٣٩١٨١

دانشگاه علم وصنعت ایران

دانشکده عمران

۱۳۸۰ /۱۲/ ۲۸

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته

مهندسی عمران-مهندسی زلزله

016548

عنوان:

# ارزیابی لرزه ای (رفتارخطی وغیرخطی)ساختمانهای مرکب فولادی با دیواربرشی بتن مسلح

۳۹۸۶۸

استادراهنما:

دکتراحمد نیکنام

دانشجو:

سامان یغمایی سابق

آبان ۱۳۸۰

۳۹۸۶۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

## چکیده

برای مقاوم سازی سازه ها در برابرزلزله، سیستم های مقاوم مختلفی می تواندمورداستفاده قرارگیردکه بعضاً برای رفع معایب یک سیستم خاص، ازسیستم مقاوم دیگری درکنارآن استفاده میشود.درقاب مقاوم خمشی فولادی(MRF ) که به دلیل قابلیت بهره برداری ازفضای بین قابها،مورداستفادهٔ زیادی دارد، به خاطر برخورداری ازسختی کم، تامین مقاومت دربرابرجابجایی مشکل سازبوده ومعمولاًباعث انتخاب پروفیل های بامقاطع نسبتاً بزرگ درطراحی میشود. یکی ازروشهایی که بتواند ضمن داشتن برتریهای این سیستم، ازکاستیهای آن بکاهد استفاده ازسیستم دوگانهٔ قاب مقاوم خمشی فولادی ودیواربرشی بتن آرمه (MRF+SHW ) می باشدکه محوراصلی این پایان نامه راتشکیل میدهد.

دراین کارپژوهشی برای مدل سازی سازه ها ازنرم افزارANSYS به صورت سه بعدی وبادرنظرگرفتن ترک خوردگی بتن وتأثیرآن دراصلاح ماتریس سختی استفاده شده است.مدلهابه روشهای دینامیکی ودینامیکی غیرخطی تجلیل شده ونتایج تحلیلهای فوق به صورت پارامترهای لرزه ای سازه نظیر ضریب رفتارناشی ازشکل پذیری( $R_\mu$ )،ضریب رفتارناشی ازاضافه مقاومت( $Rs$ )،ضریب شکل پذیری( $\mu$ ) وضریب تشدیدتغییرمکان( $C_d$ ) تعیین شده اند.همچنین نتایج تحلیلی مربوط به حالت اصلاحی این سیستم ترکیبی(MRF+SHW )که دراین پایان نامه پیشنهادشده، آورده شده است.

مقایسه پارامترهای لرزه ای محاسبه شده باآیین نامه های معتبرازجمله UBC97 ، AISC ونیزآیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران، بخش پایانی این رساله را تشکیل میدهد.

**تشکر و قدردانی**

برخود لازم میدانم از زحمات بی شائبه استاد ارجمندم ،جناب دکتر نیکنام که در تمام مراحل انجام این پروژه همواره از راهنمایی های ایشان استفاده نمودم، سپاسگذاری وقدردانی نمایم.

همچنین از اساتید بزرگوار، آقایان دکتر علیرضا رهایی و دکترابراهیم ثنایی ،که به عنوان استاد مدعو درجلسه دفاعیه اینجانب حضور داشتند،تشکروقدردانی می کنم.

درخاتمه ازسایردوستانی که درطول انجام این پروژه به هرنحوه کمک اینجانب بوده اند از جمله مهندس آزاد یزدانی ومهندس علی تیزنقش کمال تشکر را دارم.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول-کلیات تحقیق**

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-دلایل استفاده از دیوار برشی درساختمانهای فولادی ۲

