



Semnan University

Journal of Applied Arts

Journal homepage: <http://aaj.semnan.ac.ir>

ISSN: 2821-0670



Scientific– Research Article

Investigating and Analyzing the Practical and Technical Characteristics of Azodi (Amir) Bridge-Dam on the Kor River

Hadi Safamansouri¹ (Corresponding Author)

¹ Instructor, Department of Historic Building Restoration, Faculty of Art, Semnan University, Semnan, Iran.

(Received: 10.09.2023, Revised: 19.09.2023, Accepted: 26.11.2023)

<https://doi.org/10.22075/aaj.2023.31750.1192>

Abstract

There are many examples of historical and practical structures known as bridge-dams on the rivers of Iran, which, in addition to facilitating traffic on both sides of the river, caused the water level to rise and irrigated fields and started mills. made it possible In recent years, studies have been carried out on these structures, including Amir Dam Bridge in Fars Province. The problem is that most of these studies are descriptive and are limited to the description of the history, application, shape of architectural components and materials, and in few cases the engineering mechanism and technical understanding of the ancestors in their design and construction have been discussed. The main research question of the present study is: What factors and characteristics have contributed to the durability of the historic Amir weir-bridge over the course of a thousand years, and how have the geometric features of its designed sections affected the structural strength of the bridge? Therefore, in the current research, the analysis and explanation of the forces and stresses on the Amir Bridge-Dam, in order to understand it technically, is of interest. The hypothesis of this research states that the shape characteristics of Amir Bridge-Dam have a decisive role on its stability and the design and construction of this bridge-Dam has been done based on the understanding of the forces and behavior of the structural components. The purpose of this research is to explain the static and dynamic forces on the Amir Bridge-Dam structure and a new and practical look at the construction of such historical engineering works. In this article, the most important static and hydrostatic issues affecting the stability of Amir Bridge-Dam have been investigated. This research has been done with descriptive-analytical method and data collection has been done with two documentary methods and field studies, also data analysis has been done based on the basics of structural engineering sciences. The results of the research show that the Amir Bridge has shown good stability during ten centuries, under numerous stresses and countless changes in the amount of stresses. This stability is the result of the intelligent considerations and preparations of the designer and builders, in its shape and construction, which expresses the practical knowledge of the ancients in the engineering of water structures.

Keywords: Bridge, Dam, Bridge-Dam, Amir-Azedod-doleh, Marvdasht, Kor River.

1- Email: h.safamansouri@semnan.ac.ir

How to cite: Safamansouri, H. (2025). Investigating and Analyzing the Practical and Technical Characteristics of Azodi (Amir) Bridge-Dam on the Kor River, *Journal of Applied Arts*, 5 (4), 75-86. Doi: 10.22075/aaj.2023.31750.1192

بررسی و تحلیل ویژگی‌های کاربردی و فنی پل‌بند عضدی (امیر) بر روی رودخانه گر

هادی صفامنصوری (نویسنده مسئول)^۱

^۱ مربی، گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵)

<https://doi.org/10.22075/aaj.2023.31750.1192>

چکیده

نمونه‌های متعددی از سازه‌های تاریخی و کاربردی موسوم به پل‌بند، بر رودخانه‌های ایران به جای مانده‌اند که علاوه بر تسهیل آمد و شد در دو سوی رود، موجب بالا آمدن سطح آب می‌شدند و آبیاری مزارع و راه‌اندازی آسیاب‌ها را ممکن می‌کردند. در سال‌های اخیر مطالعاتی در مورد این سازه‌ها، از جمله پل‌بند امیر در استان فارس، به انجام رسیده‌است. مسئله این است که اغلب این مطالعات به صورت توصیفی است و به شرح تاریخ، کاربرد، شکل اجزای معماری و مصالح محدود می‌شود و در کمتر مواردی به سازکار مهندسی و درک فنی گذشتگان در طراحی و ساخت آن‌ها، پرداخته شده‌است. بنابراین در پژوهش حاضر تحلیل و تبیین نیروها و تنش‌های وارد بر پل‌بند امیر، به منظور شناخت فنی آن، مورد توجه است. پرسش اصلی پژوهش حاضر این است که چه عوامل و ویژگی‌هایی منجر به پایداری پل‌بند تاریخی امیر، طی هزار سال شده‌است؟ و این که ویژگی‌های شکلی مقاطع طراحی شده، چه تأثیری بر استحکام این سازه دارد؟ فرضیه این تحقیق بیان می‌دارد که ویژگی‌های شکلی پل‌بند امیر نقش تعیین‌کننده‌ای بر پایداری آن دارد و طراحی و ساخت این پل‌بند بر اساس درک نیروها و رفتار اجزای سازه انجام شده‌است. هدف از انجام این پژوهش تبیین نیروهای استاتیکی و دینامیکی وارد بر سازه‌ی پل‌بند امیر و نگاهی نو و کاربردی به ساختمان این گونه آثار مهندسی تاریخی است. در این مقاله، مهم‌ترین مسائل استاتیکی مؤثر بر پایداری پل‌بند امیر مورد بررسی قرار گرفته‌است. این پژوهش با روش توصیفی- تحلیلی به انجام رسیده‌است و جمع‌آوری اطلاعات با دو روش اسنادی و مطالعات میدانی حاصل شده، همچنین تحلیل داده‌ها بر اساس مبانی علوم مهندسی سازه انجام شده‌است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پل‌بند امیر طی ده قرن، تحت تنش‌های متعدد و تغییرات بیشمار در میزان تنش‌ها، پایداری خوبی از خود نشان داده‌است. این پایداری نتیجه ملاحظات و تمهیدات هوشمندانه طراح و سازندگان، در شکل و ساختمان آن بوده که بیان‌کننده دانش کاربردی گذشتگان در مهندسی سازه‌های آبی است.

واژه‌های کلیدی: پل، سد، پل‌بند، امیرعبدالوله، مرودشت، رودخانه گر.

