

## بررسی رفتار لرزه ای مهاربند زانویی در مقایسه با مهاربند ضربداری و شورون در سازه های فولادی

محمد حقایق، دانشجوی دکترای سازه، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

جعفر عسگری مارنانی، عضو هیأت علمی دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، استادیار گروه عمران

محمد صادق روحانی منش، عضو هیأت علمی دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، استادیار گروه عمران

M\_Haghighayegh@yahoo.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۳/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۲

### چکیده

در این مقاله با معرفی نوعی نوین از مهاربندها موسوم به مهاربند زانویی به بررسی رفتار لرزه ای قاب های فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی در مقایسه با قاب های مهاربندی ضربداری و شورون پرداخته شده است. بدین منظور سازه های فولادی مهاربندی شده، با تعداد طبقات سه، پنج، هشت و با سه دهانه با طول ثابت هر دهانه برابر چهار متر، با استفاده از روش بارافزون مورد تحلیل قرار داده شده و به دلیل اینکه تغییر مکان جانبی سازه پارامتری موثر بر خرابی اعضای سازه ای و غیر سازه ای می باشد، مقدار تغییر مکان جانبی قاب های فولادی مهاربندی شده با انواع مختلف مهاربند، و همچنین با توجه به اهمیت شکل پذیری سازه ها، ضریب رفتار اینگونه قاب های فولادی مهاربندی شده با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان دهنده آن است که زانویی شکل پذیری و سختی را توأمان تامین می نماید.

**کلیدواژگان:** قاب فولادی، مهاربند زانویی، تحلیل بارافزون، تغییر مکان جانبی، ضریب رفتار سازه ها

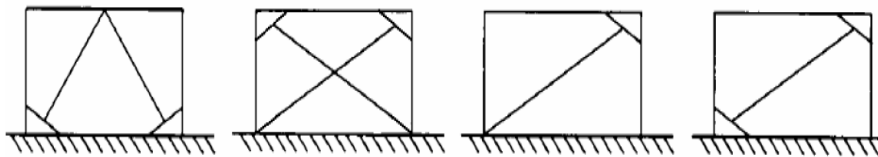
### ۱- مقدمه

کافی برای کنترل تغییر مکان جانبی بوده تا از وقوع هر گونه خسارت سازه ای و غیر سازه ای در طی زمین لرزه های متوسط ولی مکرر جلوگیری به عمل آید و دوم اینکه سازه باید مقاومت و شکل پذیری کافی داشته باشد تا تحت زلزله های شدید از فروریزش آن جلوگیری

رفتار و عکس العمل سازه ها در حین اعمال زلزله دقیقاً مشخص نیست. سازه هایی که برای مناطق با لرزه خیزی بالا طراحی می شوند باید دو معیار داشته باشند. اول اینکه باید دارای سختی

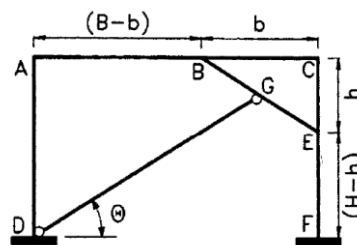
شکل پذیر برای جلوگیری از فروریزش سازه تحت زمین لرزه های شدید با جذب انرژی در طی تسلیم خمشی عمل می کند. مشکل عمده سیستم پیشنهادی اوچوا، لاغری عضو قطری بود که در فشار سریعاً کماتش می نمود و برای طرح لرزه ای مناسب نبود، در سال ۱۹۹۰ Balendra و همکارانش سیستم قاب مهاربند زانویی اصلاح شده را پیشنهاد کردند [۷،۶]. در این سیستم پیشنهادی از یک عضو قطری جهت جلوگیری از کماتش عضو زانویی استفاده شده است. در سیستم مهاربند زانویی، شکل پذیری و به تبع آن استهلاک انرژی توسط المان زانویی تامین شده است. از طرف دیگر به علت اینکه در این نوع سیستم، ناحیه غیر ارتجاعی محدود به یک المان کوتاه می شود، می توان رفتار لرزه ای کنترل شده تری را فراهم کرد [۸]. تعبیه یک مهاربند قطری با حداقل یک المان زانویی متصل در انتهای آن بیشتر سختی الاستیک جانبی را تامین می کند. در این سیستم، مهاربند قطری برای فشار طراحی نشده و کماتش می کند در نتیجه رفتار چرخه ای این سازه با پدیده فشار در حلقه های هسیتریزیس روبرو است که عملکرد جذب انرژی مناسبی نخواهد داشت.