۱-۳-دیوارهای برشی بتنی آرمه معمولی مرکب با اعضای فولادی: (*C-ORCW*) ٤

۱-٤-مروری بر تحقیقات دیوارهای مرکب (*HWS*) ٦

۱-٤-۱-تحقیقات محققین آمریکایی ۷

۱-٤-۲-تحقیقات روی سیستم مرکب در ژاپن ۹

۱-۵-تعریف برخی واژه‌ها ۱۰

۱-٦-هدف تحقیق ۱۱

۱-۷-فرضیات تحقیق ۱۱

۱-۸-روش تحقیق ۱۲

**فصل دوم-بررسی پارامترهای لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای**

۲-۱-مقدمه ۱٤

۲-۲-اهداف طراحی لرزه‌ای سازه‌ها ۱٤

۲-۳-رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۱٦

۲-۳-۱-پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله ۱٦

۲-۳-۲-ظرفیت ونیاز درمباحث لرزه‌ای ۱۷

۲-۳-۳-مفصل ولنگر پلاستیک ۱۷

۲-٤-رفتارغیرخطی سازه‌ها ۲۰

۲-٤-۱-رفتارغیرخطی سازه‌ها بایک درجه آزادی ۲۰

۲-٤-۲-رفتار غیرخطی سازه‌های باچند درجه آزادی ۲۲

۲-۵-شکل‌پذیری سازه‌ها ۲۳

۲-۵-۱-اهمیت شکل‌پذیری درسازه‌ها ۲٦

۲-۵-۲-شکل‌پذیری بر حسب حدتسلیم ۲۷

۲-۵-۳-نکاتی چند درموردشکل پذیری ۲۹

۲-۷-منحنی‌های هیسترسیس ورفتار چرخه‌ای سازه ۳۲
۲-۸-معیارهای سنجش ایمنی دررفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۳٤
۲-۸-۱-ضرایب شکل‌پذیری ۳٤
۲-۸-۲-انرژی ورودی وانرژی مستهلک شده ۳٤
۲-۸-۳-اثر زوال‌ها ۳٦
۲-۹-معیارهای گسیختگی سازه‌ای ۳۹
۲-۱۰-ضریب رفتار ساده ٤۰
۲-۱۰-۱-تاریخچهٔ پیدایش وشکل‌گیری‌محاسبهٔ ضریب رفتار(ضریب تقلیل) ٤۰
۲-۱۰-۲-روش محاسبهٔ ضریب رفتار ٤۲
۲-۱۰-۳-ضریب کاهش ناشی از اضافه مقاومت ٤۵
۲-۱۰-۳-۱-مقدمه ٤۵
۲-۱۰-۳-۲-عوامل موثر دراضافه مقاومت سازه‌ها ٤٦
۲-۱۰-٤-رابطه‌بین‌ضریب‌کاهش‌پاسخ‌دراثرشکل‌پذیری،شکل‌پذیری‌وزمان‌تناوب‌سازه ٤۷
۲-۱۱- ضریب تبدیل جابجایی خطی به غیر خطی($C_d$ ) ۵۲
۲-۱۱-۱-کلیات ۵۲
۲-۱۱-۲-اهمیت پیش‌بینی جابجایی‌های غیرخطی ۵۳
۲-۱۱-۳-محاسبه ضریب تبدیل جابجایی‌خطی‌به‌غیرخطی(ضریب‌افزایش‌تغییرمکان، $C_d$) ۵٤


**فصل سوم-شناخت برخی سیستم‌های فولادی بار بر جانبی**


۳-۱-مقدمه ۵۸
۳-۲-سیستم قاب صلب خمشی ۵۸
۳-۲-۱-تغییر شکل ناشی از خمش طره‌ای ٦۰
۳-۲-۲-تغییر شکل ناشی از خمش تیرها وستونها ٦۰
۳-۲-۳-چشمهٔ اتصال ٦۲
۳-۳-سیستمهای مهاربندی ٦۳
۳-۳-۱-سیستمهای مهاربندی همگرا($CBF$ ) ٦۵
۳-۳-۱-۱-انواع مهاربندی همگرا ٦۵
۳-۳-۲-مهاربندی با اعضای کششی خارج از محور($OBC$ ) ٦۷
۳-۳-۳-سیستم مهاربندی واگرا ($EBF$ ) ٦۹
۳-۳-٤-مهاربند زانویی تعویض‌پذیر($KBF$ ) ۷۲

٤-٣-مقایسه کلی سیستم‌ها ٧٣
١-٤-٣-مزایا ومعایب قاب با اتصالات ممان بر(*MRF*) ٧٣
٢-٤-٣-مزایا ومعایب قاب‌های با مهاربندی هم مرکز(*CBF*) ٧٣
٣-٤-٣-مزایا ومعایب قاب با مهاربندی خارج از مرکز(*EBF*) ٧٤
٥-٣-سیستم‌های مختلط (دوگانه) ٧٤

