



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سامانه‌های مقاوم جانبی فولادی رایج متأثر از زلزله‌های حوزه دور و نزدیک از

گسل پالس گونه

نوید سیاه پلو^{۱*}، نازنین بهادری بیرگانی^۲، نگار علیزاده بهبهانی^۳

چکیده

استفاده از ضوابط طراحی لرزه‌ای می‌توان عملکرد مناسب قاب خمشی تنها و دوگانه را در محدوده غیرخطی تضمین کند. از این حیث در این مقاله عملکرد لرزه‌ای قاب خمشی فولادی تنها و تجهیز شده با فرم‌های مختلف مهاربندی طرح شده بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) در برابر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک گسل FEMA P-695 بررسی و مقایسه شده است. سیستم‌های دوگانه متشکل از قاب خمشی مجهز به مهاربند همگرا (هم‌محور) و واگرا (برون‌محور) است. قاب فولادی دوبعدی در تعداد طبقات ۷ طبقه و ۳ دهانه برابر متر به کمک ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) و استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم)، طراحی شده‌اند. تمامی قاب‌های فولادی دوبعدی پس از مدل‌سازی در برابر شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک گسل پالس گونه FEMA P-695 تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (NTHA) قرار داده شدند. نتایج نشان می‌دهند از لحاظ جابه‌جایی مطلق طبقات و زاویه جابه‌جایی نسبی طبقات، سیستم قاب خمشی ویژه با مهاربند هم‌محور ویژه از نوع ضربدری مناسب‌ترین عملکرد را دارد. از منظر زاویه دریافت ماندگار همه مدل‌ها معیار ایمنی جانی را تأمین می‌کنند. از حیث دوران تیرها، استفاده از مهاربند کاهش قابل توجهی این پارامتر در تمامی مدل‌ها نسبت به قاب خمشی تنها به همراه داشت.

واژگان کلیدی:

قاب خمشی فولادی، زلزله حوزه نزدیک از گسل، زلزله حوزه دور از گسل، مهاربند هم‌محور، مهاربند برون‌محور

^۱. موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان، siahpolo@acecr.ac.ir

^۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان

^۳. دانشجوی کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

مقدمه

دو پارامتر مهم در انتخاب سیستم‌های مقاوم جانبی در سازه، کارایی مطلوب از منظر عملکرد لرزه‌ای و اقتصادی است. در صورت انتخاب سیستم مقاوم جانبی مناسب در سازه، برای مقاومت در برابر زلزله‌ها می‌توان از حداکثر ظرفیت این سیستم‌ها بهره برد و آسیب‌های لرزه‌ای را به حداقل رساند. از آنجایی که بسیاری از سیستم‌های سازه‌ای در کشور از نوع قاب خمشی فولادی است بررسی عملکردی رفتار انواع سیستم‌های مقاوم جانبی متداول در قاب خمشی فولادی متأثر از زلزله‌ها بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) امری ضروری است. هدف اصلی این مقاله رسیدن به مطلوب‌ترین عملکرد هر یک از سیستم‌های مقاوم جانبی متداول در برابر زلزله است. در این مقاله مقایسه رفتار چند نوع از سیستم‌های باربر جانبی متداول در ساختمان‌های فولادی از نظر عملکرد لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. خزائی و همکاران (۱۴۰۱) ارزیابی شکنندگی و فروریزش تدریجی قاب‌های فولادی با مهاربند واگرا را تحت اثر زلزله‌های حوزه دور با استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد قاب‌های با سیستم مهاربندی برون‌محور با تیر پیوند برشی کوتاه بیشترین ظرفیت فروریزش را نسبت به قاب‌های با سیستم تیر پیوند برشی بلند دارند. همچنین میزان میانگین شتاب فروریزش با افزایش ارتفاع قاب‌ها کاهش یافته است. همچنین استفاده از تیر پیوند برشی کوتاه در سیستم مهاربندی برون‌محور به میزان محسوسی ظرفیت فروریزش سازه‌های ارتفاع کوتاه و متوسط را افزایش داده است. پولکی و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد لرزه‌ای و اقتصادی طرح دیوار برشی فولادی با سیستم‌های باربر جانبی متداول در ساختمان‌های را مقایسه کردند. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها نشان داد قاب‌های با دیوار برشی فولادی بهترین عملکرد لرزه‌ای را دارا هستند و قاب‌های مهاربند ضربدری نامناسب‌ترین عملکرد لرزه‌ای را دارا هستند. خراسانی و همکاران (۱۳۹۷) رفتار قاب‌های خمشی مرکب و فولادی را تحت اثر زلزله‌های حوزه دور و حوزه نزدیک از گسل مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد، با افزایش طبقات جابه‌جایی سازه مرکب از سازه فولادی کمتر است. همچنین اثر بخشی رکوردهای نزدیک گسل بر سازه‌های مرکب بیشتر از سازه‌های معمول فولادی است. فقیه ملکی و همکاران (۲۰۱۷) اهمیت پارامتر انرژی جهت توجیه رفتار لرزه‌ای سازه‌ها را در برابر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک از گسل مورد بررسی قرار دادند. با بررسی نتایج، این نیز قابل مشاهده بود توزیع انرژی هیستریزس در سهم طبقات پایین‌تر (ساختمان‌های کوتاه) افزایش یافته و با افزایش ارتفاع ساختمان سهم طبقات بالاتر بیشتر می‌شود. همچنین تغییر مکان نسبی طبقات ناشی از رکوردهای نزدیک گسل به میزان قابل توجهی با رکوردهای دور از گسل متفاوت است. تقاضای جابه‌جایی زلزله‌های نزدیک گسل نیز در مقایسه با زلزله‌های دور از گسل بیشتر است. ناسانی و همکاران (۲۰۱۷) پاسخ لرزه‌ای قاب‌های فولادی با سیستم‌های مهاربندی شده مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که مقاومت لرزه‌ای قاب‌ها با پیوستگی و اتصال مهاربندها بهبود یافته است. همچنین عناصر مهاربندی در کاهش جابه‌جایی نسبی بسیار مؤثرترند به طوری که کاهش جابه‌جایی نسبی بین طبقات در برابر قاب‌های بدون مهاربند به طور میانگین حدود ۵۸ درصد است. عبدالله زاده و همکاران (۲۰۱۸) انرژی هیستریزس و جابه‌جایی نسبی بین طبقات در قاب‌های فولادی با مهاربند V شکل تحت اثر زلزله‌ای دور و نزدیک گسل را باهم مورد مقایسه قرار دادند. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد در ساختمان‌های کوتاه سهم انرژی هیستریزس در طبقات پایین‌تر بیشتر است و با افزایش ارتفاع طبقات سهم انرژی بیشتر می‌شود. همچنین مشخص شد انرژی هیستریزس ناشی از زلزله‌های حوزه نزدیک بیشتر از حوزه دور است. این اثبات در تحقیقات پیشین نیز توسط ملکی و همکاران (۲۰۱۷) نیز انجام شده است. فانگ و همکاران (۲۰۱۸) پاسخ‌های ماندگار حداکثر قاب‌های خمشی فولادی و قاب‌های مهاربندی را تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل پالسگونه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد، که قاب‌های خمشی و مقادیر حداکثر جابه‌جایی نسبی قابل مقایسه ای دارند در حالی که قاب‌های کمانش تاب مقادیر کمتری را خود نشان می‌دهند. با این حال جابه‌جایی نسبی ماندگار برای قاب‌های خمشی و کمانش تاب در برابر زلزله‌های حوزه نزدیک دارای مقادیر بیشتری اند و این نشان می‌دهد که این سازه‌ها ممکن است پس از زمین لرزه از نظر اقتصادی قابل ترمیم و به صرفه نباشند. تایاری و همکاران (۲۰۱۹) رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی را تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل ارزیابی



