



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



بررسی رفتار لرزه ای مهاربندهای X چند طبقه ای و مقایسه آن با مهاربندهای شورون هفتی و هشتی با استفاده از آنالیز دینامیکی افزایشی (IDA)

شیرین دشتبانی^۱، فرزانه حامدی^۲، نادر فنائی^۳

چکیده

در سال‌های اخیر نوعی از مهاربند همگرا موسوم به X چند طبقه‌ای (Multistory-X) به عنوان جایگزینی برای مهاربندهای شورون جهت تامین مقاومت جانبی سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله به مقایسه پارامترهای لرزه‌ای این نوع مهاربند با مهاربندهای شورون هفتی و هشتی پرداخته شده است. بدین منظور سازه‌های سه بعدی ۲ و ۴ طبقه، با ۴ دهانه در هر امتداد و ۳ نوع جانمایی متفاوت برای مهاربندها در پلان، با هر یک از سیستم‌های مهاربند شورون هفتی، هشتی و X چند طبقه‌ای در نظر گرفته شده است که هر یک از این سازه‌ها به صورت سه بعدی توسط نرم افزار OpenSees مدل شده و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. با انجام آنالیزهای استاتیکی غیر خطی و دینامیکی افزایشی (IDA) با استفاده از نرم افزار OpenSees بر روی هر یک از این سازه‌ها، مقادیر ضریب شکل پذیری و ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار با استفاده از روش یوانگ محاسبه و بررسی شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که سازه‌های مهاربند X چند طبقه‌ای نسبت به مهاربند های شورون دارای ضریب شکل پذیری کمتر، ضریب اضافه مقاومتی با اختلاف بسیار کم و در نهایت ضریب رفتار کمتری دارند.

واژه‌های کلیدی: مهاربند شورون هفتی و هشتی، مهاربند X چند طبقه‌ای (Multistory-X)، ضریب رفتار، ضریب شکل پذیری، آنالیز دینامیکی افزایشی (IDA)

^۱ کارشناس ارشد سازه دانشکده عمران دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین ، Shirin_cs88@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده عمران دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین

^۳ استادیار دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



Study the seismic behavior of Multistory-X bracing system and compare with chevron braced system, using incremental dynamic analysis (IDA)

Shirin Dashtbani[†], Farzaneh Hamed[‡], Nader Fanaie[§]

Abstract

In recent decades a new kind of concentric braced system, Known as Multistory –X, has been used as supersede to supply lateral strength in steel structure. In this study, a comparison between seismic behavior of Multistory –X and chevron braced system has been done. In this regard, the value of seismic parameters including response modification factor, ductility factor and over strength factor, has been evaluated by performing incremental dynamic analysis (IDA) and nonlinear static analysis by Opensees on the 3D building models with various stories and different bracing configuration including chevron (V and inverted V) and Multistory –X bracing and also with three different bracing layout in the plan. The results show that the ductility factor for Multistory –X are less than chevron, but also the over strength factor has inconsiderable difference. Consequently Multistory –X systems have a response modification factor which is less than chevron braced system.

Keywords:

Chevron bracing, Multistory-X bracing, Incremental Dynamic Analysis, Response modification factor, Ductility factor, overstrength factor

Graduate Student of Structural Engineering, Faculty of civil engineering, Imam Khomeini International University[†]

Assistant Professors, Faculty of civil engineering, Imam Khomeini International University[‡]

Assistant Professors, Faculty of civil engineering, K.N.T. University of Technology[§]



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



۱- مقدمه

با بررسی کمی ساختمان‌های فولادی ساخته شده در کشور، ملاحظه می‌گردد که تمایل به طراحی، محاسبه و ساخت مناسب ساختمان‌های فولادی با سیستم مهاربندی همگرا به علت تامین سختی جانبی و مقاومت مورد نیاز و نیز کاهش نسبی طبقات، نسبت به سایر ساختمان‌ها بیشتر می‌باشد. از جمله قاب‌های مهاربندی که عمدتاً در سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از مهاربندهای شورون هفتی و هشتی. در اینگونه مهاربندها محل اتصال دو عضو آن در وسط تیر می‌باشد. با توجه به اینکه ظرفیت کمانشی کمتر از مقاومت کششی تسلیم بوده و همچنین با افزایش سیکل‌های رفت و برگشتی و خرابی ناشی از آن این اختلاف نیز بیشتر می‌شود، در نقطه اتصال این دو مهاربند و تیر، یک نیروی نامتعادل^۷ و لنگر خمشی ایجاد می‌شود. طبق آیین نامه AISC 341، تیر دهانه مهاربندی باید برای لنگر خمشی و نیروی فوق نیز طراحی گردد. از طرفی طراحی این مهاربندها به گونه‌ای است که تغییرشکل غیرخطی بادبندها صرفاً در برخی از طبقات سازه رخ می‌دهد؛ به همین دلیل پیشنهاد می‌شود برای رفع مشکلات مذکور از مهاربندهای X چند طبقه‌ای استفاده شود. عملکرد این مهاربندها به گونه‌ای است که حتی در حالت پس‌کمانشی و خرابی بادبندها نیز می‌توانند برش طبقه را به طبقه مجاور انتقال دهند و نیز به علت پیکر خاصی که دارند، افت مقاومت و سختی ناشی از نیروی نامتوازن بادبندها در اینگونه مهاربندها رخ نخواهد داد.

جهت بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها باید ضریب رفتار آنها، توانایی سیستم سازه‌ای در جذب و استهلاک انرژی ناشی از زلزله و ایجاد تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی بدون فروریزش کلی سازه، تعیین گردد که روش‌های مختلفی برای محاسبه این ضریب وجود دارد؛ از آن میان می‌توان به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی^۸ اشاره کرد که به عنوان روشی مقبول در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در کشور ایران نیز معرفی شده است ولی به علت اهمیت بررسی دقیق رفتار سازه، لازم است تا بار زلزله به صورت دینامیکی (و نه استاتیکی) در تحلیل عملکرد ساختمان لحاظ گردد. از این رو در این مقاله از روش تحلیل دینامیکی افزایشی^۹ به عنوان روشی جدید و معتبر، در بررسی عملکرد سازه‌های مهاربندی شده استفاده شده است.

⁷ Unbalanced force

⁸ NonLinear Static Analysis

⁹ Incremental Dynamic Analysis (IDA)



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



۲- آنالیز IDA (تحلیل غیرخطی دینامیکی افزایشی)

این روش تحلیل اولین بار در سال ۲۰۰۰ توسط پروفیسور آلین کرنل در دانشگاه استنفورد مطرح گردید و در سال ۲۰۰۲ طی پروژه دکترای وامواتسیکوس برای یک ساختمان ۲۰ طبقه به راهنمایی پروفیسور کرنل مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام IDA در ابتدا پارامتر شدت لرزه ای (IM) از یک مقدار بسیار کوچک جهت بروز رفتار الاستیک در مدل سازه‌ای شروع می‌شود و رکورد مربوطه تا سطح مشخصی از شدت لرزه‌ای برای دستیابی به حد خرابی مورد نظر با یک الگوریتم مناسب (جستجو و تکمیل) مقیاس می‌گردد و هر بار این ضریب مقیاس به رکورد زلزله اعمال گردیده و سازه تحت اثر آن رکورد، آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی می‌گردد. در پایان هر یک از مراحل آنالیز، معیار شدت خرابی (DM) متناظر با سطحی از شدت لرزه‌ای که در آن آنالیز صورت گرفته است ثبت می‌گردد و در نهایت برای هر رکورد، یک منحنی پاسخ در برابر شدت ترسیم می‌شود.

رفتار سازه، تحت اثر یک رکورد زلزله، قابل تعمیم برای همه رکوردها نمی‌باشد، زیرا نتیجه به دست آمده حالت کلی نداشته و نمی‌توان آن را رفتار کلی سازه تحت همه شرایط در زمان‌های مختلف و زلزله‌های مختلف دانست. بنابراین این کار برای همه رکوردهای مورد نظر صورت گرفته و منحنی‌های تک رکورده حاصله، همگی در یک دستگاه مختصات شدت لرزه‌ای - شدت خسارت ترسیم می‌گردد که از آن به دسته منحنی (خوشه منحنی) IDA، یاد می‌گردد.

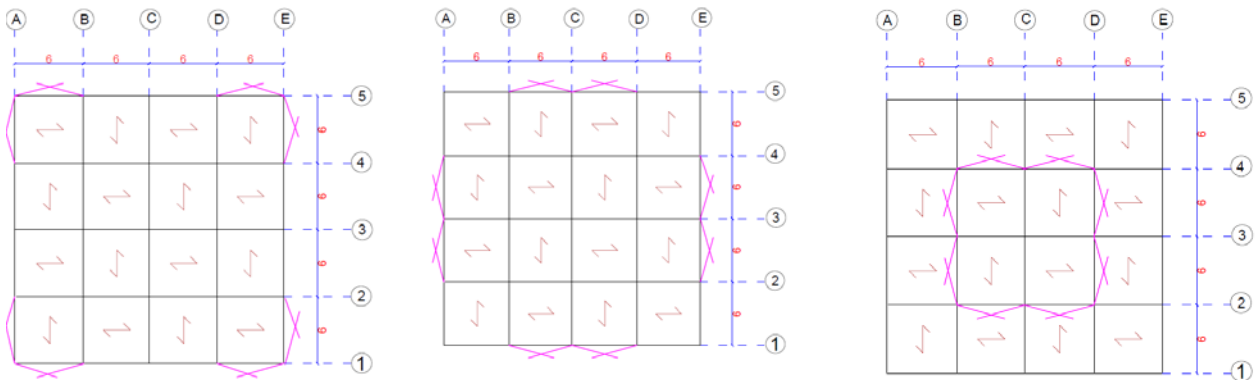
۳- معرفی مدل‌های مورد بررسی

برای بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، ساختمان‌های ۲ و ۴ طبقه، با سیستم مهاربندی شورون هفتی، هشتی و X چند طبقه‌ای، تحت سه نوع جانمایی متفاوت برای مهاربندها در پلان سازه، به طور جداگانه مطابق با آیین نامه AISC360-2010 به روش حالت حدی LRFD طراحی شده‌اند.

ساختمان‌های مورد بررسی در هر راستا دارای چهار دهانه به طول ۶ متر می‌باشند. برای در نظر گرفتن تاثیر جانمایی مهاربندها در عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای، ۳ نوع جانمایی متفاوت مطابق شکل ۱ برای مهاربندها در سطح پلان در نظر گرفته شده است. سازه‌ها در پلان و ارتفاع کاملاً منظم می‌باشند. در طراحی تیرها و ستون‌ها از فولاد ST۳۷ با حداقل تنش تسلیم $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ استفاده شده است. مقاطع مورد استفاده برای تیرها IPE، برای ستون‌ها BOX و برای مهاربندها UNP۲ می‌باشد.



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
 ۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
 هتل المپیک - تهران

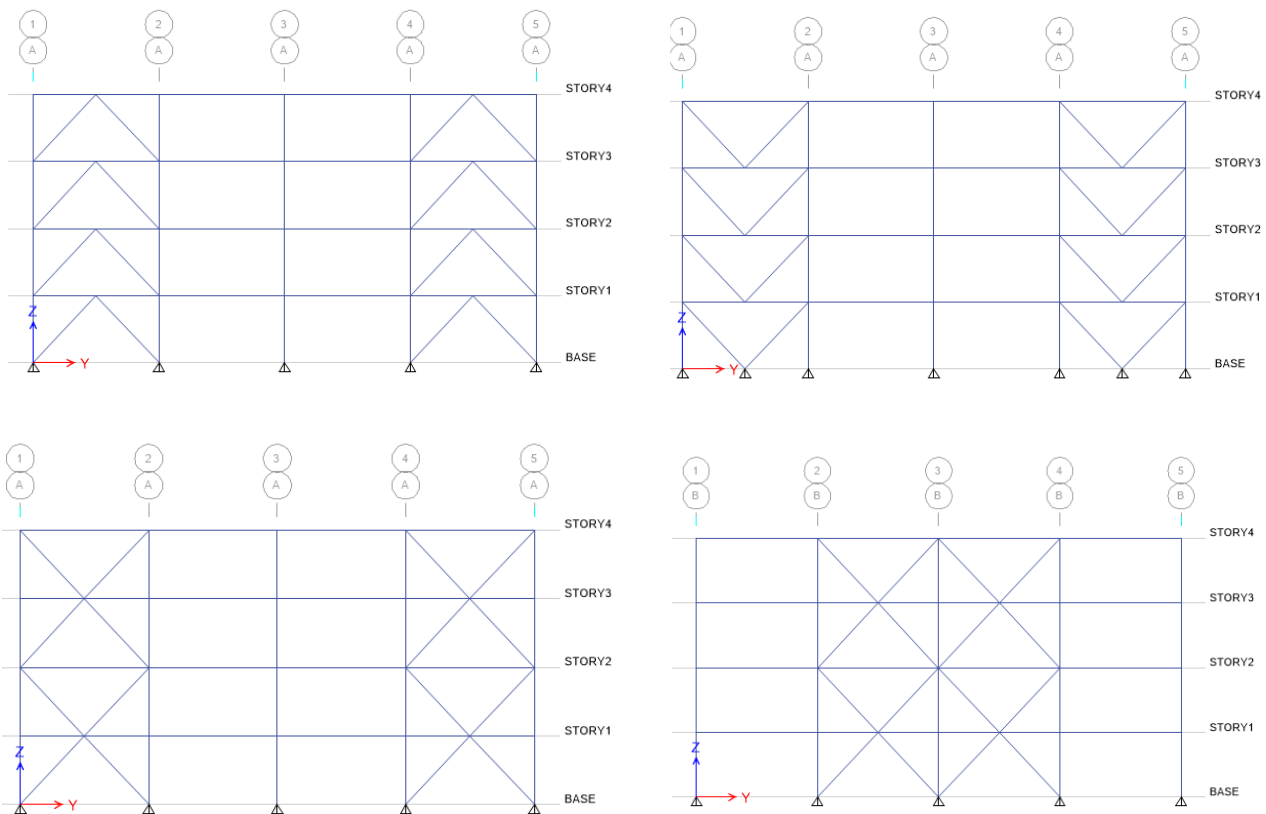


آرایش نوع اول

آرایش نوع دوم

آرایش نوع سوم

شکل (a): جانمایی مهاربندها در پلان



شکل (b): قاب‌های مهاربندی در سازه های سه بعدی

شکل ۱: سازه‌های مدل‌سازی شده

همچنین لازم به ذکر است که کلیه اتصالات تیر به ستون و مهاربند به محل اتصال تیر و ستون، مطابق عرف قاب‌های مهاربندی شده مفصلی می‌باشد. سقف در نظر گرفته شده از نوع سقف کامپوزیت با بار مرده 600 kg/m^2 برای طبقات و بار مرده



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



550 kg/m^2 برای بام در نظر گرفته شده است که وزن پارتیشن بندی نیز در آن لحاظ شده است. همچنین با توجه به مسکونی بودن

کاربری ساختمان، بار زنده طبقات برابر 200 kg/m^2 و برای بام برابر 150 kg/m^2 در نظر گرفته شده است.

بارگذاری زلزله جهت طراحی مدل‌های مورد بررسی در این مطالعه براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران (آیین نامه طراحی ساختمان‌ها

در برابر زلزله، ویرایش چهارم)، محاسبه شده است. محل قرارگیری سازه‌های مورد بررسی تهران فرض شده است که با توجه به

قرارگیری تهران در پهنه خطر نسبی خیلی زیاد، شتاب مبنای طرح $A = 0.35g$ می‌باشد و با توجه به کاربری مسکونی ساختمان،

ضریب اهمیت ساختمان $I=1$ در نظر گرفته شده است. ضریب رفتار اولیه جهت طراحی سازه‌ها با توجه به مقادیر متفاوت پیشنهادی

منابع مختلف، برای سازه‌های مهاربندی همگرا ویژه، معادل $R=0.5$ فرض شده است.

۴- مدل سازی در Opensees

این نرم افزار جهت انجام تحلیل‌های غیر خطی در سال ۱۹۹۰ در مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام (Peer) در

دانشگاه برکلی کالیفرنیا توسط تیمی تحقیقاتی به سرپرستی مازونی، مک کنا و فنویس در زمینه مهندسی زلزله و دینامیک خاک برپایه

روش اجزای محدود تهیه شده است.

سازه‌های طراحی شده تحت نرم افزار ایتبز، جهت تحلیل‌های غیر خطی در این نرم افزار مدلسازی شده اند. از آنجا که در

نمونه‌های در نظر گرفته شده، جانمایی مهاربندها در پلان به عنوان یک پارامتر متغیر فرض شده، تمامی سازه‌ها به صورت سه بعدی

در این نرم افزار مدلسازی شده اند. مقاطع استفاده شده برای تمامی المان‌ها از فولاد $Steel02$ و تیر ستون کنترل نیرویی

(forceBeamColumn) و رشته‌ای (fiber) می‌باشد. این رشته‌ها با توجه به نوع مصالح تعریف شده (الاستوپلاستیک با در نظر

گرفتن سخت شدگی)، قابلیت ایجاد پلاستیسیته گسترده را فراهم می‌کنند. برای ایجاد خروج از مرکزیت و تامین شرایط بروز رفتار

غیرخطی برای ستون‌ها از یک گره اضافی در وسط آن‌ها و برای مهاربندها، سه گره اضافی در هر المان مهاربندی در نظر گرفته شده

است. همانطور که در جداول ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود توزیع مناسب جرم در سازه‌ها موجب مشاهده پریود مد اول و دوم و سختی

یکسان سازه‌های دارای مهاربندهای مختلف در هر دو نرم افزار شده است. شایان ذکر است که برای مدلسازی میرایی موجود در سازه،

میرایی رایلی نیز در نظر گرفته شده است.



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
 ۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
 هتل المپیک - تهران



جدول ۱: مقایسه زمان تناوب مد اول و دوم سازه‌های مهاربندی شورون هشتی طراحی شده به صورت سه بعدی در ایتبز و مدلسازی شده در اپنسیز

شورون هشتی		Etabs		OpenSees	
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
آرایش نوع اول	۲	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۳۰
	۴	۰.۴۸	۰.۴۸	۰.۴۷	۰.۴۷
آرایش نوع دوم	۲	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۲
	۴	۰.۵۱	۰.۵۱	۰.۵۰	۰.۵۰
آرایش نوع سوم	۲	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹
	۴	۰.۴۵	۰.۴۵	۰.۴۵	۰.۴۵

جدول ۲: مقایسه زمان تناوب مد اول و دوم سازه‌های مهاربندی شورون هفتی طراحی شده به صورت سه بعدی در ایتبز و مدلسازی شده در اپنسیز

شورون هفتی		Etabs		OpenSees	
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
آرایش نوع اول	۲	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۶	۰.۳۶
	۴	۰.۵۸	۰.۵۸	۰.۵۷	۰.۵۷
آرایش نوع دوم	۲	۰.۳۵	۰.۳۵	۰.۳۴	۰.۳۴
	۴	۰.۵۲	۰.۵۲	۰.۵۳	۰.۵۳
آرایش نوع سوم	۲	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۳۰
	۴	۰.۴۹	۰.۴۹	۰.۴۸	۰.۴۸

جدول ۳: مقایسه زمان تناوب مد اول و دوم سازه‌های مهاربندی X چند طبقه‌ای طراحی شده به صورت سه بعدی در ایتبز و مدلسازی شده در اپنسیز

Multistory-X		etabs		OpenSees	
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
آرایش نوع اول	۲	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹
	۴	۰.۴۸	۰.۴۸	۰.۴۸	۰.۴۸
آرایش نوع دوم	۲	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۸
	۴	۰.۴۸	۰.۴۸	۰.۴۸	۰.۴۸
آرایش نوع سوم	۲	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۸
	۴	۰.۴۴	۰.۴۴	۰.۴۴	۰.۴۴



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



۵- شتابنگاشت‌های انتخاب شده

جهت تحلیل دینامیکی افزایشی هر یک از سازه‌ها، جمعاً ۱۰ رکورد زلزله از بین زلزله‌های معروف جهان که تاکنون بوقوع پیوسته‌اند و شامل یک رکورد زلزله معروف ایران (طبس) نیز می‌باشد، انتخاب شده‌اند. مشخصات رکوردهای زلزله مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: مشخصات رکوردهای استفاده شده در تحلیل دینامیکی افزایشی

