

برآورد ضریب رفتار قاب خمشی بتن مسلح منظم با استفاده از بیان ژن

نیلوفر اژدری^۱، سید شاکر هاشمی^{۲*}، عبدالرضا فاضلی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس

sh.hashemi@pgu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹

چکیده

ضریب رفتار به طراح امکان می‌دهد تا با انجام یک تحلیل خطی، نیازهای لرزه‌ای سازه را ارزیابی کند. در آیین نامه لرزه‌ای، این ضریب تنها وابسته به نوع سیستم مقاوم جانبی است و با یک مقدار ثابت معرفی شده است. در حالی که ضریب رفتار وابسته به هندسه سازه است و رابطه‌ای بین ضریب رفتار و هندسه مدل وجود دارد که هدف اصلی این مقاله، یافتن رابطه ریاضی برای تعیین ضریب رفتار است. در مقاله حاضر به منظور تعیین ضریب رفتار قاب بتن مسلح و بررسی اثر پارامترهای هندسی مدل بر ضریب رفتار، چند قاب خمشی با شکل پذیری متوسط مدلسازی و طراحی شده است. این مدل‌ها پس از طراحی با استفاده از نرم افزار SAP2000، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته و مقدار ضریب رفتار برای هر کدام از قاب‌ها بدست آمده است. مدل‌های طراحی شده دارای تعداد طبقات ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵، نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ هستند که میلگرد مصرفی در این قاب‌ها در دو نوع با تنش تسلیم ۳۴۰ مگاپاسکال و ۴۰۰ مگاپاسکال و شدت لرزه خیزی منطقه ساخت در سه تنوع خیلی زیاد، زیاد و متوسط در نظر گرفته شده است. در نهایت با تهیه بانک اطلاعاتی که شامل مشخصات هندسی و ضریب رفتار ۱۶۸ قاب بتن مسلح است، محاسبه شده و با انتقال آن به نرم افزار GeneXpro Tools، رابطه ریاضی برای محاسبه ضریب رفتار بدست آمده است. نتایج نشان داد که با استفاده از روابط بدست آمده، مقدار ضریب رفتار به خوبی پیش بینی می‌شود و ضریب رگرسیون بدست آمده ۰/۹۲ است. پس از بررسی اثر پارامترهای مورد بررسی بر ضریب رفتار، می‌توان گفت که اثر طول دهانه و تعداد طبقات قاب بر ضریب رفتار بیشتر از اثر شتاب مبنای طرح و نوع میلگرد مصرفی است.

واژگان کلیدی: قاب خمشی بتن مسلح، ضریب رفتار، توصیف ژن، تحلیل غیرخطی، تحلیل بار افزون

۱- مقدمه

به عنوان بار افقی معادل بار زلزله به ساختمان اعمال شد.

محاسبه این ضریب بر اساس قضاوت مهندسی بود و هماهنگی

قبل از مطرح شدن ضریب رفتار، درصدی از وزن ساختمان‌ها

با واقعیت نداشت. تا اینکه انجمن فن‌آوری کاربردی آمریکا، ATC¹، پیشنهادی برای طرح لرزه‌ای ساختمان‌ها ارائه داد. ولی با توجه به مشکل بودن این روش‌ها، تصمیم گرفته شد که طراحی در یک مرحله و به صورت استاتیکی خطی انجام شود. امروزه در آیین نامه‌های طراحی سازه‌های بتن مسلح ضوابط خاصی برای طراحی و کنترل سازه وجود دارد. نیروی زلزله در هنگام طراحی توسط طراحان کاهش داده می‌شود. کاهش بار زلزله در هنگام طراحی بوسیله ضریبی به نام ضریب رفتار یا ضریب کاهش نیرو انجام می‌شود. تحقیقات فراوانی در زمینه ضریب رفتار انجام شده است که از مهمترین آنها می‌توان به تحقیقات فریمن، یانگ، نیومارک، آکیما اشاره کرد [1].

با توجه به اینکه رفتار ساختمان‌ها در هنگام زلزله به صورت غیرخطی است و انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی بسیار وقت گیر است و نیاز به در نظر گرفتن مجموعه‌ای از تحریک‌های زمین دارد، برای یافتن عملکرد ساختمان‌ها و تعیین ضریب رفتار سازه می‌توان از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده کرد. اولین بار گلکان و سوزن در سال ۱۹۷۴ از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده کرده‌اند [2]. به دلیل اهمیت و نقش ضریب رفتار، پژوهشگران تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام داده‌اند:

اولین بار ضرایب تعدیل پاسخ زلزله (ضریب رفتار) توسط ATC در سال ۱۹۷۸ مطرح شد [3]. در سال‌های گذشته مطالعات متنوعی در زمینه ضریب رفتار توسط پژوهشگران صورت گرفته است. ضریب رفتار سازه‌های بتن مسلح با تعداد طبقات سه، شش و نه توسط لوزای و عابد بررسی شد و نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آنالیز استاتیک غیرخطی نشان داد که مقدار ضریب رفتار با افزایش تعداد طبقات کاهش یافته، در حالی که در تحلیل دینامیکی غیرخطی مقدار ضریب رفتار با افزایش تعداد طبقات

افزایش یافته است [4]. ضریب رفتار قاب خمشی بتن مسلح با شکل‌پذیری متوسط و ویژه با در نظر گرفتن اثر نیروی محوری و شکست برشی اعضا توسط اسدی و همکاران بررسی شده است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با در نظر گرفتن جابه‌جایی متناظر با ۰/۷۵ دوران نهایی عضو بحرانی، مقدار ضریب رفتار قاب بتن مسلح با شکل‌پذیری متوسط و ویژه به مقدار ضریب رفتار ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ نزدیک‌تر است و در قاب‌هایی با شکل‌پذیری متوسط با افزایش ارتفاع قاب، ضریب رفتار کاهش یافته است [5]. مطابق با تحقیقات هاشمی و همکاران روی ضریب رفتار ساختمان بتن مسلح دارای سقف حبابدار، طول دهانه و تعداد طبقات ساختمان‌ها بیشترین تأثیر را در مقدار ضریب رفتار داشته است [6]. ارزیابی قابلیت اطمینان لرزه‌ای و ضریب رفتار برای قاب‌های مهاربندی شده خارج از مرکز با پیوندهای عمودی توسط محسنیان و مرتضایی انجام شد که نشان داد استفاده از ضریب رفتار تا مقدار ۸ قابلیت اطمینان قابل قبولی را برای قاب در شدت‌های لرزه‌ای متوسط و زیاد زلزله فراهم می‌کند [7]. در مطالعه‌ای که بر جابه‌جایی و ضریب کاهش رفتار قاب‌های RC انجام شده است، نشان داد که ارتفاع ساختمان عامل بسیار مهمی در مقدار ضریب کاهش رفتار قاب‌های RC است [8]. تحقیقات مندل در مورد تأثیر تیر سردر در قاب‌های بتن مسلح پر شده بر ضریب رفتار نشان داده است که ضریب رفتار این قاب‌ها بیشتر از ضریب رفتار قاب بتن مسلح بدون تیر سردر است [9]. اگرچه تحقیقات در زمینه ارزیابی ضریب رفتار بسیار متنوع است، ولی چنانکه در موارد استناد شده اشاره شد، نگاه پژوهشگران در بررسی این مهم تحقیق در شناخت و استخراج اطلاعات جزئی تر از رفتار سازه بوده است.

