

در سالهای اخیر استفاده از مهاربند کمانش تاب 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 کمانش تاب جایگزین مناسبی برای سیستمهای متداول مهاربندی به شمار میرود. سیستمهای مهاربندی کمانش تاب 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 کمانش تاب در الگوی واگرا و مقایسه آن با الگوی همگرا، رفتار سیستم مهاربند کمانش تاب واگرا استفاده می میشود و در این تحقیق امکان بهرهمندی از آن مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور در این تحقیق با بهکارگیری سیستم مهاربند کمانش تاب در الگوی واگرا و مقایسه آن با الگوی همگرا، رفتار سیستم مهاربند کمانش تاب واگرا استفاده می گردد. جهت انجام مقایسه، دو سازه مورد تحلیل غیرخطی بارافزون و تاریخچه زمانی قرار گرفتهاند و مقادیر جابجایی طبقات و دیاگرام ارتفاعی پلاستیسیته آنها با یکدیگر مقایسه می گردد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که این الگو ضمن رساندن سازه واگرا به سختی مناسب می تواند 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 شکل پذیری

كلمات كليدى

چکیدہ

مهاربند كمانش تاب با طول كوتاه، خستگی كم چرخه، أناليز غيرخطی، 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



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۳۵

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 می شود. به عبارت دیگر رفتار مهاربندها، در کشش و فشار غیر متقارن است و در نتیجه منحنى هاى هيسترزيس اين نوع قابهاى مهاربندى نامنظم می شود. همچنین مهاربندی های همگرا (CBF) دارای شکلپذیری و ظرفیت اتلاف انرژی محدودی هستند و سختى الاستيك بالايي دارند. بدين ترتيب مهاربندهاي معمولی دارای ظرفیت شکلپذیری محدود و چرخههای نامتقارن نیرو تغییرمکان هستند. یکی از روشهای دستیابی به شکلپذیری و جذب انرژی بالا، استفاده از مهاربندهای كمانش تاب (BRB) مى باشد [1]. با اعمال جزئيات مناسب در اعضای این نوع مهاربند از کمانش آن جلوگیری می شود. به این ترتیب رفتار مهاربند در بارگذاری رفت و برگشتی زلزله به نحو قابل ملاحظهای بهبود مییابد و منحنىهاى هيسترزيس آنها تحت بارگذارىهاى چرخهاى کششی و فشاری حاصل از تأثیر نیروهای زلزله متقارن مى باشند [۲].

مهاربندهای کمانش تاب از یک هسته مرکزی با مصالح فولادی و پوشش پیرامونی از جنس بتن یا فولاد تشکیل یافتهاند. هسته فولادی به گونهای 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 می گیرد. 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 می گردد. 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 می گردد.



شکل (۱): رفتار کشش و فشار محوری مهاربند کمانش تاب

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 کمانش تاب 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 می گردد. بدین ترتیب با قرار دادن مهاربند کمانش تاب در هندسه واگرا که باعث افزایش زاویه مهاربند نسبت به هندسه همگرا می شود، از میزان دامنه کرنش مهاربند کمانش تاب کاسته خواهد شد. اما مهاربند کمانش تاب به خودی خود سختی کمی دارد که این ویژگی باعث ایجاد جابجایی های جانبی نسبی زیاد در زلزله نسبت به دیگر سیستم های مهاربندی می شود و استفاده از الگوی واگرا



باعث کاهش بیشتر سختی می گردد بنابراین برای جلو گیری از کاهش سختی بیش از پیش مهاربند کمانش تاب در الگوی واگرا، طول قطعه کمانش تاب کاهش داده می شود. کاهش طول قطعه کمانش تاب به طور قابل ملاحظهای در افزایش سختی مهاربند کمانش تاب تأثیر گذار است و علاوه بر این به کاهش هزینه ساخت و تولید این مهاربندها کمک می نماید [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 کمانش تاب در الگوی واگرا (RL-EBRB) ابتدا سازه مورد

طراحی قرار گرفته و به منظور امکان مقایسه آن با گزینه مشابه، سیستم مهاربندی کمانش تاب با طول کوتاه در الگوی همگرا (RL-CBRB) پیش از آن مورد طراحی قرار می گیرد.