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۳۰-۱۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

کردند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد، سازه‌های با قاب خمشی رفتار لرزه‌ای بهتری را تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل بدون پالس نسبت به زلزله‌های دارای پالس از خود نشان می‌دهند. میانگین پاسخ ضریب اصلاح بدست آمده حاصل از نتایج برای زلزله بدون پالس حدود ۵ است که ۱/۱۹ برابر بیشتر از نتایج زلزله‌های دارای پالس است. با وجود تحقیقات پیشین، بررسی‌ها نشان داد که تاکنون هیچ مطالعه مدونی مبنی بر ارزیابی پاسخ لرزه‌ای قاب‌های فولادی طراحی شده بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) در برابر زلزله‌های حوزه دورو نزدیک گسل انجام نشده است. به عبارت دیگر همواره این سوال مطرح است که از بین سیستم‌های مقاوم جانبی فولادی مختلف که بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) طراحی شده‌اند و در طراحی آنها کلیه ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) رعایت شده است، کدام یک عملکرد مناسب‌تری را در برابر اثر زلزله‌های حوزه دورو نزدیک گسل از خود نشان می‌دهند؟ برای پاسخگویی به طرح مسئله، یک قاب ۷ طبقه خمشی مجهز به سیستم مقاوم متداول جانبی با آرایش مختلف مهاربندی همگرا و واگرای ویژه با در نظر گرفتن ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) انتخاب شدند. تعداد دهانه‌های قاب ۳ دهانه به طول ۵ متر انتخاب شد. سپس با استفاده از روش تحلیل NTHA در برابر شتاب‌نگاشت‌های حوزه دورو نزدیک گسل مستخرج از جداول FEMA P-695 مورد ارزیابی قرار داده شد.

معرفی مدل

در این مقاله، یک قاب دوبعدی ۷ طبقه و ارتفاع هر طبقه برابر ۳/۲ بدون نامنظمی در ارتفاع مدل‌سازی شده است. تعداد دهانه‌ها در هر طبقه قاب، ۳ دهانه برابر عرض ۵ متر به صورت یکسان پیش بینی شده است. سیستم‌های مقاوم جانبی استفاده در قاب عبارتند از: سیستم قاب خمشی فولادی ویژه، قاب خمشی با مهاربند هم محور (همگرا) با پیکربندی V و V معکوس به صورت یک طبقه در میان، قاب خمشی با مهاربند هم محور V شکل، قاب خمشی با مهاربند ضربدری، قاب خمشی با مهاربند برون محور V معکوس (جدول ۱- نامگذاری اختصاری مدل‌ها است). محل قرارگیری مهاربندها در قاب در دهانه‌های ابتدایی و انتهایی قاب است. پس از مشخص نمودن فرضیات هندسی قاب‌ها و پیش از شروع طراحی مدل غیرخطی، باید چند نکته مهم در نظر گرفته می‌شد. ابتدا لازم به ذکر که در این مقاله از مدل‌های پایان نامه شاه ولی (۱۳۹۶) استفاده شده است. برای این منظور طراحی قاب‌های فولادی به روش LFRD در نرم افزار CSI ETABS 2015 ابتدا ساخته شدند.

