

ارزیابی دقت تحلیل استاتیکی غیرخطی در تعیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح

علیرضا حبیبی^۱، رضا غلامی^{۲*}

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان

چکیده

روش‌های متداول تحلیل و طراحی سازه‌ها براساس تحلیل ارتجاعی و کاهش نیروی زلزله پایه‌گذاری شده‌اند. این کاهش بار طراحی در آیین‌نامه‌ها به وسیله اعمال ضریب رفتار انجام می‌شود. به کارگیری تحلیل استاتیکی غیرخطی و ایده‌آل نمودن منحنی بارافزون بدست آمده از آن، از جمله روش‌های رایج در تعیین ضریب رفتار است. هدف این پژوهش ارزیابی دقت تحلیل استاتیکی غیرخطی در تعیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از روش پوش‌آور دینامیکی که یک تحلیل دقیق‌تر به دلیل لحاظ نمودن اثر مدهای بالاتر، تغییرات سختی و ماهیت دینامیکی بار نسبت به روش استاتیکی بارافزون است، می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد مقادیر ضریب رفتار محاسبه شده با استفاده از روش تحلیل دینامیکی افزایشی با مقادیر ارائه شده از تحلیل بارافزون حدود ۱۳٪ اختلاف دارد. همچنین این روش مقادیر ضریب رفتار بیش‌تر از تحلیل استاتیکی بارافزون محاسبه نموده است.

کلمات کلیدی: ضریب رفتار، تحلیل بارافزون، بارافزون دینامیکی، ضریب کاهش، ضریب اضافه مقاومت

Assessment of Accuracy the Nonlinear Static Analysis in Determining Behavior Factor Reinforced Concrete Moment-Resisting Frames

Alireza Habibi¹, Reza gholami^{2*}

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan

2- MSc Student, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan

Abstract

Common methods analysis and design of structures are based according to elastic analysis and and reduction of earthquake forces. This reduction design load in the codes is done by the behavior factors. Applying the nonlinear static analysis and make ideals pushover curves obtained from its, including conventional in determining behavior factor. The purpose of this study is evaluating the accuracy of nonlinear static analysis in determining behavior factor reinforced concrete moment-resisting frames by performing nonlinear incremental dynamic analysis that is a more accurate analysis by considering the damping, dynamic nature of the load and higher modes effects. The response modification factors for reinforced concrete moment-resisting frames obtained in this study by performing nonlinear incremental dynamic analysis are difference about 13% those obtained by

* مؤلف مسئول: رضا غلامی reza-gh1990@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۶/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۸/۱۲

pushover analyses analysis. The results of nonlinear incremental dynamic analysis are generally more than those obtained from pushover analysis.

Keywords: Incremental dynamic analysis, Pushover analysis, Overstrength factors, Ductility factors, Response modification factors

۱- مقدمه

برای محاسبه و تعیین نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید، انجام تحلیل غیرارتجاعی ضروری است. از آنجائی که تحلیل و طراحی غیرارتجاعی سازه‌ها موضوع پیچیده و وقت‌گیری است، اکثر آیین‌نامه‌ها، تحلیل و طراحی ارتجاعی را با اعمال شرایط جایگزین تحلیل غیرارتجاعی می‌کنند. اصلی‌ترین شرط اعمالی، استفاده از ضریب رفتار است که طراح را از انجام تحلیل غیرارتجاعی بی‌نیاز می‌کند. در حقیقت ضریب رفتار ضریبی است که در برگیرنده عملکرد غیر ارتجاعی سازه‌ها در برابر زلزله شدید است و با اعمال آن در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، نیاز به تحلیل غیر ارتجاعی از بین می‌رود. اگر میزان جذب انرژی در سازه توسط مقاومت ارتجاعی و تغییرشکل غیر ارتجاعی ثابت فرض شود، به کمک ضریب رفتار سهم مقاومت در جذب انرژی از کل انرژی جذب شده تعیین می‌گردد [۱]. مقاومت افزون موجود در سازه‌های طراحی شده و نیز توانایی آنها در اتلاف انرژی ورودی زلزله (شکل پذیری)، دو عامل اصلی تشکیل دهنده ضریب رفتار می‌باشند. آیین‌نامه‌ها از ضریب رفتار (R) برای تعیین مقاومت طراحی استفاده می‌نمایند که سطح نیروی الاستیک را به سطح نیروی طراحی کاهش می‌دهد. در آیین‌نامه‌ها جهت محاسبه ضریب رفتار معمولاً از روش بارافزون جهت تحلیل سازه استفاده می‌شود. این روش اثر مدهای بالاتر و همچنین تغییرات سختی پس از هر مرحله از تحلیل لحاظ نمی‌کند. از این رو به کارگیری روش‌های دقیق جهت محاسبه ضریب رفتار و کاربرد آن در آیین‌نامه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. هدف این پژوهش ارزیابی دقت تحلیل استاتیکی غیرخطی در تعیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از روش پوش‌آور دینامیکی که یک تحلیل دقیق‌تر به دلیل لحاظ نمودن اثر مدهای بالاتر، تغییرات سختی و ماهیت دینامیکی بار نسبت به روش استاتیکی بارافزون است، می‌باشد. تاکنون روش‌های بسیاری برای محاسبه ضریب رفتار ارائه شده است. یکی از این روش‌ها روش تئوری شکل‌پذیری است که توسط کاسنزا و همکارانش ارائه شده است [۲]. در این روش از یک مدل رفتاری ساده برای سیستم‌های یک درجه آزادی، جهت تخمین ضریب کاهش نیرو (q) استفاده می‌شود. در روش طیف ظرفیت نیومن، ظرفیت سازه و نیروهای لرزه‌ای هر دو به عنوان پارامترهای موثر اصلی در تعیین ضریب رفتار در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه عواملی که منجر به افزایش ظرفیت یا کاهش بارهای لرزه‌ای می‌شوند، محاسبه می‌گردند. در این روش ضریب رفتار (R) به صورت ضرب دو عامل R_c و R_D تعریف می‌شود که R_c ظرفیت افزایش یافته سازه و R_D نسبت نیروهای لرزه‌ای الاستیک به غیر الاستیک می‌باشد [۳].

