Research Paper

Optimal Route Finding of Water Transmission Lines Using Different MCDM Methods and the Least-cost Path Algorithm in a Raster GIS (Case Study: from Ardak to Mashhad)

Amin Davarpanah[1], Mohammad Hassan Vahidnia[2]*

1. Former MSc Student of Remote Sensing and GIS, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assistant Prof. of Remote Sensing and GIS, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2019/09/14
Revised: 2019/10/06
Accepted: 2021/01/04

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/wej.2022.22648.2193

Keywords:
Optimal Route, Water Transfer, Multi-criteria Decision Making, Least Cost Path, AHP, TOPSIS, fuzzy, GIS

Abstract

Introduction: Routing is one of the most sensitive parts of the design of power transmission lines. Any mistake in choosing a route can lead to high costs or costs for regional water companies at runtime or line operation.

Methods: In this research, to solve the problem of determining the optimal route of water pipelines from Ardak to Mashhad, spatial analysis techniques, a multi-criteria decision making, and raster-based shortest path algorithm were used. For this purpose, firstly, the effective parameters in determining the route, including slope, geology, land use, residential areas, waterways, roads, faults, and protected areas were detected and after weighting processes in AHP, TOPSIS and Fuzzy Logic methods, overlaid in the form of criteria maps in the GIS environment in order to generate cost map. Then, using the least cost algorithm in raster, the optimal path was determined. Finally, a comparison was made between the traditional way provided by the consultant and the proposed route with the lowest cost algorithm.

Findings: The final paths obtained from the least cost path algorithm based on AND, GAMA, AHP, and TOPSIS were equal to 44.798, 46.755, 45.731, and 45.531 km, respectively. On the advised paths of the consultant, Route 1 had a length of 72.306, Route 2 had a length of 63.108, and the third one was 48.690. Finally, the TOPSIS route model was selected as the best route due to the consideration of the forbidden areas and other technical consideration.

Citation: Davarpanah A, Vahidnia MH. Optimal route finding of water transmission lines using different MCDM methods and the least-cost path algorithm in a raster GIS (Case study: from Ardak to Mashhad). Water Resources Engineering Journal. 2022;14 (51):39-56

***Corresponding author:** Mohammad H. Vahidnia
Address: Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Tell: +98 21-4486 5154
Email: mhvahidnia@srbiau.ac.ir; vahidnia84@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

The most important and basic stages of studies in routing are the subject of initial route design, or phase zero studies. But today it is clear that failure to pay attention to the environmental consequences of development plans leads to the waste of land resources and environmental disasters, which is completely contrary to the new approach that has been proposed since 1791 as sustainable development among the relevant communities. And has been a model of action. For this reason, determining the optimal route of linear tolls such as roads, oil, gas, water and electricity transmission lines as development infrastructures in each country are of special importance. Common and traditional methods of routing water transmission lines based on the use of methods They are relatively expensive and time consuming to cross pipelines. These methods are inaccurate because they cannot be easily and simultaneously applied to the effective parameters in determining the optimal path. Therefore, the designed route does not meet all the considerations, and this increases the cost of constructing the pipeline due to long distances, crossing unauthorized areas, as well as damaging the environment. Geographic Information System (GIS) is an efficient system for deciding and designing a pipeline route with various criteria.

In this research, we seek to develop a water transmission line routing method using new methods with the help of GIS and various multi-criteria decision making and routing methods in the raster data structure. The route under study is the water transfer route from Ardak Dam. Ardak Dam is located in the mountains of Hezar Masjed with the aim of controlling, storing and regulating the permanent and seasonal currents of Ardak River at the confluence of the two main waterways of Abqad and Mianmorgh called Doabi. This dam is of terrain type with clay core and the volume of the dam reservoir at the natural level is 30 million cubic meters and about 500 billion rials have been spent for its construction. Therefore, proposing an optimal route with new GIS methods can help those in charge in the study phase to better implement the transmission line.

Materials and Methods

For this purpose, first the data and information layers required in the study area, including digital elevation model (DEM), geological map, land use, waterways, roads, faults, protected areas, the route designed by the consultant as well as all the information used to design the route is prepared in the study area. In the next step, data processing including applying the appropriate map projection system, performing GIS analysis and converting to raster and buffer maps are performed. In the next step, standardization and prioritization of layers is done by AHP, Fuzzy and TOPSIS methods. After that, the steps of overlaying and preparing the cost map will be done. The level of cumulative cost generated in this step will be the basis of the next step to analyze the shortest path in the output cost raster and determine the optimal route.

Routing functions perform a directed search step by step from the destination point to the origin using a specific decision rule. This search is repeated until needed. The output of this process is the creation of one or more paths from the starting point. The process starts from the cell that shows the position of the destination at the cumulative cost raster, and proceeds to neighboring cells at the lowest cost, and the process continues until it reaches the reference point. Finally, after finding the routes from different cost maps of AHP, TOPSIS, and Fuzzy methods, the evaluation and comparison of the results is done based on the length of the paths, regarding allowed areas, and other technical considerations.

Findings

After preparing standard benchmark maps, weights and cost maps were prepared in different ways. In fuzzy logic method, two operations, AND and GAMA, were applied to standard criteria maps and cost maps were obtained. In AHP method, by producing a pairwise comparison matrix in Expert Choice software, the weights of the criteria relative to each other and the weights of the options relative to each criterion were

generated. Then, in order to control the process, the consistency ratio was generated. Due to the fact that this rate is less than 0.1, the amount of weights was confirmed. By applying Weighted Overlay operations based on the obtained weights, the cost map was prepared in AHP model.
For TOPSIS method, in order to increase the quality, the weight which were calculated based on AHP, were used. Then the extraction of ideal positive and negative points for each criterion was performed. And then the distance between the options and the positive and negative ideals was calculated and the final closeness to ideal solution map were yielded. The prepared map will be in fact the same as the cost map. In the next step, two layers were required to determine the shortest path, which are Cost Back Link and Cost Distance. The Cost Distance function considers the cost in the path from every pixel to the source, and the Cost Back Link function represents the direction of the costs in eight geographical directions. The final optimal paths were generated in ArcMAP software using these layers as well as the shapefile of the beginning and end point of the path.

Discussion

By examining the obtained paths, the lengths of the analysis paths performed in AND, GAMA, AHP and TOPSIS were 44.798, 46.755, 45.731 and 45.531 km, respectively. Although the main purpose of this study was to consider many limitations, criteria, and considerations in routing water transmission lines, at the same time the length of the routes was shorter than the proposed routes in the traditional way.
In the proposed routes of the consultant, route 1 had a length of 72.306, route 2 had a length of 63.108 and route 3 had a length of 48.690. The results of the research indicate the high capability of GIS in determining the optimal route for the construction of water transmission line. If we want to sort the results of the methods by path length, Fuzzy AND, TOPSIS, AHP, and Fuzzy Gamma had the shortest to highest lengths, respectively. Compared to the route suggested by the consultant, the third route had the shortest length. Meanwhile, Fuzzy AND and TOPSIS results have the shortest length and least twist. But the TOPSIS model route, in addition to the appropriate length and low maze, was finally selected as the best route due to the observance of privacy and being closer to the consultant's proposal.

Conclusion

Routing is one of the most critical parts of water transmission line design. Any mistake in the choice of route can lead to losses or high costs for regional water companies during the implementation or operation of the line. The results of this study show that, firstly, the accuracy of such studies depends to a large extent on the accuracy of the results extracted from GIS analysis. Second, without the use of GIS and multi-criteria decision making, many parts of a principled study will not be possible or will not bring acceptable and logical results.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Amin Davarpanah, Mohammad H. Vahidnia. Methodology and data analysis: Amin Davarpanah. Supervision and final writing: Amin Davarpanah, Mohammad H. Vahidnia.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

تعیین مسیر بهینه خطوط انتقال آب با مقایسه روش های مختلف تصمیم گیری چندمعیاره و الگوریتم مسیر بهینه در رستر (مطالعه موردی: از ارداک به مشهد)

امین داورپناه[۱]، محمد حسن وحیدنیا[۲*]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲. استادیار سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳
تاریخ داوری: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2022.22648.2193

واژه‌های کلیدی:
مسیر بهینه، انتقال آب، تصمیم گیری چندمعیاره، کوتاه ترین مسیر در رستر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده

مقدمه: مسیریابی یکی از حساس ترین بخش های طراحی خطوط انتقال نیرو است. هرگونه اشتباه در انتخاب مسیر انتقال آب می تواند در زمان اجرا و یا بهره برداری خط به بروز خسارات یا هزینه زیاد برای شرکت های آب منطقه ای منجر شود.

روش: در این تحقیق برای حل مسأله تعیین مسیر بهینه خطوط انتقال آب با استفاده از پردازش های مکانی GIS، تصمیم گیری چندمعیاره و الگوریتم کوتاه ترین مسیر در رستر از ارداک به مشهد استفاده شد. جهت انجام تحقیق، ابتدا پارامترهای موثر در تعیین مسیر که شامل: شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی، مناطق مسکونی، آبراهه‌ها، راه‌ها، گسل‌ها و مناطق حفاظت شده تعیین و سپس به شکل لایه های اطلاعاتی در محیط GIS به منظور تولید نقشه هزینه ارزش گذاری و با شیوه های تصمیم گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، TOPSIS و منطق فازی، وزن دهی و همپوشانی شدند. سپس با استفاده از الگوریتم کمترین هزینه در محیط GIS اقدام به تعیین مسیر بهینه شد.

یافته‌ها: نهایتًا مسیرها شامل مسیر ارائه شده به شیوه سنتی توسط مشاور و مسیر پیشنهادی با الگوریتم کمترین هزینه مقایسه شدند. طبق نتایج طول مسیرها در منطق AND، GAMA، مدل AHP و TOPSIS به ترتیب ۴۴.۷۹۸، ۴۶.۷۵۵، ۴۵.۷۳۱ و ۴۵.۵۳۱ کیلومتر به دست آمد. در مسیرهای پیشنهادی مشاور، مسیر ۱ دارای طول ۷۲.۳۰۶، مسیر پیشنهادی ۲ دارای طول ۶۳.۱۰۸ و مسیر پیشنهادی ۳ دارای طول ۴۸.۶۹۰ بوده است. در بررسی مناطق عبوری تحلیل های GIS و مسیرهای پیشنهادی مشاور مسیر مدل TOPSIS به دلیل رعایت حریم های در نظر گرفته شده بهترین مسیر انتخاب گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهند که اولاً دقت انجام اینگونه مطالعات به مقدار زیادی وابسته به دقت نتایج استخراج شده از GIS است. ثانیاً بدون به کارگیری این سیستم ها و روش های تصمیم گیری چندمعیاره، عملاً انجام بسیاری از قسمت های یک مطالعه اصولی با توجه به در نظر گرفتن چندین معیار با یکدیگر امکان پذیر نبوده است و یا نتایج قابل قبول و منطقی به همراه نخواهد داشت.

* **نویسنده مسئول:** محمد حسن وحیدنیا
نشانی: گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
تلفن: ۰۲۱ ۴۴۸۶۵۱۵۴
پست الکترونیکی: mhvahidnia@srbiau.ac.ir و vahidnia84@gmail.com

مقدمه

با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی انسان‌ها و وابستگی توسعه به آن، همچنین میزان کم نسبت آب قابل دسترس به کل آب‌های جهان و توزیع نامناسب آن از لحاظ زمانی و مکانی، و در کنار آن رشد روز افزون جمعیت، موجب شده است که وقوع بحران آب در اقصی نقاط جهان از جمله در کشورمان ایران پیش بینی گردد (۱). آب در ایران بدلیل قرار گرفتن در محدوده خشک جهانی، از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین رساندن آب به بازارهای مصرف یکی از مهمترین فعالیت‌های مربوط در این زمینه است. در این راستا بهینه بودن مسیرهای خطوط انتقال امری ضروری به نظر می‌رسد (۲). مهمترین و اساسی‌ترین مراحل مطالعاتی در مسیریابی، موضوع طراحی مسیر اولیه، یا مطالعات فاز صفر است اما امروزه به یقین مشخص شده است که عدم توجه به پیامدهای زیست محیطی طرح‌های توسعه باعث به هدر رفتن منابع سرزمینی و ایجاد فاجعه‌های زیست محیطی می‌شود که این کاملاً مغایر با نگرش جدیدی است که از دهه ۱۷۹۱ با عنوان توسعه پایدار، در بین مجامع مرتبط مطرح و الگوی عمل بوده است. به همین دلیل تعیین مسیر بهینه عوارض خطی نظیر جاده، خطوط انتقال نفت، گاز، آب و برق به عنوان زیر ساخت های توسعه در هر کشور از اهمیت ویژه ای برخوردارند. مسیریابی بهینه‌ی عوارض خطی از مسائل امنیتی ملی و استراتژیکی در بالاترین سطح آغاز شده و تا مسائل اقتصادی، فنی و اجرایی در سطوح عملیاتی و موضوعات کیفی مانند مسائل زیست محیطی گسترش می یابند (۳). روش های معمول و سنتی مسیریابی خطوط لوله بر پایه استفاده از شیوه های نسبتاً پر هزینه و زمانبر برای عبور خطوط لوله می‌باشند. این روش‌ها غیر دقیق هستند، زیرا نمی‌توان در آن ها دخالت پارامترهای مؤثر در تعیین بهینه مسیر را براحتی و همزمان اعمال نمود. بنابراین مسیر طراحی شده تمامی ملاحظات را رعایت نکرده و این امر باعث افزایش هزینه احداث خط لوله به خاطر مسیرهای طولانی، عبور از نواحی غیر مجاز و همچنین صدمه به محیط زیست می شود. سیستم اطلاعات مکانی، سیستمی کارآمد جهت تصمیم گیری و طراحی مسیر خط لوله با معیارهای متنوع می باشد(۲). الگوریتم های محاسبات هندسی در GIS اغلب با پیچیدگی خطی یا خطی-لوگاریتمی طراحی شده اند و این موجب می شود در سریعترین زمان پردازش ها انجام شود (۴).

در این پژوهش به دنبال بسط و توسعه یک روش مسیریابی خط انتقال آب با استفاده از روش های نوین به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، با مقایسه روش های تصمیم گیری چندمعیاره و مسیریابی در ساختار داده رستری هستیم تا بتوان از این قابلیت ها به نحو مؤثرتر و کارآمدتری در تعیین مسیر استفاده نمود. مسیر مورد بررسی در تحقیق حاضر، مسیر انتقال سد ارداک می باشد. سد ارداک در کوه های هزار مسجد با هدف مهار، کنترل، ذخیره و تنظیم جریانات دائم و فصلی رودخانه ارداک و به منظور تامین نیاز آبی بخش شرب و صنعت شهر مشهد به میزان ۱۶/۶میلیون مترمکعب، تامین نیاز آبی یک هزار و ۶۷۱ هکتار از اراضی زراعی روستاهای حقابه برپایاب، ایجاد اشتغال پایدار در بخش کشاورزی و صنعت منطقه و توسعه تفرجگاه های آبی استان خراسان با رعایت مسائل زیست محیطی پایاب مطالعه و اجرا شده است.

بنابراین پیشنهادی مسیری بهینه با روش های نوین GIS، وتصمیم گیری چندمعیاره می تواند متولیان امر را در فاز مطالعاتی جهت هر چه بهتر پیاده سازی خط انتقال یاری رساند.

پیشینه تحقیق

سیستم اطلاعات جغرافیایی یکی از ارکان تصمیم گیری های چندمعیاره مکانی در طراحی های، روستایی، شهری و منطقه ای می باشد (۵). نوعی از این تصمیم گیری های چند معیاره مکانی راجع به مسیریابی برای انتقال خطوط انتقال نیرو مانند آب، برق و گاز و همچنین راه ها می باشد. در این راستا متکان و همکاران (۲۰۱۵)، مروری بر روش های مسیریابی بهینه عوارض خطی در مدل رستری را انجام دادند (۳). آن ها روش های مورد استفاده برای مسیریابی بهینه عوارض خطی در مدل داده رستری و چالش های مطرح در خصوص استفاده از هر کدام از آنها مورد بحث و بررسی قرار گرفتند. آن ها توضیح می دهند که به دلیل ماهیت پیوسته اغلب معیارها در چنین مطالعاتی حتما می بایست از مدل داده رستر در GIS استفاده نمود. همچنین انتخاب معیارهای مختلف و روش های تصمیم گیری یا بهینه سازی مختلف می تواند نتایج کوتاهترین مسیر در ساختار رستر را دچار اختلاف نماید و بنابراین بهتر است از مقایسه چندین مدل، تصمیم نهایی اتخاذ شود. در رابطه با مطالعات مرتبط با تحقیق حاضر می توان به لحاظ مفهومی چهار دسته پژوهش را در نظر گرفت که در ادامه به آن پرداخته می شود.

دسته اول پژوهش هایی هستند که از شیوه های مختلف تصمیم گیری چند معیاره و تحلیل های مکانی در GIS برای موضوع کاربردی مسیریابی خطوط انتقال و راه ها استفاده می نمایند. به عنوان نمونه قاسمی و همکاران (۲۰۱۰)، بخشی از پروژه انتقال آب، از محل سد آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی به اراضی کشاورزی شهرستان میانه را مورد مطالعه قرار داده اند (۶). در پژوهش مذکور اهداف کمی شامل شیب، راه، تأسیسات زیربنائی، گسل و جنس خاک و اهداف کیفی شامل ملاحظات زیست محیطی، کاربری و پوشش زمین بودند. بررسی این مسیرها نشان داد که با در نظر گرفتن تنها درصد کمی از اهداف زیست محیطی، خسارت های وارده به محیط زیست را می توان به میزان قابل توجهی کاهش داد. ناصری و همکاران (۲۰۰۹)، به منظور انتخاب مکان های مناسب جهت پخش سیلاب، برای تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی دشت چاه دراز، از تلفیق سیستم های تصمیم گیری چند معیاری (MCDM) و سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری (DSS) استفاده کردند (۷). لایه های اطلاعاتی معیار در این تحقیق عبارت بودند از فاصله از چاه، فاصله از مسیرهای ارتباطی (جاده ها)، عمق آب زیرزمینی، نفوذپذیری، کیفیت آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی)، شیب توپوگرافی، واحدهای سنگی (زمین شناسی). با تلفیق لایه های اطلاعاتی با یکدیگر، محدوده های مناسب که عمدتا در شمال و شمال شرقی دشت چاه دراز قرار داشتند، به عنوان مکان مناسب تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی انتخاب شدند. اصغری پور دشت بزرگ و همکاران (۲۰۱۳)، به انتخاب عرصه های مناسب تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب با کاربرد روش AHP در محیط GIS پرداختند (۸).

آن ها هفت عامل موثر شیب، نفوذپذیری، کیفیت سیلاب، ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال، تراکم زهکشی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را تهیه نموده و با روش AHP وزن هر عامل را محاسبه نمودند. سپس با استفاده از توابع تحلیلی GIS و وزن های اکتسابی هر لایه در روش AHP نقشه عوامل موثر در مکانیابی با همدیگر تلفیق و نقشه نهایی در چهار کلاس تناسب بالا تا نامناسب تهیه گردید. صادقی (۲۰۱۴) نیز به تعیین کوتاه ترین خط انتقال آب پرداخته است (۲). ویژگی بارز این تحقیق استفاده از داده های سنجنده ماهواره ای لیدار در کنار سایر معیارها بوده است. عابدیان و همکاران (۲۰۱۵)، از الگوریتم کوتاه ترین مسیر در مسیریابی شبکه جاده ای شهرستان های کردکوی، بندرگز و گلوگاه استفاده کردند (۹). در این تحقیق از یک شیوه وزن دهی ساده نسبت به تحقیقات مشابه برای ترکیب معیارها استفاده شده است. چاودوری و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از فناوری GIS و RS، روش AHP و معیارهای شیب، قابلیت انتقال، ضریب زهکشی و زمین شناسی مناطق مناسب برای برای تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی را درمنطقه مدیناپورغربی تعیین نمودند (۱۰). نتایج حاکی ازکارایی این روش درتلفیق با GIS بود. بگلی و همکاران (۲۰۱۱)، برای تعیین مسیر خطوط نیروی ۱۳۲ کیلو ولت در کشور ایتالیا، از تلفیق آنالیز کم هزینه ترین[1] مسیر با تصمیم گیری چند معیاره[2] استفاده کردند (۱۱). در تحقیق ایشان برای مقایسه و رتبه بندی مسیرهای پیشنهادی، معیارهای مختلفی با وزن های متفاوت در نظر گرفته شده و امتیاز نهایی هر مسیر با روش ترکیب خطی وزن دار تعیین گردیده است. پنگ (۲۰۱۱) در تحقیق خود برای تعیین مسیر جاده مشابه تحقیقات اشاره شده عمل نمود با این تفاوت که نهایتاً به منظور تعیین مسیر نهایی با یک سطح اطمینان نسبت به گزینه های دیگر از آنالیز حساسیت استفاده نمودند (۱۲). و نهایتاً ییلدریم و کادی (۲۰۲۰) نیز برای بهبود مسیرهای جنگلی موجود از تصمیم گری چندمعیاره و مسیریابی در GIS بهره بردند و راهکارهایی برای احداث مسیرهای جدید ارائه دادند (۱۳).

دسته دوم تحقیقات مرتبط به لحاظ مفهومی تحقیقاتی است که با هدف ارائه شاخصی جهت مسیریابی انجام شده اند به گونه ای که شاخص مطرح شده را بتوان در تحقیقات مسیریابی دیگر نیز استفاده نمود. در این راستا در پژوهشی که توسط مراد قلی (۲۰۰۹) برای انتخاب مسیر بهینه ی راه صورت گرفت از سه روش شامل میانگین مرتب شده ی وزنی OWA در ۷ حالت ، ترکیب خطی وزن دار WLC و بولین در فرآیند تلفیق لایه ها برای ایجاد سطح ارزش و سپس لایه ی هزینه در مسیریابی استفاده شد (۱۴). آن ها شاخصی به نام شاخص زیان، از ضرب سطح سودمندی در سطح هزینه مطرح نمودند که میزان خسارت در هر واحد پیکسلی را نشان می دهد و می توان برای مسیریابی از آن بهره برد. موساکو و همکاران (۲۰۲۰) نیز برای مسیریابی خطوط انتقال گاز با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی به ارائه شاخصی پرداختند (۱۵).

دسته سوم مطالعاتی است که از الگوریتم های تکاملی و هوشمند بهینه سازی به منظور مسیریابی خطوط انتقال استفاده نموده اند. در این میان بهشتی فر و همکاران (۲۰۱۲)، روشی بر مبنای GIS برای تعیین مسیر خط انتقال نیرو ارائه دادند که در آن از نوعی الگوریتم ژنتیک چند هدفی برای بهینه سازی مسیر استفاده شده است و این شیوه برای انتخاب مسیر بهینه خط انتقال نیرو ۴۰۰ کیلو ولت در مرودشت پیاده سازی شد (۱۶). لی و همکاران (۲۰۰۹) روش جدیدی در فضای رستر با استفاده از الگوریتم اصلاح شده بهینه سازی کلونی مورچگان و GIS برای طراحی مسیر که بیشترین دسترسی از نظر پوشش جمعیتی را داشته باشد ارائه دادند (۱۷). ابراهیم پور و همکاران (۲۰۰۶)، برای حل مسائل تعیین مسیر بهینه خطوط انتقال آب، از تکنیک های GIS و الگوریتم ژنتیک، توامان، استفاده کردند (۱۸). با مقایسه مسیرهای استخراج شده از الگوریتم ژنتیک و حداقل هزینه با مسیر موجود کاهش ۲۰ درصد هزینه را نشان می دهند که به طور عمده ناشی از کاهش طول خط لوله و تقاطع کمتر با رودخانه و جاده می باشد. به عنوان راهکارهای جدیدتر نیز استفاده از تئوری بازی و ترکیب آن با شیوه های تکاملی برای مسیریابی توسط محققین در حال حاضر مطالعات اولیه خود را طی می کند (۱۹).

دسته چهارم تحقیقاتی هستند که به بهبود الگوریتم مسیریابی در رستر و جنبه های فنی آن پرداخته اند. به عنوان نمونه آنتیکینن و همکاران (۲۰۱۳) روشی را برای به حداقل رساندن مشکل پیچیدگی در مدل داده رستری برای استخراج مسیر حداقل هزینه ارائه داد (۲۰). آن ها الگوی همسایگی متفاوت را در این روش اجرا نمودند. نتایج نشان دادند که استفاده از الگوی همسایگی بزرگتر (۹*۹) زمان اجرای فرآیند را افزایش می دهد ولی بهترین مسیر را در مقایسه با سایر الگوهای همسایگی تولید می کند. ایازی و همکاران (۲۰۱۴)، الگوریتم A* اصلاح شده را در مسیریابی بهینه در سیستم های اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند (۲۱). مزیت این روش این است که با توجه به حذف برخی از مسیرها، زمان محاسبه مسیر کاهش می یابد. الدرانلی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که استفاده از الگوهای همسایگی بزرگتر به دلیل قابلیت دید بهتر و احتمال بالای انتخاب پیکسل های که زاویه کمتر با پیکسل مرکزی دارند مسیری بهتر و با پیچیدگی کمتر تولید می کنند، اگرچه استفاده از الگوهای با همسایگی های بزرگتر زمان محاسبات را برای استخراج مسیر افزایش می دهد (۲۲). مورکاتو و شیرابه (۲۰۲۰) به ارزیابی تأثیر مقیاس رستر بر نتایج مسیریابی پرداختند (۲۳). همچنین راه حل هایی برای مواقعی که نقشه های معیار هم مقیاس نیستند ارائه دادند.

محدوده مورد مطالعه

محدوده منطقه مورد مطالعه عبارت است از شمال اراضی سد ارداک و از غرب به حاشیه غربی کشف رود، از جنوب به جنوب جاده مشهد- قوچان و از شرق به حدود مسیر خط انتقال کارده. عرض متوسط منطقه مورد مطالعه در حدود ۴۵ کیلومتر و طول آن در حدود ۸۰ کیلومتر می باشد. شروع منطقه مورد مطالعه، سد ارداک می باشد. سد ارداک در ۷۰ کیلومتری غرب مشهد و در مختصات جغرافیایی' ۴۰ ۳۶۰ عرض

[1] Least cost path analysis (LCPA)

[2] Multi-criteria evaluation (MCE)

شمالی و' ۲۶ ۰ ۵۹ طول شرقی و در محل تلاقی دو شاخه رودخانه به نام های آبقد و بقمیح احداث شده است.

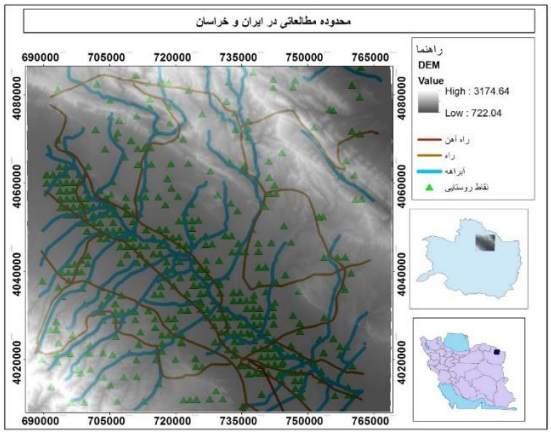
جهت دستیابی به محل سد از شهر مشهد، باید ابتدا با طی مسافت ۲۴ کیلومتر به شهر طوس رسید. از شهر طوس و در مسیر جاده روستایی به سمت غرب حرکت کرده و پس از طی ۴۱ کیلومتر وارد روستای ارداک شد که در ساحل چپ رودخانه واقع گردیده است. محل احداث سد در ۴ کیلومتری شمال روستای ارداک در مسیر رودخانه قرار دارد.

شهر مقدس مشهد که در قسمت جنوب شرقی دشت مشهد در حوزه آبریز کشف رود قرار گرفته، به عنوان مرکز استان کانون فعالیت های گسترده اجتماعی و سیاسی بوده و با توجه به موقعیت ویژه مذهبی آن در سالیان اخیر گسترش روز افزون و چشم گیری داشته و همه ساله پذیرای هزاران نفر زائر می باشد. تأمین آب شرب ساکنین این شهر و جمعیت متجرک آن همیشه مورد توجه مسئولین دیربط بوده به خصوص در سالیان اخیر که افزایش بی رویه جمعیت و توسعه شهر موجب نارسایی و کمبودهایی در زمینه آب شرب شده است، و استفاده از منابع آب سطحی جهت رفع این کمبودها تقویت شده است.

در شکل ۱ محدوده مطالعاتی تحقیق نشان داده شده است. محل تامین آب در این طرح سد ذخیره ای ارداک می باشد که به منظور تأمین آب شرب شهر مشهد و تأمین قسمتی از حقابه های اراضی کشاورزی پایاب سد بر روی رودخانه ارداک که از سرشاخه های کشف رود می باشد در محل اتصال دو روخانه آبقد و میانمرغ (بقمچ) احداث شده است. این طرح شامل یک سد خاکی با هسته مرکزی رسی با ارتفاع ۷۷ متر از سنگ بستر و به طول ۴/۵ متر و عرض تاج ۱۰ متر، سرریز جانبی یک طرفه در جناح راست به طول ۷۰ متر، تونل انحراف آب در جناح راست و تونل آبگیر آبیاری در جناح چپ به منظور تخلیه سد و آبگیری از آن احداث شده است.

مواد و روش‌ها

در شکل ۲ فرآیند اجرایی کار ملاحظه می گردد.

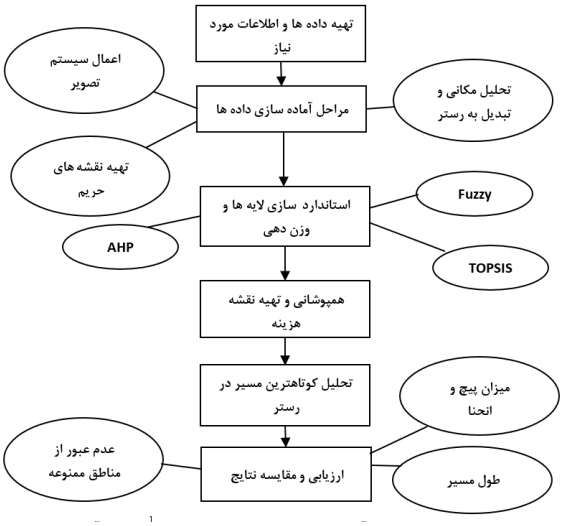


شکل ۱- نمایی از محدوده مطالعاتی در ایران و خراسان

برای این منظور در ابتدا داده ها و لایه های اطلاعاتی مورد نیاز در منطقه مطالعاتی شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع زمین DEM نقشه زمین شناسی، کاربری اراضی، آبراهه ها، راه ها، گسل ها، مناطق حفاظت شده، مسیر طراحی شده توسط شرکت مشاور در منطقه مطالعاتی به همراه کلیه اطلاعات مورد استفاده جهت طراحی مسیر تهیه می گردد. در گام بعد آماده سازی داده ها شامل اعمال سیستم تصویر مناسب نقشه، انجام تحلیل های GIS و تبدیل به رستر و نقشه های حریم ایجاد می گردند. در مرحله بعد استاندارد سازی و تعیین اولویت لایه ها به روش های AHP، Fuzzy و TOPSIS انجام می گیرد. پس از آن به مراحل همپوشانی و تهیه نقشه هزینه اقدام می گردد. در گام بعد تحلیل کوتاهترین مسیر در رستر انجام شده و سرانجام ارزیابی و مقایسه نتایج بر اساس طول مسیر و عبور از مناطق مجاز انجام می گیرد.

تلفیق معیارها به روش تاپسیس (TOPSIS)

هدف اصلی این تکنیک انتخاب گزینه ای است که نزدیکترین فاصله اقلیدسی را به گزینه ایده آل و دورترین فاصله اقلیدسی از ایده آل ترین گزینه منفی داشته باشد (۲۴). در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه Ai از نقطه ایده آل، فاصله آن از نقطه ایده آل منفی هم در نظر گرفته می شود. راه حل ایده آل (مثبت) راه حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می‌دهد. گزینه بهینه، گزینه ای است که کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل و در عین حال دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی دارد. به عبارتی در رتبه‌بندی گزینه‌ها به روش TOPSIS گزینه هایی که بیشترین تشابه را با راه‌حل ایده آل داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می‌کنند. گام های لازم جهت اجرای تکنیک تاپسیس به شرح زیر می باشد.



شکل ۲- فرآیند اجرایی تعیین مسیر انتقال خطوط لوله آبرسانی

قدم اول: تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس« بی مقیاس شده» با استفاده از رابطه ۱:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^2}} \qquad (۱)$$

قدم دوم: ایجاد ماتریس موزون v با استفاده از بردار w:

$$w = \{w1.\, w2.\, \ldots .\, wn\} \qquad (۲)$$

$$v = ND \times W_{n\times n} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{1j} & v_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ v_{m1} & v_{mj} & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

که در رابطه فوق ND ماتریس بی مقیاس شده و Wn×n ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر خواهد بود.

قدم سوم: مشخص نمودن راه حل ایده ال مثبت A+ و راه حل ایده ال منفی A- بر اساس روابط زیر:

$$A^+ = \left\{\left(\max V_{ij} \mid j\epsilon J^-\right).\left(\min V_{ij} \mid j\varepsilon J^+\right) \mid i = 1.2.\ldots.n\right\} = \{V_1^+.V_2^+.\ldots.V_J^+.\ldots.V_n^+\} \quad (۴)$$

$$A^- = \left\{\left(\min V_{ij} \mid j\epsilon J^-\right).\left(\max V_{ij} \mid j\varepsilon J^+\right) \mid i = 1.2.\ldots.n\right\} = \{V_1^-.V_2^-.\ldots.V_J^-.\ldots.V_n^-\} \quad (۵)$$

به طوری که j - مربوط به هزینه و j + مربوط به سود می باشند.

قدم چهارم: در این گام میزان فاصله یا اندازه جدایی محاسبه می گردد که در واقع فاصله گزینه i ام با ایدهآل های مثبت و منفی یعنی d_i^+ و d_i^- می باشند. با استفاده از روش اقلیدسی می باشد و نحوه محاسبه آن بدین قرار است:

$$d_i^+ = \left\{\left(\sum_{j=1}^{n} v_{ij} - v_j^+\right)^2\right\}^{1/2} \quad (۶)$$

$$d_i^- = \left\{\left(\sum_{j=1}^{n} v_{ij} - v_j^-\right)^2\right\}^{1/2} \quad (۷)$$

قدم پنجم: در این گام نزدیکی نسبی گزینه ها به راه حل ایده آل محاسبه می گردد. محاسبه نزدیکی نسبی Ai به راه حل ایده آل با کمک رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$CL_I^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۸)$$

قدم ششم: در این گام دسته بندی گزینه ها بر اساس ترتیب نزولی + CLi انجام می گردد و بر این اساس می توان گزینه موجود از مساله مفروض را دسته بندی نمود. هر چه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد آن گزینه مناسبتر است.

تلفیق معیارها با استفاده عملگرهای فازی

همپوشانی یکی از توابع مکانی است که می‌تواند لایه‌های مکانی که از منابع مجزا به‌دست‌آمده‌اند را به‌منظور کاربردهای پهنه‌بندی و مکان‌یابی با استفاده از مدل‌های ترکیبی با یکدیگر تلفیق کند. لایه جدید (خروجی) به‌صورت تابعی از دو یا چندلایه ورودی می‌باشد. در این بخش جهت همپوشانی لایه‌ها از عملگر فازی AND و گاما استفاده می‌شود. که از رابطه (۹)، (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$\mu_{combination} = MIN(\mu_A, \mu_B, \ldots\ldots\ldots) \quad (۹)$$

عملگر فازی AND مشابه اشتراک در مجموعه‌های کلاسیک می‌باشد و زمانی استفاده می‌شود که دو یا چند معیار باهم می‌توانند به حل یک مسئله کمک کنند.

$$\mu_{combination} = (FuzzySum)^{\gamma} \times (FuzzyProduct)^{1-\gamma} \quad \gamma \in [0,1] \quad (۱۰)$$

عملگر گاما حالت کلی ضرب جبری عملگر ضربی و جمعی فازی می‌باشد که هر دو به توان گاما رسانده شده‌اند و زمانی به کار می‌رود که تأثیرات کاهشی و افزایشی در تعامل معیارها وجود داشته باشد (۲۵) (۲۶).

تلفیق معیارها با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

هنگامی که معیارهای ارزیابی استاندارد شدند، باید وزن و اهمیت نسبی هر یک از آنها را در رابطه با هدف مورد نظر تعیین کرد. از آنجایی که نقش و اهمیت هر یک از معیارها در تعیین مسیر یکسان نیست از اینرو باید این عوامل، ارزش گذاری و وزن دهی شوند (۲۷). از میان روش های وزن دهی، روش مقایسه زوجی به دلیل داشتن مبنای تئوری قوی، دقت بالا و سهولت مورد استفاده قرار گرفته است.

در این روش، مقایسه درجه اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر در یک مقیاس از ۱ تا ۹ انجام می شود، که در نهایت از این قیاس جفتی یک ماتریس به دست می آید (۲۸). همچنین شاخصی برای ارزیابی سازگاری تصمیم گیری در AHP برای یک ماتریس مقایسه زوجی با رابطه زیر وجود دارد:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۱۱)$$

که در آن λ_{max} بیشترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه می باشد و n ابعاد ماتریس (تعداد معیارها) است. پس از نسبت گیری این شاخص نسبت به شاخص رندوم هرچه مقدار شاخص کوچکتر (معمولاً کمتر از ۰.۱ پذیرفتنی است) باشد، تصمیم گیری سازگارتر خواهد بود.

شیوه کوتاهترین مسیر در رستر

سطح هزینه ی تجمعی که در مراحل قبل ایجاد می شود، اساس این مرحله برای تعیین مسیر بهینه خواهد بود. توابع مسیریابی یک جستجوی هدایت شده را به صورت گام به گام از نقطه مقصد به سمت مبدأ با استفاده از یک قاعده تصمیم گیری مشخص انجام می دهد و این عمل تا زمانی که نیاز باشد، تکرار می شود. خروجی حاصل از این فرآیند، ایجاد یک یا چند مسیر از نقطه شروع است. در این مرحله، قاعدهی تصمیم گیری، حرکت به نقاطی با ارزش کمتر است که بر اساس یک تابع جستجو عمل می کند و فرآیند از سلولی که موقعیت مقصد را روی سطح با هزینه تجمعی نشان می دهد، شروع می شود و به سلول های همسایه با کمترین هزینه پیشروی صورت می گیرد و فرآیند تا زمانی که به نقطه مرجع برسیم ادامه می یابد که در شکل ۳ مراحل آن ملاحظه می شود (۲۹).

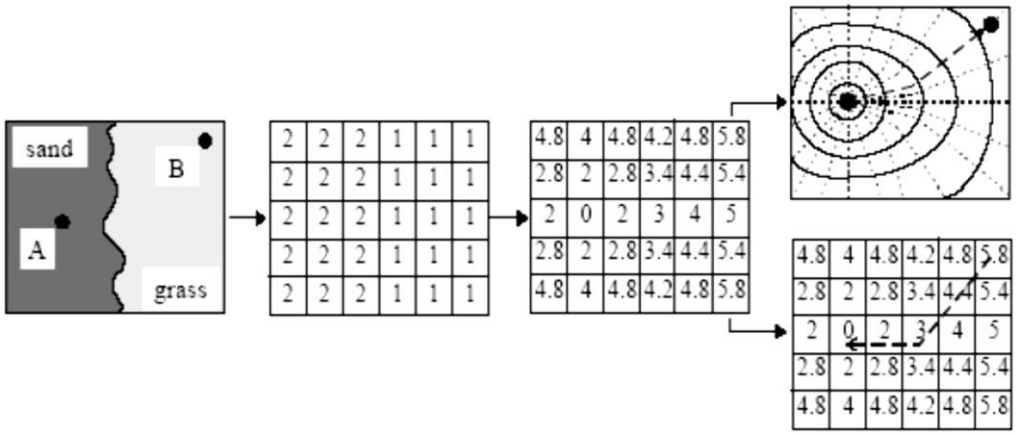
نتایج

در جریان تحلیل و استفاده از داده ها، لایه های مورد استفاده می بایست دارای سیستم تصویر UTM (Projection) و بیضوی مرجع و دیتوم WGS 1984 می شدند که این فرایند در نرم افزار ArcGIS انجام شد. در تحقیق حاضر DEM از تصویر ماهواره ای SRTM با پیکسل سایز

۳۰ متر تهیه گردید. با استفاده از نقشه DEM ، نقشه شیب محدوده مطالعاتی تهیه شد. یکی از معیارهای مهم و تاثیرگذار در بهینه سازی و طراحی مسیریابی وجود پارامتر شیب در منطقه می باشد. این عامل به عنوان محدودیت در پروژه تعریف می شود زیرا وجود شیب زیاد یا توپوگرافی مرتفع باعث افزایش حجم خاکبرداری و خاکریزی شده و موجب تحمیل هزینه های بالایی در پروژه می شود.

معیار مهم دیگر زمین شناسی منطقه می باشد. در صورتی که جنس سنگ و خاک بستر طبیعی زمین خیلی نرم باشد می تواند باعث ناپایداری و حتی شکست مصالح روی لوله ها شده و باعث ایجاد ترک ها و تخریب سازه زیر سازی و روسازی مسیر خط لوله می شود. برای شناخت وضعیت زمین شناسی منطقه، نقشه های سازمان زمین شناسی کشور مربوط به این منطقه به شکل رقومی درآمده و مورد استفاده قرار گرفت.

به عنوان معیار دیگر، نقشه های کاربری و پوششی اراضی بخش عمده ای از اطلاعات مورد نیاز برنامه ریزان را تأمین می نمایند. مسیر باید از جایی عبور داده شود که از لحاظ هزینه پایین ترین و از لحاظ آسیب های محیط زیستی نیز، کمترین خسارات را وارد کند. به عنوان مثال، باتوجه به اینکه عبور خط از مناطق جنگلی نیاز به مجوز عبور از سازمانهای ذیربط دارد لذا پیگیری آن مستلزم مدت زمان بوده و باعث افزایش زمان اجرای خطوط و هزینه ها می شود.

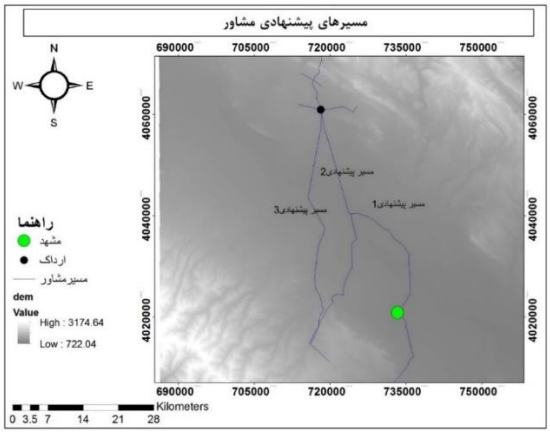


شکل ۳- فرآیند تعیین مسیر در مدل رستری- (منبع: Gonçalves 2010)

در عبور از مناطق دشت و بیابانی باتوجه به اینکه امکان احداث لوله ها و سهولت اجرا وجود دارد لذا سعی خود را به انتخاب کوتاهترین مسیر در این مناطق معطوف می سازیم. شناسائی زمین های ساحلی، زمین های با سطح ایستایی بالا، مناطق تاریخی و آثار باستانی، پارکها و مناظر طبیعی در این قسمت از اهمیت بسزائی برخوردار می باشد. زمین های مرطوب و نمک زار می توانند برای اجرای سازه های بتنی و حتی انتخاب نوع سیمان (ضد سولفات) مورد نظر، بسیار مهم و تأثیر گذار باشند. عبور از مناطق نظامی جزء موانع طرح می باشد و عبور از مناطق باغی و کشاورزی می تواند هزینه های سنگین ارزیابی و تهیه نقشه های مربوطه جهت تملک اراضی را تحمیل نماید. بهترین اراضی از جهتی دیگر، مناطقی است که کمترین مدعی از نظر مالکیت و کمترین ارزش زیست محیطی و مالی را داشته باشند. نقشه کاربری اراضی در این تحقیق نیز از سازمان نقشه برداری تهیه گردیده و بر اساس نکات عنوان شده امتیاز دهی گردید.

فاصله از مناطق مسکونی معیار دیگر مورد توجه در انتقال خطوط آب می باشد. در این گونه مناطق، مسئله مالکیت و قیمت زمین، رعایت حریم های مجاز، مسئله تداخلات رادیو و تلویزیونی و مخابراتی و القاء ولتاژ روی سایر تأسیسات از اهمیت خاصی برخوردار است. . از طرفی با بالا رفتن قیمت زمین و مسکن به ویژه در سالهای اخیر، چناچه عبور خط انتقال از مناطق مسکونی، به دلائل فنی ضروری باشد، پرداخت هزینه های بسیار سنگین حقوق ارتفاقی امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. یکی دیگر از پارامترهای مهم در تعیین مسیر بهینه، نحوه برخورد با عوارض آبی می باشد. به گونه ای که با افزایش تعداد عبورهای مسیر از عوارض آبی مانند رودخانه ها، نیاز به احداث پل افزایش یافته که به تبع آن هزینه های ساخت نیز افزایش می یابد. همچنین در حریم رودخانه ها احتمال آبگرفتگی و بروز مخاطرات طبیعی وجود دارد. از طرف دیگر، امکان آلودگی رودخانه ها در صورت مجاورت با زیرساختها افزایش می یابد. این امر با تهیه نقشه فاصله از آبراهه ها در این تحقیق محقق گردید. کم کردن تعداد تقاطع ها با جاده ها و راههای موجود نیز علاوه براینکه هزینه های ساخت را کاهش می دهد باعث بالا رفتن امنیت خطوط لوله نیز خواهد شد. به منظور شناخت راه ها، نقشهٔ راه های منطقه بر اساس نقشه های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری تهیه شد و با تحلیل فاصله، نقشه معیار فاصله از راه ها تهیه گردید.

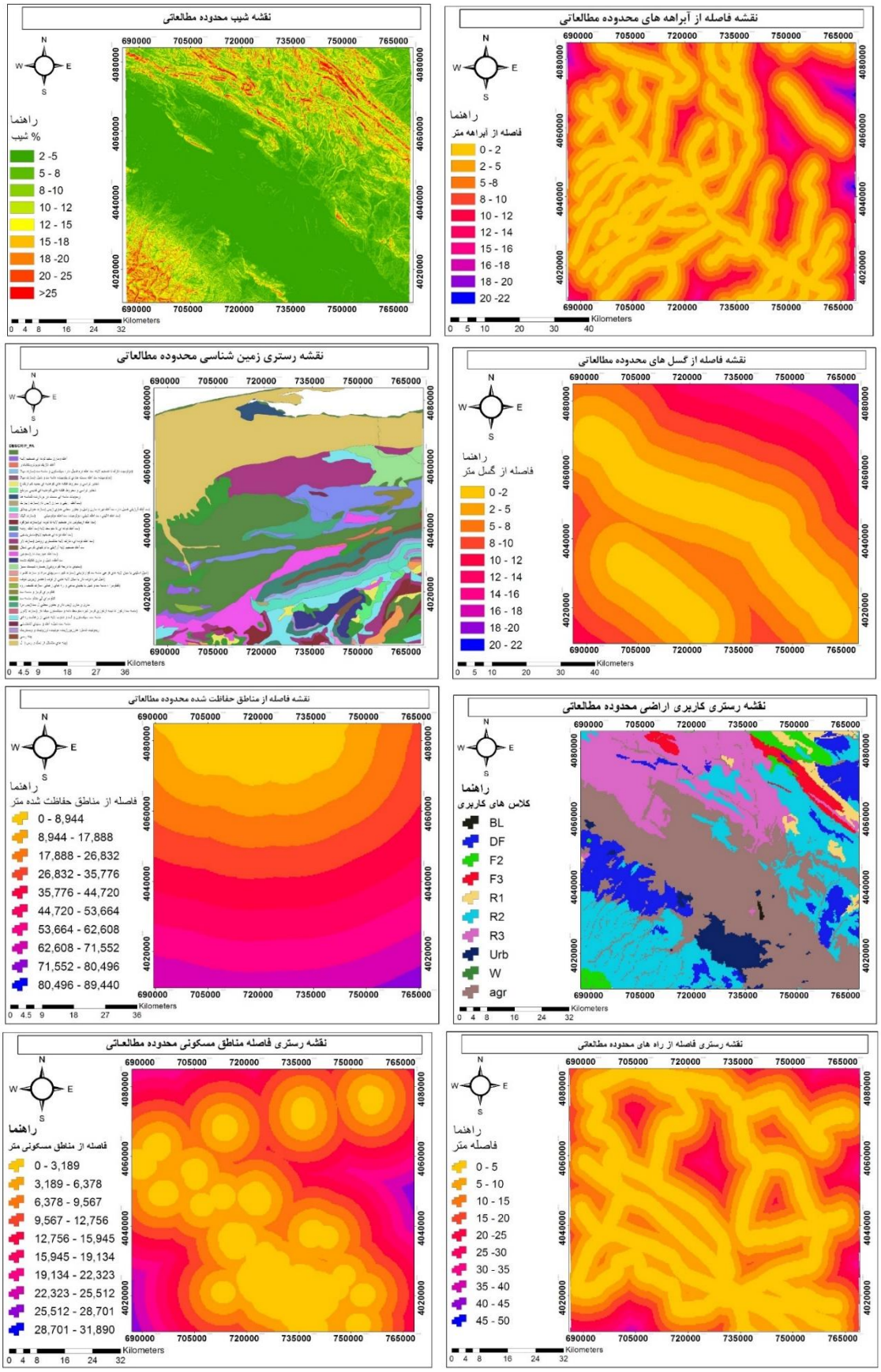
به عنوان معیار دیگر گسل و رانش زمین به عنوان یک پدیدها مخاطره آمیز در تاسیسات مختلف و زیر ساختی محسوب می شود. با تهیه نقشه های گسل از سازمان زمین شناسی کشور اقدام به نقشه معیار فاصله از گسل گردید. در کنار نقشه های معیار تولید شده، برای صحت سنجی تحقیق، نقشه مسیر توسط مشاورین آب و فاضلاب که به صورت سنتی مسیریابی شده است تهیه گردید (شکل ۴). نتایج حاصل از روش مسیریابی تحقیق حاضر در نهایت با مسیر پیشنهادی مشاور مقایسه خواهد شد.



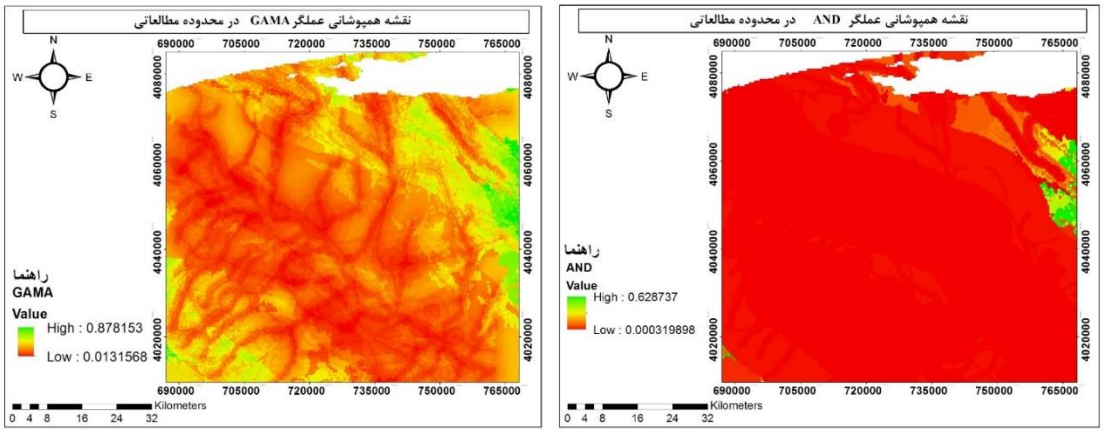
شکل ٤- مسیرهای پیشنهادی اولیه توسط مشاوران

به کمک رستر سازی با توجه نوع لایه اطلاعاتی موجود، برخی نقشه ها از ماهیت برداری به رستر تبدیل شده و ارزش هر پیکسل با توجه به نوع داده تعیین گردید. از مهمترین توابع جهت رستر سازی محدوده عوارض و منطقه مطالعاتی به غیر از فرآیند Vector to Raster تابع فاصله اقلیدسی یا Eucldiane Distance می باشد. این تابع از زیر مجموعه توابع Distance از مجموعه تحلیل های مکانی می باشد. این تابع در واقع فاصله مستقیم از مرکز هر Pixel تا مرکز Pixel عوارض را محاسبه کرده و به هر پیکسل اختصاص می دهد. لازم به توضیح است که مبنای تعیین حریم عوارض موجود نظرات کارشناسان، منابع و استانداردهای وجود جهت تعیین حریم مناطق جاگذاری خطوط انتقال آب و شرایط منطقه مطالعاتی بوده است. پس از این مرحله نقشه های معیار استاندارد تهیه گردید. استاندارد سازی یا طبقه بندی مجدد فرآیندی است که در طی آن ارزش پیکسل های مختلف یک نقشه رقومی به مقیاس های قابل مقایسه تبدیل می شوند که این عمل با فرآیند بازطبقه بندی یا Reclassify در نرم افزار ArcGIS صورت گرفت. تمامی نقشه های معیار استاندارد تهیه شده طی فرآیند های تحلیل مکانی در GIS در شکل ۵ ملاحظه می گردد.

پس از تهیه نقشه های معیار استاندارد، به شیوه های مختلف تلفیق که در بخش روش اجرا توضیح داده شد، اقدام به وزن دهی و تهیه نقشه هزینه گردید. در شیوه منطق فازی دو عملگر AND و GAMA بر روی نقشه های معیار استاندارد اعمال گردید. در شکل ۶ نقشه پهنه بندی عملگرهای AND و GAMA نشان داده شده است.

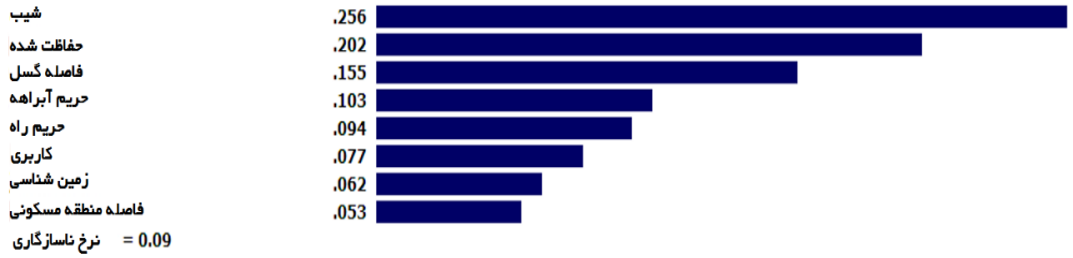


شکل ۵- نقشه های معیار استاندارد تولید شده در مسئله مسیریابی خطوط انتقال آب



شکل٦- نقشه هزینه حاصل از همپوشانی معیارها با عملگر های AND و GAMA فازی

	شیب	حفاظت شده	فاصله گسل	حریم آبراهه	حریم راه	کاربری	زمین شناسی	فاصله منطقه مسکونی
شیب		3.0	2.0	4.0	2.0	3.0	2.0	3.0
حفاظت شده			3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0
فاصله گسل				3.0	3.0	2.0	3.0	2.0
حریم آبراهه					2.0	2.0	3.0	2.0
حریم راه						2.0	3.0	2.0
کاربری							2.0	3.0
زمین شناسی								2.0
فاصله منطقه مسکونی	0.09	ناسازگاری:						

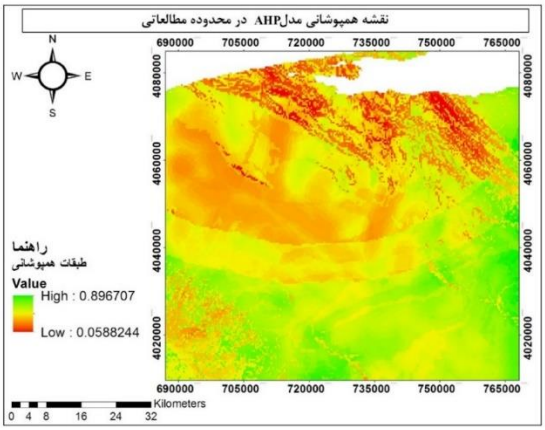


شکل ۷- ماتریس مقایسات زوجی و وزن های به دست آمده در روش AHP

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با تولید ماتریس مقایسه زوجی در نرم افزار Expert Choice وزن معیارها نسبت به همدیگر و وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار تولید گردید؛ سپس جهت کنترل فرآیند صورت گرفته اقدام به تولید مقدار نرخ ناسازگاری گردید که به دلیل کمتر بودن شاخص CI از ۰/۱ بودن این مقدار فرآیند وزن دهی تائید شد. نتایج ارزش گذاری پرسش نامه ها توسط کارشناسان و در نهایت وزن نهایی معیارها در شکل ۷ نشان داده شده است. با اعمال همپوشانی وزن دار یا Weighted Overlay بر اساس وزن های بدست آمده، نقشه هزینه در مدل AHP مطابق شکل ۸ تهیه گردید.

برای شیوه TOPSIS در مرحله شروع نیاز بود برای هر یک از معیارها با توجه به اهمیتشان وزنی تعیین شود. در ساده ترین حالت می توان از رتبه بندی و اختصاص امتیاز بر اساس اهمیت یعنی شیوه Importance Ranking Method (IRM) استفاده نمود.

اما توصیه می شود به منظور افزایش کیفیت، نتایج وزن بر اساس مقایسات زوجی مطابق AHP محاسبه و مورد استفاده قرار گیرند که این مقایسه زوجی پیشتر در شکل ۷ نمایش داده شد و نتایج این وزن ها در جدول ۱ ملاحظه می شود.



شکل ۸- نقشه هزینه حاصل از همپوشانی معیارها با مدل AHP

جدول ۱- استفاده از وزن های کارشناسی به معیارها برای شروع فرایند تاپسیس

معیارها	شیب	فاصله از مناطق حفاظت شده	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده	کاربری اراضی	زمین شناسی	فاصله از مناطق مسکونی
وزن	۰/۲۵۶	۰/۲۰۲	۰/۱۵۵	۰/۱۰۳	۰/۰۹۲	۰/۰۷۷	۰/۰۶۲	۰/۰۵۳

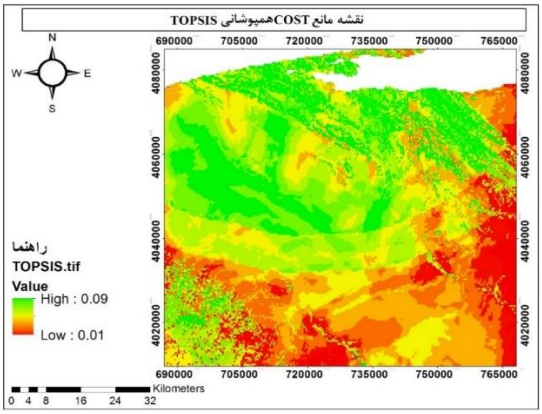
جدول ۲- ایده آل پوینت های مثبت و منفی

ردیف	معیار	ایده آل پوینت مثبت	ایده آل پوینت منفی
۱	شیب	۰/۹۹۹	۰/۰۳۸
۲	فاصله از مناطق حفاظت شده	۰/۹۹۹	۰/۰۵۰
۳	فاصله از گسل	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰۳
۴	فاصله از آبراهه	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰۳
۵	فاصله از جاده	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰۳
۶	کاربری اراضی	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰۳
۷	زمین شناسی	۰/۹۹۹	۰/۰۳۵
۸	فاصله از مناطق مسکونی	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰۳

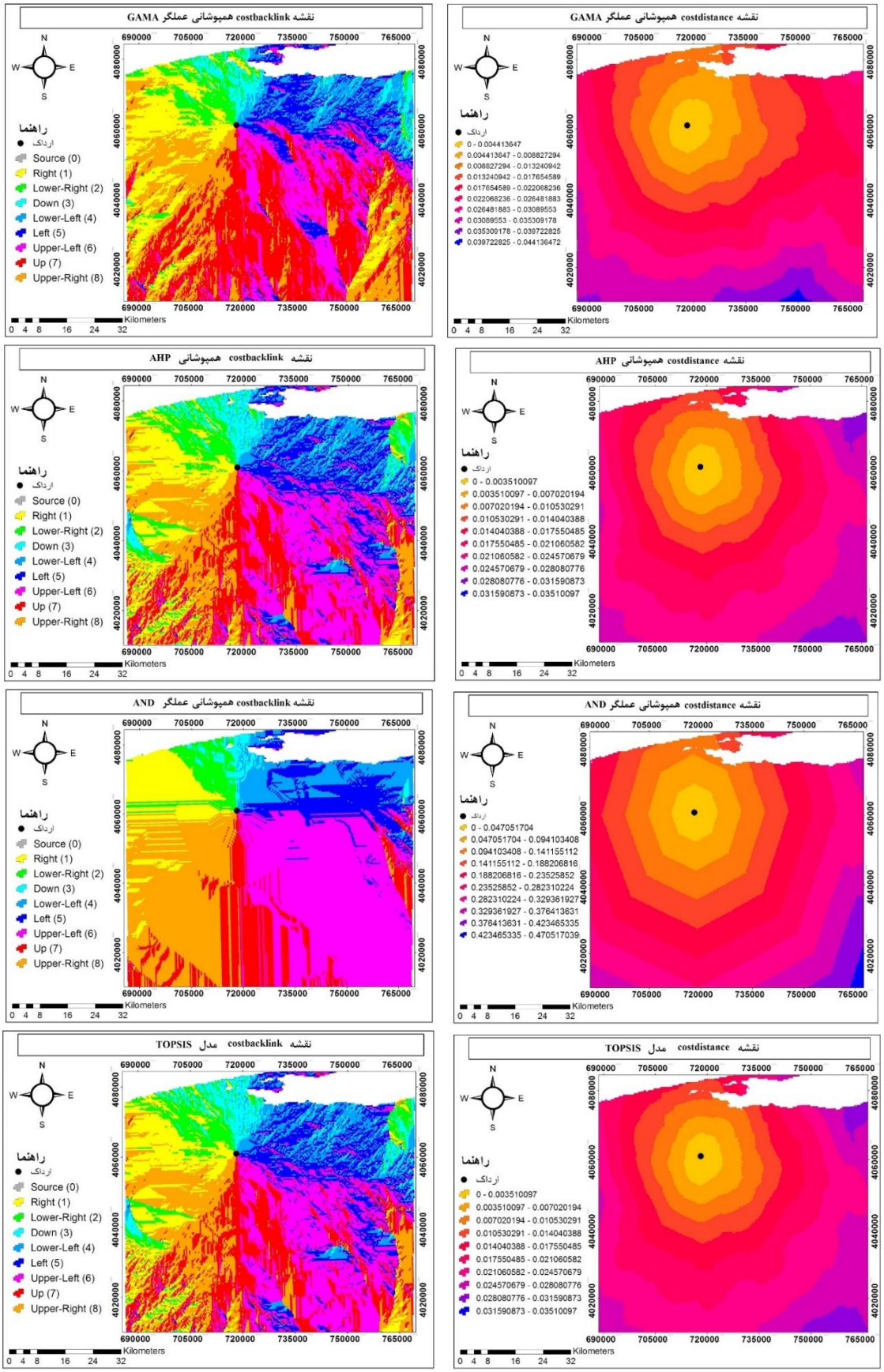
آنگونه که ملاحظه می شود وزن ها بین صفر و یک نرمالسازی شده اند. در این راستا شاخص های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری برخوردارند. در مرحله بعد ماتریس بی بعد وزین از حاصلضرب مقادیر استاندارد هر یک از ۸ شاخص ها در اوزان مربوط به خود بدست می آید. سپس از روابط ۳ تا ۷ مراحل استخراج ایده آل پوینت های مثبت و منفی برای هر معیار انجام گرفته و سپس فاصله گزینه ها از ایده آل های مثبت و منفی بدست آمد (جدول ۲). بدین ترتیب در نهایت دو لایه (نقشه) خواهیم داشت یک لایه که نشان دهنده فاصله معیارهایمان از ایده آل های مثبت و یک لایه نشان دهنده فاصله معیارهایمان از ایده آل های منفی می باشد. در تحقیق حاضر فاصله از ایده آل پوینت های منفی در حقیقت همان لایه COST یا هزینه خواهد بود. نقشه هزینه نهایی به روش TOPSIS که در الگوریتم مسیریابی استفاده می شود، در شکل ۹ ارائه شده است.

در مرحله بعد تهیه دو لایه مورد نیاز جهت تعیین کوتاه ترین مسیر مورد نیاز بودند که این لایه ها عبارتند از Cost Back Link و Cost Distance می باشد. تابع Cost Distance موانعی که در مسیر پیکسل تا منبع موجود می باشد را نیز درنظر می گیرد و تابع Cost Back Link نشان دهنده جهت موانع در هشت جهت جغرافیایی می باشند.

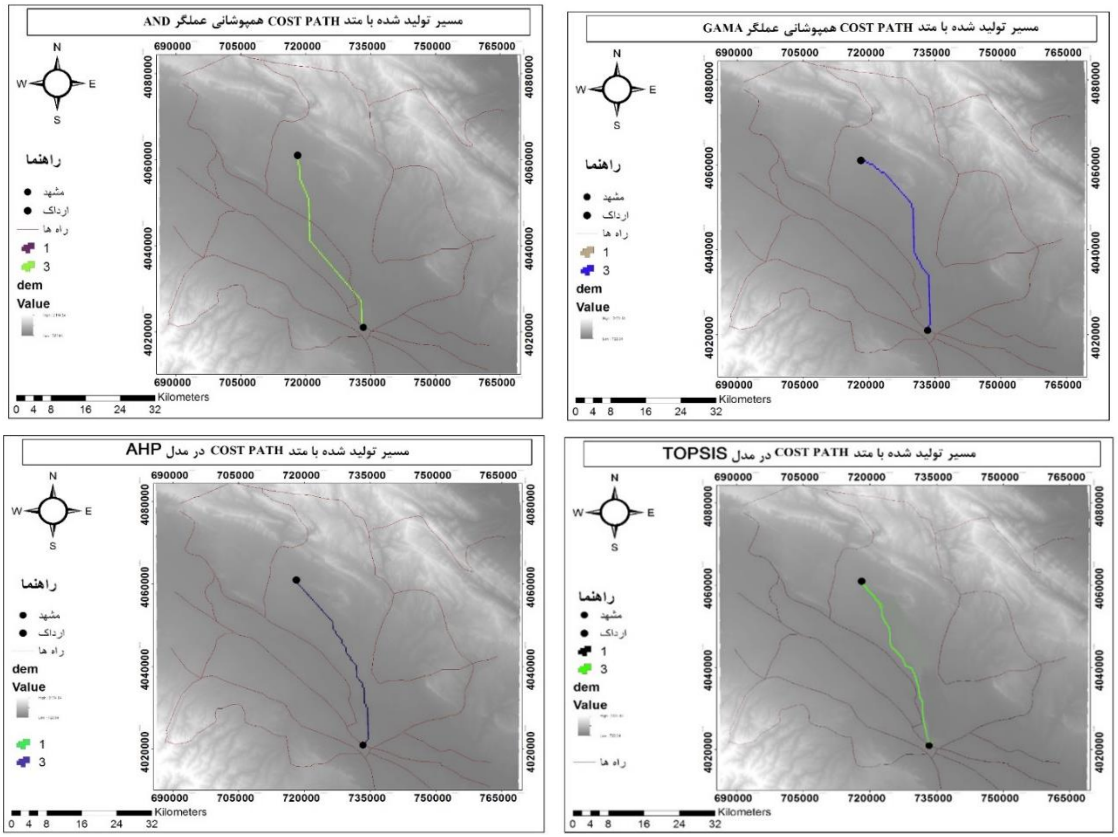
در شکل ۱۰ نمایی از نقشه های Cost Back Link و Cost Distance مشاهده می شود. تولید مسیرهای بهینه نهایی در نرم افزار ArcMAP با در اختیار داشتن لایه های تولید شده شامل Cost Distance، Cost back link و داشتن shape file نقطه ابتدایی و انتهایی مسیر انجام شد. این مسیرها با استفاده از متد each cell که آنالیز را بر روی تمامی پیکسل ها انجام می دهد انجام گرفت. نتایج تعیین بهترین مسیر بدین شیوه در شکل ۱۱ قابل مشاهده است.



شکل ۹- نقشه هزینه حاصل از تلفیق معیارها در روش TOPSIS



شکل ۱۰- نقشه cost distance و نقشه cost back link بر اساس نقشه های همپوشانی روش های Fuzzy AND، Fuzzy GAMA، AHP و TOPSIS



شکل ۱۱- مسیر با کمترین هزینه تولید شده با استفاده از روش های Fuzzy AND، Fuzzy GAMA، AHP و TOPSIS

بحث

با بررسی مسیرهای بدست آمده، طول مسیرهای تحلیل های انجام شده در منطق AND، GAMA، AHP و TOPSIS به ترتیب ۴۴.۷۹۸، ۴۶.۷۵۵، ۴۵.۷۳۱ و ۴۵.۵۳۱ کیلومتر به دست آمد. اگرچه معیار ما در این تحقیق کم هزینه تر بودن و در نظر گرفتن بسیاری از محدودیت ها، معیارها و ملاحظات بود اما در عین حال طول مسیرها نیز از مسیرهای پیشنهادی به روش سنتی کوتاهتر گردید. در مسیرهای پیشنهادی مشاور مسیر ۱ دارای طول ۷۲.۳۰۶ ، مسیر پیشنهادی ۲ دارای طول ۶۳.۱۰۸ و مسیر پیشنهادی ۳ دارای طول ۴۸.۶۹۰ بوده است. نتایج تحقیق بیان کننده قابلیت بالای سیستم های اطلاعات جغرافیایی در تعیین مسیر بهینه برای احداث خط انتقال آب می باشد. همچنین در مطالعات مربوط به انتخاب مسیر بهینه، بهترین مسیر همیشه یک خط مستقیم نیست چرا که با نگاهی به نقشه نهایی معلوم می شود که هیچکدام از مسیرهای پیشنهادی توسط تحلیل های GIS به صورت یک خط مستقیم و راست نیستند. اگر بخواهیم نتایج روش ها را بر اساس طول مسیر مرتب نماییم، تحلیل منطق AND، TOPSIS، AHP و GAMA به ترتیب کمترین تا بیشترین طول را داشته اند. مقایسه نتایج بر اساس معیارهای مختلف در جدول ۳ نمایش داده شده است. در مقایسه مسیر پیشنهادی مشاور مسیر سوم دارای کمترین طول بوده است. از این بین نتایج Fuzzy AND و TOPSIS از کمترین طول و کمترین پیچ و خم برخوردار می باشند. اما مسیر مدل TOPSIS علاوه بر طول مناسب و پیچ و خم کم، به دلیل رعایت بهتر حریم ها و نزدیک تر بودن به پیشنهاد مشاور نهایتاً به عنوان بهترین مسیر انتخاب گردید.

نتیجه گیری

مسیر یابی یکی از حساس ترین بخش های طراحی خطوط انتقال آب است. هرگونه اشتباه در انتخاب مسیر می تواند در زمان اجرا و یا بهره برداری خط منجر به بروز خسارات یا هزینه زیاد برای شرکت های آب منطقه ای شود. از آنجایی که مسیریابی و مکان یابی به طور کلی یک مسئله ارزیابی چند معیاره می باشد و در نظر گرفتن تمامی این عوامل به طور یکجا توسط انسان به طور مستقیم و بدون نرم افزارها امکان پذیر نمی باشد، در طراحی این خطوط نیاز به مدل هایی است که تمامی عوامل را به صورت یکجا و در یک زمان در نظر بگیرد. . تعیین مسیرهای اولیه و یافتن بهترین گزینه از بین آنها عاملی تعیین کننده در هزینه های یک پروژه است. چه بسا مسیرهایی که به دلیل نامناسب بودن محل گذر آنها، هزینه های مختلفی مانند هزینه های ساخت، بهره برداری و غیره به پروژه تحمیل می دارند و اصلاح آنها نیاز به زمان و انرژی بسیار دارد.

جدول ۳- مقایسه نتایج روش های مختلف مسیریابی بکار رفته

معیارها	Fuzzy AND	Fuzzy GAMA	AHP	TOPSIS
رتبه بر اساس طول مسیر	۱	۴	۳	۲
رتبه بر اساس کمترین پیچ و خم	۱	۳	۴	۲
رتبه بر اساس نزدیکی به مسیر مشاور	۴	۳	۳	۱
رتبه بر اساس رعایت بهتر حریم ها	۳	۴	۲	۱
رتبه نهایی	۲	۴	۳	۱

بنابراین استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور در مسیریابی الزامی به نظر می رسد. نتایج استخراج شده در این پژوهش نشان می دهند که اولاً دقت انجام اینگونه مطالعات به مقدار زیادی وابسته به دقت نتایج استخراج شده از GIS است. ثانیاً بدون به کارگیری این سیستم ها عملاً انجام بسیاری از قسمت های یک مطالعه اصولی با توجه به در نظر گرفتن چندین معیار با یکدیگر امکان پذیر نبوده است و یا نتایج قابل قبول و منطقی به همراه نخواهد داشت. در نتیجه می توان به کارگیری GIS را به عنوان یک ابزار مطمئن، اساسی و قابل اعتماد در مطالعات پیشنهاد داد .

در این پژوهش نیز برای حل مسأله تعیین مسیر بهینه از تکنیک های GISو الگوریتم کم هزینه ترین مسیر در رستر و شیوه های مختلف تصمیم گیری Fuzzy AND ، Fuzzy GAMA، AHP و TOPSIS استفاده شد. طول مسیرهای تحلیل های انجام شده در منطقAND ، GAMA، AHP و TOPSIS به ترتیب ۴۴.۷۹۸، ۴۶.۷۵۵، ۴۵.۷۳۱ و ۴۵.۵۳۱ کیلومتر به دست آمد. با بررسی دقیقتر مناطق عبوری تحلیل های GIS و مسیرهای پیشنهادی مشاور مسیر مدل TOPSIS به دلیل رعایت حریم های در نظر گرفته، کمترین پیچ و تاب و نزدیکی و در عین حال نزدیکی به نظر مشاور بهترین مسیر انتخاب گردید. از آن جایی که در مدل ارایه شده در این تحقیق تقریباً تمام پارامترهای تابع هزینه را که قابل تعریف هستند در نظر گرفته شده و مسیر بهینه ای را ارائه نمود که جمع هزینه احداث و بهره برداری آن در چرخه عمر پروژه، کمینه باشد. این روش در مقایسه با شیوه های قضاوت مهندسی که تاکنون از آنها استفاده می شده، گام مؤثری در بهبود وضعیت اقتصادی طرح ها دارد. روش بهینه سازی مسیریابی پیشنهادی می تواند جهت حمایت از تصمیم گیری در خدمت مدیران و تصمیم گیرندگان سازمان آب منطقه ای قرار گیرد. در واقع با این فن آوری مدیریت حجم عظیمی از اطلاعات متنوع با صرف کمترین هزینه و در کوتاه ترین زمان انجام می شود.

پیشنهادها

در پایان برای مطالعات آتی می توان پیشنهادات زیر را ارائه نمود:

- با توجه به وضعیت توپوگرافی طبیعی زمین، باید مدل را برای طراحی مسیر در وضعیت های متفاوت زمین (دشت، تپه ماهور، کوهستان) به طور مجزا تکمیل کرد.
- با استفاده از یک مدل GIS مناسب، طرح های جامع کشوری و استانی مورد بازنگری و کنترل قرار بگیرند و پروژه های خط انتقال آب در دست مطالعه، اصلاح گردند.
- از روشهای دیگر نظیر شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای مسیریابی خط انتقال آب در منطقه مورد مطالعه استفاده شده و نتایج آن با نتایج تحقیق مقایسه شود.
- پیشنهاد می شود در کنار پارامترهای لحاظ شده در این تحقیق، به پارامترهای پدافند غیرعامل نیز توجه ویژه ای گردد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: امین داورپناه، محمد حسن وحیدنیا؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: امین داور پناه؛ نظارت و نگارش نهایی: امین داورپناه، محمد حسن وحیدنیا.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Yazdanpanah M, Hayati D, Zamani GH, Karbalaee F, Hochrainer-Stigler S. Water management from tradition to second modernity: an analysis of the water crisis in Iran. Environ Dev Sustain. 2013;15(6):1605–21.
2. Sadeghi M. Evaluation of LIDAR data in

designing new water transmission lines. Master Thesis Surv Eng. 2014;
3. Matkan A, Pourali SH, Mirbagheri B, Mohammadi S. An overview of optimal routing methods for linear features in the raster model. In: Proceedings of the 1st Conference of New Aspects in Geography, Planning Sciences, Architecture and Urban Planning of Iran. 2015. p. 161–71.
4. Vahidnia MH. Automatic extraction of sophisticated qualitative trajectory relationships between two moving objects in space-time. Trans GIS. 2021;25(1):334–58.
5. Taye BZ, Workineh TG, Nebey AH, Kefale HA. Rural electrification planning using Geographic Information System (GIS). Cogent Eng. 2020;7(1):1836730.
6. Ghasemi A, Shamsaei A, Jazaei F. Determining the route of water transmission line with the help of GIS and satellite images taking into account the technical-economic and environmental goals. In: Proceedings of the 8th International Civil Engineering Congress. 2009. p. 21–9.
7. Naseri H, Azizkhani MJ, Maknooni Gilani S. Combining multi-criteria decision making systems and geographical information in locating suitable flood spreading sites for artificial feeding (Case study: Chah Deraz plain-Sirjan). Iran J Geol. 2009;3(10):97–105.
8. Asgharipour Dasht Bozorg N, Servati MR, Kardavani P, Shayan S. Identification suitable areas of flood Spreading for artificial recharge groundwater using AHP method in GIS environment Case study:Abied-Sarbishe of Gotvand. territory. 2013;10(2):93–108.
9. Abedian S, Salmanmahiny A, Alizadeh A, khorasani nemat allah. Using Least Cost Pathway in road routing in Kordkuy, Bandar-e-Gaz and Galugah Towns. Geogr Plan Sp. 2015;5(15):81–94.
10. Chowdary VM, Chakraborthy D, Jeyaram A, Murthy YVNK, Sharma JR, Dadhwal VK. Multi-criteria decision making approach for watershed prioritization using analytic hierarchy process technique and GIS. Water Resour Manag. 2013;27(10):3555–71.
11. Bagli S, Geneletti D, Orsi F. Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. Environ Impact Assess Rev. 2011;31(3):234–9.
12. Peng Z. Implementation of optimal pacing scheme in xinjiang's oil and gas pipeline leak monitoring network. J networks. 2011;6(1):54.
13. Yildirim F, Kadi F. Production of optimum forest roads and comparison of these routes with current forest roads: a case study in Maçka, Turkey. Geocarto Int. 2020;1–23.
14. Moradgholi N. Selecting the optimal path using multi-criteria decision making method. Master thesis, Shahid Beheshti Univ. 2005;
15. Hamid-Mosaku IA, Oguntade OF, Ifeanyi VI, Balogun A-L, Jimoh OA. Evolving a comprehensive geomatics multi-criteria evaluation index model for optimal pipeline route selection. Struct Infrastruct Eng. 2020;16(10):1382–96.
16. Beheshtifar S, Alimohammadi A, Mansourian A. Routing power lines with a multi-objective optimization approach. Iran J Remote Sens & GIS. 2012;3(4):19–32.
17. Li X, He J, Liu X. Ant intelligence for solving optimal path-covering problems with multi-objectives. Int J Geogr Inf Sci. 2009;23(7):839–57.
18. Ebrahimipour A, Teymourian K, Alesheikh A. Routing water transmission lines using GIS. In: Proceedings of the 3rd Conference of Geospatial Information Systems. 2006. p. 34–40.
19. Vahidnia MH, Vafaeinejad A, Shafiei M. Heuristic game-theoretic equilibrium establishment with application to task distribution among agents in spatial networks. J Spat Sci. 2019;64(1):131–52.
20. Antikainen H. Comparison of Different Strategies for Determining Raster-Based Least-Cost Paths with a Minimum Amount of Distortion. Trans GIS. 2013;17(1):96–108.
21. Ayazi SM, Mashhorroudi MF, Ghorbani M. Modified a* Algorithm Implementation in the Routing

Optimized for Use in Geospatial Information Systems. Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. 2014;40(2):69.
22. Eldrandaly KA, Hassan MM, AbdelAziz NM. A modified artificial bee colony algorithm for solving least-cost path problem in raster GIS. Appl Math \& Inf Sci. 2015;9(1):147.
23. Murekatete RM, Shirabe T. An experimental analysis of least-cost path models on ordinal-scaled raster surfaces. Int J Geogr Inf Sci. 2021;35(8):1545–69.
24. Konstantinos I, Georgios T, Garyfalos A. A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece. Energy Policy. 2019;132:232–46.
25. Alesheikh AA, Soltani MJ, Nouri N, Khalilzadeh M. Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system. Int J Environ Sci \& Technol. 2008;5(4):455–62.
26. Shariat R, Roozbahani A, Ebrahimian A. Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making. Sci Total Environ. 2019;647:1468–77.
27. Malczewski J, Rinner C. Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer; 2015.
28. Saaty TL. Decision making with the analytic hierarchy process. Int J Serv Sci. 2008;1(1):83–98.
29. Gonçalves AB. An extension of GIS-based least-cost path modelling to the location of wide paths. Int J Geogr Inf Sci. 2010;24(7):983–96.