از میان انواع مختلف مهاربند های زانویی که طرح کلی آنها در شکل (۱) نشان داده شده است، با استفاده از نتایج تحلیلهای غیر خطی ابعاد بهینه مدل سازه ای انتخاب می گردد.



شکل ۱ - انواع قابهای مهاربند زانویی

زانویی و باد بندهای قطری است. تحقیقات Mofid نشان داده است چنانچه المان زانویی و مهاربند میل، موازی با قطر قاب مطابق شکل (۲) باشد، سازه می تواند ماکزیمم مقاومت لرزه ای را داشته باشد [۹].



شکل ۲- نمایش حالت بهینه قرارگیری مهاربند زانویی در قاب

در مقابل همه بارهای جانبی از قبیل بار باد و زلزله طراحی نموده اند. با استفاده از میزان میرایی مورد نیاز طرح، سطح مقطع مهاربند زانویی تخمین زده شده و بر طبق نتایج تحلیل تاریخچه زمانی سازه پنج

شود، در این حالت خسارت سازه ای محدود و غیر سازه ای، مجاز است.

سیستمهای مهاربندی هم محور (Centrically Braced Frames) که از رایج ترین سیستمهای مهاربندی می باشد، علیرغم داشتن سختی بسیار بالا، مشکلاتی در رابطه با معماری و شکل پذیری دارند. در سال ۱۹۷۸ سیستم قابهای مهاربندی واگرا (Eccentrically Braced Frames) توسط Popov و Roeder پیشنهاد شد [۴]. این سیستم علیرغم شکل پذیری بسیار بالا، سختی مناسب و همچنین تسهیلاتی که به لحاظ ایجاد بازشو در فرم و نمای معماری ایجاد می کند و اینکه در اکثر آیین نامه ها پذیرفته شده است، دارای معایب و نقطه ضعفهایی نیز می باشد. از جمله اینکه استهلاک انرژی در قاب های برون محور در اثر تسلیم قسمتی از اعضای اصلی سازه صورت گرفته و این امر مشکلاتی را به لحاظ امکان تعویض و بهره برداری مجدد از سازه ها ایجاد می کند. برای رفع مشکلات موجود در سیستم EBF در سال ۱۹۸۶ سیستم مهاربند زانویی کماتش پذیر (DKB) توسط Aristizabal Ochoa مطرح گردید [۵]. اوچوا پیشنهاد کرد عضو قطری طوری طراحی شود که فقط کشش را تحمل کند و سختی و شکل پذیری هر دو توسط عضو زانویی تأمین گردد. در این سیستم المان زانویی به عنوان یک فیوز

در سال ۱۹۹۹، Mofid و همکارانش به بررسی رفتار الاستیک سیستم مهاربند زانویی با آرایش و زوایای مختلف پرداخته و بر روی رفتار غیرخطی مهاربندهای زانویی تحقیقات گسترده ای را انجام دادند. یک سیستم قاب با مهاربند زانویی متشکل از تیر، ستونها، باد بندهای

در سال ۲۰۰۳، Seo و Kim یک مدل تحلیلی را در پروسه تعیین سطح عملکرد لرزه ای در سیستم مهاربند زانویی گسترش داده [۱۰]، بطوریکه اتصالات و اعضای خمشی از قبیل تیرها و ستون ها را فقط برای بارهای ثقیل، و مهاربند زانویی را برای حفظ پایداری

بارگذاری ثقلی قابهای مورد بررسی و نیز تعیین نیروی جانبی به ترتیب براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۱] و آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم) صورت گرفته است [۲]. طراحی قابها نیز مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران صورت گرفته است [۳].