روش دیگر برای محاسبه ضریب رفتار، روش پیشنهادی یانگ است [۴]. ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری و ضریب مقاومت افزون پارامترهای تشکیل دهنده ضریب رفتار در این روش می‌باشند. در این روش ضریب رفتار از دو عامل فوق به دست می‌آید. تاکنون روابط متعددی برای تخمین ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به رابطه کراوینگر و نصر [۵]، نیومارک و هال [۶] و میراندا و برترو [۷] اشاره نمود.

وانگ و جاو یک ارزیابی آماری در زمینه ضریب رفتار در سازه‌های بتن مسلح ارائه دادند. فرمول تجربی استخراج شده‌ی آنها ضریب رفتار را به صورت تابعی از حداکثر نسبت شکل‌پذیری، نسبت میرایی ویسکوز و نسبت پریرود سازه به پریرود غالب زلزله بیان می‌کند [۸]. تعدادی از پژوهش‌های که در رابطه محاسبه ضریب رفتار و تاثیر عوامل مختلف بر روی آن انجام شده‌اند به طور مختصر در ادامه آورده شده است. الناشای در مطالعه‌ای رابطه میان ظرفیت جانبی، ضریب رفتار، سطح شکل‌پذیری و ضریب مقاومت افزون را بررسی نموده است [۹]. به این منظور تحلیل پوش‌آور و تحلیل تاریخچه زمانی در سطح فروریزش انجام شده است. نتایج این پژوهش استفاده محافظه

کارانه از مقاومت افزون در سازه‌های بتن مسلح با ارتفاع کوتاه و متوسط که مطابق طراحی شده‌اند، پیشنهاد نموده است. ماندل و همکارانش به پژوهش در رابطه با ارزیابی مبتنی بر عملکرد ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح پرداختند [۱۰]. نتایج این پژوهش نشان داد، مقادیر ضریب رفتار واقعی تا حدودی کمتر از مقادیر نظیر آیین‌نامه است. صمیمی‌فر و وطنی به محاسبه ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از پاسخ‌های تحلیل دینامیکی خطی و غیرخطی پرداختند [۱۱]. نتایج بدست آمده گویای تطابق خوب مقادیر بدست آمده برای ضریب رفتار با مقادیر متناظر آن در آیین‌نامه است. کیم و چوی ضریب رفتار قاب‌های فولادی با مهاربندهای هم‌مرکز را با روش‌های دینامیکی افزایشی و تحلیل بارافزون مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب رفتار محاسبه شده از روش دینامیکی غیرخطی افزایشی با ضریب رفتار محاسبه شده از روش تحلیل بارافزون تقریباً یکسان است. شوشتری و غزنوی‌زاده اثر افزایش ارتفاع را بر ضریب رفتار ساختمان‌های بتن مسلح منظم با روش پوش‌آور بهنگام شونده بررسی نمودند، آنها دریافتند که افزایش ارتفاع منجر به کاهش ضریب رفتار می‌گردد [۱۳].

۲- روش شناسی پژوهش

یکی از اهداف اصلی این پژوهش ارزیابی دقت تحلیل استاتیکی غیرخطی در تعیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی افزایشی (IDA) برای این منظور از تحلیل (IDA) بدست آوردن منحنی پوش‌آور دینامیکی سازه برای محاسبه ضریب رفتار و ضریب مقاومت افزون در قاب‌های خمشی بتن مسلح است. در این روش برای بدست آوردن منحنی ظرفیت سازه حداکثر برش پایه در مقابل حداکثر جابجایی طبقه بام برای هر مقیاس زلزله رسم می‌شود. این روش در مقایسه با سایر روش‌ها دقت بسیار بالایی دارد. البته دقت این روش به صحت مدل‌سازی (تعریف مصالح، المان مورد استفاده و ...) وابسته است. لازم به ذکر است که این روش در مقایسه با سایر تحلیل‌ها بسیار وقت‌گیر است. در این پژوهش از برنامه SeismoStruct برای انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی افزایشی استفاده شده است.

یک مجموعه شش‌تایی از زلزله‌ها که طیف میاگین آنها بیشتر انطباق را با طیف طرح آیین‌نامه داشته باشد (شکل ۱) و همچنین از نظر نوع ساز و کار چشمه لرزه‌زا، خاکی که زلزله بر روی آن ثبت شده، مشابه مکان طراحی سازه باشد، برای انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی انتخاب شده‌اند [۱۲]. در این تحقیق رکوردهای مورد استفاده که همگی از سایت مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام، برای نوع خاک B، براساس طبقه بندی سازمان زمین شناسی ایالات متحده^۲ و سرعت موج برشی ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه، گرفته شده‌اند [۱۴]. فاصله شتاب نگاشت‌های انتخاب شده از گسل بین ۱۵ تا ۴۵ کیلومتر و همچنین طول موثر رکوردهای انتخاب شده بیشتر از ۱۰ ثانیه یا سه برابر دوره تناوب سازه است. رکوردهای استفاده شده در این تحقیق همگی دارای مولفه شتاب افقی زمین PGA بین ۰/۰۵ تا ۱ می‌باشند. جدول ۱ خلاصه اطلاعات مربوط به رکوردهای مذکور را شامل می‌شود.

