



Spatial mapping of distribution and examination of factors associated with the formation of historical bridges, Case study: East Azerbaijan Province

Tala Yaghoubi¹ | Shabnam Akbari Namdar^{2✉} | Nasim Najafgholipour Kalantari³

1. Department of Architecture, Ta. C. Islamic Azad University, Tabriz, Iran. E-mail: yaghoobiart@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Architecture, Ta. C. Islamic Azad University, Tabriz, Iran. E-mail: anamdar@iaut.ac.ir

3. Department of Architecture, Ta. C. Islamic Azad University, Tabriz, Iran. E-mail: n.najafgholipour@iaut.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received 09 October 2025

Received in revised form 08

December 2025

Accepted 31 December 2025

Keywords:

East Azerbaijan,

GIS,

Historical bridges,

Spatial analysis,

Spatial distribution.

This study aims to analyze the spatial distribution pattern of historical bridges in East Azerbaijan Province and to examine their spatial alignment with environmental, human, historical, and cultural factors. The research adopts a descriptive–analytical approach based on spatial analysis within a Geographic Information System (GIS) environment. To this end, the geographic locations of twenty historical bridges were extracted and integrated with environmental layers including precipitation, slope, distance from rivers, landform types, land use, and transportation networks. Global and Local Moran's I (LISA) statistics were applied to examine the spatial distribution pattern of bridges, while OLS, GWR, and MGWR spatial regression models were employed to analyze spatial heterogeneity in the relationships. The results indicate that the distribution of historical bridges is non-random and organized into distinct spatial clusters. Furthermore, the relationships between bridges and contextual factors are not spatially uniform and vary according to geographic location. Overall, the findings suggest that the spatial distribution of historical bridges reflects a coherent spatial logic associated with the natural setting and historical transportation networks.

Cite this article: Yaghoubi, T., Akbari Namdar, Sh., & Najafgholipour Kalantari, N. (2026). Spatial mapping of distribution and examination of factors associated with the formation of historical bridges, Case study: East Azerbaijan Province. *Journal of Natural Environment*, 79 (1), 209-228. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.407802.2868>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Iran's architectural heritage encompasses a wide range of historical structures, among which historical bridges hold a distinctive position. These structures simultaneously embody engineering knowledge, environmental adaptation, and a communicative role within historical transportation networks. Historically, such bridges were constructed at locations where natural conditions ensured structural stability, controlled environmental forces, and maintained connectivity among settlements. East Azerbaijan Province, due to its climatic diversity, complex geology, the presence of major rivers such as the Aras, Aji-Chay, and Mehran-Rud, and its position along historical transit routes, represents one of the most significant regions for the formation of historical bridges in Iran. Bridges such as Khodaafarin Bridge, Bilan-Kuh Bridge, and Panj-Cheshmeh Bridge are examples of structures built in close harmony with their natural settings.

Material and Methods

This study is descriptive–analytical in nature and spatially oriented in approach, conducted using spatial analysis tools within a GIS environment. The research data include the geographic coordinates of twenty historical bridges in East Azerbaijan Province and environmental layers such as precipitation, slope, distance from rivers, landform type, land use, road networks, and settlement areas. These data were collected from official sources and processed in ArcGIS after unifying the coordinate system. To examine the spatial distribution pattern of the bridges, the Global Moran's I spatial autocorrelation test was first applied to determine whether the spatial distribution was random or non-random. Subsequently, Local Moran's I (LISA) was used to identify spatial clusters and local patterns. To investigate spatial heterogeneity in the relationships between bridge locations and contextual variables, an Ordinary Least Squares (OLS) regression model was initially implemented as a baseline model, and its limitations were evaluated. Subsequently, Geographically Weighted Regression (GWR) and Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) models were applied to extract local coefficients and analyze spatial variability in these relationships. The emphasis of this research is on analyzing spatial patterns and alignments, and the results are interpreted within a descriptive and non-causal spatial framework.

Results

Based on the analyses conducted in the GIS environment, environmental maps related to the distribution of historical bridges in East Azerbaijan Province were first produced (Figure 3). The precipitation map indicates that annual rainfall across the province ranges from 250 to 750 mm, with the highest frequency occurring in the 250–500 mm class. The landform map also demonstrates the high diversity of geomorphological units in the province, including mountains, hills, plateaus, plains, alluvial lands, and major settlements. Topographic analysis reveals that elevation in the province ranges from 200 to 4100 meters, with northern areas and the surroundings of Mount Sahand representing the highest elevations, while areas near Lake Urmia constitute the lowest parts of the province. The vegetation cover map illustrates the presence of rangelands, agricultural lands, salt flats, forests, wetlands, and lakes across the province. An examination of bridge functions indicates that these structures were primarily developed to establish connections between cities, rivers, and livelihood activities, facilitating the movement of people, livestock, and goods. Spatial distribution analysis shows a relative concentration of bridges near major cities, particularly Tabriz. Furthermore, analysis of the transportation network indicates that a considerable number of historical bridges are located along major roads and communication corridors, many of which connect to Tabriz, reflecting the alignment of bridge distribution with the communication and economic significance of the city. The results of the Global Moran's I spatial autocorrelation test (Table 3) indicate that the spatial distribution pattern of historical bridges in East Azerbaijan Province is significantly clustered. The Moran's I value of 0.249, a Z-score of 3.71, and a significance level of 0.001 indicate a non-random distribution pattern. Additionally, the results of spatial regression analyses show that some structural characteristics of the bridges, including the number of spans and construction materials, exhibit significant alignment with environmental and contextual variables such as water resources, communication-economic functions, and settlement patterns. In other words, in regions with higher precipitation and more extensive water resources, bridges generally have a greater number of spans, whereas in areas with limited water resources this

characteristic is observed with lower intensity. The combined results of the Global Moran's I and Local Moran's I (LISA) analyses further confirm the spatial distribution pattern of historical bridges in East Azerbaijan Province. The normal distribution graph indicates statistical significance with Moran's I = 0.230916, Z-score = 4.489, and P = 0.000007, all confirming a non-random and clustered pattern in the spatial distribution of the bridges. The Pearson correlation matrix also indicates significant alignment between the distribution of historical bridges and several environmental and physical variables. The highest correlation is observed with distance from rivers (0.68), indicating strong alignment with waterways. Distance from roads (0.49) and precipitation (0.43) also show that bridge distribution corresponds with transportation networks and climatic conditions. Although slope and village density show weaker correlations, they still highlight the combined role of natural and human factors in shaping the spatial pattern of bridges.

Discussion

Using GIS-based spatial analysis, this study demonstrates that the distribution of historical bridges in East Azerbaijan Province is non-random and largely formed along rivers, historical transportation routes, and settlement centers. The results of spatial autocorrelation and spatial regression analyses indicate spatial heterogeneity in the relationships between environmental and human factors and the settlement pattern of bridges. Specifically, in the northern regions there is a stronger alignment with natural and hydrological conditions, whereas in the central and southern areas a stronger association with transportation networks is observed. Structural differences among bridges including construction materials, number of spans, and architectural form reflect environmental conditions, site characteristics, and the construction practices of different historical periods. Overall, these findings highlight the importance of spatially oriented approaches in the analysis and sustainable preservation of historical infrastructural heritage.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRedit authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.



نقشه‌سازی پراکنش فضایی و بررسی عوامل مرتبط با شکل‌گیری پل‌های تاریخی، مطالعه استان آذربایجان شرقی

طلا یعقوبی^۱ | شبنم اکبری نامدار^۲ | نسیم نجفقلی پور کلانتری^۳

۱. گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: yaghoobiart@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: namdar.iaut.ac.ir
۳. گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: n.najafgholipour.iaut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این پژوهش با هدف تحلیل الگوی پراکنش فضایی پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی و بررسی هم‌راستایی آن با عوامل محیطی، انسانی، تاریخی و فرهنگی انجام شده است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر تحلیل‌های فضایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است. بدین منظور، موقعیت مکانی بیست پل تاریخی استخراج و با لایه‌هایی شامل بارندگی، شیب، فاصله از رودخانه، تیپ زمین، کاربری اراضی و شبکه راه‌ها تلفیق شد. برای بررسی الگوی توزیع پل‌ها از آزمون‌های خودهمبستگی فضایی موران جهانی و محلی (LISA) استفاده شد و به منظور تحلیل ناهمسانی مکانی روابط، مدل‌های رگرسیون فضایی OLS، GWR و MGWR به کار رفت. نتایج نشان داد که توزیع پل‌های تاریخی ماهیتی غیرتصادفی دارد و در قالب خوشه‌های فضایی مشخص سازمان یافته است. همچنین روابط میان پل‌ها و عوامل زمینه‌ای در سطح استان یکنواخت نبوده و بسته به موقعیت جغرافیایی تغییر می‌کند. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که پراکنش پل‌های تاریخی بازتاب یک منطق فضایی منسجم در پیوند با بستر طبیعی و شبکه‌های ارتباطی تاریخی است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰	
کلیدواژه‌ها: آذربایجان شرقی، پل‌های تاریخی، تحلیل فضایی، پراکنش مکانی، GIS	

استناد: یعقوبی، طلا؛ اکبری نامدار، شبنم؛ و نجفقلی پور کلانتری، نسیم (۱۴۰۵). نقشه‌سازی پراکنش فضایی و بررسی عوامل مرتبط با شکل‌گیری پل‌های تاریخی، مطالعه استان آذربایجان شرقی. *مجله زیست طبیعی*، ۷۹ (۱)، ۲۲۸-۲۰۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.407802.2868>



مقدمه

میراث معماری ایران مجموعه‌ای گسترده از سازه‌های تاریخی را در بر می‌گیرد که در میان آنها، پل‌های تاریخی جایگاهی منحصر به فرد دارند؛ زیرا همزمان واجد دانش مهندسی، سازگاری محیطی و نقش ارتباطی در شبکه‌های حرکتی گذشته هستند (Zeynali Azim *et al.*, 2025). این سازه‌ها همواره در نقاطی ساخته شده‌اند که شرایط طبیعی امکان پایداری، کنترل نیروهای محیطی و حفظ پیوستگی میان سکونتگاه‌ها را فراهم کرده است (Uddin *et al.*, 2022; Everett *et al.*, 2023). پژوهش‌های جهانی تأکید دارند که مکان‌یابی پل‌ها تابعی مستقیم از عوامل طبیعی مانند رفتار رودخانه، جنس خاک و سنگ، توپوگرافی، فرسایش و چرخه‌های دمایی بوده است (Zaki *et al.*, 2020; Tubaldi *et al.*, 2021).

