



بررسی عددی رفتار چرخه ای قابهای بادبندی قطری خارج از مرکز در دو حالت اتصال مفصلی و گیردار

سید مهدی زهرائی^۱ ابوذر صالح^۲

(۹۰/۶/۸۸،۱۲/۲/۲۲)

چکیده

کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای زلزله خیز جهان در طی سالیان گذشته در معرض زلزله های ویران کننده ای قرار داشته است و انتخاب راهکاری برای مقابله با این پدیده ی طبیعی امری اجتناب ناپذیر است. در این راستا مهاربندهای قطری خارج از مرکز به عنوان یکی از سیستم های باربر جانبی، کمتر به شکل علمی و صحیح آن مورد توجه طراحان داخلی قرار گرفته است. جهت ترویج کاربرد این سیستم در کشور، در تحقیق حاضر رفتار چرخه ای قابهای فولادی بادبندی قطری خارج از مرکز در دو حالت اتصال مفصلی و گیردار مقایسه شده و مزیت استفاده از نوع صلب به عنوان عاملی کنترل کننده در تغییرشکلهای جانبی زیاد به جهت نرمی زیاد سیستم با اتصال مفصلی در دو حالت با خروج از مرکزیتها زیاد و کم بررسی شده است. نزدیکی نتایج رفتاری دو نوع اتصال در خروج از مرکزیتها کم (وجود اختلاف بین نیروی محوری بادبندها و ستونها و نیروی برش تیر پیوند در حدود ۲۰٪) استفاده از سیستم قطری با اتصال مفصلی را به جهت رهایی از مشکلات اجرایی اتصال صلب با جوش نفوذی کامل بعنوان اتصال مرسوم اجرایی در ایران تأیید می نماید. علاوه بر آن با افزایش خروج از مرکزیت طوری که رفتار تیر پیوند از حالت برشی به خمشی تبدیل یابد، استهلاک انرژی در سیستم کاهش پیدا می کند که با استفاده از اتصال صلب بجای مفصلی می توان تا حدود ۵۰ درصد استهلاک انرژی سیستم را افزایش داد. همچنین استفاده از اتصالات صلب در این سازه ها (بادبند قطری با خروج از مرکزیت زیاد) باعث کاهش تنش فشاری مهاربند در حدود ۱۲ درصد و جلوگیری از کمانش آن، در نیروی مشابه با اتصال مفصلی می شود.

کلمات کلیدی

بررسی عددی، بادبند قطری خارج از مرکز، اتصال مفصلی و گیردار، رفتار چرخه ای.

Numerical Study on Cyclic Behavior of Eccentrically Diagonal Braced Frames in Two Cases: Simple and Rigid Connections

Seyed Mehdi Zahrai, Abouzar Saleh

ABSTRACT:

Iran, among the world most earthquake-prone countries, has been exposed to the devastating earthquake in the past years and it is inevitable to find strategy for confronting with this phenomenon. In this regard, eccentrically diagonal bracing as a lateral system has been of less interest to the researchers and design engineers. To promote use of the system, in this study the cyclic behavior of steel frames with eccentrically diagonal bracing in two cases of simple and rigid beam to column connections are compared and the advantage of rigid connection in better drift control due to too much flexibility in simple connection has been investigated in two cases with high and low eccentricities. Close results (difference between link beam shear force and also axial forces in braces and columns of about 20%) of two cases in small eccentricity make it possible for engineers to get rid of the problems in rigidity achievement in Iran with full penetration welds. Moreover by increasing eccentricity, the behavior of the link beam would change from shear to moment link, reducing energy dissipation in the system. However, using rigid connection can increase energy dissipation up to 50%. The use of rigid connections in such frames with larger eccentricities decrease compressive stress about 12% and prevent buckling of braces compared to the case with simple connection.

Keywords:

Numerical study, diagonal eccentric bracing, simple and rigid connection, cyclic behavior

^۱ دانشیار، قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختهای عمرانی، دانشکده عمران دانشگاه تهران، mzahrai@ut.ac.ir
^۲ دانشجوی دکتری، مهندسی زلزله، دانشکده عمران دانشگاه تهران / عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفرش



خارج از محور را براساس اولین شکست خرابی در چرخه‌های پلاستیک مورد ارزیابی قرار می‌دهد. روسی و لمباردو [۵] به بررسی ضریب اضافه مقاومت تیر پیوند در قابهای بادبندی خارج از محور که براساس ظرفیت طراحی شده اند پرداخته است که برای این منظور قابهایی به طول های متفاوت برای تیر پیوند مدلسازی و براساس تحلیل استاتیکی و آنالیز مودال مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. منصور و ناییل [۶] به انجام سیزده آزمایش بر روی نمونه های با مقیاس واحد بر روی نمونه های خاصی از تیر پیوند قابل تعویض دست زدند که نتایج قابل قبول با جابجایی نسبی ماندگار ۰/۵٪ برای این نوع تیر پیوند رسیدند. ماستراندی و پیلوسو [۷] تعامل نیروی برش و لنگر خمش را در تیرهای پیوند مورد آزمایش قرارداد و یک روش برای محاسبه نیروی برشی نهایی و ماکزیمم لنگر خمشی قابل تحمل تیر پیوند ارائه نمودند. این دو در مقاله دیگری [۸] به ارائه روشی برای طراحی قابهای بادبندی خارج از محور براساس گسترش مکانیزم خرابی در تکرار چرخه‌های تغییرشکل‌های پلاستیک پرداخته اند.

کارهای قبلی بر روی این مهاربندی برون‌محور همواره با فرض اتصال صلب تیر پیوند به ستون بوده که با توجه به مشکل اجرای اتصال گیردار در ایران، تحقیق حاضر به بررسی تفاوت‌های رفتار لرزه ای قاب قطری در قالب اتصال مفصلی و گیردار پرداخته است و در آن، مشخصات رفتاری همچون شکل پذیری قاب در خروج از مرکزیت‌های مختلف، تغییر مکان های نسبی طبقات، تاثیر سخت کننده های جان بر کنترل کمانش جان تیر پیوند و سرانجام رفتار هیستریزس این قاب با توجه به اتصالات مفصلی و گیردار در خروج از مرکزیت‌های مختلف بررسی شده است.

۲- مطالعات عددی

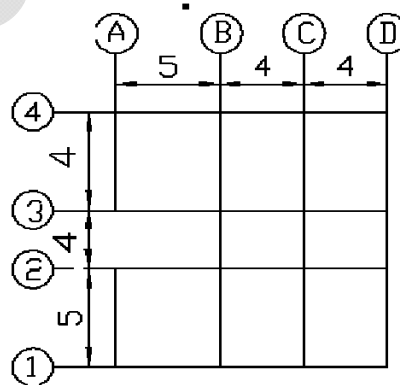
روش انجام کار به این صورت است که پلان یک ساختمان که در یک جهت دارای نامنظمی بواسطه ی فرورفتگی است (طبق تعاریف مشخص شده در استاندارد ۲۸۰۰

در طی ۵۰ سال گذشته تحقیقات زیادی در زمینه ی مهندسی زلزله انجام گرفته، طوری که رفته رفته هر روز بر میزان آگاهی بشر نسبت به رفتار و مکانیزم زلزله افزوده گردیده و باعث تدوین و ویرایش آیین نامه های گوناگون در زمینه ی ساخت و ساز سازه های مختلف گردیده است. در میان این تحقیقات که بر روی رفتار بادبندهای خارج از مرکز صورت پذیرفته است می توان به تحقیق افرادی چون کیم و چوی [۱] که به بررسی فاکتورهای مقاومت افزون و شکل پذیری در قالب سازه های ۳ تا ۲۱ طبقه با توجه به ضوابط شکل پذیری آیین نامه ای AISC برای بادبندهای هشتی شکل انجام شده، اشاره کرد. در این تحقیق چنین نتیجه گرفته شده که سختی در سیستم هایی با شکل پذیری ویژه به شکل آرامتری نسبت به شکل پذیری معمولی در کمانش بادبندها رخ داده، همچنین فاکتور مقاومت افزون در سازه ی با شکل پذیری ویژه با افزایش دهانه ی تیری که بادبند به آن متصل است نسبت مستقیم داشته و با افزایش تعداد طبقات نسبت عکس دارد. علاوه بر آن بالندرا و یوانگ [۲] با مدل کردن قابهای بادبندی با شکل هفتی شکل به این نتیجه رسیدند که ضرائب مقاومت افزون و شکل پذیری با افزایش ارتفاع سازه کاهش پیدا می کنند و برای ساختمان های ۳، ۶ و ۱۰ طبقه فاکتور اصلاح پاسخ لرزه ای از ۸/۵ به ۳/۵ می رسد. اوکازاکی و انگلهارت [۳] در تحقیق خود به بررسی رفتار تیر پیوند با توجه به ساختارهای مختلف در روش جوشکاری، جزئیات جوشکاری و فواصل سخت کننده ها با توجه به بارگذاری های مختلف انجام داده و چنین نتیجه گرفته اند که روش جوشکاری تاثیر بسیار زیادی در نحوه ی ترک خوردگی جوش داشته، همچنین جوش سخت کننده به بال و جان تیر پیوند بر نحوه ی ترک خوردگی تیر تاثیر بسزایی دارند طوری که رفتار هیستریزس آن را با بارگذاری مشابه دستخوش تغییرات زیادی می کند. بوسکو و روسی [۴] به معرفی فاکتوری بنام فاکتور ظرفیت توزیع خرابی پرداخته است که رفتار غیر خطی سازه های با مهار



ایران) [۹] مورد بررسی و با استفاده از آیین نامه ی AISC [۱۰] در نرم افزار ETABS2000 مورد تحلیل قرار گرفت. در این راه از سیستم های خارج از مرکز قطری با خروج از مرکزیت های $0.1L$ ، $0.2L$ و $0.3L$ که در آن $L=4.00$ m طول تیری است که مهاربند به آن متصل می گردد و برای مقایسه از سیستم های هم مرکز ضربدری، خارج از مرکز هشتی شکل و سیستم های خمشی در سازه ی با ارتفاع ۳ و ۱۰ طبقه استفاده شده است.

پس از اتمام مدل سازی و انجام بارگذاری برای انجام یک تحلیل غیر خطی به تعاریف مفاصل خمیری و معرفی حداکثر تغییر مکان سازه در مرکز جرم بام سازه با توجه به ضوابط آیین نامه ی FEMA-273 به انجام آنالیز PUSHOVER پرداخته شد تا از نتایج آن منحنی برش پایه-تغییر مکان و به دنبال آن محاسبه ضریب شکل پذیری سازه میسر گردد.



شکل (۱). پلان سازه

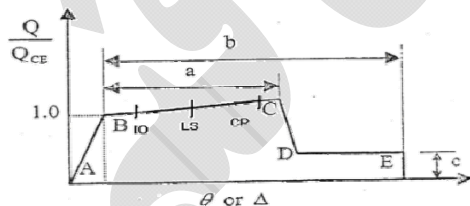
اما به منظور دریافت آگاهی بیشتر با رفتار چرخه ای و وضعیت خرابی های ایجاد شده در تیر پیوند و همچنین وضعیت اتصالات در سیستم های ترکیبی قطری به مدل سازی این اعضاء در نرم افزار ANSYS که نرم افزاری بر پایه ی قواعد اجزاء محدود می باشد، می پردازیم و به دنبال آن به استخراج نتایجی چون نحوه ی عملکرد بادبند قطری، تاثیر سخت کننده های جان بر جلوگیری از خرابی های جان تیر پیوند و سرانجام بررسی منحنی های هیستریزس بدست آمده ناشی از اعمال بار افزایشنده پرداخته می شود.

۳- مبانی خواص مواد و روشهای تحلیل :

برای مدل سازی و انجام تحلیل های مختلف بر روی اجزاء سازه ای قاب قطری خارج از مرکز و دیگر سیستم هایی که به منظور مقایسه با این نوع بادبند ساخته شده است نیاز به معرفی خواص مواد به منظور معرفی رفتار مدل در طول اعمال بارگذاری در حالت خطی و غیر خطی می باشد.

به همین منظور با استفاده از آیین نامه های معتبری نظیر UBC [11]، ATC [12] و FEMA [13] روابط و محدودیتهای لازم را برداشت کرده و بر روی مدل های ساخته شده در نرم افزارهای مورد استفاده بسته به توانایی و قابلیت های المانهای گنجانده شده اعمال می گردد. در روشهای غیرخطی خواص پلاستیک ماده مشابه مدل ساده ی معرفی شده دستور العمل بهسازی لرزه ای مطابق شکل ۲ مورد استفاده قرار می گیرد که در آن خواص پلاستیک ماده با معرفی پارامترهای a ، b ، c که برای اجزاء مختلف سازه ای تعریف مشخصی دارد تعیین می گردد [۱۴].

اما برای معرفی مفاصل غیر خطی در نرم افزار ETABS روش تحلیلی به نام PUSHOVER وجود دارد که در آن میتوان نقاط مشخصی که



شکل (۲). منحنی رفتار غیر خطی ماده

احتمال وقوع تشکیل مفصل را می دهیم معرفی کنیم که در پروژه ی حاضر به معرفی مفاصل پلاستیک خمشی در ابتدا و انتهای اعضاء تیرها و مفاصل پلاستیک نیروی محوری که همان مفصل ناشی از کمانش نیروی فشاری محوری می باشد در وسط ستونها و اعضاء مهاربند اعم از هم محور و برون محور و همچنین مفاصل ناشی از اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی برای ابتدا و انتهای ستونها تعریف شده است.

