الزامات بلند مرتبه سازی و میان مرتبه‌سازی از منظر مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای

محبوبه پیری‌زاده
دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Pirizadeh@modares.ac.ir

حمزه شکیب
عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Shakib@modares.ac.ir

کلید واژه‌ها: *مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، بلندمرتبه‌سازی و میان‌مرتبه‌سازی، ساختمانهای عقب‌رفته، عملکرد لرزه‌ای احتمالاتی، تحلیل قابلیت اعتماد لرزه‌ای*

چکیده

امروزه با توسعه شهرها، ساختمانهای بلندمرتبه و میان‌مرتبه به عنوان یکی از اجزای تاثیرگذار بر محیط شهری موردتوجه سیاست‌گذاران مدیریت شهری قراردارد. برای این منظور، اعمال ضوابط کنترلی برای تامین الزامات شهرسازی و معماری مانند میزان بارگذاری و تراکم، هماهنگی با بافت و منظر شهری، تامین نور و میدان دید در محیط پیرامونی این ساختمانها مدنظر برنامه‌ریزان شهری قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، یکی از الزامات توسعه شهری پایدار در شهرهای لرزه‌خیز، عملیاتی نمودن برنامه‌های مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در سیاست‌گذاری‌های شهری برای کاهش مخاطرات و کاهش هزینه‌های مدیریت بحران سوانح طبیعی می‌باشد. به همین لحاظ اطمینان از تامین هدف عملکردی پیش‌بینی شده برای ساختمانهای بلندمرتبه و میان‌مرتبه به خصوص در زمان وقوع سوانح طبیعی مانند زلزله و طوفان، از جمله ضروریات شهرهای لرزه‌خیز کشور می‌باشد. در مقاله حاضر، ارتباط بین ضوابط معماری و شهرسازی میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی بر شکل‌گیری سازه‌های دارای نامنظمی در ارتفاع به خصوص نامنظمی‌های هندسی در ارتفاع موردبررسی قرار گرفته و از دیدگاه مهندسی زلزله عملکردی احتمالاتی، تاثیر وجود این نوع از نامنظمی‌ها بر رفتار لرزه‌ای ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه ارزیابی شده است. بررسی تاثیر قوانین شهرسازی و معماری بر عملکرد لرزه‌ای یک نمونه موردی ساختمان ده طبقه حاکی از این بوده است که اعمال این ضوابط بدون درنظرگرفتن ضوابط ویژه برای کنترل عملکرد لرزه‌ای، منجر به کاهش ۲۵ درصدی میزان درصد اطمینان از تامین هدف عملکردی ایمنی جانی در ساختمان موردنظر شده است. برمبنای نتایج بررسی، الزامات لازم در تدوین سیاست‌گذاری‌های بلندمرتبه سازی ومیان‌مرتبه‌سازی از منظر مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای ارائه شده است.

مقدمه

یکی از ملزومات توسعه پایدار در حوزه شهری، توجه به موضوع مدیریت کاهش خطرپذیری در برابر مخاطرات در کنار ارتقاء سطح آمادگی و مدیریت بحران حین و بعد از وقوع سوانح می‌باشد. با توجه به اینکه زلزله یکی از مخاطرات مهم در شهرهای با لرزه‌خیزی بالا می‌باشد که تجربه وقوع آن حتی در شهرهای با تراکم جمعیتی کم کشور مانند بم، منجیل و رودبار، حاکی از صدمات جانی و خسارات فراوان به زیرساختها و عناصر شهری بوده است لذا این امر به عنوان یکی از مهمترین چالشهای پیش‌رو برای توسعه پایدار شهرهایی مانند شهر تهران ارزیابی می‌گردد. بر همین اساس اعمال برنامه‌های کاهش خطرپذیری لرزه‌ای و الزام به رعایت این ضوابط در برنامه‌ریزی‌های شهری از جمله ضروریات فعلی برای کلان‌شهرهای لرزه‌خیز کشور می‌باشد که به کاهش آسیب‌پذیری شهر و کاهش صدمات انسانی، خسارات مالی و عوارض اجتماعی حاصل از وقوع زلزله‌های محتمل کمک می‌نماید (Shakib et al., 2011).

در ارزیابی میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهری، دو عامل سطح خطر لرزه‌ای و میزان آسیب‌پذیری المانها و زیرساخت‌های شهری تاثیرگذار می‌باشد. ساختمانهای بلندمرتبه و میان‌مرتبه از جمله‌ی المانهای شهری محسوب می‌شوند که نقش مهمی در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای کلان

شهرها ایفا می‌نمایند و هرگونه آسیب به این المانها، اعم از ناپایداری، فروریزش و یا حتی خارج شدن از سرویس‌دهی می‌تواند نیاز به مدیریت بحران و خدمت‌رسانی فوق‌العاده را به شهر تحمیل نماید. به همین لحاظ معمولاً انتظار بر این است که به ازای یک سطح خطر لرزه‌ای مشخص، این ساختمانها برای سطح عملکرد مطلوب‌تری نسبت به سایر ساختمانها طراحی گردند و میزان اطمینان از تامین هدف عملکردی پیش‌بینی شده برای این ساختمانها در زمان وقوع سوانح طبیعی مانند زلزله در حد قابل‌قبولی برآورده گردد. در این مقاله تاثیر ضوابط معماری و شهرسازی میان مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی بر میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهر موردبررسی قرار گرفته و اثرات اعمال این ضوابط بر طراحی ساختمانهای دارای نامنظمی در ارتفاع به خصوص نامنظمی‌های هندسی در ارتفاع بیان شده است سپس رفتار لرزه‌ای ساختمانهای دارای نامنظمی در ارتفاع از دیدگاه مهندسی زلزله عملکردی احتمالاتی ارائه شده است. در ادامه عملکرد لرزه‌ای یک نمونه موردی ساختمان ده طبقه در حالت رعایت الزامات و ضوابط معماری و شهرسازی بلندمرتبه‌سازی و ایجاد نامنظمی در ارتفاع در سازه با حالت منظم در ارتفاع بر اساس روش قابلیت اعتماد لرزه‌ای مقایسه شده است. در پایان نیز الزامات موردنیاز برای میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی از منظر مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