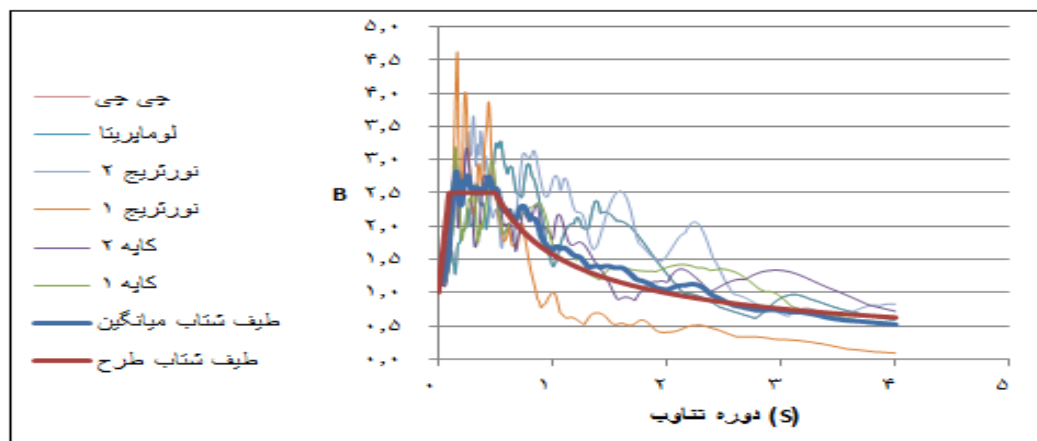
به منظور محاسبه ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از روش پوش‌آور دینامیکی تعداد ۴ قاب خمشی بتن مسلح ۳ دهانه با تعداد طبقات ۳، ۶، ۹، ۱۲ و با شکل‌پذیری زیاد که بر اساس آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) و آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های بتنی ایران طراحی شده است، انتخاب گردید [۱۵]. طول هر یک از دهانه‌های قاب ۴ متر است. ارتفاع کلیه طبقات یکسان و برابر ۳/۲ متر می‌باشد. برای محاسبه برش پایه‌ی طراحی لرزه‌ای، پارامترهای ضریب اهمیت (I)، ضریب خطر لرزه‌ای (A)، نوع خاک و ضریب رفتار (R) مطابق استاندارد ۲۸۰۰ به ترتیب برابر با ۱، ۰/۳۵، ۲، ۱۰ در نظر گرفته شده است [۱۶]. بار مرده و زنده ثقلی به ترتیب برابر ۲۰۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم بر متر در طبقات و بام در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته‌ی بتن نیز به ترتیب برابر ۳۰ و ۲۷/۴ مگاپاسگال،

1- The Pacific Earthquake Engineering Research Center
2- The United States Geological Survey

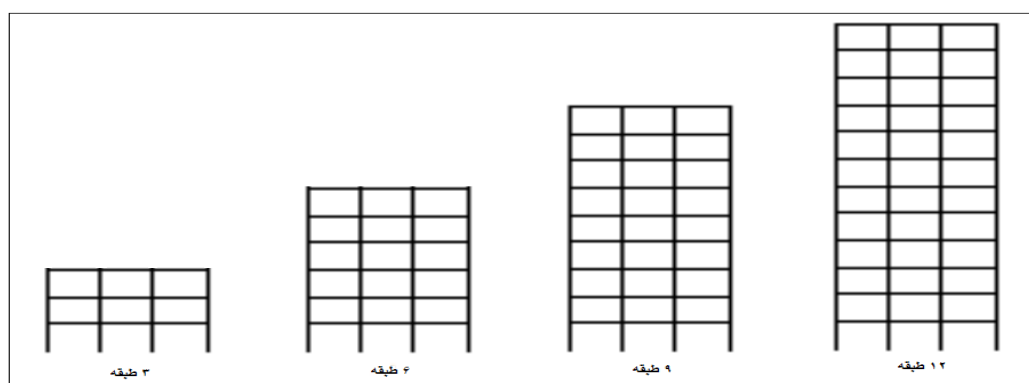
تنش تسلیم فولاد میگرد ۴۰۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال است. هندسه قابها در شکل زیر (شکل ۲) آورده شده است.

جدول ۱: زمین لرزه های انتخابی جهت تحلیل دینامیکی فزاینده

دور از گسل							
شماره	رکورد	مولفه	ایستگاه	حداکثر شتاب زمین	فاصله از گسل	بزرگی	شتاب طیفی
۱	Cape Mendocino 1	شرقی	Fortuna Blvd	۰/۱۱۶	۲۳/۶	۷/۱	۰/۰۹۸
۲	Cape Mendocino 2	شمالی	Fortuna Blvd	۰/۱۱۴	۲۳/۶	۷/۱	۰/۱۰۱
۳	Loma Prieta	شرقی	Mission San Jose	۰/۱۲۴	۴۳/۰	۶/۹	۰/۰۹۲
۴	Northridge 1	شمالی	Fremont School	۰/۰۷۹	۳۵/۷	۶/۷	۰/۰۸۶
۵	Northridge 2	شرقی	Saran	۰/۰۷۶	۳۴/۲	۶/۷	۰/۰۷۲
۶	Chi-Chi	شرقی	ALS	۰/۱۸۳	۱۵/۲۹	۷/۶	۰/۱۳۸