جهت بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۸) و استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) استفاده شد. جهت بارگذاری تیرها، مقادیر بار مرده و زنده کلیه طبقات و بام به ترتیب برابر ۳۰۰۰ و ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر فرض شده است. در طراحی قاب‌ها از لحاظ نمودن بار باد صرف نظر شد. برای محاسبه جرم لرزه‌ای با فرض کاربری مسکونی برای کلیه مدل‌ها، مطابق استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) درصد مشارکت بارهای ثقلی برابر با ۲۰٪ در نظر گرفته شد. اتصال ستون به پی ساختمان از نوع گیردار و مهاربندها از نوع مفصلی و اتصال تیر و ستون‌ها از نوع گیردار انتخاب شد. نوع فولاد مصرفی ST37 در نظر گرفته شده است. مقاطع مورد استفاده برای تیرها از مقاطع IPE و برای همه ستون‌ها و مهاربندها از نوع مقاطع جعبه ای استفاده شده است. نوع خاک مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) از نوع خاک III و با لرزه خیزی متوسط (ناحیه لرزه خیزی ۳) برای تمامی قاب‌ها فرض شده است. تحلیل مدل‌ها پیش از طراحی نیز به روش دینامیکی خطی و بر اساس همین استاندارد انجام شد و لازم به ذکر است که از اندرکنش خاک و سازه صرف نظر شده است. طراحی و کنترل لرزه‌ای در ETABS 2015 براساس AISC 341-10 انجام خواهد شد. از آنجا که سازه بدون نامنظمی در ارتفاع است با این حال کنترل نامنظمی سختی جانبی در همه مدل‌ها صورت گرفته است (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم). در تمامی مدل‌های قاب خمشی ویژه با مهاربند هم محور، کنترل مهاربندها



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |

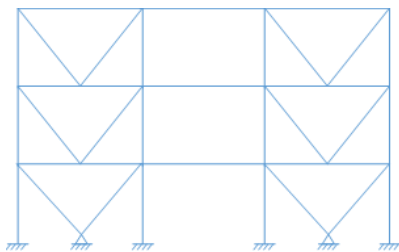


موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

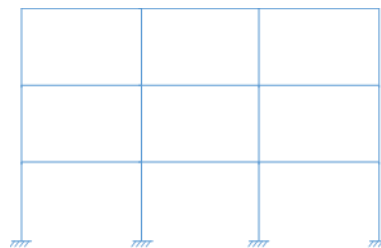
برای تحمل حداقل ۵۰٪ نیروی جانبی و برای قاب‌های مستقل بدون مهاربند این کنترل نیز برای تحمل ۲۵٪ نیروی جانبی در نظر گرفته شده است. در مدل‌های قاب برون‌محور V معکوس هدف طراحی تیر پیبوند، تیر پیبوند با رفتار برشی بوده است. طول تیر پیبوند (e) برابر ۲۰٪ طول دهانه ۵ متری یعنی ۱ متر در نظر گرفته شده است. شکل ۱- نمونه نمای شماتیک قاب خمشی با سیستم‌های مقاوم جانبی در ۳ دهانه ۵ متری استفاده شده در مقاله را نمایش داده است.

جدول ۱- نام‌های اختصای داده‌شده به قاب‌ها

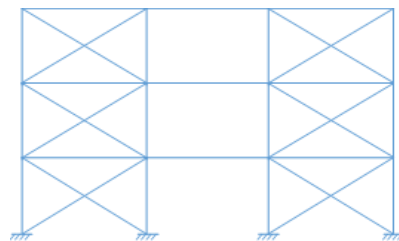
نام اختصاری	توضیحات
SMRF	قاب خمشی ویژه
SMRF-VSCB	قاب خمشی ویژه+ مهاربندی همگرای V شکل
SMRF-XSCBF	قاب خمشی ویژه+ مهاربندی همگرای ضربدری
SMRF-2XSCBF	قاب خمشی ویژه+ مهاربندی همگرا با پیکربندی V و V معکوس به صورت یک طبقه در میان
SMRF-IVEBF	قاب خمشی ویژه+ مهاربندی واگرای V معکوس



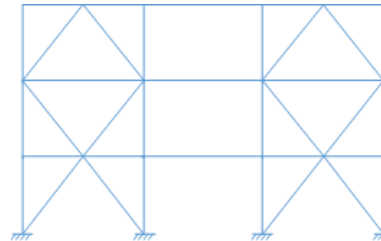
ب: نمای کلی قاب SMRF-VSCBF



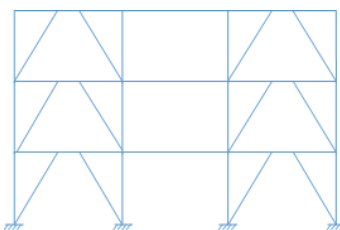
الف: نمای کلی قاب SMRF



د: نمای کلی قاب SMRF-XSCBF



ج: نمای کلی قاب SMRF-2XSCBF



ه: نمای کلی قاب SMRF-IVEBF

شتاب‌نگاشت‌های FEMA-P-695 نمای شماتیک قاب خمشی با سیستم‌های مقاوم جانبی



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

در این مقاله از زلزله‌های حوزه دور و حوزه نزدیک گسل دارای اثر پالس گونه برای انجام تحلیل NTHA استفاده شده است. برای این منظور از ۲۰ زلزله حوزه دور از گسل و ۲۰ زلزله حوزه نزدیک گسل از جداول FEMA P-695 استفاده شد. شتاب‌نگاشت‌های FEMA P-695 از پایگاه اطلاعاتی PEER استخراج شده‌اند. تمامی شتاب‌نگاشت‌ها طبق روش ذکر شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) همپایه سازی شدند. این نکته لازم به ذکر است که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، سطح خطر DBE مورد استفاده قرار گرفت. در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، اثر زلزله در دو امتداد افقی با استفاده از زوج شتاب‌نگاشت‌ها به سازه اعمال شده است. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (NTHA) مناسب‌ترین روش نسبت به سایر روش‌ها برای شبیه سازی رفتار سازه در برابر اثر زلزله است. در این روش اثرات حرکت زمین به صورت تاریخچه زمانی تغییرات شتاب مشخص می‌گردد. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور از گسل در جدول-۲ و حوزه نزدیک از گسل جدول-۳ آورده شده است.

