درنهایت، می‌تواند با صرفه جویی در سوخت و استفادهٔ بهینه از نیروی کار در هزینه های عملیاتی به صرفه‌جویی کمک کند. همه این‌ها با مسیریابی بین مبدأ و مقصد و درعین‌حال بهینه‌سازی فرایند با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر انجام می‌شود. یافتن مسیر، مرحلهٔ اولیهٔ فرایند برنامه‌ریزی احداث راه‌های ارتباطی بین سکونتگاه‌های انسانی است که در آن طراح با درنظرگرفتن محدودیت‌های موجود بهترین مناطق را برای عبور تعیین می‌کند. طراح باید جنبه‌های متعدد مانند مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی، موانع مانند پل‌ها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مناطق شهری، جنگل‌ها، مراتع و مزارع و... را در هنگام تعیین مسیر بهینه در نظر بگیرد. این فرایند را می‌توان به‌عنوان یک مسئلهٔ بهینه‌سازی تعریف کرد که در آن هدف اصلی به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های احداث، نگهداری و جابه‌جایی و استهلاک وسایل نقلیه، تلفات جانی و خسارات مالی است که تحت‌تأثیر جنبه‌های کاملاً فنی و جغرافیایی وابسته به دسترسی، محیط، پیچیدگی زمین (شیب و ناهمواری)، ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک، کاربری زمین، مناطق شهری، جنگل‌ها، مناطق کشاورزی، زیرساخت‌های موجود و... است (Delima et al, 2016: 4222). هدف تعیین کوتاه‌ترین مسیر در یک لایهٔ رستری، یافتن حداقل فاصله بین دو نقطه داده شده است. درحالی‌که ممکن است منطقه شامل موانع مختلف یا زمین‌های متنوع باشد. اکثر روش‌های مسیریابی در عمل مبتنی بر الگوریتم‌های کم‌هزینه است. به‌طور خاص، الگوریتم دایکسترا[2] و الگوریتم Bellman-Ford مؤثرترین و پرکاربردترین الگوریتم‌ها هستند (Sarı & Sen, M,2017:2).

الگوریتم دایکسترا یک الگوریتم مسیریابی متمرکز است که اطلاعات را در یک مکان مرکزی حفظ می‌کند. هدف این تحلیل، یافتن کمترین هزینهٔ جابجایی از یک گره مشخص به همهٔ گره‌های دیگر است. این الگوریتم با بهینه سازی هزینه در تکرارهای متعدد، مسیرهای کم‌هزینه از یک گره مبدأ به یک گره مقصد را تعیین می‌کند. برای فهم سریع الگوریتم دایکسترا مراحل آن به‌طور خلاصه ارائه می‌شود (Rees, 2004: 205).

۱. ورتکس ابتدایی با فاصلهٔ صفر مشخص می‌شود (چون هر گره از خودش فاصلهٔ صفر دارد)، و به‌عنوان ورتکس جاری در نظر گرفته می‌شود.

1 Ngunyi
2 Dijkstra

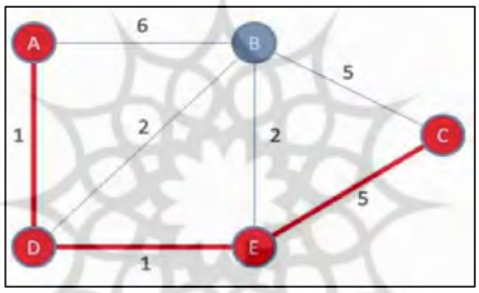
۲. همهٔ ورتکس‌های همسایهٔ ورتکس جاری پیدا شده و فاصلهٔ آن‌ها از ورتکس جاری محاسبه می‌شود. اگر فاصلهٔ حاصل بزرگ‌تر از فاصلهٔ ثبت‌شده در محاسبات قبلی باشد، فاصلهٔ حاصل ثبت نمی‌شود (چون هدف یافتن کم‌ترین فاصلهٔ هزینه است).

۳. ورتکس جاری به‌عنوان ورتکس مشاهده‌شده (بررسی‌شده) در نظر گرفته شده و هرگز نگاه تکراری به آن اتفاق نمی‌افتد.

۴. ورتکسی که کمترین فاصلهٔ هزینه را از ورتکس جاری قبلی دارد به‌عنوان ورتکس جاری جدید در نظر گرفته شده و عملیات از مرحلهٔ ۲ بالا روی آن تکرار می‌شود.

۵. عملیات تا زمانی ادامه می‌یابد که فاصلهٔ هزینه بین نقطهٔ پایانی و نقطهٔ ابتدایی به‌دست آمده باشد.

برای فهم بهتر الگوریتم دایکسترا، نحوهٔ محاسبهٔ کم‌هزینه ترین مسیر بین دو نقطهٔ A و C در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمایش کم‌هزینه‌ترین مسیر بین دو نقطه با الگوریتم دایکسترا،
منبع e(Youtube. Computer science channel uploaded 2016)

در شکل ۱ هدف یافتن کم‌هزینه ترین مسیر بین دو نقطهٔ A وC است. گراف مورد نظر دارای پنج گره و هفت لبه (که هزینهٔ عبور از آن روی آن نوشته شده) است. ابتدا گره A به‌عنوان ورتکس جاری در نظر گرفته می‌شود و محاسبات به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱. نحوهٔ محاسبات فاصلهٔ هزینه در الگوریتم دایکسترا

ورتکس	کم‌هزینه‌ترین فاصله از ورتکس A	ورتکس قبلی
A	صفر	---
B	۳	D
C	۷	E
D	۱	A
E	۲	D

همان‌طوری‌که در جدول ۱ می توان دید، در شکل ۱ کم‌هزینه ترین مسیر بین مبدأ (نقطهٔ A) و همهٔ نقاط واقع در فضای مورد مطالعه محاسبه شده است. تحلیل مسیر کمترین هزینه از لایه های رستری استفاده می کند و با استفاده از رستر هزینه که هزینهٔ سفر ازطریق هر سلول را مشخص می‌کند، مسیر بین سلول‌ها را با کمترین هزینهٔ تجمعی

کشف می‌کند. برای انجام این تحلیل، یک رستر نشان‌دهندهٔ نقطهٔ مبدأ، یک رستر هزینه و یک الگوریتم برای تعیین مسیر هزینهٔ تجمعی لازم است. هنگام اجرای این تحلیل، سه مرحلهٔ اصلی وجود دارد: اولین مرحلهٔ تهیهٔ لایهٔ هزینهٔ فاصله است؛ برای مثال به منظور مسیریابی یک مسیر پیاده‌روی، ماتریس هزینه می تواند شیب در نظر گرفته شود و بنابراین هرچه شیب بیشتر باشد، هزینهٔ آن بیشتر خواهد بود. مرحلهٔ دوم تولید لایهٔ هزینه یک لینک است. یک لایهٔ رستری که نشان‌دهندهٔ جهتی است که مسیر با هر ۸ جهت اصلی ممکن از یک سلول به سلول دیگر در آن حرکت خواهد کرد و سرانجام مرحلهٔ سوم این تحلیل تولید لایهٔ رستری، مسیر هزینه است که با استفاده از فاصلهٔ هزینه، یک لینک هزینه و لایهٔ مقصد محاسبه می شود. نتیجهٔ حاصل از این تحلیل مقرون‌به‌صرفه‌ترین مسیر از نقطهٔ شروع تا مقصد نهایی است.

در صورت استفاده از الگوریتم دایکسترا برای تعیین مسیر کم‌هزینه، تنظیم تابع هزینهٔ گره‌ها براساس اصول اساسی الگوریتم دایکسترا ضروری است (Sarı & Sen, M,2017:2). با فرض اینکه یک مسیر P در سطح هزینهٔ f داده شده است، مسیر کم‌هزینه Min Lsum (P, f) به‌صورت زیر بیان می‌شود (Tang and Dou, 2023: 3).

$$Min\ Lsun(p.f) = \sum_{i.j\ \varepsilon\ P} [\left(\frac{f(i)+f(j)}{2}\right) * l(i.j)]$$

که در آن، f(i) مقدار سلول i در سطح هزینهٔ f و l(i.j) نشان‌دهندهٔ فاصلهٔ مستقیم بین سلول‌های i و j است. این رابطه مسیر حداقل هزینهٔ LCP را در اختیار محقق قرار می‌دهد. در این رابطه، عبارت $\left(\frac{f(i)+f(j)}{2}\right) * l(i.j)$ هزینهٔ تجمعی بین دو سلول مجاور هم i و j است (Januadi, & Nabila, 2020: 2).