شکل ۱: طیف طرح - طیف میانگین



شکل ۲: نمای قابها

در پژوهش حاضر جهت محاسبه ضریب رفتار از روش یانگ [۴] استفاده می شود که در آن ضریب کاهش بر اثر شکل پذیری، مقاومت افزون و تنش مجاز مدنظر قرار می گیرد. برای محاسبه ضریب کاهش بر اثر شکل پذیری از روش های نیومارک- هال و میراندا و برترو استفاده گردیده است. در این تحقیق با فرض بالابودن نامعینی سازه ضریب کاهش ناشی از نامعینی را برابر ۱/۰ در نظر می گیریم.

نیومارک و حال روابط زیر را برای تعیین ضریب کاهش (R_{μ}) برای سیستم‌های ارتجاعی-خمیری یک درجه آزادی پیشنهاد نموده‌اند.

$$R_{\mu} = 1 \quad T < 0.03 \text{ sec} \quad (1)$$

$$R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1} \quad 0.12 < T < 0.5 \text{ sec} \quad (2)$$

$$R_{\mu} = \mu \quad T > 1 \text{ sec} \quad (3)$$

که در آن μ ضریب شکل‌پذیری و T تناوب سازه می‌باشد.

رابطه‌ی ۴ که توسط میراند و برترو برای محاسبه ضریب کاهش (R_{μ}) پیشنهاد شد بر اساس مطالعات آماری که بر روی ۱۲۴ شتاب نگاشت که در محدوده وسیع‌ای از انواع خاک‌ها (رسوبی، سخت، خیلی نرم) که بر اساس عبور سرعت موج برشی در آنها طبقه بندی شده بودند انجام شد و درصد میرایی در نظر گرفته شده در این روابط نیز ۵٪ می‌باشد.

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

در روابط بالا ϕ تابعی است که به ضریب شکل‌پذیری زمان تناوب و نوع زمین وابسته می‌باشد.

مقاومت افزون سازه (Ω) مقاومتی است که سازه بعد از تشکیل شدن اولین لولای خمیری در اعضا تا مرحله مکانیزم ناپایداری سازه از خود نشان می‌دهد. از عوامل موثر بر مقاومت افزون می‌توان موارد زیادی بودن مقاومت مصالح از مقاومت اسمی آنها، تپ نمودن اعضا در طراحی که منجر به بزرگتر شدن اعضا از مقادیر مورد نیاز در طراحی می‌شود، مقاومت اعضای غیرسازه‌ای و اعضای سازه‌ای که در برآورد ظرفیت مقاومت جانبی به حساب نیامده است، لرزه خیزی منطقه، زمان تناوب سازه، نوع سیستم سازه‌ای، اثر نرخ کرنش بر اثر سرعت بارگذاری و اشاره کرد. ضریب مقاومت‌افزون مقاومت ذخیره‌ای است که بین تراز نیروی تسلیم (C_y) و تراز تسلیم اولین مفصل پلاستیک (C_s) وجود دارد. بنابراین خواهیم داشت:

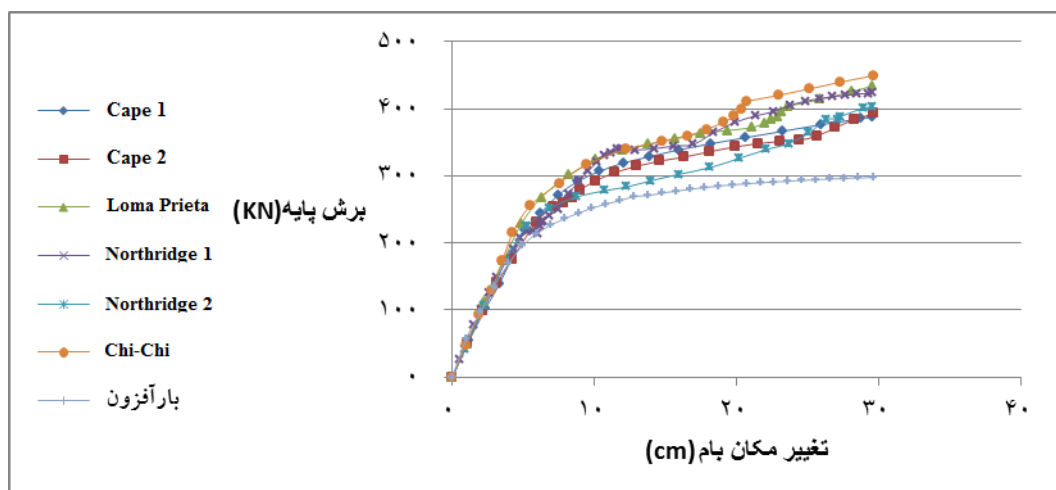
$$\Omega = \frac{C_y}{C_s} \quad (5)$$

ضریب تنش مجاز (Y) عبارت است از نسبت برش پایه در تراز تشکیل اولین مفصل پلاستیک (C_s) به برش پایه طراحی (C_w) بنابراین خواهیم داشت:

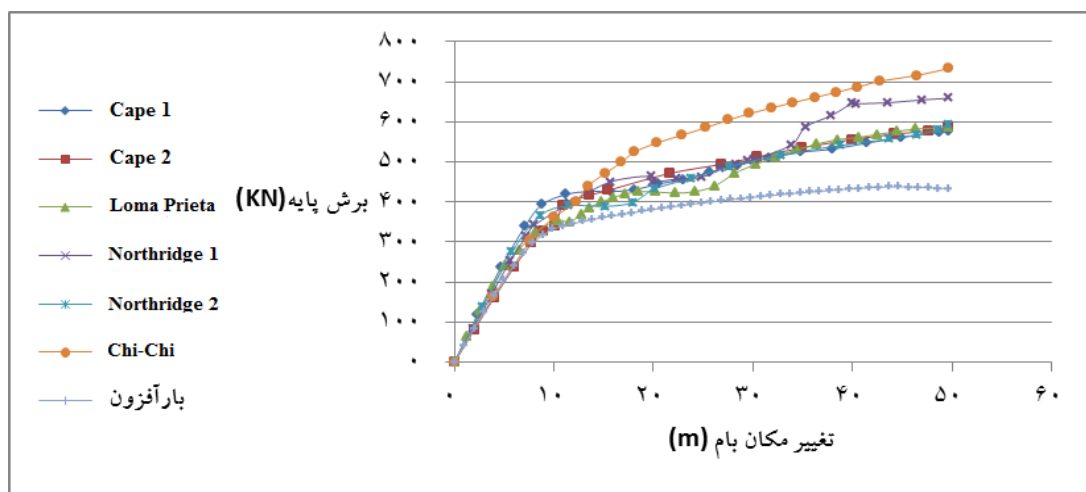
$$Y = \frac{C_s}{C_w} \quad (6)$$

۳- نتایج پژوهش

به عنوان نمونه منحنی‌های ظرفیت که با استفاده از انجام تحلیل دینامیکی افزایش و بارافزون استاتیکی برای قاب‌های ۶ و ۱۲ طبقه تحت زلزله‌های مذکور بدست آمده است، در زیر آورده شده است. از منحنی‌های ظرفیت حاصل به منظور تعیین ضریب رفتار استفاده گردید. به عنوان نمونه نتایج مربوط به محاسبات ضرایب رفتار قاب‌های ۶ و ۱۲ طبقه در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. میانگین روش‌های نیومارک-هال و میراندو بترو برای بدست آوردن ضریب شکل‌پذیری، ضریب کاهش و همچنین ضریب رفتار استفاده شده است.



شکل ۳: منحنی های ظرفیت قاب ۶ طبقه



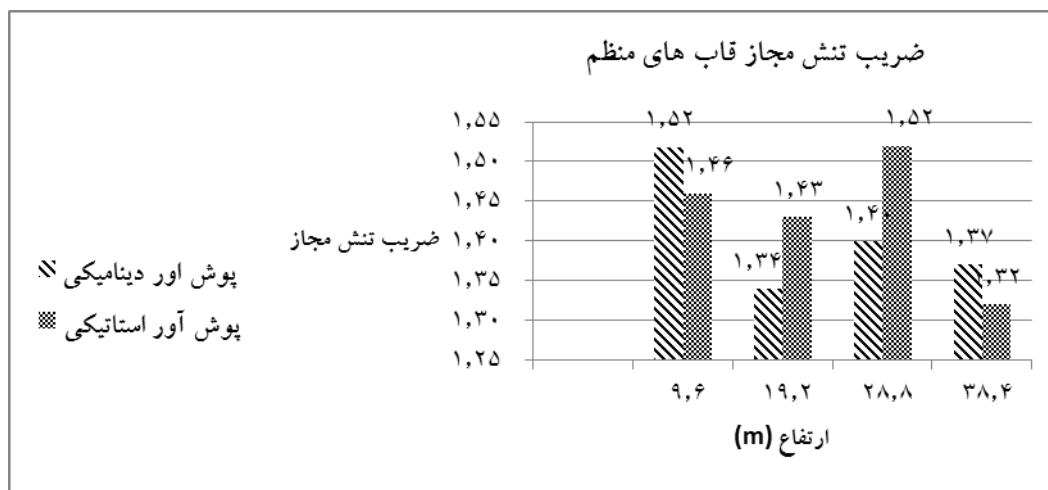
شکل ۴: منحنی های ظرفیت قاب ۱۲ طبقه

جدول ۲: محاسبه ضرایب عملکرد برای قاب ۱۲ طبقه

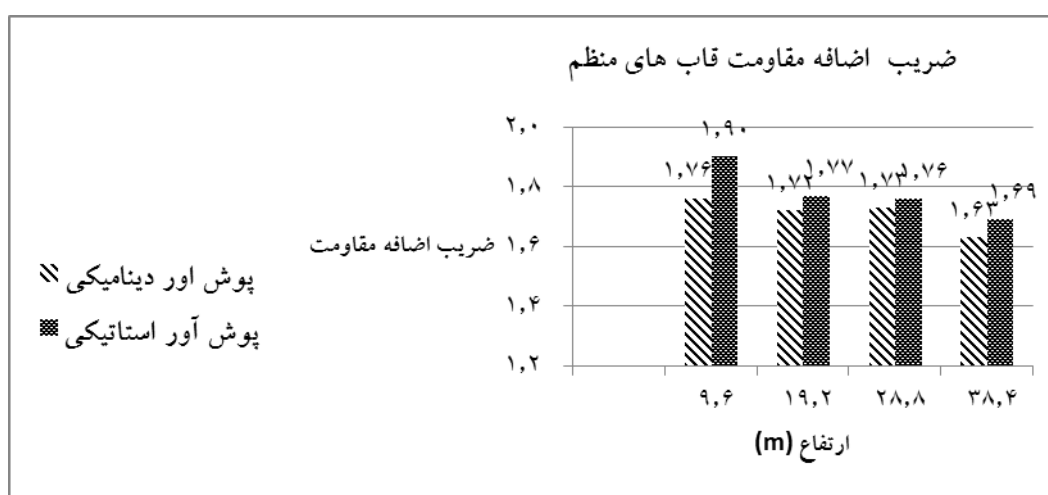
قاب ۱-۶	Cape 1	Cape 2	Loma Prieta	Northridge 1	Northridge 2	Chi-Chi	میانگین	پوش آور
زلزله								
Ω	۱/۶۴	۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۵۵	۱/۲۴	۱/۴۷	۱/۵۰	۱/۴۴
γ	۱/۴۸	۱/۴۴	۱/۵۳	۱/۵۷	۱/۵۰	۱/۶۴	۱/۵۳	۱/۴۳
μ	۴/۲۴	۴/۶۵	۴/۸۵	۴/۴۸	۵/۹۹	۵/۱۰	۴/۸۹	۵/۱۰
$R\mu$ (نیومارک-حال)	۴/۲۴	۴/۶۵	۴/۸۵	۴/۴۸	۵/۹۹	۵/۱۰	۴/۸۹	۵/۱۰
$R\mu$ (میراندو بترو)	۳/۸۴	۴/۲۰	۴/۳۸	۴/۰۵	۵/۳۸	۴/۶۰	۴/۴۱	۴/۶۰
R (نیومارک-حال)	۱۰/۲۹	۱۰/۳۱	۱۱/۵۸	۱۰/۹۰	۱۱/۱۴	۱۲/۳۰	۱۱/۰۹	۱۰/۵۰
R (میراندو)	۹/۳۲	۹/۳۱	۱۰/۴۵	۹/۸۶	۱۰/۰۱	۱۱/۰۹	۱۰/۰۱	۹/۴۷

جدول ۳: محاسبه ضرایب عملکرد برای قاب ۱۲ طبقه

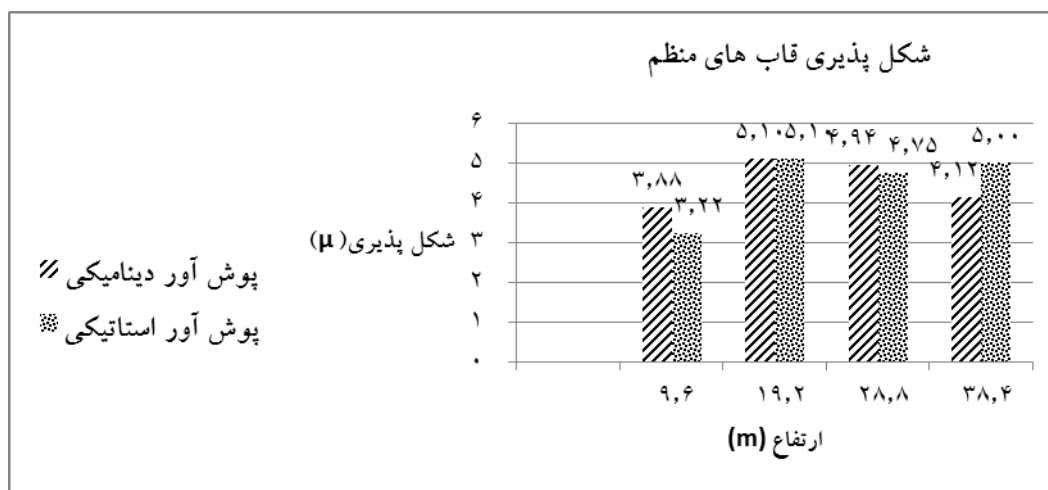
قاب ۱۲ طبقه								
زلزله	Cape 1	Cape 2	Loma Prieta	Northridge 1	Northridge 2	Chi-Chi	میانگین	پوش آور
Ω	۱/۳۲	۱/۶۶	۱/۴۸	۱/۴۳	۱/۳۰	۱/۸۰	۱/۵۰	۱/۳۹
γ	۱/۶۰	۱/۳۸	۱/۳۸	۱/۵۰	۱/۵۸	۱/۴۵	۱/۴۸	۱/۳۲
μ	۵/۶۷	۴/۵۹	۵/۸۰	۵/۵۴	۵/۷۵	۴/۱۲	۵/۲۵	۵/۰۰
$R\mu$ (نیومارک-هال)	۵/۶۷	۴/۵۹	۵/۸۰	۵/۵۴	۵/۷۵	۴/۱۲	۵/۲۵	۵/۰۰
$R\mu$ (میراندو بترو)	۵/۱۰	۴/۲۰	۵/۲۰	۴/۹۸	۵/۱۶	۳/۷۳	۴/۷۳	۴/۵۰
R (نیومارک-هال)	۱۱/۹۸	۱۰/۵۱	۱۱/۸۵	۱۱/۸۸	۱۱/۸۱	۱۰/۷۵	۱۱/۴۶	۹/۱۷
R (میراندو)	۱۰/۷۷	۹/۶۲	۱۰/۶۲	۱۰/۶۸	۱۰/۶۰	۹/۷۴	۱۰/۳۴	۸/۲۶



شکل ۵: نمودار ضریب تنش مجاز- ارتفاع



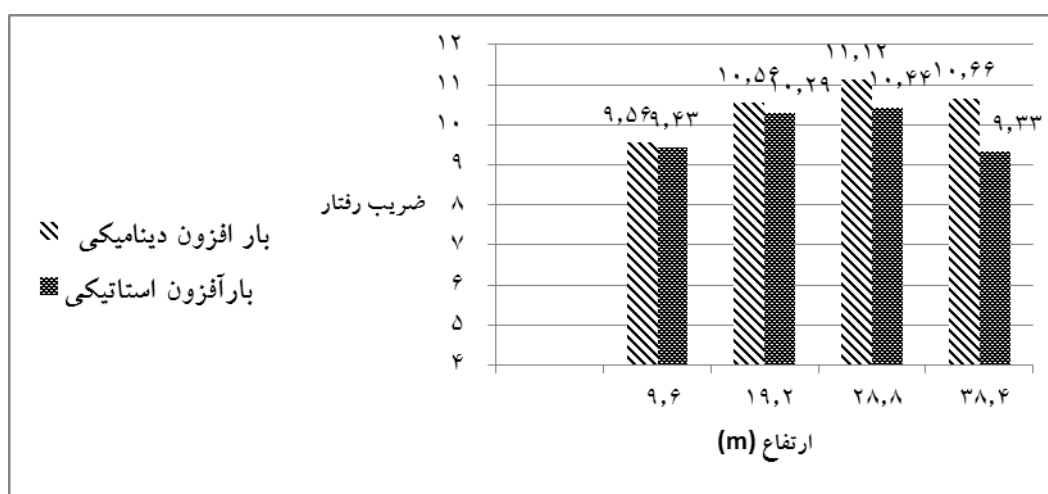
شکل ۶: نمودار ضریب اضافه مقاومت- ارتفاع



شکل ۷: نمودار ضریب شکل پذیری - ارتفاع



شکل ۸: نمودار ضریب کاهش بر اثر شکل پذیری - ارتفاع



شکل ۹: تغییرات ضریب رفتار برای روش تحلیل دینامیکی فزاینده و تحلیل استاتیکی غیرخطی

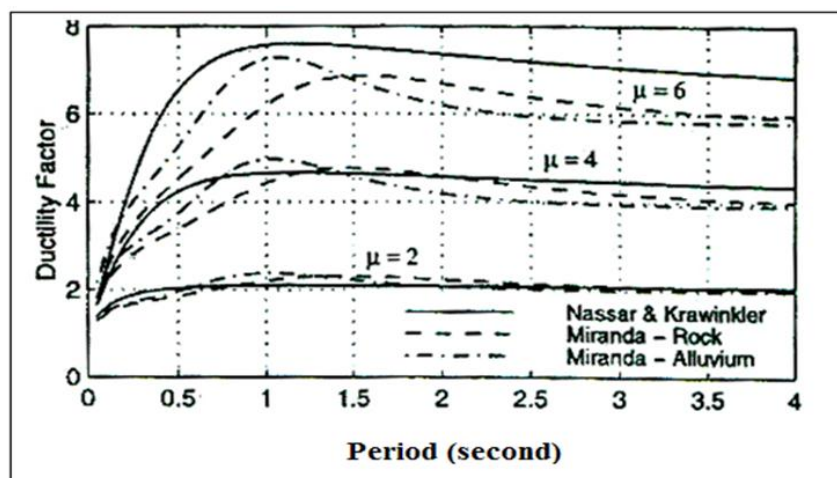
۴- بحث و نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان داد که ضریب تنش مجاز وابستگی زیادی به نحوی تیپ بندی تیر و ستون‌ها و گام‌های تحلیل دینامیکی افزایشی دارد، هرچقدر گام‌ها کوچکتر باشد دقت ضریب تنش مجاز محاسبه شده بیش‌تر خواهد بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب تنش مجاز در قاب‌های منظم با افزایش ارتفاع، کاهش یافته است. همچنین تحلیل دینامیکی افزایشی مقدار این ضریب را بیش‌تر از روش بارافزون بدست می‌دهد.

اهمیت ضریب اضافه مقاومت در ساختمان‌های با زمان تناوب کم بیشتر است در نتیجه اثر این ضریب در ساختمان‌های کوتاه مرتبه بالاتر است. ضریب اضافه مقاومت در قاب‌های منظم با افزایش ارتفاع، کاهش پیدا کرده است. همچنین در قاب‌های منظم با استفاده از تحلیل بارافزون، مقدار این ضریب بیش‌تر از روش دینامیکی افزایشی حاصل شده است.

اصلی‌ترین عامل تاثیرگذار بر ضریب رفتار، ضریب شکل پذیری است. اگر سازه‌ای شکل پذیر نباشد، تعریف ضریب رفتار برای آن بی‌معنی است. ضریب شکل پذیری سازه شدیداً به ظرفیت شکل پذیری اعضا نظیر تیر، ستون، وابسته است. هرچه شکل پذیری اعضا بیشتر باشد، ضریب شکل پذیری سازه نیز بزرگتر خواهد بود. هرچقدر ارتفاع سازه افزایش می‌یابد سازه رفتار شکل پذیرتری از خود نشان می‌دهد. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع رفتار قاب از حالت برشی به حالت خمشی می‌رسد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شکل پذیری بدست-آمده با تحلیل بارافزون دینامیکی عموماً بیش‌تر از تحلیل استاتیکی است. به نظر می‌رسد قاب‌های بتن مسلح در مقابل بارهای دینامیکی شکل پذیری و جذب انرژی بیشتری از خود نشان می‌دهند و همین امر منجر به بدست آمدن ضریب شکل پذیری بیش‌تری در این روش می‌گردد اما افزایش زیاد ارتفاع منجر به نرم‌تر شدن و در نتیجه کاهش شکل پذیری قاب می‌گردد.

