
بررسی تحلیلی دیوار برشی فولادی در سازه‌های بتن آرمه

تألیف:

دکتر سید رضا سلیم بهرامی

دکتر مجید قلهکی

(دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان)



تهران - ۱۳۹۹

سرشناسه	:	سلیم بهرامی، سیدرضا، ۱۳۶۸-
عنوان و نام پدیدآور	:	بررسی تحلیلی دیوار برشی فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه/ تألیف سید رضا سلیم بهرامی، مجید قلهکی.
مشخصات نشر	:	تهران: زرنوشت، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	:	۲۸۴ ص.
شابک	:	۹۷۸ - ۶۲۲ - ۷۲۷۹ - ۱۰ - ۸
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیا
موضوع	:	دیوارهای برشی
موضوع	:	دیوارهای برش - طرح و ساختمان
موضوع	:	سازه‌های بتنی - طرح و ساختمان
موضوع	:	سازه‌های بتنی - اثر زلزله
شناسه اف‌وده	:	قلهکی، مجید، ۱۳۵۴ -
رده‌بندی کتابخانه	:	TH۲۲۴۷
رده‌بندی دیوینی	:	۶۹۰/۱۵۲
شماره کتابشناسی	:	۶۱۳۶۱۶

انتشارات زرنوشت

تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر ج ۳ و ۴

کوچه مهدی‌زاده، شماره ۲۷، واحد ۱۹

تلفن: ۰۹۰۲۴۸۶۸۹۵۶ - ۶۶۴۷۹۶۱۵ - ۵۶۳۷ - ۶۶۲۰

www.zarvesht.com

بررسی تحلیلی دیوار برشی فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه

مؤلف:

دکتر سیدرضا سلیم بهرامی

دکتر مجید قلهکی

• چاپ اول: ۱۳۹۹ • شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه • ناشر: زرنوشت

شابک: ۹۷۸ - ۶۲۲ - ۷۲۷۹ - ۱۰ - ۸

قیمت: ۵۷,۰۰۰ تومان

تمامی حقوق محفوظ است.

پس از سال‌ها مطالعه، تحقیق و تدریس در زمینه‌های مرتبط با دیوار برشی فولادی، این توفیق به یاری خداوند متعال فراهم گردید که کتاب حاضر به رشته تحریر درآید. پیشرفت‌های گسترده در یک دهه گذشته در زمینه‌های سیستم‌های مقاوم جانبی، فناوری‌های وین در میرا نمودن انرژی ورودی ناشی از زلزله و دیوارهای برشی فولادی به عنوان یکی از سیستم‌های مقاوم جانبی پیشنهادی سبب گردید که آشنایی با این پیشرفت‌ها و بهره‌بردن از مزایای آن تنها از طریق شناخت خصوصیات لرزه‌ای به صورت علمی و تخصصی می‌باشد. در تألیف این کتاب تلاش شده است که کلیه اطلاعاتی را که یک پژوهشگر در زمینه‌های اخیرین پیشرفت‌ها در مباحث مرتبط با دیوار برشی فولادی چه به عنوان یک پژوهشگر دانشگاهی و چه به عنوان یک متخصص صنعت نیاز دارد با بیانی ساده و کاملاً علمی شرح گردد. شایسته ذکر است این کتاب در راستای تحقق اولویت‌های مصرح در نقشه جامع علمی کشور و در حوزه‌های پدافند غیرعامل و پیش‌بینی و مقابله با زلزله است.

کتاب حاضر مشتمل بر هشت فصل به ترتیب به مباحث نظری و مروری بر منابع گذشته، ارزیابی پالس ساده، اثر درجات آزادی و مودهای بالاتر بر ضریب کاهش مقاومت، اثرات مودهای بالاتر و درجات آزادی بر نیازهای تغییرشمی، نگاه به زلزله دور و نزدیک گسل، اثرات مودهای بالاتر و درجات آزادی بر نیاز انرژی، ارزیابی نیازهای لرزه‌ای به کمک تحلیل بار افزون سنتی و پیشرفته و جمع‌بندی و نتیجه‌گیری است.

در **فصل اول**، به مرور منابع علمی و کارهای تحلیلی و آزمایشگاهی که توسط محققین در زمینه قاب‌های خمشی بتن‌آرمه دارای دیوار برشی فولادی صورت گرفته است، پرداخته شده است. در **فصل دوم** به اعتبار سنجی نمونه عددی با نمونه آزمایشگاهی پرداخته و به کالیبره نمودن نتایج نمونه عددی مدل‌های موردبررسی می‌پردازد. در ادامه به معرفی نمونه‌های موردبررسی در این پژوهش از لحاظ هندسی، شرایط بارگذاری و نحوه مدل‌سازی در نرم‌افزار OpenSess با توجه به آیین‌نامه‌های

لرزه‌ای پرداخته می‌شود. در فصل سوم، با پیشنهاد نسبت‌های کاربردی و مفید به ایجاد ارتباط بین انرژی در سازه‌های یک درجه آزادی و چند درجه آزادی پرداخته شود. بدین منظور نسبت‌هایی همچون نسبت انرژی تلف‌شده غیر ارتجاعی به ارتجاعی، نسبت انرژی تلف‌شده هیستریزیس به کل انرژی تلف‌شده برای سیستم‌های چند درجه آزادی و یک درجه آزادی معادل تعریف و برای منظور نمودن اثرات درجات آزادی نیاز انرژی به‌دست‌آمده برای سیستم‌های چند درجه آزادی با مقدار متناظر آن در سازه‌های یک درجه آزادی معادل هم‌پایه شده است. فصل چهارم، دو ضریب R_μ و C_R ، برای ۳ دسته شتاب‌نگاشت شامل رکوردهای مؤلفه عمود نزدیک گسل (NF-SP)، مؤلفه موازی نزدیک گسل (NF-S) و دور از گسل (FF) ارزیابی شده است. همچنین C_R به‌دست‌آمده با معیار پیش‌بینی FEMA440 (C_1) مقایسه شد. در ادامه با توجه به نتایج به‌دست‌آمده موضوع اصلاح ضریب کاهش مقاومت سازه با در نظر گرفتن اثرات چند درجه آزادی مطرح گردید. در مطالعه‌سازی سیستم‌های چند درجه آزادی به یک درجه آزادی معادل تنها دوره تناوب اصلی (دوم) قاب‌های چند درجه آزادی استفاده می‌شود. لذا به‌منظور بررسی میزان تأثیر مودهای بالاتر و اثرات چند درجه آزادی ضریب اصلاح برش پایه α_{v-MDOF} و اصلاح ضریب رفتار $1/\alpha_{v-MDOF}$ معرفی گردید.

در فصل پنجم، با توجه به پیشرفت‌های اخیر، به‌تفان شاهد اثرات متفاوت زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های دور از گسل به‌دانه. در این فصل از کتاب از قاب‌های خمشی بتن‌آرمه دارای دیوار برشی فولادی با ورق‌نازک ساختمان‌های کوتاه، میان و بلندمرتبه می‌باشد، استفاده‌شده است. البته با توجه به این موضوع که در سال‌های اخیر تعداد زلزله‌های ثبت‌شده در حوزه نزدیک گسل دارای اثرات جهت‌پذیری بوده و به شکل قابل‌توجهی رشد داشته است، امکان مقایسه را بیش‌ازپیش تسهیل نموده است؛ اما نکته مهم آنجاست که معیار مقایسه بین پاسخ سازه در برابر زلزله دور و نزدیک گسل چگونه تعریف می‌شود. در بسیاری از مطالعات پیشین زلزله‌های دور و نزدیک برای PGA مشابه هم‌پایه شده‌اند. این روش هم‌پایه‌سازی اگرچه می‌تواند درست باشد اما از یک نظر دارای اشکال است. اشکال وارد بر آن اینکه یکسان بودن PGA به‌طور مستقیم بر فاصله ایستگاه تا محل وقوع زلزله مرتبط است. به عبارتی در