1- Email: h.safamansouri@semnan.ac.ir

شیوه ارجاع به این مقاله: صفامنصوری، هادی. (۱۴۰۴). بررسی و تحلیل ویژگی‌های کاربردی و فنی پل‌بند عضدی

(امیر) بر روی رودخانه گر، نشریه هنرهای کاربردی، ۵ (۴)، ۷۵-۸۶. Doi: 10.22075/aaj.2023.31750.1192

از گذشته‌های دور ساکنان فلات ایران، در مواجهه با شرایط ویژه‌ی اقلیم و توپوگرافی و رودهای این منطقه، دانش فنی خود را در احداث انواع سازه‌های آبی گسترش دادند. سد یا بند برای مهار جریان رود و تغییر مسیر یا ذخیره آب در مناطق زیادی از ایران باستان دیده می‌شود؛ همچنین پل‌ها برای عبور از رود و دره‌ها، از اجزای بسیار مهم راه‌ها بوده‌است. در موارد متعددی این دو کاربری را با یکدیگر درآمیختند و سازه‌هایی موسوم به پل‌بند را ایجاد کردند.

بیشتر بندها دو سوده بوده یعنی هم از آن‌ها سود آبیاری می‌برده‌اند و هم بر آن‌ها پلی می‌بسته‌اند که گذرگاه برای گذشتن از رودخانه بود (کوروس، ۱۳۵۰: ۲۷۹). ویژگی ترکیب نقش عبور و مرور با آب بند یا سد، در بسیار از پل‌ها از جمله در شادروان شوشتر، بند امیر فارس و بسیاری از پل‌های دیگر دیده می‌شود (ملازاده و محمدی، ۱۳۷۹: ۱۴۸). علاوه بر آن در برخی از پل‌بندها، با ذخیره انرژی آب، نیروی لازم جهت چرخاندن چرخ‌های بزرگ آسیاهای آبی تأمین می‌شده‌است. همانند پل‌بند تیلکان در فارس و پل‌بند آسیو رعنا در دزفول (مخلصی، ۱۳۷۹: ۸۳). در مسیر رودخانه کُر در استان فارس، تعداد شش بند انحرافی تاریخی وجود دارد. این بندهای چند منظوره باعث افزایش و تنظیم سطح آب در رودخانه و سهولت انحراف آن جهت انتقال به مزارع می‌شوند. از سوی دیگر بار آبی مورد نیاز برای کارکرد آسیاب‌ها را فراهم کرده، همچنین به‌عنوان یک پل، دو سوی رودخانه را به یکدیگر متصل می‌کنند (زند و جوان، ۱۳۸۶: ۳۱). مهم‌ترین این سازه‌ها، پل‌بند عضدی یا امیر است که قدمتی هزار ساله دارد و بر روی رودخانه کُر^۱ واقع شده‌است.

سازه و تأسیسات جانبی پل‌بند امیر به لحاظ کارایی، استواری و تناسب، در نوع خود اثری کم‌نظیر است و

در طراحی و ساخت آن بسیاری از ملاحظات مهندسی مدرن و امروزی، دیده می‌شود. به‌طور معمول شکل‌های معماری و فرم‌های بهینه‌ی سازه‌ای، در دوران تاریخی، بر اساس تجربه و آزمون و خطاهای بسیار تکامل یافته‌اند و البته گاه در مواردی، کارایی این فرم‌ها به‌صورت نظری توسط برخی دانشمندان، طراحان و مهندسان مطالعه شده‌است^۲. ضرورت این پژوهش، درک اهمیت تجربه‌هایی چنین ارزشمند در صنعت سازه‌های آبی، حفظ و بهره‌مندی از این تجارب است. پرسش اصلی پژوهش حاضر این است که چه عوامل و ویژگی‌هایی منجر به پایداری پل‌بند تاریخی امیر، طی هزار سال شده‌است؟ و این‌که ویژگی‌های شکلی مقاطع طراحی شده، چه تأثیری بر استحکام این سازه دارد؟ پاسخ دقیق به این پرسش‌ها کمک شایانی به شناخت کامل و علمی این اثر ارزشمند و دیگر آثار مشابه می‌کند. هدف از انجام این پژوهش تحلیل و تبیین نیروها و تنش‌های هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی وارد بر سازه‌ی پل‌بند امیر و بررسی رفتار اجزای آن در مقابل این نیروها و تنش‌ها است؛ به‌گونه‌ای که علاوه بر معرفی ویژگی‌های فنی اثر، نگاهی نو و کاربردی در مطالعات این‌گونه آثار ایجاد شود.

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر مطالعات سودمندی در جهت شناخت و معرفی سازه‌های آبی کشور از جمله پل‌ها و بندها انجام شده‌است. عبدالرحیم سوارنژاد در کتاب «پل‌بند شادروان شوشتر؛ پلی به بلندای تاریخ» (۱۴۰۲)، ضمن معرفی پل و نقش آن در حوادث تاریخی، به متون مرتبط در سفرنامه‌ها پرداخته‌است. مهناز شریفی در مقاله‌ای با عنوان «نگرشی بر فعالیت‌های عمرانی ساسانیان در زمان شاپور اول در خوزستان (مطالعه موردی پل‌بندهای شوشتر و رامهرمز)» (۱۴۰۰)، که در مجله مطالعات ایرانی در

۷۲ کیلومتری خاور جنوبی مرودشت به دریاچه بختگان می‌رسد (جعفری، ۱۳۶۷: ۳۸۶).

^۲ هم‌چون رساله مهندسی غیاث‌الدین جمشیدکاشانی با عنوان «رساله طاق و ازج» در قرن هشتم هجری شمسی.

^۱ رودخانه کُر، رودخانه دایمی است که با حوضه آبرگیری به وسعت حدود ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع و طولی حدود ۲۸۰ کیلومتر در استان فارس جریان دارد. این رودخانه از کوه‌های موسی‌خانی در ۶۷ کیلومتری جنوب خاوری اقلید سرچشمه می‌گیرد... و در

