



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳، صفحه ۶۳ تا ۷۵
Vol. 46, No. 1, Summer 2014, pp. 63-75



نشریه علمی - پژوهشی امیر کبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

تعیین ضریب رفتار قاب‌های پیش ساخته بتنی همراه با دیوار برشی پیش ساخته بتنی

مرتضی مدح خوان^{۱*}، مجید دیوان^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت ۱۳۹۱/۱/۱۵، پذیرش ۱۳۹۱/۱۰/۲۴)

چکیده

تحقیقات زیادی توسط محققین مختلف برای تعیین رفتار ساختمان‌های پیش ساخته در برابر بارهای لرزه‌ای صورت گرفته است. اما در این تحقیقات ضریب رفتار ساختمان‌های پیش ساخته کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، انواع مختلفی از قاب‌های بتنی پیش ساخته همراه با دیوار برشی پیش ساخته ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با تعداد دهانه‌های ۳ و ۵ دهانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین تاثیر دو نوع بارگذاری یکنواخت و مثلثی شکل، مفصلی و گیردار بودن اتصالات تیر به ستون و علاوه بر آن تاثیر دو نوع مختلف اتصالات قائم و افقی ما بین پانل‌ها در نظر گرفته شده است. برای تعیین ضریب رفتار از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. بدین منظور از نرم افزار **Perform 3D** برای مدل سازی استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که بارگذاری جانبی تاثیر ناچیزی بر ضریب رفتار دارد. همچنین با افزایش تعداد دهانه‌های دارای دیوار برشی، ضریب رفتار کاهش یافته و با افزایش تعداد طبقات سازه، ضریب رفتار افزایش می‌یابد. مفصلی و گیردار بودن اتصالات تیر به ستون و همچنین نوع اتصالات افقی ما بین پانل‌ها تاثیر کمی بر روی ضریب رفتار قاب‌ها دارد. با مقایسه مقادیر ضریب رفتار بدست آمده در این تحقیق با مقادیر ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ و **NEHRP 2003** دیده شد که برای ساختمان‌های ۴ و ۸ طبقه مقادیر ارائه شده در این تحقیق با مقادیر آیین نامه‌ای برابری خوبی دارد.

کلمات کلیدی

قاب پیش ساخته بتنی، دیوار برشی پیش ساخته بتنی، ضریب رفتار، تحلیل پوش آور.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: madhkhan@cc.iut.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه ساختمان سازی به ویژه مسکن از مشکلات عمده جامعه ماست. تلاش های زیادی برای ارائه راهکارهایی که بتواند سرعت ساختمان سازی را افزایش دهد و از سوی دیگر هزینه ساختمان سازی را کاهش دهد صورت گرفته است. بتن از جمله مصالحی است که اگر با آگاهی و شناخت خصوصیات آن به کار گرفته شود، از نظر اقتصادی می تواند مؤثر باشد. قطعات پیش ساخته بتنی به قطعاتی گفته می شود که در جایی غیر از محل احداث ساختمان تولید شده و سپس به محل اجرای ساختمان منتقل شده و در همان جا نصب می شوند [۴]. مهم ترین مسئله در مورد ساختمان های پیش ساخته، اتصالات قطعات پیش ساخته است که باید در برابر بارهای قائم، بارهای دینامیکی، نیروهای ناشی از افت، انقباض و خزش و غیره مقاومت کافی داشته باشند. برای افزایش استفاده از ساختمان های پیش ساخته بتنی در مناطق با لرزه خیزی شدید و برای رقابت با ساختمان های درجا نیاز به طراحی و ساخت اتصالات مناسب می باشد. بنابراین شناخت رفتار این اتصالات تحت بارهای جانبی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد [۵]. همچنین در اکثر آیین نامه ها مقادیر ضریب رفتار برای سازه های بتنی درجا ارائه شده و اطلاعات کافی در مورد ضریب رفتار سازه های بتنی پیش ساخته موجود نیست.

تحقیقات زیادی برای تعیین ضریب رفتار سازه های مختلف صورت گرفته است که در زیر به چند نمونه اشاره شده است: در سال ۱۹۹۷، برکات و همکاران ضریب رفتار قاب های بتن مسلح با دیوار برشی را مورد مطالعه قرار دادند [۶]. ایشان ساختمان های ۴، ۶ و ۸ طبقه را به صورت قاب های خمشی همراه با دیوار برشی بتنی در هر دو راستا و به صورت سه بعدی مدل نمودند. در حالت کلی مشاهده شد که ضریب رفتار برای مناطق با لرزه خیزی بالا از سایر مناطق بیشتر است.

در سال ۱۹۹۹، کاپوس به ارزیابی ضریب رفتار سازه ها براساس شکل پذیری و اضافه مقاومت سازه پرداخت [۷]. مقادیر ضریب رفتار، برای سازه های بتنی که با استفاده از آیین نامه EC-8 طراحی شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. در پایان نتایج بدست آمده با نتایج ارائه شده توسط EC-8 مقایسه شد.

در سال ۲۰۰۸، مدح خوان و طیبی طلوع به بررسی ضریب رفتار قاب های پیش ساخته بتنی همراه با بادبندی فلزی پرداختند [۱]. ایشان تاثیر عواملی مانند درصد صلبیت تیر به ستون اعضای پیش ساخته بتنی، تعداد دهانه های بادبندی شده، سختی اعضای بتنی و تعداد طبقات ساختمان را مورد بررسی قرار دادند. برای محاسبه ضریب رفتار از روش آنالیز استاتیکی

غیرخطی (پوش آور) استفاده نمودند.

در سال ۲۰۰۹، هاشمی و همکاران ضریب رفتار سازه های ساخته شده با پانل های بزرگ پیش ساخته بتنی را مورد بررسی قرار دادند [۲]. بدین منظور انواع مختلفی از سازه های پیش ساخته متشکل از پانل های بزرگ ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با تعداد دهانه های ۱، ۳ و ۵ را مورد بررسی قرار دادند. تاثیر دو نوع مختلف اتصالات افقی و قائم، دو نوع بارگذاری یکنواخت و مثلثی شکل و همچنین مقاومت بتن مصرفی بر ضریب رفتار را در نظر گرفتند. برای تعیین ضریب رفتار از تحلیل پوش آور استفاده نمودند. در پایان نیز بیان داشتند که با افزایش تعداد دهانه ها و طبقات ساختمان ضریب رفتار افزایش می یابد. همچنین تاثیر اتصالات افقی و مقاومت بتن مصرفی بر ضریب رفتار ناچیز می باشد. در تحقیق حاضر به تعیین ضریب رفتار قاب های پیش ساخته بتنی با اتصالات تیر به ستون مفصلی و گیردار همراه با دیوار برشی پیش ساخته بتنی با دو نوع اتصالات افقی مابین پانل ها پرداخته می شود.

