

Optimal School Site Selection with a Risk-Reduction Approach: Integration of GIS and Multi-Criteria Decision-Making Methods

1. Mehdi Elkaei Behjati^{ID}: PhD Student in Architecture, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran

2. Seyed Ali Seydian^{ID*}: Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Arts and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

3. Mehdi Mirza Goltabar Roshan^{ID}: Faculty Member, Department of Civil Engineering, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran

*Corresponding Author's Email Address: a_seydian@umz.ac.ir

How to Cite: Elkaei Behjati, M., Seydian, S. A., & Mirza Goltabar Roshan, M. (2025). Optimal School Site Selection with a Risk-Reduction Approach: Integration of GIS and Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 3(4), 1-26.

Abstract:

The objective of this study was to develop a comprehensive model for safe school site selection against natural hazards by integrating GIS with multi-criteria decision-making techniques. This descriptive–analytical study applied an MCDA-based methodology. Data were collected using an ANP pairwise comparison questionnaire completed by 35 experts in architecture, urban planning, and disaster management. Data validity was examined using KMO and Bartlett's tests, followed by EFA and CFA analyses. ANP was used to determine criterion weights, TOPSIS was employed to rank the urban blocks, and GIS was utilized to spatially integrate and map the final priorities. The KMO value of 0.64 and the significant Bartlett test ($p < 0.01$) confirmed the adequacy of the data for factor analysis. Pearson correlation analysis indicated a non-significant linear relationship between the two main factors ($p = 0.34$). EFA extracted a two-factor structure with acceptable loadings. TOPSIS results ranked Block A (0.7336) and Block D (0.7220) as top priorities, while Block B (0.2032) had the lowest priority. GIS-based spatial integration revealed meaningful clustering patterns of TOPSIS scores, indicating non-random spatial distribution of suitability levels. The findings underscore that school site selection must extend beyond technical considerations and incorporate spatial, demographic, and architectural criteria. The integration of GIS with MCDA methods provided a precise spatial prioritization framework and offered a practical model for designing resilient school environments capable of supporting both daily educational functions and emergency response needs.

Keywords: Safe school design, site selection, GIS, ANP, TOPSIS, resilience, natural hazard risk reduction

Received: 16 August 2025

Revised: 10 November 2025

Accepted: 17 November 2025

Initial Publish: 23 November 2025

Final Publish: 22 December 2025



مکان‌یابی بهینه مدارس با رویکرد کاهش خطرپذیری: تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

۱. مهدی الکایی بهجتی ^{ID}: دانشجوی دکتری معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۲. سید علی سیدیان ^{ID}: دانشیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. (نویسنده مسئول)

۳. مهدی میرزاگلتهار روشن ^{ID}: عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: a_syedean@umz.ac.ir

نحوه استناددهی: الکایی بهجتی، مهدی، سیدیان، سید علی، و میرزاگلتهار روشن، مهدی. (۱۴۰۴). مکان‌یابی بهینه مدارس با رویکرد کاهش خطرپذیری: تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. *تجلی هنر در معماری و شهرسازی*، ۳(۴)، ۱-۲۶.

چکیده

هدف پژوهش ارائه یک الگوی جامع برای مکان‌یابی ایمن مدارس در برابر مخاطرات طبیعی با بهره‌گیری از ترکیب GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این مطالعه ماهیت توصیفی-تحلیلی داشته و بر پایه رویکرد چندمعیاره انجام شد. داده‌ها از طریق پرسشنامه مقایسات زوجی ANP میان ۳۵ خبره معماری، شهرسازی و مدیریت بحران گردآوری گردید. پس از اعتبارسنجی داده‌ها با آزمون‌های KMO و بارتلت و تحلیل‌های EFA و CFA، وزن معیارها با ANP تعیین شد. سپس معیارهای تأییدشده وارد مدل TOPSIS گردید و بلوک‌های شهری نوشهر رتبه‌بندی شدند. در مرحله نهایی، نتایج در محیط GIS تلفیق و نقشه‌های اولویت مکانی مدارس تولید شد. نتایج نشان داد شاخص KMO برابر ۰/۶۴ و آزمون بارتلت در سطح کمتر از ۰/۰۱ معنادار بود که کفایت داده‌ها برای تحلیل عاملی را تأیید کرد. تحلیل همبستگی پیرسون بین عوامل اصلی نشان داد رابطه خطی معناداری وجود ندارد ($p=0.34$). تحلیل عاملی اکتشافی دو عامل با بارهای عاملی قابل قبول استخراج کرد. مدل TOPSIS نشان داد بلوک A (۰/۷۳۳۶) و بلوک D (۰/۷۲۲۰) بالاترین اولویت را دارند، در حالی که بلوک B (۰/۲۰۳۲) در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت. همچنین تحلیل GIS وجود خوشه‌بندی فضایی معنادار در توزیع امتیازات TOPSIS را تأیید کرد. نتایج تأکید می‌کند که انتخاب مکان مدارس باید فراتر از یک تصمیم کالبدی باشد و به‌طور همزمان معیارهای فضایی، جمعیتی و معماری را در نظر گیرد. ترکیب GIS و مدل‌های چندمعیاره توانست تصویر دقیقی از اولویت‌های مکانی شهر نوشهر ارائه دهد و الگویی کاربردی برای طراحی مدارس تاب‌آور فراهم آورد که می‌تواند مبنایی برای ارتقای ایمنی و کیفیت فضاهای آموزشی باشد.

کلیدواژه‌گان: مدارس ایمن، مکان‌یابی، GIS، ANP، TOPSIS، تاب‌آوری، مدیریت بحران

تاریخ دریافت: ۲۵ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۹ آبان ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۶ آبان ۱۴۰۴

تاریخ انتشار اولیه: ۲ آذر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار نهایی: ۱ دی ۱۴۰۴



مقدمه

مسئله مکان‌یابی مدارس یکی از بنیادی‌ترین موضوعات در برنامه‌ریزی شهری، طراحی معماری و مدیریت ریسک در فضاهای عمومی است و نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای ایمنی، عدالت فضایی و کیفیت زندگی دارد. مدارس به‌عنوان زیرساخت‌های حیاتی شهر، علاوه بر نقش آموزشی، عملکردی چندلایه در حوزه مدیریت بحران، حمایت اجتماعی و تداوم خدمات عمومی ایفا می‌کنند. در این میان، مکان‌یابی صحیح مدارس می‌تواند به‌طور مستقیم سطح آسیب‌پذیری کودکان و کارکنان را در برابر مخاطرات طبیعی کاهش داده و ظرفیت تاب‌آوری شهری را افزایش دهد (1). در شرایطی که بسیاری از شهرها با رشد شتابان کالبدی، تغییرات کاربری زمین، گسترش سکونتگاه‌های پرخطر و محدودیت‌های زیرساختی مواجه‌اند، انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث مدارس نیازمند تلفیق دانش تخصصی، داده‌های مکانی دقیق و تکنیک‌های تحلیلی پیشرفته است. چنین ضرورت‌هایی موجب شده است که رویکردهای نوین مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) جایگاه مهمی در پژوهش‌های مرتبط با مکان‌یابی آموزشی پیدا کنند.

در ادبیات علمی، پژوهش‌های متعددی بر اهمیت تحلیل فضایی در مکان‌یابی مراکز آموزشی تأکید کرده‌اند. استفاده از مدل‌های GIS در مطالعات شهری امکان بررسی هم‌زمان عوامل مختلف مانند تراکم جمعیت، دسترسی، تناسب کاربری زمین و ویژگی‌های محیطی را فراهم می‌سازد. در همین راستا، آثار متعددی نشان داده‌اند که GIS یک ابزار کارآمد برای تحلیل و بهینه‌سازی موقعیت مکانی مدارس است (2، 3). این مطالعات بیان می‌کنند که انتخاب مکان‌های مناسب برای مدارس نه‌تنها باید بر پایه معیارهای کالبدی باشد، بلکه ابعاد اجتماعی، محیطی و عملکردی نیز باید در آن لحاظ شود. به‌عنوان نمونه، پارویزیان و همکاران با تحلیل پراکنش فضایی مدارس ابتدایی نشان دادند که عدم توجه به الگوهای توسعه شهری و شبکه ارتباطی موجب شکل‌گیری نابرابری‌های فضایی و افزایش خطرپذیری دانش‌آموزان می‌شود (4). نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که صرف‌نظر از ویژگی‌های کالبدی زمین، دسترسی مناسب، امنیت محیطی و سازگاری با کاربری‌های پیرامونی باید به‌عنوان اصول اساسی مکان‌یابی مدارس مدنظر قرار گیرند.

در سال‌های اخیر، رویکردهای مبتنی بر تحلیل چندمعیاره در مکان‌یابی مدارس نقش مهمی در ارتقای دقت تصمیم‌گیری داشته‌اند. روش‌هایی از قبیل AHP، TOPSIS، ANP و مدل‌های فازی، امکان وزن‌دهی به معیارهای مختلف و ارزیابی منطقی اولویت‌ها را فراهم کرده‌اند. در این زمینه، پژوهش‌هایی مانند مطالعه سعادتیپور علویق نشان داده‌اند که کاربرد GIS در کنار MCDA می‌تواند ساختاری علمی و دقیق برای تصمیم‌گیری در مکان‌یابی مدارس ارائه دهد (5). همین مضمون در پژوهش شجاعیان و همکاران نیز دیده می‌شود که ترکیب رویکرد FMCDM با تحلیل‌های GIS را روش مؤثری برای مدیریت پیچیدگی‌های مکانی معرفی کرده‌اند (6). این رویکردهای ترکیبی با ایجاد قابلیت تحلیل هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی، نقش مهمی در کاهش خطاهای تصمیم‌گیری و ارتقای کارآمدی موقعیت‌یابی مدارس دارند.

در سطح بین‌المللی نیز مطالعات مشابهی بر اهمیت تلفیق GIS و MCDA در مکان‌یابی مدارس تأکید کرده‌اند. پژوهش بوخاری و همکاران از نخستین مطالعاتی بود که مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی را برای انتخاب مکان مدارس ایمن مطرح کرد و نشان داد که ترکیب تحلیل فضایی و وزن‌دهی معیارها می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل اتکاتری نسبت به مدل‌های سنتی ارائه دهد (7). همچنین، مطالعه پراستو و همکاران در اندونزی بر استفاده از MCDA-GIS برای مکان‌یابی مدارس عمومی تأکید کرده و نشان داده است که تلفیق این روش‌ها برای شهرهای در حال توسعه اهمیت ویژه دارد، زیرا این شهرها با رشد نامتوازن، تراکم بالا و ضعف

زیرساخت‌ها مواجه‌اند (8). مطالعه مصطفی و ب.آ.ه نیز به همین نتیجه رسیده است که روش‌های چندمعیاره در کنار GIS امکان ارزیابی بهینه چند عامل را هم‌زمان فراهم می‌کنند و می‌توانند دقت تصمیم‌گیری را در مکان‌یابی مدارس افزایش دهند (9).

پیشرفت‌های اخیر در حوزه مدل‌سازی فضایی نیز افق‌های جدیدی برای مکان‌یابی بهینه مدارس گشوده است. یکی از برجسته‌ترین رویکردها، تحلیل TOPSIS در محیط GIS است که به‌ویژه در مطالعات مکانی در کشورهای مختلف کاربرد گسترده‌ای یافته است. بر اساس پژوهش محمدزاده و همکاران، ترکیب GIS و TOPSIS در مکان‌یابی مدارس می‌تواند روابط چندبعدی میان دسترسی، تراکم جمعیت، کاربری زمین و فاصله از مناطق پرخطر را به‌صورت عینی و دقیق نشان دهد و نقشه‌های اولویت مکانی را با دقت بالا تولید کند (10). در این مطالعه تأکید شده است که ترکیب MCDA با داده‌های مکانی می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری کارآمدتر و علمی‌تر شود، به‌ویژه در مناطق شهری بزرگ که تنوع کالبدی و اجتماعی بالا است.