### ۳-مدلسازی و آنالیز سازه

به منظور بررسی رفتار غیر خطی و برآورد ضریب رفتار قابهای فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی، ضربه‌ری و شورون(هفت معکوس)، از مدل تحلیلی با تعداد طبقات سه، پنج و هشت و با سه دهانه با طول ثابت هر دهانه برابر ۴ متر استفاده شده است. با توجه به اینکه تعویض المان زانویی پس از زلزله های شدید امکان پذیر می باشد، در روند طراحی اعضا سعی بر آن است که مفاصل پلاستیک، ابتدا در عضو زانویی تشکیل شود.

جهت مدلسازی، تحلیل و طراحی تمام مدل های سازه ای از نرم افزار SAP ۲۰۰۰ استفاده گردیده است. مقاطع استفاده شده برای ستون ها از نوع IPB و برای تیر ها از نوع IPE و برای مهاربند از نوع مقاطع دویل ناودونی می باشد. انواع مقاطع استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است.

طبقه، میزان حداکثر جابجایی مدل سازه ای مطابق با جابجایی هدف را بوسیله مهاربند زانویی کمانش ناپذیر پیشنهاد شده، کنترل نمودند.

در این مقاله رفتار قاب های فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی با قاب های مهاربند ضربه‌ری و همچنین مهاربند شورون (هفت معکوس) مقایسه شده است. به دلیل اینکه تغییر مکان جانبی سازه پارامتری موثر بر خرابی اعضا سازه ای و غیر سازه ای می باشد، مقدار تغییر مکان جانبی قاب های فولادی مهاربندی شده با انواع مختلف مهاربند؛ و همچنین با توجه به اهمیت شکل پذیری سازه ها، ضریب رفتار اینگونه قاب های فولادی مهاربندی شده با استفاده از روش تحلیل بار افزون، با یکدیگر مقایسه شده است

تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون) روش موثری برای ارزیابی عملکرد سازه ها در هنگام زلزله می باشد. در این روش، سازه طرح شده تحت الگوی بارگذاری جانبی مشخصی قرار می گیرد و بارهای جانبی تا رسیدن سازه به تغییر شکل نهایی به طور تدریجی افزایش می یابد. با استفاده از این روش، منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان جانبی بام سازه رسم می گردد که به آن منحنی ظرفیت سازه می گویند، در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده از منحنی ها، ارزیابی هایی به منظور کنترل رفتار سازه در نقطه عملکرد تعیین شده برای آن سازه انجام می پذیرد.

### ۲-بارگذاری سازه

#### جدول ۱- فهرست مقاطع استفاده شده در این پژوهش

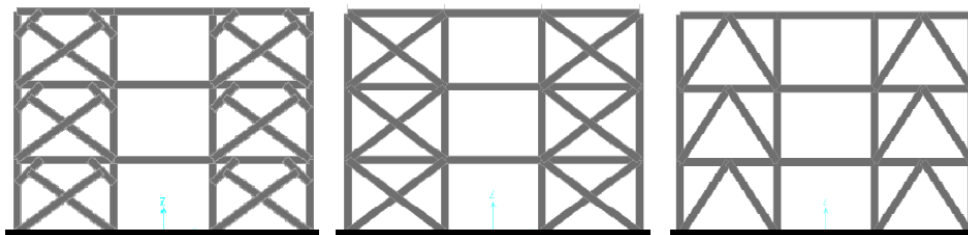
مقاطع UNP	مقاطع IPE	مقاطع IPB
2 UNP 60	IPE 100	IPB 100
2 UNP 70	IPE 120	IPB 120
2 UNP 90	IPE 140	IPB 140
2 UNP 100	IPE 160	IPB 160
2 UNP 120	IPE 180	IPB 180
	IPE 200	IPB 200
	IPE 220	IPB 220
	IPE 240	IPB 240
	IPE 270	

### ۴-تحلیل استاتیکی غیر خطی

قاب سه طبقه:

گرفته شده، مطابق شکل (۳) می باشد. این مدل های تحلیلی بر اساس نوع مهاربند استفاده شده در قاب فولادی انتخاب شده اند.

جهت قاب سه طبقه با سه دهانه، سه مدل تحلیلی در نظر



Knee Brace Frame

X Brace Frame

Chevron Brace Frame

شکل ۳- مدل های تحلیلی قاب سه طبقه با سه دهانه ۴ متری

نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب فولادی با مهاربند زانویی در مقایسه با مهاربند ضربدری و شورون در جدول ۲ آورده شده.

جدول ۲- پارامترهای تحلیل استاتیکی غیر خطی جهت قاب سه طبقه با سه دهانه

Item	Knee Brace	X Brace	Chevron Brace
C0	1.2668	1.2808	1.208
C1	1.2008	1.3332	1.3521
C2	1.1	1.1	1.1
C3	1	1	1
Sa	0.8753	0.8753	0.8753
Te	0.3394	0.1925	0.2183
Ti	0.3394	0.1845	0.2183
Ki	1622313.1	5029264	3680038
Ke	1622313	4620881	3680038
Alpha	0.787	0.2145	0.0898
R $\mu$	5.4507	1.2635	4.6198
Vy	10855.56	47221.37	12723.235
Weight	67599.75	68163.47	67152.85
Cm	1	1	1

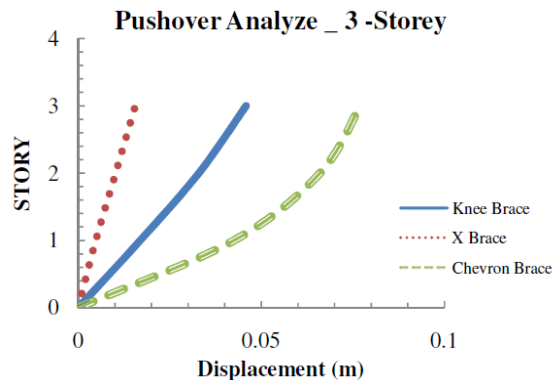
ضریب رفتار و قاب مهاربند زانویی دارای بیشترین ضریب رفتار می باشد.

مقایسه میزان شکل پذیری و ضریب رفتار سه مدل تحلیلی برای قاب سه طبقه با سه دهانه در جدول ۳ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، قاب مهاربند ضربدری دارای کمترین میزان

جدول ۳- ضریب رفتار و شکل پذیری قاب سه طبقه با سه دهانه

	Knee Brace	X Brace	Chevron Brace
Vy	10855.56	47221.37	12723.235
Vs	10855.56	18225.96	12182.19
Ve	59170.401	59664.201	58778.801
$\Omega$	1	2.5908852	1.0444128
R $\mu$	5.4507	1.2635	4.6198
Ru	5.4507	3.2735834	4.8249782
R	7.63098	4.5830168	6.7549695

مطابق با شکل (۴)، میزان تغییر مکان جانبی قاب فولادی مهاربندی شده با مهاربند شورون (هفت معکوس) از همه بیشتر و قاب مهاربندی ضربه‌داری از همه کمتر می‌باشد. در این حالت مهاربند زانویی ترکیبی مناسب از شکل پذیری و سختی را فراهم می‌آورد.

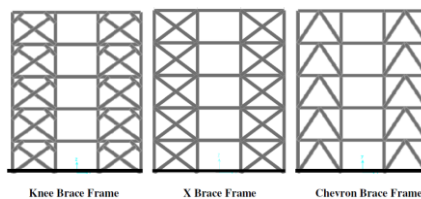


شکل ۴- تغییر مکان جانبی قاب های فولادی مهاربندی سه طبقه با سه دهانه

### قاب پنج طبقه :

مهاربند استفاده شده در قاب فولادی انتخاب شده است. که شامل سه نوع مهاربند زانویی، ضربه‌داری و شورون می‌باشد.

جهت قاب پنج طبقه با سه دهانه، سه مدل تحلیلی در نظر گرفته شده مطابق شکل (۵) می‌باشد. این مدل های تحلیلی بر اساس نوع



شکل ۵- مدل های تحلیلی قاب پنج طبقه با سه دهانه

ضربه‌داری و شورون (هفت معکوس) در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی در مقایسه با مهاربند

جدول ۴- پارامترهای تحلیل استاتیکی غیر خطی جهت قاب پنج طبقه با سه دهانه

Item	Knee Brace	X Brace	Chevron Brace
C0	1.3152	1.3664	1.2911
C1	1.1132	1.1945	1.1653
C2	1.1	1.1	1.1
C3	1	1	1
Sa	1.1017	0.8753	0.8753
Te	0.4095	0.3444	0.3677
Ti	0.4095	0.3444	0.3677
Ki	1578991.5	2017254	1797952.3
Ke	1578991.5	2017254	1797952.3
Alpha	0.707	0.2903	0.0621
Rμ	6.1755	2.6934	4.1188
Vy	20302.085	37145.81	23977.689
Weight	113803.84	114301.8	112829.55
Cm	1	1	1

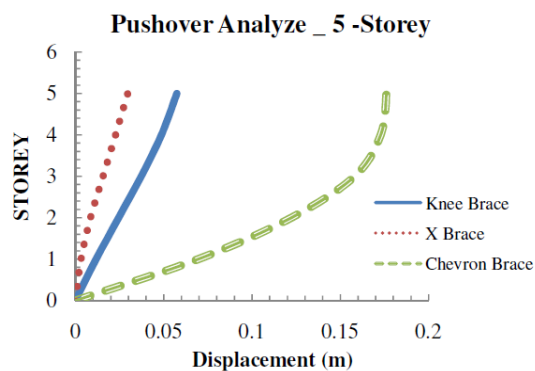
مقایسه میزان شکل پذیری و ضریب رفتار سه مدل تحلیلی برای قاب پنج طبقه با سه دهانه در جدول ۵ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، قاب مهاربند ضربدری دارای کمترین

جدول ۵- ضریب رفتار و شکل پذیری قاب پنج طبقه با سه دهانه

	Knee Brace	X Brace	Chevron Brace
$V_y$	20302.085	37145.81	23977.689
$V_s$	20302.09	26434.82	23049.18
$V_e$	125375.53	100048.52	98759.305
$\Omega$	0.9999998	1.4051849	1.0402838
$R_\mu$	6.1755	2.6934	4.1188
$R_u$	6.1754985	3.784725	4.284721
$R$	8.6456979	5.298615	5.9986094

زانویی ضمن تامین سختی لازم، دارای شکل پذیری خوبی می باشد.

در شکل (۶) نیز میزان تغییر مکان جانبی قاب فولادی مهاربندی شده با مهاربند شورون (هفت معکوس) از همه بیشتر و قاب مهاربند ضربدری از همه کمتر می باشد. در این حالت مهاربند

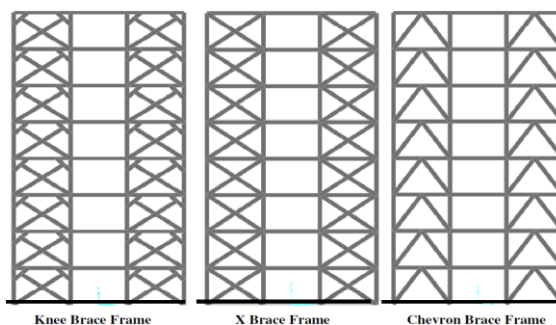


شکل ۶- تغییر مکان جانبی قاب های فولادی مهاربندی پنج طبقه با سه دهانه

### قاب هشت طبقه

مهاربند استفاده شده در قاب فولادی انتخاب شده است.