در این الگوریتم هزینهٔ سفر بین یک گره و گره بعدی به جهت‌گیری فضایی گره‌ها بستگی دارد. نحوهٔ اتصال سلول‌ها نیز بر هزینهٔ سفر تأثیر می‌گذارد. توپولوژی در این محاسبهٔ هزینه مهم است. هنگام انتقال از یک سلول به یکی از چهار همسایهٔ متصل مستقیم آن، هزینه را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد.

$$a1 = (cost1 + cost2)/2$$

که در آن cost1، هزینهٔ سلول ۱، cost2، هزینهٔ سلول ۲ و a1، کل هزینهٔ پیوند از سلول ۱ به سلول ۲ است. هزینهٔ تجمعی را می‌توان با فرمول زیر تعیین کرد:

$$accum_{cost} = a1 + (cost2 + cost3)/2$$

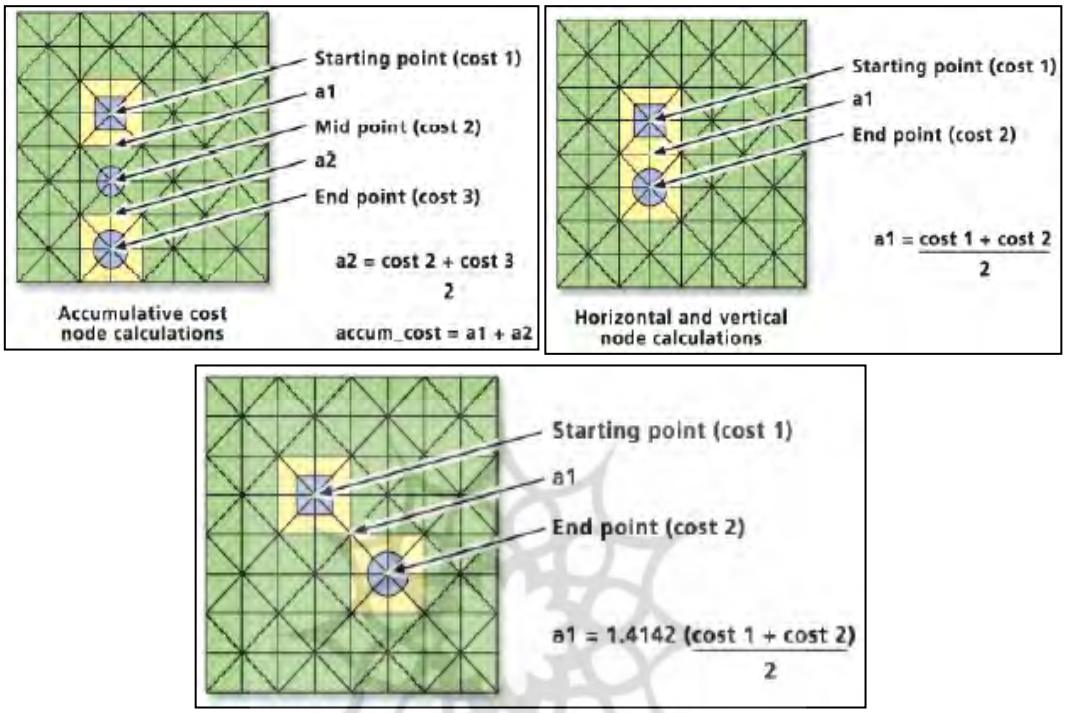
که در آن cost2، هزینهٔ سلول ۲، cost3، هزینهٔ سلول ۳ و a1 هزینهٔ جابه‌جایی از سلول ۱ به ۲ و accum_cost هزینهٔ تجمعی از نقطهٔ ۱ به ۳ است.

اگر حرکت مورب باشد، هزینهٔ سفر بیش از حد لینک را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد (عدد ۱.۴۱۴۲۱ جذر ۲ است):

$$a1 = 1.414214(cost2 + cost3)/2$$

هنگام تعیین هزینهٔ تجمعی برای حرکت مورب نیز از فرمول زیر استفاده می‌شود:

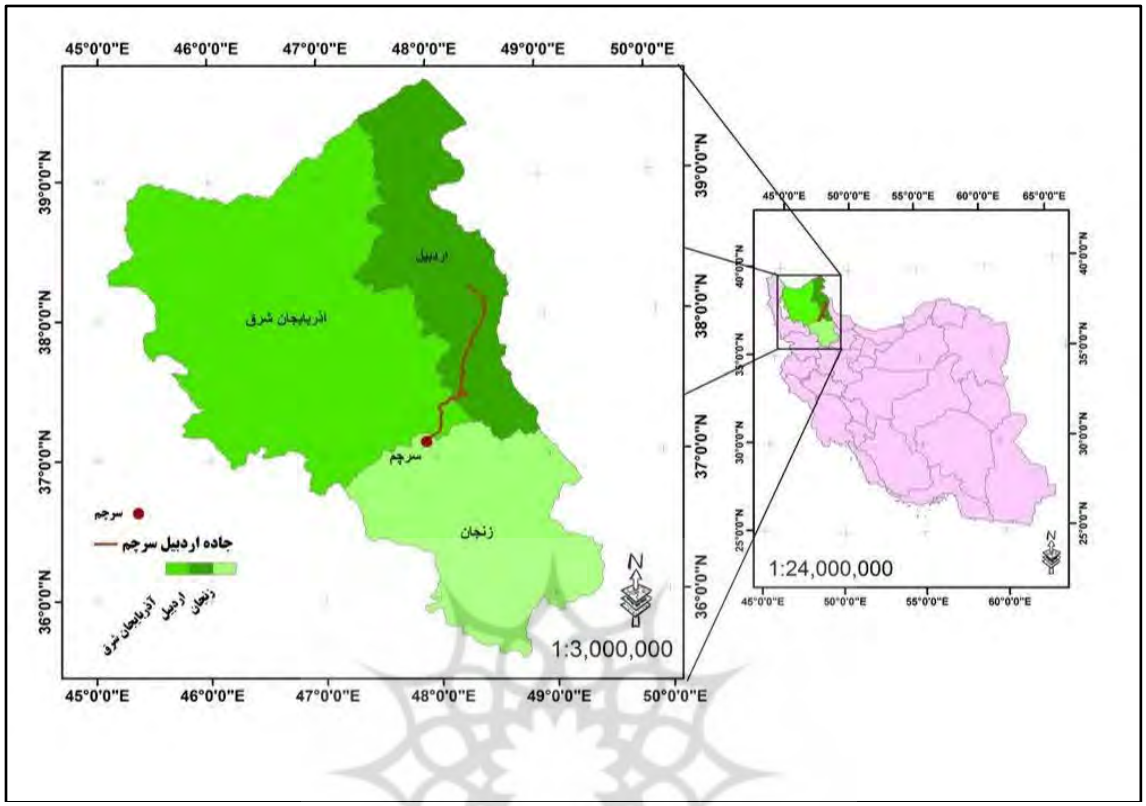
$$accun_{cost} = a1 + 1.414214(cost2 + cost3)/2$$



شکل ۲. محاسبهٔ فاصلهٔ هزینه در سلول‌های مجاور در جهت عمودی و افقی (سمت راست)، محاسبهٔ فاصلهٔ هزینهٔ تجمعی بین‌سلولی در جهت عمودی و افقی (سمت چپ) و محاسبهٔ فاصلهٔ هزینه در سلول‌های مورب (پایین) (منبع: Sarı & Sen,2017:3)

محدودهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه در حد واسط استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و زنجان قرار دارد (شکل ۳). این مسیر شریان اصلی ارتباطی استان اردبیل با مرکز کشور است. نامگذاری این جاده براساس نقطهٔ اتصالی است که در ناحیهٔ سرچم زنجان، جادهٔ مذکور از اردبیل به اتوبان زنجان تبریز وارد می‌شود. این جاده از دشت اردبیل شروع و پس از گذشتن از کوهستان‌های خلخال با ارتفاع نزدیک به ۲۰۰۰ متر و گذشتن از دره‌های عمیق ناحیهٔ شکار ممنوع مشکول در حوزهٔ استحفاظی شهرستان خلخال، در ناحیهٔ سرچم وارد اتوبان می‌شود. برفگیربودن نواحی عبوری این جاده در کوهستان، شیب بسیار زیاد جاده در همین کوهستان، تعداد بالای وسایل نقیله‌ای عبوری از این مسیر و تعداد بالای تصادفات در این مسیر از مشخصات این جاده است.



