

# روشی برای طراحی لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی با مکانیزم شکست سراسری

کاوه وثوقی  
کارشناسی ارشد

فرهاد دانشجو  
دانشیار

بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس

## چکیده

تشکیل مفاصل پلاستیک و نحوه توزیع آنها و مکانیزم شکست نقش بسیار مهمی را در طراحی لرزه‌ای قابهای فولادی خمشی ایفا می‌نماید. نوع مکانیزم قابها تحت تأثیر نیروی زلزله و حتی یک قاب تحت زلزله‌های مختلف، متفاوت است و بر حساسیت قاب نسبت به اثرات ثانویه و مقدار شکل‌پذیری کلی و موضعی و میزان جذب انرژی و پایداری سازه تا قبل از خسارت و ناپایداری کلی و انهدام آن اثر می‌گذارد. مکانیزم شکست سراسری در قابها بیشترین میزان جذب انرژی را در برابر زلزله از خود نشان می‌دهد ولی تاکنون قوانین طراحی ساده‌ای که از ایجاد مکانیزم‌های غیر سراسری در قابها تحت تأثیر زلزله‌های مختلف جلوگیری نماید ارائه نشده است. در این مقاله یک روش ساده برای طراحی لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی ارائه می‌شود که بر اساس آن مکانیزم شکست تحت اثر نیروی زلزله به صورت مکانیزم شکست سراسری خواهد بود و با تغییر مشخصه‌های زلزله، نوع مکانیزم شکست در قابها تغییر نمی‌کند. برای این منظور نه قاب فولادی خمشی سه، شش و ده طبقه و یک، دو و سه دهانه بر اساس آیین نامه ۵۱۹ و ۲۸۰۰ و مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران و با در نظر گرفتن معیار نسبت مقاومت ستون به تیر مندرج در آیین نامه ۲۸۰۰ و روش ستونهای یکسان و روش آقای گرسی و روش پیشنهادی طراحی گردیده و تحت اثر زلزله‌های طبرستان، ناغان و الاسترو و توسط نرم‌افزار DRAIN-2DX آنالیز غیر خطی دینامیکی تاریخچه زمانی می‌شوند و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در هنگام شکست در آنها بررسی می‌گردد و نتایج مقایسه می‌شوند.

## کلمات کلیدی

مکانیزم شکست سراسری، طراحی لرزه‌ای، قابهای خمشی فولادی، مفصل پلاستیک

## A New Seismic Design Method for Steel Moment Resisting Frames to Fail in Global Mode

F. Daneshjoo  
Associate Professor

K. Vosoughi  
M.Sc

Engineering Faculty Civil Engineering Department,  
Tarbiat Modarres University

### Abstract

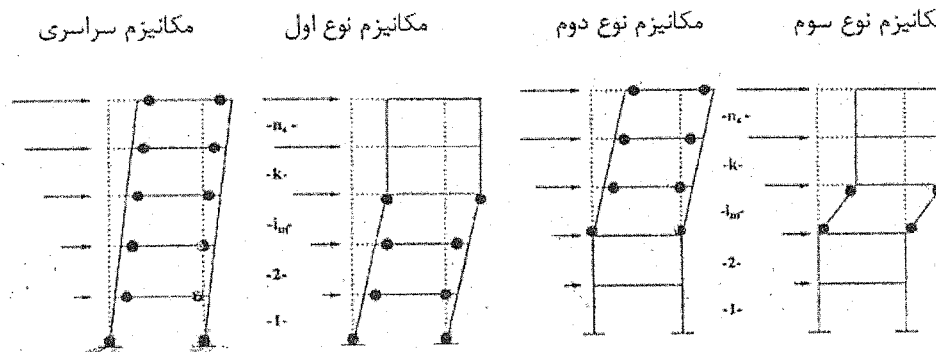
*The plastic hinge formations and collapse mechanism play an important role in seismic design of steel moment resisting frames (SMRF). Failure mode affects the sensitivity of frame to second order effects. It also influences local and global ductility, energy dissipation capacity and stability of structure before complete failure. Global mechanism of SMRF in which plastic hinges are formed at beam ends and at bottom of first story columns includes the highest capacity of energy dissipation. In this paper a new simple method is presented for seismic design of steel moment resisting frames so that these frames fail in global mechanism mode under any seismic force. For this purpose, seismic behaviour of nine SMRFs including 3, 6 and 10 storey frames with 1, 2 and 3 bays are analysed under Tabas, Elcentro and Naghan earthquake loading using Drain-2Dx software and nonlinear time history dynamic analysis method. The results are then compared with those of previous research works.*

## Keywords

Global Mechanism, Seismic Design, Plastic hinge, SMRF

## مقدمه

مکانیزم شکست قابهای خمشی تحت اثر زلزله را می‌توان مطابق شکل ۱ در سه نوع عمده (اول، دوم و سوم) و مکانیزم سراسری در نظر گرفت. مکانیزم نوع اول مکانیزم حاصل از ایجاد مفاصل در تیرها و ستونهای چند طبقه اول و مکانیزم نوع دوم مکانیزم حاصل از ایجاد مفاصل در تیرها و ستونهای چند طبقه فوقانی و مکانیزم نوع سوم مکانیزم یک طبقه میانی را شامل می‌شود. مکانیزم شکست نوع سراسری یا کلی یک حالت خاص از مکانیزم نوع دوم می‌باشد که در آن مفاصل پلاستیک در دو انتهای کلیه تیرها و در ستونهای طبقه اول در نزدیکی اتصال به شالوده می‌باشد.



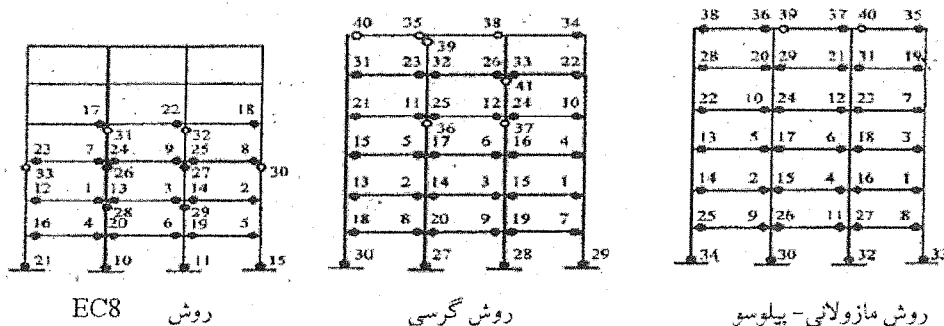
شکل (۱) انواع مکانیزم‌های شکست قابهای خمشی تحت اثر نیروهای افقی لرزه‌ای.

در آئین نامه‌های لرزه ای جدید کاهش شکل پذیری موجود بخاطر مکانیزم شکست نامطلوب برای محاسبه معیارهای طراحی که هدف آن بهره‌برداری از ذخایر پلاستیک از طرح سازه می‌باشد در نظر گرفته می‌شود. بنابراین بیشترین توجه به سمت آماده‌سازی قواعد طراحی ساده ایست که توانایی رسیدن به شکست سازه‌ها در حالت مکانیزم سراسری را داشته باشد. برخی از این قواعد در آئین نامه‌های لرزه‌ای و مقالات و تحقیقات آورده شده است. همچنین در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران [۱] هم یک نسبت مقاومت ستون به تیر داده شده است که برای بهبود مکانیزم شکست می‌باشد. البته توجه به این نکته ضروری است که هر چند حصول اطمینان از نوع شکست سراسری هنوز کاملاً میسر نیست ولی در نظر گرفتن معیارهای طراحی و امکان طراحی سازه طوریکه حتی بدون دست‌یابی به مکانیزم شکست سراسری بتواند زلزله‌های شدید را تحمل کند خیلی مهم به نظر می‌رسد، زیرا قوانین طراحی ساده ای که باعث شکست سازه از نوع مکانیزم سراسری شوند هنوز در دسترس نمی‌باشد.

در سال ۱۹۹۵ آقای «مازلوانی» و آقای «پیلوسو» [۲] یک روش برای طراحی قابهای فولادی مقاوم در برابر زلزله را پیشنهاد دادند. در این روش فرض می‌شود که مقاطع تیرها براساس مقاومت در برابر بارهای عمودی طراحی می‌گردند، ولی مقاطع ستونها نامشخص هستند. در این روش ضرایبی به اسم ضرایب شکست برای هر کدام از مکانیزم‌های شکست که امکان دارد در سازه رخ بدهد بدست می‌آید. سازه باید طوری طراحی شود که ضرایب شکست مربوط به مکانیزم سراسری از همه ضرایب مربوط به مکانیزم‌های دیگر کوچکتر باشد. در این صورت شکست سازه به صورت سراسری خواهد بود. تعیین مقاطع برای همه تیرها با در نظر گرفتن مقاومت کافی برای تحمل بارهای عمودی، تعیین یک مقدار آزمایشی برای ممان پلاستیک در ستونهای طبقه اول، ارزیابی مجموع ممانهای پلاستیک در طبقات دیگر و کنترل شرایط مربوط به کوچکتر بودن ضرایب شکست مکانیزم سراسری در مقایسه با مکانیزم‌های دیگر، تکرار گام‌های قبلی و کنترل کوچکتر بودن مقاومت ستونهای هر طبقه از مقاومت ستونهای طبقه بالایی و سپس تعریف مقاطع ستونها و ارزیابی مقاومت کل طبقه با بحساب آوردن اثر نیروی محوری، گام‌های اصلی در روش آقایان مازولانی و پیلوسو می‌باشند. در این روش نیازی به مطالعه نیروهای لرزه‌ای نیست و مکانیزم قاب به صورت سراسری خواهد بود. ولی طراحی با استفاده از این روش بسیار پیچیده و زمانبر می‌باشد.

