

تحلیل غیر خطی - لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط بتن مسلح با توجه به تغییر در معیارهای پذیرش ستون‌ها

عباسعلی تسنیمی^{۱*}، حمیدرضا کاظمی^۲

۱- استاد گروه سازه، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زلزله، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

tasnimi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۱۱

چکیده- بر اساس گزارش‌های علمی - تحقیقاتی، به تازگی بازبینی استانداردهای مربوط به طراحی بر اساس عملکرد و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا برای تکمیل استاندارد ASCE41-06 پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش اجزای سازه‌های بتن مسلح بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی و مدل‌های تجربی بازنگری شده است. این اصلاحیه با تمرکز به مود شکست خمشی - برشی ستون‌های بتن مسلح، پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی و معیارهای پذیرش آنها را بررسی کرده است. این مقاله، تأثیر تغییرات اعمال شده را بر روی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح که بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه بتن ایران تحلیل و طراحی شده‌اند، ارزیابی کرده است. سازه‌های مورد مطالعه سه قاب خمشی متوسط و منظم سه بعدی با تعداد طبقات ۴، ۸ و ۱۲ بود که با استفاده از روش استاتیکی غیرخطی و تاریخچه زمانی تحلیل شده‌اند. تغییر مکان هدف در تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت الگوهای بارگذاری متفاوت، با روش‌های مختلف مانند روش ضرایب تغییر مکان FEMA-356، روش طیف ظرفیت ATC-40، روش خطی‌سازی معادل و روش ضرایب اصلاح شده FEMA-440 به دست آمده و با تغییر مکان ماکزیمم تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مقایسه شده است. برای سازه‌های مورد مطالعه نتایج روش‌های FEMA-440 همخوانی بیشتری با نتایج تحلیل تاریخچه زمانی دارند. سطوح عملکردی سازه‌ها در تغییر مکان هدف تحلیل استاتیکی غیرخطی و تغییر مکان ماکزیمم تحلیل تاریخچه زمانی ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های غیرخطی حاکی از آن است که اعمال تغییرات مذکور در اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 موجب تغییر چشمگیر در سطوح عملکردی سازه‌ها می‌شود.

واژگان کلیدی: تحلیل غیرخطی، طراحی بر اساس عملکرد، پارامترهای مدل‌سازی، معیارهای پذیرش، ستون‌های بتن مسلح

۱ - مقدمه

اجزای سازه‌های بتن مسلح مانند تیرها، ستون‌ها و اتصالات بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی و مدل‌های تجربی در اصلاحیه استاندارد ASCE41-06^۱ انجام شده است. این استاندارد بر روی معیارهایی که بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد سازه دارد

بر اساس گزارش‌های علمی - پژوهشی، بازبینی استانداردهای مربوط به طراحی بر اساس عملکرد و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا بازنگری پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش برای

1- American Society of Civil Engineers

گسیختگی و انتخاب هدف احتمالاتی شکست برای هر مود گسیختگی بوده است. جداول پیش‌استاندارد FEMA356، پارامترهای مدل‌سازی برای ستون‌های بتن مسلح را بر مبنای ستون‌هایی با رفتار تغییرشکل-کنترل و نیرو-کنترل (ناکافی بودن پیوستگی طول گیرایی یا وصله ستون‌ها و ستون‌های در معرض نیروهای محوری زیاد) منظور می‌دارد [۱]. از زمان توسعه FEMA356 برنامه‌های پژوهشی آزمایشگاهی قابل توجهی انجام شده و نتایج آنها نشان داده که بسیاری از ستون‌ها توانایی تحمل تغییرشکل‌های پلاستیک محدود را بر مبنای تسلیم خمشی قبل از تسلیم برشی (مود شکست خمشی-برشی) دارند، به علاوه اگر ستون‌ها در معرض بار محوری کم باشند، قبل از رسیدن به شکست برشی توانایی تحمل بار محوری را دارند [۲-۳]. ستون‌ها در اصلاحیه استاندارد بر اساس نسبت تقاضای برشی پلاستیک ستون v_p ، به مقاومت برشی اسمی v_u و جزئیات آرماتور گذاری عرضی ستون طبقه‌بندی می‌شوند. برای ستون‌ها با آرماتور عرضی دارای قلاب‌های ۱۳۵ درجه، شرایط سه‌گانه زیر ارائه شده است. (۱) مودهای گسیختگی خمشی (تسلیم خمشی بدون گسیختگی برشی) (۲) گسیختگی برشی-خمشی (گسیختگی برشی بعد از تسلیم خمشی) و (۳) گسیختگی برشی (گسیختگی برشی قبل از تسلیم خمشی) [۴].

در استاندارد ASCE41-06 چرخش پلاستیک در کاهش ۲۰ درصدی نیروی مقاوم جانبی به عنوان پارامتر مدل-سازی (a) در نظر گرفته می‌شود. همچنین چرخش پلاستیک در شکست محوری متناظر با پارامتر مدل‌سازی (b) در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱-الف پارامترهای مدل‌سازی را در منحنی نیرو-تغییرشکل نشان می‌دهد. برای به دست آوردن پارامترهای مدل با اهداف احتمالاتی تعیین شده در اصلاحیه استاندارد، از یک فرایند تکراری استفاده شده است. در ابتدا بر مبنای مدل‌های جابه‌جایی نسبی، پارامتر-