استان آذربایجان شرقی به دلیل تنوع اقلیمی، زمین‌شناسی پیچیده، وجود رودخانه‌های مهمی چون ارس، آجی‌چای و مهران رود و قرارگیری در گذرگاه‌های تاریخی، یکی از مهم‌ترین پهنه‌های شکل‌گیری پل‌های تاریخی کشور است. پل‌هایی چون پل خدآفرین، پل بیلان کوه و پل پنج‌چشمه نمونه‌هایی از سازه‌هایی هستند که در هماهنگی کامل با بستر طبیعی ساخته شده‌اند. با این حال، بخش عمده مطالعات پیشین در این حوزه بر توصیف معماری، تحلیل فرمی و مرمت متمرکز بوده و کمتر به پرسش بنیادین چرایی انتخاب نقطه استقرار پل‌ها پرداخته‌اند. این در حالی است که پایداری امروزین پل‌ها نیز وابسته به همان عوامل محیطی است که در گذشته مبنای مکان‌یابی بوده است. درک رفتار رودخانه، سیلاب، ساختار زمین و تغییرات اقلیمی شرط اساسی حفاظت اصولی این میراث است (Pirhayati, 2024). بر مبنای نظریه‌های محیط‌محور، سازه در امتداد طبیعت و نه در تقابل با آن شکل می‌گیرد. پل در نقطه‌ای مستقر می‌شود که بیشترین تأثیر نیروهای طبیعی آب، خاک، سنگ و دما بر آن وارد است. نظریه‌های معاصر میراث و پایداری نیز تأکید دارند که هیچ سازه تاریخی بدون تحلیل بستر طبیعی آن قابل فهم نیست (Pirhayati, 2024). در این چارچوب، چهار لایه بنیادین محیطی شامل هیدرولوژی، الگوی جریان، فرسایش، تغییر مسیر رودخانه و پهنای بستر، مستقیماً بر فاصله پایه‌ها، تعداد دهانه‌ها و ارتفاع پل اثر می‌گذارند. مطالعات جدید نشان می‌دهد که حتی تغییرات جزئی در الگوی جریان می‌تواند پایداری پل‌های سنگی را به‌طور مستقیم تهدید کند (Li *et al.*, 2024) از این رو، مکان‌یابی پل در گذشته نتیجه یک تصمیم مهندسی-محیطی بسیار دقیق بوده است. لایه زمین‌شناسی نیز شامل جنس بستر، مقاومت خاک و سنگ و پایداری دیواره‌هاست. بسترهای سست نیازمند دهانه‌های کوتاه و پایه‌های ضخیم‌تر بوده‌اند، در حالی که بسترهای سنگی امکان ایجاد قوس‌های بلندتر را فراهم کرده‌اند (Cai *et al.*, 2024). برخلاف رویکردهای توصیفی رایج در برخی مطالعات داخلی، زمین‌شناسی یک متغیر فعال و تعیین‌کننده در منطق ساخت پل محسوب می‌شود. در لایه اقلیمی، نوسانات دما، چرخه یخ‌زدگی، رطوبت و بارندگی، به‌طور مستقیم رفتار سازه، نوع مصالح و جزئیات هندسی پل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مناطق پر باران یا دارای تغییرات حرارتی شدید، ضخامت پایه‌ها افزایش یافته و هندسه مقاوم‌تری اتخاذ شده است (Mohammadi Irloo and Heidar Nattaj, 2023). اقلیم نه تنها عامل ساخت، بلکه عامل فرسایش پل نیز محسوب می‌شود (Zhang *et al.*, 2024). لایه چهارم شامل ساختار فضایی و توپوگرافیک است. پل به مثابه یک گره در شبکه حرکت و تجارت تاریخی عمل می‌کند و موقعیت آن در پیوند با دره‌ها، دشت‌ها، مسیرهای طبیعی تردد و ساختار سکونتگاهی انتخاب شده است (Raut *et al.*, 2018). مطالعات معماری پل‌های تاریخی ایران نشان می‌دهد که نوع قوس، طول دهانه‌ها و نحوه استقرار پایه‌ها نتیجه تعامل تکنیک سازه‌ای و محدودیت‌های محیطی است (Nejad Ebrahimi *et al.*, 2020; Hasanpour Lamr *et al.*, 2022; Pirhayati, 2024). عامل فرسایش پل‌های سنگی شناخته شده‌اند (Sass and Viles, 2022). مطالعات موردی نشان می‌دهد که بخش عمده شکست پل‌های تاریخی ناشی از فرسایش پی‌ها، تغییر مسیر جریان و سیلاب است (Ccanccapa Puma *et al.*, 2024). همزمان، ویژگی‌های لیتولوژی و الگوی هوازدگی سنگ نقش مستقیمی در ترک‌خوردگی و فروپاشی سازه دارند. پژوهش‌های داخلی نیز به تدریج به پیوند پل و چشم‌انداز طبیعی و شبکه راه‌ها توجه کرده‌اند. Korjani و همکاران (۲۰۲۴) نقش ابعاد ادراکی و کالبدی را در حس مکان پل‌ها تأیید کرده‌اند. Hasanpour Lamr و همکاران (۲۰۲۲) در پل‌های تاریخی گیلان نقش مستقیم اقلیم، توپوگرافی و هیدرولوژی را در تعیین تعداد دهانه‌ها اثبات کرده‌اند. Moradi (۲۰۲۲) در تحلیل پل بیستون، تکامل تاریخی سازه را برآیند نیازهای ارتباطی و شرایط محیطی معرفی کرده است. Lak و Ramezani (۲۰۲۰) نیز نشان داده‌اند که کیفیت‌های محیطی

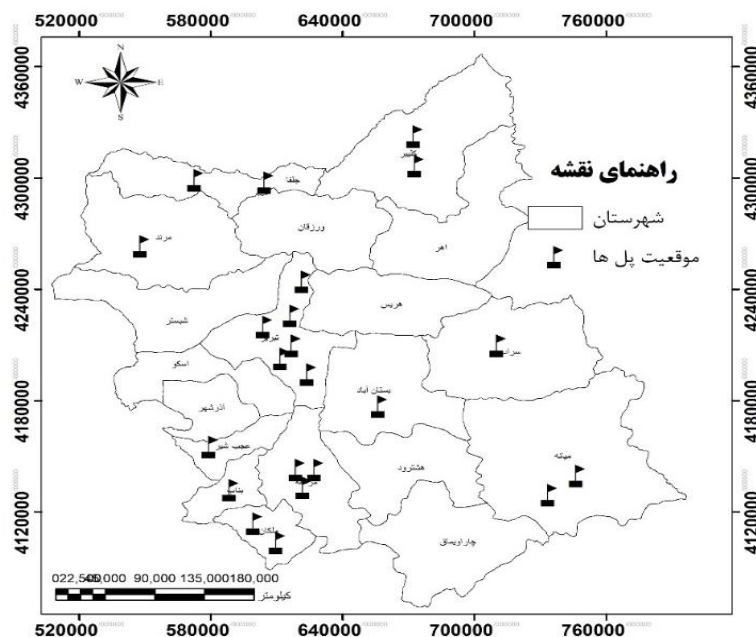
پیرامون پل‌ها در دوره معاصر نیز تعیین‌کننده کارکرد فضاهای زیرپل است. در سطح بین‌المللی، Chu (۲۰۲۵) وابستگی الگوی پراکنش پل‌ها به رودخانه‌ها و کانال‌های تاریخی را نشان داده است. Weidt و همکاران (۲۰۲۵) رابطه مستقیم عرض دره، نوع پل و دبی اوج را با الگوی تخریب پل‌ها اثبات کرده‌اند. Ccanccapa Puma و همکاران (۲۰۲۴) تغییر بستر و فشار جریان را مهم‌ترین تهدید پایداری پل‌های تاریخی معرفی می‌کند. Suwanprasit و همکاران (۲۰۲۴) بر تلفیق GIS و AHP در مکان‌یابی اصولی پل‌ها تأکید داشته‌اند. Islam و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داده‌اند که پل بدون تحلیل محیط‌زیستی می‌تواند پیامدهای منفی اکولوژیک جدی ایجاد کند.

با وجود این پیشرفت‌ها، هنوز هیچ مطالعه‌ای به‌صورت جامع و یکپارچه ارتباط میان عناصر محیط‌زیستی، رفتار رودخانه، توپوگرافی و داده‌های مکانی را برای تبیین الگوی مکان‌یابی پل‌های تاریخی یک منطقه مشخص بررسی نکرده است. خلأ اصلی در نبود رویکرد فضایی-تحلیلی مبتنی بر GIS، خودمبستگی مکانی و رگرسیون فضایی است. پژوهش حاضر با تکیه بر این ابزارها، پل تاریخی را به‌عنوان برآیند یک «معادله فضایی» میان عوامل محیطی، مهندسی و فرهنگی تحلیل می‌کند. نوآوری آن در ارائه چارچوب یکپارچه برای بازسازی منطق مکان‌یابی پل‌های تاریخی بر پایه داده‌های واقعی و روش‌های کمی فضایی است؛ رویکردی که می‌تواند بنیانی علمی برای حفاظت، مرمت و مدیریت پایدار این میراث فراهم سازد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی و از نظر رویکرد فضامحور است و با بهره‌گیری از ابزارهای تحلیل مکانی در محیط GIS انجام شده است. داده‌های پژوهش شامل مختصات جغرافیایی بیست پل تاریخی استان آذربایجان شرقی و لایه‌های محیطی نظیر بارندگی، شیب، فاصله از رودخانه‌ها، تیپ زمین، کاربری اراضی، شبکه راه‌ها و محدوده‌های سکونتگاهی است که از منابع رسمی گردآوری و پس از یکسان‌سازی سیستم تصویر، در محیط ArcGIS پردازش شدند. برای بررسی الگوی پراکنش پل‌ها، ابتدا آزمون خودمبستگی فضایی موران جهانی به‌منظور تشخیص تصادفی یا غیرتصادفی بودن توزیع مکانی اجرا شد. سپس از موران محلی (LISA) برای شناسایی خوشه‌های فضایی و الگوهای محلی استفاده گردید. به‌منظور بررسی ناهمسانی مکانی روابط میان پل‌ها و متغیرهای زمینه‌ای، مدل رگرسیون خطی معمولی (OLS) به‌عنوان مدل پایه اجرا و محدودیت‌های آن ارزیابی شد. در ادامه، مدل‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) و چندمقیاسی (MGWR) برای استخراج ضرایب محلی و تحلیل تغییرپذیری فضایی روابط به‌کار رفتند. تأکید این پژوهش بر تحلیل الگوها و هم‌راستایی‌های فضایی است و نتایج در چارچوب توصیف مکانی و غیرعلی تفسیر شده‌اند.