در سال ۱۹۹۹ آقای «گری» [۳ و ۴] یک روش جدید را برای طراحی قابهای فولادی خمشی برای شکست در مد سراسری پیشنهاد داد. در روش گرسی مقاطع تیرها برای مقاومت در برابر بارهای عمودی طراحی شده‌اند، در صورتیکه مقاطع

ستونها با یک روش که به سازه اعمال می‌کند که مکانیزم شکست به صورت سراسری باشد، طراحی می‌شوند. شروع این روش رابطلهای است که آقای «گریسی» در تحقیقات خود بین مقاومت خمشی کل مقاطع ستونهای طبقه اول به مقاومت خمشی کل مقاطع تیرهای طبقه اول بدست آورده است. طراحی بر اساس این روش با تحقیقات آقای «مازولانی» و آقای «پیلوسو» و همچنین با آیین‌نامه EC8 با استفاده از مرجع [۳ و ۴] در شکل ۲ مقایسه شده است.



شکل (۲) نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در طراحی با روشهای مختلف در تحقیق آقای گریسی [۳].

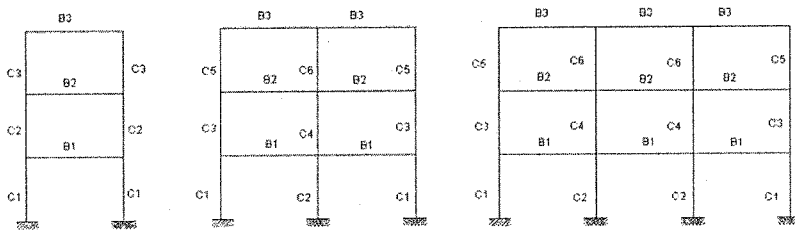
همانطور که دیده می‌شود روش مازولانی از لحاظ نوع تشکیل مفاصل پلاستیک و نزدیکی به مکانیزم سراسری از دو روش دیگر بهتر است و روش گریسی از این لحاظ بین روش مازولانی و EC8 می‌باشد. مقدار فولادی که در روش مازولانی مصرف می‌شود ۵۸٪ بیشتر از آیین‌نامه EC8 می‌باشد و در روش گریسی این مقدار افزایش ۳۳٪ می‌باشد. همچنین روش مازولانی بسیار زمان‌بر و پیچیده می‌باشد به نحوی که در اکثر مواقع استفاده عملی از آن تقریباً منتفی می‌شود [۳ و ۴]. هدف از تحقیق حاضر ارائه روشی ساده برای طراحی لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی است که بر اساس آن مکانیزم شکست تحت اثر نیروی زلزله به صورت مکانیزم شکست سراسری باشد و با تغییر مشخصه‌های زلزله، نوع مکانیزم شکست در قابها تغییر نکند. برای این منظور، در این مقاله ابتدا نه قاب فولادی خمشی سه، شش و ده طبقه یک، دو و سه دهانه با آئین‌نامه ۵۱۹ [۵] و ۲۸۰۰ [۱] بارگذاری و بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ایران [۶] و بدون در نظر گرفتن معیار نسبت مقاومت ستونها به تیر (در هر اتصال) مندرج در آئین‌نامه ۲۸۰۰ [۱] پیوست ۲ بند ۷-۵ طراحی می‌شوند. سپس یک بار دیگر قابها با در نظر گرفتن معیار نسبت مقاومت ستونها به تیر آئین‌نامه ۲۸۰۰ اصلاح می‌گردند. در گام بعدی مقاطع ستونها در هر طبقه یکسان می‌گردد. سپس با داشتن مقاطع تیرها از طراحی بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ایران و استفاده از روش آقای گریسی [۳ و ۴] ستونها دوباره طراحی می‌شوند. قابهای طراحی شده با استفاده از این چهار روش تحت اثر سه زلزله طیس، ناغان والسنترو و با استفاده از نرم افزار DRAIN-2DX آنالیز غیر خطی دینامیکی تاریخچه زمانی می‌گردند و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در هنگام شکست در آنها بررسی می‌شود. سپس یک روش جدید جهت طراحی قابهای خمشی فولادی پیشنهاد می‌شود که بر اساس آن مکانیزم شکست قابها تحت تأثیر زلزله‌های مختلف به صورت سراسری خواهد بود. در انتها نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در هنگام شکست و میزان مصرف فولاد در این روش با چهار روش ذکر شده مقایسه می‌گردد.

## ۱- طراحی مدلها

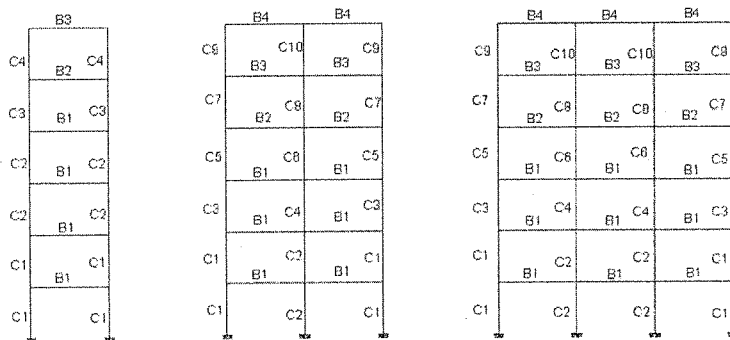
### ۱-۱- کلیات

یکی از اهداف اصلی طرح لرزه‌ای این است که از مکانیزم های جزئی شکست (مانند مکانیزم طبقه که مفاصل پلاستیک در بالا و پائین همه ستونها یک طبقه به وجود می‌آید) اجتناب گردد. تعدادی از معیارهایی که می‌خواهند به این هدف برسند در آئین‌نامه‌های لرزه‌ای یا پیشنهادات محققین در نظر گرفته شده است. ایده‌ای که زمینه همه قوانین آئین‌نامه‌هاست از نظر ادراکی خیلی ساده است. طراحی باید ابتدا بهترین مکانیزم شکست برای سازه را تعریف کند و سپس به مقطعی که بایستی در حالت الاستیک باقی بمانند یک مقاومت بیشتر نسبت به مکانیزم ظرفیت مقاومت پلاستیک را بدهد (معیار طراحی ظرفیت).

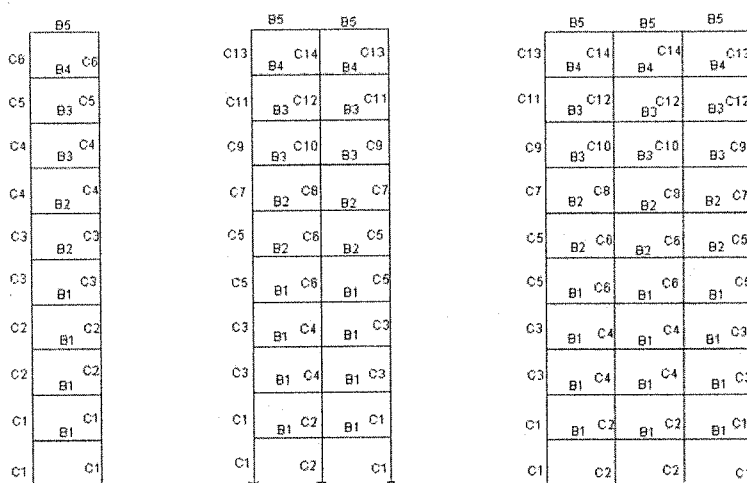
- لذا روندی که به وسیله همه آئین نامه‌های جدید برای این منظور وجود دارد را می‌توان در سه گام ذیل مرتب نمود:
- ۱- ارزیابی رفتار قاب تحت تاثیر بارهای ثقلی و نیروهای جانبی زلزله با فرض رفتار الاستیک.
  - ۲- تعریف مقاومت و دیتیل‌های مقاطعی که انتظار می‌رود تغییر شکلهای غیر الاستیک را تحمل کند (مفاصل پلاستیک).
  - ۳- تعیین مقاومت همه مقاطع دیگر که بایستی در حالت الاستیک بمانند.
- در این مقاله، قابهای خمشی فولادی سه، شش و ده طبقه دارای یک، دو و سه دهانه با استفاده از روش‌های مختلف، طراحی گردیده‌اند. ارتفاع طبقات ۳ متر و طول دهانه ۴/۵ متر در نظر گرفته شده‌اند. قابها دوبعدی می‌باشند و فاصله قابها در راستای عمود به صفحه ۵ متر است. شکلهای ۳، ۴ و ۵ قابهایی که در این مقاله بررسی شده‌اند را نشان میدهد. در این شکلهای B نشان‌دهنده تیپ تیرها و C نشان‌دهنده تیپ ستونها می‌باشد.



شکل (۳) مشخصات قابهای سه طبقه.



شکل (۴) مشخصات قابهای شش طبقه.



شکل (۵) مشخصات قابهای ده طبقه.

## ۲-۱. طراحی بر اساس مبحث دهم مقررات ملی

بارهای عمودی بر اساس آئین نامه ۵۱۹ و بارهای ناشی از زلزله بر اساس آئین نامه ۲۸۰۰ [۱] بار گذاری شده‌اند. سیستم سقف تیرچه بلوک است و بار مرده ناشی از بار سقف و تیغه‌ها  $700 \text{ kg/m}^2$  می‌باشد بار زنده طبقات و بار برف در بام  $200 \text{ kg/m}^2$  می‌باشد. محل احداث ساختمانها تهران است، بنابراین بر طبق آئین نامه ۲۸۰۰ پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد می‌باشد و ساختمانها با اهمیت نسبی متوسط در نظر گرفته شده است. نوع زمین هم خاک نوع III می‌باشد. بعد از این که بر روی قابها بارگذاری اعمال شد توسط نرم افزار ETABS آنالیز و بر طبق مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) طراحی و توسط نرم افزار STEELER نسبت تنشها کنترل شده است. در جداول (۱)، (۲)، و (۳) مشخصات برخی از مقاطع تیرها و ستونهای قابها که بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ایران طراحی شده‌اند مشخص شده است.

جدول (۱) مشخصات مقاطع قلیهای جدول (۲) مشخصات مقاطع قلیهای جدول (۳) مشخصات مقاطع قلیهای  
سه طبقه دو وسه دهاله، مقررات ملی شش طبقه دو وسه دهاله، مقررات ملی ده طبقه دو وسه دهاله، مقررات ملی

شماره	مشخصات مقطع
B1	FL 40x12+2PL 25x12
B2	FL 35x1+2PL 25x12
B3	FL 30x1+2PL 25x12
B4	FL 25x1+2PL 20x12
B5	PL 25x1+2PL 16x1
C1	BOX 30x18
C2	BOX 35x2
C3	BOX 30x12
C4	BOX 30x18
C5	BOX 30x12
C6	BOX 30x15
C7	BOX 26x1
C8	BOX 30x1
C9	BOX 26x1
C10	BOX 30x1
C11	BOX 20x1
C12	BOX 20x1
C13	BOX 20x1
C14	BOX 20x1

شماره	مشخصات مقطع
B1	FL 40x1+3PL 34x1
B2	PL 30x1+2PL 20x12
B3	PL 25x1+2PL 20x12
B4	PL 20x1+2PL 20x12
C1	BOX 32x12
C2	BOX 32x15
C3	BOX 34x1
C4	BOX 30x12
C5	BOX 24x1
C6	BOX 30x12
C7	BOX 22x1
C8	BOX 22x1
C9	BOX 22x1
C10	BOX 22x1

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 25x1+2PL 20x15
B2	PL 25x1+2PL 20x15
B3	PL 22x1+2PL 20x12
C1	BOX 22x1
C2	BOX 26x1
C3	BOX 20x1
C4	BOX 22x1
C5	BOX 20x8
C6	BOX 20x8

## ۳-۱. کنترل نسبت مقاومت خمشی آئین نامه ۲۸۰۰

در پیوست ۲ آئین نامه ۲۸۰۰ در بند ۷-۵ نسبت مقاومت خمشی ستونها به تیر عنوان شده است که در هر اتصال از قاب خمشی ویژه باید روابط زیر اقیاع گردند:

$$\sum Z_c (F_{yc} - f_a) / \sum Z_b F_{yb} > 1 \quad (1)$$

$$\sum Z_c (F_{yc} - f_a) / \sqrt{1.25} \sum M_{pz} > 1 \quad (2)$$

در روابط فوق  $F_{yc}$  و  $F_{yb}$  تنش‌های جاری شدن ستون و تیر می‌باشد. همچنین  $f_a > 0$  بوده و نیز  $Z_c$  و  $Z_b$  مقادیر اساس پلاستیک مقطع‌های ستون و تیر می‌باشد.  $\sum M_{pz} =$  مجموع لنگرهای تیرها که متناظر با مقاومت برش چشمه اتصال محاسبه می‌شود. چون در این تحقیق چشمه اتصال بررسی نمی‌شود بنابراین تنها رابطه (۱) این معیار مورد توجه است. در این معیار یک تبصره نیز وجود دارد مبنی بر این که ستونهایی که شرایط مقطع فشرده را برآورده می‌نمایند در صورتیکه یکی از شرایط زیر را نیز برآورده نمایند لازم نیست روابط (۱) و (۲) را ارضا نمایند:

الف: ستونها با  $f_a$  کوچکتر از  $0.4F_y$  برای تمام ترکیبات بارگذاری به استثنای بارهای معرفی شده در بخش ۵-۱ آئین نامه ۲۸۰۰.

ب: ستونها در هر طبقه‌ای که مقاومت برشی جانبی آن ۵۰ درصد بزرگتر از طبقه فوقانی آن باشد.

از آنجا که در قابهای خمشی عموماً بند(الف) تبصره فوق ارضا می‌شود در طراحی‌های قبلی که بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ایران انجام گرفت نیازی به کنترل رابطه (۱) نمی‌باشد. ولی برای بررسی اثرات این معیار بر نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک و در نتیجه اثرات آن بر نوع مکانیزم شکست، این معیار یعنی رابطه (۱) در هر اتصال قاب خمشی کنترل گردیده و قابها مجدداً طراحی شده‌اند. در قابهای یک دهانه که بر اساس مقررات ملی ایران (مبحث دهم) طراحی شده است برای تمام اتصالات تیر به ستون این معیار اعمال شده است و نیازی به تغییر نمی‌باشد. جداول (۴)، (۵)، و (۶) مقاطع تیرها و ستونهای برخی از قابهایی که براساس کنترل ۲۸۰۰ مجدداً طراحی شده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول (۶) مشخصات مقاطع قابهای ده طبقه دو و سه دهانه، مقررات ملی با کنترل ۲۸۰۰ بند ۵-۷ پیوست ۲

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40x14x2 PL 25x12
B2	PL 50x14x2 PL 25x12
B3	PL 50x14x2 PL 25x12
B4	PL 25x14x2 PL 25x12
B5	PL 25x14x2 PL 16x1
C1	BOX 30x12
C2	BOX 35x2
C3	BOX 30x12
C4	BOX 30x12
C5	BOX 30x12
C6	BOX 30x12
C7	BOX 30x1
C8	BOX 30x1
C9	BOX 30x1
C10	BOX 30x1
C11	BOX 30x1
C12	BOX 30x1
C13	BOX 30x1
C14	BOX 30x1

جدول (۵) مشخصات مقاطع قابهای شش طبقه دو و سه دهانه، مقررات ملی با کنترل ۲۸۰۰ بند ۵-۷ پیوست ۲

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40x14x2 PL 30x12
B2	PL 30x14x2 PL 20x12
B3	PL 25x14x2 PL 20x12
B4	PL 20x14x2 PL 20x12
C1	BOX 30x12
C2	BOX 30x12
C3	BOX 30x1
C4	BOX 30x12
C5	BOX 30x1
C6	BOX 30x12
C7	BOX 20x1
C8	BOX 30x12
C9	BOX 20x1
C10	BOX 30x12

جدول (۴) مشخصات مقاطع قابهای سه طبقه دو و سه دهانه، مقررات ملی با کنترل ۲۸۰۰ بند ۵-۷ پیوست ۲

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 25x14x2 PL 30x12
B2	PL 25x14x2 PL 30x12
B3	PL 22x14x2 PL 30x12
C1	BOX 20x1
C2	BOX 20x1
C3	BOX 22x1
C4	BOX 20x1
C5	BOX 22x1
C6	BOX 20x1

#### ۱-۴- یکسان کردن ستونها در هر طبقه

طبق تحقیقات انجام شده [۲ و ۳] در حالت غیر خطی لنگر ایجاد شده در ستونهای میانی و کناری کمتر از ۲۰٪ تفاوت دارند. اگر ستونها در یک طبقه یکسان شوند مکانیزم شکست به مکانیزم سراسری نزدیکتر می‌شود. بنابراین بعد از طراحی بر اساس مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) و اعمال کنترل آئین‌نامه ۲۸۰۰، بر اساس بزرگترین ستون در هر طبقه، ستونها در آن طبقه یکسان می‌شوند و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در آن قاب بررسی می‌گردد. از این روش در این تحقیق به عنوان ستونهای یکسان نام برده شده است. در جداول (۷)، (۸)، و (۹) مقاطع تیرها و ستونهای برخی از قابهایی که براساس روش ستونهای یکسان طراحی شده‌اند آورده شده است.

#### ۱-۵- طراحی بر اساس روش آقای «گریسی»

آقای گریسی در سال ۱۹۹۹ [۳] بر اساس پاسخ دینامیکی و آنالیز پوش اور یک روش برای تعیین مقاومت ستونها در هر طبقه قابهای فولادی برای اینکه شکست قاب سراسری باشد ارائه داده است. بعد از تعیین مقاطع برای همه تیرها (مانند روش مازولانی - پیلوسو) بر اساس تعداد طبقات یک نسبت مقاومت خمشی تیر به ستون برای ستونهای طبقه اول انتخاب می‌شود. بعد از تعیین ممان خمشی حدی مقطعی که مفاصل پلاستیک در آنها اتفاق می‌افتد و پخش نیروهای افقی  $\alpha_e F_k$  ضریب شکست  $\alpha_e$  از طریق مساوی قرار دادن انرژی اتلاف شده بوسیله مفاصل پلاستیک با کار نیروهای افقی که در گره‌ها ایجاد تغییر

شکل می کند (در مکانیزم سراسری) بدست می آید (شکل های ۶).

جدول (۹) مشخصات مقاطع قابهای  
ده طبقه دو و سه دهانه،  
روش یکسان کردن ستون ها

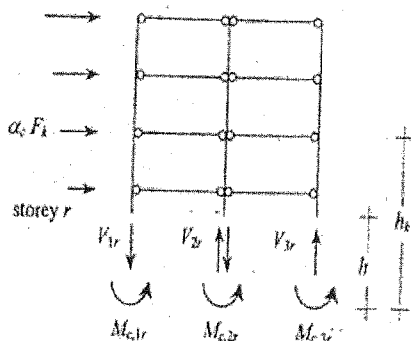
شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40×1.2+2PL 25×1.2
B2	PL 35×1+2PL 25×1.2
B3	PL 30×1+2PL 25×1.2
B4	PL 25×1+2PL 22×1.2
B5	PL 25×1+2PL 16×1
C1	BOX 35×2
C2	BOX 35×2
C3	BOX 30×1.8
C4	BOX 30×1.8
C5	BOX 30×1.5
C6	BOX 30×1.5
C7	BOX 30×1
C8	BOX 30×1
C9	BOX 30×1
C10	BOX 30×1
C11	BOX 26×1
C12	BOX 26×1
C13	BOX 26×1
C14	BOX 26×1

جدول (۸) مشخصات مقاطع قابهای  
شش طبقه دو و سه دهانه،  
روش یکسان کردن ستون ها

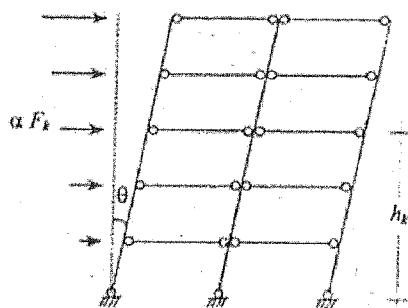
شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40×1+2PL 24×1
B2	PL 30×1+2PL 20×1.2
B3	PL 28×1+2PL 20×1.2
B4	PL 20×1+2PL 30×1.2
C1	BOX 32×1.5
C2	BOX 32×1.5
C3	BOX 32×1.2
C4	BOX 32×1.2
C5	BOX 32×1.2
C6	BOX 32×1.2
C7	BOX 30×1.2
C8	BOX 30×1.2
C9	BOX 30×1.2
C10	BOX 30×1.2

جدول (۷) مشخصات مقاطع قابهای  
سه طبقه دو و سه دهانه،  
روش یکسان کردن ستون ها

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 25×1+2PL 20×1.5
B2	PL 25×1+2PL 20×1.5
B3	PL 22×1+2PL 20×1.2
C1	BOX 26×1
C2	BOX 26×1
C3	BOX 26×1
C4	BOX 26×1
C5	BOX 26×1
C6	BOX 26×1



شکل (۷) تعادل قسمت بالایی قاب



شکل (۶) مکانیزم شکست

$$V_{ir} = \sum_{k=r}^{nc} \frac{M_{b,jk}}{l_i} \quad (۳)$$

$$\alpha_c = \frac{\sum_{j=1}^{nc} M_{c,j1} + \sum_{k=1}^{ns} \sum_{i=1}^{nb} 2M_{b,ik}}{\sum_{k=1}^{ns} F_k h_k} \quad (۴)$$

$nc$  تعداد طبقات،  $nc$  تعداد ستونها،  $nb$  تعداد تیرها و  $l_i$  طول دهانه می باشد.

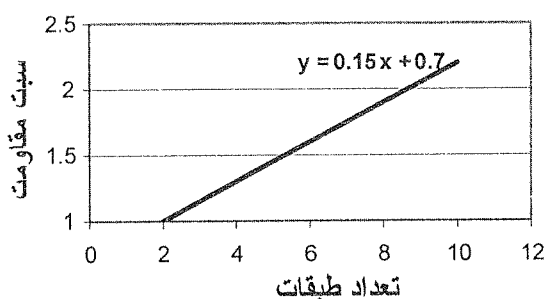
مقدار  $\alpha_c$  مستقل از بارهای عمودی است زیرا اگر از اثرات ثانویه چشم پوشی شود آنها کاری در راستای جابجایی مربوط به مکانیزم انجام نمی‌دهند. با معلوم بودن  $\alpha_c$  ارزیابی مجموع ممانهای خمشی  $M_{c,jr}$  بالا یا انتهای پایینی ستونهای طبقه  $r$  ام بوسیله تحمیل چرخشی قسمت بالای قاب (شکل (۷)) با یادآوری اینکه نیروهای محوری معادل است با نیروی برش تیرها و ممانهای حدی آنها، بدست می‌آید.

$$\sum_{j=1}^{nc} M_{c,jr} = \alpha_c \sum_{k=1}^{ns} F_k (h_k - h) - \sum_{k=1}^{ns} \sum_{j=1}^{nb} 2M_{b,jk} \quad (5)$$

برای مقطع بالایی ستونهای طبقه  $r$  و  $h=h_{r-1}$  برای مقطع پایین ستونهای طبقه  $r-1$  می‌باشد. آنالیز پوش اور نشان می‌دهد که وقتی همه ستونها در یک طبقه مقاطع یکسانی دارند ممانهای خمشی در نزدیکی شکست در همه ستونها شبیه هم هستند (در ستونهای داخلی یک مقدار بیشتر است اما مقدار آن از ۲۰٪ کمتر است) بنابراین یک مقدار میانگین نتایج آنالیز حدی برای مقدار طراحی ممان خمشی در نظر گرفته می‌شود.

$$M_{sd} = \frac{1}{nc} \sum_{j=1}^{nc} M_{c,jr} \quad (6)$$

بر اساس مجموعه‌ای از آنالیزهای عددی که بوسیله آقای گرسی انجام شده است، مقدار مقاومت کلی مقاطع پایه مطابق شکل ۸ به مقاومت کلی تیرهای طبقه اول بوسیله یک رابطه خطی به تعداد طبقات مربوط می‌شود.



شکل (۸) نسبت مقاومت کل ستونهای طبقه اول به دو برابر مقاومت تیرهای طبقه اول در روش گرسی [۳].

با استفاده از رابطه ارائه شده در شکل ۸، مجموع ممانهای ستونهای طبقه اول طبق رابطه (۷) تعریف می‌گردد.

$$\sum_{j=1}^{nc} M_{c,j1} = (0.7 + 0.15ns) \sum_{j=1}^{nb} 2M_{b,j1} \quad (7)$$

بنابراین روند طراحی بر اساس روش گرسی کاملاً معین می‌گردد و می‌توان آن را در گامهای زیر خلاصه کرد.

- ۱- تعیین مقطع برای همه تیرها، از این جهت که مقاومت کافی برای تحمل بارهای عمودی و بارهای جانبی استاتیکی طراحی تأمین شود.
- ۲- تعیین مجموع ممانهای پلاستیک در ستونهای طبقه اول بر طبق رابطه (۷).
- ۳- محاسبه ضرایب شکست بوسیله رابطه (۴).
- ۴- محاسبه ممانهای پلاستیک ستونها در هر طبقه بر طبق روابط (۵) و (۶).
- ۵- تعیین مقطع ستونها، از این جهت که مقاومت ارزیابی شده قبلی را با به حساب آوردن اثر نیروهای محوری تأمین کند (اثر



بارهای عمودی بعلاوه برش تیر معادل با ممانهای پلاستیک رابطه (۳).

در جداول (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) مقاطع تیرها و ستونهای برخی از قابهایی که براساس روش گرسی طراحی شده‌اند آورده شده است.

جدول (۱۲) مشخصات مقاطع قابهای ده طبقه دو و سه دهگانه، روش گرسی

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40x13+2PL 25x12
B2	PL 35x12+2PL 25x12
B3	PL 33x11+2PL 25x12
B4	PL 25x11+2PL 22x12
B5	PL 35x11+PL 15x1
C1	BOX 30x2
C2	BOX 40x2
C3	BOX 35x2
C4	BOX 35x2
C5	BOX 30x1.5
C6	BOX 30x1.5
C7	BOX 30x1.5
C8	BOX 30x1.5
C9	BOX 30x1.2
C10	BOX 30x1.2
C11	BOX 30x1
C12	BOX 30x1
C13	BOX 30x1
C14	BOX 30x1

جدول (۱۱) مشخصات مقاطع قابهای شش طبقه دو و سه دهگانه، روش گرسی

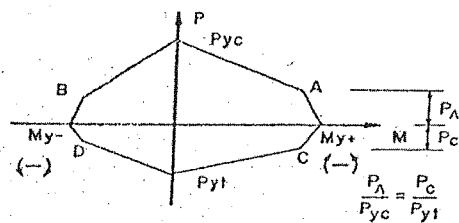
شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40x13+2PL 24x1
B2	PL 30x11+2PL 30x1.2
B3	PL 30x11+2PL 30x1.2
B4	PL 20x11+2PL 20x1.2
C1	BOX 30x1
C2	BOX 35x1
C3	BOX 30x1.2
C4	BOX 30x1.2
C5	BOX 30x1.2
C6	BOX 30x1.2
C7	BOX 30x1.2
C8	BOX 30x1.2
C9	BOX 30x1.2
C10	BOX 30x1.2

جدول (۱۰) مشخصات مقاطع قابهای سه طبقه دو و سه دهگانه، روش گرسی

شماره	مشخصات مقطع
B1	PL 40x13+2PL 34x1
B2	PL 30x11+2PL 30x1.2
B3	PL 20x11+2PL 30x1.2
B4	PL 30x11+2PL 30x1.2
C1	BOX 30x2
C2	BOX 35x2
C3	BOX 30x1.2
C4	BOX 30x1.2
C5	BOX 30x1.2
C6	BOX 30x1.2
C7	BOX 30x1.2
C8	BOX 30x1.2
C9	BOX 30x1.2
C10	BOX 30x1.2

## ۲- تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی قابها تحت تأثیر زلزله

برای تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی هر یک از قابهای طراحی شده تحت تأثیر زلزله به روش انتگرالگیری گام به گام مستقیم از برنامه DRAIN-2DX استفاده شده است. DRAIN-2DX علاوه بر اثرات غیر خطی ناشی از مصالح، اثرات غیر خطی  $P-\Delta$  را نیز در محاسبات وارد می‌سازد. بدین منظور علاوه بر ماتریس سختی، ماتریس هندسی سازه محاسبه و در معادلات دینامیکی وارد می‌شود، ولی اثرات غیر خطی ناشی از تغییر مکانهای بزرگ سازه را در نظر نمی‌گیرد. با تعریف حد تسلیم مطابق شکل ۸ و نحوه تغییر رفتار بعد از تسلیم هر عضو برای برنامه، هر زمان که نیروی وارده به عضو از حد تسلیم تجاوز کند برنامه کد تسلیم عضو را فعال کرده و رفتار عضو بعد از این خمیری خواهد شد.



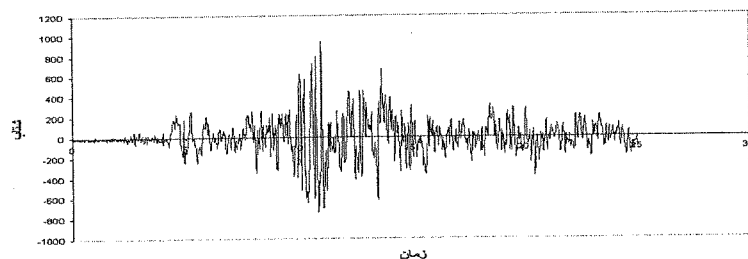
شکل (۹) سطوح اندرکنش گسیختگی المان تیر ستون.

در این تحقیق در تمام قابها شیب خط ثانویه تنش - کرنش  $0.02$  در نظر گرفته شده است. ماتریس میرایی سازه به صورت ترکیب خطی از ماتریس‌های جرم  $m$  و سختی اولیه سازه (حالت خطی)  $K$  مطابق رابطه ۸ در نظر گرفته شده است. برای پیدا کردن ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  ابتدا آنالیز مدال انجام می‌شود و با داشتن فرکانسهای زاویه‌ای  $\omega_1$  و  $\omega_2$  مربوط به مد اول و دوم ارتعاش قابها این ضرایب با احتساب پنج درصد میرایی بدست می‌آید.

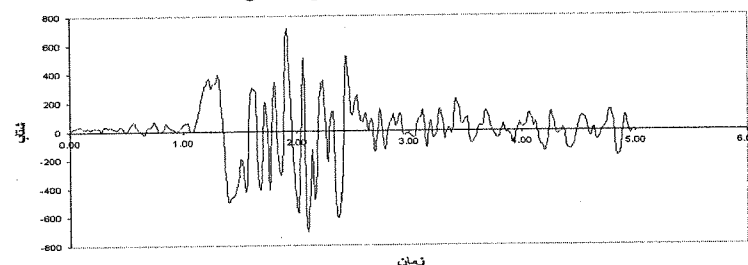
$$C = \alpha m + \beta K \quad (8)$$

همانطوریکه قبلا نیز ذکر گردید از آنجاییکه تمامی قابهای مورد مطالعه منظم و با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه می‌باشند برای طراحی قابها مطابق بند ۲-۳-۱ و ۲-۴ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش دوم) از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده است. در تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی در صورتیکه شتابنگاشت‌ها مربوط به زلزله‌های واقعی اتفاق افتاده در مناطق دیگر باشند باید هر یک از شتابنگاشت‌ها طبق بند ۲-۵-۱-پ-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ به نوعی مقیاس شوند که طیف آنها در محدوده زمانی تعریف شده‌ای با طیفی که مطابق ضوابط قسمت ۲-۵-۱-الف) و (ب) برای نوع خاک مشخص بدست می‌آید تقریباً مطابقت نماید. لذا در ابتدا برای هر یک از قابهای طراحی شده بر اساس چهار روش مبحث دهم مقرات ملی، کنترل نسبت مقاومت خمشی، یکسان کردن ستون‌ها، و روش گرسی، تحت تأثیر زلزله‌های طبس و ناغان و السنتر و طبق بند ۲-۵-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ و با مقیاس نمودن زلزله‌ها بر اساس بند ۲-۵-۱-پ-۳ آیین نامه، تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی انجام می‌شود و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در قابها بررسی می‌شود. شتابنگاشت‌ها مربوط به شتابنگارهایی هستند که مشخصات لایه‌های خاک در محل شتابنگار با محل قابهای مورد نظر مشابهت دارند.

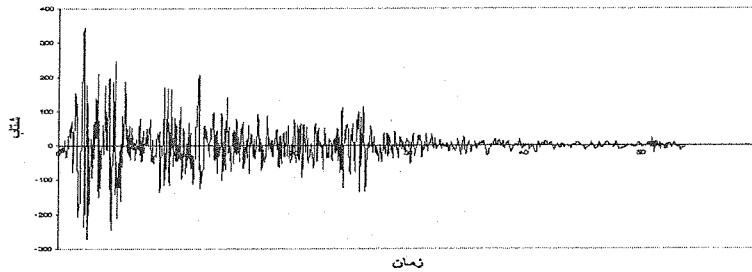
همچنین محور اصلی و توجه و هدف اصلی این تحقیق ارائه روشی جدید برای طراحی قابهای خمشی فولادی است که قابل استفاده در تمامی مناطق باشد و با استفاده از آن مکانیزم شکست در این قابها تحت تاثیر زلزله‌های مختلف فقط از نوع مکانیزم سراسری باشد و نوع مکانیزم شکست در آنها متأثر از مشخصه‌های زلزله نباشد. در نتیجه بیشترین میزان جذب انرژی را در برابر زلزله از خود نشان دهند و از رفتار غیرخطی قابها حداکثر استفاده بشود. لذا گرچه هر یک از این قابها در تمامی دوره بهره‌برداری خود، سه زلزله مقیاس شده ناغان، طبس و السنتر را تجربه نخواهند کرد ولی تحلیل این قابها تحت تاثیر این سه زلزله مقیاس شده و ارزیابی نوع مکانیزم شکست قابها ثابت می‌کند که نوع مکانیزم در قابهایی که با استفاده از روش پیشنهادی طراحی شوند همواره از نوع مکانیزم سراسری خواهد بود و نوع مکانیزم در آنها به مشخصه‌های زلزله از قبیل محتوای فرکانس و مدت زمان زلزله حساس نمی‌باشد. شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به ترتیب تاریخچه تغییرات شتاب - زمان این زلزله‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰) شتاب‌نگاشت زلزله طبس.



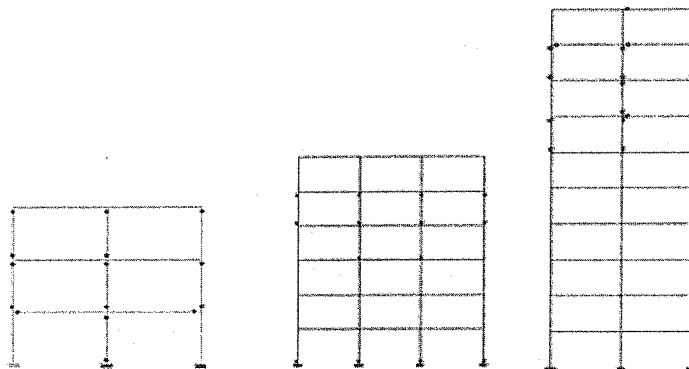
شکل (۱۱) شتاب‌نگاشت زلزله ناغان.



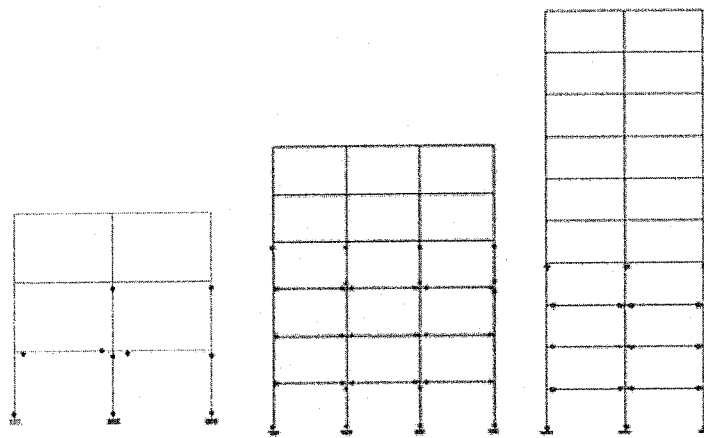
شکل (۱۲) شتاب نگاشت زلزله السنترو.

اگر در هر یک از قاب‌ها تحت تأثیر این زلزله‌های مقیاس شده یکی از مکانیزم‌های شکست اتفاق نیافتد، یعنی مکانیزم سراسری، نوع اول، نوع دوم یا نوع سوم (مکانیزم طبقه) در سازه اتفاق نیافتد، ضریب مقیاس زلزله که مربوط به شتاب زلزله است افزایش داده شده و قاب مجدداً تحت تأثیر زلزله مقیاس شده تحلیل دینامیکی می‌گردد. اگر باز هم یکی از مکانیزم‌های شکست اتفاق نیافتد مجدداً ضریب مقیاس در گام‌هایی افزایش می‌یابد و این روال افزایش ضریب مقیاس و تحلیل دینامیکی آنقدر تکرار می‌شود تا حداقل ضریب مقیاس شتاب زلزله برای ایجاد مکانیزم شکست در آن قاب تحت تأثیر آن زلزله بدست آید. اما اگر در ابتدا که تحلیل دینامیکی انجام می‌شود مکانیزم شکست اتفاق بیافتد، ضریب شتاب باید کاهش داده شود و روال کاهش ضریب مقیاس و تحلیل دینامیکی آنقدر تکرار می‌شود تا حداقل ضریب مقیاس شتاب زلزله برای ایجاد مکانیزم شکست در آن قاب تحت تأثیر آن زلزله بدست آید. وقتی ضریب مقیاس و مکانیزم شکست مربوط به آن قاب برای هر یک از زلزله‌ها به دست آید، آنالیز دینامیکی در مورد آن قاب تمام گردیده و نحوه توزیع مفاصل در قاب مربوطه تحت هر یک از زلزله‌ها مشخص می‌گردد و نوع مکانیزم شکست در قابها بررسی می‌گردد.

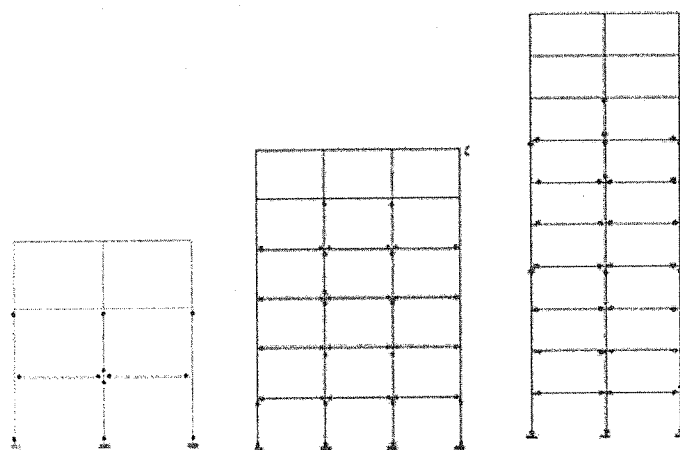
برای قاب‌های مورد مطالعه در این تحقیق، زلزله‌های مقیاس شده با ضریب مقیاسی که از بند ۲-۵-۱-پ-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ بدست می‌آید در قابها ایجاد مکانیزم نمی‌کنند و قابها در برابر زلزله‌های طرح دچار مکانیزم شکست نمی‌شوند و لذا برای بررسی نوع مکانیزم ضرایب مقیاس به شرحی که توضیح داده شد در گام‌هایی افزایش داده شده‌اند. به عنوان نمونه‌هایی از نتایج تحلیل، شکل ۱۳ نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طبس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السنترو که با روش آیین‌نامه ایران طراحی شده‌اند، شکل ۱۴ نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طبس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السنترو که با کنترل معیار ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند، شکل ۱۵ نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طبس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السنترو که با روش گرسی طراحی شده‌اند، را نشان می‌دهند.



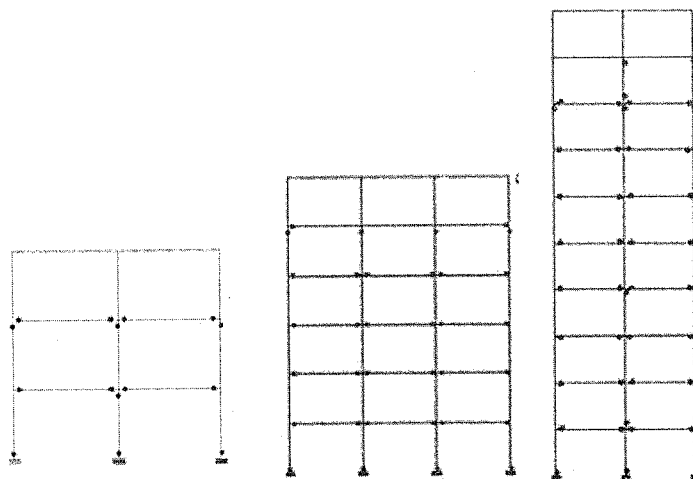
شکل (۱۳) نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طبس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السنترو، طراحی با روش آیین‌نامه ایران.



شکل (۱۴) نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طیس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السترو، طراحی با کنترل معیار ۲۸۰۰.



شکل (۱۵) نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طیس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السترو، طراحی با روش ستونهای یکسان.



شکل (۱۶) نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طیس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله السترو، طراحی با روش گرسی.

بدیل خصوصیت رفت و برگشتی نیروی زلزله، بحث همزمانی مفاصل ایجاد شده جهت تعیین نوع مکانیزم مورد توجه قرار گرفته است و لذا مقاومت افزون قابها در محدوده رفتار غیر خطی قابها در کلیه تحلیل‌ها ملحوظ شده است. نتایج مربوط به این تحلیل‌ها همراه با تحلیل‌های مربوط به روش پیشنهادی متعاقباً پس از توضیح روش پیشنهادی ارزیابی و مقایسه می‌گردند.

### ۳- روش پیشنهاد شده در این مقاله

با قبول فرض ستون‌های یکسان در یک طبقه و با الهام از معادله ۷ در روش گرسی، طراحی‌هایی که با استفاده از روش ستون‌های یکسان انجام شده است به عنوان مبنی انتخاب گردید. سپس برای هر یک از قاب‌ها در ابتدا، مقدار مقاطع ستون‌ها در طبقه اول افزایش داده شد و سپس قاب تحت اثر هر سه زلزله مختلف، آنالیز غیر خطی دینامیکی گردید و نحوه تشکیل توزیع مفاصل پلاستیک در قاب تحت تأثیر هر یک از زلزله‌ها بررسی شد. در هر تحلیل دینامیکی، با کاهش یا افزایش ضریب مقیاس زلزله و انجام مجدد تحلیل‌ها به روشی که قبلاً توضیح داده شد، ضریب مقیاسی که در سازه تحت تأثیر زلزله مقیاس شده یک نوع مکانیزم ایجاد گردد، مشخص گردید.

برای هر قاب تحت تأثیر هر یک از زلزله‌ها، نوع مکانیزم بررسی گردید. اگر مکانیزم سراسری نبود، ابتدا مقاطع ستون‌های طبقه اول قدری افزایش داده شد و تحلیل دینامیکی غیر خطی تحت هر سه زلزله با مقیاسی که در سازه مکانیزم ایجاد کند، به تفکیک مجدداً انجام شد و نوع مکانیزم مجدداً بررسی گردید. در صورتیکه مکانیزم سراسری نبود، ستون‌های طبقه دوم قدری افزایش یافت و تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی تحت تأثیر زلزله‌ها مجدداً انجام گردید.

روند افزایش مقاطع ستون‌های طبقات بالاتر تا آخرین طبقه و انجام تحلیل دینامیکی و بررسی نوع مکانیزم نیز به همین طریق ادامه یافت. اگر باز هم شکست در قاب به صورت سراسری نبود، مجدداً مقاطع ستون‌های طبقه اول قدری بیشتر افزایش داده شد و روند افزایش مقاطع ستون‌ها به صورت مرحله به مرحله از طبقه اول تا آخرین طبقه و انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی و بررسی نوع مکانیزم آنقدر ادامه پیدا کرد تا در هر یک از قاب‌ها تحت تأثیر هر سه زلزله مقیاس شده مکانیزم سراسری اتفاق افتاد.

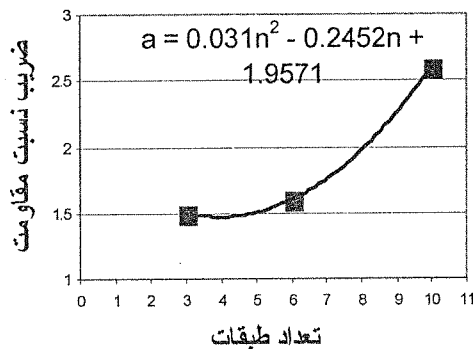
به عنوان مثال، در قاب سه دهانه بعد از این روند سعی و خطا در حالتی شکست سازه شکست سراسری می‌شود که در تمام طبقات نسبت مقاومت خمشی کل ستونها به دو برابر مقاومت خمشی کل تیرها در آن طبقات مساوی ۱/۵ باشد و این نسبت در قابهای سه طبقه دو و سه دهانه نیز ۱/۵ به دست آمده است. در هر کدام از قابهای دیگر نیز نسبت مقاومت خمشی کل ستونهای یک طبقه به مقاومت خمشی کل تیرهای آن طبقه در تمام آن طبقات یکسان به دست می‌آید تا اینکه به ازای حداقل افزایش مصالح (نسبت به طراحی با مقررات ملی ایران) مکانیزم در هنگام شکست سراسری باشد. مقدار نسبت مجموع مقاومت خمشی ستون‌های یک طبقه به مجموع مقاومت خمشی تیرهای همان طبقه که با ضریب  $\alpha$  طبق رابطه ۹ معرفی می‌شود، در قاب‌های مورد مطالعه با تعداد دهانه‌های دو و سه یکسان به دست می‌آید.

$$\left( \alpha = \frac{\sum M_{pc}}{\sum 2M_{pb}} \right) \quad (9)$$

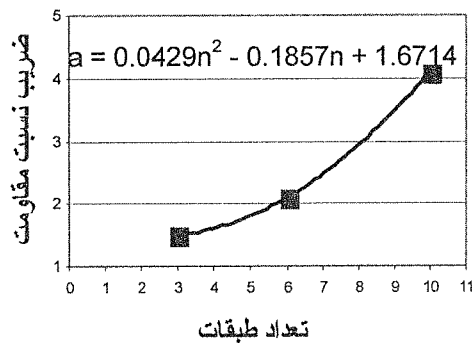
$$\left( \alpha = \frac{\sum M_{pc}}{\sum 2M_{pb}} \right)$$

در قابهای یک دهانه، ضریب  $\alpha$  به خاطر اثرات بیشتر  $\Delta_p$  (که در قابهای یک دهانه بلند بیشتر مشخص می‌شود) مقادیر متفاوتی نسبت به قابهای دو و سه دهانه دارد. ولی در قابهای سه طبقه و یک دهانه که اثرات  $\Delta_p$  زیاد مؤثر نیستند ضریب  $\alpha$  برابر قابهای دو و سه دهانه به دست آمده است. اما در قاب شش طبقه یک دهانه این مقدار نسبت به قابهای شش طبقه دو و سه دهانه بیشتر شده است و در قاب ده طبقه و یک دهانه این ضریب افزایش بیشتری نسبت به قابهای دو و سه دهانه دارد. روابط مربوط به تغییرات این ضریب با تعداد طبقات برای قاب‌های ۳ الی ده طبقه و یک دهانه در شکل ۱۷ و برای قاب‌های ۳ الی ده طبقه با ۲ و ۳ دهانه در شکل ۱۸ ارائه شده است. لازم به ذکر است با تکرار همین روندی که توضیح داده

شد می‌توان برای قاب‌های دیگر با تعداد دهانه‌های متفاوت و یا تعداد طبقات متفاوت، به روابطی با محدوده کاربرد بیشتر دست یافت. در ضمن با در نظر گرفتن نتایج تحلیل برای قابهای با طبقات ۲، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹ طبقه می‌توان دقت همین روابط را نیز افزایش داد. همانطوری که ملاحظه می‌شود این روابط به صورت منحنی غیر خطی است. در روش گرسی این رابطه‌ها با رابطه ۷ و به صورت خطی ارائه شده است ولی رعایت رابطه آقای گرسی همانطوری که در نتایج مشاهده شده است، می‌تواند باعث ایجاد مکانیزم‌های غیر سراسری شود.



شکل (۱۸) تغییرات ضریب با تعداد طبقات برای قاب‌های ۳ الی ده طبقه و دو و سه دهانه.



شکل (۱۷) تغییرات ضریب با تعداد طبقات برای قاب‌های ۳ الی ده طبقه و یک دهانه.

بر اساس نتایج تحلیل‌ها و بررسی‌های انجام شده، روند ساده شده ذیل برای طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی پیشنهاد می‌گردد تا مکانیزم شکست این نوع قاب‌ها تحت تأثیر هر زلزله به صورت سراسری باشد و از امکان ایجاد مکانیزم‌های دیگر اجتناب شود:

- ۱- مقاطع تیرها و ستون‌ها بر اساس بارهای عمودی و بارهای جانبی استاتیکی و با رعایت آیین‌نامه‌های معتبر طراحی می‌گردد.
- ۲- بر اساس بزرگترین مقطع در هر طبقه، کلیه مقاطع ستون‌ها در آن طبقه یکسان می‌گردد.
- ۳- با توجه به تعداد طبقات قاب  $n$ ، ضریب  $\alpha$  یعنی نسبت مجموع مقاومت خمشی ستون‌های یک طبقه به مجموع مقاومت خمشی تیرهای همان طبقه از روابط مشخص شده در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ بدست می‌آید. (لازم به ذکر است روند ارائه شده برای دستیابی این روابط و همچنین مراحل پنجگانه این روش برای کلیه قاب‌های خمشی فولادی قابل استفاده است ولی فرمول‌های ارائه شده در محدوده تحقیق قابل استفاده هستند).
- ۴- با در دست داشتن مقاطع تیرها در هر طبقه از مرحله ۱ و ضریب  $\alpha$  از مرحله ۳، مجموع مقاومت خمشی ستون‌ها در هر طبقه و در نتیجه مقاومت خمشی هر ستون در هر طبقه محاسبه می‌شود.
- ۵- بر اساس مقاومت خمشی هر ستون که در مرحله ۴ محاسبه شده است مقاطع ستون‌ها در هر طبقه طراحی می‌گردد.

## ۴- مقایسه طرحها

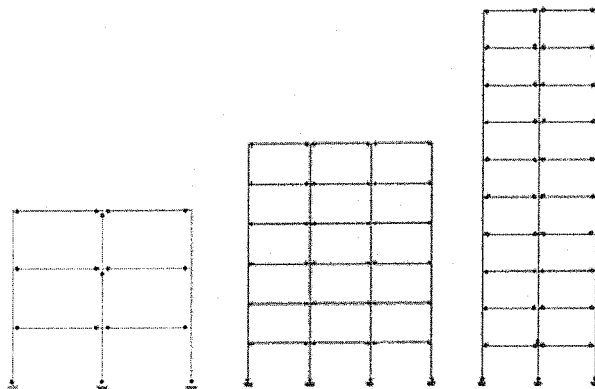
نتایج طراحی‌ها بر اساس روش پیشنهادی در این مقاله، با چهار روش دیگر یعنی روش مبحث دهم مقررات ملی، روش کنترل نسبت مقاومت خمشی، روش یکسان کردن ستون‌ها، و روش گرسی مقایسه گردیده‌اند. در قابهای طراحی شده با مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) که در آنها معیار نسبت مقاومت ستون به تیر قابهای خمشی ویژه آئین‌نامه ۲۸۰۰ در نظر گرفته نشده است مکانیزم شکست در اکثر موارد مکانیزم طبقه است (شکل ۱۳) و ایجاد مفاصل پلاستیک در ابتدا و انتهای ستونهای یک طبقه باعث خرابی کل سازه می‌شود. به علت تشکیل مکانیزم طبقه در هنگام شکست شکل‌پذیری سازه نیز کم و شکست ترد می‌باشد. در قابهای طراحی شده با رعایت مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) که در آنها معیار نسبت مقاومت ستون به تیر

قابهای خمشی ویژه آئین‌نامه ۲۸۰۰ در همه اتصالات تیر به ستون اعمال شده‌است، تا حدودی رفتار لرزه‌ای بهبود یافته و مکانیزم شکست از مکانیزم شکست طبقه به مکانیزم نوع اول تبدیل شده‌است (شکل ۱۴) که این امر باعث شده است مقاومت و شکل‌پذیری سازه افزایش یابد. همانطور که در جدول شماره (۹) مشاهده می‌شود با کمتر از ۵ درصد افزایش مصالح نسبت به آئین نامه ایران رفتار لرزه ای بسیار مناسبتری از لحاظ نوع مکانیزم در سازه دیده می‌شود. باید دقت شود که در طراحی این قابها مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) کاملا رعایت شده‌اند و مازاد بر آن، معیار نسبت مقاومت ستون به تیر نیز در اتصالات اقناع گردیده است.

در قابهای طراحی شده با ستونهای یکسان (دارای یک مقطع در هر طبقه) مکانیزم هنگام شکست مکانیزم نوع یک است ولی تعداد طبقاتی که در تیرهای آنها مفاصل پلاستیک ایجاد می‌شود بیشتر است (شکل ۱۵) و مقاومت و شکل‌پذیری بهتری نسبت به قابهای طراحی شده دو مورد قبلی دارند. در قابهای با تعداد دهانه زیاد میزان افزایش مصالح مصرفی چندان زیاد نیست و بنابراین می‌توان در طبقه ستونهای یکسان را بکار برد و رفتار لرزه ای سازه را بهبود بخشید.

در قابهای طراحی شده با روش آقای گرسی مکانیزم شکست، عموماً مکانیزم نوع یک می‌باشد و در بعضی موارد هم مکانیزم سراسری رخ میدهد، ولی در حالتی که مکانیزم نوع یک صورت می‌گیرد در تعداد طبقات زیادی از ساختمان مفاصل پلاستیک در دو طرف تیرها ایجاد می‌شود (شکل ۱۶) و بنابراین قاب شکل‌پذیرتر و همچنین مقاومت بیشتری دارد (یعنی شتاب نگاشت زلزله را در مقیاس بزرگتری باید ضرب کرد تا قاب به مکانیزم شکست برسد. دلیل اینکه در روش گرسی در اکثر قابها مکانیزم سراسری در هنگام شکست بوجود نمی‌آید این است که آقای گرسی در تئوری که در نظر گرفته است اثر بارهای عمودی را در تغییر شکل سازه در نظر نگرفته است و تئوری گرسی یک تئوری براساس بارهای استاتیکی جانبی است. مقادیری که آقای گرسی برای نسبت مقاومت خمشی ستونهای طبقه اول به تیرهای آن طبقه در نظر گرفته‌است خطی است و در طراحی‌هایی که خودشان انجام داده‌اند مقاطع تیرها در تمام طبقات یکسان است، در صورتیکه در واقع این چنین نیست و مقاطع تیرهای طبقات پایین باید مقاطع بزرگتری نسبت به طبقات بالا داشته باشند.

در روش پیشنهادی در این مقاله مکانیزم شکست قابها تحت تأثیر زلزله به صورت مکانیزم سراسری است (شکل ۱۹). بنابراین مقاومت و شکل‌پذیری سازه بهتر می‌باشد. در این روش تغییر ضریب  $\alpha$  یعنی نسبت مقاومت خمشی کل ستونها در یک طبقه به دو برابر مقاومت خمشی کل تیرها در همان طبقه، با تعداد طبقات (قابها با تعداد طبقات متفاوت) خطی نیست و این به دلیل اثرات بارهای عمودی در تغییر شکل سازه در قابهای با تعداد طبقات زیاد است. بر اساس روش پیشنهادی در یک قاب با تعداد طبقه مشخص، نسبت مقاومت خمشی کل ستونها در یک طبقه به مقاومت خمشی کل تیرها در آن طبقه در تمام طبقات باید یکسان در نظر گرفته شود تا مکانیزم شکست قاب تحت تأثیر زلزله مکانیزم سراسری با حداقل مصالح مصرفی باشد. جدول (۹) مقایسه میزان افزایش مصالح مصرفی بر اساس روش‌های مختلف طراحی را نشان می‌دهد. جدول (۱۰) نسبت مجموع مقاومت خمشی ستونهای یک طبقه به مجموع دو برابر مقاومت خمشی تیرهای همان طبقه را نشان می‌دهد. در قابهای دو و سه دهانه در تمام قابها نسبت مقاومت خمشی کل ستونها در یک طبقه به مقاومت خمشی تیرها در آن طبقه یکسان است.



شکل (۱۹) نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در یک قاب ده طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله طیس و شش طبقه سه دهانه تحت اثر زلزله ناغان و قاب سه طبقه دو دهانه تحت اثر زلزله استرو، طراحی با روش پیشنهاد شده.

جدول (۹) میزان افزایش مصالح مصرفی نسبت به طراحی بر اساس آیین نامه ایران بر حسب درصد.

روش پیشنهادی	طراحی بر اساس روش گرسی	مغون یکسان	اعمال کسرک آیین نامه ۲۸۰۰	درصد افزایش قرارد مصرفی نسبت به آیین نامه ایران نوع کاب
۲۲	۷	—	—	کاب سه طبقه یک دهانه
۴۲	۲۰	۱۶	۹	کاب سه طبقه دو دهانه
۵۶	۲۲	۱۵	۱۰	کاب سه طبقه سه دهانه
۳۱	۸	—	—	کاب شش طبقه یک دهانه
۳۸	۳۰	۲۱	۴	کاب شش طبقه دو دهانه
۴۳	۳۲	۱۸	۵	کاب شش طبقه سه دهانه
۱۰۰	۳۶	—	—	کاب ده طبقه یک دهانه
۵۹	۲۷	۱۲	۰٫۸۷	کاب ده طبقه دو دهانه
۶۸	۴۲	۹	۰٫۸۹	کاب ده طبقه سه دهانه

جدول (۱۰) نسبت مجموع مقاومت خمشی ستونهای یک طبقه به دو برابر تیرهای آن طبقه در روش پیشنهادی.

ده	شش	سه	تعداد طبقات
۴/۱	۲/۱	۱/۵	یک
۲/۶	۱/۶	۱/۵	دو
۲/۶	۱/۶	۱/۵	سه

در قابهای سه طبقه یک دهانه نسبت مقاومت خمشی کل ستونها در یک طبقه به مقاومت خمشی کل تیرها در آن طبقه با قابهای سه طبقه دو و سه دهانه یکسان است ولی در قاب شش طبقه یک دهانه نسبت مقاومت خمشی کل ستونها در یک طبقه به مقاومت خمشی کل تیرها در آن طبقه نسبت به قابهای شش طبقه دو دهانه و سه دهانه مقدار بیشتری است و در قاب ده طبقه یک دهانه این نسبت به قابهای ده طبقه و سه دهانه بسیار بیشتر است و این امر به دلیل اثرات بیشتر بارهای عمودی در قابهای با تعداد طبقات بیشتر است و بنابراین میزان افزایش مصالح مصرفی در روش پیشنهادی در این قاب (برای رسیدن به مکانیزم سراسری) نسبت به طراحی با مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) بسیار بیشتر از قابهای ده طبقه دو و سه دهانه است. لذا روش پیشنهادی برای قابهای یک دهانه با تعداد طبقات بیشتر از شش عملاً به صرفه اقتصادی نمی باشد.

همانطور که در جدول (۹) مشخص شده است در روش پیشنهادی میزان افزایش مصالح مصرفی نسبت به طراحی براساس مقررات ملی ساختمان ایران حدود ۴۵ درصد است در صورتیکه این میزان افزایش در روش گرسی حدود ۳۰ درصد می باشد ولی در روش گرسی برای قابهای مورد مطالعه نوع مکانیزم سراسری نبوده است.



در این مقاله بر اساس تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی قاب‌های خمشی مختلف تحت تأثیر زلزله‌هایی که دارای مشخصه‌های متفاوت هستند، و با بکارگیری ستون‌های با مقطع یکسان در هر یک از طبقات و با الهام از روش گرسی، یک روند ساده شده برای طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی پیشنهاد گردید تا مکانیزم شکست این نوع قاب‌ها تحت تأثیر زلزله به صورت سراسری باشد و از امکان ایجاد مکانیزم‌های دیگر اجتناب شود. در این روش، اگرچه مقاطع تیرها و ستون‌ها در طبقات می‌تواند مختلف باشد ولی نسبت مقاومت خمشی کل ستونها در یک طبقه به دو برابر مقاومت خمشی کل تیرها در همان طبقه برای کل طبقات باید یکسان باشد. مراحل این روش به صورت کامل در متن مقاله توضیح داده شده است.

نتایج طراحی‌ها بر اساس روش پیشنهادی در این مقاله، با چهار روش دیگر یعنی روش مبحث دهم مقررات ملی، روش کنترل نسبت مقاومت خمشی، روش یکسان کردن ستون‌ها، و روش گرسی که در متن توضیح داده شده‌اند، مقایسه گردیده‌اند. در قابهای طراحی شده با مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) که در آنها معیار نسبت مقاومت ستون به تیر قابهای خمشی ویژه آئین‌نامه ۲۸۰۰ در نظر گرفته نشده‌است مکانیزم شکست در اکثر موارد مکانیزم طبقه است. در قابهای طراحی شده با مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) که در آنها معیار نسبت مقاومت ستون به تیر قابهای خمشی ویژه آئین‌نامه ۲۸۰۰ در همه اتصالات تیر به ستون اعمال شده‌است، تا حدودی رفتار لرزه‌ای بهبود یافته و مکانیزم شکست از مکانیزم شکست طبقه به مکانیزم نوع اول تبدیل شده است. در قابهای طراحی شده با ستونهای یکسان (دارای یک مقطع در هر طبقه) مکانیزم هنگام شکست مکانیزم نوع یک است. در قابهای طراحی شده با روش آقای گرسی مکانیزم شکست، عموماً مکانیزم نوع یک می‌باشد. مکانیزم قاب‌هایی که با استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله طراحی شوند همواره به صورت مکانیزم سراسری خواهد بود. به طور مثال مکانیزم شکست قاب‌های طراحی شده در این مقاله تحت تأثیر زلزله‌های مقیاس شده طیس، ناغان و السنترو به صورت مکانیزم سراسری است و بنابراین مقاومت و شکل‌پذیری بهتری از خود نشان داده‌اند.

میزان افزایش مصالح مصرفی فولاد در قاب‌های مورد مطالعه با استفاده از روشهای روش کنترل نسبت مقاومت خمشی، روش یکسان کردن ستون‌ها، و روش گرسی و روش پیشنهادی در این مقاله در مقایسه با روش طراحی بر اساس مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم) که در آنها معیار نسبت مقاومت ستون به تیر قابهای خمشی ویژه آئین‌نامه ۲۸۰۰ در نظر گرفته نشده‌است، به ترتیب میانگینی حدود ۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد می‌باشد. لذا اولاً پیشنهاد می‌گردد برای نزدیکتر شدن نوع مکانیزم به مکانیزم سراسری، کنترل نسبت مقاومت خمشی آئین‌نامه ۲۸۰۰ اعمال شود و ثانیاً با توجه به افزایش میزان مصرف فولاد، روش پیشنهاد شده برای ساختمان‌های ویژه مانند بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی‌ها، مراکز تصمیم‌گیری سیاسی و اقتصادی مهم و از این قبیل موارد استفاده گردد. همچنین انجام یک مطالعه و تحقیق جهت بهینه‌سازی طراحی این نوع قاب‌ها با استفاده از روش پیشنهادی و با در نظر گرفتن وزن فولاد به عنوان یک فاکتور بهینه‌سازی توسط متخصصین بهینه‌سازی نیز می‌تواند مفید واقع گردد.

## مراجع

- [1] آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ض-۲۵۳، ۱۳۷۸.
- [2] F.M.Mazzolani, V.Piluso; "Failure Mode and Ductility Control of Seismic Resistant MR Frames", Italian Conference on Steel Construction, Viareggio, 24-27 Oct 1995.
- [3] A.Ghersci, E.Marino and F.Neri; "A Simple Procedure to Design Steel Frames to Fail in Global Mode", 6<sup>th</sup> International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, session *DUCTILITY AND SEISMIC*

*RESPONSE*, "Politehnica" University of Timisoara, Stadion 1, Timisoara, Romania, RO-1900, September 1999.

- [4] A.Gherzi, F.Neri and P.P.Rossi; "A Global Approach to the Design of steel Frames", 6<sup>th</sup> International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, session *DUCTILITY AND SEISMIC RESPONSE*, "Politehnica" University of Timisoara, Stadion 1, Timisoara, Romania, RO-1900, September 1999.

[۵] آئین نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی (تجدیدنظر در استاندارد ۵۱۹).

- [۶] مقررات ملی ساختمانی ایران (مبحث دهم)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی، انتشارات مدیریت، تهران، ۱۳۷۹.