Archive of SID

امکان‌سنجی به‌کارگیری مهاربندهای کمانش‌تاب در الگوی واگرا

*علیرضا علایی[۱]، سید علی رضوی[۲]، سید رسول میرقادری[۳]، عبدالله حسینی[۴]

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۶ ،تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۱۵)

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از مهاربند کمانش‌تاب به عنوان سیستم مقاوم در برابر زلزله در کشورهای پیشرو در علم سازه و زلزله توسعه یافته است. به دلیل شکل‌پذیری این سیستم و رفتار مناسب آن، مهاربند کمانش‌تاب جایگزین مناسبی برای سیستم‌های متداول مهاربندی به شمار می‌رود. سیستم‌های مهاربندی کمانش‌تاب معمولا در الگوی همگرا مورد توجه بوده است و تاکنون در الگوی واگرا مورد استفاده قرار نگرفته است. استفاده از الگوی واگرا دارای مزیت‌هایی است که با استفاده از کاهش طول مهاربند محقق می‌شود و در این تحقیق امکان بهره‌مندی از آن مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور در این تحقیق با به‌کارگیری سیستم مهاربند کمانش‌تاب در الگوی واگرا و مقایسه آن با الگوی همگرا، رفتار سیستم مهاربند کمانش‌تاب واگرا بررسی و مقایسه می‌شود. جهت رسیدن به این هدف از دو سازه مجهز به مهاربند کمانش‌تاب با الگوی همگرا و واگرا استفاده می‌گردد. جهت انجام مقایسه، دو سازه پس از طراحی مورد تحلیل غیرخطی بارافزون و تاریخچه زمانی قرار گرفته‌اند و مقادیر جابجایی طبقات و دیاگرام ارتفاعی پلاستیسیته آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این الگو ضمن رساندن سازه واگرا به سختی مناسب می‌تواند تا ۳۰ درصد باعث کاهش دامنه کرنش محوری BRB گردد و همچنین بر یکنواخت کردن شدت کرنش‌های پلاستیک در ارتفاع سازه و استفاده بهینه از ظرفیت شکل‌پذیری مهاربندهای کمانش‌تاب تأثیر مطلوبی می‌گذارد.

کلمات کلیدی

مهاربند کمانش‌تاب با طول کوتاه، خستگی کم چرخه، آنالیز غیرخطی، BRB، OpenSees

Use Reduced Length Buckling Restrained Braces in Eccentric Configuration

A. Alaee, S.A. Razavi, S.R. Mirghaderi, A. Hosseini

ABSTRACT

Uses of buckling restrained braced frames (BRB) as seismic load resisting system have been developed in recent years. BRB is a proper alternative to the conventional bracing system due to its ductility and good performance. In order to reduce manufacturing cost and ease of handling of BRBs elements the idea of using reduced length BRB as a ductile braces has occurred. However, by increasing strains amplitude of these elements because of reduced length the occurrence probability of low cycle fatigue increase that prevent the expansion of this system. Therefore, in this study were trying to find a solution to get out of this problem by making change in the geometry of the bracing placement pattern and use the reduced length BRB in eccentric configuration like EBF system with the exception that here the BRB is the ductile element.

KEYWORDS

Reduced length buckling restrained braces, EBF configuration, OpenSees, BRB

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، alireza.alaee@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۴- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID

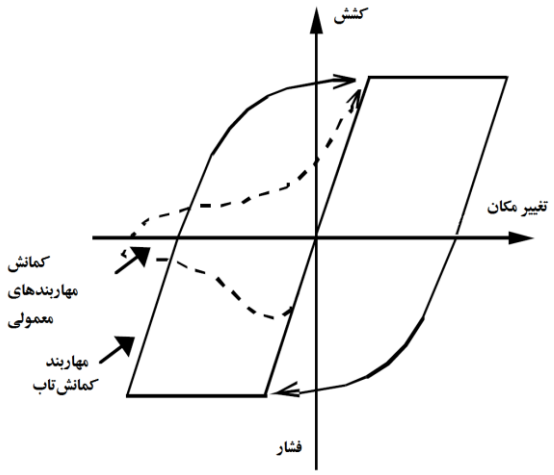
۱- مقدمه

یکی از رایج‌ترین سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای جانبی، سیستم مهاربندی می‌باشد. یکی از مشکلات مهاربندهای همگرا (CBF) وقوع کمانش در هنگام اعمال بار فشاری است که این مسأله باعث ناپایداری قبل از رسیدن به حد تسلیم می‌شود. به عبارت دیگر رفتار مهاربندها، در کشش و فشار غیر متقارن است و در نتیجه منحنی‌های هیسترزیس این نوع قاب‌های مهاربندی نامنظم می‌شود. همچنین مهاربندی‌های همگرا (CBF) دارای شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی محدودی هستند و سختی الاستیک بالایی دارند. بدین ترتیب مهاربندهای معمولی دارای ظرفیت شکل‌پذیری محدود و چرخه‌های نامتقارن نیرو تغییرمکان هستند. یکی از روش‌های دستیابی به شکل‌پذیری و جذب انرژی بالا، استفاده از مهاربندهای کمانش‌تاب (BRB) می‌باشد [۱]. با اعمال جزئیات مناسب در اعضای این نوع مهاربند از کمانش آن جلوگیری می‌شود. به این ترتیب رفتار مهاربند در بارگذاری رفت و برگشتی زلزله به نحو قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد و منحنی‌های هیسترزیس آن‌ها تحت بارگذاری‌های چرخه‌ای کششی و فشاری حاصل از تأثیر نیروهای زلزله متقارن می‌باشند [۲].

مهاربندهای کمانش‌تاب از یک هسته مرکزی با مصالح فولادی و پوشش پیرامونی از جنس بتن یا فولاد تشکیل یافته‌اند. هسته فولادی به‌گونه‌ای باید طراحی شود که هم در فشار و هم در کشش به مرحله تسلیم برسد. برای جلوگیری از کمانش کلی در فشار، هسته فولادی را درون یک پوشش قرار می‌گیرد. هدف آن است که نیروی مهاربندی فقط توسط هسته فولادی تحمل شود [۲].

تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که بر خلاف مهاربندهای معمولی چرخه‌های هیسترزیس در کشش و فشار پایدار می‌باشد و در نتیجه ظرفیت بالایی برای جذب انرژی زلزله در سازه ایجاد می‌گردد. این موضوع در نمودار شکل (۱) قابل مشاهده است.