در کنار پژوهش‌های کاربردی، منابع نظری نیز نقش مهمی در تبیین بنیان‌های روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ایفا کرده‌اند. آثار مالچفسکی از مهم‌ترین منابع در این حوزه به شمار می‌روند که چارچوب‌های تحلیل چندمعیاره در محیط GIS را تبیین و روش‌های L-OWA را معرفی کرده‌اند. این روش‌ها امکان لحاظ ترجیحات تصمیم‌گیرندگان و وزن‌دهی انعطاف‌پذیر را فراهم می‌کنند و به‌ویژه در تصمیم‌گیری‌های مکانی نقش مهمی دارند (11). همچنین کتاب ایشیزاکا و نمری با بررسی روش‌های MCDA، نرم‌افزارها و الگوریتم‌های مرتبط، یکی از جامع‌ترین منابع برای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است و کاربرد گسترده‌ای در حوزه برنامه‌ریزی مکانی دارد (12). نظریه شبکه‌ای ANP که توسط ساعتی ارائه شده است، چارچوبی برای مدل‌سازی روابط درونی میان معیارها فراهم می‌کند و با ایجاد امکان بازخورد، ساختاری دقیق‌تر نسبت به AHP ارائه می‌دهد (13). به کارگیری این روش‌ها در مکان‌یابی مدارس به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا به‌جای ارزیابی خطی و ایستا، رابطه‌مندی و وابستگی معیارهای مکانی را در نظر بگیرند.

در حوزه توسعه پایدار نیز مطالعات نشان داده‌اند که تلفیق GIS با مدل‌های تحلیل فضایی می‌تواند نقش مهمی در ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری مکانی داشته باشد. به‌عنوان نمونه، پژوهش محمدزاده (۲۰۲۰) در زمینه توسعه پایدار نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های مبتنی بر GIS-MCDA امکان تحلیل مکانی دقیق و تصمیم‌گیری سازگار با شاخص‌های پایداری را فراهم می‌سازد (14). این رویکردها در زمینه مکان‌یابی مدارس نیز کاربرد گسترده دارند، زیرا مدارس باید با اصول توسعه پایدار، ایمنی محیطی و عدالت فضایی سازگار باشند.

در کنار این مبانی نظری و تجربی، پژوهش‌های جدیدتری نیز به بررسی پیامدهای فناوری GIS در انتخاب مکان دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی پرداخته‌اند. مطالعه الروادشه و همکاران نشان داده است که رویکردهای نوین مبتنی بر GIS می‌توانند با ارائه تحلیل‌های دقیق و چندلایه، موقعیت بهینه مراکز آموزشی را مشخص کنند و تصمیم‌گیری در حوزه آموزش عالی را بهبود بخشند (1). این مطالعه گرچه بر دانشگاه‌ها متمرکز است، اما اصول و روش‌های آن به‌راحتی قابل تعمیم به مدارس هستند و بر نقش حیاتی داده‌کاوی فضایی در تصمیم‌گیری آموزشی تأکید دارند.

این مجموعه شواهد نشان می‌دهد که مکان‌یابی مدارس یک مسئله چندبعدی و پیچیده است که نیازمند رویکردهای تحلیلی ترکیبی و ابزارهای مکانی دقیق است. با بررسی مطالعات داخلی و بین‌المللی، می‌توان دریافت که چالش‌هایی همچون افزایش تراکم جمعیت، تغییرات سریع کالبدی شهرها، نبود الگوی صحیح کاربری زمین و افزایش خطرپذیری ناشی از مخاطرات طبیعی، ضرورت رویکردهای علمی‌تر و مبتنی بر داده را در مکان‌یابی مدارس دوچندان کرده است. همچنین

مشخص است که تلفیق GIS با روش‌های پیشرفته تصمیم‌گیری چندمعیاره، نه تنها دقت تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد بلکه امکان استخراج نقشه‌های اولویت مکانی، تحلیل سناریو و پیش‌بینی پیامدهای مکانی را نیز فراهم می‌سازد.

با توجه به شکاف موجود میان نیازهای واقعی طراحی مدارس ایمن و رویکردهای سنتی مکان‌یابی، و با استناد به مبانی نظری و یافته‌های پژوهش‌های پیشین، این پژوهش با هدف ارائه الگویی علمی، ترکیبی و مبتنی بر داده برای مکان‌یابی مدارس ایمن در برابر مخاطرات طبیعی انجام می‌شود. هدف مطالعه حاضر ارائه مدلی جامع برای مکان‌یابی بهینه مدارس با بهره‌گیری از تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با رویکردی توصیفی - تحلیلی و با اتکا بر روش‌های پیشرفته تصمیم‌گیری چندمعیاره طراحی شده است و جامعه آماری آن شامل گروهی از خبرگان است که به‌طور هدفمند و متناسب با اهداف پژوهش انتخاب شدند. این خبرگان شامل ۳۵ نفر از اساتید دانشگاه، کارشناسان حوزه مدیریت بحران، معماران، شهرسازان و پژوهشگران فعال در زمینه برنامه‌ریزی شهری و ایمنی زیرساخت‌های آموزشی بودند که همگی با سازوکارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، تحلیل شبکه‌ای و مفاهیم مرتبط با مکان‌یابی مدارس آشنایی کافی داشتند. مشارکت‌کنندگان بر اساس ضرورت تسلط علمی و تجربی بر موضوع انتخاب شدند تا وزن‌دهی معیارها در مدل ANP بر پایه قضاوت‌های معتبر و تخصصی انجام گیرد. ابزار مورد استفاده برای گردآوری داده‌های این بخش، پرسشنامه مقایسات زوجی مبتنی بر طیف ۱ تا ۹ ساعتی بود که به‌منظور سنجش اهمیت نسبی ۲۲ زوج از معیارها و زیرمعیارهای مدل تحقیق طراحی شد. هدف از انتخاب این جامعه آماری آن بود که ارزیابی معیارهای مکانی، کالبدی، عملکردی و ریسک‌پذیری مدارس به‌کمک دانش تخصصی خبرگان صورت گیرد و روابط درونی و وابستگی‌های معیارها در قالب مدل شبکه‌ای ANP با دقت بیشتری تحلیل شود. همچنین برای اطمینان از روایی پرسشنامه، محتوای آن توسط سه نفر از اساتید برجسته حوزه معماری و مدیریت بحران بازبینی و تأیید شد و نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسات نیز برای سنجش پایایی قضاوت‌های خبرگان مورد بررسی قرار گرفت.

برای دستیابی به اهداف پژوهش و شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر مکان‌یابی ایمن مدارس، داده‌ها از دو منبع اصلی شامل مطالعات کتابخانه‌ای و داده‌های میدانی حاصل از قضاوت خبرگان گردآوری شد. مطالعات کتابخانه‌ای شامل بررسی نظام‌مند ادبیات نظری، اسناد فنی، استانداردهای ایمنی و پژوهش‌های مرتبط با مکان‌یابی مراکز آموزشی و تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های شهری بود. این بخش نقش اساسی در تبیین مبانی نظری و استخراج معیارهای اولیه مدل داشت. افزون بر آن، داده‌های مکانی شامل نقشه‌های پایه، اطلاعات شبکه معابر، کاربری اراضی، تراکم جمعیتی، موقعیت فضاها، سبز، مراکز امدادی، پهنه‌های خطر و اطلاعات رقومی بلوک‌ها و پلاک‌های شهر نوشهر گردآوری شد و تمامی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار GIS پردازش گردید تا بستر تحلیل مکانی فراهم شود. داده‌های میدانی نیز از طریق پرسشنامه مقایسات زوجی ANP جمع‌آوری شد. این پرسشنامه بر اساس طیف ۹ درجه‌ای ساعتی طراحی شده و هدف آن سنجش اهمیت نسبی معیارها و بررسی روابط بازخوردی میان آن‌ها در قالب مدل شبکه‌ای بود. در مجموع ۲۲ مقایسه زوجی میان معیارها و زیرمعیارها طراحی شد و ۳۵ نفر از خبرگان آن را تکمیل کردند. برای ارزیابی روایی سوالات، محتوای پرسشنامه توسط متخصصان بازبینی شد و برای سنجش پایایی، نرخ ناسازگاری محاسبه شد تا از هماهنگی پاسخ‌ها و معتبر بودن قضاوت‌ها اطمینان حاصل شود. مجموعه این ابزارها امکان تحلیل جامع از منظر نظری، کارشناسی و فضایی را فراهم کرد و داده‌های چندمنبعی در چارچوب تحلیل شبکه‌ای و تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده قرار گرفت.

تحلیل داده‌ها در سه مرحله اصلی شامل تحلیل ماتریس‌های مقایسات زوجی، وزن‌دهی معیارها و تلفیق نتایج در محیط GIS انجام شد. در مرحله نخست، پاسخ‌های حاصل از پرسشنامه‌های ANP وارد نرم‌افزارهای آماری شده و پایایی داده‌ها با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ ارزیابی شد. مقدار به‌دست‌آمده نشان‌دهنده انسجام کافی در پاسخ‌های خبرگان بود. سپس کفایت داده‌ها برای تحلیل عاملی از طریق شاخص KMO و معناداری آزمون بارتلت بررسی شد. پس از تأیید کفایت، تحلیل عاملی اکتشافی برای شناسایی ساختار عوامل و تحلیل عاملی تأییدی برای تعیین کیفیت بارهای عاملی اجرا شد. گویه‌هایی که بار عاملی کافی نداشتند برای تحلیل‌های بعدی علامت‌گذاری شدند. در ادامه، داده‌ها وارد مدل ANP شدند و وزن نسبی معیارها با در نظر گرفتن وابستگی‌ها و بازخوردها استخراج گردید. پس از تعیین وزن معیارها، داده‌های وزن‌دار در مدل TOPSIS استفاده شد تا بلوک‌های شهری مورد ارزیابی قرار گیرند و مناسب‌ترین گزینه‌ها برای مکان‌یابی مدارس ایمن رتبه‌بندی شوند. امتیاز نهایی بلوک‌ها در دامنه صفر تا یک محاسبه شد و سپس نتایج رتبه‌بندی به محیط GIS منتقل شد. در این مرحله لایه‌های مکانی شامل شبکه معابر، کاربری زمین، تراکم جمعیتی و پهنه‌های خطر با داده‌های TOPSIS ادغام شدند و نقشه‌های اولویت مکانی تولید گردید. تحلیل الگوی فضایی نتایج نشان داد که نواحی مرکزی شهر نوشهر دارای بیشترین تناسب مکانی برای احداث مدارس ایمن هستند، در حالی‌که مناطق پیرامونی و روستایی به دلیل فاصله از زیرساخت‌ها و افزایش خطرپذیری در رتبه‌های پایین‌تری قرار گرفتند. این روند تحلیل امکان ارائه یک مدل یکپارچه و مبتنی بر داده را فراهم کرد که ترکیبی از دانش کارشناسی، تحلیل آماری و ارزیابی فضایی است و از آن می‌توان به‌عنوان چارچوبی معتبر در مکان‌یابی مدارس ایمن استفاده کرد.

یافته‌ها

در جدول زیر آمار توصیفی مقایسات زوجی بین مولفه‌ها و زیر مولفه‌های مرتبط با تحقیق از دیدگاه ۳۵ خبره ارائه گردیده است. در ادامه، یافته‌های کلیدی و نکات قابل توجه تفسیر شده‌اند. با توجه به بیان مسئله و داده‌های پرسشنامه زوجی، تحلیل ANP را انجام می‌دهیم. این تحلیل به ما کمک می‌کند تا اولویت‌بندی مؤلفه‌های موثر بر مکان‌یابی مدارس به منظور کاهش خطرپذیری در مواجهه با مخاطرات طبیعی انجام دهیم. ساختار شبکه ANP با توجه به پرسشنامه زوجی به صورت زیر در جدول زیر تعریف می‌شود:

جدول ۱. خوشه بندی پرسشنامه زوجی به تفکیک خوشه‌های اصلی

خوشه اصلی	زیرمعیارها (عناصر)
همجوار با کاربری‌های مجاور	شبکه ارتباطی و ترافیکی، ظرفیت احداث، پتانسیل تراکم جمعیتی، دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری‌های مجاور
شبکه ارتباطی و ترافیکی	ظرفیت احداث، پتانسیل تراکم جمعیتی، دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری‌های مجاور
ظرفیت احداث	پتانسیل تراکم جمعیتی، دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری‌های مجاور
پتانسیل تراکم جمعیتی	دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری‌های مجاور
دسترسی در مواقع بحران	سازگاری با کاربری‌های مجاور

جدول ۲. خوشه بندی پرسشنامه زوجی به تفکیک زیرخوشه ها

زیرخوشه	زیرمعیارها (عناصر)
دسترسی پیاده	سلسله مراتب شبکه، نفوذپذیری
سلسله مراتب شبکه	نفوذپذیری
کاربری های مناسب جهت احداث مدرسه	حداقل مساحت لازم
تراکم جمعیتی	تراکم جمعیتی دانش آموزان
دسترسی به مراکز بهداشتی و درمانی و امداد	دسترسی به فضاهای باز و سبز و بایر
کاربری های مختلف مانند اداری و... در	سازگاری کاربری های مختلف مانند اداری و... در در مجاورت
همجواری	

همانطور که در جدول ۱ دیده می شود زیر معیارهای " شبکه ارتباطی و ترافیکی، ظرفیت احداث، پتانسیل تراکم جمعیتی، دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری های مجاور " به عنوان زیر معیارهای خوشه همجواری با کاربری های مجاور می باشند. همچنین زیر معیارهای " ظرفیت احداث، پتانسیل تراکم جمعیتی، دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری های مجاور " جزء زیر معیارهای شبکه ارتباطی و ترافیکی است و عناصر " پتانسیل تراکم جمعیتی، دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری های مجاور " به عنوان زیر معیارهای ظرفیت احداث و زیر معیارهای " دسترسی در مواقع بحران، سازگاری با کاربری های مجاور " به عنوان زیر معیارهای پتانسیل تراکم جمعیتی و تنها زیر معیار " سازگاری با کاربری های مجاور " به عنوان زیر معیار دسترسی در مواقع بحران دسته بندی شدند.

