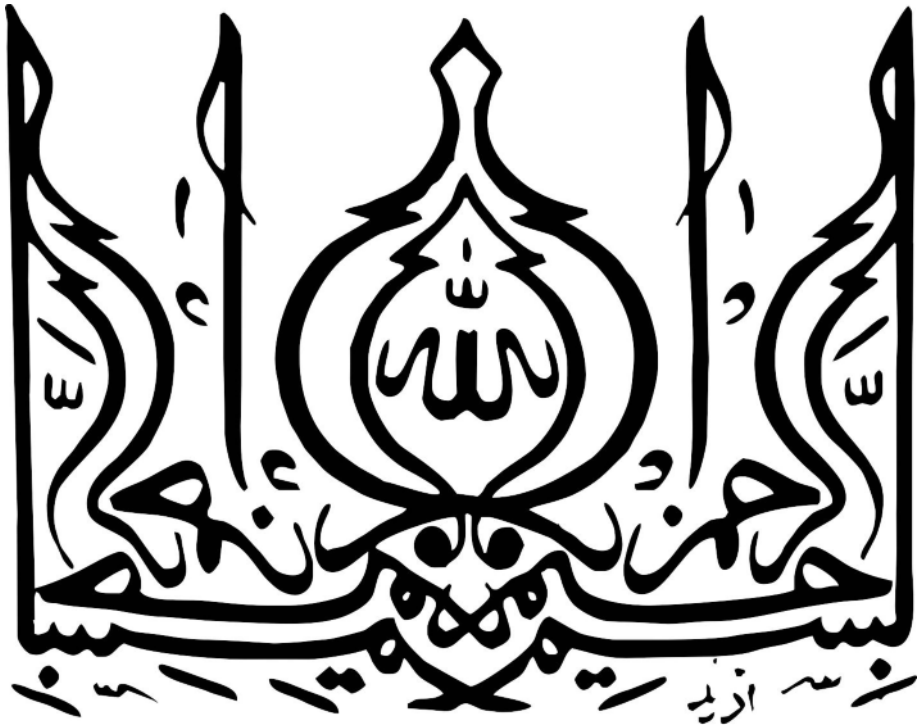
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- سازه

عنوان

بررسی اندرکنش پل با خاک در پل با پایه های بتنی مسلح مقاوم شده با ژاکت های فولادی

استاد راهنما

دکتر مجید برقیان

استاد مشاور

دکتر مسعود حاجی علیلوی بناب

پژوهشگر

بهروز جعفری چلان

مهر ۱۳۸۸

نام خانوادگی دانشجو: جعفری چلان نام: بهروز

عنوان پایان نامه: بررسی اندرکنش پل با خاک در پل با پایه های بتنی مسلح مقاوم شده با ژاکت فولادی

استاد راهنما: دکتر مجید برقیان

استاد مشاور: دکتر مسعود حاجی علیلوی بناب

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: عمران گرایش: سازه دانشگاه: تبریز

دانشکده: مهندسی عمران تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۸۸ تعداد صفحه:۱۳۸

کلید واژه ها: مقاوم سازی ، ژاکت فولادی، رفتار غیرخطی پایه‌ها و شمع‌ها، اندرکنش شمع- خاک، دامنه جابجایی رأس پایه‌ها.

چکیده:

بر اساس گزارش اداره راه کالیفرنیا هزینه مقاوم سازی یک پل تنها ۲۲/۷ درصد ساخت یک پل جدید است. از این رو مقاوم سازی یک پل خیلی باصرفه‌تر از تخریب و دوباره سازی آن است. در بین روشهای مقاوم سازی استفاده از ژاکت فولادی به علت صرفه اقتصادی زیاد این روش بسیار رایج است.