محدوده مورد مطالعه: استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران و در بازه‌ای از عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول‌های ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی قرار دارد. این استان از شمال با جمهوری‌های آذربایجان و ارمنستان، از غرب با آذربایجان غربی، از شرق با اردبیل و از جنوب شرق با زنجان هم‌مرز است. آب‌وهوای غالب آن سرد کوهستانی بوده و بخش اعظم مساحت استان را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. میانگین بارندگی سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر، بیشترین دما ۴۵ درجه و کمترین دما منفی ۴۶ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. مساحت استان ۴۵۴۹۱ کیلومتر مربع بوده و به‌دلیل قرارگیری در محل اتصال دو رشته‌کوه البرز و زاگرس، از موقعیت طبیعی ویژه‌ای برخوردار است که قلّه سهند بلندترین نقطه آن محسوب می‌شود. این موقعیت جغرافیایی و نقش ارتباطی-تجاری استان، زمینه‌ساز احداث پل‌های متعدد در طول تاریخ شده است که در این پژوهش، ۲۰ پل تاریخی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱- نقشه توزیع فضایی پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی (نگارندگان، ۱۴۰۴)
 Figure 1. Spatial distribution map of historical bridges in East Azerbaijan province

جدول ۱- فهرست اسامی و تصاویر پل‌های استان آذربایجان شرقی
 Table 1. List of names and figures of bridges in East Azerbaijan province

نام پل	تصویر	نام پل	تصویر	نام پل	تصویر
پل بیلقان		پل بیلقان کوه		پل قیروان	
پل قاری		پل ضیا الملک		پل قارن	
پل تلخه رود		پل سنگی		پل بیلقان	
پل پنچ چشمه		پل خداآفرین		پل قیزلار	
		پل گادوش آباد			

	پل شاه عباس		پل غزرعه		پل دختر
			پل تیروان		پل سعید آباد

(مأخذ، یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

جدول ۲ مشخصات پل‌های مورد مطالعه را از نظر متغیرهایی مانند دوره ساخت، موقعیت جغرافیایی، تعداد دهنه و مصالح به کار رفته نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی

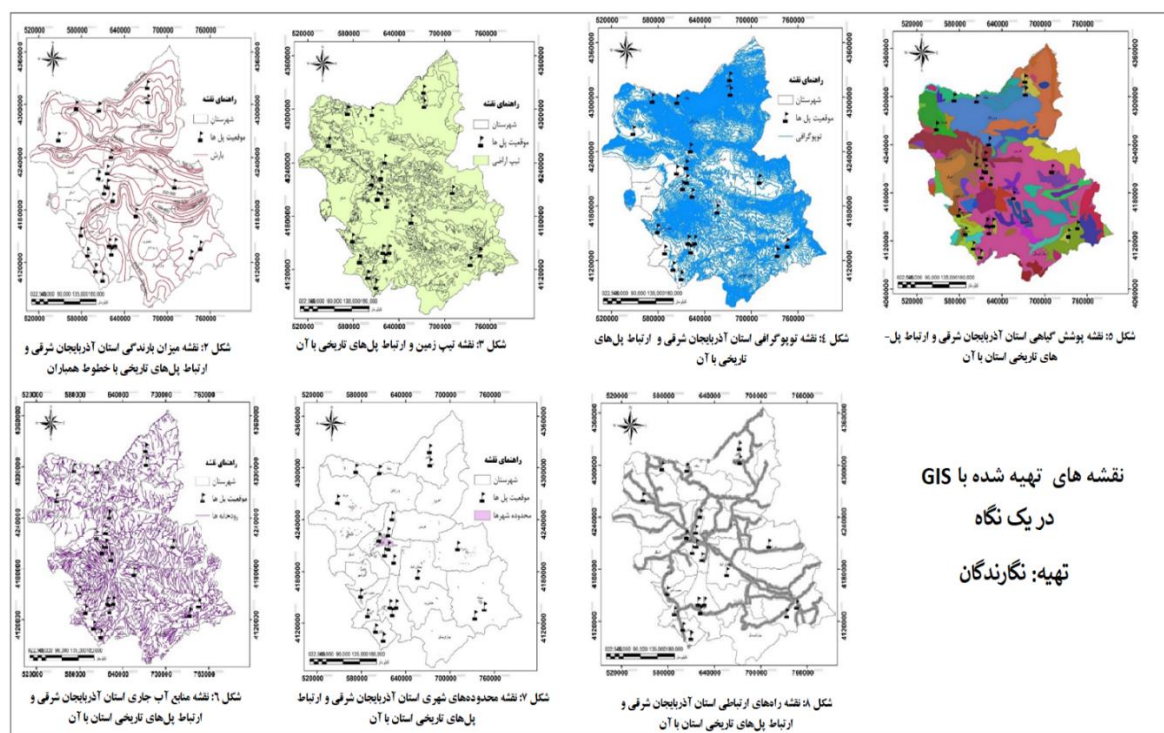
Table 2. Characteristics of the historical bridges of East Azerbaijan province

نام پل	مشخصات پل	نام پل	مشخصات پل	نام پل	مشخصات پل
پل بیلقان	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۳ مصالح: سنگی	پل بیلقان کوه	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۲ مصالح: آجر و سنگ	پل قاری	شهرستان: تبریز دوره ساخت: پهلوی تعداد دهنه: ۸ مصالح: سنگی
پل تلخه‌رود	شهرستان: تبریز دوره ساخت: صفویه-قاجاریه تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: سنگی	پل سنگی	شهرستان: تبریز دوره ساخت: دوره صفوی-دوره قاجار تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: ---	پل لیلان	شهرستان: ملکان دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری
پل قزلار	شهرستان: ملکان دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۵ مصالح: سنگ و آجر	پل گلودوش آباد	شهرستان: سراب دوره ساخت: صفویه-قاجاریه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجر و سنگ	پل دختر	شهرستان: میانه دوره ساخت: ساسانی تعداد دهنه: ۵ مصالح: آجری و سنگی
پل لیلان	شهرستان: ملکان دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری	پل خداآفرین	شهرستان: خداآفرین دوره ساخت: سده‌های اولیه اسلام تعداد دهنه: ۲۰ مصالح: سنگی	پل سعید آباد	شهرستان: بستان آباد دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری
پل شاه عباس	شهرستان: میانه دوره ساخت: صفویان تعداد دهنه: ۲ مصالح: سنگی	پل تیروان	شهرستان: تبریز دوره ساخت: دوره صفوی-دوره قاجار تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: ---	پل غزرعه	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۲ مصالح: آجر و سنگ
پل بیلقان	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۳ مصالح: سنگی	پل بیلقان کوه	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۲ مصالح: آجر و سنگ	پل قاری	شهرستان: تبریز دوره ساخت: پهلوی تعداد دهنه: ۸ مصالح: سنگی
پل تلخه‌رود	شهرستان: تبریز دوره ساخت: صفویه-قاجاریه تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: سنگی	پل سنگی	شهرستان: تبریز دوره ساخت: دوره صفوی-دوره قاجار تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: ---	پل لیلان	شهرستان: ملکان دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری
پل قزلار	شهرستان: ملکان دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۵ مصالح: سنگ و آجر	پل گلودوش آباد	شهرستان: سراب دوره ساخت: صفویه-قاجاریه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجر و سنگ	پل دختر	شهرستان: میانه دوره ساخت: ساسانی تعداد دهنه: ۵ مصالح: آجری و سنگی
پل لیلان	شهرستان: ملکان دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری	پل خداآفرین	شهرستان: خداآفرین دوره ساخت: سده‌های اولیه اسلام تعداد دهنه: ۲۰ مصالح: سنگی	پل سعید آباد	شهرستان: بستان آباد دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری
پل شاه عباس	شهرستان: میانه دوره ساخت: صفویان تعداد دهنه: ۲ مصالح: سنگی	پل تیروان	شهرستان: تبریز دوره ساخت: دوره صفوی-دوره قاجار تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: ---	پل غزرعه	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۲ مصالح: آجر و سنگ
پل بیلقان	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۳ مصالح: سنگی	پل بیلقان کوه	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۲ مصالح: آجر و سنگ	پل قاری	شهرستان: تبریز دوره ساخت: پهلوی تعداد دهنه: ۸ مصالح: سنگی
پل تلخه‌رود	شهرستان: تبریز دوره ساخت: صفویه-قاجاریه تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: سنگی	پل سنگی	شهرستان: تبریز دوره ساخت: دوره صفوی-دوره قاجار تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: ---	پل لیلان	شهرستان: ملکان دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری
پل قزلار	شهرستان: ملکان دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۵ مصالح: سنگ و آجر	پل گلودوش آباد	شهرستان: سراب دوره ساخت: صفویه-قاجاریه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجر و سنگ	پل دختر	شهرستان: میانه دوره ساخت: ساسانی تعداد دهنه: ۵ مصالح: آجری و سنگی
پل لیلان	شهرستان: ملکان دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری	پل خداآفرین	شهرستان: خداآفرین دوره ساخت: سده‌های اولیه اسلام تعداد دهنه: ۲۰ مصالح: سنگی	پل سعید آباد	شهرستان: بستان آباد دوره ساخت: صفویه تعداد دهنه: ۳ مصالح: آجری
پل شاه عباس	شهرستان: میانه دوره ساخت: صفویان تعداد دهنه: ۲ مصالح: سنگی	پل تیروان	شهرستان: تبریز دوره ساخت: دوره صفوی-دوره قاجار تعداد دهنه: ۱۶ مصالح: ---	پل غزرعه	شهرستان: تبریز دوره ساخت: قاجار تعداد دهنه: ۲ مصالح: آجر و سنگ

