

واکاوی در ساختار مانستگی فرم دهانه پل های دوره صفوی

(مورد پژوهی: سی سه پل، مارنان، خواجه، جویی)

امین مساوات^۱

رضا باباخانی^{۲*}

reza.babakhani@srbiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۱۵

چکیده

زمینه و هدف: مطالعه تاریخی و سیر تحول معماری پل های تاریخی ایران در دوره صفوی زمینه ساز و اثبات کننده این نظریه است که فرم این پل ها تابعی مستقیم از عملکرد اصلی آن ها است. در واقع هدف این پژوهش بررسی رابطه و همبستگی از لحاظ طراحی میان عرض دهانه، ارتفاع دهانه و عرض پایه های چهار پل، سی و سه پل، خواجه، جویی و مارنان است که بر روی رودخانه زاینده رود احداث گردیده است.

روش بررسی: در این پژوهش به علت وجود حجم بالای داده های جمع آوری شده، روش پژوهش براساس کدنویسی با پایتون و کار با الگوریتم های هوش مصنوعی است که پس از برداشت داده های مورد نیاز و انجام محاسبات گوناگون فایل های در قالب CSV تولید و سپس با توجه به برداشت های میدانی، دهانه های چهار پل در نرم افزار شبیه سازی و با استفاده از رابطه کسینوسی تشابه سنجی تمام دهانه ها مورد بررسی قرار گرفت و تمامی نمودارهای آن ترسیم گردید.

یافته ها: یافته های این پژوهش بیان می دارد که شباهت بسیار بالا و رابطه نزدیک فرمی میان عرض و ارتفاع دهانه ها در هر پل با خود آن پل و سه پل دیگر موجود بر روی رودخانه وجود دارد و طراحی این پل ها با وجود اختلاف تاریخی کمتر از یک قرن، کاملاً عملکردی و بر اساس استاندارد های موجود، تکنولوژی آن دوره، مصالح در دست و حجم آب زاینده رود و پایداری رودخانه بوده است.

بحث و نتیجه گیری: در نتیجه گیری باید بیان نمود که هرچه دوره تاریخی ساخت پل ها معطوف به گذشته است، عرض پل ها بیشتر و براساس نمودارهای ترسیمی دهانه های هر پل، دقت بالایی در طراحی و ساخت دارند، همچنین از ۹۲ دهانه موجود در این چهار پل ۷۵ دهانه با درصد شباهت ۷۰ تا ۹۰ است که شباهت سی و سه پل و خواجه بسیار زیاد و پل جویی و سی سه پل کمترین است. اکنون می توان گفت این پل ها مبتنی بر عملکرد آن و با توجه به استانداردهای موجود در آن دوره، تکنولوژی ساخت، مصالح در دسترس و مناسب با شرایط اقلیمی و محاسبات جریان آب رودخانه طراحی شده است.

واژه های کلیدی: معماری پل، شباهت سنجی، سی سه پل.

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده عمران هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، ایران.

۲- دکترای معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)

An Analysis of the Mantle Structure of the Safavid Bridge Span

(Case Study: Thirty-Three Bridges, Marnan, Khaju, Joey)

Amin Mosavat¹

Reza Babakhani^{2*}

reza.babakhani@srbiau.ac.ir

Admission Date: February 5, 2021

Date Received: December 6, 2019

Abstract

Background and Objective: The purpose of this study was to investigate the correlation between the design of crater width, crater height and base widths of four poles, Thirty-Three bridges, Khajou, Joey, and Marnan, constructed on the Zayandehrood River, and to explore the relationship between these variables underpins the theory that The form of these bridges is a direct function of their main function.

Method: In this study, due to the high volume of data, the research method is based on Python coding and working with artificial intelligence algorithms that, after harvesting the required data and performing various calculations of the files in CSV format, and then considering field harvesting, openings four bridges were simulated in related software using the cosine relation of all openings and plots were plotted.

Findings: The findings of this study suggest that there is a high similarity and a close relationship between the width and height of the craters on each bridge with that bridge itself and the three other bridges on the river, and the design of these bridges is less than a century old despite historical differences.

Discussion and Conclusion: In conclusion, it should be stated that the more the historical period of the construction of the bridges is focused on the past, the wider the bridges are and according to the drawing diagrams of the openings of each bridge, they have high accuracy in design and construction. The 75-span bridge has a similarity percentage of 70 to 90, which is very similar to the 33 bridges and Khajoo bridge, and the bridge search and thirty-three bridges are the lowest. It can now be said that these bridges are designed based on their performance and according to the standards of that period, construction technology, available materials and suitable for climatic conditions and river water flow calculations.

Key words: Bridge, Architecture, Similarity, Thirty-Three Bridges.

1- M.A., Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Iran

2- PhD., Architecture, Faculty of Architecture and Art, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)

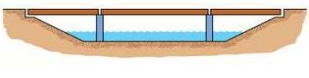

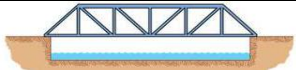
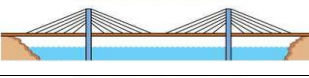
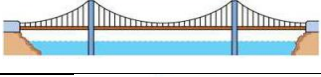

مقدمه

مهندس سازه قرار دارد و زیبایی آن تنها با افزودن معماری به آن تکمیل می گردد. ایده‌ی دوم به مهندسی محض، در طراحی پل تأکید دارد و اصرار دارد که پلهایی که نهایت سودمندی و کارآمدی را داشته باشند، بر حسب تعریف، زیبا هستند. دسته‌ی سوم بر آن هستند که به معماری احتیاجی نیست، بلکه مهندسان باید درباره‌ی زیبایی آن بیاندیشد. این اصل آخر، بر این واقعیت تأکید دارد که مهندسان گزینه‌های ممکن زیادی که به لحاظ کاربردی بودن و بودجه تقریباً یکسان باشند، در اختیار دارند و به همین دلیل مجازند ایده‌های زیبایی‌شناسانه‌ی خود را بیان کنند، بی این که به مواد و هزینه، به شکل قابل توجهی اضافه گردد (۳). از جمع‌بندی و تعاریف پل به عنوان سازه‌ای که مسیر عبور از بالای دره، رودخانه و یا راه راه بدون مسدود کردن مسیر زیرین برای عبور قطار، وسایل نقلیه، عابرین پیاده، لوله انتقال آب، گاز و غیره استفاده می‌کنند و کاربرد آن حمل بارهای عمودی است (۴). پل‌ها عموماً به شش دسته از لحاظ سازه‌ای و شش دسته از لحاظ مصالح مورد استفاده قابل تقسیم بندی هستند که در جدول ۱ و جدول ۲ به آنها اشاره و به اختصار توضیح داده شده است.

پل به جهت نقش مهمی که در ایجاد، حفظ و گسترش ارتباطات دارد از همان ابتدای شکل‌گیری با استقبال بسیار جوامع انسانی روبه‌رو بوده است. پل‌ها این امکان را به انسان بخشیدند تا با سرزمین‌های بیشتری ارتباط نزدیکی برقرار کنند. ایران یکی از کانال‌های مهم ارتباطی بین شرق و غرب بوده و همچنین استقرار گروه‌های مختلف انسانی در جای‌جای آن وجود راه‌ها و شاه‌راه‌ها و پل‌ها را ضروری می‌ساخته است (۱). فرم یک پل از عوامل مختلفی از جمله مصالح، عملکرد، مباحث زیباشناختی، روش‌های ساخت و اجرا، محدودیت‌های اقتصادی تأثیرپذیر است. پل از مهمترین بناها و زیرساخت‌های توسعه شهری و منطقه‌ای است، برعکس آزادی بیان یک هنرمند یا مجسمه ساز، طراح پل در پیروی از اصول زیبایی‌شناسی محدود است. زیرا باید شرایط عملی و اقتصادی را برآورده کند. پل‌ها در طول زمان از اشکال مختلفی برخوردار بوده‌اند. از بین آن‌ها پل‌های شهری نیز دارای تنوع و کارکردهای مختلفی‌اند. پل‌های روگذر اتومبیل‌رو، ریلی، عابر پیاده و غیره از این دست‌اند. افزایش تعداد این پل‌ها در سیمای منظر شهری بسیار مؤثر است (۲). عموماً متخصصان در ساخت پل، سه موضوع را اتخاذ می‌کنند. اصل اول بر آن است که سازه‌ی پل در حوزه‌ی

جدول ۱- دسته بندی انواع پل ها، ماخذ: (۵).

Table1. Classification of bridge types, source: (5).

	پل‌های تخت
	پل قوسی (۶)
	پل‌های خرپایی
	پل کابلی معلق (۷)
	پل‌های معلق
	پل‌های ترکه‌ای

آجر به علت مقاومت فشاری خوب در پل‌ها و بندهای تاریخی به ویژه در زدن طاق‌ها به علت سهولت در اجرا مورد استفاده

طبق جدول ۲ علاوه بر مصالح ذکر شده، از مصالحی همچون آجر، آهک و گچ نیز در بسیاری موارد استفاده گردیده، است.

شدنش باید H₂O از دست بدهد و CO₂ بگیرد، نمی تواند در آب به چنین فرایندی دست یابد بنابراین در برابری با آهک هوا بند، آهک دیگری ساخت شد که می توانست در آب سخت گردد. ماده این آهک آب بند، سنگ آهک و خاک رس بود که امروزه شایان ترین مصالح در ساخت سیمان است (۶).

بوده، است. مقاومت آجرهای ساخته شده در بعضی از پل ها به اندازه ای است که آب برها را نیز از آجر ساخته اند. اما آهک نیز در طول تاریخ بخاطر چسبندگی بسیار قوی در ملات های آبی و هوایی قابل استفاده بوده است. آهک های هوا بند در ساختمان های چون پل و بند کارایی ندارد، زیرا ماده ای که برای سخت

جدول ۲- دسته بندی انواع پل ها از لحاظ مصالح، ماخذ: (۷)

Table 2. Classification of bridges in terms of materials, source: (7)

پل های چوبی	این پل ها معمولاً به شکل قوسی، با تیرهای مشبک و یا تیرهای حمال ساخته شده اند.
پل های سنگی	با توجه به مقاومت مناسب فشاری مصالح سنگی، بسیاری از پل های طاقی از این مصالح ساخته شده اند.
پل های بتنی	در بسیاری از پل ها، در حال حاضر از بتن، با توجه به مقاومت فشاری مطلوب آن به جای سنگ استفاده می گردد.
پل های بتن مسلح	پل های بتن مسلح را می توان از مقاطع مختلف و با اشکال دلخواه ساخت.
پل های بتن پیش تنیده	با پیشرفت این تکنیک و با صرفه هزینه کمتر، پلهایی با دهانه بزرگ به ساخت می رسد.
پل های فلزی	با تیرهای معمولی یا تیرهای مشبک فولادی، با قوس یا قالب فلزی، نورد شده از ورق و المانهای اتصالی ساخته شده اند.

ضرورت انجام پژوهش

صورت تصادفی میزان رضایت مندی شهروندان، متوسط و بالا ارزیابی گردیده است و در نهایت راهکارهایی جهت بهبود وضعیت مبلمان شهری، اصفهان (با تاکید بر حد فاصل سی و سه پل تا پل خواجه) ارائه شده است. در نمونه ای دیگری که توسط آقای حامد سقاییان نژاد تحت عنوان "تحلیل استاتیکی و دینامیکی اثرات حفر تونل مترو بر پل تاریخی سی و سه پل" در دانشگاه شهید باهنر کرمان، جمع آوری گشته، که در این پایان نامه با بررسی های انجام شده، نوعی پیش بینی را از وضعیت نشست های سطحی حاصل از حفر دو تونل مشابه و موازی هم با استفاده از نرم افزار و مدل های دوبعدی و سه بعدی، به ثمر رسانده اند که در نتیجه محدوده باند فرکانسی مجاز جهت طراحی و تعبیه مواد جاذب انرژی ارتعاشی در ریل ها را به دست آورده اند. اما هیچ کدام از پژوهش های انجام شده در مورد سی و سه پل و دیگر پل های احداث شده بر روی زاینده رود، حول علت طراحی دهانه های این چهار پل در دوره صفوی به این صورت، که بسیار حائز اهمیت هستند را مورد بررسی

در پژوهش های انجام شده در رابطه به سی و سه پل تا به امروز، بیشتر پژوهش های صورت گرفته در پی یافتن تاثیرات این بنا به کالبد شهر یا در پی سنجش تکنیک های ساخت و ایستایی پل بوده که به چند مقاله اشاره گردیده است، در مواردی هم با نگاه سیمای شهری و محورهای گردشگری به این پل اشاره کرده اند، مانند؛ "تحلیل شاخص های کالبدی موثر بر امنیت محورهای گردشگری شهر اصفهان" توسط آقای مرتضی بابائی در دانشگاه هنر اصفهان که در این پژوهش با استفاده از روش های توصیفی-استنباطی به بررسی عوامل تاثیرگذار امنیت، بر گردشگری پرداخته که در نتیجه به وجود رابطه معناداری از نظر تفاوت میزان امنیت در بین محورهای گردشگری مورد نظر این پژوهش واقف گشته اند. در پژوهش دیگری توسط خانم پریسا راجی با عنوان "سنجش میزان رضایت شهروندان و گردشگران از وضعیت مبلمان شهری اصفهان (با تاکید بر حد فاصل سی و سه پل تا پل خواجه)" در دانشگاه شهید چمران اهواز، که با استفاده از ۴۰۰ پرسشنامه به

عرض پایه های چهار پل، سی و سه پل، خواجه، جویی و مارنان است که بر روی رودخانه زاینده رود احداث گردیده است.

