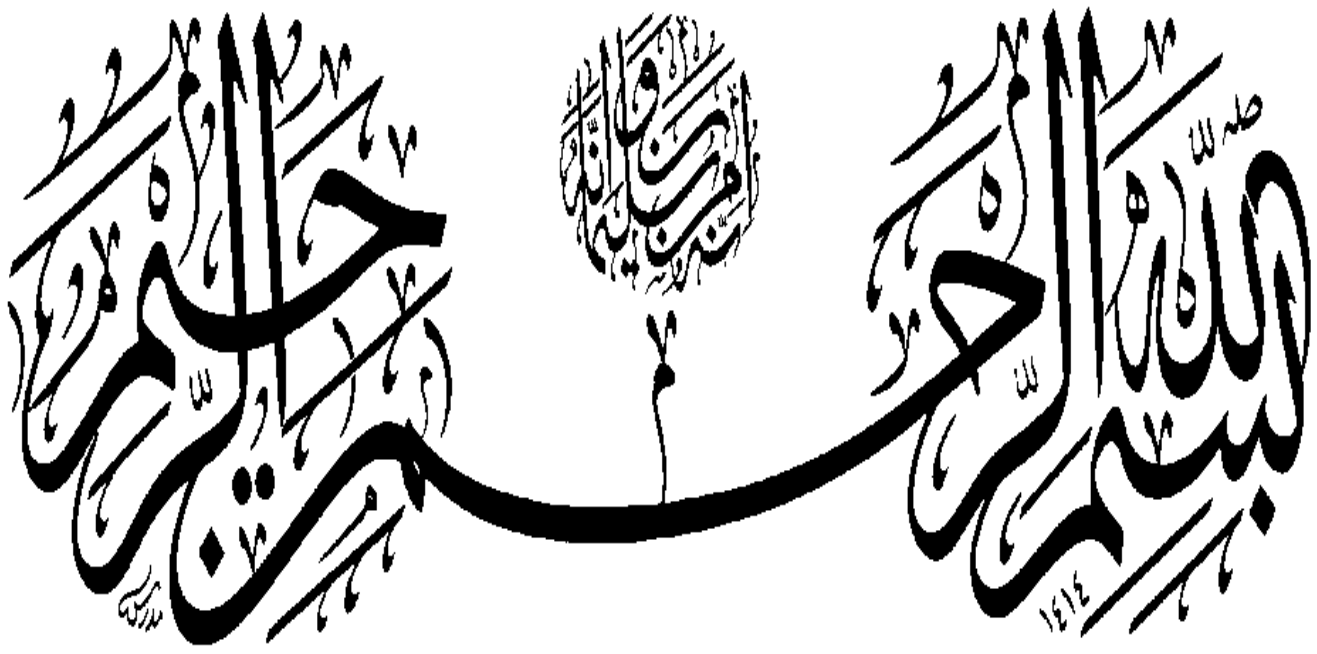
بسم الله الرحمن الرحيم
إنه من سليمان وإنه
١٤١٤

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان پایان نامه:

بررسی رفتار لرزه ای پایه پل بتن مسلح تقویت شده تحت بارگذاری دوره‌ای با استفاده از الیاف پلیمری (fRp)

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم خلیل زاده

نگارش:

کیوان بختیاری

شهریور ۱۳۹۱

بسمه تعالی

تشکر و قدردانی

حال که با لطف و عنایت خدای متعال این رساله به پایان رسیده است، از زحمات و راهنمایی هایی ارزنده استاد محترم راهنما، جناب آقای دکتر ابراهیم خلیل زاده و همچنین از زحمات سایر اساتید محترم دانشکده مهندسی عمران که در طول این دوره از محضر علمی آن ها بهره برده ام و همچنین از همسرم که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به روح پدر و برادرم

چکیده

با وقوع زمین لرزه‌های مخرب در سطح جهان، بهسازی اعضای سازه‌های موجود امری اجتناب ناپذیر شده است. از جمله روش های موثر در بهبود عملکرد لرزه ای ستون های بتن مسلح پل، استفاده از جاکت های FRP به فـرم محصور کننده هایی برای ستون های بتن مسلح است که موجب بهبود خواص مکانیکی عضو تقویت شده می شود. بسته به میزان کارایی هر یک از انواع این جاکت می توان عملکرد لرزه ای ستون های بتن مسلح پل هـا را بهبـود بخشید. در این پایان نامه بهسازی ستون های دایره ای بتن مسلح پل با استفاده از جاکت هـای CFRP وGFRP مورد بررسی قرار می گیرد. روش مورد استفاده در این تحقیق عـددی و اسـتفاده از نـرم افـزار ABAQUS υ۶.۹ می باشد. دو ستون بزرگ مقیاس با نسبت لاغری ۳ و ۶ با و بدون تقویت با جاکت های فوق تحـت بـار محـوری ثابت و بار جانبی چرخه ای مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق سعی شده است میزان کارایی هر یک از محصور کننده های خارجی فوق، از جهت بهبود پارامترهایی چون شکل پذیری، ظرفیت جـذب انـرژی، سـختی و افـزایش ظرفیت باربری ستون مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به آنالیزهای انجام شده می توان به این نتیجه رسید که الیاف کربن دارای شـکل پـذیری، جـذب انـرژی و مقاومت برشی بیشتری نسبت به الیاف شیشه می باشند، با توجه به گرانی این نوع الیاف بهتر است از الیاف شیشه با دورپیچ بالاتر استفاده شود.

