



بررسی نامنظمی جرمی در ارتفاع با استفاده از تحلیل دینامیکی فزاینده

توحید اشکانی^۱، سینا کورهلی^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

^{۲*} استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران (s-kourehli@iau-ahar.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۲/۲۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۹/۰۱)

چکیده

در مقاله حاضر به بررسی تاثیر نامنظمی جرمی در ارتفاع ساختمان پرداخته شده است. برای نیل به این هدف دو قاب خمشی بتنی ۵ و ۱۰ طبقه به صورت دو بعدی در نرم افزار ساینمو استراکت مدل سازی شده و تحت تحریک ۷ شتابنگاشت مختلف قرار گرفته است. برای ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه ها از تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده استفاده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر کاهش ظرفیت لرزه ای سازه های با نامنظمی جرمی در ارتفاع گشته است و بنابراین پیشنهاد میگردد تا حد امکان از ایجاد نامنظمی جرمی در ارتفاع احتراز شود.

کلمات کلیدی

نامنظمی جرمی در ارتفاع، نرم افزار ساینمو استراکت، تحلیل دینامیکی فزاینده.



Investigation of Irregular Mass in Height for Structures using Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Tohid Ashkani ¹, Sina Kourehli ^{2*}

¹ M.Sc. of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

^{2*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran. (s-kourehli@iau-ahar.ac.ir)

(Date of received: 15/05/2018, Date of accepted: 22/11/2018)

ABSTRACT

In this paper, the effects of irregular mass in height for structures has been investigated. To achieve this goal, two five and ten stories concrete moment resisting frames are modeled using Seismostruct software and subjected to seven different accelerograms. To evaluate the seismic performance of the studied structures, incremental dynamic analysis (IDA) has been used. The results reveals that the seismic capacity of the irregularly structures reduced, and therefore, it is suggested that mass irregularity in height be avoided as much as possible.

Keywords:

Mass irregularity, Seismostruct software, Incremental dynamic analysis (IDA).