جهت قاب هشت طبقه با سه دهانه، سه تیپ در نظر گرفته شده مطابق شکل (۷) می باشد. این مدل های تحلیلی بر اساس نوع



شکل ۷- مدل های تحلیلی قاب هشت طبقه با سه دهانه

نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی در مقایسه با مهاربند ضربه‌پذیر و شورون (هفت معکوس) در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- پارامترهای تحلیل استاتیکی غیر خطی جهت قاب هشت طبقه با سه دهانه

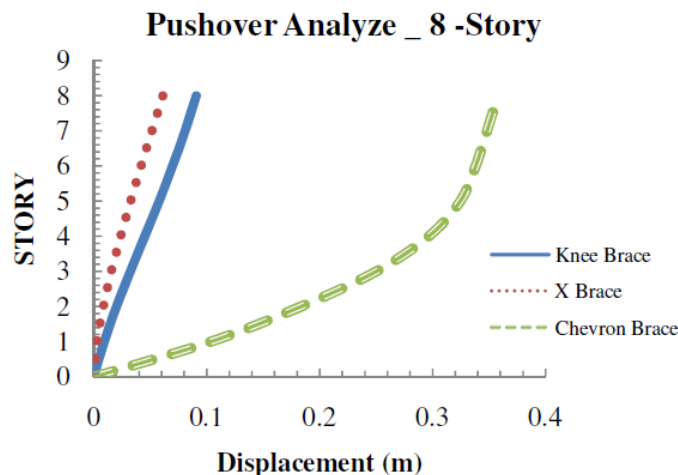
Item	Knee Brace	X Brace	Chevron Brace
C0	1.3731	0.8852	0.9894
C1	1	1	1
C2	1.1	1.1	1.1
C3	1	1.2777	1
Sa	0.7083	0.7163	0.6996
Te	0.7321	0.6755	0.6998
Ti	0.7321	0.6755	0.6998
Ki	712177.3	1470577	1337526.2
Ke	712177.3	1470577	1337526.2
Alpha	0.8046	-0.063	0.0599
Rμ	7.4011	3.0689	5.1798
Vy	17462.409	43091.28	24455.716
Weight	182457.8	184614.2	181070.93
Cm	1	1	1

مقایسه میزان شکل پذیری و ضریب رفتار سه مدل تحلیلی برای قاب هشت طبقه با سه دهانه در جدول ۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده میشود، قاب مهاربند ضربه‌پذیر دارای کمترین میزان ضریب رفتار و قاب مهاربند زانویی دارای بیشترین ضریب رفتار است.

جدول ۷- ضریب رفتار و شکل پذیری قاب هشت طبقه با سه دهانه

	Knee Brace	X Brace	Chevron Brace
Vy	17462.409	43091.28	24455.716
Vs	17462.41	38367.75	22891.06
Ve	129241.04	132242.83	126675.72
Ω	0.9999999	1.123112	1.0683523
Rμ	7.4011	3.0689	5.1798
Ru	7.4010996	3.4467184	5.5338511
R	10.361539	4.8254057	7.7473916

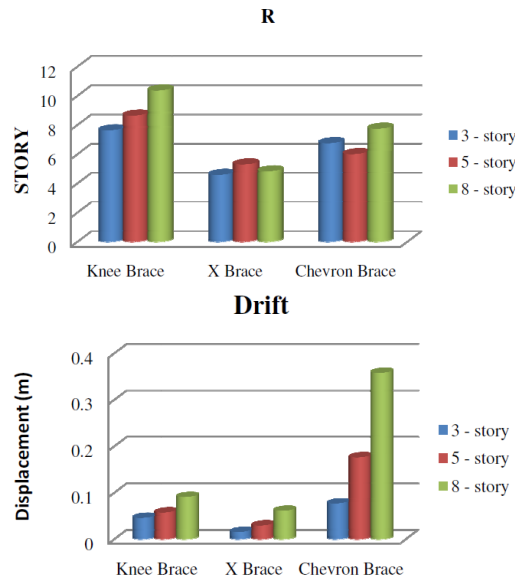
همانگونه که در شکل (۸) نشان داده شده، میزان تغییر مکان جانبی قاب فولادی مهاربندی شده با مهاربند شورون (هفت معکوس) از همه بیشتر و قاب مهاربند ضربه‌پذیر از همه کمتر می باشد.



شکل ۸- تغییر مکان جانبی قاب های فولادی مهاربندی هشت طبقه با سه دهانه

میزان حداکثر تغییر مکان جانبی بام در انواع مهاربند مقایسه شده است.