با وجود عملکرد مناسب ژاکت فولادی در مقاوم سازی، هنوز میزان تأثیر اندرکنش شمع- خاک بر روی رفتار پایه-های بتنی مسلح مقاوم شده با ژاکت گزارش نشده است. برای این منظور مدل سازه‌ای از یک نمونه پایه بتنی در نرم افزار *SAP 2000* ایجاد گردید که در آن رفتار غیرخطی پایه‌ها و شمع‌ها و نیز تأثیرات اندرکنش پل- خاک تحت اثر بارهای لرزه‌ای بررسی شده است. برای مطالعه اثر پارامترهای مختلف هندسی، سازه‌ای و ژئوتکنیکی روی عملکرد پایه-ها از تحلیل بارافزون استاتیکی استفاده گردید. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که میزان سختی خاک محاطی شمع‌ها اثر قابل محسوسی بر عملکرد پایه‌ها و نیز حداکثر دامنه جابجایی رأس آنها تحت نیروهای زلزله دارد. بطوریکه با افزایش سختی دامنه جابجایی رأس پایه‌ها کاهش یافته و به علت افزایش نیروهای داخلی، پایه‌ها سریعتر دچار گسیختگی می-گردند. همچنین با مقایسه نمونه‌های با ژاکت فولادی نسبت به نمونه‌های بدون ژاکت مشاهده می‌شود که نمونه‌های با ژاکت فولادی دارای دامنه جابجایی بزرگتری نسبت به نمونه‌های بدون ژاکت می‌باشند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه..... ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱- مقدمه..... ۳

۱-۲- مقاوم سازی و علت انجام آن..... ٤

۱-۲-۱- اصول مقاوم‌سازی..... ۵

۱-۲-۲- مراحل مقاوم‌سازی..... ۵

۱-۳- انواع روشهای مقاوم سازی در اعضای تشکیل دهنده پلها..... ٦

۱-۳-۱- مقاوم‌سازی پایه‌ها و ستون‌های پلها..... ۲۰

۱-۳-۱-۱- استفاده از ژاکت..... ٦

۱-۳-۱-۱-۱- ژاکت فولادی..... ٦

۱-۳-۱-۱-۲- ژاکت با قطعات بتنی پیش تنیده و الیافهای پیش تنیده (*Strand*)..... ۸

۱-۳-۱-۱-۳- ژاکت با مصالح کامپوزیتی..... ۱۰

۱-۳-۱-۱-۳-۱- ژاکت با استفاده از الیاف کربن..... ۱۰

۱-۳-۱-۱-۳-۲- ژاکت با استفاده از الیاف شیشه و آرامید (*Aramid*)..... ۱۲

۱-۳-۱-۲- مقاوم‌سازی پایه‌های به شکل دیوار پل‌ها..... ۱٤

۱-۳-۱-۳- مقاوم‌سازی پایه‌های به شکل قاب..... ۱۷

۱-۳-۱-٤- مقاوم‌سازی پایه‌های با استفاده از تیر پیوندی (*Link Beam*)..... ۱۹

۱-۳-۲- مقاوم‌سازی اتصال تیر- ستون..... ۲۰

۱-۳-۳- مقاوم‌سازی کوله..... ۲۱

۱-۳-٤- مقاوم‌سازی شمع‌های پلها..... ۲۳

۱-۳-٥- مقاوم‌سازی روسازه..... ۲۷

۱-۳-٦- کاربرد جداگرهای لرزه‌ای برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای..... ۲۸