بررسی ضوابط معماری و شهرسازی بلندمرتبه سازی و میان‌مرتبه‌سازی از منظر خطرپذیری لرزه‌ای

به طورکلی از دیدگاه ضوابط شهرسازی و معماری، مکان‌یابی و طراحی معماری ساختمان‌های میان‌مرتبه و بلندمرتبه با توجه به عواملی مانند ویژگیهای کالبدی فضای شهر، دید و منظر در بافت شهری و در داخل بنا، پرهیز از انسداد مناظر طبیعی شهر، تناسب با برنامه‌ریزی‌های توسعه شهری، الزامات زیبایی شناسی شهری و هماهنگی بین احجام بنا و نماهای شهری، مسائل اقلیم منطقه، میدان دید ساختمان‌های اطراف و عدم اشراف،... صورت می‌گیرد. ضمن اینکه تاثیرات ثانویه احداث ساختمان بلند بر منطقه موردنظر از لحاظ مسائل ترافیکی، امنیت، فضاهای خدماتی، ... سنجیده می‌شود. حال این ضوابط از دو منظر می‌توانند با میزان خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان بلند و به تبع آن میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهر در ارتباط باشند. جنبه اول، ارتباط بین ضوابط شهرسازی و مکان‌یابی بلندمرتبه‌سازی با سطح خطر لرزه‌ای شهر می‌باشد. از این منظر یکی از اولویت‌های اصلی در مکانیابی و تعیین کاربری ساختمان‌های بلند، توجه به نقشه ریزپهنه‌بندی خطر لرزه‌ای شهر و همچنین نقشه گسل‌های شهری، نقشه پهنه‌بندی خطرات زمین لغزش ، رانش و روانگرایی می‌باشد. جنبه دوم، توجه به تاثیر ضوابط معماری کنترل‌کننده فرم حجمی ساختمان بلند بر میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان می‌باشد. در ضوابط معماری ساختمانهای بلند، معمولاً از گسترش افقی ساختمانها در ارتفاع جلوگیری می‌گردد. علت این موضوع مسائلی مانند تامین نور، روشنایی و جریان هوای ساختمانها و خیابانهای اطراف، جلوگیری از سایه‌اندازی، امکان استفاده از انرژی خورشید و عدم خدشه به دید بصری، سیمای شهری و حفظ خط آسمان می‌باشد که برای تامین این موارد، در بسیاری از شهرهای جهان(مانند سانفرانسیسکو) پیش‌روی ساختمانها در ارتفاع با تعریف خط شیبدار از محور خیابان مطابق شکل ۱ محدود گردیده است.

شکل ۱: جلوگیری از پیش‌روی افقی ساختمان در ارتفاع با استفاده از خط شیبدار

امروزه به دلیل وجود این ضوابط و نیز سایر مقاصد معماری، ساختمانهای بلند به فرم‌های هرمی شکل و عقب‌رفته (Setback) در سیمای شهری اکثر شهرهای بزرگ از جمله تهران مشاهده می‌گردد که این موضوع می‌تواند به لحاظ سازه‌ای منجر به ایجاد نامنظمی در ارتفاع سازه‌ها (به‌خصوص نامنظمی هندسی) و نامنظمی در پلان از نوع پیچشی گردد (Shakib et al., 2010). نمونه این ضوابط، ضوابط احداث ساختمانهای شش طبقه و بالاتر شهر تهران مصوب شورایعالی شهرسازی و معماری (۱۳۷۷) می‌باشد که رعایت این ضوابط با توجه به عواملی مانند تراکم و تامین فضای باز منجر به شکل‌گیری یک لفاف فضایی هرمی شکل برای محدوده هر قطعه زمین می‌گردد که ساختمان نمی‌تواند از این لفاف به بیرون تجاوز نماید. رعایت این ضوابط در دو دهه گذشته طراحان را به صورت غیرمستقیم به سمت طراحی ساختمانهای دارای عقب‌رفتگی در ارتفاع و همچنین ساختمانهای هرمی شکل بلندمرتبه و میان‌مرتبه سوق داده است که البته مسائل خاصی مانند وجود ستونهای مورب، خروج ستونها از امتداد قائم و یا تغییر صفحه اجزای باربر جانبی در طبقات به دلیل عدم توجه لازم به الزامات طرح لرزه‌ای و سازه‌ای در این ساختمانها قابل مشاهده است (خفاف، ۱۳۸۷). با ابلاغ طرح جامع شهر تهران (شورایعالی شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۸۶)، احداث ساختمانهای بلندمرتبه (بیش از ۱۲ طبقه) محدود به عرصه‌های مجاز یا ویژه برای بلندمرتبه‌سازی و مشروط به مجاز بودن از نظر مطالعات پهنه‌بندی زلزله و ضوابط زیست محیطی و همچنین منوط به رعایت ضوابط ساخت و ساز ساختمان‌های بلندمرتبه مصوب شورایعالی شهرسازی و معماری شده است که ضوابط

