

بهبود عملکرد لرزه ای قاب های با مهاربندی واگرا با بکارگیری المان شکل پذیر

مرتضی نقی پور^{۱*}، سید رضا سلیم بهرامی^۲

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

پایدار و مقاوم بودن سازه‌ها در برابر زلزله برای جلوگیری از تخریب‌های کلی و یا جزئی و همچنین از دست رفتن سرمایه های مالی و جانی افراد و کشور، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. قاب‌های فولادی با مهارندهای واگرا به عنوان یکی از سیستم های رایج مقاوم در برابر زلزله با شکل پذیری و سختی مناسب دارای آرایش های مختلفی بوده، که یکی از آن شامل اتصال تیر پیوند به ستون می باشد. این نوع اتصال، تا قبل از زلزله نورث ریچ (۱۹۹۴)، از نوع خمشی در نظر گرفته می شدند. همچنین پژوهش های انجام شده در پی زلزله نورث ریچ حاکی از آن بود که اتصالات تیر پیوند به ستون در معرض شکست های ترد همانند اتصالات در قاب های خمشی قرار گرفته است. به همین جهت پس از زلزله نورث ریچ، محققان به دنبال راهکارهایی برای بهبود این نوع اتصال برآمدند که ضرورت پژوهش در این امر را بیش از پیش نشان می‌دهد. در این پژوهش، سعی شده است به بررسی مستهلک کننده انرژی پیشنهادی که متشکل از یک حلقه که موجب افزایش شکل پذیری و جذب انرژی زلزله شده و یک قوطی برای افزایش ظرفیت باربری، که توسط صفحات اتصال به حلقه شکل پذیر متصل می‌شوند، پرداخته شود. نرم افزار OpenSees به منظور بررسی عملکرد المان پیشنهادی در قاب‌های فولادی با مهارندهای واگرا تحت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که المان معرفی شده می‌تواند به عنوان یک عضو جاذب انرژی جهت کاهش خسارت وارده به سازه با کاهش دوران تیر پیوند، برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات عمل نموده، ضمن آنکه شکل پذیری لازم را نیز تامین کند.

کلمات کلیدی: مهاربند واگرا، حلقه های فولادی شکل پذیر، جاذب انرژی، تیر پیوند، تحلیل دینامیکی غیرخطی.

*نویسنده مسئول: مرتضی نقی پور

پست الکترونیکی: m-naghi@nit.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.77539.1075

شناسه دیجیتال

<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.77539.1075>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

۱- مقدمه

از بین سیستم‌های سازه ای مقاوم در برابر زلزله، قاب خمشی خصوصاً قاب خمشی ویژه را می توان به عنوان یک سیستم باربری جانبی که دارای شکل پذیری زیاد و سختی کم می‌باشد، قلمداد کرد. از طرف دیگر قاب‌های مهاربندی همگرا نیز دارای سختی مناسب بوده، لیکن از شکل پذیری مناسب محروم می‌باشند. قاب‌های با مهاربندی واگرا در واقع ترکیبی مناسب از قاب های خمشی و قاب های مهاربندی همگرا بوده که هر دو خاصیت سختی و شکل پذیری را هم‌زمان به نحو مطلوب دارا می‌باشد. نقش اساسی جذب و استهلاک انرژی القایی ناشی از زلزله این نوع سیستم سازه‌ای توسط تیر پیوند تأمین می شود. در بعضی از انواع پیکربندی مهاربندی واگرا، به علت وجود بازشو یا درب در کنار ستون، نیاز به اتصال تیر پیوند به ستون می باشد. زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ در منطقه نورث ریج واقع در ایالات کالیفرنیا آمریکا سر آغاز مهمی برای انجام تحقیقات در رابطه با اتصالات قاب های خمشی گردید. بر این اساس بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی لرزه ای قاب های خمشی مجدداً مورد بازبینی قرار گرفت و تحقیقات محدودی در زمینه اتصالات تیر پیوند به ستون انجام شد. با توجه به اینکه اتصالات تیر پیوند به ستون، نیروها و تغییرشکل‌های غیر ارتجاعی بزرگ و متفاوتی از اتصالات خمشی را تحمل می‌کنند، بنابراین طراحی، کنترل و ارائه راه کار مناسب به منظور تأمین شکل پذیری مورد نیاز این اتصالات ضروری به نظر می رسد. علیرغم پژوهش های صورت گرفته توسط اوکازاکی [۱]، درالیز [۲] و همچنین بررسی های به عمل آمده توسط پریزن و همکاران [۳] و برمن و همکاران [۴] هنوز اتصال مناسب و رضایت بخشی برای اتصال تیر پیوند به ستون توسط آیین نامه های طراحی ارائه نشده است. در ضوابط لرزه ای آیین نامه AISC (2005)، به دلیل تحقیقات در حال انجام برای رفع نواقص این نوع از اتصال، به طراحان توصیه شده تا جایی که می توان از به کارگیری این نوع اتصال اجتناب شود. با توجه به مطالب ذکر شده اهمیت بررسی اتصال تیر پیوند به ستون در سیستم مهاربندی واگرا بیش از پیش بر همگان مشخص می‌گردد.