متمرکز شده و بر مبنای بررسی انجام شده در زلزله‌های شدید، شکست ستون‌ها، دلیل اصلی فروریزش ساختمان‌ها و پل‌های موجود تشخیص داده شده است. بر این مبنای پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش ستون‌های قاب بتن مسلح، در بازنگری مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف از این مقاله بررسی اثر تغییرات اعمال شده در معیارهای پذیرش ستون‌های بتن مسلح در سطوح عملکردی سازه‌های ساختمانی است. به این منظور سطوح عملکردی، سازه‌های قاب خمشی بتن مسلح با شکل‌پذیری متوسط و تعداد طبقات ۴، ۸ و ۱۲ که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه بتن ایران طراحی شده‌اند، با اعمال اصلاحات گفته شده، بررسی شده است. به این منظور ابتدا پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش منطبق با شرایط تغییرشکل-کنترل پیش‌استاندارد FEMA356^۱ به المان‌های سازه اعمال شده است و در ادامه با تغییر این پارامترها به شرایط شکست خمشی و شکست خمشی-برشی منطبق با اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 بررسی سطوح عملکردی سازه‌ها در دستور کار قرار گرفته است. برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها در شرایط مختلف از تحلیل استاتیکی غیرخطی با الگوهای مختلف بارگذاری و تحلیل تاریخچه‌زمانی استفاده شده است و سطوح عملکردی اجزای سازه‌ها از جمله تیرها و ستون‌ها در حالت‌های مختلف مدل‌سازی بررسی شده است.

۲- بررسی تغییرات پارامترهای مدل و معیارهای پذیرش در تحلیل غیر خطی ستون‌های بتن مسلح

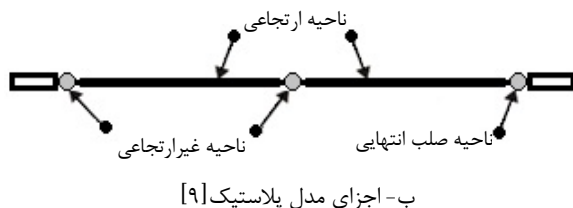
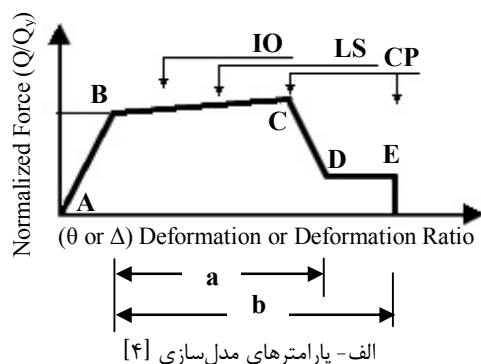
کارهای آزمایشگاهی و توسعه مدل‌های تجربی برای ارزیابی ستون‌های بتن مسلح ساختمان‌های موجود به عنوان معیاری برای بازیابی عوامل مدل‌سازی FEMA356 در نظر گرفته شده است. بازیابی ستون‌ها شامل گروه‌بندی آنها بر اساس مود

1- Federal Emergency Management Agency

های مدل انتخاب شده و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی اهداف احتمالاتی ارزیابی شده و در صورت نیاز تا رسیدن به این مقادیر، پارامترهای مدل اصلاح می‌شوند [۵].

برای ارزیابی کفایت پارامترهای مدل آزمایش‌های بسیاری انجام شده است و نتایج پارامترهای مدل بر اساس مقادیر FEMA356 و اصلاحیه ASCE41-06 با هم مقایسه شده‌اند. مطابق نتایج آزمایشگاهی مقادیر پارامترهای مدل FEMA356 نتایج محافظه‌کارانه‌تری و مقادیر پارامترهای مدل اصلاحیه نتایج مناسب‌تری را نشان می‌دهد [۶].

در شکل ۱-الف نحوه مدل‌سازی پارامترهای مدل و معیارهای پذیرش که در نرم افزار استفاده می‌شود آورده شده است. در انجام تحلیل‌های غیرخطی از مدل مفصل پلاستیک متمرکز استفاده شده است که اجزای اساسی آن در شکل ۱-ب نشان داده شده است. برای مدل‌سازی مفصل در ستون‌ها منحنی اندرکنش نیروی محوری-لنگر خمشی مطابق با شرایط ۱ و ۲ مربوط به اصلاحیه ASCE41-06 به کار برده شده است.



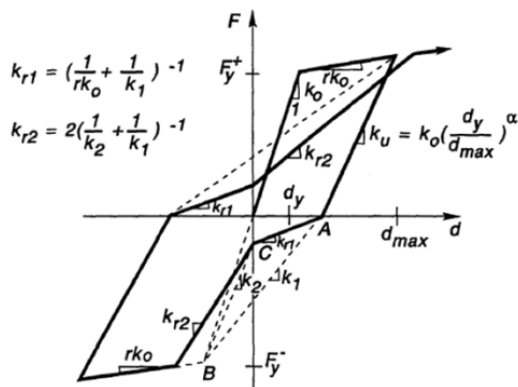
شکل (۱) پارامترها و مدل پلاستیک برای مدل‌سازی اعضای سازه‌ای

