

بسم الرحمن الرحيم



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

رفتار تیر پیوند قائم برشی در ساختمانهای فولادی

دکتر سید مهدی زهرائی

دانشیار دانشکده عمران دانشگاه تهران

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: ک - ۵۱۵

چاپ اول: ۱۳۸۸

سرشناسه	زهرایی، مهدی
عنوان و نام پدیدآور	رفتار تیر پیوند قائم برشی در ساختمانهای فولادی/سیدمهدی زهرایی.
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	۲۲۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. گزارش تحقیقاتی: نشریه شماره گ-۵۱۵
شابک	۹-۸۵-۹۹۰۳-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	عنوان به انگلیسی: Behavior of vertical link beam in steel buildings.
موضوع	ساختمانهای ضد زلزله
موضوع	ساختمانهای فلزی - - اثر زلزله
موضوع	Building, iron and steel - - earthquake effects
موضوع	سازه های فولادی - - اثر زلزله
رده بندی کنگره	TA۶۵۸/۴۴/۹/۷ ۱۳۸۷
رده بندی دیویی	۶۹۳/۸۵۲
شماره کتابشناسی ملی	۱۵۷۶۴۳۱

مصوبه شماره ۸۷/۵۶۴ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

رفتار تیر پیوند قائم برشی در ساختمان های فولادی

دکتر سیدمهدی زهرایی

شماره نشر: گ - ۵۱۵ ، چاپ اول: ۱۳۸۸

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

ویرایش ادبی: امیر عشیری

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

بها: ۳۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه های علمی بر عهده نگارندگان محترم می باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... توری، خیابان پارس فرهنگیان، خیابان ارشد خیابان سوم، صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir

دفتر فروش: تهران، خیابان ولی عصر، میلان ولی عصر، مجتمع اداری - تجاری ولی عصر، واحد ۸۲، تلفن: ۸۸۹۴۰۳۶۰

پیشگفتار

زلزله‌های گذشته در ایران و جهان، تلفات و خسارات فراوانی را به بار آورده‌اند. بسیاری از ساختمانهای موجود، فاقد استحکام کافی در برابر زلزله هستند و در صورت وقوع زلزله، فاجعه به بار خواهند آورد. برای جلوگیری از چنین تلفات و خساراتی، به روشهای کارآمد جهت مقاوم‌سازی این ساختمانها نیاز است. از جمله روشهای موثر برای بهسازی لرزه‌ای که امروزه در دنیا طرفداران فراوانی دارد، روشهای کنترل غیرفعال مثل سیستم تیر پیوند قائم، یا پانل برشی است. این روشها با کاهش نیاز لرزه‌ای و افزایش شکل‌پذیری، میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها را در برابر زلزله کاهش می‌دهند. در مجموع، استفاده از پانلهای برشی به عنوان روشی کارآمد برای طراحی سازه‌های فولادی مقاوم و همچنین بهسازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای فولادی موجود در ایران که دارای حداقل مقاومت لازم باشند، توصیه می‌شود و بهتر است در آیین‌نامه‌های معمول طراحی ساختمانهای فولادی در کشور ترویج شود.