شکل ۳. نقشهٔ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر هدف از نوع تحقیق کاربردی و از لحاظ روش از نوع تحقیقات توصیفی و تحلیلی است. در فاز اول، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل، از اسناد و مدارک کتابخانه‌ای جمع‌آوری و در صورت نبود یا عدم‌دسترسی به آن‌ها تولید شده‌اند، در فاز دوم وضعیت مسیر فعلی جادهٔ اردبیل سرچم از منظر شیب بررسی شده و در فاز سوم با استفاده از مدل بیلدر سیستم اطلاعات جغرافیایی و با بهره‌گیری از الگوریتم دایکسترا، کم‌هزینه‌ترین مسیر از اردبیل به سرچم شناسایی شده‌اند. در فاز اخیر ابتدا مسیر کم‌هزینه فقط با درنظرگرفتن عامل شیب و سپس با درنظرگرفتن همزمان دو عامل شیب و کاربری اراضی منطقه تعیین و پیشنهاد شده است. برای انجام فازهای مختلف تحقیق از داده‌ها و اطلاعات به شرح جدول ۲ استفاده شده است.

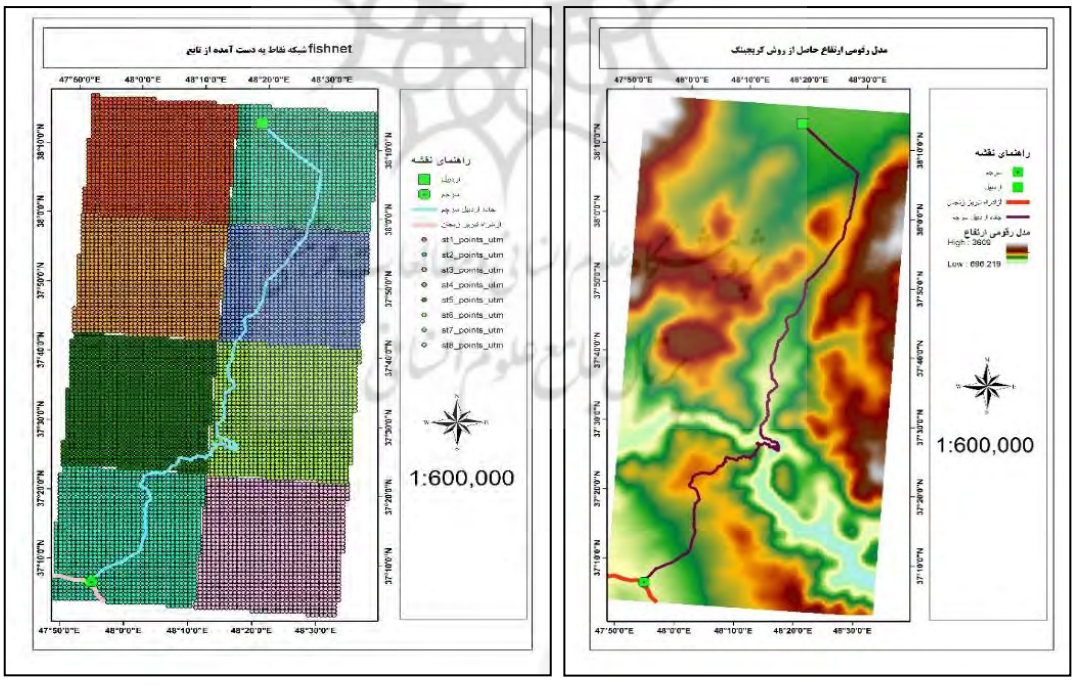
جدول ۲. داده‌های مورد نیاز تحقیق

داده	منبع	کاربرد در تحقیق
تصویر ماهوارهٔ لندست ۹ (سال ۲۰۲۳)	سایت earth explorer	تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی منطقه
تصویر گوگل‌ارث	سایت گوگل‌ارث	تهیهٔ فایل KML نقاط نمونه و برداشت مسیر جادهٔ اردبیل سرچم
داده‌های ارتفاعی	سایت GPS visualizer	تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM)
مدل رقومی ارتفاع (DEM)	دادهٔ ارتفاعی حاصل از سایت GPS visualizer	تهیهٔ نقشهٔ شیب

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

فاز اول تحقیق: جمع‌آوری و تولید داده‌های مورد نیاز

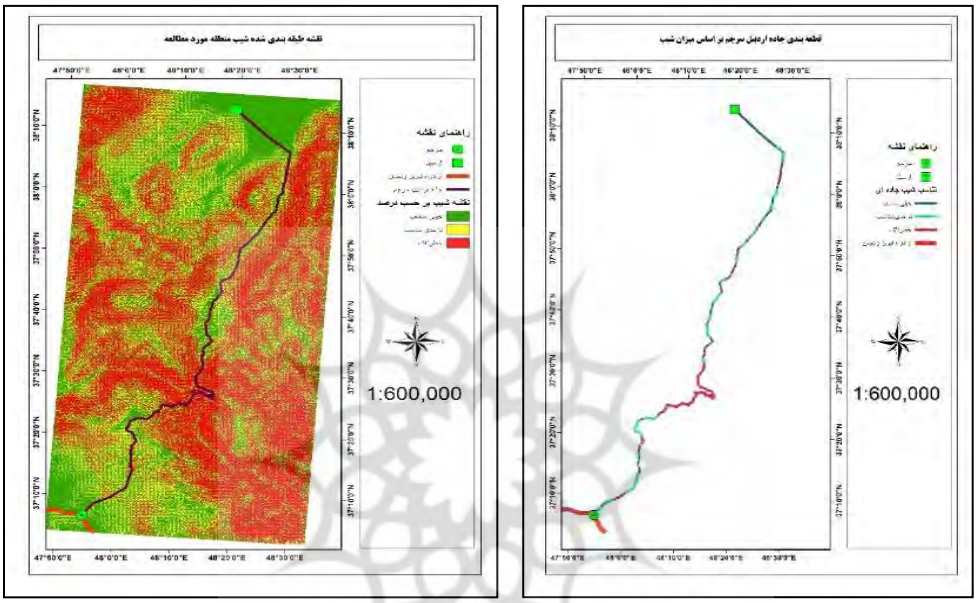
در این تحقیق برای بررسی موضوع، ابتدا محدودهٔ مورد مطالعه روی تصویر Google Earth مشخص شده و با استفاده از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی و تابع create fishnet شبکه‌ای از نقاط با فواصل دویست متری در منطقهٔ مورد مطالعه استخراج شد (شکل۴ سمت چپ). شبکهٔ نقاط به‌دست‌آمده با توجه به وسعت زیاد منطقه و محدودیت نرم‌افزار ارائه‌دهندهٔ ارتفاع نقاط، منطقه به هشت قسمت مساوی تقسیم شده و در هرکدام از مناطق هشت‌گانه حدود ۲۵۰۰ نقطه استخراج شده است. فایل‌های ایجادشدهٔ هشت‌گانه در محیط GIS به فرمت KML که مورد پسند Google Earth است تبدیل شدن و در مرحلهٔ بعدی و ارتفاع نقاط در لایه‌های KML در هر منطقه از سایت GPS Visualizer استخراج شد. فایل‌های متنی به‌دست‌آمده از سایت مذکور برای هر منطقه با استفاده از قابلیت‌های GIS به نقشه با فرمتShape File تبدیل شده و درنهایت با دستور Merge به یک لایه و نقشه تبدیل شدند و در این فرایند کل نقاطی که برای تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند، ۹۰۳۲ نقطه بوده است (حذف نقاط با درنظرگرفتن کشیدگی جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه صورت گرفته است). شیپ فایل به‌دست‌آمده با این فرایند پروجکت‌شده و سیستم مختصات UTM به آن تعلق گرفته است و در مرحلهٔ بعدی با استفاده از روش کریجینگ (Kriging) مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با سلول‌های ۸۰ متری تولید شده است (شکل ۴ سمت راست).



