

بام حسداوند جان آفرین

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - زلزله

بررسی عملکرد و روش های بهسازی پلهای طاقی سنگی

توسط:

مهبد کاکویی

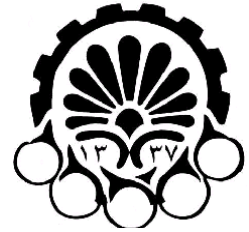
۸۳۱۲۴۱۷۸

استاد راهنما :

دکتر علیرضا رهایی

دکتر محمد مهدی علی نیا

زمستان ۱۳۸۵



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

بسمه تعالی
فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد و دکترا

تاریخ:.....
پیوست:.....

نام و نام خانوادگی : مهبد کاکویی	دانشجوی: آزاد
شماره دانشجویی: ۸۳۱۲۴۱۷۸	دانشکده: مهندسی عمران
رشته تحصیلی: مهندسی زلزله	
نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکتر علی رضاهایی + دکتر مهدی علی نیا	
عنوان پایان نامه به فارسی: بررسی عملکرد و روشهای بهسازی پلهای طاقی سنگی	
عنوان پایان نامه به انگلیسی: performance investigation & retrofit methods of stone arch bridges	
نوع پروژه: <u>کارشناسی ارشد</u> کاربرد و توسعه‌ای	
تاریخ شروع: ۸۵/۴/۱	تاریخ خاتمه: ۸۵/۱۱/۱۵
تعداد واحد: ۶ واحد	
سازمان تأمین کننده اعتبار:	
واژه‌های کلیدی به فارسی: پلهای سنگی - بهسازی - تحلیل خطی و غیر خطی	
واژه‌های کلیدی به انگلیسی: bridge stone-retrofit-linear & non linear analysis	
نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه:	
استاد راهنما:	
دانشجو:	
امضاء استاد راهنما:	تاریخ:
نسخه ۱: معاونت پژوهشی	
نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی	

بر خود واجب می دانم از زحمات جناب آقای دکتر **علیرضا رهائی** که همواره راهگشای اینجانب بودند و جناب آقای دکتر **محمد مهدی علی نیا** که با صبر و حوصله خود مرا در انجام این پایان نامه یاری دادند، کمال تشکر و قدردانی را بعمل آورم.

تقدیم به پدر و مادرم عزیزم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه ارائه شده توسط مهبد کاکویی شماره دانشجویی ۸۳۱۲۴۱۷۸ گرایش زلزله

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران تحت عنوان :

بررسی عملکرد و روش های بهسازی پلهای طاقی سنگی

استاد راهنما : دکتر علیرضا رهایی/دکتر محمد مهدی علی نیا تاریخ تحویل : ۸۵/۱۱/۱۵

در مسیر راه ها و خطوط راه آهن کشور تعداد زیادی از پلهای طاقی سنگی با دهانه ها مختلف ساخته شده است که بیشتر آنها بیش از پنجاه سال است که تحت سرویس بوده و عملکرد خوبی از خود نشان داده اند. بسیاری از این پلهای برای زلزله طراحی نشده اند فلذا ارزیابی آسیب پذیری و بررسی عملکرد آنها از اولویت خاصی برخوردار است. مصالح بنایی رفتاری ضعیفی در کشش داشته و عملکرد نهایی و مکانیزم خرابی سازه تا حد بسیار زیادی منوط به این رفتار می باشد.

در این پایان نامه سعی بر مدلسازی اجزای محدود این گونه از پلهای شده که با در نظر گرفتن پارامترهای مدلسازی ، مراحل مدلسازی با جزئیات مربوطه و المان بکار رفته و رفتار مصالح و انحراف کنش خاک و سازه مدلسازی انجام گرفته و سپس نتایج مدلسازی در مقایسه با بارگذاری خرابی پل *Prestwood* کالیبره شده است و صحت مدلسازی به روش ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفته که از دقت بالایی برخوردار بوده است .