سید محمود فاطمی‌عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

سپاسگزاری و قدردانی

تهیه کننده بر خود لازم می‌داند از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای حمایت مالی و انجام آزمایشهای این تحقیق کمال تشکر را بنماید. همچنین از آقای دکتر افشین مصلحی تبار بابت همکاری در تحلیلهای غیرخطی و آقای مهندس یاسر ماهروزاده بابت کارهای عددی و آزمایشگاهی و تکنسین‌های آزمایشگاه سازه تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	ج
چکیده.....	ط
فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱ کلیات و شرح مسئله.....	۱
۲-۱ هدف و نحوه تحقیق.....	۳
۲-۱ معرفی فصلهای تحقیق.....	۵
فصل دوم: عملکرد لرزه‌ای ساختمانهای فولادی و روشهای معمول مقاومسازی آنها.....	۷
۱-۲ مقدمه.....	۷
۲-۲ آسیبهای وارده به ساختمانهای فولادی در زلزله‌های گذشته.....	۸
۳-۲ ضعف‌ها و اشکالات اجرایی ساختمانهای فولادی موجود در کشور.....	۱۹
۴-۲ روشهای ترمیم و بهسازی ساختمانهای فولادی موجود.....	۲۲
۱-۴-۲ جداگرهای لرزه‌ای.....	۲۳
۲-۴-۲ میراگرهای کمکی اصطکاکی، ویسکوالاستیک.....	۲۳
۳-۴-۲ میراگر با سیال ویسکوز.....	۲۵
۴-۴-۲ میراگرهای جرمی متعادل.....	۲۵
۵-۴-۲ میراگرهای مایع متعادل.....	۲۶
۶-۴-۲ میراگرهای فلزی جاری‌شونده.....	۲۷
۷-۴-۲ ورقهای ADAS.....	۲۹
۸-۴-۲ ورقهای TADAS.....	۳۰
۹-۴-۲ لوله جدار نازک آکاردئونی.....	۳۱



۲-۴-۱۰	قابهای مهاربندی خارج از مرکز	۳۲
۲-۴-۱۱	قابهای مهاربندی زانویی	۳۳
۲-۴-۱۲	سیستم تیر پیوند قائم یا پانل برشی	۳۵
فصل سوم: سیستم پانل برشی برای کنترل غیرفعال سازه‌ها		
۱-۳-۱	مقدمه	۳۷
۲-۳-۲	کارهای تحلیلی انجام گرفته روی پانل برشی	۳۹
۲-۳-۳	ضوابط آیین‌نامه‌ها در مورد سیستم مهاربندی واگرا	۴۵
۱-۳-۲	مقررات آیین‌نامه AISC 1997	۴۵
۲-۳-۲	مقررات آیین‌نامه UBC 1997	۵۱
۳-۳-۲	مقررات آیین‌نامه CISC 1991	۵۲
فصل چهارم: مطالعه عددی نمونه‌های پانل برشی و طراحی قابهای مورد آزمایش		
۱-۴-۱	کلیات	۵۷
۲-۴-۲	قابهای یک طبقه مدلسازی شده با نرم‌افزار ANSYS	۵۸
۱-۲-۴	مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش	۵۸
۲-۲-۴	نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها	۶۰
۲-۲-۴	استهلاک انرژی توسط نمونه‌ها	۶۷
۴-۲-۴	مدل ریاضی برای تعیین سختی جانبی	۶۷
۳-۴	طراحی قابهای مورد آزمایش	۷۰
فصل پنجم: تدارک آزمایش‌ها و تجهیزات مورد نیاز		
۱-۵	آماده نمودن آزمایش و دستگاه‌های مورد استفاده	۷۵
۲-۵	توصیف نمونه‌های آزمایشی	۷۹
۱-۲-۵	نمونه ۱ (SPS-1)	۷۹
۲-۲-۵	نمونه ۲ (SPS-2)	۸۰
۳-۲-۵	نمونه ۳ (SPS3)	۸۱
۴-۲-۵	نمونه ۴ (SPS4)	۸۲