استفاده از این سیستم در داخل کشور معمول نیست و علاوه بر این، بالا بودن هزینه ساخت مانعی در راستای استفاده از BRBها در زمینه حرفه‌ای بوجود آورده است. بدین سبب نیاز به سازگار کردن این سیستم با شرایط سازه‌های متعارف داخل کشور و آسان‌تر نمودن اجرای این المان سازه‌ای احساس می‌گردد.



شکل (۱): رفتار کشش و فشار محوری مهاربند کمانش‌تاب

از سوی دیگر الگوی مهاربندی واگرا در سیستم‌های ساختمانی به دلیل مزیت‌های معماری و حذف پدیده کمانش در مهاربندها مورد توجه بوده است. اما مهاربندهای واگرا نیز دارای معایبی می‌باشند که از جمله آنها می‌توان به سختی جانبی محدود، تمرکز خرابی در تیرهای پیوند و تراز کف طبقات و دشواری تعویض تیر پیوند اشاره کرد.

بدین ترتیب برای دستیابی به سیستم مهاربندی که بتواند مزیت‌های انواع مختلف الگوهای همگرا و واگرا را تأمین نماید، ایده استفاده از مهاربند کمانش‌تاب در الگوی واگرا در این مقاله مطرح شده است.

افزایش زاویه مهاربند نسبت به افق باعث کاهش سختی و همچنین کاهش تقاضای تغییرمکانی وارد بر المان مهاربند می‌گردد. بدین ترتیب با قرار دادن مهاربند کمانش‌تاب در هندسه واگرا که باعث افزایش زاویه مهاربند نسبت به هندسه همگرا می‌شود، از میزان دامنه کرنش مهاربند کمانش‌تاب کاسته خواهد شد. اما مهاربند کمانش‌تاب به خودی خود سختی کمی دارد که این ویژگی باعث ایجاد جابجایی‌های جانبی نسبی زیاد در زلزله نسبت به دیگر سیستم‌های مهاربندی می‌شود و استفاده از الگوی واگرا

www.SID.ir

Archive of SID

باعث کاهش بیشتر سختی می‌گردد بنابراین برای جلوگیری از کاهش سختی بیش از پیش مهاربند کمانش‌تاب در الگوی واگرا، طول قطعه کمانش تاب کاهش داده می‌شود. کاهش طول قطعه کمانش‌تاب به طور قابل ملاحظه‌ای در افزایش سختی مهاربند کمانش‌تاب تأثیرگذار است و علاوه بر این به کاهش هزینه ساخت و تولید این مهاربندها کمک می‌نماید [۳].

در شکل (۲) این افزایش زاویه نسبت به حالت همگرا قابل مشاهده است. تفاوت سیستم واگرای پیشنهادی با سیستم‌های متعارف واگرا در نوع المان شکل‌پذیر می‌باشد. در این طرح المان شکل‌پذیر به جای تیر پیوند، عضو BRB انتخاب شده و سایر المان‌ها کنترل شونده توسط نیرو می‌باشند. در ادامه به معرفی و مقایسه این دو سیستم پرداخته خواهد شد.

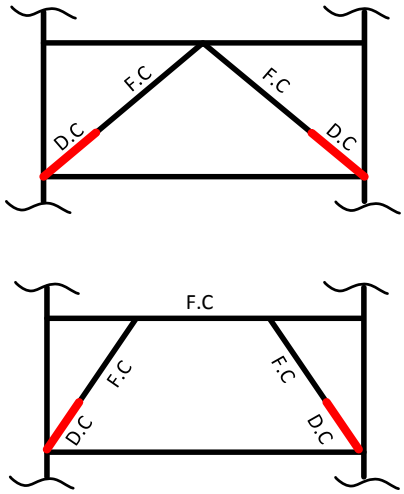
۲- معرفی ساختمان و طراحی سازه با مهاربندی همگرا و واگرا

سازه مورد بررسی در این پژوهش یک سازه فولادی هفت طبقه با ارتفاع ۲۵ متر و مجهز به سیستم مهاربندی در هر دو جهت اصلی می‌باشد. این سازه بر روی خاک نوع II می‌باشد. پلان سازه مورد نظر در شکل (۳) قابل مشاهده می‌باشد [٤]. در راستای بررسی رفتار سیستم مهاربندی کمانش‌تاب در الگوی واگرا (RL-EBRB) ابتدا سازه مورد طراحی قرار گرفته و به منظور امکان مقایسه آن با گزینه مشابه، سیستم مهاربندی کمانش‌تاب با طول کوتاه در الگوی همگرا (RL-CBRB) پیش از آن مورد طراحی قرار می‌گیرد.

۲-۱- سازه با مهاربند کمانش‌تاب در الگوی هندسی همگرا (RL-CBRB)

در این بخش سازه مجهز به مهاربند کمانش‌تاب با الگوی هندسی همگرا (RL-CBRB) طراحی می‌گردد. شکل (٤) نمای سه بعدی سازه را نشان می‌دهند. ارتفاع طبقه اول ٤/۳ متر و سایر طبقات ۳/۵ متر می‌باشد همچنین سازه مورد نظر در محل اتصال ستون به تکیه‌گاه دارای اتصال مفصلی بوده و اتصال تیرهای دهانه مهاربندی در محل اتصال به ستون به صورت صلب می‌باشد، همچنین اتصال کلیه مهاربندها به اعضای مجاور به صورت مفصلی لحاظ می‌شود. این سازه به وسیله آنالیز استاتیکی خطی برای زلزله طرح کنترل و طراحی شده است. بار مرده و زنده طبقات به ترتیب برابر ٤۱۰۰ و ۲٤۰۰ نیوتون بر متر مربع می‌باشد. ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه AISC341-10 برای آن منظور شده است [۵ و ٦].