نظر به اهمیت عملکرد سازه در هنگام سرویس به بررسی رفتار مدل‌های مطالعاتی تحت بار قائم بهره برداری پرداخته شده و پس از تعیین بحرانی ترین حالت بارگذاری سطوح تنشها و تغییر مکان ها کنترل شده است . سپس به جهت بررسی آنالیز استاتیکی غیر خطی روش های مختلف بار گذاری جانبی بر سازه مورد بررسی قرار گرفته و حالت بار گذاری شتاب استاتیکی افزایش یافته جانبی به عنوان بهترین حالت بارگذاری معرفی شده است . سپس منحنی ظرفیت سازه رسم شده و سطوح خرابی و گسترش مفاصل حین بارگذاری جانبی بررسی شده است . اثرات خاکریز بر منحنی ظرفیت سازه مورد بررسی قرار گرفته و سپس با توجه به مفاهیم روش ارزیابی عملکرد، و آیین نامه و مراجع ذکر شده سطوح عملکرد با توجه به سطح آسیب و میزان شکل پذیری، پیشنهاد می شود . به منظور بررسی رفتار دینامیکی سازه و سطح شتاب وارده بر آن و اثرات محیطی خاک اطراف قوس آنالیز تاریخچه زمانی در حالات مختلف رفتاری مصالح قوس و خاکریز انجام شده و در نهایت نیز مدل‌های مطالعاتی بهسازی شده و ظرفیت سازه بهسازی شده با حالت قبل مقایسه شده و سطوح تنش و تغییر مکانها کنترل و ارزیابی شده است .

کلمات کلیدی : پلهای طاقی سنگی ، آنالیز استاتیکی غیر خطی ، روش های بهسازی ، سطوح عملکرد

فصل اول

انواع پلها و پلهای طاقی

۱-۱) تاریخچه ای از پلهای طاقی سنگی

۱-۱-۱) مختصری از پلهای طاقی

پلها همواره از مهمترین سازههای محیط پیرامون ما بوده اند بخش عظیمی از مدارک فنی وهنری بجامانده از گذشته اختصاص به مقوله پلها و فن پل سازی دارد. این امر در شرایط امروزی نیز صادق است. حتی افسانه هایی در مورد برخی از پلها درافواه مردم وجود دارد. جنگهای بسیار، بر روی پلها صورت گرفته ودر خیلی از موارد، تسخیر یک پل استراتژیک، نتیجه جنگ را عوض نموده است. ساختمان پلها، همواره به عنوان مرکز جوامع شهری وروستایی ازاهمیت خاصی برخوردار بوده اند. به طوری که در آغاز ساخت خیلی از پلها افرادی رابه عنوان قربانی، تقدیم خدایان اساطیری می کردند. با این حال گرچه امروز حجم دانش ومهارت پل سازان نسبت به چند قرن پیش، به میزان نامحدودی افزایش یافته، ولی متأسفانه جایگاه اجتماعی آنها با چنین آهنگی رشد نکرده است.

در قدیم پلها دهانه کوتاه را بوسیله تنه درختان یا دالهای سنگی با دهانه ساده می ساختند. پلهای بلندتر هم غالباً بدین ترتیب ساخته می شوند که یک رشته بافته شده از ساقه نرم انگور یا نی خیزران و امثالهم در عرض دره کشیده شده وسبدی با حلقه ای بدان آویخته می شد. سپس مسافر در داخل سبد می نشست که عبور ازاین پلها در نیمه دوم طرف راه مشکل بود.

لذا کم کم به فکر پلهای معلق ساده با رشته های مذکور افتادند. وجود چنین پلهای در آسیا و آفریقا در مجلات تاریخی گزارش شده است. سپس برای نخستین بار از ایده پلهای طره ای استفاده شد. در این پلهای یک سری تیر چوبی به صورت طره ای بر روی پایه های از دو سمت رودخانه به طرف وسط رودخانه انداخته می شدند و با اتصال به هم دهانه رامی پوشاندند.