(مأخذ، یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

یافته‌های پژوهش

بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده در محیط GIS، ابتدا نقشه‌های محیطی مرتبط با پراکنش پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی ترسیم شد (شکل ۳). نتایج نقشه بارش نشان داد دامنه تغییرات بارندگی استان بین ۲۵۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر قرار دارد و بیشترین فراوانی بارش در طبقه ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر مشاهده می‌شود. نقشه تپ‌ زمین نیز بیانگر تنوع بالای واحدهای ژئومورفولوژیک استان شامل کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها، دشت‌ها، اراضی آبرفتی و سکونتگاه‌های بزرگ است. تحلیل خطوط توپوگرافی نشان داد ارتفاع استان بین ۲۰۰ تا ۴۱۰۰ متر متغیر بوده، به‌گونه‌ای که نواحی شمالی و پیرامون کوه سهند در زمره مرتفع‌ترین پهنه‌ها و نواحی مجاور دریاچه ارومیه در گروه کم‌ارتفاع‌ترین بخش‌های استان قرار می‌گیرند. نقشه پوشش گیاهی نیز حضور مراتع، اراضی کشاورزی، شوره‌زارها، جنگل‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها را در سطح استان نشان می‌دهد. بررسی کارکرد پل‌ها حاکی از آن است که این سازه‌ها عمدتاً در راستای ایجاد پیوند میان شهر، رودخانه و فعالیت‌های معیشتی شکل گرفته و برای تسهیل تردد انسان، دام و کالا مورد استفاده بوده‌اند. تحلیل پراکنش فضایی پل‌ها بیانگر تمرکز نسبی آنها در مجاورت شهرهای بزرگ، به‌ویژه تبریز است. همچنین بررسی شبکه راه‌های ارتباطی نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از پل‌های تاریخی در امتداد راه‌های اصلی و محورهای مواصلاتی قرار دارند و بسیاری از این مسیرها به شهر تبریز متصل می‌شوند که این امر هم‌راستایی پراکنش پل‌ها با جایگاه ارتباطی-اقتصادی تبریز را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مجموعه نقشه‌های لایه‌های GIS مرتبط با پل‌های تاریخی آذربایجان شرقی (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)
Figure 3. Collection of GIS layer maps related to historical bridges of East Azerbaijan

افزون بر این، نتایج تحلیل‌های رگرسیون فضایی نشان می‌دهد که برخی ویژگی‌های سازه‌ای پل‌ها، از جمله تعداد دهانه‌ها و نوع مصالح، با متغیرهای محیطی و زمینه‌ای مانند منابع آب، کارکردهای ارتباطی-اقتصادی و الگوی سکونتگاهی هم‌راستایی معنی‌دار دارند. به‌عبارت دیگر، در نواحی با بارندگی بیشتر و حضور منابع آبی گسترده‌تر، پل‌ها عمدتاً دارای تعداد دهانه‌های بیشتری هستند، در حالی که در مناطق با محدودیت منابع آب، این ویژگی با شدت کمتری مشاهده می‌شود.

جدول ۳. نتایج آزمون خودهمبستگی فضایی موران (Global Moran's I)
 Table 3. Results of Moran's spatial autocorrelation test (Global Moran's I)

شاخص	مقدار	تفسیر
مقدار موران (I)	0.249	الگوی خوشه‌ای معنی‌دار
مقدار Z	3.71	معنی‌داری بسیار بالا
مقدار P	0.001	رد فرض تصادفی بودن
الگوی فضایی خوشه‌ای	تجمع پل‌ها در محورهای مشخص رودخانه‌ای و تاریخی	

(مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

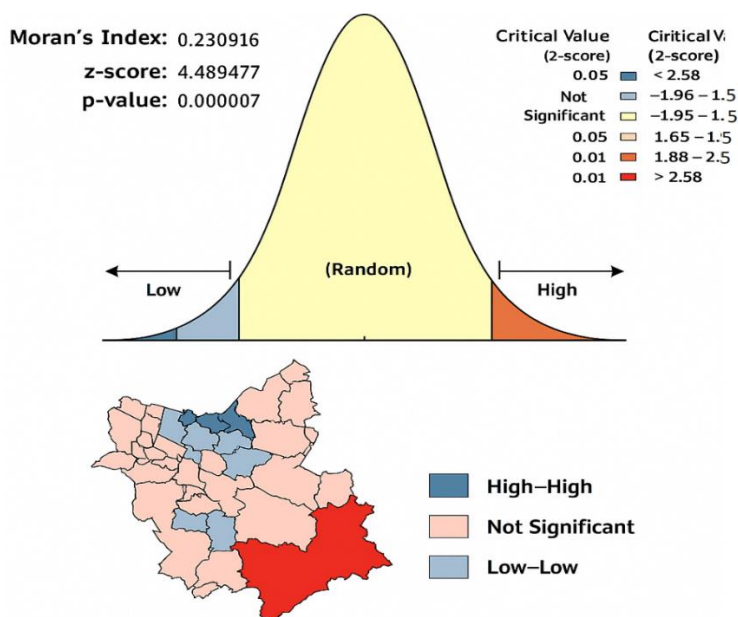
نتایج آزمون خودهمبستگی فضایی موران جهانی (جدول ۳) نشان می‌دهد که الگوی توزیع مکانی پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی به صورت معنی‌داری خوشه‌ای است. مقدار موران برابر با ۰/۲۴۹، مقدار Z برابر با ۳/۷۱ و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ بیانگر غیرتصادفی بودن الگوی پراکنش پل‌هاست. این نتایج نشان می‌دهد که استقرار پل‌ها با ساختارهای پایدار محیطی و شبکه‌های ارتباطی تاریخی همخوانی فضایی دارد و می‌توان آن را در قالب یک الگوی سازمان‌یافته مکانی تفسیر کرد. بر این اساس، پل‌های تاریخی استان به‌عنوان بخشی از یک سامانه فضایی منسجم در نظر گرفته می‌شوند که مبنای تحلیل‌های LISA، GWR و سایر مدل‌های مکانی قرار می‌گیرد. نتایج تحلیل محلی موران (جدول ۴) نشان می‌دهد که خوشه‌های High-High عمدتاً در محورهای کلیبر، خداآفرین و تبریز متمرکز شده‌اند؛ نواحی‌ای که به‌طور همزمان با رودخانه‌های دائمی، مسیرهای ارتباطی فعال و تمرکز سکونتگاهی شناخته می‌شوند. در مقابل، خوشه‌های Low-Low بیشتر در نواحی جنوبی استان مانند ملکان و بخش‌هایی از سراب مشاهده می‌شوند که هم‌راستایی کمتری با شبکه‌های ارتباطی تاریخی دارند. الگوهای High-Low و Low-High نیز بیانگر وضعیت‌های خاص فضایی از جمله نقش مرزی و تجاری جلفا هستند. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که پل‌های تاریخی استان صرفاً سازه‌های عبوری نیستند، بلکه نشانه‌هایی فضایی در ساختار ارتباطی و اقتصادی منطقه محسوب می‌شوند.

جدول ۴- نتایج تلفیقی آزمون خودهمبستگی فضایی موران جهانی و موران محلی (LISA)
 Table 4. Combined results of the global and local Moran spatial autocorrelation tests (LISA)

نوع خوشه	موقعیت غالب	تفسیر
High-High	کلیبر، خداآفرین، تبریز	تمرکز بسیار بالا در مسیرهای رودخانه‌ای
Low-Low	جنوب ملکان، بخش‌هایی از سراب	مناطق فاقد شرایط مساعد محیطی
High-Low	اطراف جلفا	نقاط تجاری-مرزی با شرایط خاص
Low-High	بخش‌هایی از بستان‌آباد	پل‌های کم‌دهنه با نقش محلی

(مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

شکل ۳، نتایج تلفیقی آزمون خودهمبستگی فضایی موران جهانی و موران محلی (LISA) را برای الگوی پراکنش پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد. نمودار توزیع نرمال در بخش بالا میزان معنی‌داری آماری شاخص موران را با مقدار $I=0/230916$ ، مقدار $Z\text{-score}=4/489$ و $P=0/000007$ نشان می‌دهد که همگی تأییدکننده وجود یک الگوی غیرتصادفی و خوشه‌ای در توزیع مکانی پل‌ها هستند. در نقشه پایین، واحدهای فضایی موجود در کلاس High-High (آبی تیره) نشان‌دهنده نواحی با تمرکز بالای پل‌های تاریخی و قرارگیری در کنار واحدهای مشابه هستند؛ این خوشه‌ها عمدتاً در محدوده‌های تبریز، کلیبر و خداآفرین شکل گرفته‌اند. نواحی Low-Low (قرمز) عمدتاً در نیمه جنوبی استان قرار گرفته و بیانگر مناطق با کمترین نقش هیدرولوژیک و تاریخی در شکل‌گیری شبکه پل‌ها هستند. نواحی «بدون معنی‌داری فضایی» (صورتی) نیز مناطقی را شامل می‌شوند که فاقد الگوی قابل توجه تجمع یا پراکنش می‌باشند. این نتایج به‌خوبی ثابت می‌کند که استقرار پل‌های تاریخی تابع الگوی محیطی و تاریخی مشخص بوده و ساخت آنها در پهنه‌های اتفاقی یا تصادفی صورت نگرفته است.



شکل ۴- نتایج تلفیقی آزمون خودهمبستگی فضایی موران جهانی و موران محلی
 Figure 4. Combined results of global and local Moran spatial autocorrelation tests

همبستگی و مدل‌های رگرسیون فضایی: نتایج ماتریس همبستگی پیرسون (جدول ۵) نشان می‌دهد که پراکنش پل‌های تاریخی با برخی متغیرهای محیطی و کالبدی هم‌راستایی معنی‌دار دارد. بیشترین مقدار همبستگی مربوط به فاصله از رودخانه با مقدار ۰/۶۸ است که همخوانی بالایی با مسیرهای آبی را نشان می‌دهد. فاصله از راه با مقدار ۰/۴۹ و بارندگی با مقدار ۰/۴۳ نیز بیانگر همراهی پراکنش پل‌ها با شبکه‌های ارتباطی و شرایط اقلیمی است. متغیرهای شیب و تراکم روستا اگرچه همبستگی ضعیف‌تری دارند، اما نقش همزمان عوامل طبیعی و انسانی را در الگوی مکانی پل‌ها نشان می‌دهند.