۴- معیارهای پذیرش و مقاومت:

برای معرفی معیارهای پذیرش و مقاومت در قسمت‌های مختلف سازه معیارهای مختلفی طبق آیین نامه‌های معتبر نظیر دستورالعمل بهسازی و لرزه ای ساختمانهای موجود FEMA356, FEMA-273, FEMA274, و از منابعی دیگر نظیر آئین نامه‌های ۲۸۰۰، مقررات ملی ساختمان، گزارش‌های ATC، گزارش‌های NEHRP، گزارش‌های SAC و ... که در غالب دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای جمع‌آوری شده‌اند بیان نمود. به لحاظ بررسی رفتار قاب‌های بادبندی قطری خارج از مرکز در قالب سیستم‌های مفصلی و صلب و همچنین مقایسه آن‌ها با دیگر سیستم‌های باربر جانبی نظیر CBFها و MRFها باید تمامی ملاک‌های پذیرش و مقاومت در قسمت‌های مختلف سازه‌ای نظیر تیرها و ستون‌های خمشی و چشمه‌های اتصال در روش‌های استاتیک خطی و غیرخطی و همچنین معیارهای سختی و مقاومت اجزاء قاب‌های فولادی مهاربندی شده اعم از هم محور و خارج از محور و به صورت دقیقتر در تیرهای پیوند مورد ارزیابی و مقایسه قرار داد. از این رو به عنوان مثال تنها روابط سختی و مقاومت تیر پیوند را که در دستورالعمل بهسازی لرزه ای آمده بیان کرده و برای اطلاعات بیشتر بهتر است به دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود مراجعه شود [۱۴ و ۱۵].

الف- سختی در روش استاتیکی و دینامیکی خطی در تیر پیوند

مدل رفتاری نیرو- تغییر مکان یک تیر پیوند باید هم شامل تغییر شکل برشی و هم تغییر شکل خمشی باشد سختی ارتجاعی تیر پیوند نیز باید از رابطه‌ی ۴ محاسبه گردد.

$$k_e = \frac{K_s K_b}{k_s + k_b} \quad (۲)$$

$$k_s = \frac{GA_w}{e} \quad (۳)$$

$$k_b = \frac{12 EI_b}{e} \quad (۴)$$

در انجام این آنالیز پس از معرفی مفاصل خمیری باید تحت ترکیبات بارگذاری مشخصی و همچنین جابجائی معرفی شده حداکثری در مرکز جرم طبقه آخر گام بندی مراحل آنالیز غیر خطی را تعیین کنیم..

ابتدا با معرفی ترکیب بار مرده و زنده تحت عنوان push 1 گام اول آنالیز انجام می شود، سپس با تعریف پوش دوم از انتهای انجام آنالیز گام اول ترکیب بار زلزله به آن اضافه می‌شود. جهت تعیین حداکثر تغییر مکان مرکز جرم بام ساختمان براساس آیین نامه ی FEMA از روابط زیر می‌توان استفاده نمود. [13]

$$\Delta M < 0.025 * H \quad T < 0.7 \quad (۱)$$

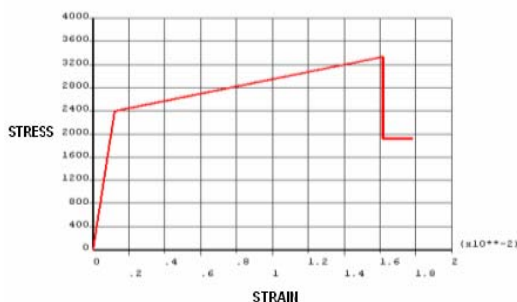
$$\Delta M < 0.02 * H \quad T > 0.7$$

که در آن :

H : ارتفاع سازه

T : پیوند سازه

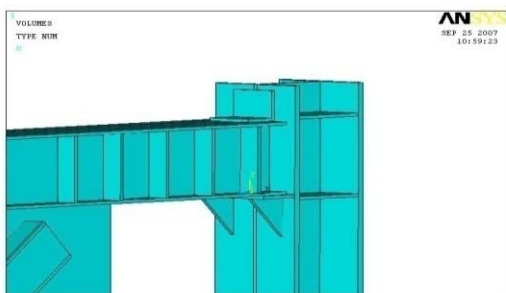
پارامترهای Q_{CE} , Q (در شکل ۲) به ترتیب نیروی تعمیم یافته و مقاومت تعمیم یافته مورد انتظار در عضو می باشد [۱۵]. در پروژه‌ی حاضر از رفتار مادی سخت شونده‌گی چند خطی مایز استفاده شده است. برای استفاده از این رفتار مادی ابتدا باید به دنبال معرفی یک رفتار خطی که با مشخص کردن مدول یانگ و ضریب پواسون تعیین می‌گردد، به معرفی پارامترهای غیرخطی ماده (a,b,c) پرداخته شود [۱۶ و ۱۷]. اثرات سخت شدگی کرنشی برابر ۳٪ شیب قسمت ارتجاعی یعنی سه درصد مقدار مدول الاستیسیته در مرحله‌ی ارتجاعی در نظر گرفته شد. که نمودار آن در شکل زیر آمده است.



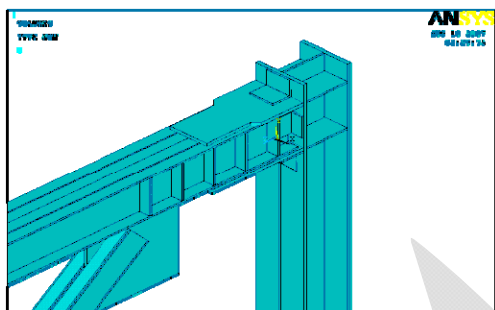
شکل (۳). منحنی ماده ی معرفی شده در نرم افزار

[۱۶] ANSYS

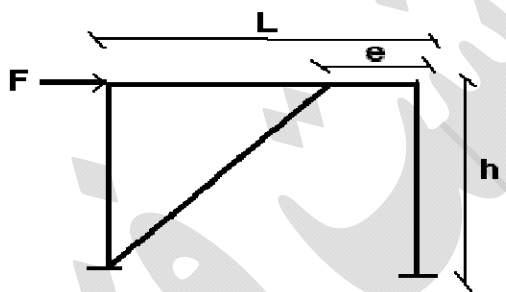




شکل (۴). مدل بادبند قطری با اتصال مفصلی

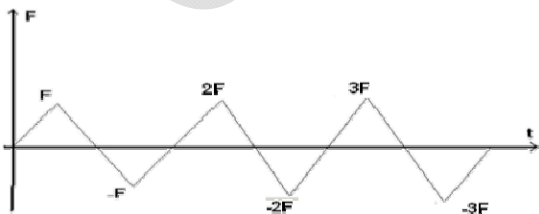


شکل (۵). مدل بادبند قطری با اتصال گیردار



شکل (۶). نحوه اعمال بار به قاب مهاربند قطری خارج از مرکز

پس از اعمال شرایط تکیه گاهی و اعمال بارگذاری افزایشده تدریجی مطابق آنچه که در شکل ۷ مشاهده می شود نوبت به تحلیل مدل و برداشت نتایج تحلیلی می رسد که در ادامه به آن پرداخته می شود.



شکل (۷). شیوه بارگذاری در طول زمان به قاب قطری خارج از مرکز

که در آن، A_w : $t_w(d_b - 2t_f)$ ، e : طول تیر پیوند، G : مدول برشی، K_e : سختی تیر پیوند، K_b : سختی خمشی، K_s : سختی برشی، d_b : ارتفاع مقطع تیر، t_f : ضخامت بال و t_w : ضخامت جان است.