پیشنهادی برای این منظور در حال طی مراحل تصویب مربوطه می‌باشد. در ضوابط پیشنهادی ساخت و ساز ساختمان‌های بلندمرتبه (شهرداری تهران، ۱۳۹۲) سعی شده است از تحمیل فرم خاص به طراح اجتناب شود اما محدودیت‌های ارتفاع و رعایت الزامات سایه‌اندازی منظور شده در این ضوابط می‌تواند منجر به شکل‌گیری ساختمانهای عقب‌رفته در ارتفاع گردد. لازم به ذکر است که ضوابط ارائه شده در طرح جامع (شورایعالی شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۸۶) و طرح تفصیلی شهر تهران (شهرداری تهران، ۱۳۹۱) در پهنه‌های فعالیت (S) و مختلط (M) برای ساختمان-های میان‌مرتبه (بین شش تا ۱۲ طبقه) نیز امکان طراحی ساختمانهای عقب‌رفته در ارتفاع را تقویت می‌نماید زیرا عمدتاً میزان حداکثر سطح اشغال در یک تا سه طبقه پایینی سازه، تفاوت ۳۰ تا ۴۰ درصدی با حداکثر سطح اشغال طبقات بالایی ساختمان دارد.

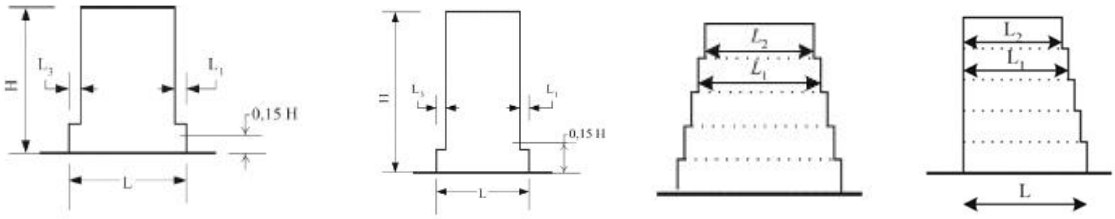
ارزیابی اثرات نامنظمی در ارتفاع بر رفتار لرزه‌ای ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه

با توجه به ارتباط ضوابط معماری و شهرسازی میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی بر شکل‌گیری سازه‌های دارای نامنظمی در ارتفاع، توجه به این موضوع و بررسی رفتار عملکردی این سازه‌ها حائز اهمیت می‌باشد. در سازه‌های دارای نامنظمی در ارتفاع، تغییرات ناگهانی در سیتم باربر جانبی سازه در طول ارتفاع رخ داده و و ویژگیهای دینامیکی سازه مانند جرم لرزه‌ای، سختی جانبی و مقاومت جانبی به صورت غیریکنواخت در ارتفاع توزیع می‌گردد. بررسی عملکرد ساختمانهای نامنظم در ارتفاع در زلزله‌های گذشته، حاکی از امکان تمرکز آسیب در قسمتهایی از سازه مثل طبقات نرم، ضعیف و یا در تراز عقب‌رفتگی‌ها می‌باشد. به همین جهت به منظور تامین رفتار لرزه‌ای مناسب برای این سازه‌ها، در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مختلف ضوابط محدود کننده‌ای در تحلیل و طراحی آنها در نظر گرفته شده است. با این وجود، بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه و مجموع تجربیات زلزله‌های گذشته حاکی از این است که در تدوین ضوابط مربوط به اثرات نامنظمی در ارتفاع لازم است توجه به هدف لرزه‌ای موردانتظار از سازه، شدت خطر لرزه‌ای، محل وقوع نامنظمی در ارتفاع، تعداد طبقات نامنظم و هندسه نامنظمی صورت پذیرد (پیری زاده، ۱۳۹۲).