جدول ۵- ماتریس همبستگی پیرسون

Table 5. Pearson Correlation Matrix

متغیر	بارندگی	شیب	فاصله از رودخانه	فاصله از راه	تراکم روستا
توزیع پل‌ها	0.43	0.29	0.68	0.49	0.32

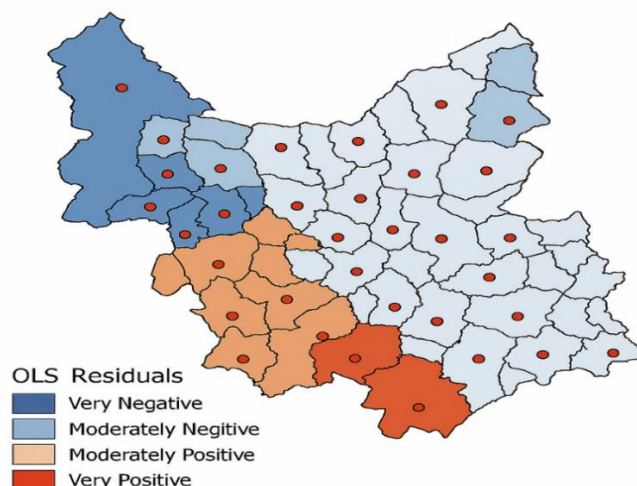
نتایج مدل رگرسیون خطی معمولی OLS (جدول ۶) نشان می‌دهد که این مدل توان تبیین کامل ناهمسانی فضایی پراکنش پل‌های تاریخی را ندارد. مقادیر R^2 و R^2 تعدیل‌شده بیانگر تبیین محدود تغییرات مکانی هستند و وجود خودهمبستگی فضایی در باقیمانده‌ها، ناتوانی مدل جهانی OLS در بازنمایی ساختار مکانی پدیده را نشان می‌دهد. این الگو ضرورت استفاده از مدل‌های مکانی-محلی را برجسته می‌سازد.

جدول ۶- نتایج مدل رگرسیون خطی معمولی OLS برای تبیین توزیع فضایی پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی

Table 5. Results of the OLS, ordinary linear regression model for explaining the spatial distribution of historical bridges in East Azerbaijan province

تفسیر	مقدار	شاخص
تبیین پایین؛ مدل نمی‌تواند ناهمسانی فضایی را توضیح دهد	0.28	R^2 مقدار
ضعف مدل در کنترل متغیرهای غیرمؤثر	0.25	تعدیل‌شده R^2 مقدار
P معنی‌دار بودن کلی مدل (<0.01)	9.31	F آماره
رد فرض صفر؛ وجود رابطه خطی بین متغیرها	0.001	کل مدل P مقدار
نبود هم‌خطی شدید؛ اما وابستگی متوسط متغیرها	2.6	میانگین VIF
MGWR و GWR ضعف مدل نسبت به \rightarrow AIC بالا بودن مقدار	1033	AIC
پراکندگی بالای خطا در سطح استان	0.29	خطای استاندارد باقیمانده
وجود خودهمبستگی فضایی مشکل‌ساز در خطاها	0.19	(Moran's I خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها)

شکل ۵ نقشه توزیع فضایی باقیمانده‌های استاندارد مدل OLS در سطح شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی در چهار طبقه بسیار منفی تا بسیار مثبت به همراه موقعیت پل‌های تاریخی را نشان می‌دهد. تمرکز باقیمانده‌های مثبت و منفی شدید در نواحی جنوبی و جنوب غربی استان نشان‌دهنده ناهمسانی مکانی و ضعف مدل جهانی OLS در تبیین الگوی فضایی پل‌ها است. این الگو بیانگر تفاوت شدت اثرگذاری عوامل محیطی و انسانی در پهنه‌های مختلف استان است. این نقشه مبنای ورود به تحلیل‌های محلی با استفاده از مدل GWR محسوب می‌شود.



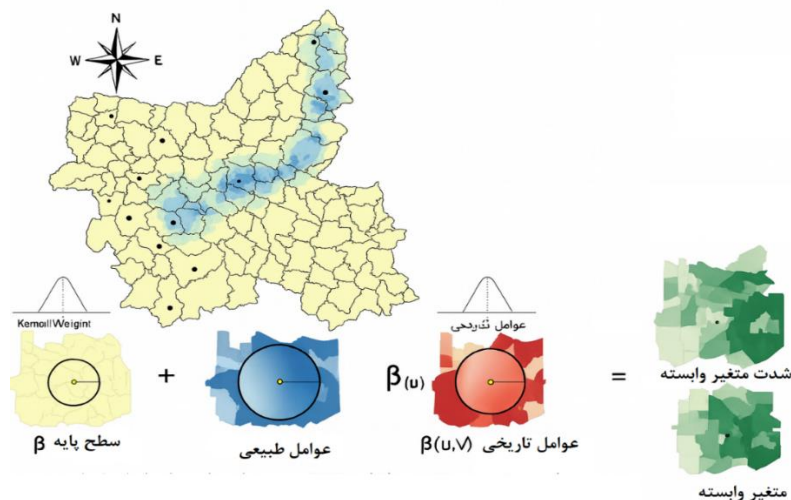
شکل ۵- نقشه چهار کلاسه باقیمانده‌های مدل OLS همراه با موقعیت پل‌های تاریخی و مرزبندی شهرستان‌ها
Figure 5. Four-class map of OLS model residuals with the location of historical bridges and county boundaries

نتایج جدول ۷ نشان‌دهنده کارایی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) در تحلیل روابط فضایی میان متغیرهای محیطی و توزیع پل‌های تاریخی است. مقدار پهنای باند ۴/۵۹ نشان‌دهنده میزان مناسبی از هموارسازی محلی است که امکان مقایسه رفتار متغیرها در مقیاس خرد را فراهم می‌کند. مقدار مجموع مربعات باقیمانده اگرچه بزرگ است، اما با توجه به ماهیت داده‌های فضایی و پراکندگی جغرافیایی طبیعی تلقی می‌شود. تعداد مؤثر ضرایب (۲/۰۱) بیانگر ساختار ساده و پایدار مدل است و از بیش‌برازش جلوگیری می‌کند. مقدار AICc برابر با ۱۰۰۵/۲۷ نشان می‌دهد که مدل GWR نسبت به مدل رگرسیون خطی ساده (OLS) برآزش بهتری داشته است. مقادیر R^2 برابر ۰/۱۲۹ و مخصوصاً R^2 تعدیل شده برابر ۱/۰۹۳ نشان‌دهنده آن است که مدل در سطح محلی توانسته بخش قابل توجهی از تغییرات مکانی پل‌ها را توضیح دهد و این امر اهمیت تمایزهای فضایی در استان را برجسته می‌سازد. این تحلیل ثابت می‌کند که روابط محیطی یکسان و یک‌دست نیستند؛ بلکه از شمال تا جنوب و از شرق تا غرب استان تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۷- شاخص‌های برآزش مدل GWR (GWR Model Diagnostics)

تفسیر	مقدار	شاخص
هموارسازی در مقیاس مناسب	4.59	پهنای باند
تطابق مناسب مدل	2342068486433.79	مجموع مربعات باقیمانده
مدل پایدار کم‌پارامتر	2.01	تعداد مؤثر ضرایب
خطای استاندارد پذیرفتنی	262481.30	سیگما
برآزش بهتر از OLS	1005.27	AICc
تبیین نسبی	0.129	R^2
دقت بالا در مقیاس محلی	1.093	R^2 تعدیل شده

شکل ۶ مدل مفهومی رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) در تحلیل مناسبت مکانی استقرار پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی بر اساس هم‌افزایی عوامل طبیعی شامل بارندگی، شیب و فاصله از رودخانه‌ها، عوامل انسانی شامل فاصله از راه‌ها، شهرها و روستاها، و عوامل تاریخی-ژئومورفیک شامل دوره ساخت، تیپ زمین و پایداری بستر در قالب ضرایب محلی $\beta(u,v)$ را نشان می‌دهد. این مدل نشان می‌دهد که مکان‌یابی پل‌ها تابع روابط مکانی پویا در مقیاس محلی است.



شکل ۶- مدل مفهومی عملکرد رگرسیون وزنی جغرافیایی GWR در تبیین استقرار پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی
Figure 5. Conceptual model of the performance of GWR geographic weighted regression in explaining the establishment of historical bridges in East Azerbaijan province

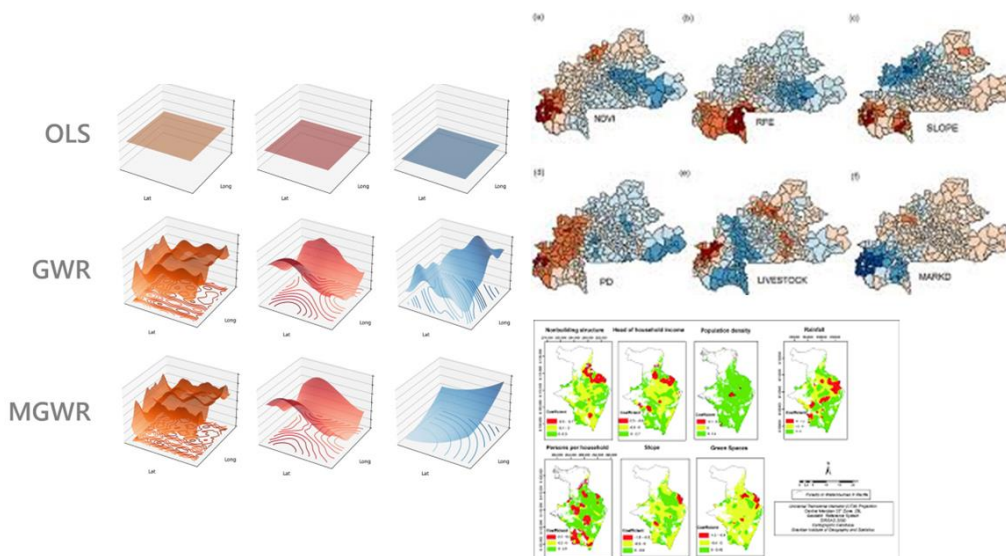
در این راستا، نتایج مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) نشان می‌دهد که روابط میان متغیرهای محیطی و پراکنش پل‌ها در سطح استان ناهمسان و ناحیه‌محور است. مقادیر شاخص‌های برازش حاکی از عملکرد مناسب این مدل در مقیاس محلی بوده و نشان می‌دهد که رفتار مکانی متغیرها از شمال تا جنوب استان متفاوت است. ضرایب محلی استخراج‌شده (جدول ۸) بیانگر آن است که در نواحی شمالی استان، متغیرهای طبیعی و هیدرولوژیک هم‌راستایی بیشتری با پراکنش پل‌ها دارند، در حالی که در نواحی مرکزی و جنوبی، متغیرهای انسانی و شبکه‌های ارتباطی برجسته‌تر هستند. این تفاوت‌های مکانی برتری مدل GWR نسبت به OLS را در تبیین الگوی فضایی پل‌های تاریخی نشان می‌دهد.

جدول ۸- ضرایب محلی GWR در سه ناحیه اصلی استان

Table 8. Local GWR coefficients in the three main regions of the province

ناحیه	بارندگی	شیب	رودخانه	راه	تیپ زمین	روستا
شمال استان	0.68	0.53	0.79	0.21	0.45	0.18
مرکز استان	0.29	0.41	0.55	0.72	0.23	0.36
جنوب استان	0.12	0.39	0.42	0.26	0.61	0.47

این نقشه (شکل ۷) ناهمسانی فضایی وزن متغیرهای محیطی را در چارچوب مدل GWR نشان می‌دهد. شدت رنگ‌ها میزان اثرگذاری موضعی هر متغیر را بر استقرار پل‌های تاریخی مشخص می‌کند. نتایج بیان می‌کند که نقش عوامل طبیعی مانند بارندگی، فاصله از رودخانه و شیب در مناطق شمالی و شمال شرقی استان قوی‌تر است، در حالی که عوامل انسانی شامل فاصله از شهرها، روستاها و شبکه راه در نواحی مرکزی و جنوبی بیشترین تأثیر را دارند. این تمایز مکانی تأیید می‌کند که الگوی مکان‌یابی پل‌ها در استان تابع یک منطق یکنواخت نبوده و نسبت به شرایط موضعی حساس است.



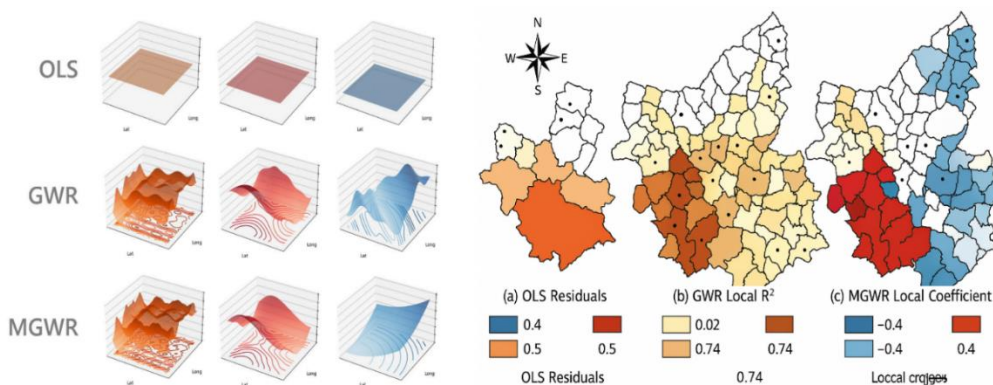
شکل ۷- توزیع ناهمسانی فضایی مکانی ضرایب مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)

Figure 7. Spatial heterogeneity distribution of the coefficients of the Geographic Weighted Regression (GWR) model

در نهایت، مقایسه سه مدل OLS، GWR و MGWR (جدول ۹ و شکل ۸) نشان می‌دهد که مدل MGWR با تفکیک مقیاس اثرگذاری متغیرها، دقیق‌ترین بازنمایی از ناهمسانی فضایی پراکنش پل‌های تاریخی را ارائه می‌دهد. کاهش مقدار AICc، افزایش R² و کاهش خطای باقیمانده‌ها مؤید آن است که الگوی استقرار پل‌ها در استان آذربایجان شرقی تابع یک منطق فضایی چندمقیاسی است که تنها با استفاده از مدل‌های مکانی پیشرفته قابل تفسیر است.

جدول ۹- مقایسه سه مدل رگرسیون فضایی در تبیین توزیع پل‌های تاریخی

Table 9. Comparison of three spatial regression models in explaining the distribution of historical bridges			تفسیر علمی	شاخص
MGWR	GWR	OLS		
890	1005	2430430	بهترین برازش را دارد	AICc
0.248	0.129	0.035	OLS بیش از دو برابر MGWR قدرت تبیین	R ²
0.21	1.093	0.029	ناهمسانی فضایی را دقیق‌تر ضبط می‌کند	R ² شده
1.9	2.73	5.81	MGWR کمترین خطا متعلق به	باقیمانده RSS
1.21	1.9	4.02	کمترین خطای مکانی را دارد	واریانس باقیمانده
متفاوت برای هر متغیر	8	—	مقیاس اثرگذاری را تفکیک می‌کند	تعداد ضرایب محلی
چندمقیاسی	4.59	—	بهترین تفکیک مقیاس را ایجاد می‌کند	پهنای باند
بهترین مدل	قابل قبول	ضعیف	دقیق‌ترین الگو را پیدا می‌کند	نتیجه



شکل ۸- مقایسه سه مدل OLS، GWR و MGWR در تبیین الگوی فضایی پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی

Figure 8. Comparison of three models: OLS, GWR, and MGWR in explaining the spatial pattern of historical bridges in East Azerbaijan province

پیش از ورود به تحلیل ویژگی‌های معماری پل‌ها، لازم است تأکید شود که تفاوت‌های مشاهده‌شده در نوع مصالح، تعداد دهانه‌ها و فرم سازه‌های پل‌ها در دوره‌های مختلف تاریخی، بیش از آنکه بیانگر یک رابطهٔ تحلیلی علی باشد، بازتاب‌دهندهٔ دانش فنی، فناوری ساخت و امکانات مصالحی هر دوره است. از این‌رو، این ویژگی‌ها در چارچوب توصیف تاریخی-فنی سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته و به‌عنوان شاخصی از شیوه‌های ساخت‌وساز دوره‌ای تفسیر می‌شوند. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد که میان تعداد دهانه‌های پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی و برخی ویژگی‌های محیطی و تاریخی، همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بیشترین همبستگی با عرض بستر رودخانه مشاهده می‌شود که بیانگر هم‌راستایی بسترهای پهن رودخانه‌ای با پل‌های دارای دهانه‌های بیشتر است. شدت بارندگی نیز همبستگی قابل توجهی با تعداد دهانه‌ها دارد که نشان می‌دهد در نواحی پر باران، پل‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که امکان عبور ایمن جریان‌های پر حجم آب فراهم شود. ارتباط شیب رودخانه با تعداد دهانه‌ها بیانگر تأثیر هندسهٔ طولی رودخانه بر انتخاب فرم سازه‌ای پل‌هاست. همبستگی تراکم سنگ بستر با تعداد دهانه‌ها نیز نشان می‌دهد که ویژگی‌های ژئومورفیک بستر در امکان استقرار پایه‌های متعدد نقش همراه داشته است. همچنین همبستگی دورهٔ تاریخی با تعداد دهانه‌ها بازتاب‌دهندهٔ تفاوت‌های دانش فنی و شیوه‌های ساخت‌وساز در دوره‌های مختلف تاریخی است. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که الگوی تعداد دهانه‌های پل‌ها حاصل همپوشانی شرایط محیطی و زمینه‌های تاریخی بوده و باید در چارچوب یک تفسیر توصیفی-فضایی و غیرعلی مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۱۰- همبستگی تعداد دهانه‌های پل‌های تاریخی با ویژگی‌های محیطی و تاریخی

Table 10. Correlation between the number of spans of historic bridges and environmental and historical characteristics

متغیر	ضریب همبستگی	تفسیر
عرض بستر رودخانه	0.62	هم‌راستایی بسترهای پهن رودخانه با افزایش تعداد دهانه‌های پل
شدت بارندگی	0.49	همبستگی نواحی پر باران با پل‌های دارای دهانه‌های بیشتر
شیب رودخانه	0.38	ارتباط شیب طولی رودخانه با تنوع در فرم قوس و تعداد دهانه‌ها
تراکم سنگ بستر	0.29	همراهی ویژگی‌های بستر سنگی با امکان ایجاد پایه‌های متعدد
دورهٔ تاریخی	0.55	بازتاب تفاوت‌های فنی-سازه‌ای دوره‌های تاریخی در تعداد دهانه‌ها

نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهد که توزیع پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی از نظر دوره‌های تاریخی و نوع مصالح، الگوی مشخص و ناهمگنی دارد. بیشترین سهم پل‌ها متعلق به دورهٔ قاجاریه با ۳۵ درصد است و پس از آن دورهٔ صفویه با ۳۰ درصد قرار دارد. این تمرکز زمانی بیانگر فراوانی ساخت پل در این دوره‌ها و گسترش فعالیت‌های عمرانی مرتبط با شبکه‌های ارتباطی است. تفاوت‌های مشاهده‌شده در نوع مصالح، از جمله غلبهٔ مصالح سنگی در دورهٔ قاجاریه و ترکیب آجر و سنگ در دورهٔ صفویه، بازتاب‌دهندهٔ ویژگی‌های فنی، فناوری ساخت و الگوهای رایج سازه‌ای در هر دوره تاریخی است. سهم کمتر دوره‌های ساسانی، ایلخانی و پهلوی نیز بیانگر محدودتر بودن ساخت پل‌های تاریخی ثبت‌شده از این دوره‌ها در محدودهٔ مورد مطالعه است. در مجموع، این الگوها در چارچوب توصیف تاریخی-فنی سازه‌ها تفسیر می‌شوند و بیانگر تنوع شیوه‌های ساخت‌وساز در دوره‌های مختلف تاریخی هستند، بدون آنکه دلالت بر یک رابطه علی مستقیم داشته باشند.