ب-زاویه چرخش جاری شدن تیر پیوند:

زاویه چرخش تیر پیوند در حد جاری شدن از رابطه ۵ محاسبه می گردد:

$$\theta_y = \frac{Q_{CE}}{k_e \cdot e} \quad (5)$$

ج-مقاومت اجزاء تیر پیوند:

اگر $e \leq \frac{1.6 \cdot M_{ce}}{v_{ce}}$ باشد از معادله ی ۶ برای محاسبه ی مقاومت مورد انتظار تیر پیوند استفاده می شود.

$$Q_{CE} = V_{CE} = 0.6 F_y e A_w \quad (6)$$

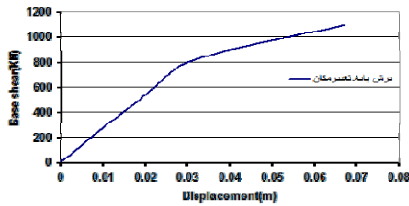
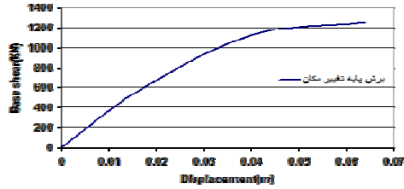
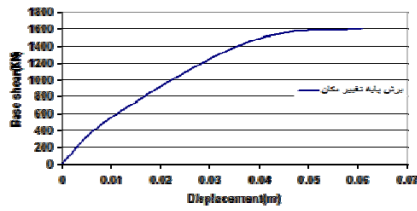
و اگر $e \geq \frac{2 \cdot 6 \cdot M_{ce}}{v_{ce}}$ از معادله ی ۷ برای محاسبه ی مقاومت مورد انتظار تیر پیوند استفاده می گردد.

$$Q_{CE} = V_{CE} = \frac{2 M_{CE}}{e} \quad (7)$$

و در حالات بینابین دو حالت فوق از درونیابی خطی استفاده می گردد. اگر حالت اول رخ دهد تیر پیوند را کوتاه و اگر حالت دوم باشد تیر پیوند را بلند می نامند که دارای رفتار خمشی است. تیر پیوند کوتاه دارای رفتار برشی و پیوندهایی که از نظر طول در بینابین دو ناحیه ی فوق قرار دارند تحت اندر کنش لنگر و برش قرار می گیرند. پیوند کوتاه سختتر از پیوند بلند است اما در عین حال شکل پذیری بالاتری در آن نیاز است. سختی قاب با افزایش طول تیر پیوند سریعاً کاهش می یابد. تحقیق حاضر سعی بر تعیین طول پیوند بهینه به لحاظ شکل پذیری قابل قبول است. برای مدل سازی قابهای قطری خارج از مرکز در قالب اتصال مفصلی و صلب با استفاده از نرم افزار ANSYS [۱۶] از مدل هایی که نمونه آنها در شکل (۴) برای اتصال مفصلی و شکل (۵) برای اتصال گیردار استفاده گردیده است و نیروی وارد بر آن مطابق شکل (۶) اعمال شد.

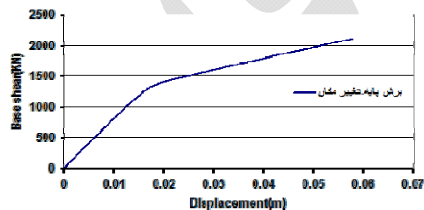
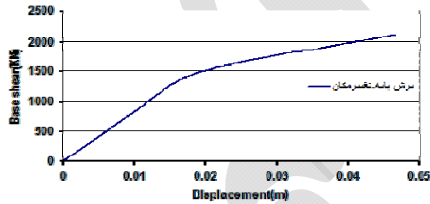
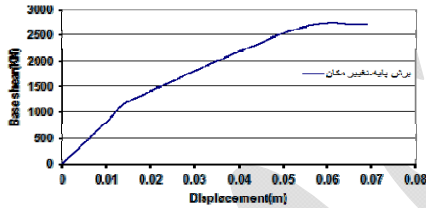
۵-تحلیل عددی قابهای فولادی قطری خارج از مرکز و مقایسه ی آنها با سیستم های هم مرکز و خمشی:
الف-منحنی برش پایه-تغییر مکان:

همان طور که اشاره شد از منحنی برش پایه _ تغییر مکان استفاده های گوناگونی نظیر بدست آوردن انرژی دریافتی سازه با محاسبه سطح زیر این نمودار و همچنین بدست آوردن میزان شکل پذیری سازه با تقسیم حداکثر جابه جایی متحمل شده توسط سازه بر حداکثر جابه جایی در حالت الاستیک سازه قابل محاسبه می باشد. نتایج بدست آمده از آنالیز در شکلهای ۸ الی ۱۳ بصورت منحنی های برش پایه - تغییر مکان بام در سازه های ۳، ۶ و ۱۰ طبقه برای دو حالت اتصال مفصلی و گیردار و با خروج از مرکزیت های $0.3L$ ، $0.2L$ ، $0.1L$ جهت بادبند قطری ارائه شده است.



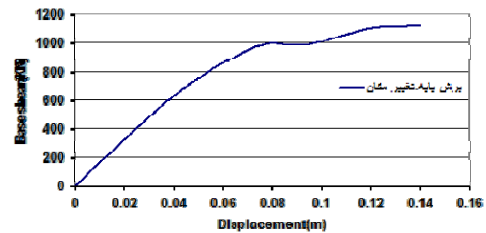
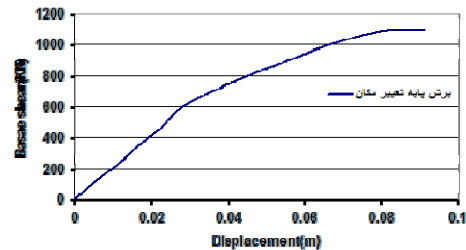
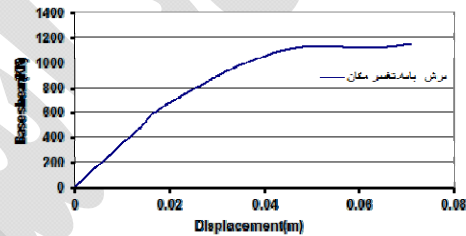
شکل (۹). نمودار برش پایه-تغییر مکان در بادبند قطری ۳

طبقه با اتصال گیردار در خروج از مرکزیت های $0.3L$ ، $0.2L$ ، $0.1L$ (به ترتیب از بالا)



شکل (۱۰). نمودار برش پایه-تغییر مکان در بادبند قطری ۶

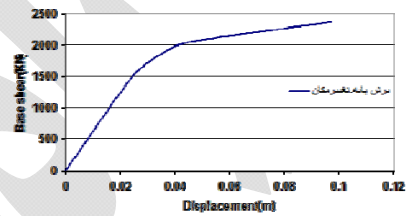
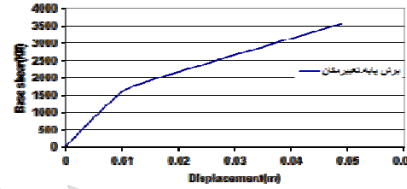
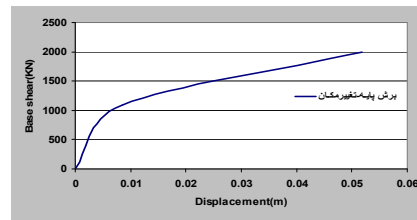
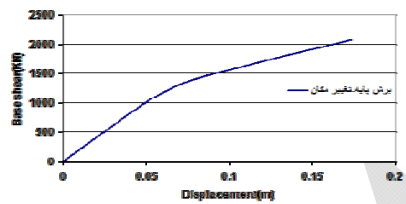
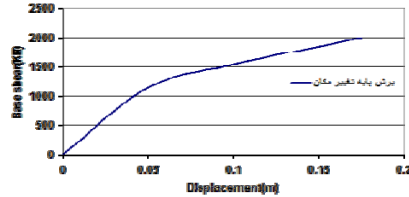
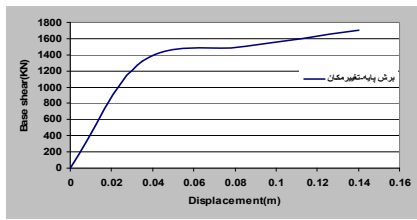
طبقه با اتصال مفصلی در خروج از مرکزیت های $0.3L$ ، $0.2L$ ، $0.1L$ (بترتیب از بالا)



شکل (۸). نمودار برش پایه-تغییر مکان در بادبند قطری ۳

طبقه با اتصال مفصلی در خروج از مرکزیت های $0.3L$ ، $0.2L$ ، $0.1L$ (بترتیب از بالا)

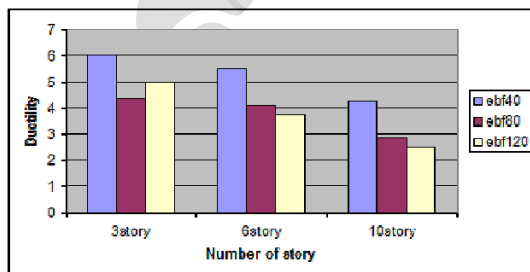




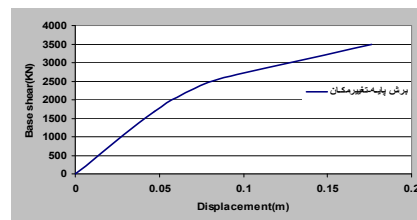
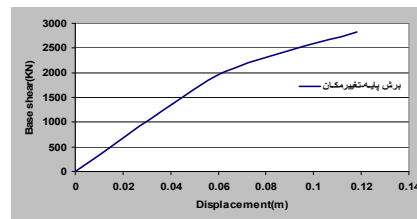
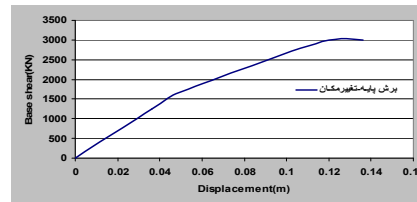
شکل (۱۳). نمودار برش پایه-تغییر مکان در بادبند قطری ۱۰ طبقه با اتصال گیردار در خروج از مرکزیت‌های $0/3L$ ، $0/2L$ ، $0/1L$ (بترتیب از بالا)

شکل (۱۱). نمودار برش پایه-تغییر مکان در بادبند قطری ۶ طبقه با اتصال گیردار در خروج از مرکزیت‌های $0/3L$ ، $0/2L$ ، $0/1L$ (بترتیب از بالا)

در این نمودارها می‌توان به چند نکته توجه نمود، اول کاهش شکل پذیری با افزایش خروج از مرکزیت می‌باشد که این کاهش را می‌توان چنین ارزیابی نمود که با افزایش خروج از مرکزیت عملکرد تیر پیوند از رفتار برشی به رفتار اندرکنش برش و خمش و یا خمشی می‌انجامد که از میزان شکل پذیری می‌کاهد و بیانگر این موضوع است که خروج از مرکزیت را باید در محدوده خاصی کنترل نمود.



شکل (۱۴). فاکتور شکل پذیری قاب مهاربند قطری خارج از مرکز در سیستم مفصلی با خروج از مرکزیت متفاوت



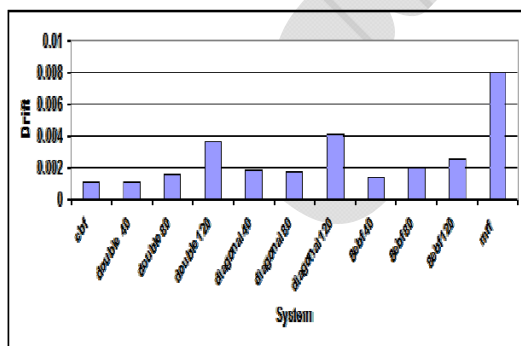
شکل (۱۲). نمودار برش پایه-تغییر مکان در بادبند قطری ۱۰ طبقه با اتصال مفصلی در خروج از مرکزیت‌های $0/3L$ ، $0/2L$ ، $0/1L$ (بترتیب از بالا)

نکته سوم یکسانی رفتار اتصال مفصلی و گیردار در هر سه سازه با ارتفاع متفاوت در خروج از مرکزیت کم که در آن رفتار تیر برشی است در میزان مشابه جابجایی و نیروی برشی پایه است که این مقادیر در خروج از مرکزیتهای بیشتر در این دو حالت اتصال مفصلی و گیردار متفاوت بدست آمده است.

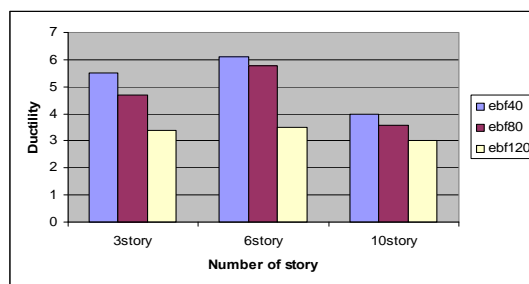
از نکات بارز دیگر افزایش سطح زیر منحنی برش پایه- تغییر مکان با افزایش ارتفاع سازه می باشد که صحت مطلب را می توان با تحقیقی که توسط کیم و چوی [1] صورت پذیرفته مقایسه نمود.

ب- بررسی میزان تغییر مکان های نسبی طبقات :

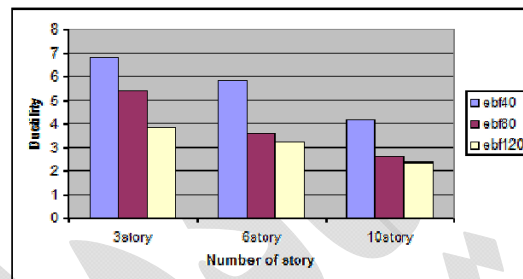
پس از بررسی میزان شکل پذیری سیستم های مختلف باربر جانبی در اینجا به بررسی نحوه ی عکس العمل این سیستم ها در کنترل تغییر مکان های جانبی طبقات به عنوان فاکتوری موثر بر رفتار لرزه ای سازه پرداخته می شود. نتایج در شکل ۱۸ الی ۲۰ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود سیستم های مهاربندی شده در سازه های کم ارتفاع دارای تغییر مکانهای جانبی کمتری در مقایسه با سیستم قاب خمشی می باشد در حالیکه در سازه های با ارتفاع بلند (۱۰ طبقه) این موضوع متفاوت بوده و سیستم قاب خمشی تغییر مکان جانبی کمتری را نشان می دهد. همچنین سیستم مهاربندی هشتی شکل مستقل از فاکتور ارتفاع ساختمان، در تمامی حالتها نسبت به قاب قطری خارج از محور دارای تغییر مکان نسبی جانبی کمتری است.



