



# سطوح عملکرد لرزه‌ای قابهای مهاربندی شده فولادی

## با اتصالات خورجینی

غلامرضا قدرتی امیری<sup>۱</sup>, فرهاد بهنامفر<sup>۲</sup>, حامد آزاد<sup>۳</sup>

### چکیده

در طراحی بر اساس عملکرد استفاده از شاخص‌های خسارت به صورت ضریبی از تغییر مکان‌های نسبی قاب، روش موثری در برآورد خسارت احتمالی ناشی از زلزله می‌باشد. با توجه به موجود نبودن این شاخص برای قاب‌های خورجینی، در این مطالعه ابتدا دو تراز عملکرد ایمنی جانی و آستانه فرو ریزش تعریف می‌شوند و بر اساس این تعاریف و با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover) قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه، معیارهای خرابی قاب خورجینی بر اساس تغییر مکان نسبی برای قاب‌های مورد بررسی ارائه خواهد شد.

در این مطالعه از روش زیرسازه‌ها برای مدل‌سازی قاب‌ها استفاده شده و بنا بر نیاز موجود ابتدا رفتار ستون‌های مشبک بررسی خواهد شد. رفتار اتصال خورجینی نیز از نتایج محققین دیگر اقتباس می‌گردد. بر اساس نتایج این تحقیق برای قاب‌های موجود، جابجایی قاب در تراز بام برای تراز عملکرد آستانه فرو ریزش، به میزان  $1/5$  ارتفاع سازه و تراز عملکرد ایمنی جانی  $60\%$  جابجایی مربوط به تراز عملکرد آستانه فرو ریزش پیشنهاد می‌شود. همچنین با بهسازی سازه‌ها شکل‌پذیری آنها افزایش داده شده و عوامل موثر بررسی خواهند شد.

### کلمات کلیدی:

اتصال خورجینی، سطح (تراز) عملکرد آستانه فرو ریزش، سطح عملکرد ایمنی جانی، تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover)

## Quantities Derivation of Thresholds of Different Seismic Performance Levels for Satchel Frames Using Pushover Analysis

Gholamreza Ghodrati Amiri, Farhad Behnamfar, Hamed Azad

### ABSTRACT:

According to performance based design philosophy, utilization of damage indices defined as the inter story drifts of a frame is an effective method to estimate structural damage due to earthquake.

The damage indices are not yet available for satchel frames. This is the incentive behind this research work in which two different performance levels are defined firstly as life safety and collapse prevention. Based on this definition and using the nonlinear static analysis (pushover), some performance criteria are described for 4, 6 and 8-story steel frames, on the basis of relative displacements (drifts). The substructures method is used here to model the frame elements including latticed columns, double beams, concentric cross braces and satchel joints. The results show that a drift of 1.5% at the roof level is a suitable measure for the collapse prevention level of satchel frames. Also, systematic procedures are presented to retrofit these structures to enhance their seismic behavior varying the related parameters.

### Key words:

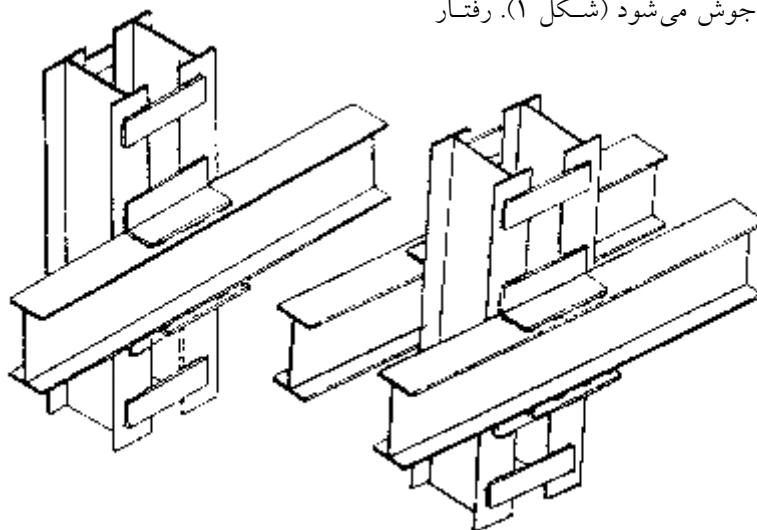
Satchel Connection, Performance Level of Collapse Prevention, Performance Level of Life Safety, Static Nonlinear Analysis (Pushover)

۱. استاد قطب مطالعات بنیادی در مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران ghodrati@iust.ac.ir  
۲. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان farhad@cc.iut.ac.ir

۳. کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران hamed\_azad@yahoo.com

## ۱- مقدمه

این اتصال نیمه‌گیردار می‌باشد. بعد از زلزله رودبار و منجیل و مشاهده خرابی‌های بسیار در ساختمان‌های دارای اتصال خورجینی تحقیقات آزمایشگاهی و تئوریک چندی برای بررسی رفتار اتصال خورجینی انجام شد [۷-۱]. علی‌رغم اینها تاکنون ضوابط خاصی برای طراحی اتصال خورجینی ارائه نشده و نتایج تحقیقات مذکور نیز بطور مدون برای استفاده عملی ارائه نگشته است.



شکل (۱): اتصال خورجینی دو تیر سراسری و یک ستون سراسری

بهسازی، بادبندها و ستون‌های دهانه بادبندی می‌باشند. علاوه بر این، اثر افزایش شکل‌پذیری اتصال خورجینی را هم بررسی می‌کنیم. در مورد تیرها، چون مقاومت تیرها بیشتر از مقاومت اتصالات است غالباً اتصالات پیش از تیرها به مرحله خرابی رسیده و دیگر نمی‌توانند بین ستون‌ها و تیرها، لگر خمشی منتقل کنند. در نتیجه تغییر مقطع تیر تأثیری در بهسازی سازه ندارد.

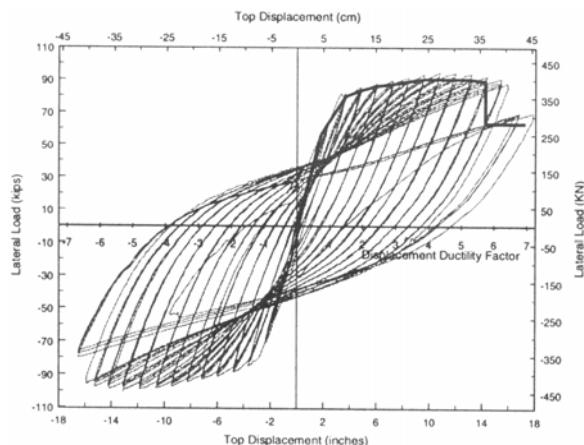
## ۲- مدلسازی المان‌ها

تحلیل قاب‌ها به روش استاتیکی غیرخطی (Pushover) و با کمک نرم‌افزار SAP2000 [۸] انجام می‌شود. در این برنامه با اختصاص مفاصل پلاستیک در طول المان‌های الاستیک، رفتار غیر خطی سازه مدل می‌شود. یعنی در مقاطعی از طول المان که احتمال می‌رود به مقاومت پلاستیک خود برسند (نقاط ممان‌های بحرانی)، یک

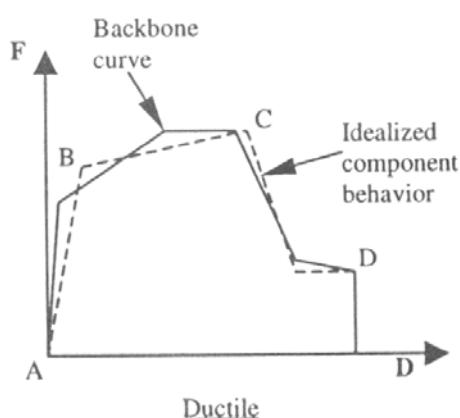
یکی از سیستم‌های سازه‌ای که در ساخت و ساز ساختمان‌های فولادی ایران رایج است، سیستم قاب مهاربندی شده با اتصال خورجینی است. اتصال خورجینی عبارت است از دو تیر سراسری که از کنار ستون عبور کرده‌اند و روی دو نبشی نشیمن که به ستون جوش شده‌اند قرار می‌گیرند. همچنین دو نبشی نیز روی بال بالایی تیر و وجه ستون جوش می‌شود (شکل ۱). رفتار

در سال‌های اخیر روش جدیدی برای طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله پیشنهاد شده که به طراحی بر اساس عملکرد معروف است. در این روش سطوح عملکردی مختلفی از قبیل بدون خسارت، ایمنی جانی و آستانه فرو ریزش معرفی شده و در طراحی، تغییر شکل‌های ساختمان بر اساس سطح عملکرد انتخابی به مقدار مشخصی محدود می‌گردد. بر اساس مطالعات متشر شده روش فوق در کنترل خسارت رسیده به سازه‌ها و داشتن طرحی ایمن تر موفق تر بوده است [۹]. با توجه به موجود نبودن این معیارها برای قابهای با اتصال خورجینی، در این تحقیق سعی داریم سطوح عملکرد ایمنی جانی و آستانه فرو ریزش را برای قابهای خورجینی طراحی شده بر اساس ضوابط آئین‌نامه‌های ایران بدست آوریم. بعد از آن با بهسازی سازه‌ها، سعی می‌کنیم شکل‌پذیری آنها را افزایش دهیم. المان‌های موثر در

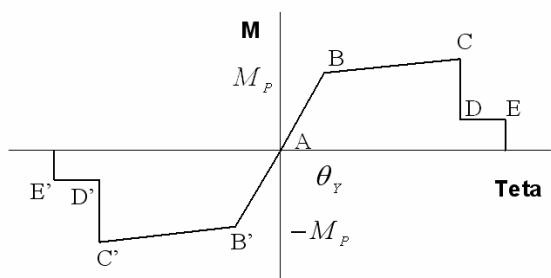
پلاستیک محوری در فولاد در حالت کلی در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل (۲): پوش منحنی هیسترتیک روی رفتار هیسترتیک  
واقعی [۱۰]



شکل (۳): منحنی رفتار ایده‌آل شده اعضا بر اساس پوش  
منحنی هیسترتیک [۱۰]

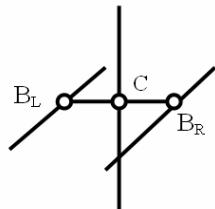


شکل (۴): رابطه لنگر - دوران یک مفصل پلاستیک خمی

مفصل پلاستیک اختصاص داده می‌شود. یک مفصل پلاستیک، رابطه غیرخطی نیرو- تغییر شکل را برای یک مقطع مشخص، تعریف می‌کند. در این نرمافزار مشخصات مفصل‌های پلاستیک با استفاده از پنج نقطه در ناحیه مثبت و منفی بطور مجزا قابل تعریف بوده و اضمحلال و شکست نهایی نیز در آن مدل می‌شود. در حالیکه در اغلب نرمافزارهای تحلیل غیرخطی مانند Drain مشخصات مفصل‌های غیرخطی بصورت دو خطی مدل می‌شود. بر این اساس نتیجه نهایی تحلیل پوش‌اور (Pushover) با برنامه SAP2000 نسبت به تحلیل پوش‌اور (Pushover) با این نرمافزارها به واقعیت نزدیکتر است. مشخصات رفتاری که به صورت پیش‌فرض در SAP2000 وجود دارد براساس آئین‌نامه FEMA273 می‌باشد [۹]. طبق شکل‌های ۲ و ۳ این منحنی‌ها پوش منحنی هیسترتیک (Backbone Curve) مربوط به رفتار خمی، محوری یا برشی مقاطع می‌باشند [۱۰].

نیروهای داخلی در مهاربندها و ستون‌های دو طرف دهانه‌های مهاربندی شده، عمدتاً از نوع کششی یا فشاری است و تغییر شکل‌های پلاستیک نیز بصورت تسليم کششی یا کمانش فشاری خواهد بود. همچنین نیروهای داخلی در تیرها و ستون‌ها به ترتیب خمی و خمی-محوری است. از طرفی تغییر شکل‌های پلاستیک در این اعضا تحت بارهای جانبی زلزله، معمولاً به صورت مفصل‌های پلاستیک در ابتدا و انتهای تیرها و ستون‌ها ظاهر می‌شود. همچنین در ستون‌ها احتمال تسليم کششی یا کمانش فشاری نیز وجود دارد. با توجه به این مطالب، به المان‌های یک قاب به این ترتیب مفصل پلاستیک اختصاص داده می‌شود. به دو انتهای تیرها و محل بارهای متتمرکز مفصل پلاستیک خمی اختصاص و به دو انتهای بالا و پایین ستون‌ها، مفصل خمی-محوری اختصاص داده می‌شود. به وسط ستون‌ها (تقریباً محل لنگر صفر) و نیز به وسط مهاربندهای فولادی لازم است مفصل محوری اختصاص داده شود. رابطه لنگر- دوران یک مفصل پلاستیک خمی و رابطه نیرو- تغییر شکل یک مفصل

استفاده از بلوک CONSTRAINT موجود در نرم افزار SAP2000 به هم بسته می شوند. این به معنای آنست که میله مزبور مثل یک فنر پیچشی عمل می کند و کار انتقال لنگر بین تیر و ستون را به عهده دارد. مقطع میله، دایره شکل بوده و قطر آن از رابطه (1d) بدست می آید.



شکل (۶): مدلسازی اتصال خورجینی با میله پیچشی

$$\varphi = \frac{TL}{GJ} \quad (1a)$$

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (1b)$$

$$k_t = \frac{T}{\varphi} \quad (1c)$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 k_t L}{\pi G}} \quad (1d)$$

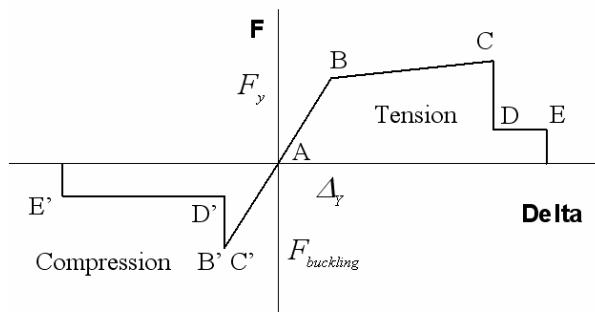
برای مشخصات اتصال خورجینی از منحنی لنگر - چرخش بدست آمده از نتایج آزمایش های انجام شده روی اتصال خورجینی ساده استفاده می شود [۱۱]. این منحنی با یک نمودار چهار خطی مطابق شکل ۷ به صورت ایده آل درآمده و در بلوک مفصل های مربوط به آنالیز پوش آور (Pushover) برنامه SAP2000 به صورت مشخصات پیچشی یک مفصل تعریف می شود. برای بررسی صحت منحنی مذکور، نتایج تحقیقات مختلف بررسی شد و این مشخصات بطور نسبتاً مشترک در این تحقیقات دیده شد. با این فرض که با تمهدات خاصی بتوان شکل پذیری اتصال را افزایش داد، اثر وجود اتصال با شکل پذیری بیشتر نیز، مطابق مشخصات ارائه شده در نمودار شکل ۸ بررسی می شود.

$$M_y = 5.5 \text{ (ton.m)}$$

$$\theta_y = 0.0025 \text{ (rad)}$$

$$M_c = 1.2 M_y$$

$$\theta_c = 6\theta_y$$



شکل (۵): رابطه نیرو - تغییر شکل یک مفصل پلاستیک محوری

برای کاهش درجهات آزادی مدل کامپیوتی یک سازه از روش زیرسازه ها در مدلسازی استفاده می شود. با استفاده از این روش، مدلسازی کامپیوتی و کترل خروجیها راحت تر شده و امکان بررسی نمونه های بیشتر را می دهد. در این روش ابتدا رفتار اجزای مختلف سازه ای، بر اساس مدلسازی اختصاصی با کامپیوترا یا در آزمایشگاه تعیین می گردد. سپس در مدل کامپیوترا سازه، هر عضو سازه ای با یک المان معادل مدل شده و خصوصیات رفتاری آن بر اساس نتایج مرحله قبل به المان معادلش نسبت داده می شود. در این مطالعه، هر قاب خورجینی از ۴ المان اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: ۱- المان ستون که شامل ستون های مشبک و غیرمشبک است؛ ۲- تیرهای جفت؛ ۳- اتصال خورجینی و ۴- مهاربند ضربدری. در تعریف خصوصیات ستون های غیرمشبک، تیرهای مهاربند، برای برنامه SAP2000، مثل مدلسازی های معمولی عمل می شود. در مورد مدلسازی رفتار اتصال خورجینی و ستون مشبک در ادامه توضیح داده می شود.

## ۱-۲- مدلسازی اتصال خورجینی

مطابق شکل ۶ اتصال خورجینی بصورت دو میله پیچشی واصل بین تیر و ستون و عمود بر آنها مدل می شود. مشابه حالت واقعی دو تیر نیز عمود بر این میله ها به صورت سراسری از کنار ستون ها عبور می کنند. جابجایی سه گره BL، BR و C در جهات سه گانه با

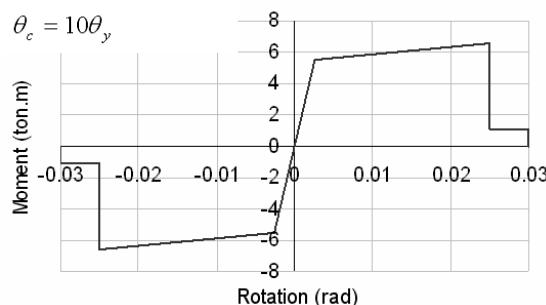
شکل های ستون مشبک را شبیه سازی کند. زیرا که تغییر شکل های المان معادل تابعی از دو مشخصه مساحت برشی و ممان اینرسی است. اما در ستون های مشبک علاوه بر این دو عامل، هندسه کلی ستون که مانند یک قاب سازه ای چند طبقه (با دو ستون در طرفین و با فرض بست ها بجای تیرها) عمل می کند نیز مؤثر است.

برای بررسی رفتار ستون مشبک، یک سازه ۴ طبقه سدهانه، دارای اتصال خورجینی تحت بار جانبی بررسی شد. در این مدل ستون ها به صورت دوبل با بست مدل شدند. نخست ستون های این سازه دارای دوران های آزاد در دو انتهای بودند. در این حالت تغییر شکل های سازه تحت بارهای جانبی و ثقلی بدست آمد. بار دیگر دوران های دو انتهای ستون ها در هر طبقه، به هم بسته شد و روند قبلی تکرار گردید. مقایسه تغییر شکل ها در دو حالت نشان داد اختلاف آنها حدود ۱٪ است.

$$M_y = 5.5 \text{ (ton.m)}$$

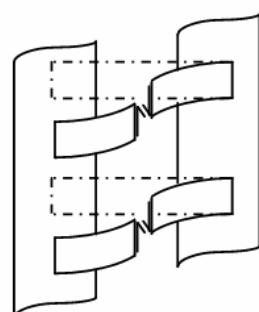
$$\theta_y = 0.0025 \text{ (rad)}$$

$$M_c = 1.2M_y$$

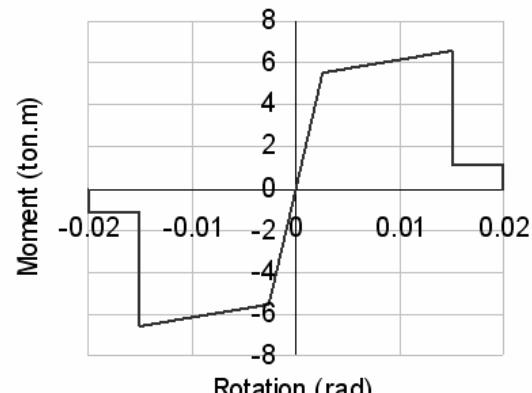


شکل (۸): منحنی لنگر - چرخش ایده آل شده اتصال

خورجینی با شکل پذیری افزایش یافته [۱۱]



شکل (۹): تغییر شکل برشی بست ها در ستون مشبک



شکل (۷): منحنی لنگر - چرخش ایده آل شده اتصال خورجینی [۱۱]

## ۲-۲- ستون های مشبک

ستون مشبک عبارت است از دو پروفیل IPE که موازی هم قرار گرفته و با استفاده از تسمه هایی که در فواصل مساوی روی آنها جوش می شوند به هم متصل شده و تشکیل یک ستون را می دهند. در طراحی سازه ها فرض می شود که دو پروفیل در ستون مشبک صدرصد با هم کار می کنند و در نتیجه ممان اینرسی کل مقطع که مشتمل از مقطع دو پروفیل است در محاسبات استفاده می شود. اما باید دانست که در صد هماهنگی دو پروفیل تابعی از تغییر شکل های عمدتاً برشی بست ها می باشد. در ستون هایی که در سراسر طول آنها ورق جوش می شود به دلیل مساحت برشی زیاد ورقها، تغییر شکل های برشی در طول ستون بسیار ناچیز بوده و فرض یک مقطع صلب مشتمل از دو پروفیل و ورقهای دو طرف، درست است. اما در ستون های مشبک تغییر شکل های برشی بست ها قابل توجه بوده و هماهنگ عمل کردن دو پروفیل را تحت تاثیر قرار می دهد (شکل ۹).

اثر این رفتار کاهش سختی ستون و افزایش تغییر شکل های جانبی آن می باشد. برای استفاده از روش زیرسازه ها، بجای ستون های مشبک باید المان معادلی تعریف شود که همان رفتار را در سازه داشته باشد. مدل سازی و بررسی های دقیق ستون های مشبک نشان داد که یک مقطع منشوری معادل نمی تواند کلیه تغییر

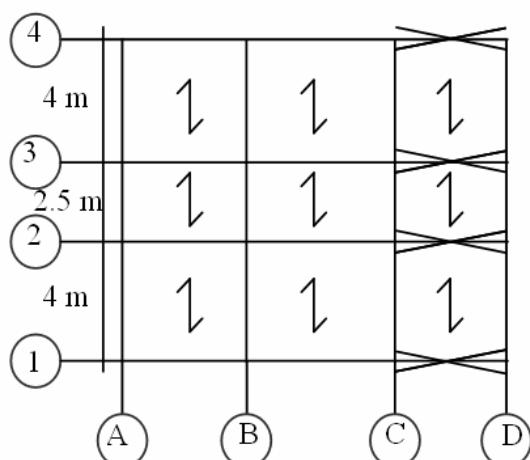
طراحی، از ممان اینرسی مقطع کامل، و در مطالعه رفتار واقعی سازه با تحلیل استاتیکی غیرخطی، از ممان اینرسی مؤثر استفاده شده است. اما اساس مقطع الاستیک و پلاستیک و شعاع زیراسیون، بر اساس مقطع کامل می‌باشند. زیرا که اثر کاهش ممان اینرسی روی کاهش سختی و افزایش تغییرشکل‌ها است. اما اساس مقطع و شعاع زیراسیون در محاسبه تنش‌ها بکار می‌روند. در نتیجه باید از مشخصات مقطع کامل اقتباس شوند. ممان اینرسی موثر ستون‌های مشبک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که دیده می‌شود ممان اینرسی موثر حدود ۴۰٪ تا ۴۵٪ کمتر از ممان اینرسی مقطع کامل است.

از این بررسی نتیجه گرفته می‌شود که می‌توان با تقریب قابل قبول ستون دوبل را با المان منشوری معادلی که رفتار برشی دارد مدل کرد. به این صورت که المان معادل و ستون دوبل با بست افقی (به صورت یک قاب یک دهانه و بست‌ها بجای تیرها) هر دو دارای پای گیردار و انتهای دیگر دارای جایگاهی جانبی آزاد و بدون دوران، تحت بار جانبی یکسان قرار می‌گیرند. با برابر قراردادن تغییرشکل جانبه المان و ستون مشبک از فرمول  $\Delta = \frac{Vh^3}{12EI}$ ، ممان اینرسی مؤثر ستون مشبک یا به عبارتی ممان اینرسی المان معادل بدست می‌آید.

در طراحی اولیه ستون‌های مشبک همانند روال معمول

جدول (۱): ممان اینرسی موثر ستون‌های مشبک و درصد کاهش نسبت به حالت مقطع کامل

قطعه ستون مشبک (cm)	ممان اینرسی مقطع کامل ( $\text{cm}^4$ )	ممان اینرسی موثر ( $\text{cm}^4$ )	درصد کاهش٪
2IPE14@11.2 PL10*0.5@50	1082	725.5	32%
2IPE16@12.8 PL10*1@50	1738	1173	32%
2IPE18@14.5 PL10*1@50	2640	1685	36%
2IPE20@16.2 PL10*1@50	3880	2305	40%



شکل (۱۰): پلان قاب‌های مورد بررسی

فرضیات مورد نیاز برای محاسبه نیروی زلزله با فرض اینکه محل ساخت در شهر تهران باشد، به این شرح است:

### -۳- مدل‌های مورد بررسی

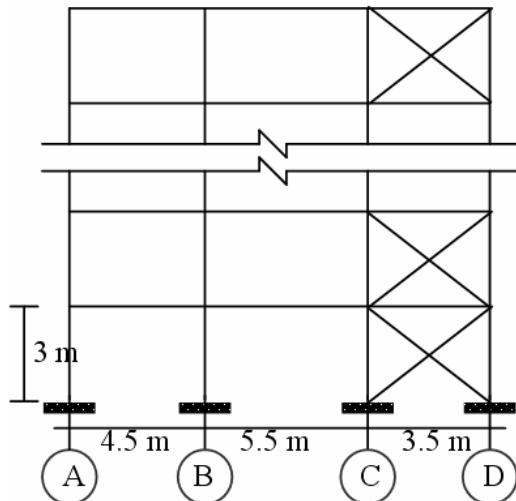
#### -۱- هندسه و بارگذاری مدل‌ها

ساختمان‌های مورد بررسی دارای دهانه‌های نابرابر با تعداد طبقات ۴، ۶ و ۸ بوده و پلان و نمای جانبی آنها در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. قابهای میانی در دهانه کنار راهپله دارای بادبند می‌باشند. این قاب‌ها بار ثقلی و نیروی زلزله بزرگتری را تحمل می‌کنند و بحرانی‌تر هستند. در نتیجه یکی از این قاب‌ها بررسی می‌شود.

بار گسترده مرده و زنده روی تیرهای بام به ترتیب  $1500\text{ kg/m}$  و  $500\text{ kg/m}$  و روی تیرهای طبقات به ترتیب  $1900\text{ kg/m}$  و  $700\text{ kg/m}$  می‌باشد. بار متمرکز مرده روی ستون‌های واقع در محور A و D در تراز بام  $700\text{ kg}$  و در طبقات  $1100\text{ kg}$  است.

کیفیت اجرا می‌باشد.

نکته مهم در مورد بادبندها اینست که در مرحله طراحی، عامل تعیین کننده مقطع بادبند، نیروی فشاری مجاز است که خود تابعی از مساحت و لاغری مقطع است. در نتیجه اگر شکل هندسی مقاطع طوری باشد که لاغری حول هر دو یا یکی از محورها کمینه گردد، در مرحله طراحی مقاطعی با مساحت زیاد بدست می‌آید. از آنجا که همین بادبندها در کشش هم کار می‌کنند مساحت زیاد باعث ایجاد سختی جانبی زیاد برای سازه می‌شود. در تحلیل غیرخطی حاضر(همانطور که دیده خواهد شد)، در یک پانل با بادبند ضربدری که هر دو بادبند مقاطع یکسانی دارند، با افزایش نیروی جانبی، بادبند فشاری زودتر کمانش می‌کند و کارایی خود را از دست می‌دهد. در نتیجه شکل پذیری سازه تابعی از مشخصات بادبندهای کششی و دیگر اجزای سازه‌ای خواهد بود. از طرف دیگر سختی زیاد بادبندهای کششی باعث کمانش و خرابی زود هنگام ستون‌ها شده و شکل پذیری سازه را کاهش می‌دهد. در قاب‌های خمشی اعمال شرط تیر ضعیف-ستون قوی با ایجاد مکانیسم تشکیل مفصل در تیرها و جلوگیری از تشکیل مفصل در ستون‌ها باعث افزایش شکل پذیری سازه می‌شود. در قاب‌های بادبندی نیز شرایط تقریباً مشابهی وجود دارد. در این قاب‌ها در مرحله طراحی یا تقویت با ایجاد شرایط بادبند ضعیف-ستون قوی می‌توان شکل پذیری سازه را افزایش داد و از خرابی آن در اثر کمانش ستون‌ها جلوگیری کرد. در این راستا باید هندسه مقطع بادبند را مناسب انتخاب کرد. طوری که تا حد ممکن لاغری ماقزیم، کاهش یابد و لاغری حول هر دو محور مقادیری نزدیک به هم داشته باشند. مثلاً بجای استفاده از دو ناوادانی به صورت [ ] از این دو به شکل [ ] استفاده شود. با رعایت این موارد بادبندها در مرحله طراحی حداقل مساحت لازم را بدست می‌آورند و در نتیجه سازه‌ای با سختی کمتر و شکل پذیری بیشتر بدست می‌آید.



شکل (11): نمای کلی قاب‌های مورد بررسی

ساختمان با اهمیت متوسط  $I = 1$ . مهاربندی هم محور فولادی  $R = 6$ . پهنه با خطر نسبی زیاد  $A = 0.3$ . زمین نوع III  $T_0 = 0.7$ . وزن موثر هر قاب میانی برای محاسبه نیروی زلزله در تراز بام (ton) ۳۰ و در طبقات (ton) ۳۶ بوده و توزیع نیروی زلزله در طبقات (الگوی بارگذاری) بر اساس آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش دوم می‌باشد.

### ۲-۳- شکل پذیر کردن سازه

المان‌های سازه‌ای عبارتند از تیر، ستون، بادبند و اتصال خورجینی و هر یک دارای سه خصوصیت مقاومت، سختی و شکل پذیری هستند. رفتار سازه تابعی از خصوصیات المان‌های آن است. در بهسازی سازه برای افزایش شکل پذیری ابتدا سعی می‌کنیم با تغییر مقطع بادبند و ستون‌های دهانه بادبندی به هدف مورد نظر در شکل پذیری برسیم. این کار به معنای تغییر سختی المان‌های سازه است. در صورت کافی نبودن، شکل پذیری اتصال خورجینی را به مقدار لازم افزایش می‌دهیم تا به هدف مورد نظر در شکل پذیری سازه برسیم. البته، با این فرض که با تمیهادات ساده اجرایی، بتوان شکل پذیری اتصال خورجینی را مقداری افزایش داد. قابل ذکر است که اتصال خورجینی در واقع یک المان با خصوصیات کاملاً ثابت نیست و رفتار آن تابع شکل هندسی، نحوه و

در روابط فوق مقدار نیروهای  $P_E$ ,  $P_{DL}$ ,  $P_{LL}$  باید با رعایت علامت جبری آنها استفاده شود.

- ۴- در این مرحله هدف بهسازی سازه است بطوریکه که نقطه N در منحنی پوش آور (Pushover) (شکل ۱۳) تا ۲٪ ارتفاع سازه و ادامه منحنی پس از افت یعنی نقطه Q حداقل تا ۳٪ ارتفاع سازه پیش برود. عنوان این مدل، سازه بهساخته با هدف جابجایی N تا ۲٪ ارتفاع است.
- ۵- در مرحله پنجم هم هدف بهسازی سازه است بطوریکه نقطه N در منحنی پوش آور (Pushover) تا ۲/۵٪ ارتفاع و ادامه منحنی پس از افت یعنی نقطه Q تا ۳٪ ارتفاع سازه پیش برود. عنوان این مدل، سازه بهساخته با هدف جابجایی N تا ۲/۵٪ ارتفاع است.
- ۶- در صورتیکه در سازه‌های بهسازی شده از اتصال با شکل پذیری افزایش یافته استفاده شده باشد در مرحله آخر با قرار دادن اتصال معمولی، آنالیز پوش آور (Pushover) دوباره انجام می‌شود.

#### ۴-۳- تعریف سطوح (ترازهای) عملکرد

برای بیان کمی و کیفی میزان آسیب و خرابی سازه در هنگام زلزله، دو سطح عملکرد ایمنی جانی و آستانه فروریزش را مبنای کار قرار می‌دهیم. سطح عملکرد ایمنی جانی طبق تعریف FEMA273 سطحی از خرابی است که خسارت‌های جانی وجود نداشته اما اعضای سازه‌ای آسیب بینند. همچنین سطح عملکرد آستانه فروریزش سطحی از خرابی است که در آن خرابی گسترده ساختمان، بدون فروریختن کلی و احتمال خسارت‌های جانی وجود دارد. برای تعریف کمی سطح عملکرد ایمنی جانی، نمودار نیرو- تغییرشکل یک المان را مطابق شکل ۱۲ در نظر بگیرید. نقطه‌ای که اولین المان سازه‌ای تغییر شکلش از نقطه C بگذرد را سطح عملکرد ایمنی جانی سازه تعریف می‌شود. همچنین اگر نمودار پوش آور (Pushover) سازه را مطابق شکل ۱۳ در نظر بگیرید نقطه N که در آن سازه به مرحله خرابی رسیده است سطح عملکرد آستانه فروریزش سازه تعریف می‌گردد.

#### ۳-۳- روند بررسی مدل‌ها

هر قاب ابتدا بر اساس آئین نامه ۵۱۹ [۱۲] بارگذاری ثقلی و براساس آئین نامه ۲۸۰۰ زلزله [۱۳]، بارگذاری جانبی استاتیکی معادل شده و بر اساس آئین نامه فولاد ایران [۱۴] طراحی می‌گردد. در مرحله طراحی، تیرها به صورت سراسری با تکیه‌گاه‌های مفصلی در نظر گرفته می‌شوند. سپس قابهای طراحی شده طبق مراحل زیر با آنالیز پوش آور مورد بررسی قرار می‌گیرند. الگوی بارگذاری جانبی در آنالیز پوش آور بر اساس الگوی بارگذاری آئین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. روند بررسی سازه‌ها به صورت ذیل است:

- ۱- ابتدا در سازه طراحی شده اتصال خورجینی معمولی قرار داده شده و آنالیز پوش آور (Pushover) می‌گردد. از این مدل با عنوان سازه آئین نامه‌ای نام می‌بریم.
- ۲- برای بررسی اثر سختی اتصال در رفتار سازه آئین نامه‌ای، اتصال خورجینی تبدیل به اتصال مفصلی شده سپس سازه آنالیز پوش آور (Pushover) می‌گردد. عنوان این مدل سازه آئین نامه‌ای با اتصال قیچی است.
- ۳- در این مرحله، بند ۱-۵ از پیوست شماره ۲ آئین نامه ۲۸۰۰ (ویرایش دوم) برای نیروی فشاری و کششی ستون‌ها کنترل شده، در صورت عدم ارضا، پس از اعمال آن سازه جدید آنالیز پوش آور (Pushover) می‌گردد. عنوان این مدل، سازه تقویت شده طبق ضابطه پیوست ۲۸۰۰ است. بند ۱-۵ از پیوست شماره ۲ آئین نامه ۲۸۰۰ بصورت زیر است:

#### ۱-۵- مقاومت ستون

در طراحی ستون‌های سازه‌های مقاوم در برابر زلزله باید مبحث ۱۵ مقررات ملی ساختمان [۱۴] رعایت گردد. بعلاوه ستون‌های قاب‌ها باید دارای مقاومت کافی برای تحمل نیروهای محوری ناشی از ترکیبات باربری (الف) و (ب) زیر باشند :

$$P_{DL} + 0.8P_{LL} + (0.4R)P_E \leq P_{SC} \quad \text{الف: فشار محوری}$$

$$0.85P_{DL} + (0.4R)P_E \leq P_{ST} \quad \text{ب: کشش محوری}$$

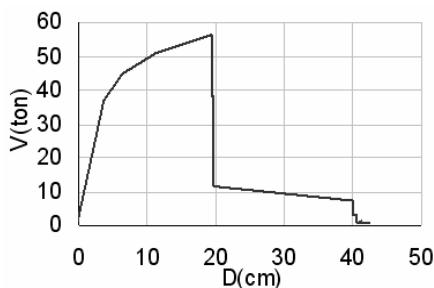


#### ۴- آنالیز و استخراج نتایج

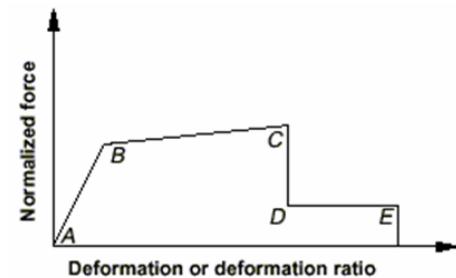
در این قسمت برای اختصار بجای عبارت اتصال خورجینی از کلمه اتصال استفاده شده است.

مدل ۱-۴) قاب ۴ طبقه- سازه آئیننامه‌ای: این قاب ضابطه پیوست آئیننامه ۲۸۰۰ را برآورده می‌کند.

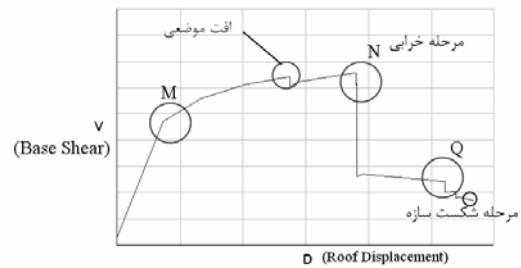
الگوی خرابی: خرابی بادبند کششی طبقه سوم و تشکیل زود هنگام طبقه نرم. تراز عملکرد اینمی جانی تا قبل از آستانه فروریزش مشاهده نشد و تراز آستانه فروریزش ۱/۵۸٪ ارتفاع سازه است. (جدول ۲ و شکل ۱۴)



شکل (۱۴): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱-۴



شکل (۱۲): نمودار شماتیک نیرو - تغییرشکل یک المان



شکل (۱۳): نمودار شماتیک پوش آور (Pushover) یک سازه و موقعیتهای مهم آن

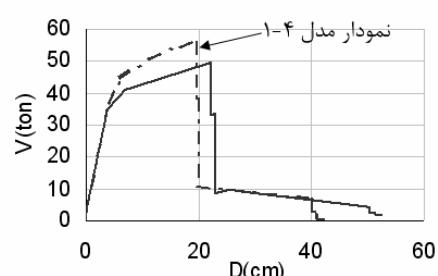
جدول (۲): مقاطع المان‌های قاب (اتصال با شکل پذیری معمولی)

Story	A	ستون خط B	ستون خط C, D	Brace
4	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
3	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
2	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE18	2 UNP8
1	2 IPE14	2 IPE18	2IPE18+PL16*.8	2 UNP8

مدل ۳-۴) قاب ۴ طبقه - سازه بهساخته با هدف جابجایی N تا ٪۲

الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط C. در آخر خرابی بادبند کششی طبقه دوم. تراز عملکرد اینمی جانی ۱/۳۳٪ ارتفاع سازه و آستانه فروریزش ٪۲ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ٪۶۶ تراز آستانه فروریزش می‌باشد (جدول ۳ و اشکال ۱۶ و ۱۷).

مدل ۲-۴) قاب ۴ طبقه- سازه آئیننامه‌ای با اتصال قیچی: الگوی خرابی: خرابی بادبند کششی طبقه سوم. شکل پذیری بدون اتصال خورجینی ۱۵٪ افزایش و برش پایه ۱۲٪ کاهش می‌یابد. (شکل ۱۵)



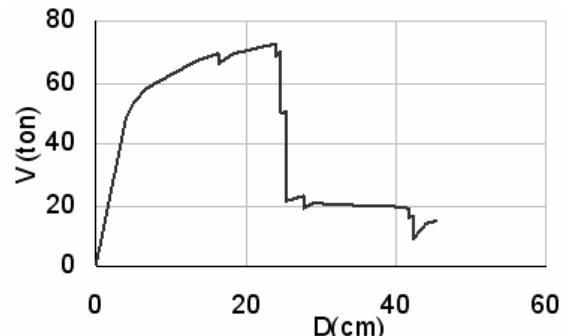
شکل (۱۵): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۲-۴

جدول (۳): مقاطع المان‌های قاب (اتصال خورجینی با شکل‌پذیری معمولی)

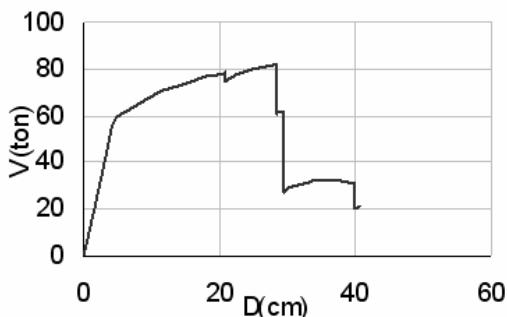
Story	A ستون خط	B ستون خط	C, D ستون خط	Brace
4	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
3	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14+PL12*.6	2 UNP8
2	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE20+PL18*.8	2 UNP8
1	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE20+PL18*.8	2 UNP10

مدل ۴-۴) قاب ۴ طبقه - سازه به ساخته با هدف  
جابجایی N تا٪ ۲/۵ :

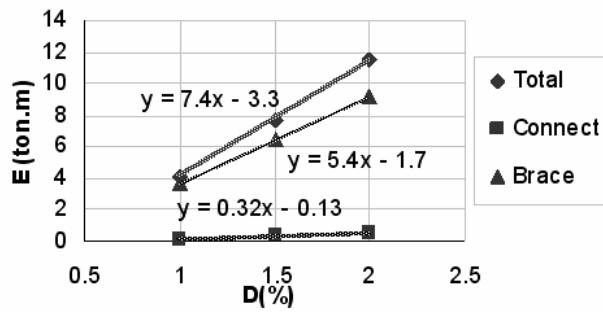
الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه اول. تراز عملکرد ایمنی جانی ۱/۶۶٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۲/۴۱٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۰/۶۸٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد (جدول ۴ و شکل ۱۸).



شکل (۱۶): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۴



شکل (۱۸): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۴



شکل (۱۷): نمودار انرژی هیستوتیک المان‌های مدل ۴-۴

جدول (۴): مقاطع المان‌های قاب (اتصال خورجینی با شکل‌پذیری معمولی)

Story	A ستون خط	B ستون خط	C, D ستون خط	Brace
4	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
3	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14+PL12*.6	2 UNP8
2	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE20+PL22*1	2 UNP10
1	2 IPE14	2 IPE18+PL16*.8	2 IPE20+PL22*1	2 UNP10

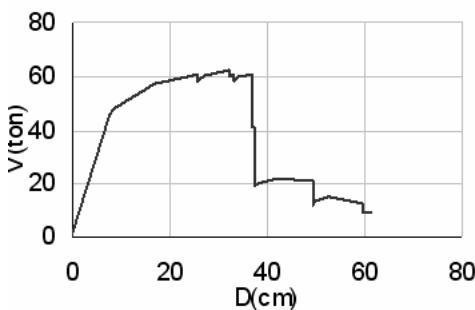
اول خط B. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقات اول و دوم. تراز عملکرد ایمنی جانی ۱/۳۸٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۰/۲٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۰/۶۹٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد (جدول ۵ و اشکال ۱۹ و ۲۰).

مدل ۴-۵) قاب ۶ طبقه - سازه آئین نامه‌ای: این قاب ضابطه پیوست ۲۸۰۰ و جابجایی هدف ۰/۲٪ را برآورده می‌کند.

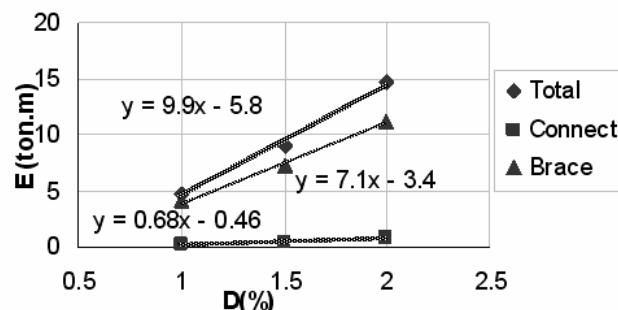
الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه

جدول (۵): مقاطع المان‌های قاب (اتصال خورجینی با شکل‌پذیری معمولی)

Story	A ستون خط	B ستون خط	C, D ستون خط	Brace
6	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
5	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
4	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE18	2 UNP8
3	2 IPE14	2 IPE18	IPE18+PL16*.8	2 UNP8
2	2 IPE14	<sup>2</sup> IPE18+PL16*.8	BOX 20*1.5	2 UNP8
1	2 IPE14	<sup>2</sup> IPE18+PL16*.8	BOX 20*1.5	2 UNP8



شکل (۲۰): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴

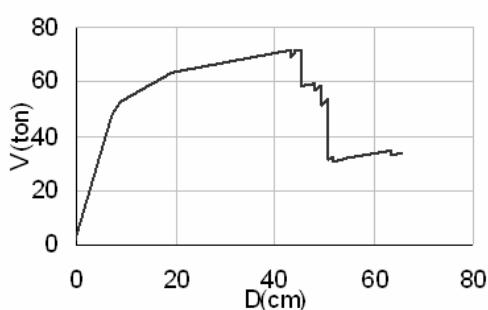


شکل (۱۹): نمودار انرژی هیستراتیک المان‌های مدل ۴

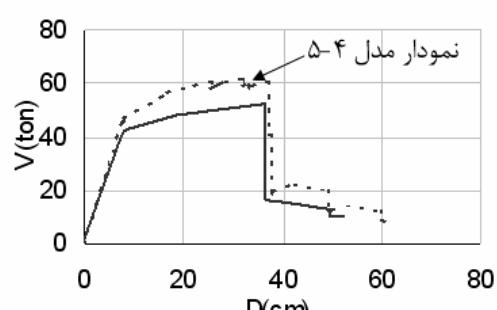
مدل ۴-۶) قاب ۶ طبقه - سازه بهساخته با هدف جابجایی N تا٪ ۰.۲/۵ :

الگوی خرابی: خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی بادبند کششی طبقه اول. تراز عملکرد اینمی جانی ٪۲۳۳ ارتفاع و آستانه فروریزش ٪۰۲/۵ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ٪۰۹۳ آستانه فروریزش می‌باشد (جدول ۶ و شکل ۲۲).

مدل ۴-۶) قاب ۶ طبقه - سازه آئین‌نامه‌ای با اتصال قیچی: الگوی خرابی: خرابی بادبند کششی طبقه دوم. از نظر عملکرد شکل‌پذیری دو سازه در حدود هم است اما بدون اتصال خورجینی برش پایه حداقل سازه حدود ٪۱۷ کاهش می‌یابد (شکل ۲۱).



شکل (۲۲): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۶



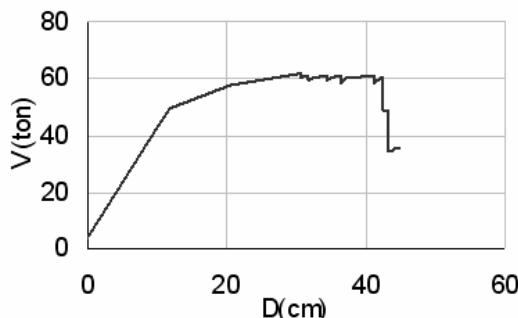
شکل (۲۱): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۶

جدول (۶): مقاطع المان‌های قاب (اتصال خورجینی با شکل‌پذیری معمولی)

Story	A ستون خط	B ستون خط	C, D ستون خط	Brace
6	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
5	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
4	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE20	2 UNP8
3	2 IPE14	2 IPE18	IPE20+PL18*.8	2 UNP8
2	2 IPE14	2 IPE18+PL16*.8	BOX 25*20	2 UNP10
1	2 IPE14	2 IPE18+PL16*.8	BOX 25*20	2 UNP8

مدل ۹-۴) قاب ۸ طبقه - سازه آئین نامه ای: این قاب ضابطه پیوست ۲۸۰۰ را برآورده نمی کند.

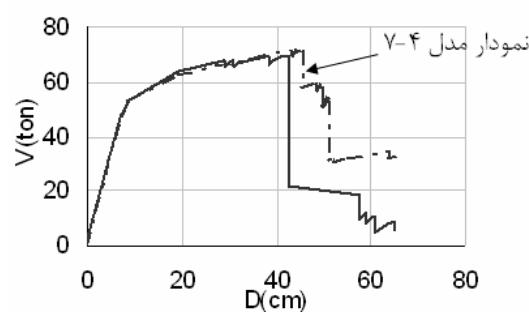
الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه سوم خط C. خرابی اتصال طبقه اول خط B. خرابی اتصال طبقه سوم خط B. خرابی اتصال طبقه اول خط A. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی اتصال طبقه دوم. تراز عملکرد اینمی جانی ۱/۲۵٪ ارتفاع و آستانه فروریزش ۲/۳۳٪ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فروریزش می باشد. همچنانکه دیده می شود با افزایش شکل پذیری اتصال خورجینی جابجایی موقعیت N در حدود ۷٪ افزایش می یابد. (شکل ۲۴).