شکل ۴. شبکهٔ نقاط حاصل از تابع fishnet (سمت چپ) و مدل رقومی ارتفاع (DEM) حاصل از اطلاعات ارتفاعی نقاط حاصل از تابع fishnet (سمت راست) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

فاز دوم تحقیق: بررسی وضعیت مسیر فعلی جادهٔ اردبیل سرچم از منظر شیب

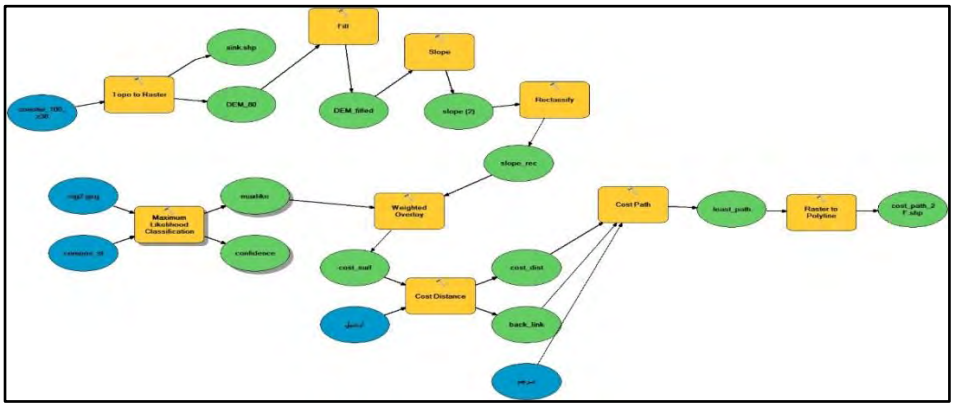
نقشهٔ شیب منطقه با استفاده از مدل رقومی به‌دست‌آمده بر حسب درصد تهیه شده و به سه کلاس و طبقهٔ خیلی مناسب، مناسب و خطرناک برای جاده‌سازی طبقه‌بندی مجدد شده است و نقشهٔ وکتوری شیب حاصل شده است. مسیر فعلی جادهٔ اردبیل سرچم با استفاده از تصویر Google Earth و به روش on Screen Digitizing به طول ۱۷۶ کیلومتر برداشت شده و به نقشه تبدیل شده است.



شکل ۵. مسیر جادهٔ اردبیل سرچم حاصل از on Screen Digitizing روی تصویر Google Earth و نقشهٔ موقعیت مکانی شیب‌های خیلی مناسب، مناسب و خطرناک در مسیر فعلی جادهٔ اردبیل سرچم (سمت راست) و نقشهٔ شیب طبقه‌بندی‌شدهٔ منطقه (سمت چپ)
(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

فاز سوم تحقیق: استفاده از مدل بیلدر سیستم اطلاعات جغرافیایی و الگوریتم دایکسترا برای تعیین کم‌هزینه‌ترین مسیر در طراحی مسیر راه‌ها، عامل هزینه و عامل حفاظت از محیط‌زیست دو موضوع مهم هستند که باید مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد. در تحلیل مسیر کم‌هزینه، هزینه می‌تواند تابعی از زمان، مسافت یا سایر معیارها مانند زمین‌های جنگلی، اجسام آبی، سازه‌های ساخته‌شده و... باشد. برهمین‌اساس است که تحلیل‌های مربوط به تعیین مسیر دارای کمترین هزینه، برای ارزیابی مسیرهای جاده‌ای مفید است. بهترین مسیر بین دو مکان را می‌توان با استفاده از فناوری‌های جغرافیایی تعیین کرد. در این تحقیق از مدل بیلدر در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تحلیل کمترین هزینه، (LCPA)[1] به جهت تعیین مسیر بهینهٔ جادهٔ اردبیل به سرچم استفاده شده و فرایند به‌کار گرفته شده در شکل ۶ آمده است.

1 least cost path Analysis



شکل ۶. مدل عملیاتی تحقیق برای تعیین مسیر بهینهٔ جادهٔ اردبیل–سرچم با استفاده از دو عامل کاربری اراضی و شیب

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

همان‌طوری‌که در شکل ۶ دیده می‌شود، نقشهٔ شیب که در مرحلهٔ قبلی از مدل رقومی ارتفاع تهیه شده بود، به همراه نقشهٔ کاربری اراضی تهیه‌شده از تصویر ماهوارهٔ لندست ۹ همپوشانی وزنی شده است برای همپوشانی وزنی این دو لایه برای لایهٔ شیب وزن ۶۰ و برای لایهٔ کاربری اراضی منطقه وزن ۴۰ در نظر گرفته شده است. همزمان نقشهٔ شیب منطقه به ده کلاس شیب طبقه‌بندی مجدد شده و برای کمترین شیب امتیاز یک و برای بیشترین شیب امتیاز ۱۰ (به معنی هزینه) در نظر گرفته‌شده است. دربارهٔ کاربری‌های‌اراضی هم مطابق با جدول ۳ عمل شده است.

جدول ۳. وزن‌گذاری کاربری‌ها برای همپوشانی وزنی با لایهٔ شیب

کاربری اراضی	سطح تناسب	وزن
اجسام آبی	کاملاً نامناسب	۱۰
نواحی ساخت‌وسازشده	کمتر مناسب	۸
مراتع درجه ۱	کمتر مناسب	۵
بوته‌زار	تا حدی مناسب	۴
مزارع آبی	تا حدی مناسب	۳
مراتع درجه ۲	خیلی مناسب	۲
مزارع دیم	خیلی مناسب	۲

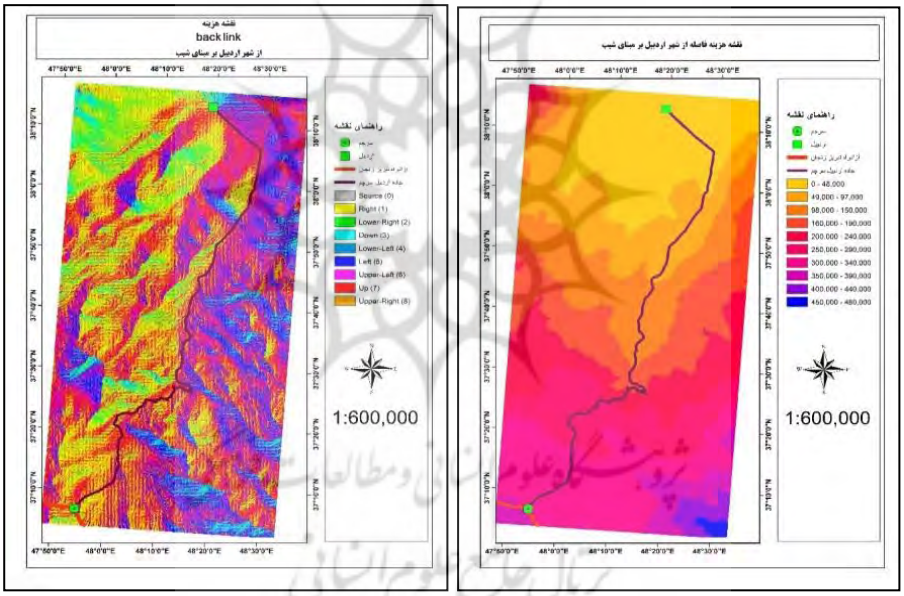
(منبع: نویسندگان۱۴۰۲)

در این تحقیق دو سناریو در نظر گرفته شده است. سناریوی اول عامل شیب و سناریوی دوم عامل شیب و عامل کاربری اراضی منطقه است. نقشهٔ شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاع منطقه که در مرحلهٔ قبلی به‌دست‌آمده، تهیه شده و قبل از تهیه با استفاده از تابع fill خطاهای احتمالی آن برطرف شده است. مدل به‌کاررفته در هر دو سناریوی مذکور دارای چهار گام است: ۱) محاسبهٔ نقشهٔ شیب و نقشهٔ کاربری اراضی منطقهٔ ۲) ایجاد سطح هزینه یا اصطکاک ۳) ایجاد سطح هزینهٔ تجمعی ۴) محاسبهٔ مسیر دارای کمترین هزینه.

گام اول: در سناریوی اول تحقیق، مدل رقومی ارتفاع بدون فروافتادگی‌های احتمالی که از روی تصویر گوگل‌ارث تهیه شده بود، برای محاسبهٔ نقشهٔ شیب منطقه به‌کار گرفته شد. نقشهٔ شیب را می‌توان به درجه یا درصد محاسبه کرد که در این مطالعه به درصد محاسبه شده است. هزینهٔ مسافرت و جابه‌جایی ازطریق شیب‌های کم در مقایسه با شیب‌های تندتر کمتر است. در سناریوی دوم با استفاده از تصویر ماهوارهٔ لندست ۹ نقشهٔ کاربری اراضی منطقه ازطریق نظارت طبقه‌بندی‌شده تهیه شده است.

گام دوم: تحلیل سطح هزینه یا اصطکاک، درحالی‌که فاصلهٔ اقلیدسی خط مستقیم است (فاصلهٔ بین مکان‌ها)، فاصلهٔ هزینهٔ حرکت یک مسافر روی یک چشم‌انداز را بررسی می کند. ابزار فاصلهٔ هزینه معمولاً برای ایجاد مسیر یا راهروی کم‌هزینه بین یک منبع و یک مقصد استفاده می شود. در این تحلیل شیب کمتر به معنای هزینهٔ کمتر و مسافت بیشتر هزینهٔ بیشتر است و اینکه مسیر جاده از کدام کاربری‌ها رد می‌شود نیز مهم است؛ زیرا هزینهٔ عبور جاده از کاربری‌های مختلف، متفاوت است. شکل (شماره ۷ سمت راست) خروجی حاصل تابع cost distance که کم‌ترین فاصلهٔ هزینهٔ تجمعی را برای هر سلول از / به منبع کم‌هزینه در سطح هزینه محاسبه می‌کند، نشان می‌دهد. در این نقشه مبدأ (اردبیل) و مقصد (سرچم) و مسیر جاده اردبیل-سرچم نیز نمایش داده شده است.

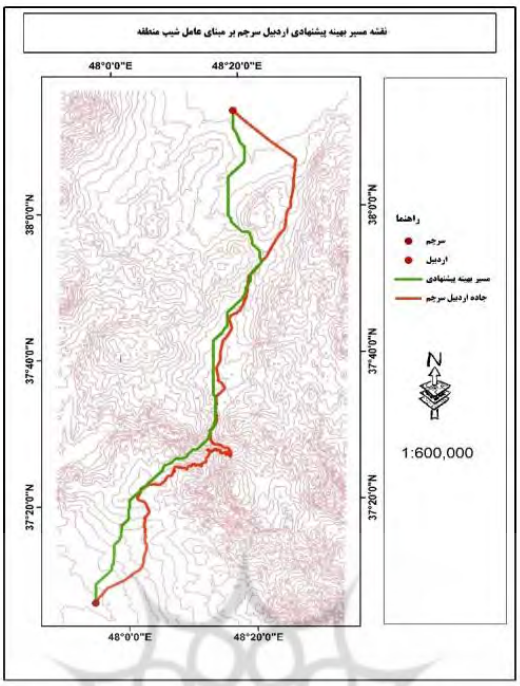
گام سوم: تحلیل سطح هزینهٔ تجمعی، این ابزار همسایه‌ای را تعریف می‌کند که سلول بعدی در مسیر کم‌ترین هزینهٔ تجمعی به منبع کم‌هزینه است. این تحلیل جهت را برای مدل مسیر هزینه فراهم می‌کند. ارزش هر سلول نشان‌دهندهٔ جهت رسیدن به مقصد است. مقدار صفر نشان‌دهندهٔ محل منبع است که در آن شمارهٔ کد درجهت عقربه‌های ساعت از سمت‌راست منبع داده می‌شود. این تحلیل کمک می‌کند تا یک مسیر جاده‌ای بهینه ایجاد شود.



شکل ۷. نقشهٔ هزینهٔ فاصله نشان‌دهندهٔ مبدأ و مقصد (سمت راست) و نقشهٔ سطح هزینهٔ تجمعی نشان‌دهندهٔ جهت رسیدن به مبدأ از هر مقصدی بر مبنای عامل شیب (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

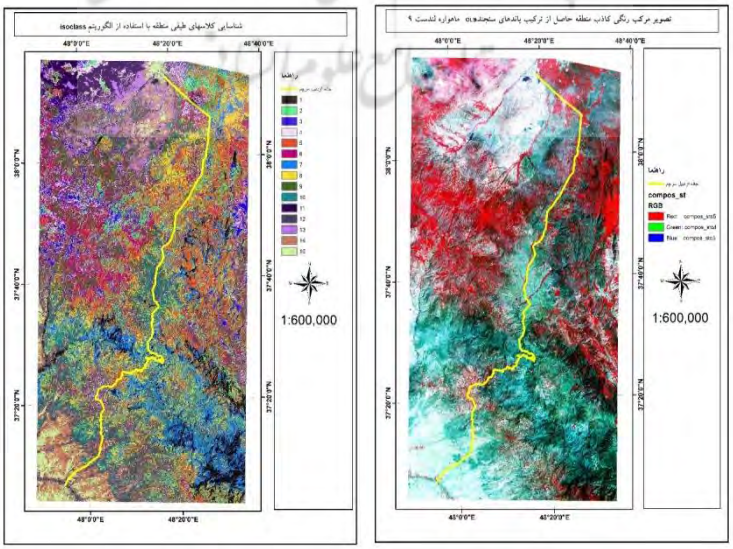
گام چهارم: محاسبهٔ مسیر دارای کمترین هزینه

در این مرحله، مسیر کم‌هزینه از یک مبدأ تا یک مقصد محاسبه می‌شود. ابزار Cost Path علاوه‌بر الزام به تعیین مقصد، از دو رستر مشتق‌شده از ابزار فاصلهٔ هزینه استفاده می کند: رستر فاصلهٔ کم‌هزینه و رستر پیوند برگشتی. این رسترها از ابزارهای Cost Distance یا Path Distance ایجاد می‌شوند. رستر بک‌لینک برای ردیابی کم‌هزینه‌ترین مسیر از مقصد تا منبع در سطح فاصلهٔ هزینه استفاده می‌شود. شکل ۸ نقشهٔ کم‌هزینه‌ترین مسیر بین اردبیل تا سرچم را با لحاظ عامل شیب نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان مسیر فعلی اردبیل سرچم را در کنار مسیر پیشنهادی بر حسب شیب مسیر ملاحظه کرد.



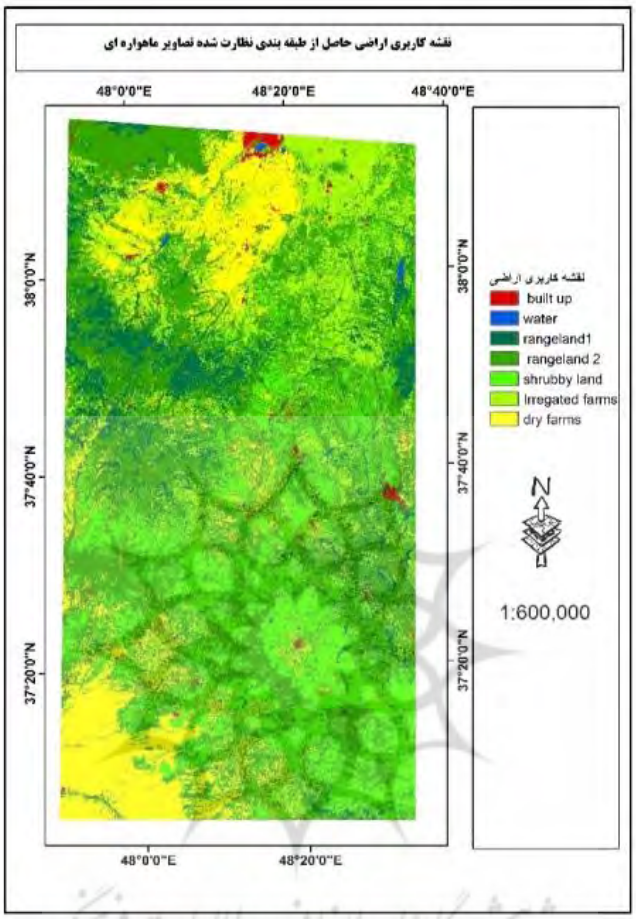
شکل ۸. مسیر پیشنهادی اردبیل-سرچم حاصل از تحلیل کم‌هزینه‌ترین مسیر بر مبنای عامل شیب
(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

همان‌طوری‌که قبلاً نیز گفته شد، در سناریوی دوم برای تعیین مسیر پیشنهادی دو عامل کاربری اراضی و شیب منطقه همزمان در نظر گرفته شدند. منطقهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل قرار گرفته و برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی منطقه از تفسیر تصاویر ماهوارهٔ لندست ۹ استفاده شده است (شکل ۹ سمت راست). برای تهیهٔ نقشه ابتدا تصویر مرکب کاذب منطقه تولید شده و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده با استفاده از الگوریتم isoclass تعداد کلاس‌های طیفی موجود در منطقه شناسایی شدند (شکل ۹ سمت چپ).