در تحقیق حاضر مقرر است که با نگاهی تلفیقی از الگوریتم بیان ژن در شناخت ضریب رفتار سازه کمک گرفته شود. برنامه نویسی بیان ژن به عنوان یکی از قدرتمندترین روش پردازش هوشمند است که برای حل مسائل در علوم

یک روش کاربردی مورد استفاده پژوهشگران قرار گیرد و در توسعه آیین نامه‌های طراحی و ارزیابی لرزه‌ای مفید واقع شود.

۲- تئوری تحقیق

۲-۱- مبانی تحلیل استاتیکی غیرخطی

تجربه نشان داده است که ساختمان‌ها در هنگام زلزله دارای رفتار غیرخطی هستند. برای طراحی دقیق‌تر رفتار ساختمان‌ها، تحلیل غیرخطی ضروری است. یکی از روش‌های تحلیل غیرخطی، تحلیل استاتیکی غیرخطی است که به دلیل سادگی مورد استفاده بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی یا تحلیل بارافزون، بار جانبی ناشی از زلزله به صورت استاتیکی و فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا جایی که تغییر مکان به تغییر مکان هدف برسد یا سازه فرو ریزد. این تحلیل باید به گونه‌ای باشد که با حالت واقعی زلزله هماهنگی داشته باشد پس در هنگام تحلیل نیز باید سازه تحت بارگذاری ثقلی قرار گیرد. در نتیجه ابتدا یک بار ثقلی به صورت رابطه (۱ و ۲) طبق نشریه ۳۶۰ به سازه اعمال شده و پس از محاسبه سختی سازه در اثر آن بار، بار جانبی (زلزله) به سازه اعمال می‌شود.

$$Q_g = 1.1 (Q_l + Q_d) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Q_g = 0.9 (Q_d) \quad \text{رابطه (۲)}$$

Q_d بار مرده و Q_l معادل ۰/۲۵ بار زنده طراحی کاهش نیافته است. نمودار نیرو-جابجایی سازه در حالت کلی در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱. منحنی پاسخ سازه [16]

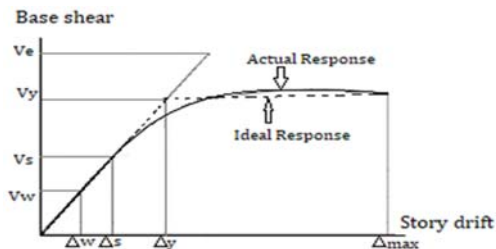


Fig. 1. Structural Response Curve [16]

تا کنون روش‌های متفاوتی برای تحلیل غیرخطی سازه‌های

مختلف، به طور گسترده‌ای از آن استفاده شده است. کاربرد روش بیان ژن بسیار متنوع بوده و حوزه‌های تخصصی و مهندسی متفاوتی را پوشش می‌دهد که شامل مطالعات در زمینه تجارت، پزشکی، مهندسی و ... است. همچنین در مهندسی عمران نیز این الگوریتم در حوزه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات علی‌دادی و مهدویان در خصوص محاسبه ضریب بزرگنمایی خاک‌های ماسه‌ای [10]، فاضلی و معماری در خصوص یافتن رابطه ریاضی برای حرکت و پخش آلاینده نفتی در آب زیر زمینی [11]، جوهری و گلکار فرد در زمینه تحلیل قابلیت اطمینان [12]، اسکندری نداف برای محاسبه مقاومت فشاری ملات سیمان [13] و رضوی و همکاران در برآورد ضریب رفتار قاب فولادی EBF در زلزله‌های نزدیک به گسل با استفاده از الگوریتم ژنتیک [14] و برآورد ضریب رفتار سازه فولادی با مهاربند و اگر تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل پالس گونه با رویکرد سطح عملکرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک [15] و ... اشاره کرد. در تمامی تحقیقات انجام شده، نتایج نشان داد که با استفاده از این روش با دقت قابل قبولی می‌توان پارامتر مورد نظر را پیش‌بینی کرد.

تحقیقات انجام شده در زمینه توصیف ژن نشان می‌دهد که این روش در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اهمیت محاسبه و شناخت ضریب رفتار برای طراحی سازه‌ها و همچنین اثر برخی پارامترهای هندسی بر ضریب رفتار مانند ارتفاع قاب، طول دهانه و ...، در مقاله حاضر تلاش شده است که بر اساس پارامترهای تأثیرگذار در طراحی و مدلسازی قاب، یک رابطه پیشنهادی برای محاسبه ضریب رفتار بدست آید. برنامه نویسی بیان ژن به عنوان یکی از ابزارهای پرکاربرد در این زمینه، قادر به استخراج روابط متنوع از پایگاه داده‌ها و ارائه آن‌ها در قالب فرمول‌های شهودی است. پس در تحقیق حاضر به کمک روش بیان ژن برای اولین بار به تولید رابطه استخراج ضریب رفتار پرداخته شده است. امید است که رابطه استخراج شده در این مقاله به عنوان

بتن مسلح ارائه شده است که بسته به فرضیات مسئله، دقت مختلفی بدست می‌آید.

یکی از فرضیه‌ها در هنگام تحلیل غیرخطی مربوط به معرفی مفصل تیر- ستون است. برای معرفی مفصل تیر- ستون‌ها از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود که یکی از این روش‌ها، استفاده از مفصل فایبر است که مورد استفاده پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است. در این روش به منظور مدلسازی رفتار غیرخطی المان‌های تیر- ستون، آنها را به صورت دسته‌ای از رشته‌های بتن و فولاد در نظر می‌گیرند و از جمع اثر این رشته‌ها، رفتار غیرخطی المان بدست می‌آید [17]. در مقاله حاضر، برای مدلسازی از مفصل فایبر استفاده شده که طبق تحقیقات شیخ و همکاران [18]، شیخ و خوری [19] و باراک و شیخ [20] طول مفصل فایبر برابر با ارتفاع مقطع در نظر گرفته شده است که در ابتدا و انتهای مقطع لحاظ شده و تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی با فرض جابه‌جایی- کنترل قرار گرفته است.

برای بدست آوردن منحنی بار- جابه‌جایی، تحلیل استاتیکی غیرخطی در نرم افزار SAP2000 انجام شده است و با استفاده از نشریه ۳۶۰، توزیع بار جانبی وارد شده به سازه، متناسب با شکل مود اول ارتعاش است. در این تحلیل سازه تا ۱۵۰٪ جابه‌جایی هدف مورد تحلیل قرار گرفته و در این محاسبات اثر P-Δ لحاظ شده است. تحلیل پوش اور بر اساس نشریه ۳۶۰ انجام گرفته است.

۲-۲- محاسبه ضریب رفتار

در روش تحلیل استاتیکی خطی، به منظور کاهش نیروی ناشی از زلزله باید از ضریبی به نام ضریب رفتار استفاده شود. به کمک ضریب رفتار و با استفاده از تحلیل خطی، میزان جذب انرژی سازه در حالت غیر ارتجاعی تعیین می‌شود. پس از مطالعات آزمایشگاهی و میدانی در سال ۱۹۹۵، طبق فرمول بندی جدید، ضریب رفتار به عوامل تشکیل دهنده آن تجزیه شد [21]. یکی از رابطه‌های ارائه شده برای تعیین ضریب رفتار که توسط یانگ ارائه شده است، به صورت رابطه (۳)

بود که سه عامل ضریب تنش مجاز، ضریب مقاومت افزون و ضریب شکل پذیری را دربردارد [22]:

$$R = R_n \times R_\mu \times Y \quad (3)$$

در رابطه (۳)، R_n ضریب مقاومت افزون، R_μ ضریب شکل پذیری، Y ضریب تنش مجاز می‌باشد.