روش پژوهش

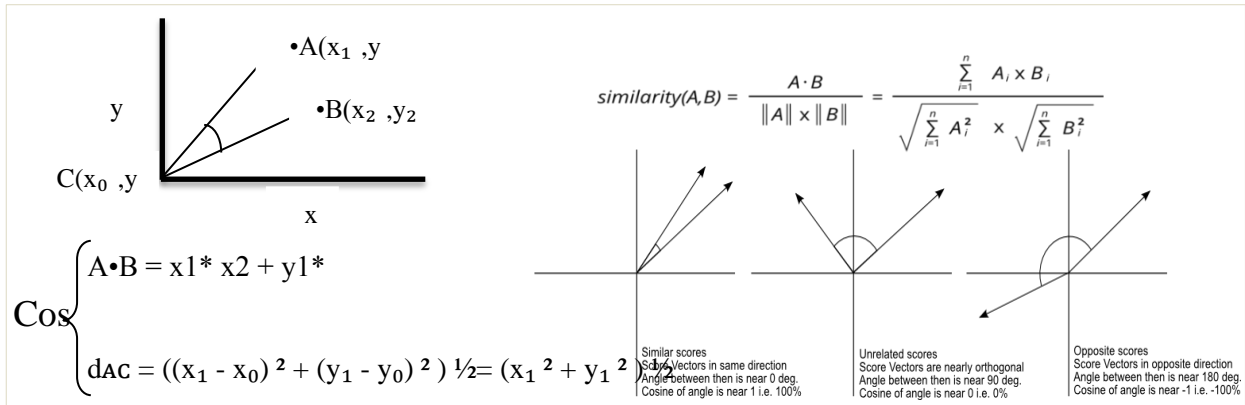
روش پژوهش به صورت متمایز و کمی است که برای گردآوری اطلاعات از روش کتابخانه ای، اسنادی و همچنین برداشت های میدانی از ابعاد و اندازه ها استفاده شده و همچنین داده های میدانی در قالب فایل های CSV گردآوری و تمام دهانه ها بر اساس برداشت های انجام شده در نرم افزارهای مرتبط شبیه سازی سه بعدی و بصورت تصاویری با اندازه ها یکسان استخراج و سپس این تصاویر تبدیل به ماتریسی از داده های عددی نرمال شده بین 0 و 1 گردیده اند و در ادامه به کمک زبان برنامه نویسی پایتون تصاویر شبیه سازی شده به کمک استفاده از رابطه کسینوسی تشابه سنجی و میزان تشابه دهانه ها در قالب فایل ها مربوطه تولید و پس از تشابه سنجی تمام دهانه ها، شکل های تحلیلی ترسیم و جهت ارزیابی و تحلیل نهایی با معیارهای پل سازی، عوامل موثر بر عملکرد پل و پایداری آن بر رودخانه ها تحلیل گردیده است.

روش محاسبه معیار شباهت کسینوسی که توسط کالینز مطرح گردیده، معیار شباهت دو بردار از یک فضای ضرب داخلی را ارائه می نماید، این روش مبتنی بر محاسبه ی فاصله کسینوس زاویه ای بین دو بردار است. در این روش کسینوس 0 برابر با یک و برای بقیه زاویه ها کوچکتر از یک است. بنابراین معیار قضاوت جهت دو بردار است نه بزرگی آن ها، دو بردار هم جهت دارای معیار شباهت کسینوسی برابر یک هستند و دوبردار که دارای جهت معکوس هم هستند، دارای شباهت 1- می باشند (۸). معیار شباهت کسینوسی بخصوص در فضای مثبت که دارای محدوده [0,1] است، استفاده می گردد. فاصله کسینوسی دو بردار توسط فرمول ضرب داخلی اقلیدسی به صورت رابطه $A \cdot B = ||A|| ||B|| \cos \theta$ به دست می آید. حال وقتی با دو بردار ویژگی داده ها معیار شباهت کسینوسی با استفاده از ضرب داخلی محاسبه گردد، این فرمول

قرار ندادند که این عدم بررسی و تحلیل، امروزه این خلا را در طراحی معماری پل ها و ملاحظه عوامل مختلف تاثیرگذار در پایداری پل به خصوص در پلهایی که بر روی رودخانه های فصلی احداث می گردند، قابل مشاهده است و ضرورت واکاوی در ساختار تکرار شونده دهانه های از نگاه معماری اهمیت فراوانی دارد. هدف این پژوهش بررسی چهار پل؛ سی و سه پل، خواجه، جویی و مارنان که بر روی رودخانه زاینده رود احداث گردیده و یافتن رابطه و همبستگی از لحاظ طراحی میان عرض دهانه ها، ارتفاع دهانه ها، عرض پایه ها، مصالح استفاده شده و تاریخ ساخت این پل ها با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی و نقض تفاسیر و تعاریف موجود مبتنی بر مفاهیم هرمونوتیکی، تقدس گرایی و معنوی گرایی در رابطه با علت تعداد دهانه های ایجاد شده در این پل های موجود بر روی رودخانه زاینده رود است. با توجه به این که این چهار پل تا به امروز به بقا خود ادامه داده اند می توان به این نکته پی برد که در طراحی آن ها نکات جدول ۵ مورد توجه قرار گرفته و استحکام و کاربرد پل در اولویت قرار داده شده است، چرا که علت شکست بسیاری از پلهایی که در این دوره و دیگر دوران های تاریخی ساخته شده اند و امروزه آثاری از آن ها به جای نمانده به طور کلی به پنج قسمت تقسیم می شوند: طبق بررسی های انجام شده در اکثر موارد علت شکست پل ها (۱۷) عبارتند از: عدم برآورد صحیح طراحی سیلاب و کم بودن ظرفیت عبور سیلاب از دهانه پل ها، جانمایی نامناسب پل ها بدون توجه به مسائل ریخت شناسی رودخانه، بر آورد نادرست از عمق شالوده (براساس معیارهای سازه ای و ژئوتکنیکی) بدون توجه به مسأله فرسایش آبستگتی، فراهم نکردن تمهیدات لازم برای عبور مناسب جریان از سازه پل ها، نقصان در حفاظت و نگهداری از پل ها می باشد. با بررسی موارد فوق در بحث آبستگتی به اهمیت و تاثیرگذاری سازه ها در بقا و استحکام پل می رسیم و تا حدی به ارجعیت عملکرد سازه پل به تفاسیر هرمونوتیک و مذهبی گرایی که در مورد این پل ها وجود دارد پی می بریم (۱۹). در واقع هدف اصلی این پژوهش بررسی رابطه و همبستگی از لحاظ طراحی میان عرض دهانه، ارتفاع دهانه و

$$\text{similarity} = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}}$$

معیار سنجش خود بود (۹).



$$d_{BC} = ((x_2 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2)^{1/2} = (x_2^2 + y_2^2)^{1/2}$$

شکل ۱- نمایش زاویه بردارهای تشابه سنجی به روش فاصله کسینوسی ماخذ: (۱۰).

Figure 1. Angle representation of analogy vectors by cosine distance method: (10).

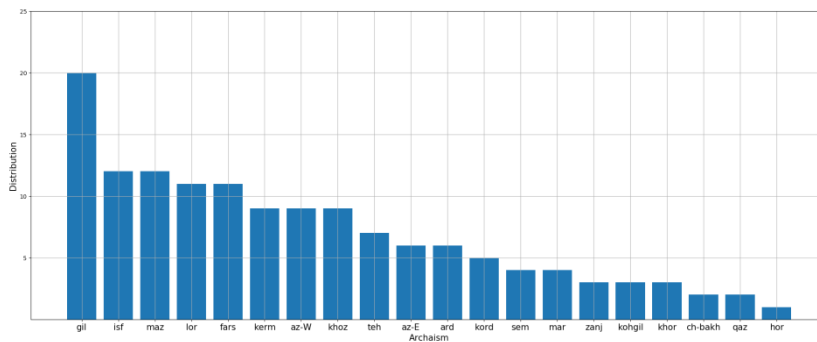
مبانی نظری پژوهش

منابع و متون تاریخی حکایت از احداث پل‌های عظیمی می‌نمایند. بر اساس این منابع، احداث اولین پل، در زمان تیگلات پیلسر اول، بیست و ششمین فرمانروای آشور در سال ۱۱۳۰ ق.م صورت گرفته است (۱۱). از پل‌سازی در دوره اوراتورها نیز می‌توان به پلی اشاره کرد که آن‌ها روی رودخانه ارس که در حال حاضر مرز ایران و جمهوری آذربایجان است، بنا کرده‌اند (همان). این پل برای ایجاد ارتباط بین مهاجرنشین ورهام و استحکامات قلعه ساخته شده و ضمناً تاج پل، نقش معبر ورودی به دروازه و استحکامات قلعه را داشته است (۱۲). در زمان هخامنشیان تعدادی پل‌های بندی در بخش‌ها فارس و خوزستان و میان رودان ساخته شده است، که امروز تنها پایه‌های این آثار به جا مانده و پل‌ها و سدهای دوره ساسانی و اسلامی بر روی برخی از این پایه‌ها بنا شده است. از پل‌های به جا مانده از این دوران می‌توان به پل‌بند درودزن اشاره کرد. این پل‌بند که کار پل و سد را باهم انجام می‌داده، بر روی رودخانه کر در فارس، بر دهانه آبگیر کانال بزرگ داریوش واقع شده است (۱۳). در زمان اشکانیان با وجود راه‌ها و احداث آنها که

رودهای بسیاری را قطع نموده‌اند، بدون وجود پل، به دور از منطق است که امکان‌پذیر گردیده باشد. اما متأسفانه با وجود این راه‌ها، آثار مربوط به آن مانند کاروانسرا و پل تا به حال کشف نشده است. اما متحمل است در زمان ساسانیان که از راه‌های قبلی سود می‌جستند، از پایه‌های زمان اشکانی استفاده کرده و پل‌های جدیدی را حتی‌الامکان بر آن استوار ساخته باشند (۱۱). در دوره ساسانیان پل‌سازی بیشتر در بخش‌های فارس و خوزستان انجام می‌گرفته است. هرچند قسمت اعظم پل‌های متعدد دوره ساسانی از بین رفته، لیکن آثار به جای مانده در منطقه فارس گواه بر اهمیت راه‌های این دوره بوده است (۱۳). جاده‌های موجود در لرستان از دوره‌های قبل از ساسانی دارای اهمیت زیادی بوده لیکن در این عصر اهمیت بیشتری یافته‌اند. وجود پل‌های متعدد و عظیمی همچون پل شکسته، پل شاپوری، پل ساسانی دره شهر، پل کر و دختر جایدگر پل دختر معمولان و پل کشکان در مسیر این راه‌ها دلیل بر مدعای استراتژیک بودن این راه‌ها است (۱۲). در دوره اسلامی بسیاری از پل‌های دوره ساسانی و دیگر دوران

دوران اسلامی تا زمان صفوی، راه سازی و ساختمان های مربوط به آن، یعنی پل و کاروانسرا، همچون دوران صفوی گسترش نیافته است" (۱۲). با مطالعات بر روی دوره های مختلف تاریخی و شهرهای مختلف ایران در قالب یک فایل CSV توانستیم شکل ها و اطلاعاتی را ارائه نماییم که شکل کلی اهمیت پل سازی در دوره های مختلف و همچنین شهرهایی که بیشترین تعداد پل در آن ها احداث گردیده را نمایش دهد. از تحلیل پل هایی که در ایران ساخته شده براساس شکل ۲ می-توان به راحتی به نقش پررنگ پل سازی در دوره صفوی در ایران پی برد.

های گذشته تعمیر گشت و افزون بر آن پل های دیگری نیز در نقاط مختلف ایران احداث گردید. بسیاری از آثار پل سازی گذشتگان که اینک به جای مانده است، دارای پایه های ساسانی است که بعدها در دوره اسلامی قسمت بالای آن ها در دست تعمیر قرار گرفت و با سبک های اسلامی و مصالح آجری دوباره سازی شده است (۱۳). از دیگر دوره های تاریخی که در ایران پل سازی صورت گرفت می توان به پل سازی در حکومت افشاریه، زندیه و قاجاریه نیز اشاره کرد. طبق نقل قول از کتاب معماری ایران در دوره اسلامی؛ "نظری اجمالی به برخی از راه های دوره صفوی که اصفهان را به ایالات مختلف متصل می کرده اند، نشان می دهد که در هیچ دوره از تاریخ ایران، از

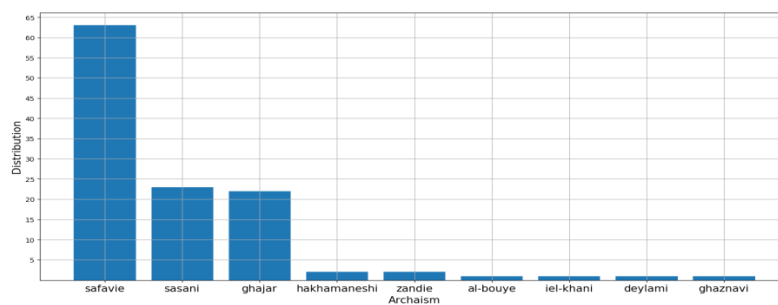


شکل ۲- شمار پل های ایران در استان ها، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 2. Number of Iranian bridges in the provinces, Source: (Authors).

گیلان با ۲۰ پل، اصفهان و مازندران با ۱۲ پل به ترتیب در رتبه های اول تا سوم قرار دارند.

طبق شکل ۲، شمار پل ها بر اساس شهرهای ایران به صورت شکل میله ای، مرتب گردیده که می توان مشاهده نمود شهر



شکل ۳- شمار پل های ایران در دوره های تاریخی، ماخذ: (نگارندگان).

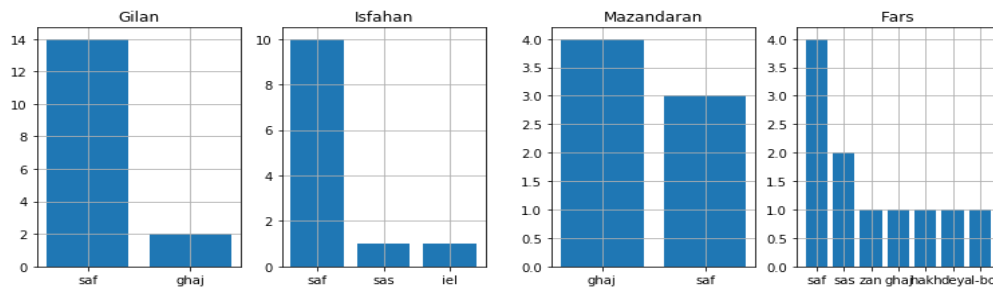
Figure 3. Number of Iranian bridges in historical periods, Source: (Authors).

صفوی را نسبت به دیگر دوران های تاریخی پر رنگ تر نشان داد. به نحوی که از ۲۰ پل ساخته شده در استان گیلان، ۱۴ پل

شکل ۳ بیانگر ساخت پل ها به تفکیک دوره های تاریخی مختلف است. با مشاهده شکل ۴ اهمیت پل سازی در دوره

دوره‌ها کاملاً مشهود است.

در دوره صفوی احداث گردیده و همینطور در اصفهان و استان فارس که فاصله عددی ساخت پل بین دوره صفوی و دیگر



شکل ۴- فراوانی پل های شهرهای مهم ایران نسبت به دوره تاریخی، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 4. Frequency of bridges in important cities of Iran compared to the historical period, Source: (Authors).

حکومت صفویان، در دوره شاه عباس و توسط اللهوردی خان بر روی زاینده رود ساخته شد. از همان دوران از این پل برای اجرای مراسم‌ها، بزم‌ها و شادی‌ها استفاده می گردیده (۱۴).

مطالعه موردی: پل سی‌وسه‌پل در سال ۱۰۰۸ هجری قمری در دوازدهمین سال سلطنت شاه عباس یکم به وجود آمد، اللهوردی خان اوندیلادزه گرجی، در سال ۱۰۱۱ هجری قمری مأمور اتمام ساختمان پل گردید. سی‌وسه‌پل که در زمان

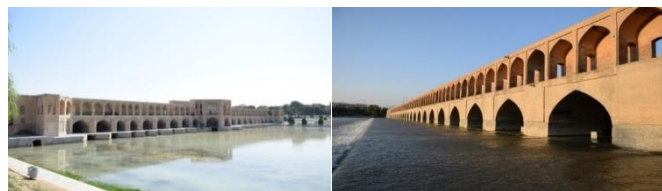
جدول ۳- مشخصات معماری پل سی و سه پل، ماخذ: (نگارندگان).

Table 3. Architectural specifications of thirty-three bridges, Source: (Authors).

تعداد دهانه	عرض پل	طول پل	تاریخ ساخت	مصالح	مقطع آب بر
۳۳	۱۴ متر	۲۹۸ متر	۱۰۰۸ هجری قمری	سنگ و آجر	دایره‌ای

وی برای ساخت این پل، عریض ترین قسمت رودخانه زاینده رود را انتخاب نمود چرا که این قسمت رودخانه در بستری کم عمق، وسیع و آرام ایجاد شده و دارای چشم اندازی تماشایی است. برای ساخت این پل از سه نوع مصالح عمده استفاده شده، سنگ، آجر و ملات ساروج و گچ برای قسمت های فوقانی و همچنین پایه و فونداسیون این پل به گونه ای ساخته شده که رطوبت، دوام و استحکام آن را افزایش می دهد و در دراز مدت نیز، آب نمی تواند آسیبی به آن برساند(همان).

پرسی سایکس، سی‌وسه‌پل را یکی از پل‌های درجه اول جهان خواند، شاردن سی و سه پل را شاه‌کار معماری و شگفت‌آفرین و دن گارسیا آن را از بهترین آثار معماری ایران دانسته است و به قول لرد کرزن انسان هیچ انتظار ندارد برای دیدن آنچه که روی هم رفته می‌توان آن را باشکوه‌ترین پل دنیا نامید، ناچار از مسافرت به ایران باشد (۱۴). کارشناسان معتقدند که عدد صد و سی و سه مربوط به آن‌اهیتا الهه آب است (همان). بر خلاف اینکه معمولاً پل‌ها در قسمت های کم عرض ساخته می شوند،



شکل ۵- تصویر سی و سه پل و پل خواجو، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 5. Picture of Thirty-Three and Khajoo Bridges, Source: igure No. (Authors)

پل خواجو، این بنا شامل چهار طبقه و در دو طرف داخلی معبر فوقانی هر طرف ۵۱ غرفه بزرگ و کوچک دارد. طول سنگ ها متجاوز از دو متر و امتداد ستون های فاصله هر چشمه به سقف ۲۰ متر است (۱۵).

جدول ۴- مشخصات معماری پل خواجو پل، ماخذ: (نگارندگان).

Table 4. Architectural specifications of Khajoo Bridge, Source: (Authors).

تعداد دهانه	عرض پل	طول پل	تاریخ ساخت	مصالح	مقطع آب بر
۲۱	۱۲ متر	۱۳۷ متر	۱۰۶۰ هجری قمری	سنگ و آجر	مثلثی

پل جویی (چوبی) این پل که میان دو پل اللهوردی خان و پل خواجو ساخته شده است. در قسمت غربی این پل آب رودخانه به صورت دریاچه ای درمی آمد به همین لحاظ به آن «پل جویی» نیز گفته اند و در بعضی از کتب پل سعادت آباد است (۱۶).

جدول ۵- مشخصات معماری پل مارنان، ماخذ: (نگارندگان).

Table 5. Architecture specifications of the bridge, source: (Authors).

تعداد دهانه	عرض پل	طول پل	تاریخ ساخت	مصالح	مقطع آب بر
۲۱	۴،۱ متر	۱۴۷ متر	۱۰۶۵ هجری قمری	سنگ و آجر	مثلثی



شکل ۶- تصویر پل جویی و مارنان، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 6. Image of Paul Joey and Marnan, Source: (Authors).

پل مارنان این پل دراصل ماریین نام داشته و از کلمه مهریین اوستایی گرفته شده است. در زمان شاه سلیمان صفوی به همت یکی از ثروتمندان ارمنه ملقب به سرفراز تعمیراتی اساسی روی پل انجام گرفت و مدتی پل را به نام سرفراز می خواندند. نام های دیگر، ماریانان و مادنان است (۱۷).

جدول ۶- مشخصات معماری پل مارنان، ماخذ: (نگارندگان).

Table 6. Architectural specifications of Marnan Bridge, Source: (Authors).

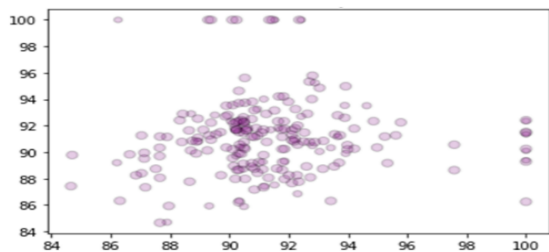
تعداد دهانه	عرض پل	طول پل	تاریخ ساخت	مصالح	مقطع آب بر
۱۷	۴،۷۴ متر	۱۸۶ متر	نا مشخص	سنگ و آجر	دایره ای

تحلیل یافته ها

با هوش مصنوعی طراحی گردید و در هر شکل تا ۷۰۰ مرتبه عملیات شباهت سنجی میان دهانه ها با رابطه ریاضی زوایه کسینوسی انجام و به صورت ماتریس های دو بعدی گردآوری و در قالب ۱۶ شکل موجود در بخش تحلیل یافته ها نمایش داده

با استفاده از اندازه های برداشت شده پل های موجود بر روی رودخانه زاینده رود، پایگاه داده ای در قالب فایل های CSV فراهم گردید و دهانه ها مبتنی بر اندازه ها شبیه سازی رایانه ای و با استفاده از کدنویسی در پایتون و روش های پردازش تصویر

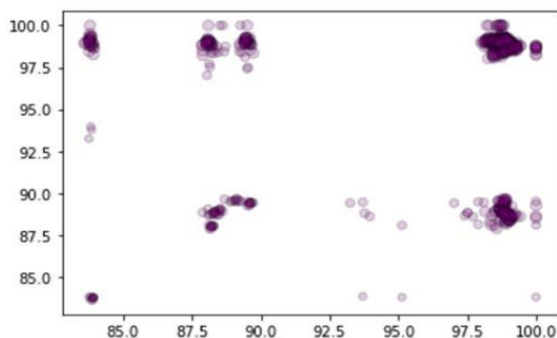
را با سایر دهانه‌های همان پل مورد سنجش قرارداد. در این شکل‌ها آنچه مشهود است وجود انبوهش داده‌ها در میانه ۸۵ تا ۹۵ درصد می‌باشد، که بیانگر میزان شباهت دهانه‌های این پل‌ها است.



شکل ۹- شباهت سنجی دهانه خواجه، ماخذ: نگارندگان).

Figure 9. Similarity measurement of Khajoo mouth.

درصد است. و در شکل ۸ دهانه‌های پل مارنان با تراکم نقاط شباهت، بیشتر در بازه ۸۰ تا ۸۵ درصد قابل رویت است. در اینجا شباهت‌های ۱۰۰ درصدی هم وجود دارد که در واقع نشان دهنده شباهت هر دهانه با خود آن دهانه است.



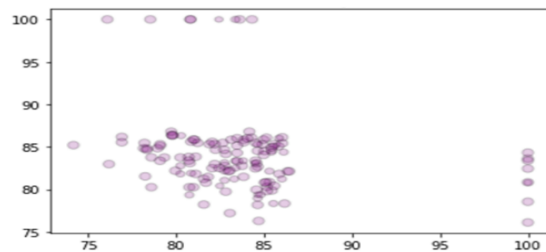
شکل ۱۱- شباهت سنجی دهانه الله وردی خان، ماخذ:

(نگارندگان).

Figure 11. Similarities of Allah Verdi Khan.

تشابه سنجی میان دهانه هرپل با سایر دهانه موجود خود آن پل، اکنون نیاز به تشابه سنجی میان دهانه‌های چهار نمونه انتخاب شده وجود دارد. در شکل‌های ۱۲ تا ۱۷ می‌توان شاهد تشابه سنجی دهانه‌های هر پل با دهانه‌های دیگر پل‌های مورد مطالعه را مشاهده نمود. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که اکثر دهانه‌های سی و سه پل تشابه ۸۶ درصدی را با دهانه‌های پل مارنان دارد، همین آمار با اندکی تفاوت بین پل‌های خواجه و سی و سه پل (شکل ۱۳) صدق می‌کند که تعدادی از دهانه در تشابه ۹۸ و تعداد در تشابه ۸۵ درصدی به طوری که طبق

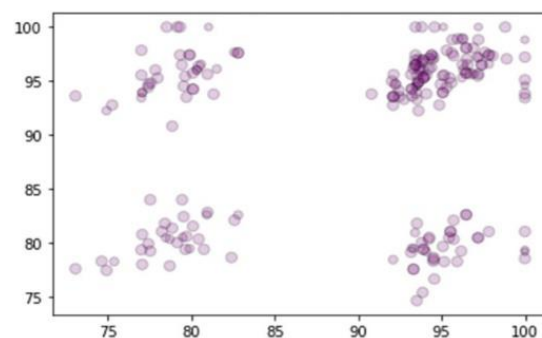
شده است. شباهت سنجی دهانه‌ها؛ با تحلیل داده‌های به دست آمده از برداشت‌های میدانی انجام‌شده روی ارتفاع و عرض دهانه و عرض پایه‌های پل، از روش شباهت سنجی، می‌توان طبق شکل‌های ۸ تا ۱۱ به طور کلی شباهت دهانه‌های هر پل



شکل ۸- شباهت سنجی دهانه مارانان، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 8. Maranan crater resemblance.

در شکل ۸ تا شماره ۱۱ شباهت دهانه‌ها و تراکم این شباهت‌ها را در هر پل می‌توان استخراج کرد. شکل ۹ نشانگر شباهت ۸۸ تا ۹۴ درصدی در اکثر نقاط در پل خواجه است. همانطور که مشاهده می‌کنیم در تمام پل‌ها شباهت دهانه‌ها بالای ۷۵



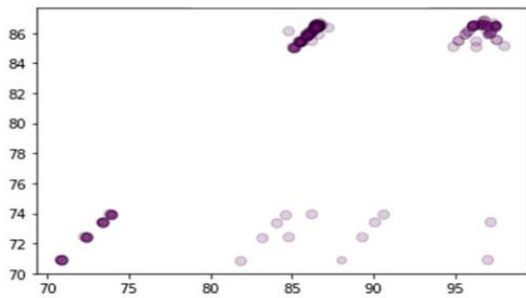
شکل ۱۰- شباهت سنجی دهانه جویی، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 10. Similarities in Joey.

در تشابه سنجی دهانه‌های پل جویی شکل ۱۰، بالای ۹۰٪ دهانه‌ها در یک رابطه شباهتی ۸۵ تا ۹۸ درصدی قرار دارند و در پل الله وردی خان شکل ۱۱ شباهت‌های، بالای ۹۰٪ را در دهانه‌ها شاهد هستیم، که البته این آمار در تعداد محدودی از دهانه‌ها به ۷۵ درصد شباهت هم می‌رسد. با مشاهده این شکل‌ها می‌توان به دقت بالا در ساخت دهانه‌ها و همچنین وجود یک اسکپ و پارامتر مشابه در طراحی پل‌ها در یک قرن پی برد. در ادامه تحلیل یافته‌ها، در شکل‌های ۱۲ تا ۱۷ شباهت هر پل با سه پل دیگر بررسی گردیده است. در ادامه پژوهش پس از

نمایش می دهند.

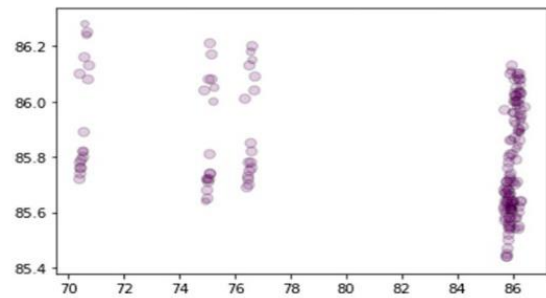
شکل تعداد زیادی از دهانه ها، تشابه ۸۰ تا ۹۵ درصدی را



شکل ۱۳- شباهت سنجی دهانه سی وسه پل و خواجو،

ماخذ: (نگارندگان).

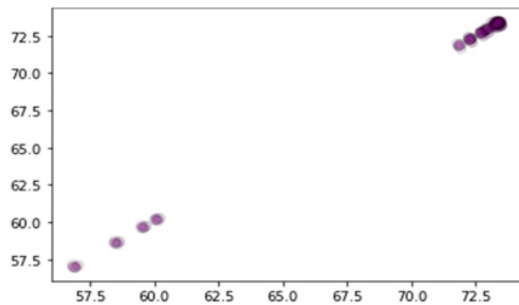
Figure 13. Similarities between the spans of 33 bridges and Khajoo



شکل ۱۲- شباهت سنجی سی وسه پل و مارنان،

ماخذ: (نگارندگان).

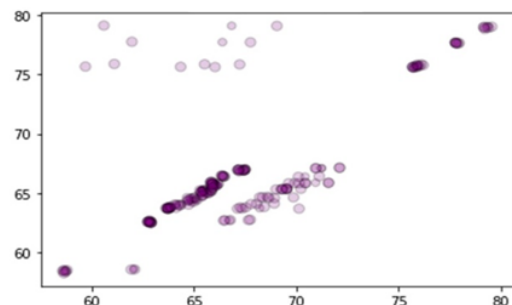
Figure 12. Similarities between Thirty-three Bridges and Marnans.



شکل ۱۵- شباهت سنجی دهانه مارنان و خواجو، ماخذ:

(نگارندگان).

Figure 15. Similarities between Marnan and Khajoo mouths.



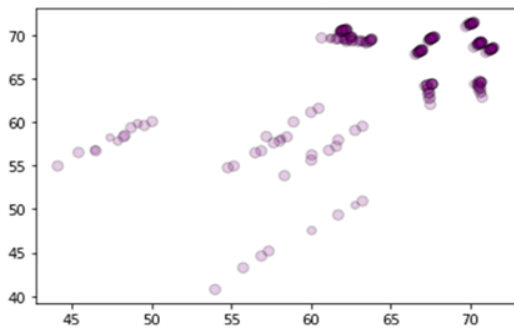
شکل ۱۴- شباهت سنجی سی وسه پل و جویی، ماخذ:

(نگارندگان).

Figure 14. Similarities of Thirty-Three Bridges and Search.

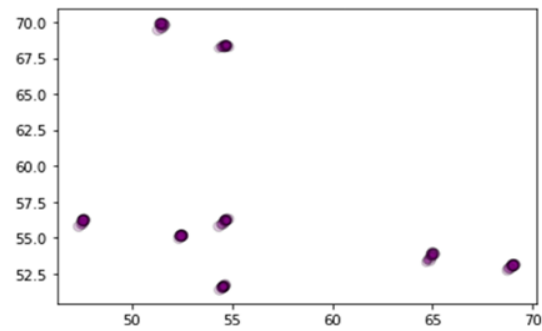
را در بازه ۶۳ تا ۷۳ درصد مشاهده می کنیم، همچنین در شکل ۱۶ تشابه دهانه جویی و مارنان به بازه ۵۰ تا ۷۰ درصدی کاهش یافته است و پل جویی و خواجو در شکل ۱۷ تراکم نقاط شباهت، بیشتر مابین ۶۰ تا ۷۰ درصد را تجربه می نمایند.

در شکل ۱۵ مربوط به شباهت میان پل مارنان و پل خواجو، شاهد تراکم داده ها در شباهت ۷۳ درصدی و بخش کوچکی حدود ۵۷ تا ۶۰ درصدی است. شباهت دهانه های بین پل های جویی و سی و سه پل طبق آمار، شکل ۱۴ بسیار کمتر از دو شکل اول می باشد، به طوری که در شکل ۱۴ تراکم تشابهات



شکل ۱۷- شباهت سنجی دهانه جویی و خواجو، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 17. Similarities between mouthpiece and khajo.



شکل ۱۶- شباهت سنجی دهانه جویی و مارنان، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 16. Similarities between cratering and marl.

نسبت به سه پل دیگر شباهت اندکی دارد، اما در سه پل دیگر می توان شباهت بالای ۷۰ درصد را مشاهده نمود .

از تحلیل شکل ها این برداشت قابل مشاهده است که میان چهار پل سی و سه پل، خواجو، جویی و مارنان، تنها پل جویی

جدول ۹- تشابه سنجی چهار پل روی زاینده رود، ماخذ: (نگارندگان).

Table 9. Similarities of four bridges on Zayandehrud, Source: (Authors).

شباهت بالای پل خواجو و مارنان قابل مشاهده است.
شباهت کم پل جویی با سه پل دیگر به لحاظ عرض کم پایه های آن است.
ارتباط میان سی و سه پل و پل خواجو که شباهت نسبتا بالایی را دارا هستند.
ارتباط میان سی و سه پل و پل مارنان که بعد از پل خواجو از شباهت زیادی برخوردار است.
از ۹۲ دهانه موجود در این چهار پل ۷۵ دهانه شباهت های ۷۰ تا ۹۰ درصدی را با یکدیگر نشان می دهند.

