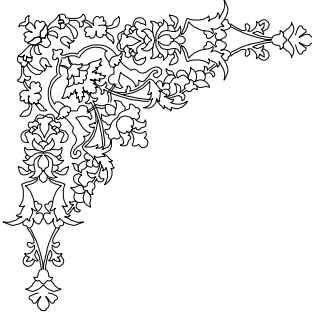




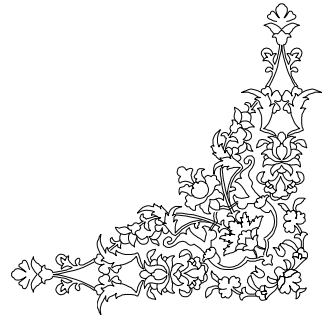
تقدیم بہ:

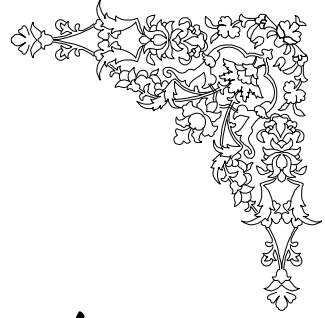
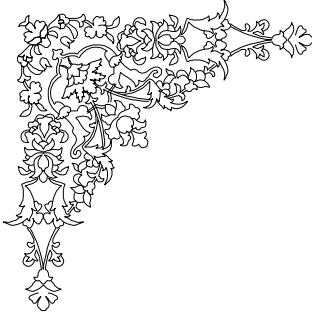
پدر

مادر

و ہمسر

محمد رضا تابش پور

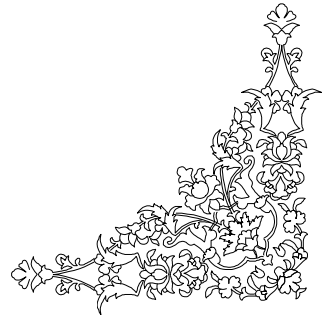
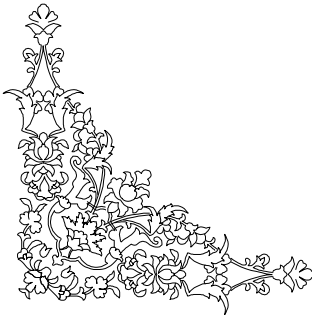




باساس فراوان از زحمات مادرم

تقدیم بہ روان پاک پدرم

سید فرید قماری



سخن مؤلف اول

یکی از راه‌های مهم برای افزایش درک و عمق نگرش دانشجویان و مهندسان، طرح و حل مسائل مفهومی و کاربردی است. در برخورد با مسائل، قدرت تفکر و خلاقیت افزایش پیدا می‌کند. کتاب مبتنی بر مسأله باید خواننده را به تفکر وادارد و او را تشویق کند که دانسته‌های خود را تکمیل‌تر کند. چنین منبعی می‌تواند علاوه بر استفاده‌های آموزشی در دانشگاه، مورد استفاده‌ی مهندسان نیز قرار گیرد. به‌منظور انجام وظیفه در راستای این رسالت، اینجانب بر آن شدم تا بر اساس دستاوردهای مهندسی زلزله و با توجه به تجربیات مربوط به زلزله‌های گذشته، دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» را به جامعه‌ی مهندسی عمران و معماری کشور تقدیم کنم. این دوره شامل مجموعه‌ی نسبتاً کاملی از مطالب علمی این زمینه است. کتاب حاضر هفتمین کتاب از این سری بوده و در شش فصل تدوین شده است. ترکیب‌بندی ارائه‌شده در این کتاب برای اولین بار صورت گرفته است. در فصل اول فرض بر این است که خواننده به‌طور مقدماتی با نرم افزارهای Bispec و Nonlin آشنا است. این آشنایی در کلاس درس و یا به‌طور خودآموز صورت می‌گیرد. در فصل دوم، مسائل سیستم‌های چنددرجه‌آزادی ارائه شده است. برای آشنایی بیشتر می‌توان به «دستنامه‌های ۲ و ۴» مراجعه کرد. مسائل مفهومی و کاربردی دیوارهای پرکننده در فصل سوم آورده شده است. پیشنهاد می‌شود این فصل با دقت خاصی بررسی شود. قبل از مطالعه‌ی این فصل بهتر است «دستنامه‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰» مطالعه شود. اثر پی-دلتا با نگرش مفهومی و نرم‌افزاری در فصل چهارم ارائه شده است. این فصل دید خوبی به طراحان سازه می‌دهد. برای آگاهی با مفاهیم مربوطه می‌توان به «دستنامه‌ی ۸» مراجعه کرد. در فصل پنجم، روش‌های کنترل سازه و مسائل مربوطه مورد تحلیل قرار گرفته است. تحلیل خطر لرزه‌ای به‌طور مفصل در فصل ششم آورده شده است. امید است این کتاب قسمتی از نیازهای جامعه‌ی دانشگاهی و مهندسی عمران کشور را برطرف کند.

از زحمات سرکار خانم طلیعه قمری در تکمیل صفحه‌آرایی و بازخوانی قسمت‌هایی از کتاب تشکر می‌گردد. سرکار خانم‌ها مونا سروری و زهره احتشام‌فر بازخوانی قسمت‌های عمده‌ای از کتاب را بر عهده داشتند که از زحمات ایشان صمیمانه تقدیر می‌شود. آقای محمد کرمی شاهنده کمک بی‌شائبه‌ای در فرآیند تولید این کتاب داشته‌اند. از لطف ایشان صمیمانه تشکر می‌شود. آقای رضا کرمی شاهنده علاوه بر مدیریت تولید انتشارات فدک ایستیس، تلاش‌های زیادی در راستای افزایش کیفیت چاپ کتاب و صفحه‌آرایی آن انجام

داده‌اند. آقای مجیدرضا زروئی مدیرعامل این انتشارات با دقت فراوانی فرآیند تولید کتاب را پی‌گیری می‌کنند؛ از حوصله و زحمات این عزیزان تقدیر می‌شود.