هنگامی که یکی از اعضای سازه به حد تسلیم می‌رسد و اولین مفصل پلاستیک تشکیل می‌شود، عضو مورد نظر همچنان می‌تواند با تغییر شکل غیرارتجاعی انرژی وارد به سازه را جذب کند تا به مرحله گسیختگی برسد و سازه فرویزد. با تشکیل اولین مفصل پلاستیک، سازه پایدار است اما سختی و درجه نامعینی سازه کاهش می‌یابد. با افزایش مفصل پلاستیک، سازه از نظر استاتیکی ناپایدار می‌شود و دیگر قادر به تحمل نیروهای خارجی نخواهد بود و مقاومتی در برابر بارهای وارد شده نخواهد داشت. مقاومتی که سازه پس از تشکیل اولین مفصل پلاستیک از خود نشان می‌دهد، مقاومت اضافی نامیده می‌شود. مقاومت اضافی سازه از تقسیم بیشترین نیروی جانبی تحمل شده توسط سازه به نیروی تشکیل اولین مفصل پلاستیک مطابق با رابطه (۴) بدست می‌آید [21]:

$$R_n = \frac{V_y}{V_s} \quad (4)$$

در رابطه (۴) V_y نیروی برش پایه الاستیک منحنی دو خطی و V_s برش پایه هنگام تشکیل اولین مفصل پلاستیک است.

در هنگام زلزله به دلیل رفتار غیرخطی سازه، مقدار قابل توجهی از انرژی زلزله مستهلک می‌شود که این مقدار استهلاک انرژی وابسته به شکل پذیری است. در واقع تغییر شکل غیرارتجاعی سازه به کمک ضریب شکل پذیری بیان می‌شود. ضریب رفتار مستقیماً به مقدار شکل پذیری وابسته است به طوریکه هر چه شکل پذیری سازه بیشتر باشد، مقدار ضریب رفتار بیشتر خواهد بود. ضریب شکل پذیری به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود [21]:

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \quad (5)$$

در رابطه (۵) V_y نیروی برش پایه الاستیک منحنی دو خطی

مسائل با استفاده از بیان ژن، ابتدا جمعیت اولیه تولید می‌شود. سپس با تعیین عملگر مناسب و انتخاب تابع پیوند که پیوند دهنده Sub-ETs¹ است، می‌توان کروموزوم لازم را ایجاد کرد. کروموزوم‌ها با استفاده از جابه‌جایی، جهش، انتقال ژن، انتقال ریشه، نوترکیب یک و دو نقطه و نوترکیب ژن در معرض اصلاح قرار می‌گیرند و کروموزوم‌های بعدی ایجاد می‌شود. به کمک تابع برازش، کروموزوم‌های معیوب یا ضعیف، حذف شده و کروموزوم‌های برتر حفظ می‌شود و به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا به پاسخ مطلوب برسد. یکی از روش‌های نمایش کروموزوم‌ها، نمودار درختی (ET^2) می‌باشد که مجموعه‌ای از Sub-ETها است. در شکل (۲)، نمایش کروموزوم‌ها با استفاده از نمودار درختی و Sub-ETهای مربوط به آن نشان داده شده است [24]. در نمودار درختی نشان داده شده، عملگر پیوند دهنده بین Sub-ET ها، "+" می‌باشد.

شکل ۲. نمودار درختی کروموزوم‌ها [24]

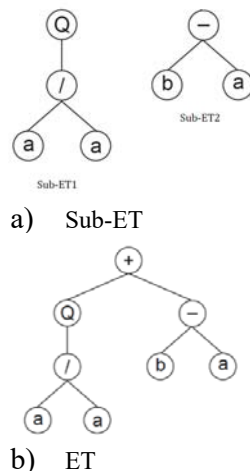


Fig. 2. Expression tree diagram of chromosome [24]

مهمترین مزایای سیستم GEP که باید مورد تأکید قرار گیرند:

- کروموزوم‌ها موجودات کوچک و ساده‌ای هستند که به وسیله تکثیر، جهش و ... قابل اصلاح هستند.

و V_e نیروی برش پایه در هنگامی که سازه فقط رفتار الاستیک دارد، می‌باشد.

مقدار ضریب تنش مجاز برای طراحی به روش مقاومت نهایی برابر با یک و برای طراحی به روش تنش مجاز معمولاً در حدود $1/4$ است [22]. در این مقاله $Y = 1$ فرض شده است. برای تعیین ضریب رفتار برای هر قاب طراحی شده، از روش یانگ [22] استفاده شده است. سپس این مقادیر با مقدار ضریب رفتار محاسبه شده با استفاده از توصیف ژن مقایسه شده است که در ادامه به آن پرداخته‌ایم.

۲-۳- برنامه نویسی توصیف ژن

برنامه‌نویسی توصیف ژن به عنوان یکی از روش‌های هوش مصنوعی و تکامل یافته برنامه نویسی ژنتیک (Genetic Programming) و الگوریتم ژنتیک (Genetics algorithm) است که قادر به استخراج روابط پیچیده و متنوع با استفاده از پایگاه داده است.

در این پژوهش برای تخمین ضریب رفتار قاب بتن مسلح از برنامه نویسی بیان ژن استفاده شده است. نرم‌افزار مورد استفاده برای این برنامه‌نویسی، GeneXpro Tools است. تفاوت برنامه‌نویسی بیان ژن با برنامه نویسی ژنتیک و الگوریتم ژنتیک، در فرم جواب بدست آمده از آنها و نمایش افراد جمعیت می‌باشد. در برنامه نویسی ژنتیک و توصیف ژن، افراد همزمان به عنوان فنوتیپ و ژنوتیپ هستند. در برنامه نویسی توصیف ژن، هر فرد از جمعیت توسط یک ساختار متشکل از چند کروموزوم بیان می‌شود. هر کروموزوم یک ژنوتایپ است و اگر هر کروموزوم هجا شود، یک فنوتایپ بدست می‌آید. در برنامه‌نویسی بیان ژن از جمعیت افراد استفاده می‌شود و تغییرات ژنتیکی با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی معرفی می‌شود [23].

برنامه‌نویسی بیان ژن بر پایه نظریه داروین استوار است و برگرفته از تکامل بیولوژیکی است. به گونه‌ای که برای حل

روی میلگرد در ستون ۲۰ میلی‌متر و پوشش بتن روی میلگرد در تیر، ۳۰ میلی‌متر است. ارتفاع طبقه اول ۲۲۰۰ میلی‌متر، ارتفاع طبقه دوم ۲۰۰۰ میلی‌متر و طول دهانه قاب ۳۵۰۰ میلی‌متر (فاصله مرکز تا مرکز ستون) است. نمودار بار-جابه‌جایی این قاب پس از بارگذاری در آزمایشگاه، مطابق شکل (۳) بدست آمده است.

