

تأثیر نامنظمی سیستم‌های باربر جانبی غیرموازی بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها با قابهای فولادی مهاربندی شده

علی سیدکاظمی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل،

ایران

المیرا عباس نژاد

دانشجوی کارشناسی ارشد-سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد آیت الله آملی، آمل، ایران

*a.seyedkazemi@iauamol.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹

چکیده:

شماری از ساختمان‌ها بدلالی چون شرایط زمین و طراحی معماری، دارای نامنظمی سیستم‌های غیرموازی هستند که در دسته نامنظمی در پلان قرار می‌گیرد؛ اما آیین‌نامه‌ها حدودی را بعنوان میزان انحراف اجزای قائم باربر جانبی از امتداد محورهای متعامد ساختمان برای این نوع نامنظمی‌ها مشخص نکرده‌اند. از سویی دیگر سیستم قاب ساختمانی با مهاربند یکی از سیستم‌های رایج برای ساختمان‌های کوتاه تا میان مرتبه به شمار می‌رود. در این پژوهش به بررسی تأثیر نامنظمی سیستم‌های غیرموازی بر عملکرد لرزه‌ای سیستم قاب ساختمانی فولادی با مهاربندی همگرای ویژه پرداخته شد. برای انجام این مطالعه، سازه‌های فولادی با تعداد طبقات ۳، ۶ و ۹ انتخاب شدند و علاوه بر حالت منظم، نامنظمی سیستم‌های غیرموازی با زوایای مختلف نسبت به امتداد محورهای متعامد از ۱ تا ۵ درجه (۰/۵ متر تا ۲ متر انحراف در طول دهانه) منظور شد. ابتدا ساختمان‌ها طبق آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های ایران در برابر زلزله و آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های فولادی ایران طراحی شدند. در ادامه برای ارزیابی تأثیر نامنظمی بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های مورد مطالعه، تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی تاریخیچه زمانی برای مدل‌های انتخابی با استفاده از نرم‌افزار PERFORM-3D انجام شد و شاخص‌های عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها بررسی شدند. نتایج نشان داد که با افزایش نامنظمی، سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و توانایی استهلاک انرژی سازه کاهش پیدا می‌کند در صورتیکه تغییر مکان نسبی طبقات افزایش می‌یابد.

کلید واژگان: نامنظمی سیستم غیرموازی، قاب مهاربندی فولادی، عملکرد لرزه‌ای، تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل دینامیکی غیرخطی

۱- مقدمه

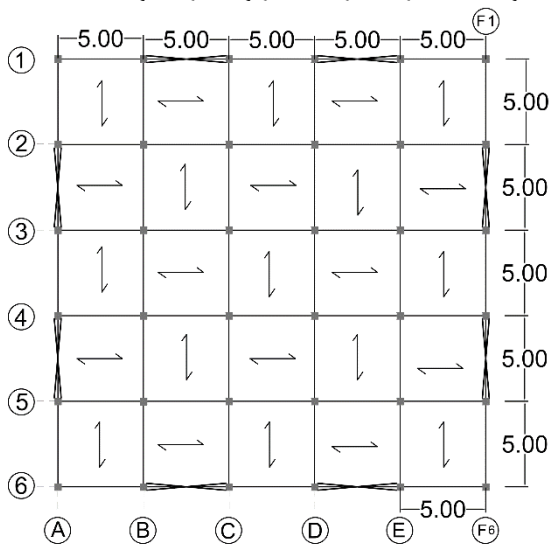
رفتار هر ساختمانی به چیدمان المان‌های سازه‌ای موجود در آن بستگی دارد. این چیدمان اعضا و المان‌ها می‌تواند بصورت منظم یا نامنظم در پلان و ارتفاع انجام گیرد. اما ساختمان‌های منظم بیشتر ایده‌آل می‌باشند و در عمل اکثر ساختمان‌ها بدلائل متعددی چون وضعیت زمین، طراحی معماری داخلی، موقعیت بازشوها، فرم خارجی مورد نظر طراح و ... ماهیت نامنظمی دارند. آیین‌نامه‌ها نامنظمی در سازه‌ها را به دو دسته نامنظمی در پلان و نامنظمی در ارتفاع تقسیم می‌کنند. انواع نامنظمی‌ها در پلان و ارتفاع را مشخص می‌نمایند و برای طراحی ساختمان‌های نامنظم تمهیدات لرزه‌ای مضاعفی در مقایسه با ساختمان‌های منظم در نظر می‌گیرند. از این رو در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها با انواع نامنظمی‌های مطرح شده در آیین‌نامه‌ها انجام شده است. سیوا ناوین و همکاران به بررسی سازه ۹ طبقه با بی‌نظمی در پلان و ارتفاع تحت بارهای لرزه‌ای پرداختند. آنها دریافتند که در حالت وجود فقط یک نوع بی‌نظمی، بی‌نظمی سختی بیشترین تأثیر را در پاسخ‌های لرزه‌ای دارد و بی‌نظمی‌های هندسی عمودی حداکثر پاسخ را در موارد ترکیبی بی‌نظمی نشان داده اند [۱]. خانال و چالوگن به بررسی عملکرد لرزه‌ای ساختمان نامنظم در پلان L شکل پرداختند. آنها نتیجه‌گیری کردند که تمهیدات طراحی لرزه‌ای مربوط به ساختمان‌های نامنظم در آیین‌نامه‌های موجود کافی نیستند و این مقررات نیاز به اصلاح دارند [۲]. پالمرو و همکاران به بررسی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن یک طبقه پرداختند [۳]. ازگور در یک مطالعه موردی به طراحی لرزه‌ای یک ساختمان بلند ۵۰ طبقه بتن آرمه نامنظم در استانبول پرداخت و در این مطالعه از شیوه طراحی بر پایه عملکرد استفاده نمود [۴]. نتایج تحقیقات ارسلان و همکاران [۵] نشان داد که اگر نامنظمی پیچشی بدون ناپوستگی تیر از محدوده مشخص شده توسط آیین‌نامه فراتر نرود، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها نخواهد داشت. ایشیک و همکاران به تحلیل عملکردی سازه‌های فلزی با انواع نامنظمی هندسی در پلان پرداختند [۶]. مطابق تحقیقات پارکار و داتا [۷] تأثیر نامنظمی سختی در ارتفاع بر روند تغییر نسبت دررفت بین طبقات قابل توجه است. بالاکریشنانان و سارکار [۸] کارایی مقررات لرزه‌ای ارائه شده در آیین‌نامه‌ها را برای طراحی ساختمان‌های بتن آرمه نامتقارن بررسی کردند. مطابق نتایج بدست آمده از تحقیقات مانجولا و همکاران [۹] در طراحی لرزه‌ای قابها با نامنظمی هندسی در ارتفاع بایستی از ضریب رفتار کوچکتری در مقایسه با قابهای منظم استفاده شود. مطالعات ساتیش و همکاران [۱۰] نشان داد که وجود طبقه نرم در