بحث و نتیجه گیری

بوده باشند، که خلاف آن را می توان در نمونه ها رویت نمود. اما آنچه مهمتر است، شیوه دهانه بندی در این پل ها است، الگوی محاسبه شده برای سیلاب و آورده های آن و شدت جریان آب به دقت بررسی و در فرآیند ساخت طبق شکل های ۸ تا ۱۱ با یک درصد خطای بسیار ناچیزی در همه نمونه ها اجرا گردیده است. یعنی علاوه بر این که معمار در همه دهانه های یک پل از یک الگوی خاص پیروی نموده، بلکه در سایر پل ها هم از آن الگو در طراحی دهانه ها استفاده نموده است. همچنین حجم آب در طراحی پل مد نظر بوده. چراکه با وجود آن که در پل سازی سعی می گردد پل در مناطق کم عرض

این پژوهش نشان می دهد با این که پل ها در دوره صد ساله ساخته شده اند اما میزان شباهت در دهانه ها بسیار نزدیک و این در اثر محدودیت های دانشی و تکنولوژی های موجود بوده و معمار آن دوره براساس امکانات دوره تاریخی و یکنواختی در پیشرفت فنون معماری به ناچار این الگوی ساخت را تکرار نموده است که در ادامه پژوهش پیشنهاد می گردد پل های دوره قاجار با دوره صفوی تشابه سنجی و تغییرات تکنولوژیکی آن بررسی شود. اگر معمار براساس تفکرات هرمنوتیکی پل ها را دهانه بندی نموده باشد، قاعدتا نباید نه از نظر تعداد و نه از نظر اندازه دهانه ها پل ها دارای یک الگوی مشابه در طراحی

- technology and beauty in bridge design)), National Conference on Structure, Road, Architecture, Chalous, Islamic Azad University, Chalous Branch, 2011-Tehran, Iran.
5. In Persian Etemadi, Mojtaba, ((Bridges and the forces acting on them)), 13th Conference of Civil Engineering Students Nationwide, Kerman, Shahid Bahonar University of Kerman, 2006-Tehran, Iran.
 6. In Persian Parham Javaheri, ((Water solution in Persian history)), Tehran: Samar Publications. 1385.
 7. In Persian Mohsen Surgi, Bridges and their types, Vista Magazine, March 2010, <https://vista.ir/m/a/ol^wY..>
 8. In Persian Hadi Veisi, ((distance measurement)), University of Tehran - Faculty of Modern Sciences and Technologies, 2016.
 9. Garcia, Edel2018 . Cosine Similarity Tutorial. independent scientist.08-26.
 10. Regina. Saskatchewan, Navneet . Kaur, Submitted, 2015, the Faculty of Graduate Studies and Research. Vol. 24.
 11. In Persian Mohammad Ali Mokhlesi, ((Old Stairs of Iran)), Tehran: Cultural Heritage Organization, 1999.
 12. In Persian Mohammad Yousef Kiani, ((Iranian architecture in the Islamic period)), Tehran: Samat Publications.
 13. In Persian Mehdi Farshad, ((History of Engineering in Iran)), Tehran: Balkh Publishing, 1997.
 14. In Persian Mismi, Hussein; Saeedeh Saeedi; Fatemeh Saeedi and Maryam Rezaei, ((Strategies for improving historical buildings with a case study of 33 bridges in Isfahan)), Third National Conference on Improvement and Rehabilitation of Iran, Tabriz, احداث گردد (به دلیل استحکام بیشتر)، سی‌وسه‌پل در عریض-ترین نقطه زاینده‌رود احداث گردیده، چرا که به کمک عرض رودخانه سرعت جریان آب کاهش پیدا و این در حفظ پایداری رودخانه اثر گذار بوده‌است، از طرفی آورده سیلاب در رودخانه زاینده رود هم در فرآینده طراحی محاسبه می گردیده چون معماران براساس رسوبات موجود در رودخانه میزان آورده و نوع آورده سیلاب های فصلی را هم مدنظر قرار داده اند. در نتیجه می توانیم دریابیم که در چنین دوره پر اهمیتی از لحاظ پل-سازی و با وجود معماران بزرگ و دقیق آن دوره و بقا این چهار پل از دوره صفوی تا به امروز با وجود نقصان در حفظ و نگهداری این پل‌ها با توجه به قطع متعدد آب زاینده‌رود و خشکی این رودخانه، مشخصات معماری این پل‌ها بسیار مبتنی بر عملکرد آن و با توجه به استانداردهای موجود در آن دوره، تکنولوژی ساخت و مصالح در دسترس، مناسب با شرایط اقلیمی اصفهان و آگاهی بسیار بالا از جریان آب رودخانه زاینده‌رود و تاثیر آن بر روی پل‌های مورد بررسی و طراحی گشته است.

Reference

1. In Persian Kazem Mulazadeh. Maryam Mohammadi, ((Public benefit buildings)), Tehran: Islamic Propaganda Organization, 2000, Volume One.
2. In Persian Seyed Mehdi Hashemi, ((Bridge from the perspective of architecture)), Tehran: Tehran University Press, 2017, Volume One.
3. <http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-index.php?page=%d9%85%d9%87%d9%86%d8%af%d8%b3%db%8c+%d8%b1%d9%88%d8%af%d8%ae%d8%a7%d9%86%d9%87+%d8%af%d8%b1+%d9%be%d9%84+%d8%b3%d8%a7%d8%b2%db%8c&SSOReturnPage=Check&Rand>.
4. In Persian Azoji, Alireza; Sahar Ghasemzadeh and Mohammad Reza Azoji, ((Interaction of technology,

- e%d8%a7%d9%86%d9%87+%d8%af%d8%b1+%d9%be%d9%84+%d8%b3%d8%a7%d8%b2%db%8c&preview=1&SSOReturnPage=Check&Rand=0
18. In Persian Mohammad Zolghadr, History: River Engineering in Bridge Construction, Roshd Encyclopedia, September 2004, <http://danesh.roshd.ir/mavara/mavara/pagehistory.php?page=%d9%85%d9%87%d9%86%d8%af%d8%b3%db%8c+%d8%b1%d9%88%d8%af%d8%ae%d8%a7%d9%86%d9%87+%d8%af%d8%b1+%d9%be%d9%84+%d8%b3%d8%a7%d8%b2%db%8c&preview>
19. In Persian Ghodsi, Habibeh and Mohammad Javad Khanjani, ((scouring around bridge piers)), National Conference on Sea Water Exploitation, Kerman, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, 2011, Kerman, Iran.
- National Center for Rehabilitation of Iran, University of Tabriz, 2008.
15. In Persian Ismailian, Mahsa and Hamidreza Beigzadeh Shahraki, ((Analysis of Khajoo Bridge Structures according to Physical, Functional and Establishment Features)), International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Landscape, Turkey - Istanbul University, 2016, Istanbul, Turkey .
16. In Persian khatere moravje tarbiat, Hossein Pournadari, A study of the continuity of effective traditions in the formation of Khajoo Bridge, Bagh-e Nazar Winter 2017, 61-70.
17. In Persian Nafiseh Naji, History: River Engineering in Bridge Construction, Roshd Encyclopedia, December 2004, <http://danesh.roshd.ir/mavara/mavara/pagehistory.php?page=%d9%85%d9%87%d9%86%d8%af%d8%b3%db%8c+%d8%b1%d9%88%d8%af%d8%ae>