۱-٤- مقاوم سازی پایه‌های پلها به روش ژاکت فولادی..... ۳۰

۱-٤-۱- ژاکت فولادی برای ستونهای دایره‌ای شکل..... ۳۰

۱-٤-۲- ژاکت فولادی برای ستونهای مستطیلی شکل..... ۳٦

۱-٤-۲-۱- ژاکت فولادی مستطیلی برای ستونهای مستطیلی شکل..... ۳٦

۱-٤-۲-۲- ژاکت فولادی بیضی شکل برای ستونهای مستطیلی..... ٤٤

۱-٤-۲-۲-۱- روش مقاوم‌سازی ستونهای کوتاه..... ٤٤

۱-٤-۲-۲-۲- مقاومت برشی ستون‌های مقاوم‌سازی شده..... ٤٥

۱-٤-۲-۲-۳- مقاومت خمشی ستون‌های مقاوم‌سازی شده با ژاکت فولادی..... ٤٦

۱-٤-۲-۳- ژاکت فولادی با مقطع هشت ضلعی برای ستونهای مستطیلی..... ٤۷

۱-٤-۲-۳-۱- طراحی لرزه‌ای..... ٤۸

۱-٤-۳- مدل تشکیل دهنده بتن محصور توسط ژاکت فولادی..... ٥۲

۱-٤-۳- ۱- مدل *Mander*..... ٥۲

۱-٤-٤- ضخامت ژاکت فولادی..... ٥٤

۱-٥- هدف مطالعه پایان نامه حاضر..... ٥٥

فصل دوم: مواد و روشها

۲-۱- مقدمه..... ٥٦

۲-۲- تحلیل استاتیکی غیر خطی..... ٥٧

۲-۳- معرفی نرم افزار *SAP 2000*..... ٥٩

۲-۳-۱- انواع غیر خطی در نرم افزار *SAP 2000*..... ٦٠

۲-۳-۲- حالتهای بارگذاری تحلیل بار افزون..... ٦٢

۲-۳-۳- روشهای کنترل بار..... ٦٢

۲-۳-٤- روند انجام تحلیل بارافزون در نرم افزار *SAP 2000*..... ٦٣

۲-۳-٥- ملاحظات مهم در روند انجام تحلیل های غیرخطی..... ٦٣

۲-٤- رابطه تنش- کرنش برای بتن محصور در ژاکت فولادی..... ٦٤

۲-٥- تعیین ضخامت ژاکت فولادی..... ٦٦

۲-٥-۱- آیین نامه *ATC-32 (1996)*..... ٦٦

۲-٥-۲- آیین نامه *AASHTO (1992)*..... ٦٧

۲-٥-۳- *Caltrans (1986)*..... ٦٧

۲-٦- عکس العمل خاک برای شمع‌های تحت بارگذاری محوری..... ٦٧

۲-٦-۱- منحنی‌های *t-z*..... ٦٧

۲-٦-۲- منحنی نیرو- جابجایی سر شمع (*Q-z*)..... ٧٠

۲-٦-۲-۱- محاسبه حداکثر چسبندگی بین شمع – خاک ٧١

۲-٦-۲-۲- محاسبه مقاومت نهایی نوک شمع..... ٧٢

۲-٦-۳- عکس العمل خاک برای شمع‌های تحت بارگذاری جانبی..... ٧٣

۲-٦-۳-۱- مقاومت جانبی خاک رسی..... ۷٤
۲-٦-۳-۲- مقاومت جانبی خاک ماسه‌ای..... ۷۵
۲-٦-۳-۳- منحنی نیرو - جابجایی برای خاک رسی..... ۷٦
۲-٦-۳-٤- منحنی نیرو – جابجایی برای خاک ماسه‌ای..... ۷۷
۲-٦-٤- محاسبه قطر معادل شمع با مقطع غیر دایره‌ای..... ۷۸
۲-٦-۵- اثر شمع‌های مایل در ایجاد منحنی P-Y..... ۸۰
۲-٦-٦- اعمال نیروی برشی در قسمت انتهایی شمع..... ۸۱
۲-۷- ظرفیت جابجایی شمع های H شکل تحت بارگذاری یکنواخت..... ۸۲
۲-۸- مدهای گسیختگی سازه ای تحت اثر بارهای لرزه‌ای..... ۸٤

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- مقدمه..... ۸۵
۳-۲- مدلسازی..... ۸۵
۳-۲-۱- مشخصات پایه های بتنی مسلح پل به کار رفته در مدل..... ۸۵
۳-۲-۲- نحوه مدلسازی پایه پل و متغیرهای به کاررفته در آن..... ۸۸
۳-۳- مشخصات اجزاء تشکیل دهنده پل در مدل..... ۹۰
۳-۳-۱- پایه‌ها..... ۹۰
۳-۳-۱-۱- مشخصات مقطع پایه‌ها..... ۹۰
۳-۳-۱-۲- نحوه مدلسازی غیرخطی پایه‌ها..... ۹۲
۳-۳-۲- شمع..... ۹۳

۳-۳-۲-۱- مشخصات شمع‌های فولادی به کار رفته در زیر پایه‌ها.....۹۳
۳-۳-۲-۲- نحوه مدلسازی غیرخطی شمع.....۹٤
۳-۳-۳- شمع.....۹٦
۳-۳-۳-۱- مشخصات شمع های فولادی به کار رفته در زیر کوله.....۹٦
۳-۳-۳-۲- نحوه مدلسازی غیرخطی شمع.....۹٦
۳-۳-۳-۳- مدلسازی اندرکنش شمع - خاک احاطه کننده آن.....۹۷
۳-۳-٤- چگونگی اعمال اثر نیروی افقی زلزله در مدل.....۹۸
۳-٤- ظرفیت جابجایی پایه‌های پل تحت نیروهای زلزله.....۹۸
۳-٤-۱- تأثیر سختی خاک محاطی شمع‌ها.....۹۹
۳-٤-۱-۱- خاک رسی.....۹۹
۳-٤-۱-۲- خاک ماسه‌ای.....۱۰۳
۳-٤-۲- تأثیر اندازه و جهت قرار گرفتن شمع‌ها حول محورهای قوی و ضعیف اینرسی.....۱۰۸
۳-٤-۲-۱- خاک رسی.....۱۰۸
۳-٤-۲-۱- خاک ماسه‌ای.....۱۰۸
۳-۵- تأثیر پارامترهای مختلف روی نیروهای داخلی پایه‌ها.....۱۰۹
۳-۵-۱- سختی خاک محاطی شمع‌ها.....۱۰۹
۳-۵-۱-۱- خاک رسی.....۱۰۹
۳-۵-۱-۲- چگالی خاک ماسه‌ای.....۱۱۲
۳-۵-۲- اندازه شمع و جهت قرار گرفتن آن.....۱۱٤

۳-۵-۲-۱- خاک رسی..... ۱۱٤

۳-۵-۲-۲- خاک ماسه‌ای..... ۱۱٦

۳-٦- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۷

پیوست الف..... ۱۲۰

منابع و مراجع..... ۱۳۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول: بررسی منابع

شکل ۱-۱- محصور نمودن ستون فولادی با استفاده از ژاکت فولادی.....۷

شکل۱-۲- شکل ۱-۲- ژاکت با قطعات بتنی پیش تنیده.....۸

شکل۱-۳- مقاوم سازی لرزه ای ستون با استفاده از پیچیدن الیافها(*Strand*) دور پایه پل...۹

شکل۱-٤- پیچیدن ورقهای الیاف کربن دور ستون. الف- مالیدن چسب روی ستون ب- پیچیدن اولین لایه ج- چسباندن اولین لایه.....۱۱

شکل۱-۵- الف- مقاوم سازی باند شرقی و غربی ب- پیچیدن ورقهای الیاف کربن.....۱۲

شکل۱-٦- مقاوم سازی با الیاف آرامید الف- نوارهای به شکل روبان و الیافهای یک جهته ب- الیاف به شکل ورق.....۱۳

شکل۱-۷- ژاکت پلاستیکی مسلح شده با الیاف آرامید.....۱۳

شکل۱-۸- ژاکت با الیاف شیشه.....۱۳

شکل۱-۹- استفاده از ژاکت بتن آرمه برای پایه های به شکل دیوار پلها الف-آرماتورها به داخل فونداسیون مهار می‌گردند ب-آرماتورها در داخل بتن مهار نمی‌شوند.....۱۵

شکل۱-۱۰- استفاده از ژاکت بتن آرمه برای پایه های به شکل قاب پلها الف- استفاده از الیافهای بتن پیش تنیده ب- استفاده از ژاکت بتن آر مه + ژاکت فولادی در مجاورت اتصال به فونداسیون.....۱٦

شکل۱-۱۱- نمونه ای از ژاکت بتن آر مه همراه با ژاکت فولادی در مجاورت اتصال به فونداسیون در دیوار به ارتفاع ۵/۳ متر.....۱۷

شکل۱-۱۲- نمونه‌ای از روش مقاوم سازی پایه های بتن آرمه به شکل قاب پلها با استفاده از دیوارهای پر کننده جدید.....۱۸
شکل۱-۱۳- مقاوم سازی پایه های پل با استفاده از تیر پیوندی الف- جزئیات آرماتوربندی تیر پوندی ب- تیر پیوندی اجرا شده در پل راه آهن *I-10 Santa Monica* واقع در لوس آنجلس آمریکا.....۱۹
شکل۱-۱٤- ژاکت بتن آرمه برای اتصال زانویی ضعیف.....۲۰
شکل۱-۱۵ - مقاوم سازی پل راه آهن دو عرشه‌ای در سانفرانسیسکوی آمریکا با استفاده از تیر لبه‌ای پیوندی الف- پل راه آهن ساخته شده ب- مدل آزمایش ج-مدل آزمایش د- آسیب دیدن ستون در هنگام آزمایش ه- مقاوم سازی پل و- تیر لبه‌ای پیوندی.....۲۰-۲۱
شکل۱-۱٦- آسیب دیدگی در کوله الف- حرکت کوله به طرف عرشه ب- حرکت کوله به طرف خاکریز پشت کوله به دلیل ناپیداری خاک محل.....۲۲
شکل۱-۱۷- مقاوم سازی لرزه‌ای کوله با استفاده از *EPS*.....۲۳
شکل۱-۱۸- مقاوم سازی لرزه‌ای شمع‌ها با استفاده از افزایش تعداد آنها.....۲۵
شکل۱-۱۹- مقاوم سازی لرزه‌ای شمع‌ها با استفاده از افزایش تعداد آنها و افزایش مساحت فونداسیون موجود.....۲٦
شکل۱-۲۰- مقاوم سازی شمع‌ها با استفاده از میکرو شمع‌ها.....۲٦
شکل۱-۲۱- وسایل جلوگیری از جدا شدن عرشه.....۲۸
شکل۱-۲۲- کاربرد جداگرهای لرزه‌ای برای مقاوم سازی.....۲۹
شکل ۱-۲۳- مقاوم سازی لرزه‌ای با استفاده از جداگرهای لرزه‌ای الف- نصب بالشتک‌های لاستیکی سربی و لغزشی ب- پل بعد از مقاوم سازی.....۲۹

شکل۱-۲٤- مقاوم سازی لرزه‌ای توسط بالشتک‌های جداساز الف- حذف بالشتک‌های فلزی موجود ب- نصب بالشتک‌های الاستومری لاستیکی سربی رنگ..... ۳۰

شکل۱-۲۵- محصور نمودن ستون توسط ژاکت فولادی(*Periestly,Seible and Calvi*) ۳۱

شکل۱-۲٦- منحنی نیرو- جابجایی ستون مقاوم سازی شده با ژاکت فولادی برای افزایش شکل پذیری (*Periestly,Seible and Calvi*)..... ۳۲

شکل۱-۲۷- مقاوم سازی پایه ستونهای بتن آرمه با استفاده از ژاکت فولادی (اداره راه کالیفرنیا)..... ۳۳

شکل ۱-۲۸- ژاکت فولادی جهت جلوگیری از شکست برشی زود رس الف- ستون با مقطع مربعی ب- ستون با مقطع مستطیلی..... ۳٤

شکل۱-۲۹- تأثیر ژاکت فولادی روی گسختگی‌های برشی زودرس الف- ستون با مقطع مربعی ب- ستون مقاوم سازی شده با مقطع مربعی ج- ستون مستطیلی د- ستون مقاوم سازی شده با مقطع مستطیلی..... ۳۵

شکل۱-۳۰- مقاوم سازی به روش ژاکت فولادی در بزرگراهی در پایتخت ژاپن (سال ۱۹۸۹)..... ۳٦

شکل۱-۳۱- مقاوم سازی پل موجود در بزرگراه *Hanshin* در سال ۱۹۸۹ که در زلزله *Kobe* (۱۹۹۵) آسیب ندید..... ۳٦

شکل۱-۳۲- انواع ژاکت‌های فولادی برای مقاوم سازی ستونهای بتن‌آرمه با مقطع مستطیلی..... ۳۷

شکل۱-۳۳- نمودار هیسترزیس برای ستونها با مقطع مستطیلی..... ۳۸

شکل ۱-۳٤- ژاکت فولادی با مقطع مستطیلی شکل با افزایش ظرفیت خمشی کنترل شده..... ۳۹

شکل ۱- ۳۵- تأثیر ژاکت فولادی با افزایش ظرفیت خمشی کنترل شده در پایه‌های با مقطع مستطیلی..... ٤۰