۱- مقدمه

امروزه در جهان، تعداد زیادی از ساختمانها در هنگام بهره برداری با تغییر کاربری مواجهه می گردند. مثلاً ممکن است در طبقات بالاتر، ادارات و یا انبارها بکار روند که به دنبال این تغییر کاربری ها جرم طبقات دچار تغییر می گردد. بنابراین احتمال نامنظمی جرم در پلان و طبقات ساختمان وجود دارد. برای بررسی سازه های فوق باید رفتار لرزه ای آنها مد نظر قرار گیرد. مناف پور و متقی [۱] به بررسی روشهای پیشرفته تحلیل استاتیکی غیرخطی مودال و مودی متوالی برای قاب های بتن آرمه روی سازه های با نامنظمی جرمی در پلان با تعداد طبقات متفاوت را ارزیابی کردند و پارامترهای لرزه ای سازه های مذکور را محاسبه کردند که ضمن مقایسه نتایج روشهای تحلیل استاتیکی غیرخطی با یکدیگر به این نتیجه رسیدند که روشهای پوش اور مودال و مودی متوالی تقاضای لرزه ای را با رد نظر گرفتن تأثیر مودهای بالاتر، تا حد قابل قبول برآورد می کند و در بررسی کیفی روش پوش اور مودال تقاضای لرزه ای بهتر از روش پوش اور مودال متوالی برآورد می کند. فخمی و بهفرنیا [۲] به ارزیابی منحنی شکنندگی لرزه ای قاب های خمشی فولادی ویژه با نامنظمی جرمی در ارتفاع پرداختند. آنها در این تحقیق شتاب طیفی پیروید اصلی سازه و جابه جایی زاویه ای را به ترتیب به عنوان مقیاس شدت زلزله و پارامتر تقاضای مهندسی انتخاب کردند و قابهایی با تعداد طبقات مختلف را آنالیز کردند که پاسخ لرزه ای مدل های سازه ای در یک وضعیت آماری برای ۳۰ زمین لرزه ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان میدهد که در حالت کلی، نامنظمی جرمی در سازه منجر به احتمال خرابی بیشتر در سازه میشود. نامنظمی در طبقات پایین سازه به نظر احتمال فروریزش سازه را افزایش میدهد. در مطالعه دیگری، ولیزاده لادی و یغمائی سابق [۳] به بررسی تأثیر نامنظمی در میزان آسیب پذیری ساختمانهای خمشی بتن آرمه پرداختند. آنها در این مقاله رفتار لرزه ای ساختمانهای بتن آرمه با سیستم قاب خمشی و با نامنظمی جرمی در ارتفاع را با استفاده از تحلیل های دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار داده اند که شاخص خسارت در ساختمانهای انتخابی، براساس شاخص معرفی شده توسط پارک وانگ، ارزیابی و نتایج حاصل با نتایج مربوط به ساختمانهای منظم مقایسه شده است. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که نسبت نامنظمی جرمی در اعمال در مدل های سازه ای تأثیر بسزایی به میزان شاخص خسارت ندارد و با تغییر نسبت های مذکور عموماً شاخص خسارت ثابت مانده است. اعمال نامنظمی در طبقه میانی باعث افزایش شاخص خسارت شده و این افزایش با اعمال رکوردهای زلزله های نزدیک گسل همچون بم و طیس ملموس می باشد. والماسون و ناو [۴] در سال ۱۹۹۷ به بررسی نامنظمی های گوناگون از جمله نامنظمی جرمی در ارتفاع پرداختند. آنها بر روی ساختمان های ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه با نسبت های جرمی ۰٫۱، ۰٫۵، ۱٫۵، ۲٫۰، ۵٫۰ مطالعات خود را انجام دادند. تحقیقات آنها نشان داد که تقاضای لرزه ای سازه های نامنظم جرمی از سازه های دارای نامنظمی در مقاومت بیشتر است. العلی و کرواینکلر [۵] در سال ۱۹۹۸ به بررسی ساختمان نامنظم جرمی ۱۰ طبقه با نسبت جرمی ۰٫۲۵، ۰٫۵، ۲٫۰، ۴٫۰ پرداختند. تحقیقات آنها نشان داد که پاسخ لرزه ای برای یک شدت مشابه، برای سازه های دارای نامنظمی در سختی نسبت به سازه های نامنظم جرمی حساس تر می باشد. کاراواسیلیس و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۸ به بررسی تقاضای تغییر شکل غیر الاستیک قاب های فولادی دو بعدی ۳، ۶، ۹، ۱۲ طبقه که دارای نامنظمی جرمی در ارتفاع است پرداختند. تحقیقات آنها نشان داد که توزیع ارتفاعی تغییر شکل های الاستیک یکنواخت است و تغییر شکل های غیر الاستیک در طبقات پایینی متمرکز می باشد. کین لی ترانگ و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۸ بیان کردند که نامنظمی جرمی موجود در سطوح بالایی سازه موجب میشود که دریافت زاویه ای ماکزیمم در طبقات بالایی اتفاق بیافتد.