شکل ۹. تصویر کاذب رنگی (RGB) منطقهٔ حاصل از ترکیب باندهای تصویر ماهوارهٔ لندست ۹ (سمت راست)، شناسایی کلاس‌های طیفی منطقه با الگوریتم isoclass (سمت چپ) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

در مرحلهٔ بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده الگوریتم MLC[1] کلاس‌های اطلاعاتی در منطقه شناسایی و نقشهٔ کاربری اراضی منطقه تهیه شده است (شکل ۱۰).

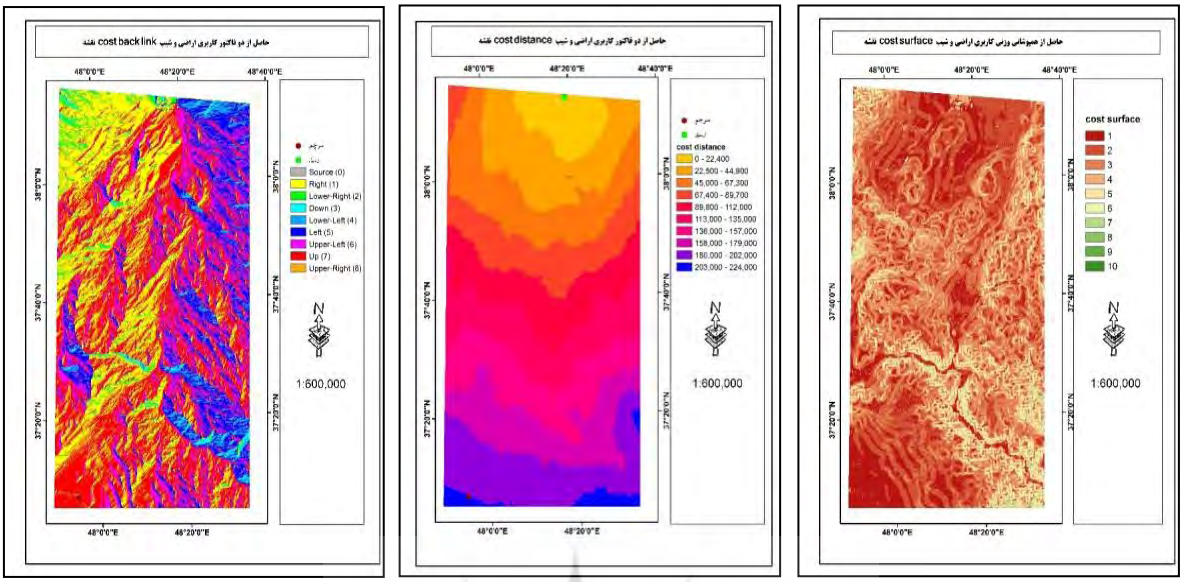


شکل ۱۰. نقشهٔ کاربری اراضی منطقه حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده (MLC) تصویر ماهوارهٔ لندست ۹

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

از ترکیب دو نقشهٔ شیب و کاربری اراضی به طریق همپوشانی وزنی براساس آنچه در بخش مربوط به مدل بیلدر توضیح داده شد، لایهٔ سطح اصطکاک یا هزینه (شکل ۱۱ سمت راست) تولید شده و با استفاده از دو تابع cost distance و back link distance دو لایهٔ هزینهٔ فاصله و لایهٔ سطح هزینهٔ تجمعی (شکل ۱۱ وسط و سمت چپ) و درنهایت مسیر دارای کم‌ترین هزینهٔ تهیه و از فرمت رستری به فرمت بُرداری تبدیل شده است (شکل ۱۲ سمت راست).

[1] Maximum likelihood classification



شکل ۱۱. لایهٔ سطح اصطکاک یا هزینه (سمت راست) نقشهٔ هزینهٔ فاصله (وسط) و نقشهٔ سطح هزینهٔ تجمعی بر مبنای عامل شیب و کاربری اراضی منطقه (سمت چپ) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

شکل ۱۲. مسیر فعلی جادهٔ اردبیل–سرچم، مسیر پیشنهادی اردبیل–سرچم حاصل از تحلیل کم‌هزینه‌ترین مسیر بر مبنای عامل شیب و مسیر حاصل از تحلیل کم‌هزینه‌ترین مسیر بر مبنای دو عامل شیب و کاربری اراضی منطقه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

براساس خروجی نقشه مشخص شد که در مسیرهای سه‌گانهٔ اردبیل به سرچم، طول مسیر جادهٔ فعلی بیشتر از جاده‌های پیشنهادی است و شیب‌های خطرناک نیز در جادهٔ فعلی بیشتر از دو جادهٔ پیشنهادی بوده است (جدول ۴). برهمین‌اساس در جادهٔ فعلی نیز میزان عبور و تخریب مراتع درجه یک و دو بیشتر از جاده‌های پیشنهادی دیگر است و کمترین مقدار عبور و تخریب نیز از روی اجسام آبی است (جدول ۵).

جدول ۴. مقایسهٔ مسیرهای سه‌گانهٔ اردبیل به سرچم از نظر شیب

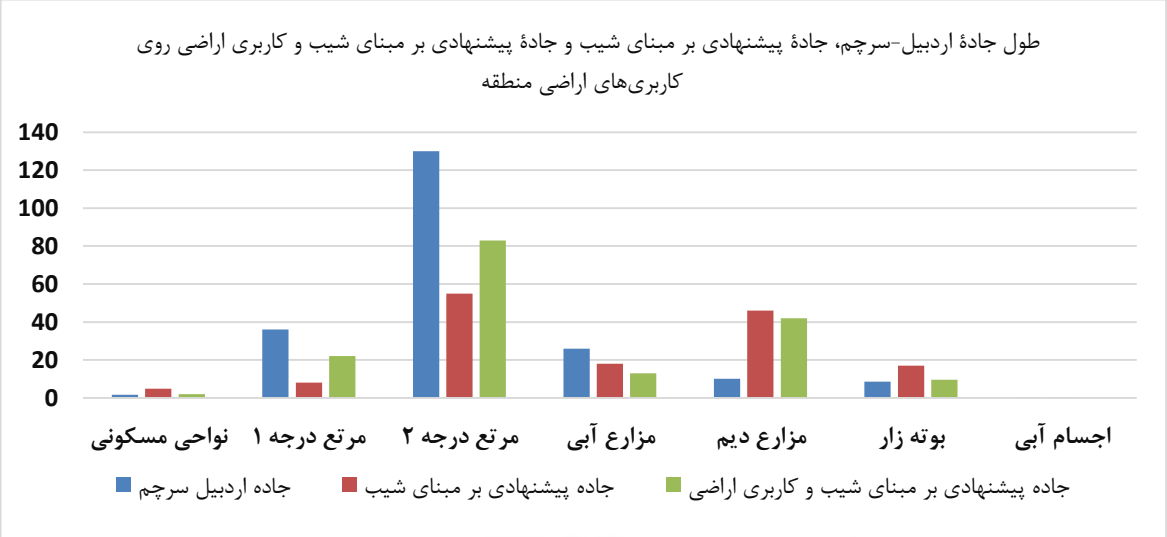
مسیر	طول (کیلومتر)	شیب خطرناک (بیش از ده درصد)		شیب تا حدی مناسب (چهار تا ده درصد)		شیب مناسب (کمتر از ۴ درصد)	
		طول km	درصد	طول km	درصد	طول km	درصد
اردبیل-سرچم	۱۷۶	۱۵	۸/۶۳	۴۳	۲۴/۵	۱۱۸	۶۶/۸۷
جادهٔ پیشنهادی بر مبنای شیب	۱۴۹	۵	۳/۳۹	۲۲	۱۴/۷۷	۱۲۱	۸۱/۸۴
جادهٔ پیشنهادی بر مبنای کاربری اراضی و شیب	۱۵۱	۵	۳/۵۷	۲۳	۱۵	۱۲۳	۸۱/۳۹