آقایان دکتر حمید طاهری شهرآیینی و دکتر علیرضا فتحی از اساتید برجسته‌ی کشور از هیچ کمکی به اینجانب دریغ نکرده‌اند. از همراهی و مساعدت صمیمانه خانوادهم صمیمانه تشکر می‌کنم. از مهندسان و صاحب‌نظران محترم خالصانه تقاضا دارم که بنده را مورد منت قرار داده و نظرات و پیشنهادات خود را به اینجانب اطلاع دهند، تا مورد نظر قرار گیرد.

برای تهیه‌ی نرم‌افزارهای MDOF ANALYZER و PSHA با یکی از مؤلفین تماس بگیرید.

برای اطلاعات بیشتر از کتب دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» به سایت **dastnameh.ir** مراجعه شود.

دکتر محمدرضا تابش‌پور

تهران، ۱۳۸۸

tabeshpour@yahoo.com

info@dastnameh.ir

dastnameh@yahoo.com

سخن مؤلف دوم

زندگی صحنه یکتای هنرمندی ماست،
هرکسی نغمه خود خواند و از صحنه رود،
صحنه پیوسته به جاست،
خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد!

به علت گستردگی موضوعی مبحث مهندسی زلزله، دروس مختلفی در دانشگاه‌های کشور تحت عناوین متفاوت به این موضوع می‌پردازند. دروسی نظیر مبانی مهندسی زلزله، مهندسی زلزله‌ی پیشرفته، دینامیک سازه‌ها، طراحی لرزه‌ای و کنترل سازه‌ها از آن جمله است. این گستردگی موضوعی باعث شده است تا کتب مختلفی در این زمینه تألیف و ترجمه شود که هر کدام از این مراجع می‌تواند اطلاعات بالارزشی را در اختیار علاقمندان قرار دهد. اما در میان همه‌ی منابع موجود، کمبود متنی که بتواند مباحث گوناگون مهندسی زلزله، نظیر تحلیل خطر، تحلیل سیستم‌های غیرخطی، اثرات دیوار پرکننده‌ی آجری و اثرات پی-دلتا، را به وسیله مثال‌های کاربردی ارائه دهد، به خوبی احساس می‌گردد. بی‌شک اکثر مدرسین و دانشجویان نیز با مؤلفین این کتاب هم عقیده هستند که میزان تأثیر آموزشی یک مثال، از تکرار مطالب تئوری به مراتب بالاتر است. البته زمانی مسائل عددی می‌توانند مؤثر باشند که پیش‌تر، خواننده با مفاهیم تئوری به خوبی آشنا باشد. بنابراین اینجانب هرگز مطالعه‌ی کتاب پیش‌روی را به عنوان جای‌گزین متن درسی پیشنهاد نکرده، بلکه تنها آن را مکملی در کنار کتب بالارزش و جامع موجود در این زمینه، می‌دانم. درواقع تلاش مؤلفین در این جلد، در راستای تهیه‌ی کتابی بوده است که بتواند مفاهیم پیشرفته‌ی مهندسی زلزله را در قالب مثال‌های کاربردی و ساده ارائه نماید. بنابراین امید است تا مثال‌های جمع‌آوری شده برای دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد و مهندسانی که با مفاهیم مهندسی زلزله پیشرفته آشنایی دارند، سودمند واقع شود.

اینجانب جهت تهیه‌ی بخشی از مسائل موجود در این کتاب، از تمرین‌های درسی که در دوران تحصیل از کارشناسی تا دکترا در دانشگاه صنعتی شریف گردآوری شده، استفاده نموده‌ام. از همین روی لازم است تا از همه‌ی اساتید گران قدری که در این مدت نسبتاً طولانی افتخار شاگردی آن‌ها را داشته و دارم، صمیمانه قدردانی نمایم. در این میان لازم می‌دانم عمیق‌ترین قدردانی خود را نسبت به استاد بزرگوارم جناب دکتر قناد ابراز نمایم. در پایان ضمن تشکر از

تمامی دوستانی که با نظرات خود در بهبود مطالب این کتاب مشارکت داشته‌اند، بی‌صبرانه در انتظار دریافت نظرات خوانندگان گرامی جهت بهبود مطالب کتاب و کاهش ایرادات موجود در آن می‌باشیم.

سید فرید قهاری

تهران، ۱۳۸۸

فهرست مطالب

فصل اول: ارتعاش غیرخطی سیستم‌های یک‌درجه آزادی و طیف پاسخ ۱

فصل دوم: پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی ۵۵

فصل سوم: مسائل دیوار پرکننده‌ی آجری ۹۵

فصل چهارم: اثر $P - \Delta$ ۱۳۵

فصل پنجم: کنترل سازه‌ها ۱۴۷

فصل ششم: تحلیل خطر لرزه‌ای ۱۹۵

پیوست‌ها ۲۴۹

پیوست اول: راهنمای نرم‌افزار MDOF Analyzer ۲۵۱

پیوست دوم: راهنمای نرم‌افزار PSHA ۲۶۳

پیوست سوم: کد مربوط به Program1 ۲۷۵

کد مربوط به Program2 ۲۷۶

کد مربوط به Program3 ۲۷۸

کد مربوط به Program4 ۲۸۱

فهرست شکل‌ها

۱-۱ تنظیمات ورودی انتخاب معیار ضریب رفتار (R) ثابت برای طیف‌های غیرالاستیک در نرم‌افزار Bispec ۳

۲-۱ انتخاب معیار ضریب رفتار (R) ثابت برای طیف‌های غیرالاستیک ۴

۳-۱ تنظیمات ورودی انتخاب معیار ضریب شکل‌پذیری (μ) یکسان برای طیف‌های غیرالاستیک ۴