یکی از انواع نامنظمی در ارتفاع، نامنظمی هندسی می‌باشد که در آن، هندسه و ابعاد پلان سازه در ارتفاع دچار تغییرات قابل توجهی می‌گردد. ساختمانهای دارای عقب رفتگی در ارتفاع از انواع نامنظمی هندسی در ارتفاع می‌باشد که در این ساختمانها ابعاد پلان سازه در تراز حداقل یکی از طبقات سازه به طور قابل توجهی تغییر می‌یابد. در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴)، تعریفی برای نامنظمی هندسی در ارتفاع ارائه نشده است اما براساس آیین‌نامه‌هایی مانند UBC97 (1997) و ASCE7-05 (2006)، در صورتی که ابعاد افقی سیستم باربر جانبی سازه در یک طبقه بیشتر از ۱۳۰ درصد طبقه مجاور باشد، نامنظمی هندسی در ارتفاع رخ می‌دهد که در تفسیر این آیین‌نامه‌ها، عمده‌ترین برداشت صورت گرفته از این تعریف، سازه‌های دارای ابعاد عقب رفتگی بیش از ۲۵ درصد در طبقات برج نسبت به طبقات پایه به خصوص در سیستم‌های باربر جانبی قاب خمشی می‌باشد. درآیین‌نامه اروپا EC8 (2003) برای تعریف نامنظمی هندسی در ارتفاع به صورت کاملاً مستقیم به تعریف محدودیتهایی برای سازه‌های Setback با انواع مختلف عقب رفتگی در ارتفاع پرداخته شده است. براساس این آیین نامه، برای سازه‌های با عقب‌رفتگی یکطرفه درصورتی که مطابق شکل ۲، مجموع عقب‌نشینی کل طبقات سازه بیشتر از ۳۰ درصد ابعاد پلان طبقه اول (در جهت موازی عقب‌نشینی) باشد و یا عقب‌نشینی هریک از طبقات از ۱۰ درصد ابعاد پلان طبقه قبلی (در جهت موازی عقب‌نشینی) بیشتر باشد، سازه نامنظم در ارتفاع خواهد بود. برای سازه‌های با عقب‌رفتگی دوطرفه نیز با شرط حفظ تقارن مرکزی، در صورتی که مقطع سازه به صورت تدریجی در ارتفاع کاهش یابد (سازه پله‌ای)؛ اگر میزان عقب‌نشینی هر طبقه بیشتر از ۲۰ درصد ابعاد پلان طبقه قبلی (در جهت موازی با عقب‌نشینی) باشد، سازه نامنظم در ارتفاع خواهد بود و در صورتی که سازه دارای یک عقب‌نشینی در ارتفاع باشد(سازه یک‌پله‌ای)؛ اگر تراز وقوع عقب‌نشینی در ناحیه ۱۵درصد پایینی ارتفاع سازه رخ دهد، میزان عقب‌نشینی بیش از ۵۰ درصد ابعاد پلان طبقه پایینی (در جهت موازی با عقب‌نشینی) به عنوان نامنظمی هندسی در ارتفاع شناخته شده است و اگر تراز وقوع عقب‌نشینی خارج از ناحیه ۱۵ درصد پایینی ارتفاع سازه رخ دهد، میزان عقب‌نشینی بیش از ۲۰ درصد ابعاد پلان طبقه پایینی (در جهت موازی با عقب‌نشینی) منجر به نامنظمی هندسی در ارتفاع خواهد شد. به این ترتیب ضوابط نامنظمی هندسی به خصوص برای ساختمانهای دارای عقب‌نشینی (Setback) در آیین‌نامه اروپا EC8 (2003) پررنگ‌تر و واضح‌تر نسبت به سایر آیین‌نامه‌ها بوده اما در مقابل ضوابط نامنظمی غیرهندسی شامل نامنظمی جرم، سختی، مقاومت و انقطاع داخل صفحه، در سایر آیین‌نامه‌های ذکر شده نسبت به آیین‌نامه اروپا با جزئیات بیشتری ارائه شده است.

در اکثر آیین نامه‌های لرزه‌ای محدودیتهایی برای طراحی سازه‌های دارای نامنظمی در ارتفاع در نظر گرفته شده است. در آیین‌نامه‌هایی مانند ASCE7-05 (2006)، ضوابط محدود کننده برای سازه‌های نامنظم در ارتفاع متناسب با میزان لرزه‌خیزی محل سازه وضع شده است. براساس این آیین نامه‌ها، طراحی سازه‌های با نامنظمی‌های شدید سختی و مقاومت در مناطق با لرزه‌خیزی بالا ممنوع شده است. علاوه براین اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای تحت شرایطی مانند کوتاه مرتبه بودن سازه و درجه لرزه‌خیزی پایین منطقه، استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل را برای سازه نامنظم در ارتفاع مجاز شمرده‌اند لکن در میان آیین نامه‌های موردبررسی در این مطالعه، آیین‌نامه اروپا EC8 (2003) استفاده از این روش تحلیل را برای کلیه سازه‌های نامنظم در ارتفاع ممنوع دانسته است؛ ضمن اینکه براساس این آیین نامه برای انجام تحلیل دینامیکی خطی ساختمانهای نامنظم در ارتفاع، ضریب رفتار این سازه‌ها با ضریب ۰/۸ کاهش داده می‌شود.

عقب رفتگی یکطرفه عقب رفتگی دوطرفه پله‌ای عقب رفتگی دوطرفه یک پله‌ای



$\frac{L_1 - L_2}{L_1} > 0.2$ $\frac{L_1 + L_3}{L} > 0.5$ $\frac{L_1 + L_3}{L} > 0.2$

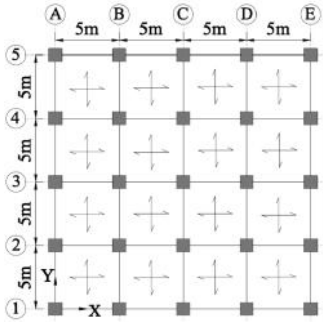
شکل ۲ : تعریف نامنظمی هندسی در ارتفاع مطابق آیین نامه اروپا(2003) EC8