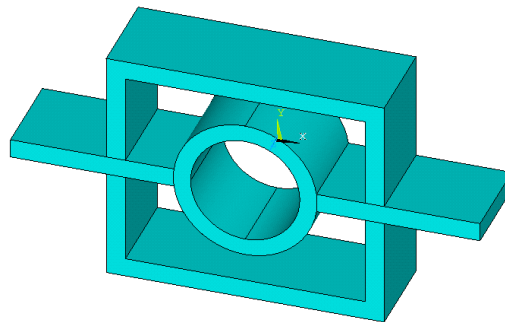
نقی پور و سمائی [۵] با ارایه یک مستهلک کننده انرژی، متشکل از یک حلقه خارجی و یک قوطی که در داخل حلقه قرار می‌گرفت به منظور بهبود عملکرد مهاربند دروازه ای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش انجام شده نشان می دهد المان پیشنهادی باعث افزایش شکل پذیری قاب شده و تمام خرابی ها در المان پیشنهادی متمرکز شده است. همچنین نقی پور و رجبی قمی [۶] نیز، گونه ای دیگر از استهلاک کننده ها، که متشکل از دو قوطی در سازه با مهاربندی همگرا می‌باشد، پرداختند. نتایج حاکی از شکل پذیری مطلوب این المان و کاهش تغییر مکان بام و برش پایه در سازه های مورد بررسی داشته است.

نقی پور و سلیم بهرامی [۷] با ارایه یک سیستم نوین جاذب انرژی متشکل از یک حلقه داخلی و یک قوطی خارجی که توسط صفحات اتصال به هم متصل می شدند، در سازه با مهاربندی همگرا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از پژوهش، حاکی از کاهش برش پایه و افزایش ضریب رفتار که نشان از افزایش شکل پذیری آن می باشد. در این پژوهش نیز سعی شده است به بررسی مستهلک کننده انرژی پیشنهادی که متشکل از یک حلقه که موجب افزایش شکل پذیری و جذب انرژی زلزله شده و یک قوطی برای افزایش ظرفیت باربری، که توسط صفحات اتصال به حلقه شکل پذیر متصل می‌شوند، پرداخته شود. در هنگام وقوع زلزله، عضو مستهلک کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیر خطی و تشکیل مفاصل خمیری خمشی، مستهلک کرده و بدین صورت از ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیر خطی جلوگیری می نماید. همچنین از کمانش اعضای مهاربندی جلوگیری کرده یا آن را به تعویق می اندازد [۵]. قاب‌های فولادی با مهاربندهای واگرا به عنوان یکی از سیستم های رایج مقاوم در برابر زلزله با شکل پذیری و سختی مناسب دارای آرایش های مختلفی بوده، که یکی از آن شامل اتصال تیر پیوند به ستون می باشد. این نوع اتصال، تا قبل از زلزله نورث ریج (۱۹۹۴)، از نوع خمشی در نظر گرفته می شدند. همچنین پژوهش های انجام شده در پی زلزله نورث ریج حاکی از آن بود که اتصالات تیر پیوند به ستون در معرض شکست های ترد همانند اتصالات در قاب های خمشی قرار گرفته است. با توجه به اینکه عملکرد این المان پیشنهادی در قاب با مهاربند همگرا توسط نقی پور و سلیم بهرامی [۷] نیز مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته است. لذا با توجه به مشکل اصلی مهاربندهای واگرا در زمینه اتصال تیر پیوند به ستون، تلاش می شود تا تاثیر این المان بر عملکرد لرزه ای قاب‌های با مهاربندی واگرا مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گیرد. استفاده از المان پیشنهادی در مهاربندهای واگرا موجب جلوگیری از شکست ترد اتصال تیر پیوند به ستون شده و در صورت خرابی المان پیشنهادی، قابلیت تعویض آسان را نیز داشته و علاوه بر آن از هزینه کم و سرعت اجرایی بالایی نیز برخوردار می‌باشد.

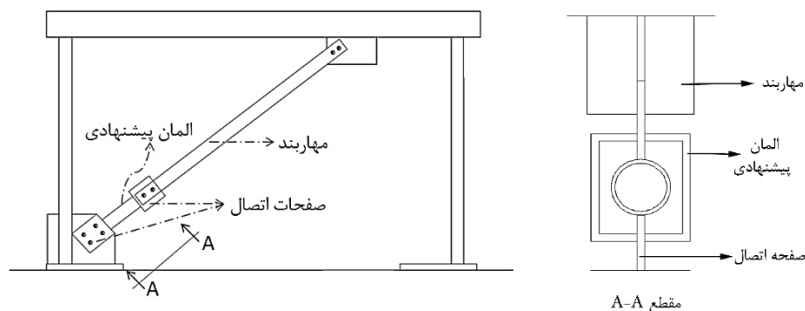
انتظار می رود که المان معرفی شده بتواند به عنوان یک عضو جاذب انرژی و همچنین یک فیوز جهت کنترل کمانش مهاربند و دوران تیر پیوند عمل کند، ضمن آنکه شکل پذیری لازم را نیز تامین کند.

۲- روند انجام پژوهش

در این پژوهش از المان شکل پذیر معرفی شده [۷] مطابق شکل ۱ استفاده خواهد شد. به منظور نشان دادن تاثیر استفاده از این المان در قاب مهاربندی شده، قاب مهاربندی شده‌ای با المان پیشنهادی و بدون آن، در نرم افزار OpenSees مدل شده و عملکرد لرزه ای قاب های مهاربندی و اگر با المان پیشنهادی و بدون آن، با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی بر حسب تاریخچه زمانی، بررسی گردیده و نتایج بدست آمده با هم مقایسه شدند. همچنین تاثیر این المان پیشنهادی در قاب های ۴، ۶ و ۸ طبقه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ نحوه قرار گیری المان پیشنهادی در قاب مهاربندی و اگر نشان داده شده است. لازم به ذکر است صفحات متصل به المان پیشنهادی میتوانند با استفاده از جوش و یا پیچ به مهاربند و صفحه اتصال گوشه نصب شوند [۸].