۳- معرفی سازه‌های م مطالعه شده

سازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش دارای طبقات ۴، ۸ و ۱۲ و سیستم قاب خمشی متوسط در دو جهت بوده که ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر و تعداد سه دهانه و هر دهانه به طول ۵ متر در هر جهت اختیار شده است. کلیه فرضیات طراحی، در تمامی مدل‌های سازه‌ای مشترک است که در جدول ۱ آورده شده است. مدل‌سازی سازه‌ها به صورت سه بعدی بوده که در آن‌ها کف طبقات به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است. بارگذاری ثقلی در تمامی مدل‌ها در طبقات به صورت شطرنجی و مستقیماً روی تیر اعمال می‌شود. تحلیل ساختمان‌ها در برابر زلزله بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده است [۷]. شکل ۲ پلان سازه و نمایی از سازه ۸ طبقه را نشان می‌دهد. پس از انجام تحلیل و طراحی خطی و به دست آوردن سطح مقطع و مقدار مورد نیاز آرماتورهای خمشی، سازه‌ها برای تحلیل غیرخطی مدل‌سازی شدند. رفتار غیرخطی سازه با تعریف مفاصل پلاستیک در مدل اعمال شد. مفاصل پلاستیک در تیرها از نوع خمشی و برای ستون‌ها از نوع خمشی-محوری در دو موضع ابتدا و انتها هر المان تعریف شده‌اند. سازه‌های طراحی شده بر مبنای آیین‌نامه بتن ایران (آبا) و استاندارد ۲۸۰۰ بعد از اعمال بارگذاری ثقلی با ترکیب بار

۳-۱- مدل زوال چرخه‌ای

درک صحیح رفتار سازه‌های چند طبقه تحت زلزله‌های شدید نیازمند در نظر گرفتن مدل‌های چرخه‌ای مناسبی است که بتواند به صورت منطقی رفتار غیرخطی - سیکلی اعضای سازه متحمل کاهش سختی و مقاومت می‌شوند [۱۰]. در این پژوهش از مدل مهران کشاورزبان استفاده شده است. این مدل شامل سه پارامتر افت سختی، افت مقاومت و باریک‌شدگی است. سختی باربرداری در هر سیکل مشابه رابطه تاکدا ارائه شده در شکل ۳ محاسبه می‌شود. اثر باریک‌شدگی مطابق این شکل با کاهش سختی باربرداری منظور می‌شود [۱۱].



شکل (۳) مدل مهران کشاورزبان برای منحنی چرخه‌ای [۱۱]

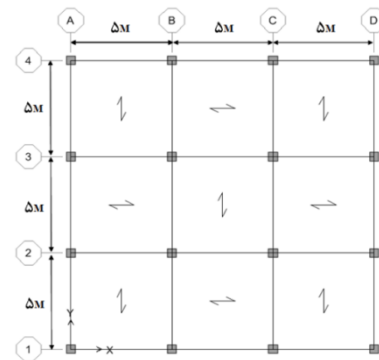
۴- نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی

منحنی ظرفیت سازه ۸ طبقه تحت الگوهای بارگذاری مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. به دلیل اینکه سازه‌های مطالعه شده متقارن است فقط نتایج مربوط به راستای x ارائه شده است. در تحلیل استاتیکی غیرخطی برای همه سازه‌ها چهار نوع الگوی بارگذاری جانبی استفاده شده که عبارتند از: الگوی بار جانبی مثلثی، توزیع متناسب با شکل مود اول ارتعاش، الگوی بارگذاری طیفی که توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی

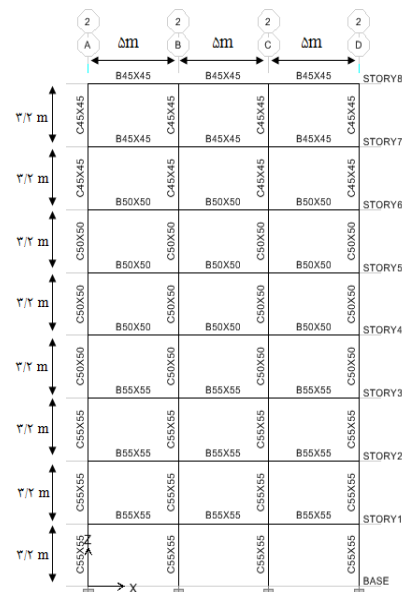
لازم به یادآوری است که مود شکست برشی که شرط سوم در اصلاحیه ASCE41-06 مندرج است در این پژوهش بررسی نشده است.

جدول (۱) شرایط و فرضیه‌های مشترک سازه‌های مطالعه شده

مقاومت فشاری بتن	۲۵ (MPa)
تنش تسلیم فولاد	۴۰۰ (MPa)
مدول ارتجاعی فولاد	۲۰۰۰۰۰ (MPa)
سیستم سازه ای	قاب خمشی متوسط
خاک منطقه	نوع دو
شکل پذیری	متوسط

