

# محاسبه مقاومت افزون قاب های خمشی کوتاه بتن مسلح به روش تحلیل غیرخطی

موسی محمودی صاحبی  
دانشجوی دکتری

عباسعلی تسنیمی  
استادیار

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس

## چکیده

برای طراحی لرزه ای سازه ها در برابر زلزله های شدید تغییر شکل غیر ارتجاعی اجزاء مجاز شمرده می شود. همین عامل سبب می گردد تا مقداری از انرژی در اثر تغییر شکل غیر ارتجاعی (شکل پذیری) جذب گردد. همچنین وقتی تغییر شکل غیر ارتجاعی جایز باشد، سازه در روند تشکیل پی در پی لولاهای خمیری همچنان به مقاومت در برابر زلزله ادامه خواهد داد. چنین مقاومتی که در فاصله تشکیل لولاهای خمیری و متناسب با ظرفیت عضو بروز می یابد، مقاومت افزون (overstrength) نام دارد. هدف این مقاله بررسی مقاومت افزون قاب های خمشی کوتاه است. بدین منظور سازه های کوتاه (یک، دو، سه و چهار طبقه) با تعداد دهانه های مختلف (یک، دو، سه و پنج دهانه) بررسی شده و مقاومت افزون آنها محاسبه گردیده است. نتیجه این بررسی نشان می دهد که مقاومت افزون سازه های کوتاه در خور توجه بوده و سبب کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار بار جانبی می گردد.

## *Estimation of Overstrength of Low-rised Flexural R. C. Frames Using Non-linear Analysis*

A. A. Tasnimi  
Assistant Prof.

M. Mahmoodi Sahebi  
Ph.D Student

Structural Division - Civil Eng. Dept.  
Tarbiat Modarres Univ.

## Abstract

*Inelastic deformation of structural components resisting large earthquakes is acceptable in seismic design. This is the cause of more energy absorption during the inelastic deformation. In such behaviour the strength of structure increases while plastic hinges are formed frequently in relevant components. The increase of strength which is revealed during the formation of plastic hinges is called overstrength and is mostly related to the strength of the components. This paper investigates the overstrength of various low-rised flexural R.C. frames having one, two, three and four stories with different spans. This investigation was carried out using proposed hysteresis model specified with strength degradation non - linear analysis.*

*The results indicate that overstrength capacity of such structures makes considerable reduction in lateral load induced by large earthquake to be resisted by such frames.*

## کلید واژه‌ها

رفتار لرزه‌ای، مقاومت افزون، لولاهای خمیری، شکل پذیری، قاب‌های خمشی کوتاه.

## مقدمه

غیر اقتصادی بودن طراحی ارتجاعی سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید، محققین را بر آن داشت تا در این قبیل طراحی‌ها، فقط نجات جان انسان‌ها را معیار اساسی برای طراحی قرار دهند و از تمامی عوامل مؤثر در جذب انرژی از طرف سازه تا مرحله ناپایداری و تخریب به منظور مقابله با زمین لرزه استفاده کنند. این فرآیند جذب انرژی هنگامی تحقق می‌یابد که سازه مورد نظر «شکل پذیر» باشد.

معمولاً وقتی در مورد جذب انرژی در مرحله غیرارتجاعی بحث می‌شود، در ابتدای امر فقط جذب انرژی ناشی از تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در نظر می‌آید، در صورتی که سازه در این مرحله از رفتار لرزه‌ای خود دارای مقاومت اضافی تحمل بار جانبی بوده و به کمک آن نیز انرژی زلزله را جذب می‌کند [۱]. به این مقاومت اضافی در اصطلاح مقاومت افزون (overstrength) گفته می‌شود.

ناگفته آشکار است که سختی سازه در محدوده رفتار، ارتجاعی یا ثابت است (ارتجاعی خطی) و یا تقریباً ثابت است (ارتجاعی غیرخطی). در حالی که در محدوده غیرارتجاعی، سختی سازه با تشکیل پی در پی لولاهای خمیری، به تدریج کاهش یافته تا به صفر می‌رسد. در چنین وضعیتی مقاومت سازه به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

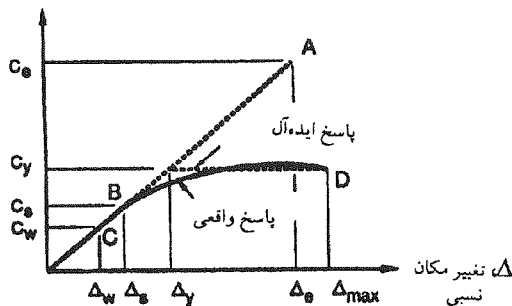
در طراحی ارتجاعی سازه‌ها از مقاومت افزون سازه‌ها صرف‌نظر می‌گردد، ولی در طراحی لرزه‌ای - غیرارتجاعی می‌توان از آن استفاده کرد و متناسب با مقدار آن ابعاد مقاطع اعضا را کاهش داد. اهمیت مقاومت افزون در بارگذاری و تحلیل و طراحی سازه‌ها ضرورت تحقیق بیشتر در این زمینه را آشکار می‌کند. در مقاله حاضر سعی شده است مقاومت افزون سازه‌های با قاب خمشی کوتاه بررسی و ارزیابی گردد.

## مقاومت افزون

همانگونه که اشاره شد، مقاومت افزون مقاومت اضافه‌ای است که سازه بعد از تشکیل اولین لولاهای خمیری تا مرحله ناپایداری از خود بروز می‌دهد. این

موضوع با استفاده از شکل (۱) توضیح داده می‌شود.

C، نسبت برش پایه



شکل (۱) منحنی پاسخ سازه‌ای کلی

در شکل فوق پوش پاسخ واقعی، به صورت یک منحنی پاسخ ارتجاعی - خمیری کامل، ایده‌آل سازی شده است. محور افقی نشان دهنده تغییر مکان جانبی است که ممکن است تغییر مکان نسبی دو طبقه مجاور (Drift) و یا تغییر مکان افقی در بالاترین تراز باشد. محور قائم نشان دهنده برش پایه اعمالی به سازه است که برای نتیجه‌گیری بهتر بر وزن مؤثر سازه تقسیم شده است. نسبت برش پایه نظیر طراحی به وزن مؤثر را (بدون در نظر گرفتن ضریب اطمینان) با  $C_w$  و نسبت برش پایه متناظر با تشکیل نخستین لولاهای خمیری با  $C_s$  نشان داده شده است. براین اساس نسبت  $C_s$  به  $C_w$  که بزرگتر از یک است، ضریب اطمینان طراحی خواهد بود. روشن است که رفتار سازه طی گذر از مرحله طراحی  $(C_s)$  به مرحله نخستین جاری شدن  $(C_y)$  ارتجاعی است. ولی پس از تشکیل اولین لولای خمیری در یکی از اعضا، سازه وارد مرحله غیرارتجاعی می‌گردد. در این مرحله به دلیل اینکه رفتار برخی دیگر از اعضای سازه‌ای در محدوده ارتجاعی باقی مانده‌اند، پدیده باز توزیع رخ داده و در نتیجه لولاهای خمیری یکی پس از دیگری تشکیل می‌شوند که این امر موجب کاهش تدریجی سختی سازه می‌گردد. در چنین وضعی رفتار سازه وارد مرحله غیر خطی شده و سختی آن به سمت صفر میل می‌کند و مقاومت سازه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. استمرار تشکیل لولاهای خمیری و کاهش سختی به مرحله‌ای می‌رسد که سختی منفی شده و پس از عدم پایداری شکست سازه فرار می‌رسد.

جدول (۱) وضعیت هندسی سازه های بررسی شده

تعداد	تعداد دهانه های انتخاب شده			
	۱	۲	۳	۵
طبقه				
۱	●	●	●	●
۲	●	●	●	●
۳		●	●	●
۴			●	●

### روش محاسبه مقاومت افزون

هر یک از سازه های انتخاب شده به کمک برنامه تحلیل غیرخطی دو بعدی DRAIN-2DX و با روش استاتیکی غیر خطی با فشار تدریجی (Push over) تحلیل گردید. این روش که می توان به کمک آن رفتار دینامیکی و پاسخ دینامیکی سازه ها را به خوبی تخمین زد، در مقابل روش تحلیل دینامیکی در قلمرو زمان (تاریخچه زمانی)، به دلیل ساده و سریع بودن کاربرد زیادی دارد. در روش فشار تدریجی، سازه را با یک الگوی بارگذاری از پیش مشخص شده ای تحریک کرده و مقدار نیروی تحریک کننده را در مراحل مختلف افزایش می دهند تا جایی که سازه یک دور کامل از منحنی رفتاری (ارتجاعی - خمیری) را طی کند. (به شکل ۱ رجوع شود). الگوی بارگذاری مورد استفاده در این تحقیق همان الگوی ارائه شده در آئین نامه ۲۸۰۰ می باشد. به دلیل مساوی فرض کردن جرم طبقات در سازه های مفروض، بار جانبی به صورت مثلثی در ارتفاع توزیع گردیده است.

نخستین قابی که تحت تحلیل فشار تدریجی قرار گرفته قاب یک دهانه و یک طبقه است که مشخصات اعضای آن در جدول (۲) ارائه شده است. برای محاسبه سختی اعضاء، وجود ترک در مرحله ارتجاعی به عنوان عامل کاهشده سختی منظور شد و اثر آن در تیرها و ستونها به ترتیب برابر ۵۰ و ۲۰ درصد کاهش سختی در مقطع خالص هر یک در نظر گرفته شد [۲]. بنابراین مقاطع ترک خورده (پس از کاهش سختی) در مطالعه رفتاری اعضاء ملحوظ شده اند.

منحنی نیرو - تغییر مکان حاصل از تحلیل فشار تدریجی به عنوان پاسخ کلی سازه در شکل (۲) ارائه

در منحنی ایده آل شده بار - تغییر مکان، پس از نخستین جاری شدگی ( $C_s$ ) که در واقع غیر خطی است به صورت خط مستقیم و در امتداد دو مرحله  $C_w$  و  $C_s$  مدل می گردد و تا مرحله جاری شدن کلی سازه امتداد می یابد. جاری شدن کلی سازه تعاریف مختلفی دارد که در قسمت های بعدی به آن اشاره می گردد. مرحله جاری شدن کلی سازه را به  $C_y$  نشان داده که در واقع نسبت برش پایه در مرحله جاری شدن کلی به وزن مؤثر سازه است.

همانگونه که در شکل مشخص شده است، سازه بعد از مرحله نخستین جاری شدن ( $C_s$ ) همچنان به مقاومت خود در برابر زلزله ادامه می دهد، تا به مرحله جاری شدن کلی سازه ( $C_y$ ) برسد. مقاومت بین این دو مرحله همان مقاومت افزون سازه است و با ضریب مقاومت افزون نشان داده می شود. ضریب فوق به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$R_s = \frac{C_y}{C_s} \quad (1)$$

### مدل سازی سازه ها

در این تحقیق برای محاسبه مقاومت افزون قاب های خمشی از مدل دو بعدی سازه ها استفاده شده است. برای بارگذاری سازه ها از آئین نامه ۵۱۹ و آئین نامه ۲۸۰۰ به ترتیب برای بارهای ثقلی و زلزله استفاده شده است.

تحلیل ارتجاعی سازه ها با استفاده از نرم افزار SAP90 انجام شده و آئین نامه 318-92 ACI برای طراحی اعضا به کار گرفته شده است. ستون ها و تیرهای هر طبقه یکسان فرض گردیده است. به منظور بررسی اثر تغییر در تعداد طبقه و دهانه بر ضریب مقاومت افزون، سازه های مختلفی با تعداد طبقه و تعداد دهانه های متفاوت بررسی گردیده است. در تمامی حالات ارتفاع طبقات ۳ متر و طول دهانه ۴ متر فرض شده است. در جدول (۱) مشخصات سازه هایی که مورد بررسی قرار گرفته اند آمده است.

بعد از تحلیل و طراحی ارتجاعی سازه ها، در مرحله تحلیل غیرارتجاعی از برنامه تحلیل غیرخطی DRAIN-2DX استفاده گردیده است.

شده است. در این شکل محور افقی نسبت تغییر مکان در تراز سقف به ارتفاع سازه  $(\frac{\Delta}{H})$  بوده و محور قائم نسبت برش پایه به وزن مؤثر سازه  $(C = \frac{V}{W_{eff}})$  می باشد.

ضریب  $C_w$  همان ضریب زلزله  $(ABI/R)$  است، در تحلیل سازه فوق مقدار شتاب مینای طرح برای مناطق با خطر نسبی بالا  $(A = 0.25)$  اختیار شد. از آنجا که ساختمان فوق یک طبقه است، مقدار ضریب بازتاب آن باید برابر با مقدار محدود شده توسط آکین نامه ۲۸۰۰ اختیار شود که در این حالت برابر با ۲ می شود. مقدار ضریب رفتار ساختمان برای قاب خمشی بتنی برابر با ۵ انتخاب گردید. در این صورت مقدار ضریب  $C_w$  برابر با ۰/۱۴ به دست می آید.

برای به دست آوردن مقدار ضریب  $C_s$  که بر طبق تعریف نسبت برش پایه هنگام تشکیل نخستین لولای خمیری به وزن مؤثر است، از منحنی پاسخ کلی سازه استفاده می شود. در حالت فوق مقدار برش پایه نظیر نخستین لولای خمیری برابر با ۲/۳ تن به دست می آید. وزن مؤثر سازه نیز برابر با ۱۰/۰۸ تن محاسبه شده است که در این صورت مقدار  $C_s$  برابر با ۰/۲۲۸ می شود.

اکنون باید ضریب مقاومت نظیر جاری شدن کلی سازه در رفتار ایده آل یعنی  $C_y$  را به دست آورد. بر طبق تعریف انتخاب شده در مرجع شماره ۲ چنانچه بخواهیم جاری شدن کلی سازه را مشخص کنیم، بهترین و مهم ترین راه محدود کردن خیز جانبی و کلی آن می باشد.

در این مرجع مقاومت یا برش پایه حد جاری شدن نظیر تغییر مکان نسبی  $(\Delta/H = 0.01)$  تعریف می شود. [۲] نیاز شکل پذیری در این تراز اندک بوده و معمولاً کمتر از ۲ می باشد. در این سازه برش پایه متناظر با تغییر مکان نسبی در تراز فوقانی  $(0.01)$  برابر ۵/۰۴ تن به دست می آید. بنابراین مقدار  $C_y$  نظیر برابر ۰/۵ محاسبه شد. اینک با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضریب مقاومت افزون  $(R_s)$  برابر با ۲/۱۹ می شود.

با رجوع به تعریف ضریب اطمینان مقدار آن که نسبت به  $C_s$  به  $C_w$  است، برابر با ۱/۶۳ محاسبه می شود.

روشن است که تغییر مکان نسبی نظیر جاری شدن کلی سازه برابر است با حاصلضرب نظیر مکان نسبی نظیر نخستین جاری شدگی در ضریب مقاومت افزون یعنی:

$$\Delta_y = R_s \times \Delta_s$$

$$\Delta_y = 2/19 (9/97 \times 10^{-3}) \quad (2)$$

$$\Delta_y = 0/022m$$

حال با عنایت به تعریف نیاز شکل پذیری متناظر با جاری شدن کلی سازه می توان مقدار آن را که نسبت تغییر مکان نسبی مربوط به حالت جاری شدن کلی سازه در رفتار واقعی (منحنی واقعی مدل نشده) به تغییر مکان نسبی نظیر جاری شدن کلی در رفتار ایده آل (منحنی مدل شده) می باشد، به دست آورد.

جدول (۲) مشخصات قاب يك طبقه و يك دهانه

شماره عضو	مشخصات اعضای سازه			
	ابعان (Cm × Cm)	EI (T - m <sup>2</sup> )	My + ve (T - m)	My - ve (T - m)
۱	۲۵ × ۲۵	۵۴۶	۶/۶۶	۶/۶۶
۲	۲۵ × ۲۵	۵۴۶	۶/۶۶	۶/۶۶
۳	۱۵ × ۲۵	۲۱۰	۴/۵۹	۴/۵۹

بنابراین خواهیم داشت:

$$\mu\Delta = \frac{\Delta R}{\Delta Y} \quad (2)$$

$$\mu\Delta = \frac{0/03}{0/022} = 1/36 < 2$$

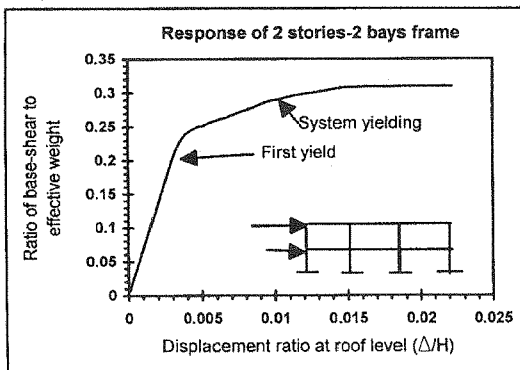
نتیجه به دست آمده نشان می دهد که نیاز شکل پذیری ۱/۳۶ کمتر از مقدار ۲ می باشد.

مراحل تشکیل لولاهای خمیری و نسبت برش پایه نظیر آنها در جدول (۳) ارائه شده است. در ستون اول این جدول ترتیب تقدم لولاهای خمیری که در اعضای مختلف تشکیل می شوند آمده است. ستون دوم شماره گره هایی که لولاهای خمیری در ابتدا یا انتهای هر عضو تشکیل شده اند، نشان می دهد. برای مشخص کردن هر گره و لولای خمیری آن از دو حرف «i» و «j» برای ابتدا و انتهای عضو مرتبط و عدد «n» برای شماره عضو استفاده شده است. برای مثال نخستین لولای خمیری در عضو شماره ۳ (n=۳) و در انتهای آن «j» تشکیل شده است. پس در ستون دوم جدول ۳ موقعیت تشکیل لولاهای خمیری با «j→۳» نشان داده شده است. در ستون سوم نسبت برش پایه که متناظر با لحظه تشکیل هر یک از لولاهای خمیری است آمده است. همانگونه که از جدول فوق پیداست سازه تا سطح نسبت برش پایه ۰/۷۴۷ از خود مقاومت نشان می دهد، ولی از آنجایی که رسیدن به چنین مقاومتی شکل پذیری بالایی را طلب می کند از آن صرف نظر شده است.

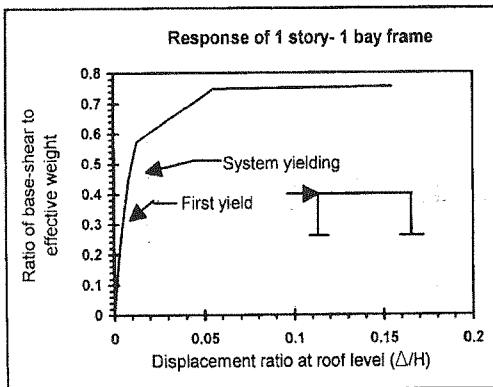
کلیه مراحل فوق برای قاب های یک طبقه با تعداد دهانه های ۲، ۳ و ۵ انجام شده و ضریب مقاومت افزون برای آنها محاسبه گردیده است. نتایج مربوطه در جدول (۴) ارائه شده است.

کلیه مراحل فوق برای سازه های با تعداد طبقات ۲، ۳ و ۴ و برای دهانه های مندرج در جدول (۱) انجام شده است که منحنی پاسخ قاب های ۳ دهانه در شکل های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است و نتایج کامل آنها برای تعیین ضرایب مقاومت افزون در جدول های (۵)، (۶) و (۷) ارائه شده است. همانگونه که از این جدول ها پیداست، ضرایب مقاومت افزون برای قاب های با تعداد طبقات مساوی تقریباً یکسان می باشد و اختلاف چندانی مشاهده نمی گردد. تنها مورد اختلاف در قاب های یک دهانه است که ضرایب مربوط به آنها بزرگتر است. علت این امر در وجود ستون های کناری و میانی است که قاب های یک دهانه فاقد ستون های میانی هستند.

از آنجایی که مقدار این ضریب بستگی چندانی به تعداد دهانه ندارد، در قاب های ۳ و ۵ طبقه فقط سازه های ۳ و ۵ دهانه مورد مطالعه قرار گرفته است. در قاب های یک طبقه بارهای ثقلی نیروهای حاکم طراحی هستند، به همین دلیل ضریب اطمینان آنها برای بار زلزله و همچنین ضریب مقاومت افزون آنها از دیگر قاب ها به مراتب بیشتر می باشد.



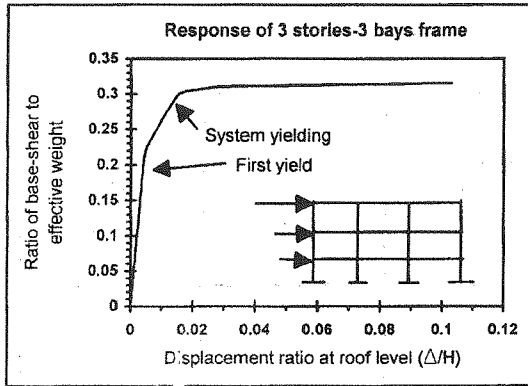
شکل (۲) پاسخ کلی قاب یک طبقه و یک دهانه



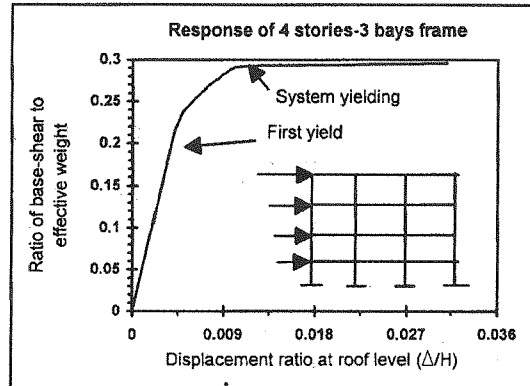
شکل (۳) پاسخ کلی قاب دو طبقه و سه دهانه

جدول (۳) ترتیب تشکیل لولاهای خمیری در قاب یک طبقه و یک دهانه

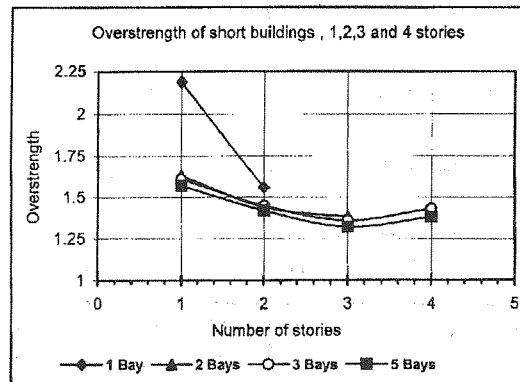
نسبت برش پایه نظیر	شماره گره	ترتیب تقدم تشکیل لولاهای خمیری
۰/۲۲۸	۳ → j	۱
۰/۴۴۲	۲ → i	۲
۰/۵۷۳	۱ → i	۳
۰/۷۴۷	۳ → i	۴



شکل (۵) پاسخ کلی قاب چهار طبقه و سه دهانه



شکل (۴) پاسخ کلی قاب سه طبقه و سه دهانه



شکل (۶) مقاومت افزون قاب‌ها برای تعداد طبقه و دهانه مختلف

جدول (۴) مشخصات منحنی پاسخ قاب‌های يك طبقه با دهانه‌های مختلف

تعداد دهانه‌های موردنظر	نسبت برش پایه به وزن مؤثر			ضریب ایمنی F.S.	ضریب مقاومت افزون $R_s$
	نظیر طراحی $C_w$	نظیر نخستین جاری شدن $C_s$	نظیر جاری شدن کلی سازه $C_y$		
۱	۰/۱۴	۰/۲۲۸	۰/۵	۱/۶۲	۲/۱۹
۲	۰/۱۴	۰/۴	۰/۶۵	۲/۸۶	۱/۶۲
۳	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۶۱	۲/۷۱	۱/۶۱
۵	۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۵۴	۲/۴۲	۱/۵۸

جدول (۵) مشخصات منحنی پاسخ قاب های دو طبقه

تعداد دهانه های مورد نظر	نسبت برش پایه به وزن مؤثر			ضریب ایمنی F.S.	ضریب مقاومت افزون $R_s$
	نظیر طراحی $C_w$	نظیر نخستین جاری شدن $C_s$	نظیر جاری شدن کلی سازه $C_y$		
۱	۰/۱۴	۰/۲۰۸	۰/۳۲۵	۱/۴۹	۲/۵۶
۲	۰/۱۴	۰/۲۱۷	۰/۳۱۳	۲/۵۵	۱/۴۴
۳	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۹	۲/۴۲	۱/۴۵
۵	۰/۱۴	۰/۱۹۳	۰/۲۷۳	۲/۳۸	۱/۴۱

جدول (۶) مشخصات منحنی پاسخ قاب های سه طبقه

تعداد دهانه های مورد نظر	نسبت برش پایه به وزن مؤثر			ضریب ایمنی F.S.	ضریب مقاومت افزون $R_s$
	نظیر طراحی $C_w$	نظیر نخستین جاری شدن $C_s$	نظیر جاری شدن کلی سازه $C_y$		
۲	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۷۶	۱/۴۲	۱/۳۸
۳	۰/۱۴	۰/۱۹۴	۰/۲۶۵	۱/۳۸۶	۱/۳۶
۵	۰/۱۴	۰/۲۰۶	۰/۲۷۲	۱/۴۷	۱/۳۲

جدول (۷) مشخصات منحنی پاسخ قاب های دو طبقه

تعداد دهانه های مورد نظر	نسبت برش پایه به وزن مؤثر			ضریب ایمنی F.S.	ضریب مقاومت افزون $R_s$
	نظیر طراحی $C_w$	نظیر نخستین جاری شدن $C_s$	نظیر جاری شدن کلی سازه $C_y$		
۲	۰/۱۴	۰/۲۰۳	۰/۲۹۱	۱/۴۵	۱/۴۳
۵	۰/۱۴	۰/۱۹۸	۰/۲۷۳	۱/۴۱	۱/۳۸

ناشی از مقاومت افزون سازه و  $R_{\mu}$  ضریب رفتار ناشی از ظرفیت شکل پذیری سازه می باشد.

باتوجه به مطالعه فوق مقدار  $R_s$  بین ۱ الی ۲ در حال تغییر است. از طرفی نتیجه بررسی های دیگران نشان داده که تغییرات ظرفیت شکل پذیری سازه های متعارف بین ۳ تا ۵ در حال نوسان است [۲] و بدین ترتیب ضریب رفتار و یا ضریب کاهش مقاومت بین دو مقدار ۳ و ۱۰ در حال تغییر است.

### نتیجه گیری

در طراحی سازه ها در برابر زلزله های شدید طرح لرزه ای ارتجاعی سازه به جز در موارد استثنایی مقرون به صرفه نیست. در این حالت هدف فقط نجات جان انسان هاست و سازه بعد از وقوع زلزله قابل استفاده نخواهد بود. عواملی که در جذب انرژی سازه کمک می کنند عبارتند از مقاومت افزون و شکل پذیری. در تحقیق حاضر مقاومت افزون سازه های خمشی کوتاه محاسبه گردیده است. مقاومت افزون سازه های یک طبقه به دلیل حاکم بودن نیروهای ثقلی در طراحی سازه دارای مقدار بالایی است. به طور کلی می توان گفت مقاومت افزون سازه ای کوتاه حدوداً بالاتر از ۳۰ درصد مقاومت اولیه آنها می باشد. لذا به همین میزان می توان از نیاز مقاومت ارتجاعی آنها کاست تا هزینه های طرح لرزه ای کاهش یابد. با تحقیقات بیشتر می توان نحوه تعیین مقاومت افزون در سازه ها را قانونمند کرد. همچنین مقاومت افزون سازه های خمشی متوسط و بلند در دست بررسی است و در آینده نزدیک ارائه می گردد.

مقایسه ضرایب مقاومت افزون قاب های مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. همچنان که از شکل پیداست ضریب مقاومت افزون با افزایش تعداد طبقه به طور کلی کاهش می یابد. همچنین با رجوع به جدول های ارائه شده مشاهده می شود که ضریب مقاومت افزون با افزایش تعداد دهانه کاهش دارد.

### کاربرد تحقیق

در مقدمه اشاره شد که مقاومت افزون سازه ها مقاومت ثانویه ای است که می توان از ظرفیت آن در مقابل زلزله های شدید استفاده کرد. این عمل با کاهش نیروی جانبی طراحی زلزله صورت می پذیرد و فرض می گردد که مقاومت کاهش یافته ارتجاعی سازه به کمک مقاومت افزون جبران شود. در آئین نامه ها با اعمال ضریب رفتار ( $R$ ) در محاسبه برش پایه فرض فوق ارضاء می گردد.

$$V = \frac{ABI}{R} \quad (۴)$$

با تقسیم مقاومت نیاز ارتجاعی بر ضریب رفتار، برش پایه مورد نیاز کاهش می یابد. ضریب رفتار از دو عامل بسیار مهم شکل پذیری و مقاومت افزون ناشی می شود و به صورت زیر محاسبه می گردد [۴]:

$$R = R_s \times R_{\mu} \quad (۵)$$

که در آن  $R$  ضریب رفتار سازه،  $R_s$  ضریب رفتار

### مراجع

- [۱] محمودی م.، تسنیمی ع.، «عوامل مؤثر بر نیاز لرزه ای - غیر ارتجاعی سازه ها»، مجموعه مقالات سمینار استان فارس، زلزله، کاهش آسیب پذیری و الگوهای بازسازی، خرداد ۱۳۷۵.
- [2] T. Paulay, and R. "Park, Joints In Reinforced Concrete Frames Designed For Earthquake Resistance", A Report prepared for a U. S. - New zeland - Japan Seminar, July 1984.