کلیدواژه: بهسازی لرزه ای[۱]، ستون بتن مسلح[۲]، جاکت های CFRP[۳] و GFRP، بارگذاری چرخه‌ای[۴]

---

۱ Seismic retrofitting
۲ Reinforced concrete piers
۳ Cfrp&Gfrp jackets
۴ Cyclic loading

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- آشنایی با مهندسی پل ۲
۱-۲-۱- تاریخچه مهندسی پل ۲
۱-۲-۲- پل و نخستین نمونه های آن ۳
۱-۲-۳- تداوم پل سازی پس از اسلام ۴
۱-۲-۴- پل سازی در سده قرن چهارم هجری ۵
۱-۲-۵- پل سازی در زمان حکومت ترکان ۵
۱-۲-۶- تداوم پل سازی در تاریخ میانه ۵
۱-۲-۷- پل سازی از عصر صفوی تا پل های جدید ۶
۱-۲-۸- شکوفایی پل سازی در دوره صفویه ۸
۱-۲-۹- پل های دوره قاجار ۸
۱-۲-۱۰- پل های جدید در یک سده اخیر ۹
۱-۳- موضوع تحقیق ۹
۱-۴- معرفی پروژه و هدف از آن ۱۰
۱-۵- مزایا و معایب روش بهسازی با جاکت *FRP* ۱۱
۱-۶- نحوه ارائه مطالب ۱۱

فصل دوم: کلیاتی درباره مقاوم سازی ستون های بتن مسلح

۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- بررسی رفتار لرزه ای پایه های بتن مسلح پل ۱۳
۲-۳- مودهای خرابی در ستون ها وپایه ها ۱۶
۲-۳-۱- خرابی خمشی در پایه ها ۱۷
۲-۳-۱-۱- مکانیزم خرابی ۱۷
۲-۳-۲- خرابی برشی پایه ها بعلت کمبود ظرفیت برشی ۱۸
۲-۳-۲- ۱- انواع خرابی برشی ۱۸
۲-۳-۲-۱-۱- خرابی برشی ۱۹
۲-۳-۲-۱-۲- خرابی برشی - خمشی ۱۹
۲-۴- توضیح کلی در مورد علل خرابی در پایه ها و ستونها ۲۲
۲-۵- روش های بهسازی موجود ۲۳
۲-۶- استراتژی مقاوم سازی ۲۵
۲-۶-۱- اولویت بندی در مقاوم سازی ۲۵
۲-۶-۲- ارزیابی سازه ای ۲۶
۲-۷- تقویت ستون های بتن مسلح ۲۶

۲-۷-۱- جاکت های بتن مسلح ۲۷
۲-۷-۲- مقاوم سازی با استفاده از مواد کامپوزیتی *FRP* ۲۷
۲-۷-۳- پوشش سیم های پیش تنیده ۲۹
۲-۷-۴- پوشش شبکه های سیمی ۲۹
۲-۷-۵- جاکت های فولادی ۳۰
۲-۱۰- مقاوم سازی ستون های بتن مسلح با استفاده از *FRP* ۳۱
۲-۱۰-۱- خصوصیات مکانیکی ۳۱
۲-۱۰-۲- روشهای مقاوم سازی ستون ها تحت بارهای محوری و برون محور ۳۳
۲-۱۰-۲-۱- کلیات ۳۳
۲-۱۰-۲-۲- دورپیچی ۳۳
۲-۱۰-۲-۳- پیچاندن میله ها ۳۴
۲-۱۰-۲-۴- جاکت نمودن با پوسته های پیش ساخته ۳۴
۲-۱۰-۳- نحوه اجرا ۳۵
۲-۱۰-۴- مبانی طراحی مقاوم سازی با استفاده از جاکت های *FRP* ۳۶
۲-۱۰-۴-۱- محصورکنندگی مفاصل پلاستیک خمشی ستون ها ۳۶
۲-۱۰-۴-۲- محصورکنندگی ناحیه وصله آرماتور ستون ۳۶
۲-۱۰-۵- مقاوم سازی برشی ستون ها ۳۷
۲-۱۱- تفاوت رفتار بتن محصور شده توسط فولاد با رفتار بتن محصورشده توسط FRP ۳۷
۲-۱۲- مدلMANDER برای تنش- کرنش فشاری در بتن محصور شده ۴۰
۲-۱۳- جمع بندی ۴۲

فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته

۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- مروری بر تحقیقات گذشته ۴۵
۳-۲-۱-تحقیقات*TOTANJI* و همکاران در ۱۹۹۹ در خصوص جاکت *FRP* ۴۵
۳-۲- ۲- تحقیقات انجام شده توسط SHEIKH در سال ۲۰۰۲ در خصوص جاکت FRP ۴۷
۳-۲-۳- تحقیقات انجام شده توسط *TSAI* و *LIN* در خصوص جاکت های فولادی و *FRP* ۵۰
۲-۲-۴- تحقیقات YE و همکاران در سال ۲۰۰۲ در خصوص جاکت FRP ۵۵
۳-۲-۵- تحقیقات SAIIDI و همکاران در سال ۲۰۰۴ در خصوص جاکت های فولادی و FRP ۵۶
۳-۲- ۶- تحقیقات MILLER در سال ۲۰۰۷ در خصوص جاکت های بتنی، فولادی و FRP ۵۷
۳-۳-۷- تحقیقات سعادت منش و احسانی در سال ۱۹۹۶ ..... ۵۹
۳-۲-۸- تحقیقات ژائو و همکاران در سال ۱۹۹۹ ..... ۶۰
۳-۲-۹- تحقیقات یه و همکاران در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ ..... ۶۳
۳-۲-۱۰- تحقیقات انجام شده توسط YAN XIAO در سال ۲۰۰۶ در خصوص جاکت .FRP ۶۵
۳-۳- جمع بندی ۶۸