**فصل چهارم-رفتار دیوارهای برشی در برابر زلزله**

١-٤-مقدمه ٧٦
٢-٤-دیوارهای برشی کوتاه ٧٦
٣-٤-دیواره‌های برشی طره‌ای ٧٨
١-٣-٤-شکست براثر ممان واژگونی ٧٨
٢-٣-٤-شکست برشی ٨٠
٣-٣-٤-شکست لغزشی ٨١
٤-٣-٤-بلند شدن پی ٨١
٤-٤-بررسی برخی نتایج‌آزمایشگاهی‌درموردرفتاردیوارهای برشی‌طره‌ای در برابر زلزله ٨٢

**فصل پنجم-ستونهای مختلط و بررسی رفتار آنها در برابر زلزله**

١-٥-مقدمه ٩٤
٢-٥-مزایای ستونهای مختلط
٩٥
٣-٥-معایب ستونهای مختلط ٩٦
٤-٥-مهاربندی جانبی ٩٦
٥-٥-ضوابط طراحی ستونهای مختلط ٩٧
٦-٥-استحکام محوری و طراحی ستونهای مختلط ٩٩
٧-٥-استحکام طراحی خمشی ستونهای مختلط ١٠١
٨-٥-انتقال بار به پی وسایر اتصالات ١٠١
٩-٥-رفتار اعضای فولادی محصور شده با بتن ١٠٢
١-٩-٥-رفتار خمشی ١٠٣
٢-٩-٥-رفتار برشی ١٠٥

**فصل ششم-گزینه‌های مدل سازی**

١-٦-انتخاب نرم افزار ١٠٨

۲-٦-معرفی نرم‌افزار ANSYS ۱۰۹
۳-٦-ساختار کلی نرم‌افزار ۱۰۹
٤-٦-مفهوم زمان ۱۱۰
۱-٤-٦-گام بارگذاری، ریزگام و گام زمانی ۱۱۰
٥-٦-تحلیل دینامیکی ۱۱۱
٦-٦-تحلیل غیر خطی ۱۱۳
۱-٦-٦-بارگذاری تدریجی و تحلیل تکراری برای حصول تعادل ۱۱٥
۲-٦-٦-تلورانس‌های همگرایی ۱۱٦
۳-٦-٦-تعیین خودکار گام زمانی ۱۱٦
٤-٦-٦-عدم همگرایی، مشکلات تحلیل غیرخطی ۱۱۷
۷-٦-رفتار اعضای بتن مسلح ۱۱۸
۱-۷-٦-تحلیل گسیختگی تدریجی ۱۱۹
۲-۷-٦-مدل‌سازی اساسی بتن مسلح ۱۲۰
۸-٦-المان مورد استفاده برای مدل‌سازی با ANSYS ۱۲۰
۱-۸-٦-المان Solid 65 ۱۲۰
۲-۸-٦-المان Beam 24 ۱۲۳
۳-۸-٦-المان (Structural Mass)MASS21 ۱۲۳

**فصل هفتم-تشریح مدلها و نتایج تحلیلها**

۱-۷-روش پژوهش ۱۲۹
۱-۱-۷-سیستم‌های مقاوم انتخابی ۱۲۹
۲-۱-۷-بارگذاری لرزه‌ای ۱۲۹
۳-۱-۷- نحوهٔ مدل‌سازی سازه‌ها ۱۳۰
۲-۷-تشریح مدلها ونتایج آنالیزها ۱۳۱
۱-۲-۷-مقدمه ۱۳۱
۱-۱-۲-۷-روش گام به گام وعملی محاسبهٔ پارامترهای لرزه‌ای ۱۳۲
۲-۱-۲-۷-محاسبهٔ میرایی سازه ۱۳٤
۲-۲-۷-مدل *A* ۱۳٤
۳-۲-۷-مدل B ۱٤۲
٤-۲-۷-مدل C ۱٤٦

۵-۲-۷-مدل $D$ ۱۵۶
۶-۲-۷- نتایج مقایسه‌ای پارامترهای لرزه‌ای دوسیستم ۱۶۰
**فصل هشتم-نتیجه‌گیری و پیشنهادات**