شکل ۱- ۳٦- مدل آزمایش..... ٤۰

شکل ۱- ۳۷- مقطع مقاوم سازی شده و میل مهارها..... ٤۱

شکل ۱- ۳۸- ژاکت فولادی مستطیلی روی ستون‌های مستطیل شکل در بزرگراهی در پایتخت ژاپن..... ٤۱

شکل ۱-۳۹- نمونه‌ای از بستهای اتصال..... ٤۲

شکل ۱-٤۰- استفاده از بستهای اتصال برای مقاوم‌سازی در محل‌های با ارتفاع بالا..... ٤۲

شکل ۱-٤۱- استفاده از ژاکت فلزی مستطیلی برای مقاوم‌سازی ستون‌های با سطح مقطع مستطیلی که در برابر برش دچار آسیب‌دیدگی شده‌اند الف- گسیختگی برشی بعد از بارگذاری ب- بازسازی با استفاده از ژاکت فولادی ج- گسیختگی خمشی ستون مقاوم سازی شده (بعد از برداشتن ژاکت)..... ٤۳

شکل ۱-٤۲- تأثیر ژاکت فولادی در افزایش ظرفیت برشی الف- ستون مقاوم سازی نشده ب- ستون مقاوم سازی شده..... ٤۳

شکل ۱-٤۳- تنشهای محصور کنندگی توسط ژاکت بیضی شکل..... ٤٦

شکل ۱-٤٤- خرابی‌های حاصل از شکست برشی در پایه‌های پلها تحت اثر زمین لرزه ۱۹۹۹ *Chi-Chi* تایوان..... ٤۸

شکل ۱-٤۵- ابعاد ژاکت فولادی هشت ضلعی منتظم..... ۵۰

شکل ۱- ٤٦- محصور شدگی جانبی ستون توسط ژاکت فولادی هشت ضلعی.....۵۱

شکل۱-٤٧- مدل *Mander*.....۵۳

فصل دوم: مواد و روشها

شکل۲-۱- مدل پیشنهادی برای منحنی تنش- کرنش بتن محصور شده توسط ژاکت.....٦٤

شکل۲-۲- نمودار *t-z* برای خاکهای رسی و ماسه‌ای.....٦٩

شکل ۲-۳- منحنی *Q-z* برای خاکهای رسی و ماسه‌ای.....۷۰

شکل۲-٤- نمونه‌ای از منحنی *P-Y*.....۷۳

شکل۲-۵- ضرایب C_1, C_2, C_3 نسبت به زاویه ϕ ۷۵

شکل۲-٦- نمودار ضریب عکس العمل خاک بستر که بصورت تابعی از زاویه اصطکاک داخلی و نسبت چگالی خاک است.....۷۸

شکل۲-۷- تنشهای ایجاد شده توسط خاک روی شمع با مقطع دایره.....۸۰

شکل۲-۸- تأثیر شکل سطح مقطع روی مقدار مقاومت نهایی خاک.....۸۰

شکل۲-۹- ضریب پیشنهادی جهت اصلاح منحنی *P-Y* برای شمع‌های مایل.....۸۱

فصل سوم: نتیجه گیری و پیشنهادات

شکل ۳-۱- پایه پل مورد استفاده برای مدلسازی.....۸٦

شکل۳-۲- مدل غیر خطی پایه بتن آرمه پل.....۸۸

شکل۳-۳- روند مدلسازی غیر خطی شمع *H* شکل.....۹۵

شکل ۳-٤- نمودار حداکثر دامنه رأس پایه‌ها نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشده در نمونه-های *S1* و *S3*..... ۱۰۰

شکل ۳-٥- نمودار حداکثر دامنه رأس پایه‌ها نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشده در نمونه-های *S1* و *S2*..... ۱۰۰

شکل ۳-٦- نمودار حداکثر دامنه رأس پایه‌ها نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشده در نمونه-های *S2* و *S4*..... ۱۰۱

شکل ۳-۷- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشده در نمونه *S1*..... ۱۰۱

شکل ۳-۸- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشده در نمونه *S2*..... ۱۰۲

شکل ۳-۹- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشده در نمونه *S3*..... ۱۰۲

شکل ۳-۱۰- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مقاومت برشی زهکشی نشـده در نمونه *S4*..... ۱۰۳

شکل ۳-۱۱- نمودار حداکثر دامنه رأس پایه‌ها نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه‌های *S1* و *S3*..... ۱۰٤

شکل ۳-۱۲- نمودار حداکثر دامنه رأس پایه‌ها نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه‌های *S1* و *S2*..... ۱۰٥

شکل ۳-۱۳- نمودار حداکثر دامنه رأس پایه‌ها نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه‌های *S2* و *S4*..... ۱۰٥

شکل ۳-۱٤- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه *S1*.....۱۰٦

شکل ۳-۱۵- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه *S2*.....۱۰٦

شکل ۳-۱٦- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه *S3*.....۱۰۷

شکل ۳-۱۷- نمودار حداکثر دامنه جابجایی رأس پایه نسبت به مدول عکس العمل بستر در نمونه *S4*.....۱۰۷

شکل ۳-۱۸- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S1* ، خاک رسی و شمع *HP 310X125*....۱۱۰

شکل ۳-۱۹- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S2* ، خاک رسی و شمع *HP 310X125*...۱۱۰

شکل ۳-۲۰- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S3* ، خاک رسی و شمع *HP 310X125*...۱۱۱

شکل ۳-۲۱- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S4* ، خاک رسی و شمع *HP 310X125*...۱۱۱

شکل ۳-۲۲- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S1*، خاکهای ماسه ای با مدول عکس العمل بستر متفاوت و شمع *HP 310X125*.....۱۱۲

شکل ۳-۲۳- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S2* ، خاکهای ماسه ای با مدول عکس العمل بستر متفاوت و شمع *HP 310X125*.....۱۱۳

شکل ۳-۲٤- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S3* ، خاکهای ماسه ای با مدول عکس العمل بستر متفاوت و شمع *HP 310X125*.....۱۱۳

شکل ۳-۲۵- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S4* ، خاکهای ماسه ای با مدول عکس العمل بستر متفاوت و شمع *HP 310X125*.....۱۱٤

شکل ۳-۲۶- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S1* نسبت به جابجایی رأس پایه در خاک رسی برای شمع‌های با اندازه متفاوت و جهت قرارگیری حول محورهای قوی و ضعیف اینرسی.....۱۱۵

شکل ۳-۲۷- تغییرات لنگر خمشی در نمونه *S1* نسبت به جابجایی رأس پایه در خاک ماسه‌ای برای شمع‌های با اندازه متفاوت و جهت قرارگیری حول محور های قوی و ضعیف اینرسی.....۱۱۶

پیوست الف:

شکل الف-۱- پنجره گفتگوی *New Coord/Grid System*.....۱۲۰

شکل الف-۲- پنجره *Define Grid Data*.....۱۲۱

شکل الف-۳- مدلسازی شمع، سر شمع و پایه در نرم افزار.....۱۲۲

شکل الف-٤- انتخاب گزینه *Set Display Option..* ۱۲۳

شکل الف-۵- پنجره *Replicate*.....۱۲۳

شکل الف-٦- پنجره *Joint Restrains*.....۲٤

شکل الف-۷- مدل سازه ای پایه پل.....۱۲۵

شکل الف-۸- وارد کردن مشخصات مصالح بتنی.....۱۲٦

شکل الف-۹- وارد کردن مشخصات مصالح فولادی.....۱۲٦

شکل الف-۱۰- پنجره *Define Load*.....۱۲۷

شکل الف-۱۱- پنجره *Analysis Case Data*.....۱۲۷

شکل الف-۱۲- پنجره *Load Application Contorol*.....۱۲۸

شکل الف-۱۳- پارامترهای تحلیل غیرخطی..... ۱۲۹

شکل الف-۱٤ پنجره *Add Frame Section Property*..... **۱۳۰**

شکل الف-۱۵- پنجره *Circular Section*..... **۱۳۰**

شکل الف-۱٦- پنجره *Reinforcment Data*..... **۱۳۱**

شکل الف-۱۷ پنجره *Import Frame Section Property*..... **۱۳۲**

شکل الف-۱۸- انتخاب مقاطع برای تخصیص به شمع‌ها..... ۱۳۲

شکل الف-۱۹- تعریف نوع مفصل پلاستیک برای عضو شمع..... ۱۳۳

شکل الف-۲۰- تعریف مشخصات مفصل پلاستیک برای عضو شمع..... ۱۳٤

شکل الف-۲۱- پنجره *Link / Support Property Data*..... **۱۳۵**

شکل الف-۲۲- اختصاص نیروی مورد استفاده در تحلیل بارافزون..... ۱۳٦

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل اول: بررسی منابع

فصل دوم: مواد و روشها

جدول۲-۱ منحنی *t-z* برای خاکهای رسی و ماسه‌ای.....۶۸

جدول ۲-۲- متغییرهای طراحی برای خاکهای دانه‌ای.....۷۲

جدول۲-۳- اعداد منحنی نیرو- جابجایی برای خاک رس در حالت استاتیکی.....۷۶

جدول ۲-٤- اعداد منحنی نیرو- جابجایی برای خاک رس در حالت چرخه‌ای.....۷۶

جدول۲-۵- مقادیر *бu / бy* برای مقاطع *HP* شکل ساخته شده از فولاد*ASTM A 36*.....۸۳

فصل سوم: نتیجه گیری و پیشنهادات

جدول ۳-۱- مشخصات پایه‌های مورد استفاده.....۹۱

جدول۳-۲- ضخامت ژاکت فولادی برای نمونه *S3*.....۹۱

جدول ۳-۳- ضخامت ژاکت فولادی برای نمونه *S4*.....۹۱

جدول ۳-٤- مشخصات هندسی مقاطع شمع‌های به کار رفته در مدل.....۹۳

مقدمه

در دهه‌های گذشته زلزله‌های شدید و مخرب زیادی در کشورهای آمریکا، مکزیک، ژاپن، تایوان و نیز سایر کشورهای لرزه‌خیز از جمله کشورمان بوقوع پیوسته است. این زلزله‌ها نه تنها باعث خسارات جانی و مالی زیادی شده‌اند؛ بلکه خسارات زیربنایی عمده‌ای را بوجود آورده‌اند. گزارشهای متعدد توسط محققین نشان می‌دهد که در صورت عدم مقاوم سازی ستونهای پلهای ساخته شده در دهه‌های قبلی واژگونی و خسارات شدیدی (*Caltrans 1994*) ایجاد خواهد گردید. علاوه‌براین خلاصه گزارش برنامه مقاوم سازی اداره راه کالیفرنیا نشان داده است که هزینه مقاوم سازی یک پل تنها ۲۲/۷ درصد ساخت یک پل جدید است از این رو مقاوم سازی یک پل خیلی باصرفه‌تر از تخریب و دوباره سازی آن است(*Caltrans 1994*).

در زمان گذشته تعداد زیادی از فنون مقاوم سازی ستونهای پلها نظیر ژاکت بتن‌آرمه، ژاکت فولادی و ژاکت *FRP* توسعه یافتند و همچنین از طریق نتایج آزمایشگاهی مشخص گردیده است که مقاوم سازی توسط ژاکت در افزایش مقاومت لرزه‌ای ستونها بسیار مؤثر هستند.

در بین سایر روشهای مقاوم سازی استفاده از ژاکت فولادی دایره‌ای شکل در کارهای عملی در کشورهای لرزه خیز مخصوصاً آمریکا و ژاپن به علت صرفه اقتصادی زیاد این روش بسیار رایج است. همچنین استفاده از ژاکت فولادی برای مقاوم سازی ستونها عملاً به تأیید رسیده است زیرا هیچ یک از پلهای مقاوم سازی شده با ژاکت فولادی در طول زلزله *Northridge 1994* دچار آسیب‌دیدگی نشدند.

در فصل اول پایان نامه بعد از مقدمه‌ای کوتاه، تعریف مقاوم سازی و علت انجام آن توضیح داده شده سپس انواع روشهای مقاوم سازی در اعضای تشکیل دهنده پلها بیان گردیده