ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-کراوینکلر

ایمان حکمیان

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندس عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

ارجاع به مقاله:

ایمان حکمیان، ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-کراوینکلر، *مهندسی و مدیریت ساخت*، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۱-۶.

چکیده

هدف از انجام این پروژه، ارزیابی مقادیر پارامترهای لرزه ای پیشنهاد شده توسط آیین نامه ها برای ساختمانهای بتنی مسلح با سیستم باربر جانبی قاب خمشی متوسط بود. بدین منظور تعداد ۳ قاب بتنی ۳ و ۶ و ۹ طبقه با شکل پذیری متوسط مورد تحلیل قرار گرفت. این قاب‌ها نیز انتخاب شده‌اند که بازه‌ها از تأثیرات تأثیرگذار در پاسخ سازه‌ها از ارتفاع سازه، نسبت بار جانبی به ثقلی، پریود سازه را دربرگیرند تا نشان‌دهنده یک سیستم واقعی لرزه‌ها باشند. مدلسازی سازه‌ها توسط مفاصل پلاستیک صورت گرفت تا سازه در مودهای ارتعشی اصلی، کاهش سختی و مقاومت را تجربه کنند. برای مدلسازی غیرخطی سازه‌ها به روش مفصل پلاستیک از روابطی استفاده گردید که توسط ایبارا و کراوینکلر پیشنهاد و توسط هسلتون و دیرلین کالیبره شده بودند. سپس مدل‌ها توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفتند و از نتایج حاصل از این تحلیل برای به دست آوردن ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت، ضریب افزایش تغییرمکان، ضریب شکل‌پذیری استفاده شد.

کلمات کلیدی

پارامترهای لرزه‌ای، قاب خمشی بتنی متوسط، آنالیز استاتیکی غیر خطی

Evaluation of seismic parameters of intermediate concrete moment-resisting frames by Ibarra-Krawinkler method

Iman Hakamian

M.Sc., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

***Corresponding author's email address:**

imanhakamian@alumni.iust.ac.ir

How to cite this article:

Iman Hakamian, Evaluation of seismic parameters of intermediate concrete moment-resisting frames by Ibarra-Krawinkler method, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):1-6.

Abstract

The purpose of this project was to evaluate the values of the seismic parameters proposed by the codes for reinforced concrete buildings with a lateral bearing system of the intermediate moment-resisting frame. For this purpose, 3 concrete frames of 3, 6 and 9 floors with medium ductility were analyzed. These frames are also chosen to include the ranges of influencing factors in the response of the structures from the height of the structure, the ratio of lateral load to gravity, the period of the structure to represent a real system of earthquakes. The modeling of the structures was done by plastic joints so that the structure experiences a reduction in stiffness and resistance in the main vibration modes. For the nonlinear modeling of the structures by the plastic joint method, the relationships proposed by Ibarra and Krawinkler and calibrated by Haselton and Dearlin were used. Then, the models were evaluated by non-linear static analysis and the results of this analysis were used to obtain the behavior factor, overstrength coefficient, displacement amplification factor, ductility coefficient.

Keywords

Seismic parameters, intermediate concrete moment-resisting frame, Nonlinear static analysis