پایه ساختمان، یک وضعیت بحرانی است که اگر با خروج از مرکزیت سختی در پلان همراه باشد بیشترین تأثیر سوء را بر رفتار لرزه‌ای ساختمان خواهد داشت. هان و همکاران [۱۱] با استفاده از تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، به ارزیابی عملکرد ساختمان‌های قاب خمشی ویژه فولادی با درجات مختلفی از نامنظمی پیچشی در مقابل فروریزش پرداختند. باسکر و منان کارایی و کفایت دامنه گسترده‌ای از طیف شدت زلزله‌ها را در پیش‌بینی ماکزیمم تقاضای دررفت طبقات در ساختمان‌های قاب خمشی بتن آرمه نامنظم بررسی کردند [۱۲]. تأثیر جهت زلزله روی پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های نامنظم در پلان طی مطالعاتی بررسی شده است و نتایج نشان داده است که زاویه اثر زلزله بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های نامنظم قابل توجه است [۱۳ و ۱۴]. تحقیقات پاچلا و همکاران که روی ساختمان‌های بتن آرمه با شکل نامنظم انجام شد، نشان داد که فروریزش ساختمان‌ها با زلزله‌هایی اتفاق می‌افتد که دارای مدت زمان دوام طولانی در فاز شدید تحریک زمین لرزه باشند [۱۵]. تأثیر نامنظمی سختی جانبی در محاسبه درز انقطاع در قابهای مجاور توسط خاتمی و همکاران بررسی شد و رابطه‌ای برای محاسبه درز انقطاع در پایین‌ترین طبقه ساختمان ارائه شد [۱۶]. برطبق پژوهش اوبیگاک و همکاران اثر توالی زلزله قابل توجه است و وجود نامنظمی باعث افزایش خسارات پراکنده ناشی از توالی تحریک زمین لرزه می‌شود [۱۷]. آیبیه و لی [۱۸] به محاسبه پاسخ پیچشی سازه‌های بتن آرمه نامتقارن در پلان در طراحی مستقیم بر پایه تغییرمکان پرداختند. بارباگالو و همکاران نسبت حداکثر تغییرمکان سیستم نامتقارن به حداکثر تغییر مکان سیستم مسطح مربوطه را برای مجموعه بزرگی از سیستم‌های یک طبقه تعیین کردند و اطلاعات بدست آمده از پژوهش خود را بصورت یک پایگاه داده برای کمک به ارزیابی پاسخ پیچشی ساختمان نامنظم در پلان در اختیار مهندسان قرار دادند [۱۹]. لطف الهی یقین و تقی نژاد طی مطالعه‌ای، تأثیر اضافه کردن مهاربندی را در بهبود عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان بتنی ۵ طبقه نامنظم با سیستم دوگانه قاب خمشی به همراه دیوار برشی بررسی کردند [۲۰]. مطابق تحقیق صنعتی و احمدی در سازه‌های کوتاه تا میان مرتبه با نامنظمی پیچشی، حداکثر مقدار ضریب نامنظمی پیچشی با کاهش تعداد طبقات سازه افزایش می‌یابد [۲۱]. در مقاله بهاری و همکاران مقادیر ضریب رفتار زاویه‌ای برای ساختمان‌های ۳، ۷ و ۱۰ طبقه نامنظم در پلان محاسبه شدند [۲۲]. بنی جلالی و کورهللی با انجام تحلیل روی ۴ ساختمان بتن آرمه قاب خمشی سه بعدی ۵ و ۷ طبقه، ضریب نامعینی را در این نوع از ساختمان‌ها با سیستم سازه‌ای غیرموازی بررسی نمودند [۲۳]. صابری و همکاران

سیستم‌های غیر موازی بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های قاب فولادی با مهاربندی همگرا پرداخته می‌شود و تأثیر میزان انحراف اجزای قائم برابر جانبی از امتداد محورهای متعامد ساختمان بر پارامترهای سختی، مقاومت، شکل‌پذیری، میزان انرژی اتلاف شده توسط سازه و همچنین شاخص‌های عملکردی سازه مانند دریافت طبقات بررسی می‌شود.

۲. مدلسازی

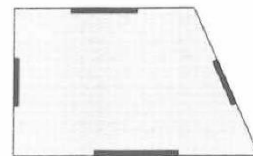
برای انجام این مطالعه، ساختمان‌ها با سه تراز ارتفاعی ۳، ۶ و ۹ طبقه بصورت منظم و نامنظم در پلان انتخاب شدند و به صورت سه بعدی مدلسازی شده، طراحی گردیدند و با روش‌های تحلیل غیرخطی آنالیز شدند. همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد، در پلان‌های منظم، ساختمان‌ها هم در جهت X و هم در جهت Y دارای پنج دهانه می‌باشند که فاصله ی بین دهانه‌ها ۵ متر فرض شدند. در مورد ساختمان‌های نامنظم در پلان مطابق شکل ۳، نامنظمی از نوع نامنظمی سیستم‌های غیرموازی است که در جهت Y در پلان اعمال شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که برای شکل‌گیری این نوع نامنظمی، طول دهانه Lv در راستای X، متغیر و بصورت ۵/۵ متر، ۶ متر، ۶/۵ متر و ۷ متر منظور شده است.



شکل ۲- پلان ساختمان‌های منظم (ابعاد به متر می‌باشد)

ساختمان‌های میان مرتبه فولادی با نامنظمی سختی جانبی را با روش‌های استاتیکی معادل، طیفی و تاریخچه زمانی تحلیل نمودند و میزان خطای این روش‌های تحلیل لرزه‌ای را گزارش کردند [۲۴].

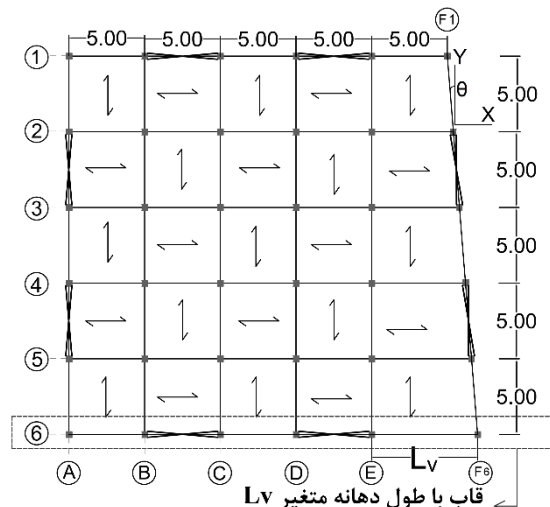
یکی از انواع نامنظمی که در آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) [۲۵] مطرح شده است نامنظمی سیستم‌های غیر موازی می‌باشد. این نوع نامنظمی که در شکل ۱ نشان داده شده است، در گروه‌بندی نامنظمی در پلان قرار می‌گیرد. نامنظمی سیستم‌های غیر موازی زمانی ایجاد می‌شود که بعضی اجزای قائم برابر جانبی به موازات محورهای متعامد اصلی ساختمان نباشند. این نوع نامنظمی باعث عدم انطباق مراکز جرم و سختی در تمامی جهت‌های ساختمان شده و منجر به ایجاد پیچش در سازه می‌گردد. ساختمان‌های نامنظم در پلان پاسخ لرزه‌ای پیچشی را حتی در صورت ورود یک جهته نیروی زلزله، تجربه می‌کنند. دلیل این امر توزیع غیریکنواخت جرم و سختی در محدوده رفتار الاستیک و توزیع غیریکنواخت جرم و مقاومت در محدوده رفتار غیر الاستیک است. بدلیل ارتباط و اتصال بین حرکت انتقالی و چرخشی در ساختمان‌های نامنظم در پلان و همچنین تغییر اهمیت پارامترهای سختی و مقاومت حین حرکت از محدوده رفتار الاستیک به محدوده رفتار غیر الاستیک، پیش بینی رفتار لرزه‌ای این ساختمان‌ها دشوار می‌باشد [۲۶].



شکل ۳- نامنظمی سیستم‌های غیرموازی [۲۵]

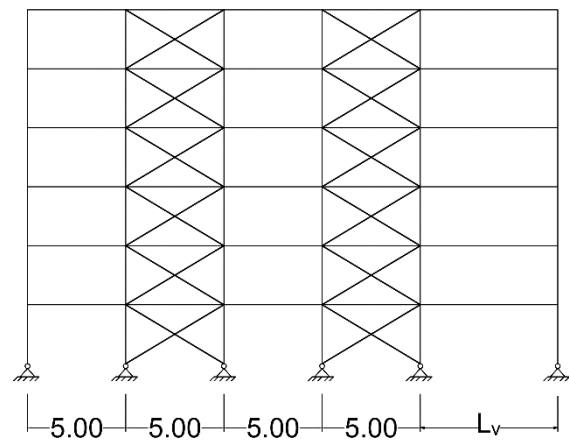
از سویی دیگر سیستم قاب ساختمانی با مهاربندی همگرا، یک سیستم مقاوم برابر لرزه‌ای مطلوب -بویژه به لحاظ اقتصادی- برای ساختمان‌های کوتاه تا میان مرتبه به شمار می‌رود. در این سیستم سازه‌ای قابها در تحمل نیروی زلزله مشارکتی ندارند و عمده نیروی زلزله توسط مهاربندی‌های همگرا بصورت فشار و کشش تحمل می‌شود. قابهای با مهاربند همگرا در برابر زلزله از نظر سختی، تغییر مکان و مقاومت در محدوده خطی رفتار خوبی از خود نشان می‌دهند، ولی در محدوده غیر ارتجاعی قابلیت جذب انرژی کمتری دارند و در نتیجه شکل‌پذیری آنها کم است. شکل‌پذیری سازه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار لرزه‌ای آنها دارد. لذا، در طراحی سازه علاوه بر رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ها که تامین‌کننده مقاومت و سختی است باید توجه کافی به شکل‌پذیری سازه‌ها نیز وجود داشته باشد. از این رو در مطالعه حاضر به بررسی تأثیر نامنظمی