جدول ۲ هم معیارهای زیر خوشه های پرسشنامه زوجی مطالعه را نشان می دهد. بدین ترتیب، معیارهای " سلسله مراتب شبکه، نفوذپذیری " جزء زیر خوشه دسترسی پیاده و زیر معیار " نفوذپذیری " به عنوان معیار زیر خوشه سلسله مراتب شبکه و معیار " حداقل مساحت لازم " به عنوان معیار زیر خوشه کاربری های مناسب جهت احداث مدرسه و معیار " تراکم جمعیتی دانش آموزان " به عنوان معیار زیر خوشه تراکم جمعیتی و معیار " دسترسی به فضاهای باز و سبز و بایر " به عنوان معیار زیر خوشه دسترسی به مراکز بهداشتی و درمانی و امداد و معیار " سازگاری کاربری های مختلف مانند اداری و... در در مجاورت " به عنوان معیار زیر خوشه کاربری های مختلف مانند اداری و... در همجواری دسته بندی شدند.

در جدول زیر آمار توصیفی مقایسات زوجی بین زیرمعیارهای مرتبط با خوشه های اصلی و زیرخوشه ها از دیدگاه ۳۵ خبره ارائه گردیده است. در ادامه، یافته های کلیدی و نکات قابل توجه تفسیر شده اند.

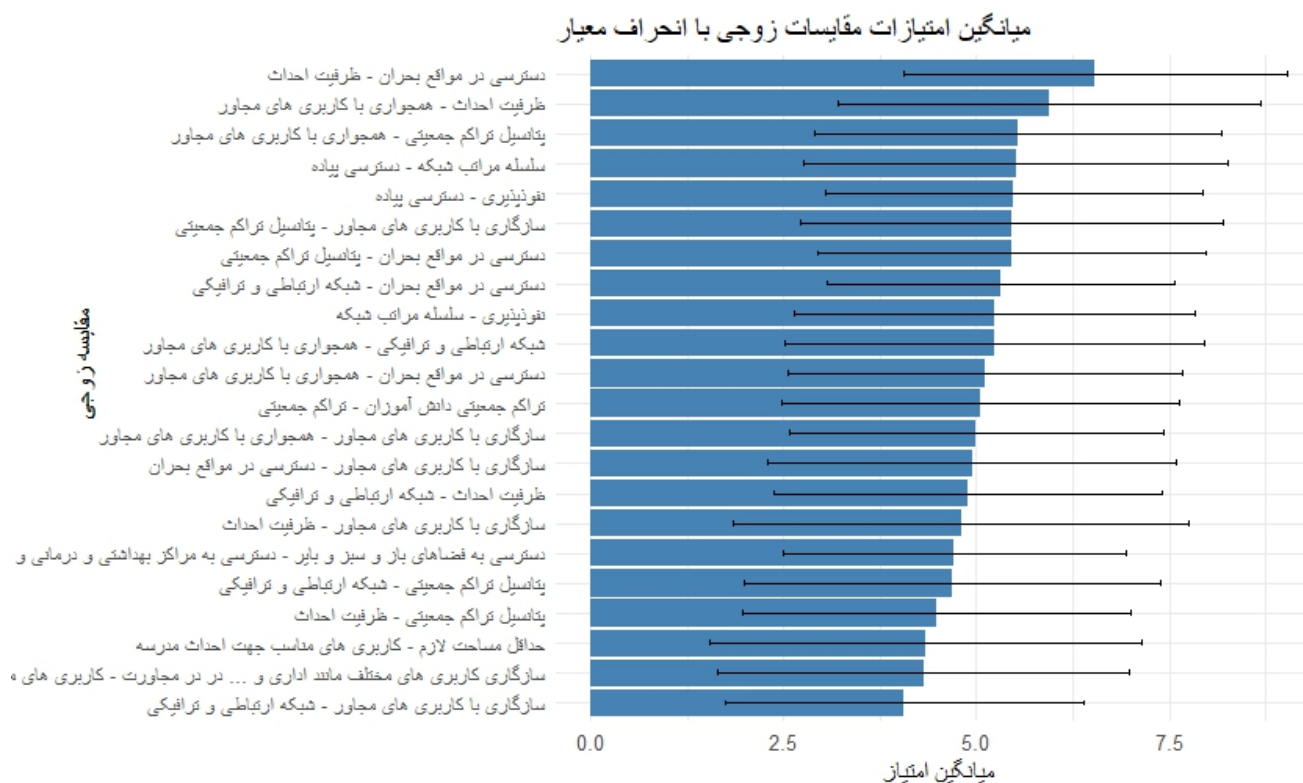
جدول ۳. مقایسات زوجی بین زیرمعیارهای مرتبط با خوشه های مطالعه

ردیف	مؤلفه اصلی	زیر مؤلفه	میانگین	میان	انحراف معیار	حد اقل	حد اکثر
۱	همجواری با کاربری های مجاور	شبکه ارتباطی و ترافیکی	۵/۲۳	۵	۲/۸۳	۱	۹
۲	همجواری با کاربری های مجاور	ظرفیت احداث	۵/۹۴	۵	۲/۸۴	۱	۹
۳	همجواری با کاربری های مجاور	پتانسیل تراکم جمعیتی	۵/۵۴	۵	۲/۶۴	۱	۹
۴	همجواری با کاربری های مجاور	دسترسی در مواقع بحران	۵/۱۱	۵	۲/۵۵	۱	۹

۵	همجواری با کاربری‌های مجاور	سازگاری با کاربری‌های مجاور	۵	۵	۲/۴۳	۱	۹
۶	شبکه ارتباطی و ترافیکی	ظرفیت احداث	۴/۸۹	۵	۲/۵۲	۱	۹
۷	شبکه ارتباطی و ترافیکی	پتانسیل تراکم جمعیتی	۴/۶۹	۵	۲/۷	۱	۹
۸	شبکه ارتباطی و ترافیکی	دسترسی در مواقع بحران	۵/۳۱	۵	۲/۲۶	۱	۹
۹	شبکه ارتباطی و ترافیکی	سازگاری با کاربری‌های مجاور	۴/۰۶	۵	۲/۴۳	۱	۹
۱۰	ظرفیت احداث	پتانسیل تراکم جمعیتی	۴/۴۹	۵	۲/۵۱	۱	۹
۱۱	ظرفیت احداث	دسترسی در مواقع بحران	۶/۵۴	۵	۲/۴۹	۱	۹
۱۲	ظرفیت احداث	سازگاری با کاربری‌های مجاور	۴/۸	۵	۲/۹۵	۱	۹
۱۳	پتانسیل تراکم جمعیتی	دسترسی در مواقع بحران	۵/۴۶	۵	۲/۵۲	۱	۹
۱۴	پتانسیل تراکم جمعیتی	سازگاری با کاربری‌های مجاور	۵/۴۶	۵	۲/۷۵	۱	۹
۱۵	دسترسی در مواقع بحران	سازگاری با کاربری‌های مجاور	۴/۹۴	۵	۲/۶۶	۱	۹
۱۶	دسترسی پیاده	سلسله مراتب شبکه	۵/۵۱	۵	۲/۷۵	۱	۹
۱۷	دسترسی پیاده	نفوذپذیری	۵/۴۹	۵	۲/۴۴	۱	۹
۱۸	سلسله مراتب شبکه	نفوذپذیری	۵/۲۳	۵	۲/۶	۱	۹
۱۹	کاربری مناسب جهت احداث مدرسه	حد اقل مساحت لازم	۴/۲۴	۵	۲/۸۱	۱	۹
۲۰	پتانسیل تراکم جمعیتی	تراکم جمعیتی دانش آموزان	۵/۰۶	۵	۲/۵۸	۱	۹
۲۱	دسترسی به مراکز بهداشتی و درمانی و امداد	دسترسی به فضای باز و سبز و سایر	۴/۷۱	۵	۲/۲۳	۱	۹
۲۲	کاربری‌های مختلف مانند اداری و... در همجواری	سازگاری کاربری‌های مختلف اداری و.. در مجاورت	۴/۳۱	۵	۲/۶۸	۱	۹

- زوج "ظرفیت احداث - دسترسی در مواقع بحران" (ردیف ۱۱ با میانگین ۶.۵۴) و "ظرفیت احداث - همجواری با کاربری‌های مجاور" (ردیف ۲ با میانگین ۵.۹۴)، جزء بالاترین امتیاز در بین مقایسات را داشت، بنابراین رابطه بین ظرفیت احداث با دسترسی در مواقع بحران و همجواری با کاربری‌های مجاور از نظر خبرگان از بیشترین اهمیت برخوردار می‌باشند.

- همچنین زوج "شبکه ارتباطی و ترافیکی - سازگاری با کاربری‌های مجاور" (ردیف ۹ با میانگین ۴.۰۶) کمترین امتیاز در بین مقایسات را داشت، بنابراین رابطه بین شبکه ارتباطی و ترافیکی با سازگاری با کاربری‌های مجاور از نظر خبرگان از ضعیف‌ترین اهمیت برخوردار است.



شکل ۱. نمودار میانگین امتیازات مقایسات زوجی با انحراف معیار داده‌های پرسشنامه زوجی

برای بررسی پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار آلفا کرونباخ برابر با ۰.۶۶ است. با توجه به منابع روش‌شناسی، مقادیر آلفای کرونباخ به شرح زیر تفسیر می‌شوند:

(کمتر از ۰.۶ - ضعیف - ۰.۶ تا ۰.۷ قابل قبول - بین ۰.۷ تا ۰.۸ رضایت‌بخش - بالاتر از ۰.۸ خوب و بالا)

بنابراین مقدار ۰.۶۶ نشان‌دهنده آن است که پرسشنامه مقایسات زوجی مورد استفاده از پایایی نسبتاً قابل قبول برخوردار است و می‌تواند برای اهداف پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گیرد. البته مقدار آلفا نشان می‌دهد که همسانی درونی آیت‌ها متوسط است و در تحقیقات آتی می‌توان با بازنگری در برخی سؤالات، پایایی را افزایش داد.

به منظور بررسی میزان کفایت داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی، شاخص کایزر-مایر-الکین (KMO) و آزمون بارتلت اجرا شدند. مقدار کلی شاخص KMO برابر با ۰.۶۴ به دست آمد. بر اساس معیار کایزر (۱۹۷۴)، مقادیر بین ۰.۶۰ تا ۰.۶۹ نشان‌دهنده کفایت قابل قبول داده‌ها برای تحلیل عاملی هستند. بنابراین داده‌های این پژوهش در سطحی قابل قبول از کفایت قرار دارند و امکان اجرای تحلیل عاملی وجود دارد.

با توجه به اینکه استفاده از عناوین طولانی پرسش‌های زوجی در ادامه فرایند و کدنویسی با مشکل مواجه می‌گردد، بنابراین طبق جدول ۴ از عناوین کدهای q۰۱ الی q۲۲ برای نام‌گذاری پرسش‌های زوجی مطالعه استفاده کردید.

جدول ۴. کد گذاری پرسشهای زوجی

کد پرسش	مولفه اصلی	زیر مولفه
Q۰۱	شبکه ارتباطی و ترافیکی	سازگاری با کاربری های مجاور
Q۰۲	کاربری های مختلف مانند اداری و ... در همجواری	سازگاری کاربری های مختلف مانند اداری و ... در در مجاورت
Q۰۳	کاربری های مناسب جهت احداث مدرسه	حداقل مساحت لازم
Q۰۴	ظرفیت احداث	پتانسیل تراکم جمعیتی
Q۰۵	شبکه ارتباطی و ترافیکی	پتانسیل تراکم جمعیتی
Q۰۶	دسترسی به مراکز بهداشتی و درمانی و امداد	دسترسی به فضاهای باز و سبز و بایر
Q۰۷	ظرفیت احداث	سازگاری با کاربری های مجاور
Q۰۸	شبکه ارتباطی و ترافیکی	ظرفیت احداث
Q۰۹	دسترسی در مواقع بحران	سازگاری با کاربری های مجاور
Q۱۰	همجواری با کاربری های مجاور	سازگاری با کاربری های مجاور
Q۱۱	تراکم جمعیتی	تراکم جمعیتی دانش آموزان
Q۱۲	همجواری با کاربری های مجاور	دسترسی در مواقع بحران
Q۱۳	همجواری با کاربری های مجاور	شبکه ارتباطی و ترافیکی
Q۱۴	سلسله مراتب شبکه	نفوذپذیری
Q۱۵	شبکه ارتباطی و ترافیکی	دسترسی در مواقع بحران
Q۱۶	پتانسیل تراکم جمعیتی	دسترسی در مواقع بحران
Q۱۷	پتانسیل تراکم جمعیتی	سازگاری با کاربری های مجاور
Q۱۸	دسترسی پیاده	نفوذپذیری
Q۱۹	دسترسی پیاده	سلسله مراتب شبکه
Q۲۰	همجواری با کاربری های مجاور	پتانسیل تراکم جمعیتی
Q۲۱	همجواری با کاربری های مجاور	ظرفیت احداث
Q۲۲	ظرفیت احداث	دسترسی در مواقع بحران

بررسی شاخص کفایت نمونه گیری برای هر گویه (MSA) نشان داد که بیشتر گویه ها مقادیر بیش از ۰.۶۰ داشته اند که مطلوب ارزیابی می شود (مانند گویه های Q۰۴، Q۰۵، Q۱۱، Q۱۲، Q۲۱ و Q۲۲ که بین ۰.۷۱ تا ۰.۸۶ هستند). این گویه ها مشارکت بالایی در ساختار عاملی دارند. برخی گویه ها (Q۰۱=۰.۵۱، Q۰۲=۰.۵۸، Q۱۰=۰.۵۳، Q۱۱=۰.۵۲، Q۱۴=۰.۵۹، Q۱۶=۰.۵۳، Q۲۰=۰.۵۳) در محدوده نسبتاً ضعیف قرار دارند؛ هرچند همچنان قابل قبول اند، اما قدرت همبستگی آن ها با سایر متغیرها پایین تر است. در مقابل، دو گویه (Q۱۸=۰.۴۹ و Q۱۹=۰.۴۶) دارای مقدار کمتر از ۰.۵۰ می باشند. این گویه ها در تحلیل عاملی نقش ضعیفی ایفا می کنند و پیشنهاد می شود در صورت امکان حذف یا بازنگری شوند. در مجموع، با توجه به مقدار کلی KMO (۰.۶۴)، داده های پژوهش برای تحلیل عاملی در سطحی قابل قبول قرار دارند. با این حال، حذف یا بازنگری گویه های ضعیف می تواند منجر به بهبود شاخص کلی KMO و افزایش دقت نتایج تحلیل عاملی شود.

همچنین، به منظور بررسی معناداری همبستگی میان متغیرها، آزمون بارتلت اجرا شد. مقدار آماره کای دو برابر با ۵۰۹.۸۳ در ۲۳۱ درجه آزادی به دست آمد که در سطح $p < 0.01$ معنادار است. این نتیجه نشان می‌دهد ماتریس همبستگی داده‌ها یک ماتریس همانی (Identity matrix) نیست و بین متغیرها همبستگی معناداری وجود دارد. بنابراین، داده‌های پژوهش برای انجام تحلیل عاملی مناسب بوده و شرایط لازم جهت استخراج عوامل فراهم است. به منظور شناسایی ساختار عاملی گویه‌ها، تحلیل عاملی اکتشافی با روش محوره‌های اصلی (PAF) و چرخش Oblimin انجام شد.

جدول ۵. بارهای عاملی اکتشافی (EFA) - استخراج ساختار

Item	Factor ^۱	Factor ^۲	h ^۲	u ^۲	Complexity
q _{۱۲}	۰/۷۳	۰/۰۷	۰/۵۴	۰/۴۶	۱/۰۲
q _۵	۰/۷۲	-۰/۱	۰/۵۳	۰/۴۷	۱/۰۴
q _۹	۰/۷۲	۰/۱	۰/۵۴	۰/۴۶	۱/۰۴
q _۲	۰/۷۲	-۰/۱	۰/۵۲	۰/۴۸	۱/۰۴
q _۴	۰/۷	-۰/۳۳	۰/۵۷	۰/۴۳	۱/۴۴
q _۳	۰/۵۹	-۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۶۵	۱/۰۱
q _{۱۱}	۰/۵۸	۰	۰/۳۴	۰/۶۶	۱
q _۱	۰/۵۷	۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۶۷	۱/۰۱
q _{۲۲}	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۵۸	۰/۴۲	۱/۹۶
q _۶	۰/۵۳	-۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۷۱	۱/۱۱
q _{۱۰}	۰/۵۲	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۷۱	۱/۱۲
q _۷	۰/۵	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۷۳	۱/۱۱
q _{۲۱}	۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۷۱	۱/۲۹
q _۸	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۸۴	۱/۵۹
q _{۲۰}	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۷۱	۱/۹۱
q _{۱۳}	۰/۳۲	۰/۶۱	۰/۵	۰/۵	۱/۵۱
q _{۱۸}	۰/۳	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۸۷	۱/۶۱
q _{۱۹}	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۹۲	۱/۹۸
q _{۱۵}	۰/۰۵	۰/۷۱	۰/۵	۰/۵	۱/۰۱
q _{۱۷}	-۰/۰۱	۰/۶۲	۰/۳۹	۰/۶۱	۱
q _{۱۶}	-۰/۰۹	۰/۶۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۱/۰۳
q _{۱۴}	-۰/۳۸	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۴۲	۱/۵۶

جدول ۵ نشان داد که، گویه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۲۱ بیشترین بار عاملی را روی عامل اول (PA^۱) دارند. و گویه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ بیشترین بار عاملی را روی عامل دوم (PA^۲) دارند. همچنین برخی از گویه‌ها مانند گویه‌های q_{۱۸} (۰.۳۰) و q_{۱۹} (۰.۰۸) بار عاملی بسیار پایین دارند و در ساختار عاملی نقش ضعیفی ایفا می‌کنند. گویه‌های q_{۲۰} و q_{۲۲} بارگذاری بر روی هر دو عامل داشتند که نشان‌دهنده ابهام عاملی است. و در آخر گویه q_۴ بارگذاری منفی روی عامل دوم دارد که ممکن است نیازمند بازنگری باشد.

تحلیل عاملی اکتشافی (EFA) نشان داد همبستگی بین دو عامل برابر با ۰.۰۴۳ است که بسیار پایین بوده و نشان می‌دهد عوامل تقریباً مستقل از یکدیگر هستند.

از نظر کفایت نمره‌های عاملی تحلیل عاملی نشان داد، همبستگی نمره‌های عاملی با عوامل برابر با ۰.۹۵۷ برای عامل اول و ۰.۹۲۶ برای عامل دوم است. حداقل همبستگی ممکن برای نمره‌های عاملی نیز به ترتیب ۰.۸۳۱ و ۰.۷۱۶ به دست آمد که نشان‌دهنده کفایت نسبتاً مطلوب برای استفاده از نمره‌های عاملی است. همچنین ساختار دو عاملی برای داده‌ها استخراج شد که بخشی از واریانس را تبیین می‌کند.

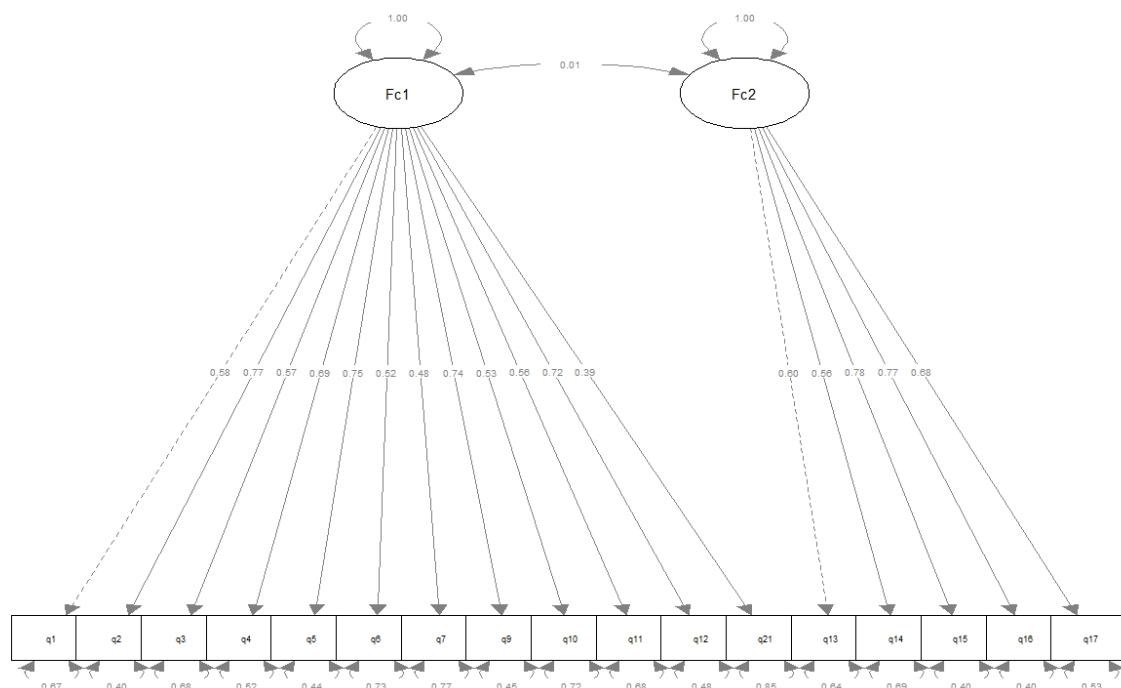
عامل اول شامل بیشتر گویه‌ها (q۱ تا q۱۲ و q۲۱) است و عامل دوم بیشتر با گویه‌های (q۱۳ تا q۱۷) تعریف می‌شود. برخی گویه‌ها (به‌ویژه q۱۸ و q۱۹) مشارکت ضعیفی در ساختار عاملی دارند و پیشنهاد می‌شود در تحلیل‌های بعدی حذف یا بازنگری شوند. در مجموع، مدل دو عاملی داده‌ها را در سطحی قابل قبول توجیه می‌کند، اگرچه شاخص‌های برازش نشان می‌دهند که اصلاح مدل (حذف گویه‌های ضعیف یا بازنگری ساختار) می‌تواند نتایج بهتری فراهم آورد. به منظور بررسی روایی سازه، تحلیل عاملی تأییدی (CFA) بر روی داده‌ها انجام شد. نتایج بارهای عاملی استاندارد شده (Standardized Loadings) در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر گویه‌ها دارای بار عاملی بالاتر از ۰.۵۰ هستند که نشان‌دهنده مطلوبیت آن‌ها در تبیین عامل مربوطه است. با این حال، برخی گویه‌ها دارای بار عاملی ضعیف‌تر (کمتر از ۰.۵۰) بوده‌اند.

جدول ۶. بارهای عاملی استاندارد شده در CFA

عامل	گویه	بار عاملی استاندارد شده	تفسیر
Factor ۱	q۱	۰.۵۷۹	قابل قبول
	q۲	۰.۷۷۳	قوی
	q۳	۰.۵۷۰	قابل قبول
	q۴	۰.۶۹۳	خوب
	q۵	۰.۷۴۷	قوی
	q۶	۰.۵۱۷	مرزی قابل قبول
	q۷	(۰.۴۷۶ زیر ۰.۵۰)	ضعیف
Factor ۲	q۹	۰.۷۴۴	قوی
	q۱۰	۰.۵۲۶	قابل قبول
	q۱۱	۰.۵۶۵	قابل قبول
	q۱۲	۰.۷۱۹	قوی
	q۲۱	۰.۳۹۳	ضعیف (نیازمند بازنگری)
	q۱۳	۰.۶۰۴	قابل قبول
	q۱۴	۰.۵۵۹	قابل قبول
	q۱۵	۰.۷۷۶	قوی
	q۱۶	۰.۷۷۳	قوی
	q۱۷	۰.۶۸۵	خوب

در بررسی بارهای عاملی مشاهده شد که گویه‌هایی (مانند q۴ و q۷) بار عاملی کمتر از ۰.۵۰ دارند. این گویه‌ها در تبیین عامل مربوطه نقش ضعیفی ایفا می‌کنند. بنابراین، می‌توان در صورت لزوم با حذف یا بازنگری این گویه‌ها به بهبود برازش مدل کمک کرد.