در قاب‌های منظم میانگین ضریب کاهش حاصل از پوش آور دینامیکی و استاتیکی تقریباً یکسان است. اثر افزایش ارتفاع بر این ضریب در تحلیل دینامیکی افزایشی و همچنین تحلیل استاتیکی غیر خطی یکسان است. در هر دو روش با افزایش ارتفاع این ضریب افزایش یافته است، در واقع با افزایش ارتفاع رفتار قاب از حالت برشی به خمشی نزدیک می‌شود، شکل پذیری قاب و در نتیجه آن ضریب کاهش بر اثر شکل پذیری افزایش می‌یابد این موضوع از شکل (۱۰) که توسط میراندو و نصر پیشنهاد شده قابل استنباط است، این افزایش تا دوره تناوب یک ادامه دارد. تحلیل دینامیکی افزایشی در مقایسه با تحلیل استاتیکی غیر خطی مقدار ضریب کاهش را بیش‌تر بارافزون از تخمین زده است، به نظر می‌رسد این اختلاف در محاسبه ضریب کاهش ناشی از ظرفیت افزایش یافته‌ی قاب به علت اثرات میرایی و ماهیت دینامیکی بار باشد.



شکل ۱۰: مقایسه ضرایب کاهش بر اثر شکل پذیری [۷].

در قاب‌های منظم با استفاده از روش‌های مختلف مقادیر متفاوتی برای ضریب رفتار بدست می‌آید. نتایج این پژوهش نشان داد میانگین ضریب رفتار حاصل از پوش‌آور دینامیکی و استاتیکی انطباق خوبی با مقادیر ارایه شده برای این ضریب در آیین نامه ۲۸۰۰ دارد بجز در قاب ۳ طبقه که کمتر از مقدار آیین‌نامه است (مقدار این ضریب در قاب ۳ طبقه با استفاده از تحلیل دینامیکی و استاتیکی به ترتیب ۹/۵۶ و ۹/۴۶ است). اثر افزایش ارتفاع بر این ضریب در تحلیل دینامیکی افزایشی و همچنین تحلیل استاتیکی غیر خطی یکسان است. در هر دو روش با افزایش ارتفاع این ضریب ابتدا افزایش سپس کاهش یافته است، همانطور که مشاهده می‌شود تحلیل دینامیکی افزایشی مقدار ضریب رفتار را حدوداً ۱۳٪ بیش‌تر از تحلیل استاتیکی بارآزون تخمین زده است. مشابه با آنچه که در قسمت ضریب کاهش ذکر گردید این اختلاف در محاسبه ضریب رفتار احتمالاً ناشی از ظرفیت افزایش یافته‌ی قاب به علت اثرات میرایی و ماهیت دینامیکی بار باشد.

۵- مراجع

- [۱] تنسیمی، ع؛ معصومی، ع؛ «محاسبه ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح»؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۴
- [2] Consenza, E.; De Luca, A.; Faella, C. and Piluso, V.; "A Rational Formulation for the Q-Factor in Steel Structures"; Proc. Of ninth world conference on earthquake engineering, No.8, (1988)
- [3] ATC.; "Structural Response Modification Factors"; ATC-19 Report, Applied Technology council, (1995)
- [4] Uang, C.; "Establishing R (or R_w) and C_d factors for building seismic provisions"; *Journal of Structural Engineering*, No. 117, (1991), 19-28
- [5] Krawinkler, H. and Nassar, A. A.; "Seismic Design based on Ductility and Cumulative Damage Demands and Capacities"; *Elsevier Applied Science*, (1992)
- [6] Newmark, N. M. and Hall, W. J.; "Earthquake spectra and design", *Earthquake Engineering Research Institute.*, (1982)
- [7] Miranda, E. and Bertero, V. V.; "Evaluation of strength reduction factor for earthquake-resistance design"; *Earthquake Spectra.*, (1994)
- [8] Hwang, H. H. M. and Jaw, J. W.; "Statistical Evaluation of Response Modification Factors for Reinforced Concrete Structures"; *National Center for Earthquake Engineering Research*, (1989)
- [9] Elnashai, A.S. and Mwafy, A. M.; "Calibration of Force Reduction Factors of RC Buildings"; *Journal of Earthquake Engineering Research*, No.6, (2002), 239-273
- [10] Mondal, A.; Ghosh, S.; Reddy and G.R.; "Performance-based evaluation of the response reduction factor for ductile RC frames"; *Journal of Engineering Structures Research*, No. 56, (2013) 1808-1819
- [۱۱] صمیمی‌فر، م؛ وطنی، ا؛ «تعیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی»؛ ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۰
- [12] Kim, J. and Choi, H., "Response modification factors of chevron-braced frames", *Engineering Structures*, vol. 27, pp. 285-300, (2005).
- [۱۳] شوشتری، ا؛ غزنوی زاده، ح؛ «بررسی ضریب رفتار ساختمان‌های بتن مسلح در تحلیل لرزه‌ای»؛ سومین کنفرانس ملی عمران شهری، ۱۳۸۷
- [14] <http://peer.berkeley.edu>
- [15] ACI; "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI318-99) and Commentary (ACI318R-99)"; American Concrete Institute. (1999)
- [۱۶] کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله؛ «استاندارد ۲۸۰۰» مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ ۱۳۸۴