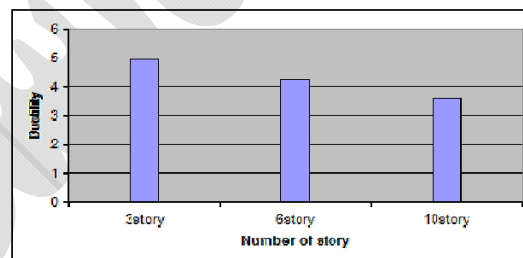
شکل (۱۸). تغییر مکان نسبی جانبی حداکثر سیستم های سازه ای مختلف در سازه ی ۳ طبقه



شکل (۱۵). فاکتور شکل پذیری قاب مهاربند قطری خارج از مرکز در سیستم گیردار با خروج از مرکزیت متفاوت



شکل (۱۶). فاکتور شکل پذیری قاب مهاربند هشتی شکل با خروج از مرکزیت متفاوت

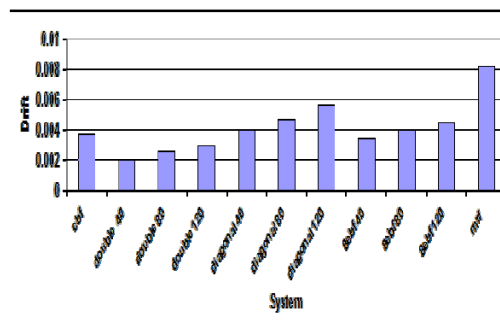


شکل (۱۷). فاکتور شکل پذیری سیستم باربر خمشی

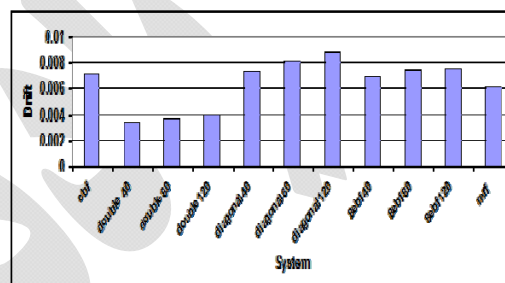
نکته ی دوم کاهش شکل پذیری با افزایش ارتفاع سازه می باشد که این موضوع نه تنها برای قاب مهاربندی قطری خارج از مرکز در دو حالت مفصلی و گیردار برقرار است (شکل ۱۴ و ۱۵) بلکه برای قاب مهاربند هشتی و سیستم قاب خمشی نیز (شکل ۱۶ و ۱۷) صادق است و این امر علت وجود ضوابط آیین نامه ای برای جلوگیری از تغییر مکانهای نسبی بالا در سازه های بلند مرتبه می باشد. نتایج حاصله با تحقیق روسی و لمباردو [۵] که بر اساس آیین نامه اروپایی [۱۸] طرح گردیده و در مورد فاکتور شکل پذیری سازه ها است نیز مطابقت دارد.

ت- توزیع تنشهای محوری در بادبند قطری خارج از مرکز:

شکل های این بخش توزیع تنش های محوری در بادبند قطری با خروج از مرکزیت ۰.۲L و ۰.۳L را نمایش می دهد که یکی مربوط به توزیع تنش در اتصال گیردار و دیگر مربوط به اتصال مفصلی می باشد. همان طور که مشاهده می گردد مقادیر این تنش ها به لحاظ کمی برابر یکدیگر می باشد، اما دامنه سطح این تنش حداکثر در بادبند با اتصال گیردار بسیار محدود بوده و این سطح در بادبند قطری با اتصال مفصلی همان طور که در شکل ۲۱ نمایان است وسیع تر بوده طوری که در قسمت پائین بادبند احتمال وقوع کمانش وجود دارد ولی در سیستم گیردار آن، این تنش ها کنترل شده تر عمل کرده و رفتار بهتری را به نمایش می گذارد. اما این تنش در مدل بادبند قطری با خروج از مرکزیت ۰.۳L در اتصال گیردار مقداری کمتر از حالت مفصلی بوده و علاوه بر کنترل تنش در طول بادبند به لحاظ کمی نیز این مقادیر کمتر است (حدود 100Kg/cm^2) و می توان چنین بیان نمود که عملکرد اتصال گیردار در این نوع سیستم با افزایش خروج از مرکزیت بیشتر نمایان می گردد و خود را به عنوان فاکتوری کنترل شونده نشان می دهد و علت را چنین می توان بیان داشت که با افزایش خروج از مرکزیت عملکرد تیر پیوند وارد حالت خمشی گردیده و کنترل این خمش توسط اتصال گیردار بیشتر نمایان می گردد.

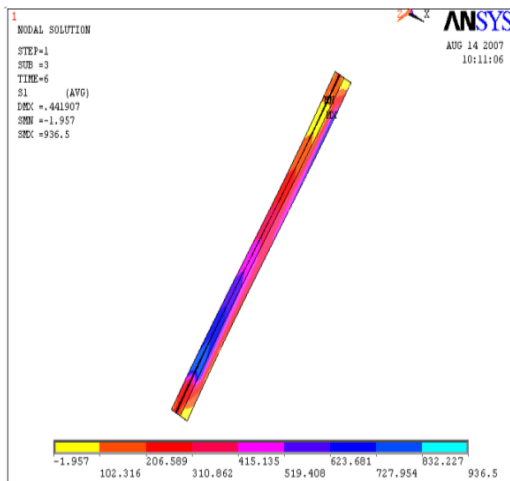


شکل (۱۹). تغییر مکان نسبی جانبی حداکثر سیستم های سازه ای مختلف در سازه ی ۶ طبقه

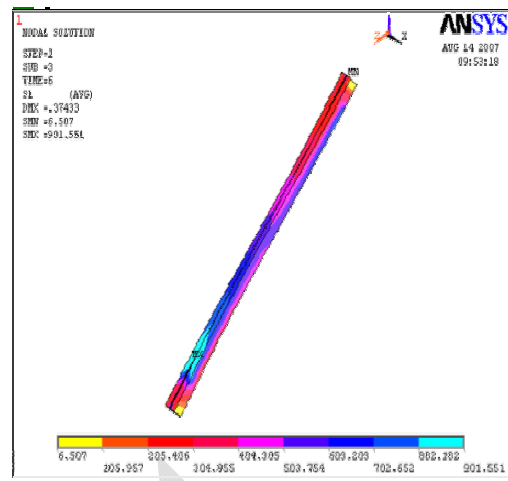


شکل (۲۰). تغییر مکان نسبی جانبی حداکثر سیستم های سازه ای مختلف در سازه ی ۱۰ طبقه

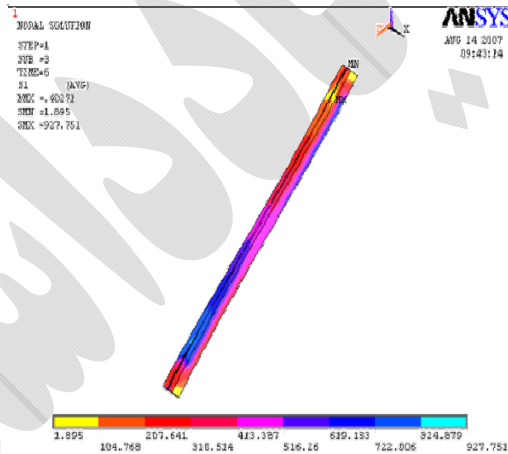
از طرفی افزایش خروج از مرکزیت به شکل چشم گیری باعث افزایش تغییر مکان های جانبی سازه می گردد. این افزایش در سیستم مهاربند قطری بسیار نمایان تر نسبت به سیستم های مورد مقایسه است. همچنین می توان نتیجه گرفت که سیستم های ترکیبی علاوه بر اینکه در جذب انرژی دریاقتی زلزله نسبت به دیگر سیستم ها بهتر عمل نموده اند، در کنترل تغییر مکان جانبی طبقات بسیار ایده آل عمل نموده و در ردیف سیستم های هم مرکز ضربدری و حتی بهتر از آنها عمل می نمایند. همان طور که در شکل ۲۰ ملاحظه می گردد کنترل تغییر مکان جانبی در سازه های ۱۰ طبقه به عنوان یک پارامتر تاثیر گذار در طراحی سازه مطرح می شود. بلعکس با افزایش ارتفاع سازه، سیستم های ترکیبی با این نوع بادبند بسیار خوب عمل کرده و سختی مناسبی از خود نشان می دهند طوری که کنترل این تغییر مکان ها در مقایسه با سیستم های هم مرکز با شکل بادبند ضربدری که خود یک سیستم سخت محسوب می گردد بهینه تر رفتار می نمایند.



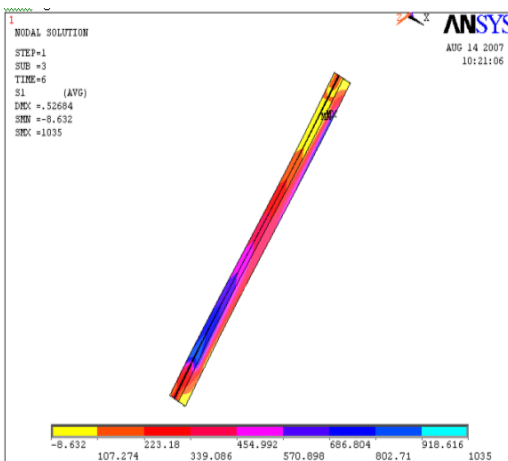
شکل (۲۴). توزیع تنش محوری در بادبند قطری با خروج از مرکزیت $L/3$ در اتصال تکیه گاه گیردار



شکل (۲۱). توزیع تنش محوری در بادبند قطری با خروج از مرکزیت $L/2$ در اتصال تکیه گاه مفصلی



شکل (۲۲). توزیع تنش محوری در بادبند قطری با خروج از مرکزیت $L/2$ در اتصال تکیه گاه گیردار



شکل (۲۳). توزیع تنش محوری در بادبند قطری با خروج از مرکزیت $L/3$ در اتصال تکیه گاه مفصلی

ث- رفتار هیستریزیس بادبند قطری: یکی از ملاک‌های مقایسه‌ی رفتار لرزه‌ای و محاسبه‌ی میزان سطح دریافت انرژی و بطور کلی مقایسه‌ی شکل‌پذیری دو مدل متفاوت، بررسی منحنی هیستریزیس آن می‌باشد. برای بدست آوردن این منحنی از منحنی رفتار ماده براساس آیین نامه FEMA-273 استفاده و منحنی رفتاری آن در شکل ۳ معرفی شده است. حال برای مقایسه مدل‌های مختلف از مدل بادبند قطری با خروج از مرکزیت‌های ۸۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر و با بارگذاری افزایشی تدریجی که مطابق شکل ۷ اعمال بار رفت و برگشتی می‌شود، استفاده شد که نمودار هیستریزیس شکل‌های ۲۵ الی ۲۸ این نتایج را نمایش می‌دهند. همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌گردد، منحنی‌های هیستریزیس مربوط به قاب قطری با خروج از مرکزیت $L/2$ (۸۰ سانتی‌متر) تعداد چرخه‌های بیشتری نسبت به خروج از مرکزیت ۱۲۰ سانتی‌متر متحمل شده که خود نشان دهنده استهلاک انرژی بالا در خروج از مرکزیت ۸۰ سانتی‌متر است. بدین ترتیب مدلی که خروج از مرکزیت آن کم و دارای رفتار برشی است ($e < 1.7Mp/Vp$) است، توانسته تعداد چرخه‌های بیشتری نسبت به حالت مشابه که میزان خروج از مرکزیت آن بیشتر است را متحمل شود.



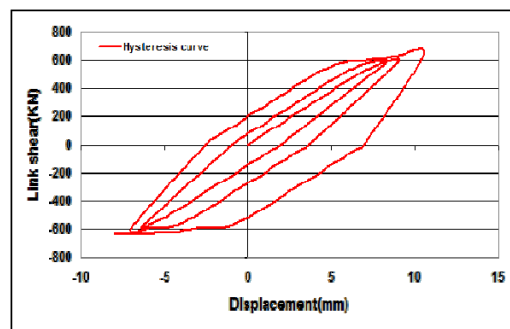
از طرفی سطح داخل این منحنی که همان میزان انرژی تلف شده ی سیستم می باشد در حالت اتصال گیردار بیشتر از حالت خروج از مرکزیت مشابه در اتصال مفصلی می باشد که تصدیق کننده ی نتایج بیان شده در قسمتهای قبلی تحقیق است. صحت مطالب فوق را می توان با مقایسه ای نسبت به تحقیقات صورت گرفته اوکازاکی و انگلهارت [3] تایید نمود.

اما نکته قابل توجه یکسانی و تشابه بیشتر نمودارها در خروج از مرکزیت کمتر (0.2L) در دو نوع اتصال گیردار و مفصلی است. که این موضوع در خروج از مرکزیت بیشتر متفاوت نشان داده شده است.

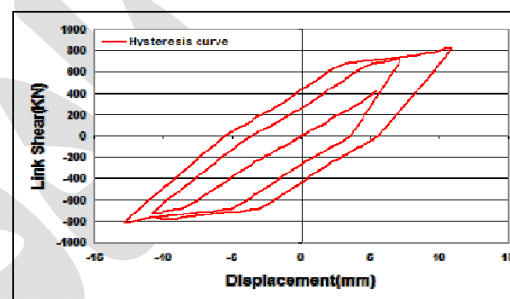
نکته ی دیگر نحوه اعمال بار بر مدل می باشد که در تحقیق اوکازاکی چنین نتیجه گرفته شده که شیوه اعمال بار نیز بر پاسخ لرزه ای مدل بسیار تاثیرگذار می باشد، پس مقایسه منحنی های هیستریزس تنها بواسطه ی شکل کیفی و مقایسه ای نسبت به مدل های مختلف قابل استدلال بوده و به لحاظ کمی هر مدل نسبت به بارگذاری خاص خود دارای پاسخی منحصر بفرد می باشد.