۴-۱ انتخاب معیار شکل‌پذیری یکسان (μ) برای طیف‌های غیرالاستیک (با شکل‌پذیری یکسان) ۵

۵-۱ انتخاب معیار مقاومت همسان (η) برای طیف‌های غیرالاستیک (با مقاومت یکسان) ۵

۶-۱ انتخاب معیار شاخص خرابی (Damage Index) برای طیف‌های غیرالاستیک ۶

۷-۱ طیف‌های غیرالاستیک شتاب کل برای ضریب رفتارهای مختلف ۶

۸-۱ طیف‌های غیرالاستیک سرعت نسبی برای ضریب رفتارهای مختلف ۷

۹-۱ طیف‌های غیرالاستیک سرعت نسبی در مقیاس لگاریتمی برای ضریب رفتارهای مختلف ۷

۱۰-۱ طیف‌های غیرالاستیک جابه‌جایی نسبی برای ضریب رفتارهای مختلف ۸

۱۱-۱ منحنی شتاب طیفی بر حسب جابه‌جایی طیفی (منحنی نیاز) برای ضریب رفتارهای مختلف ۸

۱۲-۱ طیف شکل‌پذیری نیاز برای ضریب رفتارهای مختلف ۹

۱۳-۱ طیف ضریب γ (نسبت جابه‌جایی غیرالاستیک به جابه‌جایی الاستیک) برای ضریب رفتارهای مختلف ۹

۱۴-۱ طیف ضریب η (مقاومت همسان) برای ضریب رفتارهای مختلف ۱۰

۱۵-۱ طیف شتاب کل برای ضرایب مختلف شکل‌پذیری ۱۰

۱۶-۱ طیف شبه‌شتاب برای ضرایب مختلف شکل‌پذیری ۱۱

۱۷-۱ طیف جابه‌جایی نسبی برای ضرایب مختلف شکل‌پذیری ۱۱

۱۸-۱ منحنی شتاب طیفی بر حسب جابه‌جایی طیفی (منحنی نیاز) برای ضریب‌های مختلف شکل‌پذیری ۱۲

۱۹-۱ طیف ضریب γ (نسبت جابه‌جایی غیرالاستیک به جابه‌جایی الاستیک) برای ضریب‌های مختلف شکل‌پذیری ۱۲

۲۰-۱ طیف جابه‌جایی نسبی برای مقادیر مختلف شاخص خرابی ۱۳

۲۱-۱ طیف ضریب رفتار برای مقادیر مختلف شاخص خرابی ۱۳

۲۲-۱ طیف ضریب η (مقاومت همسان) برای مقادیر مختلف شاخص خرابی ۱۴

۲۳-۱ طیف ضریب γ (نسبت جابه‌جایی غیر الاستیک به جابه‌جایی الاستیک) برای مقادیر

مختلف شاخص خرابی ۱۴

۲۴-۱ تنظیمات ورودی ۱۵

۲۵-۱ تاریخچه‌ی زمانی پاسخ جابه‌جایی نسبی ۱۵

۲۶-۱ منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان ۱۶

۲۷-۱ تنظیمات ورودی ۱۶

۲۸-۱ تاریخچه‌ی زمانی جابه‌جایی نسبی، با شکل (۱-۲۵) مقایسه کنید. ۱۷

۲۹-۱ تنظیمات ورودی ۱۷

۳۰-۱ واگرایی پاسخ جابه‌جایی ۱۸

۳۱-۱ تنظیمات ورودی ۱۸

۳۲-۱ تاریخچه‌ی زمانی جابه‌جایی ۱۹

۳۳-۱ تنظیمات ورودی ۱۹

۳۴-۱ تاریخچه‌ی زمانی جابه‌جایی نسبی ۲۰

۳۵-۱ تنظیمات ورودی ۲۰

۳۶-۱ منحنی چرخه‌ای سیستم الاستیک-کاملاً پلاستیک ۲۱

۳۷-۱ تنظیمات ورودی ۲۱

۳۸-۱ منحنی چرخه‌ای سیستم با کاهندگی سختی ۲۲

۳۹-۱ تنظیمات ورودی ۲۲

۴۰-۱ منحنی چرخه‌ای ۲۳

۴۱-۱ تاریخچه‌ی زمانی پاسخ جابه‌جایی نسبی ۲۳

۴۲-۱ منحنی نیرو-تغییر مکان و سازه ۲۴

۴۳-۱ سختی (الف) و مقاومت (ب) ۲۴

۴۴-۱ مدل‌سازی سازه با پارامترهای مشخص و تحت زلزله‌ی نورثریج با شتاب بیشینه‌ی $0.35g$ ۲۵

۴۵-۱ جابه‌جایی نسبی، سرعت و شتاب سازه تحت زلزله‌ی نورثریج با شتاب بیشینه‌ی $0.35g$ ۲۶

۴۶-۱ جابه‌جایی نسبی، نیروی فنر (برش طبقه) و زمان‌های تسلیم ۲۷

۴۷-۱ منحنی نیروی فنر، نیروی میرایی و حاصل جمع نیروی فنر و میرایی بر حسب جابه‌جایی نسبی ۲۸

۴۸-۱ منحنی نیروی لختی ناشی از شتاب نسبی، نیروی لختی ناشی از شتاب مطلق و نیروی کل بر حسب