۱- مقدمه

در حال حاضر در طراحی سازه، روش خطی مبنای محاسبات قرار داده می‌شود اما از آنجا که در جریان زلزله به‌خصوص زلزله‌های شدید سازه ها وارد مرحله غیرارتجاعی می‌شوند برای بررسی رفتار واقعی سازه باید تحلیل‌های غیر خطی روی سازه اعمال شود، ولی تحلیل‌های غیرخطی دشواری و وقت‌گیر هستند.یک راه حل برای درنظرگیری رفتارغیرخطی سازه ها،استفاده از پارامترهایی است که طراح را از پیچیدگی های محاسبات غیرخطی آسوده سازند و از طرفی بتوانند رفتار غیرخطی سازه را پیش بینی کنند. این پارامترها شامل‌ضریب رفتار ، ضریب اضافه مقاومت و ضریب بزرگنمایی تغییر مکان هستند که به ما کمک می‌کنند تا عملکرد سازه را در مرحله غیرخطی بررسی کنیم [۱]. با توجه به اهمیت نیروی زلزله در طراحی سازه و ناشناخته بودن اثرات آن روی ساختمان روش‌های مختلفی برای تحلیل غیر خطی توسط آیین نامه،به‌خصوص آیین نامه فیما ارائه شده است.یکی از این روش‌ها تحلیل استاتیکی غیر خطی می باشد که به کمک آن می‌توان تقاضای لرزه‌ای یک سازه را بررسی کرد. این روش محاسن زیادی دارد که یکی از مزایای این روش مناسب بودن برای به‌دست آوردن پارامترهای لرزه‌ای است [۱].

در این پروژه تعدادی قاب خمشی بتنی متوسط طراحی شده و سپس مدل غیرخطی آنها مورد تحلیل قرارگرفته اند و با استفاده از نتایج تحلیل پوش آور به محاسبه ضریب رفتار و ضریب اضافه مقاومت و ضریب بزرگنمایی تغییرمکان پرداخته شده است. در سال‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای به منظور بررسی و توسعه روش‌های کاربردی

و درعین حال با دقت قابل قبول با استفاده از تحلیل‌های غیرخطی ساده شده، جهت تعیین مقادیر پارامترهای لرزه‌ای صورت گرفته است از طرفی با توجه به پیچیدگی‌های روش تحلیل دینامیکی غیرخطی،روش استاتیکی (پوش آور)، به عنوان یک ابزار کاربردی مناسب توسعه فراوانی در مهندسی زلزله برمبنای عملکرد پیدا کرده است. همین طور در دستورالعمل‌های ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها از قبیل ATC40،FEMA356 و در برخی از آیین نامه های طراحی ایتالیا و ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است که می تواند اطلاعات مفیدی از رفتار غیرخطی سازه، محل تشکیل مفصل‌های پلاستیک و نحوه باز توزیع نیروها ارائه نماید که با روش‌های استاتیکی خطی قابل دستیابی نیستند [۲].

با توجه به پیچیدگی و وقت گیر بودن روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی از یک طرف و مطرح شدن بحث مهندسی بر پایه عملکرد(طراحی سازه ها براساس سطوح مختلف عملکردی مورد نیاز در برابر سطوح متفاوت شدت زلزله) از سوی دیگر ، باعث شده است که در سال های اخیر تلاش هـای زیادی در خصوص ارائه روش های ساده تر و کاربردی تر جهت طراحی و ارزیابی ساختمان هـا بـر پایه جابجایی و استفاده مستقیم از تحلیل های غیرخطی جهت ارزیابی واقعی تر رفتـار سازه ها در برابر سطوح مختلف زلزله صورت گیرد. روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده به علت سرعت تحلیل و سادگی تفسیر نتایج در مقایسه با روش های تحلیل دینامیکی غیر خطـی، بـه‌طور گسترده مورد استقبال مهندسان طراح واقع شده اند [۳].

در حالت کلی در روش‌های تحلیل پوش آور سنتی مشخصات مصالح و مواد غیرالاستیک به‌طور مستقیم در مدلسازی وارد می‌شود،سپس این مدل سازه‌ای تحت اثر یک الگوی بار جانی به‌صورت افزایشی تا رسیدن به یک تغییر مکان هدف قرار داده می‌شود و مقادیر تغییر شکل های داخلی و نیروها تعیین می‌شوند. ترتیب وقوع شکستگی‌ها،مفاصل پلاستیک و خرابی اعضای سازه‌ای در طول فرایند به‌راحتی قابل نمایش می‌باشند.این فرایند تا زمانی که جابجایی از جابجایی هدف تجاوز نماید و یا اینکه سازه فرو بریزد ادامه می یابد.سعی برآن است که جابجایی هدف همان جابجایی محتمل تحت اثر زمین لرزه مورد انتظار باشد.درواقع در این روش جهت ارزیابی عملکرد سازه، طیف ظرفیت سازه با طیف تقاضای لرزه‌ای مقایسه می‌شود.