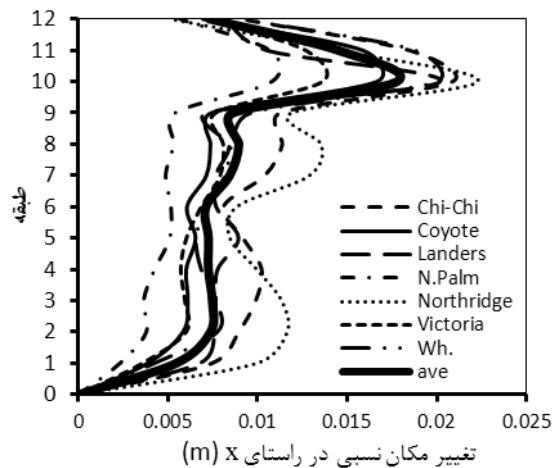


الف- پلان سازه

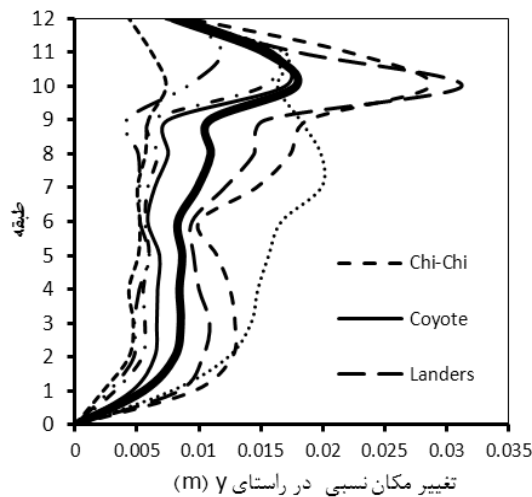


ب- نمای سازه

شکل (۲) پلان و نمایی از سازه ۸ طبقه



شکل (۵) نتایج تحلیل تاریخچه زمانی راستای x برای سازه ۱۲ طبقه

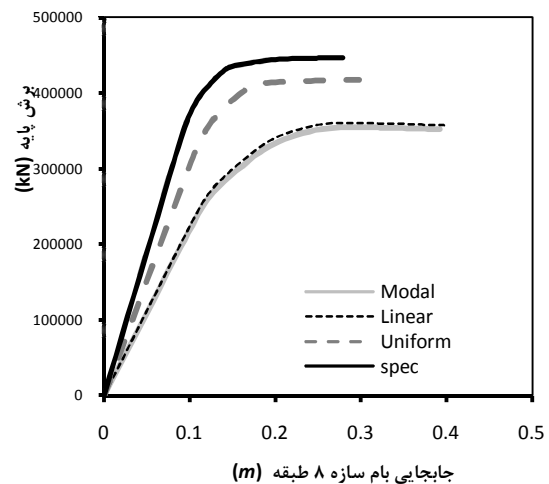


شکل (۶) نتایج تحلیل تاریخچه زمانی راستای y برای سازه ۱۲ طبقه

۶- مقایسه تغییر مکان هدف در تحلیل استاتیکی غیرخطی با تغییر مکان بیشتر تحلیل تاریخچه زمانی

تعیین تغییر مکان هدف در کنار تعیین الگوهای بارگذاری دو مرحله‌ای اصلی در تحلیل استاتیکی غیرخطی است. روش ضرایب تغییر مکان^۱ در FEMA356، روش طیف ظرفیت^۲ در ATC40، روش خطی سازی معادل^۳ و روش

طیفی است و در نهایت توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود. در این منحنی‌ها تأثیر الگوهای مختلف بارگذاری نشان می‌دهد که منحنی ظرفیت به دست آمده از تحلیل تحت الگوی بارگذاری طیفی نسبت به سایر الگوهای بارگذاری برش پایه بیشتری را به دست می‌دهد.



شکل (۷) نمودار ظرفیت سازه ۸ طبقه تحت الگوهای بار مختلف

۵- نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی

بیشتر تغییر مکان به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی نشان دهنده بیشتر تغییر مکان سازه است. در این تحلیل شتابنگاشت‌های سازه بر اساس طیف طراحی مقیاس شده‌اند و طیف طراحی نیز وابسته به سطح عملکرد سازه است. شکل‌های ۵ و ۶ تغییر مکان‌های نسبی سازه ۱۲ طبقه تحت تحلیل تاریخچه زمانی در راستاهای x و y برای هفت شتابنگاشت است. مطابق استاندارد ۲۸۰۰، در صورت در نظر گرفتن هفت زوج شتابنگاشت و اعمال آنها در دو جهت عمود برهم در امتدادهای اصلی سازه، می‌توان میانگین پاسخ‌ها را به عنوان پاسخ نهایی تحت تحلیل تاریخچه زمانی تلقی کرد.

1- Displacement Coefficient Method.

2- Capacity Spectrum Method.

3- Equivalent Linearization Method.

حاصل از آنها به به تحلیل‌های دینامیکی نزدیکتر است. نتایج حاصل از "روش طیف ظرفیت" به دقت روش‌های ارائه شده در FEMA440 نیست و در بیشتر موارد برای سازه‌ها با سختی کمتر تخمین‌های دست بالا و بیشتر از مقدار واقعی ارائه می‌دهند.

جدول (۲) تغییر مکان بام سازه‌ها در تحلیل تاریخچه زمانی (متر)

نام زلزله	۱۲ طبقه	۸ طبقه	۴ طبقه
Chi-Chi	۰/۲۷۴	۰/۱۴۵	۰/۱۳۳
Coyote Lake	۰/۱۸۷	۰/۱۴۳	۰/۱۳۷
Landers	۰/۲۴۶	۰/۲۰۱	۰/۱۴۰
N. Palm Springs	۰/۱۰۳	۰/۱۲۵	۰/۰۹۱
Northridge	۰/۳۴۲	۰/۱۸۱	۰/۰۶۲
Whittier Narrows	۰/۱۹۳	۰/۲۱۹	۰/۱۴۶
Victoria	۰/۲۸۰	۰/۱۷۴	۰/۱۴۵
میانگین	۰/۲۳۲	۰/۱۷۰	۰/۱۲۲

جدول (۳) تغییر مکان هدف به روش‌های مختلف و میانگین تغییر

مکان بام سازه‌ها در تحلیل تاریخچه زمانی (اعداد بر حسب m)

تعداد طبقه	تحلیل استاتیکی غیر خطی			
	۱- تحلیل تاریخچه زمانی	۲- طیف ظرفیت	۳- روش ضرایب	۴- خطی - ۵- ضرایب اصلاح شده
۱۲	۰/۲۳۲	۰/۲۶۵	۰/۲۴۵	۰/۲۲۵
۸	۰/۱۷۰	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۶۳
۴	۰/۱۲۲	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۱۵

جدول (۴) درصد اختلاف نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی به روش-

های مختلف با نتایج تحلیل تاریخچه زمانی (%).