جابه‌جایی نسبی ۲۸

۴۹-۱ تاریخچه‌ی انرژی‌های مختلف (جنبشی، کرنشی، میرایی، چرخه‌ای و انرژی کل) ۲۹

۵۰-۱ نمایش پویای رفتار و پاسخ سازه در ثانیه‌ی ۴/۳۲ ۲۹

- ۵۱-۱ نمایش پویای رفتار و پاسخ سازه در ثانیه‌ی ۱۰/۴۴ ۳۰
- ۵۲-۱ نمایش پویای رفتار و پاسخ سازه در ثانیه‌ی ۱۸/۱۶ ۳۰
- ۵۳-۱ تنظیمات ورودی برنامه‌ی Nonlin ۳۱
- ۵۴-۱ منحنی نیروی فنر، نیروی میرایی و حاصل جمع نیروی فنر و میرایی بر حسب جابه‌جایی نسبی ۳۲
- ۵۵-۱ نمایش پویای رفتار و پاسخ سازه در ثانیه‌ی ۳/۸ (شروع تسلیم) ۳۲
- ۵۶-۱ نمایش پویای رفتار و پاسخ سازه در ثانیه‌ی ۴/۲۴ (جابه‌جایی بزرگ) ۳۳
- ۵۷-۱ نمایش پویای رفتار و پاسخ سازه در ثانیه‌ی ۸/۴۴ ۳۳
- ۵۸-۱ تنظیمات ورودی برنامه‌ی Nonlin ۳۴
- ۵۹-۱ جابه‌جایی نسبی، نیروی فنر (برش طبقه) و زمان‌های تسلیم ۳۵
- ۶۰-۱ منحنی نیروی فنر، نیروی میرایی و حاصل جمع نیروی فنر و میرایی بر حسب جابه‌جایی نسبی ۳۵
- ۶۱-۱ تاریخچه‌ی زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی زلزله‌ی لومپریتا ۳۶
- ۶۲-۱ تنظیمات ورودی Nonlin ۳۷
- ۶۳-۱ جابه‌جایی نسبی، نیروی فنر (برش طبقه) و زمان‌های تسلیم تحت زلزله‌ی لومپریتا ۳۸
- ۶۴-۱ منحنی نیروی فنر، نیروی میرایی و حاصل جمع نیروی فنر و میرایی بر حسب جابه‌جایی نسبی ۳۹
- ۶۵-۱ منحنی نیرو- تغییرمکان و سازه ۳۹
- ۶۶-۱ تنظیمات ورودی ۴۰
- ۶۷-۱ تاریخچه‌ی شتاب، سرعت و جابه‌جایی زلزله‌ی السنترو ۴۱
- ۶۸-۱ جابه‌جایی نسبی، نیروی فنر (برش طبقه) و زمان‌های تسلیم ۴۲
- ۶۹-۱ منحنی نیروی فنر، نیروی میرایی و حاصل جمع نیروی فنر و میرایی بر حسب جابه‌جایی نسبی ۴۳
- ۷۰-۱ تاریخچه‌ی انرژی‌های مختلف (جنبشی و کرنشی، میرایی، چرخه‌ای و انرژی کل) ۴۳
- ۷۱-۱ تعریف سیستم دوطبی در Nonlin ۴۴
- ۷۲-۱ انتخاب قاب خمشی برای تحلیل تحت بار زلزله ۴۵
- ۷۳-۱ تاریخچه‌ی شتاب، سرعت و جابه‌جایی زلزله‌ی السنترو ۴۶
- ۷۴-۱ تنظیمات مربوط به رفتار چرخه‌ای و نسبت میرایی ۴۷
- ۷۵-۱ مدل چرخه‌ای دوطبی ۴۷
- ۷۶-۱ منحنی چرخه‌ای (رفتار دوطبی دارای کرنش- سختی) ۴۸

- ۷۷-۱ مدل‌سازی رفتار چرخه‌ای چندخطی متقارن با pinching ۴۹
- ۷۸-۱ منحنی چرخه‌ای مربوط به رفتار چرخه‌ای چندخطی متقارن با pinching ۵۰
- ۷۹-۱ رفتار چرخه‌ای چندخطی متقارن با vertex ۵۱
- ۸۰-۱ منحنی چرخه‌ای مربوط به رفتار چرخه‌ای چندخطی متقارن با vertex ۵۱
- ۸۱-۱ مدل‌سازی رفتار چرخه‌ای هموار ۵۲
- ۸۲-۱ منحنی چرخه‌ای مربوط به رفتار چرخه‌ای هموار ۵۳
- ۱-۲ سازه‌ی دو طبقه ۵۷
- ۲-۲ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی رکورد السنترو ۵۹
- ۳-۲ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی پاسخ سیستم‌های یک‌درجه آزادی معادل مودهای سازه ۶۰
- ۴-۲ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابه‌جایی طبقات در مودهای مختلف ۶۱
- ۵-۲ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی برش طبقات در مودهای مختلف ۶۲
- ۶-۲ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی لنگر واژگونی طبقات در مودهای مختلف ۶۳
- ۷-۲ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی پاسخ طبقات در مودهای ۱ و ۲ به‌همراه پاسخ مجموع ۶۴
- ۸-۲ سازه‌ی دو طبقه‌ی خمشی ۶۵
- ۹-۲ سازه‌ی سه طبقه‌ی خمشی ۶۸
- ۱۰-۲ سازه‌ی سه طبقه‌ی خمشی ۷۲
- ۱۱-۲ برج طره‌ای ۷۶
- ۱۲-۲ شکل‌های مودی سازه ۷۷
- ۱۳-۲ سهم مودهای مختلف از تحریک پایه ۷۸
- ۱۴-۲ جابه‌جایی طبقات در مودهای مختلف تحت رکورد السنترو ۷۹
- ۱۵-۲ جابه‌جایی کلی طبقات تحت رکورد السنترو ۸۰
- ۱۶-۲ برش پایه‌ی سازه در مودهای مختلف ۸۰
- ۱۷-۲ نمایی از برنامه‌ی MDOF Analyzer جهت تحلیل ارتجاعی و غیرارتجاعی سازه‌های برشی ۸۵
- ۱۸-۲ نیروها (سمت راست) و برش (سمت چپ) طبقات در زلزله‌ی طبس با PGA واقعی ۸۶
- ۱۹-۲ سازه‌های سه طبقه‌ی برشی و خمشی ۹۱
- ۲۰-۲ نیروهای طبقات (سمت راست) و برش آن‌ها (سمت چپ) ۹۲
- ۱-۳ ستون کوتاه و دیوار پرکننده‌ی آجری کوتاه ۹۷
- ۲-۳ توزیع نیرو در ستون‌ها ۹۹