نخستین پل قوسی هم نیز طی اکتشافات باستان شناسی در خاورمیانه کشف شد که کارشناسان قدمت این قوسها را به ۴۰۰ سال پیش از میلاد نسبت می دهند قدیمیترین پل قوسی (طاقی) به جامانده تا حال، در اسمیرنای ترکیه وجود دارد که از سنگ ساخته شده است. قدمت این پل به قرن نهم قبل از میلاد می رسد.

رومیان قدیم از قوسهای سنگی در ابنیه و پلها استفاده می کردند. اولین پل سنگی قوسی شناخته شده در روم، پل پنس سولارس است که در قرن هفتم قبل از میلاد بر روی رودخانه تورن ساخته شد. با این حال تنها آثار به جامانده از صنعت پل سازی آنها پلهای طاقی - سنگی مختلفی است که در اقصی نقاط اروپای تحت قلمرو امپراطوری رم ساخته شده است. از مشهورترین پلهای رومی می توان به پلهای بنس اگستوس در ریمینی ایتالیا، پونت آلکانتارا در اسپانیا و پونت دوگارد در فرانسه اشاره کرد. از جالبترین این پلها، پل تراجان است که بر روی رودخانه دانوب ساخته شده است. سازه این پل بسیار غول کبیر به طوری که دارای پایه های سنگی به ارتفاع ۴۵ متر به عرض ۱۸ متر و ضخامت ۱۵ متر بوده است.

فاصله این پایه ها با قوسهای چوبی پوشانده شده و طول کل پل به بیش از ۹۰۰ متر می رسید. از قرن چهارم تا قرن هشتم هیچ پل مهمی در اروپا ساخته نشده است. یکی از دلایل این امر این بود که در این مدت دستگاههای حکومتی ضعیفی به قدرت می رسیدند که توان تقویت فعالیتهای مهندسی راه ساختمان را نداشتند. به همین دلیل با فرار مغزها و متخصصین فنی از اروپا، که طی قرن چهارم تا هشتم صورت گرفت، سازه های خارق العاده ای در نقاط دیگر جهان از قبیل ایران، چین و هند ظهور کرده اند. رفته رفته صنعت پل سازی رونق خود را بازیافت. اولین پل بزرگی که در این سالها ساخته شده بود پل اوینون بود. تاریخی ترین سازه انگلستان نیز، پل قدیمی لندن است. این پل که ۶۰۰ سال پا برجا مانده است، کار ساخت آن در سال ۱۱۷۶ آغاز و ۳۳ سال بعد تکمیل شد. این پل با ۱۹ پایه عریض و بزرگ، ۲۸۱ متر را پوشش می داد. با توجه به سرعت جریان رودخانه در محل بین پایه ها و فرسایش آنها، سرعت مرمت پایه ها زیاد بود. این پل در سال

۱۸۳۱ میلادی خراب شد. در طی این مدت پلهای زیادی در اروپا ساخته شده که از بین آنان می توان پل پونت و کوچیو در فلورانس، پل وتلیو در ونیز، پل نیوف در پاریس، پل کارل بروخ در پراگو اشاره کرد. تمامی این پلها با قوس سنگی ساخته شده و دارای طول های بزرگ بودند. خصوصاً طول پل کارل بروخ که به ۶۰۰ متر می رسد. تمامی این چهار پل تا حال پا بر جامانده است. در این میان پلهای رتلیو و کوچیو، که از دست آوردهای رنساس به شمار می روند که هنوز هم تحسین باز دید کنندگان را بر می انگیزانند. [۱]

۱-۱-۲) مروراجمالی برپلهای طاقی ایران

هنر طاقه زنی از هنرهای برجسته ایرانیان چه قبل از میلاد و چه بعد از میلاد مسیح می باشد. ایران به طور کلی یک سرزمین کویری و با جلگه ای کم آب محسوب می شود. اما در دامنه رشته جبال زاگرس و البرز باران و برف سبب تشکیل رودهای پرآبی می گردد که به خلیج فارس و دریای عمان و دریای خزر می ریزد. در فصل بهار آب این رودخانه ها بالا آمده و طغیان می کند که اگر روی آنها پل احداث نمی شد راههای قدیمی کاروانرو غیر قابل عبور می شدند. در تاریخ معماری ایران، احداث پل های قابل توجه ای ثبت شده است. ولی در شرایط حاضر همه پلهای ثبت شده، به خاطر عوامل فرسایشی و طغیان و از همه مهمتر زلزله پا بر جا نیستند. با این حال در ایران آثار تقریباً کافی برای بررسی هنر پل سازی کشور از دوران کهن باقی مانده است.

در سرزمین امروزی ایران، قدیمی ترین پلی که آثار آن بجامانده، پلی است که اوراتورها روی رود ارس که در حال حاضر در منطقه مرزی ایران قرار دارد، بنا کرده اند.

از دوران هخامنشی دو بنا- از قدیمیترین ترکیب پل و سد- در حدود شمال غربی تخت جمشید باقی مانده که اولی از سنگ و خاک ساخته شده و دیگری بند دختر است و دارای دو طاق جناغی می باشد و قسمتی از آن در صخره و بقیه از سنگهای بزرگ ساخته شده است.

ساخت بناهای ترکیبی پل و سد در دوره ساسانی (قرن سوم و هفتم بعد از میلاد) بویژه مناطق باتلاقی وسیلابی ادامه یافت و برای حفاظت بیشتر پایه پلها ایجاد شالوده های پهن در زیر آنها متداول شد. یک مثال بارز از پل سازی دوره ساسانی پل والرین (بند قیصر) در شوشتر از شهرهای خوزستان است. این پل ترکیبی از یک سد و یک پل به ارتفاع ۲ متر می باشد. به طور کلی استفاده از طاقهای به سبک رومی در پل سازی در اکثر بناهای بجا مانده از دوره ساسانی مشاهده می شود. باید یاد آور شد که تأثیر سبک رومی در پل سازی ساسانی هرگز به صورت شبیه سازی نبوده ، بلکه پیوندی به سبکهای موجود ایرانی و روشهای معمول آن زمان در ایران به شمار می رفته است. در پلهای ساسانی معمولاً تعداد قطعات سنگی با بست آهنی و سربی به یکدیگر پیوند میافتند. بخشهای بالایی بسیاری از پلها ساسانی به تدریج پس از دوره ساسانیان ویران شد ولی در دوره اسلامی برخی از پلها تعمیر گشت. بسیاری از آثاری که در این زمینه بجا مانده است بصورت پلهایی است که پایه های آن مربوط به دوره ساسانی است و بخش بالای آن در حکومت اسلامی تعمیر شده است. در پل دختر که در شمال غربی اندیمش قرار دارد می گویند که در زمان شاپور اول ساسانی ساخته شد، این تفاوتها بسیار واضح دیده می شود. بعضی سطوح فوقانی پایه ها در یک خط همسطح افقی قرار دارد که برای گذاشتن چوب مناسب است ولی بعداً در اوایل دوره اسلامی طاقهایی از سنگهای بی شکل و نامنظم روی پایه ها ساخته شده که هنوز قسمتی از آن طاقها باقی مانده است. [۲]

۱-۱-۳) پلهای عمده دوران اسلامی

همانطوری که گفته شد از زمانهای دور نمونه های زیادی از پلهای طاقی در کشورمان ساخته شده است . در دوران ورود اسلام به ایران نیز نمونه های زیادی از اینگونه از پلها ساخته شده که در ادامه به آن ها اشاره می شود :

۱- پل خدا آفرین بر روی رودخانه ارس

۲- پل ضیاء الملک بر روی رودخانه ای نزدیک کرخه

۳- پل توس واقع در توس خراسان

۴- پل گرگان

۵- پل بین مراغه و زنجان

۶- پل قافلانکوه که ساختمان اولیه آن در قرن پنجم هجری انجام شد.

دوران صفویه را می توان دوران شکوفایی معماری ایران در دوران اسلامی دانست که فن پلسازی نیز بی تأثیر از آن نیست. از پلهای متمایز این دوره پل الله وردی خان و پل خواجه می باشد که ترکیبی از بند انحرافی و پل می باشد و به عقیده بعضی ها نقطه اوج صنعت پلسازی در ایران می باشد.