تعداد طبقه	طیف ظرفیت	روش ضرایب	خطی سازی معادل	ضرایب اصلاح شده
۱۲	+۱۴/۲	+۵/۶	-۵/۲	-۳
۸	+۱۱/۷	-۵/۸	-۳/۵	-۴/۱
۴	+۱۴/۷	+۶/۵	-۵/۷	-۵/۷

"روش ضرایب تغییر مکان" که در FEMA356 ارائه شده از یک سری ضرایب از پیش تعیین شده استفاده می‌کند. با توجه به این که هرکدام از این ضرایب محدوده وسیعی از

ضرایب اصلاح شده^۱ در FEMA440 از جمله روش‌های معتبر تعیین تغییر مکان هدف هستند. روش‌های مختلف تعیین تغییر مکان هدف به منحنی ظرفیت با الگوی بارگذاری جانبی طیفی اعمال خواهد شد. تغییر مکان هدف بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی بیشینه تغییر مکان ممکن برای گره کنترل در سطح عملکرد مورد انتظار است. از طرفی بیشتر تغییر مکان به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (NTHA)^۲ نیز نشان دهنده بیشینه تغییر مکان سازه است. نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی که از روش‌های مختلف به دست آمده است با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی قابل مقایسه است و می‌توان نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را به عنوان معیار مقایسه قرار داد. در جدول ۲ مقدار تغییر مکان بام در زلزله‌های مختلف برای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه گزارش شده است. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ میانگین نتایج این زلزله‌ها به عنوان پاسخ سازه تلقی خواهد شد. برای تحلیل استاتیکی غیرخطی گره کنترل، جابه‌جایی بام فرض شده است. جدول ۳ مقادیر تغییر مکان‌های هدف را به روش‌های مختلف در گره کنترل که بر روی منحنی ظرفیت با الگوی بارگذاری جانبی طیفی رسم شده است، بیان می‌نماید. درصد اختلاف نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی به روش‌های مختلف با نتایج تحلیل تاریخچه زمانی در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که "روش خطی سازی معادل" و "روش ضرایب اصلاح شده" که در FEMA440 ارائه شده است به نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی نزدیکتر است و همچنین درصد اختلاف آنها با نتایج این روش از یک روند منطقی برخوردار است. فرمولاسیون روشهای FEMA440 در برابر تعداد زیادی از نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی کالیبره شده‌اند پس نتایج

1- Modifies Coefficient Method.
2- Non-linear Time History Analysis

سازه‌های مشابه را در برمی‌گیرد و از جزئیات سازه‌ای آنها صرف‌نظر می‌کند، این روش نمی‌تواند دقت کافی داشته باشد.

۷- تاثیر تغییرات معیارهای پذیرش ستون‌های بتن مسلح در سطح عملکردی در تحلیل استاتیکی غیر خطی

در تحلیل استاتیکی غیرخطی سطح عملکرد سازه در تغییر مکان هدف بررسی می‌شود. مطابق بخش قبل، روش ضرایب اصلاح شده و خطی سازی معادل در تعیین تغییر مکان هدف به نتایج تاریخچه زمانی نزدیکتر بوده و با دقت بالایی تغییر مکان هدف سازه را تقریب می‌زنند. براین اساس، میانگین تغییر مکان هدف حاصل از این دو روش به عنوان تغییر مکان هدف تلقی شده است و سطوح عملکردی المان‌های سازه در این تغییر مکان بررسی خواهد شد. در جدول ۵ مقادیر نسبت عملکرد به سطوح عملکردی مختلف برای اعضا سازه ۸ طبقه تحت الگوهای مختلف بارگذاری در تغییر مکان هدف با در نظر گرفتن پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش متناظر با حالت تغییر شکل- کنترل FEMA356 و شرایط (۱) و (۲) از اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 ارائه شده است. از آنجا که این تغییرات فقط برای ستون‌ها اعمال شده، نتایج سطوح عملکردی مختلف ستون‌ها از جمله قابلیت بهره‌برداری^۱(IO)، ایمنی جانی^۲(LS) و آستانه فروریزش^۳(CP) گزارش شده و با توجه به یکسان بودن مقادیر پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش برای تیرها، تنها نتایج مربوط به سطح عملکردی LS گزارش شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود برای شرایط مختلف مدل‌سازی، سطوح عملکردی یکسانی برای

تیرها به دست آمده است. در این جداول حدود عملکردی برای الگوهای بارگذاری مختلف مقادیر متفاوتی را گزارش می‌کند. هر اندازه الگوی بارگذاری برش پایه بیشتری را ارائه کند، حدود عملکردی سازه بیشتر متمایل به سمت CP می‌شود. برای مقایسه تأثیر تغییرات ایجاد شده در شرایط مدل‌سازی، شکل ۷ مقادیر حدود عملکردی سازه ۸ طبقه را برای تحلیل استاتیکی غیر خطی تحت الگوی بار طیفی در تغییر مکان هدف ارائه می‌کند. در این شکل سطوح عملکردی IO و LS برای ستون‌ها و LS برای تیرها در شرایط مدل‌سازی گوناگون با هم مقایسه شده است. با توجه به این شکل بر اساس شرایط مدل‌سازی مطابق FEMA356 حدود عملکردی بیشتری مشاهده شده و با اعمال تغییرات مورد نظر اصلاحیه، ستون‌های سازه در سطح عملکردی پایین‌تری قرار می‌گیرند. بدلیل اینکه مطابق جداول اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 بین شرایط (۱) و (۲) تغییرات زیاد نمی‌باشد، سطوح عملکردی ستون‌ها نیز تغییر چشمگیری نداشته است.