موضوع ساختمانهای نامنظم در ارتفاع، از دهه ۱۹۷۰ میلادی مورد توجه محققان قرار گرفته است. تحقیقات صورت گرفته بر روی سازه‌های نامنظم در ارتفاع در مقایسه با تحقیقات سازه‌های نامنظم در پلان از نظر تعداد کمتر می‌باشد اما در سالهای اخیر تحقیقات در این حوزه رشد چشمگیری داشته است. بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه سازه‌های نامنظم در ارتفاع حاکی از این است که هنوز اتفاق نظر کاملی در زمینه رفتار لرزه‌ای و محدودیتهای آیین‌نامه‌ای برای این نوع از سازه‌ها وجود ندارد اما در اکثر تحقیقات، عملکرد لرزه‌ای این سازه‌ها نسبت به سازه منظم ضعیف‌تر ارزیابی شده و انجام روشهای تحلیل دقیق‌تر جهت لحاظ نمودن رفتار غیرالاستیک آنها لازم دانسته شده است (Shahrooz and Moehle, 1990; Shakib and Pirizadeh, 2014). در تحقیقات سالهای اخیر، اثرات نامنظمی در ارتفاع بر روی عملکرد سازه، وابسته به نوع نامنظمی، محل وقوع نامنظمی و میزان شدت زلزله دانسته شده است (Fragiadakis et al., 2006 and Le-Trung et al., 2010). نتایج تحقیقات بر اساس دیدگاه مهندسی زلزله عملکردی حاکی از کاهش ظرفیت شکل‌پذیری سازه، افزایش احتمال عبور از سطوح عملکرد سازه و کاهش درصد اطمینان از تامین هدف عملکردی فرض شده در سازه دراثر وقوع حالات مختلف نامنظمی در ارتفاع بوده است ضمن اینکه برخی از انواع نامنظمی در ارتفاع منجر به این شده است که سازه نتواند از ظرفیت شکل‌پذیری ذخیره خود به خصوص در سطوح عملکرد آستانه فروریزش تا ناپایداری دینامیکی استفاده کند و لذا ممنوعیت طراحی سازه‌های دارای نامنظمی شدید موردنظر به ویژه در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بالا ضروری دانسته شده است (پیری زاده، ۱۳۹۲).

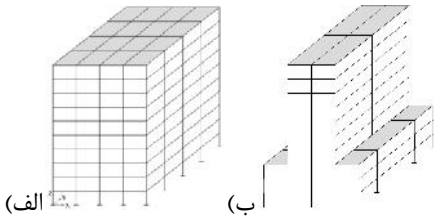
بررسی یک نمونه موردی

برای بررسی اثرات غیرمستقیم رعایت ضوابط معماری و شهرسازی میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی بر میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهر، عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان ۱۰طبقه بعنوان نمونه موردی بااستفاده از روش تحلیل دینامیکی فزاینده، IDA (Vamvatsikos and Cornell, 2002) و بر مبنای رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای (Jalayer and Cornell, 2003) مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور در قطعه زمینی به مساحت ۷۰۰ مترمربع واقع در پهنه S122 شهر تهران، فرم یک ساختمان ده طبقه برای دو حالت مختلف طراحی شده است. در حالت اول، ساختمان موردنظر با رعایت ضوابط معماری ساختمانهای میان‌مرتبه مطابق مراجع شورایعالی شهرسازی و معماری (۱۳۷۷ و ۱۳۸۶) به صورت یک ساختمان دارای عقب‌رفتگی در ارتفاع طراحی شده است لکن در حالت دوم، این ساختمان بدون اعمال ضوابط محدودکننده در ارتفاع به صورت یک سازه منظم طراحی شده است. پلان سازه‌ای کلیه طبقات سازه منظم در ارتفاع مطابق شکل ۳ می‌باشد و پلان سه طبقه پایینی سازه عقب‌رفته در ارتفاع نیز مطابق این شکل در نظر گرفته شده اما در طبقات بالایی، یک دهانه از از قاب های جهت X سازه به صورت متقارن در دو طرف پلان حذف شده است لذا میزان مساحت عقب‌رفتگی در پلان طبقات بالاتر از تراز طبقه سوم، به میزان ۵۰٪ مساحت پلان طبقات پایینی می‌باشد. نمای سه بعدی از سازه موردنظر در هر دو حالت شامل سازه منظم در ارتفاع و سازه دارای عقب‌رفتگی دوطرفه متقارن در ارتفاع در شکل ۴ نمایش داده است. طراحی سازه‌ای و لرزه‌ای این سازه، در هر دو حالت طراحی معماری موردنظر مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴) و فصل دهم مقررات ملی (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۸۷) برای منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار بالا و سایت با خاک نوع II انجام شده است. سیستم باربر جانبی در هر دو جهت سازه‌ای، سیستم قاب خمشی فولادی ویژه در نظر گرفته شده است. سیستم سقف از نوع دال بتنی دوطرفه بوده و از نوع دیافراگم صلب می‌باشد. زمان تناوب مد اول سازه منظم و سازه setback به ترتیب برابر با ۲/۷ و ۲/۲ ثانیه می‌باشد. برای طراحی سازه از روش تحلیل دینامیکی خطی استفاده شده است که مقاطع مورد استفاده برای تیرها و ستونهای طبقات سازه در مرجع پیری‌زاده (۱۳۹۲) ارائه شده است. سازه در هر دو حالت به نحوی طراحی شده است که ماکزیمم نسبت تغییرمکان نسبی جانبی واقعی برابر با بیشترین مقدار مجاز ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴) یعنی برابر ۰/۰۲ باشد. شایان ذکر است که سازه

Setback موردنظر به لحاظ ضوابط ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۷) صرفاً دارای نامنظمی جرم در ارتفاع می‌باشد لکن براساس آیین‌نامه‌های اروپا (2003) EC8، (1997) UBC97 و (2006) ASCE7-05، نامنظمی هندسی در ارتفاع نیز در این سازه رخ داده است. لازم به ذکر است که به لحاظ تعریف آیین‌نامه‌ای، نامنظمی سختی و مقاومت در ارتفاع در سازه عقب‌رفته رخ نداده است هرچند که تغییرات شدید کاهش سختی و مقاومت در بالا و پایین تراز طبقه سوم سازه رخ داده است.