کرمان به چاپ رسیده است، به معرفی پل‌بندهای ساسانی در شوشتر و رامهرمز پرداخته و به شواهدی در ارتباط با به‌کارگیری اسیران رومی در طراحی و ساخت این سازه‌ها اشاره کرده است. طبق نتایجی که شهرام کریمی و همکارانش در مقاله «بهره‌برداری مجدد سازه‌های آبی تاریخی در مقایسه با احداث سازه‌های جدید آبی مشابه به روش AHP» (۱۳۹۴)، در نشریه آبیاری و زهکشی ایران، عنوان نموده‌اند، از مجموع ۴۵ سازه‌ی بررسی شده، در ۹ مورد احداث سازه جدید امتیاز بالایی را کسب نموده و در بقیه موارد مرمت، استحکام بخشی و ترمیم و باززنده سازی سازه‌ی آبی تاریخی در اولویت کار قرار گرفته است. خاطره مروج تربتی و حسین پورنادری در مقاله «بررسی تداوم سنت‌های مؤثر در شکل‌گیری پل‌خواجه بر اساس مطالعه تطبیقی پل‌های تاریخی شهر اصفهان» (۱۳۹۲)، در نشریه باغ‌نظر، به تدام سنت‌های گذشته و سیر تکامل و نوآوری در کالبد و کارکرد و سازه پل‌خواجه اشاره دارد. همچنین جهت مقایسه، سایر پل‌های تاریخی شهر اصفهان توصیف و معرفی شده‌اند. داریوش حیدری‌بنی جزو معدود افرادی است که طی مقاله‌ای با عنوان «بررسی هیدرولیکی پل‌های تاریخی» (۱۳۸۰)، در دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی به این موضوع به صورت علمی و فنی نگاه کرده است. علاوه بر موارد ذکر شده، مطالعات متعدد دیگری نیز در این موضوع به چاپ رسیده است. با بررسی این پژوهش‌ها، مشاهده می‌شود که در بیشتر موارد توصیف وجوه تاریخی، محیطی، عملکرد، کالبد و در مواردی مطالعات تطبیقی، مورد نظر پژوهش‌گر است. مطالعات مذکور سودمند هستند، اما شناخت کامل‌تر و کاربردی این سازه‌ها نیازمند رویکردی تحلیلی است که دلایل تکوین ویژگی‌های شکلی و عملکردی و فنی آن‌ها را استخراج و بیان کند. در این راستا، پژوهش حاضر می‌کوشد تا با رویکرد تحلیلی با کمک مبانی علوم استاتیک و هیدرواستاتیک، دلایل ایجاد شکل‌های سازه‌ای خاص در پل‌بند امیر را توضیح دهد.

روش پژوهش

روش تحقیق در پژوهش حاضر توصیفی-تحلیلی است و گردآوری داده‌ها به شیوه میدانی و اسنادی انجام شده است. اطلاعات میدانی شامل برداشت و تصحیح نقشه‌ها و جزئیات، عکس‌برداری از اثر و محیط اطراف و بررسی ویژگی‌های کارکردی، کالبدی و سازه‌ای است. تجزیه و تحلیل اطلاعات بر اساس اصول و مبانی استاتیکی و هیدرودینامیکی و توجه به فرم‌های کالبدی و معمارانه انجام شده است.

برای شناخت هر اثر معماری، سه وجه کارکرد و سازه و فرم کالبدی، با هم یا به‌صورت جداگانه می‌تواند در بستر زمان و مکان مورد بررسی قرار گیرد. در سازه‌های آبی به ویژه سدها، این سه وجه چنان به یکدیگر تنیده‌اند که امکان بررسی جداگانه آن‌ها وجود ندارد. در مورد پل‌بند امیر، فرم کالبدی و سازه تفکیک ناپذیرند، همچنین سازه کاملاً در خدمت کاربرد پل‌بند طراحی شده، به خصوص که هیچ عنصر تزئینی و غیر عملکردی در آن دیده نمی‌شود. از این‌رو در تحلیل شکل اجزاء و ارتباط آن با پایداری، پیش از هر چیز سه وجه مذکور در بستر زمان و مکان، توصیف شده است.

موقعیت و تاریخچه

مجموعه تاریخی پل‌بند امیر در ۴۴ کیلومتری شمال شرقی شیراز، ۱۵ کیلومتری جنوب شهر مرودشت و حدود ۱۲ کیلومتری پایین دست پل خان، در ارتفاع ۱۵۸۵ متری آب‌های آزاد در مسیر رودخانه کر و کنار قریه بند امیر واقع شده است. (راهساز، ۱۳۸۳: ۹) بند امیر که در سال ۳۴۹ هـ.ق/۹۶۰ م. ایجاد شد، از کارهای برجسته عضدالدوله دیلمی می‌باشد. عضدالدوله (۳۷۳-۳۳۸ هـ/ ۹۸۳-۹۴۹ م.) یکی از پادشاهان سلسله دیلمیان افزون بر آن‌که به کارهای آبادانی و ساختمانی علاقه زیادی داشت خود مهندسی کارآمد به‌شمار می‌آمد (فرشاد، ۱۳۷۶: ۲۶۷).

کاربری و اجزای کالبدی

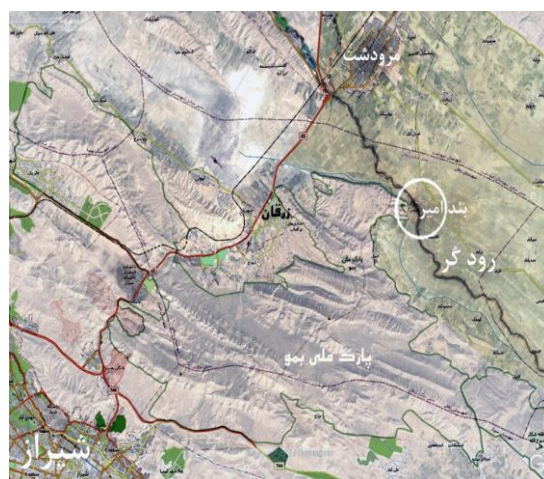
بند امیر سه گونه کاربرد داشته است: نخست برای بالا آمدن سطح آب و آبیاری دشت وسیع کربال علیا، به

پلی که بر روی نهر گاوشیر ساخته شده، مربوط به دوره‌های متأخر بوده و از یک تاق جناقی با دهانه ۶ متر تشکیل شده است (حداد عادل، ۱۳۷۸: ۲۵۹). دیوارهای حفاظتی دو سوی رودخانه در بالادست و پایین‌دست بند امیر، برای جلوگیری از رانش جدار رودخانه و تخریب سد، ساخته شده و مصالح آن سنگ لاشه و ملات ساروج است. حوضچه آرامش این بند در سرتاسر بخش جنوبی به عرض بیش از ۲۰ متر تعبیه شده است که از تأثیر ضربات مخرب آب‌های سرریز، بر پایه و بستر آن جلوگیری می‌کند (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۴: ۳۰). کانال‌ها یا نهرهای متعددی در طرفین بالادست رودخانه وجود دارد که آب بالا آمده توسط بند را به زمین‌های کشاورزی منتقل می‌کنند. برخی نهرها جهت تأمین آب تنوره آسیاب‌ها ایجاد شده‌اند که پایاب این نهرها به پایین دست رودخانه سرازیر می‌شود. بقایای حدود ۲۵ آسیاب در دسته‌های دو، سه، چهار و هفت‌تایی در طرفین بند موجود است. هر آسیاب شامل یک تنوره یک اتاق و یک سنگ آسیاب بوده است.

گونه‌ای که پس از احداث این سد، از ولایت کربال که پیش از آن صحرایی خشک بود، در زمان عضدالدوله، سالانه هفتصد هزار خروار غله برداشت می‌شد. دوم به کار انداختن آسیاب‌ها، سرانجام با ایجاد پل بر روی تاج سد و در واقع با احداث پل بند، دو جانب رود کر به هم متصل شد (حدادعادل، ۱۳۷۸: ۲۵۴). بند امیر، یک بند انحرافی است که آب را در حدود ۷,۵ متر بالا می‌آورد و آبیاری اراضی آبخور بند را به‌طریق ثقی میسر می‌سازد. در این خصوص کانال‌های فراوانی در دو طرف بند در بالادست وجود دارد. بند امیر با طول ۱۰۵ متر، دارای مقطع عرضی دوزنقه‌ای شکل است. عرض سرریز ۷,۸۰ متر و پهنای آن روی زمین ۱۹,۶۰ متر و بیشترین عمق دریاچه ۷,۵ متر است. پل احداث شده بر روی بند از ۱۳ طاق جناقی با دهانه‌هایی متغیر بین ۴,۱۵ الی ۵,۳۰ متر و عرض بین ۳,۴۰ الی ۳,۹۵ تشکیل شده و ارتفاع دهانه‌ها بین ۳,۷۰ الی ۴,۱۰ متغیر است. در جوار انتهای غربی، یک نهر انحرافی موسوم به نهر گاوشیر جهت تخلیه آب مازاد بالادست بند به سمت پایین‌دست رود، تعبیه شده است (راهساز، ۱۳۸۳: ۱۳).



تصویر ۲- تصویر هوایی پل بند امیر، کانال‌ها و آسیاب‌ها. عکس هوایی نشان‌گذاری شده براساس تصاویر گوگل ارث. منبع: (نگارنده)



تصویر ۱- موقعیت روستای بند امیر نسبت به شهرهای شیراز و مرودشت. عکس هوایی نشان‌گذاری شده بر اساس تصاویر گوگل ارث، در ترکیب با نقشه راه‌های استان. منبع: (نگارنده)



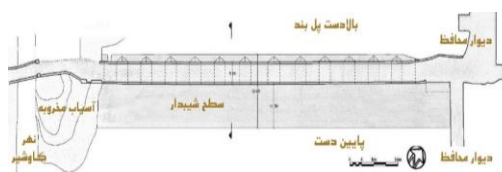
تصویر ۳- نمای جنوبی (پایین‌دست) پل بند امیر. منبع: (نگارنده)

نیروها و تنش‌های وارده بر سد و پل:

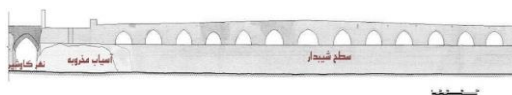
نیروی هیدرولیکی که به سازه‌های آبی وارد می‌شود از دو بخش تشکیل شده است: **الف- نیروی استاتیک** آب: این نیرو، نیرویی است که به صورت ایستا از جانب آب به بدنه سد یا پایه پل، همچنین بصورت فشار بلند کننده از کف بستر به زیر پی وارد می‌شود.



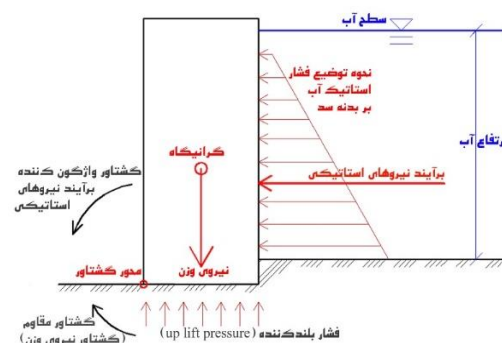
تصویر ۴- جبهه شمالی بند امیر، نمای دریاچه پشت سد در زمان تعمیرات. منبع: (نگارنده)



تصویر ۵- پلان پل بند امیر. منبع: (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۴)

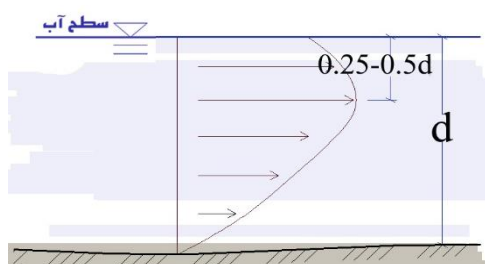


تصویر ۶- نمای جنوبی (پایین دست) بند امیر. منبع: (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۴)



تصویر ۷- دیاگرام نیروهای استاتیکی وارد بر بدنه فرضی یک سد با مقطع مستطیل. منبع: (نگارنده)

نیروی استاتیک هر چه به سمت عمق می‌رویم بیشتر می‌شود و برآیند آن در صورت یکنواخت بودن کف رودخانه تقریباً در یک سوم ارتفاع آب از کف قرار دارد. فشار استاتیک وارد بر بدنه سد و پایه‌های پل با فرمول $P = pgh$ محاسبه می‌شود. که در آن P فشار بر حسب kg/cm^2 ، p وزن مخصوص آب، g شتاب جاذبه، h ارتفاع آب است (حیدری‌بنی، ۱۳۸۰: ۲۵۳). این نیرو دو اثر بر روی سازه دارد: یکی ایجاد گشتاور چرخشی و در نتیجه تمایل به واژگونی پل‌بند و دیگری تمایل به لغزش آن است. نیروی مقاوم در مقابل واژگونی، نیروی وزن می‌باشد که گشتاوری در خلاف جهت گشتاور واژگون کننده ایجاد می‌نماید. نیروی مقاوم در مقابل نیروی لغزاننده، نیروی اصطکاک پل‌بند و زمین زیر آن است که آن هم نسبت مستقیم با وزن دارد. اما نیروی استاتیک آب نفوذ یافته در لایه‌های زیرین پی، به صورت فشار بلند کننده^۳ به زیر پی (مطابق قانون ارشمیدس) اثر می‌کند و در این حالت مقداری از وزن پل‌بند می‌کاهد، در نتیجه هم از گشتاور مقاوم سازه کاسته می‌شود و هم از نیروی اصطکاک مقاوم در مقابل لغزش.