جدول (۵) نسبت سطح عملکرد سازه به هر یک از سطوح عملکردی

در تحلیل استاتیکی غیرخطی متناسب با تغییر مکان هدف

الگوهای بار گذاری			سطوح عملکردی		شرایط مدل سازی
پیکنواخت	مودال	خطی	عملکردی	تیر	
۲/۴۴	۱/۹۹	۰/۵۷	۰/۷۵	IO	تغییر شکل-کنترل FEMA 356
۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۱۹	۰/۲۵	LS	
۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۱۹	CP	
۰/۶	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۶۲	LS	تیر
۲/۱۸	۱/۷۶	۰/۵۷	۰/۷۶	IO	شرایط ۱ اصلاحیه ASCE41
۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۱۵	LS	
۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۱۱	CP	
۰/۶	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۶۲	LS	تیر
۲/۱۸	۱/۷۸	۰/۵۷	۰/۷۶	IO	شرایط ۲ اصلاحیه ASCE41
۰/۵	۰/۴۱	۰/۱۲	۰/۱۶	LS	
۰/۳۹	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۱۲	CP	
۰/۶	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۶۲	LS	تیر

1 Immediate Occupancy

2 Life safety

3 Collapse prevention

بودن مقادیر اصلاحیه، لزوم بررسی طراحی مناسب سازه‌ها برای رسیدن به سطح عملکردی LS مطابق با هدف استاندارد ۲۸۰۰ ضروری به نظر می‌رسد.

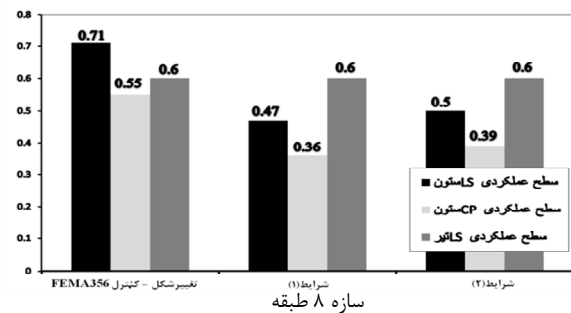
جدول (۶) درصد کاهش سطح عملکردی LS ستون‌ها در شرایط مدل-سازي منطبق بر اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 نسبت به FEMA356 در تحلیل استاتیکی غیرخطی

تعداد طبقه	شرایط (۱)	شرایط (۲)
۱۲	۱۵	۱۰
۸	۳۴	۲۹
۴	۳۹	۳۲

۸- تأثیر تغییرات معیارهای پذیرش ستون-های بتن مسلح در سطح عملکردی در تحلیل تاریخیچه زمانی

در تحلیل تاریخیچه زمانی سطوح عملکردی المان‌ها در طول مدت زلزله بررسی خواهد شد. شتابنگاشت‌های نرمال شده مربوط به جهت x و y هر زلزله در دو جهت عمود بر هم به سازه اعمال شده است. برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی ستون‌ها یک‌بار از شرایط تغییرشکل-کنترل FEMA356 و بار دیگر حالت‌های شکست خمشی و شکست خمشی-برشی مطابق اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 استفاده شده است. برای مقایسه تأثیر تغییرات ایجاد شده در شرایط مدل‌سازی، شکل ۸ میانگین مقادیر حدود عملکردی سازه ۸ طبقه را برای تحلیل تاریخیچه زمانی تحت زوج شتابنگاشت‌های اعمالی ارائه می‌کند. در این شکل سطوح عملکردی IO و LS برای ستون‌ها و LS برای تیرها در شرایط مدل‌سازی گوناگون با هم مقایسه شده است. با توجه به این شکل بر اساس شرایط مدل-سازي مطابق FEMA356 حدود عملکردی بیشتری مشاهده شده و با اعمال تغییرات مورد نظر اصلاحیه، ستون‌های سازه در سطح عملکردی پایین‌تری قرار می‌گیرند.

نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیر خطی نشان می‌دهد که در تمام سازه‌های مطالعه شده سطح عملکردی ایمنی جانی با میزان خسارت کمتری از آنچه در سطح ایمنی جانی وجود می‌آید پیش‌بینی می‌شود. این نتیجه با هدف پیش‌بینی شده در استاندارد ۲۸۰۰ به گونه محافظه کارانه مطابقت دارد. همچنین دیده می‌شود که در سازه ۴، ۸، ۱۲ مدل‌سازی شده منطبق بر شرایط تغییرشکل-کنترل FEMA356 به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۷۱ و ۰/۸۱ سطح عملکردی LS استنتاج می‌شود که بیانگر این است که با افزایش طبقات در سازه‌ها عملکرد به سطح LS نزدیک‌تر می‌شود.



شکل (۷) سطوح عملکردی سازه ۸ طبقه در تغییر مکان هدف

جدول ۶ به بررسی اختلاف سطح عملکردی LS ستون‌های سازه در شرایط (۱) و (۲) اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 با شرایط منطبق بر شرایط تغییرشکل-کنترل FEMA356 برای تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌پردازد. با توجه به جدول ۶ هر اندازه ارتفاع سازه بیشتر می‌شود درصد اختلاف کمتر شده و برای این است است که با افزایش ارتفاع سازه‌ها، نیروی محوری وارد بر ستون بحرانی سازه افزایش می‌یابد و مقادیر اصلاحیه در نیروهای محوری بالا، تغییرات کمتری نسبت به مقادیر FEMA356 دارند. شایان ذکر است که با استفاده از مقادیر اصلاحیه برای شرایط (۱) و (۲) این اعداد محافظه کارانه‌تر شده و با توجه به ارایه نتایج آزمایشگاهی به وسیله‌ی اصلاحیه مبنی بر دقیق‌تر

مطالعه جمع‌بندی شده است. شایان ذکر است که برای تعمیم نتایج برای سایر سازه‌ها، باید بررسی‌های بیشتری در مورد آنها انجام پذیرد.

جدول (۷) درصد کاهش سطح عملکرد LS ستون‌ها در شرایط مدل-سازی منطبق بر اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 نسبت به FEMA356 در تحلیل تاریخچه زمانی (%)

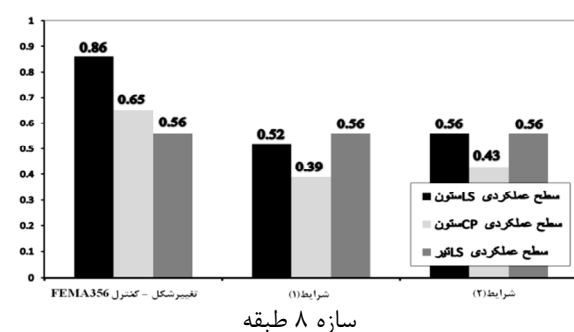
تعداد طبقه	شرایط (۱)	شرایط (۲)
۱۲	۳۸	۳۳
۸	۳۹	۳۴
۴	۳۹	۳۶

۱. نتایج حاصل از روش طیف ظرفیت به علت فرضیه‌ها این روش در بیشتر موارد برای سازه‌ها با سختی کمتر دست بالا است. روش ضرائب تغییر مکان که در FEMA356 ارائه شده از یک سری ضرائب از پیش تعیین شده برای تخمین بیشینه تغییر مکان سازه استفاده می‌کند. با توجه به این که از جزئیات سازه‌ای می‌کند، این روش برای سازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش نمی‌تواند دقت کافی داشته باشد.

۲. نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی برای سازه‌های فوق نشان می‌دهد که روش‌های ارائه شده در FEMA440 (روش‌های خطی سازی معادل و ضرائب اصلاح شده) برای تعیین تغییر مکان هدف دقیق‌تر از سایر روش‌های موجود هستند و نتایج آنها با یکدیگر اختلاف چندانی ندارد و تغییر مکان‌های به دست آمده در مرکز جرم بام حاصل از این روش‌ها به نتایج تحلیل‌های دینامیکی در همان نقطه نزدیک است.

۳. مطابق منحنی‌های ظرفیت برای سازه‌های ۴، ۸، ۱۲ طبقه، منحنی‌های ظرفیت به دست آمده از تحلیل تحت الگوی بارگذاری طیفی، برش پایه بیشتری را بدست می‌دهد. هر اندازه الگوی بارگذاری برش پایه بیشتری را ارائه کند، حدود عملکردی سازه بیشتر متمایل به سمت CP می‌شود.

بر اساس نتایج تحلیل تاریخچه زمانی در سازه ۴، ۸، ۱۲ طبقه مدل‌سازی شده منطبق بر شرایط تغییر شکل-کنترل FEMA356 به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۸۶، ۰/۹۵ درصد سطح عملکردی LS استنتاج می‌شود که بیانگر این است که با افزایش طبقات در سازه‌ها عملکرد به سطح LS نزدیک می‌شود. این نتیجه با هدف پیش‌بینی شده در استاندارد ۲۸۰۰ برای تامین سطح عملکرد LS بطور محافظه‌کارانه مطابقت دارد. نتایج سطوح عملکردی در تحلیل تاریخچه زمانی با نتایج سطوح عملکردی در تحلیل استاتیکی غیر خطی هم‌خوانی مناسبی دارد. جدول ۷ به بررسی اختلاف سطح عملکرد LS ستون‌های سازه در شرایط (۱) و (۲) اصلاحیه استاندارد با شرایط تغییر شکل-کنترل FEMA356 می‌پردازد. در صورت استفاده از مقادیر اصلاحیه برای شرایط (۱) و (۲) سطح عملکرد سازه محافظه کارانه‌تر شده و موجب کاهش چشم‌گیر در سطوح عملکردی سازه‌ها خواهد شد. با توجه به ارائه نتایج آزمایشگاهی به وسیله اصلاحیه استاندارد مبنی بر دقیق‌تر بودن مقادیر اصلاحیه، لزوم بررسی طراحی مناسب سازه‌ها برای رسیدن به سطح عملکردی LS مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ضروری به نظر می‌رسد.