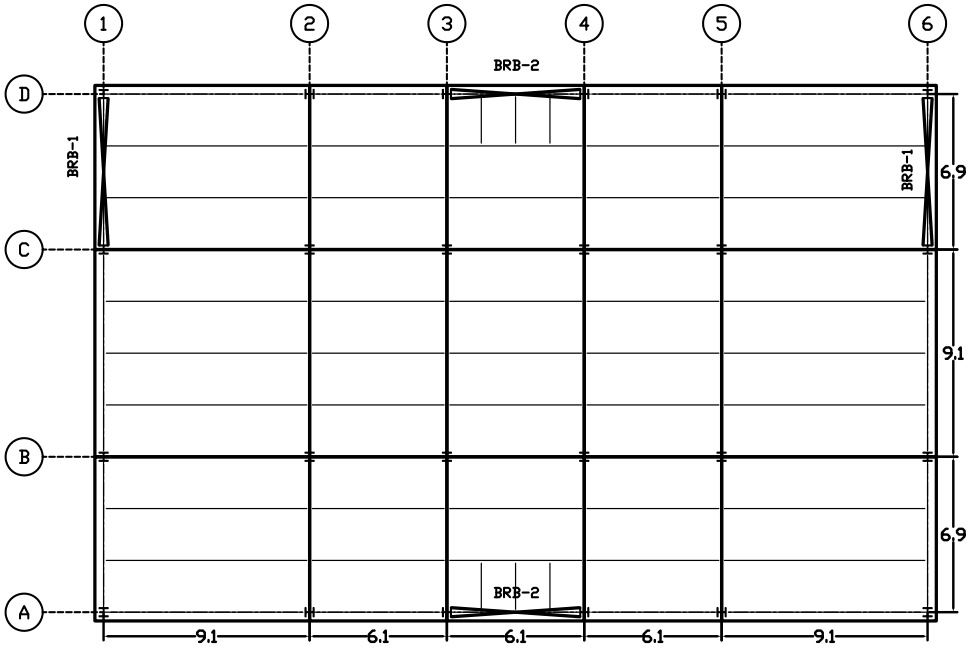
جدول (۱) نتایج طراحی مهاربندهای کمانش‌تاب را برای قاب جهت Y نشان می‌دهد.



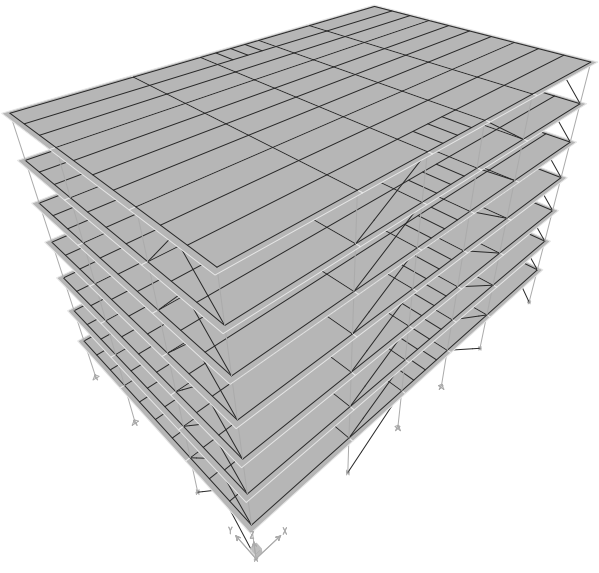
شکل (۲): مهاربند کمانش‌تاب در الگوی هندسی همگرا و واگرا

www.SID.ir

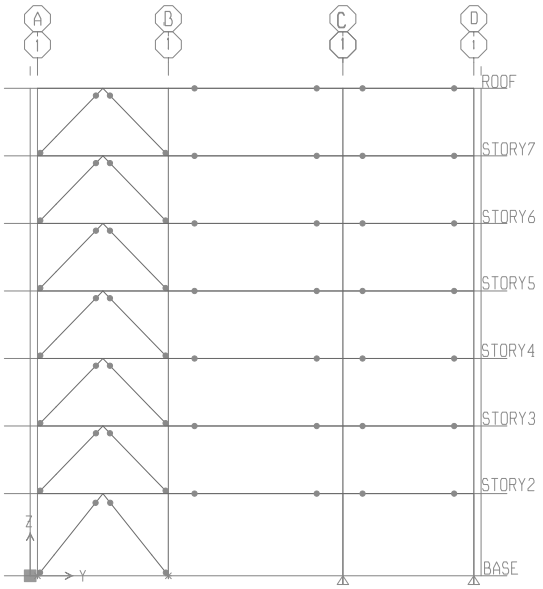
Archive of SID



شکل (۳): پلان ساختمان ۷ طبقه مورد بررسی



الف) مدل سه بعدی



ب) نمای سازه RL-CBRB

شکل (٤): مدل سه بعدی و نمای سازه RL-CBRB

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱): طراحی مهاربند طبقات سازه RL-CBRB

طبقه مورد نظر	مساحت هسته مهاربند (mm^2)	ظرفیت نیروی محوری (kN)	تقاضای نیروی محوری (kN)	نسبت تنش
۱	۱۹۳۵	۵۰٤/٦	۳٦۹/۱	۰/۷۳
۲	۲۹۰۳	۷۵٦/۹	۷٦۲/۱	۱/۰۱
۳	٤۱۹۳	۱۰۹۳/۳	۱۰۹۵/۳	۱/۰۰
٤	۵۱٦۱	۱۳٤۵/٦	۱۳۳۵/۰	۰/۹۹
۵	۵۸۰٦	۱۵۱۳/۸	۱۵۰۸/۱	۱/۰۰
٦	٦٤۵۱	۱٦۸۲/۰	۱۷۰۲/٦	۱/۰۱
۷	۷۰۹٦	۱۸۵۰/۲	۱۹۰۵/۰	۱/۰۳

۲-۲. سازه با مهاربند کمانش‌تاب در الگوی هندسی واگرا (RL-EBRB)

در ایده استفاده از BRB در ترکیب با هندسه واگرا (EBF)، المان شکل‌پذیر همان مهاربند کمانش‌تاب طول کوتاه بوده و برخلاف سازه‌های مهاربندی واگرای متعارف، در این سازه تیر پیوند المان کنترل شونده توسط نیرو می‌باشد. زاویه زیاد مهاربند با افق تقاضای تغییرمکانی روی مهاربند را کاهش داده و دامنه کرنش ایجاد شده بر روی مهاربند که در اینجا BRB می‌باشد را کم می‌کند، همچنین امکان افزایش سختی این سازه ترکیبی با استفاده از این نوع مهاربند کمانش‌تاب تغییر مطلوبی در راستای فراهم کردن حداقل سختی مورد نیاز سازه را ایجاد می‌کند.

هدف دیگری که در ایده سازه ترکیبی با تغییر المان شکل‌پذیر از تیر پیوند به مهاربند کمانش‌تاب دنبال می‌کردد، تغییر محل خرابی و پلاستیک شدن مصالح از محل تیر پیوند و دال که در سازه‌های EBF متعارف است به المان BRB بوده که شرایط مناسب تری از نظر دسترسی و امکان جایگزینی المان تخریب شده دارد.

افزایش زاویه مهاربند نسبت به افق باعث افزایش تقاضای نیرویی بر روی تیر این دهانه و اتصالات مربوط به آن می‌گردد. با توجه به این موضوع، زاویه‌ای مناسب است که تا حد ممکن زیاد باشد اما موجب افزایش غیر متعارف مقاطع تیر پیوند نشود. رسیدن به این زاویه با سعی و خطا در طراحی، ممکن می‌شود. در تیر پیوند این سازه، برش در طول المان ثابت بوده و ناشی از نیروی محوری ایجاد شده در مهاربند می‌باشد. همچنین لنگر خمشی حداکثر در محل اتصال تیر پیوند به مهاربندها حاصل می‌شود.

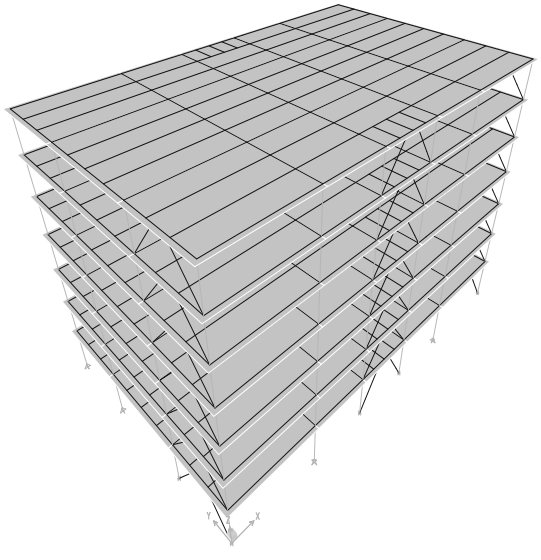
برای مشخص شدن مسیر طراحی سازه هفت طبقه ابتدا متغیرهای هندسه قاب شامل زاویه مناسب، شرایط مرزی اتصال تیر به ستون و همچنین سختی تیر پیوند در قاب یک طبقه بررسی شده و سپس با با لحاظ کردن تأثیر هر پارامتر، سازه هفت طبقه مورد نظر از نظر هندسه انتخاب و طراحی گردید. شکل (۵-الف) مدل سه بعدی و شکل (۵-ب) نمای قاب جهت y سازه را نشان می‌دهد. تیر دهانه مهاربندی به صورت یک المان پیوسته که در انتها به صورت صلب به ستون اتصال می‌یابد طراحی و مدل گشته است. سایر اتصالات همانند سازه قسمت ۲-۲ می‌باشد.

جدول (۲) نتایج طراحی مهاربندهای کمانش‌تاب را برای قاب جهت Y این سازه نشان می‌دهد.

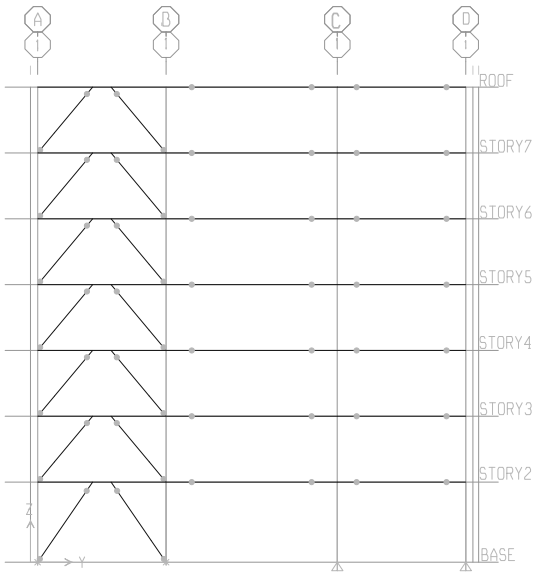
جدول (۳) مقایسه سطح مقطع مهاربندهای هر طبقه برای دو سازه را نشان می‌دهد. افزایش زاویه مهاربندها باعث افزایش اندکی در سطح مقطع مورد نیاز مهاربندهای کمانش‌تاب می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



الف) مدل سه بعدی



ب) نمای سازه RL-EBRB

شکل (۵): مدل سه بعدی و نمای سازه RL-CBRB

جدول (۲): طراحی مهاربند طبقات

طبقه مورد نظر	مساحت هسته مهاربند (mm^2)	ظرفیت نیروی محوری (kN)	تقاضای نیروی محوری (kN)	نسبت تنش
۱	۱۹۳۵	۵۰٤/٦	٤۲۸/۸	۰/۸۵
۲	۳۲۲۵	۸٤۱/۰	۸٤۸/۵	۱/۰۱
۳	٤۸۳۸	۱۲٦۱/۵	۱۱۷٦/۹	۰/۹۳
٤	۵٤۸۳	۱٤۲۹/۷	۱٤۵۰/٦	۱/۰۱
۵	٦٤۵۱	۱٦۸۲/۰	۱٦٦۹/٦	۰/۹۹
٦	۷۰۹٦	۱۸۵۰/۲	۱۸۷۹/٤	۱/۰۲
۷	۷۰۹٦	۱۸۵۰/۲	۲۰۲۵/٤	۱/۰۵

جدول (۳): مقایسه سطح مقطع مهاربندهای سازه RL-CBRB و RL-EBRB

طبقه مورد نظر	مساحت هسته مهاربند سازه RL-CBRB (mm^2)	مساحت هسته مهاربند سازه RL-EBRB (mm^2)
۱	۱۹۳۵	۱۹۳۵
۲	۲۹۰۳	۳۲۲٦
۳	٤۱۹٤	٤۸۳۹
٤	۵۱٦۱	۵٤۸٤
۵	۵۸۰٦	٦٤۵۲
٦	٦٤۵۲	۷۰۹۷
۷	۷۰۹۷	۷۰۹۷

۳- تحلیل استاتیکی غیرخطی

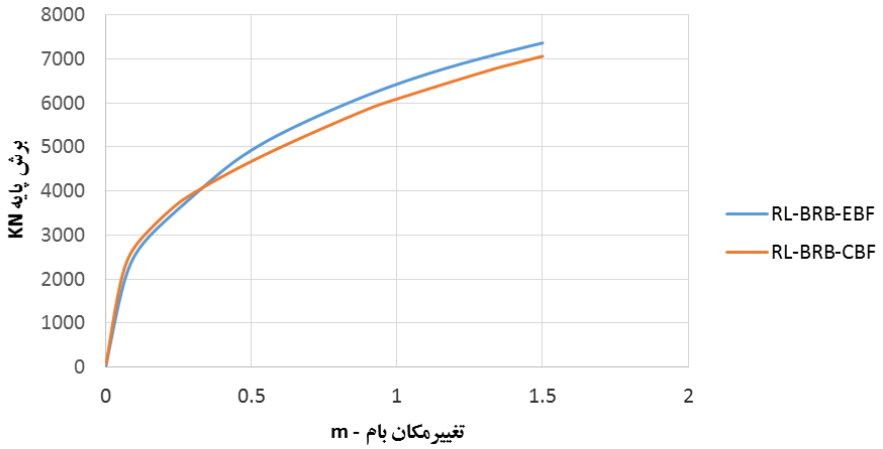
سازه‌های مورد نظر پس از طراحی، در نرم افزار Opensees با تعریف المان‌ها به صورت المان‌های غیر خطی مدل گشته و آنالیز استاتیکی غیرخطی روی آن انجام می‌گردد. در مدل‌سازی المان‌های اصلی از المان تیرستونی غیرخطی[1] و برای مدل کردن غلاف BRB از المان خمشی تک محوره[2] استفاده گردید. برای انطباق مدل رفتاری مصالح فولاد BRB از نتایج آزمایشگاهی رضوی و همکارانش استفاده شده است [۳].

[1] Nonlinear beam column element
[2] Uniaxial section

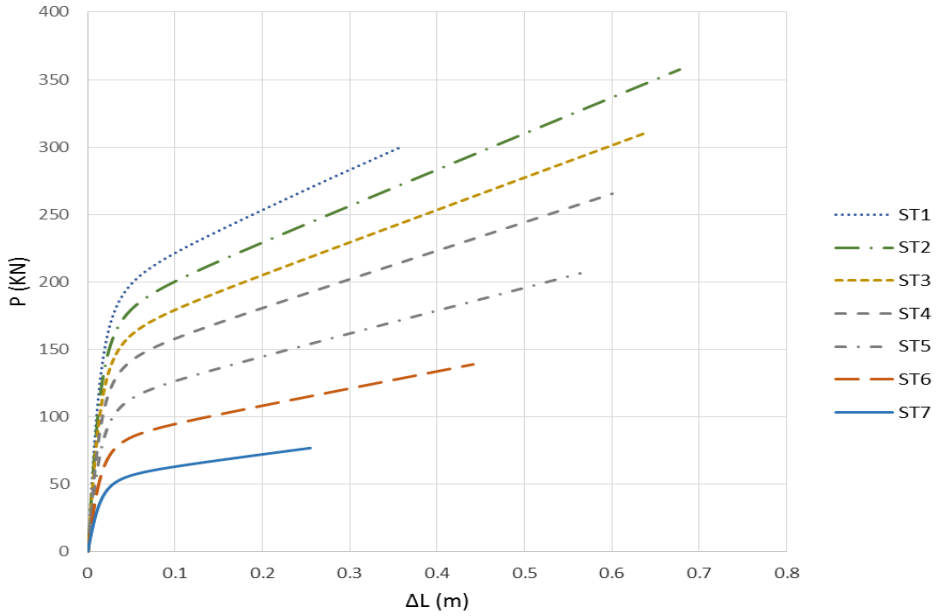
www.SID.ir

Archive of SID

شکل (٦) منحنی برش پایه-تغییرمکان بام سازه تا تغییرمکانی متناظر ٦٪ ارتفاع سازه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین شکل (٧) و(٨) منحنی نیروی محوری- تغییرمکان را برای هر یک از مهاربندهای کمانش‌تاب مربوط به هر طبقه نمایش می‌دهند. بررسی نمودار شکل (٦) نشان می‌دهد که در کل منحنی ظرفیت دو سازه نزدیک یکدیگر می‌باشد. در قسمت الاستیک منحنی سازه RL-EBRB از نظر سختی اندکی نرم‌تر بوده اما پس از رسیدن به قسمت جاری شدن به دلیل بالا بودن سختی پس از تسلیم آن، از نمودار سازه RL-CBRB بالاتر قرار می‌گیرد. از نمودار منحنی نیروی محوری تغییرمکان مهاربندها می‌توان دریافت که مهاربندهای طبقات دوم و سوم بیشترین تغییرطول محوری و مهاربندهای طبقات بالا کمترین تغییرطول را تجربه می‌کنند.



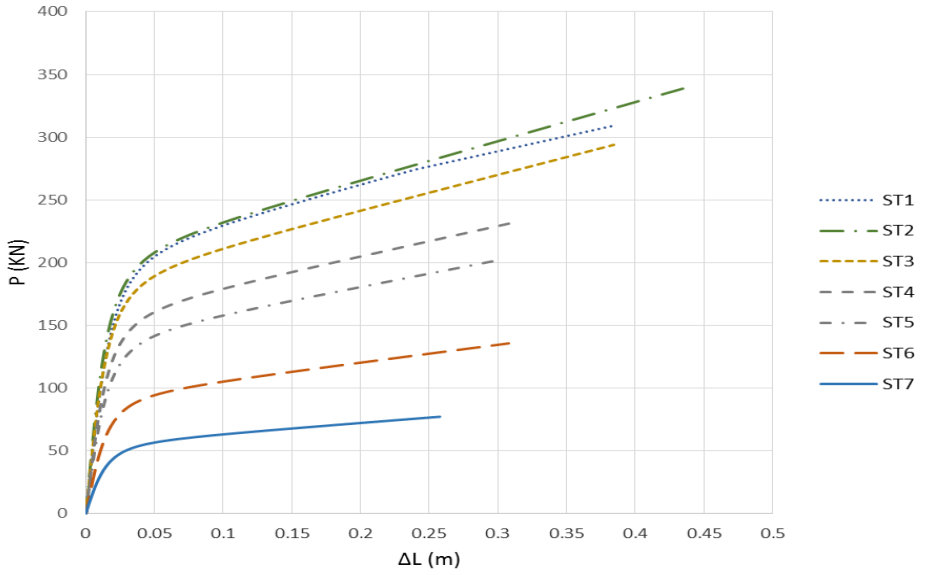
شکل (٦): منحنی نیرو تغییرمکان سازه RL-CBRB و RL-EBRB



شکل (٧): منحنی نیرو تغییرمکان مهاربند کمانش‌تاب طبقات سازه RL-CBRB

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۸): منحنی نیرو تغییرمکان مهاربند کمانش‌تاب طبقات سازه RL-EBRB

جدول (٤) و جدول (٥) مقدار تغییر طول مهاربند کمانش‌تاب، درصد کرنش و شکل‌پذیری آن‌ها را برای هر طبقه به ترتیب سازه RL-CBRB و RL-EBRB برای تغییرمکان برابر ۳٪ ارتفاع سازه که مساوی ۷٦۰ mm می‌باشد را نشان می‌دهد. طی روندی که برای طراحی لرزه‌ای مهاربندهای کمانش‌تاب طول کوتاه توسط رضوی و همکاران ارائه شده، طول قطعه هسته BRB، ۱۰۰۰ mm انتخاب شده است [۷].