۲- مبانی محاسبه ضریب رفتار سازه ها

به طور کلی ضریب رفتار سازه ها، R ، بیانگر ماکزیمم نیروی جانبی سازه در حالت الاستیک، V_e ، به نیروی طراحی، V_w ، می باشد. به عبارت دیگر ضریب رفتار سازه ضریبی است که نیروی گسیختگی سازه در حالت الاستیک را تا حد نیروی طراحی سازه پایین می آورد. همچنین ضریب رفتار سازه ضریبی است که بیانگر شکل پذیری و مقاومت سازه در حالت غیرخطی می باشد. در شکل (۱) نمودار نیروی جانبی سازه در برابر تغییر مکان سازه ترسیم شده است. با توجه به شکل (۱) در حالت کلی خواهیم داشت:

$$R = \frac{V_e}{V_w} \quad (1)$$

به طور کلی ضریب رفتار سازه، ضریبی است که به صورت تجربی تعیین شده و تابعی از میرایی، اضافه مقاومت، زمان تناوب سازه، درجه نامعینی و شکل پذیری سازه و متناظر با تغییر مکانی است که از تغییر مکان در حالت تسلیم سازه بزرگتر باشد [۸]. برای تعیین ضریب رفتار، سازه باید قادر باشد تغییر مکان غیر خطی زیادی را متحمل شود بدون این که گسیختگی در سازه اتفاق بیفتد [۹].

ظرفیت تغییر شکل غیرارجاعی در سازه ها به کمک ضریب شکل پذیری بیان می شود، که از حاصل تقسیم تغییر شکل نهایی سازه به تغییر شکل لحظه تسلیم آن بدست می آید، بدین ترتیب

گفتنی است که رابطه فوق برای سازه‌های یک درجه آزادی می‌باشد. اما میراندا نشان داد که ضریب کاهش نیروی سازه‌های چند درجه آزادی با ضریبی به ضریب محاسبه شده برای سازه‌های یک درجه آزادی مرتبط می‌باشد [۱۲]. در این تحقیق از این ضریب صرف نظر شده است.

ضریب اضافه مقاومت با توجه به نمودار نیروی برشی پایه-تغییرمکان (شکل ۱) و با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود. همچنین ضریب تنش مجاز معمولاً برابر با ۱/۴ در نظر گرفته می‌شود.

$$R_s = \frac{V_y}{V_s} \quad (6)$$

۳- اتصالات افقی و قائم مورد استفاده

۳-۱- اتصالات افقی

در این تحقیق برای مدل‌سازی اتصالات افقی از نتایج کار سودکی و همکاران [۱۳، ۱۴ و ۱۵] استفاده شده است. دو نمونه اتصال با عنوان RS و RT انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفتند. این اتصالات در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

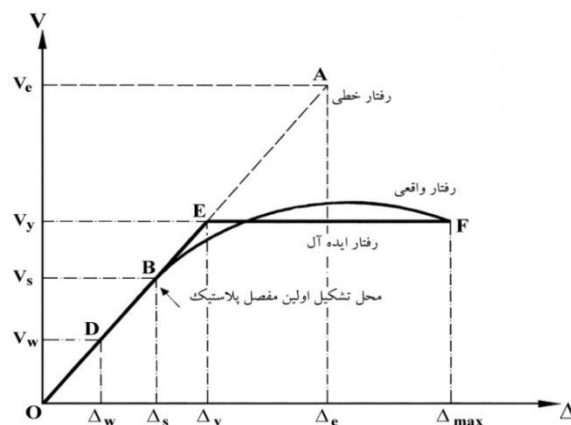
اتصال RS به اتصالی گفته می‌شود که در آن از آرماتورهای انتظاری که قبل از بتن‌ریزی در پانل تعبیه شده است، استفاده می‌شود. یک غلاف فلزی به نام اسلیو نیز در انتهای بالایی هر پانل قرار داده و آرماتور انتظار پانل پایینی درون آن قرار می‌گیرد. پس از نصب پانل بالایی، آرماتور انتظار این پانل نیز در اسلیو قرار می‌گیرد. سپس درز مابین آرماتورهای انتظار و اسلیو به وسیله بتن منبسط شونده پر می‌شود (شکل ۲ الف).

اتصال RT به اتصالی گفته می‌شود که در آن پس از قرار دادن پانل‌ها بر روی هم، آرماتورهای انتظار به یک مقطع قوطی‌شکل فلزی پیچ می‌شوند. مانند اتصال RS درز مابین آرماتورها و مقطع قوطی شکل به وسیله بتن منبسط شونده پر می‌شود (شکل ۲ ب).

۳-۲- اتصالات قائم

در این تحقیق برای مدل‌سازی اتصالات قائم، از اتصال زیانه-دار به همراه آرماتور برشی که توسط چاکرآبارتی و همکاران ارائه شده است،

ضریب رفتار سازه به طور مستقیم به ضریب شکل‌پذیری آن بستگی پیدا می‌نماید. هر چه ضریب شکل‌پذیری یک سازه (μ) بیشتر باشد، میزان جذب انرژی بالاتر بوده و در نتیجه مقدار ضریب رفتار بزرگتر خواهد بود.



شکل (۱): منحنی پاسخ کلی سازه [۷]

ضریب شکل‌پذیری μ از رابطه ۲ بدست می‌آید [۱۰]:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2)$$

با توجه به مفاهیم فوق، ضریب رفتار سازه که برای تبدیل نیروی خطی اعمالی به سازه به نیروی خطی طراحی به کار می‌رود، طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۱۰]:

$$R_w = \frac{V_e}{V_w} = \frac{V_e}{V_y} \times \frac{V_y}{V_s} \times \frac{V_s}{V_w} \quad (3)$$

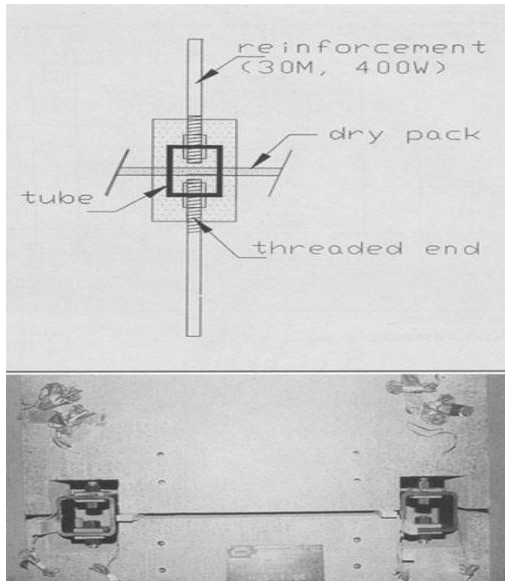
که در آن R_s ، ضریب اضافه مقاومت، R_μ ، ضریب کاهش نیرو و Y ، ضریب تنش مجاز هستند.