برای نمایش بهتر نتایج CFA، نمودار مسیر (Path Diagram) مدل در شکل ۴-۷ ترسیم شده است. در این نمودار روابط میان عوامل و گویه‌ها همراه با بارهای استاندارد شده نشان داده شده‌اند.



شکل ۲. تحلیل عامل تاییدی (CFA) - اعتبارسنجی مدل اندازه گیری

جدول ۷. نتایج آزمون پیرسون

Variables	r	t	df	p-value	CI_low	CI_high
cor Factor۱ ↔ Factor۲	۰.۱۶۶	۰.۹۷	۳۳	۰.۳۴۱	-۰.۱۷۷	۰.۴۷۳

برای بررسی رابطه بین متغیر Factor۱ و Factor۲ از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد که بین دو متغیر همبستگی مثبت ولی غیرمعناداری وجود دارد ($r = ۰.۱۶$, $t(۳۳) = ۰.۹۷$, $p = ۰.۳۴$). با توجه به سطح معناداری ($p > ۰.۰۵$)، این رابطه از نظر آماری معنادار نیست. همچنین بازه اطمینان ۹۵ درصدی برای ضریب همبستگی بین -۰.۱۷ تا ۰.۴۷ به دست آمد که شامل صفر می‌شود. بنابراین نمی‌توان نتیجه گرفت که بین دو متغیر رابطه خطی معناداری وجود دارد. یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها با مدل دلفی، که با هدف شناسایی و اجماع‌یابی در خصوص [نام معیارها/عوامل/پیش‌بینی‌های مورد مطالعه] انجام شد، در زیر ارائه می‌گردد. داده‌های حاصل از نظرات ۳۵ متخصص حاضر در مدل دلفی، با استفاده از آمار توصیفی (میانگین، میانه و انحراف معیار) مورد تحلیل قرار گرفتند. مبنای قضاوت در مورد هر گویه، میانگین امتیاز (شاخص اهمیت) و انحراف معیار (شاخص اجماع) بود.

جدول ۸ نتایج آزمون دلفی

Question	Mean	Median	SD	Min	Max	Range	Importance_Level	Consensus_Level	Status
Q۱۰	۸/۶	۹	۰/۶۹۴۵۱۶۳	۷	۹	۲	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۸	۸/۵۴۲۸۵۷۱	۹	۰/۷۰۰۵۴	۷	۹	۲	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۹	۸/۵۱۴۲۸۵۷	۹	۰/۷۰۱۷۳۸۵	۷	۹	۲	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۲	۸/۱۷۱۴۲۸۶	۸	۰/۷۸۵۳۷۰۴	۶	۹	۳	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۱	۸/۱۴۲۸۵۷۱	۸	۰/۹۱۲۱۰۳۵	۶	۹	۳	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۳	۸/۱۴۲۸۵۷۱	۸	۰/۸۰۹۶۰۶۲	۶	۹	۳	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۱۴	۸/۰۸۵۷۱۴۳	۸	۰/۹۸۱۳۳۸۵	۵	۹	۴	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۱۳	۷/۸۸۵۷۱۴۳	۸	۱/۱۸۲۵۰۵۵	۵	۹	۴	بسیار مهم	اجماع خوب	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۴	۷/۸۵۷۱۴۲۹	۸	۰/۹۴۳۷۹۸۹	۶	۹	۳	بسیار مهم	اجماع عالی	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۱۱	۷/۷۷۱۴۲۸۶	۸	۱/۰۳۱۴۳۸۶	۵	۹	۴	بسیار مهم	اجماع خوب	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۱۲	۷/۵۴۲۸۵۷۱	۸	۱/۱۲۰۴۷۴۱	۵	۹	۴	بسیار مهم	اجماع خوب	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۶	۷/۳۷۱۴۲۸۶	۷	۱/۰۳۱۴۳۸۶	۶	۹	۳	بسیار مهم	اجماع خوب	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۵	۷/۳۴۲۸۵۷۱	۷	۱/۱۳۶۱۱۴۶	۵	۹	۴	بسیار مهم	اجماع خوب	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۰۷	۷/۳۴۲۸۵۷۱	۷	۱/۰۲۷۳۵۶۹	۶	۹	۳	بسیار مهم	اجماع خوب	تأیید شده (مهم) با اجماع خوب
Q۲۲	۴/۴۵۷۱۴۲۹	۵	۱/۶۸۶۳۲۶۶	۱	۸	۷	کم اهمیت	اجماع متوسط	نیاز به بررسی بیشتر
Q۲۱	۳/۸۲۸۵۷۱۴	۴	۱/۵۴۳۲۱۵	۱	۷	۶	بسیار کم اهمیت	اجماع متوسط	نیاز به بررسی بیشتر
Q۲۰	۳/۴۵۷۱۴۲۹	۳	۱/۵۵۹۴۶۵۵	۱	۸	۷	بسیار کم اهمیت	اجماع متوسط	نیاز به بررسی بیشتر
Q۱۶	۳/۴	۳	۱/۵۷۵۵۴۸۵	۱	۷	۶	بسیار کم اهمیت	اجماع متوسط	نیاز به بررسی بیشتر

Q17	۲/۹۷۱۴۲۸۶	۳	۱/۴۰۳۴۷۷۱	۱	۶	۵	بسیار کم اهمیت	اجماع خوب	غیرمهم اما مورد اجماع
Q15	۲/۹۴۲۸۵۷۱	۳	۱/۳۰۴۸۰۶۹	۱	۵	۴	بسیار کم اهمیت	اجماع خوب	غیرمهم اما مورد اجماع
Q19	۲/۷۱۴۲۸۵۷	۳	۱/۴۴۶۵۲۵۸	۱	۶	۵	بسیار کم اهمیت	اجماع خوب	غیرمهم اما مورد اجماع
Q18	۲/۴۸۵۷۱۴۳	۲	۱/۶۶۹۲۹۷۶	۱	۶	۵	بسیار کم اهمیت	اجماع متوسط	نیاز به بررسی بیشتر

نتایج جدول ۸ تحلیل داده‌های دلفی نشان داد که از بین ۲۲ گویه مورد بررسی، در نهایت ۱۴ گویه با احراز دو معیار «اهمیت» (میانگین ≥ 6.5) و «اجماع» (انحراف معیار ≤ 1.5) به عنوان عوامل کلیدی و مورد توافق نهایی پانل متخصصان تأیید شدند. این گویه‌ها هسته اصلی مدل نهایی را تشکیل می‌دهند. برای ۸ گویه باقیمانده که یا اهمیت بالا ولی فاقد اجماع بودند یا اجماع بالا ولی اهمیت کم داشتند، اجرای دور بعدی دلفی جهت روشن‌سازی و رسیدن به توافق نهایی پیشنهاد می‌گردد. در کل، مطالعه به اجماع قوی در مورد اکثر شاخص‌های اساسی دست یافت.

نتایج حاصل از مدل تاپسیس جهت رتبه‌بندی بلوک‌های مورد مطالعه نشان داد که بلوک A با کسب امتیاز نهایی ۰.۷۳۳۶ در رتبه نخست قرار گرفته و به عنوان مطلوب‌ترین گزینه شناسایی گردید همچنین بلوک D با امتیاز ۰.۷۲۲۰ در رتبه دوم و بلوک C با امتیاز ۰.۳۲۲۹ در رتبه سوم قرار گرفتند. و در نهایت، بلوک B با امتیاز ۰.۲۰۳۲ در رتبه چهارم و به عنوان کم‌ارزش‌ترین گزینه شناخته شد. این رتبه‌بندی بر اساس معیارهای وزن دار شده از طریق مطالعه دلفی و با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS انجام پذیرفته است.

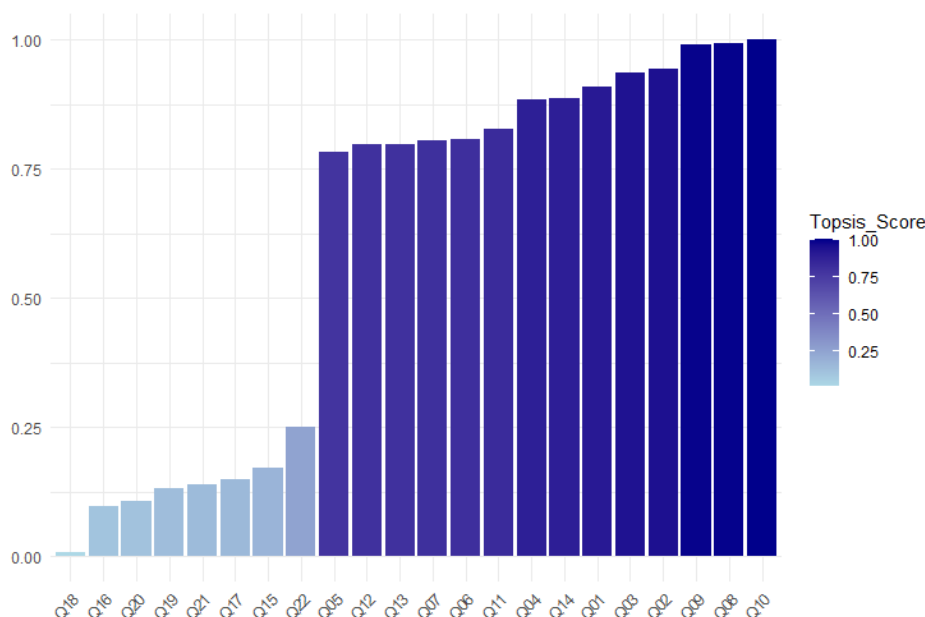
جدول ۹. خروجی مدل Topsis

Block	بلوک	Score	Rank
A	بلوک A	۰.۷۳۳۶	۱
D	بلوک D	۰.۷۲۲۰	۲
C	بلوک C	۰.۳۲۲۹	۳
B	بلوک B	۰.۲۰۳۲	۴

جدول ۱۰. رتبه بندی بلوک A

Question	Mean	SD	Importance	Consensus	Topsis_Score	Rank
Q10	۸/۶	۰/۶۹	۵	۵	۱	۱
Q08	۸/۵۴	۰/۷	۵	۵	۰/۹۹۲۹۱۴	۲
Q09	۸/۵۱	۰/۷	۵	۵	۰/۹۹۰۲۳۶	۳
Q02	۸/۱۷	۰/۷۹	۵	۵	۰/۹۴۳۷۷۹	۴
Q03	۸/۱۴	۰/۸۱	۵	۵	۰/۹۳۶۷۹۱	۵

به منظور اولویت‌بندی نهایی عوامل شناسایی شده در مرحله دلفی، از تکنیک TOPSIS استفاده گردید. در این راستا، خروجی مدل دلفی شامل میانگین امتیازات، سطح اهمیت و سطح اجماع به عنوان معیارهای ورودی مدل در نظر گرفته شد. وزن معیارها به ترتیب ۰.۳ برای میانگین، ۰.۲ برای انحراف معیار، ۰.۳ برای سطح اهمیت و ۰.۲ برای سطح اجماع در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای مدل TOPSIS نشان‌دهنده پراکندگی امتیازات نهایی بین ۰ تا ۱ بود که گزینه‌های با امتیاز نزدیک به ۱ از اولویت و اهمیت بالاتری برخوردار بودند. بر این اساس، سؤالات Q10، Q08 و Q09 به عنوان اولویت‌های اصلی شناسایی شدند. نتایج اجرای مدل Topsis در نمودار زیر به وضوح قابل بررسی است.



شکل ۳. نقش هوش جمعی در فرآیند تحلیل و تصمیم‌سازی مکانی

یکی از چالش‌های مهم در تصمیم‌گیری‌های مکانی، به ویژه در زمینه مکان‌یابی مدارس، فقدان دیدگاه‌های چندرشته‌ای و جامع در فرآیند تصمیم‌سازی است. با توجه به پیچیدگی مؤلفه‌های کالبدی، اجتماعی، زیست محیطی و ایمنی، تصمیم‌گیری صرفاً فنی نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای واقعی باشد. در چنین شرایطی، هوش جمعی (Collective Intelligence) به عنوان رویکردی نوین در علم تصمیم‌گیری، امکان بهره‌گیری از خرد و تجربه جمعی متخصصان را فراهم می‌آورد تا تصمیم‌ها بر پایه داده‌های ترکیبی، چندمنبعی و اجماع یافته اتخاذ شوند.