۲–۱– سازه با مهاربند کمانش تاب در الگوی هندسی همگرا (RL-CBRB)

در این بخش سازه مجهز به مهاربند کمانش تاب با الگوی هندسی همگرا (RL-CBRB) طراحی می گردد. شکل (٤) نمای سه بعدی سازه را نشان می دهند. ارتفاع طبقه اول ۲۸٫۵ متر و سایر طبقات ۲۰/۵ متر می باشد همچنین سازه مورد نظر در محل اتصال ستون به تکیه گاه دارای اتصال مفصلی بوده و اتصال تیرهای دهانه مهاربندی در محل معصلی بوده و اتصال تیرهای دهانه مهاربندی در محل اتصال به ستون به صورت صلب می باشد، همچنین اتصال کلیه مهاربندها به اعضای مجاور به صورت مفصلی لحاظ می شود. این سازه به وسیله آنالیز استاتیکی خطی برای زلزله طرح کنترل و طراحی شده است. بار مرده و زنده طبقات به ترتیب برابر ۲۰۱۰ و ۲۵۰۰ نیوتون بر متر مربع طبقات به ترتیب برابر ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ نیوتون بر متر مربع و آیین امه داده است. ای منظور شده است و آیین امه داده داست

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



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



ذشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۳۷

Archive of SID









۳۸/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

| نسبت تنش | تقاضای نیروی محوری (kN) | ظرفیت نیروی محوری (kN) | مساحت هسته مهاربند (mm²) | طبقه مورد نظر |
|----------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| • /٧٣ | ۳٦٩/١ | ٥ • ٤/٦ | 1980 | ١ |
| ۱/•۱ | V77/1 | V07/9 | 79.7 | ٢ |
| ۱/۰۰ | ۱.٩٥/٣ | 1.97/4 | 5197 | ٣ |
| ٠/٩٩ | 1770/. | 1820/7 | 0171 | ٤ |
| ۱/۰۰ | 10.1/1 | 1017/1 | ٥٨٠٦ | ٥ |
| ۱/•۱ | 18.2/1 | 17/1/• | 7201 | ٦ |
| ۱/۰۳ | 19.0/. | 180./2 | V•97 | ٧ |

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

۲–۲. سازه با مهاربند کمانش تاب در الگوی هندسی واگرا (RL-EBRB)

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

هدف دیگری که در ایده سازه ترکیبی با تغییر المان شکلپذیر از تیر پیوند به مهاربند کمانش تاب دنبال می کردد، تغییر محل خرابی و پلاستیک شدن مصالح از محل تیر پیوند و دال که در سازه های 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



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۳۹

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 می باشد. همچنین لنگر خمشی حداکثر در محل

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 (٥-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 می یابد طراحی و مدل

گشته است. سایر اتصالات همانند سازه قسمت ۲-۲

جدول (۲) نتایج طراحی مهاربندهای کمانش تاب را برای

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

قاب جهت Y این سازه نشان میدهد.

مى باشد.

کمانش تاب می گردد.

اتصال تیر پیوند به مهاربندها حاصل میشود.



ب) تمای ساره BRD

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

| نسبت تنش | تقاضای نیروی محوری (kN) | ظرفیت نیروی محوری (kN) | مساحت هسته مهاربند (mm²) | طبقه مورد نظر |
|----------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| •//0 | ٤ ٢٨/٨ | ٥٠٤/٦ | 1970 | ١ |
| ۱/•۱ | ٨٤٨/٥ | ٨٤١/٠ | 8770 | ٢ |
| ۰/۹۳ | 1177/9 | 1771/0 | ٤٨٣٨ | ٣ |
| ۱/•۱ | 120+/7 | 1 E T 9/V | ٥٤٨٣ | ٤ |
| ٠/٩٩ | 1779/7 | 1747/• | 7601 | ٥ |
| ۱/۰۲ | 1144/2 | ۱۸۵۰/۲ | ٧٠٩٦ | ٦ |
| ۱/۰٥ | 7.70/2 | ١٨٥٠/٢ | ٧٠٩٦ | V |

جدول (۲): طراحی مهاربند طبقات

۳- تحلیل استاتیکی غیر خطی

مازههای 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 می گردد. در مدلسازی المانهای اصلی از المان تیرستونی غیرخطی ^۱ و برای مدل کردن غلاف BRB از المان خمشی تک محوره^۲ استفاده گردید. برای انطباق مدل رفتاری مصالح فولاد BRB از نتایج آزمایشگاهی رضوی و همکارانش استفاده شده است [۳].

