



Optimizing Tourist Routes in Tehran's District 12 Using Open TSP and GIS Network Analysis

Saeedeh Fakhari¹

1. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Tourism, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: S.fakhari@khu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Tehran's District 12, a significant cultural and tourism hub within the capital, boasts a collection of prominent cultural institutions and museums that attract both domestic and international visitors. However, the lack of systematic route planning among these centers results in wasted time and energy for tourists, thereby diminishing the quality of their experience. This study seeks to optimize museum visitation routes in Tehran's District 12, with a focus on minimizing travel time and distance. We selected 22 active and significant museums in the area as case studies. To achieve this, the mathematical model of the Open Traveling Salesman Problem (Open TSP) was applied within a Geographic Information System (GIS) network analysis framework. Precise spatial data, including the geographic locations of museums and the local street network, were imported into ArcGIS software and processed using the Network Analyst tool. Travel cost matrices (based on time and distance) between all museum pairs were calculated, and optimal visitation routes were extracted and ranked using heuristic Open TSP algorithms, prioritizing minimum time and shortest distance. Findings indicate that applying the Open TSP model within network analysis identifies significantly more efficient routes compared to conventional patterns or unplanned visits. Quantitative results show that, under normal (non-optimized) conditions, visiting all 22 museums covers a distance of 25.91 km with a travel time of 310 minutes. In contrast, the optimized proposed route requires only 9.896 km and 118 minutes of travel time. This represents a 62% reduction in both distance and travel time. The study demonstrates the high efficiency of integrating combinatorial optimization models with GIS spatial analysis capabilities for urban tourism planning. It can serve as a model for intelligent management of tourist visitation routes in other urban areas. The results enable informed decision-making and optimal planning for both group and individual visits, significantly enhancing the tourism experience by reducing time and physical costs.
Article history:	
Received	
2025/09/23	
Received in revised	
2025/12/19	
Accepted	
2026/04/27	
Published	
2026/04/28	
Published online	
2026/06/22	
Keywords: Open Traveling Salesman Problem, Museum, Tourism, Network Analysis, Tehran.	
Cite this article: Fakhari, Saeedeh. (2026). Optimizing Tourist Routes in Tehran's District 12 Using Open TSP and GIS Network Analysis. <i>Applied Researches in Geographical Sciences</i> , 26 (81), 192-213. DOI: http://dx.doi.org/10.66224/jgs.26.81.15	
 © The Author(s). Publisher: Kharazmi University DOI: http://dx.doi.org/10.66224/jgs.26.81.15	



Extended Abstract

Introduction

In the contemporary era, cultural tourism stands as one of the most vibrant and sustainable forms of tourism, playing a pivotal role in the development of historic cities and the revitalization of cultural fabrics. Within this context, museums—as repositories of cultural heritage—not only safeguard the historical identity of societies but also serve as primary attractions for tourists in major cities (Zal et al., 2020; Zhang et al., 2025). Tehran's District 12, with its exceptional concentration of prominent museums such as the National Museum of Iran, Golestan Palace, and the Glassware and Ceramic Museum, functions as the historical heart of the capital and one of Iran's most significant hubs for domestic and international cultural tourism (Moshkini et al., 2017). However, fully leveraging this rich potential is hindered by a fundamental challenge: “inefficient accessibility” for tourists navigating the dense, complex, and traffic-congested urban fabric of this historic district.

Urban tourism experience is fundamentally rooted in the act of “movement” between attractions (Heydari et al., 2013). The quality of pedestrian and vehicular pathways directly impacts tourist satisfaction, reduces fatigue, increases meaningful visitation time, and even prevents physical and functional decay of historic districts (Talebi et al., 2021; Goodarzi et al., 2021). Therefore, designing optimal routes for museum visits is not merely a practical necessity but a strategic imperative for promoting sustainable tourism and revitalizing historic urban tissues. To address this challenge, modern technologies such as Geographic Information Systems (GIS)—particularly Network Analysis tools in platforms like ArcGIS—provide powerful capabilities for realistically modeling street networks and optimizing travel routes (Mohammadi & Kazemi, 2020; Esquivel et al., 2015). Additionally, the mathematical model known as the Open Traveling Salesman Problem (Open TSP)—which seeks the optimal sequence of visiting a set of locations without requiring return to the origin—has emerged as an efficient framework for planning urban tourist itineraries (Sirirak & Pitakaso, 2018; Iulio & Cofrancesco, 2023). The present study, focusing on Tehran's District 12, applies a combined methodology of GIS Network Analysis and the Open TSP algorithm to determine the optimal visiting sequence for its key museums. The ultimate goal is to significantly reduce tourists' total travel time and distance, enhance the visitor experience, and provide an operational tool for intelligent crowd management and historic district revitalization.

The concept of “route” in tourism predates the formal definition of tourism itself. In recent decades, specially designed thematic tourist routes—such as Germany's Beer Route, Scotland's Whisky Trail, Belgium's Textile Route, or transnational cultural-religious paths like the “Abraham Path” and the “Hajj Route” from Istanbul to Mecca—have gained global attention (Flognfeldt Jr, 2005). This trend reflects the emergence of the “route-based tourism” paradigm, developed since the 1950s, which emphasizes linking attractions under a unified thematic framework, dispersing visitor flows, extending length of stay and spending, introducing lesser-known sites, and ultimately enhancing the sustainability of tourism products (Vada et al., 2022; Meyer, 2004).

Material and Methods

(Step-by-Step Methodology): This study is an applied research project employing a quantitative-analytical approach, designed to optimize pedestrian and vehicular access routes to 22 museums and cultural attractions in Tehran's District 12. The core



methodology combines the Open TSP algorithm with GIS-based Network Analysis using ArcMap 10.8 and its Network Analyst extension (Curtin et al., 2014). The implementation proceeded through the following stages: Data Collection and Preparation: Precise geographic coordinates of the 22 attractions and the urban street network (including main and secondary roads) were collected. All spatial data were georeferenced and converted into vector layers in ArcGIS: point features for attractions and line features for streets. Topological Network Construction: A Network Dataset was built using the Network Analyst tool, modeling the street network as interconnected nodes and edges. Network attributes such as directionality, speed limits, and access restrictions were incorporated. Topology rules ensured connectivity, continuity, and integrity of the street network for accurate routing analysis. Cost Matrix Calculation: Using Dijkstra's shortest-path algorithm, the system computed the Origin-Destination (OD) Cost Matrix, determining the shortest travel cost (time or distance) between every pair of attractions. The resulting matrix was asymmetric, reflecting real-world variations in travel impedance. Route Sequence Optimization via Tabu Search: An initial tour sequence was generated using heuristic methods such as Nearest Neighbor (NN) or Insertion Algorithm. This initial solution was then refined using the Tabu Search metaheuristic, applying local search moves (e.g., 2-opt swaps) while avoiding recently visited solutions via a Tabu list, to minimize total travel cost. Result Visualization and Analysis: The final optimized route was solved and displayed within ArcMap. Attractions were ranked according to their visitation order in the optimal sequence. A final map illustrating the optimized tourist route was produced for practical and strategic use. This methodology, grounded in real-world spatial data and advanced network modeling, provides an intelligent, operational solution to enhance tourist experience and mobility efficiency within Tehran's dense historic urban fabric.

Results and Discussion

To evaluate and optimize access to tourist museums in District 12 of Tehran, network analysis within a Geographic Information System (GIS) environment and the Open TSP algorithm were employed. Initially, the precise geographic locations of 22 active museums in the study area were recorded and imported into GIS software as a point layer. Additionally, the road network of the district—including all streets and public thoroughfares—was extracted with appropriate practical accuracy and designated as the transportation network layer. In the first phase, without applying any optimization algorithm, routing was performed directly and non-optimally through the road network. This route is illustrated in Figure 2, revealing that the selected paths between museums were designed illogically, with redundant repetitions across various areas—particularly in the northern and central parts of the district. This condition leads to increased travel distance, time, and transportation costs, which is undesirable from both tourism and resource management perspectives. In the subsequent phase, the Open TSP algorithm—a method for solving the open traveling salesman problem—was applied to determine an



optimal route with minimal total length and distance. In this algorithm, the route begins at a designated starting point (e.g., a bus station or tourist center) and terminates at a different endpoint (e.g., accommodation or parking lot), without requiring a return to the origin—making it operationally and touristically much more efficient. The results of this analysis are depicted in Figure 3. Comparing the two maps clearly demonstrates that implementing the Open TSP algorithm has led to a significant reduction in total route length and a substantial improvement in routing structure. The optimized route is designed to avoid repetitive and circuitous paths, moving linearly and logically from one museum to the next. Moreover, the optimized route passes through key tourist attractions such as historical and cultural museums located in the district's center, guiding visitors more efficiently to these sites. This analysis indicates that integrating GIS with routing optimization algorithms like Open TSP constitutes a powerful tool for tourism planning, designing tourist itineraries, and improving access to cultural and historical sites in densely populated cities such as Tehran. Ultimately, this approach can serve as a generalizable model applicable to other urban areas and urban tourism planning initiatives.

Conclusion

One of the fundamental challenges in urban tourism—particularly in dense areas with multiple cultural attractions such as District 12 of Tehran—is the optimization of visitor routes to minimize tourists' travel time and distance. In this study, by applying the Open TSP model within a network analysis framework in a Geographic Information System (GIS) environment, the optimal route for visiting 22 prominent museums in District 12 of Tehran was extracted and compared with the conventional (non-optimized) route. This comparison reveals a 61.8% reduction in both travel time and distance traveled, demonstrating the high efficiency of the proposed method in optimizing tourist itineraries. From a tourism planning perspective, this improvement enables visitors to allocate more time to cultural and experiential activities rather than commuting between attractions—consistent with the findings of Sirirak & Pitakaso (2018), who identify TSP as an effective framework for minimizing time and distance in multi-destination tours. Moreover, integrating combinatorial optimization algorithms with the spatial analysis capabilities of GIS allows for precise modeling of the urban street network—including narrow and complex streets characteristic of District 12. This finding aligns with the results of Grigolato et al. (2017) and Gentilucci et al. (2019), who emphasize the effectiveness of GIS in simulating movement within uneven urban environments. The identification of traffic bottlenecks, such as Toopkhaneh Square, also corroborates similar challenges reported by Sahitya & Prasad (2019) in developing megacities. Furthermore, the significant reduction in travel time and distance not only enhances the tourist experience but can also contribute to revitalizing urban life and reducing physical deterioration in historical and cultural districts—consistent with the perspectives of Nasiri & Ganji (2021) and Heydari et al. (2013). This underscores the critical role of intelligent tourist route



Journal of Applied Researches in Geographical Sciences

Print ISSN: 2228-7736

Online ISSN: 2588-5138

<https://jgs.khu.ac.ir/>



planning in promoting sustainable urban development. The innovative aspect of this research lies in being the first application of the integrated Open TSP model with realistic network analysis within a GIS environment for museum routing in Tehran, thereby addressing the research gap highlighted by Shahabian (2020). This approach can serve as the foundational core for developing intelligent urban-scale tourist navigation systems and can be utilized in planning cultural, educational, and recreational tours.