۲- مدل‌سازی

۲-۱- آنالیز استاتیکی غیرخطی

آنالیز پوش‌آور یک تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت اثر بارهای جانبی فزاینده است. هدف از تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده، برآورد رفتار مورد انتظار یک سیستم سازه‌ای به کمک تخمین مقاومت و تغییر شکل موردنیاز، به‌وسیله انجام یک تحلیل استاتیکی غیرخطی با در نظر گرفتن زلزله‌های طراحی و پس‌ازآن مقایسه مقادیر موردنیاز با ظرفیت‌های موجود در سطح رفتاری یا عملکردی موردنظر است. درواقع در این روش این فرض به کار گرفته‌شده است که حداکثر جابجایی (الاستیک به همراه غیرالاستیک) برای یک نوسانگر یک درجه آزادی می‌تواند توسط پاسخ الاستیک یک نوسانگر با پریودی بیشتر و مقدار میرایی برابر کنترل گردد. این روش با استفاده از تخمین مقدار شکل‌پذیری سیستم به تعیین پریود مؤثر سازه می‌پردازد[۱]. این برآورد بر اساس شناسایی پارامترهای مهم رفتاری شامل تغییرمکان جانبی،تغییر شکل‌های نسبی اعضاء و اتصالات و ... خواهد بود. روش‌های تحلیلی که در طراحی بر اساس عملکرد و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها مطرح می‌شوند، عمدتاً بر مبنای آنالیز استاتیکی غیرخطی می باشند. دلیل استفاده از این نوع آنالیز، سرعت بالای انجام آن، سادگی تفسیر نتایج و دقت قابل قبول آن است[۲]. این در حالی است که تحلیل‌های پیچیده به جز در موارد خیلی خاص و یا با فرض وجود مطالعات کافی برای نشان دادن رفتار صحیح سیکلی بار-تغییرشکل اعضای سازهای از نظر اقتصادی توجیه پذیر نمی‌باشد. این روش به‌صورت یک سری تحلیل گام‌به‌گام می‌باشد. در هر گام از این تحلیل، کاهش سختی اعضاء در اثر ایجاد مفاصل پلاستیک براثر بارگذاری بر تحلیل گام بعدی در نظر گرفته می‌شود. در این روش بار جانبی ناشی از زلزله با یک الگوی بار مشخص، استاتیک و به‌تدریج به‌صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییرمکان نقطه کنترل (مرکز جرم طبقه بام) تحت بار جانبی به مقدار مشخصی که تغییرمکان هدف نامیده می‌شود، برسد و یا اینکه سازه فرو بریزد.

سپس تغییر شکل‌ها و نیروهای ایجادشده در اعضاء با معیارهای پذیرش آنها در سطوح عملکردی مختلف مقایسه و سطح عملکرد سازه و اجزای سازهای تعیین می شود. درواقع تغییرمکان هدف نشان دهنده تقاضای تغییر مکانی زلزله مورد انتظار می‌باشد[۳]. یکی از مهمترین نتایج این تحلیل تعیین نمودار بار- تغییرمکان یا منحنی ظرفیت است که با مشخص کردن نیروی برش پایه و تغییرمکان جانبی بالاترین سطح سازه (بام) در هر گام و رسم این دو پارامتر در مقابل هم به دست می‌آید که به منحنی پوش‌آور معروف می‌باشد. در اغلب پژوهش‌های به انجام رسیده، به‌منظور تخمین دقت نتایج حاصل از تحلیل استاتیک غیرخطی، از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شده است. در این پژوهشها تحلیل استاتیکی غیرخطی فقط بر مبنای مود اول نوسان سازه می‌باشد . این موضوع موجب کاهش دقت نتایج به‌دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی، به‌ویژه برای سازه‌های بلند (که اثرات مودهای بالاتر حائز اهمیت است)،می‌شود[۴].