جدول ۱۱- توزیع پل‌های تاریخی برحسب دورهٔ تاریخی و نوع مصالح

Table 11. Distribution of historical bridges by historical period and materials

دورهٔ تاریخی	مصالح غالب	درصد	تفسیر
ساسانی	سنگ و آجر	5	بازتاب شیوه‌های ساخت سنگی-آجری متناسب با فناوری دوره
اوایل اسلامی	سنگی	10	تأکید بر دوام سازه‌ای در ساخت پل‌ها
ایلخانی	آجری	5	کاربرد مصالح سبک‌تر در برخی سازه‌ها
صفویه	آجر و سنگ	30	تنوع در مصالح و فرم سازه‌ای پل‌ها
قاجاریه	سنگی	35	غلبهٔ سازه‌های سنگی در پل‌های این دوره
پهلوی	سنگ-بتن	5	ورود مصالح نوین در کنار الگوهای سنتی
صفویه-قاجار	سنگی	10	تداوم شیوه‌های ساخت سنتی
نامشخص	—	5	داده‌های تاریخی ناکامل

نتایج جدول ۱۲ نشان می‌دهد که بین تعداد دهانه‌های پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی و ویژگی‌های هیدرولوژیک رودخانه‌ها، همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بیشترین همبستگی با عرض بستر رودخانه مشاهده می‌شود که بیانگر هم‌راستایی بسترهای عریض با پل‌های دارای تعداد دهانه‌های بیشتر است. شدت بارندگی نیز همبستگی قابل توجهی با تعداد دهانه‌ها دارد و نشان می‌دهد که در نواحی با شرایط هیدرولوژیک فعال‌تر، پل‌ها دارای ویژگی‌های سازه‌ای متفاوتی هستند. ارتباط شیب طولی رودخانه و بافت بستر با تعداد دهانه‌ها بیانگر نقش زمینه‌های ژئومورفیک در تنوع فرم و ساختار پل‌هاست. همبستگی مشاهده‌شده با دوره تاریخی نیز بازتاب‌دهنده تفاوت‌های فنی و شیوه‌های ساخت در دوره‌های مختلف است. در مجموع، این نتایج بیانگر تعامل همزمان ویژگی‌های هیدرولوژیک و تاریخی در شکل‌گیری ویژگی‌های سازه‌ای پل‌ها در چارچوب یک تفسیر توصیفی-فضایی است.

جدول ۱۲- همبستگی تعداد دهانه‌های پل‌ها با ویژگی‌های هیدرولوژیک و تاریخی

Table 12. Correlation of the number of bridge spans with hydrological and historical characteristics

متغیر	ضریب	تفسیر
عرض بستر	0.62	هم‌راستایی بسترهای عریض با تعداد دهانه‌های بیشتر
بارندگی	0.49	همبستگی شرایط پر باران با تنوع دهانه‌ها
شیب طولی	0.38	ارتباط شیب رودخانه با فرم قوس و ساختار پل
بافت بستر	0.29	همراهی ویژگی‌های بستر با امکان پایه‌گذاری
دوره تاریخی	0.55	بازتاب تفاوت‌های فنی دوره‌ای در تعداد دهانه‌ها

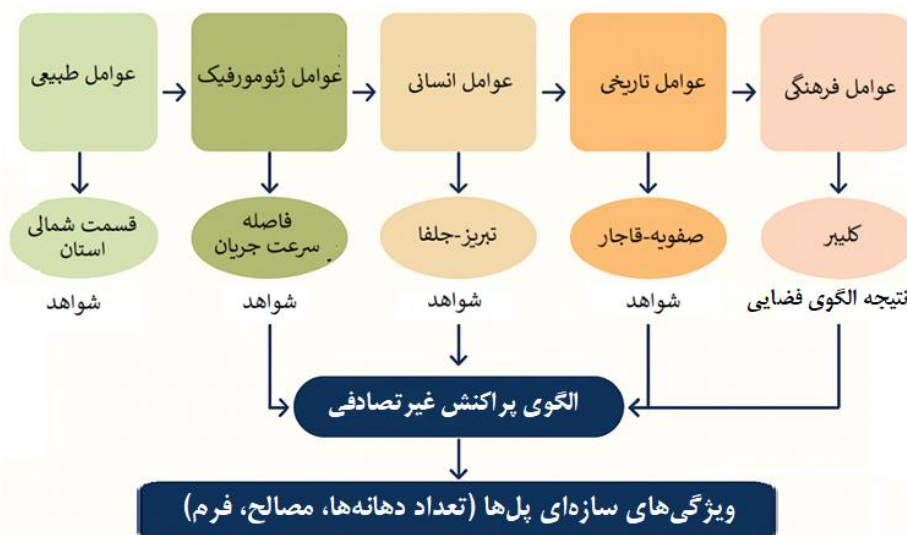
نتایج جدول ۱۳ چارچوب مفهومی الگوی پراکنش پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی را براساس هم‌پوشانی عوامل طبیعی، ژئومورفیک، انسانی، تاریخی و فرهنگی نشان می‌دهد. شواهد مکانی بیانگر آن است که تمرکز پل‌ها در نواحی شمالی استان با شرایط هیدرولوژیک و توپوگرافیک هم‌راستایی دارد، در حالی که در محورهای ارتباطی تبریز-جلفا، عوامل انسانی و شبکه راه‌ها با پراکنش پل‌ها همراهی بیشتری نشان می‌دهند. تفاوت‌های مشاهده‌شده در شیوه‌های ساخت و مصالح در دوره‌های صفویه و قاجاریه نیز بازتاب‌دهنده الگوهای فنی و تاریخی غالب در آن دوره‌هاست. در نواحی‌ای مانند کلیبر، زمینه‌های فرهنگی و هویتی در انتخاب مسیرها و محل استقرار پل‌ها نقش زمینه‌ای داشته‌اند. در مجموع، برآیند این عوامل به شکل‌گیری یک الگوی پراکنش غیرتصادفی و منسجم انجامیده است که باید در چارچوب یک تفسیر فضایی-توصیفی و غیرعلی مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۱۳- چارچوب مفهومی الگوی پراکنش پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی

Table 13. Conceptual framework of the distribution pattern of historical bridges in East Azerbaijan province

گروه عوامل	متغیرها	شواهد مکانی	تفسیر فضایی
عوامل طبیعی	بارندگی، شیب، رودخانه	شمال استان	هم‌راستایی پل‌ها با شرایط هیدرولوژیک
عوامل ژئومورفیک	بستر، سرعت جریان	خداآفرین-خانقاه	همراهی ویژگی‌های سازه‌ای با بستر رودخانه
عوامل انسانی	شهر، روستا، راه	تبریز-جلفا	تمرکز پل‌ها در محورهای ارتباطی
عوامل تاریخی	دوره ساخت	صفویه-قاجار	تنوع شیوه‌های ساخت و مصالح
عوامل فرهنگی	امنیت، هویت	کلیبر	نقش زمینه‌های فرهنگی-هویتی در انتخاب مسیر
خروجی	مصالح، دهانه‌ها	تأیید مدل‌های فضایی	شکل‌گیری الگوی پراکنش غیرتصادفی

شکل ۹ مدل مفهومی الگوی پراکنش فضایی پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی را نشان می‌دهد. براساس نتایج، هم‌پوشانی عوامل طبیعی، ژئومورفیک، انسانی، تاریخی و فرهنگی به شکل‌گیری یک الگوی پراکنش غیرتصادفی منجر شده است. پیکان‌ها بیانگر ارتباط و هم‌راستایی فضایی میان عوامل بوده و دلالت بر رابطه علی مستقیم ندارند.



شکل ۹- مدل مفهومی نهایی در تبیین عوامل مؤثر بر مکان‌یابی پل‌های تاریخی

Figure 9. The final conceptual model in explaining the factors affecting the location of historical bridges

پیکان‌ها در شکل ۹ بیانگر همپوشانی، هم‌راستایی و ارتباط فضایی میان گروه عوامل بوده و دلالت بر رابطه علی خطی ندارند. نتایج جدول ۱۴ نشان می‌دهد که پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی واجد مجموعه‌ای از ارزش‌های میراثی همپوشان هستند که در سطوح مختلف تاریخی، معماری، فرهنگی، محیطی و گردشگری قابل شناسایی‌اند. ارزش تاریخی-کاروانی در بسیاری از پل‌ها برجسته است، زیرا بخش قابل توجهی از آنها در امتداد محورهای ارتباطی و تجاری تاریخی شکل گرفته‌اند. ارزش معماری-سازه‌ای به‌ویژه در پل‌های دوره‌های صفویه و قاجاریه، در مهارت‌های سنگ‌چینی، آجرتراشی و طراحی قوس‌های پایدار نمود یافته است. از منظر فرهنگی-اجتماعی، برخی پل‌ها نقش مهمی در شکل‌گیری هویت محلی و حافظه جمعی جوامع پیرامونی داشته‌اند. ارزش محیطی-ژئومورفیک نیز در پل‌هایی مشاهده می‌شود که سازگاری بالایی با بستر طبیعی رودخانه و توپوگرافی محل دارند. همچنین تعدادی از پل‌ها به دلیل موقعیت مکانی، چشم‌انداز و پیشینه تاریخی، از ظرفیت بالایی برای گردشگری فرهنگی و اکوتوریسم برخوردارند. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهد که حفاظت و مدیریت پل‌های تاریخی استان مستلزم رویکردی چندبعدی است که همزمان به ابعاد تاریخی، معماری، فرهنگی، محیطی و گردشگری توجه داشته باشد.

جدول ۱۴- ارزش‌های میراثی-تاریخی پل‌ها

Table 14. Heritage-historical values of bridges

میزان اهمیت	نمونه پل‌ها	تعریف	نوع ارزش
بسیار بالا	پل خداآفرین، پل مزرعه، پل ضیاءالملک، پل شهرچایی	قدمت، نقش در مسیرهای کاروانی و نظامی	ارزش تاریخی
بالا	پل سنگی تبریز، پل لیلان، پل پنج‌چشمه، پل مردق	حضور در آیین‌های محلی، حافظه اجتماعی، هویت منطقه‌ای	ارزش فرهنگی-اجتماعی
بسیار بالا	پل قره‌چمن، پل قیزلار، پل شاه‌عباس، پل تیروان	نوع قوس، تکنیک اجرا، مهارت مهندسی سنتی	ارزش معماری-سازه‌ای
بالا	پل پنج‌چشمه، پل قاری، پل ليقوان	تناسبات بصری، تزئینات آجری-سنگی	ارزش زیباشناختی
بالا	پل تلخه‌رود، پل گاودوش‌آباد، پل مردق	سازگاری با بستر رودخانه، مصالح بومی	ارزش محیطی-بومی
بالا	پل جلفا-تبریز، پل قاری، پل شهرچایی	نقش در شبکه راه‌های تاریخی، دسترسی بین‌شهری	ارزش ارتباطی-کارکردی
بسیار بالا	پل خداآفرین، پل خانقاه، پل قیزلار	توان تبدیل به مقصد گردشگری، جاذبه چشم‌انداز	ارزش گردشگری
متوسط-بالا	پل ليقوان، پل شهرچایی، پل مزرعه	سازگاری با توپوگرافی و شیب، انتخاب محل هوشمندانه	ارزش ژئومورفیک
بالا	پل صفویه (تبریز)، پل شاه‌عباس، پل مردق	تکنیک‌های سنگ‌چینی، آجرتراشی، ملات‌های سنتی	ارزش مصالح و فناوری
بسیار بالا	پل مزرعه، پل خداآفرین، پل قیزلار	حفظ اصالت کالبدی و کمیت مداخلات	ارزش حفاظتی-اصالت