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

جدول ۵. میزان عبور هرکدام از مسیرها از روی کاربری اراضی منطقه

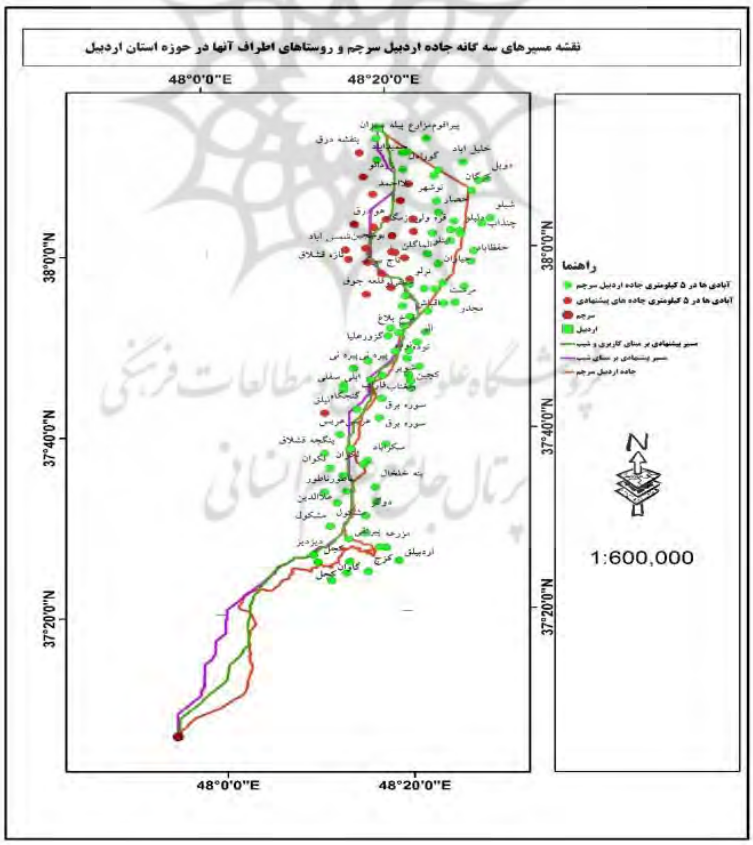
کاربری	جاده اردبیل-سرچم (km)	جادهٔ پیشنهادی برمبنای شیب (km)	جادهٔ پیشنهادی بر مبنای شیب و کاربری اراضی (km)
نواحی مسکونی	۱/۷	۴/۸	۱/۹
مرتع درجه ۲	۱۳۰	۵۵	۸۳
مزارع دیم	۱۰	۴۶	۴۲
مزارع آبی	۲۶	۱۸	۱۳
مرتع درجه یک	۳۶	۸	۲۲
بوته‌زار	۸/۶	۱۷	۹/۶
اجسام آبی	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۱۳. نمودار نشان‌دهندهٔ عبور مسیرهای جاده از کاربری اراضی منطقه

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۱۴. نقشهٔ مسیرهای سه‌گانهٔ جادهٔ اردبیل-سرچم و روستاهای اطراف آن‌ها در حوزهٔ استان اردبیل

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

در این شکل تنها در جنوب اردبیل بین دو جادهٔ پیشنهادی و جادهٔ موجود فاصلهٔ فیزیکی افتاد و غیر از آن سه مسیر نزدیک هم هستند؛ بنابراین روستاهای به رنگ سبز متعلق به هر سه مسیر است و فقط در جنوب اردبیل روستاها با دو رنگ آن هم به‌دلیل فاصلهٔ بین جاده‌ها نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

راه‌ها به‌عنوان یکی از ساختارهای زیربنایی در توسعهٔ همه‌جانبه نقش اساسی دارند؛ اما با وجود این اهمیت، توسعهٔ راه‌هایی که طراحی مناسبی به لحاظ مسیر بهینه ندارند، اثرات منفی به لحاظ اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی خواهند داشت. در تحقیق حاضر نتایج به‌دست‌آمده براساس استفاده از الگوریتم‌های مختلف و تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های رقومی در کنار تحلیل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشان می‌دهد که مسیر اردبیل به سرچم که اصلی ترین مسیر ارتباطی استان اردبیل با مرکز کشور و شاه‌راه ارتباطی است، می‌توانست در مسیر بهینه جایابی شود تا بسیاری از معضلات کنونی کمتر یا کلاً مرتفع شود. برای طراحی و جایابی مسیر بهینهٔ پیشنهادی در این تحقیق سعی شد از دو عامل مؤثر در منطقه استفاده شود، به‌همین‌دلیل بر عوامل شیب و کاربری اراضی متمرکز شد. با بررسی دقیق نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که مسیر فعلی اردبیل به سرچم در حدود ۱۷۶ کیلومتر است. درصورتی‌که جادهٔ پیشنهادی براساس عامل شیب به حدود ۱۴۹ کیلومتر می‌رسد و با درنظرگرفتن عامل شیب و کاربری اراضی در کنار یکدیگر طول جاده ۱۵۱ کیلومتر خواهد بود. اگر در نظر داشته باشیم که ارتفاع منطقه در بسیاری از مناطق این مسیر بالای ۱۸۰۰ متر است و منطقه کلاً سردسیر و برفی است، اهمیت کمتربودن شیب برای اتومبیل‌ها چه از نوع باری و چه از نوع سواری در فصل زمستان و گذر از این جاده بسیار بااهمیت خواهد بود. نکتهٔ مهم در اِعمال عامل شیب این است که شیب خطرناک در جادهٔ فعلی در ۱۵ کیلومتر از جاده، بالای ۱۰ درصد است، خود این عامل در بروز بسیاری از حوادث رانندگی دخیل است، اما در دو جادهٔ پیشنهادی این تحقیق شیب مناطق دارای ۱۰ درصد شیب به ۵ کیلومتر تقلیل یافته است. همچنین ۸۱ درصد جادهٔ پیشنهادی بهینه دارای شیب مناسب است. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که در جادهٔ پیشنهادی بر مبنای دو عامل شیب و کاربری اراضی سعی شده تا مناطق مسکونی در بیشتر جاها ارتباط با جاده داشته باشند تا از نکات مثبت ارتباط جاده‌ای در همهٔ جهات استفاده کنند. براساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که عبور جادهٔ پیشنهادی بهینه از میان مراتع درجه یک و دو کمتر شده است و این به معنای توجه به منابع محیط‌زیستی و توسعهٔ پایدار است. با نگاهی به شکل ۱۴ درمی‌یابیم که روستاهای زیادی در اطراف جادهٔ اردبیل به سرچم وجود دارد و درنتیجه تخریب کمتر مراتع و مزارع روستاها می‌تواند در ماندگاری روستائیان در روستاها و احیای بیشتر و بهتر آن‌ها سهم قابل‌توجهی داشته باشد. هدف از ایجاد و جایابی یک جاده در عین اینکه بحث ارتباطات و کمترشدن مسیرها را به‌دنبال دارد، در کنار آن جادهٔ ایمن و سلامت از بحث‌های بسیار مهم است، مزایای توجه به نتایج این تحقیق به‌صورت خلاصه و ملموس عبارت‌اند از: کاهش ۱۴ درصد از مسافت جاده‌ای، کاهش ۵/۰۶ درصد شیب‌های خطرناک بالای ده درصد، افزایش کاهش ۹/۵ درصد شیب‌های تا حدی مناسب و درعین‌حال، افزایش ۱۴/۵۲ درصد در شیب‌های مناسب جاده، کاهش ۳۶/۷۵ درصد عبور جاده از مراتع درجه یک و دو در منطقه و بنابراین کمک به حفاظت از محیط‌زیست منطقه. نتیجهٔ این کاهش‌ها و افزایش‌ها کاهش هزینه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی و افزایش ایمنی مسافران و درنهایت افزایش کیفیت زندگی ساکنان منطقه خواهد بود. به‌طورکلی می‌توان گفت با اجرای جادهٔ

پیشنهادی مسیر کوتاه‌تر، ایمن‌تر، استهلاک اتومبیل کمتر و مراتع و زمین‌های بیشتری در اختیار روستائیان قرار داده خواهد شد.