۲-۲- مدل‌سازی سازه

جهت انجام تحلیل‌های غیرخطی که روشی برای ارزیابی سازه‌ها هستند نیاز به مدلی از سازه است که بتواند پاسخ سازه را به‌درستی ارائه نماید. یکی از موارد مهم در مدلسازی ،دقیق بودن مدل برای شبیه سازی رفتار غیرخطی سازه‌هاست. این شبیه سازی باید به‌گونه‌ای باشد که بازه رفتاری سازه از سطح تغییرشکل کم تا تغییر شکل زیاد را پوششی دهد. با توجه به تحقیقات انجام شده، مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عامل در ارزیابی فروریزش سازه‌ها، مدلسازی دقیق المان‌هایی است که منطبق بر رفتار غیرخطی المان‌ها در شدت لرزه‌ای بالا می‌باشد[۵]. که در این مدلسازی المان باید مودهای اصلی

JECM
9 (2) , 2025
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

و اساسی کاهندگی را شامل شود و انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها که سازگار بر شرایط و فاصله از گسل و شرایط خاک محل و دارای شدت بالا برای قرارگرفتن سازه در شرایط واژگونی باشد.

برای ارزیابی ساختمان‌های بتن مسلح در این مطالعه، ۳مدل دوبعدی با تعداد طبقات متفاوت (۳ و ۶ و ۹ طبقه) طراحی شده است. همه این مدل‌ها براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله (استاندارد۲۸۰۰ ویرایش۴) بارگذاری شده‌اند. تمامی ضرایب مربوط به بارگذاری و تحلیل،از این استانداردها استفاده شده است. برای آنکه شرایط مربوط به زلزله در این سازه‌ها یکسان باشد، مشخصات یکسانی برای سازه‌ها درنظر گرفته شده است. به عنوان مثال خاک زیر فونداسیون برای همه سازه‌ها از نوع تیپ۲ در استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. از نظر پهنه بندی لرزه‌ای نیز شهر تهران انتخاب شده است که جزء منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد با نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل ۰/۳۵ می‌باشد.شکل پذیری این سازه‌ها در حد متوسط می‌باشد.این سازه ها در حالت سه‌بعدی هم ازنظر پلان و هم از نظر ارتفاع منظم است (که در این تحقیق یک قاب دو بعدی از آن در محاسبات وارد شده است). مطابق استاندارد۲۸۰۰ ویرایش ۴ حداکثر ارتفاع مجاز برای قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط ۳۵ متر است که در انتخاب نمونه‌ها لحاظ شده است.نوع سقف انتخاب شده برای سازه‌ها از نوع سیستم توزیع بار یکطرفه است.

۲-۳- الگوی توزیع بار

آنالیز استاتیکی غیرخطی می تواند به یکی از دو صورت کنترل نیرو و کنترل جابجایی نام گیرد که در هر یک از آن‌ها از یک الگوی توزیع نیروهای جانبی و جابجایی‌های جانبی برای اعمال به سازه استفاده می‌گردد.معمولا در آنالیز استاتیکی غیرخطی فرض بر این است که مود اصلی و غالب سازه در ارتعاش مود اول آن است. بنابراین توزیع نیروها و جابجایی‌های جانبی مشابه مود اول سازه در نظر گرفته می شود. البته برای سازه‌هایی که دارای پریود اصلی بزرگتری هستند،اثر مودهای بالاتر نیز ممکن است روی المان‌های سازه بحرانی‌تر از مود اصلی سازه باشد.به همین دلیل آنالیز پوش‌آور برای مودهای بالاتر نیز انجام می‌شود.در این حالت توزیع نیروها و جابجایی‌های جانبی روی سازه به صورتی اعمال می شود که سازه در مودهای دوم یا سوم خود تغییرشکل می‌دهد. در این موارد الگوی بارجانبی مختلفی برای استفاده در آنالیز استاتیکی غیرخطی به‌کار می‌رود که به چند مورد از آن‌ها اشاره می کنیم:

۲-۳-۱- الگوی بار یکنواخت

این الگو، توزیع بار یا جابجایی جانبی را به‌صورت یکنواخت در ارتفاع آن در نظر می‌گیرد. جرم و سختی طبقات تاثیری در این توزیع ندارند.این توزیع برای سازه‌هایی که دارای طبقه‌ی اول نرم هستند(مثل سازه‌های مجهز به جداگرهای لرزه‌ای) مناسب است.

۲-۳-۲- الگوی بار مثلثی معکوس

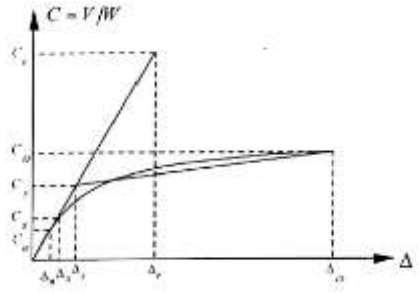
در این الگو، نیروهای جانبی متناسب با جرم‌های طبقه‌ای و شکل مود اول الاستیک سازه در ارتفاع ساختمان توزیع می‌گردد.با این فرض که شکل مود اصلی به‌صورت خطی در ارتفاع ساختمان تغییر کند،این الگو مانند توزیع نیروهای آیین‌نامه‌ای(استاندارد۲۸۰۰ ویرایش۳) بدون درنظر گرفتن نیروی شلاقی در بالای ساختمان است.

۲-۳-۴- الگوی بار سازگار با شکل مودی

در این الگو، نیروها یا جابجایی‌های اعمال شده به طبقات سازه، متناسب با جرم طبقات و اشکال مودی مدل الاستیک سازه می باشد. این الگو بارگذاری به‌عنوان یک روش اساسی برای استفاده در تحلیل استاتیکی غیرخطی پیشنهاد شده است.در این تحقیق نیز از این الگوی توزیع در آنالیز پوش‌آور استفاده شده است.

۳- نتایج

در شکل زیر منحنی پوش‌آور یک سازه نشان داه شده است. این منحنی با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی به‌دست می‌آید. در این منحنی محور افقی و عمودی به‌ترتیب بیان کننده تغییر مکان جانبی و ضریب برش پایه سازه می‌باشد (البته این منحنی به‌صورت برش پایه–جابجایی جانبی نیز ارائه می شود).



شکل ۱ یک نمونه منحنی پوش‌آور

در ادامه پارامترهای مختلف به‌طور کامل توضیح داده خواهد شد.

۳-۱- ضریب برش پایه الاستیک *Ce*

اگر درنظر داشته باشیم که سازه به‌گونه‌ای طراحی شود که بر اثر زلزله‌های بزرگ تغییر شکل‌های غیرالاستیک در آن به‌وجود نیاید و درمحدودهرفتار الاستیک باقی بماند،برش پایه الاستیک مورد نیاز Ce که بسیار بزرگ خواهد بود.

۳-۲- ضریب برش پایه طراحی در روش حالت حدی و ضرایب بار ومقاومت *Cs*

هنگامی که در طراحی از روش حالت حدی و ضرایب بار و مقومت استفاده می‌کنیم، به المان‌های سازه اجازه داده می‌شود که تا حد تنش تسلیم، نیرو تحمل کنند.پس از این مرحله با افزایش نیروهای جانبی رفتار سازه از محدوده الاستیک خارج شده و وارد مرحله پلاستیک می‌شودبنابراین در طراحی می‌توان از سطح نیروی Cs در

JECM
9 (2) , 2025
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

برآورد نیروهای جانبی حاصل از زلزله که نشان‌دهنده تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه است، استفاده کرد.

۳-۳- ضریب برش پایه طراحی در روش تنش مجاز *Cw*

اگر در طراحی از روش تنش مجاز استفاده شود المان‌های سازه تا حد تسلیم نیرو تحمل نمی‌کنند. بنابراین در طراحی از سطح نیروی Cw که نشان‌دهنده رفتار الاستیک در سازه است، استفاده می‌کنیم.

۳-۴- ضریب شکل‌پذیری μ

قابلیت سازه در تحمل تغییرشکل‌های غیرالاستیک و پلاستیکف بدون اینکه سازه دچار فروریزش شود، ضریب شکل پذیری سازه نامیده می‌شود. این ضریب به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu=\frac{\Delta_{ls}}{\Delta_y} \qquad (۱)$$

Δ_y : تغییر شکل نسبی سازه در تراز مقاومت تسلیم

Δ_{ls} : ماکزیمم تغییر شکل نسبی سازه پس از ورود به ناحیه پلاستیک

۳-۵- ضریب کاهش شکل‌پذیری R μ

این ضریب باعث کاهش نیروهای لرزه‌ای در منحنی پوش‌آور می‌شود. در واقع بر اثر شکل پذیری، ساختمان ظرفیتی برای استهلاک انرژی هیسترزیس خواهد داشت. به همین دلیل نیروی طراحی الاستیک Ce را می‌توان به تراز مقاومت تسلیم Cy کاهش داد.

$$R\,\mu=\frac{C_e}{C_y} \qquad (۲)$$

لازم به ذکر است که تراز مقاومت تسلیم به تراز ایجاد مکانیزم گسیختگی یا فروریزش سازه اطلاق می‌شود.

۳-۶- ضریب اضافه مقاومت Ω0

این ضریب باعث انتقال سطح نیروی طراحی از سطح نیرویی Cy به سطح نیرویی Cs می‌شود. در واقع مقاومت ذخیره ای که بین تراز واقعی تسلم سازه و سطح نیروی طراحی به روش حالت حدی نهایی وجود دارد برحسب ضریب اضافه مقاومت بیا می‌شود. بنابراین ضریب اضافه مقاومت به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Omega_0=\frac{C_y}{C_s}=\frac{\Delta_y}{\Delta_s} \qquad (۳)$$

۳-۷- ضریب رفتار Ru

همانطور که قبلا گفته شد ضریب رفتار سازه نیروهای ناشی از زلزله را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.بنابراین کافی است طراح برای محاسبه نیروهای طراحی سک آنالیز الاستیک انجام دهد. در شکل فوق منحنی پوش‌آور با یک منحنی دو خطی ایده‌آل که نمایانگر رفتار الاستیک- پلاستیک است،معادل شده است. این منحنی دو خطی نشان می‌دهد که ضریب رفتار سازه وابسته به **ضرایب Ω0** و Ru است. به طوریکه مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

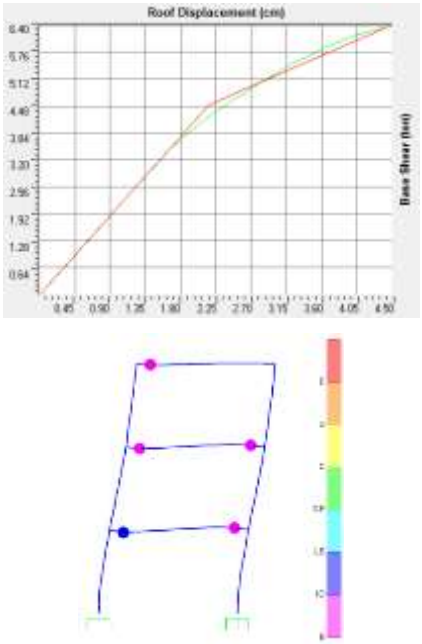
$$R_u=\frac{C_e}{C_s}=\frac{C_e}{C_y}\times\frac{C_y}{C_s}=R_\mu\,\Omega_0 \qquad (۴)$$

۳-۸- ضریب بزرگنمایی تغییر مکان Cd

از آنجایی که نیروهای طراحی سازه با توجه به پروسه طراحی براساس ضریب رفتار کاهش می‌یابد،بنابراین سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های بزرگ وارد محدوده تغییرشکل‌های پلاستیک می شوند. باتوجه به منحنی پوش‌آور تغییر مکان‌های جانبی نسبی واقعی طراحی از حاصل‌ضرب تغییر مکان جانبی نسبی به‌دست آمده از تحلیل الاستیک در ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به‌دست می‌آید.این ضریب توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_d=\frac{\Delta_{ls}}{\Delta_s}=\frac{\Delta_{ls}}{\Delta_y}\times\frac{\Delta_y}{\Delta_s}=\boldsymbol{\mu}\Omega_0 \qquad (۵)$$

همانطور که قبلا عنوان شد برای تمام سازه‌ها ابتدا تحلیل استاتیکی معادل و سپس تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام شد. برای آنالیز استاتیکی غیرخطی(پوش‌آور)، از الگوی بار جانبی به‌صورت مود اول سازه در تغییرشکل استفاده شده است. نتایج تحلیل پوش‌آور برای مدل‌های ساخته شده به ترتیب برای سازه ۳ طبقه، ۶طبقه و ۹ طبقه در زیر آمده است. با توجه به میزان دوران مفاصل پلاستیک می‌توان شکل سازه را رسم نمود و می توان نقطه ویا نقاطی از سازه که در آن‌ها خرابی به وجود آمده است یا به مرحله خاصی از سطح عملکرد رسیده‌اند مشاهده کرد.با توجه به آن که میزان دوران مفصل پلاستیک، تابع میزان جابجایی سازه است،بنابراین جهت نمایش این مفاصل،مقدار جابجایی سازه برابر حد نهایی در تحلیل پوش‌آور قرار می‌دهیم.

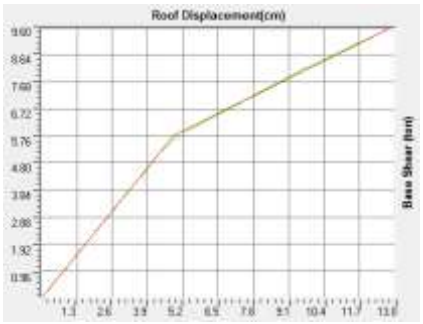


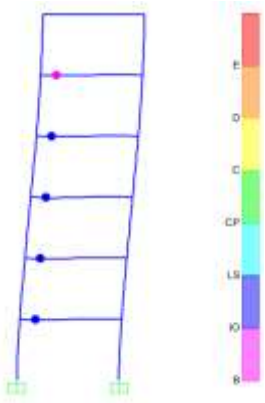
شکل ۲ منحنی پوش‌آور و تغییر شکل سازه ۳ طبقه بعداز اعمال بار جانبی

JECM
9 (2) , 2025
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

جدول ۱ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برای سازه ۳ طبقه

$C_e = 0.875$	$\Delta_{ls} = 4.43$ cm	$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{0.526}{0415} = 1.267$
$C_y = 0.526$	$\Delta_y = 2.15$ cm	$C_d = \frac{\Delta_{ls}}{\Delta_s} = \frac{4.43}{1.65} = 2.68$
$C_s = 0.415$	$\Delta_s = 1.65$ cm	$R\mu = \frac{C_e}{C_y} = \frac{0.875}{0.526} = 1.66$

