دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد عمران – سازه

ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای پل بهادرآباد

استاد راهنما:

دکتر رضا رهگذر

مؤلف:

مهدی علیپورفرد

مرداد ماه ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به دو عزیزی که پا نهادن در راه علم را برایم میسر کردند

تقدیم به پدر و مادرم

فهرست مطالب

صفحه

چکیده ---------- VIII

(فصل اول)

مقدمه

مقدمه ---------- ۲

اهمیت موضوع ---------- ۲

اهداف تحقیق ---------- ۳

کارهای انجام شده ---------- ۳

(فصل دوم)

مطالعات خطر لرزه ای و تعیین هدف بهسازی

مقدمه ---------- ۱۴

هدف و روند مقاوم سازی وبهسازی لرزه ای ---------- ۱۵

طراحی پل ها بر اساس عملکرد لرزه ای ---------- ۱۵

بررسی لرزه زمین ساخت استان کرمان ---------- ۱۷

ارزیابی اولیه مقاومت لرزه ای ---------- ۲۰

تعیین سطوح خطر زلزله ---------- ۲۰

ملاحظات اقتصادی و اجتماعی---------- ۲۲

تقسیم بندی پل ها از لحاظ اهمیت ---------- ۲۳

اهمیت پل بهادر آباد ---------- ۲۶

(فصل سوم)

جمع آوری اطلاعات تفضیلی

مقدمه ---------- ۲۸

مروری بر بازدیدهای میدانی ---------- ۲۸

ارزیابی خواص مصالح ---------- ۳۹

مدل سازی، تحلیل و کنترل ---------- ۴۴

بررسی وضعیت کوله سمت جیرفت ---------- ۴۹

خلاصه نتایج مدل سازی و تحلیل های کامپیوتری ---------- ۵۰

(فصل چهارم)

آنالیز غیر خطی استاتیکی

مقدمه ---------- ۵۶

مبانی تئوری تحلیل پوش آور ---------- ۵۸

تعاریف سطوح عملکردی ---------- ۶۹

ارزیابی غیر خطی عملکرد سازه ---------- ۸۷

روش های تحلیل پوش آور ---------- ۸۹

سطوح زلزله طرح ---------- ۱۲۰

رفتار اجزای سازه ---------- ۱۲۱

نتایج حاصل از آنالیز استاتیکی غیر خطی ---------- ۱۲۴

(فصل پنجم)

انتخاب روش تعمیر و تقویت

مقدمه ---------- ۱۳۴

اجرای پوشش بتنی روی میلگردها ---------- ۱۳۵

تعویض درز انبساط پل ---------- ۱۴۲

تطویل آبچکها ---------- ۱۴۵

پر کردن فاصله بین عرشه و پایه ها ---------- ۱۴۶

پر کردن زیر پی ها ---------- ۱۴۶

افزایش طول نشیمن تکیه گاه ها و پایه ها ---------- ۱۴۷

تعبیه شمع در نزدیکی کوله سمت جیرفت ---------- ۱۴۹

تعبیه مهاربند عرضی در برخی محورها ---------- ۱۵۱

روشهای دیگر تقویت پل در مقابل بارهای جانبی ---------- ۱۵۴

(فصل ششم)

پیشنهادات و نتیجه گیری

جمع بندی ---------- ۱۵۸

نتیجه گیری ---------- ۱۶۱

پیشنهادات برای تحقیقات آینده ---------- ۱۶۱

مراجع ---------- ۱۶۴

چکیده:

با توجه به کلیدی بودن نقش پل ها به ویژه در شاهراه های اصلی کشور در حمل و نقل جاده‌ای در این پایان نامه سعی شده است که آسیب‌های وارده به پل ۲۸ دهانه محور جیرفت-کهنوج بر اساس بازدیدهای میدانی شناسایی شده و جهت ارزیابی آنها بوسیله آزمایش های در محل از قبیل چکش اشمیت و پالس ماورای صوت مشخصات مصالح بکار رفته در سازه مشخص گردد. سپس با توجه به نتایج بدست آمده از محاسبات وآنالیزهای کامپیوتری و همچنین مشکلات موجود، روش های جدیدی جهت حصول نتایج مطلوب‌تر و اقتصادی‌تر نسبت به روش های متداول جهت مقاوم سازی سازه موجود بر اساس مفاد آیین‌نامه‌ها و نشریه‌های مختلف ارائه گردد.