منابع

بازرگان، مهدی؛ امیرفخریان، مصطفی. (۱۳۹۶). مسیریابی بهینهٔ خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی در GIS مطالعهٔ موردی: شهر مشهد. فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، دانشگاه مشهد، دورهٔ سی‌ودوم، شمارهٔ ۳، صص ۵۱-۳۵.

https://georesearch.ir/article-1-125-fa.htmlh

رحمانی، محمد. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی تصادفات جاده‌ای با هدف تعیین نقاط حادثه‌خیز با استفاده از GIS (نمونهٔ موردی مسیر همدان-ملایر). آمایش محیط، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر، دورهٔ نهم، شمارهٔ ۳۴، صص ۱۵۵-۱۷۵.

https://ebtp.malayer.iau.ir/article_527330.html

رستمی، میثم؛ کیامهر، رامین؛ بیات، رامین. (۱۳۹۴). ارائهٔ روشی دانش‌پایه جهت وزن‌دهی درون‌لایه‌ای به‌منظور تعیین مسیر بهینه با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) (مطالعهٔ موردی: محور ایلام-حمیل). فصلنامهٔ علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، دورهٔ بیست‌وچهارم، شمارهٔ ۹۶، صص ۱۹-۵ .

https://www.sepehr.org/article_18940.html

دانایی نیا، احمد؛ زاغیان، محمدعلی. (۱۳۹۷). مکان‌یابی اسکان موقت زلزله‌زدگان در بافت تاریخی؛ مبانی و راهبردها مطالعهٔ موردی: محلهٔ محتشم کاشان. برنامه ریزی فضایی، دانشگاه اصفهان، دوره ۸، شماره ۴، صص ۴۶-۲۷.

https://sppl.ui.ac.ir/article_23243.html

داورپناه، امین؛ وحیدنیا، محمدحسن. (۱۴۰۰). تعیین مسیر بهینهٔ خطوط انتقال آب با مقایسهٔ روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره و الگوریتم مسیر بهینه در رستر (مطالعهٔ موردی: از ارداک به مشهد). فصلنامهٔ علمی مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، دورهٔ چهاردهم، شمارهٔ ۵۱، صص ۵۶-۳۹.

https://wej.marvdasht.iau.ir/article_5012.html

درویش‌صفت، علی‌اصغر؛ احمدی، هما؛ مخدوم فرخنده، مجید؛ ابوالقاسمی، شیرین. (۱۳۸۶). مسیریابی براساس اصول زیست‌محیطی با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی: جادهٔ پارچین در شرق تهران). نشریهٔ منابع طبیعی ایران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع منابع طبیعی، دورهٔ شصتم، شمارهٔ ۱، صص ۲۰۳-۲۱۱.

https://www.sid.ir/paper/22968/fa

عابدیان، سحر؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ علیزاده، افشین؛ خراسانی، نعمت‌الله. (۱۳۹۴). استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در مسیریابی شبکهٔ جاده‌ای در شهرستان‌های کردکوی، بندرگز و گلوگاه. مجلهٔ آمایش جغرافیایی فضا، دانشگاه گلستان، دورهٔ پنجم، شمارهٔ ۱۵، صص ۹۱-۸۴.

https://gps.gu.ac.ir/article_10092.html

صفارزاده، محمود؛ راد، عباس؛ صفارزاده، محمود؛ میرزا بروجردیان، امین. (۱۳۸۵). تعیین کریدور اولیهٔ شریان‌های حمل‌ونقل زمینی براساس محدودیت‌های نقاط اجباری و مناطق ممنوعه. پژوهشنامهٔ حمل‌ونقل، پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی وزارت راه و شهرسازی، دورهٔ سوم، شمارهٔ ۱، صص ۴۷-۳۵.

https://www.trijournal.ir/article_11342.html

علی‌محمدی، عارفه؛ ایلدرمی، علیرضا؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ عابدیان، سحر. (۱۴۰۰). مسیریابی بهینهٔ شبکهٔ جاده‌ای با تأکید بر پارامترهای محیط طبیعی و بهره‌گیری از الگوریتم کم‌هزینه‌ترین مسیر و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی نمونهٔ پژوهش: دلیجان-الیگودرز. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، دورهٔ سی‌ودوم، شمارهٔ ۲، صص ۲۲-۱.

https://gep.ui.ac.ir/article_25665.html

میرعبدالهی، سیدکمال؛ میرعبدالهی، منیره السادات. (۱۳۹۴). تعیین مسیر بهینه قطار بین شهری یزد- اردکان با استفاده از منطق فازی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، دوره۲۶، شماره۱، صص ۲۰۲-۱۹۱.

https://gep.ui.ac.ir/article_18717.html

نصیری هنده خاله، اسماعیل؛ گنجی، نسرین. (۱۴۰۰). تعیین مسیر بهینهٔ شبکهٔ راه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی: مسیر رودسر-قزوین). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دانشگاه تهران، دورهٔ پنجاه‌وسوم، شمارهٔ ۱، صص ۶۵-۸۴.

https://jhgr.ut.ac.ir/article_72865.html

References

Antikainen, H. (2013). Using the Hierarchical Pathfinding A* Algorithm in GIS to Find Paths through Rasters with Nonuniform Traversal Cost, ISPRS Int. J. Geo-Inf, 2(12),996-1014.

https://doi.org/10.3390/ijgi2040996

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.

https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.10.003

Chandio, I. A., Matori, A. N. B., & Yusof, K. B. W. (2012). Routing of road using Least-cost path analysis and Multi-criteria decision analysis in an uphill site Development. In International Conference on Civil, Offshore & Environmental Engineering (ICCOEE2012); Kuala Lumpur Convention Centre (KLCC): Kuala Lumpur, Malaysia.

De Lima, R. M., Osis, R., de Queiroz, A. R., & Santos, A. H. M. (2016). Least-cost path analysis and multi-criteria assessment for routing electricity transmission lines. IET Generation, Transmission & Distribution, 10(16), 4222-4230.

https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1119

Januadi, M. I., Nabila, D. N. U. (2020). Routing the highway development by using SuperMap Least Cost Path Analysis (LCPA) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) and its assessment toward spatial planning. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 561(1), 1-9. IOP Publishing.

https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/561/1/012019

Moffat, T., Hankard, P. (1998). Strategic ecological assessment of road development.

Rees W.G. (2004). Least-cost paths in mountainous terrain.Computers & Geosciences, 30(3), 203-209.

https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.11.001

Sarı, F., Sen, M. (2017). Least cost path algorithm design for highway route selection , International Journal of Engineering and Geosciences , 2 (1) , 1-8 .

https://doi.org/10.26833/ijeg.285770

Suleiman, S., Agarwal, V., Lal, D., & Sunusi, A. (2015). Optimal route location by least cost path (LCP) analysis using (GIS) a case study. International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, 4(44), 9621-9626.

http://ijsetr.com/uploads/431265IJSETR7417-1645.pdf

McDonald, M. D., Kessler, F. C. (2022). Least-Cost Path and Accessibility Analysis of a High Speed Railway Corridor: Victorville, CA to Las Vegas, NV. Journal of Geographic Information System, 14(1), 40-60.

http://doi: 10.4236/jgis.2022.141003

Mahavar, V ., Prakash, I. & Pham, B. T. (2019). Development and Application of GIS Model in the Selection of Cost Effective Road Alignment. International Journal of Applied Engineering Research, 14(15), 3413-3428.

https://www.ripublication.com/ijaer19/ijaerv14n15_13.pdf

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.

doi:10.5923/j.ajgis.20170602.02

Tang, Q., Dou, Wanfeng.(2023). An Effective Method for Computing the Least-Cost Path Using a Multi-Resolution Raster Cost Surface Model. ISPRS International Journal of Geo-Information. 12(7),1-20.

https://doi.org/10.3390/ijgi12070287

Yildirim, F., Kadi, F. (2022). Production of optimum forest roads and comparison of these routes with current forest roads: a case study in Maçka, Turkey. Geocarto International, 37(8), 2175-2197.

https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1818852

Youtube.(2016). Computer science channel uploaded.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی