



# 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 ضربی 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 ۱/۵٪ ارتفاع سازه و تراز عملکرد ایمنی جانی ۶۰٪ 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)

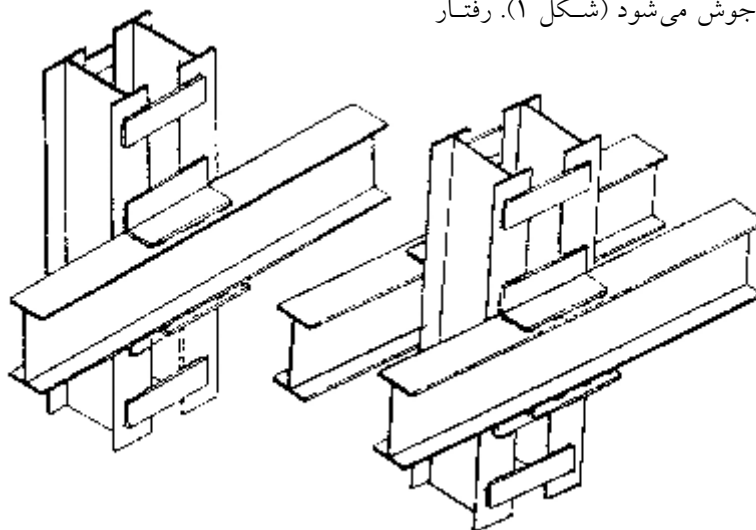
۱. استاد قطب مطالعات بنیادی در مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران ghodrati@iust.ac.ir

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

این اتصال نیمه گیردار می باشد. بعد از زلزله رودبار و منجیل و مشاهده خرابی های بسیار در ساختمان های دارای اتصال خورجینی تحقیقات آزمایشگاهی و تئوریک چندی برای بررسی رفتار اتصال خورجینی انجام شد [۷-۱]. علی رغم اینها تاکنون ضوابط خاصی برای طراحی اتصال خورجینی ارائه نشده و نتایج تحقیقات مذکور نیز بطور مدون برای استفاده عملی ارائه نگشته است.

یکی از سیستم های سازه ای که در ساخت و ساز ساختمان های 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 کرده اند و روی دو نبشی نشیمن که به ستون جوش شده اند قرار می گیرند. همچنین دو نبشی نیز روی بال بالایی تیر و وجه ستون جوش می شود (شکل ۱). رفتار



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

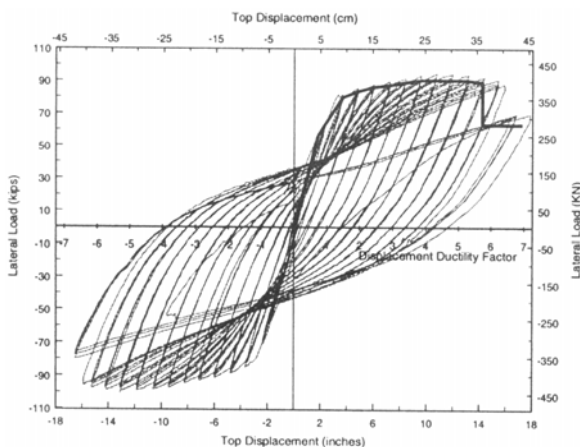
بهسازی، بادبندها و ستون های دهانه بادبندی می باشند. علاوه بر این، اثر افزایش شکل پذیری اتصال خورجینی را هم بررسی می کنیم. در مورد تیرها، چون مقاومت تیرها بیشتر از مقاومت اتصالات است غالباً اتصالات پیش از تیرها به مرحله خرابی رسیده و دیگر نمی توانند بین ستون ها و تیرها، لنگر خمشی منتقل کنند. در نتیجه تغییر مقطع تیر تأثیری در بهسازی سازه ندارد.

## ۲- مدلسازی المان ها

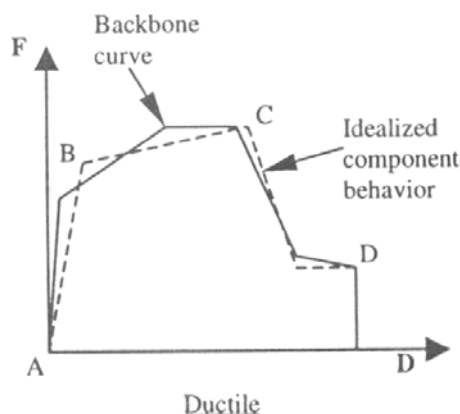
تحلیل قاب ها به روش استاتیکی غیرخطی (Pushover) و با کمک نرم افزار SAP2000 [۸] انجام می شود. در این برنامه با اختصاص مفاصل پلاستیک در طول المان های الاستیک، رفتار غیر خطی سازه مدل می شود. یعنی در مقطعی از طول المان که احتمال می رود به مقاومت پلاستیک خود برسند (نقاط ممان های بحرانی)، یک

در سال های اخیر روش جدیدی برای طراحی ساختمان های 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 شکل های ساختمان بر اساس سطح عملکرد انتخابی به مقدار مشخصی محدود می گردد. بر اساس مطالعات منتشر شده روش فوق در کنترل خسارت رسیده به سازه ها و داشتن طرحی ایمن تر موفق تر بوده است [۹]. با توجه به موجود نبودن این معیارها برای قاب های با اتصال خورجینی، در این تحقیق سعی داریم سطوح عملکرد ایمنی جانی و آستانه فرو ریزش را برای قاب های خورجینی طراحی شده بر اساس ضوابط آئین نامه های ایران بدست آوریم. بعد از آن با بهسازی سازه ها، سعی می کنیم شکل پذیری آنها را افزایش دهیم. المان های موثر در