فصل چهارم: مدلسازی ستون و استفاده از روش های المان محدود

۴-۱- مقدمه ۷۰

۴-۲- انواع المان های سازه ای مدل ۷۱
۴-۲-۱- المان سازه ای بتن ۷۱
۴-۲-۲- المان سازه ای کامپوزیت (FRP) ۷۲
۴-۲-۳- المان سازه ای آرماتور ۷۳
۴-۳- خواص مکانیکی مصالح ۷۳
۴-۳-۱- مشخصات بتن ۷۳
۴-۳-۱-۱- داده های ورودی جهت مدلسازی رفتار بتن ۷۴
۴-۳-۱-۲- رفتار تنش- کرنش فشاری تک محوره بتن ۷۴
۴-۳-۲- مشخصات پوشش کامپوزیت FRP ۷۵
۴-۳-۳- مشخصات شبکه مسّلح کننده فولادی (آرماتور) ۷۷
۴-۴- تحلیل های غیر خطی ۷۸
۴-۴-۱- غیر خطی مصالح ۷۹
۴-۴-۲- غیر خطی هندسی ۷۹
۴-۴-۳- همگرایی در حل مسائل ۷۹
۴-۵- ارزیابی صحت مدلسازی ستون های بتنی تحت اثر بار چرخه ای با استفاده از نتایج آزمایشگاهی XIAO در دانشگاه هیونام ۸۰
۴-۶- بررسی نتایج و مقایسه ۸۲
۴-۷- جمع بندی ۸۴

فصل پنجم: تحلیل عددی رفتار ستون های بتن مسلح پل و تقویت آن با جاکت های پلیمری

۵-۱- مقدمه ۸۶
۵-۲- نمونه های تحلیلی ۸۶
۵-۲-۱- طبقه بندی نمونه های تحلیلی ۸۶
۵-۲-۲- شکل شماتیک نمونه های بتن مسلح (بدون تقویت) ۸۸
۵-۲-۳- مشخصات مصالح جاکت های تقویتی ۹۰
۵-۳- بارگذاری نمونه ها ۹۱
۵-۳-۱- بارهای چرخه ای ۹۳
۵-۴- محاسبه پارامتر شکل پذیری در ستون ۹۴
۵-۵- جذب انرژی ۹۵
۵-۶- فرضیات به کار رفته در تحلیل ها ۹۶
۵-۷- نتایج حاصل از تحلیل ها ۹۶
۵-۷-۱- رفتار پسماند نمونه های تحلیلی با لاغری ۳ (بدون تقویت) ۹۶
۵-۷-۲- رفتار پسماند نمونه های تحلیلی با لاغری ۶ (بدون تقویت) ۱۰۳
۵-۸- نتایج حاصل از تحلیل ستون های بتن مسلح با جاکت های تقویتی ۱۰۷
۵-۸-۱- رفتار پسماند ستون ST۴ با جاکت های CFRP و GFRP (ستون با لاغری ۳) ۱۰۷
۵-۸-۲- رفتار پسماند ستون ST۸ با جاکت های تقویتی(ستون با لاغری ۶) ۱۱۶