جدول-۲: مشخصات زلزله‌های دور از گسل [۸]

نام اختصاری	سال	نام زلزله	نام ایستگاه	بزرگا	PGA	نوع خاک	فاصله تا گسل
FF1	1994	Northridge	Beverly Hills - Mulhol	6.7	0.49	D	13.3
FF2	1994	Northridge	Canyon Country-WLC	6.7	0.47	D	26.5
FF3	1999	Duzce, Turkey	Bolu	7.1	0.805	D	41.3
FF4	1999	Hector Mine	Hector	7.1	0.33	C	26.5
FF5	1979	Imperial Valley	Delta	6.5	0.35	D	33.7
FF6	1979	Imperial Valley	El Centro Array #11	6.5	0.38	D	29.4
FF7	1995	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	6.9	0.48	C	8.7
FF8	1995	Kobe, Japan	Shin-Osaka	6.9	0.24	D	46
FF9	1999	Kocaeli, Turkey	Duzce	7.5	0.364	D	98.2
FF10	1999	Kocaeli, Turkey	Arcelik	7.5	0.21	C	53.7
FF11	1992	Landers	Yermo Fire Station	7.3	0.245	D	86
FF12	1992	Landers	Coolwater	7.3	0.417	D	82.1
FF13	1989	Loma Prieta	Capitola	6.9	0.51	D	9.8
FF14	1989	Loma Prieta	Gilroy Array #3	6.9	0.56	D	31.4
FF15	1990	Manjil, Iran	Abbar	7.4	0.514	C	40.4
FF16	1987	Superstition Hills	El Centro Imp. Co.	6.5	0.357	D	35.8
FF17	1987	Superstition Hills	Poe Road (temp)	6.5	0.475	D	11.2
FF18	1992	Cape Mendocino	Rio Dell Overpass	7	0.512	D	22.7
FF19	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHY101	7.6	0.398	D	32
FF20	1992	Chi-Chi, Taiwan	TCU045	7.6	0.507	C	77.5

جدول-۳: مشخصات زلزله‌های نزدیک از گسل [۸]



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



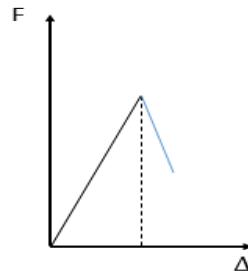
موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

نام اختصاری	سال	نام زلزله	نام ایستگاه	بزرگا	PGA	نوع خاک	فاصله تا گسل
NF1	1979	Imperial Valley-06	El Centro Array #6	6.5	0.449	D	27.5
NF2	1979	Imperial Valley-06	El Centro Array #7	6.5	0.469	D	27.6
NF3	1980	Irpinia, Italy-01	Sturno	6.9	0.32	B	30.4
NF4	1987	Superstition Hills-02	Parachute Test Site	6.5	0.43	D	16.0
NF5	1989	Loma Prieta	Saratoga - Aloha	6.9	0.32	C	27.2
NF6	1992	Erzican, Turkey	Erzincan	6.7	0.496	D	9.0
NF7	1992	Cape Mendocino	Petrolia	7	0.66	C	4.5
NF8	1992	Landers	Lucerne	7.3	0.725	C	44.0
NF9	1994	Northridge-01	Rinaldi Receiving Sta	6.7	0.874	D	10.9
NF10	1994	Northridge-01	Sylmar - Olive View	6.7	0.84	C	16.8
NF11	1999	Kocaeli, Turkey	Izmit	7.5	0.23	B	5.3
NF12	1999	Chi-Chi, Taiwan	TCU065	7.6	0.79	D	26.7
NF13	1999	Chi-Chi, Taiwan	TCU102	7.6	0.304	C	45.6
NF14	1999	Duzce, Turkey	Duzce	7.1	0.51	D	1.6
NF15	1976	Gazli, USSR	Karakyr	6.8	0.7	C	12.8
NF16	1979	Imperial Valley-06	Bonds Corner	6.5	0.77	D	6.2
NF17	1979	Imperial Valley-06	Chihuahua	6.5	0.27	D	18.9
NF18	1985	Nahanni, Canada	Site 1	6.8	1.107	C	6.8
NF19	1985	Nahanni, Canada	Site 2	6.8	0.52	C	6.5
NF20	1989	Loma Prieta	BRAN	6.9	0.5	C	9.0

فرضیات و معرفی مدل غیر خطی

برای مدل سازی مدل غیر خطی در این مقاله از نرم افزار SAP2000 استفاده شده است. برای حل معادلات روش نیومارک بتا (۰/۲۵) در نظر گرفته شد. ویژگی غیر خطی مصالح با استفاده از پلاستیسیته متمرکز بر اساس ASCE 14-13 به المانها اختصاص داده شد. در قابهای خمشی تنها و قابهای خمشی هم محور، برای کلیه المانها شامل تیر، ستون و مهاربندها مفاصل پلاستیک خودکار نرم افزار SAP2000 اختصاص داده شد. برای تیرها، دو مفصل خمشی از نوع M3 در فواصل نسبی ۰/۰۵ و ۰/۹۵ و در ستونها دو مفصل از نوع اندرکنش محوری و خمشی (P-M3) در فواصل نسبی ۰/۰۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. به مهاربندها نیز یک مفصل پلاستیک محور P در میانه طول دهانه اختصاص یافت. در مدل های قاب خمشی همراه با مهاربند برون محور، اعضای که عضو مشترکی با دهانه های مهاربندی ندارند مطابق مفاصل قاب خمشی تعریف شدند. اما برای المان های دهانه های مهاربندی شده (به غیر از تیر پیوند) مفاصل دستی از نوع نیرو-کنترل (شکل-۲) استفاده شد. برای همه تیرهای پیوند در سیستم های دوگانه، یک مفصل تغییر شکل کنترل دستی از نوع برشی V3 به میانه تیر پیوند اختصاص یافت. مشخصات این مفاصل از جداول (۵-۳) نشریه ۹۲-۳۶۰ برداشت شد و لازم به ذکر است که شیب ناحیه پلاستیک ۱/۲۵ برابر ناحیه الاستیک در نظر گرفته شد. در این مقاله ابتدا تحلیل

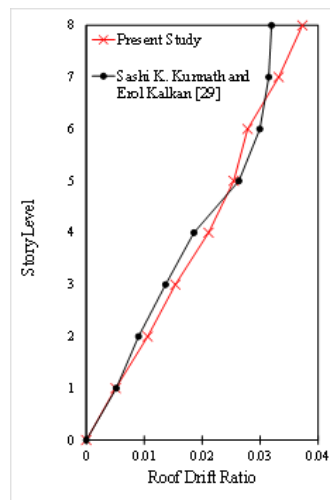
بار افزون و سپس تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTHA) انجام شده است. در کلیه تحلیل‌های انجام گرفته از میرایی متناسب رابلی با ضریب استهلاک ۵٪ در کلیه مودها استفاده شده است.



