

## Effect of different angles of rotation of bearing system with irregular application of non-parallel systems in concrete building with dual bearing system

Mehdi Khoshvatan<sup>1</sup>, Majid Pouraminian<sup>2\*</sup>

1- Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

2- Assistant Prof., Department of Civil Engineering, Ramsar Branch, Islamic Azad University, Ramsar, Iran

### ABSTRACT

*In the present paper, the effect of rotation with different angles in the Structural bearing system was investigated by irregular non-parallel systems in the concrete structure with the dual design bearing system of the moment frame and the concrete shear wall. Dynamic analysis of the time history of the structure under seven earthquake accelerometers was used. The structure was examined in two different modes, first without rotation in the bearing system and analyzed at an angle of zero degrees. Then, the bearing system was seismically analysed by rotating at angles of 15, 30, and 45 degrees to create irregularities in non-parallel systems. The results of structural behavior were performed by comparing the values of base shear, drift, and torsion effect in the structure. The results of the present study showed that the amount of drift and base shear of the structure in the state that has irregularity of non-parallel systems in the structure is more than the state of the structure without irregularity of the non-parallel system. Comparing the amount of base shear for the angles and other modes increases the amount of base shear by increasing the rotation angle of the bearing system, which increases the amount of rotation angle, imposes more force on the structure. The amount of base shear for the angle of 30 degrees of rotation of the Structural bearing system in the main direction of the building is more than other angles. The presence of a angle in the Structural bearing system increases the relative displacement in the structure. The analysis results also showed that the non-parallelism of the central core of the structure reduces the lateral bearing capacity of the whole system. As a general conclusion, it can be stated that the higher the rotation angle of the bearing system, the higher the amount of displacement and drift, which is the most critical state for the 30-degree angle and the best performance in the structure for the zero degrees angle.*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 18 May 2021

**Revise Date:** 19 August 2021

**Accept Date:** 24 October 2021

**Keywords:** Irregularity of non-parallel systems  
seismic loads  
base shear  
dynamic analysis  
dual system  
RC building

doi: 10.22065/JSCE.2021.286777.2457

\*Corresponding author: Majid Pouraminian.  
Email address: m.pouraminian@iauramsar.ac.ir

## اثر زوایای مختلف چرخش سیستم باربر با اعمال نامنظمی سیستم‌های غیرموازی در ساختمان بتنی با سیستم باربر دوگانه

مهدی خوش وطن<sup>۱</sup>، مجید پورامینیان<sup>۲\*</sup>

۱ گروه مهندسی عمران، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران  
۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران

### چکیده

در مقاله حاضر، تأثیر زوایای متفاوت چرخش سیستم باربر سازه با اعمال نمودن نامنظمی سیستم‌های غیرموازی در ساختمان بتنی با سیستم باربر دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی مورد بررسی قرار گرفت. از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه مورد بررسی تحت ۷ شتاب‌نگاشت زلزله استفاده شد. سازه در دو حالت مختلف بررسی شد، ابتدا سازه طراحی و بدون چرخش در سیستم باربر تحلیل و رفتار سازه بررسی شد. سپس، سیستم باربر با چرخش در زاویه ۱۵،۳۰ و ۴۵ درجه برای ایجاد نامنظمی سیستم‌های غیرموازی تحلیل لرزه‌ای شد. نتایج رفتار سازه با مقایسه مقادیر برش پایه، دریافت و اثر پیچش در سازه برای زوایای مختلف چرخش هسته سیستم باربر انجام شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار دریافت و برش پایه سازه در حالتی که در سازه دارای نامنظمی سیستم‌های غیرموازی است بیشتر از حالت سازه بدون نامنظمی سیستم ناموازی است. در مقایسه مقدار برش پایه برای حالت بدون زاویه و سایر حالت‌ها با افزایش زاویه چرخش سیستم باربر مقدار برش پایه افزایش می‌یابد که افزایش زاویه چرخش مقدار نیروی بیشتری را به سازه تحمیل می‌کند. مقدار برش پایه برای زاویه ۳۰ درجه چرخش سیستم باربر سازه در راستای اصلی ساختمان از دیگر زوایا بیشتر است. وجود زاویه در سیستم باربر سازه، باعث افزایش جابجایی نسبی در سازه می‌شود. همچنین نتایج تحلیل نشان داد که عدم موازی بودن هسته مرکزی سازه، ظرفیت باربری جانبی کل سیستم را کاهش می‌دهد. به‌عنوان نتیجه گیری کلی می‌توان اظهار داشت که هرچه زاویه چرخش سیستم باربر بیشتر شود مقدار جابجایی و دریافت افزایش می‌یابد که برای زاویه ۳۰ درجه بحرانی‌ترین حالت و برای زاویه صفر درجه بهترین عملکرد در سازه وجود دارد.

کلمات کلیدی: نامنظمی سیستم‌های غیرموازی، بارهای لرزه‌ای، برش پایه، تحلیل دینامیکی، قاب بتن مسلح

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi:
۱۴۰۰/۰۲/۲۸	۱۴۰۰/۰۵/۲۸	۱۴۰۰/۰۸/۰۲	۱۴۰۰/۰۸/۰۲	۱۴۰۱/۰۳/۳۱	10.22065/JSCE.2021.286777.2457
*نویسنده مسئول:		مجید پورامینیان			
پست الکترونیکی:		m.pouraminian@iauramsar.ac.ir			

## ۱- مقدمه

موضوع مهم در مهندسی زلزله تعیین عملکرد و ارزیابی سازه و اجزا آن برای تعیین ظرفیت و نیاز لرزه‌ای می‌باشد. دست یابی به این هدف نیازمند استفاده از روش‌های تحلیلی است که بتوان با استفاده از آن‌ها رفتار سازه و اجزا آن و همچنین حرکت ناشی از زمین لرزه را به خوبی مدل نمود. روش‌های تحلیل رایج به‌طور کلی به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند. هر کدام از این روش‌های تحلیل به‌صورت استاتیکی یا دینامیکی قابل انجام هستند. در تحلیل استاتیکی خطی پاسخ سازه با فرض رفتار خطی مصالح به دست آمده و بارهای ناشی از زلزله به‌صورت ثابت در نظر گرفته می‌شوند و کل نیروی وارد بر سازه برابر با درصدی از وزن سازه می‌باشد. در تحلیل دینامیکی خطی پاسخ سازه با فرض رفتار خطی سازه در مدهای ارتعاشی مختلف و از ترکیب آن‌ها به دست می‌آید و فرض می‌شود زمان تناوب سازه در هر مد و در طول زلزله ثابت است. بار جانبی ناشی از زلزله در تحلیل استاتیکی غیرخطی به‌صورت استاتیکی و به تدریج و به شکل فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه خاص تحت اثر بار جانبی به مقدار مشخصی رسیده و سازه فروبریزد. در تحلیل دینامیکی غیرخطی، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیر هندسی سازه محاسبه شده و فرض بر آن است که ماتریس سختی و میرایی از یک گام به بعد می‌تواند تغییر کند اما در طول هر گام زمانی ثابت بوده و پاسخ مدل با روش‌های عددی و برای هر گام زمانی محاسبه می‌شود. اگرچه تحلیل و ارزیابی خطی در حد الاستیک دید خوبی از ظرفیت سازه فراهم می‌آورد و موقعیت اولین نقطه تسلیم را در اختیار ما قرار می‌دهد، ولی قادر به پیش بینی مکانیزم شکست سازه و چگونگی باز توزیع نیروها در حین تسلیم‌های پی در پی نبوده و نتایج قابل اطمینانی در مورد میزان تغییر شکل‌های پلاستیک و در نتیجه میزان آسیب‌های سازه‌ای در اختیار ما نمی‌گذارد. از این رو تحلیل سازه‌های جدید که نسبت به سازه‌های قدیمی پیچیده‌تر بوده و همچنین در ساختمان‌های آسیب دیده که خصوصیات دینامیکی آن‌ها بعد از زلزله تغییرات قابل توجهی پیدا می‌کند، بررسی رفتار غیرخطی امری ضروری می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه بیشتر سازه‌ها حین وقوع زلزله‌های متوسط و شدید وارد ناحیه غیرخطی می‌شوند لذا تخمین ظرفیت دقیق سازه نیازمند استفاده از روش‌های کارآمدتر در علم تحلیل سازه می‌باشد که این امر منجر به تغییر روش‌های تحلیل از استاتیکی خطی به دینامیکی خطی، استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی گردیده است. که البته وقوع این امر در گرو افزایش قدرت پردازش کامپیوترها بوده است. عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند پیش بینی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها به دو گروه عمده تقسیم می‌شود. عدم قطعیت ناشی از طبیعت ذاتی زمین لرزه، عدم قطعیت ناشی از نقص در تکنیک‌های مدل سازی و تحلیل سازه‌ها. گروه اول از نوع عدم قطعیت‌های تصادفی بوده و برای کاهش این عدم قطعیت باید اثر تغییر رکورد زمین لرزه بر پاسخ سازه‌ای را با انجام آنالیزهای دینامیکی برآورد نمود. گروه دوم که بانام عدم قطعیت‌های مدل سازی شناخته می‌شوند، ناشی از ساده سازی‌های انجام گرفته در مدل سازی اجزای سازه‌ای و نیز نداشتن شناخت کافی از تمامی مکانیسم‌های مؤثر بر عملکرد سازه‌ای است. یکی از عوامل مهم و اثرگذار رفتار سازه وجود نامنظمی در سازه است. نامنظمی سیستم باربر سازه به روش دینامیکی انجام گرفته است.

آبراهام و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتنی مسلح دارای حالت‌های مختلف نامنظمی پرداختند. آن‌ها یک قاب منظم نه طبقه باحالت‌های مختلف نامنظمی ۵۴ مدل سازه را تحلیل کردند. نتیجه گیری کردند که بی‌نظمی به‌طور قابل توجهی بر پاسخ لرزه‌ای تأثیر می‌گذارد. از بین انواع نامنظمی مورد بررسی، نامنظمی ناشی از سختی بیشترین تأثیر را در پاسخ دارد. نامنظمی ترکیبی جرم و سختی بیشترین تأثیر را در افزایش حداکثر پاسخ سازه دارد [3].

مانوکاس (۲۰۱۹) به بررسی روشی جدید تحلیل پوش آور توسعه یافته را برای سازه‌های نامنظم در ارتفاع پرداخت. در روش پیشنهاد شده او سازه هم‌زمان تحت اثر دو مؤلفه زلزله قرار می‌گیرد. او روش پیشنهادی را برای چهار ساختمان نامتقارن در پلان و نامنظم ساختمان‌های بتنی ارتفاعی بررسی کرد. مقادیر پاسخ انتخاب شده با مقادیر حاصل از روش پیشنهادی با تحلیل پوش آور متعارف مقایسه و تحلیل دینامیکی غیرخطی مقایسه می‌شود. نتیجه گیری کردند اعمال زلزله در جهت به‌صورت هم‌زمان برای سازه‌های با نامنظمی جرمی نتایجی مناسب و با دقت قابل قبولی ارائه می‌دهد [4].

کانسلارا و آنجلس (۲۰۱۹) رفتار دینامیکی سازه‌های چند طبقه دارای نامنظمی زیاد در نقشه را بررسی کردند. در این راستا، دو نوع تحلیل دینامیکی انجام دادند که شامل یک تحلیل دینامیک با طیف پاسخ و یک تحلیل دینامیکی غیرخطی شد. نتایج به صورت تغییر شکل و برش پایه در سطوح مختلف و تنش‌ها با تمرکز بر گشتاور خمش، و برش در ستون‌ها و تیرها و نیروی محوری در ستون‌ها دادند [5]. خزایی و همکاران (۲۰۲۰) عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده در ساختمان‌های بلند و منظم و نامنظم فولادی L- و U شکل، با ۱۰ و ۲۰ طبقه را بررسی کردند. تجزیه و تحلیل تاریخچه زمان غیرخطی نیز برای ارزیابی اثرات میراگر جرمی کاهش یافته بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها از نرم افزار SAP2000 و الگوریتم ژنتیک در MATLAB استفاده کردند. نتایج تعیین مکان بهینه میراگر جرمی در مدل‌های مختلف نشان داد دهنده اهمیت تقارن میراگر را نسبت به مرکز جرم ساختمان بود [6].

ساتینیش و همکاران (۲۰۲۰) اثر خارج از مرکز بودن در برنامه ساختمان‌های نامنظم سختی عمودی تحت بارگذاری زلزله بررسی کردند. تجزیه و تحلیل گذرا بر روی قاب‌های سه بعدی ساختمان با بی‌نظمی‌های سختی در نقشه و همچنین در امتداد ارتفاع با قرار دادن آن‌ها در معرض بارگذاری لرزه‌ای انجام دادند و پاسخ پیچشی تنظیمات نامنظم از نظر تغییرات در دوره طبیعی، برش پایه، سقف ارزیابی کردند. طبقه نرم در پایه ساختمان مهم‌ترین موردی است که در صورت ترکیب با نامنظمی ناشی از سختی در سازه‌های مورد بررسی بیشترین تأثیر را بر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها می‌گذارد. آن‌ها ضریب جدیدی برای تعیین کمیت بی‌نظمی در یک ساختمان نامنظم سختی عمودی بر اساس ابعاد هندسی آن، خارج از مرکز بودن سختی در نقشه و محل بی‌نظمی سختی در طول ارتفاع نیز پیشنهاد دادند [7].

ایشناک و همکاران (۲۰۲۱) یک روش برای تفکیک سریع برای ساختمان‌های عمودی نامنظم بر اساس شاخص آسیب پذیری لرزه‌ای ارائه دادند. تجزیه و تحلیل طیف پاسخ سه بعدی ساختمان‌های بتن‌آرمه با استفاده از نرم افزار STAAD Pro و مقادیر شاخص آسیب پذیری لرزه‌ای (SVI) برای مقایسه آسیب پذیری‌های لرزه‌ای با توجه به بی‌نظمی‌های عمودی انجام دادند. نتیجه گیری کردند که نامنظمی جرم در نزدیکی ارتفاع وسط ساختمان یا نامنظمی سختی در وسط ساختمان مهم‌تر است. عدم تقارن ارتفاعی بالاتر از اواسط، آسیب پذیری لرزه‌ای ساختمان را کاهش می‌دهد. نتیجه گرفتند که وجود نامنظمی سختی بسیار مهم‌تر از نامنظمی جرم یا هندسی است [8].

ماریو و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر خصوصیات مکانیکی بتن در ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های نامنظم RC پرداختند. نقش مقاومت بتن مؤثر در ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های RC بررسی کردند. مقاومت بتن پس از تحقیق گسترده در مورد عناصر سازه‌ای مورد مطالعه، به عنوان مثال یک ساختمان موجود واقع در ایتالیا که در حال حاضر به عنوان بیمارستان استفاده می‌شود، توصیف کردند. عملکرد لرزه‌ای ساختمان با اشاره به سه حالت محدود مختلف، با نشان دادن پاسخ ساختاری از طریق یک تجزیه و تحلیل استاتیک غیرخطی و مقایسه حداکثر چرخش وتر و تنش برشی با مقادیر محدود مربوط به مقاومت بتن فرض شده هر یک از اعضا، پیدا شده است. اثرات توزیع واقعی مقاومت بتن در نهایت با مقایسه عملکرد لرزه‌ای به دست آمده از طریق سه فرضیه مختلف برای توزیع مقاومت بتن بررسی شده است [9].

خانال و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های ساختمان L شکل از طریق نامنظمی در پلان پرداختند. نتایج نشان داد که ساختمان‌های دارای نامنظمی ساختاری در پلان نسبت به مدل سازه متقارن نسبت به زاویه متفاوت طیف پاسخ ورودی حساسیت بیشتری دارند. افزایش قابل توجهی در تقاضای پاسخ لرزه‌ای زمانی مشاهده شد که مدل‌های المان محدود در مقایسه با زاویه صفر درجه زلزله تحت یک زاویه ۱۳۵ درجه قرار گرفتند. نتیجه گیری کردند که دوره زمانی اساسی سازه بر اساس کد استاندارد، مقدار کمتری را در مقایسه با رویکرد المان محدود نشان می‌دهد که برای محاسبه بی‌نظمی‌های موجود در ساختمان‌ها، مقررات کد فعلی کافی نیستند و باید اصلاح شوند [10].

دانیلا (۲۰۲۰) روش تجزیه و تحلیل استاتیک غیرخطی برای سازه‌های مقاوم در برابر ساختمان از طریق جداسازی لرزه‌ای را بررسی کرد. بر اساس منحنی‌های ظرفیت، سازه پایه ثابت و سیستم جداسازی پیشنهادی، منحنی F-D سازه برای حالت با جداساز را محاسبه کرد. بر اساس روش تجزیه و تحلیل استاتیک غیرخطی پیشنهادی، نقطه عملکرد سازه لرزه‌ای ساختمان جدا شده تعیین کرد [11]. لی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی رفتار لرزه‌ای و خطر فروریزش قاب‌های RC با توزیع نامنظم میانقاب آجری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهبود نسبت SCWB فریم‌های RC با پر کردن میانقاب آجری نامنظم می‌تواند شاخص مقدار برش پایه بین طبقه را تحت زمین لرزه کاهش دهد که این موضوع از شکست ضعیف سازه جلوگیری می‌کند. نسبت تیر ضعیف به ستون قوی در فریم‌های RC با میانقاب آجری نباید کمتر از ۱٫۵ باشد [12].

ایوانی و مقدم (۲۰۲۰) به بررسی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های پیچشی با توجه به امکان انعطاف پذیری دیافراگم پرداختند. مدل‌های تحلیلی مورد استفاده در مطالعه آن‌ها ساختمان‌های یک طبقه دارای پلان نامتقارن و دیوارهای برشی RC بودند. نتایج آن‌ها نشان داده که علاوه بر اثرات شناخته شده قبلی انعطاف پذیری دیافراگم، وجود عناصر جانبی متعامد در طول روش طراحی با فرض دیافراگم سخت و کاهش سریع در نیروهای جذب شده آن‌ها نیز می‌تواند منبع مهمی برای افزایش خطاهای ناشی از انعطاف پذیری باشد. بر این اساس، از نتایج به دست آمده پیشنهاد دادند که در طراحی‌های معمول خود، امکان انعطاف پذیری دیافراگم و اثرات سو آن خصوصاً در سیستم‌های مهار پیچشی، در نظر گرفته شود [13].

پاسخ سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای، در حالتی که سازه دارای نامنظمی باشد مورد توجه قرار می‌گیرد. تغییر زاویه سیستم باربر می‌تواند در رفتار لرزه‌ای سازه تفاوت ایجاد کند، که این تفاوت در رفتار سازه، در زوایای مختلف چرخش سیستم باربر مشخص خواهد بود. نامنظمی‌های مختلف در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است، اما در خصوص سیستم‌های باربر غیرموازی آیین نامه ۲۸۰۰ توضیح مختصری داده و به‌ندرت پژوهشی در این مورد صورت گرفته است. لذا با توجه به اهمیت موضوع، در مقاله حاضر بررسی اثر زوایای چرخش مختلف سیستم باربر با اعمال نامنظمی سیستم‌های غیرموازی در ساختمان بتنی با سیستم باربر دوگانه انجام شده است.

درک رفتار سیستم‌های دارای سیستم باربر جانبی غیرموازی در برابر بارهای زلزله و استفاده از نتایج حاصل از تحلیل این سیستم‌ها در طراحی بهینه ساختمان‌های دارای شرایط مشابه موضوعی بسیار مهم در بحث طراحی لرزه‌ای است. هدف از ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها تعیین مقادیر تقاضا شامل متغیرهایی از قبیل مقادیر تنش، میزان جابجایی، چرخش، وضعیت مفاصل پلاستیک تحت اثر بارهای ناشی از زمین لرزه می‌باشد. در تحلیل و طراحی سازه‌ها بر طبق نوع و نحوه اعمال بارهای وارد بر سازه و نیز فلسفه طراحی لرزه‌ای و نیز وقوع رفتار غیرخطی تحت نیروهای وارد بر سازه در اثر زمین لرزه، باهدف تعیین رفتار دقیق و صحیح سازه لازم است تا از روش‌های مختلف تحلیل دینامیکی استفاده گردد. اثر نامنظمی در به‌کارگیری سیستم‌های سازه‌ای تأثیر زیادی در عملکرد سازه دارد و برای کنترل و بهبود رفتار سازه جزو مباحث مهم و ارزشمند مهندسی عمران می‌باشد.

تحقیق حاضر به بررسی تأثیر سیستم‌های ناموازی با تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی برای سازه‌های دارای سیستم سازه‌ای دوگانه قاب خمشی بتنی و دیوار برشی بتنی می‌پردازد.

## ۲- نامنظمی

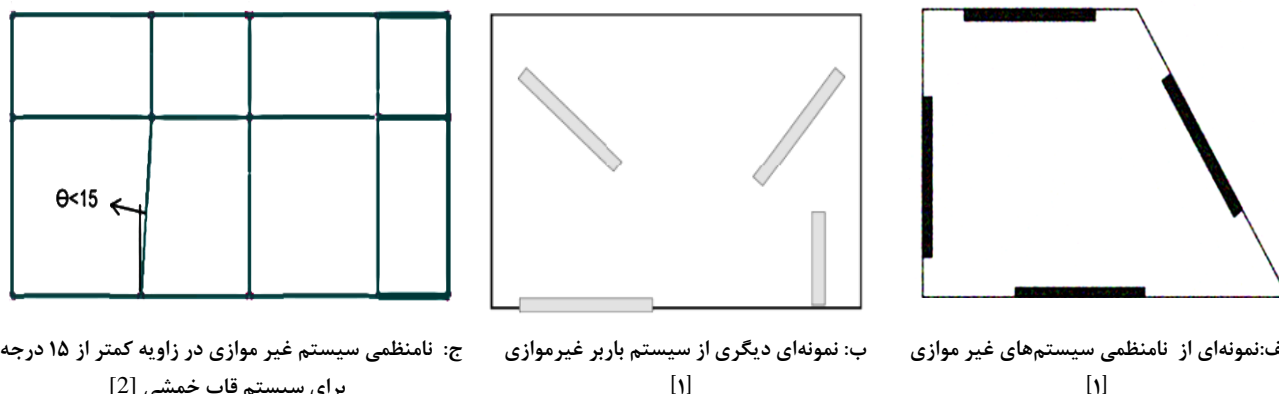
تغییر ناگهانی در مقاومت، سختی و جرم، در پلان و ارتفاع می‌تواند باعث توزیع نامناسب نیروی جانبی و توزیع نامطلوب تغییر شکل‌ها گردد که بهتر است از آن احتراز شود. مشکل رایج در چنین ناپیوستگی‌هایی، تمرکز تغییر شکل‌های غیر الاستیک در محل ناپیوستگی و ناحیه اطراف آن می‌باشد [1]. در شکل‌های ۱ و ۲ انواع نامنظمی به استناد آیین نامه ۲۸۰۰ در ساختمان‌ها به‌صورت شماتیک نشان داده شده است [1].



شکل ۲: تصویر شماتیک دسته بندی انواع نامنظمی در ارتفاع [1]

شکل ۱: تصویر شماتیک دسته بندی انواع نامنظمی در پلان [1]

در پلان نشان داده شده در شکل ۳ به دلیل مایل بودن قاب خمشی مایل در هر دو راستای X و Y سختی داشته و سهمی از نیروی زلزله خواهد داشت که این اتفاق از نظر مهندسی ایده آل نبوده و نامنظمی به حساب می‌آید یعنی اگر اجزای قائم سیستم باربر جانبی به موازات محورهای متعامد اصلی ساختمان نباشد سازه در پلان نامنظم محسوب می‌شود. شکل ۳ نمونه‌ای از نامنظمی سیستم‌های غیر موازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمونه‌هایی از انواع نامنظمی سیستم‌های غیر موازی

در مواردی که بعضی اجزای قائم باربر جانبی به موازات محورهای متعامد اصلی ساختمان نباشد نامنظمی سیستم غیر موازی رخ می‌دهد. نمونه‌ای از نامنظمی سیستم غیر موازی در شکل ۳ نشان داده شده است. وجود این نامنظمی در توزیع نیروهای ناشی از زلزله بین عناصر مقاوم و شکل مودهای ساختمان اثرات قابل توجهی می‌گذارد. توصیه می‌گردد در صورت ایجاد این نامنظمی در ساختمان با هر تعداد طبقه از تحلیل دینامیکی استفاده شود.

### ۳- ضرورت تحقیق

در این تحقیق نشان داده می‌شود، که چرخش سیستم باربر سازه در زوایای مختلف چه تأثیری می‌تواند بر پاسخ سازه داشته باشد، و این تأثیر در کنترل پاسخ‌های سازه افزایشی است یا کاهشی می‌باشد.

پاسخ سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای، در حالتی که سازه دارای نامنظمی باشد مورد توجه قرار می‌گیرد. تغییر زاویه سیستم باربر می‌تواند در رفتار لرزه‌ای سازه تفاوت ایجاد کند، که این تفاوت در رفتار سازه، در زوایای مختلف چرخش سیستم باربر مشخص خواهد بود. از آنجا که رفتار سازه در واقعیت غیرخطی است، در این پژوهش با در نظر گرفتن تغییر زوایای سیستم باربر با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی، به منظور تحلیل تاریخچه زمانی سازه تحت شتاب زلزله، رفتار لرزه‌ای سازه را بررسی خواهیم کرد. نامنظمی، یکی از مهم‌ترین نکات در طراحی سازه‌ها می‌باشد. نامنظمی به دلایل مختلفی ممکن است در سازه رخ دهد، که یکی از نامنظمی‌هایی که تا کنون تحقیقات چندانی در مورد اثر آن بر رفتار سازه صورت نگرفته، نامنظمی سیستم‌های باربر غیر موازی است. حال با توجه به اهمیت نامنظمی سیستم باربر غیر موازی و اهمیت بررسی تأثیر زوایای مختلف چرخش سیستم باربر، اهمیت و ارزش این تحقیق نمایان خواهد شد، که در چنین شرایطی پاسخ‌های سازه چه تغییراتی خواهد داشت، و می‌توان با مقایسه این تغییرات، طراحی سازه‌ها و ابعاد مقاطع را به شکل بهینه پیش برد.

نامنظمی‌های مختلف در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است، اما در خصوص سیستم‌های باربر غیر موازی آیین نامه ۲۸۰۰ توضیح مختصری داده و به ندرت پژوهشی در این مورد صورت گرفته است.

## ۴- روش تحقیق

در این تحقیق از یک سازه با سیستم باربر ترکیبی قاب خمشی و دیوار بتنی با تغییر در زاویه دیوار برشی در سازه مورد مطالعه و مقایسه قرار می‌گیرد. سازه مورد مطالعه، ابتدا طراحی شد و سپس هسته مرکزی سازه در زوایای مختلف چرخانده شده است. سقف طبقات به صورت دال دوطرفه به ضخامت ۱۵ سانتی متر و به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است. سیستم سازه‌ای در هر دو جهت به صورت دوگانه (دیوار برشی + قاب خمشی) در نظر گرفته شده است. در این نوع سیستم سازه‌ای مقاومت جانبی در برابر نیروی زلزله توسط مجموعه‌ای از دیوارهای برشی همراه با مجموعه‌ای از قاب‌های خمشی تأمین می‌شود. سهم برش‌گیری هر یک از دو مجموعه با توجه به سختی جانبی و اندرکنش آن دو، در تمام طبقات، تعیین می‌گردد. طبق بند ۱-۸-۴ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [1]، قاب‌های خمشی باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۲۵٪ نیروی جانبی در تراز پایه و دیوارهای برشی باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۵۰٪ نیروی جانبی در تراز پایه باشند. ارتفاع تمام طبقات برابر ۳/۶ متر در نظر گرفته شده است. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، از هفت زوج شتاب نگاشت با در نظر گرفتن متوسط بازتاب‌های به دست آمده از تحلیل آن‌ها به عنوان بازتاب نهایی استفاده شده است. طبق بند ۲-۵-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، شتاب نگاشت‌های انتخابی باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام زلزله باشند. در این پروژه از سه شتاب نگاشت برای خاک نوع D و خطر لرزه‌ای خیلی زیاد استفاده شده است. مطابق با آیین نامه (ASCE7-10) [2] خاک نوع D، خاکی سخت با سرعت موج برشی بین ۳۶۰ تا ۱۸۰ متر بر ثانیه می‌باشد. این خاک با زمین نوع ۳ در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، معادل است. سازه مورد مطالعه ۱۲ طبقه می‌باشد. زوایای چرخش سازه به شرح ذیل می‌باشد:

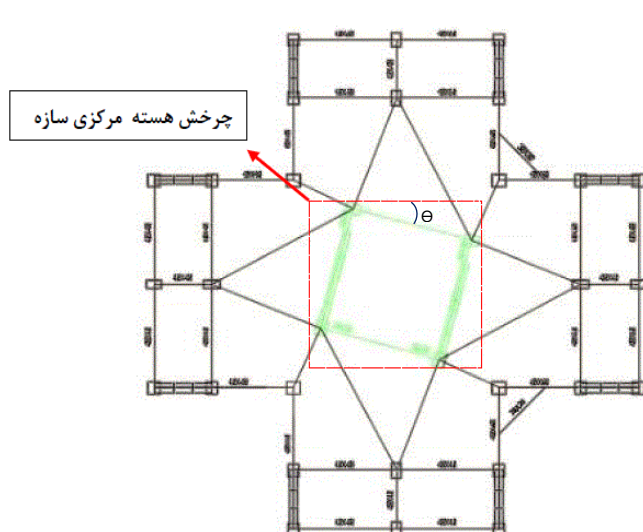
• بدون تغییر زاویه ( صفر درجه)

• تغییر زاویه ۱۵ درجه

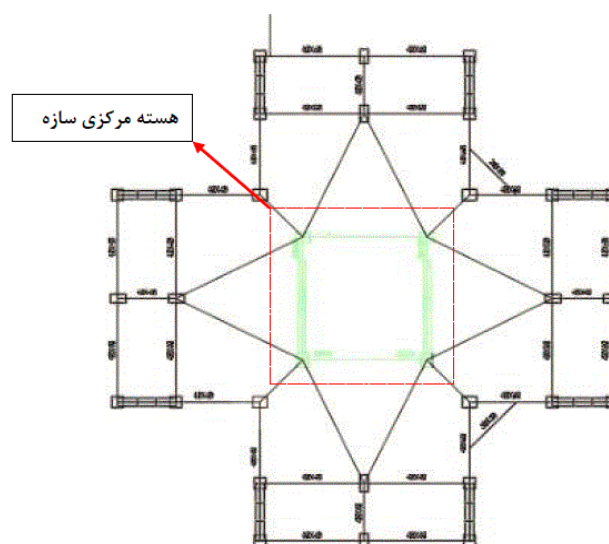
• تغییر زاویه ۳۰ درجه

• تغییر زاویه ۴۵ درجه

پلان قاب سازه‌ای و موقعیت قرارگیری قاب خمشی و دیوار برشی بتنی در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: پلان سازه مورد بررسی با چرخش سیستم باربر مرکزی



شکل ۴: پلان سازه مورد بررسی

در این تحقیق سازه با سیستم باربر دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی مدل و مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا طراحی سازه با تعیین مقاطع مناسب برای اعضای سازه‌ای شامل ستون، تیر و بادبند انجام شده و سازه با روش دینامیکی تاریخچه زمانی تحلیل شده است. نتایج رفتاری سازه برای حالت‌های مختلف چرخش سیستم باربر بررسی شد. مشخصات نوع زمین و سازه به شرح زیر است:

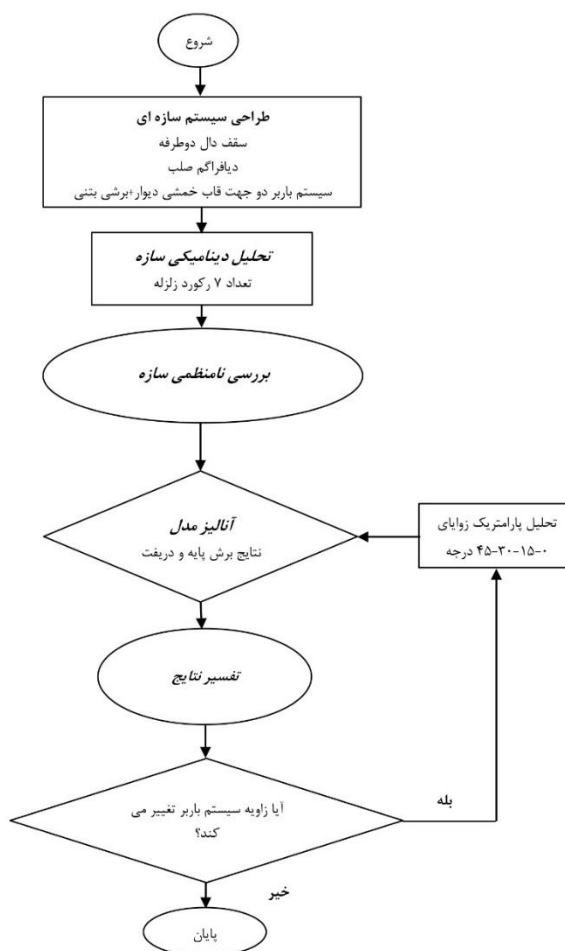
- زمین از نوع II

- اهمیت ساختمان متوسط ( $I=1$ )

- ساختمان دارای نامنظمی سیستم باربر

- شتاب مبنای طرح زلزله: پهله با خطر نسبی خیلی زیاد  $A=0.35$

فلوچارت روند انجام تحقیق در شکل ۶ نشان داده شده است. از نرم افزار ایتبس برای مدل‌سازی سازه در تحقیق حاضر استفاده شده است. برای صحت مدل‌سازی اولیه با استفاده از آیین نامه ۲۸۰۰ کنترل‌های رفتار سازه انجام شده و پس از چک و تأیید نهایی مدل ساخته شده طبق ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ مدل نهایی شده و تغییرات پارامتریک برای زلزله‌های مختلف و زوایای متفاوت چرخش سیستم باربر انجام شده است.



شکل ۶: فلوچارت روند انجام تحقیق



## ۴-۱- بارگذاری

در تمامی طبقات بار زنده طبقات برابر ۲۰۰ کیلو گرم بر مترمربع، بار زنده بام ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و بار مرده برابر ۴۰۰ کیلو گرم بر مترمربع در نظر گرفته می‌شود. باید در تحلیل و طراحی سازه‌ها به روش دینامیکی تاریخچه زمانی علاوه بر اینکه بارهای دینامیکی را تعریف می‌شود حالات بار استاتیکی را نیز محاسبه نموده و در تحلیل سازه در نظر گرفته شده است، به این معنی که در کلیه حالات باید بارهای استاتیکی نیز تعریف شوند. دلیل این کار هم‌پایه کردن برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی به تحلیل استاتیکی است. در جدول ۱ بارگذاری بخش‌های مختلف سازه و در جدول ۲ ابعاد و جزئیات مقاطع و اعضای سازه آورده شده است.

جدول ۱: جزئیات بارگذاری بخش‌های مختلف سازه

مکان	بار مرده (کیلوگرم بر مترمربع)	بار زنده (کیلوگرم بر مترمربع)
کف طبقات دال بتنی	۳۰۰	۲۰۰
بام	۳۱۰	۱۵۰
پله	۷۰۰	۳۵۰
دیوار داخلی بدون نما	۱۴۶	-
دیوار جانبی با نما	۷۵۰	-
دیوار جان پناه	۳۷۵	-
بار معادل تیغه بندی	۱۰۰	-

تیپ بندی ستون‌های هسته مرکزی جدا از دیوار برشی با شماره گذاری تیپ ۱، تیپ بندی ستون‌های هسته مرکزی مجاور دیوار برشی با شماره تیپ ۲ و تیپ بندی ستون‌های مجاور دیوار برشی چهار طرف بیرونی پلان با شماره تیپ ۳ و تیپ بندی ستون‌های جدا از دیوار برشی چهار طرف بیرونی پلان با شماره تیپ ۱ در جدول آورده شده است.

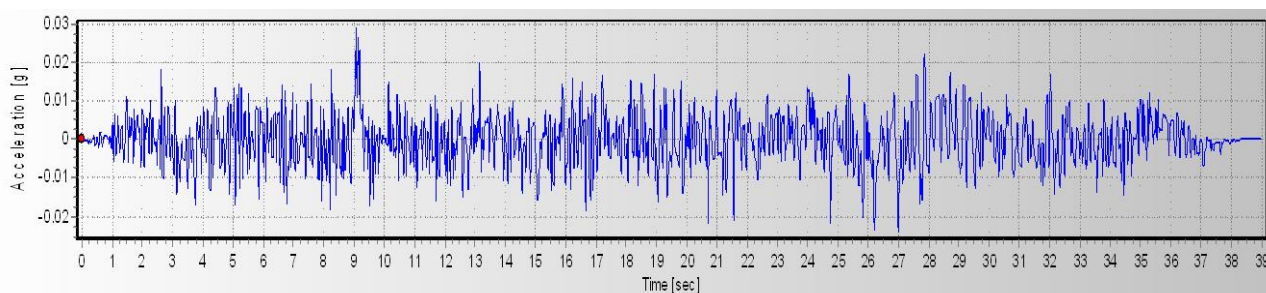
جدول ۲: ابعاد و جزئیات مقاطع و اعضای سازه طراحی شده در مقاله حاضر

محل عضو سازه‌ای	طبقه	ابعاد ستون	تعداد آرماتور	سایز آرماتور
تیپ ۱	همکف تا اول	70*100	40	22
	اول تا چهارم	60*100	36	22
	پنجم	60*90	32	22
	ششم	60*80	30	22
	هفتم	60*70	28	22
	هشتم تا سیزدهم	60*60	24	22
تیپ ۲	همکف	80*100	40	25
	اول و دوم	80*90	38	25
	سوم تا چهارم	80*80	36	25
	پنجم تا هفتم	70*70	32	22
	هشتم تا سیزدهم	60*60	24	22
تیپ ۳	همکف تا چهارم	80*80	36	25
	پنجم تا دهم	70*70	32	22
	یازدهم	60*60	24	22
	دوازدهم تا سیزدهم	50*50	16	22
تیپ ۴	همکف	60*110	38	22

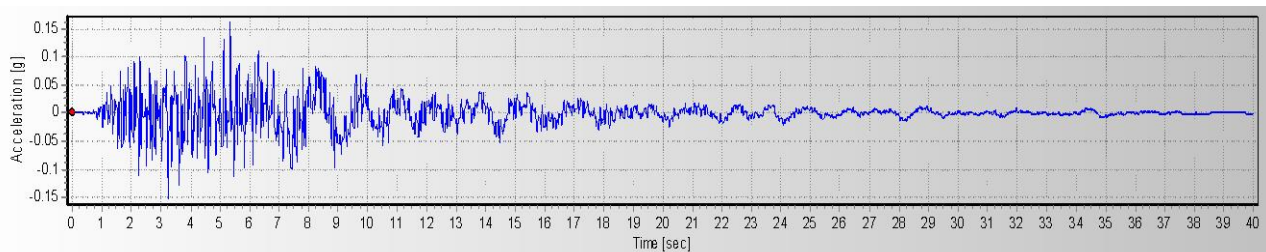
22	36	60*100	اول
22	32	60*90	دوم تا پنجم
22	28	60*70	ششم تا هفتم
22	24	60*60	هشتم تا دهم
22	16	50*50	یازدهم تا دوازدهم

## ۵- نتایج تحقیق

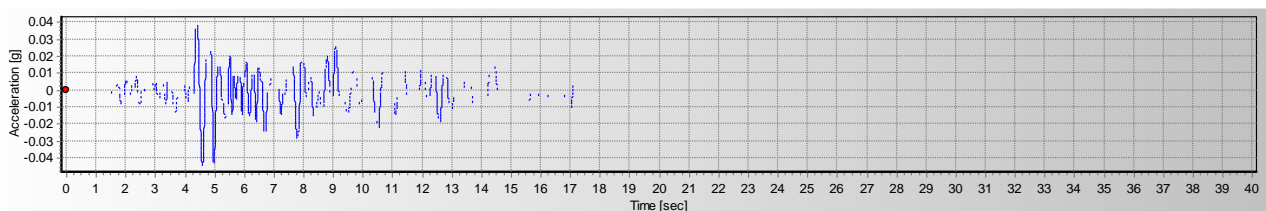
در تحقیق حاضر، از تحلیل تاریخچه زمانی برای مدل سازی استفاده شده است. از ۷ رکورد زلزله های ارزیکن ، ایمپریالولی ، ایرپینیا، ناهانی و هکتور، کوبه و منجیل استفاده شده است. شتاب نگاشت های مورد استفاده در تحلیل های دینامیکی باید از لحاظ موارد مؤثر ذکر شده در پاسخ سازه ای، مشابه حرکت های شدیدی از زمین باشند که امکان اتفاق آن ها در منطقه محل احداث سازه وجود دارد. متوسط شتاب های ۷ زلزله در نتایج آورده شده است. در حالت کلی شتاب نگاشت ها را می توان به دو دسته تقسیم کرد. رکورد شتاب نگاشت تعدادی از زلزله ها در شکل های ۷ و ۸ و ۹ نشان داده شده است. شکل ۱۰ طیف پاسخ زلزله های مورد استفاده در تحقیق حاضر و طیف پاسخ آیین نامه ۲۸۰۰ را نشان می دهد.



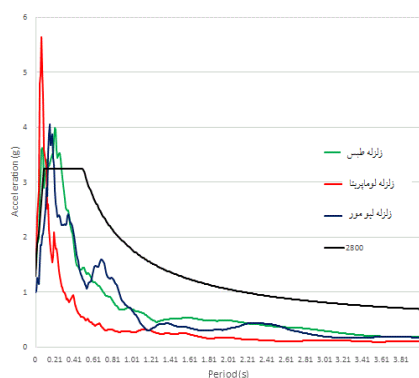
شکل ۷: میانگین تاریخچه زمانی شتاب زلزله طیس



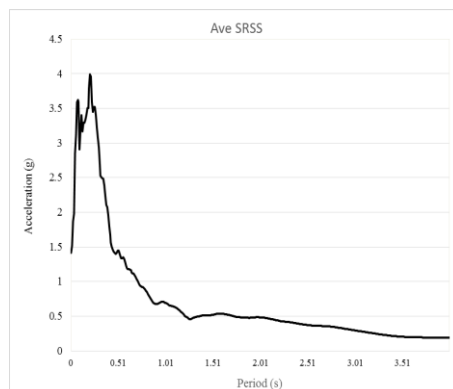
شکل ۸: میانگین تاریخچه زمانی شتاب زلزله لوما پریتا



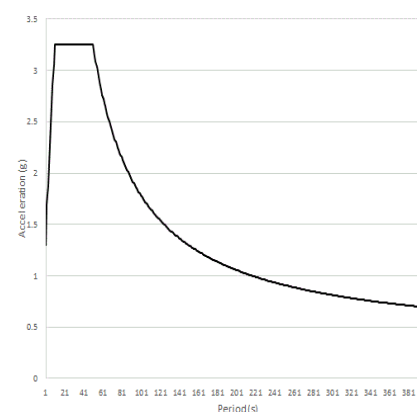
شکل ۹: میانگین تاریخچه زمانی شتاب زلزله لیو مور



ج) طیف پاسخ زلزله‌ها در مقایسه با طیف آیین نامه ۲۸۰۰



ب) طیف پاسخ میانگین زلزله‌ها



الف) طیف پاسخ آیین نامه ۲۸۰۰

شکل ۱۰: طیف پاسخ زلزله‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر و طیف پاسخ آیین نامه ۲۸۰۰

## ۵-۱- بررسی برش پایه

نام زلزله	Fy (ton)	Fx (ton)
Erzican Turkey	۵۸۴۶/۲۳	۳۲۱۳/۸۶
Imperial Valley-02	۹۵۳۸/۷۳	۱۱۲۶۰/۱۹
Irpinia Italy-01	۶۶۲۲/۵۷	۷۵۹۰/۰۳
Nahanni Canada	۲۰۵۵/۱۵	۱۳۴۶/۴۲
Hector Mine	۴۳۸۱/۴۵	۳۰۲۰/۲۹
Kobe Japan	۶۴۶۷/۲۳	۶۲۷۵
Manjil Iran	۶۰۵۶/۱۵	۵۷۷۴/۲۶
<b>Average</b>	<b>۵۸۵۲/۵</b>	<b>۵۴۹۴/۸۱</b>

ماکزیمم برش پایه با واحد تن به وجود آمده در سازه با هسته با زاویه ۱۵ درجه در راستای اصلی ساختمان برابر ۱۱۷۰۳/۱۸ به دست آمد. و ماکزیمم برش پایه با واحد تن در جهت  $y$  مقدار ۹۳۶۵/۹۵ به دست آمد. و مقدار برش پایه با واحد تن میانگین زلزله‌ها در راستای اصلی ساختمان برابر ۶۱۰۶/۸۵ و در جهت  $y$  برابر ۶۲۳۳/۱۶ به دست آمد. جدول ۴ برش پایه با واحد تن سازه را برای زلزله‌های مختلف برای سازه با چرخش سیستم باربر با زاویه ۲۰ درجه را نشان می‌دهد. به دلیل چرخش سیستم باربر به نظر می‌رسد ظرفیت باربری اعضا تغییر یافته و منجر به تغییر در رفتار سازه شده است.

جدول ۴: برش پایه سازه تحت زلزله‌های مختلف برای سازه با چرخش سیستم باربر موازی با زاویه ۱۵ درجه

نام زلزله	Fy (ton)	Fx (ton)
Erzican Turkey	۵۹۵۵/۵۳	۵۰۹۷/۷۸
Imperial Valley-02	۹۳۶۵/۹۵	۱۱۷۰۳/۱۸
Irpinia Italy-01	۸۴۰۴/۴۹	۶۹۹۵/۴۳
Nahanni Canada	۱۴۳۸/۵۸	۱۷۹۶/۳۷

۳۵۱۰/۹۹	۴۵۲۳/۵۹	Hector Mine
۵۲۳۳/۳۸	۵۵۷۱/۱۵	Kobe Japan
۸۴۳۷/۷۹	۸۲۳۷/۸۲	Manjil Iran
۶۱۰۶/۸۵	۶۲۳۳/۱۶	<b>Average</b>

ماکزیمم برش پایه با واحد تن به وجود آمده در سازه با هسته با زاویه ۳۰ درجه در راستای اصلی ساختمان برابر ۹۸۸۸/۶۵ به دست آمد و ماکزیمم برش پایه با واحد تن در جهت  $y$  مقدار ۹۴۵۸/۸۲ به دست آمد. مقدار برش پایه با واحد تن میانگین زلزله‌ها در راستای اصلی ساختمان برابر ۵۶۱۱/۸۴ و در جهت  $y$  برابر ۶۲۲۵/۱۷ به دست آمد. در جدول ۵ برش پایه سازه را برای زلزله‌های مختلف برای سازه با چرخش سیستم باربر با زاویه ۳۰ درجه آورده شده است.

جدول ۵: برش پایه سازه تحت زلزله‌های مختلف برای سازه با چرخش سیستم باربر موازی با زاویه ۳۰ درجه

نام زلزله	Fy (ton)	Fx (ton)
Erzican Turkey	۶۵۴۱/۵۹	۴۳۴۱/۱۳
Imperial Valley-02	۹۴۵۸/۸۲	۹۸۸۸/۶۵
Irpinia Italy-01	۸۹۳۴/۸۵	۷۳۳۷/۵۱
Nahanni Canada	۱۴۱۵/۲۸	۱۱۹۲/۹۵
Hector Mine	۴۶۵۰/۰۷	۳۰۱۲/۷۸
Kobe Japan	۴۴۶۹/۸۱	۶۰۳۴/۶
Manjil Iran	۸۱۰۵/۷۸	۷۴۷۵/۲۶
<b>Average</b>	۶۲۲۵/۱۷	۵۶۱۱/۸۴

ماکزیمم برش پایه با واحد تن به وجود آمده در سازه با هسته با زاویه ۴۵ درجه در راستای اصلی ساختمان برابر ۷۹۷۵/۲۴ به دست آمد. و ماکزیمم برش پایه با واحد تن در جهت  $y$  مقدار ۹۳۵۶/۵۴ به دست آمد. و مقدار برش پایه با واحد تن میانگین زلزله‌ها در راستای اصلی ساختمان برابر ۳۳۱۶/۷۹ و در جهت  $y$  برابر ۴۷۷۶/۶۲ به دست آمد. در جدول ۶ برش پایه سازه را برای زلزله‌های مختلف برای سازه با چرخش سیستم باربر با زاویه ۴۵ درجه آورده شده است.

جدول ۶: برش پایه سازه را برای زلزله‌های مختلف برای سازه با چرخش سیستم باربر موازی با زاویه ۴۵ درجه

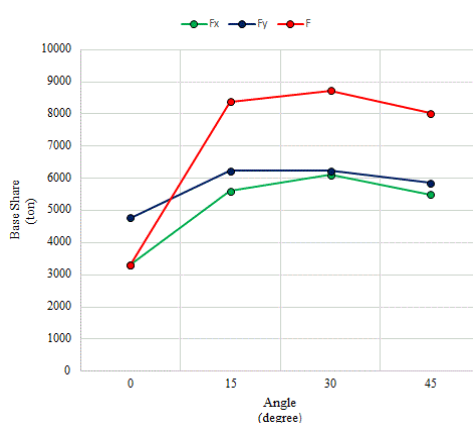
نام زلزله	Fy (ton)	Fx (ton)
Erzican Turkey	۷۷۲۶/۹۹	۳۹۰۰/۴۵
Imperial Valley-02	۹۳۵۶/۵۴	۷۹۷۵/۲۴
Irpinia Italy-01	۸۷۳۳/۰۸	۷۴۶۸/۴۵
Nahanni Canada	۱۵۴۴/۵۳	۸۱۴/۰۹
Hector Mine	۵۱۴۶/۶۷	۲۵۵۷/۶۶
Kobe Japan	۶۵۸/۰۷	۳۷۲/۹۴
Manjil Iran	۲۷۰/۴۸	۱۴۶/۷
<b>Average</b>	۴۷۷۶/۶۲	۳۳۱۶/۷۹

همان‌طور که در جدول ۷ مشخص است مقدار برش پایه برای زاویه صفر درجه در راستای اصلی ساختمان از دیگر زوایا بیشتر است. مقدار نیروی به وجود آمده برای زاویه صفر بیشترین مقدار و برای زاویه ۴۵ و ۳۰ و کمترین مقدار به دست آمد. شکل ۸ برش پایه در جهات مختلف سازه برای سازه‌های چرخانده شده سیستم مرکزی نشان می‌دهد.

جدول ۷: برش پایه میانگین زلزله‌ها

Rotation degree	Angle to Y degree	Fx ton	Fy ton	F ton
۴۵	۰	۳۳۱۶/۷۹	۴۷۷۶/۶۲	۵۸۱۸/۲۶
۳۰	۱۵	۵۶۱۱/۸۴	۶۲۲۵/۱۷	۸۳۸۱/۲۶
۱۵	۳۰	۶۱۰۶/۵۸	۶۲۳۳/۱۶	۸۷۲۶/۱۶
۰	۴۵	۵۴۹۴/۸۱	۵۸۵۲/۵	۸۰۲۷/۷۴

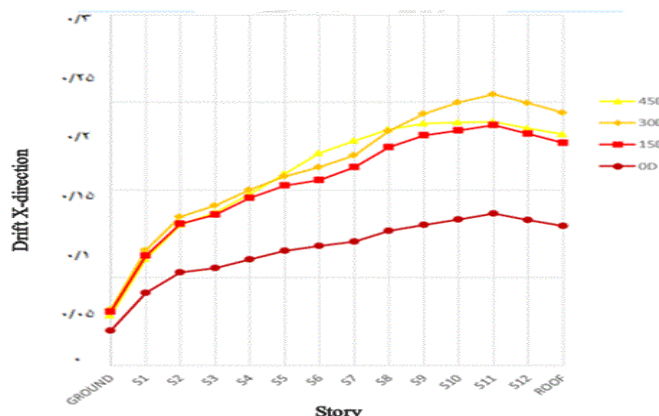
در شکل ۱۱ برش پایه میانگین برای سازه‌های با چرخش درجات مختلف سیستم باربر موازی نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است مقدار نیرو در راستای اصلی ساختمان از نیرو در جهت y کمتر است. با افزایش زاویه چرخش سازه نیروی بیشتری نیز به سازه وارد می‌شود.



شکل ۱۱: برش پایه میانگین برای سازه‌های با چرخش درجات مختلف سیستم باربر موازی

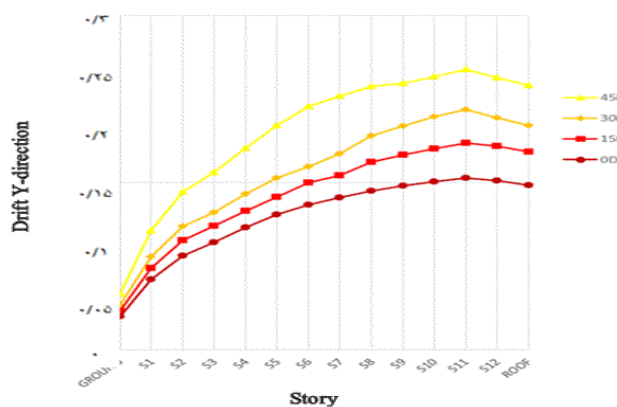
## ۵-۲-نسبت دریفت طبقات

در این بخش نسبت دریفت طبقات در راستای اصلی ساختمان برای سازه با چرخش زوایای مختلف سیستم باربر در این بخش بررسی شده است. در شکل ۱۲ دریفت نسبی طبقات را برای زوایای مختلف چرخش سیستم باربر موازی نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: نسبت دریفت طبقات برای زوایای مختلف چرخش سیستم باربر موازی در جهت محور X

همان طور که در شکل ۱۳ نشان داده و مشخص است، مقدار نسبت دررفت سازه در راستای اصلی ساختمان برای سازه با چرخش سیستم باربر ۴۵ درجه بیشتر از همه است و مقدار دررفت برای سازه بدون چرخش سیستم باربر کمترین مقدار به دست آمد. شکل ۱۴ نسبت دررفت طبقات را برای زوایای مختلف چرخش سیستم باربر موازی در جهت محور Y نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱۴ نشان داده و مشخص است، مقدار نسبت دررفت سازه در جهت Y برای سازه با چرخش سیستم باربر ۴۵ درجه بیشتر از همه است و مقدار نسبت دررفت برای سازه زاویه صفر و ۱۵ درجه چرخش سیستم باربر کمترین مقدار به دست آمد.



شکل ۱۴: نسبت دررفت طبقات را برای زوایای مختلف چرخش سیستم باربر موازی در جهت محور Y

### ۵-۳- بررسی نامنظمی پیچشی

اگر حداکثر تغییر مکان نسبی در یک انتهای ساختمان از ۲۰٪ متوسط تغییر مکان نسبی در دو انتهای ساختمان بزرگتر باشد باعث نامنظمی پیچشی می‌شود. منظور از تغییر مکان نسبی در یک طبقه تغییر مکان یک طبقه نسبت به طبقه زیرین خود می‌باشد. نامنظمی پیچشی تنها در مواردی که دیافراگم کفها صلب و یا نیمه صلب است کاربرد دارد. برای محاسبه نامنظمی پیچشی برای زلزله در جهت X از تغییر مکان‌های جانبی نسبی در راستای X استفاده می‌شود و در جهت Y از تغییر مکان‌های جانبی در راستای Y استفاده می‌شود. اگر در یکی از جهات X و Y سازه نامنظم پیچشی باشد در مجموع سازه نامنظم پیچشی به شمار می‌آید. سازه‌ها از نظر نامنظمی پیچشی به چند نوع تقسیم بندی می‌شوند. در مواردی که رابطه ۱ صادق باشد، سازه دارای نامنظمی پیچشی زیاد و در مواردی که رابطه ۲ برقرار باشد سازه دارای نامنظمی پیچشی شدید است.

$$\Delta \max = \Delta B \quad (1)$$

$$\Delta_{ave} = \frac{\Delta B + \Delta C}{2} \quad (2)$$

$$IF \frac{\Delta \max}{\Delta_{ave}} > 1.2 \quad (3)$$

$$IF \frac{\Delta \max}{\Delta_{ave}} > 1.4 \quad (4)$$

طبق بند ۱-۷-۱ ب آیین نامه ۲۸۰۰ در مواردی که حداکثر تغییر مکان نسبی در یک انتهای ساختمان در هر طبقه، با احتساب پیچش تصادفی و بامنظور نمودن  $A_j = 1$  بیشتر از ۲۰٪ متوسط تغییر مکان نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد. در این مورد نامنظمی زیاد و در موردی که این اختلاف بیشتر از ۴۰٪ باشد، نامنظمی شدید پیچشی توصیف می‌شود.

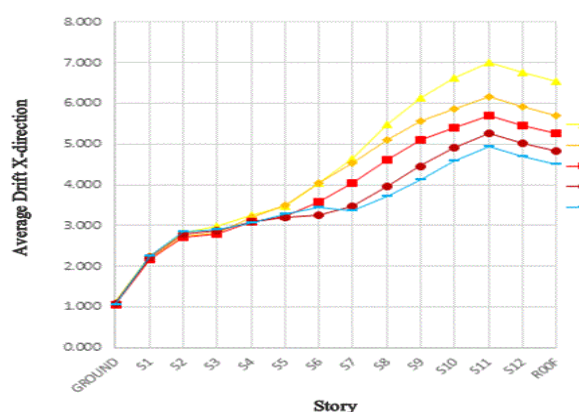
$$DriftRatio = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}} > 1.2 \quad \rightarrow \text{نامنظمی زیاد} \quad (6)$$

$$DriftRatio = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}} > 1.4 \quad \rightarrow \text{نامنظمی شدید} \quad (7)$$

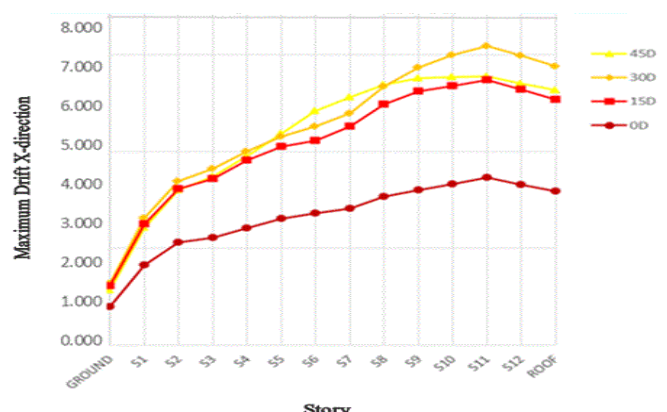
طبق بند ۳-۳-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، برون مرکزی اتفاقی در تراز هر طبقه،  $e_{aj}$  به منظور به احتساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مؤلفه پیچشی زلزله از سوی دیگر، در نظر گرفته می شود. این برون مرکزی باید در هر دو جهت و حداقل برابر با ۵٪ بعد ساختمان در آن طبقه، در امتداد عمود بر نیرو جانبی اختیار شود. در مواردی که ساختمان مشمول نامنظمی پیچشی بند (۱-۷-۱ ب) می شود، برون مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگ نمایی  $A_j$ ، طبق رابطه ۸، ضرب شود:

$$A_i = \left( \frac{\Delta_{max}}{1.2 \times \Delta_{ave}} \right)^2 \quad 1 \leq A_i \leq 3 \quad (8)$$

برای بررسی اثر پیچش نمودارهای تغییر مکان ماکزیمم و میانگین باهم مقایسه گردیده است. همان طور که در شکل های ۱۵ و ۱۶ مشخص است. پیچش در سازه اتفاق نمی افتد.



شکل ۱۶: جابجایی متوسط نسبی طبقات برای زوایای مختلف چرخش سیستم باربر موازی



شکل ۱۵: جابجایی ماکزیمم نسبی طبقات برای زوایای مختلف چرخش سیستم باربر موازی

## ۶- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر سازه های بتنی با ارتفاع های مختلف و با سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی باربر با بررسی اثر چرخش سیستم باربر موازی بر رفتار سازه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شد. با توجه به تحلیل های انجام گرفته و نتایج حاصل از مدل های مورد مطالعه، می توان به نتایج زیر رسید:

- برش پایه سازه تحت زاویه صفر درجه چرخش سیستم باربر در هردو راستای سازه کمتر از سازه های با چرخش بوده است، در جهت راستای متعامد سازه، از برش پایه مدل های با چرخش زوایای ۱۵ و ۳۰ و ۴۵ درجه بیشتر به دست آمد.
- نامنظمی در سیستم ناموازی، باعث افزایش جابجایی سازه می شود. که افزایش جابجایی در سازه می تواند باعث کاهش ظرفیت باربری و مقاومت سازه شود. این موضوع نشان دهنده تأثیر مستقیم و معنادار چرخش سیستم باربر بر کاهش ظرفیت لرزه ای سازه می باشد.
- نتایج تحلیل نشان داد که مقدار دررفت نسبی سازه در جهت  $y$  برای سازه با چرخش سیستم باربر موازی به مقدار ۳۰ درجه بیشتر از همه است. مقدار دررفت نسبی برای سازه بدون چرخش سیستم باربر کمترین مقدار است. حداکثر دررفت در زاویه ۳۰ درجه و حداقل در زاویه صفر درجه به دست آمد. همچنین مقدار دررفت نسبی سازه در راستای اصلی ساختمان نیز برای سازه با چرخش

سیستم باربر موازی ۳۰ درجه بیشتر از دیگر زوایای چرخش سیستم باربر موازی است. مقدار دررفت نسبی برای سازه زاویه صفر و ۱۵ درجه چرخش سیستم باربر کمترین مقدار به دست آمد.

- نتایج نشان داد که میزان جابجایی سازه در چرخش سیستم باربر موازی به مقدار ۳۰ درجه بیشترین مقدار است. میزان جابجایی سازه در جهت  $y$  برای زاویه چرخش سیستم باربر ۳۰ درجه بیشترین مقدار است، برای صفر درجه چرخش سیستم باربر کمترین مقدار است. میزان جابجایی سازه در راستای اصلی ساختمان برای زاویه چرخش سیستم باربر صفر درجه بیشترین مقدار و برای ۴۵ درجه چرخش سیستم باربر کمترین مقدار است.
- مقدار دررفت در جهت  $y$  برای سازه با زاویه چرخش ۳۰ درجه بیشترین مقدار و برای سازه با زاویه صفر درجه کمترین مقدار است.
- به‌عنوان نتیجه گیری کلی می‌توان اظهار داشت که هرچه زاویه چرخش سیستم باربر موازی بیشتر شود، مقدار دررفت نسبی سازه تحت زلزله افزایش می‌یابد. برای زاویه صفر درجه چرخش سیستم باربر موازی، رفتار سازه به زلزله بهتر از سایر زوایای چرخش سیستم باربر است.

## مراجع

- [1] Iranian Code for Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard 2800, (2014)<sup>th</sup> Edition.
- [2] ASCE/SEI 7-10; Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- [3] Abraham, N. M., & SD, A. K. (2019). Analysis of irregular structures under earthquake loads. *Procedia Structural Integrity*, 14, 806-819.
- [4] Manoukas, G. E. (2019). Evaluation of Pushover Methodology for Mass-Irregular in Elevation RC Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 145(8), 04019082.
- [5] Cancellara, D. and De Angelis, F. (2019), "Dynamic assessment of base isolation systems for irregular in plan structures: Response spectrum analysis vs nonlinear analysis", *Compos. Struct.* 215, 98-115. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.013>.
- [6] Khazaei, M., Vahdani, R., & Kheyroddin, A. (2020). Optimal Location of Multiple Tuned Mass Dampers in Regular and Irregular Tall Steel Buildings Plan. *Shock and Vibration*, 2020.
- [7] Satheesh, A. J., Jayalekshmi, B. R., & Venkataramana, K. (2020). Effect of in-plan eccentricity on vertically stiffness irregular buildings under earthquake loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 137, 106251.
- [8] Ishack, S., Bhattacharya, S. P., & Maity, D. (2021). Rapid Visual Screening method for vertically irregular buildings based on Seismic Vulnerability Indicator. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 54, 102037.
- [9] De Stefano, M., Tanganelli, M., & Viti, S. (2020). Effect of the Mechanical Properties of Concrete on the Seismic Assessment of RC Irregular Buildings. In *Seismic Behaviour and Design of Irregular and Complex Civil Structures III* (pp. 201-213). Springer, Cham.
- [10] Khanal, B., & Chaulagain, H. (2020). Seismic elastic performance of L-shaped building frames through plan irregularities. In *Structures* (Vol. 27, pp. 22-36). Elsevier.
- [11] Dănilă, G. (2020). Procedure of Non-linear Static Analysis for Retrofitted Buildings Structures through Seismic Isolation. In *Seismic Behaviour and Design of Irregular and Complex Civil Structures III* (pp. 403-411). Springer, Cham.
- [12] Li, Y. W., Yam, M. C., & Cao, K. (2020). Seismic collapse risk of RC frames with irregular distributed masonry infills. *Structural Engineering and Mechanics*, 76(3), 421-433.
- [13] Eivani, H., & Moghadam, A. S. (2021). Seismic response of torsional structures considering the possibility of diaphragm flexibility. *Structural Engineering and Mechanics*, 77(4), 463-472.
- [14] Chapter Six National Building Regulations, Loads on the building, Office for the Development and Promotion of National Regulations. Edition 92.