مقوله مقاوم سازی لرزه ای پل ها به دلیل نقش مهم این سازه در ایجاد ارتباط و امداد رسانی بعد از زلزله و همچنین از دیدگاه اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد. در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای پل ها تحقیقات متعددی با استفاده از روش تحلیل غیرخطی انجام شده است. به علت شرایط محیطی نامناسب و ترافیک سنگین از یک طرف و عدم بازدیدهای ادواری و رعایت اصول نگهداری پل‌ها از طرف دیگر هر ساله شاهد کاهش عمر مفید این سازه‌ها و نیاز به تعمیرات اساسی حتی در مورد پل‌های تازه‌احداث هستیم. پل محور جیرفت-کهنوج بر

روی رودخانه هلیل رود در محور جیرفت-کهنوج، کیلومتر ۶۰۰+۶۲ از مبداء احداث شده‌است. در بالا دست این پل سد مخزنی هلیل رود (سد جیرفت) و در پایین دست آن سد انحرافی هلیل رود واقع شده‌است. طول کل پل مورد نظر ۳۹۲ متر، ۲۸ دهانه ۱۴ متری و بین هر ۷ دهانه‌ی پیوسته عرشه یک درز انبساطی استفاده شده‌است. سیستم عرشه پل از دال بتن مسلح ساخته شده، عرض کل آن ۱۰ متر، سواره‌رو آن ۷/۵ متر و دو پیاده‌رو در طرفین که هر کدام ۱/۲۵ متر است. پل شامل ۲۷ تکیه‌گاه میانی بدون سرستون و در هر ردیف دو ستون دایره‌ای بتن مسلح به قطر۰/۷ متر که عرشه مستقیماً بر روی آنها قرار گرفته‌است. تکیه‌گاه های کناری (کوله‌ها) از نوع بتن مسلح که یکی از آنها (سمت جیرفت) توسط‌سیل سال ۱۳۷۱ تخریب گردیده‌است. برای هر یک از تکیه‌گاه های میانی از پی‌های گسترده سطحی استفاده شده است و این پی‌ها برروی شمع‌های بتن مسلح دایره‌ای شکل‌واقع شده‌اند. شایان ذکر است که در این ضمینه مطالعات مشابه روی‌پل های کلدان و باغین نیز انجام شده‌است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه:

با توجه به اینکه پل‌ها یکی از عناصر استراتژیک در راه‌های کشورها می‌باشند، آسیب دیدن و یا خرابی آنها می‌تواند یک محور را از سرویس دهی بیاندازد و یا عبور و مرور را در آن مختل نماید. بنابراین به مسئله تعمیر و نگهداری از پل‌ها باید توجه ویژه شود. در چند دهه گذشته به موازات توسعه شبکه راه‌های کشور، حجم قابل ملاحظه‌ای از بودجه جهت ساخت پل‌ها اختصاص یافته است. از طرف دیگر به علت شرایط محیطی نامناسب و ترافیک سنگین از یک طرف و عدم بازدیدهای ادواری و رعایت اصول نگهداری پل‌ها از طرف دیگر هر ساله شاهد کاهش عمر مفید این سازه‌ها و نیاز و به تعمیرات اساسی حتی در مورد پل‌های تازه احداث هستیم. با عنایت به موارد یاد شده، در سال های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای پل ها انجام شده‌است.

۱-۲- اهمیت موضوع:

از آنجائیکه پل محور جیرفت-کهنوج یکی از پل های استراتژیک در مسیر ارتباطی جنوب به شمال کشور می‌باشد، آسیب دیدن و یا خرابی آن می‌تواند این محور را از سرویس دهی بیاندازد و

یا عبور و مرور را در آن مختل نماید لذا جلوگیری از حادث شدن این مسئله، خود نشان دهنده اهمیت مقاوم سازی این پل می باشد.

۱-۳- اهداف تحقیق:

بطور کلی اهداف مقاوم سازی پل را می توان در قالب بندهای زیر بیان نمود:

- افزایش ظرفیت باربری پل تحت بارهای جانبی و بارهای ثقلی.

- افزایش طول عمر پل و جاده.

- جلوگیری از روند آب شستگی پایه‌های پل.