۳-۳ توزیع نیروی برشی و ممان در ستون مجاور دیوار پرکننده. به تمرکز برش و ممان در محل

تماس دیوار با قاب توجه شود ۱۰۱

۴-۳ تقابل بین دیوار و قاب ۱۰۲

۵-۳ قاب خالی، ستون کوتاه و دیوار پرکننده‌ی آجری کوتاه ۱۰۳

۶-۳ مقاطع اعضا ۱۰۴

۷-۳ قاب تحت بار جانبی ۱۰۴

۸-۳ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 1.49\text{ cm}$) ۱۰۴

۹-۳ دیاگرام نیروی محوری ۱۰۵

۱۰-۳ دیاگرام نیروی برشی ۱۰۵

۱۱-۳ دیاگرام ممان خمشی ۱۰۵

۱۲-۳ تعریف خصوصیات مصالح بنایی ۱۰۶

۱۳-۳ تعریف هندسه‌ی مقطع بادبند معادل (BRACE1) ۱۰۶

۱۴-۳ قاب دارای دیوار پرکننده ۱۰۷

۱۵-۳ مدل بادبند معادل یک‌عضوی دیوار پرکننده (ستون به ستون) ۱۰۷

۱۶-۳ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.28\text{ cm}$) ۱۰۷

۱۷-۳ دیاگرام نیروی محوری ۱۰۸

۱۸-۳ دیاگرام نیروی برشی، تمرکز برش در نقاط بالا و پایین ستون‌ها ۱۰۸

۱۹-۳ دیاگرام ممان خمشی ۱۰۸

۲۰-۳ مدل بادبند معادل دوعضوی برای دیوار پرکننده (ستون به ستون) ۱۰۹

۲۱-۳ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.16\text{ cm}$) ۱۰۹

۲۲-۳ دیاگرام نیروی محوری ۱۱۰

۲۳-۳ دیاگرام نیروی برشی ۱۱۰

۲۴-۳ دیاگرام ممان خمشی ۱۱۰

۲۵-۳ مدل بادبند معادل یک‌عضوی دیوار پرکننده (تیر به تیر) ۱۱۱

۲۶-۳ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.14\text{ cm}$) ۱۱۱

۲۷-۳ دیاگرام نیروی محوری ۱۱۲

۲۸-۳ دیاگرام نیروی برشی ۱۱۲

۲۹-۳ دیاگرام ممان خمشی ۱۱۲

۳۰-۳ مدل بادبند معادل دوعضوی دیوار پرکننده (تیر به تیر) ۱۱۳

۳۱-۳ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.15\text{ cm}$) ۱۱۳

- ۳-۳۲ دیاگرام نیروی محوری ۱۱۳
- ۳-۳۳ دیاگرام نیروی برشی ۱۱۴
- ۳-۳۴ دیاگرام ممان خمشی ۱۱۴
- ۳-۳۵ مدل بادبند معادل سه‌عضوی دیوار پرکننده (تیر، ستون، اتصال) ۱۱۴
- ۳-۳۶ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.15\text{ cm}$) ۱۱۵
- ۳-۳۷ دیاگرام نیروی محوری ۱۱۵
- ۳-۳۸ دیاگرام نیروی برشی ۱۱۵
- ۳-۳۹ دیاگرام ممان خمشی ۱۱۶
- ۳-۴۰ قاب دارای ستون کوتاه ۱۱۶
- ۳-۴۱ مدل بادبند معادل یک‌عضوی دیوار پرکننده ۱۱۶
- ۳-۴۲ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.69\text{ cm}$) ۱۱۷
- ۳-۴۳ دیاگرام نیروی محوری ۱۱۷
- ۳-۴۴ دیاگرام نیروی برشی ۱۱۷
- ۳-۴۵ دیاگرام ممان خمشی ۱۱۸
- ۳-۴۶ مدل بادبند معادل دو‌عضوی دیوار پرکننده ۱۱۸
- ۳-۴۷ تغییر مکان جانبی قاب ($\Delta = 0.76\text{ cm}$) ۱۱۸
- ۳-۴۸ دیاگرام نیروی محوری ۱۱۹
- ۳-۴۹ دیاگرام نیروی برشی ۱۱۹
- ۳-۵۰ دیاگرام ممان خمشی ۱۱۹
- ۳-۵۱ قاب چهارطبقه ۱۲۰
- ۳-۵۲ قاب خالی ۱۲۰
- ۳-۵۳ دیاگرام نیروی برشی (قاب خالی) ۱۲۰
- ۳-۵۴ دیاگرام ممان خمشی (قاب خالی) ۱۲۱
- ۳-۵۵ قاب دارای دیوار پرکننده ۱۲۱
- ۳-۵۶ دیاگرام نیروی برشی برای قاب دارای دیوار ۱۲۲
- ۳-۵۷ دیاگرام ممان خمشی برای قاب دارای دیوار ۱۲۲
- ۳-۵۸ قاب دارای دیوار پرکننده و ستون کوتاه ۱۲۳
- ۳-۵۹ دیاگرام نیروی برشی (حالت وجود ستون کوتاه) ۱۲۳
- ۳-۶۰ دیاگرام ممان خمشی (حالت وجود ستون کوتاه) ۱۲۴
- ۳-۶۱ برش طبقات ۱۲۵

- ۶۲-۳ لنگر خمشی طبقات ۱۲۶
- ۶۳-۳ مدل قاب قبل و بعد از وجود دیوار ۱۲۷
- ۶۴-۳ تغییر شکل سازه به همراه مقدار آن برای طبقه‌ی اول ۱۲۸
- ۶۵-۳ برش ستون اول از سمت چپ در طبقه‌ی اول ۱۲۹
- ۶۶-۳ برش ستون دوم از سمت چپ در طبقه‌ی اول ۱۳۰
- ۶۷-۳ برش ستون سوم از سمت چپ در طبقه‌ی اول ۱۳۱
- ۶۸-۳ برش ستون چهارم از سمت چپ در طبقه‌ی اول ۱۳۲
- ۶۹-۳ برش ستون پنجم از سمت چپ در طبقه‌ی اول ۱۳۳
- ۱-۴ اثر $P-\Delta$ و نیروی معادل در سیستم مفصلی ۱۳۷
- ۲-۴ اثر پی-دلتا بر شکل منحنی نیرو-تغییر مکان ۱۳۸
- ۳-۴ منحنی چرخه‌ای و تاریخچه‌ی زمانی جابه‌جایی در سیستم با سختی منفی فراتسلیم ۱۳۸
- ۴-۴ ناپایداری استاتیکی در صورت تداوم بار و پایداری دینامیکی در صورت بار برداری ۱۳۹
- ۵-۴ محدوده‌ی پایداری و ناپایداری سیستم و تغییر مکان متناظر با فروریزش ۱۳۹
- ۶-۴ منحنی نیرو-تغییر مکان و ساختمان ۸ طبقه ۱۴۰
- ۷-۴ تنظیمات ورودی ۱۴۰
- ۸-۴ تاریخچه‌ی جابه‌جایی، برش ستون و زمان‌های تسلیم ۱۴۱
- ۹-۴ منحنی‌های چرخه‌ای ۱۴۱
- ۱۰-۴ تنظیمات ورودی با اثر $P-\Delta$ ۱۴۲
- ۱۱-۴ تاریخچه‌ی جابه‌جایی، برش ستون و زمان‌های تسلیم با اثر $P-\Delta$ ۱۴۳
- ۱۲-۴ منحنی‌های چرخه‌ای با اثر $P-\Delta$ ۱۴۳
- ۱۳-۴ نمایش پویای پاسخ و رفتار سازه در ثانیه‌ی ۳/۰۸ ۱۴۴
- ۱۴-۴ تنظیمات ورودی با اثر $P-\Delta$ ۱۴۵
- ۱۵-۴ تاریخچه‌ی جابه‌جایی، برش ستون و زمان‌های تسلیم با اثر $P-\Delta$ ۱۴۵
- ۱۶-۴ منحنی‌های چرخه‌ای با اثر $P-\Delta$ ۱۴۶
- ۱-۵ منوبندی مربوط به انتخاب قاب با میراگر (و یا دارای جداگر پایه) تحت تحریک شتاب زمین ۱۴۹
- ۲-۵ انتخاب رکورد زلزله (رکورد زلزله‌ی السنترو) ۱۵۰
- ۳-۵ معرفی خواص قاب ($m=30$, $k_1=300$, $k_2=30$, $F_y=100$ ، رفتار الاستو-پلاستیک) ۱۵۰
- ۴-۵ معرفی خواص بادبند ($k_1=400$) ۱۵۱
- ۵-۵ معرفی خواص میراگر ($m=0.001$, $k_1=350$, $k_2=0$, $F_y=40$) ۱۵۱
- ۶-۵ رفتار چرخه‌ای قاب ۱۵۲

- ۷-۵ رفتار چرخه‌ای میراگر ۱۵۲
- ۸-۵ رفتار چرخه‌ای بادبند ۱۵۳
- ۹-۵ جابه‌جایی قاب خالی (بدون میراگر) ۱۵۳
- ۱۰-۵ جابه‌جایی قاب دارای میراگر ۱۵۴
- ۱۱-۵ جابه‌جایی میراگر ۱۵۴
- ۱۲-۵ برش پایه‌ی قاب خالی ۱۵۵
- ۱۳-۵ برش پایه‌ی قاب دارای میراگر ۱۵۵
- ۱۴-۵ سهم نیروی میراگر ۱۵۶
- ۱۵-۵ معرفی خواص میراگر ۱۵۷
- ۱۶-۵ سهم نیروی میراگر، $F_y = 20$ ۱۵۸
- ۱۷-۵ سازه و خرپشته ۱۵۹
- ۱۸-۵ مدل ارتعاشی ۱۵۹
- ۱۹-۵ جرم میراگر در ساختمان چندطبقه ۱۵۹
- ۲۰-۵ سیستم دارای جرم میراگر تنظیم‌شده ۱۵۹
- ۲۱-۵ خرابی و فروریزش خرپشته در زلزله‌ی بم ۱۶۱
- ۲۲-۵ سازه و خرپشته ۱۶۲
- ۲۳-۵ طیف‌های پاسخ شتاب ۱۶۴
- ۲۴-۵ شکل مودی سازه‌ی غیرمیرای BF-2 با پریود ۰/۷ ثانیه ۱۶۶
- ۲۵-۵ قاب خرپشته با پریود مجزای ۱/۰۵ ثانیه ۱۶۷
- ۲۶-۵ شکل مودی سازه‌ی میرای BF-2 با پریود اصلی ۱/۲۴ ثانیه ۱۶۸
- ۲۷-۵ منحنی پوش-اور ۱۶۸
- ۲۸-۵ مقایسه‌ی طیف‌های پاسخ شتاب خرپشته با طیف‌های شتاب زمین برای ساختمان BF-2 ۱۶۹
- ۲۹-۵ سیستم یک‌درجه‌آزادی و منحنی نیرو- تغییرمکان سیستم اتلاف انرژی ۱۷۲
- ۳۰-۵ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی شتاب رکوردهای استفاده‌شده به‌همراه طیف فوریه شتاب آن‌ها ۱۷۳
- ۳۱-۵ نمودار تاریخچه‌ی زمانی پاسخ سازه بدون سیستم میراگر خارجی ۱۷۴
- ۳۲-۵ انواع مختلف انرژی ورودی به سیستم بدون میراگر تحت دو رکورد استفاده‌شده ۱۷۴
- ۳۳-۵ پاسخ سیستم به دو زلزله‌ی مذکور با و بدون اضافه کردن سیستم کاهنده‌ی انرژی ۱۷۶
- ۳۴-۵ انواع انرژی ورودی به سیستم تحت دو زلزله‌ی مذکور با و بدون اضافه کردن سیستم کاهنده‌ی انرژی ۱۷۷

