

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده‌ی فنی - مهندسی  
گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله

**عنوان:**

**بررسی رفتار لرزه‌ای برج‌های خنک‌کن بتنی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی**

استاد راهنما:

دکتر محتشم محبی

استاد مشاور:

دکتر کاظم شاکری

پژوهشگر:

علیرضا خادم‌علما

شهریور 1393

## تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب علیرضا خادم علما دانش‌آموخته‌ی مقطع **کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران** گرایش زلزله دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی 9044463109 که در تاریخ 93/06/16 از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان: بررسی رفتار لرزه ای برج های خنک کن بتنی نیروگاه های سیکل ترکیبی دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

- 1) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
- 2) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
- 3) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
- 4) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانت‌داری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مأخذ ذکر نموده‌ام.
- 5) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّآوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
- 6) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
- 7) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: علیرضا خادم علما

امضا

تاریخ



دانشکده‌ی فنی - مهندسی

گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله

**عنوان:**

**بررسی رفتار لرزه ای برج های خنک کن بتنی نیروگاه های سیکل ترکیبی**

پژوهشگر:

علیرضا خادم علما

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان نامه با درجه‌ی بسیار خوب

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر محتشم محبی	دانشیار	استاد راهنما و رئیس کمیته‌ی داوران	
دکتر کاظم شاکری	دانشیار	استاد مشاور	
دکتر هوشیار ایمانی	استادیار	داور	

شهریور 1393

تقدیم به :

خدای بزرگم

پدر و مادر بزرگوارم

همسر مهربانم

خواهر و خواهر زادگان عزیزم

دوستان و همکاران صمیمی و با وفایم

و کلیه کسانی که در انجام این پایان نامه یاری ام نمودند.

## قدردانی و تشکر:

از بیان سپاس بی انتهایم به استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محتشم محبی به خاطر تمام زحمات دلسوزانه ای، که با متانت و شخصیت مثال زدنی صرف شاگردان خود نمودند، زبانم قاصر و کلماتم ناقص می باشند و هرگز نمی توانم پاسخگوی محبت بی دریغ ایشان باشم.

همچنین از همفکری و راهنمایی جناب آقای دکتر کاظم شاکری که در درک مفاهیم زلزله و اثرات آن بر سازه ها کمک شایانی به اینجانب نمودند، تشکر می نمایم. بدون شک بدون مساعدت های عملی و روحی این دو استاد بزرگوارم، انجام این پژوهش برایم میسر نبود.

و در پایان لازم می دانم از کمک های بی دریغ و صمیمانه دوست و همکار دانشمندم جناب آقای مهندس محمدرضا مینوپور سپاسگزاری نمایم.

نام خانوادگی دانشجو: خادم علما	نام: علیرضا
عنوان پایان‌نامه:	
بررسی رفتار لرزه ای برج های خنک کن بتنی نیروگاه های سیکل ترکیبی	
استاد (اساتید) راهنما: دکتر محترم محبی	
استاد (اساتید) مشاور: دکتر کاظم شاکری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
گرایش: زلزله	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ دفاع: 9/06/16
	تعداد صفحات: 133
چکیده:	
<p>برج های خنک کننده در نوع خود از بزرگترین سازه های پوسته ای دنیا می باشند. این سازه ها بعلت نقش برجسته ای که در نیروگاه بر عهده دارند، توسط آیین نامه ها در گروه سازه های ویژه دسته بندی می گردند. بیش از یک قرن از احداث اولین برج خنک کننده در سطح جهان می گذرد. با توجه به اهمیت این گونه سازه ها، شناخت دقیق رفتار آنها در برابر بارهای وارده، خصوصا بار زلزله بسیار مهم می باشد.</p> <p>هدف از این پایان نامه بررسی دقیق رفتار لرزه ای برجهای خنک کننده بتنی هذلولی شکل می باشد. در این تحقیق یک برج خنک کن به صورت نمونه (نیروگاه سیکل ترکیبی سندنج) که بر اساس آیین نامه های رایج، آنالیز و طراحی شده (2800) مورد بررسی رفتار واقعی سازه در پاسخ به تحریکات لرزه ای زمین، قرار می گیرد. بدین منظور آنالیزهای دینامیکی خطی مودال و پس از آن آنالیز دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی و در نهایت آنالیز استاتیکی غیر خطی (پوش اور) بر روی سازه انجام می گردد که نتیجه آن بررسی رفتار لرزه ای و شناخت روند تشکیل مفاصل پلاستیک در این نوع از سازه ها می باشد.</p> <p>همچنین سیر تغییر و تحول ضریب رفتار (R)، نیاز به بررسی بیشتر رفتار غیر خطی در این سازه ها را موجب گردید. بدین منظور ضریب رفتار از طریق آنالیزهای تاریخچه زمانی و تحلیل پوش اور محاسبه شد.</p> <p>نتایج به وضوح حاکی از آن بودند که هرچقدر مفاصل پلاستیک در بادبند های سازه به جای محل تقاطع در انتهای اعضای بادبندی تشکیل گردند، شکل پذیری سازه افزایش می یابد و بادبندهای سازه به صورت یک جداگر لرزه ای عمل کرده و وظیفه جذب و استهلاک نیروی زلزله را در سازه بر عهده می گیرند همچنین پس از محاسبه ضریب رفتار در حالت نهایی از دو روش آنالیز تاریخچه زمانی و پوش اور و مقایسه نتایج، مشاهده گردید ضریب رفتار بدست آمده از این دو روش در حدود 15 درصد اختلاف داشته و در صورت قبول این اختلاف، می توان با تقریب از روش پوش اور برای این نوع از سازه ها استفاده نمود.</p>	
کلید واژه‌ها: برجهای خنک کننده بتنی، رفتار لرزه ای، آنالیز های غیر خطی، ضریب رفتار لرزه ای (R)	

## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
---------------------	------

### فصل اول: کلیات پژوهش

1-1-1- مقدمه	2
2-1- اهداف و ضرورت بررسی رفتار لرزه ای برجهای خنک کننده بتنی	2
3-1- تشریح عملکرد و نقش برجهای خنک کننده بتنی در صنعت و تقسیم بندی آنها	3
1-3-1- عملکرد برجهای خنک کننده	3
2-3-1- اصول تقسیم بندی کلی برج های خنک کننده	4
3-3-1- انواع برج های خنک کننده بر اساس عملکرد	5
4-3-1- انواع برجهای خنک کننده براساس کاربرد صنعتی	5
5-3-1- انواع برجهای خنک کننده براساس مصالح ساخت	11
6-3-1- هزینه احداث برج ها و مقایسه آنها با یکدیگر	12
4-1- معرفی سازه ای برج خنک کننده بتنی هیپربولیک	13
1-4-1- چگونگی تعیین ابعاد هندسی برج	13
2-4-1- معرفی کلی اجزاء سازه ای یک برج خنک کننده بتنی هیپربولیک	14
5-1- پیشینه تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی لرزه ای برجهای خنک کننده بتنی	21
6-1- روش انجام پژوهش	24
7-1- ساختار پایان نامه	24

### فصل دوم: مفاهیم و قواعد اصلی در بررسی رفتار لرزه ای برج خنک کننده بتنی

1-2- مقدمه	26
2-2- معرفی آیین نامه اختصاصی آنالیز و طراحی برجهای خنک کننده بتنی (VGB)	26
3-2- اصول و روش تعیین پارامترهای آنالیز و طراحی برجهای خنک کننده بتنی در برابر زلزله	28
4-2- کلیات و تشریح فلسفه و نحوه آنالیز دینامیکی خطی مودال (MODAL ANALYSIS)	30
5-2- کلیات و تشریح فلسفه و نحوه آنالیز دینامیکی غیر خطی به روش تاریخچه زمانی (TIME-HISTORY ANALYSIS)	31
1-5-2- مقدمه	31



## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
2-5-2- تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی .....	31
3-5-2- ساختمان های چند طبقه غیر الاستیک .....	36
4-5-2- انتخاب شتابنگاشت .....	38
2-5-6- تاریخچه جابجایی بام و برش پایه .....	38
2-6-6- کلیات و تشریح فلسفه و نحوه آنالیز استاتیکی غیر خطی (پوش اور) (PUSH-OVER ANALYSIS) .....	39
2-6-1- هدف از تحلیل پوش اور .....	39
2-6-2- مفهوم آنالیز پلاستیک .....	39
2-6-3- تشریح مراحل انجام شده در تحلیل پوش اور .....	40
2-6-4- ضریب رفتار .....	41
2-6-5- مقایسه روش های محاسبه ضریب رفتار .....	49
2-6-6- شکل پذیری سازه .....	50
2-6-7- تعریف تغییر شکل تسلیم یا جاری شدن .....	50
2-6-8- تعریف حداکثر تغییر شکل نهایی .....	51
2-6-9- رابطه شکل پذیری، سختی و مقاومت سازه .....	52
2-6-10- رابطه شکل پذیری با $R_{\mu}$ .....	54
2-6-11- نیومارک وهال .....	54
2-6-12- کراوینکلر و نصر .....	56
2-6-13- میراندا و برترو .....	57
2-6-14- معرفی الگوی بار جانبی .....	۵۸
2-6-15- نتایج تحلیل پوش اور .....	۵۹

## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
فصل سوم: بررسی موردی رفتار لرزه ای یک برج خنک کننده بتنی هذلولی شکل به همراه ارایه محاسبات عددی	
1-3-1- مقدمه	61
2-3-2- تحلیل و طراحی یک برج خنک کننده بتنی به روش متداول آیین نامه ای روز دنیا	61
1-2-3-1- مشخصات سیستم سازه ای مدل مورد بررسی	61
2-2-3-2- مشخصات مصالح مصرفی	62
3-2-3-3- مبانی و معیارهای طراحی	64
1-3-2-3-1- آیین نامه های بارگذاری و طراحی	64
2-3-2-3-2- بارگذاری برج	64
3-3-2-3-3- ترکیبات بارگذاری	68
4-2-3-4- تحلیل برج خنک کننده بتنی	69
5-2-3-5- نتایج تحلیل	69
6-2-3-6- طراحی برج خنک کننده بتنی	70
1-6-2-3-1- مقدمه	70
2-6-2-3-2- طراحی پوسته	71
3-6-2-3-3- طراحی ستونها	75
4-6-2-3-4- طراحی فونداسیون	77
3-3-3-3- تحلیل دینامیکی برج خنک کننده بتنی	82
1-3-3-1- نتایج تحلیل دینامیکی مودال	82
1-1-3-3-1- پرپود اصلی سازه	82
2-1-3-3-2- اشکال مودی و درصد مشارکت جرمی هر مود	83
2-3-3-2- تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی	87
1-2-3-3-1- تعداد رکورد مورد استفاده شده	87
2-2-3-3-2- مقیاس کردن شتابنگاشت ها	89

## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
3-2-3-3- میانگین گیری از 3 طیف پاسخ شتاب ترکیب شده	91
4-2-3-3- نتایج تاریخچه جابجایی بام و برش پایه برای شتابنگاشتهای مختلف	92
5-2-3-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار ناشی از تحلیل تاریخچه زمانی	99
1-5-2-3-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار شتابنگاشت السنترو	99
2-5-2-3-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار شتابنگاشت طبس	102
3-5-2-3-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار شتابنگاشت کوبه	105
6-2-3-3- نتیجه گیری	108
4-3- تحلیل استاتیکی غیر خطی	109
1-4-3- نتایج تحلیل پوش اور	109
2-4-3- کنترل مفاصل پلاستیک ایجاد شده	109
3-4-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار ناشی از بارگذاری جانبی مودی	110
1-3-4-3- محاسبه ضریب رفتار برج ناشی از بارگذاری جانبی مودی بر اساس دو روش نیومارک- هال و کراوینکلر-نصر	114
4-4-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار ناشی از بارگذاری جانبی یکنواخت یا جرمی	115
1-4-4-3- محاسبه ضریب رفتار برج ناشی از بارگذاری جانبی یکنواخت یا جرمی بر اساس دو روش نیومارک-هال و کراوینکلر-نصر	118
5-4-3- نتایج تحلیل و محاسبه ضریب رفتار ناشی از بارگذاری جانبی استاتیکی (مثلثی وارونه)	119
1-5-4-3- محاسبه ضریب رفتار برج ناشی از بارگذاری جانبی استاتیکی بر اساس دو روش نیومارک-هال و کراوینکلر-نصر	122
6-4-3- مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل برج تحت اثر سه نوع بارگذاری مختلف	123
7-4-3- نتیجه گیری	124
<b>فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>	
1-4- مقدمه	126
2-4- نتیجه گیری نهایی	126
3-4- پیشنهاد برای زمینه های مطالعاتی آینده	128

## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
- منابع و ماخذ .....	129
- فهرست جداول .....	و
- فهرست اشکال .....	ط

## فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
--------------------	------

### فصل دوم: مفاهیم و قواعد اصلی در بررسی رفتار لرزه ای برج خنک کننده بتنی

جدول 2-1: ضرایب تشدید و ترکیب بارها	27
جدول 2-2: ضرایب تقلیل مقاومت مصالح	27
جدول 2-3: ضریب برش پایه مدل‌ها	57

### فصل سوم: بررسی موردی رفتار لرزه ای یک برج خنک کننده بتنی هذلولی شکل به همراه ارایه

#### محاسبات عددی

جدول 3-1: مشخصات بتن مصرفی	63
جدول 3-2: جدول طراحی آرماتورهای افقی پوسته	73
جدول 3-3: جدول طراحی آرماتورهای عمودی (نصف النهاری) پوسته	74
جدول 3-4: نتایج تحلیل مودال برج خنک کننده بتنی (30 مود)	82
جدول 3-5: رکوردهای مورد استفاده در پایان نامه	87
جدول 3-6: محاسبه ضریب اصلاح شتابنگاشت‌ها	92
جدول 3-7: مقادیر جابجایی بام تحت زلزله السنترو	93
جدول 3-8: مقادیر برش پایه برج تحت زلزله السنترو	94
جدول 3-9: مقادیر جابجایی بام تحت زلزله طبس	95
جدول 3-10: مقادیر برش پایه برج تحت زلزله طبس	96
جدول 3-11: مقادیر جابجایی بام تحت زلزله کوبه	97
جدول 3-12: مقادیر برش پایه برج تحت زلزله کوبه	98
جدول 3-13: مقادیر عددی متناظر با آستانه جاری شدن و آستانه گسیختگی	100
جدول 3-14: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش نیومارک و هال	101
جدول 3-15: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش کراوینکلر و نصر	101
جدول 3-16: محاسبه ضریب رفتار برج تحت زلزله السنترو	101

## فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول 3-17: مقادیر عددی متناظر با لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی	103
جدول 3-18: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش نیومارک و هال	104
جدول 3-19: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش کراوینکلر و نصر	104
جدول 3-20: محاسبه ضریب رفتار برج تحت زلزله طبس	104
جدول 3-21: مقادیر عددی متناظر با لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی	106
جدول 3-22: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش نیومارک و هال	107
جدول 3-23: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش کراوینکلر و نصر	107
جدول 3-24: محاسبه ضریب رفتار برج تحت زلزله کوبه	107
جدول 3-25: خلاصه نتایج محاسبه ضریب رفتار برج ناشی زلزله‌های مختلف	109
جدول 3-26: تعداد گام‌ها و نتایج مربوط به منحنی Pushover ناشی از بارگذاری جانبی مودی	111
جدول 3-27: مقادیر عددی متناظر با لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی	112
جدول 3-28: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش نیومارک و هال	114
جدول 3-29: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش کراوینکلر و نصر	114
جدول 3-30: محاسبه ضریب رفتار برج تحت بارگذاری جانبی مودی	114
جدول 3-31: تعداد گام‌ها و نتایج مربوط به منحنی Pushover ناشی از بارگذاری جانبی یکنواخت یا جرمی	115
جدول 3-32: مقادیر عددی متناظر با لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی	116
جدول 3-33: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش نیومارک و هال	118
جدول 3-34: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش کراوینکلر و نصر	118
جدول 3-35: محاسبه ضریب رفتار برج تحت بارگذاری یکنواخت یا جرمی	118
جدول 3-36: تعداد گام‌ها و نتایج مربوط به منحنی Pushover ناشی از بارگذاری جانبی استاتیکی (مثلثی وارونه)	119
جدول 3-37: مقادیر عددی متناظر با لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی	120
جدول 3-38: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش نیومارک و هال	122

## فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول 3-39: فرمول‌های محاسبه ضریب رفتار به روش کراوینکلر و نصر	122
جدول 3-40: محاسبه ضریب رفتار برج تحت بارگذاری جانبی استاتیکی (مثلثی وارونه)	122
جدول 3-41: خلاصه نتایج محاسبه ضریب رفتار برج ناشی از بارگذاری‌های جانبی مختلف	124

## فهرست شکل ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
-------------------	------

### فصل اول: کلیات پژوهش

- شکل 1-1: تقسیم بندی کلی برجهای خنک کننده ..... 4
- شکل 2-1: تقسیم بندی برجهای خنک کننده بر اساس عملکرد ..... 5
- شکل 3-1: انواع برج های خنک کننده با کوران طبیعی ..... 6
- شکل 4-1: برج خنک کننده جریان معکوس با کوران دمشی ..... 7
- شکل 5-1: برج خنک کننده جریان معکوس مکشی ..... 7
- شکل 6-1: برج خنک کننده جریان متقاطع مکشی ..... 8
- شکل 7-1: برج خنک کننده جریان متقاطع مکشی تک جریانه ..... 8
- شکل 8-1: برج خنک کننده جریان متقاطع مکشی جریان دوگانه ..... 9
- شکل 9-1: برج خنک کننده جریان متقاطع مکشی دایره ای ..... 9
- شکل 10-1: برج خنک کننده جریان معکوس مکشی هشت ضلعی ..... 10
- شکل 11-1: برج خنک کننده با کوران طبیعی به کمک فن ..... 10
- شکل 12-1: تقسیم بندی برجهای خنک کننده بر اساس مصالح ساخت ..... 12
- شکل 13-1: اجزای کلی سازه ای یک برج خنک کننده ..... 14
- شکل 14-1: جزییات اجزا غیر سازه ای یک برج خنک کننده ..... 15
- شکل 15-1: پلان فونداسیون دایره ای برج ..... 16
- شکل 16-1: مقطع فونداسیون دایره ای برج ..... 17
- شکل 17-1: نمایی از چیدمان ستونهای ضربدری برج ..... 18
- شکل 18-1: مقاطع مختلف از کلافهای تقویتی برج خنک کننده ..... 19
- شکل 19-1: نمایش پارامترهای هندسی شکل برج خنک کن ..... 20



## فهرست شکل ها

صفحه

شماره و عنوان شکل

### فصل دوم: مفاهیم و قواعد اصلی در بررسی رفتار لرزه ای برج خنک کننده بتنی

- شکل 2-1: توصیف گرافیکی آنالیز تاریخچه پاسخ مودال سیستم چند درجه آزادی الاستیک ..... 36
- شکل 2-2: طیف نیروهای وارد بر سازه در دو حالت ارتجاعی و غیر ارتجاعی ..... 43
- شکل 2-3: رفتار کلی یک سازه متعارف ..... 44
- شکل 2-4: مدل رفتاری ساده شده برای سیستم یک درجه آزادی ..... 48
- شکل 2-5: تعریف شکل پذیری در منحنی Pushover ..... 50
- شکل 2-6: تعریف تغییر شکل تسلیم یا جاری شدن در منحنی Pushover ..... 51
- شکل 2-7: تعریف تغییر شکل نهایی در منحنی Pushover ..... 52
- شکل 2-8: رابطه شکل پذیری و مقاومت سازه ..... 53
- شکل 2-9: رابطه نیومارک وهال برای  $R_{\mu}-\mu-T$  ..... 54
- شکل 2-10: رفتار الاستیک و غیر الاستیک سازه های کوتاه با  $T < 0.5 \text{sec}$  ..... 55
- شکل 2-11: رفتار الاستیک و غیر الاستیک سازه های بلند با  $T > 1 \text{sec}$  ..... 56
- شکل 2-12: رابطه کراوینکلر و نصر برای  $R_{\mu}-\mu-T$  ..... 57
- شکل 2-13: مقایسه ضرایب کاهش بر اثر شکل پذیری ..... 58
- شکل 2-14: الگوهای متفاوت بار جانبی ..... 58

### فصل سوم: بررسی موردی رفتار لرزه ای یک برج خنک کننده بتنی هذلولی شکل به همراه ارایه

#### محاسبات عددی

- شکل 3-1: نحوه آرماتور گذاری شعاعی و نصف النهاری پوسته برج ..... 62
- شکل 3-2: نمودار توزیع باد در سطح پوسته در جهت محیطی برج ..... 67
- شکل 3-3: بارهای حرارتی موثر در برج خنک کننده ..... 68
- شکل 3-4: نمودار توزیع اثرات زلزله در جهت های مختلف محیطی برج ..... 71

## فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل 3-5: مقطع طراحی پوسته برج .....	72
شکل 3-6: مقطع طراحی ستون ضربداری برج .....	75
شکل 3-7: مقطع طراحی فونداسیون دایره ای برج .....	78
شکل 3-8: نمایش مود پایه ای (1)، مود جانبی (2)، مود محیطی (3) .....	83
شکل 3-9: نمایش پلان های 30 مود ارتعاشی برج خنک کننده بتنی .....	84
شکل 3-10: نمایش پلان های 30 مود ارتعاشی برج خنک کننده بتنی .....	85
شکل 3-11: نمایش پلان های 30 مود ارتعاشی برج خنک کننده بتنی .....	86
شکل 3-12: شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی (L) زلزله السنترو .....	87
شکل 3-13: شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی (T) زلزله السنترو .....	87
شکل 3-14: شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی (L) زلزله کوبه .....	88
شکل 3-15: شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی (T) زلزله کوبه .....	88
شکل 3-16: شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی (L) زلزله طبس .....	88
شکل 3-17: شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی (T) زلزله طبس .....	88
شکل 3-18: طیف رکوردهای زلزله السنترو .....	89
شکل 3-19: طیف رکوردهای زلزله طبس .....	90
شکل 3-20: طیف رکوردهای زلزله کوبه .....	90
شکل 3-21: میانگین‌گیری از 3 طیف پاسخ شتاب ترکیب شده .....	91
شکل 3-22: مقایسه و همپایه کردن طیف متوسط با طیف استاندارد .....	92
شکل 3-23: نمایش جابجایی لحظه ای بام تحت زلزله السنترو .....	93
شکل 3-24: نمایش برش پایه لحظه ای برج تحت زلزله السنترو .....	94
شکل 3-25: نمایش جابجایی لحظه ای بام تحت زلزله طبس .....	95
شکل 3-26: نمایش برش پایه لحظه ای برج تحت زلزله طبس .....	96
شکل 3-27: نمایش جابجایی لحظه ای بام تحت زلزله کوبه .....	97
شکل 3-28: نمایش برش پایه لحظه ای برج تحت زلزله کوبه .....	98
شکل 3-29: نمودار برش پایه به جابجایی برج تحت زلزله السنترو .....	99

## فهرست شکل ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل 3-30: نمایش نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در آستانه جاری شدن و آستانه گسیختگی.....	100
شکل 3-31: نمودار برش پایه به جابجایی برج تحت زلزله طبس .....	102
شکل 3-32: نمایش نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در آستانه جاری شدن و آستانه گسیختگی.....	103
شکل 3-33: نمودار برش پایه به جابجایی برج تحت زلزله کوبه .....	105
شکل 3-34: نمایش نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در آستانه جاری شدن و آستانه گسیختگی.....	106
شکل 3-35: مفهوم رنgebندی مفاصل ایجاد شده در نرم افزار SAP2000 .....	110
شکل 3-36: نمودار برش پایه به جابجایی برج تحت بارگذاری جانبی مودی .....	112
شکل 3-37: نمایش نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی.....	113
شکل 3-38: نمودار برش پایه به جابجایی برج تحت بارگذاری یکنواخت یا جرمی .....	116
شکل 3-39: نمایش نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی.....	117
شکل 3-40: نمودار برش پایه به جابجایی برج تحت بارگذاری جانبی استاتیکی (مثلثی وارونه).....	120
شکل 3-41: نمایش نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در لحظه جاری شدن و لحظه گسیختگی.....	121
شکل 3-42: مقایسه منحنی های Pushover برج ناشی از سه نوع بارگذاری مختلف .....	123

# فصل اول:

## کلیات پژوهش