مکان احداث ساختمان‌ها در تهران بوده که پهنه بندی با خطر نسبی خیلی زیاد با شتاب مینای طرح $0.35g$ به شمار می رود و نوع زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران، III منظور شد. مقدار میرایی 5% ، ضریب اهمیت لرزه ای برابر یک و ضرایب رفتار (R)، اضافه مقاومت (Ω_0) و بزرگنمایی تغییر مکان (C_d) برای سیستم قاب ساختمانی با مهاربندی همگرای ویژه به ترتیب $5/5$ ، 2 و 5 منظور شدند. برای طراحی از روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۲۷] و نرم افزار ETABS [۲۸] استفاده گردید. در طراحی سازه‌ها برای تیرها از مقاطع IPE و برای ستون‌ها و مهاربندی‌ها از مقاطع جعبه ای استفاده شد. فولاد مصرفی از نوع ASTM A992 با تنش تسلیمی (F_y) برابر kg/cm^2 2400 می‌باشد. در طراحی سازه‌های نامنظم در پلان مطابق استاندارد ۲۸۰۰، صددرصد نیروی زلزله هر امتداد با 30% درصد نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن ترکیب شد. همچنین ضوابط مربوط به ضریب نامعینی سازه‌ها (ρ) در طراحی آنها اعمال گردید. از آنجا که در مطالعه حاضر هدف اصلی بررسی تأثیر زاویه سیستم باربر جانبی بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌هاست، لذا برای اینکه مقایسه دقیقی انجام شود، مقاطع مهاربندی‌ها در تمامی مدل‌های نامنظم و منظم (در یک مدل ارتفاعی) یکسان انتخاب شدند. عبارتی دیگر مقاطع محاسباتی برای سازه با بیشترین نامنظمی در این مطالعه، برای تمامی مدل‌ها منظور شد. در جدول ۱ مقاطع المان‌های مهاربندی (بعنوان سیستم مقاوم باربر جانبی) برای قاب مورب F ذکر شده است. در جدول ۲، مشخصات دینامیکی مدل‌های طراحی شده، شامل پریود اصلی نوسان و درصد مشارکت جرمی برای مود اصلی ارتعاش خلاصه شده اند. نامگذاری مدل‌ها در جدول و شکل‌ها بصورت «زاویه انحراف از امتداد قائم St تعداد طبقه» می‌باشد و مدل‌هایی که در آنها زاویه انحراف از امتداد قائم ذکر نشده است، مدل‌های منظم هستند. شکل ۵ ماکزیمم ضریب تغییر مکان (η) طبقات را برای ساختمان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. لازم بذکر است که ضریب تغییر مکان شاخصی برای بیان نامنظمی پیشگی است و در هر طبقه به صورت نسبت حداکثر تغییر مکان افقی به تغییر مکان متوسط آن طبقه محاسبه می‌گردد. همانطور که مشاهده می‌شود در تمامی مدل‌های مورد مطالعه $\eta < 1.2$ می‌باشد این بدان معنی است که مدل‌ها طوری انتخاب شده اند که مشمول نامنظمی پیشگی زیاد و شدید مطرح شده در استاندارد ۲۸۰۰ نباشند.

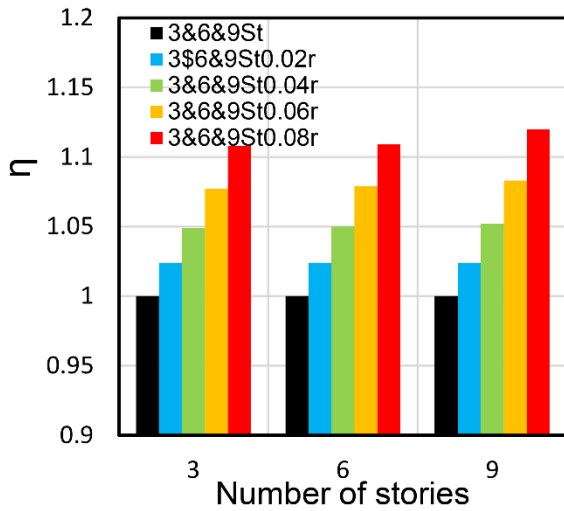


شکل ۳- پلان ساختمان‌های نامنظم با یک دهانه متغیر در قاب شماره ۶ (ابعاد به متر می باشد)

این تغییرات طول دهانه به معنی انحراف اجزای قائم باربر جانبی از امتداد محور Y (زاویه θ در شکل ۳) به ترتیب برابر 0.02 ، 0.04 ، 0.06 و 0.08 رادیان می باشد. طول بقیه دهانه‌ها در راستای X و Y، 5 متر می‌باشد. ارتفاع طبقات در تمام ساختمان‌ها 3 متر در نظر گرفته شده است. سیستم مقاوم باربر جانبی، قاب ساختمانی فولادی با مهاربند همگرای ویژه انتخاب شد و سیستم باربر ثقیل در ساختمان‌ها، دال یکطرفه بوده و مقادیر بارهای مرده و زنده در هر طبقه به ترتیب $650 kg/m^2$ و $200 kg/m^2$ در نظر گرفته شدند. در شکل ۴ قاب مهاربندی شده با دهانه متغیر بعنوان نمونه برای ساختمان ۶ طبقه نشان داده شده است. برای تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲۵] استفاده شد.



شکل ۴- قاب مهاربندی شده با دهانه متغیر L_v



شکل ۵- ماکزیمم ضریب تغییر مکان (η) طبقات

نتایج نشان می‌دهد با افزایش نامنظمی سیستم‌های غیرموزی پرپود اصلی سازه افزایش می‌یابد. همچنین درصد مشارکت جرمی در مود اصلی سازه تغییرات محسوسه ندارد. پس از طراحی، ساختمان‌های مورد مطالعه به منظور انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور) و دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی مجدداً در نرم افزار PERFORM-3D [۲۹] مدل‌سازی شدند. دلیل این امر قابلیت بی نظیر این نرم‌افزار در مدل‌سازی رفتار غیرخطی مصالح و المان‌های سازه‌ای با استفاده از مقاطع فایبر می‌باشد. از آنجا که در سیستم سازه‌ای مورد بررسی، مهاربندی‌ها نقش المان‌های مقاوم برابر لرزه‌ای و استهلاک انرژی ناشی از زلزله را از طریق رفتار غیرخطی، بر عهده دارند، لذا مدل‌سازی دقیق رفتار غیرخطی آنها حائز اهمیت است. در این مطالعه، المان‌های مهاربندی با استفاده از "مقطع فایبر غیرالاستیک ستون" مدل‌سازی شد و مشخصات مصالح بصورت "مصالح فولادی غیرالاستیک کم‌انرژی‌پذیر" تعریف شد. شکل ۶ مدل رفتاری المان‌های مهاربندی را نشان می‌دهد که در آن، Δ تغییر شکل محوری، P_y مقاومت تسلیم و P_{cr} مقاومت کم‌انرژی عضو مهاربندی می‌باشد و پارامترهای a ، b و c به نسبت عرض به ضخامت اعضا وابسته هستند و با استفاده از دستور العمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) [۳۰] محاسبه می‌شوند.

۳- تحلیل استاتیکی غیر خطی و استخراج پارامترهای

عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها

با وجود اینکه برای ساختمان‌های نامنظم در پلان، تحلیل استاتیکی غیرخطی یک ارزیابی مناسبی را از پاسخ پیش‌گامی ساختمان اجازه

جدول ۱- مقاطع المان‌های مهاربندی در قاب مورب ساختمان‌های مورد

مطالعه	
پروفیل مهاربندی	طبقه
مدل‌های ۳ طبقه	
2UNP 120	۱
2UNP 100	۲
2UNP 80	۳
مدل‌های ۶ طبقه	
2UNP 180	۲ و ۱
2UNP 160	۳
2UNP 140	۴
2UNP 120	۵
2UNP 100	۶
مدل‌های ۹ طبقه	
2UNP 240	۱
2UNP 220	۲ و ۳
2UNP 200	۴ و ۵
2UNP 180	۶
2UNP 160	۷
2UNP 140	۸
2UNP 120	۹

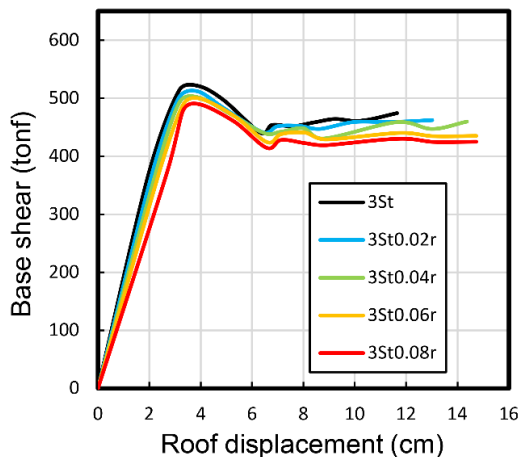
جدول ۲- زمان تناوب اصلی سازه‌های مورد مطالعه و درصد مشارکت جرمی