شکل۳: پلان طبقات ساختمان موردنظردرحالت منظم و پلان سه طبقه پایینی در حالت عقب رفته در ارتفاع

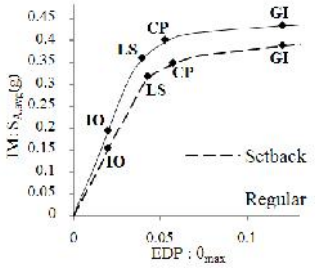


شکل۴: نمای سه بعدی ساختمان موردنظر الف) حالت منظم در ارتفاع ب) حالت سازه عقب رفته در ارتفاع

سازه موردنظر در هردو حالت منظم و عقب‌رفته در ارتفاع در نرم افزار PERFORM3D (2006) مدلسازی شده است. برای این منظور رفتار غیرالاستیک اعضای سازه‌ای با مدلسازی رفتار غیرخطی خمش اتصال گیردار تیر به ستون با ورق بالا و پایین، مدلسازی رفتار غیرالاستیک خمش ستون (با در نظر گرفتن اثر اندرکنش نیروی محوری P-M-M) و مدلسازی چشمه اتصال با المان غیرخطی Panel Zone لحاظ شده است و سپس بر روی سازه، تحلیل دینامیکی فزاینده تحت بیست شتابنگاشت ارائه شده در مرجع پیری زاده (۱۳۹۲) انجام شده است. برای رسم منحنی IDA از معیار شدت لرزه‌ای شتاب طیفی میانگین($S_{A,avg}$) و همچنین معیار پاسخ لرزه‌ای، ماکزیمم نسبت تغییرمکان نسبی طبقات (θ_{max}) استفاده شده است. منحنی $IDA^{50\%}$ خلاصه‌سازی شده برای این سازه در دو حالت سازه منظم و سازه عقب‌رفته در ارتفاع در شکل ۵ مقایسه شده است. مطابق این شکل در تمام سطوح پاسخ لرزه‌ای سازه موردبررسی، کاهش ظرفیت شدت لرزه‌ای قابل اعمال به سازه در حالت سازه عقب‌رفته در ارتفاع نسبت به سازه منظم مشاهده می‌شود و لذا جهت تامین کلیه سطوح عملکرد لرزه‌ای در سازه منظم شامل قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO)، ایمنی جانی (LS)، آستانه فروریزش (CP) و ناپایداری دینامیکی (GI)، ناگزیر به اعمال زلزله‌هایی با سطوح شدت لرزه‌ای پایین‌تر به سازه نسبت به حالت سازه منظم خواهیم بود. به بیان دیگر به ازای یک ظرفیت شدت لرزه‌ای معین، احتمال عبور از سطوح عملکرد IO تا GI در سازه نامنظم نسبت به سازه منظم افزایش بین ۴۰ تا ۵۰ درصدی داشته است (پیری‌زاده، ۱۳۹۲). حال با توجه به اینکه هم سازه منظم و هم سازه Setback برای تامین سطح عملکرد ایمنی جانی در برابر خطر لرزه‌ای با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) مطابق با روشهای نیرویی استاندارد ۲۸۰۰ (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۷) طراحی شده‌اند؛ لذا در مرحله بعد به بررسی این مسئله پرداخته شده است که بر اساس مبانی مهندسی زلزله عملکردی، درصد اطمینان از برآورده شدن هدف عملکردی ایمنی جانی برای سازه‌های موردنظر چه میزان است و آیا سازه دارای عقب رفتگی در ارتفاع که مطابق آیین نامه طراحی شده است، توانسته در ارزیابی عملکردی نیز به درصد اطمینانی برابر با سازه منظم دست یابد یا خیر. برای این منظور درصد اطمینان از برآورده شدن سطح عملکرد ایمنی جانی برای خطر زلزله با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال برای سازه منظم و سازه دارای عقب رفتگی دو طرفه بر اساس روش قابلیت اعتماد لرزه‌ای با رویکرد احتمالاتی برآورد شده است. نتایج حاصله از این تحلیل حاکی از این است که درصد اطمینان از تامین هدف عملکردی ایمنی جانی از میزان ۸۲٪ در سازه منظم به میزان ۵۷٪ در سازه نامنظم کاهش یافته است. درواقع کاهش سختی قابل توجه در طبقات واقع در بالای تراز عقب رفتگی نسبت به طبقات پایین این تراز، منجر به جذب قابل توجه

تغییرشکل سازه در طبقات قسمت برج سازه به خصوص در سطوح پاسخ غیرالاستیک می‌گردد که با توجه به کاهش قابل توجه مقاومت در این طبقات، امکان ایجاد ضعف در عملکرد سازه به خصوص در سطوح عملکرد غیرالاستیک افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج بررسی موردی ارائه شده و با توجه به نتایج ارائه شده در مراجعی مانند Shakib and Pirizadeh (2014) و پیری‌زاده (۱۳۹۲)، به نظر می‌رسد محدودیت‌های فعلی آیین‌نامه‌ای برای طراحی این نوع از سازه‌ها نیاز به بازنگری دارد و برای این منظور اعمال ضوابط ویژه‌ای برای کنترل عملکرد لرزه‌ای این نوع از سازه‌ها ضروری است که نمونه این ضوابط محدودکننده در مرجع پیری‌زاده (۱۳۹۲) و Pirizadeh and Shakib (2015) پیشنهاد شده است.



شکل۵ : منحنی $IDA^{50\%}$ سازه در حالت منظم در ارتفاع و حالت دارای عقب‌رفتگی در ارتفاع

الزامات کاهش خطرپذیری لرزه ای در ضوابط بلندمرتبه‌سازی و میان مرتبه سازی

در بخش قبل نمونه‌ای از نتایج عدم توجه به الزامات طرح لرزه‌ای ویژه در تدوین ضوابط طرح‌های میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی و اثرات آن در افزایش خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان و به تبع آن، افزایش خطرپذیری لرزه‌ای شهر ارائه گردید. در همین راستا از دیدگاه مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در شهرهای لرزه‌خیز، الزامات لازم در تدوین ضوابط میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی به صورت خلاصه به شرح ذیل ارائه می‌گردد که توجه برنامه‌ریزان مدیریت شهری به این الزامات می‌تواند به افزایش ایمنی و کاهش خسارات ناشی از سوانح طبیعی کمک نماید:

الف) الزامات مکان‌یابی و تعیین کاربری:

الف-۱) تطابق مکان‌یابی و کاربری احداث ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه با نقشه‌های ریز پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای در محدوده شهری و نقشه پهنه گسل‌های اصلی و فرعی (مانند نمونه اضافه شدن لایه نقشه پهنه‌های گسلی به لایه‌های طرح تفصیلی مناطق تهران و اعمال ضوابط پیشنهادی ساخت ساختمان در پهنه‌های گسلی شهر تهران (سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۹))

الف-۲) تطابق مکان‌یابی و کاربری احداث ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه با نقشه‌های پهنه بندی مناطق مستعد فرونشست، روانگرایی، زمین لغزش

الف-۳) تطابق مکان‌یابی و کاربری احداث ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه با نقشه حریم بزرگراه‌ها، پل‌ها، مسیل‌ها، شبکه راه‌های اضطراری زمان بحران، حریم کریدور پرواز هلیکوپترهای امدادی در پایگاه‌های پشتیبانی ویژه مدیریت بحران و سایر سازمان‌های امدادرسان

الف-۴) تطابق مکان‌یابی و کاربری احداث ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه با نقشه حریم تاسیسات و شریان‌های حیاتی شهر به خصوص شبکه پیش‌بینی‌شده برای زمان بحران (مانند مخازن اضطراری آب و سوخت، ...)

الف-۵) اعمال سیاست‌های تغییر کاربری ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه موجود آسیب‌پذیر در پهنه‌های خطرپذیر از کاربری‌های با اهمیت زیاد در زمان بحران به کاربری‌های کم اهمیت

ب) الزامات طراحی سازه‌ای و لرزه‌ای:

ب-۱) تعیین الزام به تامین هدف عملکرد لرزه‌ای با سطح مطلوب‌تر برای ساختمانهای بلندمرتبه نسبت به ساختمانهای کوتاه مرتبه در ضوابط لازم الاجرا

ب-۲) رعایت ضوابط و مقررات ویژه به خصوص برای ساختمانهای بلندمرتبه جهت اطمینان از تامین هدف عملکردی موردانتظار از این سازه‌ها در برابر عوامل طبیعی مانند بار باد و زلزله

ب-۳) الزام به انجام مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای سایت و الزام به رعایت محدودیت طبقات احداث ساختمان در پهنه‌های گسلی شهر (ضوابط پیشنهادی ساخت ساختمان در پهنه‌های گسلی شهر تهران (سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۹))

ب-۴) ایجاد انطباق و هماهنگی میان ضوابط معماری و شهرسازی ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه با الزامات سازه‌ای و لرزه‌ای موردانتظار از طریق بروزرسانی آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های سازه‌ای و لرزه‌ای و یا تدوین آیین‌نامه‌های ویژه همزمان با ابلاغ ضوابط معماری و شهرسازی مربوطه

ب-۵) پیش‌بینی سازوکارها و ساختارهای لازم برای نظام کنترل ساخت و ساز ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه جهت ارتقا کیفیت و کاهش خطرپذیری در برابر سوانح

ج) الزامات تامین ایمنی:

ج-۱) تامین فضای باز نامسدود پیرامونی جهت قابلیت تخلیه اضطراری و اسکان اضطراری به خصوص در مجموعه چندبلوک بلندمرتبه

ج-۲) پیش‌بینی نقشه تخلیه اضطراری و اجرای آن در طرح پلان معماری سازه

ج-۲) الزامات تامین ایمنی برای ساختمانها و عابرین مجاور ساختمان‌های میان مرتبه و بلندمرتبه مانند رعایت الزامات استفاده از مصالح غیرقابل ریزش و اشتعال در نمای ساختمان

ج-۳) پیش‌بینی سازوکارها و ساختارهای لازم برای نظام بازرسی ایمنی و آتش نشانی ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه به منظور تامین و رعایت ضوابط و مقررات ایمنی در برابر آتش سوزی و حوادث