برای محاسبه ضریب کاهش نیرو در این تحقیق از نتایج کار میراندا استفاده می‌شود که روابط آن عبارت است از [۱۱]:

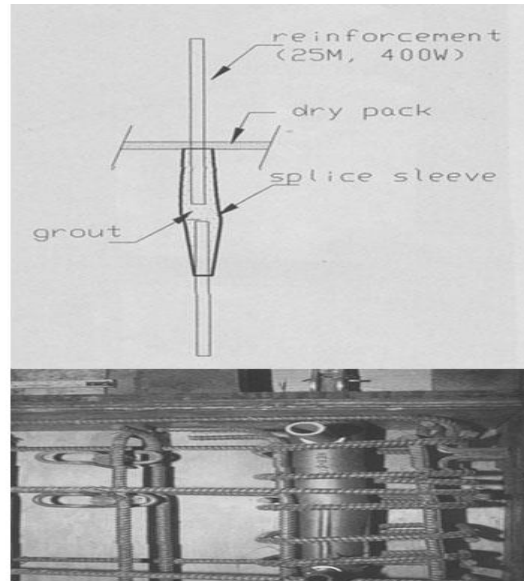
$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \geq 1 \quad (4)$$

که در آن ϕ تابعی از T ، μ و شرایط خاک است و برای لایه‌های سنگی با استفاده از رابطه ۵ بدست می‌آید:

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \exp[-1.5(\ln(T) - 0.6)^2] \quad (5)$$

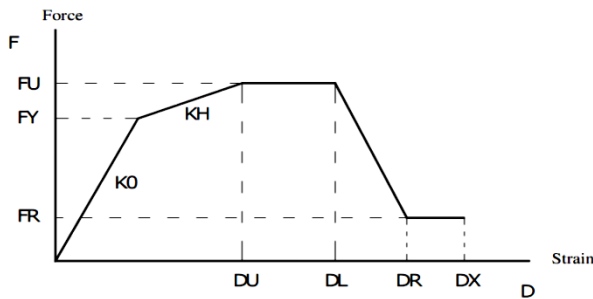


ب: اتصال RT



الف: اتصال RS

شکل (۲): جزئیات اتصالات RS و RT [۱۳]

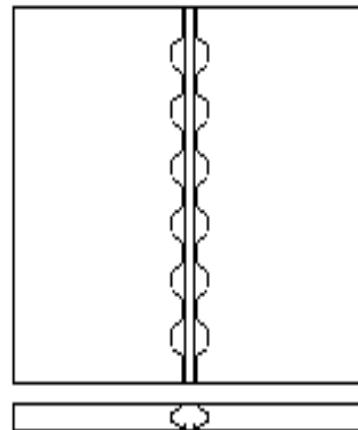


شکل (۴): منحنی نیرو- کرنش اتصال در محدوده غیرخطی

جدول (۱): مقادیر عوامل مختلف نمودار نیرو-کرنش برای اتصالات افقی و قائم

	RS	RT	D_4
E (MPa)	13040	17300	75000
A (mm)	49.1	70	10
K_H/K_0	0.24	0.24	0.38
F_y (N)	2240	1400	450
F_U (N)	2850	1700	1995
F_R/F_U	0.6	0.5	0.1
D_U	0.075	0.06	0.06
D_L	0.12	0.1	0.07
D_R	0.17	0.12	0.10
D_X	0.18	0.15	0.20

مشخصات منحنی نیرو- تغییرمکان این اتصال به صورت نمودارهایی توسط چاکرا بارتی ارائه شده است [۱۶]. در شکل (۳)، نمونه این اتصال نشان داده شده است:



شکل (۳): اتصال زبانه دار به همراه آرماتور برشی [۱۶]

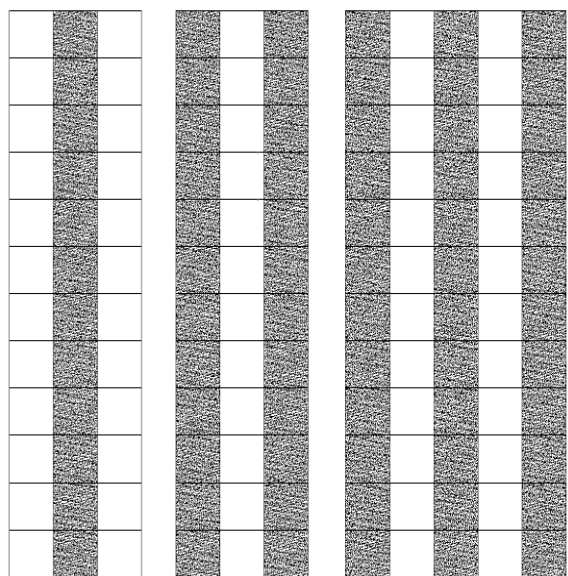
برای مدل سازی رفتار این اتصالات، منحنی نیرو- تغییرمکان آن‌ها مطابق شکل (۴) و مقادیر عددی آنها در جدول (۱) نشان داده شده است.

در شکل ۴، E ، مدول الاستیسیته، A سطح مقطع، F_y نیروی تسلیم و F_U نیروی نهایی می‌باشد. همچنین در این نمودار، D_U کرنش متناظر با اولین جایی است که نیرو به مقدار ماکزیمم می‌رسد. D_L متناظر با اولین نقطه کاهش نیرو، D_R متناظر با نقطه نهایی کاهش نیرو و D_X متناظر با نقطه گسیختگی نمودار می‌باشد.

۴- مدل‌های مورد بررسی

در این تحقیق فرض بر این است که سازه مورد بررسی تحت پیچش و کمانش خارج صفحه قرار نمی‌گیرد و مدل‌ها به صورت دو بعدی ایجاد شده‌اند. دیوارها به صورت دیوار برشی متوسط طراحی شده، طول دهانه‌ها ۶ متر و ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر در نظر گرفته شده است. این مدل‌ها شامل سامانه ساختمانی ساده و دوگانه (ترکیبی) پیش‌ساخته بتنی در ۳ و ۵ دهانه و ۴، ۸ و ۱۲ طبقه هستند (شکل ۵).

تاثیر اتصالات افقی، نوع بارگذاری (مثلی و یکنواخت)، نوع سیستم سازه‌ای، تعداد دهانه‌های قاب، تعداد دهانه‌های دیوار برشی و تعداد طبقات بر ضریب رفتار مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر موارد فوق بر ضریب شکل پذیری، تغییر مکان سازه و پیوند سازه نیز ملاحظه شده است. در ادامه به بررسی عوامل موثر بر روی ضریب رفتار سازه پرداخته می‌شود.



پ: قاب های دوازده طبقه با تعداد دهانه های سه و پنج

شکل (۵): نحوه توزیع دیوارهای برشی در قابهای مورد بررسی

۵- تاثیر نوع اتصالات

در این تحقیق از دو نوع اتصال افقی با عناوین RS و RT که در شکل (۲) نشان داده شده‌اند استفاده شده است. در ادامه به تاثیر هر کدام از اتصالات بر روی ضریب رفتار سازه می‌پردازیم.

۵-۱- اتصال افقی RS

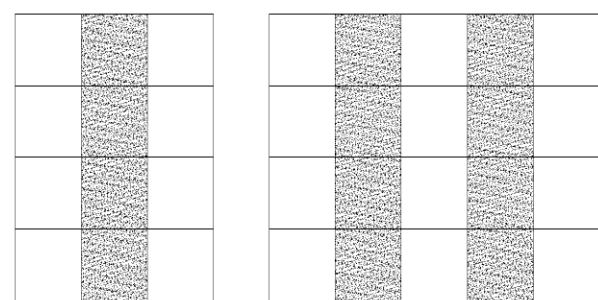
با توجه به اینکه در این تحقیق از دو نوع اتصال مفصلی و گیردار برای اتصالات تیر به ستون استفاده شده است، در ادامه تاثیر اتصال افقی RS بر روی ضریب رفتار، برای این‌گونه سازه‌ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- سیستم قاب ساختمانی دوگانه:

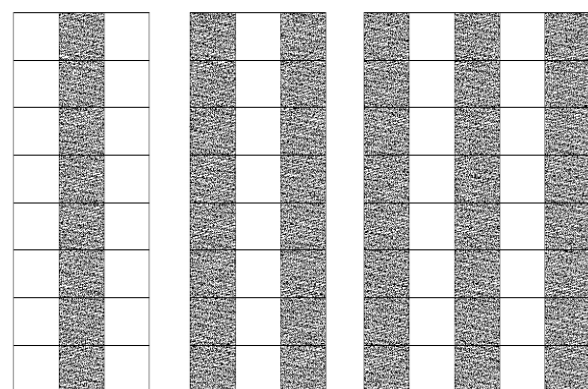
در این تحقیق، منظور از قاب ساختمانی دوگانه نوعی سیستم سازه‌ای است که از اتصالات گیردار مابین تیر و ستون استفاده شده است. همچنین علاوه بر قاب بتنی از دیواربرشی پیش‌ساخته بتنی برای تحمل بارهای جانبی استفاده می‌شود.

در شکل‌های ۶ و ۷، ضریب اضافه مقاومت، شکل‌های (۸) و (۹) ضریب کاهش نیرو و شکل‌های (۱۰) و (۱۱) حاصل ضرب ضریب اضافه مقاومت در ضریب کاهش نیرو یعنی ضریب رفتار سازه را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که ضرایب رفتار ارائه شده در این بخش برای طراحی به روش مقاومت نهایی محاسبه شده‌اند.

با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که با افزایش



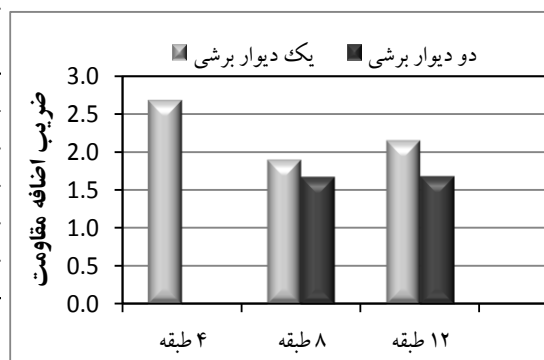
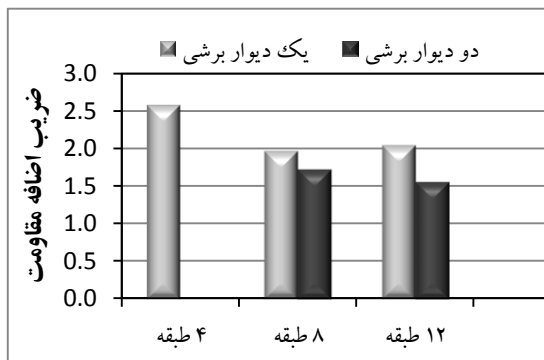
الف: قاب های چهار طبقه با تعداد دهانه های سه و پنج



ب: قاب های هشت طبقه با تعداد دهانه های سه و پنج

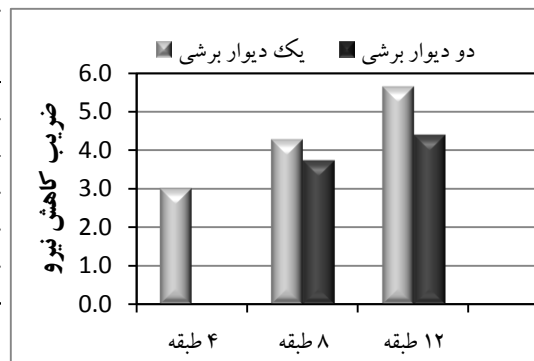
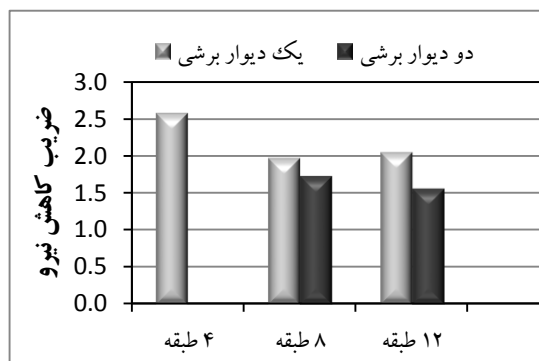
افزایش می‌یابد. برای هر دو حالت بارگذاری، ضریب اضافه مقاومت برای تعداد طبقات یکسان نزدیک به هم بوده، اما ضریب کاهش نیرو برای قاب ۸ طبقه در حالت بارگذاری مثلثی از بارگذاری یکنواخت بیشتر است. همچنین دیده می‌شود با توجه به اینکه ضریب اضافه مقاومت با افزایش تعداد طبقات سیر نزولی داشته اما ضریب رفتار سازه سیر صعودی داشته است. در ادامه پارامترهای بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی سیستم‌های ساختمانی ساده و اتصال RS مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تعداد طبقات ساختمان، ضریب اضافه مقاومت کاهش، اما ضریب کاهش نیرو که ناشی از شکل‌پذیری سازه می‌باشد افزایش یافته است. بنابراین در حالت کلی ضریب رفتار با افزایش تعداد طبقات سازه افزایش یافته است. همچنین با افزایش تعداد دهانه‌های دارای دیوار برشی، ضریب اضافه مقاومت و ضریب کاهش نیرو کاهش یافته و در نتیجه ضریب رفتار سازه کاهش می‌یابد. تغییر در بارگذاری جانبی سازه اثرات نامحسوسی بر ضریب اضافه مقاومت، ضریب کاهش نیرو و در نتیجه ضریب رفتار سازه دارد. با توجه به شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) مشاهده می‌شود که مانند قاب‌های سه دهانه، با افزایش تعداد طبقات، ضریب رفتار سازه



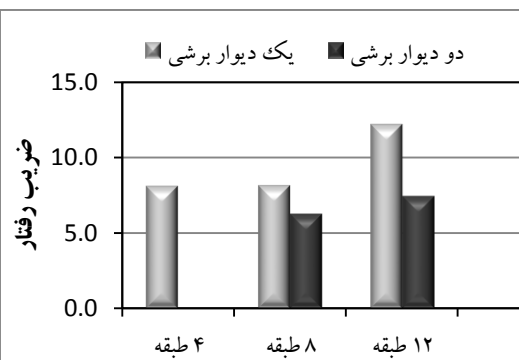
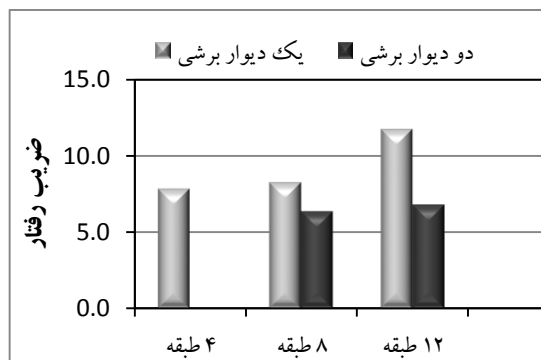
شکل ۶: ضریب اضافه مقاومت برای سیستم دوگانه سه دهانه، بارگذاری یکنواخت و اتصال RS

شکل ۷: ضریب اضافه مقاومت برای سیستم دوگانه سه دهانه، بارگذاری مثلثی و اتصال RS

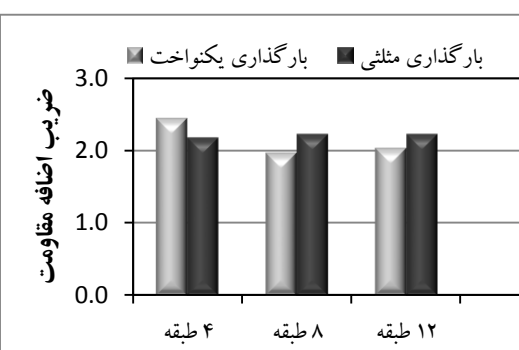
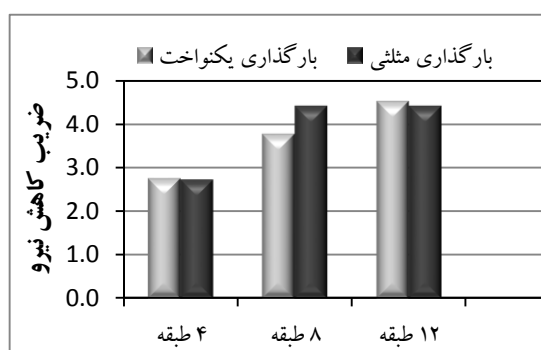


شکل ۸: ضریب کاهش نیرو برای سیستم دوگانه سه دهانه، بارگذاری یکنواخت و اتصال RS

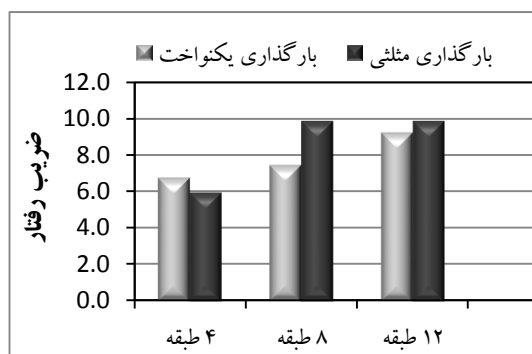
شکل ۹: ضریب کاهش نیرو برای سیستم دوگانه سه دهانه، بارگذاری مثلثی و اتصال RS



شکل (۱۰): ضریب رفتار برای سیستم دوگانه سه دهانه، بارگذاری یکنواخت و اتصال RS
شکل (۱۱): ضریب رفتار برای سیستم دوگانه سه دهانه، بارگذاری مثلثی و اتصال RS



شکل (۱۲): ضریب اضافه مقاومت برای سیستم مرکب پنج دهانه و اتصال RS
شکل (۱۳): ضریب کاهش نیرو برای سیستم مرکب پنج دهانه و اتصال RS



شکل (۱۴): ضریب رفتار برای سیستم دوگانه پنج دهانه و اتصال RS

- سیستم قاب ساختمانی ساده

با توجه به شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) مشاهده می‌شود که برای سیستم ساختمانی ساده نیز همانند سیستم دوگانه، با افزایش تعداد طبقات قاب، ضریب اضافه مقاومت کاهش می‌یابد. حساسیت ضریب اضافه مقاومت به بارگذاری جانبی پایین بوده و با تغییر بارگذاری جانبی، ضریب اضافه مقاومت تغییر چندانی نمی‌نماید. همچنین با افزایش تعداد طبقات، ضرایب رفتار

و کاهش نیرو افزایش می‌یابند. بیشترین ضریب اضافه مقاومت برای قاب ۴ طبقه و کمترین آن برای قاب ۱۲ طبقه تحت بارگذاری یکنواخت می‌باشد.