- تثبیت دهانه اول سمت جیرفت ناشی از تخریب کوله.

۱-٤- کارهای انجام شده:

تحلیل استاتیکی غیرخطی را می توان برای ارزیابی و مقاوم سازی هر سازه ای بکار برد. هر چند در دهه اخیر دانشمندان زیادی روش تحلیل استاتیکی غیرخطی را در ارزیابی ساختمان ها بکار

برده اند ولی تنها تعداد کمی از محققین مانند شینوزوکا[۱]، بارون[۲] و دوتا[۳] [۴] ، مطالعاتی در مورد بررسی رفتار لرزه ای پل ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام داده اند.

بطور کلی تحلیل استاتیکی غیرخطی، بر پایه روش(پوش آور) بار افزون در اوایل دهه ی ۹۰ میلادی با کارهای آزمایشگاهی آغاز گردید. در سال ۱۹۹۴ ، پریستلی[۴] و سایبل[۵] مقاله هایی را تحت عنوان مقاوم سازی ارائه کردند .آنها در این مقاله روشی را برای ارزیابی و مقاوم سازی پل ها ارائه کردند که روش آنها بر پایه کارهای عملی و آزمایشگاهی استوار بود .آنها در سال ۱۹۹۴، روش خود را توسعه دادند و آن را تصحیح نمودند و در ارزیابی و مقاوم سازی تعدادی از پل های آمریکا بکار بردند [۵] .

ATC[۶] [۲] در سال ۱۹۹۶ ، گزارشی را با عنوان " ارزیابی لرزه ای و مقاوم سازی ساختمانهای بتنی" منتشر نمود. در آن گزارش، به تحلیل استاتیکی غیرخطی به عنوان اصلی ترین روش برای بررسی لرزه ای ساختمان های بتنی تاکید شده بود، همچنین روش طیف ظرفیت در این گزارش معرفی شد.

---

۱. Shinozuka

۲ .Barron

۳ .Dutta

۴ .Priestly

۵ .Seible

۶.Applied Technology Council

نشریهFEMA۲۷۳ [۳]، در سال ۱۹۹۷ دستورالعملNEHRP را برای ارزیابی لرزه ای ساختمان ها ارائه کرد. در این دستورالعمل روش ضرایب تغییرمکان به عنوان روشی ساده و موثر در بررسی رفتار غیرخطی ساختمان ها معرفی گردیده بود.

چوپرا[۱] و گوئل [۲] در سال ۲۰۰۱ ، تحلیل پوش آور مودال(MPA) راکه بر پایه دینامیک سازه ها استوار بود معرفی کردند [۶]و[۷]. آنها در این روش نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان را متناسب با شکل مود الاستیک سازه مطابق با رابطه زیر توزیع میکردند.

$$S_n^* = m\phi_n$$

در رابطه فوق m ماتریس جرم سازه و ϕ_n بردار شکل مودی در مود n-ام میباشد.

تحقیق دیگری توسط چوپرا و گوئل در سال۲۰۰۰ تحت عنوان "بررسی تحلیل استاتیکی غیرخطی برای تخمین تغییرشکل لرزه ای سیستم های یک درجه آزادی" انجام گردید [۸]. در این مطالعه، نویسندگان روش طیف ظرفیت که توسطATC در سال ۱۹۹۶ ارائه گردیده بود و انجام آن به تکرار یک سیستم خطی معادل پی در پی نیاز داشت را مورد بررسی و نقد قرار داده بودند. آن ها نقص های زیادی را برای روش A (یکی از سه روش تعیین نقطه عملکرد در

۱. Chopra

۲. Goel

روش طیف ظرفیت) بیان کرده بودند .آنها با ارائه مثال های متعددی عدم همگرائی تحلیل برای سازه های مختلف و اختلاف قابل توجه نتایج حاصل از این روش با نتایج بدست آمده از آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی سازه را نشان دادند. آنها در این گزارش روش جایگزینی را پیشنهاد کردند که علاوه بر دارا بودن مزایای روش های ATC-۴۰ [۲]، از قبیل سرعت انجام تحلیل و سادگی آن، تطابق خوبی نیز با نتایج حاصل از تحلیل های دقیق دینامیکی غیرخطی داشت. تفاوت عمده روش پیشنهادی آنها با روش های ATC-۴۰ [۲] در نحوه تاثیر رفتار غیرخطی سازه در تعیین نقطه مشخصه رفتار می باشد.

بعد از آنکه روش ضرایب تغییرمکان توسط FEMA ارائه شد، ویتاکر[۱] و همکاران در سال ۱۹۹۸، تحقیقی را برای بررسی صحت این روش در پیشبینی تغییرمکان مورد تقاضای سازه انجام دادند.[۹]. آنها اثر ضرایب اصلاحی مختلف را که در روش ضرایب تغییرمکان برای تعیین تغییرمکان هدف استفاده شده بود را مورد بررسی قرار دادند.

یک تحقیق مهم توسط چوپرا و همکاران در سال ۲۰۰۱ تحت عنوان " آمارگیری از سیستم یک درجه آزادی برای تخمین تغییرمکان بام در تحلیل پوش آور ساختمان ها " انجام شد [۱۰]. این فرض که می توان تغییرمکان بام یک ساختمان چند طبقه را بوسیله تغییرشکل یک سیستم

[۱] .Whittaker

یک درجه آزادی بدست آورد، در آن تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته بود. این فرض قبلا توسط FEMA در سال ۱۹۹۷ با ارائه ضرائبی اصلاحی برای بدست آوردن تغییرمکان هدف ارائه شده بود. در آن تحقیق محققان به این نتیجه رسیدند که فرضیات قبلی، بر پایه تعیین تغییرمکان مرکز بام بنا نهاده شده اند و ماهیت و مقدار آن بستگی به این دارد که سازه به چه مقدار وارد ناحیه غیرالاستیک شود که بیانگر تقاضای شکل پذیری کل سازه می باشد. برای تقاضاهای بیشتر شکل پذیری، این فرض (تعیین تغییرمکان یک ساختمان چند طبقه با استفاده از تغییرشکل یک سیستم یک درجه آزادی) تغییرمکان بام را دست بالا بدست می دهد. و خطای آن در ساختمان های با دوره تناوب طولانی، بیشتر است. این موضوع در ساختمان های با تقاضای شکل پذیری کمتر، بالعکس می باشد. خطای این فرض، زمانیکه اثرات $P\text{-}\Delta$ در تحلیل در نظر گرفته می شود، افزایش می یابد.

شینوزوکا و همکاران در سال ۲۰۰۰ ، تحلیل استاتیکی غیرخطی با روش طیف ظرفیت را در تحلیل پل های فولادی و تهیه منحنی شکست بکار بردند [۱۱]. مطالعه آنها یکی از اولین تحقیقات در استفاده از روش ساده تحلیل استاتیکی غیرخطی در تحلیل پل ها به جای ساختمان

ها می باشد. آنها از الگوی بار جانبی متناسب با شکل مود اصلی سازه، مطابق رابطه زیر استفاده کردند.

$$F_i = \frac{w_i \phi_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i \phi_i} V$$

در رابطه فوق:

F_i : بار جانبی وارد به گره i می باشد .(i=۱،۲,...,N)

w_i : بار اختصاص داده شده به گره i (ترکیبی از بار مرده و زنده)

ϕ_i : مقدار مود اصلی در گره i

V : مقدار برش پایه

N : تعداد کل گرهها که جرم سازه بین آنها تقسیم شده است.

آنها نتایج این روش را با روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، برای تهیه منحنی شکست مقایسه کردند. مقایسه منحنی های تهیه شده از هر دو روش، نتایج مشابهی را برای حالتی که خسارت جزئی بود نشان می داد ولی وقتی خسارت افزایش پیدا می کرد، تفاوت نتایج زیاد می شد. زیرا در این حالت رفتار غیرخطی، نقش اصلی در رفتار سازه دارد. اگر چه این تحقیق، تحلیل استاتیکی غیرخطی را در تحلیل لرزه ای پل ها بکار برده است ولی هیچ مقایسه ای بین

پارامترهای اصلی لرزه ای مانند برش پایه، چرخش مفاصل خمیری و تغییرمکان صورت نگرفته است.