شکل ۱: المان پیشنهادی [۷].



شکل ۲: نحوه قرارگیری حلقه فولادی در قاب مهاربندی و اگر.

یکی از پارامترهای موثر در انتخاب حلقه فولادی، مشخصات نوع فولاد آن است. از آنجایی که حلقه فولادی به عنوان عضو شکل پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارجح است که نوع فولاد آن نرم و شکل پذیری آن زیاد باشد. فولاد نرم، فولادی با تنش تسلیم کمتر از ۲۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع و کرنش نهایی بیشتر از ۴۰ درصد است. لذا پس از جستجو در بازار فولاد، لوله‌ای از نوع فولاد CT20 با نام تجاری مانیسمان (بدون درز) مورد توجه قرار گرفت. اگر چه فولاد مورد نظر دارای مشخصات فولاد نرم نبوده، ولی برای بررسی عملکرد المان پیشنهادی در این مرحله مناسب به نظر می‌رسد [۹]. همچنین صفحه اتصال مهاربند به قوطی از جنس فولاد St37 در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی اعضاء، نظیر تنش و کرنش نهایی، تنش تسلیم و مدول الاستیسیته در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی اعضای المان پیشنهادی [۹]

	تنش نهائی F_u (kg/cm ²)	تنش تسلیم F_y (kg/cm ²)	کرنش نهائی ϵ_u	ضریب پواسون ν	مدول الاستیسیته (kg/cm ²)
حلقه	۴۸۰۰	۳۰۰۰	۰/۲۱	۰/۳	۲۰۰۰۰۰
St37	۳۷۰۰	۲۴۰۰	۰/۲۶	۰/۳	۲۱۰۰۰۰

۳- تحلیل استاتیکی و دینامیکی قاب با مهاربندی واگرا

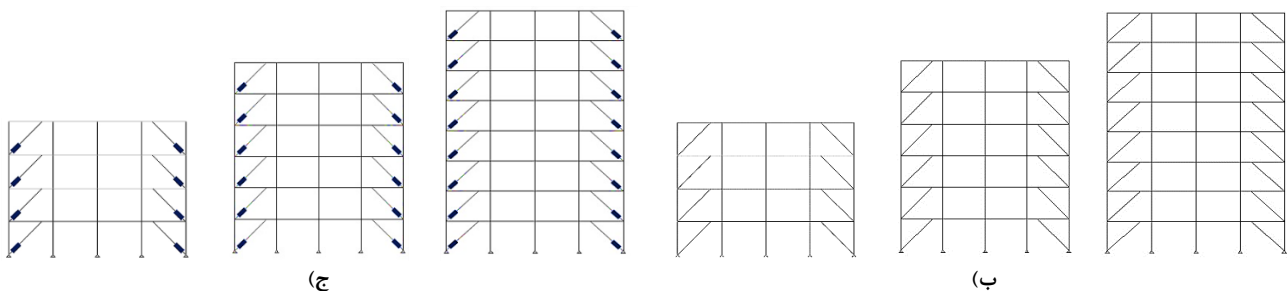
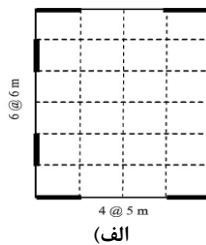
۳-۱- معرفی نمونه ها در برنامه OpenSees

جهت بررسی عملکرد لرزه ای المان پیشنهادی، از سازه های معمول و رایج استفاده شده است. به منظور بررسی تأثیر ارتفاع سازه، قاب های دوبعدی چهار دهانه با تعداد طبقات ۴، ۶ و ۸ طبقه، مطابق شکل ۳، مورد بررسی قرار گرفتند. ارتفاع هر طبقه سه متر و طول دهانه ها پنج متر می باشد. برای دستیابی به قاب واگرا با صلبیت و شکل پذیری مناسب تر، تیر پیوندی با رفتار برشی و طول $e = 100 \text{ cm}$ اختیار شده است. بار مرده و زنده طبقات به ترتیب ۷۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع بوده و عرض موثر قابها نیز با توجه به پلان شکل ۳ برابر با ۳ متر می باشد، بنابراین بار مرده و زنده خطی به ترتیب برابر با ۲۱۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم بر متر می باشد که بر روی تیرها پخش خواهد شد [۸].

از آنجایی که در پژوهش حاضر پلان ساختمان منظم بوده و ارتفاع ساختمان از تراز پایه کمتر از ۵۰ متر می باشد، بنابراین تحت تحلیل استاتیکی معادل قرار می گیرد. به منظور تعیین ضریب زلزله سازه مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران [۱۰]، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است: ساختگاه سازه با خطر نسبی بسیار زیاد بوده و تیپ خاک آن از نوع ۳ می باشد [۸]. مشخصات لرزه ای تحلیل استاتیکی معادل طبق آیین نامه ۲۸۰۰ مطابق جدول ۲ می باشند.

جدول ۲: مشخصات لرزه ای تحلیل استاتیکی معادل طبق آیین نامه ۲۸۰۰

تعداد طبقات	A	T	I	R	B	C
۴	۰/۳۵	۰/۳۲۲	۱	۷	۲/۷۵	۰/۱۳۷۵
۶	۰/۳۵	۰/۴۳۷	۱	۷	۲/۷۵	۰/۱۳۷۵
۸	۰/۳۵	۰/۵۴۲	۱	۷	۲/۷۵	۰/۱۳۷۵



شکل ۳: آرایش مهاربندی واگرا ۴، ۶ و ۸ طبقه (الف) پلان (ب) نمای قاب بدون المان شکل پذیر (ج) نمای قاب با المان شکل پذیر.