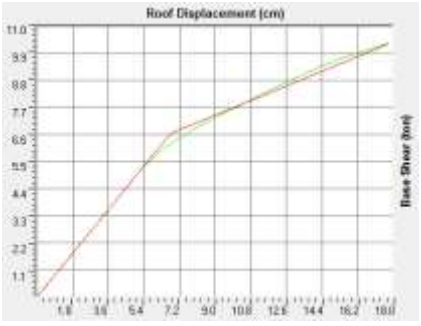


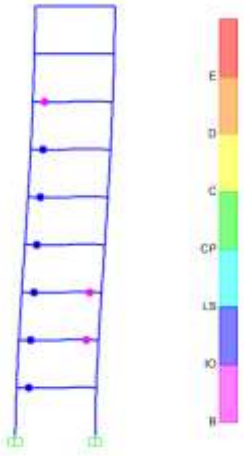


شکل ۳ منحنی پوش‌آور و تغییر شکل سازه ۶ طبقه بعداز اعمال بار جانبی

جدول ۲ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برای سازه ۶ طبقه

$C_e = 0.671$	$\Delta_{ls} = 12.75$ cm	$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{0.288}{0.18} = 1.6$
$C_y = 0.288$	$\Delta_y = 4.9$ cm	$C_d = \frac{\Delta_{ls}}{\Delta_s} = \frac{12.75}{3.9} = 3.2$
$C_s = 0.18$	$\Delta_s = 3.9$ cm	$R\mu = \frac{C_e}{C_y} = \frac{0.671}{0.288} = 2.329$





شکل ۴ منحنی پوش‌آور و تغییر شکل سازه ۹ طبقه بعداز اعمال بار جانبی

جدول ۳ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برای سازه ۹ طبقه

$C_e = 0.492$	$\Delta_{ls} = 17.8$ cm	$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{0.191}{0.109} = 1.75$
$C_y = 0.191$	$\Delta_y = 6.35$ cm	$C_d = \frac{\Delta_{ls}}{\Delta_s} = \frac{17.8}{4.5} = 3.95$
$C_s = 0.109$	$\Delta_s = 4.5$ cm	$R\mu = \frac{C_e}{C_y} = \frac{0.4929}{0.191} = 2.58$

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث مطرح شده در فصول قبل و تحلیل‌های انجام شده می توان نتایج زیر را استخراج نمود:

۱. وابستگی نتایج تحلیل پوش‌آور به الگوی توزیع بار اهمیت بسزایی دارد. به‌نحوی که با تغییر الگوی بار نتایج حاصل از تحلیل تا حد زیادی دچار تغییر می شود.

۲. در سازه‌های با ارتفاع کمتر مقادیر به دست آمده برای پرامترهای لرزه ای کمتر از مقادیر ارائه شده در استاندار ۲۸۰۰ (ویرایش۴) بود ولی با افزایش ارتفاع در مدل‌های بررسی شده مقدار عددی پارامترهای لرزه‌ای به استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش۴) نزدیک‌تر شدند.

۳. با افزایش نسبت نیروی جانبی به ثقلی، میزان نسبت حد فروریزش کاهش یافت. در واقع ایمنی سازه با افزایش جرم لرزه‌ای سازه کاهش می‌یابد.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی ندارند.

۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۷- مراجع

[1] F. FEMA, “440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, ” Fed. Emerg. Manag. Agency, Washington, DC, 2005.

[2] B. Sciences, “2003 Edition NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW

BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450)," no. Fema 450, 2006.
[3] R. K. Goel and A. K. Chopra, "Evaluation of modal and FEMA pushover analyses: SAC buildings," Earthq. Spectra, vol. 20, no. 1, pp. 225–254, 2004.
[4] a. . Mwafy and a. . Elnashai, "Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings," Eng. Struct., vol. 23, no. 5, pp. 407–424, May 2001.
[5]P. E. ENGINEERING, "Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings," no. maY, 2008.

JECM
9 (2) , 2025
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

COPYRIGHTS
©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)