فنوِز[۱] و ایلری[۲]، در سال ۱۹۹۸ ، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی را در انجام تحقیقی با عنوان " تحلیل شکست پل های بزرگراهی تحت زلزله نورثریج ۱۹۹۴ " بکار بردند[۱۲]. آنها بوسیله تحلیل پوش آور ظرفیت پایه ها را برآورد کردند و توانستند سطح عملکرد هریک از اجزای پل رامشخص کنند و شکست های محتمل اجزای پل را پیش بینی نمایند. آنها به جای اینکه یک منحنی پوش آور برای کل پل بدست آورند برای هر یک از ستون ها، منحنی پوش آور را تهیه کردند.

بارون در سال ۲۰۰۰ ، از تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور) برای تهیه منحنی شکست پل ها وساختمان ها استفاده کرد و نتایج آنرا با تحلیل پوش آور دینامیکی مقایسه نمود[۱۳]. بارون در این تحقیق، ثابت جدیدی به نام ضریب کاهش تسلیم[۳]، برای ارزیابی پاسخ غیرالاستیک سازه معرفی کرد. او برای در نظر گرفتن پاسخ غیرالاستیک سازه، بعد از تسلیم هر نقطه در سازه

۱. Feneves

۲. Ellery

۳. Yield reduction factor

سختی سازه را اصلاح می کرد و بار جانبی را متناسب با شکل مود اصلاح شده به سازه اعمال می نمود، روش اوشبیه به روش طیف ظرفیت معرفی شده در ATC می باشد.

تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش آور، یک ابزار قدرتمند نه تنها برای بررسی عملکرد سازه های ساخته شده می باشد، بلکه از آن می توان برای بررسی رفتار غیرخطی سازه های در حال احداث نیزاستفاده کرد. این روش در سال ۲۰۰۰ توسط فردی به نام آبزینگی[۱] ، برای بررسی رفتار غیرخطی پل گرونیوتیکوز، قبل از احداث آن در کشور یونان، مورد استفاده قرار گرفت تحلیل استاتیکی غیرخطی مهندسان را قادر ساخت تا پاسخ غیرخطی پل را از تشکیل اولین مفصل پلاستیک در پایه ها تا شرایط تعادل در مراحل مختلف طراحی لرزه ای و حالت حدی مورد بررسی قرار دهند[۱۴].

تحلیل استاتیکی غیرخطی همچنین توسط بالارد [۲] و سدرات[۳] برای بررسی عملکرد پل کانال کشتیرانی واشنگتن مورد استفاده قرار گرفت. در آن مطالعه، یک تحلیل پوش آور سه بعدی از پل برای برآورد ظرفیت آن انجام شد و مهندسان توانستند مقدار مقاوم سازی ستون ها را بسته به نوع و مکان گسیختگی (شکست) آنها تعیین کنند[۱۵].

---

۱. Abeysighe

۲. Ballard

۳. Sedarat

نیکنام بر لزوم معاینه پل های موجود با بکارگیری روش های تحلیل دینامیکی و مقاوم سازی لرزه ای آنها با سیستم جداسازی پایه ها تاکید کرده است[۲۷]. وی همچنین پیشنهاد کرده است که دستگاه های اندازه گیری تغییرشکل و شتاب بر روی پل ها به منظور افزایش شناخت از رفتاردینامیکی پل های کشور و نیز ثبت شتاب نگاشت های زلزله های احتمالی به منظور استفاده آنها در طراحی پل های جدید، مستقر شوند.

افتخاری و تهرانی زاده اثر چند نوع سیستم لرزه جدایش [۱] بر یک پل تیپ چند دهانه را با انجام تحلیل های دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار داده اند[۲۸]. این محققین با توجه به مزایای سیستم های لرزه جدایش، بر کاربرد آنها در مقاوم سازی پل های موجود تاکید کرده اند.

افراسیابی به بررسی مساله فروافتادگی عرشه از روی تکیه گاه ها پرداخته و احتمال فروافتادن عرشه تعدادی از پل های موجود در کشور را بطور کمی مطالعه نموده است[۲۹]. حاجی رسولی ها میزان تقریب حاصل از روش های مختلف تحلیل لرزه ای پل ها را مورد مطالعه قرار داده است[۳۰]. و نیزضوابطی برای طول نشیمن عرشه پل ها پیشنهاد داده است. این محقق ضوابط موجود در آیین نامه های فعلی برای طول نشیمن را ناکافی ارزیابی کرده است.

[۱] .Seismic isolation