۲- اصول و مبنای تحلیل غیر خطی دینامیکی فزاینده

در تحلیل استاتیکی خطی پاسخ سازه با فرض رفتار خطی مصالح بدست آمده و بارهای ناشی از زلزله به صورت ثابت در نظر گرفته می شوند و کل نیروی وارد بر سازه برابر با درصدی از وزن سازه می باشد. در تحلیل دینامیکی خطی پاسخ سازه با فرض رفتار خطی سازه در مد های ارتعاشی مختلف و از ترکیب آنها بدست می آید و فرض می شود زمان تناوب سازه در هر مد و در طول زلزله ثابت است. بار جانبی ناشی از زلزله در تحلیل استاتیکی غیر خطی به صورت استاتیکی و به تدریج و به شکل فزاینده به سازه اعمال می شود تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه خاص تحت اثر بار جانبی به مقدار مشخصی رسیده و سازه فرو بریزد. در تحلیل دینامیکی غیر خطی، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مصالح و رفتار غیر هندسی سازه محاسبه شده و فرض بر آن است که ماتریس سختی و میرایی از یک گام به بعد می تواند تغییر کند اما در طول هر گام زمانی ثابت بوده و پاسخ مدل با روش های عددی و برای هر گام زمانی محاسبه می شود. اگر چه تحلیل و ارزیابی خطی در حد الاستیک دید خوبی از ظرفیت سازه فراهم می آورد و موقعیت اولین نقطه تسلیم را در اختیار ما قرار می ده ، ولی قادر به پیش بینی مکانیزم شکست سازه و چگونگی باز توزیع نیروها در حین تسلیم های پی در پی نبوده و نتایج قابل اطمینانی در مورد میزان تغییر شکلهای پلاستیک و در نتیجه میزان آسیب های سازه ای در اختیار ما نمی گذارد. از این رو تحلیل سازه های جدید که نسبت به سازه های قدیمی پیچیده تر بوده و همچنین در ساختمانهای آسیب دیده که خصوصیات دینامیکی آنها بعد از زلزله تغییرات قابل توجهی پیدا می کند ، بررسی رفتار غیرخطی امری ضروری می باشد از طرفی با توجه به اینکه بیشتر سازه ها حین وقوع زلزله های متوسط و شدید وارد ناحیه غیر خطی می شوند لذا تخمین ظرفیت دقیق سازه نیازمند استفاده از روشهای کار آمدتر در علم تحلیل سازه می باشد که این امر منجر به تغییر روشهای تحلیل از استاتیکی خطی به دینامیکی خطی، استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی گردیده است . مراحل روش تحلیل دینامیکی فزاینده به شرح زیر می باشد:

انتخاب مدل سازه ای - انتخاب مبنای اندازه گیری خسارت - انتخاب مبنای اندازه گیری شدت زلزله - انتخاب رکورد های زلزله مناسب - مقیاس نمودن رکوردهای انتخابی - انتخاب نرم افزار مناسب جهت انجام تحلیل IDA - خلاصه سازی منحنی های IDA - تعیین سطوح عملکردی سازه و تفسیر پاسخ سیستم جهت بررسی رفتار سازه [۸]. مدل های سازه ای مورد استفاده بسته به نوع تحقیق می تواند از سازه های ساختمانی و یا غیر ساختمانی انتخاب شود. این سازه ها می توانند از نوع فلزی یا بتنی و یا ترکیبی بوده و نوع سیستم باربر آنها به صورت قاب ساده، خمشی و یا دوگانه باشد، که با استفاده از ضوابط لرزه ای و ضوابط خاص شکل پذیری آئین نامه های مورد استفاده در تحقیق طراحی می شوند.

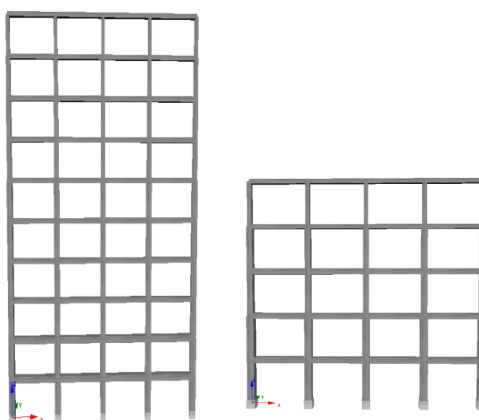
اندازه شدت حرکت زمین کمیت مقیاس پذیر از یک شتاب نگاشت است که در واقع تابعی از شتاب نگاشت اصلی می باشد که به صورت هماهنگ با افزایش یا کاهش شتاب نگاشت تغییر می یابد. مثال هایی از این کمیت که قابلیت مقیاس شدن دارند شامل ماکزیمم شتاب زمین و ماکزیمم سرعت حرکت زمین و شتاب طیفی در مد غالب ارتعاشی سازه با در نظر گرفتن نسبت میرایی ۵ درصد می باشد. کمیت های دیگری مانند بزرگی لنگر، مدت زمان اثر شتاب نگاشت و شدت اصلاح شده مرکالی توانایی بیان اندازه شدت حرکت زمین را داشته ولی به دلیل اینکه قابلیت مقیاس پذیری ندارند به عنوان پارامتر شدت زمین لرزه انتخاب نمی شوند. در هر صورت مناسبترین پارامتر IM پارامتری است که پراکندگی داده ها را کمتر نموده و جامعه آماری منظم تری از داده های تحلیل IDA حاصل نماید. شدت خرابی یک مقدار عددی مثبت است که خصوصیات پاسخ مدل سازه ای را در برابر بارهای لرزه ای مورد نظر بیان می کند. به عبارت دیگر شدت خرابی کمیتی است که می تواند از نتایج خروجی تحلیل دینامیکی غیر خطی برداشت شود. انتخاب یک شدت خرابی مناسب با توجه به عملکرد سازه انجام شده و برای سازه های ساختمانی، کمیت های مثل