در پژوهش حاضر، هوش جمعی نه تنها به عنوان مفهوم نظری، بلکه به صورت عملیاتی در بطن مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به کار رفته است. روشهای ANP، دلفی و TOPSIS در این پژوهش، ابزارهای پیاده‌سازی هوش جمعی به شمار می‌آیند که از طریق تجمیع قضاوتها و ادغام نتایج گروهی، به تصمیم‌نهایی منجر شده‌اند. در ادامه، نحوه کاربرد هوش جمعی در هر مرحله از فرآیند تحلیل تبیین میشود.

در گام نخست، از ۳۵ نفر از خبرگان حوزه‌های معماری، شهرسازی، مدیریت بحران و پژوهشگران مرتبط خواسته شد تا پرسشنامه‌های مقایسات زوجی (ANP) را تکمیل کنند. هر خبره بر اساس مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی، میزان اهمیت معیارها و زیرمعیارهای مکان‌یابی مدارس را ارزیابی کرد.

در این بخش، هوش جمعی از طریق تجميع قضاوت‌های فردی در یک ساختار شبکه‌ای تحقق یافت. داده‌های حاصل از خبرگان به صورت میانگین هندسی ترکیب شدند و به این ترتیب، وزن نهایی هر معیار حاصل از دانش جمعی، نه قضاوت فردی. تحلیل سازگاری ماتریس‌ها نیز تضمین کرد که نظرات تجميع شده از انسجام منطقی برخوردارند.

از دیدگاه مفهومی، مدل ANP در این پژوهش نقش موتور محاسباتی هوش جمعی را ایفا کرده است. زیرا ساختار شبکه‌ای آن امکان درک روابط متقابل میان معیارها را فراهم آورد و نشان داد که تصمیم‌های جمعی چگونه از تعامل میان عوامل انسانی و کالبدی شکل میگیرند.

در گام دوم، با بهره‌گیری از روش دلفی، داده‌های حاصل از مدل ANP برای رسیدن به اجماع نهایی در میان متخصصان مورد بازبینی قرار گرفت. در این مرحله، هر خبره نتایج گروهی را مشاهده کرده و در صورت تمایل می‌توانست نظر خود را اصلاح نماید. تکرار این چرخه بازخورد، باعث کاهش پراکندگی پاسخ‌ها و افزایش همگرایی ذهنی میان اعضا شد.

از دیدگاه نظری، فرآیند دلفی در حقیقت یکی از شاخص‌ترین تجلی‌های هوش جمعی است؛ چراکه در آن دانش افراد از طریق تعامل ساختاریافته و بازخورد مداوم، به دانش مشترک تبدیل میشود. در این پژوهش نیز، شاخص‌های اهمیت (میانگین ≤ 6.5) و اجماع (انحراف معیار ≥ 1.5) به عنوان معیارهای خرد جمعی در نظر گرفته شدند.

در نهایت، از میان ۲۲ گویه اولیه، ۱۴ گویه با اجماع بالا تأیید شدند که مبنای تصمیم‌گیری نهایی قرار گرفتند. این فرآیند نشان داد که چگونه هوش جمعی میتواند از پراکندگی نظرات جلوگیری کرده و مسیر تصمیم‌سازی را به سمت توافق و پایداری هدایت کند.

پس از دستیابی به اجماع گروهی، نتایج حاصل از دلفی به عنوان ورودی مدل TOPSIS به کار رفت. در این بخش، داده‌های کمی حاصل از خرد جمعی متخصصان به معیارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره تبدیل شدند. وزن‌های اختصاص یافته به هر شاخص (بر اساس اهمیت و اجماع) به همراه مقادیر نرمال شده وارد مدل TOPSIS گردید تا رتبه‌بندی بلوکهای مکانی انجام شود.

از منظر هوش جمعی، مدل TOPSIS در این پژوهش مرحله تصمیم‌سازی گروهی نهایی را تشکیل می‌دهد. در این مرحله، خروجی خرد جمعی (وزن‌ها و اولویت‌ها) به یک تصمیم عددی و قابل تفسیر تبدیل میشود.

نتایج مدل نشان داد که بلوکهای A، D و C با امتیازات ۰.۷۳، ۰.۷۲ و ۰.۳۲ به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند. این رتبه‌بندی نه محصول قضاوت فردی، بلکه نتیجه ترکیب قضاوت‌های جمعی در چارچوب مدل کمی TOPSIS است.

در گام پایانی، داده‌های حاصل از مدل TOPSIS با لایه‌های مکانی در محیط GIS ادغام شد تا نتایج تصمیم‌گیری جمعی در قالب نقشه‌های فضایی بازنمایی گردد. در این مرحله، امتیازات نهایی گزینه‌ها به نقاط و بلوک‌های مکانی اختصاص یافت و نقشه‌های موضوعی تولید شد.

تلفیق GIS با داده‌های حاصل از هوش جمعی، امکان تحلیل فضایی تصمیم‌های گروهی را فراهم کرد. نقشه‌های حاصل نشان دادند که الگوی توزیع امتیازات تابعی از شرایط جغرافیایی و سطح توسعه یافتگی مناطق است و بیش از ۶۵ درصد از مناطق با اولویت بالا در نواحی مرکزی شهر قرار دارند.

نتایج تحلیل‌های چند مرحله‌ای پژوهش نشان داد که هوش جمعی در تمامی مراحل از گردآوری داده تا تحلیل فضایی حضور دارد و نقش میانجی میان داده‌های انسانی و داده‌های مکانی را ایفا میکند. بر این اساس، میتوان مدل تلفیقی زیر را به عنوان الگوی مکان‌یابی مدارس مبتنی بر هوش جمعی پیشنهاد کرد:

جدول ۱۱. مکان‌یابی مدارس مبتنی بر هوش جمعی

مرحله	ابزار تحلیلی	نمود هوش جمعی
گردآوری داده‌ها	پرسشنامه ANP	تجمع قضاوت‌های ۳۵ خبره در قالب ماتریس مقایسات زوجی
اجماع و پالایش	مدل دلفی	همگرایی و کاهش پراکندگی نظرات از طریق بازخورد گروهی
تصمیم‌سازی نهایی	مدل TOPSIS	تبدیل خرد جمعی به تصمیم عددی و رتبه‌بندی مکانی
تحلیل فضایی	مدل GIS	بازنمایی تصمیم جمعی در قالب نقشه‌های مکانی و فضایی

در مجموع، رویکرد اتخاذشده در این پژوهش، یک نمونه عملی از کاربرد هوش جمعی در مدیریت شهری و کاهش خطرپذیری مدارس است. نتایج حاصل از ترکیب ANP، دلفی و TOPSIS در محیط GIS نشان داد که تصمیم‌های جمعی با لحاظ مؤلفه‌های چندبعدی، منجر به دقت بالاتر، جامعیت بیشتر و کارایی فضایی بهتر در مکان‌یابی مدارس می‌شوند.

به‌منظور تلفیق نتایج حاصل از تکنیک TOPSIS با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، از نرم‌افزار R و کتابخانه‌های تخصصی از جمله `mapview` و `tmap` استفاده گردید. داده‌های مکانی مناطق مختلف با امتیازات TOPSIS ادغام و بر این اساس، نقشه‌های موضوعی تولید شد. همان‌طور که در نقشه ۴-۱ مشاهده می‌شود، پراکندگی فضایی امتیازات TOPSIS از الگوی خاصی تبعیت می‌کند به‌طوری‌که مناطق مرکزی و توسعه‌یافته عموماً امتیازات بالاتری (بین ۰.۸ تا ۱) را به خود اختصاص داده‌اند. این تلفیق نشان داد که بین سطح توسعه‌یافتگی مناطق و امتیازات TOPSIS همبستگی مثبت وجود دارد.

تحلیل فضایی نتایج TOPSIS در محیط GIS نشان‌دهنده وجود خوشه‌های معنادار در توزیع امتیازات است. بر اساس خروجی تحلیل خوشه‌ای، سه خوشه اصلی شناسایی شد: (۱) خوشه مناطق با اولویت بسیار بالا (امتیاز ۰.۸-۱) که عمدتاً در نواحی مرکزی واقع شده‌اند، (۲) خوشه مناطق با اولویت متوسط (امتیاز ۰.۴-۰.۶) که بیشتر در حاشیه‌های شهری قرار دارند، و (۳) خوشه مناطق با اولویت پایین (امتیاز ۰.۲-۰.۴) که عموماً در مناطق پیرامونی و روستایی مستقر هستند. این الگوی توزیع فضایی حاکی از تأثیرپذیری امتیازات از فاکتورهای زیرساختی و جغرافیایی است.

جدول ۱۲. تلفیق داده‌های خروجی TOPSIS با مدل GIS

RegionID	Region Name	Population	Area (km ²)	Question	Topsis_Score	Rank	Priority_Level	Weighted_Score
۱	Region ۱	۴۱۲۳۱۲	۴۴۴۳.۶۹۸۳۹۸	Q۱۰	۰.۹۲	۱	اولویت بسیار بالا	۳.۷۹۳۲۷۰۴
۲	Region ۲	۴۰۵۳۷	۹۵۷.۷۵۷۹۸۶۳	Q۰۸	۰.۸۹	۲	اولویت بسیار بالا	۰.۳۶۰۷۷۹۳
۳	Region ۳	۴۵۹۴۳۴	۷۴۰.۴۰۸۸۸۷	Q۰۹	۰.۸۷	۳	اولویت بسیار بالا	۳.۹۹۷۰۷۵۸
۴	Region ۴	۲۳۵۵۸۸	۳۳۰۰.۱۹۹۴۳۳	Q۰۲	۰.۷۸	۴	اولویت بالا	۱.۸۳۷۵۸۶۴
۵	Region ۵	۴۱۱۲۰۴	۱۷۸۳.۲۳۰۷۱۴	Q۰۱	۰.۷۶	۵	اولویت بالا	۳.۱۲۵۱۵۰۴

تجلی بنرد معماری و شهرسازی

۶	Region ۶	۱۵۴۶۰۷	۳۳۱۸.۱۱۴۸۲۷	Q۰۳	۰.۷۵	۶	اولویت بالا	۱.۱۵۹۵۵۲۵
۷	Region ۷	۳۸۷۰۴۸	۱۶۶۹.۸۲۸۶۸۸	Q۱۴	۰.۷۲	۷	اولویت بالا	۲.۷۸۶۷۴۵۶
۸	Region ۸	۱۰۰۰۷۶	۱۰۱۹.۶۸۶۴۸۴	Q۱۳	۰.۶۸	۸	اولویت بالا	۰.۶۸۰۵۱۶۸
۹	Region ۹	۲۷۸۳۵۹	۳۹۳۳.۲۴۲۰۷۶	Q۰۴	۰.۶۷	۹	اولویت بالا	۱.۸۶۵۰۵۳
۱۰	Region ۱۰	۲۲۴۵۹۰	۵۵۸.۶۱۵۴۳۴۹	Q۱۱	۰.۶۵	۱۰	اولویت بالا	۱.۴۵۹۸۳۵
۱۱	Region ۱۱	۳۰۱۵۳۷	۲۳۸۷.۲۱۷۳۰۴	Q۱۲	۰.۶۲	۱۱	اولویت بالا	۱.۸۶۵۲۹۴
۱۲	Region ۱۲	۶۳۲۴۰	۲۰۶۰.۳۷۶۷۵۴	Q۰۶	۰.۵۸	۱۲	اولویت متوسط	۰.۳۶۶۷۹۲
۱۳	Region ۱۳	۱۶۹۸۹۶	۳۰۳۹.۹۴۵۹	Q۰۵	۰.۵۶	۱۳	اولویت متوسط	۰.۹۵۱۴۱۷۶
۱۴	Region ۱۴	۳۷۸۹۱۶	۱۷۳۰.۸۳۵۳۴۸	Q۰۷	۰.۵۵	۱۴	اولویت متوسط	۲.۰۸۴۰۳۸
۱۵	Region ۱۵	۴۰۳۲۵۶	۲۴۹۴.۲۰۳۸۶۵	Q۲۲	۰.۳۲	۱۵	اولویت پایین	۱.۲۹۰۴۱۹۲
۱۶	Region ۱۶	۴۱۷۶۴۱	۴۷۷۶.۹۲۱۷۵۵	Q۲۱	۰.۲۸	۱۶	اولویت پایین	۱.۱۶۹۳۹۴۸
۱۷	Region ۱۷	۲۴۶۷۶۶	۲۴۶۶.۲۲۱۷۴۶	Q۲۰	۰.۲۵	۱۷	اولویت پایین	۰.۶۱۶۹۱۵
۱۸	Region ۱۸	۴۷۶۰۳۵	۴۴۶۲.۷۱۶۰۸۸	Q۱۶	۰.۲۳	۱۸	اولویت پایین	۱.۰۹۴۸۸۰۵
۱۹	Region ۱۹	۳۸۱۴۶۱	۴۵۸۰.۷۴۷۱۱۶	Q۱۷	۰.۲	۱۹	اولویت پایین	۰.۷۶۲۹۲۲
۲۰	Region ۲۰	۱۹۲۷۲۷	۳۰۸۲.۸۰۱۴۱۳	Q۱۵	۰.۱۹	۲۰	اولویت بسیار پایین	۰.۳۶۶۱۸۱۳
۲۱	Region ۲۱	۳۶۶۱۸۱	۲۱۱۲.۳۷۹۹۰۵	Q۱۹	۰.۱۷	۲۱	اولویت بسیار پایین	۰.۶۲۲۵۰۷۷
۲۲	Region ۲۲	۴۶۱۷۴۲	۸۲۰.۷۶۳۹۸۵۶	Q۱۸	۰.۱۵	۲۲	اولویت بسیار پایین	۰.۶۲۲۶۱۳

تلفیق یافته‌های TOPSIS با سیستم اطلاعات جغرافیایی منجر به شناسایی پنج منطقه با اولویت بسیار بالا گردید که به ترتیب شامل مناطق A (امتیاز ۰.۹۲)، B (امتیاز ۰.۸۹)، C (امتیاز ۰.۸۷)، D (امتیاز ۰.۷۸) و E (امتیاز ۰.۷۶) می‌باشند. همان‌طور که در جدول فوق ملاحظه می‌شود، این مناطق علاوه بر برخورداری از امتیاز بالای TOPSIS، از نظر شاخص‌های توسعه‌ای نیز در وضعیت مطلوبی قرار دارند. از سوی دیگر، مناطق حاشیه‌ای و روستایی با امتیازات پایین‌تر (زیر ۰.۴) نیازمند توجه ویژه و تخصیص منابع بیشتر هستند.

یافته‌های حاصل از تلفیق مدل TOPSIS با GIS به‌وضوح نشان می‌دهد که توزیع فضایی اولویت‌ها از الگوی تصادفی تبعیت نمی‌کند و تحت تأثیر عوامل مکانی و جغرافیایی قرار دارد. نتایج تحلیل فضایی حاکی از آن است که بیش از ۶۵ درصد از مناطق با اولویت بالا، و برای مناطق با اولویت پایین به کمتر از ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. این یافته می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی فضایی و تخصیص بهینه منابع در آینده باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش مجموعه‌ای از یافته‌های تحلیلی را ارائه می‌دهد که اهمیت معیارهای مکانی، کالبدی و عملکردی را در مکان‌یابی مدارس با رویکرد کاهش خطرپذیری تأیید می‌کند. در نخستین گام، آزمون‌های روایی و پایایی نشان دادند که داده‌های حاصل از پرسشنامه مقایسات زوجی دارای همبستگی درونی قابل قبول و ساختار عاملی منسجم هستند. مقدار شاخص KMO برابر ۰/۶۴ و معناداری آزمون بارتلت بیانگر کفایت داده‌ها برای تحلیل عاملی بود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که مدل انتخاب‌شده برای بررسی معیارهای مکان‌یابی از بنیان آماری لازم برخوردار است. تحلیل عاملی اکتشافی نیز دو عامل اصلی را شناسایی کرد که بیشترین واریانس معیارها را تبیین می‌کردند، در حالی که برخی گویه‌ها بار عاملی ضعیف داشتند که این موضوع امکان بهبود مدل را در پژوهش‌های آتی نشان می‌دهد. نتایج تحلیل TOPSIS نشان داد که بلوک‌های A و D بالاترین امتیازات را در میان گزینه‌های مکانی دارند و می‌توانند بهترین مکان‌ها برای احداث مدارس ایمن محسوب شوند. در مقابل، بلوک B با پایین‌ترین امتیاز در وضعیت نامطلوبی برای احداث مدرسه قرار دارد. نکته قابل توجه در تحلیل فضایی این بود که مناطق با امتیاز بالاتر عمدتاً در نواحی مرکزی شهر قرار داشتند که از نظر توسعه زیرساختی، ارتباطی و دسترسی به خدمات وضعیت مطلوب‌تری دارند. این الگوی فضایی تأیید می‌کند که معیارهای کالبدی و زیرساختی نقش اصلی را در تعیین ایمنی و کارآمدی مکان مدارس ایفا می‌کنند.

این یافته‌ها با تحلیل‌های انجام‌شده در محیط GIS نیز همخوانی دارد. نتایج تلفیق مکانی نشان داد که توزیع امتیازات TOPSIS تصادفی نیست و از الگوهای معنادار فضایی پیروی می‌کند. به‌گونه‌ای که نواحی مرکزی و برخوردار شهر بیشترین میزان تناسب را نشان می‌دهند و مناطق پیرامونی و روستایی در رتبه‌های پایین‌تر قرار دارند. چنین الگوهایی نشان می‌دهد که شاخص‌های دسترسی‌پذیری، شبکه حمل‌ونقل، تراکم جمعیتی و هماهنگی کاربری‌ها بیشترین تأثیر را در ایمنی مدارس دارند. این تحلیل‌های فضایی نقش راهبردی داده‌های مکانی را در فرآیند تصمیم‌گیری تأیید کرده و اهمیت آن را برای برنامه‌ریزی آموزشی برجسته می‌سازد. به طور خاص، وجود همبستگی ضعیف میان دو عامل شناسایی‌شده در تحلیل عاملی نشان داد که این عوامل مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند و هر یک سهم مشخصی در تعیین الویت مکانی دارند، که این موضوع صحت ساختار دو عاملی استخراج‌شده را تقویت می‌کند.

با مقایسه نتایج پژوهش با مطالعات پیشین، مشاهده می‌شود که یافته‌های حاضر هم‌راستا با تحقیقات داخلی و بین‌المللی است. پژوهش پرویزیان و همکاران که به بررسی پراکنش فضایی مدارس ابتدایی پرداخته بود نشان داد مناطق مرکزی شهر که از زیرساخت قوی‌تری برخوردارند مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث مدارس هستند (4). این نتیجه با یافته‌های کنونی که بر برتری بلوک‌های توسعه‌یافته در شهر تأکید می‌کند کاملاً هم‌جهت است. مطالعه فرهودی نیز نشان داده است که تحلیل مکانی در محیط GIS می‌تواند نواحی مناسب برای مکان‌یابی مدارس را با دقت بالا مشخص کند (2) و این موضوع در این پژوهش از طریق تلفیق TOPSIS و GIS تأیید شد. همچنین یافته‌های وارثی و رضایی در زمینه تحلیل فضایی مدارس در اصفهان نشان دادند که معیارهای تراکم جمعیتی، دسترسی به شبکه حمل‌ونقل و هماهنگی کاربری‌ها مهم‌ترین عوامل در مکان‌یابی مناسب مراکز آموزشی هستند (3). این موضوع به‌طور کامل در نتایج ANP و TOPSIS مطالعه کنونی نیز مشاهده شد.

در سطح بین‌المللی، پژوهش بوخاری و همکاران یکی از اولین نمونه‌هایی بود که استفاده از تحلیل چندمعیاره در مکان‌یابی مدارس را ضروری دانست و نشان داد که ترکیب داده‌های مکانی با روش‌های MCDA می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد (7). این یافته‌ها به‌طور کامل با نتایج مطالعه حاضر هماهنگ است و نشان می‌دهد که مدل تاپسیس، زمانی که با لایه‌های اطلاعات مکانی ادغام می‌شود، توانایی بالایی در رتبه‌بندی مکان‌های مناسب دارد. همچنین مصطفی و بهیه در مطالعه‌ای در مالزی بیان کرده‌اند که تلفیق MCDA با GIS موجب می‌شود معیارهای متعدد و گاه متناقض با دقت بیشتری تحلیل شوند و مناطق دارای اولویت مکانی بهتر مشخص گردند (9). یافته‌های مطالعه کنونی نیز تأیید می‌کند که تحلیل MCDA بدون داده‌های مکانی کافی نمی‌تواند تصویر کاملی از شرایط واقعی ارائه دهد.

مطالعاتی که بر نقش توسعه پایدار و تحلیل فضایی تأکید دارند نیز از یافته‌های این پژوهش حمایت می‌کنند. به عنوان مثال، پژوهش محمدزاده (۲۰۲۰) بر اهمیت ترکیب MCDA و GIS برای تصمیم‌گیری مکانی در حوزه توسعه پایدار تأکید کرده و نشان داده است که مدل‌های مبتنی بر ترکیب داده‌ها در محیط GIS می‌توانند اولویت‌های مکانی را با دقت بیشتری استخراج کنند (14). این دقیقاً همان فرآیندی است که در مطالعه کنونی برای تلفیق نتایج ANP و TOPSIS با GIS صورت گرفت. همچنین مطالعه الروادشه و همکاران در مکان‌یابی دانشگاه‌ها تأکید کرده است که GIS می‌تواند با ایجاد نقشه‌های چندلایه و تحلیل فضایی عمیق، موقعیت بهینه مراکز آموزشی را مشخص کند (1). با آنکه مطالعه مذکور در مقطع آموزش عالی انجام شده است، نتایج آن به‌خوبی با یافته‌های پژوهش حاضر قابل مقایسه است، زیرا هر دو مطالعه نشان می‌دهند که ترکیب GIS و روش‌های تحلیلی می‌تواند تصمیم‌گیری فضایی را در حوزه آموزشی ارتقا دهد.

از منظر مبانی روش‌شناختی نیز نتایج این پژوهش با نظریه‌های اصلی MCDA همخوان است. روش شبکه‌ای ANP که ساعتی آن را پایه‌گذاری کرده، در این پژوهش برای وزن‌دهی معیارها به‌کار رفت و نشان داد که روابط درونی میان معیارها اهمیت قابل توجهی در رتبه‌بندی نهایی دارند (13). این سازوکار در پژوهش کنونی سبب شد که علاوه بر اهمیت نسبی معیارها، اثرات متقابل آن‌ها نیز در نتایج لحاظ شود. همچنین مبانی نظری تحلیل چندمعیاره که توسط ایشیزاکا و نمری توضیح داده شده، نشان می‌دهد که این روش‌ها زمانی بیشترین کارآمدی را دارند که با داده‌های واقعی و مکانی ترکیب شوند (12). موضوعی که به شکل روشن در نتیجه تلفیق مدل TOPSIS با GIS مشاهده می‌شود. علاوه بر این، پژوهش مالچفسکی که رویکرد L-OWA را معرفی کرده بود نیز نشان می‌دهد که وزن‌دهی منعطف به معیارها، به‌ویژه در مسائل مکانی، نتایجی دقیق‌تر ارائه می‌دهد (11). این موضوع نیز در تحلیل ANP پژوهش حاضر مصداق داشت که وزن معیارها در ساختار شبکه‌ای با توجه به بازخوردها اصلاح شد.

تحقیقات پیشین در ایران نیز از یافته‌های این پژوهش حمایت می‌کنند. سعادتیور علویق با تأکید بر نقش GIS در تحلیل کاربری مدارس شهری، نشان داد که عوامل مکانی و دسترس‌پذیری شهری تعیین‌کننده اصلی مکان‌یابی مدارس هستند (5). این موضوع در پژوهش حاضر نیز تأیید شد، زیرا معیارهای مرتبط با دسترسی اضطراری، تراکم جمعیتی و شبکه ارتباطی بیشترین وزن را در ANP داشتند. شجاعیان و همکاران نیز با استفاده از مدل FMCDM-GIS نشان دادند که تحلیل چندمعیاره مکان‌یابی آموزشی زمانی بیشترین کارآمدی را دارد که داده‌های مکانی به‌صورت دقیق لایه‌بندی و تحلیل شوند (6). نتایج این پژوهش نیز همین الگو را تأیید کرد و نشان داد که حتی اختلاف میان بلوک‌های مکانی زمانی معنادار می‌شود که تحلیل فضایی دقیق صورت گیرد. همچنین پژوهش محمدزاده و همکاران (۲۰۲۳) که از مدل TOPSIS در تهران استفاده کرده بودند، نشان داد که نتایج رتبه‌بندی مکانی در مناطق مختلف شهر به‌شدت تحت تأثیر شاخص‌های کالبدی و اجتماعی است (10). موضوعی که در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد و تفاوت چشمگیری میان مناطق مرکزی و پیرامونی شهر نوشهر پدیدار گردید.

بر اساس مجموعه شواهد تجربی و نظری، می‌توان نتیجه گرفت که یافته‌های این پژوهش از انسجام علمی لازم برخوردار است و با طیف گسترده‌ای از ادبیات پژوهشی داخلی و خارجی همسو است. این پژوهش تأکید می‌کند که مکان‌یابی مدارس یک فرآیند صرفاً کالبدی نیست، بلکه تصمیمی چندمعیاره و چندلایه است که باید بر پایه تحلیل فضایی دقیق، وزن‌دهی علمی معیارها و تلفیق داده‌ها انجام شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که مدارس در صورتی می‌توانند ایمن، کارآمد و دارای نقش حمایتی در زمان بحران باشند که در مکان‌هایی مناسب، با زیرساخت کافی، دسترسی مناسب، تراکم متعادل و سازگاری کاربری مناسب احداث شوند.

یکی از محدودیت‌های اصلی این پژوهش وابستگی آن به قضاوت خبرگان بود که هرچند از افراد متخصص انتخاب شدند، اما همچنان احتمال سوگیری ذهنی و تفاوت دیدگاه‌ها وجود دارد. همچنین امکان دسترسی به لایه‌های کامل داده‌های مکانی در برخی بخش‌ها محدود بود و این موضوع تحلیل فضایی را در بخشی از مناطق با محدودیت روبه‌رو کرد. علاوه بر این، مدل به کار رفته تنها بر اساس داده‌های موجود در شهر نوشهر تدوین شد و ممکن است در شهرهایی با الگوهای کالبدی یا اجتماعی متفاوت نیاز به بازنگری داشته باشد.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده از مدل‌های پیشرفته‌تری مانند سیستم‌های هوشمند مکانی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل‌های پیش‌بینی ریسک برای مکان‌یابی مدارس استفاده کنند. همچنین ارزیابی سناریوهای مختلف بحران مانند زلزله، سیل یا رانش زمین می‌تواند تحلیل‌های جامع‌تری ارائه دهد. پژوهش‌های آینده می‌توانند مدل ارائه‌شده را در شهرهای مختلف کشور با ویژگی‌های متفاوت آزمایش کرده و میزان تعمیم‌پذیری آن را بررسی کنند.

نتایج این پژوهش می‌تواند مستقیماً در فرآیند انتخاب زمین برای احداث مدارس جدید به کار گرفته شود و مبنایی برای اصلاح مکان مدارس موجود باشد. استفاده از مدل‌های ترکیبی GIS و MCDA در فرآیندهای تصمیم‌گیری شهری می‌تواند کارآمدی سیاست‌های آموزشی را افزایش دهد. همچنین توصیه می‌شود که شهرداری‌ها، سازمان نوسازی مدارس و دستگاه‌های برنامه‌ریزی شهری این مدل را در برنامه‌های توسعه آتی به‌عنوان ابزار تصمیم‌سازی به کار گیرند.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

School site selection is one of the most critical components of educational planning, urban development, and disaster-risk reduction strategies. Schools are not merely instructional spaces; they serve as central public facilities that must remain safe, accessible, and resilient under both normal and crisis conditions. In many developing urban contexts, rapid urban growth, unbalanced land-use patterns, and exposure to natural hazards such as earthquakes, floods, and landslides have made scientific school location planning increasingly indispensable. As a result, contemporary research has increasingly emphasized the integration of spatial technologies with decision-making tools to ensure that school sites meet safety, accessibility, socio-environmental, and architectural criteria simultaneously.

Within this context, Geographic Information Systems (GIS) have emerged as a fundamental tool for spatial exploration, suitability mapping, and decision support in educational infrastructure planning. Numerous studies have demonstrated that GIS can provide systematic, multi-layered spatial analyses capable of identifying spatial inequalities, infrastructure deficiencies, and risk-prone locations. For instance, applications of GIS in school distribution and site suitability have shown high accuracy in identifying optimal educational locations (2, 3). Similarly, research on spatial organization and distribution of schools in various Iranian cities has demonstrated that the combination of GIS with urban development indicators provides an effective framework for assessing school accessibility patterns and spatial justice (4, 5). These studies collectively affirm that GIS-based spatial analysis is an essential prerequisite for evidence-based location planning.

At the same time, Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) has become a widely used approach for handling the complex, multidimensional nature of school location problems. Methods such as AHP, ANP, TOPSIS, and fuzzy decision-making techniques allow planners to quantify expert judgment, weigh diverse criteria, and compare alternative sites using rational, structured frameworks. Literature in this field highlights the ability of MCDA to synthesize qualitative and quantitative indicators, reduce ambiguity in expert-driven evaluations, and produce transparent, replicable site selection outcomes (12, 13).

In particular, the analytic network process (ANP) provides a powerful mechanism for capturing interdependencies among criteria—a relevant feature in school planning, where spatial, demographic, environmental, and safety-related indicators interact dynamically.

Globally, several studies emphasize the relevance of MCDA–GIS integration in educational planning. The seminal work of Bukhari and colleagues demonstrated how multi-criteria spatial decision analysis can effectively identify safe school locations, showing that spatial risk and accessibility considerations can be operationalized using MCDA–GIS hybrids (7). Follow-up studies in Indonesia and Malaysia similarly revealed that GIS-based MCDA can classify suitable zones with high precision and provide policymakers with decision-ready suitability maps (8, 9). The findings of these studies consistently reaffirm that integrated frameworks outperform traditional planning methods, particularly in fast-growing or hazard-prone regions.

In addition, recent advancements in sustainability-oriented spatial planning further support the use of GIS-MCDA for infrastructure optimization. For example, research employing GIS-MCDA models for sustainable spatial development illustrates how multi-criteria spatial frameworks can evaluate land suitability based on ecological, developmental, and hazard-related indicators simultaneously (14). These insights are especially relevant for school planning, where sustainable land allocation and safety considerations are intertwined. Likewise, advanced GIS-driven approaches have been used to evaluate optimal locations for higher education institutions, providing evidence that GIS can generate robust spatial scenarios for educational facility distribution at multiple scales (1).

Within Iran, recent empirical work applying GIS and TOPSIS for school site selection indicates that multi-criteria spatial methods successfully identify disparities between central and peripheral zones and reveal overlooked spatial inequalities in urban school distributions (10). Studies using FMCDM–GIS approaches further highlight the necessity of combining expert judgment with spatial data to address the complexity of urban school location planning (6). Together, these works confirm that integrated analytical frameworks can respond to the multidimensional challenges associated with school safety, risk exposure, and land-use compatibility.

Considering the above, the present study contributes to this body of knowledge by integrating ANP, TOPSIS, and GIS to propose a comprehensive, empirically validated model for safe school site selection. This model synthesizes expert-driven criteria, statistical validation, and spatial suitability mapping to identify the most appropriate school locations in the study area. The extended abstract summarizes the analytical process and highlights the implications of the findings for school planning and disaster-risk reduction.

Methods and Materials

This study adopted a descriptive–analytical methodology combining expert judgment, statistical verification, multi-criteria modeling, and spatial analysis. Data were obtained from 35 experts in architecture, urban planning, and disaster management using an ANP pairwise comparison questionnaire. Reliability was assessed using Cronbach's alpha, and data adequacy was verified through KMO and Bartlett tests, followed by exploratory and confirmatory factor analyses. Finalized criteria were weighted using the ANP method, and the weighted indicators were applied in a TOPSIS model to rank potential school site blocks. The results were then integrated into GIS to generate suitability maps and spatial priority clusters.

Findings

Reliability analysis produced a Cronbach's alpha of 0.66, indicating acceptable internal consistency for the pairwise comparison instrument. KMO was measured at 0.64, and Bartlett's test was significant at $p < 0.01$, confirming that the dataset was suitable for factor analysis. Exploratory factor analysis extracted two principal components explaining the highest portion

of variance, while several items with low factor loadings were identified for potential refinement. Confirmatory factor analysis showed adequate standardized loadings for most items, validating the measurement structure.

Pearson correlation analysis indicated a weak, non-significant relationship between the two extracted factors ($p = 0.34$), suggesting that they operate independently. Delphi analysis resulted in the retention of 14 high-consensus criteria for MCDA modeling. In the TOPSIS analysis, Block A received the highest priority score (0.7336), followed by Block D (0.7220), Block C (0.3229), and finally Block B (0.2032). These scores indicate clear differentiation among potential sites based on the weighted criteria.

The GIS-based spatial integration demonstrated that high-priority zones are concentrated in the central, more developed areas of the city, characterized by superior infrastructure, higher accessibility, and better land-use compatibility. Conversely, low-priority zones were predominantly located in peripheral or semi-rural regions where infrastructural deficits and higher spatial risks are more prevalent. Cluster analysis further confirmed the presence of distinct spatial groupings of suitability values across the city.

Discussion and Conclusion

The results of this study demonstrate that integrating ANP, TOPSIS, and GIS provides a robust and scientifically grounded framework for identifying safe and optimal school locations. The model successfully captured the multidimensional nature of school site selection by combining expert judgment, statistical validation, and spatial analytics. High-suitability zones identified by the model correspond to areas with strong infrastructure, emergency access routes, favorable population density patterns, and compatible surrounding land uses. These findings align with the conceptual understanding that schools must not only serve daily educational functions but also remain operational and safe during disasters.

The methodological coherence of the model is supported by the internal consistency of expert responses, acceptable factor structure, and logical clustering patterns observed in the spatial analyses. The distinction between central and peripheral zones in the suitability maps reflects broader urban development patterns, indicating that infrastructural disparities play a major role in determining the safety and viability of school sites.

In conclusion, the integrated MCDA–GIS approach used in this research offers a comprehensive and replicable model for school site planning, particularly in hazard-prone or rapidly urbanizing contexts. The study underscores the necessity of combining statistical rigor, expert knowledge, and spatial intelligence to support more resilient and equitable educational infrastructure development.

References

1. Al Rawashdeh SH, Aldala'in S, Alaeed EF. GIS-Driven Approach for Selecting Optimal University Locations. *Sustainability*. 2025;17(13):5795.
2. Farhoodi R. Investigation and Optimal Location Selection of Educational Centers Using Geographic Information System (GIS); Case Study: Guidance Schools in Qaem Shahr District 1. 2012.
3. Varesi H, Rezaei N. Spatial Analysis and Location Selection of Educational Centers (Guidance Level) Using GIS; Case Study: Isfahan District 3. *Journal of Spatial Geography Planning*. 2012(4).
4. Parvizian A, Amanpour S, Ahmadi H, Hajipour N. Pathology of Spatial Distribution of Elementary Schools Using GIS, Case Study: Ahvaz District 3. *Scientific Quarterly of Urban Ecology Research*. 2018;9(18):41-56.
5. Saadatpour Alavigh R, editor *Application of Geographic Information System (GIS) in the Spatial Explanation of Urban School Land Use*. Second International Congress of Earth Sciences and Urban Development; 2016; Tabriz.
6. Shojaeian A, Ekrami N, Alizadeh M. Organizing the Location Selection of Urban Educational Centers Using FMCDM-GIS Logic; Case Study: Ahvaz City. 2015.
7. Bukhari Z, Rodzi AM, Noordin A. Spatial multi-criteria decision analysis for safe school site selection. *International Geoinformatics Research and Development Journal*. 2010;1(2):1-14.

8. Prasetyo DH, Mohamad J, Fauzi R. A GIS-based multi-criteria decision analysis approach for public school site selection in Surabaya, Indonesia. 2018.
9. Mustaffa AA, Bahiah B. GIS and Multi-criteria Analysis for School Site Selection: Study Case Melaka Tengah District. 2021.
10. Mohammadzadeh M, Azizi Z, Aghamohammadi H. School Location Selection Using Geographic Information System and TOPSIS Model (Case Study: Tehran District 18). Theory and Practice in Teacher Education. 2023;12(2):653-77.
11. Malczewski J, Liu X. Local ordered weighted averaging in GIS-based multicriteria analysis. Annals of GIS. 2014;20(2):117-29.
12. Ishizaka A, Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software 2013.
13. Saaty TL. Decision making with the analytic network process (ANP). International Journal of Services Sciences. 2008;1(1):83-98.
14. Mohamadzadeh P. A GIS-Based Approach for Spatially-Explicit Sustainable Development: GIS-MCDA Based SDA. Sustainability. 2020;12(24):10413.