

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشگاه قم

# طراحی بهینه سازه‌های فولادی بر اساس عملکرد

دکتر سید روح الله حسینی واعظ

مهندس محمد علی فتحعلی

مهندس آرزو اسعد سامانی

سرشناسه	: حسینی واعظ، سیدروح‌الله، ۱۳۵۷-
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی بهینه سازه‌های فولادی بر اساس عملکرد/ سیدروح‌الله حسینی‌واعظ، محمدعلی فتحعلی، آرزو اسعدسامانی.
مشخصات نشر	: قم: دانشگاه قم، انتشارات، ۱۳۹۹. / مشخصات ظاهری: ۲۱۶ ص
شابک	: 978-600-8436-64-5
موضوع	: سازه‌های فولادی -- طراحی و ساخت
موضوع	: *Steel structures -- Design and construction
موضوع	: سازه‌های فولادی / Steel structures
شناسه افزوده	: فتحعلی، محمدعلی، ۱۳۷۱-
شناسه افزوده	: اسعد سامانی، آرزو، ۱۳۷۲-
شناسه افزوده	: دانشگاه قم، انتشارات
رده بندی کنگره	: ۶۸۴ TA - رده بندی دیویی / ۶۲۴/۱۸۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۴۲۸۲۴۸ - وضعیت رکورد: فیبا



### انتشارات دانشگاه قم

عنوان: طراحی بهینه سازه‌های فولادی بر اساس عملکرد

نویسنده: سید روح‌الله حسینی‌واعظ، محمد علی فتحعلی، آرزو اسعد سامانی

چاپ و صحافی: هوشنگی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

طراح جلد: محمد جواد واعظ حسینی

نوبت و سال چاپ: اول، زمستان ۱۳۹۹

شمارگان: ۵۰۰

بهاء: ۳۵۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۶۴-۵

آدرس الکترونیکی: **Publication@ Qom. ac.ir**

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۴۴ - ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۴۵

## پیش‌گفتار

انسان از دیرباز، به دنبال یافتن مکانی ایمن برای زندگی بوده است. به همین دلیل، همواره سعی داشته است مکانی بسازد که این هدف را برآورده سازد. در گذشته، هدف اصلی در ساخت یک بنا، این بود که آن بنا بتواند بار ثقلی وارده و وزن خود را تحمل کند. ولی وقوع زلزله‌های شدید در مناطق لرزه‌خیز جهان، مانند ایران، خرابی‌های فراوانی را به سازه‌ها تحمیل کرد که خسارات بسیار زیاد جانی و مالی را در پی داشت. این خرابی‌ها، عمدتاً بر اثر اعمال بار جانبی ناشی از زلزله به سازه رخ می‌داد. به همین علت، طراحی سازه در برابر بار جانبی، اهمیت فراوانی یافت؛ به گونه‌ای که مهندسان به این سمت سوق یافتند که با ثبت اطلاعات زلزله‌های گذشته و تحلیل دقیق آن‌ها، بتوانند ضمن درک بیشتر از علت و نحوه وقوع زلزله، شدت زلزله‌های آتی و رفتار سازه در حین وقوع آن‌ها را پیش‌بینی، و سازه را متناسب با این اطلاعات، طراحی کنند.

طراحی سازه به گونه‌ای که رفتار سازه تحت بار جانبی زلزله، از محدوده رفتار ارتجاعی تجاوز نکند، باعث می‌شود ابعاد اعضای سازه، غیراقتصادی به‌دست آید. بنابراین، مهندسان به این نتیجه رسیدند که باید اجازه دهند تا سازه تحت نیروی جانبی زلزله طرح، وارد محدوده غیرارتجاعی گردد تا از حداکثر ظرفیت سازه استفاده شود. در واقع با پذیرش این موضوع، امکان وقوع خسارت جزئی و کلی در زلزله‌های شدید پذیرفته شد. محل وقوع این خسارات و میزان آن‌ها در میزان استفاده از حداکثر ظرفیت سازه بسیار مؤثر است. امروزه، سعی بر طراحی سازه‌ای است که هنگام وقوع زلزله و تحت بارگذاری جانبی رفت و برگشتی، مفاصل خمیری در اعضای به وجود آیند که ضمن حفظ پایداری سازه بعد از ایجاد این مفاصل، حداکثر اتلاف انرژی زلزله نیز رخ دهد. این امر به‌منظور کنترل رفتار غیرارتجاعی سازه و جلوگیری از وقوع خساراتی است که باعث فروریزش سازه می‌شوند. به‌این‌ترتیب، یکی از اهداف طراحی، کنترل و