ماکزیمم برش پایه ، چرخش های گره ای، حداکثر شکل پذیری طبقه، حداکثر تغییر مکان بام و یا شخص های متفاوتی مثل انرژی حداکثر هیستریزیس می تواند در نظر گرفته شود[۹].

۳- سازه های مورد مطالعه

نرم افزار های مختلفی قابلیت انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی افزاینده^۱ (IDA) را دارا هستند که در تحقیق حاضر از نرم افزار سائزمواستراکت^۲ استفاده شده است. نوع سازه های مورد مطالعه از نوع بتنی با سیستم قاب خمشی متوسط میباشد. سیستم سقف تیرچه بلوک می باشد. تعداد طبقات ۵ طبقه و ۱۰ طبقه میباشد. در این ساختمان برای بار گذاری لرزی ای از آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم استفاده شده است و برای بارگذاری ثقلی از نشریه ۵۱۹ استفاده شده است. نمایی از سازه های مورد مطالعه در شکل ۱ دیده می شود.



شکل ۱: نمای سازه

۴- ابعاد و مصالح استفاده شده

برای ساختمان ۵ طبقه در طبقات اول و دوم از ستون 50×50 و تیرهای 40×40 استفاده شده است و با افزایش طبقات چون از وزن طبقات نیز کم شده است از ستون ها و تیرهای ضعیف تری استفاده شده است. برای ساختمان ۱۰ طبقه نیز از این روال استفاده شده است. در جداول ۱ و ۲ ابعاد مقاطع بکار رفته ارائه شده است. در مطالعه حاضر برای در نظر گرفتن نامنظمی جرمی در ارتفاع، جرم طبقات ۵۰ درصد نسبت به طبقه مجاور افزایش یافته است بطوریکه در ساختمان ۵ طبقه، جرم طبقات ۲ و ۴ به اندازه ۵۰ درصد افزایش یافته و در ساختمان ۱۰ طبقه جرم طبقات ۲ و ۴ و ۶ و ۸ به اندازه ۵۰ درصد افزایش یافته است. با در نظر گرفتن بار مرده و زنده به اندازه ۵۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و اندازه دهانه برابر ۵ متر، بار گسترده ۲/۹۵ و ۴/۴۲۵ تن بر متر بر روی تیرهای طبقات فرد و زوج اعمال می گردد.

¹ Incremental dynamic analysis (IDA)

² SEISMO STRUCT



جدول ۱: ابعاد سازه ۵ طبقه مورد مطالعه

طبقات	المان ستون (سانتی متر)	المان تیر (سانتی متر)
طبقات اول و دوم	۵۰×۵۰	۴۰×۴۰
طبقات سوم و چهارم	۴۰×۴۰	۴۰×۴۰
طبقه پنجم	۳۰×۳۰	۳۰×۳۰

جدول ۲: ابعاد سازه ۵ طبقه مورد مطالعه

طبقات	المان ستون	المان تیر
طبقات اول و دوم	۶۰×۶۰	۶۰×۵۰
طبقات سوم و چهارم	۵۵×۵۵	۵۰×۴۰
طبقات پنجم و ششم	۵۰×۵۰	۴۵×۴۰
طبقات هفتم و هشتم	۴۵×۴۵	۴۵×۴۰
طبقه نهم	۴۰×۴۰	۴۵×۴۰
طبقه دهم	۳۵×۳۵	۴۰×۳۵

۵- تعریف شتابنگاشت

همانطوریکه در جدول ۳ نشان داده شده است، برای انجام تحلیل های دینامیکی از هفت شتاب نگاشت مختلف استفاده شده است. این ۷ شتاب نگاشت جداگانه هم برای سازه های با نامنظمی جرمی در ارتفاع و هم برای سازه منظم جرمی در طبقات استفاده شده است.