جداول (۲) و (۳) پارامترهای مربوط به سیستم دوگانه و قاب ساختمانی ساده را به صورت خلاصه نشان می‌دهند. با توجه به این جداول مشاهده می‌شود که ضرایب رفتار در حالت سیستم

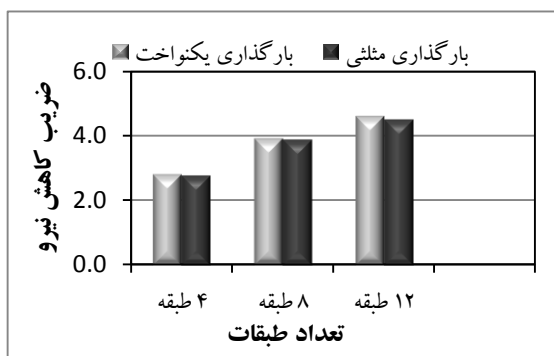
دوگانه به مقدار اندکی از قاب ساختمانی ساده بیشتر هستند.

رفتار سازه دارد.

قاب ساختمانی ساده

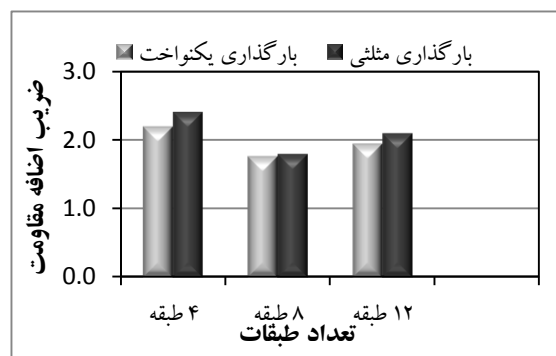
در جدول ۵ پارامترهای مربوط به سیستم ساختمانی ساده با اتصال افقی RT ارائه شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با تغییر تعداد دهانه‌ها، تعداد دیوارهای دیوار برشی، تعداد طبقات سازه و تغییر نوع بارگذاری، نتایج مشابه با نتایج سیستم دوگانه بدست می‌آید. اما ضرایب رفتار سیستم دوگانه به مقدار اندکی از مقادیر ضریب رفتار در حالت سیستم ساختمانی ساده بیشتر می‌باشند.

با مقایسه نتایج بدست آمده برای اتصالات افقی RS و RT مشاهده می‌شود که مقادیر ضریب اضافه مقاومت، ضریب کاهش نیرو و ضرایب رفتار سازه با تغییر نوع اتصال افقی تغییرات اندکی می‌یابند.



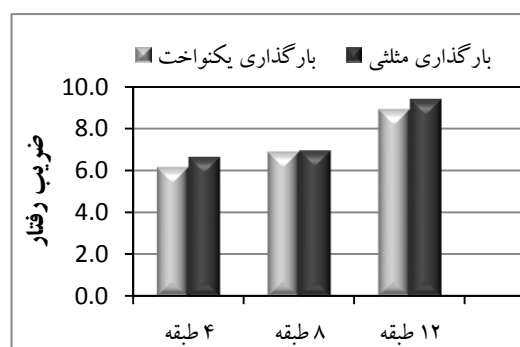
شکل (۱۶): ضریب کاهش نیرو برای سیستم ساختمانی ساده

پنج دهانه و اتصال RS



شکل (۱۵): ضریب اضافه مقاومت برای سیستم ساختمانی ساده

پنج دهانه و اتصال RS



شکل (۱۷): ضریب رفتار برای سیستم ساختمانی ساده پنج دهانه و اتصال RS

جدول (۲): پارامترهای مربوط به سیستم دوگانه و اتصال افقی RS

تعداد دهانه ها	نوع بارگذاری	تعداد دهانه‌های دیوار برشی	تعداد طبقات								
			۴			۸			۱۲		
			R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R
۳	بارگذاری یکنواخت	۱	۳/۰۲	۲/۶۸	۸/۰۹	۴/۲۹	۱/۹۰	۸/۱۵	۵/۶۶	۲/۱۵	۱۲/۱۷
		۲	-	-	-	۳/۷۴	۱/۶۷	۶/۲۵	۴/۴۱	۱/۶۸	۷/۴۱
	بارگذاری مثلثی	۱	۳/۰۵	۲/۵۸	۷/۸۷	۴/۲۰	۱/۹۷	۸/۲۷	۵/۷۴	۲/۰۵	۱۱/۷۷
		۲	-	-	-	۳/۶۸	۱/۷۳	۶/۳۷	۴/۳۶	۱/۵۶	۶/۸۰
۵	بارگذاری یکنواخت	۲	۲/۷۶	۲/۴۵	۶/۷۶	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۷۸	۱/۹۷	۷/۴۵	۴/۵۳	۲/۰۴	۹/۲۴
	بارگذاری مثلثی	۲	۲/۷۳	۲/۱۸	۵/۹۵	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۴/۴۲	۲/۲۳	۹/۸۶	۴/۴۲	۲/۲۳	۹/۸۶

جدول (۳): پارامترهای مربوط به قاب ساختمانی ساده و اتصال افقی RS

تعداد دهانه ها	نوع بارگذاری	تعداد دهانه‌های دیوار برشی	تعداد طبقات								
			۴			۸			۱۲		
			R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R
۳	بارگذاری یکنواخت	۱	۳/۱۰	۲/۳۸	۷/۳۸	۴/۳۵	۱/۷۷	۷/۷۰	۶/۰۰	۱/۹۶	۱۱/۷۶
		۲	-	-	-	۳/۸۷	۱/۶۰	۶/۱۹	۳/۹۵	۱/۵۲	۶/۰۰
	بارگذاری مثلثی	۱	۳/۱۶	۲/۳۶	۷/۴۶	۳/۹۸	۲/۳۶	۹/۳۹	۶/۱۲	۱/۹۳	۱۱/۸۱
		۲	-	-	-	۴/۰۳	۱/۹۰	۷/۶۶	۳/۹۱	۱/۵۸	۶/۱۸
۵	بارگذاری یکنواخت	۲	۲/۸۱	۲/۱۹	۶/۱۶	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۹۲	۱/۷۶	۶/۹۰	۴/۶۰	۱/۹۴	۸/۹۲
	بارگذاری مثلثی	۲	۲/۷۷	۲/۴۰	۶/۶۵	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۸۸	۱/۷۹	۶/۹۵	۴/۵۰	۲/۰۹	۹/۴۱

جدول (۴): عوامل مربوط به سیستم دوگانه و اتصال افقی RT

تعداد دهانه ها	نوع بارگذاری	تعداد دهانه‌های دیوار برشی	تعداد طبقات								
			۴			۸			۱۲		
			R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R
۳	بارگذاری یکنواخت	۱	۳/۰۲	۲/۴۵	۷/۴۰	۴/۳۲	۱/۹۱	۸/۲۵	۵/۱۳	۲/۴۴	۱۲/۵۲
		۲	-	-	-	۳/۷۷	۱/۶۸	۶/۳۳	۴/۴۱	۱/۵۳	۶/۷۵
	بارگذاری مثلثی	۱	۳/۰۴	۲/۴۸	۷/۵۴	۴/۲۸	۱/۹۴	۸/۳۰	۵/۷۳	۲/۱۸	۱۲/۴۹
		۲	-	-	-	۳/۶۷	۱/۶۶	۶/۰۹	۴/۳۶	۱/۵۹	۶/۹۳
۵	بارگذاری یکنواخت	۲	۲/۷۵	۲/۴۴	۶/۷۱	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۶۸	۲/۰۲	۷/۴۱	۴/۸۲	۲/۳۷	۱۱/۴۲
	بارگذاری مثلثی	۲	۲/۷۲	۲/۴۹	۶/۷۷	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۶۶	۲/۲۴	۸/۲۰	۳/۷۵	۲/۷۴	۱۰/۲۶

جدول (۵): پارامترهای مربوط به قاب ساختمانی ساده و اتصال افقی RT

تعداد دهانه ها	نوع بارگذاری	تعداد دهانه‌های دیوار برشی	تعداد طبقات								
			۴			۸			۱۲		
			R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R	R_{μ}	R_{ξ}	R
۳	بارگذاری یکنواخت	۱	۲/۹۹	۲/۲۵	۶/۷۳	۴/۳۸	۱/۷۴	۷/۶۲	۵/۷۷	۱/۸۹	۱۰/۹۰
		۲	-	-	-	۳/۷۱	۱/۷۷	۶/۵۷	۳/۹۶	۱/۵۰	۵/۹۴
	بارگذاری مثلثی	۱	۳/۱۴	۲/۳۵	۷/۳۸	۴/۳۵	۱/۸۶	۸/۰۹	۵/۷۷	۱/۹۰	۱۰/۹۶
		۲	-	-	-	۳/۸۰	۱/۶۵	۶/۲۷	۳/۹۲	۱/۶۱	۶/۳۱
۵	بارگذاری یکنواخت	۲	۲/۸۰	۲/۲۱	۶/۱۹	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۸۴	۱/۸۴	۷/۰۷	۴/۳۵	۲/۲۸	۹/۹۲
	بارگذاری مثلثی	۲	۲/۷۶	۲/۳۳	۶/۴۳	-	-	-	-	-	-
		۳	-	-	-	۳/۸۲	۱/۹۲	۷/۳۳	۴/۱۹	۲/۵۳	۱۰/۶۰

۶- مقایسه ضرایب رفتار در آیین‌نامه‌های مختلف

توسط آیین‌نامه در این حالت نیز برابر $5/00$ می‌باشد. بنابراین در حالت کلی، ضرایب رفتار آیین‌نامه به خاطر داشتن ضریب اطمینان بزرگتر، دارای مقادیر کوچکتری نسبت به مقادیر محاسبه شده در این تحقیق هستند.

جدول (۴): ضریب رفتار سازه‌ها با سیستم‌های باربری جانبی مختلف در آیین‌نامه NEHRP2003 [۸]

ضریب رفتار (R)	ضریب اضافه مقاومت	سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی	سیستم سازه
۸	۲/۵	دیوار برشی ویژه	سیستم قاب ساختمانی
۷	۲/۵	دیوار برشی معمولی	مرکب (قاب خمشی ویژه)
۶	۲/۵	دیوار برشی ویژه	سیستم قاب ساختمانی
۵/۵	۲/۵	دیوار برشی معمولی	مرکب (قاب خمشی متوسط)
۶	۲/۵	دیوار برشی ویژه	سیستم قاب ساختمانی
۵	۲/۵	دیوار برشی معمولی	ساده

۶-۲- آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران [۳]

روش طراحی در این آیین‌نامه براساس تنش مجاز بوده، بنابراین مقادیر ضریب رفتار ارائه شده در این آیین‌نامه را باید بر عدد $1/4$ تقسیم نمود تا مقادیر ضریب رفتار بر اساس طراحی به روش مقاومت نهایی بدست آید.

در این آیین‌نامه تنها به ضریب رفتار اشاره شده و در مورد ضریب کاهش نیرو و ضریب اضافه مقاومت اطلاعاتی موجود نیست. همچنین ضرایب رفتار ارائه شده در این آیین‌نامه با ضرایب رفتار ارائه شده در آیین‌نامه NEHRP2003 همخوانی مناسبی دارد. به عنوان مثال برای طراحی به روش مقاومت نهایی، آیین‌نامه NEHRP2003 برای سیستم قاب مرکب ویژه همراه با دیوار برشی ویژه ضریب رفتار را برابر با ۸ و آیین‌نامه ۲۸۰۰ ضریب رفتار را برای این حالت برابر با $7/86$ توصیه می‌کند. در این تحقیق ضریب رفتار بدست آمده برای سیستم‌های مرکب در حالت قاب خمشی متوسط همراه با دیوار برشی متوسط با اتصال RS، $5/95 \leq R \leq 12/17$ و برای اتصال RT، $6/33 \leq R \leq 12/52$ بوده و مقدار ارائه شده در این

با گسترش مفهوم پیش‌ساختگی و استفاده روزافزون از آن، به مرور یا دستورالعمل‌هایی برای تحلیل، طراحی و ساخت قطعات پیش‌ساخته تدوین شد و یا آیین‌نامه‌های موجود با افزودن بخشی با عنوان پیش‌ساختگی به تعیین معیارهای مربوط به آن پرداختند. از آن جمله می‌توان به دستورالعمل PCI [۴] و آیین‌نامه NEHRP2003 [۸] اشاره نمود. در اکثر آیین‌نامه‌ها، ضریب رفتار سازه‌ها به عنوان عددی ثابت که به نوع سیستم باربری جانبی مربوط می‌باشد ارائه شده است. از جمله آیین‌نامه‌هایی که به صورت مفصل به بررسی ضریب رفتار پرداخته است آیین‌نامه NEHRP2003 می‌باشد.

۶-۱- آیین‌نامه NEHRP2003 [۸]

در این آیین‌نامه، ضریب اضافه مقاومت (Ω_0) و ضریب رفتار برای انواع مختلفی از سازه‌ها با سیستم‌های باربری جانبی مختلف ارائه شده است. لازم به ذکر است روش آنالیز و طراحی در این آیین‌نامه بر اساس مقاومت نهایی می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان ضرایب ارائه شده در این آیین‌نامه را به صورت مستقیم با مقادیر بدست آمده در این مقاله مقایسه نمود. در جدول (۴) مقادیر ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار برای سازه‌های مختلف ارائه شده‌اند.

در این تحقیق ضریب اضافه مقاومت بدست آمده برای سیستم‌های دوگانه با اتصال RS، $2/68 \leq R_S \leq 1/56$ و برای اتصال RT، $2/74 \leq R_S \leq 1/53$ بوده و مقدار ارائه شده در این آیین‌نامه برای ضریب اضافه مقاومت سیستم‌های دوگانه $2/5$ می‌باشد. همچنین برای سیستم‌های ساده ساختمانی با اتصال RS، $2/40 \leq R_S \leq 1/52$ و برای اتصال RT، $2/53 \leq R_S \leq 1/50$ بوده و ضریب اضافه مقاومت ارائه شده توسط آیین‌نامه در این حالت نیز برابر $2/5$ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ضریب اضافه مقاومت بدست آمده در این تحقیق هم‌خوانی به نسبت خوبی با مقادیر ارائه شده در آیین‌نامه دارد و مقدار ارائه شده در این آیین‌نامه با ماکزیمم مقادیر بدست آمده تقریباً برابر می‌باشد. همچنین در این تحقیق ضریب رفتار بدست آمده برای سیستم‌های دوگانه با اتصال RS، $5/95 \leq R \leq 12/17$ و برای اتصال RT، $6/33 \leq R \leq 12/52$ می‌باشد و مقدار ارائه شده در این آیین‌نامه برای ضریب رفتار سیستم‌های مرکب $5/50$ می‌باشد. همچنین برای سیستم‌های ساده ساختمانی با اتصال RS، $6/00 \leq R \leq 11/81$ و برای اتصال RT، $5/96 \leq R_S \leq 10/96$ بوده و ضریب رفتار ارائه شده

- [۲] آیین‌نامه برای این حالت $5/71$ می‌باشد. همچنین برای سیستم‌های ساده ساختمانی همراه با دیوار برشی متوسط با اتصال RS، $6/00 \leq R \leq 11/81$ و برای اتصال RT، $5/94 \leq R_S \leq 10/96$ بوده و ضریب رفتار ارائه شده توسط آیین‌نامه در این حالت برابر $5/00$ می‌باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که ضریب رفتار ارائه شده در این مقاله از مقادیر آیین‌نامه‌ای بزرگتر بوده و آیین‌نامه‌ها برای اطمینان از مقادیر کوچکتری برای ضریب رفتار استفاده می‌نمایند.
- ۷- نتیجه‌گیری**
- در این تحقیق ضریب رفتار قاب‌های پیش‌ساخته بتنی با دیوار برشی پیش‌ساخته تحت دو نوع بارگذاری یکنواخت و مثلثی شکل، با در نظر گرفتن تاثیر دو نوع اتصال مفصلی و گیردار تیر به ستون و هم چنین دو نوع اتصال قائم و افقی ما بین پانل‌ها، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:
- در حالت کلی برای قاب‌های سه و پنج دهانه، در هر دو سیستم ساختمانی ساده و دوگانه برای هر دو حالت بارگذاری یکنواخت و مثلثی و مستقل از نوع اتصالات افقی با افزایش تعداد طبقات ساختمان، ضریب کاهش نیرو افزایش می‌یابد.
- [۳] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
- [۴] Precast/Prestressed Concrete Institute, PCI design handbook, 6th edition, Chicago, Illinois, 2004.
- [۵] Earthquake Engineering Handbook, CRC Press, 2003.
- [۶] Baracat, S. , Malkawi, A. and Al-shatnawi, A., "A Step Towards Evaluation of the Seismic Response Reduction Factor in Multistorey Reinforced Concrete Frames", Natural Hazards, Vol. 16, pp. 65-80, 1997.
- [۷] Kappos, A.J., "Evaluation of Behaviour Factors on the Basis of Ductility and Overstrenght Studies", Engineering Structure, Vol. 21, pp. 823-835, 1999.
- [۸] Federal Emergency Management Agency (FEMA) "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings 2003 Edition", (FEMA451), Washington, D.C., June 2004.
- [۹] Applied Technology Council (ATC) "Structural Response Modification Factors", (ATC-19), Redwood City, California, 1995.
- [۱۰] Uang, C. M. , "Establishing R (or R_w) and Cd Factors for Building Seismic Provisions", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 1, 1991.
- [۱۱] Miranda E., and Bertero V.V. , "Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design", Earthquake Spectra, Vol. 10, No. 2, 1994.
- [۱۲] Miranda E. , "Strength Reduction Factors in Performance-Based Design", EERC-CUREE Symposium in Honor of V.V. Bertero, Berkeley, California, 1997.
- ۸- مراجع
- [۱] مدح خوان، م. ، طیبی طلوع، د. ، "تاثیر صلبیت اتصالات بر روی ضریب رفتار قاب‌های بتنی پیش ساخته ببادبندی فلزی"، مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، پاییز ۱۳۸۷.

pp. 56-70, May-June, 1996.

Chakrabarti, S. C, Nayak, G. C. and Paul, D. K., [۱۶] "Shear Characteristics of Cast-in-Place Vertical Joints in Story-High Precast Wall Assembly", ACI structural Journal, Vol. 85, No. 1, pp. 30-45, 1988.

Soudki K.A., Rizkalla S.H., Leblanc B., [۱۳] "Horizontal Connections For Precast Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Deformations, Part 1: Mild Steel Connections", PCI Journal, Vol. 40, No. 4, pp. 78-96, July-Aug, 1995.

Soudki K.A., Rizkalla S.H., Diakiw R.W., [۱۴] "Horizontal Connections for Precast Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Deformations, Part 2: Prestressed Connections", PCI Journal, Vol. 40, No. 5, pp. 82-95, Sep-Oct., 1995.

Soudki K.A., Rizkalla S.H., West J.S., [۱۵] "Horizontal Connections for Precast Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Shear Loading", PCI Journal, Vol. 41, No. 3,