پیش‌بینی رفتار غیرارتجاعی سازه و اجازه بروز خرابی و خسارت محدود در محل‌های پیش‌بینی شده است. برای این منظور، دو روش کلی وجود دارد. در روش اول که از آن در آیین‌نامه‌های طراحی استفاده شده است، طراحی لرزه‌ای سازه براساس نیرو یا مقاومت انجام می‌پذیرد. در این روش، با انجام برخی تبدیلات و ساده‌سازی‌ها، از ظرفیت مقاومتی اجزای سازه برای مقابله با نیروی جانبی استفاده می‌شود و شکل‌پذیری سازه پس از طراحی، به عنوان معیار کنترلی سازه، بررسی می‌گردد. به بیان دیگر، این روش، رفتار پس از تسلیم سازه را به صورت دقیق مورد بررسی قرار نمی‌دهد و تنها از بعضی از مشخصات کلی سازه برای تخمین رفتار غیرارتجاعی آن کمک می‌گیرد.

روش دوم، که همچنان در حال بررسی و گسترش است، «طراحی براساس عملکرد» نام دارد و تلاش دارد که خسارات را کنترل و رفتار غیرارتجاعی سازه را پیش‌بینی کند. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن مقاومت اجزا، از ظرفیت تغییرشکل آن‌ها نیز برای مقابله با نیروی جانبی استفاده می‌شود. از ویژگی‌های اصلی این نوع طراحی، توجه به نظر کارفرما درباره میزان آسیب‌پذیری ساختمان در شدت‌های مختلف زمین‌لرزه است. در روش طراحی براساس عملکرد، با تعریف سطوح مختلف عملکرد براساس میزان خسارات و تغییرشکل‌های ایجاد شده، سازه به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که در شدت زلزله‌های متفاوت، این تغییرشکل‌ها از حد سطوح عملکرد مورد نظر تجاوز نکرده و عملکرد سازه همچنان در سطح مورد نظر باقی بماند. از آنجایی که در روش طراحی براساس عملکرد، می‌توان رفتار سازه را پس از تجربه تغییرمکان‌های ناشی از زلزله مشخص‌تر و دقیق‌تر بررسی کرد، این روش از اهمیت بیشتری نسبت به روش طراحی براساس نیرو برخوردار است.

فرآیند طراحی براساس عملکرد به منظور دستیابی به طرحی که تمامی محدودیت‌های هر سطح عملکرد را برآورده سازد، دارای یک روند سعی و خطای مکرر

است. به همین منظور، استفاده از روش‌های نوین جستجوی هدفمند در فضای طرح‌های احتمالی، بسیار ضروری و کارآمد به نظر می‌رسد. ضمن آنکه با استفاده از روش‌های جستجوی هدفمند، می‌توان در میان طرح‌های قابل قبول، با در نظر گرفتن معیارهایی مانند وزن کمتر، به طرحی مناسب‌تر نیز دست یافت.

با توجه به اهمیت روش طراحی براساس عملکرد، درس «طراحی سازه‌ها براساس عملکرد» توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به‌عنوان یکی از دروس تخصصی-اختیاری تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی عمران-سازه معرفی شده است.

بر اساس آنچه گفته شد، برآن شدیم تا روش طراحی براساس عملکرد را طبق FEMA 356، به صورت جامع معرفی کنیم. همچنین بر مبنای پژوهش‌هایی که تاکنون در این زمینه داشته‌ایم، به تعریف و حل مسائلی گوناگون با سیستم‌های مختلف باربری جانبی، جهت طراحی بهینه سازه براساس عملکرد و با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری پرداخته‌ایم. امید است این کتاب، منبعی مفید و مؤثر برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی عمران باشد.