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**

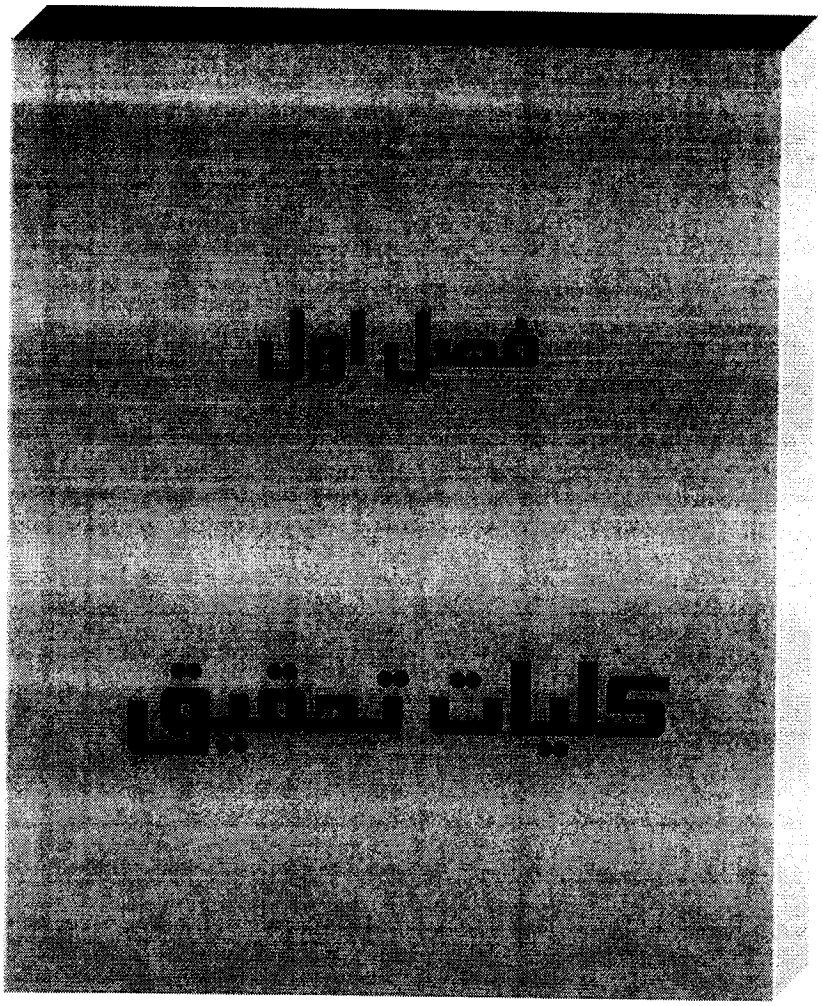

شکل ۱-۱- المان مرزی فولادی که قسمتی از آن محصور شده است ٤
شکل ۱-۲- المان مرزی مرکب ٥
شکل ۱-۳- دیوار بتن‌آرمه با تیرهای اتصال فولادی ٥
شکل ۱-٤- دیوارهای بتن‌آرمه با تیرهای اتصال فولادی با اعضای مرزی مرکب ٦
شکل ۱-٥- دیوارهای بتن‌آرمه با مقطع فرورفته در مرزهای دیوار ۸
شکل ۲-۱- تیر سادهٔ بتن‌آرمه تحت اثر بار قائم افزایشی ۱۸
شکل ۲-۲- نمودار عمومی تغییرات کرنش در یک مقطع در اثر خمش ۱۹
شکل ۲-۳- دیاگرام اندرکنش خمش-نیروی محوری ۱۹
شکل ۲-٤- قاب باسه درجهٔ نامعینی تحت اثربارگذاری افزایشی ومنحنی برش پایه-تغییر مکان ۲۰
شکل ۲-٥- منحنی‌های شماتیک برش پایه-تغییرمکان برای سازهٔ شکل‌پذیروسازهٔغیرشکل‌پذیر ۲۲
شکل ۲-٦- منحنی رفتار غیر الاستیک سازه ۲۳
شکل ۲-۷- تعریف ضریب شکل‌پذیری ۲٥
شکل ۲-۸-تعریف تغییر شکل تسلیم ۲٥
شکل ۲-۹- بازتاب سازه با یک درجهٔ آزادی برای شکل‌پذیرهای مختلف ۲٦
شکل ۲-۱۰- کاهش درنسبت شکل‌پذیری موردنیاز باافزایش حدتسلیم یامقاومت یک سازه ۲۸
شکل ۲-۱۱- تاثیر حد تسلیم بر شکل‌پذیری مورد نیاز ۲۸
شکل ۲-۱۲- نسبت شکل‌پذیری چرخشی بر حسب چرخش مطلق بیشینه ۲۹
شکل ۲-۱۳- سیستم یک درجهٔ آزادی تحت اثرارتعاش زمین ۳۱
شکل ۲-۱٤- پاسخ سازه‌های ایده‌ال و حقیقی به زلزله ۳۲
شکل ۲-۱٥- شمای کلی یک حلقهٔ هیسترسیس ۳۲
شکل ۲-۱٦- نمودار برش پایه-جابجایی (هیسترسیس) ۳۳
شکل ۲-۱۷- سازهٔ یک درجهٔ آزادی تحت اثر بار رفت‌وبرگشتی ۳٥
شکل ۲-۱۸-کاهش در اثر بارهای رفت‌وبرگشتی ۳۷
شکل ۲-۱۹- رفتار سازه‌ها تحت بار افقی دوره‌ای صعودی ۳۸
شکل ۲-۲۰- منحنی‌های رفتار الاستیک و غیر الاستیک سازه ها ٤۳

شکل ۲-۲۱- اثر زمان تناوب بر ضریب رفتار سیستم یک درجهٔ آزادی ۴۸
شکل ۲-۲۲- رابطهٔ ضریب رفتار ناشی از شکل‌پذیری و ضریب اضافه مقاومت ۴۹
شکل ۲-۲۳- فرضیهٔ برابری تغییر مکان‌ها و فرضیهٔ برابری انرژی جذب‌شده ۵۰
شکل ۲-۲۴- رفتار سیستم‌های سخت و رفتار سیستم‌های نرم ۵۱
شکل۳-۱-روابط بار-تغییر مکان قاب خمشی تحت بار قائم ثابت وبار افقی صعودی ۵۹
شکل۳-۲-تغییرشکل ناشی از خمش طره ای ۶۰
شکل۳-۳-روابط بارافقی-تغییر مکان برای قاب های پرتال ۶۱
شکل۳-۴-تغییرشکل ناحیهٔ پانلی ۶۳
شکل۳-۵-نمایی از اشکال مختلف قاب مهاربندی شده ۶۴
شکل۳-۶-نمودار هیستر سیس قاب های CBF ۶۵
شکل۳-۷-انواع بادبند های همگرا ۶۶
شکل۳-۸-شمایی از مهاربندی با اعضای خارج از محور (OBS) ۶۷
شکل۳-۹-شمایی از مهاربندی با اعضای خارج از محور (OBS) ۶۸
شکل۳-۱۰- اشکال مختلف بادبند های واگرا ۶۹
شکل۳-۱۱-نمودار هیستر سیس قاب های EBF ۷۰
شکل۱-۴ - ترکهای قطری و رابطه نیرو-تغییر مکان برای دیوار کوتاه ۷۷
شکل۲-۴- حالات شکست برای یک دیوار برشی طره‌ای ۷۸
شکل۳-۴- رابطه نیرو – تغییر مکان برای یک دیوار برشی طره‌ای در شکست خمشی ۸۰
شکل۴-۴- توزیع کرنش در یک دیوار برشی ۸۰
شکل۵-۴- رابطهٔ نیرو- تغییر مکان برای یک قاب با بلند شدن پی ۸۲
شکل۶-۴- منحنی‌های گشتاور- انحناء به صورت تابعی از توزیع آرماتور ۸۴
شکل۷-۴- ناحیهٔ تشکیل لولا در پای یک دیوار سازه‌ای با اجزای مرزی ۸۴
شکل۸-۴- منحنی‌بار-انحراف برای نمونه‌ای که تحت بارگذاری یکنوا واقع شده است. ۸۷
شکل۹-۴- (الف) منحنی بار- انحراف تحت چرخه‌های بارگذاری باافزایش فزایندهٔ دامنه ۸۸
شکل۱۰-۴-تغییرات شکل پذیری چرخشی برحسب تنش برشی متوسط بیشینه ۸۹
شکل۱۱- ۴- بارگذاری اصلاح شده ۹۱
شکل۱۲-۴- مقایسهٔ رفتار دیوارهای مجزا تحت بارگذاری با تاریخچه‌های مختلف ۹۲
شکل۵-۱- نمونه‌هایی از ستونهای مختلط ۹۴
شکل ۵-۲-روابط همان- انحناء برای اعضای محصور شده ۱۰۳

شکل ۳-۵-روابط بین ممان و زاویهٔ دوران برای اعضاء محصور شده تحت برش ۱۰٤
شکل۵-٤- روابط بین ممان و زاویهٔ دوران برای تیر ستونهای بتن آرمه درشکست خمشی . ۱۰٤
شکل۵-۵-روابط نیروی برشی – زاویه دوران برای تیرستونهای محصورشده درشکست برشی ۱۰٦
شکل۵-٦-روابط نیروی برشی – زاویه دوران برای نیرستونهای بتن آرمه درشکست برشی ۱۰٦
شکل ٦-۱- گام بارگذاری، ریزگام ۱۱۱
شکل٦-۲- میرایی ریلی ۱۱۳
شکل٦-۳- مدلهای روابط تنش- کرنش مصالح ۱۱٤
شکل٦-٤- (الف) روش تکرار ساده ب) روش تکرار نیوتن – رافسون ۱۱۵
شکل٦-۵- رابطه بار–جابجایی یک عضو بتنی مسلح ۱۱۸
شکل٦-٦- المان سه بعدی بتن مسلح ۱۲۱
شکل٦-۷- المان Beam 24 ۱۲۳
شکل٦-۸ -المان Mass 21 ۱۲۵
شکل۷-۱- شتاب نگاشت السنترو ۱۳۰
شکل۷-۲- پلان مدل A ۱۳۵
شکل۷-۳- نمودارتغییرات جابجایی طبقات نسبت به زمان درحالت خطی برای مدلA ۱۳۸
شکل۷-٤- نمودارتغییرات جابجایی طبقات نسبت به زمان درحالت خطی برای مدلA ۱۳۹
شکل۷-۵- محل تشکیل مفصل پلاستیک در مدلA ۱٤۰
شکل۷-٦- نمایش ترکها دردیوارهاوالمانهای مرزی ۱٤۱
شکل۷-۷- نمایش ترک ها درمدلB ۱٤۵
شکل۷-۸- نمایی از مدل C ۱٤٦
شکل۷-۹- نمودارتغییرات جابجایی طبقات نسبت به زمان درحالت خطی برای مدلC ۱۵۰
شکل۷-۱۰- نمودارتغییرات جابجایی طبقات نسبت به زمان درحالت خطی برای مدلC ۱۵۱
شکل۷-۱۱- نمودارتغییرات جابجایی طبقات نسبت به زمان درحالت غیرخطی برای مدلC ۱۵۲
شکل۷-۱۲- نمودارتغییرات جابجایی طبقات نسبت به زمان درحالت غیرخطی برای مدلC ۱۵۳
شکل۷-۱۳- نمایش ترکها در دیوارها والمانهای مرزی در مدل C ۱۵٤
شکل۷-۱٤- نمایش ترکها در دیوارها والمانهای مرزی در مدل D ۱۵۸

## فهرست جداول


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| جدول ۱-۱-پروژه‌های تحقیقاتی روی سیستم های مرکب در آمریکا | ۷ |
| جدول ۱-۲-پروژه‌های تحقیقاتی روی سیستم های مرکب در ژاپن | ۹ |
| جدول ۲-۱- ضریب‌رفتار،ضریب اضافه مقاومت ومحدودیت ارتفاع مطابق UBC97 | ۵۵ |
| جدول ۲-۲- ضریب رفتاروضریب افزایش تغییر مکان در AISC | ۵٦ |
| جدول ٦-۱- خلاصهٔ ورودی المان beam 24 | ۱۲٦ |
| جدول ٦-۲- خلاصهٔ ورودی المان mass 21 | ۱۲۷ |
| جدول ۷-۱- مقایسه پریودها در مدل A | ۱۳٦ |
| جدول ۷-۲- مقادیر تغییر مکان‌ها و دوران‌ها در مدل A | ۱٤۰ |
| جدول ۷-۳- مقادیر تغییر مکان‌ها و دوران‌ها در مدل B | ۱٤٤ |
| جدول ۷-٤- مقایسه پریودها در مدل C | ۱٤۷ |
| جدول ۷-۵- مقادیر تغییر مکان‌ها و دوران‌ها در مدل C | ۱٤۹ |
| جدول ۷-٦- مقادیر تغییر مکان‌ها و دوران‌ها در مدل D | ۱۵۸ |
| جدول ۷-۷ - پارامترهای لرزه‌ای برای مدلهای چهار طبقه | ۱٦۰ |
| جدول ۷-۸ - پارامترهای لرزه‌ای برای مدلهای هفت طبقه | ۱٦۰ |


فصل اول
کلیات تحقیق