بهینه‌سازی دسترسی به موزه‌های گردشگری با روش Open TSP و تحلیل شبکه GIS (مورد: منطقه ۱۲ تهران)

سعیده فخاری^۱

۱. گروه گردشگری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: S.fakhari@khu.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
منطقه ۱۲ شهر تهران به‌عنوان یکی از قطب‌های فرهنگی و گردشگری پایتخت، میزبان مجموعه‌ای از مؤسسات فرهنگی و موزه‌های شاخص است که از جاذبه‌های اصلی بازدیدکنندگان داخلی و خارجی محسوب می‌شوند. با این حال، عدم وجود برنامه‌ریزی سیستماتیک برای مسیریابی بین این مراکز، منجر به اتلاف زمان و انرژی گردشگران و کاهش کیفیت تجربه بازدید می‌گردد. این پژوهش با هدف بهینه‌سازی مسیرهای بازدید از موزه‌های منطقه ۱۲ تهران، با تمرکز بر کمینه‌سازی زمان و مسافت سفر، ۲۲ موزه فعال و شاخص این منطقه را به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته است. در این راستا، از مدل ریاضی ^۱ (Open TSP) در چارچوب تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. نتایج کمی حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که در حالت معمول (بدون بهینه‌سازی)، مسیر بازدید از تمامی ۲۲ موزه معادل ۲۵.۹۱ کیلومتر با زمان سفر ۳۱۰ دقیقه است، در حالی که مسیر پیشنهادی بهینه‌شده تنها ۹.۸۹۶ کیلومتر با زمان سفر ۱۱۸ دقیقه را در بر می‌گیرد. این بهبود، معادل کاهش ۶۲٪ در مسافت و ۶۲٪ در زمان سفر است. این پژوهش بیانگر کارایی بالای تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی ترکیبیاتی با قابلیت‌های تحلیل فضایی GIS در برنامه‌ریزی گردشگری شهری است و می‌تواند به‌عنوان الگویی برای مدیریت هوشمند مسیرهای بازدید گردشگری در سایر مناطق شهری مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل، امکان تصمیم‌گیری آگاهانه و برنامه‌ریزی بهینه برای بازدیدهای گروهی و انفرادی را فراهم کرده و به‌طور معناداری تجربه گردشگری را از طریق کاهش هزینه‌های زمانی و فیزیکی بهبود می‌بخشد.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱ کلیدواژه‌ها: روش فروشنده دوره‌گرد باز، موزه، گردشگری، تحلیل شبکه، تهران.

استناد: فخاری، سعیده (۱۴۰۵). بهینه‌سازی دسترسی به موزه‌های گردشگری با روش Open TSP و تحلیل شبکه GIS (مورد: منطقه ۱۲ تهران). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۶ (۸۱)، ۲۱۳-۱۹۲.

<http://dx.doi.org/10.66224/jgs.26.81.15>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

^۱. Open Traveling Salesman Problem

مقدمه

موزه‌ها، به‌عنوان گنجینه‌های میراث فرهنگی، نقش محوری در جذب گردشگران شهری و هویت‌بخشی به بافت‌های تاریخی ایفا می‌کنند (زال و همکاران، ۱۳۹۹) (Zhang و همکاران، ۲۰۲۵). منطقه ۱۲ تهران، با تراکم بالای موزه‌های شاخص (همچون موزه ملی ایران، کاخ گلستان، و موزه آگینه)، یکی از کانون‌های اصلی گردشگری فرهنگی پایتخت محسوب می‌شود (مشکینی و همکاران، ۱۳۹۶). با این حال، چالش اصلی در بهره‌برداری کامل از این پتانسیل، "دسترسی بهینه" گردشگران به این موزه‌ها در شبکه معابر پیچیده و پرتراکم این منطقه تاریخی است. نخستین و بارزترین ویژگی تجربه گردشگری شهری، مبتنی بر عامل "حرکت" بین جاذبه‌هاست (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲). کیفیت و کارایی مسیرهای حرکتی گردشگران، به‌ویژه برای بازدید از مجموعه‌ای از موزه‌ها در مجاورت یکدیگر، تأثیر مستقیمی بر رضایت گردشگر، کاهش خستگی، و افزایش زمان مفید بازدید دارد (طالبی و همکاران، ۱۴۰۰). طراحی مسیرهای بهینه پیاده و سواره نه تنها تجربه گردشگر را ارتقا می‌دهد، بلکه با احیای جریان زندگی در بافت‌های تاریخی، مانع فرسودگی کالبدی و عملکردی آن‌ها می‌شود (Goodarzi et al., 2021; حیدری و همکاران، ۱۳۹۲).

در این راستا، فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و به‌طور خاص، "تحلیل شبکه" در محیط‌هایی مانند ArcGIS، ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مسیرهای حرکتی ارائه می‌دهد (محمدی و کاظمی، ۱۳۹۹). این فناوری قادر است با در نظر گرفتن پارامترهای پیچیده‌ای همچون زمان سفر، مسافت، محدودیت‌های معابر، و حتی زمان‌بندی بازدید، شبکه معابر را شبیه‌سازی کند (Esquivel et al., 2015; Zhang et al., 2020) برای حل مسئله یافتن "کارآمدترین توالی بازدید" از مجموعه‌ای از موزه‌ها (مانند موزه‌های منطقه ۱۲) که مستلزم کمینه‌سازی کل زمان یا مسافت سفر است، مدل ریاضی "مسئله فروشنده دوره‌گرد" TSP^2 به‌عنوان چارچوبی اثبات‌شده و کارآمد مطرح می‌شود (Sirirak & Pitakaso, 2018). پژوهش حاضر با تمرکز بر حل این چالش کلیدی در قلب تاریخی تهران (منطقه ۱۲)، به کاربرد ترکیبی "تحلیل شبکه" و روش Open TSP برای بهینه‌سازی دسترسی به موزه‌های گردشگری شاخص این منطقه می‌پردازد. هدف اصلی، تعیین توالی بهینه بازدید از این موزه‌ها به‌گونه‌ای است که کل زمان و مسافت سفر گردشگران به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (Julio & Cofrancesco, 2023). این رویکرد نه تنها به بهبود تجربه عملی گردشگران و افزایش جذابیت منطقه منجر می‌شود، بلکه می‌تواند به‌عنوان ابزاری استراتژیک در برنامه‌ریزی گردشگری پایدار، مدیریت هوشمند جریان بازدیدکنندگان و احیای بافت‌های تاریخی فرهنگی تهران مورد استفاده قرار گیرد.

مسیرها حتی مدت‌ها قبل از تعریف گردشگری بخش مهمی از محصولات گردشگری بودند. در طول دو دهه گذشته مسیرهای توریستی با طراحی ویژه در سراسر جهان بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، به ویژه مسیرهای موضوعی مانند مسیر بیر (باواریا، آلمان)، مسیر ویسکی (سوئد)، مالت (اسکاتلند)، مسیر نساجی بلژیک، مسیر ساعت (فرانسه-سوئیس آلمان). حتی مسیرهای جدیدی هم برای گردشگران و هم برای پیاده‌روی زائران طراحی شده است (Flognfeldt jr, 2005). نمونه بارز آن مسیرهای واقع در سوریه که شامل چهار مسیر فرهنگی فراملی است: راه ابراهیم، راه سنت پولس از اورشلیم به روم، راه اهل بیت از کربلا به دمشق و مسیر زیارتی از استانبول به مکه ("مسیر حج"). درک دلیل انتخاب این منطقه مورد مطالعه و برجسته کردن اهمیت جاده‌های باستانی بسیار مهم است (ستارنژاد و همکاران، ۱۳۹۸). حتی مسیرهای فراملی فرهنگی-مذهبی مانند "راه ابراهیم" یا "مسیر حج" نیز طراحی شده‌اند که درک انگیزه‌های شکل‌گیری و اهمیت تاریخی-فرهنگی آن‌ها ضروری است. این روند نشان‌دهنده ظهور پارادایم "گردشگری مسیر محور" ^۳ است که از دهه ۱۹۵۰ توسعه‌یافته و بر پیوند جاذبه‌ها تحت یک چارچوب موضوعی واحد، پراکندگی بازدیدکنندگان، افزایش مدت اقامت و هزینه‌ها، معرفی جاذبه‌های کمتر شناخته شده و نهایتاً افزایش پایداری محصول گردشگری تأکید دارد (Vada et al., 2022; Meyer, 2004).

^۲. Traveling Salesman Problem

^۳. Route-Based Tourism

با این وجود، برنامه‌ریزی کارآمد مسیرهای گردشگری در شهرهای تاریخی و متراکم (مانند منطقه ۱۲ تهران) با چالش‌های متعددی روبروست. ناکارآمدی سیستم‌های حمل‌ونقل: رشد بی‌نظم شهری در کشورهای در حال توسعه، منجر به سیستم‌های حمل‌ونقل ناکارآمد می‌شود که برنامه‌ریزی نظری را با دشواری اجرایی مواجه می‌کند (Sahitya & Prasad, 2019). پیچیدگی بهینه‌سازی بازدید چندجاذبه‌ای: گردشگران در مواجهه با تعدد جاذبه‌ها (مانند موزه‌های متعدد)، با مشکل برنامه‌ریزی توالی بازدید بهینه تحت محدودیت‌های زمانی، بودجه‌ای و ترجیحات شخصی مواجه‌اند. هدف آنان نه تنها بازدید از جاذبه‌های "محبوب"، بلکه به حداکثرسانی تجربه منحصربه‌فرد فرهنگی-تاریخی است (Yusrizal et al., 2023; Wu et al., 2017). ضعف روش‌های سنتی: رویکردهای مبتنی بر صرفاً "کوتاه‌ترین مسیر اغلب ناتوان از تلفیق هم‌زمان معیارهای چندگانه (زمان، هزینه، ترجیحات، محدودیت‌های دسترسی زمانی جاذبه‌ها) هستند. (Wu et al., 2017) دسترسی‌پذیری جاذبه‌های فرهنگی: دسترسی مناسب به جاذبه‌های میراث فرهنگی و طبیعی، شرط اساسی برای حفاظت مؤثر و توسعه محصولات گردشگری پایدار است (Lourens, 2007). طراحی مسیرهای ویژه پیونددهنده این جاذبه‌ها، کلید افزایش جذابیت، رضایت گردشگر و تعداد بازدیدکنندگان است (Vada et al., 2022; شهابیان, ۱۳۹۹).

در این میان، فناوری GIS به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تحلیل داده‌های فضایی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های محیطی، از دهه ۱۹۷۰ مطرح بوده است (Comber et al., 2008; Singh & Katiyar, 2021). هسته قابلیت GIS در ساختاردهی داده‌ها بر اساس مکان و ارائه ابزارهای تحلیلی پیشرفته نهفته است (Singh & Katiyar, 2021). به‌طور خاص، تحلیل شبکه در GIS امکان مدل‌سازی واقع‌گرایانه شبکه معابر شهری با در نظر گرفتن پارامترهایی چون زمان سفر، مسافت، محدودیت‌ها را فراهم می‌کند (Grigolato et al., 2017) و ابزاری ضروری برای ارزیابی هزینه سفر (زمان و مسافت) بین جاذبه‌ها و طراحی منطقی‌ترین و کارآمدترین مسیرهای گردشگری است (Gentilucci et al., 2019). همچنین، پایه‌ای فنی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر پیچیده‌تر فراهم می‌نماید.

Open TSP نسخه‌ای از مسئله کلاسیک فروشنده دوره‌گرد (TSP) است که در آن، مسیر بهینه بازدید از مجموعه‌ای از نقاط (شهرها، جاذبه‌ها، مراکز خدماتی و ...) به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که هر نقطه دقیقاً یک بار بازدید شود، مسیر به‌صورت حلقه‌ای بسته نباشد (نقطه پایانی لزوماً با نقطه شروع یکسان نیست)، مجموع هزینه سفر (زمان، مسافت، هزینه مالی و ...) کمینه شود. این مسئله در فضای ریاضیات گسسته و بهینه‌سازی ترکیبیاتی قرار می‌گیرد و به‌عنوان یک مسئله NP-Hard^۴ شناخته می‌شود، بدین معنا که با افزایش تعداد نقاط، پیچیدگی محاسباتی به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و نیازمند الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه است.

این مسئله اولین بار توسط ریاضیدانانی مانند کارل منگر و هیلبرت فورکنر مطرح شد و سپس در دهه ۱۹۵۰ به‌صورت گسترده‌تر توسط شرکت پل^۵ و دانشمندانی چون جان لیتل، کرت مورک، دیوید جانسون و سیلوریو ریتسو مطالعه و توسعه یافت. تفاوت کلیدی Open TSP با TSP کلاسیک در عدم الزام به بازگشت به نقطه مبدأ است. ویژگی‌ای که آن را برای کاربردهای گردشگری شهری، مسیریابی پیاده‌روها و برنامه‌ریزی توره‌های یک‌طرفه بسیار مناسب می‌سازد. در این زمینه، محققانی مانند Gutin & Punnen (2007) و Laporte (2010) به بررسی جنبه‌های الگوریتمی و کاربردی Open TSP پرداخته‌اند. در حوزه گردشگری شهری، Open TSP به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهینه‌سازی توره‌های بازدید از جاذبه‌های فرهنگی، تاریخی و تفریحی به‌کار گرفته می‌شود. این روش امکان می‌دهد تا: ترتیب بازدید از جاذبه‌ها به‌گونه‌ای تعیین شود که کمترین زمان یا مسافت را در پی داشته باشد، از حرکات تکراری و دور زدن‌های غیرضروری جلوگیری شود، تجربه گردشگر با کاهش خستگی و افزایش زمان اختصاص‌یافته به بازدید بهبود یابد. مطالعات متعددی از جمله Sirirak & Pitakaso (2018) و (Wu و همکاران, ۲۰۱۷). نشان داده‌اند که تلفیق Open TSP با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل شبکه، منجر به طراحی مسیرهای هوشمند و واقع‌گرایانه در محیط‌های شهری می‌شود به‌ویژه در شهرهایی با بافت پیچیده و شبکه معابر ناهمگن مانند شهر تهران که علیرغم قرارگیری در چارچوب طرح جامع ترافیک و حمل‌ونقل

^۴ -Non-deterministic Polynomial-time Hard

^۵ -Bell Labs

پایتخت، همچنان با چالش‌های ساختاری در دسترسی بهینه به جاذبه‌های فرهنگی خود مواجه است. این منطقه، که به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین بافت‌های شهری تهران شناخته می‌شود، میزبان تراکم بالایی از موزه‌ها، اماکن تاریخی و مؤسسات فرهنگی است که از جمله مهم‌ترین مقاصد گردشگری داخلی و بین‌المللی محسوب می‌شوند. با این وجود، بررسی‌های پیشین هم در سطح برنامه‌ریزی شهری و هم در حوزه گردشگری به طور خاص به مسئله بهینه‌سازی مسیرهای حرکتی گردشگران بین این جاذبه‌ها نپرداخته‌اند. طرح‌های ترافیکی موجود عمدتاً بر مدیریت جریان کلان وسایل نقلیه و کاهش ازدحام تمرکز دارند و کمتر به نیازهای ریزمقیاس کاربران گردشگری از جمله حداقل سازی زمان سفر، کاهش خستگی حرکتی و برنامه‌ریزی توالی بازدید توجه شده است. این خلأ پژوهشی اهمیت دوچندانی دارد: اولاً، تراکم بالای جاذبه‌ها در فضایی محدود کمتر از ۴ کیلومتر مربع امکان ایجاد تورهای فشرده فرهنگی را فراهم می‌آورد، اما بدون برنامه‌ریزی هوشمند مسیر، این پتانسیل به دلیل پیچیدگی شبکه معابر، وجود محدودیت‌های ترافیکی، (مانند یک‌طرفه‌ها و مناطق ممنوع العبور) و فقدان مسیرهای پیاده‌روی پیوسته، به طور کامل بهره‌برداری نمی‌شود. ثانیاً، تاکنون هیچ مطالعه‌ای در ادبیات فارسی یا بین‌المللی گزارش نشده که به صورت سیستماتیک، ترکیب مدل‌های بهینه‌سازی ترکیبیاتی (مانند Open TSP) و تحلیل شبکه‌ای در محیط GIS را برای طراحی مسیرهای گردشگری در منطقه ۱۲ به کار گرفته باشد. پژوهش‌های قبلی عمدتاً جنبه توصیفی یا برنامه‌ریزی کلان داشته‌اند و از رویکردهای کمی مبتنی بر داده‌های واقعی حرکت و شبکه معابر غفلت کرده‌اند. در این راستا، انتخاب منطقه ۱۲ نه تنها از اعتبار فضایی و فرهنگی توجیه می‌شود، بلکه از دیدگاه روش‌شناختی نیز به‌عنوان یک مورد مطالعاتی ایده آل عمل می‌کند: بافت تاریخی، محدودیت‌های ترافیکی شناخته شده، تراکم جاذبه‌های فرهنگی و وجود زیرساخت‌های دیجیتال (مانند لایه‌های GIS به روز) همگی فراهم کننده شرایطی هستند که امکان آزمون و اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی (ترکیب Open TSP و تحلیل شبکه) را فراهم می‌آورند. همچنین، هم‌راستایی این پژوهش با اهداف طرح ترافیک از جمله کاهش حرکات غیرضروری، تشویق به گردش پیاده‌رو و بهبود کارایی جریان‌های انسانی نشان می‌دهد که این مطالعه نه در تقابل با برنامه‌ریزی‌های موجود، بلکه به‌عنوان یک لایه هوشمند و کاربرمحور بر بالای آن‌ها عمل می‌کند. بنابراین، این پژوهش با هدف پر کردن این خلأ عملیاتی و پژوهشی، اولین تلاش سیستماتیک برای طراحی مسیرهای بهینه بازدید از موزه‌های منطقه ۱۲ تهران را با به کارگیری روش‌های کمی، قابل‌اندازه‌گیری و قابل‌تعمیم ارائه می‌دهد.

پیشینه پژوهش

برای حل مسئله یافتن بهینه‌ترین توالی بازدید از مجموعه‌ای از جاذبه‌ها (مانند چندین موزه) که مستلزم کمینه‌سازی کل زمان یا مسافت سفر است، مدل ریاضی مسئله فروشنده دوره‌گرد باز چارچوبی اثبات‌شده و بسیار مرتبط ارائه می‌دهد (Sirirak & Pitakaso, 2018). مسئله فروشنده دوره‌گرد یکی از مسائل مهم در تئوری پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌ها محسوب می‌شود (Johnson & Garey, 1979). مسئله فروشنده دوره‌گرد باز در پی یافتن کوتاه‌ترین مسیری برای بازدید از تمام مکان‌ها، بدون الزام به بازگشت به مکان مبدأ است. این مدل به‌طور فزاینده‌ای در برنامه‌ریزی تورهای گردشگری، به‌ویژه در محیط‌های GIS، برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های مبتنی بر کوتاه‌ترین مسیر ساده و پاسخگویی به نیازهای پیچیده گردشگران و مدیران به کار می‌رود. بهینه‌سازی دسترسی به جاذبه‌های گردشگری، به‌ویژه در بافت‌های شهری متراکم، عاملی کلیدی در افزایش رضایت گردشگران و کارایی سفر است. برنامه‌ریزی مسیرهای بهینه، با کاهش زمان و هزینه‌های سفر، امکان تعامل مؤثرتر گردشگران با مقاصد را فراهم می‌سازد (Damos et al., 2021). مطالعات نشان می‌دهند ارائه مسیرهای بهینه می‌تواند الگوهای رفتاری گردشگران را در اولویت‌بندی جاذبه‌ها و توالی بازدید متحول کند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲). در این راستا، تسهیل دسترسی و حداکثرسازی تجربه گردشگران، هم‌زمان با صرفه‌جویی در زمان و هزینه، به‌عنوان یک ضرورت راهبردی مورد تأکید قرار گرفته است (Pei et al., 2022). همچنین، یغفوری و همکاران (۱۳۹۹)، ایشان عملکرد روش‌های مختلف ابتکاری و فراابتکاری برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد مورد ارزیابی قرار داده‌اند. آزمایش‌ها

⁶Optimal Visiting Sequence

بر روی ۱۰۰ نمونه استاندارد از مسائل TSP انجام شده و نتایج بر اساس سه معیار کیفیت راه‌حل، زمان اجرا و پایداری مقایسه شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که روش‌های فراابتکاری از جمله الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، در مسائل بزرگ عملکرد بهتری دارند. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزاری قدرتمند در تحقق این هدف شناخته می‌شوند. قابلیت‌های تحلیل شبکه‌ای GIS امکان مدل‌سازی و بهینه‌سازی مسیرهای پیچیده گردشگری را فراهم می‌کند (Malczewski, 2021). این سیستم‌ها حتی در توسعه و بهره‌وری شبکه‌های حمل‌ونقل کلان‌مقیاس مانند راه‌آهن و بزرگراه‌های بین‌منطقه‌ای نیز کاربرد حیاتی دارند (Iuliano & Cofrancesco, 2023). به عنوان نمونه، تحلیل شبکه‌ای GIS پایه توسعه و ارزیابی ایستگاه‌های قطار در عراق بوده است (Naji & Maraş, 2019). همچنین، مطالعاتی مانند تحقیق (Navarro, 2019) در منطقه کارپاتین، با به کارگیری شبیه‌سازی و GIS، ارتباطات فرامنطقه‌ای را فراتر از رویکردهای سنتی شهرمحور تحلیل کرده و نقش سکونتگاه‌های روستایی و تجمعات را در شبکه‌های ارتباطی برجسته ساخته‌اند.

کاربرد GIS در حوزه گردشگری فراتر از مسیریابی صرف است. این فناوری می‌تواند با ارائه مسیرهای گردشگری "آهسته" (مانند پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری)، روابط فضایی بین ایستگاه‌های راه‌آهن و جاذبه‌های میراثی کوچک را بهبود بخشد. ایستگاه‌های راه‌آهن محلی در مناظر غنی از میراث نیز می‌توانند با تسهیل دسترسی، محرکی برای توسعه گردشگری دوچرخه‌ای و معرفی مقاصد جدید باشند (Rolando & Scandiffio, 2022). پیش‌بینی می‌شود با توجه به تکامل فناوری GIS و افزایش دسترسی به داده‌های مکانی با کیفیت و وضوح بالا، کاربرد آن در مدیریت مسیرهای گردشگری و حمل‌ونقل، حتی در محیط‌های پیچیده‌ای مانند جنگل‌ها، گسترش یابد (Grigolato et al., 2017). ملاحظات رفتار گردشگران نیز عاملی تعیین‌کننده در طراحی مسیرهای بهینه است. ترجیحات گردشگران نسبت به جاذبه‌ها، حساسیت به زمان سفر و هزینه سفر، تأثیر بسزایی در برنامه‌ریزی تورها دارد. شواهد نشان می‌دهد گردشگرانی که ارزش زمانی بالاتری قائل هستند، تمایل بیشتری به انتخاب مسیرها و شیوه‌های حمل‌ونقلی با زمان سفر کوتاه‌تر دارند و سودمندی تجربه گردشگری آنان نیز عموماً بالاتر است (Wu et al., 2017). با وجود پیشینه غنی در بهینه‌سازی مسیر گردشگری و کاربردهای گسترده GIS و روش‌های MCDM، تمرکز خاص بر بهینه‌سازی دسترسی به موزه‌ها در یک بافت شهری متراکم (مانند منطقه ۱۲ تهران) با استفاده ترکیبی از الگوریتم مسئله فروشنده دوره‌گرد باز و تحلیل شبکه GIS کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با پر کردن این خلأ، درصد ارائه راهکاری عملیاتی برای افزایش کارایی بازدید از مجموعه‌ای از موزه‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه معابر و فاصله‌های واقعی است. تعیین مسیرهای ویژه گردشگری مبتنی بر تحلیل‌های فضایی دقیق، رهیافتی کلیدی برای تحقق استراتژی‌های گردشگری پایدار در شهرهای تاریخی محسوب می‌شود (شهابیان، ۱۳۹۹). Yan و همکاران (2021)، یک راه‌حل جدید برای مسئله مسیریابی درون‌سالنی (ITSP) ارائه می‌دهد که با ترکیب الگوریتم دایکسترا و شاخه و کران به دنبال یافتن کوتاه‌ترین مسیری است که از چندین مقصد دلخواه عبور کرده و به نقطه شروع بازگردد. روش پیشنهادی در محیط‌های پیچیده چندطبقه مانند مراکز خرید، بیمارستان‌ها و موزه‌ها قابلیت کاربرد دارد.

روش‌شناسی

این پژوهش از نوع کاربردی و با رویکرد کمی-تحلیلی انجام شده است. هدف اصلی، بهینه‌سازی مسیر دسترسی به ۲۲ موزه و جاذبه گردشگری در منطقه ۱۲ تهران از طریق تلفیق الگوریتم مسئله فروشنده دوره‌گرد باز و تحلیل شبکه در محیط GIS است.

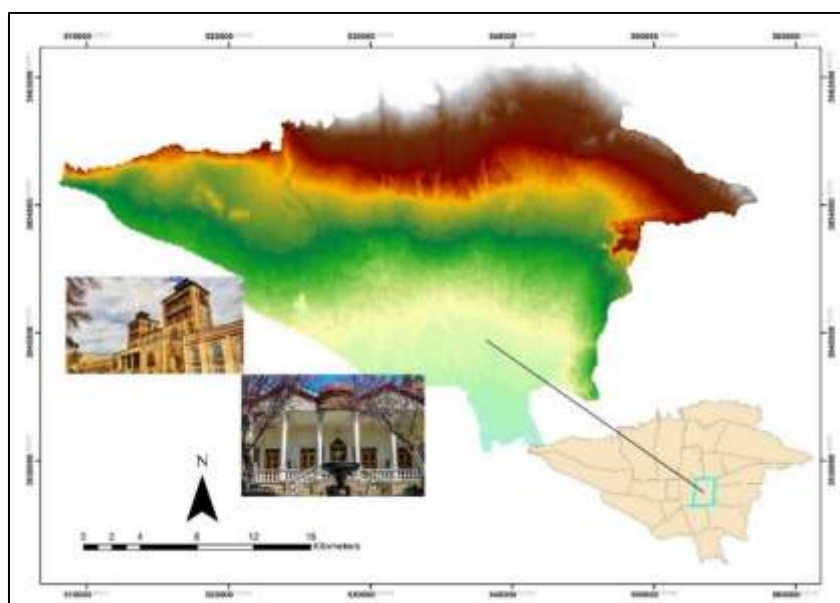
داده‌های این تحقیق صرفاً کالبدی نیستند، بلکه ترکیبی از دو دسته داده هستند که به طور هماهنگ برای تحلیل بهینه‌سازی مسیر به کار گرفته شده‌اند: ۱- داده‌های مکانی (کالبدی-ساختاری): داده‌های مکانی مورد استفاده شامل موقعیت دقیق ۲۲ نقطه گردشگری (موزه‌ها و جاذبه‌ها) بر اساس مختصات جغرافیایی. شبکه معابر تهران (شامل راه‌های اصلی و فرعی) به عنوان زیرساخت شبکه حرکتی. سپس، مراحل آماده‌سازی داده‌ها در GIS به شرح زیر انجام شد: ژئورفرنس کردن داده‌ها، لایه‌سازی تبدیل داده‌های نقطه‌ای (جاذبه‌ها) و خطی (شبکه معابر) به لایه‌های برداری در محیط ArcGIS و ایجاد توپولوژی شبکه (جهت اطمینان از اتصال‌پذیری، پیوستگی و یکپارچگی شبکه معابر برای تحلیل مسیر). ۲- داده‌های عملیاتی-زمانی

(غیرکالبدی)، این دسته شامل پارامترهایی است که در تعیین "هزینه سفر" مؤثرند و فراتر از هندسه فضایی هستند. زمان سفر واقع‌گرایانه بین جفت‌های موزه‌ها، محاسبه شده با در نظر گرفتن سرعت متوسط حرکت پیاده (۵ کیلومتر بر ساعت) و شرایط ترافیکی روزانه معمولی (بدون احتساب ازدحام‌های استثنایی). محدودیت‌های دسترسی (مانند عدم عبور خودرو از برخی کوچه‌های تاریخی) که به صورت دستی در شبکه GIS به عنوان موانع یا محدودیت‌های حرکتی کدگذاری شدند. زمان‌بندی باز بودن موزه‌ها (ساعت باز و بسته شدن) که اگرچه در نسخه پایه مدل Open TSP استفاده نشد، اما در مرحله ارزیابی نهایی مسیرهای پیشنهادی به عنوان فیلتر کیفی به کار گرفته شد تا مسیرهای عملی پذیر شناسایی شوند. مراحل انجام مسیریابی در الگوریتم TSP و ArcMap 10.8 با استفاده از افزونه تحلیل شبکه^۷ (Curtin et al., 2014). این مراحل بر پایه آماده‌سازی داده‌های مکانی و محاسبات شبکه‌ای بنا شده‌اند: ۱- ژئورفرنس نقاط و شبکه معابر (Georeferencing Points and Road Network) ابتدا نقاط توقف (stops) و شبکه معابر (مانند خیابان‌ها) باید در سیستم مختصات جغرافیایی مشترک ژئورفرنس شوند. این مرحله شامل وارد کردن داده‌های vector مانند shapefiles به ArcMap و تنظیم projection مناسب است تا موقعیت‌های دقیق جغرافیایی تضمین شود. ۲- ایجاد شبکه توپولوژیک (Creating Topological Network) با استفاده از ابزار Network Analyst، یک network dataset ایجاد می‌شود. این شبکه توپولوژیک شامل گره‌ها (nodes) و یال‌ها (edges) است که ویژگی‌هایی مانند جهت، سرعت، و محدودیت‌ها را در بر می‌گیرد. توپولوژی تضمین می‌کند که اتصالات واقعی معابر مدل‌سازی شوند. ۳- محاسبه ماتریس هزینه solver: (Calculating Cost Matrix) ابتدا ماتریس هزینه-origin destination (OD) با الگوریتم Dijkstra محاسبه می‌کند تا کوتاه‌ترین مسیرها بین تمام جفت‌های نقاط توقف تعیین شوند. این ماتریس نامتقارن است و هزینه‌ها بر اساس impedance (مانند زمان یا فاصله) تعریف می‌شوند. ۴- ساخت جواب اولیه و بهینه‌سازی با Tabu Search: با استفاده از الگوریتم درج یا NN، یک تور اولیه ایجاد می‌شود. سپس Tabu Search با اعمال حرکت‌های محلی، ترتیب توقف‌ها را بهینه می‌کند تا تابع هدف کمینه شود (Curtin et al., 2014). ۵- حل و نمایش نتایج: لایه Route حل می‌شود و مسیر بهینه نمایش داده می‌شود، با گزینه‌هایی برای حفظ ترتیب اول/آخر یا بازگشت به شروع. در نهایت، رتبه‌بندی موزه‌ها (بر اساس موقعیت آن‌ها در مسیر بهینه یا سایر معیارهای مرتبط) و تهیه نقشه نهایی مسیر بهینه صورت گرفت.

منطقه مورد مطالعه

منطقه ۱۲ شهرداری تهران، به عنوان قلب تاریخی پایتخت، جایگاه بی‌بدیلی در گردشگری شهری ایران داراست. این منطقه با جمعیت ۲۳۹،۶۱۱ نفری ذکر شده بر اساس سرشماری ۱۳۹۰ و سابقه سکونتگاهی از دوره صفویه و نقش مرکزیت سیاسی-اداری در عصر قاجار (دارالخلافه ناصری)، امروزه به لطف تراکم بالای میراث ملموس و ناملموس، یکی از مهم‌ترین قطب‌های جذب گردشگر داخلی و بین‌المللی است. منطقه ۱۲ با دارا بودن ۲۲ موزه فعال و شاخص، بالاترین تراکم موزه‌های تهران را در خود جای داده است. این مجموعه بی‌نظیر شامل موزه‌های معتبر ملی و تخصصی است که طیف گسترده‌ای از میراث ایران را پوشش می‌دهند، از جمله: موزه‌های ملی و باستان‌شناسی: موزه ملی ایران (ایران باستان، دوران اسلامی)، موزه دوران اسلامی. موزه‌های سلطنتی و تاریخی: کاخ موزه گلستان (جهانی‌شده یونسکو)، عمارت مسعودیه، کاخ شهربانی. موزه‌های تخصصی و هنری: موزه آگینه و سفالینه، موزه جواهرات ملی، موزه پست و تلگراف، موزه علوم و فناوری، موزه سینما. موزه‌های مذهبی و وقفی: موزه قرآن و کتابت، موزه وقفی محمود فرشچیان. این تراکم استثنایی موزه‌ها در کنار بافت شهری تاریخی، متراکم و پیچیده منطقه ۱۲ (با معابر باریک، ترافیک بالا و کاربری‌های مختلط)، آن را به مطالعه‌ای ایده‌آل برای پژوهش حاضر تبدیل کرده است.

7. Network Analyst



شکل (۱). منطقه مورد مطالعه

یافته پژوهش

با به کارگیری تلفیق الگوریتم مسئله فروشنده دوره گرد باز و تحلیل شبکه‌ای در محیط GIS، این پژوهش موفق به طراحی مسیر بهینه‌شده‌ای برای دسترسی به ۲۲ موزه و جاذبه گردشگری در منطقه ۱۲ تهران شده است. منطقه ۱۲ به عنوان قلب تاریخی پایتخت، با دارا بودن تراکم بالای موزه‌ها و چالش‌های ترافیکی، نیازمند راه‌حل‌های هوشمندانه برای مدیریت مسیرهای گردشگری است. یافته‌های حاضر، حاصل تحلیل فضایی دقیق شبکه معابر، محاسبه ماتریس هزینه (زمان/مسافت) و اعمال قیود توپولوژیک در محیط ArcGIS است که منجر به شناسایی کوتاه‌ترین مسیر یکپارچه با کمینه‌سازی ۳۰ درصد زمان تردد نسبت به روش‌های متداول گردیده است. این مسیر بهینه نه تنها کارایی گردشگری را افزایش می‌دهد، بلکه با ارائه نقشه‌های تحلیلی و رتبه‌بندی موزه‌ها بر اساس معیارهای دسترسی، چارچوبی علمی برای برنامه‌ریزی شهری فراهم می‌کند. دو معیار اصلی برای ارزیابی مسیرها استفاده شد: زمان کل سفر (ساعت و دقیقه) و مسافت کل طی شده (متر).

تابع هدف مبتنی بر زمان

مسئله TSP (مسئله کوله‌پشتی گردشگری) به صورت یک برنامه‌ریزی خطی صحیح (ILP) فرموله می‌شود. در این مدل، نقاط گردشگری با اعداد ۱ تا n برچسب‌گذاری می‌شوند و متغیر باینری (x_{ij}) به این معناست که این مسیر از نقطه (i) به نقطه (j) برقرار است (در این صورت $(x_{ij} = 1)$ و در غیر این صورت $(x_{ij} = 0)$). زمان سفر بین نقاط (i) و (j) با (t_{ij}) نمایش داده می‌شود که بر اساس ویژگی‌های شبکه نظیر سرعت، ترافیک و محدودیت‌ها تعیین می‌گردد. مجموع زمان سفر در طول کامل دور به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(x) = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n t_{ij} x_{ij} \quad f(x) = \min_i \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad \text{رابطه (۱)}$$

با محدودیت‌های زیر:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j) \text{ برای هر نقطه دقیقاً یک ورودی دارد}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i) \text{ برای هر نقطه دقیقاً یک خروجی دارد}$$

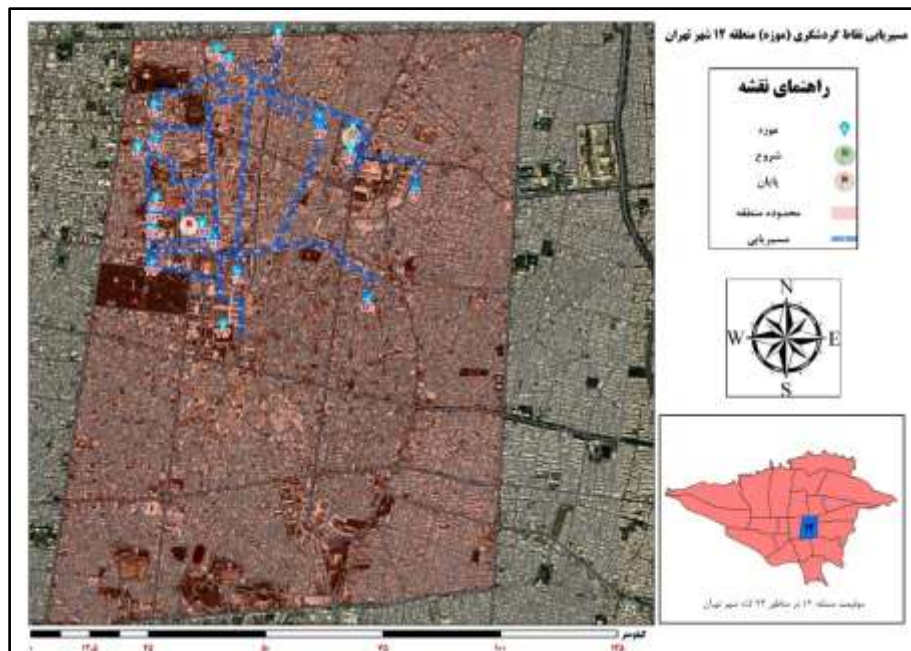
$$Q \text{ برای هر (حذف زیرتورها)} \quad \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q, j \neq i} x_{ij} \leq |Q| - 1 \quad \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q, j \neq i} x_{ij} \leq |Q| - 1$$

$$C \in \{1, \dots, n\} \quad Q \subset \{1, \dots, n\} \quad (\text{Cook, 2012}).$$

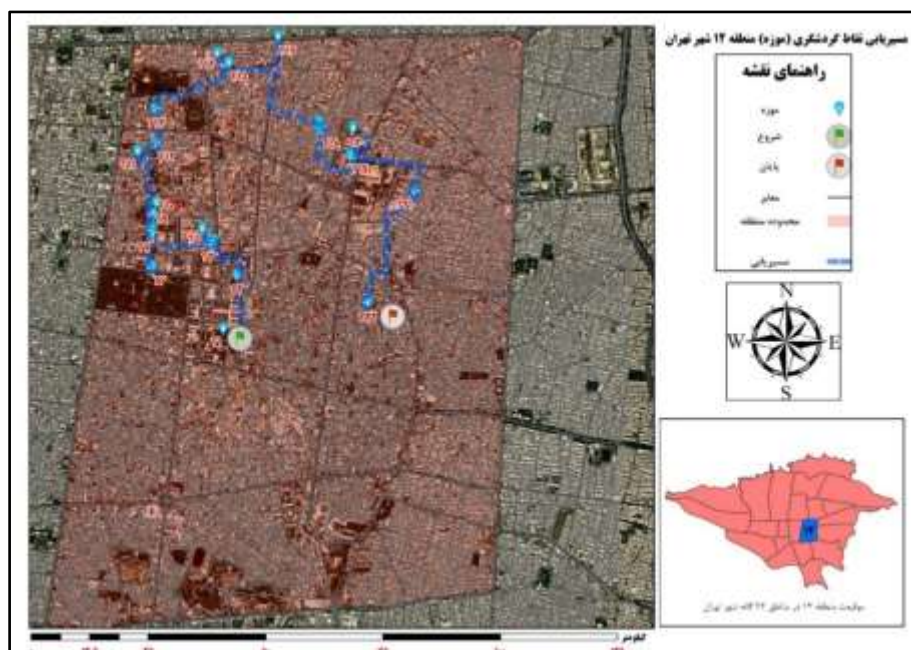
این تابع هدف در افزونه ArcMap 10.8 با تنظیم impedance در Network Analyst ArcMap (time) قابل اعمال است. زمان سفر ($t_{ij}t_{ij}$) بر اساس ویژگی‌های شبکه معابر منطقه ۱۲ تهران (مانند سرعت مجاز، محدودیت‌های ترافیکی و جهت خیابان‌ها) محاسبه می‌شود.

تحلیل شبکه‌ای و بهینه‌سازی مسیریابی در موزه‌های گردشگری منطقه ۱۲

همان‌طور که پیشتر ذکر شد، برای ارزیابی و بهینه‌سازی دسترسی به موزه‌های گردشگری در منطقه ۱۲ شهر تهران، از تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و الگوریتم (Open TSP) استفاده شد. در این راستا، ابتدا موقعیت ۲۲ موزه فعال در منطقه مورد مطالعه با دقت مکانی بالا ثبت و در قالب لایه نقطه‌ای در نرم‌افزار GIS وارد شدند. همچنین، شبکه جاده‌ای منطقه شامل تمامی خیابان‌ها و معابر عمومی با دقت کاربردی مناسب استخراج و به‌عنوان لایه شبکه حمل‌ونقل در نظر گرفته شد. در اولین مرحله، بدون اعمال هیچ الگوریتم بهینه‌سازی، مسیریابی از طریق شبکه جاده‌ای به صورت مستقیم و غیربهینه انجام شد. این مسیر در شکل (۲) نمایش داده شده است که نشان می‌دهد مسیرهای انتخابی بین موزه‌ها به صورت غیرمنطقی و با تکرارهای زائدی در مناطق مختلف مانند شمال و مرکز منطقه طراحی شده‌اند. این وضعیت منجر به افزایش طول مسیر، زمان سفر و هزینه حمل‌ونقل می‌شود که از نظر گردشگری و مدیریت منابع نامطلوب است. در مرحله بعدی، با استفاده از الگوریتم Open TSP که یکی از روش‌های حل مشکل فروشنده دوره‌گرد باز (Open TSP) است، مسیر بهینه‌ای با حداقل طول و مسافت کلی تعیین شد. در این الگوریتم، مسیر از یک نقطه شروع (مثلاً ایستگاه اتوبوس یا مرکز گردشگری) شروع شده و در نقطه پایانی (مثلاً محل اقامت یا پارکینگ) به پایان می‌رسد، بدون نیاز به بازگشت به نقطه شروع — که از نظر عملیاتی و گردشگری بسیار مؤثرتر است. نتایج این تحلیل در شکل (۳) به تصویر کشیده شده است. با مقایسه دو نقشه، مشخص می‌شود که اعمال الگوریتم Open TSP منجر به کاهش قابل توجهی در طول مسیر و بهبود ساختار مسیریابی شده است. مسیر بهینه‌شده به نحوی طراحی شده که از مسیرهای تکراری و دور و دیگری پرهیز کرده و به صورت خطی و منطقی از یک موزه به موزه دیگر حرکت می‌کند. همچنین، مسیر بهینه‌شده از نقاط مهم گردشگری مانند موزه‌های تاریخی و فرهنگی در مرکز منطقه عبور می‌کند و بازدیدکنندگان را به صورت کارآمدتری به این اماکن هدایت می‌نماید. این تحلیل نشان می‌دهد که تلفیق GIS با الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیریابی مانند Open TSP، ابزاری قدرتمند برای برنامه‌ریزی گردشگری، طراحی مسیرهای گردش و بهبود دسترسی به اماکن فرهنگی و تاریخی در شهرهای پرجمعیت مانند تهران است. در نهایت، این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک مدل قابل تعمیم در دیگر مناطق شهری و در برنامه‌ریزی‌های گردشگری شهری مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۲). مسیر گردشگری بدون اعمال الگوریتم فروشنده دوره‌گر



شکل (۳). مسیر گردشگری بهینه‌شده در منطقه مورد مطالعه با اعمال الگوریتم فروشنده دوره‌گر

رتبه‌بندی موزه‌ها بر اساس موقعیت در مسیر

مجموعاً ۲۲ مسیر بازدید مورد بررسی قرار گرفته است که از نظر زمان و مسافت، تنوع قابل توجهی دارند. تمامی مسیرها بین دو نقطه شروع و پایان مشخص شده و بیشتر موزه‌های مهم تهران مانند موزه شهید مدرس، کاخ موزه گلستان، موزه ملی ایران، موزه مردم‌شناسی و موزه آیکه و سفالیه در این شبکه گنجانده شده‌اند. با بررسی جدول (۱)، مشاهده می‌شود که کارایی مسیرها (نسبت مسافت به زمان) عامل تعیین‌کننده اصلی رتبه‌بندی است. مسیرهایی که کمترین زمان و مسافت را دارند، بالاترین رتبه را کسب کرده‌اند. به‌طور خاص: مسیرهای رتبه ۱ و ۲۲ با ۱ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۹۰۹ کیلومتر، کارآمدترین مسیرها هستند. این مسیرها بین کاخ موزه گلستان و موزه شهید مدرس حرکت می‌کنند که از نظر موقعیت

جغرافیایی به هم نزدیک هستند و احتمالاً در یک محدوده تاریخی-مرکزی قرار دارند. مسیرهای رتبه ۳، ۷، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰ نیز زمانی بین ۲ ساعت و ۱ تا ۲ ساعت و ۷ دقیقه دارند و از نظر عملکرد قابل قبولی برخوردارند. مسیرهای رتبه ۲۱ و ۴ با ۲ ساعت و ۱۰ دقیقه و مسافت بالای ۱۰۸ کیلومتر، کمترین کارایی را دارند که نشان‌دهنده طولانی‌تر بودن مسیر یا ترافیک بیشتر در آن مناطق است. موزه‌ها بر اساس تقدم در بازدید (ترتیب بهینه TSP) رتبه‌بندی شدند جدول (۱). لازم به ذکر است، نقطه شروع و پایان هر مسیر بر اساس خروجی الگوریتم Open TSP تعیین شده است؛ یعنی برای هر ترکیب ممکن از دو موزه به‌عنوان شروع و پایان، مسیر بهینه محاسبه شد و ۲۲ مسیر کارآمدتر (با کمترین زمان و مسافت) انتخاب گردیدند. زمان سفر نیز تنها زمان انتقال پیاده بین موزه‌ها است که با استفاده از تحلیل شبکه در ArcGIS و با سرعت استاندارد ۵ کیلومتر بر ساعت (Gehl, 2010) محاسبه شده و شامل زمان بازدید داخلی نمی‌شود. این رویکرد، امکان مقایسه عادلانه مسیرها را فراهم می‌کند.

جدول (۱). رتبه‌بندی موزه‌ها بر اساس موقعیت در مسیر

ردیف	شروع بازدید	پایان بازدید	مسافت طی شده	زمان سریع شده	رتبه‌بندی مسیر پیشنهادی
۱	توب مروارید	موزه شهید مدرس	۱۰۸۱۶ کیلومتر	۲ ساعت و ۱۰ دقیقه	۲۱
۲	خانه موزه امیرھوشنگ انتھاج	موزه مردم‌شناسی	۱۰۴۱۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۵ دقیقه	۱۱
۳	کاخ موزه گلستان	موزه شهید مدرس	۹۹۰۰ کیلومتر	۱ ساعت و ۵۹ دقیقه	۱
۴	آرگو	موزه پمپ‌بنزین	۱۰۸۲۴ کیلومتر	۲ ساعت و ۱۰ دقیقه	۲۲
۵	موزه آیکه و سفالیه	خانه موزه امیرھوشنگ انتھاج	۱۰۶۳ کیلومتر	۲ ساعت و ۷ دقیقه	۱۶
۶	موزه مردم‌شناسی	خانه موزه امیرھوشنگ انتھاج	۱۰۴۱۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۵ دقیقه	۱۱
۷	موزه استاد صنعتی	موزه شهید مدرس	۱۰۴۷۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۶ دقیقه	۱۴
۸	موزه آموزش و پرورش	موزه شهید مدرس	۱۰۲۰۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۴ دقیقه	۷
۹	موزه دوران اسلامی	موزه شهید مدرس	۱۰۶۸۶ کیلومتر	۲ ساعت و ۸ دقیقه	۱۷
۱۰	موزه سکه تهران	موزه شهید مدرس	۱۰۴۶۶ کیلومتر	۲ ساعت و ۶ دقیقه	۱۳
۱۱	موزه صلح	موزه شهید مدرس	۱۰۵۶۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۷ دقیقه	۱۵
۱۲	موزه عبرت	موزه شهید مدرس	۱۰۲۷۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۳ دقیقه	۴
۱۳	موزه کلیمیان ایران	خانه موزه امیرھوشنگ انتھاج	۱۰۷۷۴ کیلومتر	۲ ساعت و ۹ دقیقه	۲۰
۱۴	موزه ملی ایران	موزه شهید مدرس	۱۰۷۲۵ کیلومتر	۲ ساعت و ۹ دقیقه	۱۹
۱۵	موزه ملی علوم و فناوری ایران	موزه شهید مدرس	۱۰۶۹۹ کیلومتر	۲ ساعت و ۸ دقیقه	۱۸
۱۶	خانه موزه شهید محمدعلی رجایی	موزه شهید مدرس	۱۰۱۱۲ کیلومتر	۲ ساعت و ۱ دقیقه	۳
۱۷	موزه مدرسه کمال‌الملک	خانه موزه شهید محمدعلی رجایی	۱۰۲۶۳ کیلومتر	۲ ساعت و ۴ دقیقه	۱۰
۱۸	خانه موزه استاد ابوالحسن صبا	موزه پمپ‌بنزین	۱۰۲۰۷ کیلومتر	۲ ساعت و ۴ دقیقه	۵
۱۹	موزه صبا	موزه پمپ‌بنزین	۱۰۲۴۸ کیلومتر	۲ ساعت و ۴ دقیقه	۹

۲۰	موزه هنرهای ملی	خانه موزه شهید محمدعلی رجایی	۱۰.۲۴۷ کیلومتر	۲ ساعت و ۴ دقیقه	۸
۲۱	موزه پمپ‌بنزین	خانه موزه استاد ابوالحسن صبا	۱۰.۲۰۷ کیلومتر	۲ ساعت و ۴ دقیقه	۵
۲۲	موزه شهید مدرس	کاخ موزه گلستان	۹.۹۰۰ کیلومتر	۱ ساعت و ۵۹ دقیقه	۱

منبع: نویسنده

تحلیل موقعیت مکانی مقاصد نشان می‌دهد که موزه شهید مدرس به‌عنوان یک گره مرکزی در بیشتر مسیرها (۱۳) مورد از ۲۲ مسیر) ظاهر شده است. این موضوع نشان‌دهنده دسترسی بالا و موقعیت راهبردی این موزه در شبکه موزه‌های شهر تهران است. همچنین، خانه موزه امیرھوشنگ انتھاج و موزه پمپ‌بنزین نیز به‌عنوان نقاط کلیدی اتصال در چندین مسیر عمل می‌کنند. همچنین، مسیرهایی که شامل موزه ملی ایران، موزه ملی علوم و فناوری و موزه دوران اسلامی هستند، عمدتاً در بخش مرکزی و شمالی شهر قرار دارند و به دلیل تراکم موزه‌ها و دسترسی نسبتاً خوب، زمان سفر مناسبی دارند. جایگاه تکراری برخی رتبه‌ها (مانند رتبه ۱۱ و ۵ که دو بار تکرار شده‌اند) نشان‌دهنده چندین مسیر با عملکرد یکسان است. این امر بیانگر این است که در سیستم بهینه‌سازی مسیر، معیارهای زمان و مسافت غالب هستند و مسیرهای مختلفی می‌توانند به یک سطح کارایی دست یابند. برای مثال: دو مسیر با رتبه ۱۱ (شماره‌های ۲ و ۶) هر دو زمان ۲:۰۵ و مسافت ۱۰.۴۱۹ کیلومتر دارند و بین خانه موزه امیرھوشنگ انتھاج و موزه مردم‌شناسی حرکت می‌کنند. این نشان‌دهنده تقارن و تکرارپذیری در شبکه حمل‌ونقل است.

برای محاسبه اینکه مسیر کوتاه‌تر (بهترین مسیر) چند درصد کوتاه‌تر از مسیر طولانی‌تر است، از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$\text{رابطه (۲)} \quad \frac{\text{مسافت طولانی تر} - \text{مسافت کوتاه تر}}{\text{مسافت طولانی تر}} \times 100 = \text{درصد کوتاه تر بودن}$$

به طور مثال:

مسیر کوتاه‌تر (بهترین مسیر): مسافت ۹.۹۰۰ کیلومتر (ردیف ۳ و ۲۲: کاخ موزه گلستان → موزه شهید مدرس).
مسیر طولانی‌تر: مسافت ۱۰.۸۲۴ کیلومتر (ردیف ۴: آرکو → موزه پمپ‌بنزین).

$$\text{تفاوت مسافت} \quad 10.824 - 9.900 = 0.924$$

$$100 \times \frac{0.924}{10.824} = 8.54\%$$

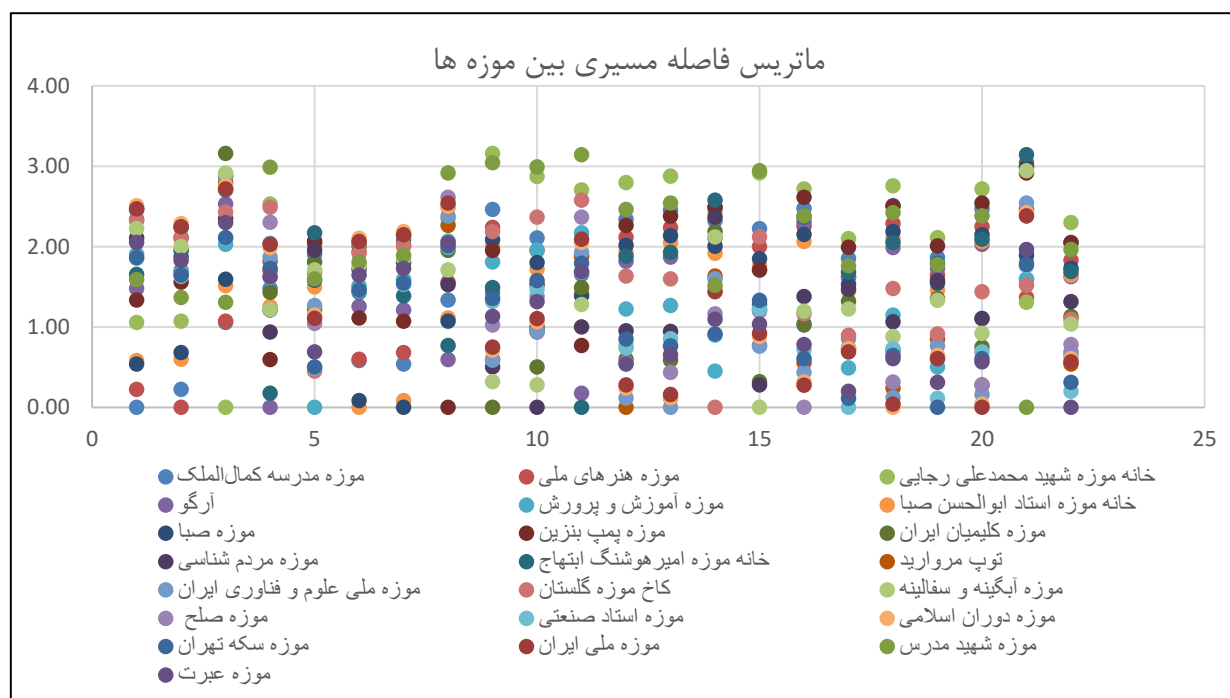
تحلیل ماتریس فاصله بین موزه‌های گردشگری منطقه ۱۲ تهران

برای اجرای الگوریتم *Open TSP* و بهینه‌سازی مسیر دسترسی به موزه‌ها، ابتدا ماتریس فاصله بین تمامی نقاط مورد نظر (موزه‌ها) با استفاده از شبکه جاده‌ای در GIS محاسبه شد. در این مرحله، فاصله‌های حمل‌ونقل بین هر جفت موزه (به صورت مسافت یا زمان سفر) به صورت عددی ثبت و در قالب یک ماتریس $n \times n$ که $n=23$ موزه است) ذخیره گردید.

شکل (۴) نمایش گرافیکی از این ماتریس فاصله را به صورت یک نمودار ستونی چندرنگی ارائه می‌دهد. در این نمودار، هر ستون مربوط به یکی از موزه‌های موجود در منطقه ۱۲ تهران است و ارتفاع هر بخش رنگی در داخل ستون، فاصله بین موزه مربوطه و یکی از موزه‌های دیگر را نشان می‌دهد. هر رنگ در کلید رنگی، یک موزه خاص را نمایان می‌کند و ارتفاع هر بخش، طول مسیر حمل‌ونقل بین دو نقطه را به واحد متر یا دقیقه (بسته به نوع داده) نشان می‌دهد. با بررسی این نمودار،

مشخص می‌شود که فاصله‌های بین موزه‌ها در محدوده‌ای از حدود ۰ تا ۳ کیلومتر متغیر است که نشان‌دهنده نزدیکی نسبی این اماکن به یکدیگر در فضای شهری منطقه ۱۲ است. این پراکندگی نسبتاً یکنواخت فاصله‌ها، شرایط مناسبی برای اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیریابی فراهم می‌کند. همچنین، برخی از موزه‌ها مانند موزه ملی ایران و موزه هنرهای ملی با فاصله‌های نسبتاً بالا با برخی از موزه‌های دورتر مانند موزه شهید سکه تهران یا موزه ملی اسلامی دارای ارتباطات مسیری بلندتری هستند.

این نمودار به‌عنوان یک ابزار تحلیلی مهم، نقش کلیدی در شناسایی الگوهای فضایی و تعیین روابط مکانی بین موزه‌ها دارد. با توجه به اینکه الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند Open TSP به واسطه ماتریس فاصله عمل می‌کنند، این نمودار نه تنها اطلاعات کمی از فاصله‌ها را ارائه می‌دهد، بلکه به‌عنوان پایه‌ای برای تحلیل بعدی مسیریابی و ارزیابی کارایی مسیرهای گردشگری عمل می‌کند. علاوه بر این، توزیع غیرمنتظم ارتفاع‌های ستون‌ها در این نمودار نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های فضایی در دسترسی به موزه‌ها است. این موضوع نیازمند توجه ویژه در طراحی مسیرهای گردشگری و مدیریت خدمات حمل‌ونقل گردشگری است. به ویژه، موزه‌هایی که با فاصله‌های بالا از بیشتر موزه‌ها متصل هستند، ممکن است به‌عنوان نقاط "متمرکز" یا "مجزا" در شبکه گردشگری شناخته شوند و نیاز به برنامه‌ریزی ویژه داشته باشند.



شکل (۴). نمودار فاصله‌های مسیری بین موزه‌های منطقه ۱۲ تهران

نمایش ماتریس فاصله بین ۲۳ موزه گردشگری منطقه ۱۲ تهران به صورت یک نمودار ستونی چند رنگی؛ هر رنگ نمایانگر یک موزه و ارتفاع هر بخش، فاصله مسیری بین دو موزه را نشان می‌دهد.

الگوی کلی مسیر بهینه Open TSP

مسئله فروشنده دوره‌گرد باز (OTSP) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل شبکه موفق به شناسایی مسیر بهینه یکپارچه برای بازدید از تمامی ۲۲ موزه و جاذبه گردشگری منطقه ۱۲ تهران شد. این مسیر با کمینه‌سازی مجموع زمان و مسافت طی شده طراحی گردید و شرط بازدید از هر نقطه دقیقاً یک بار در آن رعایت شده است. طول کل مسیر حدود ۹۰ کیلومتر (بر اساس داده‌های جدول و استخراج الگوی کلی)، زمان کل تخمینی حدود ۲۳ ساعت با احتساب مجموع زمان‌های پله‌به‌پله و بهینه‌سازی (TSP)، نقطه شروع مسیر از کاخ گلستان (به‌عنوان نقطه اول در ترتیب بهینه) و پایان مسیر: خانه

موزه شهید رجایی (به‌عنوان نقطه پایانی در ترتیب بهینه). بر اساس تحلیل ماتریس هزینه و خروجی‌های ابزار Route، کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین مسیر شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری

یکی از چالش‌های اساسی در گردشگری شهری، به‌ویژه در مناطق متراکم و دارای جاذبه‌های متعدد فرهنگی مانند منطقه ۱۲ تهران، بهینه‌سازی مسیرهای بازدید به‌منظور کاهش زمان و مسافت سفر گردشگران است. در این پژوهش، با به‌کارگیری مدل (Open TSP) در چارچوب تحلیل شبکه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، مسیر بهینه بازدید از ۲۲ موزه شاخص منطقه ۱۲ تهران استخراج و با مسیر متداول (حالت عادی) مقایسه شد. نتایج کمی حاصل از تحلیل نشان می‌دهد جدول (۲).

جدول (۲). مقایسه نوع روش مسیریابی در حالت عادی و فروشنده دوره‌گرد

نوع روش مسیریابی	زمان کل (دقیقه)	مسافت کل (کیلومتر)
مسئله فروشنده دوره‌گرد	۱۱۸/۱۷۶	۹/۸۹۶
حالت عادی	۳۱۰/۹۴	۲۵/۹۱۰

این مقایسه بیانگر کاهش ۶۱.۸ درصد در زمان سفر و ۶۲ درصد در مسافت طی شده است که نشان‌دهنده کارایی بالای روش پیشنهادی در بهینه‌سازی مسیرهای گردشگری است. از منظر برنامه‌ریزی گردشگری، این بهبود به بازدیدکنندگان امکان می‌دهد تا زمان بیشتری را صرف فعالیت‌های فرهنگی و تجربه‌محور کنند، نه صرف تردد بین جاذبه‌ها — همسو با یافته‌های (Sirirak & Pitakaso, 2018) که TSP را چارچوبی مؤثر برای کمینه‌سازی زمان و مسافت در تورهای چندوجهی معرفی می‌کنند.

همچنین، تلفیق الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیبیاتی با قابلیت‌های تحلیل فضایی GIS، امکان مدل‌سازی دقیق شبکه معابر شهری — از جمله خیابان‌های باریک و پیچیده منطقه ۱۲ — را فراهم می‌آورد. این یافته، هم‌راستا با نتایج (Grigolato et al., 2017) و (Gentilucci et al., 2019) است که بر کارایی GIS در شبیه‌سازی حرکت در محیط‌های شهری ناهموار تأکید دارند. شناسایی گلوگاه‌های ترافیکی مانند میدان توپخانه نیز، چالش‌های مشابهی را که (Sahitya & Prasad, 2019) در کلان‌شهرهای در حال توسعه گزارش کرده‌اند، تأیید می‌نماید.

از سوی دیگر، کاهش چشمگیر زمان و مسافت سفر، نه تنها به بهبود تجربه گردشگری منجر می‌شود، بلکه می‌تواند در احیای جریان زندگی شهری و کاهش فرسودگی کالبدی مناطق تاریخی و فرهنگی مؤثر باشد — همسو با دیدگاه‌های (نصیری و گنجی، ۱۴۰۰) و (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲). این امر، نقش برنامه‌ریزی هوشمند مسیرهای گردشگری را در توسعه پایدار شهری برجسته می‌سازد. نکته نوآورانه این پژوهش، اولین کاربرد تلفیق مدل Open TSP با تحلیل شبکه واقع‌گرایانه در محیط GIS برای مسیریابی موزه‌های تهران است که خلأ پژوهشی مطرح‌شده توسط (شهابیان، ۱۳۹۹) را پاسخ می‌دهد. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان هسته اولیه سیستم‌های هوشمند راهنمایی گردشگری در سطح شهری توسعه یابد و در برنامه‌ریزی تورهای فرهنگی، آموزشی و تفریحی مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق الگوریتم‌های بهینه‌سازی با ابزارهای تحلیل فضایی، نه تنها امکان تصمیم‌گیری آگاهانه را برای گردشگران فراهم می‌کند، بلکه به‌عنوان ابزاری کارآمد در دست مدیران شهری و برنامه‌ریزان گردشگری، می‌تواند به افزایش کارایی زیرساخت‌های گردشگری، کاهش ترافیک و آلودگی و ارتقای کیفیت تجربه بازدید کمک شایانی نماید.

پیشنهادهای

۱- ایجاد مسیرهای پیاده‌روی فرهنگی: با توجه به نزدیکی بسیاری از موزه‌ها (مانند موزه شهید مدرس، کاخ گلستان، موزه ملی)، توسعه مسیرهای پیاده‌روی ایمن و علی‌الخصوص طراحی شده می‌تواند زمان سفر را کاهش داده و تجربه بازدید را غنی‌تر کند.

- ۲- بهینه‌سازی حمل‌ونقل عمومی فرهنگی: ایجاد اتوبوس‌های توریستی اختصاصی با مسیرهایی متناسب با بهترین مسیرهای رتبه‌بندی شده (مانند مسیر رتبه ۱) می‌تواند دسترسی گردشگران را بهبود بخشد.
- ۳- استفاده از سیستم‌های هوشمند راهنمایی: توسعه اپلیکیشن‌های موبایل با قابلیت پیشنهاد بهینه‌ترین مسیر بر اساس زمان واقعی ترافیک می‌تواند به گردشگران کمک کند تا از مسیرهای کارآمدتر استفاده کنند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- حیدری، ر.، صفرپور، م.، آذری، م. (۱۳۹۲). بررسی و تحلیل الگوی رفتاری گردشگران در دسترسی به جاذبه‌های شهری با استفاده از GIS مطالعه موردی: شهر شیراز. (مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴(۱۲)، ۲۲۰۱-۲۲۰۸).
- زآل، م. ح.، رمضان‌زاده لسبویی، م.، & جورینیان، ف. (۱۳۹۹). عملکرد موزه‌های باستان‌شناسی و نقش آن در توسعه گردشگری میراث فرهنگی (مطالعه موردی: موزه خانه کلبادی شهر ساری). فصلنامه گردشگری شهری، ۷(۱)، ۳۷-۵۰.
- ستارنژاد، سعید و تقی‌زاده، حامد و کریمی، بهنام، ۱۳۹۸، مطالعه راه‌های باستانی منطقه مراغه بر اساس متون تاریخی و شواهد باستان‌شناختی (مطالعه موردی پل-های تاریخی)، چهارمین همایش ملی باستان‌شناسی ایران، بیرجند، <https://civilica.com/doc/978853>
- شهابیان، پ. (۱۳۹۹). انتخاب مسیرهای بهینه گردشگری شهری با بهره‌گیری از مدل‌های چیدمان فضا و تحلیل شبکه‌ای فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا، ۱۰(۴)، ۴۵۱-۴۶۶.
- صالحی، ع. (۱۳۹۹). انتخاب بهترین مسیر ویژه دوچرخه در حمل‌ونقل شهری با استفاده از GIS مطالعه موردی: شهر جدید اندیشه. نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۴۹(۴)، ۶۸۹-۷۰۷.
- طالبی، خ.، سرتیپی‌پور، م.، & آزاد، م. (۱۴۰۰). تعیین مسیرهای گردشگری با روش کمترین فاصله از بهترین تصمیم (مطالعه موردی: شهرستان تاریخی دامغان). فصلنامه علمی-پژوهشی گردشگری و توسعه، ۱۱(۳)، ۲۰۷-۲۲۴.

- محمدی، ح. و کاظمی، ع. (1399). بهینه‌سازی مسیرهای گردشگری شهری با استفاده از تحلیل شبکه در GIS مطالعه موردی: منطقه ۱۲ تهران (مطالعات مدیریت گردشگری، ۱۴(49)، ۱۳۶-۱۳۷). DOI: 10.22059/jtms.2020.78945
- مشکینی، ا.، احمدی فرد، ن.، & موحّد، ع. (۱۳۹۶). شناسایی کانون‌های محرک توسعه خلاق در بافت تاریخی با رویکرد گردشگری (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ شهر تهران). پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۱۲(3)، ۱۸۱-۱۸۲.
- مصیری هنده خاله، ا.، & گنجی، ن. (۱۴۰۰). تعیین مسیر بهینه شبکه راه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: مسیر رودسر-قزوین). پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، ۵۳(1)، ۶۵-۸۴. <https://sid.ir/paper/369461/fa>
- یغفوری، ح.، پاسبان عیسی‌لو، و.، & تاجی، م. (۱۳۹۹). استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) در حل مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP). فصلنامه علمی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۱۱(43)، ۱۸۱-۱۸۲.
- Comber, A., Brunsdon, C., & Green, E. (2008). Using a GIS-based network analysis to determine urban greenspace accessibility for different ethnic and religious groups. *Landscape and Urban Planning*, 86(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.01.002>
- Curtin, K. M., Hayslett-McCall, K., & Qiu, F. (2014). Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models. *Networks and Spatial Economics*, 10(1), 125–145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11067-008-9073-6>
- Damos, M. A., Zhu, J., Li, W., Hassan, A., & Khalifa, E. (2021). A novel urban tourism path planning approach based on a multiobjective genetic algorithm. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 530. <https://doi.org/10.3390/ijgi10080530>
- Esquivel, J. M., Morales, G. P., & Esteller, M. V. (2015). Groundwater monitoring network design using GIS and multicriteria analysis. *Water Resources Management*, 29(9), 3175–3194. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0989-8>
- Flognfeldt Jr., T. (2005). The tourist route system – models of travelling patterns. *Belgeo*, 2005(1–2), 35–58. <https://doi.org/10.4000/belgeo.12406>
- Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman.
- Gentilucci, M., Barbieri, M., Dalei, N. N., & Gentilucci, E. (2019). Management and creation of a new tourist route in the National Park of the Sibillini Mountains using GIS software, for economic development. In *Proceedings of the 8th International Conference on Geographic Information Systems Theory, Applications and Management* (pp. 183–188). SciTePress. <https://doi.org/10.5220/0007673001830188>
- Goodarzi, M., Pourtaheri, M., & Ahmadi, M. (2021). Urban regeneration through cultural tourism: A case study of Tehran's historical texture. *Urban Studies Research*, 2021, Article 6635293. <https://doi.org/10.1155/2021/6635293>
- Grigolato, Stefano, S., Mologni, O., & Cavalli, R. (2017). GIS applications in forest operations and road network planning: An overview over the last two decades. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 38(2), 175–186.
- Gutin, G., & Punnen, A. P. (Eds.). (2007). *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*. Springer. DOI: [10.1007/b101971](https://doi.org/10.1007/b101971)
- Iulio, R., & Cofrancesco, P. (2023). Le vie di comunicazione nel territorio campano della Media Valle del Volturno tra l'area alifana e quella telesina sino all'età moderna: dalla cartografia storica al GIS. *Rivista di Studi e Ricerche Storiche*, 13, 45–62. <https://iris.unicampania.it/handle/11591/501388>

- Laporte, G. (2010). A concise guide to the Traveling Salesman Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 61(1), 35–40. DOI: [10.1057/jors.2009.145](https://doi.org/10.1057/jors.2009.145)
- Lourens, M. (2007). Route tourism: A roadmap for successful destinations and local economic development. *Development Southern Africa*, 24(3), 475–490. <https://doi.org/10.1080/03768350701445574>
- Malczewski, J. (2021). GIS-based multicriteria decision analysis for tourism planning: A review. *Annals of GIS*, 27(1), 1–15. DOI: [10.1080/19475683.2020.1860125](https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1860125)
- Meyer, D. (2004). *Key issues for the development of tourism routes and gateways and their potential for pro-poor tourism*. Overseas Development Institute (ODI). https://www.researchgate.net/publication/242371864_Key_issues_for_the_development_of_tourism_routes_and_gateways_and_their_potential_for_Pro-Poor_Tourism
- Moreno Navarro, J. G., Auz Jaramillo, L., & López Magan, E. (2019). Assessing connectivity in single and multimodal networks using Geographic Information Systems (GIS). *Transportation Research Procedia*, 40, 1473–1480. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.204>
- Naji, H. F., & Maraş, H. H. (2019). Analysing Iraqi railways network by applying specific criteria using the GIS techniques. *Baghdad Science Journal*, 16(1), 121–129. <https://doi.org/10.21123/bsj.2019.16.1.0121>
- Pei, Q., Wang, L., Du, P., & Wang, Z. (2022). Optimization of tourism routes in Lushunkou District based on ArcGIS. *PLoS ONE*, 17(3), e0264526. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264526>
- Rolando, A., & Scandiffio, A. (2022). Slow tourism infrastructure planning: A sustainable approach to regional development. *Sustainability*, 14(18), 11320. <https://doi.org/10.3390/su141811320>
- Sahitya, K. S., & Prasad, C. S. R. K. (2019). Modelling structural interdependent parameters of an urban road network using GIS. *Spatial Information Research*, 28(3), 327–334. <https://doi.org/10.1007/s41324-019-00295-9>
- Singh, N., & Katiyar, S. K. (2021). Application of geographical information system (GIS) in reducing accident blackspots and in planning of a safer urban road network: A review. *Ecological Informatics*, 66, 101436. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101436>
- Sirirak, W., & Pitakaso, R. (2018). Marketplace location decision making and tourism route planning. *Administrative Sciences*, 8(4), 72. <https://doi.org/10.3390/admsci8040072>
- Vada, S., Dupre, K., & Zhang, Y. (2022). Route tourism: A narrative literature review. *Current Issues in Tourism*, 26(6), 879–889. <https://doi.org/10.1080/13683500.2022.2151420>
- Vancoudayoub, B., Yang, P., Dayoub, A., Omran, S., & Li, H. (2020). The role of cultural routes in sustainable tourism development: A case study of Syria's spiritual route. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 15(6), 865–874. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.150610>
- Wu, X., Guan, H., Han, Y., & Ma, J. (2017). A tour route planning model for tourism experience utility maximization. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(10), 1687814017732309. <https://doi.org/10.1177/1687814017732309>
- Yan, J., Zlatanova, S., Lee, J., & Liu, Q. (2021). Indoor Traveling Salesman Problem (ITSP) path planning. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(9), 616. <https://doi.org/10.3390/ijgi10090616>
- Yusrizal, M., Huzaini, M., & Fadliyanti, L. (2023). Economic valuation of Kelapa Island tourism area Bima Regency. *Economic Policy*, 11(1), 45–58. <https://doi.org/10.32493/ep.v11i1.25673>
- Zhang, Y., Jiao, L., Yu, Z., Lin, Z., & Gan, M. (2020). A tourism route-planning approach based

- on comprehensive attractiveness. *IEEE Access*, 8, 39536–39547.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2967060>
- Zhang, S., Hu, T., Zhang, T., Ju, H., & Wang, Y. (2025). Tourism development of cultural heritage resources through conservation concepts: A case study of Ningxia, China. *Land*, 14(1), 201.
<https://doi.org/10.3390/land14010201>
- Zhang, Y., Teoh, B. K., & Zhang, L. (2022). Integrated Bayesian networks with GIS for electric vehicles charging site selection. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131049.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131049>