جدول (٤): تغییر طول، درصد کرنش و شکل‌پذیری مهاربند کمانش‌تاب سازه RL-CBRB

طبقه	ΔL BRB (mm)	درصد کرنش	درصد شکل‌پذیری
۷	۲۱/۲	۱/۵۱	۱۰/٦
٦	٤۰/۳	۲/۸۸	۲۰/۲
٥	٥۱/٦	۳/٦۹	۲٥/۸
٤	٦۲/۸	٤/٤۹	۳۱/٤
۳	۷۰/۱	٥/۰۱	۳٥/۱
۲	۸۱/۲	٥/۸۰	٤۰/٦
۱	۳۸/۲	۲/۷۳	۱۹/۱

جدول (٥): تغییر طول، درصد کرنش و شکل‌پذیری مهاربند کمانش‌تاب سازه RL-EBRB

طبقه	ΔL BRB (mm)	درصد کرنش	درصد شکل‌پذیری
۷	۳٦/۸	۲/٦۳	۱۸/٤
٦	٤٥/۸	۳/۲۷	۲۲/۹
٥	٤٦/۲	۳/۳۰	۲۳/۱
٤	٤٥/٦	۳/۲٦	۲۲/۸
۳	٥٤/۹	۳/۹۲	۲۷/٥
۲	٥٤/۳	۳/۸۸	۲۷/۲
۱	۷٥/۲	٤/۳۷	۳۰/٦

در نگاه اولیه به نتایج درصد کرنش سازه RL-CBRB در جدول (۲)، مشاهده می‌شود تمرکز پلاستیسیته و شکل‌پذیری در طبقات وسط قرار دارد، به گونه‌ای که این مقدار نزدیک دو برابر طبقات ابتدا و انتها می‌باشد اما در سازه RL-EBRB مقادیر شکل‌پذیری بسیار به هم نزدیک است. بنابراین می‌توان گفت یکی از مزایای دیگر استفاده از الگوی واگرا ایجاد توزیع نسبتا یکسان شکل‌پذیری در ارتفاع سازه می‌باشد. همچنین در راستای کاهش دامنه کرنش، با توجه به جدول (٦)، در طبقات میانی در سازه RL-EBRB نسبت به سازه RL-CBRB کرنش حتی تا

www.SID.ir

Archive of SID

میزان ۵۰٪ کاهش داشته که مقدار قابل توجهی است. افزایش زاویه مهاربندها از ٤٥ درجه به ۵۰ درجه گرچه باعث افزایش اندکی در سطح مقطع مورد نیاز مهاربندهای کمانش‌تاب می‌گردد، اما به میزان چشم‌گیری سبب کاهش دامنه کرنش وارده به این مهاربندها شده و طرح مورد نظر را از نظر خطر وقوع پدیده خستگی کم چرخه (Low Cycle Fatigue) در ناحیه امنی قرار می‌دهد.

جدول (٦): مقایسه کرنش مهاربندهای کمانش‌تاب

طبقه	درصد کرنش مهاربند سازه RL-CBRB	درصد کرنش مهاربند سازه RL-EBRB	نسبت دامنه کرنش سازه RL-EBRB به RL-CBRB
۷	۱/۵۱	۲/٦۳	۱/۷
٦	۲/۸۸	۳/۲۷	۱/۱
۵	۳/٦۹	۳/۳۰	۰/۹
٤	٤/٤۹	۳/۲٦	۰/۷
۳	۵/۰۱	۳/۹۲	۰/۸
۲	۵/۸۰	۳/۸۸	۰/۷
۱	۲/۷۳	٤/۳۷	۱/٦

٤- تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

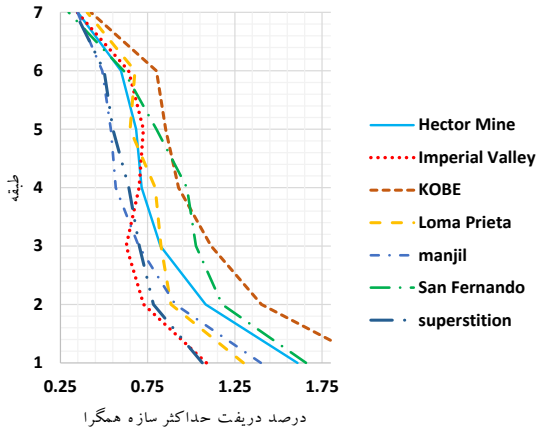
پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی و بررسی نتایج اولیه، دو سازه جهت انجام مقایسه دقیق‌تر مورد تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با هفت شتاب‌نگاشت زلزله قرار گرفتند. شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده از پایگاه لرزه‌نگاری PEER انتخاب و به طیف طرح آیین‌نامه مقیاس شدند. نام و مشخصات هفت شتاب‌نگاشت مورد نظر در جدول (۷) قابل مشاهده است [۸].

پس از انجام هفت آنالیز بر روی هر سازه، نتایج مورد پردازش قرار گرفت. شکل (۹) پروفیل دریفت حداکثر و شکل (۱۰) پروفیل دریفت‌های باقیمانده برای سازه RL-CBRB و RL-EBRB را نشان می‌دهد.

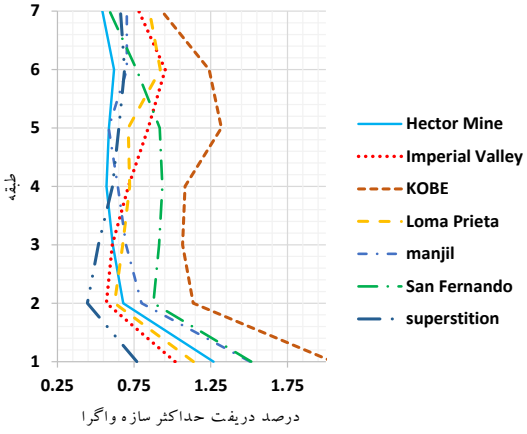
مقایسه قسمت شکل (۹-الف و ب) نشان می‌دهد که مقادیر دریفت دو سازه RL-CBRB و RL-EBRB در محدوده یکسانی قرار دارد، همچنین شکل (۱۰) نشان می‌دهد مقدار دریفت باقیمانده سازه RL-EBRB نسبت به RL-CBRB کاهش قابل توجهی داشته و تقریباً نصف می‌باشد.

جدول (۷): مقایسه کرنش مهاربندهای کمانش‌تاب

طبقه	نام زلزله	بزرگای زلزله	شتاب بیشینه (g)	فاصله (km)
۱	هکتورماین	۷/۱	۰/۲۷	۱۱/٦٦
۲	امپریال ولی	٦/۵	۰/۲٤	۲۲/۳۰
۳	کبه	٦/۹	۰/۲٤	۱۹/۱۵
٤	لوماپیترا	٦/۹	۰/۱۷	۲٤/۵۰
۵	منجیل	۷/٤	۰/۱۸	۵۰/۰۰
٦	سانفرناندو	٦/٦	۰/۲۱	۲۲/۷۷
۷	سوپراستیشن	٦/۵	۰/۱۲	۲۲/۲۵



ب) سازه RL-CBRB

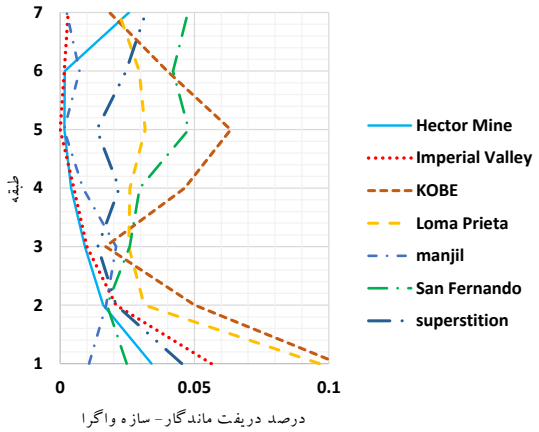


الف) سازه RL-EBRB

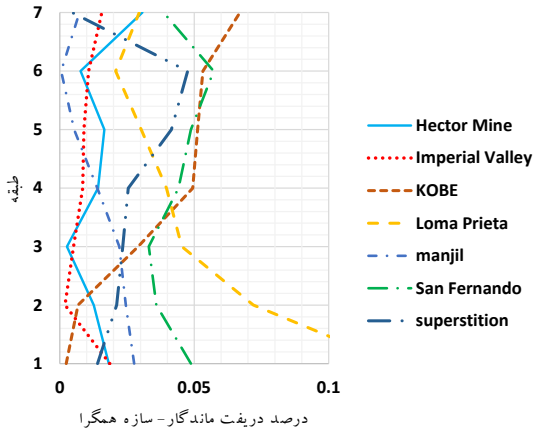
شکل (۹): پروفیل دریفت حداکثر

www.SID.ir

Archive of SID



الف) سازه RL-EBRB



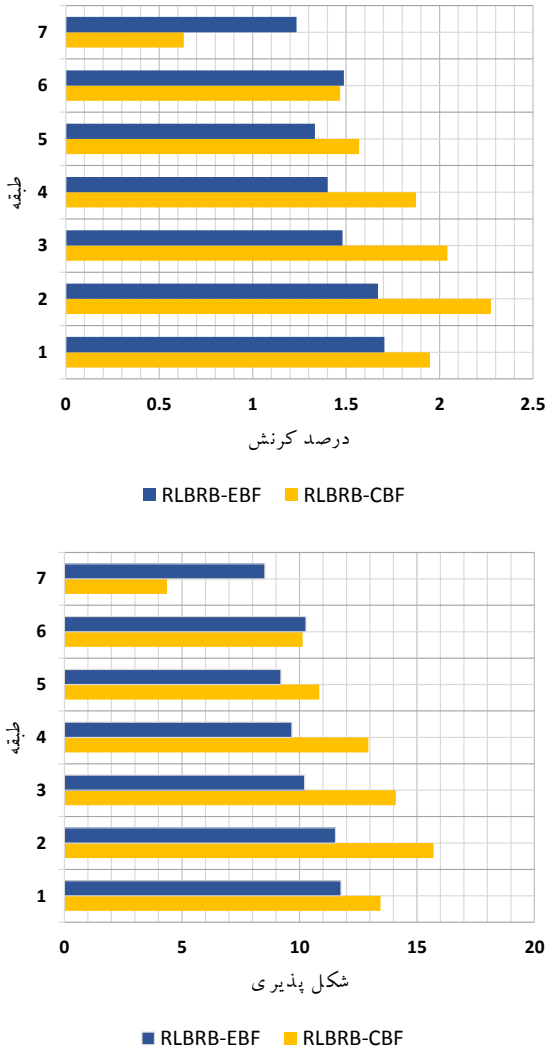
ب) سازه RL-CBRB

شکل (۱۰): پروفیل دریفت باقیمانده

شکل (۱۱) میانگین بیشینه کرنش و شکل‌پذیری هفت شتاب‌نگاشت را برای مهاربندهای هر طبقه در سازه RL-CBRB و RL-EBRB را نشان می‌دهد. در جدول (۸) نسبت میانگین دامنه کرنش بیشینه مهاربندهای سازه RL-CBRB و RL-EBRB نمایش داده شده است.

با بررسی جدول (۸) مشاهده می‌گردد برحسب انتظار و مطابق نتایج تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، سازه واگرا علاوه بر یکنواخت‌تر کردن شکل‌پذیری در ارتفاع، دامنه کرنش را خصوصاً در طبقات میانی تا میزان ۳۰٪ کاهش می‌دهد. بدین سبب مهاربند کمانش‌تاب در سازه RL-EBRB نسبت به RL-CBRB حاشیه امنی جهت دوری از کرنش‌های بالا و پدیده خستگی کم‌چرخه فراهم می‌کند و علاوه بر آن می‌تواند در بهینه کردن طراحی و کاهش بیشتر طول قطعه کمانش‌تاب تأثیر مطلوب داشته باشد.

بررسی نمودار خمش-انحنای تیر پیوند در شکل (۱۲) و برش وارد شده بر تیر پیوند طبقات در جدول (۹)، نشان می‌دهد برحسب انتظار و فلسفه طراحی مورد نظر، تیر پیوند سازه RL-EBRB در تمام طبقات به‌صورت الاستیک باقی مانده و المان کنترل شونده توسط نیرو می‌باشد. الاستیک ماندن تیر پیوند برخلاف سازه‌های مهاربند واگرای متعارف مطلوب است زیرا باعث می‌شود تغییر شکل‌های ناشی از زلزله در مهاربند کمانش‌تاب که المان شکل‌پذیر است، رخ دهد.



شکل (۱۱): میانگین بیشینه کرنش و شکل‌پذیری

www.SID.ir

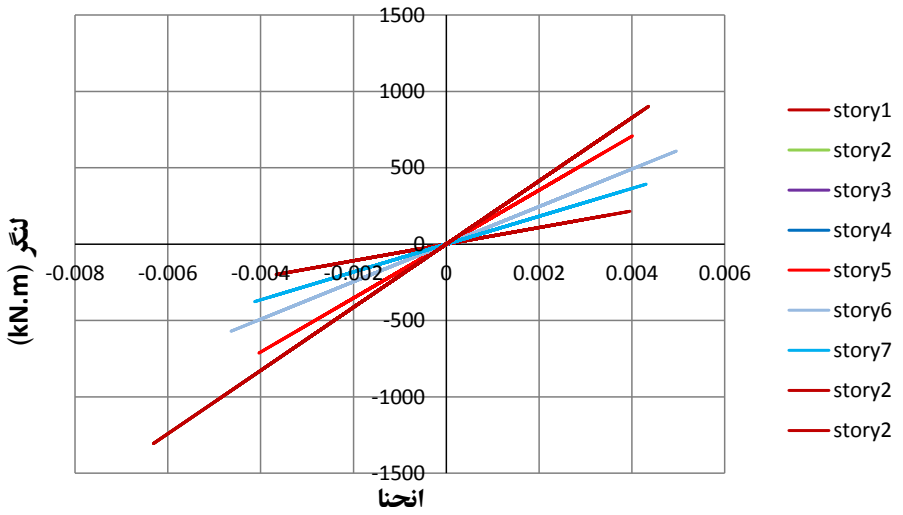
Archive of SID

جدول (۸): نسبت میانگین دامنه کرنش سازه RL-EBRB به RL-CBRB

طبقه	نسبت کرنش دو سازه
۱	۰/۸۷
۲	۰/۷۳
۳	۰/۷۲
٤	۰/۷۵
٥	۰/۸٥
٦	۱/۰۱
۷	۱/۹٦

جدول (۹): برش تقاضا و ظرفیت و نسبت تنش برشی سازه RL-CBRB

طبقه	Vu (kN)	Vp (kN)	نسبت تنش
۱	۱۹۲٤	۲٥٦۰	۰/۷٥
۲	۱٥٤۹	۲۳۷٤	۰/٦٥
۳	۱۳۹٤	۱۹۰۹	۰/۷۳
٤	۱۱۹٤	۱٥۰۹	۰/۷۹
٥	۱۰۳٦	۱۱۹۰	۰/۸۷
٦	۷۱۲	۸۹۷	۰/۷۹
۷	٤٤۰	۷٤۰	۰/٥۹



شکل (۱۲): نمودار خمش–انحنای تیر پیوند سازه RL-EBRB

٥- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکان استفاده از الگوی مهاربندی واگرا با استفاده از مهاربندهای کمانش‌تاب طول کوتاه بررسی گردید. به منظور مقایسه از دو سازه مجهز به مهاربند کمانش‌تاب با الگوی همگرا و واگرا استفاده گردید. سازه‌ها پس از طراحی طی تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی مورد آنالیز قرار گرفتند و مقادیر سختی جانبی سازه‌ها، جابجایی حداکثر و باقیمانده طبقات، دیاگرام ارتفاعی شکل‌پذیری و دامنه کرنش دو سازه با یکدیگر مقایسه گردید. در کل نتایج این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از الگوی پیشنهادی واگرا نه تنها امکان‌پذیر می‌باشد، بلکه می‌تواند معایب سیستم‌های دیگر را مرتفع نموده و همچنین مزایایی برای سیستم سازه به همراه داشته باشد. به طور خلاصه با بررسی نتایج این تحقیق یافته‌های زیر حاصل گردید:

۱- با استفاده از مهاربند کمانش‌تاب طول کوتاه می‌توان سختی جانبی سازه با الگوی واگرا را به مقادیر سازه‌های با الگوی همگرا نزدیک نمود.

۲- استفاده از الگوی واگرا به کاهش دریفت باقیمانده سازه می‌انجامد.

۳- الگوی واگرا منجر به کاهش دامنه کرنش پلاستیک محوری BRB تا ۳۰ درصد شده سازه را در محدوده ایمن‌تری از نقطه نظر خستگی کم‌چرخه قرار می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

٤- استفاده از الگوی واگرا منجر به یکنواخت شدن توزیع ارتفاعی شکل‌پذیری شده که باعث بهره‌مندی بیشتر از ظرفیت غیرخطی مهاربندها در ارتفاع سازه و استفاده بهینه از ظرفیت شکل‌پذیری مهاربندهای کمانش‌تاب می‌گردد.

کاهش بیشتر طول قطعه کمانش‌تاب در الگوی واگرا و بررسی پلان‌ها و تعداد طبقات دیگر از جمله پیشنهادها برای تحقیقات آتی می‌باشد.

۸- مراجع

[1] Tremblay, R., Poncet, L., Bolduc, P. and Neville, R. (2004), "Testing and Design of Buckling Restrained Braces for Canadian Application", Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.

[2] Bozorgnia, Y. and Bertero, V.V. (2004), "Earthquake Engineering: from Engineering Seismology to Performance-Based Engineering", CRC Press.

[3] Razavi, S., Mirghaderi, S. and Hosseini, A. (2014), "Experimental and Numerical Developing of Reduced Length Buckling-Restrained Braces", Engineering Structures, Vol. 77, pp. 143-160.

[4] López, W.A. and Sabelli, R. (2004), "Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames", Steel tips, p. 78.

[5] Committee, A. (2010), "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", ANSI/AISC 341-10, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

[6] Committee, A. (2010), "Specification for Structural Steel Buildings", ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, Chicago-Illinois.

[7] Razavi, S.A., Shemshadian, M.E., Mirghaderi, S.R. and Ahlehagh, S. (2011), "Seismic Design of Buckling Restrained Braced Frames with Reduced Core Length", The Structural Engineers World Congress.

[8] PEER Ground Motion Database - PEER Center. (2015), Available from: http://ngawest2.berkeley.edu.

www.SID.ir