برای مود اصلی نوسان				
نام مدل	تعداد طبقات	زمان تناوب ماکزیمم آیین نامه ای (ثانیه)	زمان تناوب اصلی (ثانیه)	درصد مشارکت جرمی در مود اصلی نوسان (%)
3St	۳	۰/۵۱۹	۰/۳۹۱	۸۱/۶۵
3St0.02r		۰/۵۱۹	۰/۳۹۲	۸۱/۷۶
3St0.04r		۰/۵۱۹	۰/۳۹۶	۸۱/۶۸
3St0.06r		۰/۵۱۹	۰/۴۰۰	۸۱/۷۲
3St0.08r		۰/۵۱۹	۰/۴۰۳	۸۱/۵۷
6St	۶	۰/۸۷۳	۰/۶۹۳	۷۱/۸۲
6St0.02r		۰/۸۷۳	۰/۶۹۹	۷۱/۸۲
6St0.04r		۰/۸۷۳	۰/۷۰۴	۷۱/۹۵
6St0.06r		۰/۸۷۳	۰/۷۱۶	۷۳/۳۸
6St0.08r		۰/۸۷۳	۰/۷۱۷	۷۱/۷۶
9St	۹	۱/۱۸۰	۰/۹۸۵	۶۶/۹۲
9St0.02r		۱/۱۸۰	۰/۹۹۲	۶۶/۹۷
9St0.04r		۱/۱۸۰	۰/۹۹۹	۶۷/۰۱
9St0.06r		۱/۱۸۰	۱/۰۱۰	۶۷/۰۲
9St0.08r		۱/۱۸۰	۱/۰۱۸	۶۷/۰۱

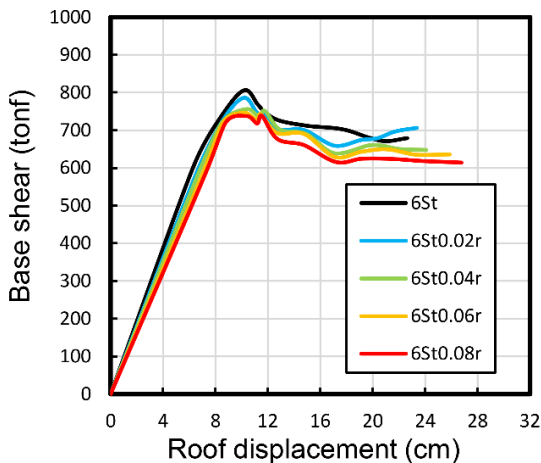
¹ Inelastic Steel Material, Buckling

¹ Column Inelastic Fiber Section ³

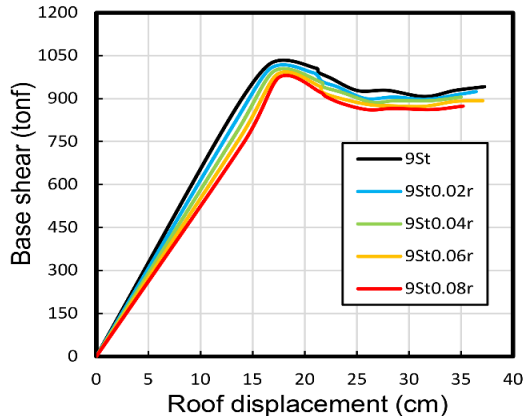
استفاده از سیستم مهاربندی در این مطالعه و با توجه به مدل رفتاری معرفی شده به نرم افزار، کماتش تعداد قابل توجهی از اعضای مهاربندی در نهایت منجر به ناهمگرایی‌های عددی (ناپایداری‌های عددی) در تحلیل سازه‌ها، و در نتیجه توقف آنالیز و قطع نمودارها می‌شود.



شکل ۷- منحنی‌های پوش آور برای ساختمان‌های منظم و نامنظم ۳ طبقه



شکل ۸- منحنی‌های پوش آور برای ساختمان‌های منظم و نامنظم ۶ طبقه



شکل ۹- منحنی‌های پوش آور برای ساختمان‌های منظم و نامنظم ۹ طبقه

نمی‌دهد اما در این پژوهش برای حل این مسئله از روش پیشنهاد شده دستور العمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) استفاده گردید. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر نامنظمی سیستم‌های غیر موازی در جهت محور Y ها در پلان اختیار شده است، برای رانش جانبی سازه‌ها مراحل سه گانه زیر انجام شد:

۱- اعمال بار قائم طبق ترکیب بارهای زیر:

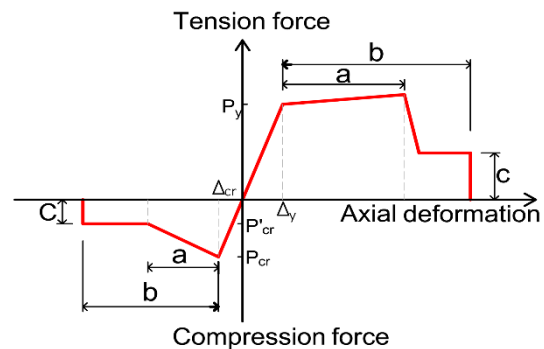
$$Q_G = 1.1[Q_D + Q_L] \quad (1)$$

$$Q_G = 0.9Q_D \quad (2)$$

که در آن Q_D بار مرده و Q_L معادل ۲۵٪ بار زنده طراحی است.

۲- اعمال الگوی بارگذاری جانبی در امتداد محور X ها و رانش جانبی تا ۳۰٪ تغییر مکان هدف.

۳- اعمال الگوی بارگذاری جانبی در امتداد محور Y ها و رانش جانبی به میزان ۱۰۰٪ تغییر مکان هدف.



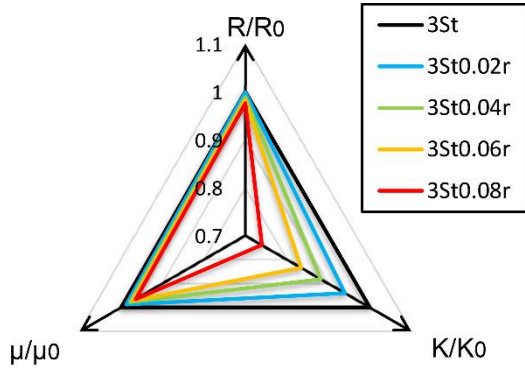
شکل ۶- مدل رفتاری المان‌های مهاربندی

توزیع بار جانبی طبق نشریه ۳۶۰، متناسب با شکل مود اول ارتعاش سازه اعمال گردید. نمودار برش پایه-تغییر مکان نقطه کنترل (مرکز جرم بام) برای هر گام افزایش نیروهای جانبی تا رسیدن به تغییر مکانی حداقل ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف (δ_r) ثبت شد. لازم بذکر است که تغییر مکان هدف از رابطه (۳) بدست می‌آید:

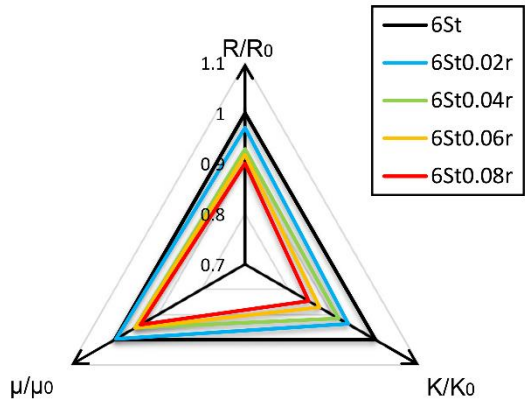
$$\delta_r = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (3)$$

که در T_e زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان، C_0 ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی، C_1 ضریب تصحیح برای اعمال تغییر مکان غیر ارتجاعی سیستم، C_2 ضریب تصحیح برای اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای بر تغییر مکان‌ها ناشی از زوال چرخه‌ای، S_a شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی مؤثر و g شتاب ثقل می‌باشد. نحوه محاسبه تمامی ضرایب طبق نشریه ۳۶۰ می‌باشد. در شکل‌های ۷ تا ۹ نمودارهای پوش آور به ترتیب برای مدل‌های ۳ طبقه، ۶ طبقه و ۹ طبقه در حالت پلان منظم و پلان‌های نامنظم نشان داده شده است. لازم به توضیح است بدلیل

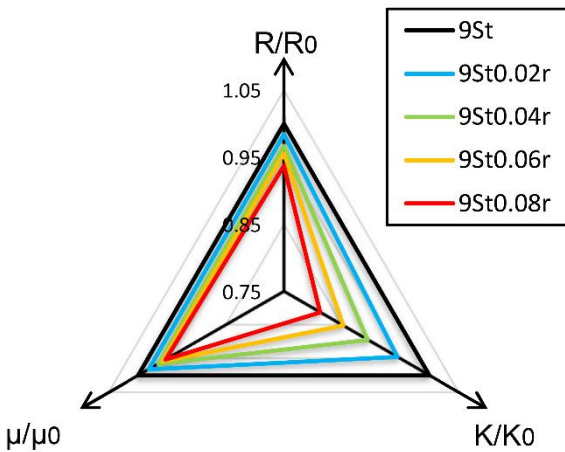
منظم، R_0 مقاومت سازه منظم و μ_0 شکل پذیری سازه منظم (نرمالایز شدند و در نمودارهای راداری شکلهای ۱۱ تا ۱۳ ارائه گردیدند.



شکل ۱۱- مقایسه شاخص های عملکردی در مدل های ۳ طبقه مورد مطالعه



شکل ۱۲- مقایسه شاخص های عملکردی در مدل های ۶ طبقه مورد مطالعه

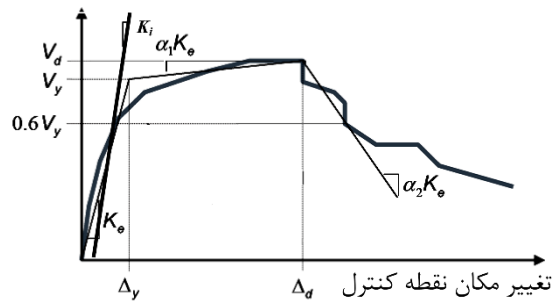


شکل ۱۳- مقایسه شاخص های عملکردی در مدل های ۹ طبقه مورد مطالعه همانطور که نمودارها نشان می دهند با افزایش نامنظمی سختی سازه، شکل پذیری و مقاومت سازه کم می شود. بعنوان مثال با انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه ای به اندازه $2/3$ نسبت به محور متعام ساختمان، در ساختمان سه طبقه، مقدار سختی مؤثر ۱۲٪، مقدار مقاومت ۳/۸٪ و مقدار شکل پذیری ۲/۳٪ کاهش می یابد؛

با استفاده از داده های بدست آمده از منحنی های پوش آور (منحنی های ظرفیت) پارامترهای عملکردی سازه ها شامل سختی، مقاومت و شکل پذیری محاسبه می شوند. برای انجام این کار، همانند شکل ۱۰، منحنی ظرفیت سازه ها با یک مدل رفتار چند خطی مطابق نشریه ۳۶۰ جایگزین می شود. شاخص های عملکردی سازه شامل سختی (K)، مقاومت سازه (R)، و شکل پذیری (μ) بصورت زیر تعریف می شوند:

$$K = V_y / \Delta_y ; R = V_{max} ; \mu = \Delta_d / \Delta_y \quad (۴)$$

برش پایه



شکل ۱۰- منحنی ساده شده نیرو-تغییر مکان سازه [۳۰]

در این روابط Δ_y جابجایی نقطه تسلیم، V_y برش پایه تسلیم، Δ_d تغییر مکان هدف و V_{max} بیشترین مقدار برش پایه می باشد. مقادیر این پارامترها برای مدل های سازه ای مورد مطالعه محاسبه شده و در جدول ۳ ارائه شده اند.

جدول ۳- داده های بدست آمده از منحنی ظرفیت سازه ها

نام مدل	تعداد طبقات	V_y (ton)	V_{max} (ton)	Δ_d (cm)	Δ_y (cm)
3St	۳	۳۶۸/۴	۵۲۱/۶	۷/۰۵	۱/۹۷
3St0.02r		۳۷۲/۷	۵۱۱/۹	۷/۴۹	۲/۱۲
3St0.04r		۳۷۲/۴	۵۰۱/۶	۷/۹۰	۲/۲۶
3St0.06r		۳۷۸/۳	۴۹۹/۵	۸/۳۰	۲/۳۹
3St0.08r		۳۷۲/۵	۴۸۹/۵	۹/۳۰	۲/۶۹
6St	۶	۶۰۳/۶	۸۰۶/۰	۱۸/۸۰	۶/۳۳
6St0.02r		۵۸۸/۴	۷۸۶/۰	۱۹/۵۰	۶/۵۹
6St0.04r		۵۸۸/۵	۷۵۶/۰	۱۹/۱۰	۶/۷۵
6St0.06r		۵۸۱/۵	۷۴۶/۰	۱۹/۸۰	۷/۰۰
6St0.08r		۵۷۷/۹	۷۳۸/۰	۲۰/۰۰	۷/۱۶
9St	۹	۸۲۰/۳	۱۰۲۳/۲	۳۲/۵۰	۱۲/۶۰
9St0.02r		۸۰۱/۳	۱۰۰۵/۷	۳۳/۰۰	۱۳/۰۰
9St0.04r		۷۸۰/۴	۹۹۶/۷	۳۳/۴۰	۱۳/۴۰
9St0.06r		۷۶۵/۱	۹۸۵/۱	۳۴/۱۰	۱۳/۸۰
9St0.08r		۷۴۶/۸	۹۷۴/۱	۳۴/۷۰	۱۴/۱۰

برای اینکه تأثیر نامنظمی سیستم های غیرموازی بر پارامترهای عملکرد لرزه ای سازه ها بطور واضح نشان داده شود این پارامترها بر اساس شاخص های عملکردی سازه منظم (K_0 سختی سازه

جدول ۴ ارائه شده است. شکل ۱۴ طیف پاسخ شتاب را برای رکوردهای زلزله مورد استفاده و همچنین طیف طراحی را نشان می دهد. برای انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ابتدا شتاب نگاشت ها طبق دستور العمل بهسازی لرزه ای به نحوی مقیاس شدند که طیف میانگین حاصل در محدوده زمان تناوبی $0.2T$ تا $1.5T$ کمتر از $1/3$ برابر طیف طراحی نباشد (T معرف زمان تناوب اصلی سازه مورد نظر برای تحلیل دینامیکی است). در روش تحلیل دینامیکی غیرخطی، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه تعیین می گردد. با توجه به آن که در این روش، ماتریس سختی و میرایی در طول زمان می تواند تغییر کند، پاسخ مدل تحت شتاب زلزله به روش های عددی برای گام های زمانی مختلف محاسبه می شود. پس از انجام تحلیل، تغییر شکل ها و نیروهای داخلی حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی با معیارهای پذیرش مورد نظر، ارزیابی می شود [۳۰].

جدول ۴- مشخصات رکوردهای زلزله استفاده شده برای تحلیل دینامیکی

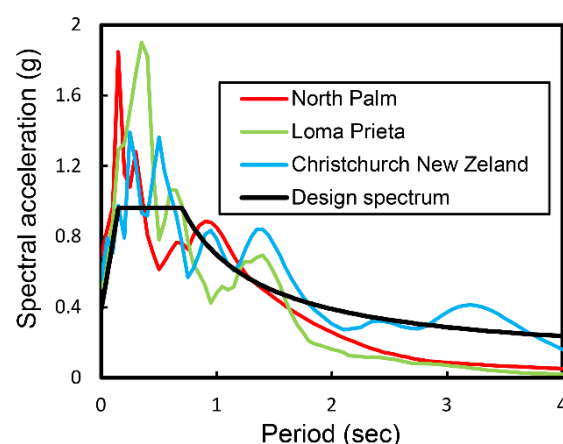
PGA (g)		ایستگاه ثبت	بزرگی (ریشر)	نام زلزله	ردیف
مؤلفه ۱	مؤلفه ۲				
۰/۴۳۹	۰/۵۱۱	Capitola	۶/۹۳	Loma Prieta	۱
۰/۶۶۸	۰/۶۹۳	North.Palm Spring	۶/۰۶	North.Palm Spring	۲
۰/۴۵۲	۰/۵۵۳	Christchurch Botanical Gardens	۶/۲۰	Christchurch, New Zeland	۳

ازای هر رکورد زلزله محاسبه شد. در شکل ۱۵ نمودار ماکزیمم نسبت دریفت طبقات به ازای هر یک از رکوردهای زلزله برای ساختمان ۳ طبقه نشان داده شده است. مشاهده می گردد که در مورد ساختمان کوتاه ۳ طبقه، همه مدل های منظم و نامنظم سطح عملکرد ایمنی جانی (LS^1) تعیین شده در استاندارد ۲۸۰۰ (ماکزیمم نسبت دریفت ۲/۵٪) را تأمین می کنند. با این وجود، نامنظمی سیستم های غیرموازی، میزان حساسیت سازه را در برابر تغییر مکان نسبی (دریفت) طبقات تغییر می دهد؛ بطوریکه با انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه ای به اندازه $4/6$ نسبت به محور متعامد ساختمان، ماکزیمم دریفت بین طبقه ای بطور میانگین $7/1$ ٪ افزایش می یابد. شکل های ۱۶ و ۱۷ نمودار ماکزیمم نسبت دریفت طبقات را به ازای هر یک از رکوردهای زلزله به ترتیب برای ساختمان های ۶ طبقه و ۹ طبقه نشان می دهند. در مورد ساختمان

و این کاهش سختی، مقاومت و شکل پذیری در مورد ساختمان ۶ طبقه به ترتیب $8/5$ ٪، $6/2$ ٪ و $4/7$ ٪ و در مورد ساختمان ۹ طبقه به ترتیب $10/6$ ٪، $2/6$ ٪ و $3/5$ ٪ است. با دو برابر شدن میزان انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه ای ($4/6$ انحراف نسبت به محور متعامد ساختمان) در ساختمان سه طبقه، مقدار سختی موثر 26 ٪، مقدار مقاومت $6/2$ ٪ و مقدار شکل پذیری $3/6$ ٪ کاهش می یابد؛ و این کاهش سختی، مقاومت و شکل پذیری در مورد ساختمان ۶ طبقه به ترتیب $15/3$ ٪، $8/4$ ٪ و $6/1$ ٪ و در مورد ساختمان ۹ طبقه به ترتیب $18/8$ ٪، $4/8$ ٪ و $5/1$ ٪ است. در آیین نامه های ساختمانی از جمله استاندارد ۲۸۰۰ ضریبی بنام ضریب رفتار ساختمان مطرح می شود. این ضریب نشان دهنده توان اتلاف انرژی سازه هست و در برگیرنده خصوصیات ماند شکل پذیری، اضافه مقاومت سازه و نامعینی می باشد. لذا، کاهش شکل پذیری و مقدار مقاومت با افزایش میزان نامنظمی سیستم های غیرموازی به منزله کاهش ضریب رفتار سازه و کاهش توانایی سازه در استهلاک انرژی ورودی است.

۴- تحلیل دینامیکی غیر خطی و ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه ها

برای بررسی بیشتر عملکرد لرزه ای سازه ها از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی استفاده می شود. برای انجام این کار از سه رکورد زلزله استفاده می شود که مشخصات این زلزله ها در

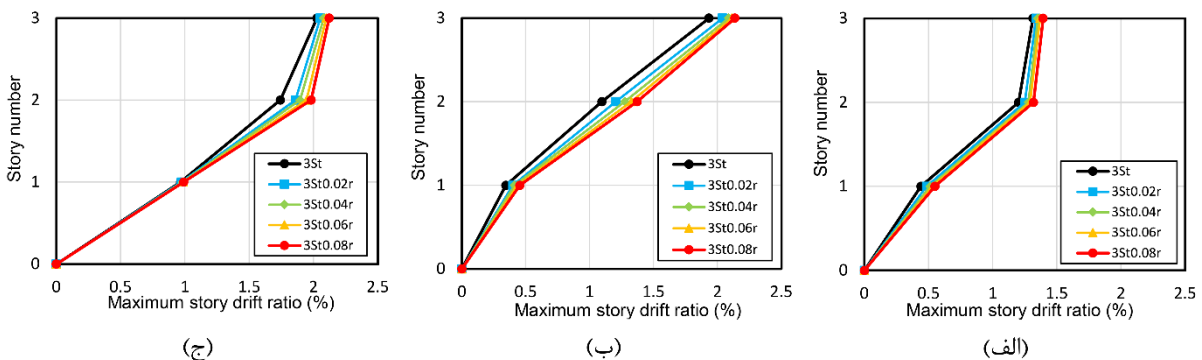


شکل ۱۴- طیف پاسخ شتاب رکوردهای زلزله مورد استفاده به همراه طیف طراحی

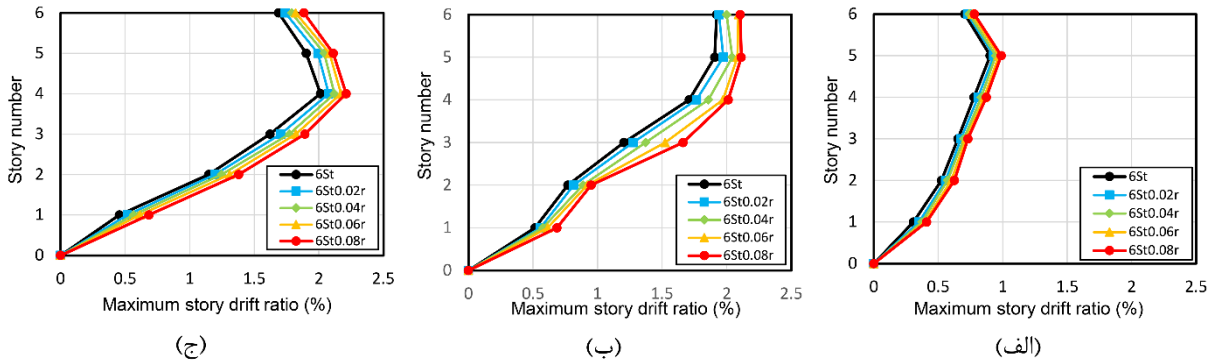
بعد از انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی ماکزیمم نسبت دریفت طبقات و همچنین ماکزیمم انرژی مستهلک شده توسط سازه به

مدل ۹ طبقه بطور میانگین ۹/۲٪ می باشد. شکل های ۱۸ تا ۲۰ ماکزیمم انرژی تلف شده توسط سازه ها را به ترتیب برای مدل های ۳، ۶ و ۹ طبقه نشان می دهند. مشاهده می شود که با افزایش نامنظمی سیستم های غیرموازی، توانایی ساختمان ها در اتلاف انرژی زلزله کاهش پیدا می کند که این موضوع قبلا از نتایج تحلیل پوش آور سازه ها هم استنباط شده بود. بطوریکه با انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه ای به اندازه $\frac{4}{6}$ نسبت به محور متعامد ساختمان، انرژی تلف شده توسط سازه های ۳ طبقه، ۶ طبقه و ۹ طبقه بطور میانگین به ترتیب $\frac{15}{9}$ ٪، $\frac{10}{3}$ ٪ و $\frac{5}{7}$ ٪ کاهش می یابد.

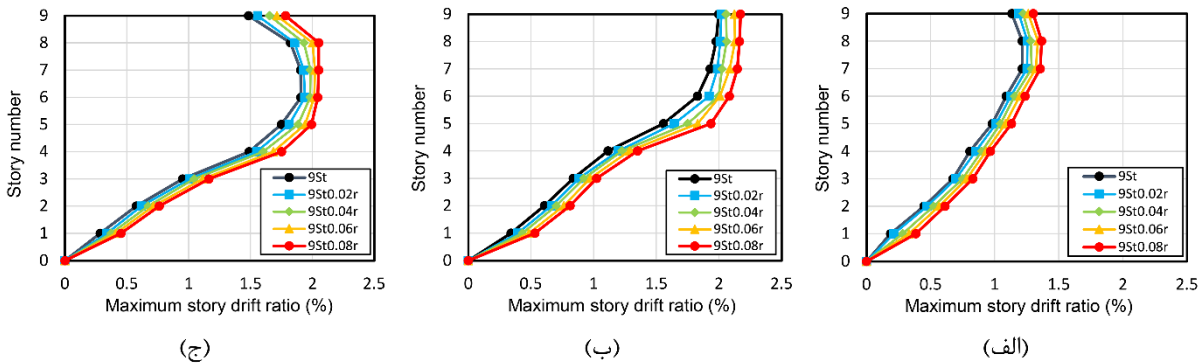
میان مرتبه ۶ و ۹ طبقه، مدل منظم سطح عملکرد ایمنی جانی تعیین شده در استاندارد ۲۸۰۰ (ماکزیمم نسبت دررفت ۲٪) را به ازای هر سه رکورد زلزله تأمین می کند. اما بعضی مدل های نامنظم به ازای برخی رکوردهای زلزله، سطح عملکرد ایمنی جانی را تأمین نکرده اند. با افزایش نامنظمی در سیستم های غیرموازی، تغییر مکان نسبی طبقات به شدت افزایش می یابد، بطوریکه در مدل ۶ طبقه با انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه ای به اندازه $\frac{4}{6}$ نسبت به محور متعامد ساختمان، ماکزیمم دررفت بین طبقه ای بطور میانگین ۹/۷٪ افزایش پیدا می کند و این افزایش دررفت در مورد



شکل ۱۵- ماکزیمم نسبت دررفت طبقات برای ساختمان های ۳ طبقه به ازای زلزله های مختلف: (الف) نورث پالم اسپرینگ، (ب) لوما پریتا، (ج) کرایست چرچ



شکل ۱۶- ماکزیمم نسبت دررفت طبقات برای ساختمان های ۶ طبقه به ازای زلزله های مختلف: (الف) نورث پالم اسپرینگ، (ب) لوما پریتا، (ج) کرایست چرچ



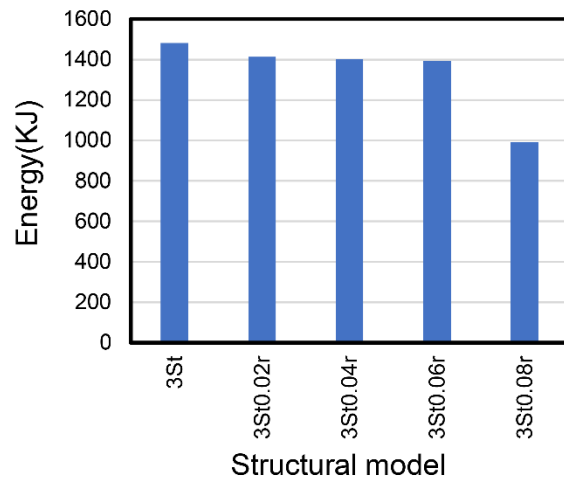
شکل ۱۷- ماکزیمم نسبت دررفت طبقات برای ساختمان های ۹ طبقه به ازای زلزله های مختلف: (الف) نورث پالم اسپرینگ، (ب) لوما پریتا، (ج) کرایست چرچ

۵- نتیجه گیری

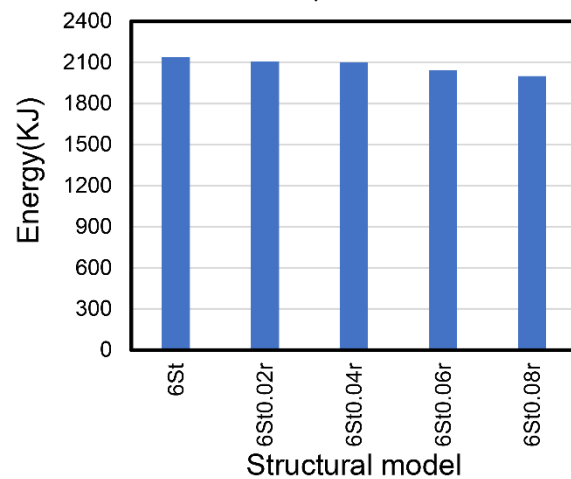
در این مقاله به بررسی تأثیر نامنظمی سیستم‌های غیرموازی بر عملکرد لرزه‌ای و شاخص‌های عملکردی قاب‌های مهاربندی همگرای فولادی پرداخته شد. برای انجام این کار، ساختمان‌های کوتاه تا میان مرتبه ۳، ۶ و ۹ طبقه در نظر گرفته شدند و علاوه بر حالت منظم، ۴ حالت نامنظمی در پلان از طریق انحراف اجزای قائم برابر جانی از امتداد محورهای متعام ساختمان (از ۱ تا ۵ درجه) انتخاب گردید. سازه‌ها با روش تحلیل‌های پوش آور و دینامیکی غیر خطی آنالیز شدند. پارامترهای عملکردی ساختمان‌ها شامل سختی، مقاومت و شکل‌پذیری استخراج و مقایسه گردیدند. همچنین تأثیر نامنظمی سیستم‌های غیرموازی بر توانایی استهلاک انرژی در سازه‌ها و همچنین تغییر مکان جانبی نسبی طبقات (بعنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی احتمال خرابی سازه‌ها) بررسی شد. خلاصه نتایج بدست آمده بصورت زیر می‌باشد:

۱- بر مبنای نتایج تحلیل پوش آور، با افزایش نامنظمی در سیستم‌های غیرموازی سختی سازه، شکل‌پذیری و مقاومت سازه کاهش می‌یابد. بعنوان نمونه با انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه‌ای به اندازه $\frac{4}{6}$ نسبت به محور متعام ساختمان، در ساختمان سه طبقه، مقدار سختی موثر ۲۶٪، مقدار مقاومت $\frac{2}{6}$ ٪ و مقدار شکل‌پذیری $\frac{3}{6}$ ٪ کاهش می‌یابد؛ و این کاهش سختی، مقاومت و شکل‌پذیری در مورد ساختمان ۶ طبقه به ترتیب $\frac{3}{4}$ ٪، $\frac{1}{4}$ ٪ و $\frac{1}{6}$ ٪ و در مورد ساختمان ۹ طبقه به ترتیب $\frac{18}{8}$ ٪، $\frac{4}{8}$ ٪ و $\frac{5}{1}$ ٪ است. لازم بذکر است که در طراحی ساختمان نامنظم در پلان کلیه ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ از جمله ترکیب زلزله‌های دو امتداد متعام و ضریب نامعینی سازه‌ها رعایت شده است.

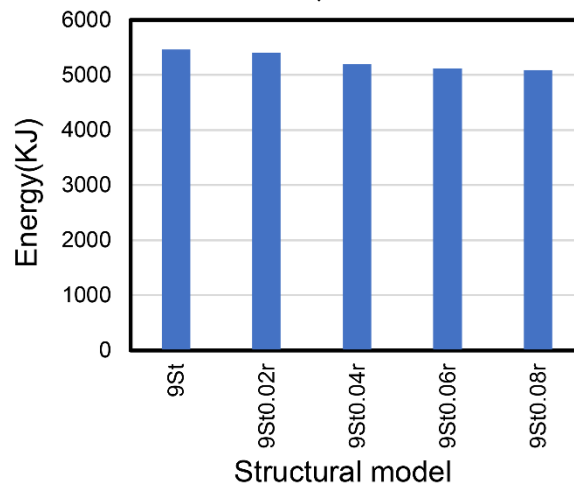
۲- بر مبنای نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی، با افزایش نامنظمی سیستم‌های غیرموازی، مقدار تغییر مکان نسبی (دریفت) طبقات افزایش می‌یابد؛ بطوریکه با انحراف سیستم مقاوم برابر لرزه‌ای به اندازه $\frac{4}{6}$ نسبت به محور متعام ساختمان، ماکزیمم دریفت بین طبقه‌ای بطور میانگین در ساختمان‌های ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب $\frac{7}{1}$ ٪، $\frac{7}{7}$ ٪ و $\frac{9}{2}$ ٪ افزایش داشت. از آنجاکه ماکزیمم نسبت دریفت طبقات شاخص مناسبی برای بیان میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها می‌باشد، لذا می‌توان اظهار داشت با افزایش نامنظمی، احتمال آسیب‌پذیری ساختمان‌ها به شدت افزایش می‌یابد. در مورد ساختمان کوتاه ۳ طبقه، همه مدل‌های منظم و نامنظم سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) تعیین شده در آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله



شکل ۱۸- ماکزیمم انرژی تلف شده توسط مدل‌های مختلف ساختمان ۳ طبقه



شکل ۱۹- ماکزیمم انرژی تلف شده توسط مدل‌های مختلف ساختمان ۶ طبقه



شکل ۲۰- ماکزیمم انرژی تلف شده توسط مدل‌های مختلف ساختمان ۹ طبقه

- [5] Arslan G, Borekci M, Sahin B, Denizer MI, Duman KS. Performance evaluation of in-plan irregular RC frame buildings based on Turkish seismic code. *International Journal of Civil Engineering*. 2018; 16 (3): 323-333.
- [6] Işık E, Özdemir M, Karaşin İB. Performance analysis of steel structures with A3 irregularities. *International Journal of Steel Structures*. 2018; 18 (3): 1083-1094.
- [7] Parekar SD, Datta D. Seismic behaviour of stiffness irregular steel frames under mainshock-aftershock. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2020; 21 (5): 857-870.
- [8] Balakrishnan B, Sarkar P. Efficacy of code provisions for seismic design of asymmetric RC building. *Journal of The Institution of Engineers: Series A*. 2016; 97 (2): 111-120.
- [9] Manjula NK, Nagarajan P, Pillai TM. Performance evaluation of RC buildings designed as per Indian seismic codes: A study on frames with vertical geometric irregularity. *Journal of The Institution of Engineers: Series A*. 2018; 99 (4): 677-687.
- [10] Satheesh AJ, Jayalekshmi BR, Venkataramana K. Effect of in-plan eccentricity on vertically stiffness irregular buildings under earthquake loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2020; 137: 106251.
- [11] Han SW, Kim T, Kim DH, Baek SJ. Seismic collapse performance of special moment steel frames with torsional irregularities. *Engineering Structures*. 2017; 141: 482-494.
- [12] Bhasker R, Menon A. Characterization of ground motion intensity for the seismic fragility assessment of plan-irregular RC buildings. *Structures*. 2020; 27: 1763-1776.
- [13] Prajwal TP, Parvez IA, Kamath K. Nonlinear analysis of irregular buildings considering the direction of seismic waves. *Materials Today: Proceedings*. 2017; 4 (9): 9828-9832.
- [14] Magliulo G, Maddaloni G, Petrone C. Influence of earthquake direction on the seismic response of irregular plan RC frame buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 2014; 13 (2): 243-256.
- [15] Pachla F, Kowalska-Koczwara A, Tatara T, Stypuła K. The influence of vibration duration on the structure of irregular RC buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2019; 17 (6): 3119-3138.
- [16] Khatami M, Gerami M, Kheyroddin A, Siahpolo N. The effect of irregularity of lateral stiffness in estimating the separation gap of adjacent frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2020; 24 (1): 166-77.
- [17] Oyguc R, Toros C, Abdelnaby AE. Seismic behavior of irregular reinforced-concrete structures under multiple earthquake excitations. *Soil*

(استاندارد ۲۸۰۰) را تأمین می‌کنند. اما در مورد ساختمان میان مرتبه ۶ و ۹ طبقه، بعضی مدل‌های نامنظم به ازای برخی رکوردهای زلزله، سطح عملکرد ایمنی جانی را تأمین نکرده‌اند. توجه به این نکته ضروری است که استاندارد ۲۸۰۰ حدودی را برای میزان نامنظمی سیستم‌های غیرموازی مشخص نمی‌کند. در این مطالعه، میزان انحراف سیستم‌های غیرموازی طوری در نظر گرفته شد که ساختمان‌های مورد مطالعه، مشمول نامنظمی پیشگی زیاد و شدید مطرح شده در استاندارد ۲۸۰۰ نباشند. به نظر می‌رسد، تعیین حدود برای میزان نامنظمی سیستم‌های غیر موازی بویژه در مورد ساختمان‌های متوسط و بلند راهکار مؤثری برای کاهش احتمال آسیب‌پذیری در سازه‌ها باشد که این موضوع نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

۳- نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی نشان می‌دهد که با افزایش نامنظمی سیستم‌های غیرموازی، توانایی اتلاف انرژی سازه‌ها کاهش پیدا می‌کند. این موضوع از نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی هم قابل استنباط است؛ چرا که کاهش شکل‌پذیری و مقاومت سازه‌ها با افزایش نامنظمی، به معنای کاهش ضریب رفتار سازه‌ها می‌باشد. ضریب رفتار شاخصی مناسب برای بیان توانایی سازه در استهلاک انرژی ورودی است. آیین‌نامه‌ها بر مبنای سیستم مقاوم باربر لرزه‌ای، عدد ثابتی را برای ضریب رفتار معرفی می‌کنند در صورتیکه این عدد می‌تواند بر اساس میزان نامنظمی سازه در پلان، متغیر باشد. لذا تاثیر انواع نامنظمی بر ضریب رفتار سازه‌ها موضوع مهمی است که نیاز به تحقیقات گسترده‌ای دارد و نتایج آن می‌تواند منجر به ارائه روابطی برای ضریب رفتار سازه‌ها بر اساس میزان نامنظمی گردد.

۶- مراجع

- [1] Naveen ES, Abraham NM, Kumari SDA. Analysis of irregular structures under earthquake loads. *Procedia Structural Integrity*. 2019; 14: 806-819.
- [2] Khanal B, Chaulagain H. Seismic elastic performance of L-shaped building frames through plan irregularities. *Structures*. 2020; 27: 22-36.
- [3] Palermo M, Silvestri S, Gasparini G, Trombetti T. A comprehensive study on the seismic response of one-storey asymmetric systems. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2017; 15 (4): 1497-517.
- [4] Özüygür AR. Performance-based seismic design of an irregular tall building in Istanbul. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 2015; 24 (10): 703-723.

[۳۰] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود (نشریه شماره ۳۶۰). ۱۳۹۲؛ تهران، معاونت نظارت راهبردی، امور نظام فنی.

Dynamics and Earthquake Engineering. 2018; 104: 15-32.

[18] Abebe BH, Lee JS. Accounting for torsional response in direct displacement-based design of plan-asymmetric reinforced concrete frame buildings. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019; 23 (3): 1190-1206.

[19] Barbagallo F, Bosco M, Ghersi A, Marino EM, Rossi PP. A database for assisted assessment of torsional response of in-plan irregular buildings. In: Köber D, De Stefano M, Zembaty Z, (eds). *Seismic behaviour and design of irregular and complex civil structures III*. 2020; Springer, Cham.

[۲۰] لطف الهی یقین م ع، تقی نژاد ر. ارزیابی لرزه ای و بهسازی یک ساختمان بتنی نامنظم با سیستم قاب خمشی-دیوار برشی با بادبندی های فولادی بروش تحلیل غیرخطی پوش آور. مجله آنالیز سازه-زلزله. ۱۳۸۵؛ ۳ (۴): ۲۱-۲۶.

[۲۱] صنعتی ب، احمدی ج. بررسی تحلیلی و آیین نامه ای نامنظمی های پیچشی در سازه های کوتاه تا میان مرتبه. مجله آنالیز سازه-زلزله. ۱۳۹۵؛ ۱۳ (۴): ۳۹-۴۹.

[۲۲] بهاری م ر، فاروقی ع، قانونی بقا م. ضریب زلزله زاویه ای در سازه های نامنظم در پلان. مجله آنالیز سازه-زلزله. ۱۳۹۶؛ ۱۴ (۱): ۳۷-۴۸.

[۲۳] بنی جلالی ع، کورهللی س. بررسی ضریب نامعینی در ساختمانهای بتنی با سیستم سازه ای غیرموازی. مجله آنالیز سازه-زلزله. ۱۳۹۶؛ ۱۴ (۳): ۵۵-۶۰.

[۲۴] صابری و، صابری ح، صادقی ع، نوری م ر. بررسی میزان خطای روش های تحلیل لرزه ای در سازه های میان مرتبه با نامنظمی سختی جانبی. مجله آنالیز سازه-زلزله. ۱۳۹۹؛ ۱۷ (۲): ۳۲-۳۵.

[۲۵] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم). ۱۳۹۳؛ تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

[26] Köber D, Zamfirescu D. Seismic response trends of SDOF plan irregular structures: Simplified approach. In: Köber D, De Stefano M, Zembaty Z, (eds). *Seismic behaviour and design of irregular and complex civil structures II*. 2020; Springer, Cham.

[۲۷] وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمانهای فولادی). ۱۳۹۲؛ تهران، نشر توسعه ایران.

[28] ETABS. Integrated building design software. Computers and Structures Inc. 2013; Berkeley, CA.

[29] PERFORM-3D. Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures. Computer & Structures Inc. 2013; Berkeley, CA.

The Effect of Non-parallel System Irregularity on Seismic Performance of Braced Steel Frame Buildings

Ali Seyedkazemi*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

Elmira Abbasnezhad

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

*a.seyedkazemi@iauamol.ac.ir

Abstract:

A number of buildings have irregular non-parallel systems due to ground conditions and architectural design, which fall into the category of irregularities in the plan. However, the building codes do not specify a limit as the deviation value of the vertical lateral load bearing components from the major orthogonal axes of the building for this type of irregularities. The building frame system with bracing, on the other hand, is one of the most common systems for low- to mid-rise structures. In this research, the effect of non-parallel system irregularity on the seismic performance of steel building frame with special convergent bracing was investigated. Steel structures with 3, 6, and 9 stories were selected in this study, and in addition to the regular structural models, irregularity of non-parallel systems with different angles to the orthogonal axes from 1 to 5 degrees (i.e., 0.5 m to 2 m deviations for span length) were considered. First, the structures were designed according to the Iranian Earthquake Design Code and the Iranian Steel Structure Design Code. In order to evaluate the effect of irregularity on the seismic performance of the studied buildings, nonlinear static and dynamic analyses of time history for selected models were performed using Perform 3D software and the seismic performance indices of the structures were examined. The results indicate that with increasing irregularity; stiffness, strength, ductility and energy dissipation capacity of the structure decreases while the relative inter-story drift increases.

Keywords: Non-parallel system irregularity, steel braced frame, seismic performance, nonlinear static analysis, nonlinear dynamic analysis



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license: (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).