۳-۲- پارامترهای تحلیل و طراحی

کلیه قاب ها مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران (ویرایش سال ۸۷) [۱۱] طراحی شده‌اند. جهت تحلیل و طراحی قاب ها از نرم افزار [12] ETABS، استفاده شده است. مرجع طراحی در این نرم افزار، آیین‌نامه [13] UBC(1997) می باشد. ضوابط طرح لرزه ای آیین‌نامه فولاد ایران، ویرایش ۱۳۸۷ با ضوابط لرزه ای این آیین‌نامه مطابقت بسیار زیادی دارد. مشخصات مقاطع تیرها، ستون ها و مهاربندها برای قاب های ۴، ۶ و ۸ طبقه، مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، نشان داده شده است که احتمال شکست ترد در جوش اتصال تیر پیوند کناری به محور ضعیف ستون بسیار زیاد است. بنابراین در این مدلسازی از اتصال تیر پیوند به محور ضعیف ستون اجتناب شده است [۸].

جدول ۳: مقاطع سازه مهاربندی واگرا

مقطع سازه						تعداد طبقه
قاب ۸ طبقه		قاب ۶ طبقه		قاب ۴ طبقه		
بدون المان پیشنهادی	با المان پیشنهادی	بدون المان پیشنهادی	با المان پیشنهادی	بدون المان پیشنهادی	با المان پیشنهادی	عضو سازه ای
2IPB500	2IPB500	2IPB300	2IPB300	IPB400	IPB400	ستون ها
2IPE300	2IPE300	2IPE300	2IPE300	2IPE300	2IPE300	تیرها
2UNP220 + DE-15- 1.8	2UNP220	2UNP240 + DE-15- 1.8	2UNP240	2UNP220 + DE-15- 1.8	2UNP220	مهاربندها

۳-۳- انتخاب شتابنگاشت

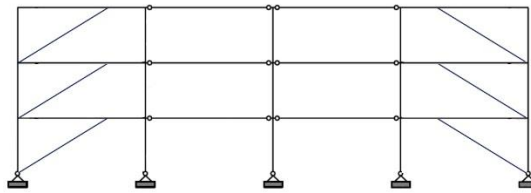
شتابنگاشت هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می گیرند باید تا حد امکان نمایان گر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام وقوع زمین لرزه باشند. در این پژوهش شتابنگاشت‌ها با استفاده از پارامترهایی مانند سرعت موج برشی در خاک محل ثبت شتابنگاشت ها، فاصله شتابنگاشت ها از گسل و محتوای فرکانسی شتابنگاشت ها انتخاب شده اند. مطابق جدول (۴) برای انتخاب شتابنگاشت ها، طبق توصیه آیین نامه ۲۸۰۰ تعداد سه شتابنگاشت انتخاب شده اند که این سه شتابنگاشت اولاً دارای سرعت موج برشی در محدوده ذکر شده در آیین نامه ۲۸۰۰ مطابق خاک نوع ۳ که خاک انتخاب شده در این پژوهش است می باشند. ثانیاً هر سه شتابنگاشت از نوع دور از گسل بوده و همچنین این شتابنگاشت‌ها یک بازه وسیعی از محتوای فرکانسی در محدوده‌ی دوره تناوب سازه را شامل می شوند. این شتابنگاشت ها مربوط به زلزله‌های امپریال، طیس و نورث ریج می باشند [۸].

جدول ۴: مشخصات رکورد های انتخاب شده

نوع زمین	فاصله از گسل (km)	بیشینه شتاب حرکت زمین (PGA (g)	بزرگی	ایستگاه	سال وقوع	شتابنگاشت
۳	۲۸/۷	۰/۲۷	۶/۵۳	چیهوآهورا	۱۹۷۹	امپریال
۳	۲۶/۱	۰/۱۰۸	۷/۳۵	بشرویه	۱۹۷۸	طیس
۳	۳۷/۹	۰/۴۶	۶/۶۹	آبرگان پارک	۱۹۹۴	نورث ریج

۴- روش مدلسازی در نرم افزار OpenSees

قاب مهاربندی واگرا با المان پیشنهادی و بدون آن، به صورت دو بعدی در برنامه OpenSees [۱۴] مطابق شکل ۴ مدلسازی شده است. برای مدلسازی تیرها و ستون ها از المانهای غیر خطی با مقاطع غیر خطی و برای تعریف رفتار مواد تیر ها، ستون ها و مهاربندها از ماده Giuffre-Menegotto-Pinto [۱۵] با سخت شوندگی کرنشی همسانگرد و با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و مدول مماسی ۲۱۰۰۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع (Steel02) با $F_y=2400 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ استفاده شده است. همچنین برای مدلسازی المان پیشنهادی از همان ماده (Steel02) با توجه به رابطه‌ی بین نیروی مهاربند با ابعاد آن، تنش تسلیم و مدول الاستیسیته ای که از رفتار المان پیشنهادی در نرم افزار ANSYS به دست آمده، استفاده شده است. مدول الاستیسیته و تنش تسلیم برای المان پیشنهادی با حلقه ای به قطر ۱۸ سانتی متر و ضخامت ۱/۲ سانتی متر به ترتیب برابر با ۱۹۴۰۰۰۰ و ۲۹۵۹/۸۵ کیلوگرم بر سانتی متر می باشد. لازم بذکر است که تکیه گاه های قاب به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است. همچنین برای صحت سنجی مدلسازی در نرم افزار OpenSees، مقایسه ای بین مدهای ارتعاشی حاصل از آنالیز مودال در نرم افزار SAP [۱۶] با نتایج حاصل از آنالیز مودال نرم افزار OpenSees برای سازه چهار طبقه صورت گرفته است که نتایج حاصله در جدول (۵) به نمایش گذاشته شده که صحت مدلسازی را تایید می کند. برای مدلسازی تیر پیوند در مهاربندهای واگرا از روش فرض شده‌ی رمدان و گویرا [۱۷] و اصلاح شده‌ی ریچارد [۱۸] تبعیت شده است.