در نگارش و بازخوانی این کتاب، تلاش بسیاری شده است تا اثر نهایی، کمترین ایرادات و اشتباهات محتوایی و نگارشی را داشته باشد. با این حال، در محتوای این اثر ممکن است خطاها و اشتباهاتی وجود داشته باشد، که پیشاپیش بابت این موارد، از خوانندگان محترم پوزش می‌خواهیم. همچنین، در صورت دریافت ایرادات کتاب و پیشنهادات از جانب مهندسان گرامی، از طریق آدرس‌های پست الکترونیکی زیر، سپاسگزار خواهیم بود.

دکتر سیدروح‌الله حسینی‌واعظ: hoseinivaez@qom.ac.ir

مهندس محمد علی فتحعلی: m.fathali@stu.qom.ac.ir

مهندس آرزو اسعد سامانی: a.asaadsamani@stu.qom.ac.ir





## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱: آشنایی با روش‌های طراحی
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- معرفی روش‌های طراحی لرزه‌ای.....
۳	۱-۲-۱- روش طراحی تجویزی.....
۹	۲-۲-۱- طراحی مبتنی بر عملکرد.....
۱۲	۳-۱- مقایسه روش‌های طراحی لرزه‌ای.....
۱۵	فصل ۲: آشنایی با سطوح عملکرد ساختمان و سطوح خطر لرزه‌ای
۱۶	۱-۲- مقدمه.....
۱۷	۲-۲- تعیین سطوح عملکرد سازم.....
۱۷	۱-۲-۲- اجزای سازه‌ای.....
۱۹	۲-۲-۲- سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای.....
۲۰	۳-۲-۲- سطوح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای.....
۲۱	۴-۲-۲- سطوح عملکرد کل ساختمان.....
۲۵	۳-۲- سطوح خطر لرزه‌ای احتمالی.....
۲۶	۱-۳-۲- محاسبه شتاب سطوح خطر لرزه‌ای طبق FEMA 356.....
۳۰	۴-۲- اهداف طراحی لرزه‌ای.....
۳۱	۱-۴-۲- طراحی مبنا.....
۳۱	۲-۴-۲- طراحی پیشرفته.....
۳۲	۳-۴-۲- طراحی محدود (کاهش یافته).....

### فصل ۳: تحلیل استاتیکی غیرخطی در طراحی براساس عملکرد ۳۵

- ۳-۱-۱- مقدمه..... ۳۶
- ۳-۲- تحلیل استاتیکی غیرخطی..... ۳۶
- ۳-۲-۱- روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی در طراحی براساس عملکرد..... ۳۸
- ۳-۳- نقطه کنترل..... ۴۰
- ۳-۴- اعمال بارهای ثقلی..... ۴۱
- ۳-۵- نحوه انتخاب الگوی بار جانبی و اعمال آن..... ۴۲
- ۳-۶- مدل رفتار دوخطی نیرو- تغییر مکان سازه..... ۴۴
- ۳-۷- محاسبه زمان تناوب اصلی مؤثر..... ۴۵
- ۳-۸- تغییر مکان هدف..... ۴۶
- ۳-۹- مدل تعمیم‌یافته رفتاری اعضای فولادی..... ۵۱
- ۳-۱۰- تعیین پارامترهای تحلیل استاتیکی غیرخطی..... ۵۲

### فصل ۴: انواع رفتار اعضا و معیارهای پذیرش آن‌ها ۶۵

- ۴-۱- مقدمه..... ۶۶
- ۴-۲- رفتار اجزای سازه..... ۶۶
- ۴-۳- معیارهای پذیرش کلی برای روش‌های غیرخطی..... ۶۹
- ۴-۳-۱- قاب‌های خمشی فولادی..... ۷۱
- ۴-۳-۲- قاب‌های مهاربندی شده فولادی..... ۷۶
- ۴-۴- آشنایی با نرم‌افزار OpenSees..... ۸۵
- ۴-۴-۱- نحوه مدل‌سازی در نرم‌افزار OpenSees..... ۸۹
- ۴-۴-۲- مدل‌سازی رفتار غیرخطی توسط نرم‌افزار OpenSees..... ۱۰۷

### فصل ۵: طراحی بهینه قاب‌های فولادی براساس عملکرد ۱۲۷

۱۲۸	۱-۵- مقدمه.....
۱۲۸	۲-۵- مفهوم بهینه‌سازی.....
۱۲۹	۱-۲-۵- تابع هدف.....
۱۳۲	۲-۲-۵- نحوه اعمال قیود در مسئله.....
۱۳۲	۳-۵- طراحی بهینه قاب‌های فولادی براساس عملکرد.....
۱۳۲	۱-۳-۵- قاب خمشی فولادی دوبعدی متقارن.....
۱۶۳	۲-۳-۵- قاب خمشی فولادی دوبعدی نامتقارن.....
۱۷۵	۳-۳-۵- قاب مهاربندی فولادی دوبعدی واگرا.....
۱۹۳	<b>مراجع</b> .....



## فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲) طیف پاسخ عمومی..... ۳۰
- شکل (۱-۳) منحنی ساده شده ظرفیت (نیرو-تغییر مکان) سازه..... ۴۵
- شکل (۲-۳) منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای اجزای فولادی..... ۵۲
- شکل (۳-۳) فلوجارت دو خطی نمودن رفتار سازه برای هر سطح عملکرد..... ۵۵
- شکل (۴-۳) فلوجارت محاسبه تغییر مکان هدف محاسباتی..... ۵۶
- شکل (۵-۳) فلوجارت تحلیل استاتیکی غیرخطی و بدست آوردن تغییر مکان هدف..... ۵۸
- شکل (۱-۴) منحنی رفتار عضو شکل پذیر، نیمه شکل پذیر و شکننده..... ۶۸
- شکل (۲-۴) تعیین دوران تسلیم در المانهای فولادی..... ۷۳
- شکل (۳-۴) ارتباط دستورات اصلی نرم افزار OpenSees و نقش هر کدام..... ۸۸
- شکل (۴-۴) فلوجارت مراحل کدنویسی تحلیل یک سازه در OpenSees..... ۹۰
- شکل (۵-۴) نحوه معرفی ابعاد مدل..... ۹۱
- شکل (۶-۴) نحوه تعریف پارامترهای مورد استفاده در ایجاد مدل..... ۹۱
- شکل (۷-۴) نحوه معرفی گره ها در مدل..... ۹۲
- شکل (۸-۴) نحوه تعریف جرم گره ای..... ۹۳
- شکل (۹-۴) نحوه مقیدسازی گره ها در درجات آزادی تعریف شده..... ۹۴
- شکل (۱۰-۴) نحوه مقیدسازی دو گره به یکدیگر در درجات آزادی مورد نظر..... ۹۴
- شکل (۱۱-۴) نحوه معرفی مصالح Steel01..... ۹۵
- شکل (۱۲-۴) رفتار مصالح Steel01..... ۹۶
- شکل (۱۳-۴) نحوه تعریف مقطع ارتجاعی..... ۹۷
- شکل (۱۴-۴) نحوه تعریف مقطع I شکل..... ۹۷
- شکل (۱۵-۴) تعریف المان تیر-ستون ارتجاعی..... ۹۸