تصویر ۸- دیاگرام توزیع سرعت در مقطع قائم جزیان. منبع: (نگارنده)

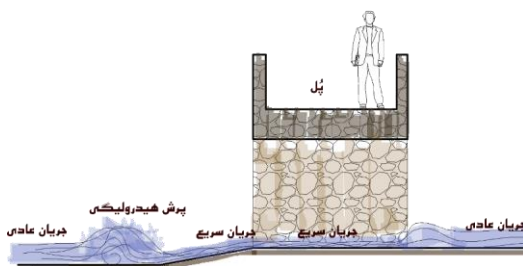
ب- نیروی دینامیک آب: نیرویی که جریان آب حین برخورد به مانع وارد می‌کند بستگی به سرعت آب و شکل مانع دارد. به طور معمول حداکثر سرعت آب یک کانال در بین یک چهارم الی نصف عمق آب از

³ up lift pressure

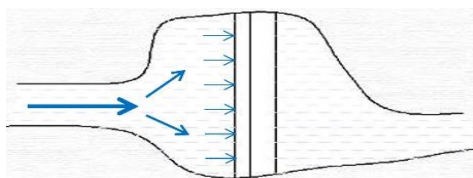
سیلاب، پدیده کاویتاسیون به وجود می‌آید و موجب آسیب در قسمت‌های نزدیک تاج سد می‌شود.

آب‌بردگی: هرگاه مانعی مانند پایه‌های پل در کف رودخانه، مقطع جریان آب را تنگ‌تر کند، در بالا دست ارتفاع آب بالا می‌آید؛ در بین پایه‌های پل، جایی که مقطع جریان کمتر است، آب پایین می‌آید و به سرعت آن افزوده می‌شود و پس از پل مجدد بالا می‌آید. به این ترتیب امکان شسته شدن و تخریب تدریجی کف رودخانه در بین پایه‌ها زیاد می‌شود.

پرش هیدرولیکی: هرگاه به علت کاهش ناگهانی شیب یا افزایش سطح مقطع رودخانه، سرعت آب ناگهان کاهش یابد، این تغییر ناگهانی جریان، با آزاد شدن انرژی و پرش هیدرولیکی همراه خواهد بود. پس از آن ارتفاع آب افزایش و سرعت آن کاهش می‌یابد. در محل تلاطم پرش هیدرولیکی، کف رودخانه تخریب می‌شود. در گذشته و امروز برای کاهش اثر هر یک از پدیده‌های فوق در سازه‌های آبی تمهیداتی در نظر گرفته‌اند و این تمهیدات در پل‌بند امیر در هزار سال گذشته، پایداری آن را موجب شده‌است.

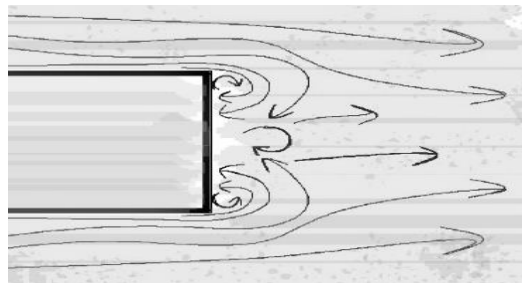


تصویر ۱۰- طرح شماتیک نحوه جریان آب و توضیح پرش هیدرولیکی. منبع: (نگارنده)



تصویر ۱۱- طرح شماتیک نحوه توزیع نیروی دینامیکی آب رودخانه کُر در پل‌بند امیر. منبع: (نگارنده)

سطح آزاد واقع می‌شود. این نیرو نیز دو اثر واژگون کننده و لغزاننده بر روی پل‌بند دارد. از طرفی نیروی دینامیک آب بر پایه‌های پل، از فرمول $p=kv^2$ محاسبه می‌شود. P = فشار؛ V = حداکثر سرعت جریان؛ K = ضریبی برحسب kgs^2/cm^4 که به شکل پایه بستگی دارد (حیدری‌بنی، ۱۳۸۰: ۲۵۳). کمترین ضریب مربوط به پایه‌های نوک تیز می‌باشد. همان‌گونه که در پایه‌های پل بر روی بند امیر به‌کار رفته‌است. در مواقعی که آب رودخانه از سرریز بند جریان دارد، دو نیروی استاتیک و دینامیک آب به‌طور همزمان و به صورت برآیند دو نیرو، بر سازه‌ی سد یا پل اثر می‌کند.



تصویر ۹- آشفته‌گی و جریان گردابی، پس از پایه پل.

منبع: (نگارنده)

علاوه بر نیروهای هیدرولیکی گفته شده، عوامل و پدیده‌های دیگری نیز بر بدنه پل‌بند تأثیر می‌گذارد، از جمله: **کاویتاسیون (حفره‌زایی):** هنگام برخورد جریان سیلاب به پایه‌های پل، در هر لحظه جهت برخورد عوض می‌شود و در لحظاتی بین مانع و آب فضای خالی ایجاد شده، فشار کاهش می‌یابد. در لحظه بعد آب، خلاء به‌وجود آمده را با ضربه پر می‌کند. در صورت تکرار مداوم، ذراتی از سطح مانع جدا می‌شود. به این پدیده حفره‌زایی می‌گویند (حیدری‌بنی، ۱۳۸۰: ۲۵۴). هنگامی که پایین دست پایه پل فرم مستطیل داشته باشد، جریان گردابی به‌وجود می‌آید. جریان گردابی مذکور در لحظاتی خلاء و لحظاتی فشار زیاد ایجاد می‌کند و در نتیجه پدیده حفره‌زایی اتفاق می‌افتد. در مورد سازه سدهای سرریزی نیز هنگام گذر

تمهیدات سازه‌ای در پل بند امیر جهت پایداری:

انتخاب موقعیت پل بند: معمولاً سدها در محل‌هایی ساخته می‌شوند که عرض رودخانه کم و دیواره‌ها و کف رودخانه استقامت مناسبی دارند. سازه این بندها فشار آب ذخیره شده را به دیواره رودخانه منتقل می‌نمایند. ولی در محل پل بند امیر، بلعکس، عرض رودخانه به صورت مصنوعی عریض شده‌است. رودخانه کر در دشت کربال و مرودشت دارای دیواره و کف سست و غیر مقاوم است و سازه‌ای که در آن محل ساخته می‌شود نمی‌تواند فشار آب را به دیواره رودخانه منتقل نماید. بنابراین سازه پل بند امیر، باید به صورت وزنی عمل کند و خود ایستا باشد. عریض نمودن مصنوعی عرض رودخانه با عمق کم، موجب می‌گردد تا در هنگام طغیان، نیروی دینامیکی آب در سطح گسترده‌تری پخش گردد و از فشار آن کاسته شود. با بررسی تصویر هوایی بند امیر (تصویر ۳) به سهولت می‌توان دریافت که مسیر اصلی رودخانه در نیمه غربی پل بند بوده و نیمه شرقی دریاچه‌ی بالادست به صورت دست‌گند به وجود آمده‌است. **مصالح:** این پل بند از سنگ‌های آهکی و ملات ساروج (آهک، رس، خاکستر و...) ساخته شده‌است. سنگ‌های آهکی ریشه‌دار با هشت و گیر کامل؛ اندود ساروج بر روی کلیه سطوحی که با آب در تماس‌اند. در برخی منابع تاریخی از کاربرد آهن و سرب در اتصالات یاد شده که بیشتر به افسانه می‌ماند (فرشاد، ۱۳۷۶: ۲۶۷). این بلخی جغرافیدان قرن پنجم هجری در فارس‌نامه آن را چنین معرفی می‌کند: ...پس شادروانی عظیم کرد از سنگ و صهروج در پیش و پس بند و آن‌گه این بند باورد از معجون صهروج و ریگ ریزه چنانک آهن بر آن کار نکند (حاج‌سیدجوادی، ۱۳۷۱: ۴۲۷).

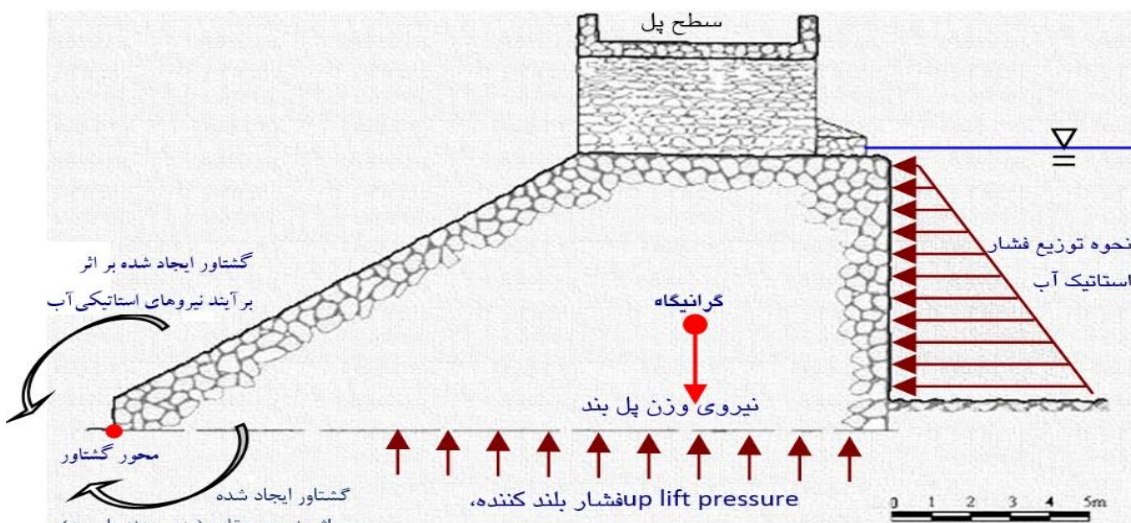
بستر و پی: بر اساس عملیات گمانه‌زنی سازمان آب منطقه‌ای فارس، عمق رودخانه قبل از رسوب گرفتن

کف، ۹،۵ متر و عمق پی‌سازی در حدود ۵،۵ متر می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۴: ۳۸). به عبارتی بیشتر از یک‌دوم ارتفاع سازه بر سطح زمین، ریشه در زمین دارد و پایه ساختمان را بر زمین سخت قرار داده‌اند. در کتاب فارس‌نامه ابن‌بلخی ذکر شده که قبل از ساختن بند، آب را از دو جناح رودخانه منحرف کرده، سپس بستر رودخانه را در محل بند با قطعات بزرگ سنگ و ملات ساروج سنگ‌فرش کرده، آن‌گاه بند را روی این صفحه سنگی بنا نهاده‌اند (رستگارفسایی، ۱۳۷۴: ۱۵۲). **بدنه پل بند:** مقطع عرضی سازه، شکل دوزنقه‌ای دارد (با ابعادی که پیشتر گفته شد)، این شکل مناسب‌ترین شکل سازه در برابر گشتاورها و تنش‌های گفته شده‌است؛ موجب افزایش سطح تماس پایه با بستر و افزایش اصطکاک مقاوم می‌شود و نیز گشتاور مقاوم در برابر واژگونی را با توجه به موقعیت گرانیگاه و وزن سازه، بیشتر می‌کند. همچنین در هنگام طغیان، از سرریز ناگهانی و تخریبی آب جلوگیری می‌کند و آب با شیب مناسبی به حوضچه آرامش می‌ریزد. "اگر منتج تمام نیروهای وارد بر سد، از خارج قاعده آن بگذرد، سد واژگون خواهد شد، مگر آن‌که بتواند در مقابل تنش‌های کششی مقاومت کند. از آن‌جا که سدهای وزنی برای حالتی طراحی می‌شوند که هیچ‌گونه تنش کششی بر آن‌ها وارد نشود، بنابراین منتج نیروها بایستی از یک‌سوم میانه قاعده عبور نمایند." (احمدی، ۱۴۰۱: ۵). شکل دوزنقه‌ای مقطع عرضی، برآیند نیروها را در حالت بهینه قرار می‌دهد.

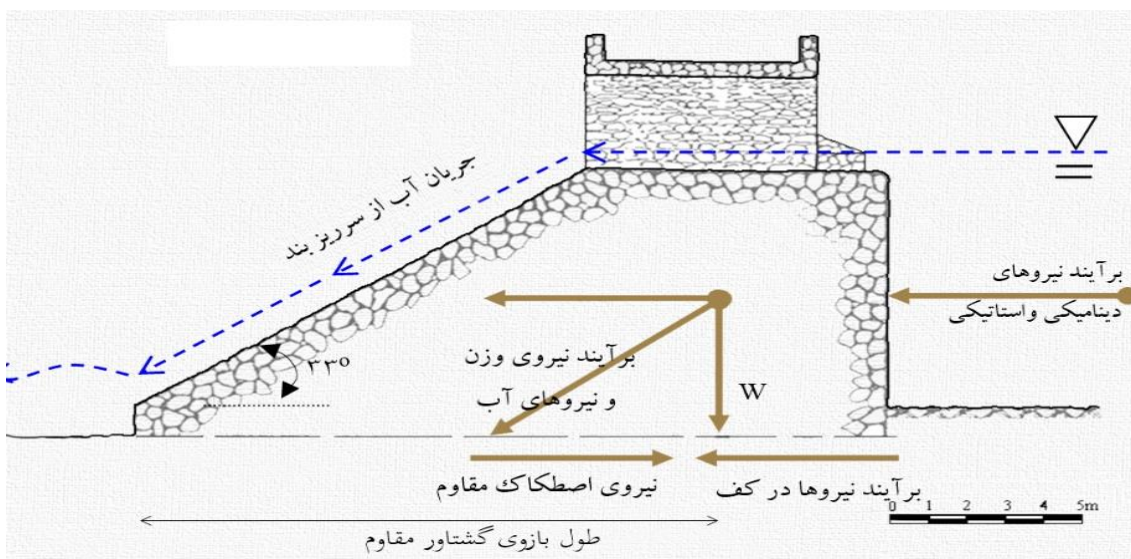
دیوارهای حفاظتی جدار رودخانه: از آن‌جا که رود کر در ناحیه کربال دارای بستر و بدنه‌ای سست می‌باشد، برای جلوگیری از رانش خاک‌های کنار رودخانه، دیوارهای حائلی در فراز و پایین بند، به طول حدود ۲۰۰ متر و با عرض بیش از ۲ متر با سنگ و ملات ساروج احداث کرده‌اند.



تصویر ۱۲- برش عرضی رودخانه و نمای پل بند امیر در بالادست (نمای شمالی). منبع: (نگارنده)



تصویر ۱۳- برش عرضی پل بند امیر؛ نیروهای وارد بر پل بند. منبع: (نگارنده)



تصویر ۱۴- برآیند نیروهای وارد بر سازه در یک سوم میانی سطح مقطع. منبع: (نگارنده)

۲۰ متر ایجاد شده که از تأثیر مخرب آب پس از سرریز شدن از روی بند جلوگیری می‌کند. احتمالاً، این حوضچه به صورت طبیعی در اثر آزاد شدن انرژی حاصل از سقوط آب در پای بند و بر اثر جمع شدن رسوبات در حدود ۲۰ متر بعد از بند، به وجود آمده که وضعیت و استحکام آن با نیرو و انرژی آب‌های طغیانی در حال تعادل است.

پایه‌های پل: بر روی تاج بند، پلی با ۱۳ دهانه بر پا شده است. تمهیداتی که جهت مقاومت پایه‌های پل

کانال انحرافی: این کانال هم‌زمان با ساخت پل بند و به منظور انحراف آب رودخانه و ایجاد بستری خشک برای عملیات ساختمانی، ساخته شده و در حقیقت نقش تونل انحرافی سدهای امروزی را داشته است. این کانال هم‌اکنون کنترل کننده میزان بالا آمدن آب پشت بند می‌باشد.

حوضچه آرامش: در سرتاسر بخش جنوبی (پایین دست پل بند امیر) حوضچه آرامشی به عرض بیش از



تصویر ۱۸- استفاده از سنگ‌های بزرگ تراش خورده در پایه تاق جهت جلوگیری از آب بردگی. منبع: (نگارنده)

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی سازه‌ها در طی تاریخ، بیشتر بر اساس تجربه و آزمون و خطا در قرون متمادی صورت گرفته‌است. البته شواهد معدودی نیز مبنی بر طراحی و محاسبات هندسی به فراخور علوم زمان در برخی کتب و یافته‌های تاریخی دیده می‌شود. طی قرن‌ها، سازه‌ها و ساختمان‌های بسیاری به دلیل مشکلات فنی، یا بر اثر وقایع پیش‌بینی ناپذیر از بین رفته‌اند. می‌توان گفت آن‌چه از روزگاران دور باقی مانده، نسبت به بناهای مشابه هم دوره‌ی خود کامل‌تر و کم ایرادتر بوده، چنین آثاری در دوره‌های پسین به‌عنوان یک تجربه موفق، الگوی ساخت‌وسازهای بعدی قرار می‌گرفته‌اند. در مورد پل‌بند امیر نیز گذشت زمان، خود گواهی بر استحکام آن است؛ اما مطالعه و شناخت دلایل فنی این پایداری، فرصتی برای ثبت تجربیات موفق و دانش مهندسی گذشتگان به‌عنوان میراث ارزشمند انسان به‌شمار می‌رود؛ همچنین این شناخت، راهبردها و شیوه‌های حفاظت و مرمت کالبد پل‌بند را نیز تعیین می‌کند.

طبق یافته‌های این پژوهش، پایداری پل‌بند امیر تحت نیروها و تنش‌های هیدرولیکی و تغییرات قابل‌توجه در این نیروها در زمان طغیان رودخانه و زلزله و ضربات دائمی جریان آب، دلایل ویژه‌ای دارد که بخشی مربوط به طراحی هوشمندانه‌ی خصوصیات شکلی و بخش دیگر مرتبط با جزئیات اجرایی و تأسیسات و اجزای جانبی است. تعیین پهنا و عمق مخزن سد، نیز حوضچه‌ی آرامش در پایین دست، کانال انحرافی و دیوارهای محافظ جدار رودخانه، نقش تعیین‌کننده‌ای

اندیشیده شده شامل وزن پل، شکل پایه‌ها و اتصال پایه‌ها به تاج بند است. پایه‌ها در بالادست فرم آب‌شکن زاویه‌دار (مثلثی) دارند که باعث کمتر شدن اثر نیروی دینامیک آب بر پل می‌شود. همچنین در پایه‌های پل در سطح اتصال با تاج سد، سنگ‌های بزرگ تراشیده منظم قرار داده‌اند که موجب مصون ماندن مصالح از آب‌بردگی در طی زمان شده‌است.

دهانه‌های پل: بر روی پایه‌ها، تاق‌هایی با قوس جناغی اجرا گشته و سطح پل بر آن استوار شده‌است. مسئله‌ای که در ساخت دهانه‌های این پل رعایت شده، ظرفیت گذردهی سیلاب‌ها از آن بوده که با توجه به حداکثر میزان طغیان رودخانه کُر در طی سال، سنجیده شده‌است. در شرایط طغیان رودخانه که تقریباً هر سال یک‌بار اتفاق می‌افتد، بیشترین حد تنش‌های هیدروستاتیکی و هیدرودینامیکی آب بر سازه بند وارد می‌شود.



تصویر ۱۵- دیوار حفاظتی پایین‌دست بند و حوضچه آرامش. منبع: (نگارنده)



تصویر ۱۶- کانال انحرافی بند امیر موسوم به نهر گاوشیر. منبع: (نگارنده)



تصویر ۱۷- بالادست بند امیر در زمان پرابی و سرریز آب. منبع: (پایگاه میراث جهانی تخت جمشید، ۱۳۸۰)

در ماندگاری این پل بند دارد. جزئیات اجرایی هم‌چون انتخاب مصالح، هشت‌وگیر و اتصالات بین اجزاء، نحوه پی‌سازی، افزایش وزن سد با ساخت پل بر روی آن، از دلایل بسیار مهم استحکام این اثر تاریخی است. در این میان اما طراحی هوشمندانه و علمی خصوصیات شکلی پل بند امیر، از شناخت تجربی و کاربردی نیروهای هیدرولیکی و درک رفتار اجزای سازه‌ها در مقابل این نیروها، توسط طراحان و مهندسان در زمان احداث آن، حکایت دارد. به عبارتی آن‌چه دوام بند امیر را طی هزار سال تضمین نموده، نبوغ و دانش قبل

از مهندسی ایرانیان باستان، به همراه تجربیات فراوان آن در ساخت این‌گونه سازه‌های آبی است. سخت‌کوشی و نبوغ و تجربه‌ای که میراث ارزشمندی برای نسل امروز به‌شمار می‌رود. اما این‌که گذشتگان تا چه اندازه در زمینه طراحی سازه‌های آبی از علوم و محاسبات مهندسی و نظری بهره گرفته‌اند و این‌که شناختشان از نیروهای وارد بر سازه، چگونگی توزیع و اثرات آن‌ها، تا چه اندازه با علوم امروزمین مشابهت دارد، نیازمند سلسله پژوهش‌هایی در این زمینه است.

منابع

- اشمیت، اریک (۱۳۷۶)، *پرواز بر فراز شهرهای باستانی ایران*، آرمان شیشه‌گر، تهران: انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور (پژوهشگاه).
- بی‌نام (۱۳۸۴)، *گزارش بند امیر و تأسیسات آن*، شیراز: سازمان آب منطقه‌ای فارس. (گزارش منتشر نشده)
- جعفری، عباس (۱۳۶۷)، *گیتاشناسی ایران*، جلد دوم، رودها و رودخانه‌ها، تهران: مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی.
- جواهری، پرهام؛ جواهری، محسن (۱۳۷۸)، *چاره آب در تاریخ فارس*، جلد اول، تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، گنجینه ملی آب ایران.
- حاج‌سیدجوادی، احمد (۱۳۷۱)، *دایره‌المعارف تشیع*، جلد سوم، تهران: بنیاد اسلامی طاهر.
- حدادعادل، غلامعلی (۱۳۷۸)، *دانشنامه جهان اسلام*، جلد ۴، تهران: بنیاد دایره‌المعارف اسلامی.
- حیدری‌بنی، داریوش (۱۳۸۰)، *بررسی هیدرولیکی پل‌های تاریخی*، دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی، جلد سوم، ارگ بم، ۴۲۵-۴۲۲.
- حیدری‌بنی، داریوش (۱۳۸۰)، *طرح مرمت پل بابا محمود*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- راهساز، حسن (۱۳۸۳)، *نگرشی بر معماری آبی رودخانه گُر*، پایگاه میراث جهانی تخت جمشید. (گزارش منتشر نشده)
- رستگارفسانی، منصور (۱۳۷۴)، *فارسنامه ابن بلخی*، شیراز: انتشارات بنیاد فارس شناسی.
- زند، معصومه؛ جوان، محمود (۱۳۸۶)، *ترمیم و بازسازی تأسیسات آبیگری بند باستانی امیر روی رودخانه گُر در استان فارس*، دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، ۳۹-۳۰.
- شریفی، مهناز (۱۴۰۰)، *نگرشی بر فعالیت‌های عمرانی ساسانیان در زمان شاپور اول در خوزستان مطالعه موردی پل بندهای شوشتر و رامهرمز، مجله مطالعات ایرانی*، شماره سی و نهم، ۱۹۳-۱۶۳.
- عنایتی، علیرضا (۱۳۹۴)، *مطالعه تطبیقی پل‌بند دزفول با پل‌بند شادروان شوشتر*، دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند، ۲۰-۱.
- فرشاد، مهدی (۱۳۷۶)، *تاریخ مهندسی در ایران*، تهران: انتشارات بلخ.
- کریمی، شهرام (۱۳۹۴)، *بهره‌برداری مجدد سازه‌های آبی تاریخی در مقایسه با احداث سازه‌های جدید آبی مشابه به روش AHP*، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، شماره ۶، ۱۰۲۰-۱۰۰۵.
- کوروس، غلامرضا؛ رضا، عنایت‌الله؛ امام‌شوشتری، محمدعلی (۱۳۵۰)، *آب و فن آبیاری در ایران باستان*، تهران: انتشارات شرکت سهامی ایران چاپ.
- مخلص، محمدعلی (۱۳۷۹)، *پل‌های قدیمی ایران*، تهران: انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور.

- مروجی، خاطره؛ پورنادری، حسین (۱۳۹۲)، بررسی تداوم سنت‌های مؤثر در شکل‌گیری پل‌خواجه بر اساس مطالعه تطبیقی پل‌های تاریخی شهر اصفهان، نشریه باغ نظر، شماره ۲۷، ۶۱-۷۰.
- ملازاده، کاظم؛ محمدی، مریم (۱۳۷۹)، دایره‌المعارف بناهای تاریخی، جلد ۴، بناهای عام‌المنفعه، تهران: مؤسسه انتشارات سوره.