شکل ۴: مدلسازی سازه در نرم افزار OpenSees.

جدول ۵: مقایسه مدهای ارتعاشی بین دو نرم افزار SAP و OpenSees

	نرم افزار OpenSees	نرم افزار SAP
T ₁	۰/۲۷۸۲۳۳	۰/۲۷۸۲۲۸
T ₂	۰/۱۰۱۱۷	۰/۱۰۱۱۷
T ₃	۰/۰۶۰۳۴۴	۰/۰۶۰۳۴۱

۵- نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی دینامیکی به صورت تاریخچه زمانی قاب با مهاربندی واگرا

لازم بذکر است در نتایج مطرح شده در بخش‌های بعدی، منظور از EBF همان مهاربند واگرای معمولی بوده و منظور از D-EBF همان مهاربند واگرای دارای المان شکل پذیر می باشد.

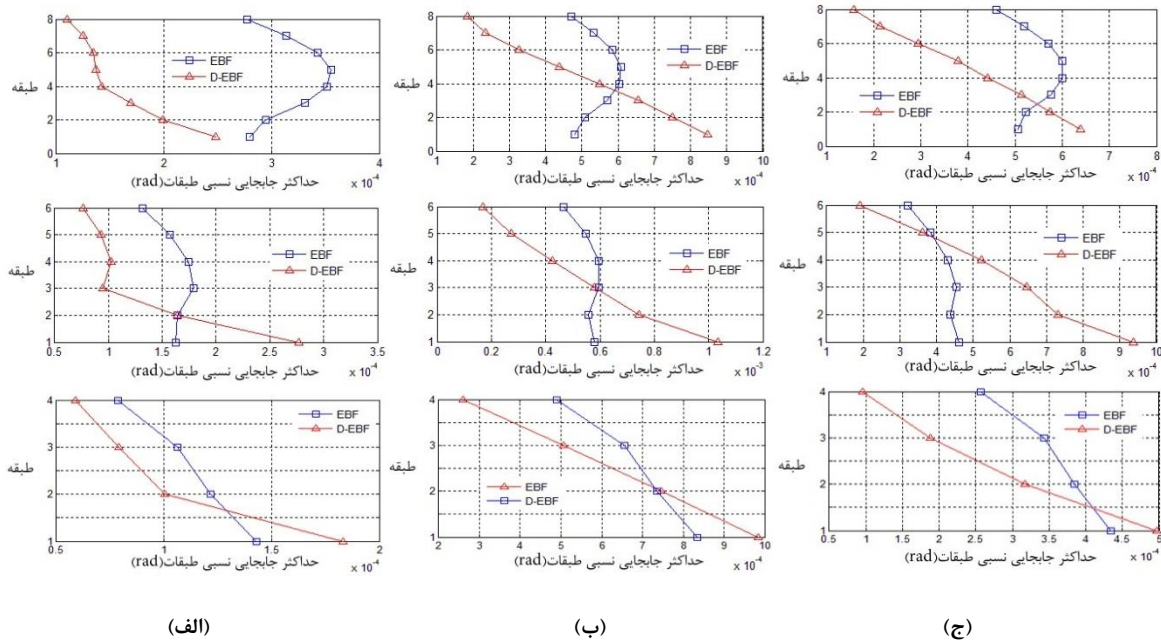
۵-۱- حداکثر جابجایی نسبی طبقات

شکل ۵ حداکثر جابجایی نسبی طبقات در قاب های مهاربندی واگرای معمولی و دارای المان شکل پذیر را تحت زلزله های امپریال، نورث ریچ و طبس نشان می دهند. تغییر مکان نسبی طبقات از موارد مهم و حساس در ارزیابی سطح عملکرد سازه ها می باشد زیرا میزان آسیب های وارده به اجزای سازه ای و غیر سازه ای در هر طبقه ارتباط مستقیمی با میزان تغییر مکان جانبی نسبی آن طبقه دارد. لذا این

1 Nonlinear Beam-Column Element

2 Inelastic Fiber Section

پارامتر را می توان به عنوان شاخص خرابی در نظر گرفت. نتایج به نمایش گذاشته شده حاکی از کاهش جابجایی نسبی در بیشتر طبقات بوده که میزان خسارت وارده به سازه را می تواند کاهش دهد که این میزان کاهش در اغلب موارد از طبقه دوم شروع می شود.



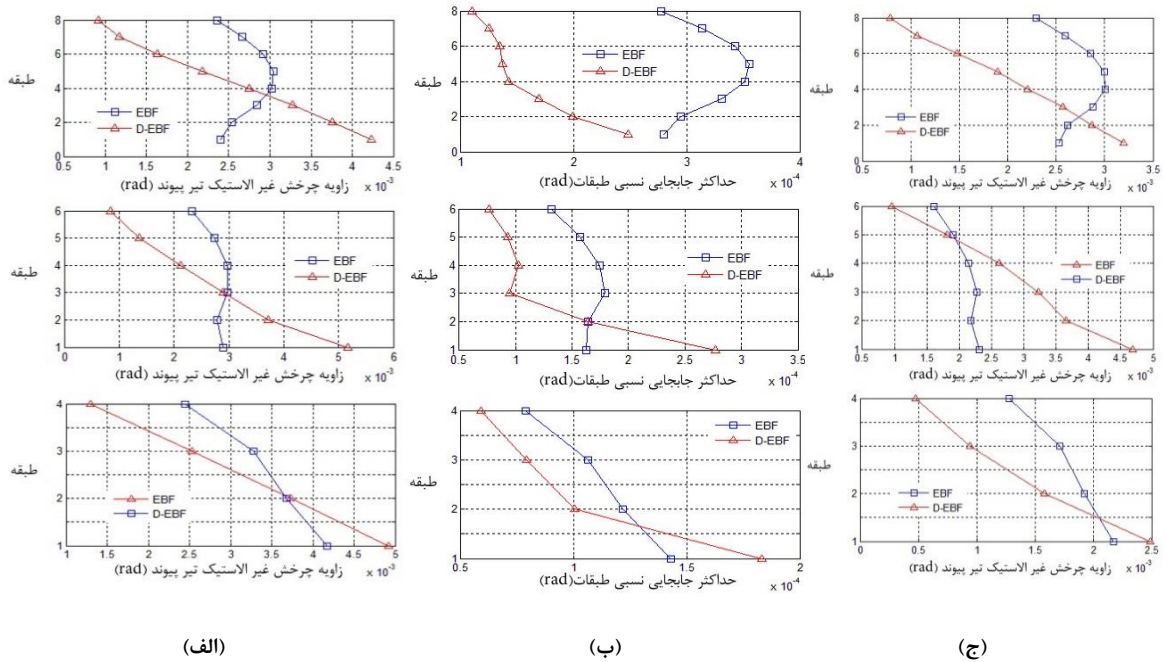
شکل ۵: حداکثر جابجایی نسبی طبقات قاب مهاربندی واگرای معمولی و دارای المان شکل پذیر تحت زلزله (الف) امپریال (ب) نورث ریج (ج) طبس به نسبت تعداد طبقات.

۵-۲- دوران پلاستیک تیر پیوند

شکل ۶ زاویه چرخش غیر ارتجاعی تیر پیوند در قاب های مهاربندی واگرای معمولی و دارای المان شکل پذیر را تحت زلزله های امپریال، نورث ریج و طبس نشان می دهند. با مقایسه نتایج حاصل از حداکثر جابجایی نسبی طبقات با نتایج حاصل از دوران پلاستیک تیر پیوند می توان نتیجه گرفت که تغییرات میزان چرخش غیر ارتجاعی تیر پیوند در ارتفاع سازه تا حدود زیادی مشابه تغییرات حداکثر جابجایی نسبی هر طبقه در ارتفاع سازه می باشد. بنابراین می توان گفت که جابجایی نسبی هر طبقه به نحوی نشان دهنده چرخش غیر ارتجاعی تیر پیوند آن طبقه نیز هست. لذا در نظر گرفتن جابجایی نسبی هر طبقه به عنوان شاخص خرابی، صحیح می باشد.

۵-۳- حداکثر میزان برش پایه و تغییر مکان بام

جدول ۶ حداکثر میزان برش پایه و تغییر مکان بام را در قاب های مهاربندی واگرای معمولی و دارای المان شکل پذیر تحت زلزله های امپریال، نورث ریج و طبس نشان می دهد. همانطور که از نتایج پیداست وجود المان پیشنهادی در مهاربند واگرا منجر به کاهش برش پایه در حدود ۵۵٪ نسبت به حالت قاب با مهاربند واگرای معمولی می شود. مقدار کم برش پایه به دست آمده برای قاب با مهاربند دارای المان شکل پذیر، سبب کاهش در هزینه ساخت و تقویت فونداسیون سازه در مقایسه با قاب با مهاربند واگرای معمولی می شود. همچنین میزان کاهش حداکثر تغییر مکان بام در حالت وجود المان پیشنهادی در حدود ۱۰٪ حالت مهاربند واگرای معمولی می باشد.



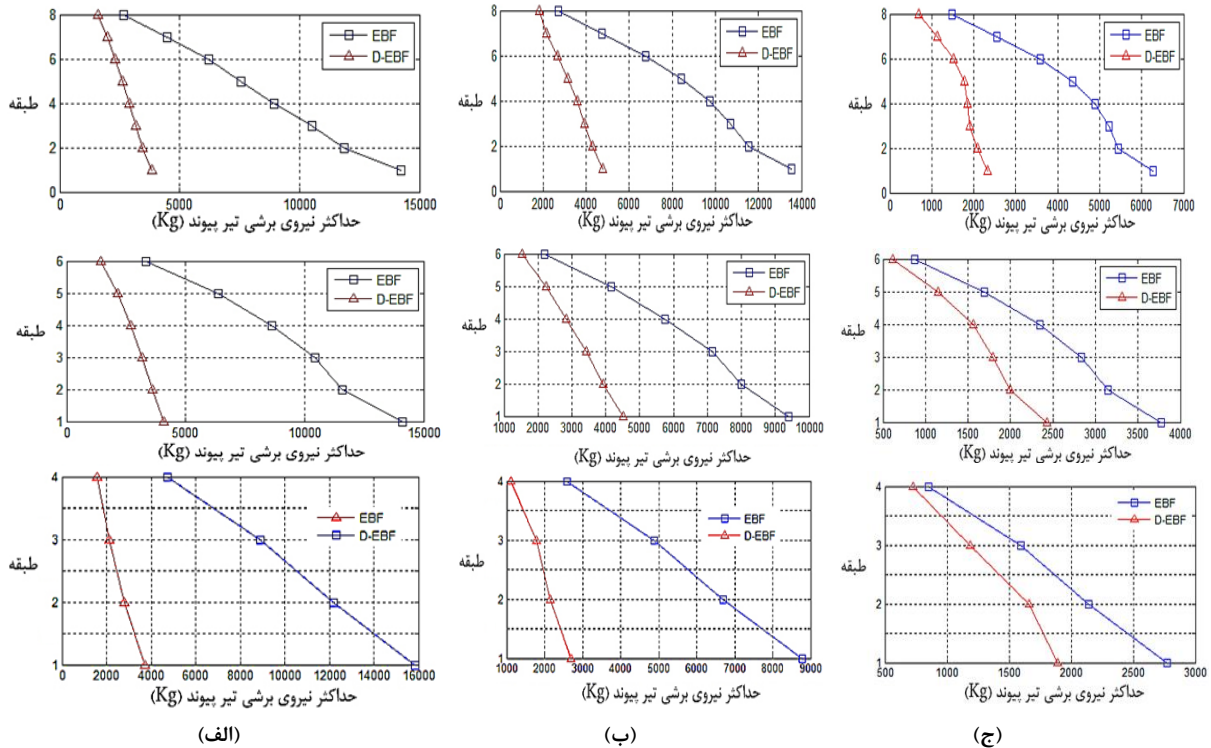
شکل ۶: زاویه چرخش غیر ارتجاعی تیر پیوند قاب مهاربندی واگرای معمولی و دارای المان شکل پذیر تحت زلزله (الف) امپریال (ب) نورث ریج (ج) طبس به نسبت تعداد طبقات.

جدول ۶: مقایسه میزان حداکثر برش پایه و تغییر مکان بام در قاب با مهاربندی واگرا دارای المان پیشنهادی و بدون آن

رکورد زلزله	بدون المان پیشنهادی		با المان پیشنهادی		اختلاف برش پایه (%)	اختلاف حداکثر تغییر مکان بام (%)
	برش پایه (Kg)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)	برش پایه (Kg)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)		
طبقه ۴						
امپریال	۲۹۷۰۸/۵۹	۰/۴۲	۱۱۱۷۱/۴۴۳	۰/۳۲	- ۶۲/۳۹	- ۲۴/۸۴
نورث ریج	۵۷۷۳۰/۶۱	۰/۸۱۴	۱۶۲۳۷/۲۷	۰/۷۴	- ۷۱/۸۷	- ۸/۶۹
طبس	۱۰۲۴۰/۵۱۹	۰/۱۳۵	۷۱۶۱/۹۸۷	۰/۱۲	- ۳۰/۰۶	- ۱۰/۴۳
		میانگین اختلاف			- ۵۴/۷۷	- ۱۴/۶۵
طبقه ۶						
امپریال	۳۲۸۷۱/۲۷۳	۰/۷۴۲	۱۴۷۳۳/۸۸	۰/۹۸۶	- ۵۵/۱۷	۳۲/۹۷
نورث ریج	۴۱۶۵۵/۳۲۹	۱/۰۵۴۴	۱۴۹۰۳/۶۶۲	۰/۹۵۳	- ۶۴/۲	- ۹/۵۷
طبس	۱۱۲۰۴/۲۷	۰/۲۹۰	۸۱۶۹/۵۲۸	۰/۲۵۹	- ۲۷/۱	- ۱۰/۸
		میانگین اختلاف			- ۴۸/۸۲	- ۴/۱۹
طبقه ۸						
امپریال	۳۹۲۴۶/۳۰۳۹	۱/۴۴	۱۵۳۷۷/۸۵۸	۱/۴۰۳	- ۶۰/۸	- ۲/۶۵
نورث ریج	۴۱۵۸۰/۷۱۴	۱/۳۱۱	۱۳۷۱۷/۱۴۸	۱/۱۷۸	- ۶۷	- ۱۰/۱
طبس	۱۹۱۹۶/۳۵۶	۰/۷۵۷	۸۲۵۴/۷۹۴	۰/۳۵۸	- ۵۶/۹	- ۵۲/۷
		میانگین اختلاف			- ۶۱/۶	- ۲۱/۸
		میانگین از کل میانگین های اختلاف			- ۵۵/۰۷	- ۱۰

۴-۵- میزان برش تیر پیوند

شکل ۷ نمودار حداکثر نیروی برشی تیر پیوند به نسبت طبقات را نشان می‌دهند. این نمودار پاسخ کلی اتصال تیر پیوند در مقابل بار زلزله اعمالی می‌باشد. همانطور که از نتایج مشخص است، وجود المان پیشنهادی منجر به کاهش میزان نیروی برشی در تیر پیوند می‌شود.



شکل ۷: حداکثر نیروی برشی تیر پیوند مهاربند در قاب های مهاربندی واگرای معمولی و دارای المان شکل پذیر تحت زلزله الف) امپریال (ب) نورتریج (ج) طیس به نسبت تعداد طبقات.

۶- نتیجه گیری

بررسی و مطالعات انجام شده بر روی مهاربند های واگرا از نوع اتصال تیر پیوند به ستون نشان داد، که استفاده از عضو شکل پذیر به منظور کاهش دوران تیر پیوند و افزایش شکل پذیری در مهاربند، ایده ای ارزشمند می باشد. زیرا المان پیشنهادی در نقش یک فیوز عمل کرده و در نتیجه منجر به کاهش دوران تیر پیوند در این نوع سیستم باربری جانبی خواهد شد. استفاده از المان پیشنهادی در مهاربند های واگرا از نوع اتصال تیر پیوند به ستون، آغازی برای شروع پژوهش های جدید با این نگاه نو می باشد و از این نظر لازم است که ابعاد پوشش داده نشده ای این ایده مطالعه شود، ولی اهم نتایج این پژوهش در ادامه آورده می شود.

۱- با توجه به وجود رابطه ای میزان خسارت اعضای سازه ای و غیر سازه ای به میزان جابجایی نسبی در طبقات، نتایج حاکی از کاهش حداکثر جابجایی نسبی طبقات با وجود حلقه های تسلیم شونده در قاب با مهاربندی واگرا بوده است که این میزان کاهش در اکثر موارد از طبقه دوم تا طبقه آخر سازه اتفاق می افتد.

۲- دوران تیر پیوند با وجود المان پیشنهادی در قاب با مهاربندی واگرا در طبقات انتهایی سازه به طور چشمگیر کاهش یافته است که حاکی از نقش بالای استهلاک انرژی المان پیشنهادی می باشد.

- ۳- میزان برش پایه در قاب با مهاربندی واگرا شامل حلقه های تسلیم شونده در حدود ۵۵٪ برش پایه در قاب با مهاربند واگرای معمولی می باشد.
- ۴- میزان تغییر مکان بام در قاب با مهاربند واگرا شامل حلقه های تسلیم شونده در حدود ۱۰٪ تغییر مکان بام در قاب با مهاربند واگرا معمولی می باشد.
- ۵- وجود المان پیشنهادی منجر به کاهش میزان نیروی برشی قابل تحمل در تیر پیوند مهاربند واگرا می شود.

مراجع

- [1] Okazaki, T., (2004), "Seismic Performance of Link-to-column Connections in Steel Eccentrically Braced Frames", PhD Dissertation, University of Texas at Austin, TX.
- [2] Drolias, A., (2007), "Experiments on Link-to-Column Connections in Steel Eccentrically Braced Frames", Master's Thesis, University of Texas at Austin, TX.
- [3] Prinz, G.S., Richards, P.W, (2009) "Eccentrically Braced Frame Links with Reduced Web Sections", Journal of Construction Steel Research, 65(10-11), pp. 1971-1978.
- [4] Berman, J. W., Okazaki, T., Hauksdottir, H. O., (2010), "Reduced Link Sections for Improving the Ductility of Eccentrically Braced Frame Link-to-Column Connections" Journal of the Structural Engineering, American Society of civil Engineers, 136(5), pp. 543-553.
- [5] Samace, S. S. , Naghipour, M., Bozorgnasab, M., (2015), "Study of the effect of energy absorbing element in seismic performance of steel frames with symmetric y-shape concentric bracings" The Modares Journal of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, 15(4), pp. 41-53.
- [6] Rajabi Q. , M. , Naghipour, M., (2016), "The use of ductile elements to improve the behavior of CBF" The 1th International Conference and 3th National Conference on sustainable architecture and urban landscape, Mashhad, Iran.
- [7] Naghipour, M., Salimbahrami, S. R., Nemat, M., (2015), "The Role of Ductile Behavior of Connection Elements on Seismic performance of CBF" The Modares Journal of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, 15(1), pp. 131-143.
- [8] Salimbahrami, S. R., (2013), "The Role of Ductility Behavior of Connection Elements on seismic assessments Of EBF", Master's Thesis, Dept. of Civil Engineering, Babol Noushivani University of Technology. (In Persian)
- [9] kafi, M. A. (2008). A study on functionality of dutiable element in ductility concentrically braces. Univ. of Science and Technology. (in persian)
- [10] Regulations, I. N. B. (2006). Loads on buildings, Ministry of Rood & Urban Development (in persian)
- [11] Regulations, I. N. B. (2008). Design and Implement of Steel Buildings, Ministry of Rood & Urban Development (in Persian)
- [12] ETABS (2005). "9, 2005." Computers and Structures, Inc., Berkeley, California
- [13] UBC, (1997), Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials.
- [14] Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., and Fenves, G. L. (2006). The Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES) User Command-Language Manual, PEER, Univ. Calif., Berkeley, CA, <http://opensees.berkeley.edu> .
- [15] Menegotto, M. and Pinto, P.E. (1973). "Method of analysis of cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under normal force and bending, Preliminary Report." IABSE, Vol. 13, pp. 15-22.
- [16] SAP2000 (2010). "14.2. 4. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures-Basic Analysis Reference Manual." Computers and Structures Inc, Berkeley
- [17] Ramadan, T., and Ghobarah, A. (1995). "Analytical model for shear-link behavior." J. Struct. Eng., ASCE, 121(11), 1574-1580.
- [18] Richards, P.W. (2004). "Cyclic stability and capacity design of steel eccentrically braced frames." Ph.D. dissertation, Dept. of Structural Engineering, Univ. of California, San Diego, La Jolla, CA.