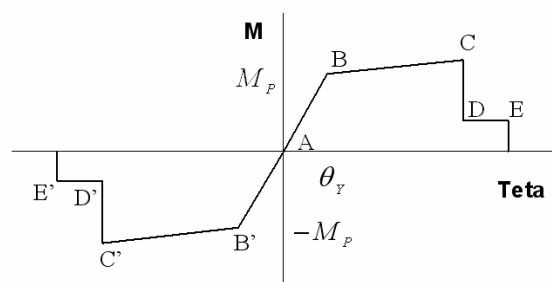
پلاستیک محوری در فولاد در حالت کلی در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



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



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

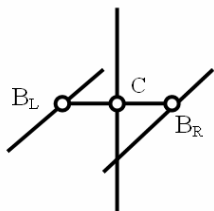


شکل (۴): رابطه لنگر - دوران یک مفصل پلاستیک خمشی

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 پوش آور (Pushover) با برنامه SAP2000 نسبت به تحلیل پوش‌آور (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 هیستریک یا (Backbone Curve) مربوط به رفتار خمشی، 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 تسلیم کششی یا کماتش فشاری خواهد بود. همچنین نیروهای داخلی در تیرها و ستون‌ها به ترتیب خمشی و خمشی-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 تسلیم کششی یا کماتش 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 متمرکز مفصل پلاستیک خمشی اختصاص و به دو انتهای بالا و پایین ستون‌ها، مفصل خمشی-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 خمشی 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 (۱d) بدست می آید.



شکل (۶): مدل سازی اتصال خورجینی با میله پیچشی

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

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

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

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

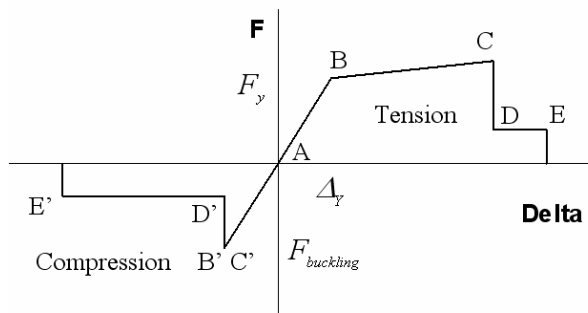
برای مشخصات اتصال خورجینی از منحنی لنگر - چرخش بدست آمده از نتایج آزمایش های انجام شده روی اتصال خورجینی ساده استفاده می شود [۱۱]. این منحنی با یک نمودار چهار خطی مطابق شکل ۷ به صورت ایده آل درآمده و در بلوک مفصل های مربوط به آنالیز پوش آور (Pushover) برنامه SAP2000 به صورت مشخصات پیچشی یک مفصل تعریف 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 تمهیدات 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.

$$M_y = 5.5 \quad (ton.m)$$

$$\theta_y = 0.0025 \quad (rad)$$

$$M_c = 1.2M_y$$

$$\theta_c = 6\theta_y$$



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

محوری

برای کاهش درجات آزادی مدل کامپیوتری یک سازه از روش زیرسازه ها در مدل سازی استفاده می شود. با استفاده از این روش، مدل سازی کامپیوتری و کنترل خروجیها راحت تر شده و امکان بررسی نمونه های بیشتر را می دهد. در این روش ابتدا رفتار اجزای مختلف سازه ای، بر اساس مدل سازی اختصاصی با کامپیوتر یا در آزمایشگاه تعیین می گردد. سپس در مدل کامپیوتری 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، تیرها و مهاربندها، برای برنامه SAP2000، مثل مدل سازی های معمولی عمل می شود. در مورد مدل سازی رفتار اتصال خورجینی و ستون مشبک در ادامه توضیح داده می شود.

## ۲-۱- مدل سازی 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

شکل‌های ستون مشبک را شبیه‌سازی کند. زیرا که تغییر شکل‌های المان معادل تابعی از دو مشخصه مساحت برشی و ممان اینرسی است. اما در ستون‌های مشبک علاوه بر این دو عامل، هندسه کلی ستون که مانند یک قاب سازه‌ای چند طبقه (با دو ستون در طرفین و با فرض بست‌ها بجای تیرها) عمل می‌کند نیز مؤثر است.

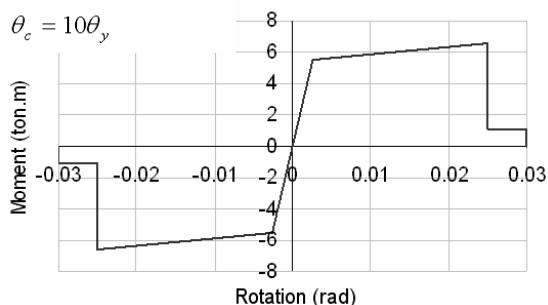
برای بررسی رفتار ستون مشبک، یک سازه ۴ طبقه سدهانه، دارای اتصال خورجینی تحت بار جانبی بررسی شد. در این مدل ستون‌ها به صورت دابل با بست مدل شدند. نخست ستون‌های این سازه دارای دوران‌های آزاد در دو انتها بودند. در این حالت تغییر شکل‌های سازه تحت بارهای جانبی و ثقلی بدست آمد. بار دیگر دوران‌های دو انتهای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

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

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

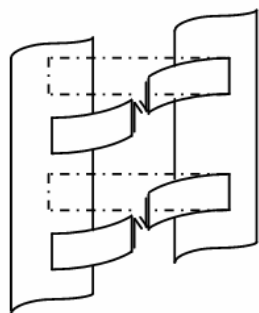
$$M_c = 1.2M_y$$

$$\theta_c = 10\theta_y$$

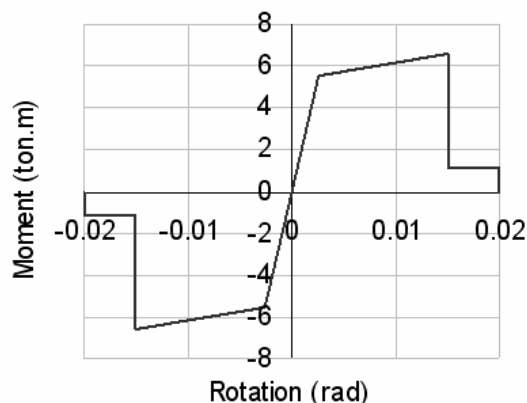


شکل (۸): منحنی لنگر - چرخش ایده آل شده اتصال

خورجینی با شکل پذیری افزایش یافته [۱۱]



شکل (۹): تغییر شکل برشی بست‌ها در ستون مشبک



شکل (۷): منحنی لنگر - چرخش ایده آل شده اتصال

خورجینی [۱۱]

## ۲-۲- ستون‌های مشبک

ستون مشبک عبارت است از دو پروفیل IPE که موازی هم قرار گرفته و با استفاده از تسمه‌هایی که در فواصل مساوی روی آنها جوش می‌شوند به هم متصل شده و تشکیل یک ستون را می‌دهند. در طراحی سازه‌ها فرض می‌شود که دو پروفیل در ستون مشبک صددرصد با هم کار می‌کنند و در نتیجه ممان اینرسی کل مقطع که متشکل از مقطع دو پروفیل است در محاسبات استفاده می‌شود. اما باید دانست که درصد هماهنگی دو پروفیل تابعی از تغییر شکل‌های عمدتاً برشی بست‌ها می‌باشد. در ستون‌هایی که در سراسر طول آنها ورق جوش می‌شود به دلیل مساحت برشی زیاد ورقها، تغییر شکل‌های برشی در طول ستون بسیار ناچیز بوده و فرض یک مقطع صلب متشکل از دو پروفیل و ورقهای دو طرف، درست است. اما در ستون‌های مشبک تغییر شکل‌های برشی بست‌ها قابل توجه بوده و هماهنگ عمل کردن دو پروفیل را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۹).

اثر این رفتار کاهش سختی ستون و افزایش تغییر شکل‌های جانبی آن می‌باشد. برای استفاده از روش زیرسازه‌ها، بجای ستون‌های مشبک باید المان معادلی تعریف شود که همان رفتار را در سازه داشته باشد. مدلسازی و بررسی‌های دقیق ستون‌های مشبک نشان داد که یک مقطع منشوری معادل نمی‌تواند کلیه تغییر

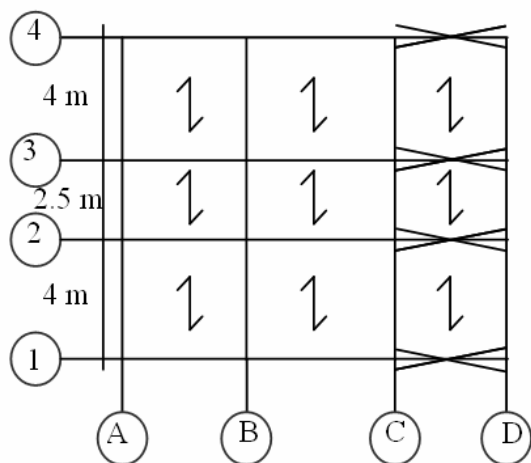
طراحی، از ممان اینرسی مقطع کامل، و در مطالعه رفتار واقعی سازه با تحلیل استاتیکی غیرخطی، از ممان اینرسی مؤثر استفاده شده است. اما اساس مقطع الاستیک و پلاستیک و شعاع ژیراسیون، بر اساس مقطع کامل می‌باشند. زیرا که اثر کاهش ممان اینرسی روی کاهش سختی و افزایش تغییرشکل‌ها است. اما اساس مقطع و شعاع ژیراسیون در محاسبه تنش‌ها بکار می‌روند. در نتیجه باید از مشخصات مقطع کامل اقتباس شوند. ممان اینرسی مؤثر ستون‌های مشبک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که دیده می‌شود ممان اینرسی مؤثر حدود ۳۰٪ تا ۴۰٪ کمتر از ممان اینرسی مقطع کامل است.

از این بررسی نتیجه گرفته می‌شود که می‌توان با تقریب قابل قبول ستون دابل را با المان منشوری معادلی که رفتار برشی دارد مدل کرد. به این صورت که المان معادل و ستون دابل با بست افقی (به صورت یک قاب یک دهانه و بست‌ها بجای تیرها) هر دو دارای پای گیردار و انتهای دیگر دارای جابجائی جانبی آزاد و بدون دوران، تحت بار جانبی یکسان قرار می‌گیرند. با برابر قرار دادن تغییرشکل جانبی 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 مؤثر ستون‌های مشبک و درصد کاهش نسبت به حالت مقطع کامل

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



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

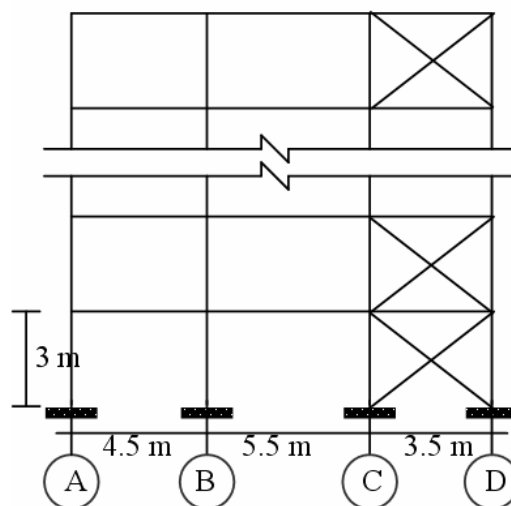
#### ۳-۱- هندسه و بارگذاری مدل‌ها

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  $1500(kg/m)$  و  $500(kg/m)$  و روی تیرهای طبقات به ترتیب  $1900(kg/m)$  و  $700(kg/m)$  می‌باشد. بار متمرکز مرده روی ستون‌های واقع در محور A و D در تراز بام  $700(kg)$  و در طبقات  $1100(kg)$  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 کماتش می‌کند و کارایی خود را از دست می‌دهد. در نتیجه شکل‌پذیری سازه تابعی از مشخصات بادبندهای کششی و دیگر اجزای سازه‌ای خواهد بود. از طرف دیگر سختی زیاد بادبندهای کششی باعث کماتش و خرابی زود هنگام ستون‌ها شده و شکل‌پذیری 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 شکل‌پذیری 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 شکل‌پذیری سازه را افزایش داد و از خرابی آن در اثر کماتش ستون‌ها جلوگیری کرد. در این راستا باید هندسه مقطع بادبند را مناسب انتخاب کرد. طوری که تا حد ممکن لاغری ماکزیمم، کاهش یابد و لاغری حول هر دو محور مقادیری نزدیک به هم داشته باشند. مثلاً بجای استفاده از دو ناودانی 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 شکل‌پذیری بیشتر بدست می‌آید.



شکل (۱۱): نمای کلی قاب‌های مورد بررسی

ساختمان با اهمیت متوسط  $I = 1$ . مهاربندی هم‌محور فولادی  $R = 6$ . پهنه با خطر نسبی زیاد  $A = 0.3$ . زمین نوع III  $T_o = 0.7$ . وزن موثر هر قاب میانی برای محاسبه نیروی زلزله در تراز بام  $30$  (ton) و در طبقات  $36$  (ton) بوده و توزیع نیروی زلزله در طبقات (الگوی بارگذاری) بر اساس آئین‌نامه  $2800$  ویرایش دوم می‌باشد.

### ۳-۲- شکل‌پذیر کردن سازه

المان‌های سازه‌ای عبارتند از تیر، ستون، بادبند و اتصال خورجینی و هر یک دارای سه خصوصیت مقاومت، سختی و شکل‌پذیری هستند. رفتار سازه تابعی از خصوصیات المان‌های آن است. در بهسازی سازه برای افزایش شکل‌پذیری ابتدا سعی می‌کنیم با تغییر مقطع بادبند و ستون‌های دهانه بادبندی به هدف مورد نظر در شکل‌پذیری برسیم. این کار به معنای تغییر سختی المان‌های سازه است. در صورت کافی نبودن، شکل‌پذیری اتصال خورجینی را به مقدار لازم افزایش می‌دهیم تا به هدف مورد نظر در شکل‌پذیری سازه برسیم. البته، با این فرض که با تمهیدات ساده اجرایی، بتوان شکل‌پذیری 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

### ۳-۳- روند بررسی مدل‌ها

هر قاب ابتدا بر اساس آئین‌نامه ۵۱۹ [۱۲] بارگذاری ثقلی و براساس آئین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله [۱۳]، بارگذاری جانبی استاتیکی معادل شده و بر اساس آئین‌نامه 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 پوش‌آور مورد بررسی قرار می‌گیرند. الگوی بارگذاری جانبی در آنالیز پوش‌آور بر اساس الگوی بارگذاری آئین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. روند بررسی سازه‌ها به صورت ذیل است:

۱- ابتدا در سازه طراحی شده اتصال خورجینی معمولی قرار داده شده و آنالیز پوش‌آور (Pushover) می‌گردد. از این مدل با عنوان سازه آئین‌نامه‌ای نام می‌بریم.

۲- برای بررسی اثر سختی اتصال در رفتار سازه آئین‌نامه‌ای، اتصال خورجینی تبدیل به اتصال مفصلی شده سپس سازه آنالیز پوش‌آور (Pushover) می‌گردد. عنوان این مدل سازه آئین‌نامه‌ای با اتصال قیچی است.

۳- در این مرحله، بند ۵-۱ از پیوست شماره ۲ آئین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش دوم) برای نیروی فشاری و کششی ستون‌ها کنترل شده، در صورت عدم ارضاء، پس از اعمال آن سازه جدید آنالیز پوش‌آور (Pushover) می‌گردد. عنوان این مدل، سازه تقویت شده طبق ضابطه پیوست ۲۸۰۰ است. بند ۵-۱ از پیوست شماره ۲ آئین‌نامه ۲۸۰۰ بصورت زیر است:

### ۱-۵- مقاومت ستون

در طراحی ستون‌های سازه‌های مقاوم در برابر زلزله باید مبحث ۱۰ 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:

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

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

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 پوش‌آور (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 پوش‌آور (Pushover) تا ۵٪/۲ 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 ۵٪/۲ ارتفاع است.

۶- در صورتیکه در سازه‌های بهسازی شده از اتصال با شکل‌پذیری افزایش یافته استفاده شده باشد در مرحله آخر با قرار دادن اتصال معمولی، آنالیز پوش‌آور (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 ببینند. 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 پوش‌آور (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.



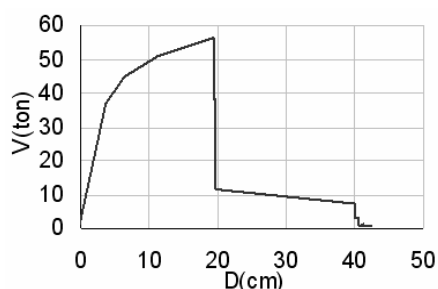
#### ۴- آنالیز و استخراج نتایج

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

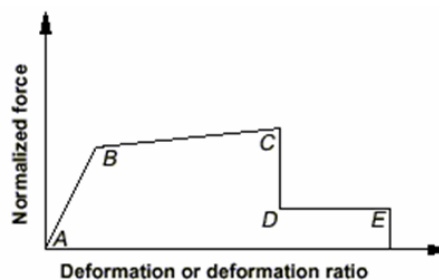
مدل ۴-۱) قاب ۴ طبقه - سازه آئین‌نامه‌ای: این قاب ضابطه پیوست آئین‌نامه ۲۸۰۰ را برآورده می‌کند.

الگوی خرابی: خرابی بادبند کششی طبقه سوم و تشکیل زود هنگام طبقه نرم. تراز عملکرد ایمنی جانی تا قبل از آستانه فروریزش مشاهده نشد و تراز آستانه فروریزش

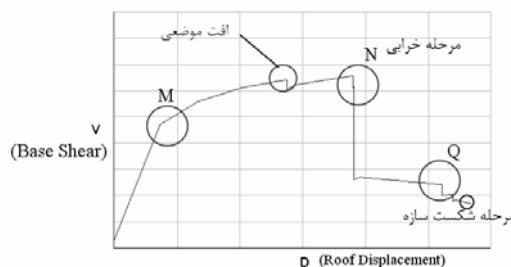
۱/۵۸٪ ارتفاع سازه است. (جدول ۲ و شکل ۱۴)



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



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



شکل (۱۳): نمودار شماتیک پوش آور (Pushover)

یک سازه و موقعیت‌های مهم آن

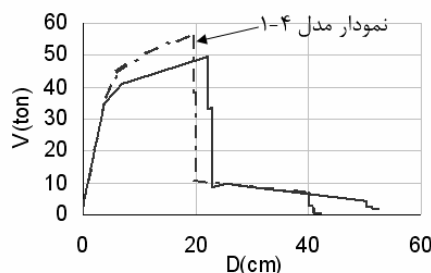
جدول (۲): مقاطع المان‌های قاب (اتصال با شکل‌پذیری معمولی)

Story	ستون خط 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	2 IPE18+PL16*8	2 UNP8

مدل ۴-۳) 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 ایمنی جانی ۱/۳۳٪ ارتفاع سازه و آستانه فرو ریزش ۲٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فروریزش می‌باشد (جدول ۳ و اشکال ۱۶ و ۱۷).

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



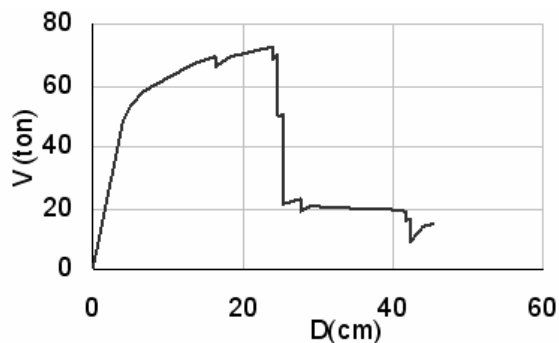
شکل (۱۵): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۲

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

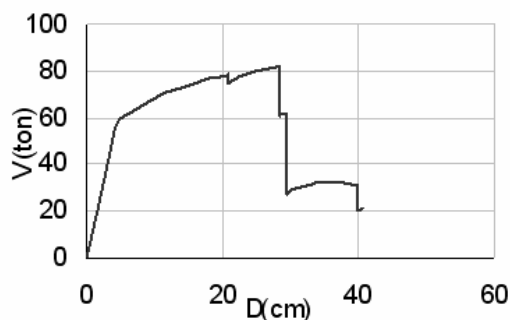
Story	ستون خط A	ستون خط B	ستون خط C, D	Brace
4	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14	2 L60/8
3	2 IPE14	2 IPE14	2 IPE14+PL12*6	2 UNP8
2	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE20+PL18*8	2 UNP8
1	2 IPE14	2 IPE18	2 IPE20+PL18*8	2 UNP10

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

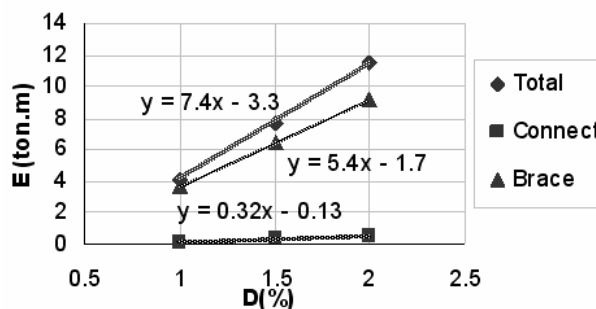
الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه اول. تراز عملکرد ایمنی جانی ۱/۶۶٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۲/۴۱٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۶۸٪ تراز آستانه فروریزش می‌باشد (جدول ۴ و شکل ۱۸).