قاب مورد نظر با فرض مفاصل فایبر که در ابتدا و انتهای مقاطع وارد شده و فرض جابه‌جایی- کنترل، تا لحظه گسیختگی کامل، در نرم‌افزار SAP2000 مدل‌سازی و طراحی شده است و با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی نمودار بار-جابه‌جایی بدست آمده است. در شکل (۳) نمودار بار-جابه‌جایی هر دو تحلیل آزمایشگاهی و تحلیل عددی نشان داده شده است. نتیجه مقایسه دو نمودار بار-جابه‌جایی بدست آمده، نشان می‌دهد سختی اولیه هر دو نمونه تقریباً بر هم منطبق بوده و ظرفیت نهایی نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدل‌سازی شده دارای اختلاف کمی است.

شکل ۳. مقایسه تحلیل عددی و تحلیل آزمایشگاهی مدل Vecchio و Emara

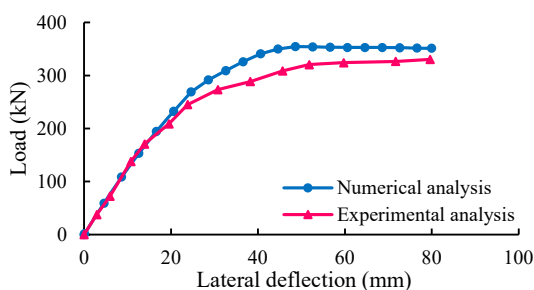


Fig. 3. A comparison between numerical analysis and experimental analysis of Emara and Vecchio models

مقدار ظرفیت نهایی تحلیل آزمایشگاهی ۳۳۱/۳۸ کیلونیوتن و مقدار ظرفیت نهایی تحلیل عددی ۳۵۱/۵۸ کیلونیوتن است. با توجه به مقادیر ظرفیت نهایی، درصد اختلاف پاسخ عددی و آزمایشگاهی ۶/۰۹ درصد می‌باشد. از نظر شیب اولیه نمودار و سختی مدل نیز شبیه سازی عددی با دقت خوبی صورت گرفته است. اختلاف نسبتاً کم در

• به کمک GEP برای حل مسائل می‌توان بدون توجه به فرم قبلی مسئله، رابطه جدیدی بدست آورد.

• در GEP فرم جواب بدست آمده برای هر مسئله به ۱۹ زبان برنامه‌نویسی ترجمه می‌شود.

برای رابطه سازی در نرم افزار GeneXpro Tools، جمعیت اولیه ۱۰۰۰ می‌باشد. تعداد Sub-ET ها در رابطه نهایی بدست آمده، ۳ و عملگر پیوند دهنده Sub-ET ها، "+" می‌باشد. برای این رابطه سازی از توابع زیر استفاده شده است.

مجموعه توابع مورد استفاده:

{+, -, /, ×, Min, Max, Ramp, Step}

برای توضیحات بیشتر درمورد برنامه نویسی بیان ژن به

مرجع [24] مراجعه شود.

۳- درستی آزمایشی روش عددی

به منظور درستی آزمایشی روش تحلیل صورت گرفته و قابلیت نرم افزار SAP2000 در انجام تحلیل غیرخطی، نتایج تحلیل عددی نرم افزار SAP2000 و نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است.

یک قاب دو طبقه توسط Vecchio و Emara [25] تحت

بارگذاری جانبی و مورد آزمایش قرار گرفته است. با توجه به مشخصات هندسی، این قاب در نرم افزار SAP2000 مدل‌سازی شده است و ستون‌های این قاب تحت نیروی محوری ۷۰۰ کیلونیوتنی قرار گرفته است و قاب به صورت جانبی در تراز طبقه دوم تحت اثر بار جانبی قرار گرفته است.

در این آزمایش از بتن با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال استفاده

شده است. در هر مقطع تیر و ستون، ۸ میلگرد طولی نمره ۲۲ (۴ میلگرد در ردیف بالا و ۴ میلگرد در ردیف پایین) با مقاومت جاری شدن ۴۱۸ مگاپاسکال، تنش نهایی ۵۹۶ مگاپاسکال، مدول ارتجاعی ۱۹۲۵۰۰ مگاپاسکال، میلگرد عرضی نمره ۱۰ با مقاومت جاری شدن ۴۵۴ مگاپاسکال و تنش نهایی ۶۴۰ مگاپاسکال با فاصله ۱۲۵ میلی‌متر وجود دارد. ابعاد مقطع تیر و ستون، ۳۰۰ × ۴۰۰ mm² است و پوشش بتن

است. تمامی قاب‌های طراحی شده دارای ارتفاع طبقه ۳/۳ متر و میلگرد مورد استفاده در تیرها و ستون‌ها با تنش تسلیم ۳۴۰ مگاپاسکال و ۴۰۰ مگاپاسکال هستند. در این پژوهش از بتن با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال استفاده شده است و نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد، F نام‌گذاری شده است و شامل دو مقدار ۰/۰۸ و ۰/۰۷۵ می‌باشد. قاب‌های مورد استفاده با کاربری مسکونی و سیستم سقف تیرچه و بلوک می‌باشند که با فرض شکل پذیری متوسط طراحی شده‌اند. تمامی قاب‌ها با استفاده از ملاحظات طراحی آیین‌نامه ACI318-14 [26] و مبحث نهم مقررات ملی، طراحی و با استفاده از مبحث ششم مقررات ملی و استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری شده‌اند. در این پژوهش، مقدار بار زنده طبقات 200 kg/m^2 ، بار زنده بام 150 kg/m^2 ، بار مرده طبقات 600 kg/m^2 و بار مرده بام 550 kg/m^2 می‌باشد.

قاب‌های مورد نظر در این پژوهش، قاب میانی از ساختمان بتن مسلح با پلان متقارن می‌باشد که در هر دو راستا دارای ۴ دهانه است. قاب مورد بررسی در شکل (۴) مشخص شده است.

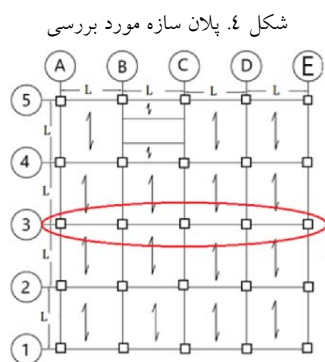


Fig. 4. A sample plan of the examined structural models

با تغییر پارامترهای ذکر شده، ۱۶۸ قاب با استفاده از مبانی تحلیل استاتیکی معادل طراحی شده است. سپس این قاب‌ها با استفاده از مبانی حل تحلیل استاتیکی غیرخطی و با توجه به

پاسخ‌های عددی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مبانی روش حل غیرخطی به کار گرفته شده با دقت خوبی می‌تواند رفتار غیرخطی قاب را تحت بارگذاری جانبی پیش‌بینی کند.

۴- مدل‌سازی

طراحی صحیح ساختمان‌ها، یکی از مهمترین معیار برای تعیین عملکرد مناسب ساختمان‌ها در برابر بارهای زلزله است. از این رو، درک صحیح رفتار ساختمان‌ها در هنگام زلزله، اولین گام برای دستیابی به آن می‌باشد. استخراج ضریب رفتار سیستم-های ساختمانی مختلف، کمک مهمی به طراحان سازه در روند طراحی ساختمان‌ها می‌باشد.

پارامترهای مختلفی از جمله طول دهانه، تعداد طبقات، نوع مصالح و شتاب مبنای طرح، بر مقدار ضریب رفتار تاثیر دارند. پارامترهایی مانند طول دهانه، تعداد طبقات و نوع مصالح به صورت مستقیم بر طراحی سازه تاثیر گذاشته و باعث تغییر مقطع تیر و ستون در سازه می‌شوند که این بر عملکرد و رفتار سازه‌ها مؤثر است. پارامتر تغییر شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف، بر مقدار بار زلزله وارد بر سازه مؤثر بوده که با توجه به ملاحظات طراحی مربوط به شکل پذیری، قاب متفاوتی طراحی شده و جزئیات متفاوتی از مشخصات تیر و ستون بدست آمده که باعث تغییر در مقدار ضریب رفتار می‌شود. در این مقاله تاثیر هر کدام از این پارامترها بر ضریب رفتار بررسی شده است.

بانک اطلاعاتی وارد به نرم افزار GeneXpro Tools شامل مشخصات هندسی قاب‌ها و ضریب رفتار بدست آمده از نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در نرم افزار SAP2000 می‌باشد. قاب‌های طراحی شده در نرم افزار SAP2000 دارای تعداد طبقات (S) ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵، نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/H) ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ و شتاب مبنای طرح (A) ۰/۳۵، ۰/۳ و ۰/۲۵ (منطقه ساخت با شدت لرزه خیزی خیلی زیاد، زیاد و متوسط) هستند که نوع خاک ساختگاهشان II

۵- بحث و نتیجه گیری

پس از تحلیل غیرخطی قاب‌های طراحی شده و تعیین ضریب رفتار مربوط به قاب‌ها، بانک اطلاعاتی تهیه شده است که این بانک اطلاعاتی شامل مشخصات هندسی قاب‌ها و ضریب رفتار بدست آمده است. با تعریف بانک اطلاعاتی برای نرم افزار GeneXpro Tools و انتخاب عملگرهای مناسب در نرم افزار، رابطه ریاضی برای تعیین ضریب رفتار قاب‌های مختلف با استفاده از مشخصات هندسی بدست آمده که در ادامه ارائه شده است.

۵-۱- استفاده از توصیف ژن در محاسبه رابطه

ریاضی تعیین ضریب رفتار

روابط (۶ تا ۱۴)، رابطه ریاضی بدست آمده برای تعیین ضریب رفتار قاب خمشی بتن مسلح می‌باشد. روابط بدست آمده برای ۱۶۸ ورودی مربوط به قاب‌های خمشی متوسط در منطقه ساخت II است. روابط (۶ تا ۱۴)، در نرم‌افزار GeneXpro Tools، با فرض انتخاب تصادفی ۷۵ درصد کل داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد از کل داده‌ها برای آزمایش بدست آمده است.

$$M_1 = \max \left\{ \frac{-0.43}{2\frac{\bar{L}}{H} - 1.47} \right\} \quad (6)$$

$$M_2 = \min \left\{ \frac{\min(\bar{S}, 0.37)}{\frac{\bar{L}}{H} + 0.15 - \bar{S}} \right\} \quad (7)$$

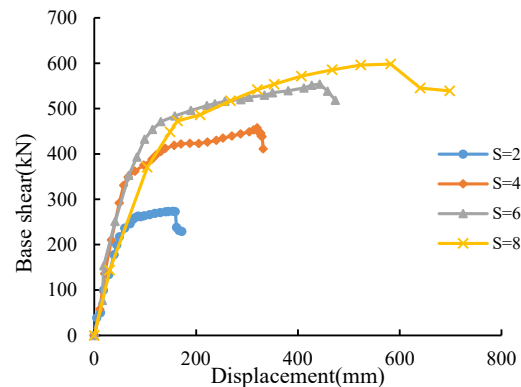
$$Y_1 = \begin{cases} M_1 - M_2 \geq 1 \Rightarrow 1 \\ M_1 - M_2 \leq 0 \Rightarrow 0 \\ 0 \leq M_1 - M_2 \leq 1 \Rightarrow M_1 - M_2 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{Step3} = \begin{cases} \frac{2\bar{A} + 3.8}{4} \geq 1 \Rightarrow 1 \\ \frac{2\bar{A} + 3.8}{4} \leq -1 \Rightarrow -1 \\ -1 \leq \frac{2\bar{A} + 3.8}{4} \leq 1 \Rightarrow \frac{2\bar{A} + 3.8}{4} \end{cases} \quad (9)$$

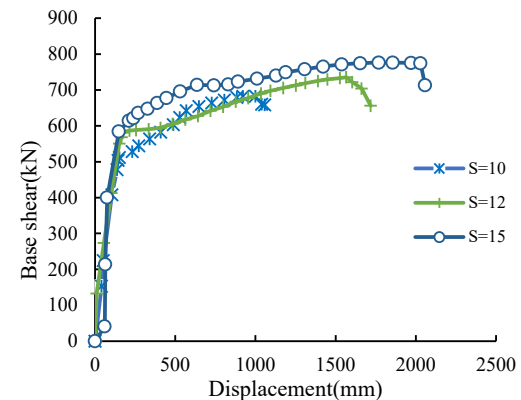
$$M_3 = \max \left\{ \frac{\text{Step3}}{4} \left[5.35 - \frac{2\bar{L}}{H} + \frac{\bar{A}}{2} + \frac{\bar{F}}{4} - 11.36\bar{S} \right] \right\} \quad (10)$$

نشریه ۳۶۰، مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. با استفاده از نمودار نیرو-جابجایی بدست آمده برای هر کدام از مدل‌ها و روش محاسبه ضریب رفتار به روش یانگ، مقدار ضریب رفتار هر کدام از مدل‌ها بدست آمده است. مقادیر ضریب رفتار بدست آمده به عنوان خروجی برای تولید رابطه ریاضی پیشنهادی برای محاسبه ضریب رفتار مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۵) نمودار بار-جابجایی به تفکیک تعداد طبقات در حالتی که شدت لرزه خیزی منطقه خیلی زیاد، $\frac{L}{H}=1$ و تنش تسلیم فولاد مصرفی ۳۴۰ مگاپاسکال می‌باشد نشان داده شده است.

شکل ۵. منحنی‌های بار-جابجایی برای طبقات مختلف

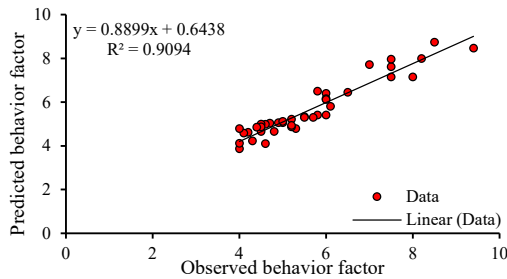


a) The pushover curves for the frames with the number of stories of 2, 4, 6 and 8.



b) The pushover curves for the frames with the number of stories of 10, 12 and 15

Fig. 5. Pushover curves of the different stories frame



b) Observed versus predicted behavior factor parameter for validating model data, $R^2 = 0.9$.

Fig. 6. Comparison of the observed and predicted data

ضریب رگرسیون داده‌های آموزش ۰/۹۲ و ضریب رگرسیون داده‌های آزمایش ۰/۹ می‌باشد که نشان می‌دهد برنامه‌نویسی بیان ژن به خوبی توانسته مقدار ضریب رفتار هر قاب را تخمین بزند به طوری که ضریب رفتار مشاهده شده و ضریب رفتار بدست آمده به هم نزدیک هستند. در ادامه با استفاده از رابطه پیشنهادی ریاضی، اثر پارامترهای مختلف بر ضریب رفتار بررسی شده است.