² Uniaxial section



 RL-EBRB
 سازه
 RL-CBRB

 (mm²)
 (mm²)
 (mm²)

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

مساحت هسته مهاربند مساحت هسته مهاربند

و RL-EBRB

| (mm ²) | (mm ²) | |
|--------------------|--------------------|---|
| 1970 | 1970 | ١ |
| 8777 | 79.4 | ٢ |
| ٤٨٣٩ | 5195 | ٤ |
| ٥٤٨٤ | 0171 | ٤ |
| 7807 | 0/1 | 0 |
| V• 9V | 7807 | ۲ |
| V• 9V | V• 4V | V |

۳۰/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

¹ Nonlinear beam column element

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 برش پایه-تغییرمکان بام سازه تا تغییرمکانی متناظر ٦٪ ارتفاع سازه ها را نشان می دهد. همچنین شکل (۷) و(۸) منحنی نیروی محوری تغییرمکان را برای هر یک از مهاربندهای کمانش تاب مربوط به هر طبقه نمایش می دهند. بررسی نمودار شکل (٦) نشان می دهد که در کل منحنی ظرفیت دو سازه نزدیک یکدیگر می باشد. در قسمت الاستیک منحنی سازه





شكل (٦): منحنى نيرو تغييرمكان سازه RL-CBRB و RL-EBRB

شکل (۷): منحنی نیرو تغییرمکان مهاربند کمانش تاب طبقات سازه RL-CBRB



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۱۲



شکل (۸): منحنی نیرو تغییرمکان مهاربند کمانش تاب 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-EBRB و RL-CBRB برای تغییرمکان برابر ۳٪ ارتفاع سازه که مساوی ۳۹۰ ۲۹۰ میباشد را نشان میدهد. طی روندی که برای طراحی لرزهای مهاربندهای کمانش تاب طول کوتاه توسط رضوی و همکاران ارائه شده، طول قطعه هسته BRB، ۳۰۰۰ mm

جدول (٤): تغییر طول، درصد کرنش و شکل پذیری مهاربند کمانش تاب سازه RL-CBRB

| درصد شکلپذیری | درصد کرنش | AL BRB (mm) | طبقه |
|---------------|-------------------------|----------------|------|
| ۱۰/٦ | ١/٥١ | ۲۱/۲ | ٧ |
| ۲•/۲ | $\gamma/\Lambda\Lambda$ | ٤٠/٣ | ٦ |
| ۲0/۸ | ٣/٦٩ | 01/7 | ٥ |
| 31/2 | ٤/٤٩ | 77/1 | ٤ |
| 50/1 | ٥/• ١ | ٧•/١ | ٣ |
| ٤ • /٦ | ٥/٨٠ | ۸١/٢ | ۲ |
| 19/1 | ۲/۷۳ | ۳۸/۲ | ١ |

جدول (٥): تغییر طول، درصد کرنش و شکل پذیری مهاربند

| درصد شکل پذیری | درصد کرنش | AL BRB (mm) | طبقه |
|----------------|-----------|----------------|------|
| ۱۸/٤ | ۲/٦٣ | ٣٦/٨ | V |
| 22/9 | ٣/٢٧ | ٤٥/٨ | ٦ |
| ۲۳/۱ | ٣/٣٠ | ٤٦/٢ | ٥ |
| ۲۲/۸ | ٣/٢٦ | ٤٥/٦ | ٤ |
| ۲۷/٥ | ٣/٩٢ | ٥٤/٩ | ٣ |
| ۲٧/۲ | ٣/٨٨ | ٥٤/٣ | ٢ |
| ٣٠/٦ | ٤/٣٧ | ۷٥/۲ | ١ |

كمانش تاب سازه RL-EBRB

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



۴۹/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

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 می گردد، اما به میزان چشم گیری 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 می دهد.

جدول (٦): مقایسه کرنش مهاربندهای کمانش تاب

| نسبت دامنه کرنش سازه RL-EBRB به RL-CBRB | درصد کرنش مهاربند سازه RL-EBRB | درصد کرنش مهاربند سازه RL-CBRB | طبقه |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|------|
| 1/V | 2/12 | 1/01 | ٧ |
| 1/1 | ٣/٢٧ | $\gamma/\Lambda\Lambda$ | ٦ |
| •/٩ | ٣/٣٠ | ٣/٦٩ | ٥ |
| • /V | ٣/٢٦ | ٤/٤٩ | ٤ |
| •/A | ٣/٩٢ | ٥/• ١ | ٣ |
| • /V | $\gamma/\Lambda\Lambda$ | ٥/٨٠ | ۲ |
| ١/٦ | ٤/٣٧ | ۲/۷۳ | ١ |

٤- تحليل تاريخچه زماني غيرخطي

پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی و بررسی نتایج اولیه، دو سازه جهت انجام مقایسه دقیق تر مورد تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با هفت شتابنگاشت زلزله قرار گرفتند. شتابنگاشتهای استفاده شده از پایگاه لرزهنگاری



الف) سازه RL-EBRB

PEER انتخاب و به طیف طرح آیین نامه مقیاس شدند. نام و مشخصات هفت شتاب نگاشت 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 می دهد.