- شکل (۴-۱۶) تعریف المان با طول صفر بین گره‌های هم مختصات..... ۹۹
- شکل (۴-۱۷) تعریف الگوی زمانی خطی بارگذاری..... ۱۰۰
- شکل (۴-۱۸) تعریف الگوی بارگذاری ساده..... ۱۰۱
- شکل (۴-۱۹) تعریف دستورات ذخیره نتایج گره‌ها..... ۱۰۲
- شکل (۴-۲۰) تعریف دستورات ذخیره نتایج المان‌ها..... ۱۰۳
- شکل (۴-۲۱) نحوه تعریف دستورات جهت تحلیل استاتیکی غیرخطی..... ۱۰۷
- شکل (۴-۲۲) مدل‌های ایده‌آل شبیه‌سازی رفتار غیرخطی اعضا..... ۱۰۸
- شکل (۴-۲۳) مدل تیر رابط ارائه شده توسط ریچارد و یوانگ..... ۱۱۳
- شکل (۴-۲۴) مراحل مدل‌سازی تیر تیوند و مفاصل خمیری آن..... ۱۱۴
- شکل (۵-۱) هندسه اتصال تیر-ستون و ستون-ستون در قاب دوبعدی فولادی..... ۱۳۵
- شکل (۵-۲) فلوجارت تابع هدف مسئله طراحی بهینه قاب خمشی متقارن..... ۱۳۷
- شکل (۵-۳) قاب خمشی سه طبقه و چهار دهانه متقارن..... ۱۳۸
- شکل (۵-۴) شماره‌گذاری مفاصل پلاستیک قاب خمشی سه طبقه متقارن..... ۱۳۸
- شکل (۵-۵) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطوح عملکرد..... ۱۳۹
- شکل (۵-۶) نسبت دوران پلاستیک مفاصل به مقادیر مجاز آنها..... ۱۴۰
- شکل (۵-۷) نتایج مربوط به جابجایی جانبی طبقات..... ۱۴۰
- شکل (۵-۸) مقایسه جابجایی نسبی میان طبقه و مقادیر مجاز آنها..... ۱۴۱
- شکل (۵-۹) قاب خمشی نه طبقه و پنج دهانه متقارن..... ۱۵۸
- شکل (۵-۱۰) شماره‌گذاری مفاصل پلاستیک قاب خمشی نه طبقه متقارن..... ۱۵۹
- شکل (۵-۱۱) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطح عملکرد IO..... ۱۶۰
- شکل (۵-۱۲) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطح عملکرد LS..... ۱۶۰
- شکل (۵-۱۳) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطح عملکرد CP..... ۱۶۱

- شکل (۵-۱۴) نسبت دوران پلاستیک مفاصل به مقادیر مجاز آنها..... ۱۶۱
- شکل (۵-۱۵) نتایج مربوط به جابجایی جانبی طبقات..... ۱۶۲
- شکل (۵-۱۶) مقایسه جابجایی نسبی میان طبقه و مقادیر مجاز آنها..... ۱۶۲
- شکل (۵-۱۷) فلوچارت تابع هدف مسئله طراحی بهینه قاب خمشی نامتقارن..... ۱۶۴
- شکل (۵-۱۸) قاب خمشی سه طبقه و چهار دهانه نامتقارن..... ۱۶۵
- شکل (۵-۱۹) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطوح عملکرد..... ۱۶۶
- شکل (۵-۲۰) نسبت دوران پلاستیک مفاصل به مقادیر مجاز آنها..... ۱۶۷
- شکل (۵-۲۱) نتایج مربوط به جابجایی جانبی طبقات..... ۱۶۸
- شکل (۵-۲۲) مقایسه جابجایی نسبی میان طبقه با مقادیر مجاز آنها..... ۱۶۹
- شکل (۵-۲۳) قاب خمشی نه طبقه و پنج دهانه نامتقارن..... ۱۷۰
- شکل (۵-۲۴) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطح عملکرد IO..... ۱۷۱
- شکل (۵-۲۵) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطح عملکرد LS..... ۱۷۲
- شکل (۵-۲۶) مفاصل تشکیل شده در المان‌ها در سطح عملکرد CP..... ۱۷۲
- شکل (۵-۲۷) نسبت دوران پلاستیک مفاصل به مقادیر مجاز آنها..... ۱۷۳
- شکل (۵-۲۸) نتایج مربوط به جابجایی جانبی طبقات..... ۱۷۴
- شکل (۵-۲۹) مقایسه جابجایی نسبی میان طبقه با مقادیر مجاز آنها..... ۱۷۵
- شکل (۵-۳۰) فلوچارت تابع هدف مسئله طراحی بهینه قاب مهاربندی واگرا..... ۱۸۰
- شکل (۵-۳۱) قاب مهاربندی واگرای سه طبقه..... ۱۸۱
- شکل (۵-۳۲) شماره‌گذاری المان‌های قاب مهاربندی واگرای سه طبقه..... ۱۸۱
- شکل (۵-۳۳) مقدار ترکیب نسبت نیروی محوری و لنگر خمشی در ستون‌ها..... ۱۸۳
- شکل (۵-۳۴) نسبت دوران پلاستیک مفاصل به مقادیر مجاز آنها..... ۱۸۳
- شکل (۵-۳۵) نمودار نسبت نیروی محوری مهاربندها..... ۱۸۴

- شکل (۳۶-۵) نتایج مربوط به جابجایی جانبی طبقات..... ۱۸۴
- شکل (۳۷-۵) مقایسه جابجایی نسبی طبقات با مقادیر مجاز آن‌ها..... ۱۸۵
- شکل (۳۸-۵) قاب مهاربندی واگرای شش طبقه..... ۱۸۶
- شکل (۳۹-۵) شماره‌گذاری المان‌های قاب مهاربندی واگرای شش طبقه..... ۱۸۶
- شکل (۴۰-۵) مقدار ترکیب نسبت نیروی محوری و لنگر خمشی در ستون‌ها..... ۱۸۷
- شکل (۴۱-۵) نسبت دوران پلاستیک مفاصل به مقادیر مجاز آن‌ها..... ۱۸۷
- شکل (۴۲-۵) نمودار نسبت نیروی محوری مهاربندها..... ۱۸۸
- شکل (۴۳-۵) نتایج مربوط به جابجایی جانبی طبقات..... ۱۸۸
- شکل (۴۴-۵) مقایسه جابجایی نسبی طبقات با مقادیر مجاز آن‌ها..... ۱۹۰



## فهرست جدول ها

- جدول (۱-۲) سطوح خطر لرزه‌ای احتمالی..... ۲۶
- جدول (۲-۲) دامنه انتخاب سطوح مختلف عملکرد..... ۳۱
- جدول (۱-۳) مقدار ضریب  $C_0$ ..... ۴۷
- جدول (۲-۳) مقادیر ضریب  $C_m$ ..... ۴۸
- جدول (۳-۳) مقادیر ضریب  $C_2$ ..... ۵۰
- جدول (۴-۳) مقادیر تغییر مکان جانبی گذرا در هر سطح عملکرد..... ۵۳
- جدول (۵-۳) معرفی متغیرهای شکل (۳-۳)..... ۵۷
- جدول (۶-۳) معرفی متغیرهای شکل (۴-۳)..... ۵۷
- جدول (۷-۳) معرفی متغیرهای شکل (۵-۳)..... ۵۹
- جدول (۱-۴) معیارهای پذیرش رفتار خمشی تیر..... ۷۵
- جدول (۲-۴) معیارهای پذیرش رفتار خمشی ستون..... ۷۶
- جدول (۳-۴) معیارهای پذیرش مهاربند..... ۷۹
- جدول (۴-۴) معیارهای پذیرش تیر پیوند..... ۸۵
- جدول (۱-۵) مقادیر شتاب طیفی و ضرایب ساختگاه فرض شده..... ۱۳۳
- جدول (۲-۵) مقاطع بهینه و مقادیر وزن برای قاب خمشی سه طبقه متقارن..... ۱۳۸
- جدول (۳-۵) مقاطع بهینه و مقادیر وزن برای قاب خمشی نه طبقه متقارن..... ۱۶۳
- جدول (۴-۵) مقاطع بهینه و مقادیر وزن برای قاب خمشی سه طبقه نامتقارن..... ۱۶۷
- جدول (۵-۵) مقاطع بهینه و مقادیر وزن برای قاب خمشی نه طبقه نامتقارن..... ۱۷۱
- جدول (۶-۵) مقادیر شتاب طیفی و ضرایب ساختگاه فرض شده برای EBF..... ۱۷۶
- جدول (۷-۵) بارگذاری قاب مهاربندی واگرای سه طبقه..... ۱۸۱
- جدول (۸-۵) مقاطع بهینه و مقادیر وزن برای قاب مهاربندی واگرای سه طبقه..... ۱۸۲

جدول (۹-۵) بارگذاری ثقلی و وزن لرزه‌ای قاب مهاربندی واگرای شش طبقه.....۱۸۷

جدول (۱۰-۵) مقاطع بهینه و وزن برای قاب مهاربندی واگرای شش طبقه.....۱۸۹