نتیجه گیری:

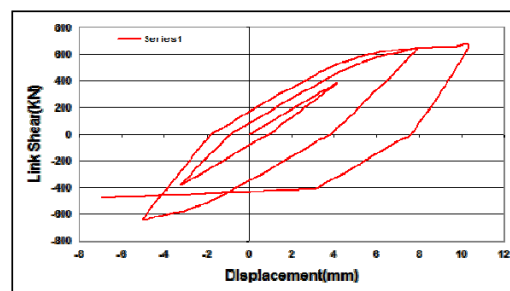
از جمع بندی حاصل از نتایج بدست آمده می توان چنین نتیجه گرفت رفتار اتصال مفصلی در میزان جابجائی نهائی و نیروی برشی مقاوم پایه مستقل از ارتفاع سازه در خروج از مرکزتهای کم که در آن رفتار تیر برشی است نزدیک به حالت اتصال گیردار می باشد. همچنین تشابه رفتار این دو نوع اتصال در تعداد چرخه ها و شکل منحنی هیستریزس در خروج از مرکزتهای کم در نتایج مشخص گردید که موارد فوق نزدیکی رفتار اتصال مفصلی در بادبند قطری به رفتار اتصال گیردار را بیان می سازد. لیکن با افزایش خروج از مرکزیت تفاوت چشمگیری در نتایج بدست آمده از این دو نوع اتصال مشاهده می گردد. بطوریکه افزایش خروج از مرکزیت باعث کاهش فاکتور شکل پذیری به دلیل تغییر رفتار تیر پیوند از حالت برشی به خمشی، می گردد. همچنین افزایش خروج از مرکزیت باعث افزایش نرمی سازه و به دنبال آن افزایش تغییر مکانهای جانبی زیاد بخصوص در سازه های مرتفع



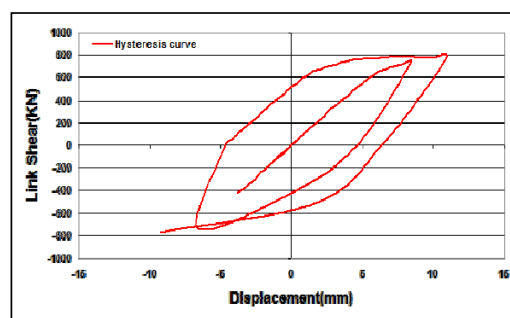
شکل (۲۵). نمودار هیستریزس بادبند قطری با خروج از مرکزیت ۸۰ سانتی متر و اتصال مفصلی



شکل (۲۶). نمودار هیستریزس بادبند قطری با خروج از مرکزیت ۸۰ سانتی متر و اتصال گیردار



شکل (۲۷). نمودار هیستریزس بادبند قطری با خروج از مرکزیت ۱۲۰ سانتی متر و اتصال مفصلی



شکل (۲۸). نمودار هیستریزس بادبند قطری با خروج از مرکزیت ۱۲۰ سانتی متر و اتصال گیردار

4. Bosco, M., Rossi, P.P., Seismic behavior of eccentrically braced frames. *Engineering Structures*, (2009) 31 (3), p.664-674.
5. Rossi, P.P., Lombardo, A., Influence of the link overstrength factor on the seismic behavior of eccentrically braced frames, *Journal of Constructional Steel Research*, 2007, 63 (11), p.1529-1545.
6. Mansour, Nabil, Development of the Design of Eccentrically Braced Frames with Replaceable Shear Links, dissertation, Feb 2011
7. Mastrandrea, L, Piluso, V, Plastic design of eccentrically braced frames, I: Moment-shear interaction, *Journal of Constructional Steel Research*, 65 (5), p.1007-1014, May 2009
8. Mastrandrea, L, Piluso, V, Plastic design of eccentrically braced frames, II: Failure mode control *Journal of Constructional Steel Research*, 65 (5), 1015-1028, May 2009
9. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین نامه ی طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ۱۳۸۴.
10. American Institute of steel construction, (AISC). Seismic provisions for structural steel buildings. Standard ANSI/AISC, 341-05. Chicago (IL, USA): AISC; 2005.
11. Uniform Building Code, 1985 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1985.
12. ATC, Tentative provisions for the development of the seismic regulations for buildings .ATC-3-06, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1978: 45-53.
13. FEMA. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.; 2000.
۱۴. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود نشریه ۳۶۰، ۱۳۸۵.
۱۵. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تفسیر دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (ویرایش اول)، ۱۳۸۸.
16. ANSYS HELP SYSTEM, theory reference , ver 9.0,(2005)
17. Valliappan S., Boonlauhr, P. and Lee, I.K., "Nonlinear Analysis for Anisotropic materials", *International Journal for numerical Method in Engineering*, 1976, Vol. 10, pp597-606.
18. Eurocode 8. Design provisions for earthquake resistance of structures. European Committee for Standardisation 1993. ENV1998-1-1/2/3.

می شود که استفاده از اتصال صلب علاوه بر کنترل این تغییر مکانها باعث بهبود عملکرد سازه ای و افزایش استهلاک انرژی نسبت به حالت اتصال مفصلی است.

بطور کلی وجود اتصال صلب در قاب مهاربند قطری خارج از مرکز علاوه بر کنترل تنشهای محوری مهاربند و جلوگیری از کمانش آن، در کنترل تغییر شکل ها و کمانش های موضعی نیز تاثیر بسزایی دارد، که با افزایش خروج از مرکزیت، این اعمال کنترل محسوس تر می شود. بطوریکه در بادبند قطری با خروج از مرکزیت $0.3L$ (شکل ۲۳ و ۲۴) در قسمت تحتانی بادبند، تنش محوری در اتصال مفصلی در حدود ۹۱۸-۸۰۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است ولی در حالت اتصال صلب این مقادیر به ۷۲۷-۶۲۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می رسد. از دیگر شاخصه های اتصال گیردار نسبت به حالت مفصلی می توان به قابلیت استهلاک انرژی و ایجاد منحنی هیستریزس با سطح داخلی بیشتر در برابر اتصال مفصلی بخصوص در خروج از مرکزیت های زیاد اشاره کرد. طوری که این مقدار در اتصال گیردار $1/5$ برابر بیشتر از حالت اتصال مفصلی در خروج از مرکزیت یکسان می باشد.

لذا پیشنهاد نویسندگان با توجه به سختی اجرای اتصال صلب با جوش نفوذی کامل مرسوم در ایران استفاده از اتصال مفصلی با طرح خروج از مرکزیت کم در بادبند قطری است که در آن رفتار تیر پیوند برشی باشد تا نتایج قابل قبولی در مقایسه با اتصال گیردار از خود بروز دهد. لیکن در صورت ضرورت به اجرای خروج از مرکزیت زیاد در بادبند قطری، مناسب بودن اتصال گیردار نسبت به اتصال مفصلی مشهود است.

مراجع

1. Kim, J. and Choi H., Response modification factors of chevron-braced frames, *Engineering Structures* 27 (2005) 285-300.
2. Balendra T., Huang X., Over-strength and ductility factors for steel frames designed according to BS 5950, *Journal of structural Engineering*, ASCE 2003; 129(8): 1019-1035 .
3. Okazaki T, Engelhardt D. Cyclic loading of EBF links constructed of ASTM A992 Steel, *Journal of constructional steel Research*, 63 (2007), 751-765.