برخی از مشخصات پل خواجه به شرح زیر می باشد:

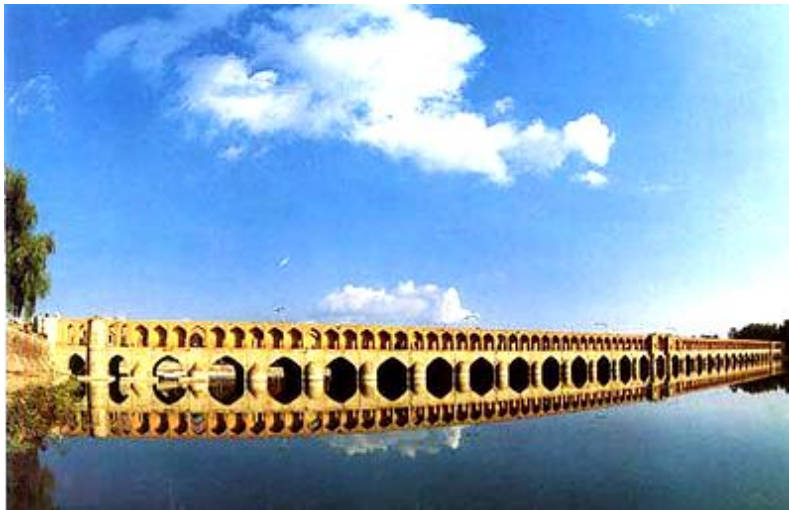
طول کلی پل ۱۳۱/۵۷

ضخامت پایه ها بین ۱/۹۳ تا ۱/۶ متر

فاصله پایه ها ۵/۸ تا ۴/۲ متر

ضخامت طاق پل: ۱/۲۵ متر

تعداد دهانه: ۲۱ عدد [۲]



شکل ۱-۱: نمایی از سی و سه پل در اصفهان

در دوران اخیر نیز در راه های شوشه و راه آهن ایران نیز پلهای طاقی فراوان ساخته شده است. نمونه از این پلها در آزادراه ها مهم کشور ساخته شده و یا در دست ساخت می باشد که می توان به نمونه ای از این پلها در مسیر آزاد راه تهران - شمال اشاره کرد. امروزه نیز یکی از روش های مرسوم پلسازی در دهانه کم ، استفاده از این گونه از پلها می باشد. که تعداد زیاد این پلها ، اهمیت و لزوم بررسی رفتار آنها را تحت حالت های متفاوت آشکار می سازد .



شکل ۱-۲: نمونه از پلهای طاقی سنگی اجرا شده در مسیر آزادراه تهران-شمال



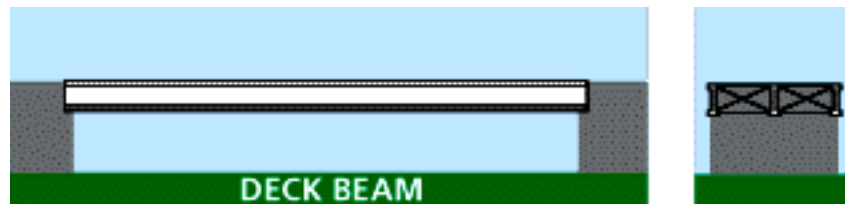
شکل ۱-۳: نمونه از پلهای طاقی در مسیر جاده کرج - چالوس

۲-۱) طبقه بندی پلها و اجزای پل های طاقی سنگی

۱-۲-۱) طبقه بندی پل از نقطه نظر سیستم سازه ای [۳]

انتخاب نوع سیستم سازه در پلها یکی از مهمترین قسمتهای طراحی می باشد . این انتخاب با در نظر گرفتن پارامترهای بسیاری نظیر مسائل اقتصادی و سازه ای و سطح تقاضا و شرایط هندسی و ... صورت می گیرد .