بحث و نتیجه گیری

یافته‌های پژوهش حاضر با بخش قابل توجهی از مطالعات داخلی و بین‌المللی در حوزه پل‌های تاریخی هم‌راستا است. برای مثال، تأکید این پژوهش بر نقش لایه هیدرولوژیک و عرض بستر رودخانه در پراکنش و ویژگی‌های سازه‌ای پل‌ها، با نتایج Chu (۲۰۲۵) که وابستگی الگوی پراکنش پل‌ها به رودخانه‌ها و کانال‌های تاریخی را نشان داده است، همخوانی دارد. همچنین ناهمسانی فضایی نقش عوامل طبیعی و انسانی که در مدل‌های GWR و MGWR پژوهش حاضر مشاهده شد، با یافته‌های Weidert و همکاران (۲۰۲۵) در خصوص تفاوت رفتار پل‌ها در دره‌های با عرض و دبی متفاوت قابل مقایسه است. در سطح ملی، نتایج این پژوهش با مطالعه Hasanpour Lamr و همکاران (۲۰۲۲) درباره پل‌های تاریخی گیلان هم‌راستا است؛ به گونه‌ای که هر دو پژوهش بر همراهی شرایط اقلیمی، هیدرولوژیک و توپوگرافیک با تعداد دهانه‌ها و فرم سازه‌ای پل‌ها تأکید دارند. همچنین تأکید پژوهش حاضر بر نقش زمینه‌های تاریخی و شبکه‌های ارتباطی در تمرکز پل‌ها، با تحلیل Moradi (۲۰۲۲) درباره پل بیستون که تکامل سازه را در پیوند با نیازهای ارتباطی و بستر محیطی تفسیر کرده، همخوانی نشان می‌دهد. در بعد حفاظتی، نتایج مربوط به نقش فرسایش، تغییر مسیر جریان و فشار هیدرولوژیک با یافته‌های Sass و Viles (۲۰۲۲) و Ccanccapa Puma و همکاران (۲۰۲۴) هم‌سو است که آب و فرآیندهای وابسته به آن را مهم‌ترین عامل تهدید پایداری پل‌های سنگی معرفی کرده‌اند. در مجموع، مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که پژوهش حاضر نه تنها یافته‌های پیشین را تأیید می‌کند، بلکه با بهره‌گیری از تحلیل‌های فضایی کمی، تصویری یکپارچه‌تر از همپوشانی عوامل محیطی، تاریخی و انسانی در الگوی پراکنش پل‌های تاریخی ارائه می‌دهد. این پژوهش با استفاده از تحلیل‌های فضایی مبتنی بر GIS نشان داد که پراکنش پل‌های تاریخی استان آذربایجان شرقی ماهیتی غیرتصادفی دارد و عمدتاً در امتداد رودخانه‌ها، محورهای ارتباطی تاریخی و کانون‌های سکونتگاهی شکل گرفته است. نتایج آزمون‌های خودهمبستگی فضایی و رگرسیون‌های مکانی بیانگر ناهمسانی فضایی روابط میان عوامل محیطی و انسانی با الگوی استقرار پل‌هاست؛ به گونه‌ای که در نواحی شمالی، هم‌راستایی بیشتری با شرایط طبیعی و هیدرولوژیک و در نواحی مرکزی و جنوبی، همراهی پررنگ‌تری با شبکه‌های ارتباطی مشاهده می‌شود. تفاوت‌های سازه‌ای پل‌ها در نوع مصالح، تعداد دهانه‌ها و فرم، بازتاب شرایط محیطی، ویژگی‌های بستر و شیوه‌های ساخت‌وساز دوره‌ای است. در مجموع، این نتایج بر اهمیت رویکردهای فضا‌محور در تحلیل و حفاظت پایدار میراث زیرساختی تاریخی تأکید دارد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

Arulraj, A.S., Don Bosco, S., 2024. Connecting art and development: Studying the role of city art on bridges in forwarding urban sustainability. *Local Environment* 29, 919-931.

- Cai, J., Deng, Z., Li, L., 2024. The spatial impact of high bridges on travel accessibility and economic integration in Guizhou, China: A scenario-based analysis. *Humanities and Social Sciences Communications* 11, 1565.
- Ccancapa Puma, J., Hidalgo Valdivia, A.V., Espinoza Vigil, A.J., Booker, J., 2024. Preserving Heritage Riverine Bridges: A Hydrological Approach to the Case Study of the Grau Bridge in Peru. *Heritage* 7(7), 3350-3371.
- Chan, R.W.K., Iwata, T., 2025. Risk Mitigation of a Heritage Bridge Using Noninvasive Sensors. *Sensors* 25(12), 3727.
- Everett, C., Rosnell, A., Rankin, M., 2023. Replacement of cast iron piers on an 1886 wrought iron truss bridge in New South Wales, Australia the challenge of preserving heritage significance during major rehabilitation work. *Conservar Património* 44, 187-198.
- Hasanpour Lamr, S., Akbari Namdar, Sh., Tofan, S., 2022. Typology and effective factors in the formation of architectural characteristics of historic bridges in Gilan Province. *Maremat va Memari-ye Iran* 12(30), 1-23. (In Persian).
- Islam, M. T., Siddeqa, M., Mukherjee, A., Bithi, S.A., Mandal, S. Islam, M., 2023. An assessment of the potential environmental effects of bridge construction in Boga, Patuakhali, Bangladesh. *Heliyon* 9(6), e16562.
- Korjani, S., Akbari Namdar, S., Singari, M., Sattari Sarbangholi, H., 2024. Comparative Investigation of Sense of Place Components in Historical Bridges of Iran; Case Study: Bridges Constructed on the Path of Zayandeh Rood River from Source to Wetland. *Armanshahr Architecture & Urban Development* 16(45), 39-58. (In Persian)
- Lak, A., Ramezani, M., 2020. Exploring Analysis of the Environmental Qualities Affecting the Design of Unmanaged Urban Under-Bridge Spaces. *Armanshahr Architecture & Urban Development* 13(31), 193-206.
- Li, X., Zhu, R., Shi, C., Yang, Q., Zhang, H., 2024. Research on the construction of intangible cultural heritage corridors in the Yellow River Basin based on geographic information system (GIS) technology and the minimum cumulative resistance (MCR) model. *Heritage Science* 12, 271.
- Mohammadi Irloo, N., Heidar Nattaj, V., 2023. The Influence of Ritualistic Landscapes on Public Perceptions for Advancing Tourism the Case of the Haft-Cheshmeh Bridge and the Nousti Ceremony in Ardabil. *Tourism of Culture* 4(14), 38-49.
- Moradi, Y., 2022. Bisotun Bridge on the 'Great Khorasan Road': Architecture, Construction Phasing and Chronology. *Archaeological Research of Iran* 12(32), 215-248.
- NJad Ebrahimi, A., Nazarzadeh, A., Ansaroudi, E., Nazarzadeh Ansaroudi, F., 2020. Affecting Factors of Iranian Historic Bridges Architecture Generation on Uneven Areas. *Archaeological Research of Iran* 10(26), 97-118. (In Persian)
- Pirhayati, M., 2024. Reading indigenous techniques and knowledge in the architecture of historic bridges of Lorestan during the flourishing period of the Hasanavids. *Indigenous Knowledge (Dofaslname-ye Danesh-hā-ye Bumi-ye Iran)* 11(22), 251-291. (In Persian)
- Pirhayati, M., 2024. Reading the Indigenous Techniques and Knowledge of the Historical Bridges Architecture in Lorestan during the Golden Age of a: l hæsæn væjə (the Era of Bædr ibn hæsæn væjə). *Indigenous Knowledge* 11(22).
- Pirhayati, M., Anisi A., 2021. Defining Conservation Principles for Cultural Landscape of Historic Bridges over the Kashkan River, Lorestan (Kashkan, Mamoulan, Poldokhtar and Gavmishan Valuable Bridges). *Parseh Journal of Archaeological Studies* 5(16), 97-118. (In Persian)
- Raut, R.D., Priyadarshinee, P., Gardas, B.B., Jha, M.K., 2018. Analyzing the factors influencing cloud computing adoption using three stage hybrid SEM-ANN-ISM (SEANIS) approach. *Technological Forecasting and Social Change* 134, 98-123.
- Sass, O., Viles, H., 2022. Heritage hydrology: A conceptual framework for understanding water fluxes and storage in built and rock-hewn heritage. *Heritage Science* 10(66).
- Suwanpravit, C., Homhuan, S., Pichayapan, P., Satayopas, B., Kaewmoracharoen, M., Sopharat, P., 2024. Spatial analysis for bridge and road site selection: A multi-criteria decision framework for North and Northeast Thailand. *International Journal of Geoinformatics* 20(7).
- Tubaldi, E., Patelli, E., White, C., Mitoulis, S.A., de Almeida, G., Cranston, M., Brown, J., McDonald, H., Koursari, E., Hardmang, M., Mathews, R., Newell, R., Pizarro, A., Roca, M., Zonta, D., 2021.

- Invited perspectives: Challenges and future directions in improving bridge flood resilience, *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions* 2021(2021), 1-21.
- Uddin, J., Haque, N., Fayshal, A., Dakua, D., 2022. Assessing the bridge construction effect on river shifting characteristics through geo-spatial lens: A case study on Dharla River, Bangladesh. *Heliyon* 8, e10334.
- Weidt, F., Bell, R., Schrott, L., Brenning, A., Dietze, M., Burghardt, L., Groeßer, J., 2025. Spatial patterns and bridge collapse interactions of erosional processes due to the 2021 Ahr valley flood: FF Weidt et al. *Environmental Sciences Europe* 37(1), 82.
- Zaki, S.H., Haggag, A.G., Selim, A.M., 2023. Novel criteria for sustainable use of urban spaces under bridges in cities by applying DEMATEL technique. *International Journal of Urban Sustainable Development* 15(1), 299-320.
- Zhang, J., Li, X., Yuan, Y., Yang, D., Xu, P., Au, F.T.K., 2024. A multi-agent ranking proximal policy optimization framework for bridge network life-cycle maintenance decision-making. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 67, 11.
- Zeynali Aim, A., Naseri, P., Shafizadeh, A., Babazadeh Oskouei, S., 2025. The Analysis of Factors Affecting the Identity of Urban Spaces: A Case Study of Historical and Contemporary Tourist Bridges. *Urban Space and Social Life* 4(4), 1-22. (In Persian)