

Explanation of Optimal Functional Deployment Patterns in Multi-Purpose Pedestrian-Oriented Bridges Using Space Syntax in Iran

1. Artin Samani^{ID}*: MA student, Department of Architecture, Iran University of Art, Tehran, Iran.

2. Mohammad Reza Matini^{ID}: Associate Professor, Department of Architecture, Iran University of Art, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email Address: artinsamani1379@gmail.com

How to Cite: Samani, A., & Matini, M. R. (2025). Explanation of Optimal Functional Deployment Patterns in Multi-Purpose Pedestrian-Oriented Bridges Using Space Syntax in Iran. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 3(2), 1-28.

Abstract:

The present study was conducted with the aim of formulating a scientific framework for the optimal organization of functional spaces in multi-purpose pedestrian-oriented bridges in Iran. The main research problem concerns how a spatial model can be proposed that not only meets the functional requirements of the bridge, but also enhances user experience and facilitates the emergence of social interactions within these environments. Pedestrian bridges in urban contexts containing rivers and waterways have the potential to operate beyond the role of a mere passageway and to transform into spaces for pause and events. Research indicates that most studies worldwide—and especially in Iran—have been concentrated on the structural and physical aspects of bridges, while functional dimensions and spatial configuration analyses in multi-purpose bridges have been comparatively underexplored. Meanwhile, the design of such multi-functional spaces requires a generative approach capable of objectively and measurably representing configurational relationships. Accordingly, the present study employs the quantitative method of Space Syntax as its theoretical framework and analytical tool—a methodology that, through modeling and evaluating spatial configuration relationships, enables the prediction of areas suitable for events, interaction, and retreat. Within this framework, the functional spaces of the bridge are modeled as nodes within a spatial network, together with their connections, in the Grasshopper–Rhino environment, and various configuration scenarios are developed based on common spatial organization patterns. The key Space Syntax indices are then extracted using computational simulation and serve as the basis for a comparative evaluation of the scenarios. By integrating theoretical analysis and generative design, this process establishes the groundwork for presenting a data-driven and locally adaptable model for the optimal organization of pedestrian-oriented bridges in various Iranian contexts.

Keywords: Multi-purpose pedestrian-oriented bridge, spatial configuration, Space Syntax, generative design, spatial pattern optimization.

Received: 08 April 2025

Revised: 27 July 2025

Accepted: 04 August 2025

Published: 19 September 2025



Copyright: © 2025 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

تبیین الگوهای بهینه استقرار عملکردی در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره با بهره‌گیری از نحو فضا در ایران

۱. آرتین سامانی^{id*}: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

۲. محمدرضا متینی^{id}: دانشیار، گروه معماری، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: artinsamani1379@gmail.com

نحوه استناددهی: سامانی، آرتین، و متینی، محمدرضا. (۱۴۰۴). تبیین الگوهای بهینه استقرار عملکردی در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره با بهره‌گیری از نحو فضا در ایران. تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۳(۲)، ۱-۲۸.

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تبیین چارچوبی علمی برای سامان‌دهی بهینه فضاهای عملکردی در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره در ایران انجام شده است. در این پژوهش مسئله اصلی آن است که چگونه می‌توان الگویی فضایی ارائه کرد که ضمن پاسخ به الزامات عملکردی پل، کیفیت تجربه کاربر و امکان شکل‌گیری تعاملات اجتماعی را در این عرصه‌ها ارتقاء دهد. پل‌های پیاده در بسترهای شهری دارای رودخانه و آبراهه، ظرفیت آن را دارند که فراتر از یک گذرگاه عمل کرده و به عرصه‌هایی برای مکث و رویداد بدل شوند؛ تحقیقات نشان می‌دهند که اغلب مطالعات در جهان و به ویژه ایران بر جنبه‌های سازه‌ای و کالبدی پل‌ها متمرکز بوده و کمتر بر پایه جنبه‌های عملکردی و تحلیل‌های پیکربندی فضایی در پل‌های چندمنظوره بررسی شده است. در حالی که طراحی این فضاهای چندمنظوره نیازمند نگرشی مولد است که بتواند روابط پیکربندی را به صورت عینی و قابل‌سنجش بازنمایی کند. بنابراین، پژوهش حاضر از روش کمی «نحو فضا» به عنوان چارچوب نظری و ابزار تحلیلی بهره می‌گیرد؛ رویکردی که با مدل‌سازی و ارزیابی روابط پیکربندی فضایی، امکان پیش‌بینی عرصه‌هایی برای شکل‌گیری رویداد، تعامل و خلوت‌گزینی را فراهم می‌آورد. در این چارچوب، فضاهای عملکردی پل به صورت نقاطی در شبکه فضایی به همراه پیوندهایشان در محیط گرس‌هاپر-راینو مدل‌سازی شده و بر پایه الگوهای رایج سازماندهی فضایی، سناریوهای مختلف پیکربندی تدوین شده‌اند. سپس شاخص‌های کلیدی نحو فضا از طریق شبیه‌سازی محاسباتی استخراج و مبنای ارزیابی مقایسه‌ای سناریوها قرار گرفته است. این فرایند با ترکیب تحلیل نظری و طراحی مولد، زمینه را برای ارائه الگویی داده‌محور و قابل بومی‌سازی جهت سازماندهی بهینه پل‌های پیاده‌محور در بسترهای مختلف ایران فراهم می‌آورد.

کلیدواژگان: پل پیاده‌محور چندمنظوره، پیکربندی فضایی، نحو فضا، طراحی مولد، بهینه‌سازی الگوهای فضایی.

تاریخ دریافت: ۱۹ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۵ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۲۸ شهریور ۱۴۰۴



مقدمه

پل‌ها در طول تاریخ همواره نقشی کلیدی در پیوند گسست‌های جغرافیایی، کالبدی و اجتماعی ایفا کرده و از کارکرد صرفاً عبوری به فضاهایی چندعملکردی نظیر اقامتگاه‌ها، منظرگاه‌ها و حتی زیرساخت‌هایی برای کنترل جریان‌های آبی تکامل یافته‌اند. در گذشته، پل‌های برون‌شهری در ایران برای اقامت سربازان و نگهبانان بکار برده می‌شد و در داخل شهرها به‌عنوان سکونتگاه‌ها، نظرگاه‌هایی برای حاکمان و نیز گره‌های ارتباطی میان محلات عمل می‌کردند. امروزه، این روند به‌ویژه در پل‌های پیاده‌محور ادامه یافته است؛ ساختارهایی که علاوه بر عملکرد عبوری، ظرفیت بالایی در ایجاد پویایی فضایی و تقویت تعاملات اجتماعی دارند. شهرهای واقع در بسترهای متنوع ایران، به‌واسطه موقعیت‌های خاص جغرافیایی خود، پذیرای رودخانه‌ها و آبراهه‌های متعددی هستند که از دامنه‌های البرز و زاگرس سرچشمه می‌گیرند. این جریان‌های حیاتی، علاوه بر ارزش‌های زیست محیطی و منظرین، بستری مطلوب برای احداث پل‌هایی فراهم کرده‌اند که می‌توانند یکپارچگی فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی شهرها را در بسترهای مشابه تقویت کنند. در این میان، پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره این قابلیت را دارند که به عرصه‌های عمومی با کیفیت فضایی ممتاز در سطح شهر تبدیل شده و فراتر از کارکرد عبوری، بستری برای مکث، تعامل، و تجربه مشترک شهروندان فراهم آورند. از آنجا که این پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره برای مردم طراحی می‌شوند، ساختار فضایی آن‌ها باید به گونه‌ای سامان یابد که جریان‌های حرکتی را به صورت هدفمند هدایت کرده و تعاملات اجتماعی را در میان افراد گسترش دهد. آبراهه‌های موجود در این شهرها ظرفیت ایجاد چنین فضاهایی را دارند؛ فضاهایی که نه تنها بخش‌های گسسته شهری را متصل می‌کنند، بلکه به رونق و سرزندگی محیط پیرامون و بستر رودخانه نیز می‌افزایند. دسترسی به این کارکردها مستلزم سازماندهی فضایی دقیق و هوشمندانه‌ای است که جریان‌های حرکتی و نقاط مکث را به گونه‌ای هدایت کند که تعاملات اجتماعی و کیفیت تجربه فضایی به حداکثر برسد. بنابراین در پژوهش حاضر مسئله اصلی، دستیابی به الگویی بهینه برای نحوه استقرار فضاها و نیز ارتباط آن‌ها با فضاهای مختلف در پل‌های چندمنظوره پیاده است؛ الگویی که علاوه بر پاسخگویی به نیازهای عملکردی، کیفیت تجربه و حضور کاربر را ارتقاء دهد. حال، با توجه به ضرورت سازماندهی فضایی در جهت جذب و مشارکت هرچه بیشتر مخاطبان، این پرسش مطرح می‌شود که چگونه می‌توان الگویی بهینه برای چیدمان و نحوه ارتباط میان فضاها در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره متناسب با بسترهای مختلف ایران استخراج کرد؟ این سؤال نه تنها به جنبه‌های عملکردی پل‌ها متمرکز است، بلکه بُعد کیفی تجربه فضایی و نقش پل به‌عنوان گره شهری فعال و مقصد اجتماعی را نیز در نظر می‌گیرد. فرایند رسیدن به پاسخ نیازمند بهره‌گیری از روشی تحلیلی و داده‌محور است که بتواند فراتر از ارزیابی‌های شخصی و سلیقه‌ای عمل کند.

هدف این پژوهش، تدوین چارچوبی علمی برای سازماندهی بهینه‌تر فضایی پل‌های پیاده‌محور در آبراهه‌های واقع در بسترهای فرهنگی و اقلیمی ایران با بهره‌گیری از روش «نحو فضا» است؛ رویکردی کمی که نخستین بار توسط بیل هیلبر و همکاران معرفی شد (1) و امکان تحلیل پیکربندی فضایی و روابط میان فضاها را فراهم نمود. در این نگرش، فضاهای عملکردی پل پیاده، به مثابه گره‌های اصلی در پیکربندی فضایی مدل‌سازی می‌شوند. سپس، سناریوهای مختلف اتصال این گره‌ها بر پایه سازمان‌دهی‌های رایج فضایی (خطی، حلقوی، شعاعی و ترکیبی) طراحی و در محیط‌های تحلیلی تخصصی همچون گرس‌هاپر با ابزار سیستماتیک ارزیابی می‌شوند. شاخص‌های کمی نحو فضا، از جمله ادغام فضایی، انتخاب، کنترل و آنتروپی، استخراج و پس از وزن‌دهی براساس نمونه‌های موردی

برجسته، مقایسه و رتبه‌بندی خواهند شد. خروجی این فرایند، الگوهای بهینه فضایی و فنی پیشنهادی است که ضمن تضمین کیفیت تجربه فرد و عملکرد ارتباطی، قابلیت تعمیم به پروژه‌های مشابه در سایر شهرهای ایران را نیز دارد.

پیشینه پژوهش

نقش پل در فضای عمومی

پل‌ها در بستر تاریخ، نقشی حیاتی در پیوند فضاهای گسسته شهری، تسهیل جریان‌های اقتصادی، گسترش تبادلات فرهنگی و حفظ یکپارچگی کالبدی شهرها ایفا کرده‌اند. عبدی متذکر می‌شود که در گذشته، یکی از راه‌حل‌های بنیادین برای توسعه و تداوم ساختار کالبدی شهرها، احداث پل‌هایی بود که فراتر از کارکرد عبوری خود، به عناصری موثر در شبکه حمل‌ونقل زمینی بدل شده و پیوند میان شهرها، جوامع و ملت‌ها را برقرار می‌ساختند (2). از پل‌های دوران باستان تا ساختارهای عصر معاصر، تغییرات عملکردی و فضایی این عناصر بازتابی از تحولات اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و فناوری در هر دوره تاریخی بوده است. احتشامی در همین راستا بیان می‌کند که «پل‌ها همواره سیر تکاملی بر خود داشته و از شاهکارهای طراحان در ایجاد ارتباط بین جوامع مختلف بوده‌اند» (3). در ایران نیز، روند تاریخی پل‌سازی که در آثار هرودوت و ویل دورانت ثبت شده، با نیازهای استراتژیک، نظامی و حکومتی پیوند داشته است (4). نژاد ابراهیمی خاطرنشان می‌کند که قرارگیری ایران در مسیر شاهراه‌های ارتباطی، به‌ویژه جاده ابریشم، مردم را به ساخت گذرگاه‌هایی برای عبور از موانع طبیعی، از جمله رودخانه‌ها واداشت (5). امروزه با گسترش فناوری و ورود به عصر دیجیتال، کاهش تحرکات روزمره در شهرها ضرورت شکل‌گیری فضاهای عمومی پویا را دوچندان کرده است؛ چنان‌که یان‌گل یادآور می‌شود: «امروزه بسیاری به زندگی بیش از پیش خصوصی روی آورده‌اند» (6). در چنین بستری، بازتعریف نقش عناصر زیرساختی در امتداد حیات شهری برای بازگرداندن سرزندگی به فضاهای جمعی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از این عناصر حیاتی، پل‌ها هستند که می‌توانند با تقویت پیوند میان بافت‌های شهری گسسته، انسجام لایه‌های کالبدی و هویتی شهر را بازآفرینی کنند.

جایگاه پل در شهر

به‌عنوان یکی از عناصر بنیادین کالبد شهری، پل همواره نقشی تعیین‌کننده در سازمان فضایی شهرها داشته است؛ ازاین‌رو بررسی رابطه آن با ساختار فضایی شهر اهمیت می‌یابد. در همین راستا، انگلسمن بیان می‌کند که از آنجا که شهرها برای انسان‌ها ساخته می‌شوند، پل‌های شهری نیز باید در مقیاسی انسانی و متناسب با نیازهای اجتماعی در پیکره شهر طراحی شوند (7). سالاماک در زمینه سیر توسعه شهرها، یادآور می‌شود که احداث پل‌ها و مسیرهای وابسته به آن‌ها به‌صورت مستمر در تحول بافت شهری، شکل‌گیری خطوط ارتباطی و گسترش فضایی اثرگذار بوده است (8). افزون بر این، از دید چانگ، پل می‌تواند عرصه‌ای برای زیست فرهنگی و تجربه جمعی باشد؛ به‌طوری‌که در شهرهایی همچون ونیز، حیات روزمره و هویت فرهنگی شهر با پل‌هایش درهم‌تنیده است (9). همچنین ولس نیز گذر از پل را نوعی مواجهه‌ی تدریجی با منظر، بافت و زندگی شهری می‌داند (10). چنین قابلیت، زمینه شکل‌گیری بحث درباره ضرورت وجودی پل فضای پیاده را فراهم می‌سازد.

ضرورت شکل‌گیری پل‌های چندمنظوره

در سیر تحول تاریخی، نگرش به پل از بنایی تک‌عملکردی به عنصری با کیفیت‌های فضایی متنوع تغییر یافته است؛ سازه‌ای که با ترکیب عملکردهای عبوری، تفریحی، فرهنگی و منظرین، خود را با نیازهای پیچیده حیات شهری هم‌سو ساخته است. ناظمی و همکارانش این تحول تدریجی را بازتاب مسیری می‌دانند که طی آن، پل به بستری برای تامین نیازهای فردی، پیوندهای اجتماعی و تقویت خاطره ذهنی و هویت معنوی بدل شده است (4). در همین راستا، پورمحمدی بیان می‌کند که تحقق مفهوم *پل‌فضا* مستلزم درکی جامع از پیوند میان کالبد، رفتار و معناست؛ چراکه چنین عنصری، علاوه بر ایفای نقش عبوری، به عرصه‌ای برای مکث، تعامل و درک منظر پیرامونی تبدیل می‌گردد (11). بدین ترتیب، ارزش پل‌های پیاده را باید فراتر از زیرساخت فنی دانست و پل‌فضای پیاده‌محور را به‌عنوان بخشی از سامانه کالبدی - اجتماعی شهر تلقی کرد (7). ظرفیتی که با سازمان‌دهی هم‌زمان فضاها، چهره‌ای نو از پل پیاده به‌عنوان بخشی زنده از شبکه فضایی و فرهنگی شهر ارائه می‌دهد. در ادامه، به بررسی و تحلیل پل‌فضاهای پیاده در ایران و جهان جهت تبیین مطلوب ترین فضاها در پل فضاهای پیاده بسترهای معتدل و مرطوب ایران خواهیم پرداخت.

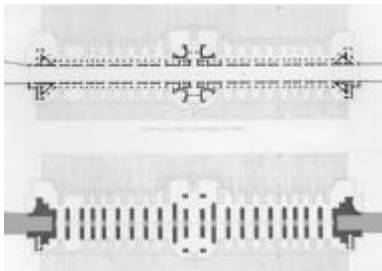
تحلیلی بر نمونه‌های برگزیده ییاده‌محور چندمنظوره

حال برای تعیین و ارزش‌گذاری فضاهای عملکردی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره، در جداول ۲ و ۱ به بررسی و تحلیل نمونه‌های برجسته و موفق اجرا شده چند قرن اخیر در ایران و جهان می‌پردازیم.

جدول ۱: نمونه‌های برجسته در ایران

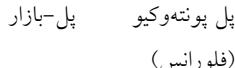
[illegible]

این نکته لازم به ذکر است که در هر نمونه، از بالا به پایین از وزن فضاها کاسته می‌شود.¹

پل خاجو (اصفهان)	پل - سکونتگاه تفرجگاهی		پل خاجو (منبع: کوست، ۲۰۱۳)
کوشک شاهی و کوشک‌های فرعی، دالان‌های حرکتی طبقه اول و زیرین، فضاهای چندعملکردی (مروج‌تریتی و چندعملکردی در پورنادری، ۱۳۹۲). ایوانچه‌ها و طبقه زیرین، ایوانچه‌های اصلی در طبقه فوقانی واقع نظرگاهی طبقه شده‌اند؛ همچنین سکوهای فوقانی پلکانی وسیع، و فضاهای زیرین پل برای نشستن و تعامل، کیفیتی پویا فراهم می‌کنند (معماریان، ۱۳۹۵، ۵۷).	کوشک شاهی و کوشک‌های فرعی، دالان‌های حرکتی طبقه اول و زیرین، فضاهای چندعملکردی (مروج‌تریتی و چندعملکردی در پورنادری، ۱۳۹۲). ایوانچه‌ها و طبقه زیرین، ایوانچه‌های اصلی در طبقه فوقانی واقع نظرگاهی طبقه شده‌اند؛ همچنین سکوهای فوقانی پلکانی وسیع، و فضاهای زیرین پل برای نشستن و تعامل، کیفیتی پویا فراهم می‌کنند (معماریان، ۱۳۹۵، ۵۷).		

پل طبیعت (تهران)	پل ارتباطی - نظرگاهی		پل طبیعت (منبع: Sina Ahmadi and Mohammad Hassan Ettefagh, ۲۰۱۴)
پل طبیعت پارک طالقانی را در چند لایه، شرق به پارک آب و آتش در قسمت غربی متصل می‌کند. در عرصه‌های ارتباط میان فضاهای مسیر اصلی حرکت در سه لایه، جنبه غالب به خود گرفته‌است به گونه‌ای که، افراد را بیشتر به تماشای در حین حرکت واداشته است تا اینکه خود، مکانی برای ماندن و گردش آمدن باشد. بنابراین کافه و غرفه‌ها مسیرها در کنار عرصه‌های چندمنظوره، فرصت دید و تا حدی مکث را در برخی نقاط فضاهای ایجاد می‌کند؛ خدماتی	پل طبیعت پارک طالقانی را در چند لایه، شرق به پارک آب و آتش در قسمت غربی متصل می‌کند. در عرصه‌های ارتباط میان فضاهای مسیر اصلی حرکت در سه لایه، جنبه غالب به خود گرفته‌است به گونه‌ای که، افراد را بیشتر به تماشای در حین حرکت واداشته است تا اینکه خود، مکانی برای ماندن و گردش آمدن باشد. بنابراین کافه و غرفه‌ها مسیرها در کنار عرصه‌های چندمنظوره، فرصت دید و تا حدی مکث را در برخی نقاط فضاهای ایجاد می‌کند؛ خدماتی		

جدول ۲: نمونه‌های برجسته در جهان

نمونه‌ها	نوع پل	تصویر	فضاهای عملکردی غالب	تحلیلی بر جریان حرکت و توقف	مقایسه ارزش فضاها
پل پونته و کیو (فلورانس)	پل - بازار		فضاهای تجاری، فضای نظرگاهی، دالان حرکتی	پل پونته و کیو، که از دوران قرون وسطی پابرجاست، یکی از نمونه‌های شاخصی است که مرز میان زیرساخت و فضای شهری را درهم می‌شکند. (Wang, ۲۰۱۷) (عملکردی)	پل پونته و کیو، که از دوران قرون وسطی پابرجاست، یکی از نمونه‌های شاخصی است که مرز میان زیرساخت و فضای شهری را درهم می‌شکند. (Wang, ۲۰۱۷) (عملکردی)
			مغازه‌هایی که در دو سوی آن تعبیه شده‌اند، از گذشته تاکنون بستری فعال برای فعالیت‌های تجاری و دالان حرکتی	مغازه‌هایی که در دو سوی آن تعبیه شده‌اند، از گذشته تاکنون بستری فعال برای فعالیت‌های تجاری و دالان حرکتی	مغازه‌هایی که در دو سوی آن تعبیه شده‌اند، از گذشته تاکنون بستری فعال برای فعالیت‌های تجاری و دالان حرکتی

ارتباطی شهر بوده است. همچنین در نظر گرفتن رواقی در امتداد رودخانه در ورود به مجموعه پل، نقش فضای مکث موثری در دعوت و هدایت افراد (نظرگاه و بازی می‌کند. فضاهای تجاری و استراحت) عملکردی در قسمت پیرامونی مسیر حرکتی واقع شده و در قسمت مرکزی گشودگی در فضا ایجاد می‌شود که فضایی برای مکث، تعامل و دید ایجاد می‌کند.



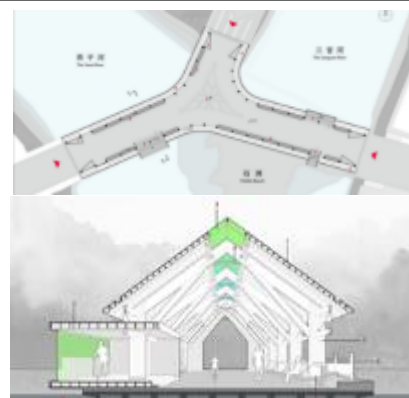
پل پونته وکیو
(منبع: Mehling, ۲۰۲۱)

پل ریالتو که در سال ۱۵۹۱ در امتداد حجره‌ها، فضای مکث (منظرگاه) بازاری به همین نام در شهر ونیز ساخته شده، نه تنها یک دستاورد سازه‌ای ارزشمند به شمار می‌رود، بلکه در نقش فضایی برای توقف، تعامل و خرید به شدت موفق واقع شده است. (Wang ۲۰۱۷) حضور پیاده مغازه‌ها در دو سوی پل، بستری فعال برای پیوند دو طرف کانال بزرگ ونیز فراهم کرده و تجربه‌ای، فراتر از عبور صرف برای شهروندان و گردشگران رقم می‌زند. سه مسیر حرکتی و فضای مکث مرکزی بستر تعاملات و نظر به رودخانه و شهر را در حین خرید ایجاد کرده است به طوریکه که مسیر مرکزی، راسته بازار را به پل متصل می‌کند و مسیرهای مجاور پیرامونی منظر طبیعی رودخانه را فراهم می‌کند.



پل ریالتو در ونیز از ضلع غربی
(منبع: Moroder, ۲۰۱۳)

پل هرینگتون بر پایه همزیستی عملکردی عملکردهای ترافیکی و غیر ترافیکی مسیر اصلی، شکل گرفته است. (randwich Design & He Wei Studio, ۲۰۲۴) فضای چندعملکردی میانی دوچرخه و موتور و مسیر حرکت پیاده در طول روز به عنوان مسیر دوچرخه و موتور بوده و در شب تبدیل به بازارهای سستی و یا فضایی برای مناسک فرهنگی می‌شود. از طرف دیگر حول مسیر مرکزی مسیر پیاده و نیز منظرگاه‌هایی در تلاقی

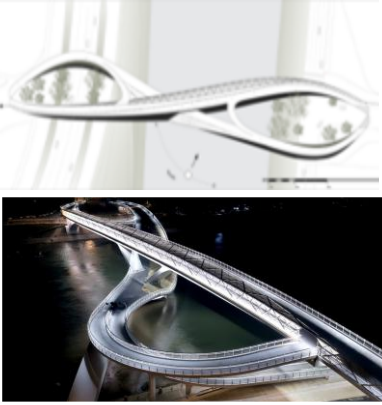
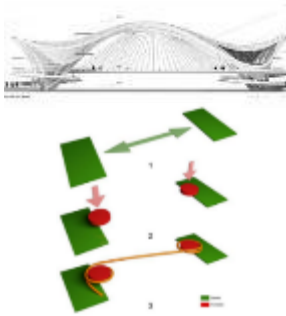


پلان و مقطع پل هرینگتون
(منبع: ArchDaily, ۲۰۲۴)

پل ریالتو
(ونیز)

پل هرینگتون
(کانگ)
ارتباطی -
تفریحی

مسیرهای حرکتی واقع شده که سبب فضاهایی برای مکث می گردد.

نمونه ها	نوع پل	تصویر	فضاهای عملکردی غالب	تحلیلی بر جریان حرکت و توقف	مقایسه ارزش فضاها
پل ووچازی (پکن)	پل ارتباطی - تفرجگاهی		فضاهای چندمنظوره، منظرگاه، مسیر حرکتی سریع (دوچرخه و دو) و مسیر حرکتی آهسته	پل ووچازی در امتداد رودخانه جین در بخش جنوبی منطقه چنگدو پکن قرار گرفته است. (Wünschmann et al., ۲۰۲۰) در این پل سعی شده تا با در نظر گرفتن حلقه بی نهایت در شکل گیری پروژه، مسیر حرکتی پیوسته و بی انتها تعریف شود تا پل را به مقصدی تفرجگاهی تبدیل کند. (Ravenscroft, ۲۰۲۰) مسیرهای حرکت سریع و آهسته به صورت مجزا تعریف شده که به عرصه هایی چند منظوره و نظرگاهی ارتباط پیدا می کنند که تا حدودی باعث ایجاد فضایی هایی برای مکث می شوند؛ هرچند که مشابه پل طبیعت بیشتر به مسیری برای تفرج تبدیل شده است.	مسیر حرکتی پیاده دوچرخه (سریع)
پل لوران سن وال (آمستردام)	چندمنظوره		رستوران، کافه، مجموعه خدماتی، مسیر حرکتی دوچرخه، مسیر حرکتی پیاده	این پل فضا از دو هسته عملکردی اصلی در دوسوی پل تشکیل شده و مسیرهای حرکتی با شیبی ملایم این دو هسته را به هم پیوند می دهند. این هسته ها از سه سطح اصلی تشکیل شده که لایه اول خدماتی، لایه دوم کافه و لایه سوم رستوران نظرگاهی است. این پروژه سعی دارد علاوه بر اینکه مسیری پویا ایجاد کند بلکه فضایی برای تعامل در فضای نظرگاهی رستوران به وجود بیاورد.	کافه و رستوران نظرگاهی مسیر حرکتی آهسته

نما و دیگرام هسته های عملکردی پل چندمنظوره لوران سن وال (منبع: Castro, ۲۰۱۲)

تحلیل نمونه‌های موردی، همراه با واکاوی ابعاد فرهنگی، جغرافیایی، اجتماعی و اقلیمی بسترهای معتدل و مرطوب ایران، نشان داد که شکل‌گیری فضاهای سرزنده در گرو وجود مجموعه‌ای از عرصه‌های مکمل است که در تعامل با هم، تداوم حرکت و تجربه مکث را ممکن می‌سازند. بر همین پایه، میدانگاه ورودی به‌عنوان فضای دعوت‌کننده و پیونددهنده با بافت شهری، کافه و فضای پذیرایی برای ارتقای ماندگاری کاربران، عرصه چندمنظوره برای رویدادهای جمعی، منظرگاه‌ها به‌عنوان نقاط اوج تجربه بصری، و در نهایت حوزه‌های خدماتی (نظیر سرویس‌ها و ایستگاه‌های دوچرخه) به‌منابه اجزای پشتیبان عملکردی، ساختار یک پل فضای پویا را شکل می‌دهند. این فضاها در امتداد شبکه‌ای پیوسته از مسیرهای پیاده و دوچرخه سازمان می‌یابند تا تعادلی میان حرکت، مکث، تعامل و مشاهده برقرار شود. بدین‌سان، چارچوب نهایی حاصل از این فرایند نه صرفاً ترکیبی از فضاها، بلکه مدلی از پیوند لایه‌های اجتماعی، عملکردی و ادراکی در کالبد پل فضاهای معاصر شمال ایران است که مبنای گام بعدی پژوهش را با بهره‌گیری از نگرش «نحو فضا» جهت تحلیل و ارزیابی روابط فضایی تشکیل می‌دهد.

در بررسی انجام‌شده پیرامون ارزش‌گذاری پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره، با توجه به حذف مسیر حرکت کالسکه به‌عنوان شاخص پل‌های سواره، ارزیابی‌ها بر محور فضاهای عملکردی حرکت و مکث صورت گرفت. داده‌های حاصل نشان می‌دهد که فضاهای چندمنظوره و عرصه‌های مکث، بیش‌ترین تأثیر را در جذب افراد و تقویت تعاملات اجتماعی داشته‌اند. در مرتبه‌ی دوم، عرصه‌های نظرگاهی در پل‌های پیاده‌محور نمود برجسته‌تری یافته‌اند. در گام بعد، مسیرهای پیاده به‌عنوان مؤلفه‌ی اصلی حرکت و عنصر بنیادین سازمان فضایی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره محسوب می‌شوند. در مرتبه بعد، کافه‌ها و مسیرهای دوچرخه از جمله فضاهایی هستند که بسته به گسترش کالبدی و نقش عملکردی خود در فضا، جایگاه متفاوتی پیدا می‌کنند. پس از آن، ورودی‌ها به‌عنوان عناصر گذار و دعوت‌کننده مطرح می‌شوند؛ چنان‌که نمونه‌هایی همچون پل خاجو و سی‌وسه پل، علاوه بر کارکرد حفاظتی، نقش دعوت‌کنندگی نیز یافته‌اند؛ از سوی دیگر، در پل پونته‌وکیو، دالان ورودی مشخصی تعریف شده، در حالی‌که در پل لوران سن‌وال، مجموعه‌ی ورودی به‌منابه‌ی نشانه‌ای شهری عمل می‌کند. در نهایت، فضاهای خدماتی کم‌اهمیت‌ترین وزن را دارا هستند؛ هرچند در پل‌های معاصر، گاهی با نقش‌های مکملی چون ایستگاه دوچرخه یا فضاهای پشتیبان همراه می‌شوند، اما در بخش عمده‌ای از پل‌ها مساحت اندکی به آن‌ها اختصاص یافته و در برخی طرح‌ها اساساً حذف شده‌اند. براساس این یافته‌ها، سلسله‌مراتب نهایی ارزش فضایی در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره، به ترتیب عبارت‌اند از:

حداکثر	فضای چندمنظوره	عرصه نظرگاهی	مسیر پیاده	کافه	مسیر دوچرخه	ورودی/خروجی	فضای خدماتی	حداقل
--------	----------------	--------------	------------	------	-------------	-------------	-------------	-------

شکل ۱: نمودار وزن‌دهی فضاها؛ منبع: نگارنده.

نگاهی بر تحقیقات پیشین نحو فضا

نظریه نحو فضا به عنوان رویکردی کمی و ساختارمند، به طور گسترده برای تحلیل روابط میان پیکربندی فضایی و الگوهای رفتاری انسان‌ها در مقیاس‌های مختلف به کار گرفته شده است. در مقیاس شهری، شارمین و همکارانش در پژوهش خود نشان داده‌اند که معیارهای نحوی در تبیین و پیش‌بینی حرکت عابران پیاده، نقش مؤثرتری نسبت به شاخص‌های سنتی جهت‌یابی ایفا می‌کنند (12)؛ افزون بر این، ایشین جان و تیم هیث تأکید می‌کنند که سازماندهی فضاهای میانی بین ساختمان‌ها و خیابان‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای بر شکل‌گیری و تقویت میزان تعاملات اجتماعی دارد (13). با این حال، تکلنبرگ و همکارانش در مقاله‌ای دیگر

تأکید کرده‌اند که نتایج تحلیل‌های نحوی نسبت به مقیاس و مرزهای تعریف‌شده حوزه مطالعه حساس هستند؛ از این رو، ضرورت استانداردسازی روش‌شناختی در این حوزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (14). در مقیاس‌های میانی و خرد، دامنه کاربرد این نظریه به تبیین سازمان فضایی معماری در فضاهای عمومی و مسکونی گسترش یافته است. در سطح عمومی، یوجیا زای با استفاده از شاخص‌های نحو فضا، رابطه پیکربندی پارک‌های شهری و مسیرهای پیاده‌روی را تبیین کرده است (15). در حوزه منظر، قرائی و همکارانش متذکر شده‌اند که این روش برای تحلیل مؤلفه‌های عینی و کالبدی کارآمد است، اما در مواجهه با ابعاد معنایی وابسته به تجربه کاربر با محدودیت‌هایی روبرو می‌شود. به همین ترتیب، در محیط‌های تجاری بزرگ همچون فروشگاه‌ها و مراکز خرید، از این نظریه برای تحلیل الگوهای حرکتی مشتریان و بهینه‌سازی چیدمان فضا جهت افزایش پتانسیل تجاری فضا بهره گرفته شده است (16). از طرف دیگر لی‌یون‌یان در تحقیق خود نشان داده است که نحو فضا در مقیاس فضاهای عمومی می‌تواند به عنوان پلی میان ابعاد عینی و ابعاد ذهنی فضا عمل کند (17).

در حوزه معماری، پرلین دورسن، نحو فضا را ابزاری برای طراحی مبتنی بر شواهد می‌داند؛ به طوری که معماران را قادر می‌سازد تا پیامدهای فضایی طرح‌هایشان را نه به منزله یک شیء ایستا، بلکه به مثابه یک موجودیت زنده و قابل تجربه، ارزیابی کنند (18). جوی جاشوا نیز یکی از نقاط قوت کلیدی این روش را توانایی آن در اعتبارسنجی و عینیت‌بخشی به شهود کیفی سازمان فضایی از طریق شاخص‌های کمی بیان می‌کند (19). چنانچه هیلیر و هانسون تأکید می‌کنند که تحلیل‌های نحوی بر این ایده استوارند که مناسبات فرهنگی و روابط اجتماعی به صورت عینی در پیکربندی فضا ثبت شده و بدین ترتیب «ژئوتیپ» بناها و به طور خاص خانه‌ها را شکل می‌دهند (1, 20). در همین راستا، همدانی گلشن در مطالعات موردی خود بر بناهای تاریخی، مانند خانه‌های سنتی ایرانی، ظرفیت این نظریه را در رمزگشایی از منطق اجتماعی نهفته در الگوهای فضایی معماری بومی نشان داده است (21). همچنین، فرشیدی و همکارانش در پژوهش خود با افزودن مؤلفه‌های ذهنی و کیفی به تحلیل‌های کمی، تلاش کرده‌اند تا با استفاده از گراف‌های وزن‌دار، درک عمیق‌تری از تأثیر همزمان عینیت و ذهنیت فضا بر رفتار انسان ارائه دهند (22).

در جمع‌بندی پیشینه پژوهش می‌توان گفت که نظریه نحو فضا از مقیاس کلان شهری تا مقیاس خرد به عنوان ابزاری کارآمد برای تحلیل رابطه فضا و رفتار به کار رفته است. با این حال، دو خلأ پژوهشی برجسته قابل تشخیص است: نخست، کمبود مطالعات متمرکز بر گونه‌شناسی پل‌فضاها به عنوان یک واحد تحلیل مستقل و چندعملکردی به چشم می‌خورد؛ و دوم، غلبه رویکردهای تحلیلی بر رویکردهای مولد در تحقیقات پیشین دیده می‌شود. پژوهش‌های پیشین عمدتاً به ارزیابی فضاهای موجود تمرکز داشته‌اند، در حالی که فقدان چارچوبی روشمند برای بهره‌گیری از شاخص‌های نحوی در یک فرایند طراحی پارامتریک جهت تولید و ارزیابی سناریوهای بهینه فضایی برای پل‌فضاهای پیاده‌محور، به وضوح احساس می‌شود. از این رو پژوهش حاضر در صدد آن است تا با تمرکز بر این شکاف‌ها، به ارائه مدلی برای بهینه‌سازی الگوی استقرار فضا در بسترهای طبیعی و مصنوعی واقع در نواحی معتدل ایران بپردازد.

چارچوب نظری

نظریه نحو فضا

نظریه نحو فضا که بنیاد آن توسط بیل هیلیر و جولین هانسون در کتاب «منطق اجتماعی فضا» گذاشته شد، بر این اصل استوار است که فضا صرفاً یک محفظه منفعل برای فعالیت‌های انسانی نیست، بلکه خود یک عامل فعال و سازمان‌دهنده حیات اجتماعی است. در این دیدگاه، پیکربندی فضایی سکونتگاه یا بنا، به عنوان

یک سامانه پیچیده میان فضاهای داخلی و جهان بیرون واسطه‌گری کرده و روابط میان ساکنان و بازدیدکنندگان را سازمان می‌دهد (1). در نتیجه، هیلبر شهر را سامانه‌ای واحد و پیوسته می‌داند که حیات آن در شبکه‌ی فضایی‌اش جریان دارد (23). این رابطه، فضاهای شهری را به یک عرصه احتمالات برای هم‌حضور و تعاملات اجتماعی تبدیل کرده و یک «جامعه مجازی» را پیش از دخالت هر عامل اجتماعی دیگری ایجاد می‌نماید (20). بنابراین، نحو فضا به دنبال کشف قواعد و الگوهای نهفته در سازمان‌دهی فضایی است تا بتواند تأثیرات آن بر کنش‌هایی مانند حرکت، گردهم‌آیی و تعامل اجتماعی را تبیین کند. با این حال با وجود کارایی گسترده، نظریه نحو فضا با محدودیت‌ها و نقدهایی نیز همراه است. درک عمیق مبانی نظری این رویکرد برای تفسیر صحیح خروجی‌های نرم‌افزاری امری ضروری است؛ چراکه استفاده صرف از نرم‌افزار، بدون فهم نظریه، می‌تواند به نتایج گمراه‌کننده‌ای بینجامد (24). یکی از منتقدان برجسته این روش، کارلو راتی، بر این باور است که تحلیل‌های نحو فضا، به دلیل ساده‌سازی بیش از حد فضا به یک مدل دوبعدی، تصویر ذهنی تحریف‌شده و تقلیل یافته از واقعیت فضایی را ارائه می‌دهند (25). در همین چارچوب، به محدودیت‌هایی چون عدم ادغام داده‌های کاربری زمین، و نادیده گرفتن اطلاعات سه‌بعدی مانند ارتفاع بناها نیز اشاره شده است (26).

نگاهی بر مؤلفه‌های اساسی نحو فضا

برای عملیاتی کردن این دیدگاه نظری، نحو فضا مجموعه‌ای از شاخص‌های کمی را معرفی می‌کند که بر پایه مفهوم بنیادین «پیکربندی» استوارند. پیکربندی به مجموع روابط میان فضاها در یک سامانه، با در نظر گرفتن تمام فضاهای دیگر آن مجموعه، اطلاق می‌شود و مفهومی پیچیده‌تر از یک رابطه فضایی ساده است (20). مهم‌ترین این شاخص‌ها عبارتند از: یکپارچگی که پتانسیل یک فضا برای تبدیل شدن به مقصد حرکت را نشان می‌دهد و با میزان دسترسی آن از سایر فضاها سنجیده می‌شود؛ و انتخاب که بیانگر پتانسیل آن برای جذب جریان‌های عبوری در کوتاه‌ترین مسیرها است (12). در کنار این دو، شاخص‌های دیگری مانند اتصال‌پذیری و کنترل به درک عمیق‌تر ساختار فضایی کمک کرده و در مجموع، معیاری برای سنجش «خوانایی» یک محیط فراهم می‌آورند که به معنای قابلیت آن برای شناساندن خود به کاربر جهت مسیریابی است (21).

تکاملی به سوی نگرش مولد

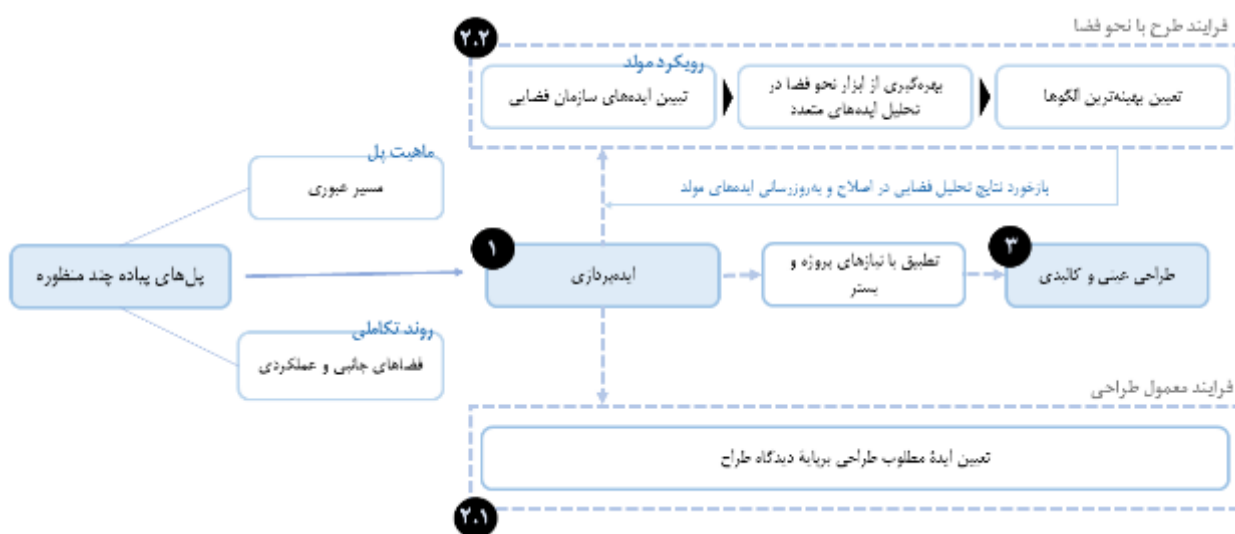
کاربرد نظریه نحو فضا در معماری و شهرسازی از رویکردی تحلیلی به نگرشی مولد تکامل یافته است. چنانچه پیروز نوریان بر این باور است که این تحول، پاسخی به یک شکاف کلیدی در کاربردهای کلاسیک نظریه است؛ شکافی که از گسست رویه‌ای میان فرایند طراحی و بازخورد تحلیلی ناشی می‌شود (27، 28). وی در پژوهشی دیگر تصریح می‌کند که ابزارهای تحلیل نحوی موجود فاقد یکپارچگی لازم برای کاربرد مستقیم در بسترهای طراحی پارامتریک معاصر بوده‌اند؛ امری که مانع استفاده از نظریه در فرآیند طراحی مولد محسوب می‌شد (28). رویکرد مولد با پر کردن همین شکاف‌ها، به معمار امکان می‌دهد تا ایده‌های خود را بیازماید، پیامدهای فضایی-اجتماعی طرح‌های پیشنهادی خود را پیش‌بینی کرده و نشان دهد که هر طرح چگونه عمل خواهد کرد (18). در این نگرش، تحلیل دیگر در انتهای فرآیند صرفاً برای ارزیابی انجام نمی‌شود؛ بلکه اصول و شاخص‌های نحو فضا از آغاز به‌عنوان راهنمایی برای تولید و بهینه‌سازی سناریوهای طراحی به کار می‌روند. از این‌رو، پژوهش حاضر با اتخاذ این نگرش، در پی آن است تا شکاف شناسایی‌شده در پیشینه را که جدایی میان تحلیل روابط فضایی و

طراحی پل فضاهای پیاده‌محور بوده را پر کرده و سازوکاری فراهم آورد که در آن شاخص‌های نحوی نه تنها ابزاری برای سنجش، بلکه مبنایی برای تولید نظام‌مند الگوی ارتباطی بهینه در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره ایران باشند.

روش پژوهش

ضرورت انتخاب روش نحو فضا؛

ماهیت پل در طول تاریخ ذاتاً حرکتی بوده و در مسیر تحول خود، فضاهایی با عملکردهای متنوع را در بر گرفته است. این عرصه‌های عملکردی در پل‌های پیاده‌هنگامی می‌توانند نقش مؤثری در جذب مردم و تقویت تعاملات اجتماعی ایفا کنند که برنامه عملکردی آن‌ها به گونه‌ای سازمان یابد که بهترین کارایی فضایی را ایجاد بستری سرزنده فراهم آورد. در فرایندهای معمول طراحی، معمار یا طراح غالباً با تکیه بر منطق عملکردی و نیازهای پروژه، به طرح پل پیاده می‌پردازد و همان ایده طرح را مبنا قرار می‌دهد؛ حال آنکه چنین ترکیبی ممکن است الزاماً واجد ساختار فضایی بهینه برای ارتقای تعامل انسان و فضا نباشد. از این رو، برای آنکه طراح بتواند آگاهانه به خلق ایده‌ای خاص، ممتاز و سنجش‌پذیر بپردازد و زمینه را برای طراحی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره متناسب با نیازهای فرهنگی و جغرافیایی بسترهای متنوع ایران فراهم کند، بهره‌گیری از روش نحو فضا به طرز قابل توجهی ضرورت می‌یابد. این روش امکان گذار از تحلیل صرف به نگرشی مولد را ایجاد می‌کند، به گونه‌ای که پیش از مرحله طراحی، و در هنگام ایده پردازی از میزان بهینه بودن پیکربندی فضاها آگاهی یافته و در مرحله طراحی عینی و کالبدی با عطف به ویژگی‌ها و نیازهای بستر، بهینه ترین حالت‌ها را به کار گرفته شوند.



شکل ۲: جایگاه روش نحو فضا در فرایند ایده‌پردازی و طراحی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره؛ منبع: نگارنده

فرایند پژوهش؛

پژوهش حاضر کمی است و با اتخاذ راهبردی مبتنی بر شبیه‌سازی، از منطق استنتاجی قیاسی پیروی می‌کند. در این فرایند، ساختار نظری نحو‌فضا در کنار کهن الگوهای ریخت‌شناسی برای تولید و ارزیابی نظام‌مند سناریوهای پیکربندی فضایی به کار گرفته می‌شوند. همچنین، این پژوهش از حیث نتایج، ماهیتی کاربردی و تجویزی می‌یابد؛ چراکه به شناسایی و اعتبارسنجی الگوی طراحی بهینه از طریق آزمایش محاسباتی کنترل‌شده می‌انجامد. این فرایند یکپارچه در سه مرحله

متوالی اجرا می‌گردد. در گام نخست، با مرور نظام‌مند مبانی نظری و تحلیل نمونه‌های موردی برجسته، شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد فضایی استخراج و با عطف به بستر و نیازهای طرح، برنامه فیزیکی پروژه به یک مدل گراف پایه انتزاعی تبدیل می‌شود. در این مدل، فضاهای عملکردی اصلی (ورودی، پاتوق، منظرگاه و...) به مثابه «گره‌های فضایی» تعریف می‌شوند. سپس، برای تضمین عینیت و پوشش جامع فضای پژوهش، هشت سناریوی پیکربندی نماینده بر اساس «کهن‌الگوهای ریخت‌شناختی» استخراج‌شده از نظریات بنیادین معماری تدوین می‌گردد. این الگوها، بستری ساختارمند و غیرذهنی برای فاز محاسباتی بعدی فراهم می‌آورد. گام بعدی پژوهش، به تحلیل محاسباتی سناریوهای تولیدشده اختصاص داده می‌شود. هر یک از هشت مدل گراف، با استفاده از نرم‌افزار تخصصی سینتتیک (نسخه ۲.۷)، در پلاگین گرس‌هاپر در محیط برنامه راینو، که ابزاری معتبر در تحلیل‌های نحو فضا است، شبیه‌سازی می‌شوند. در این مرحله، چهار شاخص کلیدی یکپارچگی، انتخاب، کنترل و آنتروپی برای ارزیابی عملکرد هر الگو به صورت کمی محاسبه می‌گردد؛ خروجی این مرحله، جداول داده‌های عددی است که عملکرد هر سناریو را در برابر هر یک از چهار معیار فوق، به صورت دقیق مشخص می‌سازد. در مرحله نهایی، برای انتخاب الگوی بهینه، جدول داده‌ها در چارچوب یک فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل شدند. در این فرایند پس از خروجی تحلیل شاخص‌های نحوی، به وزن‌دهی تطبیقی مبتنی بر نمونه‌های موردی برجسته پرداخته شده است. بدین ترتیب، وزن هر شاخص با تکیه بر شواهد تجربی طراحی و تحلیل‌های پیشین تعیین گردیده و در نهایت، حساسیت نتایج نسبت به تغییرات احتمالی وزن‌ها ارزیابی شدند تا از پایداری الگوی نهایی اطمینان حاصل شود؛ خروجی نهایی پژوهش، شناسایی و ارائه یک الگوی پیکربندی بهینه برای پل فضای پیاده‌محور متناسب با بسترهای مناطق معتدل ایران است.



شکل ۳: دیاگرام روند پژوهش؛ منبع: نگارنده.

یافته‌ها

سناریوهای پیکربندی فضایی

برای دستیابی به الگوی بهینه در سازمان‌دهی ارتباط فضاهای پل فضا، نخست فرایند تبیین سناریوهای پیکربندی فضایی به‌منظور تدوین مدل‌های اولیه ارتباط فضاها صورت گرفت. این مرحله از پژوهش، بر پایه طبقه‌بندی ریخت‌شناختی سازمان‌دهی فضایی که در کتاب سیمای شهری کوین لینچ و منطق اجتماعی فضایی هیلپر و هانسون بدان پرداخته شده، شکل گرفته است؛ چارچوبی که انواع ساختارهای بنیادین فضا را از چینش خطی تا شبکه‌ای تبیین می‌کند (20، 29). در

امتداد این منطق ریختی، اصول عملکردی و اجتماعی برگرفته از کتاب «زبان الگو»ی کریستوفر الکساندر، معیاری برای انطباق این کهن‌الگوهای فضایی با نیازهای انسانی و اجتماعی یک فضای عمومی سرزنده به‌کار گرفته شد. (الکساندر، ۱۳۸۷) سپس، این الگوهای پایه با منطق ارتباطی میان فضاها در چارچوب نظری نحو فضا تلفیق گردیده تا قابلیت تحلیل و ارزیابی فضایی را پیدا کنند؛ به گونه‌ای که در فرایند بازبینی، با الزامات و شاخصه‌های منحصربه‌فرد پل فضا انطباق یابند. در این امر، با در نظر گرفتن مؤلفه‌های کلیدی پل‌های پیاده چندمنظوره، همچون نقش اتصال میان دو زمینه، و ضرورت تلفیق حرکت پیوسته با فضاهای مکث در ایجاد مقصدی زنده، سازمان‌دهی‌های فضایی مذکور مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این روند، آن دسته از پیکربندی‌هایی که با نیازهای عملکردی و اجتماعی این پل‌های چندمنظوره سازگاری نداشتند، حذف گردیده و سایر الگوها برای انطباق با این بستر خاص، اصلاح، ترکیب و بهینه‌سازی شدند تا پنج سناریوی نهایی پژوهش را در قالب سناریوهای نماینده شکل دهند، که به ترتیب عبارت‌اند از:

- سناریوی اول: چینش خطی عملکردها پیرامون مسیر مرکزی
- سناریوی دوم: چینش خوشه‌ای عملکردها از مسیر اصلی
- سناریوی سوم: چینش خطی عملکردها با مسیرهای پیرامونی
- سناریو چهارم: چینش عملکردها در دو لایه
- سناریوی پنجم: چینش با درگاه‌های متعدد

مجموعه پنج‌گانه سناریوها که حالت‌ها و سازمان‌دهی‌های متنوعی را شامل می‌شوند، طیفی از حالات بنیادین پیکربندی فضایی پل‌های چندمنظوره را از ساختارهای خطی ساده تا ساختارهای ترکیبی پیچیده شکل می‌دهند. پیکربندی‌های منشعب شده از ساختار سناریوی نماینده براساس منطق پل و سازماندهی آن شکل گرفته و می‌تواند شمایل دیگری نیز به خود بگیرد همچنین این نکته لازم به ذکر است که فضاها در هر یک از سناریوها در مرحله طراحی می‌توانند در چند طبقه باتوجه به نیازهای پروژه تعریف شوند هرچند که در سناریوی چهارم سعی شده در دو سطح یا در دو منطقه بندی متفاوت مطرح شود. این سناریوها مجموعه‌ای از طرح‌های منفرد کالبدی نیستند، بلکه شبکه‌ای از نقاط و پیوندهای فضایی هستند که منطق پیکربندی فضایی را در ارتباط عملکردی میان حرکت و مکث بازنمایی می‌کنند. از این منظر، هر سناریو پیکربندی احتمالی از ترکیب مسیرها و گره‌ها شامل مسیر پیاده، مسیر دوچرخه، منظرگاه، کافه، فضای چندمنظوره و خدماتی را ارائه می‌دهد تا روابط میان حرکت و مکث، دید و تعامل اجتماعی را آشکار سازد. بنیان طراحی بر این اصل استوار است که نوع توپولوژیک در ساختار سناریوها می‌تواند زمینه‌ساز سرزندگی دو سوی رودخانه باشد؛ سرزندگی‌ای که پیش از تحقق عینی و کالبدی، از سازمان‌دهی مطلوب فضایی بهره می‌گیرد. این روند، امکان ردیابی منطق تحول فضایی را در ایجاد پیکربندی کارآمد فراهم آورده و پایه‌ای مستند برای تحلیل‌های کمی در نرم‌افزار سینتتیک براساس چارچوب نظری نحو فضا ایجاد می‌کند؛ تا کیفیت ارتباط فضایی و توان ایجاد تعاملات اجتماعی در هر ساختار، به‌صورت داده‌محور مقایسه و سنجیده شود. حال به بررسی پنج سناریوی نماینده پیکربندی فضایی که متناسب با پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره تدوین و ترسیم شده‌اند می‌پردازیم.

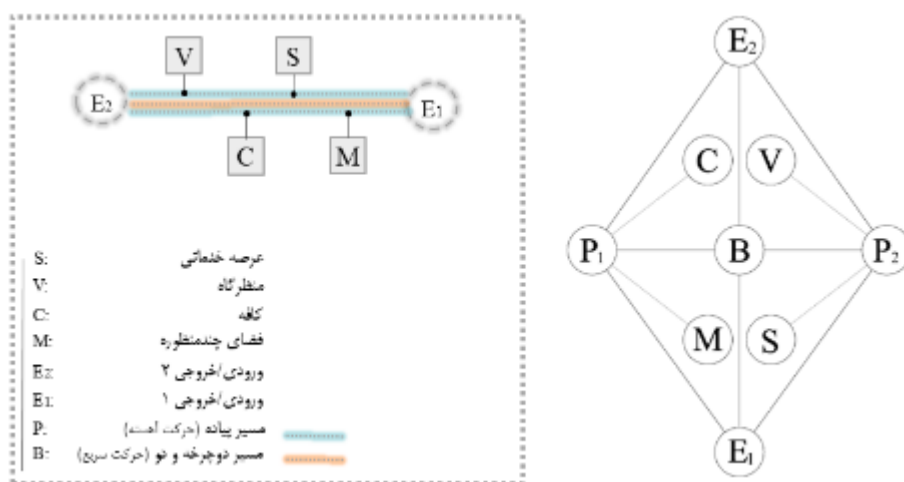
سناریوی اول: چینش خطی عملکردها پیرامون مسیر مرکزی

توصیف پیکربندی:

این سناریو کهن‌ترین الگوی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره را بازنمایی می‌کند؛ ساختاری خطی که بر محور حرکتی اصلی استوار بوده و پیوند مستقیم میان دو درگاه ورودی را برقرار می‌سازد. در این پیکربندی، مسیرهای پیاده و دوچرخه به صورت موازی در امتداد محور مرکزی توسعه یافته و گره‌های عملکردی در طول این محور جانمایی می‌شوند.

علت انتخاب و نقش در پژوهش:

این سناریو به عنوان مدل پایه در مجموعه سناریوهای پژوهش انتخاب شده است. وجود یک الگوی بنیادین خطی که برای برقراری اتصال میان دو نقطه ورودی و تسهیل جریان‌های حرکتی بکار می‌رود. این سناریو ساده‌ترین پاسخ فضایی به نیاز اولیه بستر یعنی اتصال دو پهنه رودخانه است و از این رو، پایه سنجش بازده عملکردی سایر پیکربندی‌ها محسوب می‌شود.

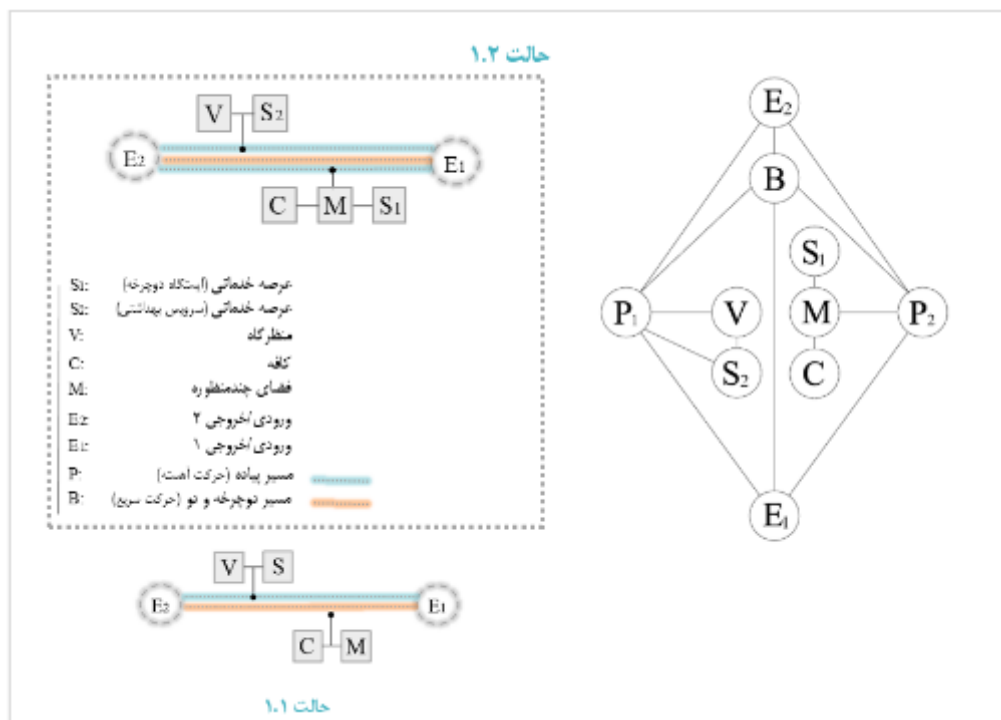


شکل ۴: دیاگرام سناریوی نماینده اول

سناریوی دوم: چینش خوشه‌ای عملکردها از مسیر اصلی

توصیف پیکربندی:

این سناریو، نمایانگر الگوی خوشه‌ای پیکربندی عملکردها از مسیر اصلی است؛ الگویی که در آن جریان حرکتی از محور مرکزی منشعب شده و مجموعه‌ای از فضاهای عملکردی در قالب «خوشه‌های جانبی» پیرامون آن سامان می‌یابند. برخلاف ساختار خطی سناریوی اول، در این مدل فضاهای مکث از محور حرکتی اصلی جدا شده و در نقاط ثانویه تجمع یافته‌اند که امکان توقف موقت و تعامل اجتماعی را فراهم می‌کنند.



شکل ۵: دیاگرام سناریوی نماینده دوم

علت انتخاب و نقش در پژوهش:

این الگو، تداوم حرکتی سناریوی اول را حفظ کرده و با افزودن نقاط مکث، کیفیت توقف، دید و تعامل میان کاربران را افزایش می‌دهد. این سناریو نقطه گذار از ساختار خطی به پیکربندی‌های چنددرگاهی محسوب می‌شود و بستر ارزیابی شاخص‌های نحوی میان خوشه‌های عملکردی را فراهم می‌سازد. در مجموع، سناریوی دوم بستر آزمون تعامل ساختار پیاده و عملکردهای اجتماعی است و به‌عنوان گام دوم در روند تکامل پیکربندی‌ها، ارزش قیاسی بالایی در تحلیل‌های نظری و نرم‌افزاری دارد.

سناریوی سوم: چینش خطی عملکردها با مسیرهای پیرامونی؛

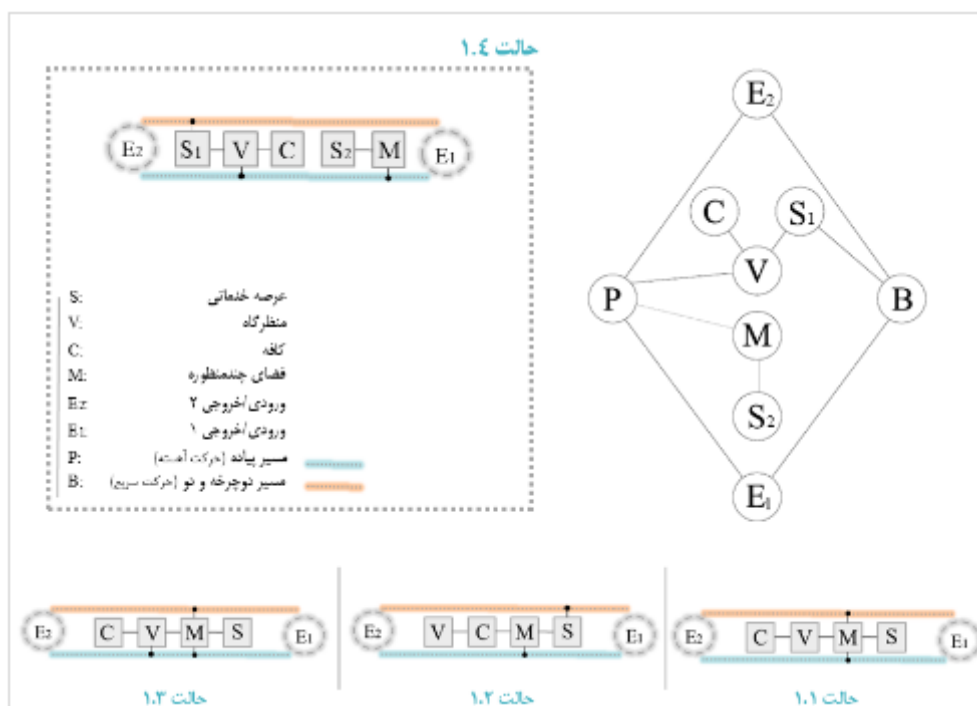
توصیف پیکربندی:

این سناریو بر پایه آرایش خطی سناریوی یک و منطق خوشه‌بندی سناریوی دو تکامل یافته و با افزودن دو مسیر پیرامونی مجزا برای پیاده و دوچرخه، به پیکربندی چندمسیره ارتقا یافته است. این مسیرها، در دو سوی محور عملکردی اصلی قرار داشته و دسترسی موازی و غیرمستقیم به مجموعه‌ای از فضاهای عملکردی را فراهم می‌کنند. ترکیب راستای مرکزی با مسیرهای پیرامونی، امکان تنوع حرکت و انتخاب مسیرهای متفاوت را ایجاد کرده و چپش فضایی پل را از شکل خطی یا خوشه‌ای، به ساختاری نیمه‌حلقوی با ظرفیت توسعه به شبکه‌ها و پیکربندی‌های پیچیده‌تر تبدیل می‌کند.

علت انتخاب و نقش در پژوهش:

برخورداری از دو مسیر با آهنگ حرکتی متفاوت (آهسته و سریع) و سازمان‌دهی متنوع عملکردها در محور مرکزی، این سناریو را به الگویی انعطاف‌پذیر با قابلیت تولید سازمان‌دهی‌های ساده‌تر یا حالت‌های با مسیرهای حلقوی و شبکه‌ای بدل کرده است. بدین ترتیب، سناریوی سوم نقش پل ارتباطی میان سناریوهای

ساده‌تر و ساختارهای چندلایه و چنددرگاهی پیچیده‌تر را ایفا می‌کند؛ جایی که امکان ارزیابی نظام‌مند مسیرهای جانبی و تنوع دسترسی بر کیفیت فضایی و سطح تعامل میان عملکردها را فراهم می‌آورد.

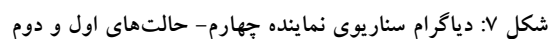


شکل ۶: دیاگرام سناریوی نماینده سوم

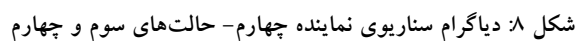
سناریوی چهارم: چینش عملکردها در دو لایه

توصیف پیکربندی:

این سناریو از چارچوب خطی پایه فراتر رفته و با سازمان‌دهی فضاها در دو سطح شکل گرفته است. ساختار آن در چهار حالت اصلی تعریف شده است که از جداسازی کامل حرکت و عملکرد تا الگوی ترکیبی را شامل می‌شود. در حالت نخست، یک لایه به مسیرهای پیاده و دوچرخه اختصاص دارد و لایه دیگر شامل عرصه‌های عملکردی مستقل است؛ در حالی که در حالت دوم مسیر دوچرخه به لایه عملکردی اختصاص می‌یابد. در حالت سوم دسترسی به سطح عملکردی از طریق لایه مسیر حرکتی انجام می‌شود؛ افراد پس از ورود به پل، ابتدا بخشی از مسیر لایه حرکتی را پیموده و سپس از طریق گره‌های فضایی مشخص به سطح عملکردی منتقل می‌شوند. در حالت چهارم، مسیرهای پیاده و دوچرخه در یک لایه ترکیبی با کارکرد اتصال‌دهنده به سطح دیگر قرار دارند و سطح دوم کاملاً عملکردی است. عملکردهایی نظیر منظرگاه، کافه، فضای چندمنظوره و عرصه‌های خدماتی در سطح عملکردی یا ترکیبی جای می‌گیرند و اتصال میان سطوح در جریان‌های حرکت و مکث را در شبکه‌ای دولایه سامان می‌دهد.



انعطاف‌پذیری این سناریو در تنظیم رابطه میان حرکت و عملکرد، آن را به حلقه‌ای مهم در روند تکامل پیکربندی‌ها بدل کرده است. ساختار آن، از مدل دو سطحی با اتصال مستقیم ورودی‌ها تا الگوهای با شبکه ارتباطی میان سطوح عملکردی، قابلیت توسعه داشته و فرصتی فراهم می‌آورد تا شاخص‌های نحوی سناریوی دوسطحی برای سنجش کیفیت تجربه فضایی بررسی شود. جایگاه این سناریو، میان مدل‌های ساده دویعدی و نمونه‌های چنددرگاهی پیچیده، امکان تحلیل گسترده تعامل میان مسیرهای حرکتی و عرصه‌های مکث را فراهم کرده است.



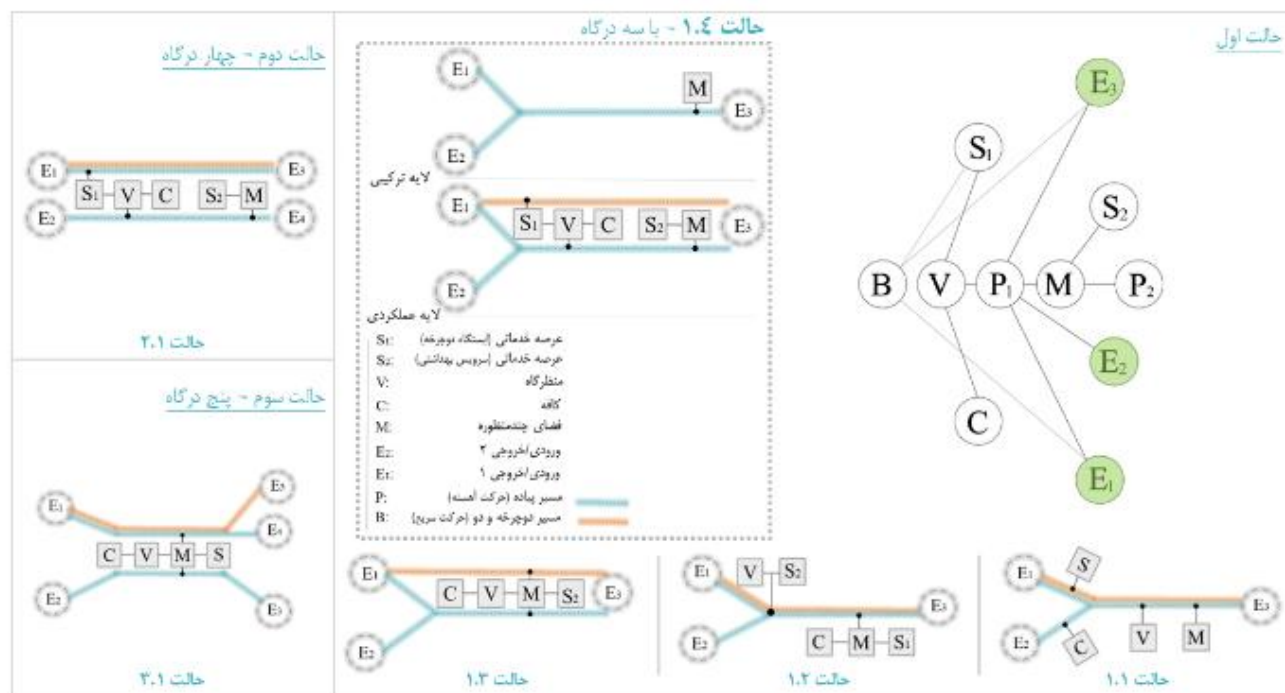
سناریوی پنجم: - چینش با درگاه‌های متعدد

توصیف پیکربندی:

این سناریو با محوریت افزایش و تنوع نقاط ورود و خروج، سه حالت شامل چینش سه درگاهی، چهار درگاهی و پنج درگاهی را شامل می‌شود؛ هرچند امکان شکل‌گیری نسخه‌های با درگاه‌های بیشتر نیز بسته به ماهیت بستر و نیازهای پروژه وجود دارد. در این سناریو، حالت سه درگاهی نقش یک الگوی پایه را دارد که در آن مجموعه عملکردی پل، پیرامون یک مسیر اصلی یا به صورت ترکیبی سامان یافته و سه درگاه ورودی یا خروجی را به طور مستقیم به این شبکه متصل می‌کند. حالت‌های چهار درگاهی و پنج درگاهی را می‌توان نمونه‌های توسعه یافته‌ای از همین منطق دانست که با افزودن مسیرها یا نقاط دسترسی، ظرفیت‌های حرکتی تغییر کرده و الگوی ارتباطی پیچیده‌تر می‌شود. به عنوان مثال در حالت چهار درگاهی، دو مسیر حرکتی اصلی و یک مسیر سریع با عرصه حرکتی-عملکردی، فضاها را به چهار درگاه مرتبط می‌سازند؛ در حالت پنج درگاهی، با افزایش نقاط دسترسی و گسترش پیوندها، می‌تواند عملکردها را در شبکه‌ای چندمسیره ادغام کرده و ظرفیت توزیع جریان‌های حرکت و مکث را ارتقا دهد؛ اگرچه در برخی شرایط احتمال افزایش تراکم یا اغتشاش در مسیرها نیز وجود دارد.

علت انتخاب و نقش در پژوهش:

سناریوهای چهار و پنجم بستری برای سنجش تاثیر تعداد و آرایش درگاه‌ها بر شاخص‌های نحوی، دسترسی‌پذیری و تعاملات اجتماعی را فراهم می‌آورد. وجود حلقه‌های حرکتی و عملکردی در این حالت‌ها، ارزیابی نقش تنوع پیوندها در ایجاد جریان‌های پایدار را تقویت می‌کند. منطق سه درگاهی نیز قابل تعمیم بوده و می‌تواند مبنایی برای توسعه نسخه‌های چنددرگاهی با تعداد درگاه‌های بیشتر باشد؛ نسخه‌هایی که بسته به محدودیت‌های بستر و نیازهای عملکردی، از افزایش اتصال‌ها بهره می‌برند یا در برخی شرایط نیازمند کنترل برای جلوگیری از اغتشاش حرکتی‌اند.



شکل ۹: دیاگرام حالت‌های سناریوی نماینده پنجم

تحلیل نحوی با استفاده از برنامه سینتیک

پس از تعیین عرصه‌های عملکردی پل چندمنظوره و تبیین هشت سناریوی پیکربندی فضایی، فرایند تحلیل نحوی این سناریوها با بهره‌گیری از ابزار سینتیک در محیط گرس‌هاپر انجام گرفت. در گام نخست، مسیرهای حرکتی و فضا‌های عملکردی به همراه مشخصات آن‌ها در محیط گرس‌هاپر وارد شده و به صورت گراف‌های فضایی در راینو ترسیم گردیدند؛ سپس با تطبیق هر یک از هشت سناریو با پارامترهای گرس‌هاپر، بستر تحلیلی پل فضایی پیاده‌محور در قالب شبکه‌ای از نودها و پیوندهای فضایی شکل گرفت تا امکان استخراج شاخص‌های نحوی فراهم شود. در گام بعد، پس از دریافت داده‌ها، تحلیل پارامتریک شاخص‌های نحو فضا صورت گرفت که در طی این فرایند، شاخص‌های ادغام فضایی، انتخاب، آتروپی و کنترل برای هریک از سناریوهای هشت‌گانه محاسبه گردیدند. نتایج این مرحله که در جداول ۳ تا ۶ بدان خواهیم پرداخت، امکان ارزیابی و مقایسه کمی میان ساختارهای پیکربندی فضایی را فراهم می‌سازد تا با وزن‌دهی شاخص‌ها، تعیین سناریوهای بهینه صورت گیرد.

شاخص ادغام فضایی

شاخص ادغام که نخستین‌بار در تحلیل‌های پیکربندی فضایی هیلیر و هانسون معرفی شد، میزان پیوند و یکپارچگی هر فضا را نسبت به کل شبکه پیکربندی فضایی می‌سنجد و جایگاه آن را در جریان حرکت و تعامل اجتماعی مشخص می‌کند. (Hillier & Hanson, ۱۹۸۴) به باور پیروز نوریان، این شاخص علاوه بر تعیین موقعیت نسبی فضا میان سایر اجزاء، نسبت خصوصی یا عمومی بودن آن را نیز آشکار می‌سازد. (Nourian et al., ۲۰۱۳b) فضاهایی با ادغام بالا، به‌طور طبیعی در معرض جریان اصلی حرکت قرار گرفته و بستری مناسب برای توقف‌های کوتاه، دیدار و رویدادهای اجتماعی فراهم می‌آورند؛ در حالی که فضاهای با ادغام پایین، گرایش بیشتری به عملکردهای اختصاصی‌تر یا عرصه‌های خلوت دارند. در پل‌های پیاده چندمنظوره، تحلیل ادغام فضایی کمک می‌کند تا محل استقرار فضاهای تعاملی به‌گونه‌ای تعیین شود که بیشترین میزان یکپارچگی فضایی را ایجاد کند و از سوی دیگر تعادلی میان عرصه‌های فعال و نواحی آرام را فراهم آورد.

جدول ۳: نتایج شاخص ادغام فضایی

فضاها / سناریوها	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴-۲	سناریوی ۴-۳	سناریوی ۵
ورودی / خروجی ۱	۰/۹۹۹	۱/۵۱۴	۱/۵۳۱	۱/۵۳۹	۱/۵۶۳	۱/۴۷۵
ورودی / خروجی ۲	۰/۹۹۹	۱/۵۱۴	۱/۵۳۱	۱/۵۳۹	۱/۵۶۳	۱/۳۶۲
ورودی / خروجی ۳	-	-	-	-	-	۱/۴۷۵
فضای چندمنظوره	۱/۷۰۷	۱/۸۳۹	۱/۰۳۱	۱/۴	۰/۹۶۳	۱/۵۵۳
کافه	۱/۷۰۷	۲/۱۱۴	۱/۳۷۵	۱/۷۰۷	۱/۲۳۹	۱/۷۲۶
منظرگاه	۱/۷۰۷	۲/۱۱۴	۱/۰۳۱	۰/۹۶۳	۱/۴۷۵	
خدماتی	۱/۷۰۷	۲/۱۱۴	۱/۴۳۶	۱/۷۶۱	۱/۳۵۳	۱/۸۷۲
	۲/۱۱۴				۱/۳۵۳	۱/۸۰۴
مسیر پیاده ۱	۱/۳۰۶	۱/۶۲۹	۱/۰۳۱	۱/۹۲۹	۱/۰۲۹	۱/۰۳۴
مسیر پیاده ۲	۱/۳۰۶	۱/۵۱۴	-	۱/۰۴	۱/۳۵۳	۱/۸۰۴
مسیر دوچرخه	۱/۰۴	۱/۵۱۴	۱/۴۳۶	۱/۴	۱/۳۵۳	۱/۹۱۷

شاخص آنتروپی

شاخص آنتروپی بیانگر میزان بی‌نظمی یا پراکندگی در شبکه ارتباطی فضاها و معیاری برای سنجش نابرابری در توزیع دسترسی‌ها در کل پیکربندی فضایی است. این شاخص میزان دشواری دسترسی هر فضا به سایر فضاها را در سناریوها مشخص کرده و پیچیدگی ارتباطات فضایی در ساختار کل را نشان می‌دهد (27). هرچه میزان آنتروپی در شبکه بالاتر باشد، دسترسی به فضای مورد نظر دشوارتر می‌گردد؛ به عبارت دیگر، ساختار کلی شبکه پیچیده‌تر و خوانایی فضا کاهش می‌یابد. در مقابل، آنتروپی پایین نشانه نظم و یکنواختی بیشتر دسترسی‌هاست و فرد می‌تواند مسیرها و فضاهای عملکردی را به‌سادگی شناسایی کند. آنتروپی، شاخصی موثر برای ارزیابی تعادل میان سهولت حرکتی و تنوع توپولوژیک^۱ در عرصه‌هایی نظیر پل‌های شهری چندمنظوره است. بدین ترتیب، مقدار بهینه آنتروپی باید در محدوده‌ی میانی حفظ شود تا ضمن پرهیز از یکنواختی، از پراکندگی و آشفتگی ادراکی نیز جلوگیری گردد.

جدول ۴: نتایج شاخص آنتروپی

فضاها / سناریوها	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۲-۴	سناریوی ۳-۴	سناریوی ۵
ورودی/خروجی ۱	۱/۷۷۴	۱/۳۷۵	۰/۹۸۵	۱/۲۶۷	۱/۲۲۲	۱/۲۰۶
ورودی/خروجی ۲	۱/۷۷۴	۱/۳۷۵	۰/۹۸۵	۱/۲۶۷	۱/۲۲۲	۰/۹۴۸
ورودی/خروجی ۳	-	-	-	-	-	۱/۲۰۶
فضای چندمنظوره	۰/۷۳۹	۱	۲/۲۹۹	۱/۷۷۴	۳/۶۶۷	۱/۳۲۷
کافه	۰/۷۳۹	۰/۵۷۹	۰/۷	۰/۶۸۲	۰/۷۸۶	۰/۷۳۷
منظرگاه	۰/۷۳۹	۰/۶۸۸	۱/۷۲۴	۱/۴۷۸	۱/۸۳۳	۱/۴۷۴
خدماتی	۰/۷۳۹	۰/۵۷۹	۰/۷۶۶	۰/۷۳۹	۱	۰/۹۴۸
۱- ایستگاه دوچرخه	۰/۷۳۹	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸	۱	۰/۶۹۸	۰/۶۹۸
۲- سرویس بهداشتی	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸
مسیر پیاده ۱	۱/۷۷۴	۱/۲۲۲	۲/۲۹۹	۰/۷۳۹	۲/۲	۲/۶۵۴
مسیر پیاده ۲	۱/۷۷۴	۱/۵۷۱	-	۲/۲۱۸	۱/۵۷۱	۰/۶۹۸
مسیر دوچرخه	۲/۲۱۸	۱/۵۷۱	۱/۳۷۹	۱/۴۷۸	۱/۵۷۱	۰/۹۴۸

شاخص انتخاب (مرکزیت)

شاخص انتخاب، شانس عبور هر فضا را نسبت به سایر فضاهای پیکربندی مشخص کرده و با مرکزیت فضایی رابطه مستقیم می‌یابد (28). به عبارت دیگر، این شاخص نشان می‌دهد کدام فضاها بیشترین نقش را در هدایت حرکت میان بخش‌های مختلف پیکربندی دارند. فضاهایی با مقدار انتخاب بالاتر، نقاطی هستند که جریان‌های حرکتی بیشتری از آن‌ها عبور کرده و از مرکزیت و قابلیت ادراکی بالاتری برخوردارند؛ در مقابل، فضاهای با میزان انتخاب پایین‌تر نقشی جانبی یافته و غالباً بستر فعالیت‌های کم‌تحرك یا آرام‌تر تلقی می‌شوند. این شاخص با برجسته‌سازی محورهای پرتحرک، به درک سلسله‌مراتب حرکتی و پویایی شبکه پل کمک می‌کند. در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره، تحلیل انتخاب می‌تواند موقعیت تمرکز کارکردهای تعاملی‌تر نظیر فضای چندمنظوره یا منظرگاه را نمایان سازد و به توزیع متوازن حرکت در میان فضاها یاری رساند.

^۱ اختلاف یا گوناگونی در تعداد و نوع پیوندهایی که فضاها در ساختار شبکه‌ای با هم دارند.

جدول ۵: نتایج شاخص انتخاب

فضاها / سناریوها	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴-۲	سناریوی ۴-۳	سناریوی ۵
ورودی/خروجی ۱	۳۹	۴۷	۲۳	۴۳	۴۱	۳۳
ورودی/خروجی ۲	۳۹	۴۷	۲۳	۴۳	۴۱	۲۳
ورودی/خروجی ۳	-	-	-	-	-	۳۳
فضای چندمنظوره	۲۹	۸۵	۴۱	۵۷	۸۷	۶۱
کافه	۲۹	۳۱	۱۵	۱۹	۱۹	۲۱
منظرگاه	۲۹	۳۵	۲۷	۳۵	۳۵	۴۹
خدماتی	۲۹	۳۱	۱۹	۲۷	۲۷	۲۵
		۳۵			۲۷	۲۳
مسیر پیاده ۱	۸۱	۹۷	۳۷	۳۹	۴۹	۹۵
مسیر پیاده ۲	۸۱	۱۰۵	-	۵۷	۴۱	۲۳
مسیر دوچرخه	۳۷	۴۵	۲۹	۴۱	۴۱	۳۷

شاخص کنترل

شاخص کنترل نشان می‌دهد که هر فضا در پیکربندی سناریوها تا چه اندازه بر روابط پیرامونی خود اثرگذار بوده و با چه قدرتی به سایر فضاها پیوند می‌خورد (28). از نگاه دیگر، این شاخص بیان می‌کند که یک فضا تا چه حد می‌تواند جریان‌های حرکتی و مسیرهای دسترسی را در همسایگی مجاور خود، تنظیم یا هدایت کند (1). فضاهای با مقادیر بالاتر کنترل نشان‌دهنده تسلط بیشتر فضا بر فضاها و مسیرهای پیرامونی و نقش مرکزی آن در توزیع حرکت است؛ در حالی که مقادیر پایین‌تر دلالت بر انفعال و وابستگی فضایی دارد. در پل‌های پیاده‌محول چندمنظوره، تحلیل کنترل می‌تواند نشان دهد که کدام فضاها نقش هدایتگر و پیونددهنده در ساختار حرکتی پل دارند؛ فضاهایی که جریان حرکتی کاربران را نسبت به سایر فضاها تنظیم می‌کنند.

جدول ۶: نتایج شاخص کنترل

فضاها / سناریوها	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴-۲	سناریوی ۴-۳	سناریوی ۵
ورودی/خروجی ۱	۰/۶۵	۰/۷	۰/۵۸۳	۱/۸۳۰	۰/۹۱۷	۰/۵۳۳
ورودی/خروجی ۲	۰/۶۵	۰/۷	۰/۵۸۳	۱/۸۳۰	۰/۹۱۷	۰/۲
ورودی/خروجی ۳	-	-	-	-	-	۰/۵۳۳
فضای چندمنظوره	۰/۲	۲/۲۵	۱/۹۱۷	۱/۹۱۷	۳/۲۵	۲/۲
کافه	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳
منظرگاه	۰/۲	۰/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۴۱۷	۱/۷
خدماتی	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۶۷	۰/۶۶۷
		۰/۷			۰/۱۶۷	۰/۳۳۳
مسیر پیاده ۱	۲/۹۱۷	۱/۹۱۷	۱/۵۸۳	۰/۶۶۷	۱/۱۶۷	۲/۶۶۷
مسیر پیاده ۲	۲/۹۱۷	۱/۲۵	-	۱/۲۵	۰/۸۳۳	۰/۳۳۳
مسیر دوچرخه	۱/۰۶۷	۱/۱۱۷	۱/۲۵	۰/۹۱۷	۰/۸۳۳	۱/۵

بحث و تحلیل فرایندی سناریوها

تفسیر نتایج و استخراج الگوی بهینه پل های پیاده چندمنظوره

در جدول ۷، به بررسی و مقایسه چهار شاخص نحوی در پنج سناریوی طراحی جهت تفسیر و کشف تعادل در سناریوهای بهینه می پردازیم.

جدول ۷: تحلیل نتایج پنج سناریوی پل چندمنظوره

سناریو	شاخص ادغام	شاخص آنتروپی	شاخص انتخاب	شاخص کنترل	جمع بندی
اول					ساختار خطی با خوانایی پایین و تمرکز حرکتی محدود
دوم					شکل گیری خوشه های ارتباطی فرعی و مرکزیت در فضای چندمنظوره
سوم					حلقه عملکردی با محورهای حرکتی قوی و پراکنش منطقی
چهارم	۲-۴				شبکه چندسطحی با مرکزیت متعادل و مسیرهای رابط متنوع
	۳-۴				تعادل بین حرکت و مکث، مرکزیت و هدایت فضایی بهینه
پنجم					دسترسی چند درگاهی و افت نسبی خوانایی در فضاهای فرعی
راهنما: طیف رنگی از راست به چپ، بیانگر بهبود شاخص ها از سطح پایین تر تا بهینه ترین حالت است. پا:  بهینه ترین					

با بررسی و تحلیل جدول نتایج نهایی پژوهش، روند تغییر شاخص های نحوی از سناریوی یک تا پنج نشان می دهد که الگوی طراحی به تدریج از ساختاری خطی با محور اصلی غالب به شبکه ای چندمحوری با مسیرهای پیونددهنده متنوع تحول یافته است. در سناریوی اول، مقادیر پایین ادغام و انتخاب همراه با آنتروپی نامتعادل، خوانایی ضعیف فضاها و نیز تمرکز حرکت بر مسیر اصلی را نشان می دهد. در سناریوی دوم با افزایش جزئی ادغام و گسترش تنوع در ارتباط فضایی، نخستین نشانه های مرکزیت حرکتی در فضای چندمنظوره پدیدار می شود؛ با این حال، کنترل حرکت همچنان در مسیر اصلی متمرکز مانده و پیوند مسیرهای جانبی به قدر کافی تقویت نشده است. در سناریوی سوم جهش محسوسی در شاخص های ادغام و انتخاب رخ می دهد که بیانگر شکل گیری شبکه ای فعال تر با مسیرهای پیاده و دوچرخه با قابلیت دسترسی بالاتر است، درحالی که مقدار نسبتاً بالای آنتروپی در این مرحله، نشانه ای از ناهمگونی فضایی و گسست جزئی میان عرصه های پرتحرک و آرام است. سناریوی چهارم نقطه ی تعادل شبکه است، جایی که مقادیر ادغام، انتخاب، کنترل و آنتروپی به صورت متناسب افزایش یافته و پیوند میان فضاهای مرکزی و پیرامونی به خوبی برقرار می شود؛ این پیکربندی، نظام حرکتی را نه تنها خواناتر، بلکه از دیدگاه عملکردی نیز یکپارچه تر می سازد. سناریوی پنجم نیز از نظر شاخص انتخاب و تنوع فضایی در سطح مطلوب قرار دارد، اما گسترش ورودی ها و توزیع گسترده ی مسیرها موجب افت نسبی شاخص ادغام و کاهش تمرکز مرکزیت حرکتی شده است. در نهایت، سناریوهای چهار و پنج بیشترین تعادل را میان چهار شاخص نحوی برقرار می سازند؛ به گونه ای که ادغام و انتخاب در بالاترین سطوح و آنتروپی در وضعیت متعادل قرار گرفته و توزیع حرکت به شکلی منظم و پایدار شکل گرفته است. تنها نکته ی قابل بهبود در سناریوی پنج افت نسبی ادغام ناشی از تعدد ورودی ها و پراکندگی مسیرهاست که با تقویت خوانایی مسیرهای فرعی می تواند به وضعیت ایده آل برسد.

پیشنهاد سناریوهای بهینه در بسترهای متنوع ایران

با توجه به تحلیل شاخص‌های نحوی و نتایج جدول‌های مقایسه‌ای، سناریوهای پیکربندی این پژوهش می‌توانند به منزله‌ی الگوهای سازگار با شرایط متنوع جغرافیایی و فرهنگی ایران مورد تفسیر قرار گیرند؛ تخصیص هر سناریو به بسترهای متفاوت ایران، جنبه‌ی تطبیقی و پیشنهادی داشته و می‌تواند بسته به ویژگی‌های بستر، نیازهای عملکردی یا بازخورد تحلیلی تغییر یابد. در مناطق کوهستانی با توپوگرافی پیچیده، سناریوهای دو و سه به سبب ساختار سلسله‌مراتبی و تمرکز مسیرها پیرامون محور اصلی، عملکرد بهینه‌تری دارند؛ در این بستر، بخش‌های دارای کنترل و ادغام بالاتر امکان هدایت حرکت در امتداد شیب را فراهم کرده و با خطوط ارگانیک منظر طبیعی هماهنگی دارند. در اقلیم‌های گرم و خشک که سایه، تراکم فضایی و مسیرهای کوتاه با گره‌های حرکتی محدود اهمیت دارند، سناریوی سه و چهار با برقراری تعادل میان ادغام، کنترل و آنتروپی، توانسته‌اند شبکه‌ای نیمه‌متراکم و خوانا تولید کنند که امکان توزیع متعادل حرکت در فضاهای سرپوشیده و نیمه‌باز را فراهم آورد. در نواحی گرم و مرطوب که تهویه طبیعی و گشودگی مسیرها ضرورت دارد، سناریوی پنج با شبکه‌ی گسترده‌تر مسیرها و تقسیم مرکزیت میان چند فضای عملکردی، از تهویه و جریان آزاد هوا پشتیبانی می‌کند؛ هرچند برای حفظ تمرکز حرکتی، لازم است خوانایی مسیرهای فرعی در طراحی اصلاح گردد تا از پراکندگی بیش از حد جلوگیری شود. در بسترهای معتدل، الگوی ترکیبی چهار و پنج مناسب‌تر است، چراکه همزمان با تعادل میان شاخص‌های ادغام، انتخاب، کنترل و آنتروپی، امکان پیوند میان سلسله‌مراتب عملکردی و چشم‌انداز باز را فراهم می‌سازد. به این ترتیب، از منظر توپولوژیک و بصری، سناریوهای سه تا پنج به عنوان الگوهای پیشنهادی تطبیقی، می‌توانند مبنای اولیه برای طراحی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره در ایران باشند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و اعتبارسنجی الگوی پیکربندی بهینه برای پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره در ایران، از چارچوب نظری «نحو فضا» بهره گرفته است. این روش با ترکیب تحلیل‌های کمی و طراحی مولد، امکان سنجش عینی روابط فضایی و کارکردی را در سناریوهای مختلف طراحی فراهم ساخت. فرایند تحقیق به صورت قیاسی و مبتنی بر شبیه‌سازی رایانه‌ای انجام شد؛ ابتدا ساختار گرافیکی پل بر اساس کهن‌الگوهای ریخت‌شناختی تدوین و سپس در محیط گرس‌هاپر-سیمنتیک، شاخص‌های ادغام، انتخاب، کنترل و آنتروپی برای پنج سناریوی نماینده، محاسبه و مقایسه گردید. نتایج تحلیل نشان داد که تحول طراحی از ساختار خطی به شبکه‌ای چندمحوری، موجب افزایش خوانایی و پویایی حرکتی فضاها شده است. در این میان، سناریوهای چهارم و پنجم بیشترین تعادل میان شاخص‌های نحوی را برقرار کرده و از نظر عملکرد فضایی، پایدارترین ساختار ارتباطی را ارائه می‌دهند. افزون بر این، الگوهای حاصل، قابلیت تعمیم به سایر بسترهای جغرافیایی و فرهنگی ایران را نیز دارد. در مجموع، این پژوهش با تبیین کارکرد رویکرد نحو فضا در طراحی پل‌های پیاده‌ چندمنظوره، مدلی کمی و قابل بومی‌سازی برای ارتقای عملکرد حرکتی، اجتماعی و اقلیمی این فضاها ارائه کرده است.

در پایان لازم است تأکید شود که اگرچه این پژوهش با بهره‌گیری از روش نحو فضا، به تحلیل پیکربندی در پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره پرداخته و توانسته است ارزش‌گذاری روشنی از منظر تعاملات فضایی و پویایی حرکت و مکث ارائه کند، اما این نتایج به معنای ارائه پاسخی مطلق برای طراحی چنین پل‌هایی نیست. شکل‌گیری پل‌های پیاده چندمنظوره متأثر از جنبه‌های دیگری است باید به آن توجه شود؛ یکی از مهم‌ترین این مؤلفه‌ها، بستر طرح است؛ عواملی همچون اختلاف تراز ورودی‌ها، موقعیت استقرار پل در شهر، یا قرارگیری آن بر روی بزرگراه، رودخانه یا دره می‌تواند تحولاتی در الگوی دسترسی و ساختار فضایی ایجاد کند. افزون بر این، نقش بصری و نمادین پل در منظر شهری نیز ممکن است به عنوان اولویت طراحی مطرح شود؛ در حالی که در برخی بسترها پل می‌تواند

صرفاً یک مسیر حرکتی و در نقطه‌ای دیگر، مقصدی تفرجگاهی تلقی شود. از سوی دیگر، امکان یا محدودیت‌های دسترسی به پل در ترازهای ارتفاعی مختلف در بسترهای کوهستانی یا هموار، می‌تواند جهت‌گیری ورودی‌ها و نقاط اتصال را تعریف کند. فناوری ساخت نیز از عواملی است که باتوجه به نوع سازه، مصالح و طول دهانه‌ها بر نمادین بودن، شکل و میزان خوانایی بنا تاثیر می‌گذارد؛ در کنار این موارد، ملاحظات اقتصادی نقش تعیین‌کننده‌ای دارند؛ هر چه ساختار پل پیچیده‌تر باشد، نیازمند فناوری پیشرفته‌تر و هزینه بالاتری است؛ درحالی‌که در شرایط با بودجه محدود، طرح ممکن است به حالت‌های ساده‌تر با تعداد کمتر کاربری‌های پیرامونی تقلیل یابد. بنابراین روشن است که تحلیل حاضر، که بر سنجش جنبه‌های حرکت و مکث از طریق نحو فضا متمرکز بوده، تمامی ابعاد مورد نیاز برای طراحی پل‌های پیاده‌محور چندمنظوره را پوشش نداده و بیانگر نقطه نظر تحلیلی خاصی در فرایند تصمیم‌گیری طراحی است. طراحان و پژوهش‌گران می‌توانند در آینده، ادغام این تحلیل‌ها با داده‌های مربوط به ابعاد مختلف بستر طبیعی و مصنوعی، فناوری ساخت و پارامترهای مهندسی و اقتصادی را دنبال کنند تا امکان توسعه مدل‌های جامع‌تر برای طراحی پل‌های پیاده چندمنظوره فراهم شود.

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.

موازین اخلاقی

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

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

Multi-purpose pedestrian-oriented bridges have evolved into critical public spaces that merge mobility, social interaction, and urban vitality. Historically, bridges have served as connectors across geographical and social boundaries, shaping the movement of people, goods, and cultural exchange. Contemporary scholarship indicates that spatial configuration plays an essential role in enabling such structures to function as socially responsive environments, shaping how people move, gather, and experience urban landscapes. The emergence of **Space Syntax theory**, introduced by Hillier and Hanson, offers a rigorous method for analyzing and predicting how spatial arrangements affect patterns of movement and interaction (1, 20). Complementary studies confirm that bridges must be designed at a human scale, attuned to social needs, and integrated into the wider morphology of the city (7). Historical accounts also underscore the evolutionary and socio-cultural functions of bridges in Persian cities, contributing to urban coherence and collective identity (4, 5).

In contemporary urban settings—especially in Iranian cities shaped by diverse climatic, cultural, and geomorphological conditions—pedestrian bridges have the capacity to function as vibrant public venues that support both movement and experiential engagement. Scholars emphasize that modern societies, characterized by privatized lifestyles and reduced public interaction, require renewed investment in lively communal spaces (6). Bridging this need requires spatial designs that integrate behavior, morphology, and meaning (11).

Research on bridge architecture has traditionally focused on structural and engineering dimensions, leaving a significant gap in functional-spatial analysis. Likewise, although Space Syntax has been widely applied in urban analysis—from predicting pedestrian flows (12) to understanding social interactions in public spaces (13)—applications in generative design for multi-purpose pedestrian bridges remain limited. Moreover, studies caution that syntactic results are sensitive to defined boundaries and methodological inconsistencies (14). Therefore, an integrated analytical–generative process is required to model, test, and optimize bridge spatial layouts.

Additional research in architectural and landscape contexts shows that syntactic measures can reveal latent socio-spatial logic (21), predict circulation flows in commercial environments (16), and mediate between objective and subjective spatial dimensions (17). The method also helps validate design intuition through quantitative measurement (19). Yet critiques highlight that Space Syntax may oversimplify spatial complexity or exclude critical contextual variables such as land-use or vertical geometry (25, 26).

More recent work demonstrates a shift from analytical to generative design using syntactic reasoning (27, 28), addressing long-standing gaps between design exploration and post-design evaluation. In this evolving methodological landscape, multi-purpose pedestrian bridges in Iran present a unique opportunity for synthesizing cultural, functional, and spatial parameters within a computationally grounded design framework.

The present study aims to articulate an optimized functional deployment model for pedestrian-oriented multi-purpose bridges in Iran using Space Syntax as its primary analytical and generative tool.

Methods and Materials

This research followed a quantitative design strategy using computational simulation and scenario-based spatial modeling. First, a systematic review of historical, architectural, environmental, and socio-cultural characteristics of Iranian and international pedestrian bridges was conducted to identify recurring functional spaces—such as viewpoints, cafés, multi-purpose platforms, bicycle lanes, and service areas—and to determine their relative spatial value in successful bridge precedents. These insights were then translated into a base graph model in which each functional space was represented as a node connected through possible pedestrian and bicycle routes.

Using morphological principles derived from urban form taxonomies, five representative spatial configuration scenarios were generated, including linear arrangements, clustered layouts, dual-layer structures, and multi-gate systems. These scenarios were modeled in Rhino–Grasshopper using the Syntactic plugin, enabling transformation from conceptual diagrams to analyzable spatial graphs.

Eight detailed syntactic simulations were then performed, extracting four key Space Syntax metrics: integration, choice, control, and entropy. These outputs were tabulated for each scenario to allow comparison. A multi-criteria decision-making process was subsequently applied in which the metrics were weighted based on patterns observed in documented case studies. Sensitivity testing ensured that the final optimized configuration remained stable under varied weighting assumptions.

Findings

The scenario-generating phase yielded five primary configuration models capturing a wide spectrum of plausible spatial arrangements for multi-purpose pedestrian bridges. Linear configurations around a central path (Scenario 1) represented the simplest syntactic structure, while clustered arrangements (Scenario 2) introduced richer spatial differentiation between movement and pause areas. A hybrid linear–peripheral path model (Scenario 3) added multiple circulation layers, and the two-level structure (Scenario 4) introduced vertical complexity with separate or integrated functional layers. Multi-gate configurations (Scenario 5) incorporated three to five access nodes, creating complex circulation patterns through the bridge.

Syntactic analysis revealed significant variation across scenarios:

- **Integration** values were highest in scenarios where functions were positioned along or adjacent to primary movement routes, with Scenario 2 showing particularly strong centrality for multi-purpose and café spaces.
- **Entropy** varied widely: low-entropy scenarios indicated highly readable spatial structures, while higher entropy scores—particularly in Scenario 3 and two modes of Scenario 4—reflected increased spatial complexity and a greater diversity of route options.
- **Choice** analysis showed that several scenarios produced strong through-movement corridors, especially scenarios with multiple circulation layers; in these cases, pedestrian flows were distributed more evenly across the structure.
- **Control** values demonstrated which functional spaces exerted influence over adjacent circulation routes. Scenario 3-4 and Scenario 2-4 offered the most balanced distribution of controlling nodes, indicating a more equitable spatial hierarchy.

The comparative multi-metric assessment showed that Scenario 3-4 (the dual-layer hybrid configuration) provided the most favorable balance between movement continuity, spatial legibility, and opportunities for interaction. Scenario 2 also performed strongly but lacked the layered flexibility seen in Scenario 3-4. Linear Scenario 1 ranked lowest due to limited spatial richness and reduced potential for social engagement.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that functional deployment in multi-purpose pedestrian bridges is optimized when spatial configurations integrate both horizontal and vertical layering, enabling simultaneous movement and interaction without compromising clarity of circulation. The dual-layer hybrid scenario effectively reconciles three design needs: continuous pedestrian flow, distributed interaction nodes, and intuitive spatial navigation.

The results demonstrate that bridges benefit from syntactic structures that allocate high-integration zones to social and multi-purpose spaces, while directing more specialized or service-oriented functions toward moderate-integration zones. Multi-gate systems offer greater distribution of movement, yet require careful control of complexity to avoid cognitive overload. The

syntactic evidence confirms that the vibrancy of pedestrian bridges depends not merely on physical form or amenities but on underlying configurational logic.

Overall, the study shows that Space Syntax provides a powerful generative and diagnostic framework for designing pedestrian bridges that function as public destinations rather than simple connectors. The optimized model produced here can guide future context-sensitive bridge design across Iranian urban waterways, supporting enriched social life, experiential quality, and functional versatility within these critical urban infrastructures.

References

- Hillier B, Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge: Cambridge University Press; 1984.
- Abdī M. An Inquiry into the Role of the Bridge as a Type of Urban Space (Case Study: Tabiat Bridge, Tehran). *Me'mārī Shenāsī* (Architectural Studies). 2020(10):1-8.
- Ehteshami M. Bridges of Iran. Tehran: Office of Cultural Research Publications; 2007.
- Nāzemī E, Ḥabīb F, Mājedī H. The Function of the Bridge as an Urban Space. *Geography and Environmental Studies*. 2016(16):23-34.
- Nezhadebrahimi A, Nazarzadeh Unsroudi E, Nazarzadeh Unsroudi F. Factors Influencing the Formation of the Architecture of Historical Bridges in the Uneven Regions of Iran. 2020.
- Gehl J. Cities for People. Tehran: Elm-e Me'mār; 2015.
- Engelsmann S, Casucci S. The Neglected Aspect of Urban Bridges as Public Spaces. IABSE Congress Report, International Association for Bridge and Structural Engineering. 2000;16(24):64-72.
- Salamak M, Fross K. Bridges in Urban Planning and Architectural Culture. *Procedia Engineering*. 2016;161:207-12.
- Chang S-P, Choo JF. Values of Bridge in the Formation of Cities. IABSE Symposium Report, International Association for Bridge and Structural Engineering. 2009;95(1):25-46.
- Wells M, Clash P. Footbridges. ICE Manual of Bridge Engineering: Second Edition: ICE Publishing; 2008. p. 459-84.
- Pourmohammadi P, Mafakher F, Saedsamimi A, Matin M. Typology of "Internal Structure of Form" with an Argand Formal Approach (Case Study: Bridges of Historical Settlements of Iran). 2020.
- Sharmin S, Kamruzzaman M. Meta-analysis of the relationships between space syntax measures and pedestrian movement. *Transport Reviews*. 2018;38(4):524-50.
- Can I, Heath T. In-between spaces and social interaction: a morphological analysis of Izmir using space syntax. *Journal of Housing and the Built Environment*. 2016;31(1):31-49.
- Teklenburg JA, Timmermans HJ, van Wagenberg AF. Space syntax: standardised integration measures and some simulations. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1993;20(3):347-57.
- Zhai Y, Baran P, editors. Application of space syntax theory in study of urban parks and walking. Proceedings of the ninth international space syntax symposium; 2013: Sejong University Press.
- Penn A, Turner A. Space syntax based agent simulation. Springer-Verlag 2002. p. 99-114.
- Wang W. The Pedestrian Bridge as Everyday Place: An Urban Reference of Placemaking in High-Density Cities 2017.
- Dursun P, editor Space syntax in architectural design. 6th international space syntax symposium; 2007; Istanbul: ITU Faculty of Architecture.
- Maina JJ. Discovering hidden patterns: An overview of space syntax methods in architecture and housing research. 2014.
- Hillier B, Hanson J, Graham H. Ideas are in things: an application of the space syntax method to discovering house genotypes. *Environment and Planning B: planning and design*. 1987;14(4):363-85.
- Hamadānī Golshan H. Re-thinking the Theory of "Space Syntax," an Approach in Architecture and Urban Design; Case Study: The Boroujerdi House, Kashan. *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*. 2015;20(2):85-92.
- Farshīdī M, Manšūrī SA, Mīrshāhzādeh S. The Impact of Mental Components on Space Syntax Analysis Using a Weighted Graph (Case Study: The Artists' House of Tehran). *Bāgh-e Nāzar* (View Garden). 2022;19(113):105-22.
- Hillier B, Vaughan L. The city as one thing. *Progress in planning*. 2007;67(3):205-30.
- Rīsmānchīān O, Bell S. Practical Understanding of the Space Syntax Method in Comprehending the Spatial Configuration of Cities. *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*. 2010;2(43):49-56.
- Dettlaff W. Space syntax analysis-methodology of understanding the space. *PhD Interdisciplinary Journal*. 2014;1:283-91.
- Czerkauer-Yamu C, Voigt A, editors. Strategic planning and design with space syntax. *City Modelling, eCAADe*; 2011.
- Nourian P, Rezvani S, Sariyildiz S, editors. A syntactic architectural design methodology. Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium; 2013; Seoul, South Korea.
- Nourian P, Rezvani S, Sariyildiz S, editors. Designing with Space Syntax: A configurative approach to architectural layout, proposing a computational methodology. 31st International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe 2013); 2013.
- Lynch K. The Image of the City. Tehran: University of Tehran; 2016.