۵-۲- تأثیر تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به

ارتفاع قاب بر ضریب رفتار

شکل (۷)، با فرض استفاده از میلگرد با تنش تسلیم ۳۴۰ در منطقه ساخت با شدت لرزه‌خیزی خیلی زیاد، تأثیر تعداد طبقات به ازای نسبت‌های مختلف $\frac{L}{H}$ بر ضریب رفتار بررسی شده است.

شکل ۷. مقادیر ضریب رفتار در با تغییر تعداد طبقات در قاب‌هایی با مقدار

نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵

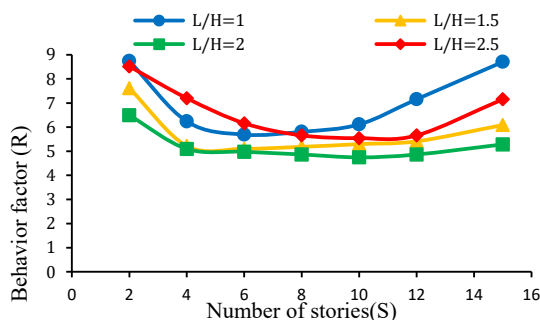


Fig. Error! No text of specified style in document.7. Behavior factor versus the number of stories for frames with the L/H values of 1, 1.5, 2 and 2.5

شکل (۷) نشان می‌دهد، مقدار ضریب رفتار به تعداد

$$M_4 = \min \left\{ \frac{0.61}{\frac{\bar{L}}{H} \frac{\bar{S}}{S}} \right\} \quad (11)$$

$$Ramp = \begin{cases} M_4 < 0 \Rightarrow -M_4 \\ M_4 > 0 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$Y = Y_1 + M_3 + \frac{1}{4} \left[Ramp - 3.12 + \frac{\bar{F}}{2} - \frac{\bar{L}}{4H} + \frac{\bar{S}}{2} \right] \quad (13)$$

$$R = 5.8Y + 3.4 \quad (14)$$

در تمامی روابط (۶ تا ۱۴)، به جای پارامترهای $\bar{F}$ ، $\frac{\bar{L}}{H}$ ، $\bar{S}$

باید از روابط (۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸) استفاده کرد.

$$\bar{S} = \frac{S - 2}{13} \quad (15)$$

$$\frac{\bar{L}}{H} = \frac{\frac{L}{H} - 1}{1.5} \quad (16)$$

$$\bar{F} = \frac{F - 0.075}{0.005} \quad (17)$$

$$\bar{A} = \frac{A - 0.25}{0.1} \quad (18)$$

در این روابط S (تعداد طبقات)، $\frac{L}{H}$ (نسبت طول دهانه به

ارتفاع طبقه)، F (نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد مصرفی) و A (شدت لرزه خیزی ساختگاه) هستند.

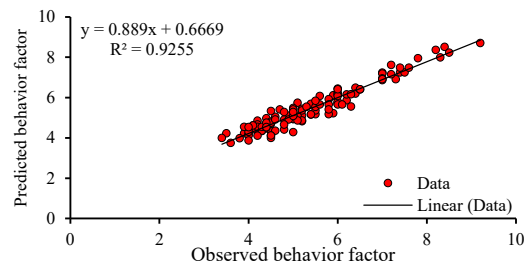
رگرسیون خطی مربوط به ضریب رفتار قاب بتن مسلح در شکل (۶) ارائه شده است. این شکل نشان دهنده ضریب رفتار

پیش‌بینی شده از نرم‌افزار GeneXpro Tools و ضریب رفتار

مشاهده شده در تحلیل عددی است.

شکل ۶. مقایسه ضریب رفتار پیش‌بینی شده و ضریب رفتار مشاهده

شده



a) Observed versus predicted behavior factor parameter for developing model data, $R^2 = 0.92$.

طبقات و نسبت‌های مختلف $\frac{L}{H}$ حساس بوده است. با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه از ۱ تا ۲، در تمامی طبقات مقدار ضریب رفتار کاهش یافته و با افزایش نسبت طول دهانه

شکل ۸. مقادیر ضریب رفتار در تعداد طبقات مختلف و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه برای قاب‌هایی با شتاب مبنای طرح مختلف

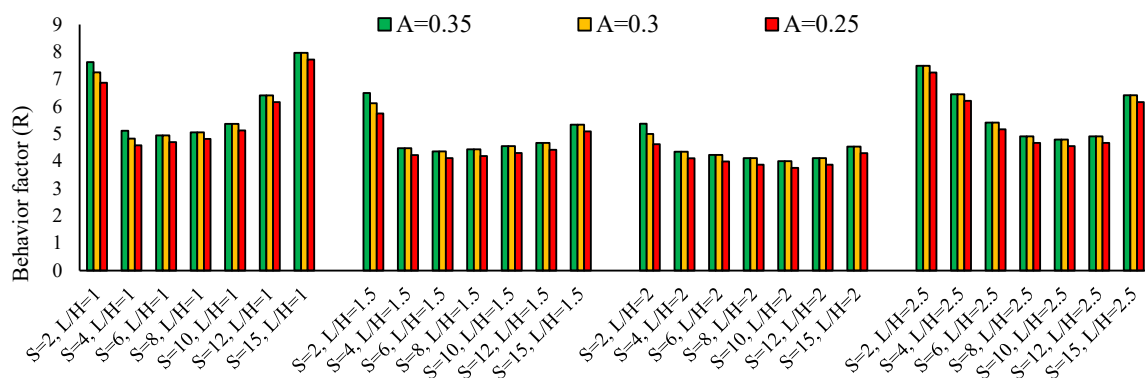


Fig. Error! No text of specified style in document.8. Behavior factor versus the number of stories and L/H ratio for frames with different seismic conditions

۵-۳- تأثیر شتاب مبنای طرح بر ضریب رفتار

در شکل (۸)، استفاده از میلگرد با تنش تسلیم ۴۰۰ به صورت ثابت فرض شده است و حساسیت ضریب رفتار نسبت به شتاب لرزه خیزی منطقه ساخت به ازای قاب‌هایی با تعداد طبقات ۲ تا ۱۵ و نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ تا ۲/۵ بررسی شده است. همان‌گونه که در بخش ۴ اشاره شد تغییر شتاب مبنای طرح در هنگام بارگذاری، باعث تغییر در مقدار بار زلزله وارد بر قاب شده و با توجه به لزوم طراحی، با تغییر الگو و مقدار بارهای وارد شده، نتیجه طراحی و ابعاد مقاطع سازه‌ای تغییر یافته و در عمل با سازه‌ای متفاوت روبرو خواهیم بود. این تغییرات می‌تواند به دلیل تغییر در مشخصات سازه‌ای، روی شکل پذیری و ضریب رفتار واقعی سازه تأثیرگذار باشد.