شکل (۱۶): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۳-۴



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



شکل (۱۷): نمودار انرژی هیسترتیک المانهای مدل ۳-۴

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

Story	ستون خط 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+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

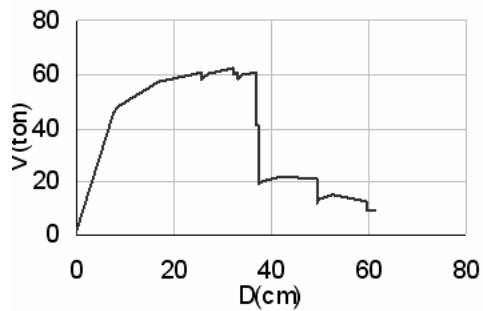
اول خط B. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقات اول و دوم. تراز عملکرد ایمنی جانی ۱/۳۸٪ ارتفاع و آستانه فروریزش ۲٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۶۹٪ تراز آستانه فروریزش می‌باشد (جدول ۵ و اشکال ۱۹ و ۲۰).

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

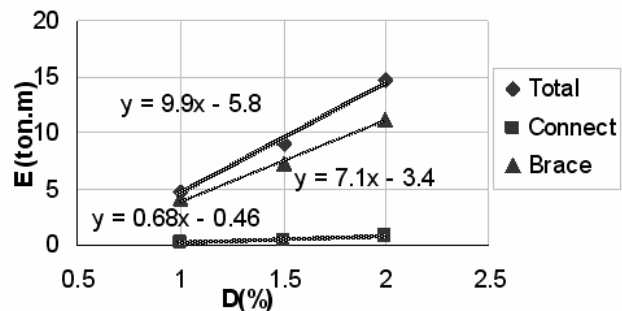
الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه

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

Story	ستون خط A	ستون خط B	ستون خط C, D	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	2 IPE18+PL16*.8	2 UNP8
2	2 IPE14	2 IPE18+PL16*.8	BOX 20*1.5	2 UNP8
1	2 IPE14	2 IPE18+PL16*.8	BOX 20*1.5	2 UNP8

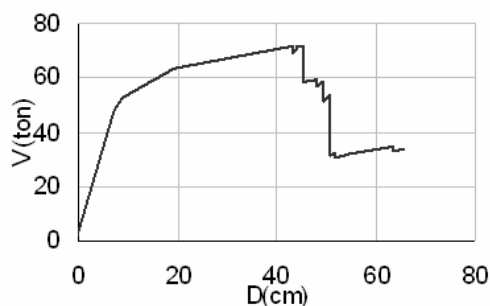


شکل (۲۰): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۵-۴



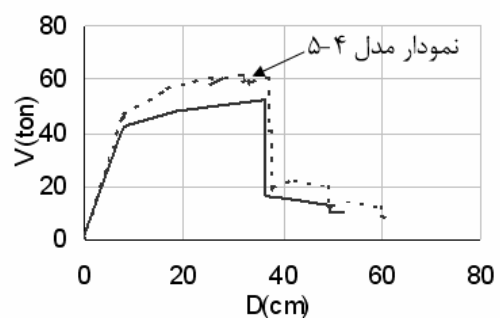
شکل (۱۹): نمودار انرژی هیسترتیک المان‌های مدل ۵-۴

مدل ۷-۴ قاب ۶ طبقه - سازه به‌ساخته با هدف جابجایی N تا ۲/۵٪: الگوی خرابی: خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی بادبند کششی طبقه اول. تراز عملکرد ایمنی جانی ۲/۳۳٪ ارتفاع و آستانه فروریزش ۲/۵٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۹۳٪ آستانه فروریزش می‌باشد (جدول ۶ و شکل ۲۲).



شکل (۲۲): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۷-۴

مدل ۶-۴ 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 حداکثر سازه حدود ۱۷٪ کاهش می‌یابد (شکل ۲۱).



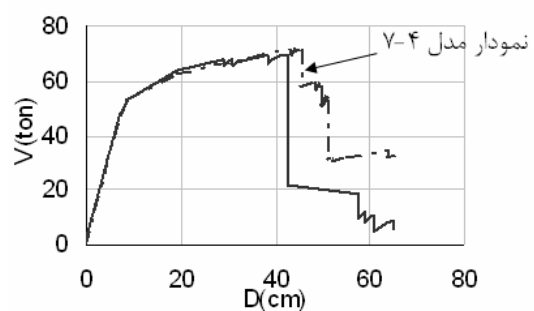
شکل (۲۱): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۶-۴

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

Story	ستون خط A	ستون خط B	ستون خط C, D	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	2 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 ۴-۸) قاب ۶ طبقه - مدل (۴-۷) با اتصال خورجینی معمولی:

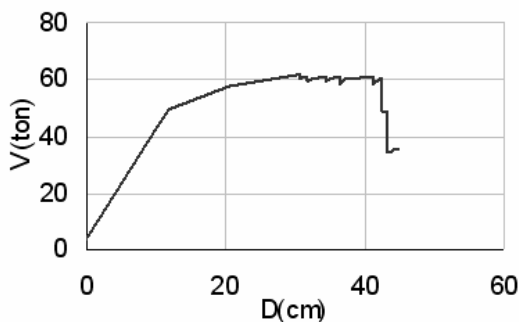
الگوی خرابی: به ترتیب ابتدا خرابی اتصال طبقه اول خط C. خرابی اتصال طبقه دوم خط C. خرابی اتصال طبقه سوم خط C. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه سوم. تراز عملکرد ایمنی جانی ۱/۵۵٪ ارتفاع و آستانه فروریزش ۲/۳۳٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فروریزش می باشد. همچنانکه دیده می شود 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

مدل ۴-۹) 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 دوم خط B. خرابی اتصال طبقه اول خط B. خرابی نهایی در اثر خرابی بادبند کششی طبقه دوم. تراز عملکرد ایمنی جانی ۱/۲۵٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۱/۷۵٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۷۱٪ تراز آستانه فروریزش می باشد (جدول ۷ و شکل ۲۴).

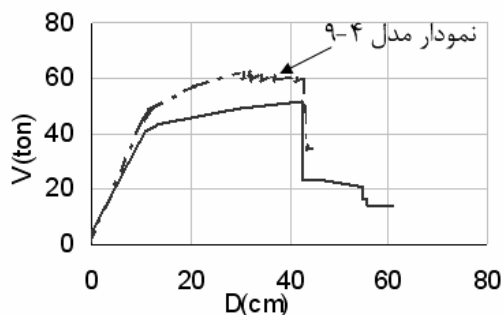


شکل (۲۴): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۹-۴

جدول (۷): مقاطع المانهای قاب

Story	ستون خط A	ستون خط B	ستون خط C, D	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

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



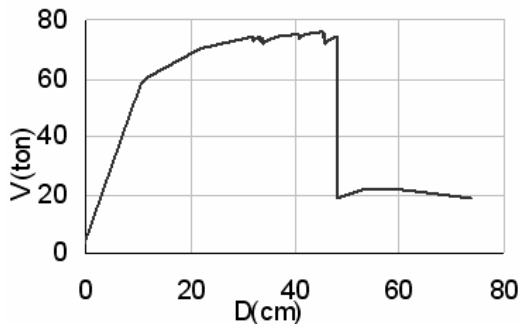
شکل (۲۵): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۱۰-۴

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

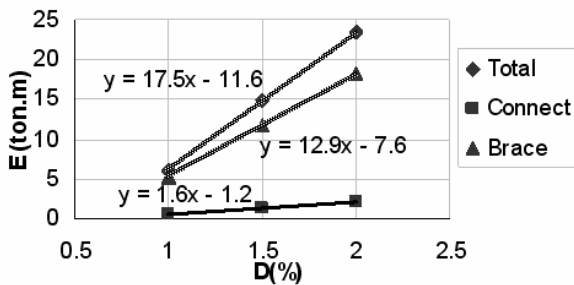
الگوی خرابی: خرابی بادبند کششی طبقه سوم. از نظر عملکرد شکل پذیری دو سازه در حدود هم است اما بدون اتصال خورجینی برش پایه حداکثر سازه در حدود ۱۷٪ کاهش می یابد (شکل ۲۵).

مدل ۴-۱۱) 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 ستونهای C و D

و آستانه فرو ریزش 1.96% ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد (جدول ۸ و اشکال ۲۷ و ۲۸).

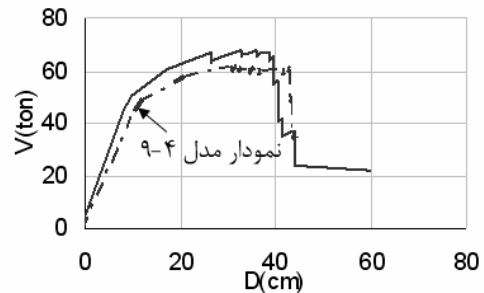


شکل (۲۷): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۱۲



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

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 ایمنی جانی ۱/۲۹٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۱/۹۶٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۶۶٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد (شکل ۲۶).



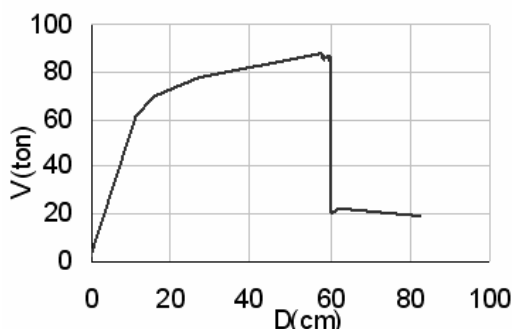
شکل (۲۶): نمودار پوش آور (Pushover) مدل ۴-۱۱

مدل ۴-۱۲) 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 دوم. تراز عملکرد ایمنی جانی 1.29% ارتفاع

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

Story	ستون خط A	ستون خط B	ستون خط C,D	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 ۴-۱۳

مدل ۴-۱۳) 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 ایمنی جانی ۲/۳۷٪ ارتفاع و آستانه فرو ریزش ۲/۴۶٪ ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی ۹۶٪ تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد. (جدول ۹ و شکل ۲۹)

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

Story	ستون خط A	ستون خط B	ستون خط C,D	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	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

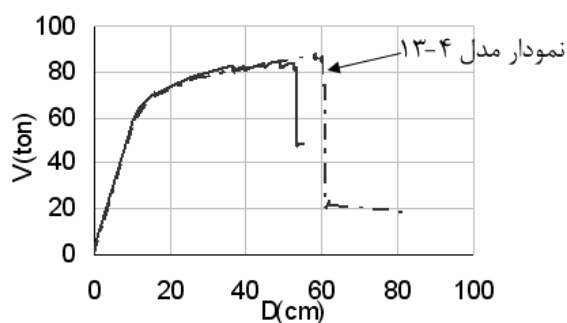
با توجه به تحلیل‌های انجام شده و تعاریف آستانه‌های عملکرد، اگر بخواهیم یک مقدار دست پائین اختیار کنیم تراز عملکرد آستانه فرو ریزش را می‌توان جابجایی بام به مقدار  $1/5$  ارتفاع سازه و تراز عملکرد ایمنی جانی را  $60\%$  جابجایی مربوط به تراز عملکرد آستانه فرو ریزش در نظر گرفت.

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 حداکثر حدود  $17\%$  کاهش می‌یابد. پس در صورتیکه کاهش برش پایه حداکثر، اشکالی ایجاد نماید می‌توان با اجرای اتصالات بصورتی که رفتار مفصلی داشته باشند (مثلاً با حذف نبشی بالایی که باعث می‌شود مانعی برای چرخش تیرها و ستونها نسبت به هم وجود نداشته باشد) خرابی اتصالات را منتفی 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 ۴-۱۴) قاب ۸ طبقه - مدل (۴-۱۳) 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 ایمنی جانی  $1/5$  ارتفاع و آستانه فرو ریزش  $2/2$  ارتفاع سازه است. تراز ایمنی جانی  $68\%$  تراز آستانه فرو ریزش می‌باشد. همچنان که دیده می‌شود با افزایش شکل‌پذیری اتصال خورجینی جابجایی موقعیت N در حدود  $11\%$  و برش پایه حداکثر  $6\%$  افزایش می‌یابد (شکل ۳۰).



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

## ۵- بحث و بررسی نتایج

در این تحقیق دیده می‌شود که افت‌های موضعی در نمودار پوش آور (Pushover) که تعیین‌کننده تراز ایمنی 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.

استفاده از اتصال با شکل پذیری بیشتر باعث می شود 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 می شود 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- نتیجه گیری

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

۱- برای قاب های مهاربندی شده با اتصال خورجینی که طبق ضوابط آئین نامه های ایران طراحی می شوند 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 می شود.

۲- با تحمل کاهش حدود ۱۷٪ در برش پایه ماکزیمم، با اجرای اتصالات بطوریکه رفتار کاملاً مفصلی داشته باشند (مثلاً با حذف نبشی بالایی) می توان 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 سازه های بلندتر (زیر ۱۰ طبقه) بوده و پس از آن اتصالات خط ستون میانی دیگر در همین طبقات را در بر می گیرد. بنابراین اتصالات در طبقات یک-سوم پائینی ارتفاع سازه حساس تر بنظر می رسند.

۴- نمودار انرژی تلف شده و تعداد مفصل های تشکیل شده در سازه نشان می دهد که با افزایش تعداد طبقات، نقش اتصالات خورجینی در رفتار سازه بیشتر می شود.

۵- با بهسازی سازه می توان شکل پذیری و سطوح عملکرد آنرا افزایش داد. حتی بدون افزایش شکل پذیری اتصال خورجینی و فقط با تقویت بادبندها و ستون های دهانه بادبندی می توان آستانه فرو ریزش را تا ۲۳٪ ارتفاع سازه افزایش داد.

۶- همانطور که دیده می شود خرابی نهایی در اثر اضمحلال بادبند های 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 ارتجاعی عمل کنند و یا اینکه با افزایش شکل پذیری، از خرابی آنها پیش از خرابی سازه جلوگیری کرد.

## ۷- فهرست علائم

d.....	قطر میله
D.....	تغیر مکان بام
$\Delta$ .....	تغیر شکل
$\Delta y$ .....	تغیر شکل محوری متناظر با نقطه تسلیم
E.....	مدول الاستیسیته فولاد
F.....	نیروی محوری
F <sub>buckling</sub> .....	نیروی محوری متناظر با کماتش
F <sub>y</sub> .....	نیروی محوری متناظر با نقطه تسلیم
$\phi$ .....	زاویه پیچش میله
G.....	مدول برشی میله
h.....	ارتفاع ستون مشبک
I.....	ممان اینرسی مؤثر ستون مشبک
J.....	ممان اینرسی پیچشی مقطع دایره
$k_t$ .....	سختی پیچشی اتصال در مرحله ارتجاعی
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 تسلیم
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 تسلیم
V.....	برش پایه

## 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 Angeles, CA.

۱۱- مقدم حسن (۱۳۸۱)، مهندسی زلزله - مبانی و کاربرد، انتشارات فراهنگ.

۱۲- آئین نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی (تجدید نظر در استاندارد ۵۱۹) (۱۳۷۹)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی.

۱۳- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸)، آئین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش دوم.

۱۴ - مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث ۱۰: طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی.

۱- صادقیان پدram، (۱۳۷۸)، اتصالات خورجینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

۲- مزروعی علی و مصطفایی حسین، (۱۳۷۷)، «روش های بهسازی اتصالات خورجینی»، دومین 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