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر الزامات میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی از دیدگاه مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در شهرهای لرزه‌خیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی حاکی از این است که ابلاغ ضوابط معماری و شهرسازی ویژه ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه بدون توجه و هماهنگی با ضوابط و مقررات لازم‌الاجرا در حوزه کنترل عملکرد سازه‌ای و لرزه‌ای ویژه ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه می‌تواند باعث افزایش خطرپذیری لرزه‌ای این ساختمانها و به تبع آن افزایش خطرپذیری لرزه‌ای شهر شود. در نمونه موردی موردبررسی، رعایت ضوابط شهرسازی و معماری مربوطه به صورت غیرمستقیم در ایجاد نامنظمی هندسی در ارتفاع در سازه نقش داشته که این موضوع باعث افزایش ۴۰ تا ۵۰ درصدی احتمال عبور از سطوح عملکرد IO تا GI در سازه موردنظر و همچنین کاهش درصد اطمینان هدف لرزه‌ای ایمنی جانی به میزان ۲۵ درصد شده است. به همین لحاظ ضرورت بازنگری در محدودیت‌های فعلی آیین‌نامه‌ای و همچنین ضرورت اعمال ضوابط ویژه لازم الاجرا برای کنترل عملکرد لرزه‌ای این نوع از سازه‌ها همزمان با ابلاغ ضوابط شهرسازی و معماری به عنوان یکی از الزامات کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در شهرهای لرزه‌خیز پیشنهاد شده است. در پایان نیز الزامات لازم در تدوین ضوابط میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی اعم از مکان‌یابی، تعیین یا تغییر کاربری، محدودیت طبقات و همچنین ضرورت‌های تامین اهداف عملکرد لرزه‌ای و تامین ایمنی ساختمانهای میان‌مرتبه و بلندمرتبه از منظر مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای ارائه گردید.

مراجع

پیری زاده م (۱۳۹۲) ارزیابی لرزه‌ای ساختمانهای قاب خمشی فولادی دارای نامنظمی در ارتفاع بر اساس روش عملکردی احتمالاتی، رساله دوره دکتری، به راهنمایی دکتر حمزه شکیب و مشاوره دکتر محسن تهرانی زاده، دانشگاه تربیت مدرس

خفاف ب (۱۳۸۷) ارزیابی سازه‌ای و تعیین رفتار لرزه‌ای ساختمانهای بلندمرتبه هرمی مطابق با ضوابط شهرداری تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی سید رسول میرقادری، دانشگاه تهران

سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران (۱۳۸۹) ضوابط پیشنهادی ساخت ساختمان در پهنه‌های گسلی شهر تهران، (در حال طی مراحل تصویب شورایعالی شهرسازی و معماری ایران)

شورایعالی شهرسازی و معماری ایران (۱۳۷۷) ضوابط ضوابط احداث ساختمان های شش طبقه و بیشتر، انتشارات پردازش و برنامه‌ریزی شهری

شورایعالی شهرسازی و معماری ایران (۱۳۸۶) سند اصلی طرح راهبردی-ساختاری توسعه و عمران شهری، طرح جامع شهر تهران

شهرداری تهران (۱۳۹۱) ضوابط و مقررات طرح تفصیلی یکپارچه شهر تهران، معاونت شهرسازی و معماری

شهرداری تهران (۱۳۹۲) طرح تدوین ضوابط و مقررات ساخت و ساز بناهای بلندمرتبه مطالعات، تحلیل و ارائه ضوابط پیشنهادی، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران (در حال طی مراحل تصویب شورایعالی شهرسازی و معماری ایران)

مرکزتحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۴) آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم

وزارت راه و شهرسازی (۱۳۸۷) طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، فصل دهم مقررات ملی ساختمان، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان

ASCE (2006) Minimum Design Loads for buildings and Other Structures, ASCE 7-05, Reston, VA

Computers and Structures Inc. (CSI) (2006) Nonlinear Analysis and Performance Assessment of Structures- User Guide, PERFORM-3D (Version 4.0.3), Berkeley, CA

European Committee for Standardization (CEN) (2003) Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Eurocode 8 (EC8), Draft 6, Brussels

Fragiadakis M, Vamvatsikos D and Papadrakakis M (2006) Evaluation of the influence of Vertical Irregularities on the Seismic Performance of a Nine-Story Steel Frame, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(12): 1489-1509

International Conference of Building Officials (ICBO) (1997) Structural Engineering Design Provisions, Uniform Building Code (UBC), Vol. 2, Whittier, CA

Jalayer F and Cornell CA (2003) A Technical Framework for Probability-Based Demand and capacity Factor Design (DCFD) Seismic Formats, PEER Rep. No. 2003/08, Pacific Earthquake Engineering Center, Berkeley, CA

Le-Trung K, Lee K, Lee J and Lee DH (2010) Evaluation of Seismic Behavior of Steel Special Moment Frame Buildings with Vertical Irregularities, *The Structural Design of Tall & Special Buildings*, Early view

Pirizadeh M and Shakib H, (2015) On a Proposed Reliability-Based Method to Improve the Seismic Performance of Setback Buildings, *Journal of Structural Engineering*, (Under review)

Shahrooz BM and Moehle JP (1990) Seismic Response and Design of Setback Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 116(5): 1423-1439

Shakib H and Pirizadeh M (2014) Probabilistic Seismic Performance Assessment of Setback Buildings under Bidirectional Excitation, *Journal of Structural Engineering*, 140(2): 140-145

Shakib H, Dardaei S and Pirizadeh (2011) A Proposed Seismic Risk Reduction Program for the Mega City of Tehran, Iran, *Journal of Natural Hazards Review*, 12(3): 140-145

Shakib H, Pirizadeh M, Emadi A and Shakib S (2010) Architectural Effects on the Seismic Behavior of Tehran Tall Buildings, *Proc., U.S.-Iran-Turkey Seismic Workshop*, Istanbul, Turkey (PEER Rep. No. 2011/07)

Vamvatsikos D and Cornell CA (2002) Incremental Dynamic Analysis, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3): 491–514