۱- پلهای صفحه ای-دالی (از بتن مسلح)



۲- پلهای تیر و شاهتیر (فولاد، بتن مسلح، بتن پیش ساخته، ترکیب بتن و فولاد)

۳- پلهای خریابی



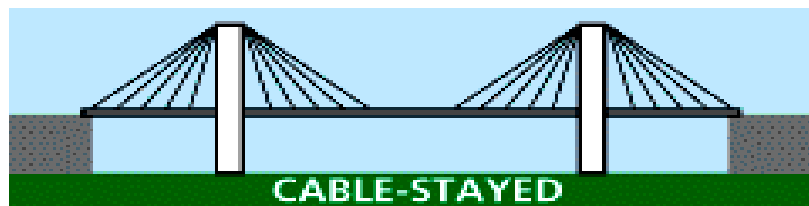
۴- پلهای قوسی (طاقی)



۵- پل‌های خربایی- طره ای

۶- پل‌های معلق

۷- پلها با کابل‌های کشیده(پل ترکه ای)



۸- پل‌های قایی

• طبقه بندی از نقطه نظر طول دهانه:

۱. دهانه های کوتاه (زیر ۸ متر)
۲. دهانه های متوسط (بین ۸ تا ۵۰ متر)
۳. دهانه های بلند (بالای ۵۰ متر)

• طبقه بندی پلها از نقطه نظر مصالح:

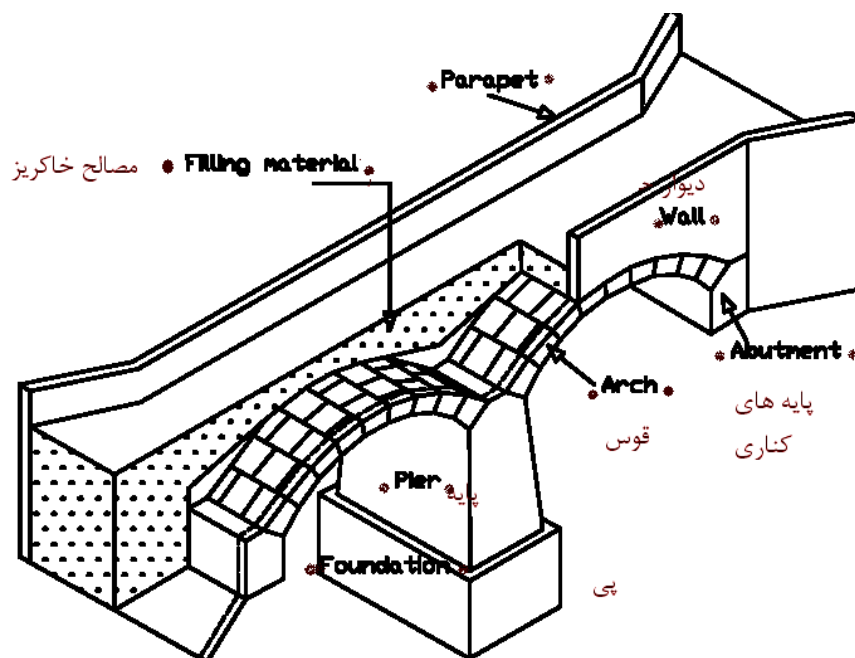
۱. پلها با مصالح بنایی و بتن غیر مسلح
۲. پلها با بتن مسلح
۳. پلها بتنی پیش تنیده
۴. پلهای فولادی
۵. پلهای مرکب از فولاد و بتن
۶. پلهای آلومینیومی