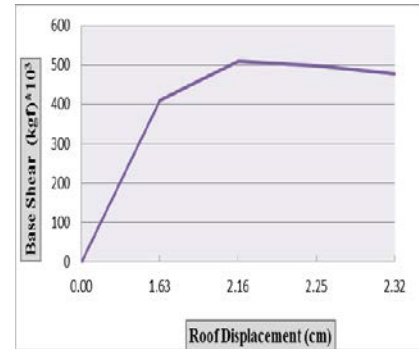
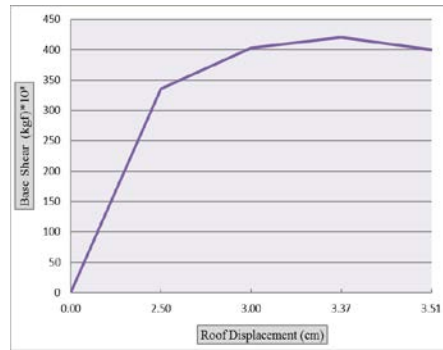
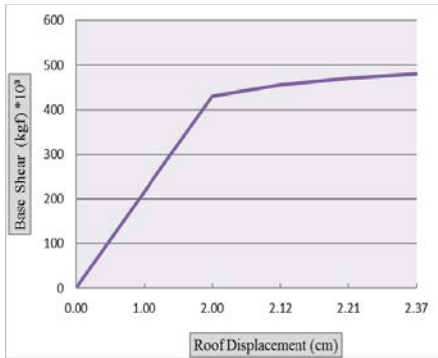
ردیف	رکورد	ایستگاه ثبت	تاریخ وقوع	PGA(g)
۱	Cape Mendocino	1806, Rio Dell Overpass FF	25/04/1992	۰.۵۴۹
۲	coyote Lake	Gilory Array 3	06/08/1979	۰.۴۳۴
۳	Landers	CoolWater	28/06/1992	۰.۴۱۷
۴	MorganHill	Anderson Dam	24/04/1984	۰.۴۲۳
۵	N.Palm Spring	N.palm Springs	08/07/1986	۰.۶۹۴
۶	Northridge	Santa Monica	17/01/1994	۰.۸۸۳
۷	Superstation Hills	Usgs Station 5051	24/11/1987	۰.۴۵۵
۸	Victoria Mexico	Unam/Ucsd Station 6604	09/06/1980	۰.۶۲۱
۹	Whittier Narrows	Obregon Park	01/10/1987	۰.۴۵
۱۰	Tabas	Tabas, LN	16/09/1978	۰.۸۳۶

۶- نتیجه تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل‌ها

در این بخش نمونه ای از نمودارهای بار افزون مدل‌های مورد بررسی و نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل‌ها، جهت محاسبه ضریب رفتار، در شکل ۲ آورده شده است. تحلیل‌ها در نرم افزار OpenSees انجام شده است و در نهایت مقادیر برش پایه نظیر رخ دادن اولین تسلیم در سازه از نمودارهای بار مدل‌ها استخراج گردیده است.



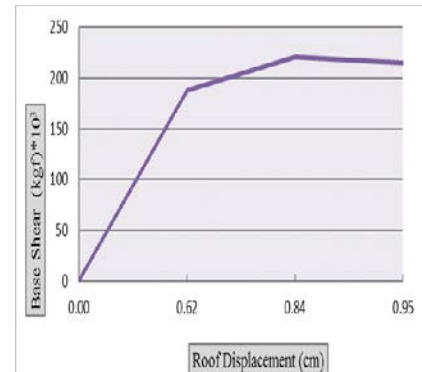
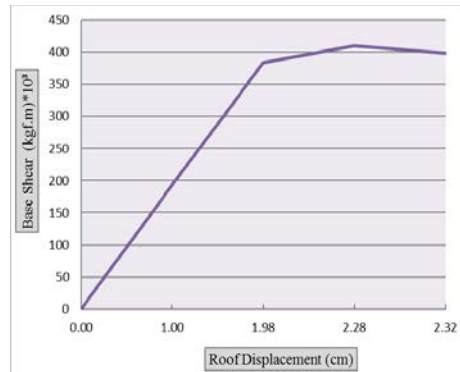
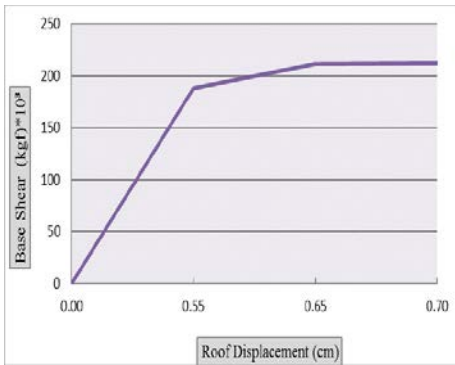
هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



ج) منحنی بار افزایشی سازه ۴ طبقه مهاربندی شورون هشتی - آرایش نوع اول

ب) منحنی بار افزایشی سازه ۴ طبقه مهاربندی شورون هفتی - آرایش نوع اول

الف) منحنی بار افزایشی سازه ۴ طبقه مهاربندی چند طبقه‌ای - آرایش نوع دوم



و) منحنی بار افزایشی سازه ۲ طبقه مهاربندی شورون هشتی - آرایش نوع سوم

ه) منحنی بار افزایشی سازه ۲ طبقه مهاربندی شورون هفتی - آرایش نوع سوم

د) منحنی بار افزایشی سازه ۲ طبقه مهاربندی چند طبقه‌ای - آرایش نوع سوم

شکل ۲: نمونه‌ای از منحنی‌های بار افزایشی سازه‌ها

۷- دسته منحنی‌های IDA

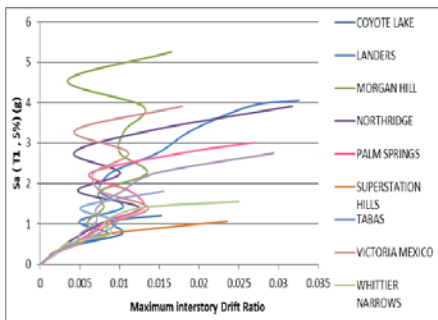
دسته منحنی‌های IDA تحت ۱۰ رکورد زلزله برای ۶ نوع از سازه‌ها به عنوان نمونه در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که قبلاً گفته شد معیار خرابی انتخابی، حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات و معیار شدت لرزه‌ای انتخابی، شتاب طیفی متناظر با مد اول $S_a(T_1)$ انتخاب گردید. با کمی دقت در این منحنی‌ها می‌توان تمامی مراحل رفتار سازه تحت زلزله، از حد ارتجاعی تا حد فروریزش و ناپایداری کلی را به طور کامل مشاهده نمود. در ابتدای همه دسته منحنی‌ها یک ناحیه الاستیک وجود دارد که به صورت خط صاف بوده و تا بخشی از منحنی IDA، به صورت فصل مشترک همه منحنی‌ها می‌باشد. پس از این ناحیه رفتار غیرخطی در منحنی‌ها با خروج منحنی از حالت خط صاف نمایان می‌شود و با افت در سختی یا افزایش آن، رفتار غیرخطی سازه را نشان می‌دهد. لذا با مشاهده این دسته از منحنی‌ها می‌توان به دیدگاهی کلی از رفتار قاب، از حد الاستیک



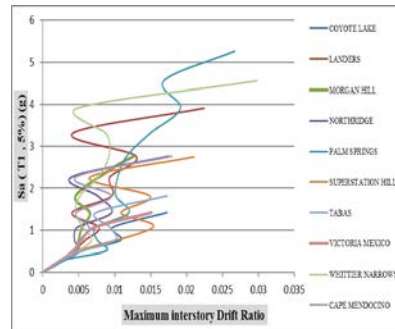
هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
 ۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
 هتل المپیک - تهران



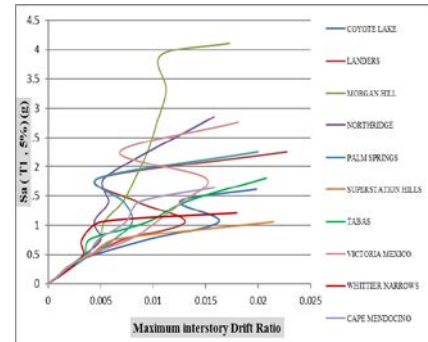
کامل تا خرابی کامل دست یافت. شایان ذکر است با توجه به در نظر گرفتن پلان‌هایی با جانمایی متفاوت مهاربندها، تمامی سازه‌ها به صورت سه بعدی در نرم افزار اپنسیز مدل و آنالیز شده‌اند.



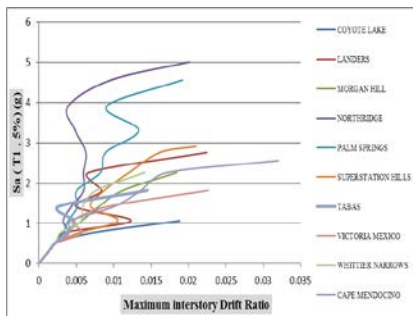
ج) دسته منحنی IDA برای سازه ۴ طبقه با مهاربندی شورون هشتی و آرایش نوع اول



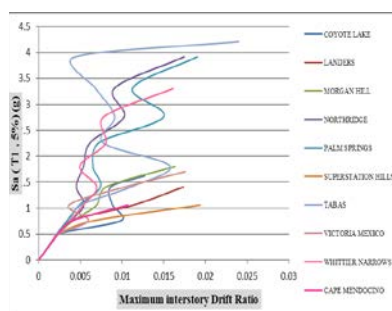
ب) دسته منحنی IDA برای سازه ۴ طبقه با مهاربندی شورون هفتی و آرایش نوع اول



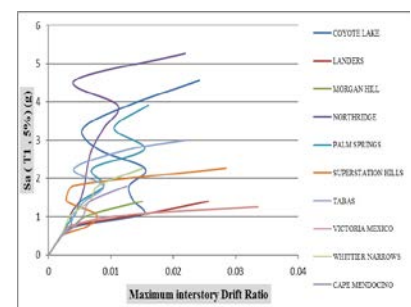
الف) دسته منحنی IDA برای سازه ۴ طبقه با مهاربندی X چند طبقه‌ای و آرایش نوع اول



و) دسته منحنی IDA برای سازه ۲ طبقه با مهاربندی شورون هشتی و آرایش نوع سوم



ه) دسته منحنی IDA برای سازه ۲ طبقه با مهاربندی شورون هفتی و آرایش نوع سوم
 شکل ۳: نمونه‌ای از دسته منحنی‌های IDA سازه‌های سه بعدی



د) دسته منحنی IDA برای سازه ۲ طبقه با مهاربندی X چند طبقه‌ای و آرایش نوع سوم

۸- محاسبه ضریب رفتار

مقدار ضریب رفتار هریک از قاب‌های مورد بررسی تحت هر کدام از رکوردهای زلزله بر اساس روش یوانگ به روش مقاومت

$$R_{LRFD} = R_{\mu} \times R_s$$

نهایی از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_s = 1 - \text{ضریب اضافه مقاومت}$$

این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_s = \frac{V_y}{V_s} \longrightarrow R_s = \frac{V_b(\text{Dyn}, u)}{V_b(\text{St}, y)}$$

برای محاسبه $V_y = V_b(\text{Dyn}, u)$ از IDA استفاده می‌کنیم. مطابق AISC7-2010، دریافت منظر با حالت حدی ایمنی جانی

(Life Safty) برای سازه‌های مهاربندی، ۱,۵٪ است. تحت آنالیزهای IDA صورت گرفته، ضریب مقیاسی (Scale Factor) را که با



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



اعمال آن به شتابنگاشت، سازه به دریفت ۱,۵٪ می‌رسد محاسبه کرده و با انجام آنالیز تاریخیچه زمانی برای شتابنگاشت مقیاس شده، حداکثر برش پایه غیرخطی این تاریخیچه زمانی به عنوان حداکثر برش پایه غیر الاستیک سازه در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه $V_s = V_{b(st,y)}$ ، نیروی برش پایه‌ای که منجر به ایجاد اولین مفصل می‌شود، تحلیل بار افزون را با افزایش تدریجی نیروی جانبی بر اساس شکل مد اصلی سازه انجام می‌دهیم. این بدین معنی که حد نهایی الاستیک سازه تحت تحیل غیرخطی و تحلیل دینامیکی غیر خطی، یکسان فرض می‌شود.

۸-۲- محاسبه R_{μ} :

این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y} \longrightarrow R_{\mu} = \frac{V_{b(Dyn,el)}}{V_{b(Dyn,u)}}$$

برای محاسبه R_{μ} از تحلیل دینامیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی خطی استفاده می‌شود، به گونه‌ای که ابتدا با انجام سعی و خطا بر روی شتاب طیفی مد اول تاریخیچه‌های زمانی زلزله‌ها، این تاریخیچه‌ها را اصلاح می‌کنیم و سپس با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی حداکثر برش پایه غیر خطی V_y (ناشی از دریفت ۱,۵٪ سازه) و با استفاده از تحلیل دینامیکی خطی حداکثر برش پایه خطی V_e را محاسبه می‌کنیم. و در نهایت ضریب شکل پذیری را طبق روابط فوق به دست می‌آوریم.

۸-۳- ضریب رفتار لرزه‌ای نهایی:

در ابتدا با استفاده از ضریب رفتارهای اولیه و مقادیر تجربی آن، طراحی سازه را انجام می‌دهیم و با در نظر گرفتن مقادیر نهایی به دست آمده مجدداً ضریب رفتار را محاسبه می‌کنیم. برای به دست آوردن ضریب رفتار نهایی، مدل‌ها مجدداً اصلاح می‌شوند و بر اساس ضریب رفتار جدید طراحی صورت می‌گیرد. سپس بر اساس روابط ذکر شده و آنالیزهای فوق‌الذکر، ضریب رفتار لرزه‌ای نهایی مطابق جداول ۵ تا ۷ به دست می‌آید.

جدول ۵: نتایج ضریب رفتار برای سازه‌های ۲ و ۴ طبقه دارای مهاربند هشتی

نوع مهاربند	شورون هشتی					
	۲			۴		
تعداد طبقات						
ضرایب	R_s	R_{μ}	R_{LRFD}	R_s	R_{μ}	R_{LRFD}
آرایش نوع اول	۲.۵	۳.۵	۸.۰	۱.۹	۳.۳	۶.۴
آرایش نوع دوم	۲.۴	۳.۴	۷.۶	۱.۵	۳.۴	۵.۱
آرایش نوع سوم	۲.۵	۳.۷	۹.۰	۱.۷	۳.۴	۵.۸
میانگین	۲.۴	۳.۵	۸.۲	۱.۷	۳.۴	۵.۸



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



جدول ۶: نتایج ضریب رفتار برای سازه‌های ۲ و ۴ طبقه دارای مهاربند هفتی

نوع مهاربند	شورون هفتی					
	۲			۴		
تعداد طبقات	R_S	R_{μ}	R_{LRFD}	R_S	R_{μ}	R_{LRFD}
ضرایب						
آرایش نوع اول	۲.۵	۳.۶	۹.۱	۱.۶	۳.۴	۵.۴
آرایش نوع دوم	۲.۵	۳.۵	۹	۱.۸	۳.۴	۶.۱
آرایش نوع سوم	۲.۵	۳.۷	۹.۶	۱.۸	۳.۷	۶.۶
میانگین	۲.۵	۳.۶	۹.۲	۱.۷	۳.۵	۶.۰

جدول ۷: نتایج ضریب رفتار برای سازه‌های ۲ و ۴ طبقه دارای مهاربند □ چند طبقه‌ای

نوع مهاربند	Multistory-X					
	۲			۴		
تعداد طبقات	R_S	R_{μ}	R_{LRFD}	R_S	R_{μ}	R_{LRFD}
ضرایب						
آرایش نوع اول	۱.۹	۳.۴	۶.۴	۱.۸	۳.۲	۵.۹
آرایش نوع دوم	۲.۱	۳.۵	۷.۴	۱.۷	۳.۲	۵.۴
آرایش نوع سوم	۲.۶	۳.۷	۹.۱	۱.۸	۳.۴	۶.۱
میانگین	۲.۲	۳.۵	۷.۷	۱.۸	۳.۳	۵.۸

نتیجه گیری

- ۱- مقدار ضریب رفتار به دست آمده برای سازه‌های مهاربند X چند طبقه‌ای در سازه‌های ۲ و ۴ طبقه به میزان ۷٪ کمتر از سازه مهاربندی شورون هشتی و ۲۰٪ کمتر از سازه‌های مهاربندی شورون هفتی می باشد.
- ۲- مقدار ضریب رفتار سازه‌های مهاربندی X چند طبقه‌ای در سازه‌های ۴ طبقه، با ضریب رفتار مهاربند‌های شورون هشتی یکسان بوده و از نظر عملکرد لرزه ای، رفتار مشابهی از این دو نوع مهاربند انتظار می‌رود. بدین ترتیب می‌توان گفت مزیت این نوع مهاربند تنها در سبک شدن سازه ناشی از عدم وجود نیروی نامتعادل در تیرهای دهانه مهاربندی می‌باشد و تاثیر چشمگیری در تقاضای شکل پذیری سازه نخواهد داشت.
- ۳- استاندارد ۲۸۰۰، مقدار ضریب رفتار برای سازه های مهاربندی همگرای ویژه را ۵,۵ در نظر می‌گیرد و با توجه به نتایج به دست آمده این مقدار برای مهاربند X چند طبقه‌ای نیز صدق می‌کند و قابل استفاده است.
- ۴- همانطور که مشاهده می‌شود با تغییر در جانمایی مهاربندها مقدار ضریب رفتار سازه نیز تغییر می‌کند که این تغییرات عمدتاً ناشی از تغییر در تقاضای سازه برای شکل پذیری و تفاوت ضریب شکل پذیری سازه می باشد.



هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۵
هتل المپیک - تهران



مراجع

- ۱- دشتبانی، شیرین؛ " مطالعه تاثیر جانمایی مهاربندهای شورون و Multistory-X روی رفتار لرزه‌ای با استفاده از آنالیز دینامیکی افزایشی (IDA) "، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر فرزانه حامدی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، ۱۳۹۵.
 - ۲- استکانچی، همایون؛ "کنترل رفتار لرزه ای سازه ها به کمک بادبندهایی با هندسه غیر خطی" ، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن مقدم، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۱.
 - ۳- علاقه بندیان و همکاران؛ "گزارش مرحله اول پروژه بررسی رفتار مهاربندی های همگرا"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲.
 - ۴- "دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود"، نشریه شماره ۳۶۰، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.
 - ۵- "آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله" استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۲.
 - ۶- "مقررات ملی ساختمان مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲.
 - ۷- جلابی فر، علی؛ □ تحلیل دینامیکی افزایشی سازه های فلزی مهاربندی شده طراحی شده براساس ویرایش های اول، دوم و سوم آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر بهروز عسگریان، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۶.
 - ۸- قلی پور، یعقوب؛ بزرگ نیا، یوسف؛ رهنما، محسن؛ بربریان، مانوئل؛ قریشی، منوچهر؛ طالبیان، نظری؛ شجاع طاهری، جعفر؛ شفیع، علی؛ " گزارش نهایی، تحلیل خطر لرزه ای ایران- فاز یک محدوده تهران بزرگ"، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، دفتر فنی و تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری زلزله، ۱۳۸۶. www.iranhazard.ir
- ۹- FEMA, Quantification of building Seismic Performance Factors. Federal Emergency Management Agency Report No. P695,2009.
 - ۱۰- NEHRP Seismic Design Technical bries NO.8;SEISMIC Design of steel special Concentrically Braced Frame Systems;2013
 - ۱۱- Eurocode 8, "Design of Structures for Eearthquake Resistance", Part 3, BSI London, December 2001.
 - ۱۲- Zayas, V; Popov, E; "Inelastic Structural Modeling of Braced Offshore Platforms for Seismic Loading", Berkley Earthquake Engineering Research Center, University of California,1981.
 - ۱۳- Vamvatsikos, D; Cornell, C.A; "Incremental Dynamic Analysis", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31 (3), 491-514, 2002.
 - ۱۴ NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency Report No. 273,1997.
 - ۱۵- Mazzoni, S; McKenna, F; Scott, M.H; Fenves, G.L; & Jeremic B; "OpenSees Command Language Manual", 2007.
 - ۱۶- "Structural Response Modification Factor", ATC-19, Applied Technology council, Redwood City California, 1995.
 - ۱۷- Uang C.M; "Establishing R and Cd Factor Building Seismic Provision", Journal of Structure Engineering, Vol.117, No.10, August 1991.
 - ۱۸- Krawinkler, H;"Static Push Over Analysis",The Developing Structural Engineers of North California, Sanfrancisco, November, 1994.
 - ۱۹- Cornell, C. Alli; Jalayer, F; "A Technical Framework for Probability-Based Demand and Capacity Factor Design (DCFD) Seismic Formats", PEER Report 2003/08 Pacific Earthquake Engineering Center College of Engineering University of California Berkeley, November 2003.
 - ۲۰ kim J,Seo Y .Seismic design of low-rise steel frames with buckling-restrained braces.Journal of Engineering Structures 2004