۳۵-۵ انرژی مجموع ورودی به سیستم تحت دو رکورد زلزله‌ی برای سه حالت مختلف میراگر

۱۷۸

۳۶-۵ درصد انرژی جذب شده توسط سیستم میراگر انرژی در دو حالت مختلف سختی ۱۷۹

۳۷-۵ سیستم یک درجه آزادی دارای میراگر ویسکوالاستیک ۱۸۰

۳۸-۵ دیاگرام آزاد نیروهای دینامیکی وارد بر سیستم ۱۸۰

۳۹-۵ جابه‌جایی نسبی سیستم‌های مختلف تحت رکورد السنترو ۱۸۲

۴۰-۵ مدل سازه ۱۸۳

۴۱-۵ پاسخ سازه در برابر رکوردهای زلزله در دو حالت با و بدون TMD ۱۸۷

۴۲-۵ پاسخ TMD در برابر رکوردهای زلزله ۱۸۸

۴۳-۵ پاسخ سازه در برابر رکوردهای زلزله در دو حالت با و بدون TMD ۱۸۹

۴۴-۵ پاسخ TMD در برابر رکوردهای زلزله ۱۹۰

۴۵-۵ پاسخ سازه در برابر رکوردهای زلزله در دو حالت با و بدون TMD ۱۹۰

۴۶-۵ پاسخ TMD در برابر رکوردهای زلزله ۱۹۱

۴۷-۵ نسبت جابه‌جایی بیشینه‌ی هر طبقه در حالت‌های وجود TMD به حالت بدون TMD

۱۹۳

۴۸-۵ نسبت سرعت بیشینه‌ی هر طبقه در حالت‌های وجود TMD به حالت بدون TMD ۱۹۳

۴۹-۵ نسبت شتاب مطلق بیشینه‌ی هر طبقه در حالت‌های وجود TMD به حالت بدون TMD ۱۹۳

۱-۶ محل ساختگاه و منابع لرزه‌زا ۱۹۷

۲-۶ نمودارهای هم‌سان‌نشده‌ی تناوب منابع مختلف ۲۰۶

۳-۶ مقایسه‌ی روابط تناوب هم‌سان‌نشده‌ی منابع مختلف ۲۰۷

۴-۶ رابطه‌ی هم‌سان‌نشده‌ی G-R استخراج شده با فرض یک پارچه بودن منابع ۲۰۸

۵-۶ نمودارهای احتمال خطر برای منابع مختلف به همراه نمودار خطر ترکیبی ۲۰۹

۶-۶ نمودارهای احتمال خطر برای منابع مختلف به همراه نمودار خطر ترکیبی ۲۱۱

۷-۶ نمودارهای خطر احتمالاتی تقسیمات منبع A_1 ۲۱۴

۸-۶ نمودارهای خطر احتمالاتی تقسیمات منبع A_2 ۲۱۸

۹-۶ نمودارهای خطر احتمالاتی تقسیمات منبع L_1 ۲۲۱

۱۰-۶ نمودار خطر ترکیبی منابع ۲۲۳

۱۱-۶ نمودارهای هم‌سان‌نشده تناوب منابع مختلف پس از حذف Aftershock ها ۲۲۶

۱۲-۶ مقایسه‌ی روابط G-R قبل و بعد از حذف لرزش‌های ثانویه از کاتالوگ لرزه‌ای آن‌ها ۲۲۷

۱۳-۶ نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی رکوردهای مورد استفاده ۲۲۹

- ۱۴-۶ طیف پاسخ شبه‌شتاب رکوردهای مقیاس‌شده ۲۳۰
- ۱۵-۶ طیف پاسخ شبه‌شتاب میانگین و میانگین بعلاوه یک انحراف از معیار ۲۳۱
- ۱۶-۶ ضریب پراکندگی ۲۳۱
- ۱۷-۶ طیف شبه‌سرعت محرز ۲۳۴
- ۱۸-۶ طیف شبه‌شتاب محرز ۲۳۴
- ۱۹-۶ طیف طرح شبه‌سرعت به روش نیومارک- هال ۲۳۸
- ۲۰-۶ طیف طرح شبه‌شتاب به روش نیومارک- هال ۲۳۹
- ۲۱-۶ طیف طرح UBC97 برای دو دوره‌ی بازگشت ۲۴۰
- ۲۲-۶ منحنی احتمال فراگذشت بر حسب شتاب پاسخ سازه برای هر منبع ۲۴۱
- ۲۳-۶ منحنی ترکیبی احتمال فراگذشت بر حسب شتاب پاسخ سازه ۲۴۳
- ۲۴-۶ طیف خطر یکسان به‌دست‌آمده از رابطه‌ی Campbell and Bozorgnia (2000) ۲۴۳
- ۲۵-۶ طیف خطر یکسان به‌دست‌آمده از رابطه‌ی Abrahamson and Silva (1997) ۲۴۴
- ۲۶-۶ مقایسه‌ی دو طیف خطر یکسان به‌دست‌آمده از دو رابطه‌ی کاهندگی ۲۴۴
- ۲۷-۶ میانگین دو طیف خطر یکسان حاصل از دو رابطه‌ی کاهندگی ۲۴۴
- ۲۸-۶ طیف طرح IBC2003 برای دو دوره‌ی بازگشت ۲۴۵
- ۲۹-۶ طیف‌های پاسخ شبه‌شتاب ۴۷۵ ساله‌ی حاصل در بندهای مختلف ۲۴۶
- ۳۰-۶ طیف‌های پاسخ شبه‌شتاب ۲۴۷۵ ساله‌ی حاصل در بندهای مختلف ۲۴۷

فهرست جداول

- ۱-۱ مدل چرخه‌ای چندخطی ۴۸
- ۲-۱ پارامترهای مدل‌سازی رفتار چرخه‌ای ۵۲
- ۱-۲ پاسخ پیشینه‌ی طبقات ۶۳
- ۲-۲ نیرو و برش طبقات حاصل از تحلیل استاتیکی معادل ۸۲
- ۳-۲ شتاب طیفی مدهای مختلف ۸۲
- ۴-۲ شتاب طیفی طبقات مختلف در ۳ مد اول ۸۳
- ۵-۲ نیروها و برش طبقات در مدهای اول تا سوم ۸۳
- ۶-۲ نیروها و برش‌های طبقات حاصل از تحلیل دینامیکی مدی قبل از هم‌پایه کردن ۸۳
- ۷-۲ نیروها و برش طبقات حاصل از تحلیل دینامیکی مدی پس از هم‌پایه کردن ۸۴
- ۸-۲ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی زمانی تحت رکورد طیس، قبل از هم‌پایه کردن ۸۷
- ۹-۲ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی زمانی تحت رکورد منجیل، قبل از هم‌پایه کردن ۸۸
- ۱۰-۲ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی زمانی تحت رکورد بم، قبل از هم‌پایه کردن ۸۸
- ۱۱-۲ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی زمانی تحت رکورد طیس، پس از هم‌پایه کردن ۸۹
- ۱۲-۲ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی زمانی تحت رکورد منجیل، پس از هم‌پایه کردن ۸۹
- ۱۳-۲ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی زمانی تحت رکورد بم، پس از هم‌پایه کردن ۸۹
- ۱۴-۲ مقایسه‌ی نتایج روش‌های مختلف تحلیل ۹۰
- ۱۵-۲ پاسخ پیشینه‌ی سازه‌ها ۹۳
- ۱۶-۲ زمان پیشینه شدن لنگر خمشی ستون‌های قاب خمشی ۹۳
- ۱-۳ نیروی اعمال شده بر طبقات ۱۲۴
- ۲-۳ نتایج به‌دست آمده از تحلیل ۱۲۵
- ۳-۳ برش موجود در ستون‌های طبقه‌ی اول قبل و بعد از اضافه شدن دیوار پرکننده (برحسب تن) ۱۲۷
- ۱-۵ خصوصیات سازه‌ها و رکوردها ۱۶۴
- ۲-۵ جابه‌جایی پیشینه‌ی بام و برش پایه‌ی پیشینه برای ساختمان غیرمیرای BF-2 ۱۶۷
- ۳-۵ خلاصه‌ی محاسبات جابه‌جایی هدف برای ساختمان BF-2 ۱۷۰
- ۴-۵ جابه‌جایی‌ها و برش پایه‌های پیشینه برای ساختمان غیرمیرا و میرای BF-2 برای روش‌های تحلیل طیف پاسخ و تاریخچه‌ی زمانی ۱۷۰
- ۵-۵ خصوصیات رکوردهای مورد استفاده جهت تحلیل ۱۷۳
- ۶-۵ خصوصیات سیستم‌های مورد تحلیل ۱۸۲

- ۷-۵ خصوصیات مدی سازه‌ی ۸ طبقه ۱۸۵
- ۸-۵ خصوصیات مدی سازه‌ی ۸ طبقه پس از اضافه کردن TMD ۱۸۶
- ۹-۵ خصوصیات مدی سازه‌ی ۸ طبقه پس از اضافه کردن TMD ۱۸۸
- ۱۰-۵ مقادیر بیشینه‌ی جابه‌جایی طبقات ۱۹۲
- ۱۱-۵ مقادیر بیشینه‌ی سرعت طبقات ۱۹۲
- ۱۲-۵ مقادیر بیشینه‌ی شتاب مطلق طبقات ۱۹۲
- ۱-۶ هندسه‌ی منابع ۱۹۷
- ۲-۶ بزرگ‌ترین بزرگای ممکن ۱۹۸
- ۳-۶ روند محاسبه‌ی متوسط بیشینه‌ی شتاب حرکت قوی زمین ۱۹۸
- ۴-۶ کاتالوگ لرزه‌ای منبع A₁ ۱۹۹
- ۵-۶ کاتالوگ لرزه‌ای منبع A₂ ۲۰۱
- ۶-۶ کاتالوگ لرزه‌ای منبع L₁ ۲۰۲
- ۷-۶ مقادیر کمینه و بیشینه‌ی بزرگای موجود در کاتالوگ‌های لرزه‌ای اصلاح‌شده ۲۰۶
- ۸-۶ ابعاد منابع به‌همراه طول دوره‌ی کاتالوگ‌های آن‌ها ۲۰۶
- ۹-۶ روابط G-R استخراج‌شده ۲۰۷
- ۱۰-۶ طول مؤثر منابع ۲۰۸
- ۱۱-۶ نرخ متوسط وقوع زلزله‌هایی با بزرگی ۵ و ۶ ۲۰۸
- ۱۲-۶ ویژگی‌های منابع جزئی ۲۱۳
- ۱۳-۶ مقایسه‌ی نتایج بند ۱ ۲۲۴
- ۱۴-۶ مقایسه‌ی نتایج بند ۲ ۲۲۴
- ۱۵-۶ مقایسه‌ی نتایج بند ۳ ۲۲۴
- ۱۶-۶ مقایسه‌ی نتایج ۲۲۵
- ۱۷-۶ روابط G-R استخراج‌شده پس از حذف Aftershock ها ۲۲۵
- ۱۸-۶ مشخصات رکوردهای مورد استفاده ۲۲۹
- ۱۹-۶ نسبت مقادیر بیشینه‌ی حرکت زمین ۲۳۲
- ۲۰-۶ مقادیر EPA و EPV استخراج‌شده ۲۳۹



ارتعاش غیر خطی سیستم‌های
یک‌درجه آزادی و طیف پاسخ



فصل