شکل (۸) میانگین سطوح عملکردی در تحلیل تاریخچه زمانی

۹- نتیجه‌گیری

در این قسمت نتایج پژوهش مربوط به سازه‌های مورد

- [4] ASCE/SEI 41-06, Standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Prepared by the American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., (2007).
- [5] Zhu L. "Probabilistic Drift Capacity Models for Reinforced Concrete Columns", MASc Thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, (2005).
- [6] Update to ASCE/SEI 41 Concrete Provisions. By an ad hoc Committee Established by Chris Poland, Chair of ASCE-SEI Seismic Rehabilitation Standards Committee, (2007).
- [7] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله: استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم"، تیر ۱۳۸۴.
- [۸] سایت اینترنتی: <http://peer.berkeley.edu>
- [9] Computers and Structure Inc. (CSI), Perform-3D Components And Elements. (CSI). (2006).
- [10] Tanmoy Chowdhury. "Hysteretic Modeling of Shear-Critical Reinforced Concrete Columns", MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Graduate School of The Ohio State University, (2007).
- [11] Mehran Keshvarzian, W. Schnobrich, "Computed nonlinear seismic response of RC wall-frame structures", a report on a research project sponsored by national Science foundation, University of Illinois at Urbana-Champaign Research Grant CEE 83-12041, (1984).

۴. از آنجا که پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش تیرها ثابت باقی مانده است، سطوح عملکردی برای تمام تیرها در تمام سازه ها بر طبق FEMA356 و شرایط (۱) و (۲) اصلاحیه استاندارد برای تحلیل های استاتیکی غیر خطی و تحلیل تاریخچه زمانی ثابت باقی مانده است.

۵. نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی و تحلیل استاتیکی غیرخطی نشان می دهد که در کلیه سازه های مورد مطالعه سطح عملکردی ایمنی جانی با میزان خسارت کمتری از آنچه در سطح ایمنی جانی وجود می آید پیش بینی می شود. این نتیجه با هدف پیش بینی شده در استاندارد ۲۸۰۰ بطور محافظه کارانه مطابقت دارد. همچنین مشاهده می شود که با افزایش طبقات در سازه ها، عملکرد به سطح LS نزدیک ترمی شود.

۶. در صورت استفاده از مقادیر اصلاحیه برای شرایط (۱) و (۲) سطح عملکرد سازه محافظه کارانه تر شده و موجب کاهش در سطوح عملکردی سازه ها خواهد شد. با توجه به رایج نتایج آزمایشگاهی به وسیله اصلاحیه استاندارد ASCE41-06 مبنی بر دقیق تر بودن مقادیر اصلاحیه، لزوم بررسی طراحی مناسب سازه ها برای رسیدن به سطح عملکردی LS مطابق با هدف استاندارد ۲۸۰۰ ضروری است.

۱۰- مراجع

- [1] American Society of Civil Engineers, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., (2000).
- [2] Sezen H. and Moehle J.P. "Seismic Tests of Concrete Columns with Lights Transverse Reinforcement" ACI Structural Journal, American Concrete Institute, V.103, No.6, pp.842-849, (2006).
- [3] Yoshimura M., Takaine Y., and Nakamura T. "Axial Collapse of Reinforced Concrete Columns" Proceedings of 13 th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.1699.(2004).

«Research Note»

Nonlinear Seismic Analyses of Median Ductile RCMRF Structures Based on Variation of Columns Acceptance Criteria

H.R.Kazemi¹, A.A. Tasnimi^{2*}

1- M.Sc. student, faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares Uni., Tehran, Iran

2- Prof. in Structural Eng. Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares Uni., Tehran, Iran

tasnimi@modares.ac.ir

Abstract:

Based on experimental evidence and empirical models the proposed supplement to ASCE 41-06 is developed for the purpose of updating provisions related to existing reinforced concrete structural buildings. Several experimental research programs have demonstrated that many older-type columns are capable of sustaining limited plastic deformation due to flexural yielding prior to shear failure. This proposed supplement concentrates on this failure mode and includes the categorization of columns based on failure mode, the selection of target probabilities of failure for each failure mode and revisions to modeling parameters and acceptance criteria for reinforced concrete columns. In this research, the effect of new provisions on seismic evaluation of reinforced concrete moment resisting frame is investigated. In this regard three medium ductile MRCRF structures with 4, 8 and 12 stories and two direction median moment resisting frame systems are considered. These structures initially have been analyzed and designed according to 'Iranian Standard 2800, for seismic design of buildings' and 'Iranian concrete code of practice'. Then nonlinear static analysis and nonlinear time history analysis methods have been utilized to evaluate the seismic performance of these structures. In nonlinear static analysis there are several methods for determining target displacement among them some reliable methods are displacement coefficient method (FEMA-356), Capacity spectrum method (ATC-40), and equivalent linearization method and modifies coefficient method (FEMA-440). The target displacements with these methods are compared with maximum displacement in nonlinear time history analysis. It is observed that capacity spectrum method given by ATC-40 reports target displacement values higher than time history analysis. Furthermore, results obtained from the equivalent method and the modified coefficient methods suggested by FEMA-440 are closer to time history analysis values. The performance levels of these structures have been evaluated based upon target displacement of nonlinear static analysis that obtained from FEMA-440 methods and maximum displacement in nonlinear time history analysis. The effect of the variation of reinforced concrete columns modeling parameters and acceptance criteria on performance levels of reinforced concrete structure is investigated. For this purpose in nonlinear seismic design, the modeling parameters and acceptance criteria have been

considered with those from FEMA-356 for columns “controlled by flexure” and then with those from proposed supplement to ASCE 41-06 for flexure failure (flexural yielding without shear failure) and flexure-shear failure (shear failure following flexural yielding). The obtained results indicate that these structures are to some extent conservative in their seismic performance due to the modifications of ASCE41-06.

Keywords: Performance base design, Nonlinear analysis, Modeling parameters, Acceptance criteria, Reinforced concrete columns