در شکل (۹) ضرایب رفتار قاب مهاربند زانویی در طبقات مختلف با مهاربند ضربدری و شورون مقایسه شده. همچنین در شکل (۱۰)



شکل ۹- ضرایب رفتار قاب و حداکثر تغییر مکان ها نسبی مهاربند زانویی، مهاربند ضربدری و شورون در قاب های سه، پنج و هشت طبقه

## ۵- نتیجه گیری

در محاسبه ضریب رفتار نه مدل تحلیلی قاب های فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی، ضربدری و شورون مشخص گردید که؛ علاوه بر اینکه سیستم سازه ای موثر بر ضریب رفتار سازه می باشد؛ هندسه سازه، ابعاد سازه، تعداد طبقات و همچنین نحوه طراحی اعضا بر این پارامتر موثر می باشند. حال آنکه در آیین نامه فعلی زلزله ایران (۲۸۰۰) تنها علت تفاوت در ضریب رفتار سازه ها، سیستم سازه ای آن ها بیان شده است.

همچنین بررسی ها نشان داد که، قاب فولادی با مهاربند زانویی به نسبت مهاربند ضربدری و شورون میزان سختی لازم و شکل پذیری را توامان تامین می نماید. مهاربند زانویی یک سیستم جدید استهلاک انرژی در قابهای فولادی است که ضمن تامین شکل پذیری لازم دارای سختی جانبی بسیار خوبی می باشد. در طی یک زلزله شدید، عضو زانویی همانند یک فیوز سازه ای عمل کرده و زودتر از اعضای دیگر به حد تسلیم می رسد به طوریکه، اعضای اصلی سازه ( تیرها و ستون ها ) دچار آسیب و خسارت های شدید نمی شوند و با تعویض عضو زانویی بعد از زلزله، سازه مجدداً قابل استفاده می باشد.

## ۶- منابع

- [۱] - مبحث ششم؛ بارهای وارد بر ساختمان، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۵.
- [۲] - کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله " آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله " استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، ۱۳۸۴
- [۳] - وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان " مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمانها فولادی " دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۷.
- [4]-Popov,E. P, Eccentrically Braced Steel Frames for Earthquake j. of structural Division,Vol.104 NO.St3.1978.
- [5]-Aristizibal Ochoa,J.D. Disposable knee bracing improvement in seismic design of steel frames j. of struc. eng.vol. 112(7).1986
- [6]-Balendra ,T.Sam,M.T.Liaw,C.Y, Diagonal brace with ductile knee anchor for a seismic steel frame ,Earthquake Eng and Structure Dynamics,Vol19.1990



[7]-Balendra, T, Chih-Young. Liaw , Earthquake resistant steel frame with energy dissipating knee elements .Department of civil Engineering :National University of Singapore.1990

[8]-Balendra,T.Sam,M.T.,Liaw,C.Y.,Lee,s.L , Preliminary studies into the behavior of structure knee braced frames subject to seismic loading ,Eng. struct. vol.13,pp.67-74.1994

[9]-Massood Mofid, Peyman Khosravi, Non-linear analysis of disposable knee bracing, Elsevier Science Ltd,1999

[10]- Jinkoo Kim,Youngill Seo,Seismic design of steel structures with buckling-restrained knee braces, Journal of Constructional Steel Research 59 (2003) 1477-1497



## Assessment of seismic behavior knee brace compared with X and Chevron bracing in steel frame

M. hagayeg

Department of Civil Engineering, Young Researchers and Elite Club, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

J. Asgari marnani

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

M. rohani manesh

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### ABSTRACT

In this paper, with the introduction of a new Knee Brace Frame investigate the seismic behavior of steel frames braced with knee brace compared with X and Chevron brace frame are discussed. For this purpose, the brace steel structures, with the number of floors three, five and eight-story frame with four meters three-span by using pushover analysis, and because the lateral displacement structures parameter is the failure of structural and non-structural members, The amount of lateral displacement steel frames braced with different types of braces, and also given the importance of ductility coefficient such behavior braced steel frames are compared with each other. Studies have shown that, the Knee Brace Frame, ductility and stiffness conjoined provides.