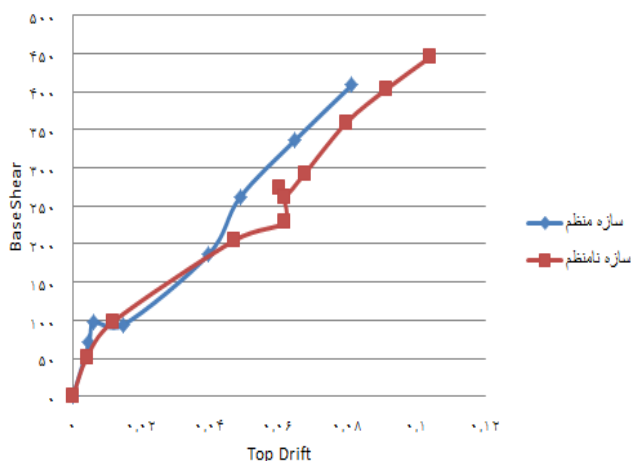
جدول ۳: مشخصات شتاب نگاشت های بکار رفته

شماره	نام رکورد	مکان	حداکثر شتاب زمین (g)
۱	نورسریدج ، ۱۹۹۴	بالدوین هیلز	۰/۲۲۹
۲	امپریال ، ۱۹۷۹	کامپورتاس	۰/۱۴۷
۳	امپریال ، ۱۹۷۹	شهر پلاستر	۰/۰۵۷
۴	لاما پریتا ، ۱۹۸۹	شهر هالستر	۰/۲۷۹
۵	سان فمادو ، ۱۹۷۱	هالیوود	۰/۱۷۴
۶	لاما پریتا ، ۱۹۸۹	کیوتو	۰/۱۷۹
۷	امپریال ، ۱۹۷۹	کوکاپا	۰/۳۰۹

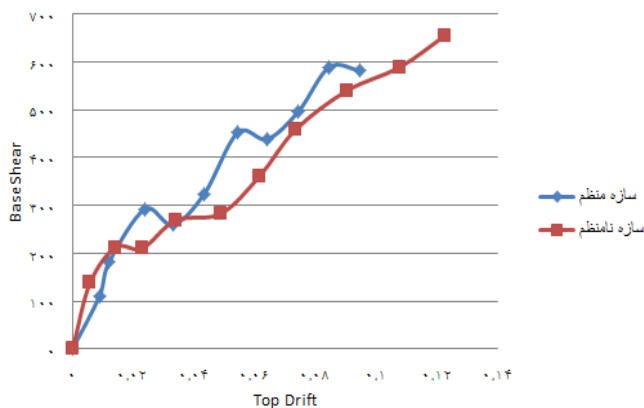


۶- جمع بندی و نتیجه گیری

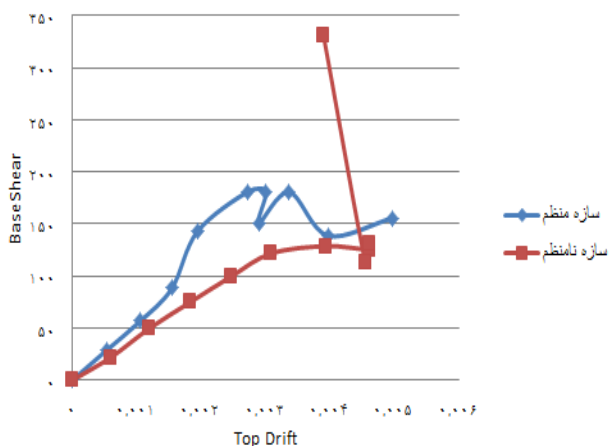
نتایج مربوط به تحلیل های دینامیکی فزاینده مربوط به شتابنگاشت های مختلف برای سازه های ۵ و ۱۰ طبقه در اشکال ۳ الی ۱۶ نشان داده شده است. با مقایسه منحنی های مربوط به تحلیل های دینامیکی غیر خطی ملاحظه می شود که نامنظمی در ارتفاع باعث کاهش ظرفیت لرزه ای در اغلب موارد گشته است. نتایج بدست آمده بیانگر کاهش ظرفیت لرزه ای سازه های با نامنظمی جرمی در ارتفاع گشته است و بنابراین پیشنهاد می گردد تا حد امکان از ایجاد نامنظمی جرمی در ارتفاع احتراز شود.



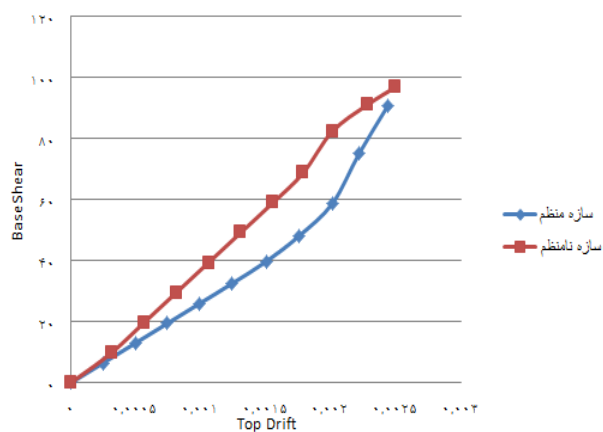
شکل ۳: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۱ ساختمان ۵ طبقه



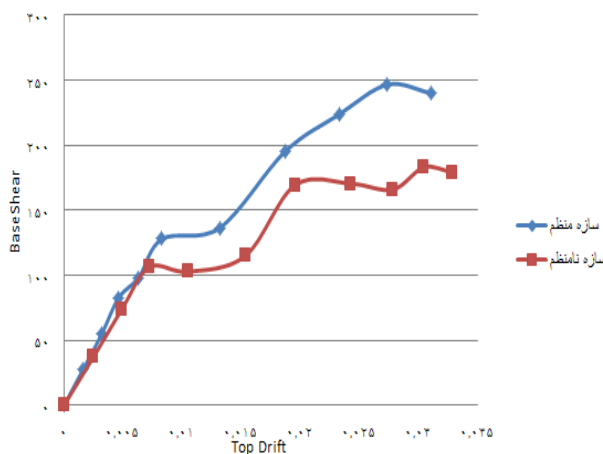
شکل ۴: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۲ ساختمان ۵ طبقه



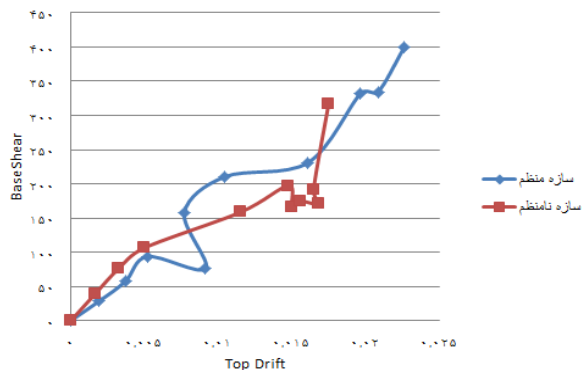
شکل ۵: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۳ ساختمان ۵ طبقه



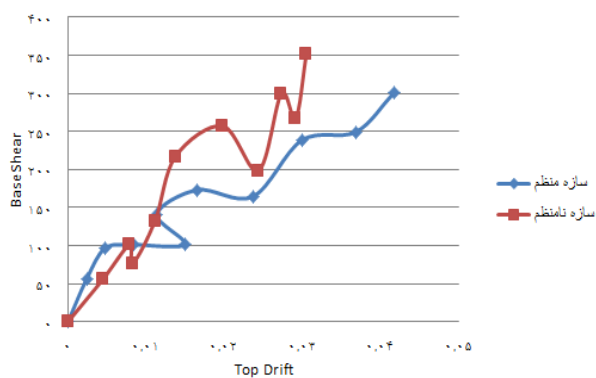
شکل ۶: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۴ ساختمان ۵ طبقه



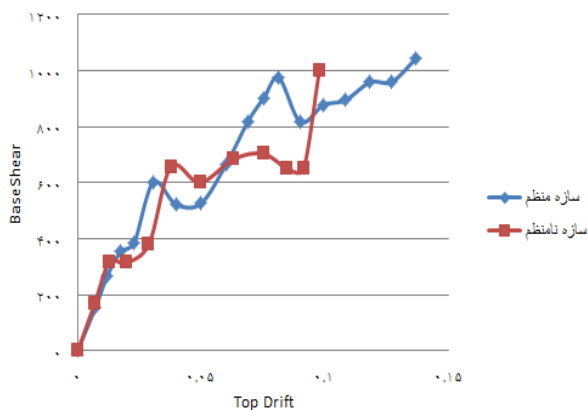
شکل ۷: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۵ ساختمان ۵ طبقه



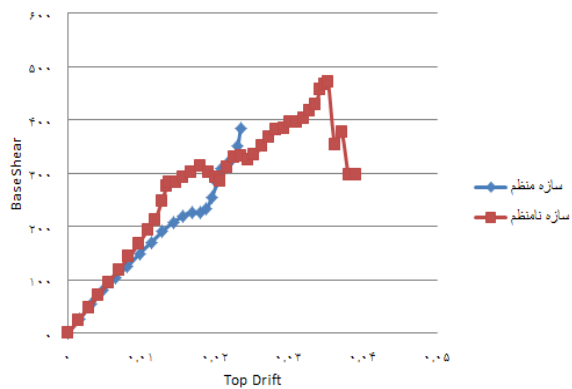
شکل ۸: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۶ ساختمان ۵ طبقه



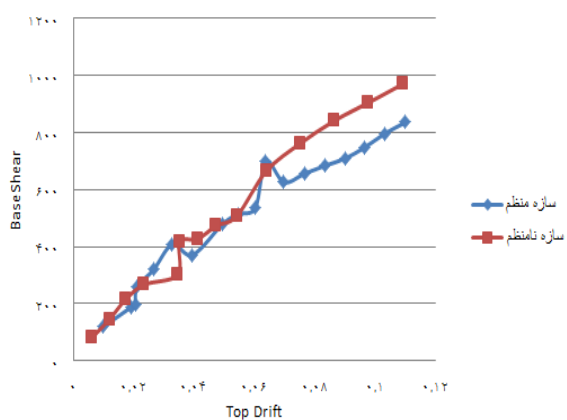
شکل ۹: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۷ ساختمان ۵ طبقه



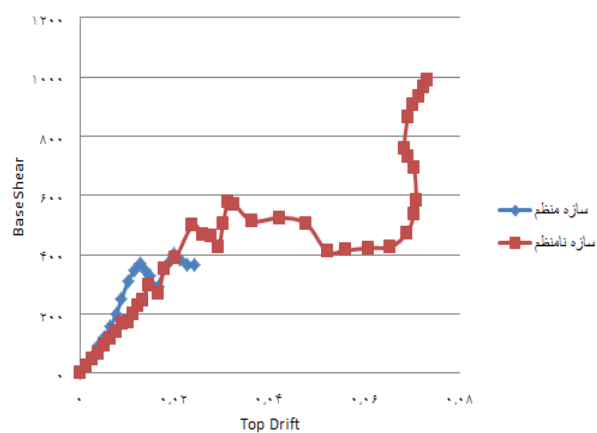
شکل ۱۰: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۱ ساختمان ۱۰ طبقه



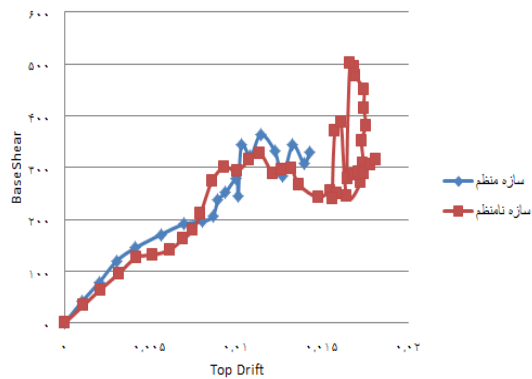
شکل ۱۱: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۲ ساختمان ۱۰ طبقه



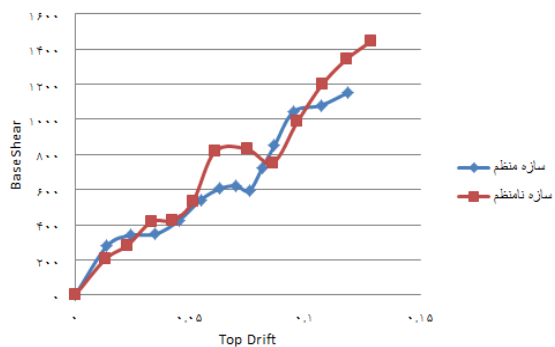
شکل ۱۲: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۳ ساختمان ۱۰ طبقه



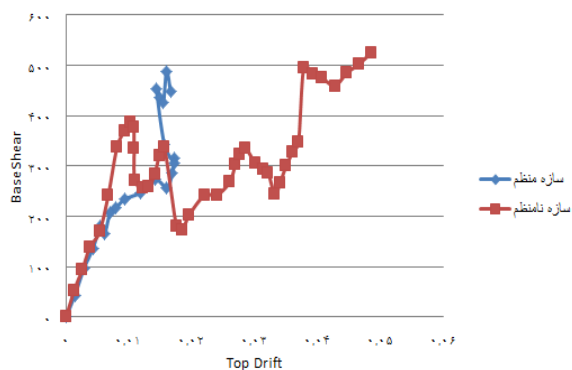
شکل ۱۳: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۴ ساختمان ۱۰ طبقه



شکل ۱۴: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۵ ساختمان ۱۰ طبقه



شکل ۱۵: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۶ ساختمان ۱۰ طبقه



شکل ۱۶: مقایسه نمودار شتاب نگاشت ۷ ساختمان ۱۰ طبقه



۷- مراجع

- [۱]- علیرضا مناف پور و مرسل متقی، ۱۳۹۴، بررسی روشهای پیشرفته تحلیل استاتیکی غیرخطی مودال و مودی متوالی برای قاب های بتن آرمه سه بعدی با نامنظمی جرمی در پلان، کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر، تبریز
- [۲]- فحیمی، امیرحسین و کیاچهر بهفرنیا، ۱۳۹۲، ارزیابی منحنی شکنندگی لرزه ای قابهای خمشی فولادی ویژه با نامنظمی جرمی در ارتفاع، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- [۳]- ولیزاده لادی، حمیدرضا و سامان یغمایی سابق، ۱۳۹۰، بررسی تاثیر نامنظمی جرمی در میزان آسیب پذیری ساختمان های خمشی بتن آرمه، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.

[4]- Valmundsson, E. V., & Nau, J. M. (1997). **Seismic response of building frames with vertical structural irregularities**. Journal of Structural Engineering, 123(1), 30-41.

[5]- Al-Ali, A. A., & Krawinkler, H. (1998). **Effects of vertical irregularities on seismic behavior of building structures**. John A. Blume Earthquake Engineering Center.

[6]- Karavasilis, T. L., Bazeos, N., & Beskos, D. E. (2008). **Estimation of seismic inelastic deformation demands in plane steel MRF with vertical mass irregularities**. Engineering structures, 30(11), 3265-3275.

[7]- Le-Trung, K., Lee, K., & Lee, D. H. (2008). **Seismic Behavior and Evaluation of Steel SMF Buildings with Vertical Irregularities**. In 14th World Conference on Earthquake Engineering, China.

[8]- American Society of Civil Engineers. (1994). **Minimum design loads for buildings and other structures** (Vol. 7). Amer Society of Civil Engineers.

[9]- AISC, A. (2005). AISC 341-05. **Seismic provisions for structural steel buildings**. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction.