بررسی و تحلیل تکنولوژی ساخت و طرح سازه و معماری پل‌های عابر پیاده‌ی شاخص

امیرحسین صادق‌پور [*۱]، فاطمه سمامی کجیدی[۲]، علی عمرانی پور[۳]

۱- استادیار دانشگاه کاشان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان

۲- استادیار دانشگاه کاشان

خلاصه

برای بررسی دلایل موفقیت پل‌های عابر پیاده‌ی شاخص بین المللی لازم است تا ویژگی‌های طرح آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. از میان عواملی که در طراحی پل‌ها نقش دارند، مشخصه‌های فنی و کارکردی از قبیل تکنولوژی ساخت، طرح معماری، سازه، ابعاد و عناصر اصلی و همچنین کاربری و نحوه تاثیر بر منظر، را می‌توان با معیارهای ثابت مهندسی تا حدودی مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش بعد از معرفی رابطه‌ی پل و فضای شهری، به اهداف طراحی پل، ضوابط و استانداردهای طراحی و بررسی نمونه‌های موردی پرداخته می‌شود. سپس با مطالعه‌ی تعدادی از نمونه‌های موردی شاخص بین‌المللی، میزان اثرگذاری این عوامل ذکر شده، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته می‌شود. نتایج این بررسی‌ها در قالب نمودارها و تحلیل‌ها ارائه خواهد شد و در انتها، نتایج استخراج شده از این مطالعات، بیان خواهد شد.

کلمات کلیدی: پل عابر پیاده، معماری پل، سازه پل، پل عابر پیاده در منظر شهری

۱. مقدمه

فضای شهری بخشی از فضای کالبدی شهرهاست که دارای سابقه‌ای به لحاظ زمانی و فعالیتی بوده و متعلق به عموم مردم است، و در آن عمدتا فعالیت‌های اجتماعی در حال رخداد است. کامل ترین درک فضایی از پل در بستر شهر، پذیرش پل به عنوان فضای شهری است.[1] پل ها عناصری خاص از معماری هستند. اگر چه آنها ساخته شده اند تا به نیاز اساسی برای عبور از مانع پاسخ دهند، اما اکنون از مرزهای این هدف خارج شده و در حال حاضر یکی از مهم ترین و منحصر به فرد ترین ساختارهای سازه‌ای دنیا هستند.[2] پل ها، سازه هایی هستند که هم ارزش مهندسی و هم معماری دارند. دهانه های بزرگ برای پل ها و نسبت عرض به دهانه ی کم آن ها، کیفیت سازه ای به خصوصی را برای آن ها به وجود می آورد. در آغاز پل ها به شکل سیستم های ساده ی عملکردی ساخته می شدند. با افزایش دهانه ها و پیشرفت تکنولوژی، ایده ی سازه

[*] **Corresponding author: توضیحات مربوط به نویسنده اوّل**

Email: sadeghpour@kashanu.ac.ir

آن ها پیچیده تر شد. همچنین به وجود آوردن ساختاری که هم ایده های سازه ای و ایستایی، و هم انتظارات عملکردی و معمارانه را پاسخ گوید، تبدیل به یک چالش شد. به طوری که موفقیت یک پروژه را می توان ایجاد هماهنگی مناسب میان این دو مفهوم متفاوت سازه و معماری دانست. همچنین، در طول تاریخ نیازهای زیبایی شناسی، در توسعه ی فرم های سازه ای مبدعانه تاثیر داشته است.[3]

پل های عابر پیاده نوعی از فضای شهری هستند که معمولا به سبب ابعاد و سرعت کم عبور، مانوس ترین نوع پل برای مردم هستند.[2] قدیمی‌ترین پل‌ها برای عبور پیاده‌ها طراحی شده‌اند. در سال‌های اخیر، پل عابر پیاده یک دوره‌ی تجدد را تجربه کردند؛ از زمانی که برنامه‌ریزی و طراحی شهری شروع به عقب نشینی از دوره‌ی سلطه‌ی ماشین‌ها کرد و رویکردی انسانی و حساس تر را در بر گرفت که اولویت را به عابران و دوچرخه سواران می‌دهد.[4] امروزه، انتظار می‌رود که علاوه بر عملکرد اولیه‌ی ایجاد ارتباط فیزیکی میان دو نقطه، ، یک نشانه‌ی شهری، به عنوان نمادی از اصلات، نواوری و پیشرفت به وجود بیاورند. بر طبق پژوهش ناظمی و همکاران، سه ویژگی در سیر تکامل پل‌ها نقش دارند؛ ویژگی اول شاخصه‌های فنی، از جمله کالبد، مصالح، شکل و ابعاد است. ویژگی دوم کارکرد، و سوم کیفیات معنوی و ارزشی.[1] برخی از این شاخصه‌ها در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت. در این پژوهش در ابتدا مروری داریم بر اهداف طراحی پل، ضوابط و استانداردها، سازه و مصالح در طراحی پل‌های عابر پیاده. سپس در بخش نمونه‌های موردی، میزان اثرگذاری شاخصه‌های فنی تعدادی از پل‌های عابر پیاده‌ی شاخص بین‌المللی که در دو دهه‌ی اخیر ساخته شده‌اند را مورد بررسی و تحلیل قرار دهیم. همچنین ارتباط آن‌ها را با دو شخصا کارکردی کابری و میزان اثرگذاری بر منظر می‌سنجیم.

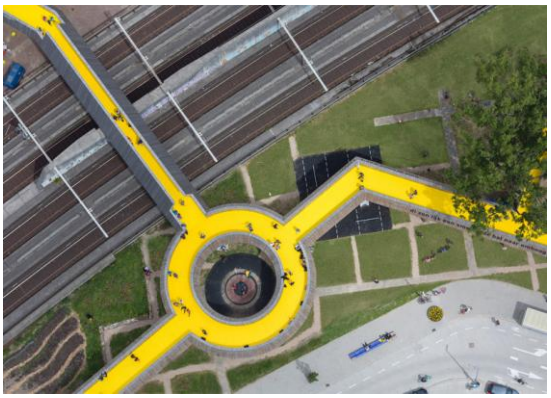
۲. اهداف طراحی

ساختار یک پل باید موجب خلق چیزی شود که در معماری و شهرسازی به عنوان فضا، یا فضای به خصوصی که بتوان آن را درک کرد، تلقی شود.[5] بهترین رویکرد برای طراحی پل‌ها در یک منظر، شروع طراحی از زمینه آن‌ها بدون استفاده از روش‌های نوی سنت‌گرایانه است. پل‌ها ابزارهایی برای قوی‌تر کردن هویت مکان به ما می‌دهند. [6] پل‌ها غالبا به چند منظور عمده بر منظر شهری ساخت‌گاه خود اثرگذارند:

۱) به عنوان یک نشانه‌ی شهری در مقیاس بزرگ (مانند پل صلح گرجستان) (شکل۱)
۲) به عنوان سکویی برای تماشای منظر اطراف (مانند پل هندرسن ویوز) (شکل ۲)
۳) پیوند چند منطقه برای باز زنده‌سازی و احیای زمین‌ها (مانند پل لوشت زینگل) (شکل۳)

شکل ۱ – پل صلح گرجستان، تفلیس، ۲۰۱۰ [7]

شکل ۲ – پل عابر هندرسن ویوز، سنگاپور ، ۲۰۰۸ [8]



شکل ۳ – پل لوشت زینگل، روتردام ، ۲۰۱۵ [9]

اگرچه یک پل می‌تواند درعین حال چند منظور را برآورده کند، معمولا یکی از این‌ها در طراحی فرم سازه و معماری پل معیار قرار می‌گیرد.. مثلا طراحی یک پل به عنوان نقطه عطف شهری، نیازمند یک سازه‌ی خاص و نمایان و احتمالا دارای اجزا با ابعاد بزرگ(برای دید از فواصل دورتر) است، ولی یکی پل برای تماشای منظر اطراف، هرچه کمتر سازه و فرم خود را به رخ می‌کشد تا بتواند بر منظر مورد نظر تاکید کند و دید را به آن سوق دهد. بسیاری از پل‌ها با منظور اولیه ایجاد ارتباط بین دو منطقه و عبور ساخته می‌شوند، اما طراحی بدنه و اجزای پل، کارکردهای بیشتری را به آن اضافه می‌کنند که آن‌ها را را به پل‌های منظرگردی مبدل می‌کند.

۳. ضوابط و استانداردهای طراحی

طراحی مفهومی یک پل باید با توجه به محدودیت های زیر صورت بگیرد: توپوگرافی، زمین شناسی، فاصله ی ایمن، هندسه جاده، استانداردها. معمولا طراحی مفهومی با انتخاب سیستم سازه ای، طول دهانه ومصالح صورت می گیرد که همه این ها به هم وابسته اند. هر سیستم سازه ای معمولا به بیشتر از یک دسته طول دهانه بهینه هم خوانی دارد. مناسب ترین این گزینه‌ها باید با درنظر گرفتن توپوگرافی، زمین شناسی، فاصله ایمن وسایل نقلیه وساخت و ساز انتخاب شوند[10] در نهایت، طراحی باید بر اساس یک ارزیابی دقیق و کامل از سایت پل صورت گیرد. یک پل کابلی، ممکن است برای یک مکان مناسب باشد درحالی که در جای دیگری، یک قوس نافذتر باشد و دیدنی تر حاضر شود. نمای یک پل باید بر طبق مسیرهای عبور موجود، قرار گیرد. منظور کردن توپوگرافی سایت در طراحی پل، بسیار اهمیت دارد. همچنین خطوط سایت بسیار با اهمیت است، خصوصا برای پل های عابر در مناطق درون شهری، که این سازه ها می توانند دیدهایی به شهر فراهم کنند در حالی که هم زمان یک هویت خاص به یک منطقه می دهند.[11]

استانداردها مقررات بسیار معمولی را برای حداقل مقادیر مسیرهای بدون مانع در فضاهای عمومی ایجاد می کند. این مشخصات به تنوع بین المللی بستگی دارد. به عنوان مثال : در بریتانیا عرض ۱,۸۰ تا ۲ متر برای مسیرهای پیاده روی و مسیرهای دوچرخه قابل قبول است، در حالی که استرالیا پهنای باند بالا تا ۳ متر باید باشد.[12]

در سراسر دنیا ضوابط و مقادیر مربوط به طراحی پل‌ها به صورت مرجع توسط انجمن تحقیقات جاده و حمل و نقل هر کشور منتشر می‌شود. مثلا موسسه بزرگراه ها و حمل و نقل آمریکا که آن را با نام اختصاری AASHTO می شناسیم یک کتاب راهنما جهت بارگذاری و طرح این نوع پل‌ها ارائه کرده است*.

EFA انجمن تحقیقات جاده و حمل و نقل در آلمان، در توصیه های خود برای امکانات ترافیکی عابر پیاده دستورالعمل ها را در این زمینه ارائه می‌دهد، الزامات اساسی برای امکانات زیربنایی عابر پیاده را با ویژگی های مختلف ترافیکی مشخص می کند و اصول برنامه ریزی اساسی را پایه‌ریزی می‌کند. همچنین است است در کشورهای دیگر مانند: British Standards 5400 در بریتانیا، Japanese footbridges Design Code در ژاپن، استاندارد Austroads 13,14,92 در استرالیا و .... در ایران هم در نشریه شماره ۱۴۴ سازمان برنامه و بودجه جمهوری اسلامی ایران، استانداردهای پل عابر پیاده، تحت عنوان گذرگاه عرضی غیرهمسطح ذکر شده است. بر اساس این استاندارد، عرض روگذر ویژه‌ی پیاده باید حداقل ۱,۸ متر باشد.[13]

* LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges 2009 (AASHTO)

در آیین نامه‌های مختلف میزان حداقل عرض پل را متفاوت در نظر گرفته‌اند، ولی به طور کلی میزان آن بستگی به میزان ترافیک (کاربری) و این دارد که آیا مختص عابرپیاده است، یا هم‌زمان برای عابر پیاده و دوچرخه، طراحی می‌شود. در EFA، عرض ۱٫۸ متر برای پیاده‌رو توصیه می‌شود. و مسیر دوچرخه باید ۲متر باشد. در صورت مصرف مشترک این دو عرض باید حداقل ۲٫۵ متر باشد. عرض اضافی در پل‌ها می‌تواند برای نیمکت ها در فضاهای مکث مسیر به کار رود. بهتر است پل صرفا یرای عابرپیاده درنظر گرفته شود. [12]

باید در نظر داشت که عرض پل، تنها برای استفاده کنندگان آن تعریف نمی‌شود ؛ بلکه ابعاد و طرح آن باید با دیگر عوامل طراحی و برنامه ریزی شهری سازگار باشد. از طرفی عرض پل تأثیر مستقیم بر هزینه ساخت آن دارد.

پلکان، پلکان مستقیم‌ترین مسیر دسترسی به روگذر برای عابران پیاده سالم است. برای دسترسی بهتر افراد کم‌توان یا ناتوان، بهتر است در ساخت روگذر عابر پیاده از بالابر یا پله برقی استفاده شود. بر اساس نشریه ۱۴۴، حتی‌المقدور محور راه‌پله روگذر باید غیرمستقیم باشد و بهتر از با استفاده از پاگرد و پیچ ۹۰ درجه از طول پلکان کاسته شود. اختلاف ارتفاع بین دو پاگرد مجاور نباید از ۱٫۸ متر بیشتر باشد. همچنین بهتر است طراحی پلکان به نحو باشد که به فضای بی‌دفاعی برای سوء استفاده مجرمان تبدیل نگردد.

ارتفاع. ارتفاع آزاد مجاز روگذر پیاده در راه‌های شریانی ۴٫۵ متر و در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها ۵٫۵ متر است. هرچه سازه ظریف باشد و ارتفاع عرشه کمتر باشد، در طول شیب‌راهه صرفه جویی می‌شود.

شیب و رمپ. استاندارد ایران توصیه می‌کند که حتی‌الامکان با شیب‌دار نمودن عرشه و بالا آوردن تراز پیاده‌رو در محل ورودی روگذر از تعداد پلکان و طول شیب‌راه روگذر کاسته شود. شیب روگذر عابر پیاده و سطوح ویژه دوچرخه، باید به اندازه‌ای باشد که تمام کاربران بتوانند به راحتی از آن استفاده کنند. اگرچه شیب تندتر، زمان و فواصل دسترسی را کوتاه‌تر می‌کند، اما در شرایط اقلیمی سخت مثل برف و باران و یخزدگی مشکلاتی را برای کاربران بوجود می‌آورد.

نرده و حفاظ. طرفین عرشه پل باید به خوبی حصارکشی شود تا از سقوط افراد و اشیا جلوگیری شود. نرده ها، جدا از عملکرد آنها، مهم هستند و می‌تواند نقش مهمی را در ظاهر پل ایجاد کند. نرده های طراحی شده به راحتی می توانند به پل جذابیت بصری دهند.

شرایط اقلیمی. یکی دیگر از مهم‌ترین موارد مؤثر در طراحی روگذر عابر پیاده، توجه به شرایط اقلیمی مانند برف، باران و باد است. بر اساس نشریه ۱۴۴ پوشش رویه‌ی عرشه، راه‌پله و شیب‌راه باید غیرلغزنده باشد و همچنین در مقابل عوامل محیطی نامساعد (از قبیل بارش، باد و ...) محافظت گردد. این رویه باید مطابق ضوابط شیب‌بندی شود تا تجمع آب‌های آزاد باعث لغزندگی سطوح نگردیده و در زمستان ایجاد یخبندان نشود.*

روشنایی. روشنایی مطلوب در روگذرها سبب امنیت بیشتر، وضوح مسیر پل، برجسته شدن عناصر تعبیه شده روی معبر و نیز محل‌های ورود و خروج در طول شب می‌شود. روشنایی ها باید در نقاط مختلف از جمله در سازه پل، پله‌ها، معبرهای دسترسی و ... تعبیه شوند. باید توجه داشت که نور بیش از اندازه روی پل، ممکن است برای رانندگان خودروهای عبور کننده از سواره‌روی زیر پل مشکل آفرین باشد.

۴. سازه و مصالح مورد استفاده

* بر اساس نشریه ۱۴۴-۱ و ۲ سازمان برنامه و بودجه جمهوری اسلامی ایران

سیستم سازه‌ی پل، اولین موضوع در بحث فنی در مورد پل ها است. سازه‌ی پل می‌تواند به طور واضح نمایش داده شود و سیستم حمل بار میتواند به طور چشمگیری به چشم غیر مسلح قابل درک باشد. درصورتی که، برخی ترجیح می دهند خصوصیات فنی پل در پشت فرم پنهان شده و تاکید بر درک بصری ساختار آن باشد. پارامتر مهم در انتخاب نوع سازه‌ی پل، چگونگی توزیع بار درون ساختار است[2] روش های مختلفی برای این مکانیزم های انتقال بار وجود دارد. سازه‌های معمول، تیری، خرپایی، قوسی، کابلی و... می‌باشند. در مطالعات مصادیق این پژوهش دیده می‌شود که با توجه به شرایط ساخت‌گاه یا ایده‌ی معماری، گاهی سازه کلی می‌تواند ترکیبی از چند روش سازه‌ای باشد. پل عابر پیاده وین برگ واقع در برندن بورگ که در شکل۴ نشان داده شده است از ترکیب یک سازه قوسی فولادی و سیستم کابلی برای انتقال بار عرشه به سازه قوسی شکل و یک سازه تیر ورق به عنوان عرشه پل تشکیل شده است.

شکل ۴ – پل عابر واین برگ، برندن بورگ، ۲۰۱۴ [14]

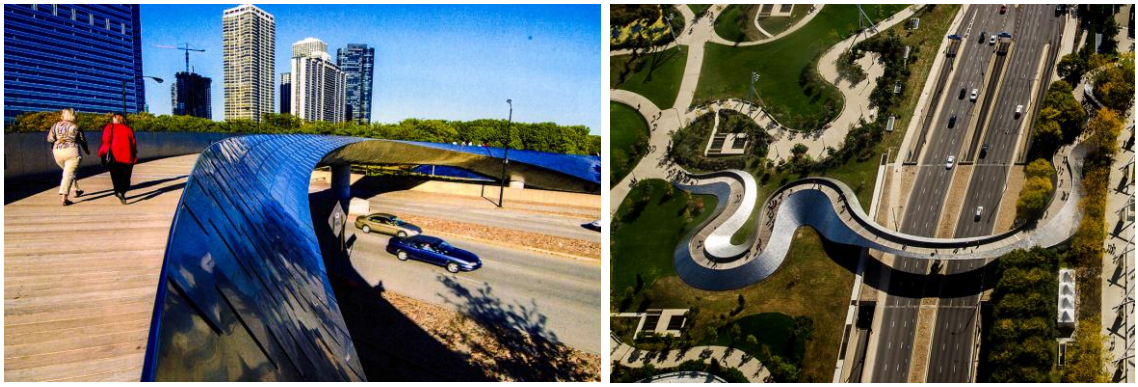
مصالح مورد استفاده در روگذرهای عابر پیاده با توجه به محل قرارگیری، ابعاد، نحوه نگهداری و محافظت و در نظر گرفتن مسایل ناشی از فرسودگی یا تخریب پل تعیین می‌شوند. ملاحظه اصول زیبایی‌شناسی و فراهم کردن شرایط مناسب برای عبور بی‌خطر نیز بر انتخاب مصالح تأثیرگذار است. بتن‌ریزی در محل، بتن آرمه، قطعات پیش‌ساخته، چارچوب فلزی و تخته‌های چوبی یا کامپوزیت از جمله روسازی‌های استاندارد برای روگذر عابر پیاده است. متداول‌ترین و پرکاربردترین سطوح در روگذرهای عابر پیاده، سازه‌های فلزی هستند؛ زیرا این سازه‌ها مقاوم‌تر و با دوام‌ترند. از طرفی ابعاد یک پل فولادی به طور کلی کوچکتر از مشابه پل در حالت بتن است بنابراین، انتخاب فولاد به جای بتن ارتفاع کلی پل را نیز، کاهش می دهد.[12] همچنین برای کف پل، سطوح چوبی به سبب طول عمر نسبتا کم، سهولت تخریب و لغزنده بودن، توصیه نمی‌شود.

۵. بررسی نمونه‌های موردی

در این بخش به منظور آشنایی و معرفی کلی پل‌های عابر پیاده، چند نمونه از این پل‌ها که بعد از سال ۲۰۰۰ مورد بهره‌برداری قرار گرفته معرفی می‌شود.

پل بی پی: اولین نمونه با کابری تفریحی، پل عابر پیاده‌ی بی‌پی در شیکاگو (۲۰۰۴) است. این پل که به سبب شکل و انحنای پلانش « مارگونه» توصیف می‌شود، ۲۸۵ متر طول دارد و با پل زدن بر روی خیابانِ کلمبوس، پارک میلنیوم را به

پارکِ مگی دالی که در کنار دریاچه قرار گرفته متصل می کند. پل شیبی پیوسته به اندازه ۵ درصد دارد که مناسب برای استفاده معلولین طراحی شده است و نیاز به نوع شیبراهه دیگر را برطرف می کند. سازه‌ی اصلی آن، یک سازه‌ی تیری است که با یک قاب ثانویه با صفحات فولاد ضد زنگ پوشانده شده است. فرم توخالیِ این مقطع پل، یک مانع آکوستیکی ایجاد می کند که عابرین را از صدای ترافیک خیابانِ زیرِ آن محافظت می کند. این پل به سبب هویت مجسمه گونه، فرم ساده و خاص پلان و اشارات بیومورفیک مورد توجه است. [15]



شکل ۵ – نمای کلی و عرشه‌ی پل بی‌پی در شیکاگو، ۲۰۰۴ [16]و [17]

پل طبیعت: نمونه‌ی دیگر پل طبیعت در تهران (۲۰۱۴) به عنوان یک پل با عملکرد توریستی است.(شکل ۶) این سازه، با پل زدن بر روی بزرگراه مدرس، بوستان آب و آتش، و پارک طالقانی را به هم متصل می کند. این پل بزرگترین پل عابر پیاده ای است که تاکنون در ایران ساخته شده است. ساختار پل، یک سازه ی سه بعدیِ فولادی پیچیده ی عظیم با دو طبقه ی (ترازِ) معماری قرار گرفته بر روی سه ستون درختی شکل و به طول ۲۷۰ متر است. همه طبقه ها به وسیله ی راه پله ها و چندین شیبراهه به همدیگر مرتبط می شوند و چندین مسیر را برای دسترسی از یک طبقه به طبقه ی دیگر فراهم می‌کنند. اگر چه معمولا پل ها با رویکرد سازه ای طراحی می شوند، اینجا رویکرد، غالبا معمارانه است.[8] یک ایده این بود که وقتی پل، دو پارک تفریحی را به هم وصل می کند، خود نیز می تواند یک فضای تفریحی و ادامه ای از هر دو پارک باشد. با ایجاد فضای سبز، فضای نشستن یا عملکردهای تفریحی دیگر، هر دو پارک روی پل ادامه پیدا می کند و به عبارتی در یکدیگر حل می شوند. با طراحی پل بر مسیر منحنی، دیدهای متنوع ایجاد و حس گشت و گذار به کاربر القا می شود.[18]

شکل ۶ – نمای بیرونی و دید از داخل عرشه‌ی پل طبیعت در تهران، ۲۰۱۴ [7]

پل بینز برو: نمونه‌ی اخر، یک پل با کاربری ارتباطی است. پل عابرپیاده و دوچرخه، به نام بینز برو، که به طول ۲۵۰ متر در شهر اودنسه دانمارک قرار دارد، ارتباطی بین مرکز شهر و بخش بندرگاهی شهر را فراهم می کند. این پل، دسترسی بهتر به ایستگاه راه آهن را نیز فراهم کرده‌است، در عین حال یک نقطه عطف دیدنی جدید برای سومین شهر بزرگ دانمارک است. این پل در سراسر مسیر با ابزار های ساده معماری چشم اندازهای زیبا و مناسبی از شهر اودنسه را برای دوچرخه سواران و عابران پیاده ، شکل می دهد. این پل که در شکل۷ نشان داده شده است یک فضاپیمای پویا و دیدنی از فضای شهری موجود در اودنسه است، چرا که این پل مراکز شهری شمال و جنوب راه آهن را به هم متصل می کند. این بخش به یکی از جذابیت‌های فضای شهری اودنسه تبدیل شده و برای همه عابران و دوچرخه‌سواران و همچنین برای بسیاری از افراد که از طریق قطار به آنجا سفر می کنند، به راحتی قابل استفاده است. [8]

شکل ۷ – نمای شهری و روی عرشه‌ی پل بینز برو، در اودنسه، ۲۰۱۵ [8]

۶. ارزیابی کلی پل‌های ساخته شده

بر طبق پژوهش ناظمی و همکاران، سه ویژگی در سیر تکامل پل‌ها نقش دارند؛ ویژگی اول شاخصه‌های فنی ،از جمله کالبد، مصالح، شکل و ابعاد است. ویژگی دوم کارکرد، و سوم کیفیات معنوی و ارزشی.[1] آنچه در ظاهر پل غالب است اشکال و اندازه عناصر ساختاری آن است، نه عناصر اضافی مانند رنگ و یا بافت. اگر چه این خصوصیات بخش مهمی از تاثیر زیبایی شناسی ساختار است، اما در این ساختار، عرض، ابعاد و عناصر اصلی آن است که بیشترین نقش را در ایجاد اثر آن دارد [2]

در این پژوهش، برای بررسی و تحلیل عوامل اثرگذار بر موفقیت پل‌های عابر در سراسر دنیا، مطالعات فراوان بر روی نمونه‌های شاخص بین‌المللی انجام گرفت و در نهایت ۳۰ پل شاخص انتخاب شدند. برای کوچکتر کردن پژوهش، معیارهایی برای انتخاب پل‌ها در نظر گرفته شد، از جمله: انتخاب پل‌های عابر با طول بیشتر از ۱۵۰ متر، ساخته شده با تکنولوژی نوین، که ساخت آن ها بعد از سال ۲۰۰۰ به اتمام رسیده باشد، مربوط به کشورهای مختلف و درونِ ساخت‌گاه‌های مختلف باشند.

این پل ها دارای تکنولوژی ساخت، طرح معماری، سازه، و کاربری متفاوتی هستند. اکثر پل‌های مطرح شده در این پژوهش جوایز متعدد طراحی را به خود اختصاص داده‌اند و در منابع بین‌المللی به عنوان پل شاخص مطرح شده اند و هویتی نوین برای شهر خود ایجاد کرده‌اند.

جدول ۱- اطلاعات پل‌های عابر شاخص مورد مطالعه در پژوهش
(بر اساس اطلاعات به دست آمده از منابع [32]-[14], [9], [8], [7])

ردیف	نام پل	شهر	کشور	زمان پایان ساخت	طول	موقعیت قرارگیری	سیستم سازه	مصالح سازه	شیوه تاثیر بر منظر	کاربری	تغییر زاویه مسیر	تغییر ارتفاعی در مسیر غیر از ورودی ها
۱	پل عابر پیاده BP	شیکاگو	آمریکا	۲۰۰۴	۲۸۵	اتوبان	تیری	ترکیبی	مسیر منظرگردی	تفریحی	دارد	دارد
۲	پل Santa María de Benquerencia	تولدو	اسپانیا	۲۰۱۱	۲۲۵	اتوبان	کابلی	ترکیبی	نشانه شهری	تفریحی	دارد	دارد
۳	پل هزاره	لندن	انگلیس	۲۰۰۰	۳۲۰	رودخانه	کابلی	فولاد	نشانه شهری	توریستی	ندارد	ندارد
۴	Kew Tree Top Walkway	لندن	انگلیس	۲۰۰۸	۲۰۰	جنگل	صفحه ای	ترکیبی	مسیر منظرگردی	توریستی	دارد	ندارد
۵	پل صلح	تفلیس	گرجستان	۲۰۱۰	۱۵۰	رودخانه	صفحه ای	ترکیبی	نشانه شهری	توریستی	ندارد	ندارد
۶	پل طبیعت	تهران	ایران	۲۰۱۴	۲۷۰	اتوبان	خرپایی	فولاد	مسیر منظرگردی	توریستی	دارد	دارد
۷	پل Henderson Waves	سنگاپور	سنگاپور	۲۰۰۸	۲۸۴	جنگل	صفحه ای	ترکیبی	مسیر منظرگردی	توریستی	دارد	ندارد
۸	پل Luchtsingel	روتردام	هلند	۲۰۱۵	۴۰۰	اتوبان	صفحه ای	ترکیبی	احیای منطقه	تفریحی	دارد	ندارد
۹	پل عابر و دوچرخه Byens Bro	اودنسه	دانمارک	۲۰۱۵	۲۵۰	راه آهن	کابلی	فولاد	نشانه شهری	ارتباطی	دارد	ندارد
۱۰	پل با رستوران گردشگاه Riel	وینی پگ	کانادا	۲۰۰۴	۱۹۷	رودخانه	کابلی	فولاد	نشانه شهری	توریستی	ندارد	ندارد
۱۱	پل Weinberg	برندن بورگ	آلمان	۲۰۱۴	۳۵۰	رودخانه و پارک	ترکیبی	فولاد	مسیر منظرگردی	تفریحی	دارد	ندارد
۱۲	پل ماریپیچ (Helix Bridge)	سنگاپور	سنگاپور	۲۰۱۰	۲۸۰	رودخانه	کش بستی	فولاد	مسیر منظرگردی	ارتباطی	دارد	ندارد
۱۳	پل High-Tech Park	برشوا	فلسطین اشغالی	۲۰۱۶	۲۱۰	راه آهن	خرپایی	فولاد	نشانه شهری	ارتباطی	ندارد	ندارد
۱۴	Lucky Knot	چانگ شا	چین	۲۰۱۶	۱۸۰	رودخانه و پارک	قوسی	فولاد	نشانه شهری	توریستی	ندارد	دارد
۱۵	پل Tiszavirág	اسزولنوک	مجارستان	۲۰۱۱	۴۴۵	رودخانه و پارک	ترکیبی	فولاد	نشانه شهری	ارتباطی	ندارد	ندارد
۱۶	پل Slinky Springs	اوباهاوزن	آلمان	۲۰۱۱	۴۰۶	رودخانه و پارک	صفحه ای	ترکیبی	مسیر منظرگردی	تفریحی	دارد	دارد
۱۷	پل Ponte del Mare	پسکارا	ایتالیا	۲۰۱۰	۴۶۶	رودخانه	کابلی	فولاد	نشانه شهری	توریستی	دارد	دارد
۱۸	پل عابر و دوچرخه Gelsenkrchen	گلزن کیرشن	آلمان	۲۰۰۹	۱۵۳	رودخانه	کابلی	فولاد	مسیر منظرگردی	تفریحی	دارد	دارد
۱۹	پل ساعت آفتابی	ردینگ	آمریکا	۲۰۰۴	۲۳۰	رودخانه	کابلی	فولاد	نشانه شهری	توریستی	دارد	دارد
۲۰	پل Pedro and Inês	کویمبرا	پرتقال	۲۰۰۶	۲۷۵	رودخانه	قوسی	فولاد	نشانه شهری	تفریحی	دارد	دارد
۲۱	پل عابر و دوچرخه Millénaire	پاریس	فرانسه	۲۰۱۶	۱۸۷	رودخانه	تیری	فولاد	مسیر منظرگردی	تفریحی	ندارد	دارد
۲۲	پل صلح	دری	ایرلند شمالی	۲۰۱۱	۲۳۵	رودخانه	کابلی	فولاد	احیای منطقه	ارتباطی	دارد	دارد
۲۳	پل عابر پیاده Paix	لیون	فرانسه	۲۰۰۹	۲۲۰	رودخانه	ترکیبی	ترکیبی	نشانه شهری	تفریحی	ندارد	دارد
۲۴	پل Darul Hana	کوچینگ	مالزی	۲۰۱۷	۳۳۷	رودخانه	کابلی	فولاد	نشانه شهری	توریستی	دارد	دارد
۲۵	پل Consol Energy Wingtip	ویرجینیای غربی	آمریکا	۲۰۱۳	۲۴۰	جنگل	کابلی	فولاد	مسیر منظرگردی	توریستی	ندارد	دارد
۲۶	پل Kurilpa	بریس بین	استرالیا	۲۰۰۹	۴۲۵	رودخانه	کابلی	فولاد	نشانه شهری	ارتباطی	دارد	ندارد
۲۷	پل Golden Jubilee	وست مینستر	انگلیس	۲۰۰۳	۳۱۵	رودخانه	کابلی	ترکیبی	مسیر منظرگردی	توریستی	ندارد	ندارد
۲۸	پل Simone de Beauvoir	پاریس	فرانسه	۲۰۰۶	۳۰۴	رودخانه	خرپایی	فولاد	مسیر منظرگردی	تفریحی	ندارد	دارد
۲۹	پل Nescio	آمستردام	هلند	۲۰۱۳	۷۸۰	رودخانه	کابلی	فولاد	احیای منطقه	ارتباطی	دارد	ندارد
۳۰	پل Infinity	دورهام کانتری	انگلیس	۲۰۰۹	۲۷۲	رودخانه	قوسی	ترکیبی	نشانه شهری	ارتباطی	ندارد	ندارد

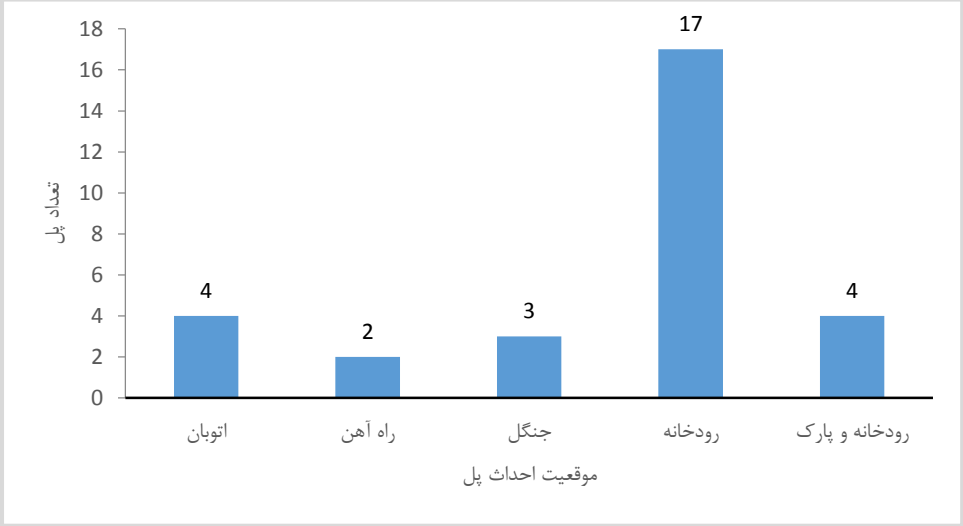
۱-۶- شاخصه‌های فنی

طول: طول از ۱۵۰ متر تا ۷۸۰ متر را شامل می‌شود. اطلاعات برای سهولت بررسی ، در سه دسته‌ی الف) دارای طول کمتر از ۲۰۰ متر، ب) طول در بازه‌ی ۲۰۰- ۴۰۰ متر و ج) دارای طول بیشتر از ۴۰۰ متر مورد تحلیل قرار گرفتند. در جدول ۲ مشخصات نمونه‌های مطالعه‌شده از نظر طول ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر طول پل‌های مورد مطالعه

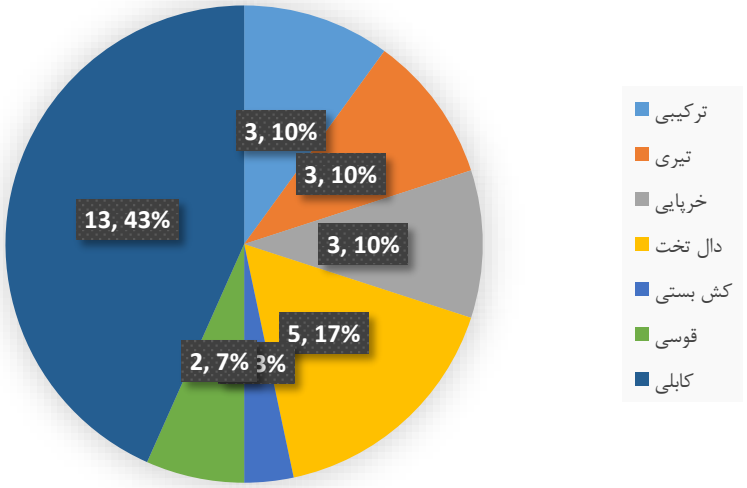
طول	۲۰۰ متر و کمتر	۴۰۰-۲۰۰ متر	بیشتر از ۴۰۰ متر
تعداد	۶	۱۹	۵

ساختگاه: محل قرارگیری و ساختگاه این پل‌ها، بر روی اتوبان، جنگل، راه‌آهن، رودخانه، رودخانه و پارک، یا رودخانه و پارک هستند. مشاهده شد که حدود ۷۰ درصد از پل‌های شاخص بر روی رودخانه قرار گرفته اند.



شکل ۸ – موقعیت پل‌های مورد مطالعه

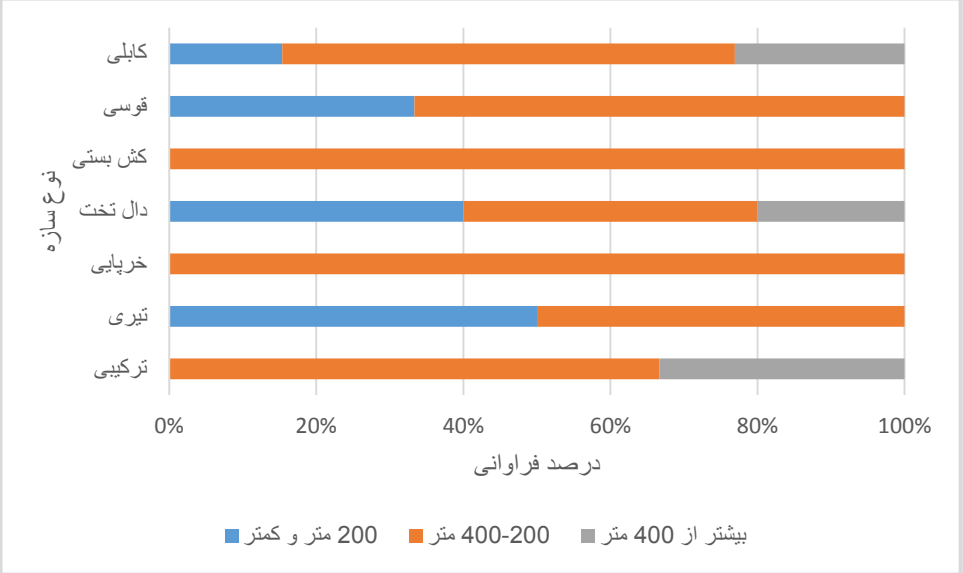
سازه: همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، سازه‌های معمول در این نوع پل‌ها می‌تواند تیری، قوسی، کابلی و یا ترکیبی از چند روش سازه‌ای باشد. سازه مشاهده شده در این پژوهش، از نوع کابلی، خرپایی، قوسی، دال تخت، کش‌بستی، تیری و ترکیبی می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشتر سازه‌ها، از نوع کابلی هستند.



شکل ۹ – درصد فراوانی سازه‌های پل‌های عابر شاخص مورد مطالعه

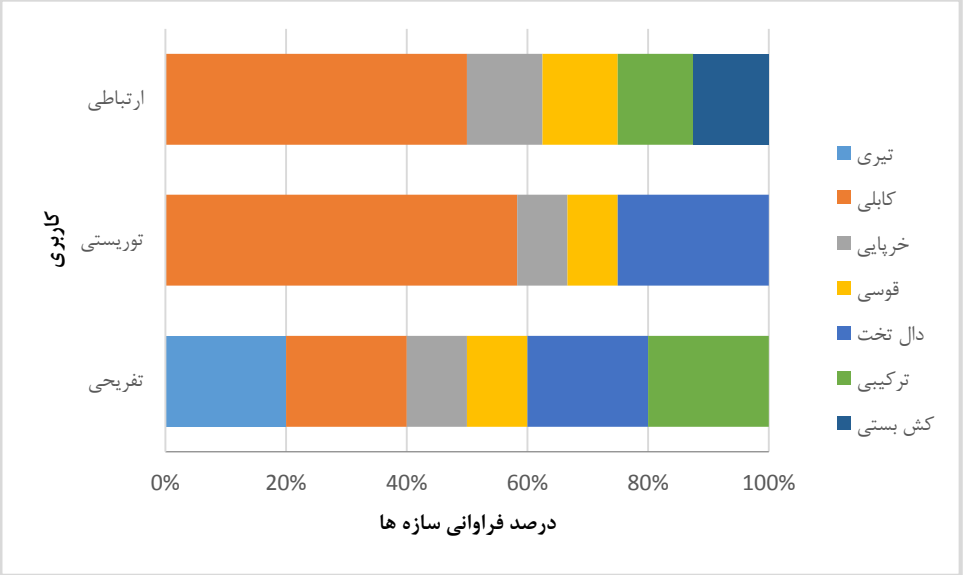
مشخصا انتظار می‌رود که شرایط محل ساخت‌گاه پل بر انتخاب نوع سازه اثرگذار باشد. اگرچه شرایط ساخت‌گاه تعیین کننده‌ی قطعی نوع سازه نمی‌باشد. همچنین قطعا میزان دهانه و طول پل در انتخاب نوع سازه تاثیرگذارند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در طول‌های کمتر از ۲۰۰ متر، سازه‌های به کار رفته بیشتر تیری، قوسی و صفحه‌ای هستند. در طول‌های بیشتر، همه سازه‌ها مشاهده می‌شوند.



شکل ۱۰ – درصد فراوانی سازه‌ها در طول‌های مختلف

با مقایسه سازه پل ها در کاربری های مختلف، نمودار زیر به دست آمده است. همانطور که مشاهده می شود، در کاربری های توریستی و تفریحی، غالبا از سازه های کابلی استفاده شده است.

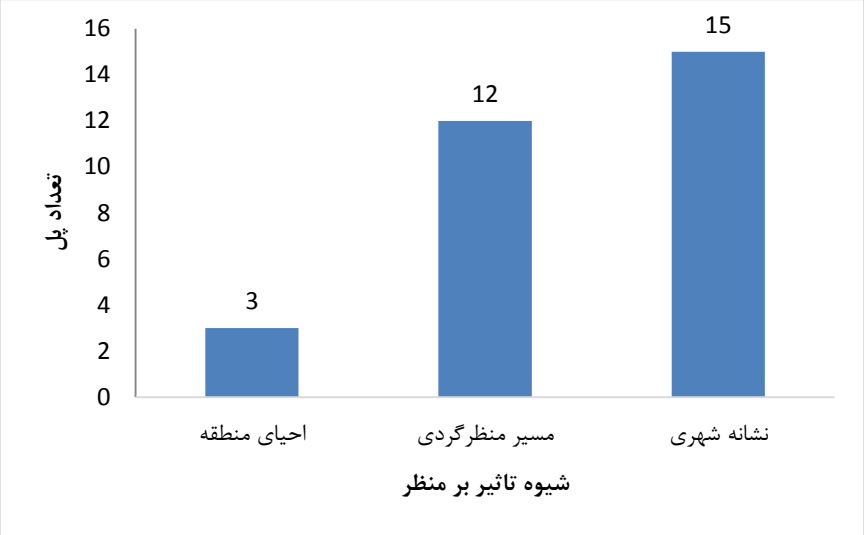


شکل ۱۱ – درصد فراوانی سازه‌ها در کاربری‌های مختلف

مصالح: متداول‌ترین و پرکاربردترین مصالح در پل‌های عابر پیاده، سازه‌های فلزی هستند، زیرا این سازه‌ها مقاوم‌تر و با دوام‌ترند. از طرفی ابعاد یک پل فولادی به طور کلی کوچکتر از مشابه پل در حالت بتن است بنابراین، انتخاب فولاد به جای بتن ابعاد کلی پل را نیز، کاهش می دهد. در نمونه های بررسی شده‌ی این پژوهش، غالب مصالح سازه‌ای، فولاد است. مصالح سازه ای مورد استفاده دیگر، ترکیبی از فولاد- بتن، فولاد- چوب و بتن- چوب است. با تحلیل نموداری داده های به دست آمده از نمودارها مشخص شد در سازه‌های صفحه ای و قوسی از مصالح ترکیبی استفاده شده است و در غالب موارد دیگر از سازه فولادی استفاده شده است.

۲-۶- شاخصه‌های کارکردی

بررسی پل‌های شاخص در این پژوهش نشان داد که نیمی از آن‌ها در نهایت یک نشانه‌ی شهری محسوب می‌شوند. دیده می‌شود که طراحی صحیح این پل‌ها، منجر به ایجاد یک مسیر منظرگردی یا بنای نشانه‌ای شاخص منطقه یا کشور شده است.



شکل ۱۳ – فراوانی نحوه اثرگذاری پل‌ها بر منظر شهری

کاربری: غالب این پل‌ها دارای کاربری توریستی و تفریحی هستند. حدود کمتر از ۳۰ درصد فقط برای مقاصد ارتباطی استفاده می‌شوند. بنابراین توجه به کاربری در طراحی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در اثرگذاری پل بر منظر شهری و موفقیت آن داشته باشد.

شکل ۱۴ – فراوانی کاربری در پل‌های عابر شاخص

با بررسی نتایج به دست آمده از نمونه ها ملاحظه می‌شود پل‌های با کاربری توریستی، عمدتا در طول کمتری ساخته می‌شوند. همچنین بیشتر این پل‌ها نشانه‌ی شهری یا مسیر منظرگردی هستند.

بنابراین، شاخصه طول بیشتر، و ابعاد بزرگتر سازه، فاکتور مناسبی برای تاثیرگذاری در شاخص شدن پل عابر نیست. بسیاری از پل‌های دیگر که به سبب طول کمتر در این پژوهش نیامده‌اند، به عنوان پل‌های شاخص در سطح بین‌المللی مطرح شده‌اند.

طول و نحوه‌ی ایجاد تنوع در ادراک بصری: از درون شکل یک پل عابر، کیفیت ادراک زمینه تغییر می کند، که یک پدیده‌ی بالقوه برای یک شهر و احیا و رشد اجتماعی است. در سال‌های اخیر، به طور به خصوصی با تغییر زاویه مسیر (انحنای مسیر، پلان های زاویه دار و...) یا تغییرات ارتفاعی در طول مسیر در پل‌های عابر پیاده، برای عابران بیننده تنوع بصری ایجاد می‌کنند.

همچنین در بعضی پل‌های شاخص که به طور مخصوص برای عملکرد تفریحی طراحی شده اند، علاوه بر تغییر ارتفاعی سطح اولیه، ترازهای مختلفی را ایجاد می‌کنند تا فضاها و عملکردهای جدیدی را ایجاد کنند. بنابراین علاوه بر تنوع دید به بیرون، تنوع فضای درون هم به موجودیت پل اضافه می‌شود. در شکل ۱۵، پل سیمون دوبوار (۲۰۰۶) مشاهده می‌شود که با تغییرات ارتفاعی و ایجاد دو تراز، در آن تنوع بصری و عملکردی به وجود آمده است.

شکل ۱۵ – پل سیمون دوبوار، پاریس، ۲۰۰۶ [27]

بررسی نمونه پل‌های شاخص در این پژوهش نشان می‌دهد که غالب پل‌های با کاربری تفریحی و توریستی، از یکی از این دو روش و یا هردو به طور همزمان، برای ایجاد تنوع فضایی درون و بیرون پل استفاده می‌کنند. همچنین در این مطالعات مشاهده می‌شود که غالب تغییرات ارتفاعی در پل‌های با طول کمتر اتفاق می‌افتد و با افزایش طول پل‌ها، بیشتر از گزینه‌ی تغییر زاویه مسیر استفاده می شود که طبعا هم به لحاظ سازه ای پیچیدگی کمتری به همراه خواهد داشت و هم فرم نهایی را ساده و قابل درک باقی می‌گذارد.

۷. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

ایجاد پل‌های عابر پیاده به عنوان بخشی از منظر و مبلمان شهری، فرصت‌های جدیدی را برای توسعه‌ی شهر به وجود می‌آورد. برای بررسی دلایل موفقیت پل‌های عابر پیاده‌ی شاخص بین المللی لازم است تا ویژگی‌های آن‌ها از قبیل تکنولوژی

ساخت، طرح معماری، سازه، ابعاد و عناصر اصلی و همچنین کاربری و نحوه تاثیر بر منظر، مورد ارزیابی قرار گیرد تا از مجموع نتایج مطالعات به پاسخی برای موفقیت در طراحی یک پل اثرگذار شهری در آینده دست یافته شود. این پژوهش با این هدف انجام شد.

در این مطالعات و همچنین نتایج مطالعات گذشته، دیده شد که بسیاری از پل‌ها با منظور اولیه‌ی ایجاد ارتباط بین دو منطقه و عبور ساخته می‌شوند، اما طراحی بدنه و اجزای پل، کارکردهای بیشتری را به آن اضافه می‌کنند که آن‌ها را به پل‌های منظرگردی یا نشانه‌ای شهری مبدل می‌کند. بررسی پل‌های شاخص در این پژوهش نشان داد که نیمی از آن‌ها در نهایت یک نشانه‌ی شهری محسوب می‌شوند. غالب این پل‌ها دارای کاربری توریستی و تفریحی هستند. بنابراین توجه به کاربری در طراحی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در اثرگذاری پل بر منظر شهری و موفقیت آن داشته باشد. همچنین ملاحظه شد شاخصه طول بیشتر، و ابعاد بزرگتر سازه، فاکتور مناسبی برای تاثیرگذاری در شاخص شدن پل عابر نیست.

با مطالعه‌ی یافته‌ها مشاهده شد که اگرچه شرایط محل ساخت‌گاه پل بر انتخاب نوع سازه اثرگذار است ولی شرایط ساخت‌گاه تعیین کننده‌ی قطعی نوع سازه نمی‌باشد. اگرچه قطعا میزان دهانه و طول پل در انتخاب نوع سازه تاثیرگذارند.

فراوانی سازه‌ها در طول‌های مختلف نشان داد در طول‌های بیشتر، همه سازه‌ها مشاهده می‌شوند. فراوانی سازه پل ها در کاربری های مختلف بررسی شد و مشاهده گردید، در کاربری های توریستی و تفریحی، غالبا از سازه های کابلی استفاده شده است.

در این پژوهش برای اولین بار درباره شیوه ایجاد تنوع در ادراک بصری از دو طریق ۱) تغییر زاویه‌ی مسیر و ۲) تغییرات ارتفاعی در طول مسیر، صحبت به میان آمد و میزان کاربرد این شیوه‌ها در کابری‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. مشخصا بررسی بیشتر این مقوله نیازمند پژوهشی اختصاصی خواهد بود.

در نهایت، یافته‌های این پژوهش می‌تواند آغازگر مطالعات بیشتر در این مقوله و گامی رو به جلو در طراحی پل‌های عابر پیاده‌ی شاخص نوین در کشور باشد.

۸. مراجع

۱. ناظمی، ا. حبیب، ف. ماجدی، ح. (۱۳۹۴)، "*کارکرد پل به عنوان فضای شهری*،" فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال چهارم، شماره شانزدهم، ۲۳-۳۴.

2. Berk, A. (2005), *" Geometrical analysis of bridge forms and their feasibility* iin *structural design*". A Thesis submitted to The graduate schoo of natural and applied sciences of middle east technical university, Ankara.

3. Hu, N., Feng, P., & Dai, G.-L. (2014), "*Structural art: Past, present and future*". Engineering structures, **79**, pp 407-416.

4. Denison, E. and Stewart, I. (2012),"*How To Read Bridges",* Rizzoli International Publications, USA.

5. Flaga, K. and Januszkiewicz, K. (2011)," *On The Aesthetics And Technical Efficiency*

Of Current Arched Footbridges", Proc. of the 4th International Conf. On Footbrige, Wroctaw, pp 126-136.

6. Nijhuis, S., Jauslin D. & Van Der Hoven, F. (2015), "*Flowscapes. Designing infrastructure as landscape"* Earthquake Engineering Research Lab., Research in urbanism series Vol.3, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.

7. Observed at: *"* https://structurae.net*"*

8. Observed at: *"* https://www.archdaily.com*"*

9. Observed at: *"* https://www.dezeen.com*"*

10. Menn, C. (1991), "*An approach to bridge design*". Engineering structures, **13**, pp 106-112.

11. Keil, A. (2013),"*Detail practice, Pedestrian bridges*". Institut fur internationale

Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, Munich.

12. Van Der Berg, K. (2015),"*Brief Dutch Manual for Bicycle and Pedestrian Bridges",* lpv Delft, the Netherlands.

۱۳. "تسهیلات پیاده روی. نشریه شماره ۱۴۴" (۱۳۷۵) انتشارات سازمان برنامه و بودجه، تهران، ایران.

14. Observed at: *"* https://www.german-architects.com*"*

15. Observed at: *"* https://openbuildings.com*"*

16. Observed at: *"* https://www.architravel.com*"*

17. Observed at: " https://www.aisc.org/nsba/prize-bridge-competition/prize-bridge-winners"

18. Observed at: *"* https://www.dibats.com*" Diba Architects' official Website.*

19. Observed at: *"* https://www.arup.com*" Arup associate's official Website.*

20. Observed at: *"* https://www.fosterandpartners.com" *Foster and Partners' official Website*

21. Observed at: *"* https://calatrava.com*" Santiago Calatrava Architects and engineers' official Website.*

22. Observed at :" https://www.kew.org" *official Website.*

23. Observed at :" http://www.winnipegarchitecture.ca/etienne-gaboury" *official Website.*

24. Observed at :" http://www.luchtsingel.org/en/locaties" *official Website.*

25. Observed at :" https://architecture.com.au" © 2013 The Australian Institute of Architects

26. Observed at :" https://www.sbp.de"

27. Observed at :" https://www.world-architects.com"

28. Observed at :" https://www.newsteelconstruction.com"

29. Observed at :" https://www.e-architect.co.uk"

30. Observed at: " http://rcp.net.au/news/kurilpa-bridge-wins-international-award/"

31. Observed at: *"* https://www.designboom.com*"*

32. Observed at: *"* https://architizer.com*"*