۸۳	۵-۲-۵ نمونه ۵ (SPS5).....
۸۵	۶-۲-۵ نمونه ۶ (KBF1).....
۸۵	۷-۲-۵ نمونه ۷ (KBF2).....
۸۶	۳-۵ توصیف تغییر مکان سنجها و محل قرارگیری آنها.....
۸۶	۱-۳-۵ نمونه ۱ (SPS-1).....
۸۹	۲-۳-۵ نمونه ۲ (SPS-2).....
۹۰	۳-۳-۵ نمونه ۳ (SPS3).....
۹۱	۴-۳-۵ نمونه ۴ (SPS4).....
۹۱	۵-۳-۵ نمونه ۵ (SPS5).....
۹۱	۶-۳-۵ نمونه ۶ (KBF1).....
۹۲	۷-۳-۵ نمونه ۷ (KBF2).....
۹۲	۴-۵ کنترل کمانش جانبی قاب.....
۹۳	۵-۵ مشخصات فولاد پائل برشی (آزمایش کشش).....
۹۴	۶-۵ نحوه بارگذاری نمونه ۱.....
۹۵	فصل ششم: بررسی آزمایشگاهی قابهای فولادی دارای پائل برشی.....
۹۵	۱-۶ مقدمه.....
۹۶	۲-۶ برنامه آزمایشها و تمهیدات اعمال شده.....
۹۸	۱-۲-۶ نمونه ۱ (SPS-1).....
۱۰۴	۲-۲-۶ نمونه ۲ (SPS-2).....
۱۰۹	۳-۲-۶ نمونه ۳ (SPS3).....
۱۱۵	۴-۲-۶ نمونه ۴ (SPS4).....
۱۲۱	۵-۲-۶ نمونه ۵ (SPS5).....
۱۲۷	۶-۲-۶ نمونه ۶ (KBF1).....
۱۳۲	۷-۲-۶ نمونه ۷ (KBF2).....
۱۳۹	فصل هفتم: بررسی فنی و بحث بر روی نتایج آزمایشگاهی.....
۱۳۹	۱-۷ مقدمه.....



۲-۷	بررسی نتایج آزمایشگاهی.....	۱۴۰
۱-۲-۷	رفتار هیستریک پانلهای برشی.....	۱۴۰
۲-۲-۷	نسبت میرایی و اسکوز معادل هر یک از نمونه‌ها.....	۱۴۵
۲-۲-۷	محاسبه ضریب رفتار هر یک از نمونه‌ها.....	۱۴۹
۴-۲-۷	میزان استهلاک انرژی در قاب و قطعه پانل برشی.....	۱۵۳
۵-۲-۷	نیروی محوری موجود در ستونها.....	۱۵۸
۶-۲-۷	جابجایی نسبی ایجاد شده در دو سر پانلهای برشی.....	۱۶۲
۷-۲-۷	جابجایی خارج از صفحه پانل برشی.....	۱۶۶
 فصل هشتم: بررسی تحلیلی تأثیر پانل برشی در بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی.....		
۱۷۱		۱۷۱
۱-۸	کلیات.....	۱۷۱
۲-۸	طراحی اولیه ساختمانها.....	۱۷۴
۳-۸	بهبود عملکرد سازه اصلی به کمک پانل برشی.....	۱۷۶
۱-۳-۸	سازه پنج طبقه.....	۱۷۶
۲-۳-۸	سازه هشت طبقه.....	۱۸۳
 فصل نهم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....		
۱۹۱		۱۹۱
۱-۹	کلیات.....	۱۹۱
۲-۹	نتیجه‌گیری.....	۱۹۲
۳-۹	ضوابط طراحی و اجرایی.....	۱۹۶
۴-۹	پیشنهادها جهت ادامه کار تحقیق.....	۱۹۷
 مراجع.....		
۱۹۹		۱۹۹
 پیوست یک.....		
۲۰۵		۲۰۵

چکیده

یکی از مؤثرترین و پربازده‌ترین روشهای کنترل غیرفعال سیستم تیر پیوند قائم، یا پانل برشی است که قطعات پانل برشی، بین گره رأس دو مهاربند شورن و بال پایینی تیر کف بالا نصب می‌شوند. طراحی این سیستم به گونه‌ای صورت می‌گیرد که ابتدا قطعات پانل برشی جاری می‌شوند و بدین ترتیب، انرژی زلزله رامسته‌لک می‌نمایند و سایر عناصر سازه الاستیک باقی می‌مانند. برخلاف مهاربندهای واگرا، EBF، این قطعات در داخل سازه قرار ندارند. لذا بهسازی به سادگی صورت می‌گیرد و پس از زلزله به راحتی و با هزینه کم قابل تعویض هستند. هدف از این تحقیق، بررسی عددی و آزمایشگاهی کاربرد پانل برشی برای کنترل غیرفعال ساختمانهای فولادی متعارف می‌باشد. ابتدا با کمک مدلسازی و مطالعه عددی غیرخطی، تأثیر طول و عمق تیر پیوند، سخت‌کننده‌ها و مشخصات تیر کف و نحوه اتصال آن به ستونها در رفتار جانبی قاب فولادی بررسی شده و پنج نمونه پانل برشی بر اساس نتایج حاصل و آیین‌نامه‌های مربوط طراحی گردید.

جهت تأیید نتایج عددی، پنج آزمایش بر روی نمونه قابهای فولادی یک طبقه یک دهانه متشکل از پانلهای برشی با طول و مقاطع مختلف در سیستم مهاربندی آنها صورت گرفت. نتایج آزمایش بیانگر عملکرد مناسب این قطعات بودند. در تمام نمونه‌ها زاویه چرخش برش جان پانل برشی پیش از گسیختگی به $0/128$ تا $0/156$ رادیان رسید. تمام نمونه‌ها پانلهای برشی رفتار هیسترتیک چاق و پایداری داشتند و هیچگونه جمع‌شدگی در آنها مشاهده نشد. ضمن اینکه سایر عناصر قاب، مانند تیر، ستون و مهاربند الاستیک باقی ماندند. متوسط نسبت میرایی ویسکوز معادل در چرخه‌های ارتجاعی به $26/7$ تا $20/6$ درصد رسید. در تمام نمونه‌های دارای سخت‌کننده (به جز نمونه اول که دچار مشکل شد) شکل‌پذیری حدود $7/0$ به دست آمد (بین $6/9$ تا $7/2$). با استفاده از پانل برشی ضریب رفتار نمونه‌ها بین $7/15$ تا $10/65$ محاسبه شد که ضریب رفتار $7/15$ مربوط به نمونه اول می‌باشد. ضریب رفتار سایر نمونه‌ها بین $8/97$ تا $10/65$ به دست آمد که از پراکندگی کمتر و

سازگاری بیشتری نیز برخوردار می‌باشند. دو نمونه آزمایشگاهی قاب بادبندی زانویی نیز در ادامه کار تحقیق آزمایش شد که شکل‌پذیری قاب به $5/4$ ، زاویه تغییرشکل برشی جان به $0/086$ و متوسط میرایی و یسکوز معادل در آنها به $16/8$ تا $18/6$ رسید. به طور کلی عملکرد پانلهای برشی و تا حدی سیستم زانویی در استهلاک انرژی و افزایش شکل‌پذیری در قابهای آزمایش شده مناسب بوده است.

با استفاده از سیستم پانل برشی، عملکرد لرزه‌ای دو قاب دو بعدی پنج دهانه، پنج و هشت طبقه با کمک نرم افزار SeismoStruct، بهبود یافت. بر اثر استفاده از این سیستم، برش پایه 28 تا 80 درصد، تغییر مکان حداکثر بام 14 تا 48 درصد، حداکثر شتاب طبقات 25 تا 67 درصد کاهش یافت. جابجایی نسبی بین طبقات عمدتاً کاهش یافت و یکنواخت‌تر گردید. البته در تمام موارد، تاثیر استفاده از پانلهای برشی در سازه پنج طبقه به مراتب بهتر از تاثیر آن در سازه هشت طبقه بود. درحقیقت با استفاده از این سیستم، علاوه بر افزایش شکل‌پذیری سازه‌ها، باکاهش نیاز لرزه‌ای، تغییر مکان بام و همچنین جابجایی نسبی طبقات کاهش پیدا کردند. درمجموع، استفاده از پانلهای برشی به عنوان روشی کارآمد برای طراحی سازه‌های فولادی مقاوم و همچنین بهسازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای فولادی موجود در ایران که دارای حداقل مقاومت لازم باشند، توصیه می‌شود و باید هر چه سریعتر در آیین‌نامه‌های معمول طراحی ساختمانهای فولادی در کشور ترویج شود.