شکل (۲۴): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۹-۴

مدل ۸-۴) قاب ۶ طبقه - مدل (۷-۴) با اتصال خورجینی معمولی:

الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه سوم خط C. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه سوم. تراز عملکرد اینمی جانی ۱/۵۵٪ ارتفاع و آستانه فروریزش ۲/۳۳٪ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فروریزش می باشد. همچنانکه دیده می شود با افزایش شکل پذیری اتصال خورجینی جابجایی موقعیت N در حدود ۷٪ افزایش می یابد. (شکل ۲۳)

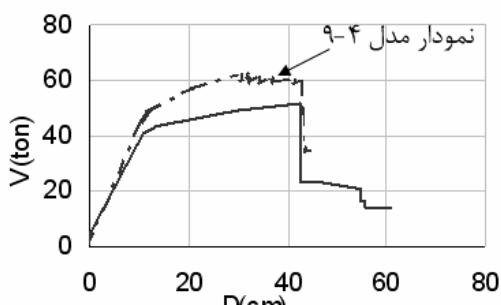


شکل (۲۳): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۸-۴

جدول (۷): مقاطع المان های قاب

Story	A ستون خط	B ستون خط	C, D ستون خط	Brace
8	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
7	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
6	2 IPE14	2 IPE20	2 IPE18+PL16*.8	2 UNP8
5	2 IPE14	2 IPE20	2 IPE18+PL16*.8	2 UNP8
4	2 IPE14	2 IPE20	2 IPE18+PL16*.8	2 UNP8
3	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1	BOX 25*1.5	2 UNP8
2	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1	BOX 25*1.5	2 UNP8
1	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1	BOX 25*1.5	2 UNP8

ستون های طبقات ۱، ۲ و ۳ به BOX30\*2 و ستون های طبقات ۴، ۵ و ۶ به BOX20\*1.5 تبدیل می شوند.



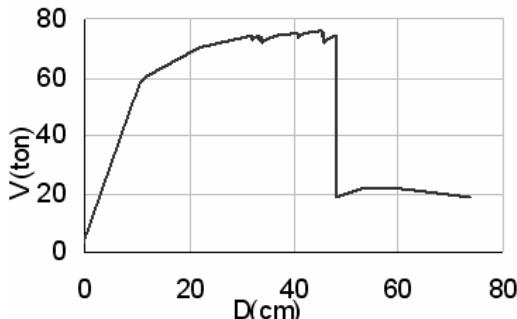
شکل (۲۵): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱۰-۴

مدل ۱۰-۴) قاب ۸ طبقه - سازه آئین نامه ای با اتصال خورجینی معمولی:

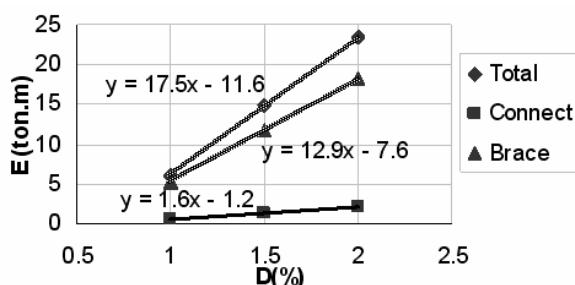
الگوی خرابی: خرابی بادبند کششی طبقه سوم. از نظر عملکرد شکل پذیری دو سازه در حدود هم است اما بدون اتصال خورجینی برش پایه حداکثر سازه در حدود ۱۷٪ کاهش می یابد. (شکل ۲۵).

مدل ۱۱-۴) قاب ۸ طبقه - سازه آئین نامه ای با رعایت ضابطه پیوست آئین نامه ۲۸۰۰: مقاطع این قاب مانند سازه آئین نامه ای بوده و فقط در خط ستون های C و D

و آستانه فرو ریزش ۱.۹۶٪ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد (جدول ۸ و اشکال ۲۷ و ۲۸).

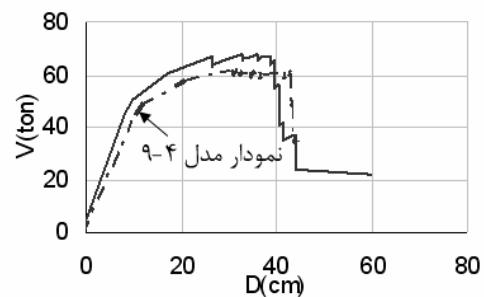


شکل (۲۷): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱۲-۴



شکل (۲۸): نمودار انرژی هیستوری المانهای مدل ۱۲-۴

الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقات دوم و سوم خط C. خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط B و D. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه سوم. تراز عملکرد اینمی جانی ۱/۲۹٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۱/۹۶٪ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد (شکل ۲۶).

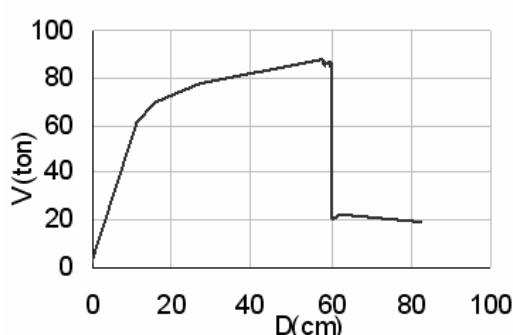


شکل (۲۶): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱۱-۴ مدل ۱۲-۴ قاب ۸ طبقه - سازه بهساخته با هدف جابجایی N تا ٪۲

الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط B. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه سوم. تراز عملکرد اینمی جانی ۱.۲۹٪ ارتفاع

جدول (۸): مقاطع المانهای قاب (اتصال خورجینی با شکل پذیری معمولی)

Story	A ستون خط	B ستون خط	C,D ستون خط	مهاربند
8	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
7	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
6	2 IPE14	2 IPE20	BOX 20*1.5	2 UNP8
5	2 IPE14	2 IPE20	BOX 20*1.5	2 UNP8
4	2 IPE14	2 IPE20	BOX 20*1.5	2 UNP10
3	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1	BOX 30*2	2 UNP10
2	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1	BOX 30*2	2 UNP10
1	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1	BOX 30*2	2 UNP8



شکل (۲۹): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱۳-۴

مدل ۱۳-۴ قاب ۸ طبقه - سازه بهساخته با هدف جابجایی N تا ٪۲/۵

الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه سوم خط C. خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه سوم. تراز عملکرد اینمی جانی ۰/۲۳٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۰/۲۴٪ ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی ۰/۹۶٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد. (جدول ۹ و شکل ۲۹)

جدول (۹): مقاطع المان‌های قاب (اتصال خورجینی با شکل‌پذیری افزایش‌یافته)

Story	A	ستون خط	B	ستون خط	C,D	ستون خط	Brace
8	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8		
7	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8		
6	2 IPE14	2 IPE20		BOX 20*1.5	2 UNP8		
5	2 IPE14	2 IPE20		BOX 20*1.5	2 UNP8		
4	2 IPE14	2 IPE20		BOX 20*1.5	2 UNP12		
3	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1		BOX 30*2	2 UNP10		
2	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1		BOX 30*2	2 UNP12		
1	2 IPE14+PL12*.6	2 IPE20+PL22*1		BOX 30*2	2 UNP10		

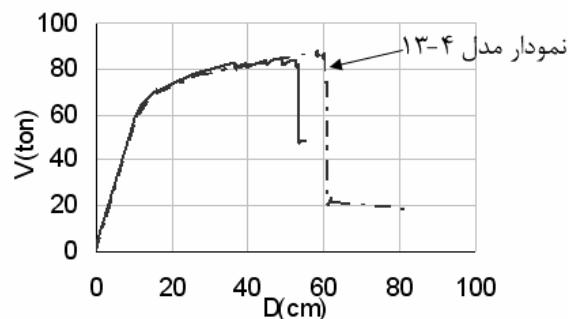
با توجه به تحلیلهای انجام شده و تعاریف آستانه‌های عملکرد، اگر بخواهیم یک مقدار دست پائین اختیار کنیم تراز عملکرد آستانه فرو ریزش را می‌توان جابجایی بام به مقدار  $1/5\%$  ارتفاع سازه و تراز عملکرد اینمی جانی را  $6/6\%$  جابجایی مربوط به تراز عملکرد آستانه فرو ریزش در نظر گرفت.

مقایسه مدل سازه آئین‌نامه‌ای و سازه آئین‌نامه‌ای با اتصال قیچی نشان می‌دهد که وجود اتصالات خورجینی با مشخصات فرض شده در شکل‌پذیری سازه تاثیر قابل توجهی ندارد و فقط برش پایه حداقل حدود  $17/1\%$  کاهش می‌یابد. پس در صورتیکه کاهش برش پایه حداقل، اشکالی ایجاد ننماید می‌توان با اجرای اتصالات بصورتی که رفتار مفصلی داشته باشند (مثلاً با حذف نبیش بالای که باعث می‌شود مانع برای چرخش تیرها و ستونها نسبت به هم وجود نداشته باشد) خرابی اتصالات را متنفسی دانست.

بررسی الگوهای خرابی نشان می‌دهد که در درجه اول باید از تشکیل زود هنگام طبقه نرم مشابه قاب ۴ طبقه جلوگیری کرد. در اینصورت شروع خرابی غالباً از اتصالات طبقات اول و دوم (و در سازه‌های بلندتر، طبقه سوم) مربوط به خط ستون C (خط ستون میانی، کنار دهانه بادبندی) بوده و پس از آن اتصالات خط ستون B (خط ستون میانی دیگر) را در همین طبقات در بر می‌گیرد. بررسیهای فوق نشان می‌دهد کلاً اتصالات در طبقات یک-سوم پائینی ارتفاع سازه حساس ترند. خرابی نهایی در اثر اضمحلال بادبند کششی طبقات اول یا دوم و یا سوم (در سازه‌های بلندتر) است.

مدل ۱۴-۴) قاب ۸ طبقه - مدل (۱۳-۴) با اتصال خورجینی معمولی:

الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه سوم خط C. خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط B. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه سوم. تراز عملکرد اینمی جانی  $1/5\%$  ارتفاع و آستانه فرو ریزش  $2/2\%$  ارتفاع سازه است. تراز اینمی جانی  $68/6\%$  تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد. همچنان که دیده می‌شود با افزایش شکل‌پذیری اتصال خورجینی جابجایی موقعیت N در حدود  $11/1\%$  و برش پایه حداقل  $6/6\%$  افزایش می‌یابد (شکل ۳۰).



شکل (۳۰): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱۴-۴

##### ۵- بحث و بررسی نتایج

در این تحقیق دیده می‌شود که افت‌های موضعی در نمودار پوش آور (Pushover) که تعیین‌کننده تراز اینمی جانی هستند همیشه در اثر خرابی اتصالات پیش می‌آیند و افت کلی نمودار پوش آور (Pushover) که تعیین‌کننده تراز آستانه فرو ریزش است در اثر خرابی بادبند کششی رخ می‌دهد.

۶- همانطور که دیده می‌شود خرابی نهایی در اثر اضمحلال بادبندی‌های کششی یکی از طبقات اول تا سوم است. بنابراین لازم است در هر جهت بیش از یک دهانه بادبندی داشته باشیم تا از خرابی کلی سازه در اثر اضمحلال یک بادبند در یکی از طبقات، اجتناب شود.

۷- برای جلوگیری از خرابی اتصالات باید مقاومت آنها را افزایش داد تا در طول زلزله ارجاعی عمل کنند و یا اینکه با افزایش شکل پذیری، از خرابی آنها پیش از خرابی سازه جلوگیری کرد.

استفاده از اتصال با شکل پذیری بیشتر باعث می‌شود که تراز ایمنی جانی به آستانه فرو ریزش بسیار نزدیک شود. اما لازم است که تراز ایمنی جانی در فاصله کافی از تراز آستانه فرو ریزش قرار داشته باشد که در این حالت باید تراز ایمنی جانی را به صورت دیگری تعریف کرد. مثلاً پیشنهاد می‌شود در نمودار پوش آور (Pushover)، حرکت از قسمت خطی و ورود به قسمت غیرخطی مبنای تعریف تراز یا سطح عملکرد ایمنی جانی قرار گیرد.

## ۶- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، بصورت خلاصه عبارتند از:

۷- فهرست علامت	
d.....	قطر میله
D.....	تغییر مکان بام
elta = $\Delta$ .....	تغییر شکل
$\Delta y$ .....	تغییر شکل محوری متناظر با نقطه تسليم
E.....	مدول الاستیسیته فولاد
F.....	نیروی محوری
Fbuckling.....	نیروی محوری متناظر با کمانش
Fy.....	نیروی محوری متناظر با نقطه تسليم
$\varphi$ .....	زاویه پیچش میله
G.....	مدول برشی میله
h.....	ارتفاع ستون مشبك
I.....	ممان اینرسی مؤثر ستون مشبك
J.....	ممان اینرسی پیچشی مقطع دایره
$k_t$ .....	سختی پیچشی اتصال در مرحله ارجاعی
L.....	طول میله
M.....	لنگر خمشی
$M_s$ .....	لنگر متناظر با نقطه C در شکل ۴
$M_p$ .....	لنگر خمشی پلاستیک
$M_y$ .....	لنگر متناظر با نقطه تسليم
PDL .....	نیروی محوری ناشی از بار مرده
PE.....	نیروی محوری ناشی از زلزله
PLL.....	نیروی محوری ناشی از بار زنده
PSC.....	مقاومت محوری فشاری عضو
PST.....	مقاومت محوری کششی عضو
R.....	ضریب رفتار سازه
T.....	لنگر پیچشی
Theta = $\theta$ .....	دوران خمشی
$\theta_c$ .....	دوران متناظر با نقطه C در شکل ۴
$\theta_y$ .....	دوران متناظر با نقطه تسليم
V.....	برش پایه

۱- برای قاب‌های مهاربندی شده با اتصال خورجینی که طبق ضوابط آئین نامه‌های ایران طراحی می‌شوند تراز عملکرد آستانه فرو ریزش، جابجایی بام به مقدار ۱/۵٪ ارتفاع سازه و تراز عملکرد ایمنی جانی ۶۰٪ جابجایی مربوط به تراز عملکرد آستانه فرو ریزش پیشنهاد می‌شود.

۲- با تحمل کاهش حدود ۱۷٪ در برش پایه ماکزیمم، با اجرای اتصالات بطریکه رفتار کاملاً مفصلی داشته باشند (مثلاً با حذف نبشی بالایی) می‌توان از ایجاد خرابی در اتصالات جلوگیری کرد.

۳- شروع خرابی غالباً از اتصالات خط ستون میانی کنار دهانه بادبندی در طبقات اول و دوم و همچنین طبقه سوم در سازه‌های بلندتر (زیر ۱۰ طبقه) بوده و پس از آن اتصالات خط ستون میانی دیگر در همین طبقات را در بر می‌گیرد. بنابراین اتصالات در طبقات یک-سوم پائینی ارتفاع سازه حساس تر بنظر می‌رسند.

۴- نمودار انرژی تلف شده و تعداد مفصل‌های تشکیل شده در سازه نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات، نقش اتصالات خورجینی در رفتار سازه بیشتر می‌شود.

۵- با بهسازی سازه می‌توان شکل پذیری و سطوح عملکرد آنرا افزایش داد. حتی بدون افزایش شکل پذیری اتصال خورجینی و فقط با تقویت بادبندها و ستون‌های دهانه بادبندی می‌توان آستانه فرو ریزش را تا ۲/۳٪ ارتفاع سازه افزایش داد.

## -۸ مراجع

- مطالعه صلبیت اتصالات خورجینی، بنیاد مسکن انقلاب  
اسلامی.
- 8-Computers & Structures Inc., "SAP2000 Structural Program", Berkeley, California.
- 9- Federal Emergency Management Agency (1997), "NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA-273, Washington, D.C.
- 10- Naeim, F. (2001), "Earthquake Engineering", John A. Martin and Associates, Inc., Los Angles, CA.
- 11- مقدم حسن (۱۳۸۱)، مهندسی زلزله - سازه های با کاربرد، انتشارات فراهنگ.
- 12- آئین نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنيه فنی (تجدید نظر در استاندارد ۵۱۹) (۱۳۷۹)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی.
- 13- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸)، آئین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش دوم.
- 14- مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث ۱۰: طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی.

- ۱- صادقیان پدرام، (۱۳۷۸)، اتصالات خورجینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- ۲- مژروعی علی و مصطفایی حسین، (۱۳۷۷)، «روش های بهسازی اتصالات خورجینی»، دومنین کارگاه تخصصی اتصالات خورجینی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- ۳- علوی عرفان، (۱۳۷۵)، رفتار دینامیکی سازه های با اتصالات نیمه صلب (خورجینی) تحت اثر پیچش، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۴- مقدم حسن و کوهیان رویا، (۱۳۷۴)، مقاومت ساختمانهای فولادی با اتصالات نیمه صلب (اتصالات خورجینی) تحت نیروهای زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- ۵- طریقت امیر، (۱۳۷۲)، مطالعه رفتار الاستیک اتصالات خورجینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۶- فلاح احمد علی، (۱۳۷۳)، آنالیز دینامیکی غیرخطی اتصالات خورجینی تحت نیروهای زلزله، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- ۷- طاحونی شاپور و فرهودی جمشید، (۱۳۷۷)، گزارش