۵-۷-۴-۳- بررسی رفتار پسماند ستون های بتن مسلح تقویت شده با جاکت FRP و نسبت لاغری ۶ تحت بار ۱۲۳
۵-۹- جمع بندی ۱۲۹
فصل ششم: نتیجه گیری
۶-۱- مقدمه ۱۳۲
۶-۳- محورهای مطالعات آتی ۱۳۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱- خصوصیات مکانیکی پوسته های FRP ۴۵
جدول ۳-۲- خصوصیات مکانیکی اپوکسی ۴۶
جدول ۳-۳- نتایج آزمایشگاهی نمونه های محصور شده و محصور نشده با پوسته های FRP ۴۷
جدول ۳-۴- جزئیات نمونه های آزمایشگاهی ۴۸
جدول ۳-۵- خلاصه ای از مقاومت مصالح. ۵۲
جدول ۳-۶- مشخصات نمونه های مورد آزمایش ۶۳
جدول ۳-۷- جزئیات نمونه های آزمایشگاهی ۶۶
جدول۴-۱- مشخصات مکانیکی پوشش کامپوزیتی مقاوم کننده..... ۷۶
جدول۴-۲- مدهای گسیختگی ورقه های *FRP* ۷۷
جدول ۴-۳- مشخصات مصالح به کار رفته برای نمونه آزمایشگاهی ۸۰
جدول ۵-۱- مشخصات ستون های مورد بررسی ۸۷
جدول ۵-۲- مشخصات مصالح جاکت FRP برای تمامی نمونه های تحلیلی ۹۱
جدول ۵-۳- پارامترهای شکل‌پذیری و مقاومت برشی محاسبه شده برای نمونه‌های بتن مسلح با لاغری۳....۱۰۲
جدول ۵-۴- پارامترهای شکل پذیری و مقاومت برشی محاسبه شده برای نمونه های ST۴و ST۸ ..... ۱۰۶
جدول ۵-۵- محاسبه پارامترهای مقاومت‌برشی و شکل‌پذیری برای نمونه‌های تقویت شده و نشده و مرجع...۱۱۴
جدول ۵-۶- مقایسه تعدادی از پارامتر های مهم در ستون های تقویت شده و ستون معیوب و مرجع ۱۱۵
جدول ۵-۷- محاسبه پارامترهای سختی و شکل پذیری برای نمونه های تقویت شده و تقویت نشده ۱۲۲
جدول ۵-۸- مقایسه تعدادی از پارامتر های مهم در ستون های تقویت شده و ستون معیوب ۱۲۳
جدول ۵-۹- محاسبه پارامترهای مقاومت برشی و شکل پذیری برای نمونه‌های تقویت شده تحت بارهای محوری مختلف ۱۲۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- سی و سه پل (پل الله وردی خان)، اصفهان ۷
شکل ۱-۲- پل خواجو ۸
شکل ۲-۱- نمودار اثر متقابل نیروی محوری – لنگر خمشی در ستون ۱۴
شکل۲-۲- خرابی جوش آرماتورهای طولی ستون. ۱۴
شکل۲-۳-خرابی در ارتفاع ستون به علت قطع نابهنگام آرماتورهای طولی ۱۵
شکل۲-۴-خرابی ستون به علت فاصله زیاد آرماتورهای عرضی، زلزله Kobe،۱۹۹۵ ..... ۱۵
شکل ۲-۵- تخریب برشی پایه پل در زلزله نورتریج ۱۶
شکل ۲-۶- خرابی پایه پل به علت عدم شکل پذیری کافی در طی زلزله Kobe ۱۸
شکل۲-۷-خرابی برشی خالص، زلزله Northridge،۱۹۹۴ ..... ۱۹
شکل ۲-۸- خرابی برشی و انتقال ناحیه مفصل پلاستیک، زلزله NORTHRIDGE در سال ۱۹۹۴ ..... ۲۰
شکل۲-۹- خرابی برشی در پایه ها ۲۱
شکل ۲-۱۰- خرابی برشی در نقطه انتهائی در وسط ارتفاع آرماتورهای اصلی ۲۱
شکل ۲-۱۱- مراحل خرابی شماتیک مربوط به شکل ۲-۱۲ ..... ۲۲
شکل ۲-۱۲- خرابی برشی ستونهای بزرگراه HANSHIN در نزدیکیASHIYA ۲۳
شکل ۲-۱۳- تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید ۲۴
شکل ۲-۱۴- ترمیم با تقویت موضعی ۲۵
شکل ۲-۱۵- ستون تقویت شده به وسیله جاکت بتن مسلح. ۲۷
شکل ۲-۱۶- ستون پل قبل و بعد از بهسازی باFRP ۲۸
شکل ۲-۱۷- تقویت لرزه ای ستون بتن آرمه با پیش تنیدگی خارجی. ۲۹
شکل ۲-۱۸- ورقه های فولادی گسترده ۳۰
شکل ۲-۱۹- غلاف فولادی در طرح مقاوم سازی ستون های بتن مسلح ۳۱
شکل ۲-۲۰- خصوصیات کامپوزیت های FRP ۳۲
شکل ۲-۲۱- خصوصیات کامپوزیت های FRP ۳۲
شکل ۲-۲۲- شماتیکی از دورپیچی ستون با FRP ۳۳
شکل ۲-۲۳- دورپیچ کننده اتوماتیک ستون بتن آرمه ۳۴
شکل ۲-۲۴- تقویت ستون های بتن آرمه با پوسته های پیش ساخته ۳۵
شکل ۲-۲۵- منحنی های تنش – کرنش بتن محصور شده با فولاد و FRP ۳۸
شکل ۲-۲۶- منحنی های تنش محوری – کرنش حجمی برای بتن محصور شده با فولاد و FRP ۳۹
شکل ۲-۲۷- منحنی های نسبت انبساط برای بتن محصور شده با فولاد و FRP ۴۰
شکل ۲-۲۸- نمودار تنش- کرنش بتن محصور شده ۴۱
شکل ۳-۱- منحنی های تنش کرنش استوانه های بتنی ۴۷
شکل ۳-۲- شکل شماتیک نمونه های مورد آزمایش ۴۸