نتایج نشان می‌دهد در تمامی قاب‌های بررسی شده، با افزایش شدت لرزه خیزی منطقه ساخت، ضریب رفتار افزایش یافته است. به طوری که ضریب رفتار بدست آمده در منطقه ساخت با شدت لرزه خیزی خیلی زیاد از ضریب رفتار منطقه

به ارتفاع طبقه از ۲ تا ۲/۵، ضریب رفتار به طور چشمگیری افزایش یافته است. مقدار ضریب رفتار در تمامی قاب‌ها با تعداد طبقات ۲ تا ۱۵ و به ازای نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱/۵ و ۲ بسیار به یکدیگر نزدیک بوده، در حالی که با تغییر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه در قاب از ۱ تا ۱/۵ ضریب رفتار به ازای قاب‌هایی با تعداد طبقات ۱۲ و ۱۵، به صورت چشمگیر کاهش یافته است. با تغییر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه از ۲ تا ۲/۵ حساسیت ضریب رفتار به طبقات پایین‌تر بیشتر می‌باشد.

ضریب رفتار در نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ و ۱/۵ با افزایش تعداد طبقات از ۲ تا ۶ طبقه، کاهش یافته و با افزایش بیشتر تعداد طبقات تا ۱۵ طبقه، افزایش یافته است. ضریب رفتار در نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۲ و ۲/۵ با افزایش تعداد طبقات از ۲ تا ۱۰، سیر کاهشی و با افزایش بیشتر تعداد طبقات قاب تا ۱۵ طبقه، سیر افزایشی داشته است.

افزایشی داشته است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از روش توصیف ژن به ارزیابی ضریب رفتار قاب خمشی بتن مسلح با شکل پذیری متوسط که نوع خاک ساختمانی آن II است، پرداخته شد. به این منظور ۱۶۸ قاب بتن مسلح طراحی و تحلیل شده و با استفاده از برنامه نویسی بیان ژن به تحلیل داده‌های موجود پرداخته شد و رابطه‌ای ریاضی جهت محاسبه ضریب رفتار قاب بتن مسلح با استفاده از هندسه قاب بدست آمده است. در نهایت اثر پارامترهای مختلف همچون تعداد طبقات، نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، نوع مصالح میلگرد و شدت مبنای طرح مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج به شرح زیر است:

(۱) با توجه به اینکه روش توصیف ژن برای اولین بار برای تولید ضریب رفتار استفاده شده است و ضریب رگرسیون بدست آمده برای داده‌های آموزش ۰/۹۲ و برای داده‌های آزمایش ۰/۹ است، پس می‌توان روش ارائه شده در این مقاله را جهت برآورد ضریب رفتار بر اساس پارامترهای تأثیر گذار، روش مناسبی دانست. همچنین این روابط می‌تواند برای تکمیل ضوابط طراحی استفاده شود.

(۲) با افزایش تعداد طبقات روند ثابت و منظمی در مقدار ضریب رفتار مشاهده نشد.

(۳) با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه از ۱ تا ۲، ضریب رفتار در تمامی طبقات کاهش یافته و با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه به ۲/۵ مقدار ضریب رفتار به صورت چشمگیری افزایش یافته است.

(۴) در قاب‌های خمشی متوسط در نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱، ۱/۵ و ۲، ضریب رفتار قاب ۲ طبقه از سایر قاب‌ها بیشتر است و بیشترین مقدار ضریب رفتار در نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ۲/۵، برای قاب ۱۵ طبقه می‌باشد.

(۵) با توجه به تغییر منطقه ساخت که باعث تغییر عوامل لرزه خیزی مانند بارگذاری لرزه‌ای شده و قاب متفاوتی بدست آمده است، حساسیت ضریب رفتار به شدت مبنای

ساخت با شدت لرزه خیزی زیاد و متوسط بیشتر است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد ضریب رفتار به مقدار شتاب مبنای طرح حساسیت زیادی نداشته و مقدار ضریب رفتار در مناطقی با شدت لرزه خیزی خیلی زیاد، زیاد و متوسط تفاوت محسوسی نداشته است. همچنین در شکل (۸) حساسیت ضریب رفتار نسبت به تعداد طبقات و نسبت‌های مختلف $\frac{L}{H}$ مشخص است که نتایج مشابه قسمت (۵-۲) دارد.

۵-۴- تأثیر نوع مقاومت میلگرد بر ضریب رفتار

با تغییر تنش تسلیم میلگرد در هنگام مدلسازی، ابعاد تیر وستون قاب نیز تغییر کرده است و جزئیات متفاوتی از مشخصات تیر و ستون بدست آمده، که باعث تغییر در مقدار ضریب رفتار خواهد شد.

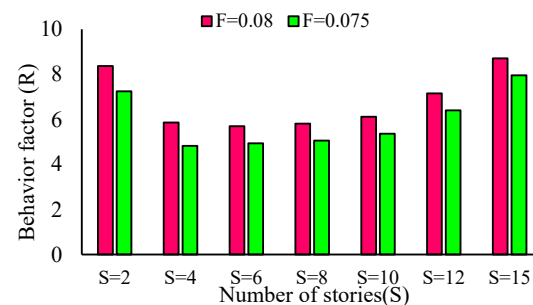


Fig. Error! No text of specified style in document.9.
Behavior factor versus number of stories for frames with change rebar

شکل ۹. مقادیر ضریب رفتار در قاب با طبقات مختلف با تغییر میلگرد

در شکل (۹) حساسیت ضریب رفتار به نوع مصالح میلگرد بررسی شده است. برای بررسی، طول دهانه و شتاب مبنای طرح ثابت فرض شده است و نمودار مربوط به قاب‌هایی با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ و در منطقه‌ای با شدت لرزه خیزی زیاد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر نوع میلگرد مصرفی در طراحی قاب‌ها و افزایش تنش تسلیم میلگرد، مقدار ضریب رفتار کاهش یافته است. همچنین به خوبی می‌توان دید که مقدار ضریب رفتار از قاب‌های ۲ طبقه تا ۶ طبقه سیر کاهشی و از قاب‌های ۶ طبقه تا ۸ طبقه سیر

- response reduction factor (R factor) for eccentric braced frames with vertical links. *Earthquakes and Structures*, 14(6), pp:537-549.
- [8] Gamit, K. and Amin, J.A., 2021. Drift and Response Reduction Factor of RC Frames Designed with DDBD and FBD Approach. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(1), pp:137-151.
- [9] Shendkar, M.R., Mandal, S. and Kumar, R.P., 2020. Effect of lintel beam on response reduction factor of RC-infilled frames. *Current Science*, 118(7), pp:1077-1086.
- [10] Alidadi, N., Mahdaviyan, A., 2018, Modeling of sandy soil magnification coefficient by two methods of neural network and gene expression programming. *Earth sciences*. 27 (107), pp:87-98. "In Persian"
- [11] Fazeli, A., Memari, F., 2018, Determining the pattern of release of petroleum pollutants in groundwater using gene description programming method. *The 1st national conference on environmental geotechnical*, Shiraz 3 and 4 September. "In Persian"
- [12] Johari, A. and Golkarfard, H., 2018. Reliability analysis of unsaturated soil sites based on fundamental period throughout Shiraz, Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, pp:183-197.
- [13] Mahdinia, S., Eskandari-Naddaf, H. and Shadnia, R., 2019. Effect of cement strength class on the prediction of compressive strength of cement mortar using GEP method. *Construction and Building Materials*, 198, pp:27-41.
- [14] Razavi, S.A., Siahpolo, N. and Mahdavi Adeli, M., 2020. A New Empirical Correlation for Estimation of EBF Steel Frame Behavior Factor under Near-Fault Earthquakes Using the Genetic Algorithm. *Journal of Engineering*, 2020(8), pp:1-13.
- [15] Razavi, S.A., Siahpolo, N. and Mahdavi Adeli, M., 2021. Applying Genetic Algorithm to estimate the behavior factor of EBF steel frames under pulse-type near-fault earthquakes, performance level approach. *AUT Journal of Civil Engineering*, (9)53, pp:19-19
- [16] Divan, M. and Madhkhan, M., 2011. Determination of Behavior Coefficient of Prefabricated Concrete Frame ith Prefabricated Shear Walls. *Procedia engineering*, 14, pp:3229-3236.
- طرح بسیار کم بوده و قابل توجه نیست.
- (۶) مقدار ضریب رفتار در قاب‌هایی که در آنها از میلگرد با تنش تسلیم ۴۰۰ مگاپاسکال استفاده شده است نسبت به قاب‌هایی که در آنها از میلگرد با تنش تسلیم ۳۴۰ مگاپاسکال استفاده شده است، کمتر است.
- (۷) تأثیر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ($\frac{L}{H}$) و تعداد طبقات قاب (S) بر روی ضریب رفتار بیشتر از پارامترهای شتاب مبنای طرح (A) و نسبت تنش تسلیم میلگرد به مقاومت فشاری بتن (F) است.

۷- منابع

- [1] Sanaee, A., Tigh. Tiznaghsh, A., 2002. *seismic evaluation (linear and nonlinear) of concrete shear walls reinforced with steel plates (composite shear walls)*. MCS thesis, Iran university of Science and Technology. "In Persian"
- [2] Papanikolaou, V.K., Elnashai, A.S. and Pareja, J.F., 2005. *Limits of Applicability of Conventional and Advance Pushover Analysis for Seismic Response Assessment*. MAE Center CD Release 05-02.
- [3] ATC., 1995: *Structural response modification factors*, ATC-19 report, Applied technology council, redwood city, California.
- [4] Louzai, A. and Abed, A., 2015. Evaluation of the seismic behavior factor of reinforced concrete frame structures based on comparative analysis between non-linear static pushover and incremental dynamic analyses. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(6), pp:1773-1793.
- [5] Asadi kiadehi M, Bengar H, hayanfar J., 2019. Investigating the behavior factor of the intermediate and special RC moment resisting frame with considering the effect of variable axial load and shear. *Modares Civil Engineering Journal*.; 19 (1), pp:15-25. "In Persian"
- [6] Hashemi, S.S., Sadeghi, K., Vaghefi, M. and Siadat, S.A., 2020. Evaluation of the response modification factor of RC structures constructed with bubble deck system. *Scientia Iranica*, 27(4), pp:1699-1713.
- [7] Mohsenian, V. and Mortezaei, A., 2018. Evaluation of seismic reliability and multilevel

- [17] Taucer, F., Spacone, E. and Filippou, F.C., 1991. *A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures* (Vol. 91). Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California.
- [18] Sheikh, S.A. and Houry, S.S., 1993. Confined concrete columns with stubs. *ACI Structural Journal*, 90, pp:414-414.
- [19] Sheikh, S.A., Shah, D.V. and Houry, S.S., 1994. Confinement of high-strength concrete columns. *ACI Structural journal*, 91, pp.100-100.
- [20] Bayrak, O. and Sheikh, S.A., 1998. Confinement reinforcement design considerations for ductile HSC columns. *Journal of Structural Engineering*, 124(9), pp:999-1010.
- [21] Tasnimi, A., Masoumi, A., 2016, *determining the behavior factor of of moment resisting RC frames*. Center of building and housing research center, Tehran. "In Persian "
- [22] Uang, C.M., 1991. Establishing R (or R w) and C d factors for building seismic provisions. *Journal of structural Engineering*, 117(1), pp:19-28.
- [23] Mitchell, M., 1998. *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.
- [24] Ferreira, C., 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems, *Complex Systems*, 13(2), pp: 87-129
- [25] Vecchio, F.J. and Emara, M.B., 1992. Shear deformations in reinforced concrete frames. *ACI Structural journal*, 89(1), pp:46-56.
- [26] ACI Committee, 2008. *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and commentary*. American Concrete Institute.

Estimating the behavior factor of regular Moment Resisting RC frames using gene expression

N. Azhdari¹, S. Sh. Hashemi^{2*} and A. Fazeli³

1. MSc. Student., Civil Engineering Department., Persian Gulf University. Bushehr, Iran

2. Assistant Professor., Civil Engineering Department., Persian Gulf University. Bushehr, Iran

3. Assistant Professor., Civil Engineering Department., Persian Gulf University. Bushehr, Iran

*Sh.hashemi@pgu.ac.ir

Abstract

Based on the seismic design, energy absorption by plastic deformation is necessary to prevent structures from collapsing during a severe earthquake. Therefore, estimating the behavior of structures to understand their response to earthquakes is particularly important. Seismic loads applied to structures are more significant than forces applied during design. This reduction in design applied loads is accomplished using a behavior factor. It is necessary to employ a behavior factor when evaluating the behavior of structures using linear analysis.

The behavior coefficient depends on ductility coefficient, structural damping coefficient, soil characteristics, earthquake characteristics, over strength coefficient, and design reliability coefficient. While in seismic code, this coefficient is entirely dependent on the type of lateral strength system used. At the same time, the behavior coefficient depends on the structural geometric properties which are investigated in this paper. Since nonlinear analysis is required to determine the effect of earthquake forces during design and nonlinear dynamic analysis is time-consuming, designers typically use nonlinear static analysis. Nonlinear static analysis is one of the nonlinear analysis methods that use the lateral load to represent the earthquake load on the structure statically and increasingly.

Estimating the behavior factor before starting the design process is a vital aid to designers. In this paper, we have examined the behavior factor of the reinforced concrete (RC) frame using gene expression programming. Gene expression programming is highly effective in this instance. Its effectiveness largely determines the success of the method. Gene expression programming is a class of genetic algorithms that utilizes a population of individuals, selects them based on their fit, and introduces genetic changes via one or more genetic operators.

Numerous inputs are required for this purpose, including the number of stories, the span length, the seismicity of the construction site, and the ratio of the compressive strength of concrete to the yield stress of longitudinal reinforcements. Afterward, 168 RC frames were designed via SAP2000 software, and the behavior factor value was obtained using nonlinear static analysis for each frame and subsequently transferred to the GeneXpro Tools software. The sixth and ninth national building regulations, Iran's seismic code, with the American Concrete Institute Code (ACI318-14), were used to analyze and design the structures examined. In the designed frames, the number of stories is 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 15, and the ratio of span length to story height is 1, 1.5, 2, and 2.5, respectively.

The design base accelerations were 0.35, 0.3, and 0.25 in this study, and the longitudinal reinforcements' yield stress was initially set to 340 MPa and then increased to 400 MPa. The obtained results demonstrate that employing the gene expression programming method makes it possible to estimate the reinforced concrete frame's behavior factor with an acceptable degree of accuracy before initiating the design process. Finally, the results show that the variations of the span length and the number of the stories significantly affect behavior factor. Furthermore, as the number of stories increases, the behavior factor decreases initially and then increases. Moreover, the impact of parameters, such as design base acceleration and yield stress of longitudinal reinforcements, is negligible in calculating the behavior coefficient.

Keywords: Reinforced concrete frame, Behavior factor, Gene expression, Nonlinear analysis, Push over analysis.