شکل-۲: منحنی اعضای نیرو-کنترل [۲]

صحت سنجی

در این مقاله جهت اطمینان از صحت نتایج از مطالعه مقاله کونات و کالکان (۲۰۰۴) و تز دکتری پرینز (۲۰۱۰) برای دو مدل قاب خمشی و قاب با مهاربند واگرا صحت سنجی انجام شده است. از مطالعه گسترش قاب فولادی مقاله کونات و همکاران (۲۰۰۴) در SAP2000 بر اساس داده‌های مقاله، صحت سنجی در SAP2000 صورت گرفته است. برای تحلیل تاریخچه زمانی، نصف جرم ساختمان به تناسب گره‌ها طبقات به مدل اعمال شد. اختصاص دادن مفاصل پلاستیک به اعضا همانند صحت سنجی مدل پرینز (۲۰۱۰) در SAP2000 بر اساس ضوابط دستورالعمل ۹۲-۳۶۰ انجام شده است. نتایج بدست آمده حاصل از صحت سنجی با نتایج مطالعه کونات و کالکان (۲۰۰۴) در شکل ۳ قابل مشاهده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد در شکل ۳- صحت سنجی مدل غیرخطی به درستی انجام شده است.



شکل-۳: مقایسه نتایج حاصل از صحت سنجی و نتایج کونات و کالکان [۹]

از مطالعه مدل قاب فولادی با سیستم مهاربندی واگرا مطابق با تز دکتری پرینز (۲۰۱۰) بر اساس داده‌های موجود، مدل قاب صحت سنجی در نرم افزار SAP2000 ساخته شد و بروی آن تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTHA) انجام گرفت. در این صحت سنجی این نکته حائز اهمیت است، برای لحاظ نمودن اثرات غیرخطی در SAP2000 بجای آنچه که پرینز (۲۰۱۰) در OpenSEES استفاده کرد، بر اساس ضوابط دستورالعمل ۹۲-۳۶۰، تنها دو مفصل پلاستیک متمرکز برای ستون‌ها در فاصله‌های



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

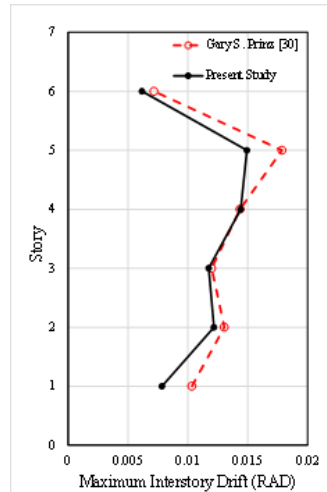
محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

نسبی ۰/۰۵ و ۰/۹۵ یکی در ابتدا و دیگری در انتها در نظر گرفته شده است. برای تیرها از دو مفصل پلاستیک متمرکز در فاصله‌های نسبی ۰/۰۵ و ۰/۹۵ از طول المان‌ها استفاده شده است. به مهاربندها یک مفصل پلاستیک متمرکز در طول میانه اختصاص داده شد. شکل نشان دهنده نتایج تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی برای حداکثر زاویه جابه‌جایی نسبی بین طبقات از تز دکتری انجام شده توسط پرینز (۲۰۱۰) و نتایج صحت سنجی انجام شده است. مقایسه نتایج در شکل ۴- نشان می‌دهد مدل‌سازی قاب مورد نظر در نرم افزار SAP2000 از لحاظ صحت و دقت مدل‌سازی مدل غیرخطی درست انجام شده است.



شکل ۴- مقایسه نتایج حاصل از صحت سنجی و نتایج پرینز (Prinz, 2010)

بحث و بررسی

میزان جابه‌جایی مطلق طبقات

برای درک بهتر نتایج حاصل از تحلیل، در شکل ۵- برای سازه‌های با تعداد طبقات مساوی برای زلزله‌های (حوزه دور یا نزدیک) جابه‌جایی مطلق طبقات برای همه سیستم‌های سازه‌ای به صورت کنار هم قرار داده شده آورده شده است. شاخص جابه‌جایی مطلق طبقات برای محدود کردن جابه‌جایی سازه در بحث احتمال برخورد و شکل‌گیری نیروی تنه‌ای با توجه به شکل ۵- می‌توان عنوان کرد که میزان جابه‌جایی مطلق طبقات در قاب‌های دوگانه به هم نزدیک و به میزان زیادی کمتر از قاب‌های خمشی است. در میان قاب‌های با سیستم دوگانه، قاب SMRF-IVEBF دارای بیشترین میزان جابه‌جایی مطلق طبقات است. از این نمودارها می‌توان استنباط کرد که در ساختمان‌های ۷ طبقه، سیستم قاب خمشی تنها دارای بیشترین میزان جابه‌جایی مطلق طبقات و سیستم‌های دوگانه قاب خمشی همراه با مهاربند ضربدری دارای کمترین میزان جابه‌جایی مطلق طبقات است و بهترین عملکرد را از خود نشان داد.



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

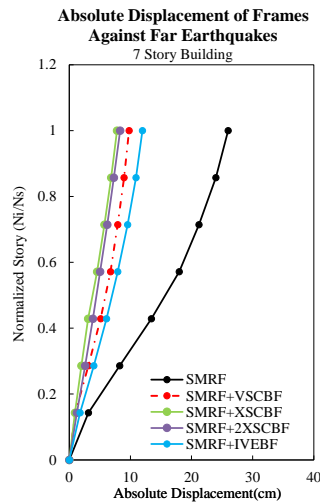
صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

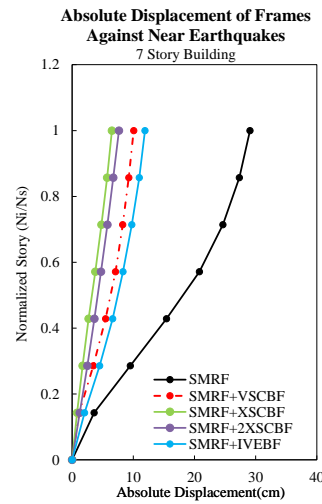
| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان



ب) دور از گسل

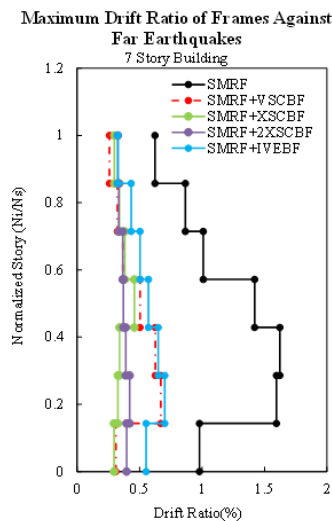


الف) نزدیک گسل

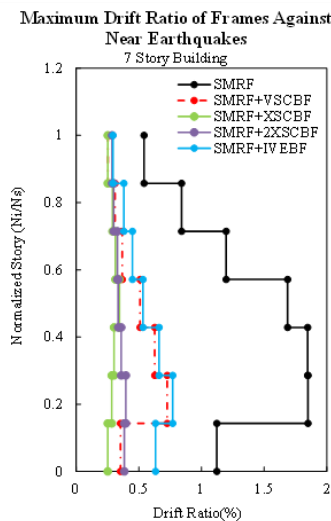
شکل-۵: میانگین جابه‌جایی مطلق طبقات به تفکیک برای زلزله‌های دور و نزدیک از گسل

زاویه جابه‌جایی مطلق طبقات

پارامتر بیشینه زاویه دریافت (IDR) معیار مهمی برای محدود کردن خسارت‌های وارد بر اجزای غیر سازه‌ای است. این شاخص بصورت توزیع یافته در ارتفاع برای انواع مدل‌های این مقاله در دو حالت دور و نزدیک گسل در شکل ۶ ترسیم شده است. در شکل ۶- نتایج حاصل از نمودارها بیانگر این است، قاب‌های خمشی با اختلاف قابل توجهی از سیستم‌های دوگانه بیشترین میزان زاویه جابه‌جایی نسبی طبقات را به خود اختصاص دادند. در مقابل سیستم دوگانه قاب خمشی همراه با مهاربند ضربدری کمترین میزان جابه‌جایی نسبی طبقات را به خود اختصاص داده است.



ب) دور از گسل



الف) نزدیک گسل

شکل-۶: میانگین زاویه جابه‌جایی نسبی طبقات به تفکیک برای زلزله‌های دور و نزدیک از گسل

زاویه جابه‌جایی نسبی ماندگار طبقات



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

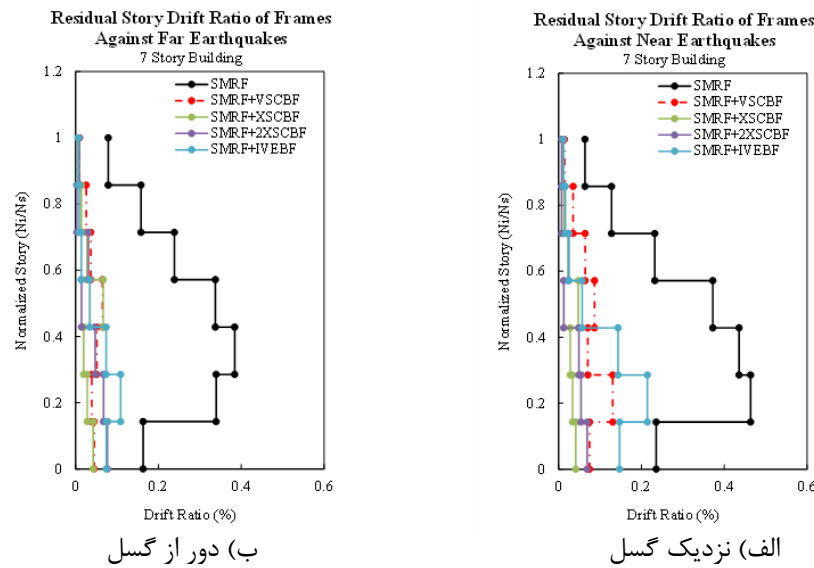
محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

زاویه جابه‌جایی نسبی ماندگار طبقات (RIDR) شاخص مناسبی است که از آن می‌توان برای امکان استفاده مجدد از سازه بعد از زلزله استفاده نمود. بدین منظور توزیع RIDR در دو حالت دور و نزدیک گسل در شکل ۷ نمایش داده شده است. براساس FEMA 356 مقادیر RIDR برای سطح عملکرد LS در قاب خمشی بتنی تنها و قاب با مهاربند به ترتیب به ۱ و ۰/۵ درصد محدود شده است. با توجه به شکل ۷- می‌توان گفت، هیچکدام از مقادیر جابه‌جایی نسبی ماندگار برای قاب‌های خمشی از ۱ درصد تجاوز نکرده، پس بنابراین سطح عملکرد ایمنی جانی تأمین شده است. همچنین برای قاب‌های مهاربندی شده این مقدار نباید از ۰/۵ عبور کند که مشاهده می‌شود، برای قاب‌های مهاربندی شده نیز سطح عملکرد ایمنی جانی تأمین شده است.



شکل-۷: میانگین زاویه جابه‌جایی نسبی ماندگار به تفکیک برای زلزله‌های دور و نزدیک گسل

بیشینه شتاب مطلق طبقات

پارامتر بیشینه شتاب مطلق طبقات برای کنترل و یا طراحی المان‌های حساس به شتاب می‌تواند مد نظر قرار گیرد. بعلاوه از این پارامتر می‌توان در تولید طیف شتاب طبقه هم استفاده کرد. بدین منظور توزیع بیشینه شتاب مطلق طبقات در دو حالت دور و نزدیک گسل در شکل ۸ نمایش داده شده است. از شکل-۸، می‌توان نتیجه گرفت در میان سیستم‌های مقاوم جانبی مورد بررسی قرار داده شده، قاب‌های خمشی دارای کمترین میزان شتاب مطلق طبقه می‌باشند. بعلاوه سیستم‌های SMRF-XSCBF، SMRF-، SMRF-2XSCBF، SMRF-IVEBF به ترتیب دارای بیشترین مقدار شتاب مطلق طبقات هستند.



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

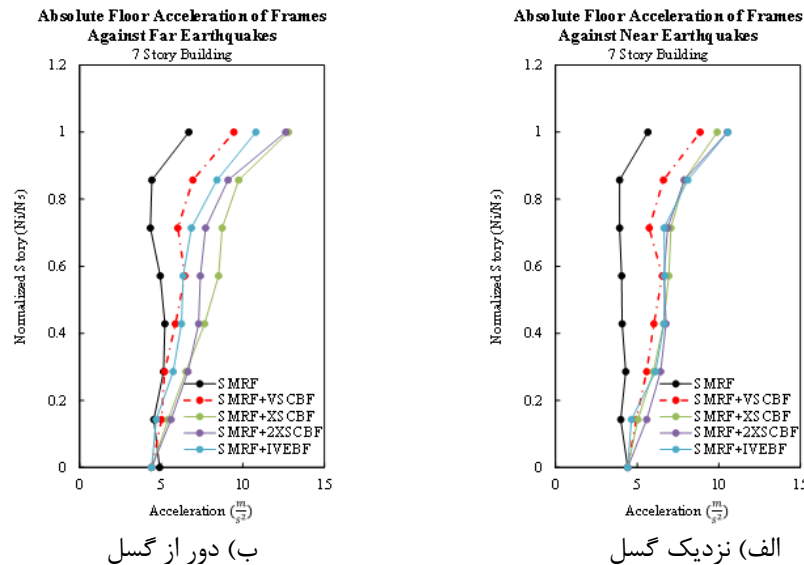
صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



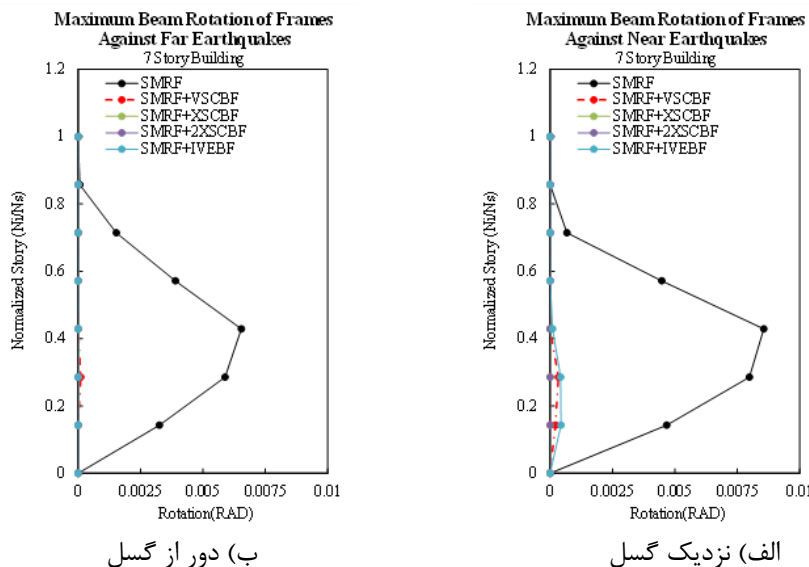
موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان



شکل-۸: میانگین شتاب مطلق به تفکیک برای زلزله‌های دور و نزدیک گسل

میزان حداکثر زاویه دوران تیرها

در عمده مدارک فنی موجود در زمینه ارزیابی عملکردی، محدود کردن زاویه دوران پلاستیک تیرهای مستقر در قاب خمشی متضمن تأمین یک سطح عملکردی از قبل تعیین شده است. براین اساس تغییرات زاویه دوران تیر در ارتفاع برای دو زلزله دور و نزدیک گسل در شکل ۹ ترسیم شده است. با توجه به شکل-۹ فوق می‌توان گفت، که اولاً در قاب خمشی تنها زاویه دوران بشکل قابل توجهی از مدل‌های دارای مهاربندی بیشتر است. بعلاوه اختلاف فاحشی بین زاویه دوران تیرها در زلزله نزدیک نسبت به زلزله دور از گسل وجود دارد.



شکل-۹: میانگین دوران تیر به تفکیک برای زلزله‌های دور و نزدیک گسل

بحث و نتیجه گیری



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

در این مقاله، رفتار غیرخطی و عملکرد لرزه‌ای قاب خمشی فولادی با و بدون فرم‌های مختلف مهاربندی که براساس آخرین ضوابط طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۱) طراحی شده‌اند، در برابر زلزله‌های حوزه دور و حوزه نزدیک گسل پالس گونه بررسی شده است. قاب فولادی خمشی ویژه ۷ طبقه با ۳ دهانه به طول ۵ متر با فرم‌های مهاربندی برون‌محور ویژه و هم‌محور ویژه با پیکربندی V و V معکوس به صورت یک طبقه در میان، مهاربند هم‌محور V، مهاربند هم‌محور X مهاربند برون‌محور V معکوس بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای مدل‌سازی شدند. تمامی مدل‌ها در برابر شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک از گسل پالس گونه FEMA P-695 تحت تحلیل NTHA ارزیابی شده‌اند. اهم نتایج حاصل از تحلیل به شرح زیر است:

۱. بعد از قاب خمشی، قاب SMRF-IVEBF بیشترین مقدار زاویه جابه‌جایی نسبی طبقات را دارد. کمترین این مقدار مربوط به قاب SMRF-XCBF است. در تمامی مدل‌ها، مقادیر زاویه جابه‌جایی نسبی طبقات از مقدار مجاز تعیین شده در استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) کمتر است.
۲. کمترین مقدار متوسط بیشینه شتاب مطلق طبقات در بین سیستم‌های جانبی مورد بررسی قرار گرفته برای قاب‌های خمشی ثبت شده است. بیشترین مقدار متوسط بیشینه شتاب مطلق مربوط به سیستم SMRF-XSCBF است.
۳. در میان سیستم‌های مورد بررسی، قاب‌های خمشی بیشترین دوران تیر را از خود نشان دادند. بعلاوه در سازه مجهز به سیستم دوگانه میزان دوران تیرها نزدیک به صفر است.
۴. از لحاظ جابه‌جایی مطلق طبقات و زاویه جابه‌جایی نسبی طبقه، سیستم SMRF-XSCBF مناسب‌ترین عملکرد را دارد. مناسب‌ترین عملکرد را سیستم SMRF-XSCBF در برابر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک گسل دارد. به طور کلی عملکرد قاب‌های خمشی ضعیف‌تر از قاب‌های دوگانه خمشی همراه با مهاربند است.

منابع

- ۱- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. ۱۳۹۲. «نشریه ۳۶۰-دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود». سازمان برنامه و بودجه.
- ۲- وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان. ۱۴۰۱. طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی (مبحث دهم مقررات ملی ساختمان). تهران. توسعه نشر ایران.
- ۳- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۳. استاندارد ۲۸۰۰ (آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله) ویرایش سوم. تهران.
- ۴- علیرضا شاه ولی. ۱۳۹۶. «تاثیر فرم‌های مهاربندی (هم‌محور و برون‌محور) بر عملکرد قاب‌های خمشی فولادی در برابر خرابی پیشرونده». پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشکده عمران. اهواز. موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان.
- ۵- سجاد پولکی، جعفر کیوانی، و علی معصومی. ۱۳۹۵. «مقایسه عملکرد لرزه‌ای و اقتصادی طرح دیوار برشی فولادی با سیستم‌های باربر جانبی متداول در ساختمان‌های فولادی». مجله علمی-پژوهشی مهندسی عمران. ۳۲ (۲): ۶۲-۵۳.
- ۶- فرشته خراسانی، محسن گرامی، و علی خیرالدین. ۱۳۹۷. «مقایسه رفتار قاب‌های خمشی مرکب (RSC) و فولادی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل». نشریه مهندسی سازه و ساخت. ۵ (۴): ۲۳۴-۲۱۷.
- ۷- محسن خزائی، و عبدالقیوم دهواری. ۱۴۰۱. «ارزیابی شکنندگی و فروریزش تدریجی قاب‌های فولادی با مهاربند واگرا با استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی». نشریه مهندسی سازه و ساخت. ۹ (۷). صص ۱۳۸-۱۱۵.



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۲۲۳۰-۱۸۹۳۵

اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در رفع موانع

صنعت ساخت و ساز کشور

محور ویژه: عمران (سازه، ژئوتکنیک و مدیریت ساخت)، معماری و شهرسازی

| ۲۹ آذر ماه ۱۴۰۲ - ایران، اهواز |



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان

- ۸-FEMA P-695. 2009. Federal Emergency Management Agency. Quantification of Building Seismic Performance Factors. Washington, Dc. 2009.
- ۹-Kunnat, S, K. and Kalhan, E. 2004. "Evaluation of Seismic Deformation Demands Using Nonlinear Procedures in Multistory Steel and Concrete Moment Frames". *ISSET Journal of Earthquake Technology*, 41(1): 159-181.
- ۱۰-Prinz, G, S. 2010. "Using Buckling-Restrained Braces in Eccentric Configurations". *Ph.D Thesis*. Brigham Young University.
- ۱۱-Nassani, D, E. Hussein, A, K. and Mohammed, A, H. 2017. "Comparative Response Assessment of Steel Frames with Different Bracing Systems Under Seismic Effect". *Journal Structures*, 11: 229-242.
- ۱۲-Faghihmaleki, H. Ahmadian, F. and Roosta, H. 2017. "The Effect of Far Field and Near-Field Earthquake on the Hysteresis Energy and Relative Displacement of Steel Moment Resisting Frame Structure". *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 2(1): 5-9.
- ۱۳-Abdollahzadeh, G. Faghihmaleki, H. and Esmaili, H. 2018. "Comparing Hysteresis Energy and Inter-Story Drift in Steel Frames with V-Shaped Brace Under Near and Fal-Fault Earthquake". *Alexandria Engineering Journal*, 57(1): 301-308.
- ۱۴-Fang, C. Zhong, Q. Wang, W. Hu, S. and Qiu, C. 2018. "Peak and Residual of Steel Moment-Resisting and Braced Frames Under Pulse-Like Near-Fault Earthquake". *Journal Structures Engineering*, 177: 579-597.
- ۱۵-Taiyari, F. Formisano, A. and Mazzolani, F, M. 2019. "Seismic Behaviour Assessment of Steel Moment Resisting Frames Under Near-Fault Earthquake". *Intenational Journal of Steel Structures*, 19(5): 1421-1430.