شکل ۳-۳- منحنی های پسماند نمونه های مورد آزمایش. ۴۹
شکل ۳-۴- خرابی های آرماتورها در طی زلزله ۵۱
شکل ۳- ۵- جزئیات آرماتور بندی در نمونه ها. ۵۱
شکل ۳-۶- جزئیات جاکت های کامپوزیتی بکار رفته. ۵۲
شکل ۳-۷- نحوه اعمال بار وارده به ستون. ۵۳
شکل ۳-۸- نمودارهای کرنش محوری- بار محوری نمونه ها ۵۳
شکل ۳-۹- نمودارهای جابجایی جانبی - کرنش محوری ۵۴
شکل ۳-۱۰- الگوهای شکست در نمونه های مورد آزمایش تحقیقات Ye و همکاران ۵۵
شکل ۳-۱۱- منحنی های هیسترزیس نمونه های مورد مطالعه. ۵۵
شکل۳-۱۲- جزئیات نمونه های تقویت شده توسط Saiidi وهمکاران ۵۶
شکل ۳-۱۳- منحنی های پسماند در حالت تقویت شده و تقویت نشده ۵۷
شکل ۳-۱۴- خرابی نمونه های مورد آزمایش ۵۸
شکل ۳-۱۵- نمودار بار- تغیرمکان روشهای مختلف تقویت در آزمایش Miller. ۵۹
شکل ۳-۱۶- مکانیزم انجام آزمایش ۶۱
شکل ۳-۱۷- منحنی های نیروی جانبی- تغییرمکان برای نمونه های BMC۱ و BMC۲ . ..... ۶۱
شکل ۳-۱۸- منحنی های نیروی جانبی- تغییرمکان برای نمونه های SC۱ و SC۲ . ..... ۶۲
شکل ۳-۱۹- مقایسه نتایج بین مدلهای مختلف ۶۲
شکل ۳-۲۰- شکل شماتیک نمونه های مورد آزمایش ۶۳
جدول ۳-۶- مشخصات نمونه های مورد آزمایش ۶۳
شکل ۳-۲۱- منحنی های پسماند نمونه های تقویت شده و تقویت نشده ۶۵
شکل ۳-۲۲- شکل شماتیک نمونه های مورد آزمایش. ۶۶
شکل ۳-۲۳- منحنی های پسماند نمونه های مورد آزمایش. ۶۷
شکل ۴-۱- مدل ساده شده برای ستون های پل ۷۱
شکل ۴-۲- المان آجری هشت گره ای سه بعدی بتن و نقاط انتگرال گیری آن. ۷۲
شکل ۴-۳- المان پوسته ای چهار گره ای سه بعدی لایه FRP و نقاط انتگرال گیری آن ۷۲
شکل ۴-۴- المان خرپائی دو گره ای سه بعدی در شبکه آرماتور و نقطه انتگرال گیری آن. ۷۳
شکل ۴-۵- منحنی تنش – کرنش تک محوره بتن Mander ۱۹۸۹. ..... ۷۵
شکل ۴-۶- منحنی تنش و کرنش تک محوره فولاد. ۷۸
شکل ۴-۷- نمایش شماتیک بارگذاری و شرایط تکیه گاهی ستون ۸۱
شکل ۴-۸- نحوه مدلسازی و مش بندی ستون مورد آزمایش ۸۲
شکل ۴-۹- مقایسه منحنی های پسماند و پوش آزمایشگاهی و تحلیلی ۸۳
شکل ۵-۱- شکل شماتیک مقطع عرضی و جزئیات آرماتوربندی ستون های بتن مسلح مورد مطالعه ۹۰
شکل ۵-۲- شماتیک تقویت ستون های مورد مطالعه ۹۰
شکل ۵-۳- شماتیک بارگذاری و شرایط تکیه گاهی ستون ۹۲
شکل ۵-۴- تاریخچه بارگذاری اعمال شده به ستون ۹۳

شکل ۵-۵- نحوه تعیین جابه جایی نهایی a افتادگی بعد از بار حداکثر b کمانش یا شکست ۹۴
شکل ۵-۶- تعریف تغییر شکل تسلیم بر مبنای نظریه Park در سال ۱۹۸۹ ..... ۹۵
شکل ۵-۷- منحنی پسماند نمونه ST۲ ..... ۹۷
شکل ۵-۸- کانتور کرنش پلاستیک نمونه ST۲ ..... ۹۸
شکل ۵-۹- منحنی های پسماند نمونه ST۴ ..... ۹۹
شکل ۵-۱۰- کانتور کرنش پلاستیک نمونه ST۴ ..... ۱۰۰
شکل ۵-۱۱- مقایسه بین منحنی های پوش نیروی برشی حداکثر نمونه های ST۲ و ST۴ ..... ۱۰۱
شکل ۵-۱۲- مقایسه میزان جذب انرژی نمونه های بتن مسلح تنها با لاغری ۳ ..... ۱۰۲
شکل ۵-۱۳- منحنی های پسماند نمونه ST۸ ..... ۱۰۳
شکل ۵-۱۴- کانتور کرنش پلاستیک نمونه ST۸ ..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۵- مقایسه بین منحنی‌های پوش نیروی برشی حداکثر نمونه‌های ST۴ و ST۸ ..... ۱۰۵
شکل ۵-۱۶- مقایسه میزان جذب انرژی نمونه های بتن مسلح تنها با لاغری ۵ ..... ۱۰۶
شکل ۵-۱۷- منحنی پسماند نمونه ST۴-CfRP ۱۰۸
شکل ۵-۱۸- کاتتور کرنش پلاستیک نمونه ST۴-CfRP ۱۰۹
شکل ۵-۱۹- منحنی های پسماند نمونه ST۴-GFRP ۱۱۰
شکل ۵-۲۰- کاتتور کرنش پلاستیک نمونه ST۴-GFRP ۱۱۱
شکل ۵-۲۱- مقایسه بین پوش‌های نیروی برشی حداکثر برای نمونه ها ۱۱۲
شکل ۵-۲۲- مقایسه متناظر پوش نیروی برشی حداکثر نمونه تقویت شده و تقویت نشده و مرجع ۱۱۳
شکل ۵-۲۳- مقایسه بین انرژی های جذب شده توسط نمونه ها در طی سیکل های مختلف ۱۱۵
شکل ۵-۲۴- منحنی پسماند نمونه ST۸-CFRP ۱۱۶
شکل ۵-۲۵- کاتتور کرنش پلاستیک نمونه ST۸-CFRP ۱۱۷
شکل ۵-۲۶- منحنی پسماند نمونه ST۸-GFRP ۱۱۸
شکل ۵-۲۷- کانتور کرنش پلاستیک نمونهST۸-GFRP ۱۱۹
شکل ۵-۲۸- مقایسه بین پوش های نیروی برشی حداکثر برای نمونه ها ۱۲۰
شکل ۵-۲۹- مقایسه متناظر پوش نیروی برشی حداکثر نمونه تقویت شده و تقویت نشده ۱۲۱
شکل ۵-۳۰- مقایسه بین انرژی های جذب شده توسط نمونه ها در طی سیکل های مختلف ۱۲۲
شکل ۵-۳۱- منحنی پسماند نمونه ST۷-CFRP ۱۲۴
شکل ۵-۳۳- منحنی پسماند نمونه ST۷-GFRP ۱۲۵
شکل ۵-۳۵- مقایسه بین پوش های نیروی برشی حداکثر برای نمونه ها ۱۲۶
شکل ۵-۳۶- مقایسه متناظر پوش نیروی برشی حداکثر نمونه های تقویت شده با لاغری ۶ تحت بار های محوری مختلف ۱۲۷
شکل ۵-۳۷- مقایسه بین انرژی های جذب شده توسط نمونه ها در طی سیکل های مختلف ۱۲۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در میان پدیده های خطر آفرین، زمین لرزه های ویرانگر مسئول بیشترین شمار کشتار انسانی و زیان مالی بوده اند و تعداد کشته شدگان انسانی در کشور های در حال توسعه چندین برابر تعداد موجود در کشور های پیشرفته است. آنچه روشن است با گسترش شهر نشینی و شهرسازی و افزایش جمعیت، خطر زمین لرزه هر آن بیشتر از پیش شده و نتیجه فاجعه آمیز خواهد بود. در حال حاضر بسیاری از انسان ها در کره زمین در پهنه های لرزه خیز زندگی می کنند و در این میان، پایتخت ها و شهر های بزرگ در خطر بیشتری قرار دارند.این نکته خطر ناک در بسیاری از شهر های کشورمان چون تهران، تبریز، مشهد،کرمان، قزوین، سمنان، کرج و بسیاری از شهر های شمالی کشور به چشم می خورد. به علت نقش مهمی که پل ها پس از وقوع زلزله در عملیات امداد و نجات دارد لازم است که این سازه ها در مقابل حملات لرزه ای از سطح حفاظت بالاتری برخوردار باشند.زلزله ها ی اتفاق افتاده در دهه ۹۰ میلادی در آمریکا،ژاپن،تایوان و ترکیه، خرابیهای نسبتا زیادی در پلها ایجاد کردند[۱].

چون پل ها برای یک دوره عمر طولانی ساخته می شوند، آسیب پذیری این سازه ها در شرایط محیطی نامناسب و یا در اثر عبور بارهای پیش بینی نشده که با عملیات بازرسی، تعمیر و نگهداری کافی همراه نباشد، بسیار زیاد و درخور توجه بوده و لذا جهت کاهش صدمات ناشی از این مساله و پیشگیری از هزینه های هنگفت جایگزینی و یا بازسازی های عمده، نیاز به برنامه ریزی دقیق می باشد. علاوه بر موارد فوق، نکته بسیار مهم در خصوص آسیب پذیری پل ها در مناطق با لرزه خیزی بالا می باشد که پس از وقوع و ایجاد خرابی های گسترده در طی زلزله های مختلف، به عنوان یک مسئله مهم و اساسی برای این گونه از سازه ها در خصوص تقویت و ترمیم آنها تبدیل شده است[۲].

ترکیب عواملی نظیر ملاحظات معماری، شرایط محلی و مسائل مرتبط با محیط زیست و عوامل اجتماعی و اقتصادی با نیازهای سازه ای سبب می شود که تقویت هر پل به نوبه خود امری منحصر به فرد بوده و انتخاب طراحی و اجرای روش های مقاوم سازی آمیزه ای از هنر و علم باشد[۲].

۱-۲- آشنایی با مهندسی پل

۱-۲-۱- تاریخچه مهندسی پل

پل سازی، تاریخچه ای بیش وکم به اندازه راه سازی دارد. کاوش های باستان شناسان گواه از آن دارد که نخستین پل ها ساده و کم دوام اما کارآمد برای برقراری روابط بین جوامع نخستین بشری بوده است. هم چنان که پل سازی رو به تکامل نهاد، برقراری روابط نیز آسان تر شد. بر این اساس ایرانیان نیز که از

پیشگامان عرضه ساخت و ساز بناهای ابتدایی تا شکوهمند بودن در پل سازی توانمندهای قابلی را پیش روی جهانیان گذاشتند[۳].

۱-۲-۲- پل و نخستین نمونه های آن

طاق و گذرگاهی برای عبور از رودخانه، دره، خندق و سایر عوارض طبیعی را پل می گویند. از این مختصر تعریف پیداست، طاق های به هم پیوسته که بر رودخانه و دره، استوار می کرده اند را پل می گویند. گسترش شهرنشینی و به وجود آمدن حکومت های مرکزی، از نقطه نظر اجتماعی، سیاسی، نظامی و اقتصادی، بشر را ناگزیر به ایجاد راه های زمینی طولانی نموده است.

هر چند که در حمل و نقل های اولیه با استفاده از اسب و قاطر و شتر، برای عبور از دره ها و رودخانه ها احتیاج به تمهیدات خاصی نبود و عبور از این موانع هر چند که به دشواری ولی به هر طریق صورت می گرفت، لیکن سرعت بیشتر در ارتباطات و همچنین سنگین تر شدن محصولات و استفاده از وسایل حمل و نقل پیشرفته نظیر گاری و امثال آن، سرانجام روزی بشر را به این فکر انداخت که برای عبور از دره ها و رودخانه، معبری ایجاد نماید که امروز به آن پل می گوییم. برای حمل کالا از نقاط تولید به مصرف، از بنادر به مراکز توزیع، از مزارع به کارخانه ها و شهرها ارتباط روستا به روستا، روستا به شهر، شهر به شهر و غیره. بشر احتیاج به راه های دسترسی سریع و ایمن دارد. لازمه هر راه سریع، عبور آسان و مطمئن آن از عوارض طبیعی مثل رودخانه ها و دره ها می باشد که این کار توسط پل انجام می شود.

علاوه بر مسائل اقتصادی- سیاسی- اجتماعی، پل ها نقش استراتژیک و تعیین کننده در مسائل نظامی دارند. از این لحاظ است که در تاریخ جنگ ها یکی از اهداف مهم بمباران های هوایی و عملیات تأخیری، پل های استراتژیک می باشد.

به لحاظ تاریخی، نخستین پل ها، تیرهای ساده از جنس تخته سنگ یا چند تیر چوبی بودند که روی پایه های سنگی احداث شده در روی رودخانه ای انداختند.

در میان اقوام اروپایی، نخستین بار رومیان از طاق های سنگی به مشابه سازه باربر در ساختمان ها و پل استفاده کردند. اولین پل طاقی(قوسی) سنگی در اروپا، پل سولارس بر رودخانه تورون در سال ۷۰۰ ق.م زده شد[۳]. در میان اقوام شرقی، نخستین معماران، ایرانیان، هندی ها و چینی ها بوده اند و هنر طاق زنی از هنرهای برجسته ایرانیان چه قبل و چه بعد از میلاد مسیح است.

شکوفایی مجدد هنر پل سازی در اروپا به قرن دوازدهم میلادی، می رسد. از پل های معروف این دوره می توان از پل طاقی سنگی سه دهانه اویگنان در فرانسه نام برد که طول هر دهانه آن حدود ۳۳ متر است، این پل هنوز پابرجاست.

اگر اروپاییان بنیان گذار پل های طاقی جدید و براساس پل های طاقی رومی دانسته شوند، باید اذعان کرد که افتخار ساخت پل های خرپایی از جنس چدن و یا از جنس چوب از آن آمریکاییان است.

در تاریخ معماری ایران، احداث پل های قابل توجهی ثبت شده است، لیکن در شرایط حاضر همه آنها پابرجا نیست. این مسئله را بیشتر از آنجا دانست که پل ها در معرض خطر شدیدترین فرسایش ها و تخریب های ناشی از جریان های طغیانی است. با این همه، 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 به جا مانده، پلی است که اورارتوها روی رود ارس که در حال حاضر مرز بین ایران و شوروی می باشد، بنا کرده اند[۳].

در دوران هخامنشی دو بنا از قدیمی ترین 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 که دارای دو طاق خباقی می باشد وقسمتی از آن در صخره و بقیه از سنگ های بزرگ ساخته شده است [۳].

در میان آثار برجای مانده از دوره ساسانیان، پل ها در عین شکستگی بر پایه های استوار، پایداری، عظمت و شکوهی خاص را به نمایش گذاشته اند. بدون اغراق باید گفت که این دسته از یادمان های آن عصر از زیباترین سازه های معماری هستند که پس از قرن های متمادی هم چنان هنرمندی ایرانیان در برآوردن بناهای شکوهمند در مسیرهای دشوار کوهستانی و بر رودخانه های خروشان را پیش روی جهانیان قرار می دهند.

نمونه هایی از پل های دوره ساسانی پل هایی که در دوران ساسانیان در تنگه های صعب العبور، رودخانه های خروشان و دره های طویل صخره ای و پهنه های گسترده آبی نباشد، از نظر چگونگی بنا، کاربرد، جنس و مقاومت مصالح و میزان پایداری و دوام از نمونه های نادر و کم نظیر پل سازی در جهان هستند که به ویژه در فارس، خوزستان، لرستان و دره های عمیق رشته کوه زاگرس بنا شده اند.

پل بند شادروان، پل دزفول، پل شهرستان، پل خسروی، پل نعمان، پل شاپوری، کرُدختر، پل ساسانی دره شهر، پل چم نشت از پل های شناخته شده دوران شاسانی هستند.[۳].

۱-۲-۳- تداوم پل سازی پس از اسلام

با حمله اعراب و برچیده شدن حکومت ساسانیان از ایران تقریباً به مدت دو قرن هنرها و صنایع رو به انحطاط نهادند و چندان که باید اثر مهمی جز برخی مساجد پراکنده، در گوشه و کنار ایران از این دوره واقع عصرگذار از تاریخ باستانی ایران به دوره ای جدید با مقطعی شخص شمرده می شود، برجای نمانده است.
در دوره اسلامی بسیاری از پل های دوره های ساسانی و دیگر دوران های گذشته تعمیر گشت و افزون بر آن پل های دیگری نیز در نقاط مختلف ایرن ساخته شد.

بسیاری از آثار گذشتگان که اینک به جای مانده است، دارای پایه های ساسانی است که بعدها در دوره اسلامی قسمت های بالای آنها تعمیر شده و به سبک اسلامی و با مصالح آجری دوباره سازی شده است[۳].

پل خداآفرین، پل ضیاء الملک از پل های ساخته شده دوران اسلامی هستند.

۱-۲-٤- پل سازی در سده قرن چهارم هجری

در سده چهارم قمری تحولات عظیمی در گستره فرهنگی و تمدنی ایران پیش آمد. این تحولات به هنر و صنعت پل سازی نیز سرایت کرد و در زمان فرمانروایی امیران ساسانی، دیلمی، و حکمرانان محلی زمان آنها مانند خاندان حسنویه کرُد پل های بسیاری بنا شد یا روی پل های زمان ساسانیان که بیش از دو سده در معرض ویرانی و نابودی قرا گرفته بودن مرمت های هنرمندانه انجام گرفت.

بند امیر، پل نصروان، پل گاومیشان، پل ابوطالب، پل کشکان، پل لکه هُر از پل های ساخته شده دوران سده قرن چهارم هجری قمری هستند[۳].

۱-۲-٥- پل سازی در زمان حکومت ترکان

یکی از عوامل اصلی تخریب پل ها و نابسامانی در مسیر پل سازی، نبردها و فاصله گرفتن حکومت ها از امور تجاری و دست زدن به اقدامات نظامی بوده است. دوره حکومت غزنویان که در واپسین سالهای « عصر زرین فرهنگ ایران » آغاز شد در واقع نخستین دوره از حکومت ترک زادان در بخش های مختلف ایران زمین است که به زودی تحت تأثیر آن دوران شکوهمند فرهنگی حکومت امیران سپهسالاران ترک رنگ، ماهیت و هویت ایرانی یافت.

نشانه هایی از پل سازی این دوران و دوره سلجوقیان در را ه های ارتباطی وجود دارد که نشان دهنده تداوم پل سازی در این دوره از تاریخ ایران زمین است. پل توس، پل ضیاء الملک، پل بابامحمود از پل های ساخته شده در زمان حکومت ترکان هستند[٤].

۱-۲-٦- تداوم پل سازی در تاریخ میانه

در یورش همگانی سپاهان مغول به ایران (سده هفتم قمری) اگرچه بسیاری از شهرها و آبادی ها ویران شد، از همان زمان که مغولان در ایران استقرار داشتند و حکومت ایلخانان مغول تأسیس شد راه ها به ویژه در شمال ایران و بر سر راه ابریشم، از ماوراءالنهر و خراسان تا تبریز و در غرب آن تاوان و قونیه (محل آرامگاه مولوی) مورد توجه جدی آنان قرار گرفت و پل های بسیاری بر این راه ها بنا نهادند.

پل دختر، پل شهرچای، پل آجری نوژی وان، پل آجری قزاچای، پل خیر آباد، پل خاتون از پل های ساخته شده در تاریخ میانه هستند.

۱-۲-۷- پل سازی از عصر صفوی تا پل های جدید

پس از بر تخت نشستن شاه اسماعیل صفوی، به تدریج ایران یکپارچه شد و در دوران شاه عباس کبیر به شکوه و عظمت قابل توجهی نایل آمد و کشور رو به آبادانی رفت. چون شاه عباس به سفرهای تجاری علاقه داشت و سیاحان اروپایی در سراسر ایران به سیاحت می پرداختند و راه های ایران در پیوند مسیرهای تجاری- فرهنگی جهانی قرار گرفت، بنای کاروانسرا و پل در مسیرهای مختلف مورد توجه جدی قرار گرفت. از آنجا که پایتخت در اصفهان بود و زاینده رود شهر را به دو قسمت می کرد، پل های بسیار زیبایی که از شاهکارهای معماری ایران به شمار می آید بر این رودخانه زده شد، بدان سان که می توان گفت بیشترین زیبایی «نصف جهان » مدیون پل هایی است که بر زاینده رود بنا شد و بناهایی که در نزدیکی آن پل ها سر به آسمان کشیدند.

نمونه ای از پل های ساخته شده در دوران صفویه

- پل سی و سه پل (پل الله وردی خان)

این پل در اصفهان و در نزدیکی محله جلفا واقع است و چون سی وسه طاق دارد به سی و سه پل معروف است و آن پل را جلفا یا چهارباغ نیز می گویند. در وسط این پل خیابانی برای عبور سواره و در دو طرف آن راهرویی شامل ایوانچه و غرفه ها شبیه به دالان پوشیده برای عبور پیاده بنا شده است. طاق های پل را با آجر ساخته اند ولی پایه های آن از سنگ ساخته شده است[۳].