این روش از هم‌پایه سازی، اثرات کاهندگی بر حداکثر شتاب نادیده گرفته شده است. لذا در این فصل از ایده‌ی یکسان‌سازی ضریب کاهش مقاومت (R) بهره برده شده و سازه‌های مورد مطالعه را تحت ۷ رکورد دور از گسل (FF) و ۷ رکورد نزدیک گسل پالسی شکل (NF) تحت آنالیز دینامیکی غیرخطی و خطی با یکدیگر مقایسه گردد. برای آنکه بتوان انواع نیازهای کلی و محلی را در این فصل از کتاب پوشش داده شود، مواردی همچون تغییرمکان طبقات، تغییرمکان نسبی طبقات (دریفت)، شکل‌پذیری کلی، شکل‌پذیری طبقه‌ای، ضریب اصلاح تغییرمکان نسبی، شتاب و سرعت مطلق طبقه، نیروی برش پایه و توزیع نیروی برش در طبقات در توسعه نتایج استفاده شده‌اند. در فصل ششم، در ابتدای این فصل از کتاب به ارزیابی توانایی پالس معادل تولیدشده در تخمین پست‌تاب‌ها، خمشی بتن‌آرمه دارای دیوار برشی فولادی توسط یک مدل ریاضی شبیه‌ساز پالس که توسط آگراوال پیشنهاد شده، اثرات زلزله نزدیک گسل دارای اثرپذیری پیش‌رونده بر تخمین نیازهای ارتجاعی قاب‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ طبقه و همچنین موضوع اثرات تعداد مودهای ارتعاشی در برآورد نیازهای تغییرمکانی و نیرویی، برای نسبت‌های مختلف T_p/T_1 به کمک این دینامیکی طیفی مودال مورد بررسی قرار گرفت.

در قسمت دوم از فصل ششم به ارائه ضرایب جهت برقراری ارتباط بین بیشینه پاسخ تغییرمکان طبقه بام سازه چند درجه آزادی (ارتجاعی و غیر ارتجاعی) با تغییرمکان طیفی ارتجاعی سیستم یک درجه آزادی معادل (رای جرم و دوره تناوب معادل سازه چند درجه آزادی) مدنظر قرار گرفته است. همچنین در این قسمت از فصل به ارائه رابطه‌ای جهت برقراری ارتباط بین بیشینه زاویه رانش کل ساختمان (نسبت بیشینه تغییرمکان طبقه بام به ارتفاع کل سازه) با بیشینه زاویه رانش بین طبقه‌ای (رانش هم‌پایه شده نسبت به ارتفاع طبقه) با توجه به زلزله نزدیک گسل پرداخته شده است.

مزیت این دو رابطه معرفی شده در این است که با داشتن مقدار تغییرمکان ارتجاعی طیفی (برای یک میرایی مشخص) بدون مدل‌سازی و نیاز به تحلیل‌های پیچیده دینامیکی می‌توان تخمین قابل قبولی از بیشینه زاویه رانش بین طبقه‌ای به دست آورد.

در فصل هفتم نیز به ارزیابی نیازهای لرزه‌ای به کمک تحلیل بار افزون سنتی و پیشرفته پرداخته شده است. در فصل هشتم، خلاصه کارهای صورت گرفته و همچنین جمع‌بندی نتایج ارائه شده در فصل سوم تا هفتم، اشاره گردیده و سپس منابع و مراجع ذکر می‌گردد.

امیدواریم مطالب این کتاب بتواند مورد مقبولیت اساتید، دانشجویان و نیز مهندسان و متخصصان محترم صنعت قرار گیرد. امید است خوانندگان محترم با ارائه نظرات و پیشنهادها، ارزشمند خود، ما را در بهبود کیفیت و رفع نواقص در چاپ‌های بعدی، یاری دهند.

سید رضا سلیم بهرامی و مجید قلهکی

زمستان ۱۳۹۸

فهرست مطالب

فصل اول: مبانی نظری و مروری بر منابع گذشته ۱۳

۱۵	۱-۱- مقدمه
۱۶	۲-۱- تاریخچه تحقیقات
۲۳	۱-۲-۱- آزمایش‌های انجام گرفته بر روی دیوارهای برشی فولادی
۳۳	۲-۲-۱- تحقیقات نظری بر روی دیوارهای برشی فولادی
۴۱	۱-۲-۲- اثرات زلزله نزدیک گسل
۴۶	۱-۴-۱- تحقیقات بر روی سازه‌های تحت نگاشت‌های نزدیک گسل
۴۹	۱-۲-۳- منحنی ظرفیت و نیاز
۵۲	۳-۱- اندرکنش قاب دیوار برشی
۵۴	۱-۳-۱- مزایای اندرکنش قاب-دیوار برشی و عوامل مؤثر بر آن
۵۴	۱-۳-۲- دیدگاه استاندارد ۲۸۰۰ بر مورد اندرکنش قاب-دیوار

فصل دوم: مدل‌سازی دیوار برشی فولادی ۵۷

۵۹	۱-۲- مقدمه
۵۹	۲-۲- اعتبارسنجی مدل
۶۱	۱-۲-۲- بارگذاری
۶۲	۲-۲-۲- مدل‌سازی مدل آزمایشگاهی در نرم‌افزار OpenSees
۶۳	۳-۲-۲- تحلیل نتایج اعتبارسنجی
۶۵	۴-۲-۲- مکانیسم شکست
۶۶	۵-۲-۲- روند تسلیم بتن
۶۷	۳-۲- آنالیز و طراحی دیوارهای برشی فولادی به روش نواری
۷۰	۴-۲- معرفی مدل‌ها

فصل سوم: اثرات مودهای بالاتر و درجات آزادی بر نیاز انرژی ۷۵

۷۷	۱-۳- مقدمه
۸۲	۲-۳- مبانی نظری
۸۳	۱-۲-۳- انرژی ورودی مطلق سیستم یک درجه آزادی
۸۴	۲-۲-۳- انرژی ورودی نسبی سیستم یک درجه آزادی
۸۵	۳-۲-۳- اختلاف انرژی ورودی مطلق و نسبی در سیستم یک درجه آزادی
۸۶	۴-۲-۳- انرژی ورودی لرزه‌ای به سیستم چند درجه آزادی
۸۷	۳-۳- انتخاب شتاب‌نگاشت

۸۸	۴-۳- روش تحقیق
۸۹	۵-۳- نسبت نیاز انرژی تلف شده غیر ارتجاعی به ارتجاعی
۹۰	۶-۳- نسبت نیاز انرژی چرخه‌ای به مجموع انرژی تلف شده
۹۱	۷-۳- مقایسه نیاز انرژی تلف شده در سیستم‌های چند درجه آزادی و یک درجه آزادی
۹۳	۸-۳- نیاز انرژی چرخه‌ای در سیستم چند درجه آزادی
۹۴	۹-۳- سهم مؤلفه‌های انرژی در سیستم چند درجه آزادی
۹۷	۱۰-۳- جمع‌بندی

فصل چهارم: اثر درجات آزادی و مودهای بالاتر بر ضریب کاهش مقاومت ۱۰۱

۱۰۳	۱-۴- مقدمه
۱۰۷	۲-۴- تعریف ضریب ضربه
۱۰۸	۱-۲-۴- کاربرد ضریب ضربه
۱۱۰	۲-۲-۴- عوامل مؤثر بر ضریب ضربه
۱۱۳	۳-۲-۴- روش‌های تحلیلی ضریب ضربه
۱۱۶	۴-۲-۴- تعیین ضریب ضربه با استفاده از روش فریمن
۱۱۸	۳-۴- انتخاب شتاب‌نگاشت
۱۲۰	۴-۴- روش تحقیق
۱۲۳	۵-۴- ضریب کاهش شکل‌پذیری (R_H)
۱۲۷	۶-۴- نسبت تغییر شکل غیر ارتجاعی به ارتجاعی
۱۳۰	۷-۴- مقایسه C_R با C_1 پیشنهادی FEMA440
۱۳۵	۸-۴- ضریب اصلاح (α_V -MDOF) سازه‌های غیر ارتجاعی
۱۳۷	۹-۴- جمع‌بندی

فصل ۵: اثرات مودهای بالاتر و درجات آزادی بر نیازهای تغییر مکانی ۱۴۳

۱۴۵	۱-۵- مقدمه
۱۴۷	۲-۵- مقیاس‌سازی
۱۴۸	۳-۵- انتخاب شتاب‌نگاشت
۱۵۰	۴-۵- اثرات زلزله دور و نزدیک گسل بر تغییر مکان طبقه
۱۵۱	۵-۵- اثرات مودهای بالاتر و چند درجه آزادی بر شکل‌پذیری کلی (طبقه بام)
۱۵۳	۶-۵- اثرات زلزله دور و نزدیک گسل بر زاویه تغییر مکان بین طبقه‌ای
۱۵۶	۷-۵- مقایسه اثرات مودهای بالاتر بر زاویه تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای
۱۵۹	۸-۵- اثرات زلزله دور و نزدیک گسل بر شتاب مطلق طبقه

- ۹-۵- اثرات زلزله دور و نزدیک گسل بر سرعت مطلق طبقه ۱۶۲
- ۱۰-۵- اثرات موده‌های بالاتر و چند درجه آزادی بر نیروی برش طبقات ۱۶۵
- ۱۱-۵- جمع‌بندی ۱۶۸

فصل ۶: ارزیابی پالس ساده ۱۷۳

- ۱-۶- مقدمه ۱۷۵
- ۲-۶- مبانی تحلیل دینامیکی ارتجاعی ۱۷۶
- ۳-۶- تحلیل ارتجاعی مودال ۱۸۰
- ۴-۶- پاسخ پالس غیر ارتجاعی ۱۸۴
- ۵-۶- محدوده کاربرد تحلیل‌های مودال در آنالیزهای غیر ارتجاعی ۱۸۹
- ۶-۶- بازتاب ارتجاعی در دایر پالس معادل ساده ۱۹۰
- ۶-۶-۱- بررسی اثر پالس ساده بر نیازهای تغییرمکان و نیروی برش طبقات ۱۹۶
- ۶-۶-۲- بررسی اثر پالس ساده بر نیازهای تغییرمکان و نیروی برش بام ۱۹۹
- ۶-۶-۳- اثر موده‌های بالاتر و محدوده رانش طبقه‌ای ۲۰۶
- ۶-۶-۷- بازتاب ارتجاعی در برابر زلزله نزدیک گسل پالس گونه ۲۰۸
- ۶-۷-۱- انتخاب شتاب‌نگاشت ۲۱۱
- ۶-۷-۲- ضریب تبدیل پاسخ ارتجاعی ۲۱۶
- ۶-۸- جمع‌بندی ۲۱۹

فصل ۷: ارزیابی نیازهای لرزه‌ای به کمک تحلیل افزایش سستی و پیشرفته ۲۲۳

- ۱-۷- مقدمه ۲۲۵
- ۲-۷- بررسی روش‌های مختلف تحلیل استاتیکی غیرخطی ۲۲۶
- ۷-۲-۱- روش تحلیل بار افزون تطبیقی با لحاظ اثر اندرکنش مودال AFEM ۲۲۷
- ۷-۲-۲- روش تحلیل بار افزون تطبیقی بر اساس جابجایی DAPA ۲۲۸
- ۷-۳- تحلیل دینامیکی غیرخطی ۲۲۹
- ۷-۴- بررسی دقت روش تحلیل استاتیکی غیرخطی ۲۳۰
- ۷-۵- ضریب رفتار ناشی از روش‌های مختلف تحلیل استاتیکی غیرخطی ۲۳۶
- ۷-۶- جمع‌بندی ۲۴۷

فصل ۸: سخن آخر ۲۴۹

- ۱-۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۵۱