۱-۲-۲) معرفی اجزای پل های طاقی سنگی

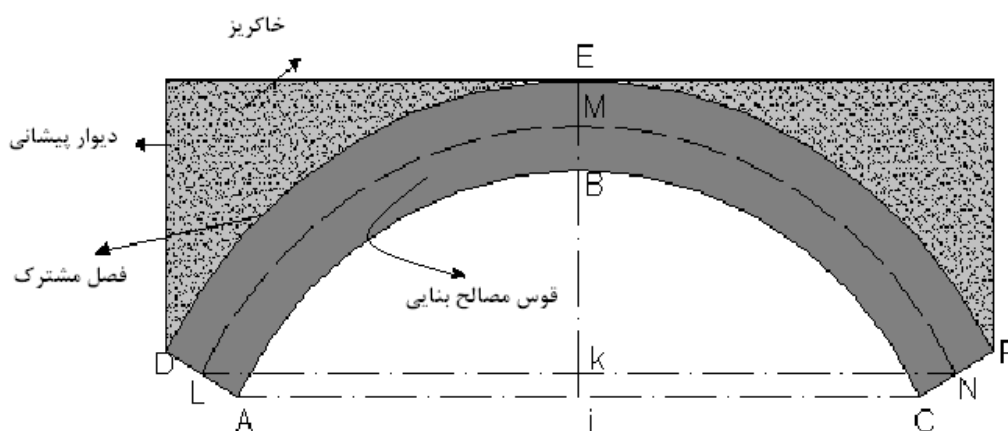
همانگونه که در بخش قبلی ذکر گردید پلهای طاقی به عنوان یک روش های معمول پلسازی در گذشته و حال ، بالاخص در دهانه کوتاه کاربرد زیادی دارد . به منظور شناخت اجزای سازه ای و غیر سازه آن در ادامه به معرفی اجزا و پارامتر های هندسی این گونه از پلها خواهیم پرداخت .

اجزای پل :

۱. قوس یا طاق سنگی
۲. خاکریز روی قوس
۳. فونداسیون
۴. پایه ها و پدستال
۵. دیوار های پیشانی



شکل ۱-۴: اجزای پل طاقی چند دهانه



شکل ۱-۵: معرفی پارامترهای هندسی پل طاقی

BE: کلید طاق ، تاج قوس

AD, CF: پا طاق

LN: دهانه قوس

iB: ارتفاع قوس

افتادگی می تواند از میانگین محاسبه شود: $\frac{MK}{LN}$

افتادگی: $\frac{iB}{AC}$

ABCDEF: پیشانی

ABC: قوس درونی

DEF: قوس بیرونی

• قوس: که جز اصلی سازه می باشد و وظیفه انتقال بارها را به پایه ها و به فونداسیون ، خواهد داشت .

• خاکریز: که دارای دو ویژگی اصلی می باشد:

۱. توزیع بارهای ثقلی بر روی قوس

۲. ایجاد صفحه افقی روی پل جهت رفت و آمد

این قسمت می تواند به دو صورت ساخته شود:

۱. خاکریز متراکم شده

۲. آجر چینی یا بتن ریزی (در موارد نادر) [۴]

- دیوارهای پیشانی : این قسمت در حکم دیوار حائل برای خاکریز می باشد و مانع ریزش آن - که در اثر عبور و مرور تغییر مکان های جانبی می دهند - می شود.
- پایه های میانی و کناری پل : نقش انتقال بار قائم را به فونداسیون ها دارند و در بعضی از پلها این پایه ها ساخته نمی شوند و قوس مستقیماً به فونداسیون متصل می شود . یا اینکه پایه ها و فونداسیون ها در یک امتداد بوده و با تغییر مقطع پایه فونداسیونها نیز ساخته خواهند شد . وظیفه پایه ها انتقال نیروی طاق و متعلقات پل به فونداسیون می باشد چون در پلهای طاقی علاوه بر نیروی های قائم، نیروی افقی طاق در پا طاق قابل ملاحظه است بنابراین پایه های کناری و فونداسیون های آن باید در مقابل بارهای وارده سه خاصیت اصلی را دارا باشند:

۱. در مقابل نیروهای افقی طاق در جای خود ثابت بوده معلق نشوند .

۲. در مقابل نیروهای افقی لغزش حاصل ننمایند.

۳. کف فونداسیون به میزان مناسب وسیع بوده و یا عمق فونداسیون کافی باشد تا زمین موجود تحمل بارهای وارده

را داشته باشد. [۳]

در این گونه پل ها یکی از بزرگترین مشکلات تعیین مشخصات و پارامتر های بکار رفته در سازه می باشد زیرا

پارامتر های ذاتی مصالح غیر ایزوتروپیک می باشد.

هندس این پل ها اغلب به دهانه دره هایی که پل از آن عبور می کند بستگی دارد. عرض یا ارتفاع دره ها عوامل اصلی

تعیین هندسه پل ها می باشد . [۵]

فضای بین دیوار های جانبی رادر پلهای طاقی سنگی با مصالحی پر می کنند تا صفحه ای افقی جهت آمد و شد ایجاد شود. این مواد باید مصالحی سبک و زهکش باشند و بتوانند در فرایند باربری شرکت داشته باشند و بار را بر روی قوس توزیع کنند.

این مصالح اغلب باید از مصالح غیر چسبنده تشکیل شود تا فشار وارده بر دیوارها تقلیل یابند. شن و ماسه درشت دانه می توانند گزینه مناسبی جهت این انتخاب باشند .

جدول ۱-۱: مشخصات مصالح خاگریز

نوع مصالح	وزن مخصوص
مصالح غیر چسبنده	۱۸-۱۶
سنگ	۲۱-۱۸
شن	۱۸-۱۴،۵
بتن مقاومت پایین	۲۱
مصالح متراکم	۲۰-۱۸/۵

فصل دوم

روش های تحلیل و طراحی قوسها

در این فصل ابتدا روش های تحلیل این گونه از سازه ها مطرح خواهد شد که عبارتند از :

۱. معادلات تحلیلی

۲. روش های عددی

۳. روش خط فشار

استفاده از معادلات تحلیلی محدودیت های خاصی دارد و در بعضی از مواقع فرضیاتی برای آنها در نظر گرفته

می شود که محدودیت های ویژه ای را جهت تحلیل بوجود می آورد. به همین منظور استفاده از روشهای عددی

که محدودیت های بسیار کمتری را شامل می شود توسعه یافته است .

در ادامه نیز قوانین کلی طرح این گونه از پلها و الگویی به منظور طراحی پلهای طاقی ارائه شده است.

۱-۲) معادلات تحلیلی قوس ها [۶]

در این بخش به جهت شناخت رفتار سازه ای قوس ها ، چگونگی عکس العمل های تکیه گاهی و تغییر شکل های قوس تحت بار های وارده مورد بررسی قرار می گیرد .

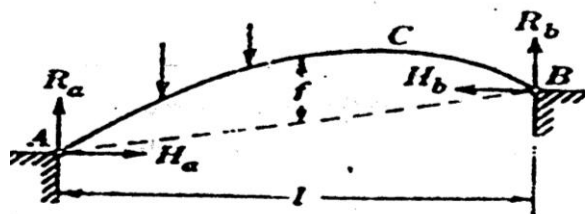
این بررسی بر روی قوس های دو مفصلی و بدون مفصل که از نوع قوس های هیپر استاتیک می باشد متمرکز شده است زیرا در عمل نیز قوس های مورد استفاده بین چنین حالت هایی قرار می گیرند .

اگر تراز تکیه گاهی قوس مساوی باشد قوس متقارن و در غیر این صورت غیر متقارن نامیده می شود .

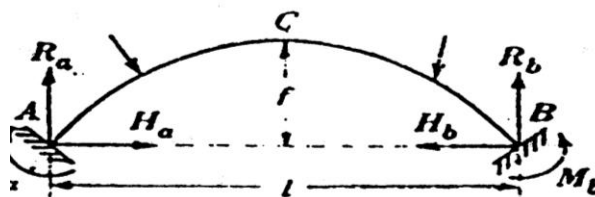
بالاترین نقطه قوس را تاج و خط AB که تکیه گاه ها را به هم متصل می سازد خط دهانه نامیده می شود .

فاصله افقی تکیه گاه ها را که با $D_h = L$ نشان می دهند دهانه قوس می نامند . بیشینه فاصله خط دهانه از

محور تاج قوس که با $D_v = f$ نشان می دهند خیز یا ارتفاع قوس می نامند. [۷]



(الف)



(ب)

شکل ۱-۲ : قوس متقارن و نامتقارن