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 میدهد مقدار دریفت قابل توجهی داشته و تقریباً نصف میباشد.

| فاصله | شتاب بيشينه | بزرگای زلزله | نام زلزله | طبقه |
|-------|-------------|--------------|-------------|------|
| (km) | (g) | • - • | | |
| 11/77 | •/7٧ | ٧/١ | هكتورماين | ١ |
| ۲۲/۳۰ | •/72 | ٦/٥ | امپريال ولي | ٢ |
| 19/10 | •/72 | ٦/٩ | کبه | ٣ |
| ۲٤/٥٠ | •/1٧ | ٦/٩ | لوماپيترا | ٤ |
| 0•/•• | •/\٨ | ٧/٤ | منجيل | ٥ |
| 77/VV | •/71 | ٦/٦ | سانفرناندو | ٦ |
| ۲۲/۲٥ | •/17 | ٦/٥ | سوپراستتيشن | ٧ |

جدول (۷): مقایسه کرنش مهاربندهای کمانش تاب



ب) سازه RL-CBRB

شکل (۹): پروفیل دریفت حداکثر



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۳µ



شکل (۱۰): پروفیل دریفت باقیمانده

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

با بررسی جدول (۸) مشاهده می گردد 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 حاشيه امنی جهت دوری از کرنشهای بالا و پدیده خستگی کمچرخه فراهم میکند و علاوه بر آن میتواند در بهینه کردن طراحی و كاهش بيشتر طول قطعه كمانش تاب تأثير مطلوب داشته باشد.

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



شکل (۱۱): میانگین بیشینه کرنش و شکل پذیری





RL-CBRB Vu Vp نسبت تنش طبقه (kN) (kN) ·/V0 107. 1972 ۱ 2222 •/70 1029 ۲ ۰/۷۳ 19.9 1892 ٣ ٠/٧٩ 10.9 1192 ٤ 119. 1.77 • /AV ٥ ٠/٧٩ ۸۹۷ ۷۱۲ ٦ •/09 ٧٤٠ ٤٤٠ ٧

همچنین مزایایی برای سیستم سازه به همراه داشته باشد. به

طور خلاصه با بررسی نتایج این تحقیق یافتههای زیر

۱ با استفاده از مهاربند کمانش تاب طول کو تاه می توان

سختی جانبی سازه با الگوی واگرا را به مقادیر سازههای

۲- استفاده از الگوی واگرا به کاهش دریفت باقیمانده

۳- الگوی واگرا منجر به کاهش دامنه کرنش پلاستیک

محوری BRB تا ۳۰ درصد شده سازه را در محدوده

ایمن تری از نقطه نظر خستگی کمچرخه قرار میدهد.

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

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

| RL-CBRB | | |
|-------------------|------|--|
| نسبت کرنش دو سازه | طبقه | |
| • /AV | ١ | |
| ٠ /٧٣ | ۲ | |
| • / \ Y | ٣ | |
| • /٧0 | ٤ | |
| •//\0 | 0 | |
| ١/• ١ | ٦ | |
| १/९٦ | ٧ | |



شكل (۱۲): نمودار خمش-انحناي تير پيوند سازه RL-EBRB

حاصل گردید:

سازه می انجامد.

با الگوی همگرا نزدیک نمود.

٥- جمعبندی و نتیجه گیری

در این تحقیق امکان استفاده از الگوی مهاربندی واگرا با استفاده از مهاربندهای کمانش تاب طول کوتاه بررسی گردید. به منظور مقایسه از دو سازه مجهز به مهاربند کمانش تاب 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



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۵۹

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 کمانش تاب می گردد. کاهش بیشتر طول قطعه کمانش تاب در الگوی واگرا و بررسی پلانها و تعداد طبقات دیگر از جمله پیشنهادها برای تحقیقات آتی می باشد.

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.



۶۹/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد