www.cpjournals.com ISSN:۲۶۷۶-۵۱۱X (Civil & Project Journal(CPJ)) نشریه عمران و پروژه
سال دوم، دوره ۲، شماره ۷، مهر ۱۳۹۹،شماره پیاپی ۱۷،صفحه ۹۷ تا صفحه ۱۱۷

نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

Investigation the Influence of Earthquake Accelogram Direction to Steel Moment-Resisting Frame Structures

Kourosh Mehdizadeh[۱]*, Faezeh Eslami[۲], Seyede Vahide Hashemi[۳], Abbasali Sadeghi[٤] and Gholamreza Shobeyri[٥]

*۱- *Department of Civil Engineering, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran*
ko_ma۷۵۱@mail.um.ac.ir

۲- *Ph.D. Candidate, Department of architectural Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran*
Faezeh.Eslami.a@mshdiau.ac.ir

۳- *Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Sistan & Baluchestan University, Zahedan, Iran*
hashemi.vahide۹۱@gmail.com

٤- *Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran*
sss۱۹۹۱b@gmail.com

٥- *Faculty of Civil, Water and Environmental Eng., Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
shobeyri@alumni.iust.ac.ir

ABSTRACT

In recent years, the discussion of nonlinear behavior in seismic evaluation of structures has been raised. One of the best and newest methods of evaluating buildings is the use of nonlinear dynamic analysis. This type of analysis shows a comprehensive behavior of structures in the linear to nonlinear domain. In this study, in addition to nonlinear dynamic analysis, in order to match the reality, seismic components with different angles have been applied to the structure to show a more accurate seismic evaluation of the structure. In this research, steel buildings with intermediate moment-resisting frame was modelled in three dimensional state in SAP ۲۰۰۰ software with ۸ and ۱۲ stories and square and rectangular planes and their seismic performances have been studied and compared according to the angle of ۸ pairs of accelograms (۱٦ accelograms) under near and far-fault earthquakes (۰, ۳۰, ٦۰ and ۹۰ degree) using nonlinear dynamic time history analysis. The results showed that the performance of the structures at angles of ٦۰ and ۹۰ degree was more critical due to the larger seismic responses. Also, in most accelograms, the height of the structure was more effective than the plan shape on seismic responses. In addition, the studied structures had more critical seismic responses due to near-fault earthquakes compared to far-fault earthquakes.

Keywords: *Steel Building, Moment-Resisting Frame, Structural Height, Plan Shape, Time History Analysis, Earthquake Direction.*

نشریه عمران و پروژه (Civil & Project Journal(CPJ)) ISSN:۲۶۷۶-۵۱۱X www.cpjournals.com
سال دوم، دوره ۲، شماره ۷، مهر ۱۳۹۹،شماره پیاپی ۱۷،صفحه ۹۷ تا صفحه ۱۱۷

All rights reserved to Civil & Project Journal.

نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

بررسی تأثیر راستای اعمال شتاب‌نگاشت زلزله به سازه‌های قاب خمشی فولادی

کوروش مهدی‌زاده[1*]، فائزه اسلامی[2]، سیده وحیده هاشمی[3]، عباسعلی صادقی[4] و غلامرضا شوبیری[5]

۱- گروه عمران، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران*
ko_ma۷۵۱@mail.um.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
Faezeh.Eslami.a@mshdiau.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان ، زاهدان، ایران
hashemi.vahide۹۱@gmail.com

۴- دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
sss۱۹۹۱b@gmail.com

۵- استاد مدعو دانشگاه شهید بهشتی پردیس شهید عباسپور، دانشکده‌ی عمران آب محیط زیست، تهران، ایران
shobeyri@alumni.iust.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۷/۳۰

کیده

در سال‌های اخیر بحث رفتار غیرخطی در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها مطرح‌شده است. از بهترین و جدیدترین روش‌های ارزیابی ساختمان‌ها، استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی است. این نوع تحلیل رفتار جامعی از سازه در محدوده خطی تا غیرخطی نمایش می‌دهد. در این پژوهش، علاوه بر تحلیل دینامیکی غیرخطی، به جهت منطبق شدن بر واقعیت، مؤلفه‌های زلزله با زوایای مختلف به سازه اعمال‌شده است تا ارزیابی لرزه‌ای دقیق‌تری از سازه نشان دهد. در این تحقیق، ساختمان‌های فولادی با سیستم قاب خمشی متوسط به‌صورت سه‌بعدی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ و پلان‌های مربعی و مستطیلی در نرم‌افزار SAP ۲۰۰۰ مدل‌سازی شدند و عملکرد لرزه‌ای آن‌ها با توجه به زاویه‌ی اعمال ۸ زوج شتاب‌نگاشت (۱۶ شتاب‌نگاشت) نزدیک و دور از گسل (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه) تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی بررسی و مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که با توجه به پاسخ‌های لرزه‌ای بزرگتر در زوایای ۶۰ و ۹۰ درجه، عملکرد سازه‌ها بحرانی‌تر بوده است. همچنین در اکثر شتاب‌نگاشت‌ها ارتفاع سازه بیش از شکل پلان بر پاسخ‌های لرزه‌ای تاثیرگذار بوده‌است. ضمنا سازه-های مورد مطالعه تحت اثر زلزله‌های نزدیک به گسل در مقایسه با زلزله‌های دور از گسل پاسخ‌های لرزه‌ای بحرانی‌تری داشته‌اند.

کلمات کلیدی: ساختمان فولادی، قاب خمشی، ارتفاع سازه، شکل پلان، تحلیل تاریخچه‌زمانی، راستای زلزله.

۱- مقدمه

با توجه به امکان رخداد زلزله‌های قدرتمند در کشورمان، موضوع تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها همواره چالش مهمی برای مهندسین و پژوهشگران سازه و زلزله بوده است. در این راستا تعریف روش‌های مختلف تحلیل در آیین‌نامه‌ها و پژوهش‌ها همواره این سؤال را در ذهن تداعی کرده است که کدام روش جهت طراحی، ایمن‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر می‌باشد. برای محاسبه‌ی پاسخ‌های لرزه‌ای می‌توان از تحلیل‌های خطی و یا غیرخطی استفاده نمود. منظور از روش‌های خطی، تحلیل سازه با در نظر گرفتن رفتار ارتجاعی اجزاء آن می‌باشد. روش‌های تحلیل خطی زمانی مناسب هستند که در هنگام زلزله رفتار اجزاء سازه در محدوده‌ی خطی قرار داشته باشد و یا تعداد کمی از اجزاء آن از حیطه‌ی خطی خارج شوند. ازجمله روش‌های تحلیل خطی می‌توان به تحلیل‌های استاتیکی خطی، دینامیکی خطی و شبه دینامیکی یا طیفی اشاره کرد. روش‌های تحلیل غیرخطی جهت ارزیابی رفتار سازه‌ها قابل‌اعتمادتر و با رفتار واقعی مصالح سازگارترند. روش‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی مانند تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون[۱]، تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی[۲] و افزایشی[۳] در رفتار سنجی سازه‌ها کاربرد بیشتری دارند. با ورود المان‌های سازه به حیطه‌ی غیرخطی، جابه‌جایی‌ها نسبت به نیروها توصیف بهتری از پاسخ سازه ارائه می‌دهند و با محدود کردن تغییر مکان‌ها به‌جای نیروها، سطح تخریب سازه‌ها به‌طور مؤثری کنترل می‌شود. تغییر نگرش طراحی از طراحی بر اساس نیرو به سطح عملکرد سازه، فلسفه‌ی جدیدی در طراحی سازه‌ها تحت عنوان طراحی بر اساس عملکرد[۴] ایجاد کرده است. در بحث طراحی بر اساس عملکرد انتظار این است که سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های با شدت‌های متفاوت، عملکردهای مختلفی از خود نشان دهد، در سطوح عملکرد آستانه‌ی فروریزش و ایمنی جانی سازه وارد مرحله‌ی غیرخطی شود و آسیب‌پذیری توسط ظرفیت تغییر شکل غیرخطی المان‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای کنترل شود. روش‌های پیشنهادی اکثر آیین‌نامه‌ها، تحلیل‌های خطی بر اساس کنترل نیرو می‌باشد. در این تحقیق تأثیر زاویه‌ی برخورد زلزله به سازه‌های فولادی قاب خمشی به همراه اثر ارتفاع و شکل پلان مورد بررسی قرار گرفته است که در پژوهش‌های گذشته کمتر به آن پرداخته شده است.

یکی از چالش‌های همیشگی در طراحی لرزه‌ای، نبود آگاهی کافی از راستایی است که یک سازه تحت تحریک لرزه‌ای قرار می‌گیرد. در واقع، به علت عدم قطعیت‌های موجود در شرایط ساختگاه، فاصله کانونی و نیز مشخصه‌های انتشار موج به هنگام رخداد زلزله بعدی، منطقی است که فرض شود حرکت زمین ممکن است در هر امتدادی نسبت به سازه اعمال شود. در نتیجه عدم قطعیت‌های فوق، زاویه بحرانی تحریک (θ_{cr}) که باعث می‌شود نیاز لرزه‌ای یک پارامتر به حداکثر مقدار خود یعنی(R_m)رسد، کم‌تر مورد توجه محققین بوده است. نظر به آنچه گفته شد، در تحقیق حاضر ابتدا تحقیقاتی بررسی می‌شوند که اثر زاویه‌ی تحریک را بر نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها مورد مطالعه قرار داده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده در زمینه مورد بحث، چنین استنباط می‌شود که بررسی اثرات زاویه‌ی تحریک بر پاسخ‌های لرزه‌ای در قاب‌های خمشی فولادی نیازمند یک مطالعه جامع است. در ادامه مطالعات انجام شده در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته است:

در شمار نخستین مطالعات مربوطه می‌توان به تحقیق Penzien & Watabe [۱] اشاره نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که در مورد یک تحریک، محورهای متعامدی وجود دارد که می‌توان مولفه‌های حرکت زمین را در امتداد آنها ناهمبسته فرض نمود. این محورها در اصطلاح محورهای اصلی نامیده می‌شوند و با استفاده از آنها می‌توان مقدار θ_{cr} و R_m محاسبه نمود. نتایج تحقیق مذکور مبنای مطالعات گسترده‌ای قرار گرفت که در آنها محاسبه بیشینه تقاضای لرزه‌ای بر اساس آنالیز طیف پاسخ (RSA) مورد توجه بوده است. با وجود مقبولیت و کاربرد فراوان روش RSA، شمار دیگری از محققین آنالیز خطی تاریخچه زمانی (LRHA) را برای محاسبه θ_{cr} و R_m به کار گرفتند. به عنوان مثال، مطالعه Marinilli & Lopez [۲] نشان داد که مقدار R_m در سیستم‌های ایده‌آل یک طبقه با استفاده از آنالیز LRHA قابل تعیین است و بر اساس نتایج تحلیل RSA می‌توان محدوده زوایای تحریک را کاهش داد. در همین زمینه Fernandez-Davila et al. [۳] اثر موقعیت حرکت زمین را بر حداکثر نیروی برشی در سازه‌های بتن‌آرمه با سیستم دوگانه مورد ارزیابی قرار دادند. نگارندگان

[۱] Nonlinear Static Pushover Analysis
[۲] Nonlinear Dynamic Time History Analysis
[۳] Incremental Nonlinear Dynamic Analysis
[۴] Performance-based Design

تحقیق، با مبنا قراردادن بیشنیه تقاضای لرزه‌ای به روش LRHA به عنوان پاسخ دقیق، درستی نتایج بدست آمده از قواعد ترکیب متفاوت را مقایسه، و معایب یا مزایای هر قاعده را بررسی کردند. پژوهش Kalkan & Chopra [۴] نشان داد که بیشترین اثر زلزله بر سازه‌ها می‌تواند متفاوت از میزان شتاب مؤلفه‌های هم جهت و یا عمود بر گسل لرزه‌زا باشد. در حالت تحلیل غیرخطی بیشترین اثر خرابی زلزله در زاویه‌ای مشاهده می‌گردد که زمان تناوب پالس آن به زمان تناوب اصلی سازه نزدیک‌تر باشد و همچنین بیشترین نیروهای اعضا و جابجایی نسبی طبقات تنها در یک زاویه مشاهده می‌شود که این زاویه باعث بحرانی‌تر شدن عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها می‌گردد و نیاز است با استفاده از تحلیل‌های غیرخطی محاسبه و مشخص گردد. مطالعه Mazza & Mazza [۵] نمونه دیگر است که در آن تاثیر موقعیت تحریک بر نیاز شکل‌پذیری بررسی شده است. در این تحقیق با مدل‌سازی قاب‌های خمشی سه‌بعدی، به بررسی احتمال وجود مشخصه‌های پالس در مولفه‌های دوران‌یافته از تحریکات نزدیک به گسل پرداخته شده است. تحقیق Lagaros [۶] یک نمونه از مطالعاتی است که در آن با استفاده از این تکنیک، تاثیر عدم قطعیت در تحریک لرزه‌ای و زاویه اعمال آن بر مقدار بیشینه بردار جابجایی نسبی ستون‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش Reyes & Kalkan [۷] بر روی قاب‌های فولادی با مهاربند کمانش تاب نشان داده است که دوران مولفه‌های حرکت زمین به مولفه‌های عمود و موازی به راستای گسل، لزوما منجر به ایجاد حداکثر تقاضای لرزه‌ای در یک سازه نخواهد شد که این موضوع به ویژه در محدوده رفتار غیرخطی سازه قابل مشاهده است. صادقی و همکاران [۸] در سال ۲۰۲۰، عملکرد سازه‌های قاب خمشی فولادی سه‌بعدی با شکل‌پذیری ویژه ۴، ۸ و ۱۲طبقه تحت تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی بار افزون و دینامیکی غیرخطی افزایشی با در نظر گرفتن زلزله‌های استاندارد FEMA P۶۹۵ بررسی نموده‌اند و در نهایت به‌منظور بررسی ظرفیت فروریزش آن‌ها از منحنی‌های شکست استفاده کردند. اثر زوال سختی و مقاومت المان‌های سازه را بر اساس نتایج مدل‌های آزمایشگاهی لحاظ کردند. نتایج نشان داد که ظرفیت فروریزش سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه تحت زلزله‌های دور از گسل بیشترین و تحت زلزله‌های نزدیک گسل با پالس کمترین است و در بین آن‌ها سازه‌ی کوتاه مرتبه‌ی ۴ طبقه، ظرفیت فروریزش کمتری دارد. صابری و همکاران [۹] عملکرد قاب‌های خمشی فولادی ۳، ۶ و ۹ طبقه را توسط تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی بار افزون و دینامیکی افزایشی (IDA) مورد ارزیابی قرار داده‌اند. از تحلیل‌های غیرخطی بار افزون با سه الگوی مختلف بار جانبی به‌منظور تعیین موقعیت محتمل مفاصل پلاستیک در لحظه‌ی فروریزش استفاده کردند تا بتوانند با بهره‌گیری از آن‌ها، مکانیسم‌های خرابی محتمل قاب‌های مذکور را مشخص نموده و از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی افزایشی به‌منظور ارزیابی شدت‌های لرزه‌ای متناظر با شکل‌گیری هر یک از مکانیسم‌های خرابی استفاده کنند. مهدی‌زاده و همکاران [۱۰] نقش شکل‌پذیری در ظرفیت فروریزش قاب‌های خمشی فولادی ۵ طبقه را به‌صورت احتمالاتی بررسی کردند. نتایج ظرفیت فروریزش بالاتر و احتمال خرابی کم-تر قاب خمشی فولادی ویژه را نسبت به قاب‌های خمشی متوسط و معمولی نشان داد.

در این تحقیق، به بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های سه‌بعدی فولادی قاب خمشی با شکل پذیری متوسط ۸ و ۱۲ طبقه دارای پلان‌های مربعی و مستطیلی به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی تحت ۸ زوج شتاب‌نگاشت نزدیک به گسل و ۸ زوج شتاب‌نگاشت دور از گسل پرداخته‌شده است. تمام تحلیل‌های این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ [۱۱] انجام شده‌است. در نظر گرفتن راستاهای مختلف برخورد زلزله از مواردی است که در تحقیق‌های مشابه کمتر به آن پرداخته شده است.

۲- بررسی تأثیر راستای شتاب‌نگاشت‌ها بر طیف پاسخ شتاب

در این تحقیق، ابتدا ۱۶ شتاب‌نگاشت دور و نزدیک گسل براساس استاندارد FEMA۶۹۵ [۱۲] از پایگاه داده‌های لرزه‌ای PEER NGA [۱۳] استخراج و سپس در جدول‌های (۱) و (۲) معرفی شده و در ادامه طیف پاسخ شتاب آن‌ها در نرم‌افزار SeismoSignal [۱۴] ترسیم شده‌است و در نهایت دوران آن‌ها با زوایای ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB [۱۵] به‌دست‌آمده است. تأثیر دوران شتاب‌نگاشت‌ها بر طیف شتاب زلزله‌ها به دلیل کثرت زلزله‌های مورد استفاده در این تحقیق تنها برای ۴ زوج رکورد زلزله دور از

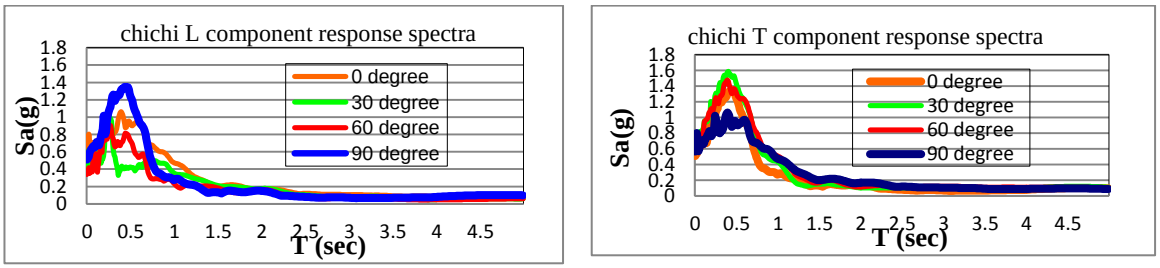
گسل Chi Chi و نزدیک گسل Irpinia Italy براساس شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده‌است.

جدول ۱: مشخصات زلزله‌های دور از گسل

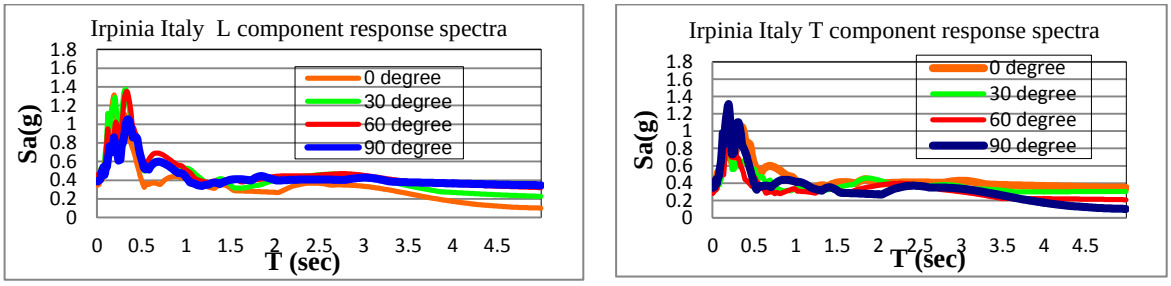
ID NO.	Earthquake			Recording Station	
	M	Year	Name	Name	Owner
۱	۷.٦	۱۹۹۹	Chi Chi Taiwan	TCU۰٤٥	CWB
۲	٦.۹	۱۹۹٥	Kobe Japan	Shin Osaka	CUE
۳	۷.۳	۱۹۹۲	Landers	Yermo Fire Station	CDMG
٤	۷.٤	۱۹۹۰	Manjil - iran	Abbar	BHRC

جدول ۲: مشخصات زلزله‌های نزدیک گسل

۱	۷.۰	۱۹۹۲	Cape Mendocino	Cape Mendocino	CDMG
۲	٦.۸	۱۹۷٦	Gazli-USSR	Karakyr	----
۳	٦.۹	۱۹۸۰	Irpinia,Italy.۰۱	Starno	ENEL
٤	٦.۸	۱۹۸٥	Nahanni Canada	Sit ۲	----

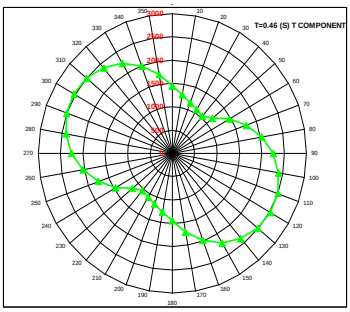


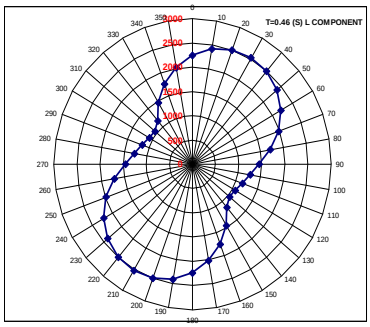
شکل ۱: تأثیر دوران شتاب‌نگاشت بر طیف شتاب زلزله دور از گسل Chi Chi

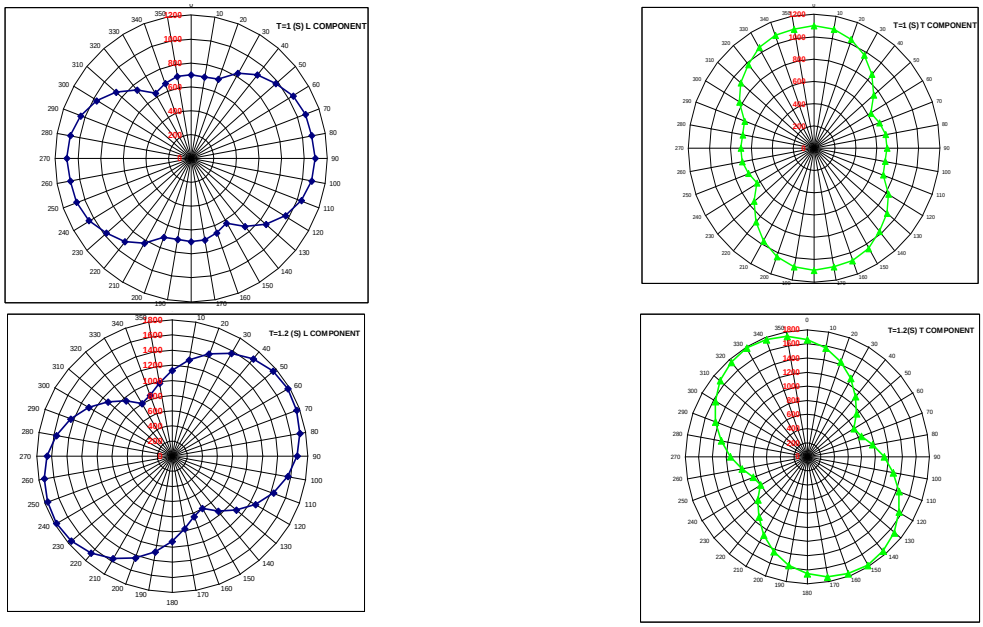


شکل ۲: تأثیر دوران شتاب‌نگاشت بر طیف شتاب زلزله نزدیک گسل Irpinia Italy

در ادامه به دلیل کثرت نمودارها، نمودار طیف پاسخ شتاب دوران یافته برای زمان تناوب ۰/۴۶، ۱ و ۱/۲ ثانیه دو مؤلفه افقی L و T تنها برای شتاب‌نگاشت منجیل از زاویه ۰ تا ۳۶۰ درجه در شکل (۳) ارائه شده است.



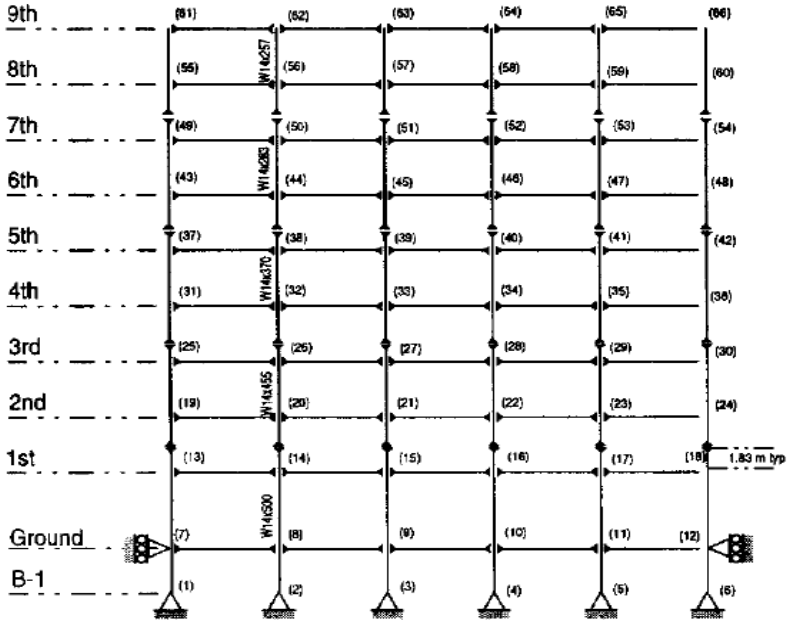




شکل ۳: طیف پاسخ شتاب دوران یافته برای زمان تناوب ۰/۴۶، ۱ و ۱/۲ ثانیه دو مؤلفه افقی L و T شتاب‌نگاشت منجیل از زاویه ۰ تا ۳۶۰ درجه

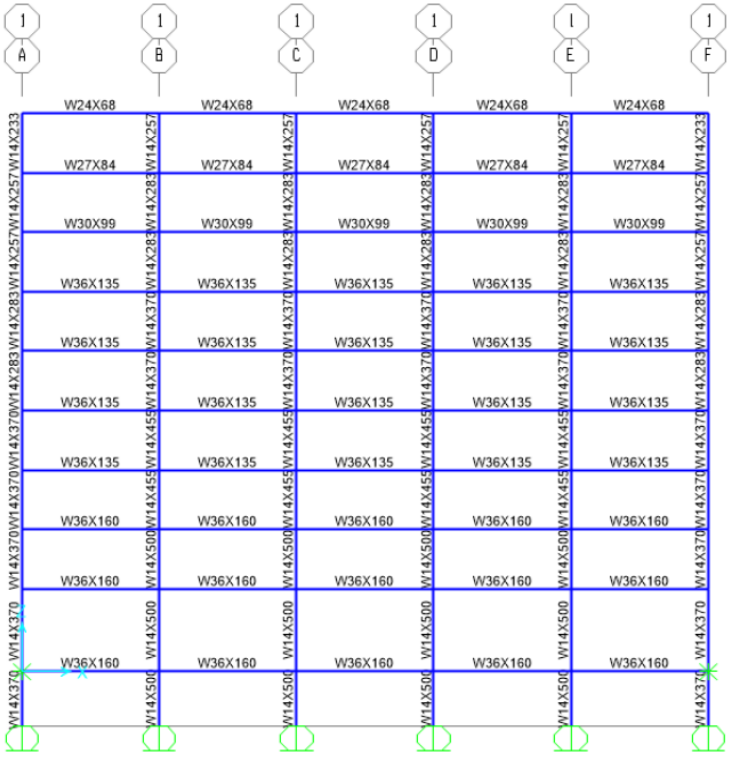
۳- صحت‌سنجی

برای صحت‌سنجی مدل‌سازی، قاب ۹ طبقه SAC انتخاب شده است [۱۶]. در شکل (۴) ابعاد این سازه ارائه شده است.



شکل ۴: قاب نمونه‌ی گروه SAC [۱۶]

مطابق با شکل (۵)، سازه SAC در نرم افزار SAP مدل‌سازی شده و مقاطع تیر و ستون نیز که همگی از نوع W هستند روی هر عضو مشخص شده‌اند.

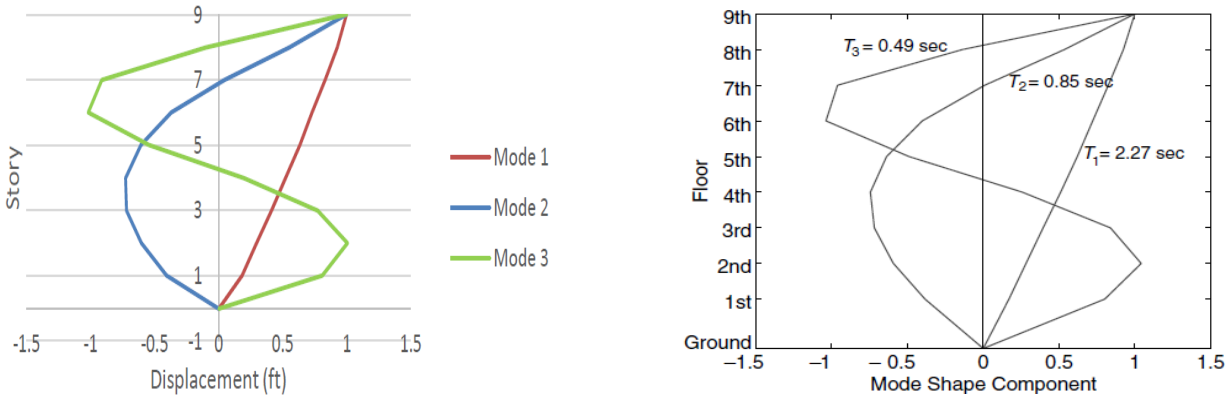


شکل ۵: مدل‌سازی قاب نمونه‌ی ۹ طبقه‌ی گروه SAC در نرم افزار SAP۲۰۰۰

برای بررسی بیشتر، شکل سه مد اول خروجی سازه SAC نشان داده است که مطابقت بسیار خوبی با سازه اصلی دارد. دلیل اصلی انتخاب تحلیل مودال برای صحت سنجی این است که تحلیل مودال بیانگر رفتار دینامیکی سازه است و مطابقت مناسب بین مدهای ارتعاشی حاصله در نرم افزار SAP با سازه SAC بیانگر مدل‌سازی صحیح و اختصاص مناسب جرم و تعریف دقیق و مناسب مقاطع بوده است که رفتار مودال یکسانی را نشان می‌دهد. در شکل (۶)، خروجی تحلیل مودال در نرم افزار SAP۲۰۰۰ ارائه شده است.

شکل ۶: مد اول قاب مدل‌سازی شده در نرم افزار SAP۲۰۰۰

برای بررسی بیشتر، مطابق شکل(۷) سه مد ابتدایی همپایه شده براساس جابه جایی بام نشان داده شده است.



ب) الف)

شکل ۷: مدهای ارتعاشی الف) قاب مرجع [۱۶]، ب) قاب مدل‌سازی شده در نرم افزار SAP۲۰۰۰

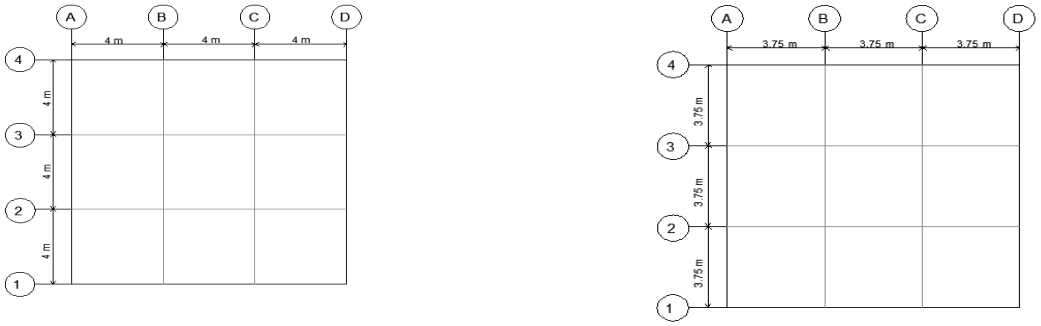
۴- روش تحقیق

در این تحقیق، ابتدا سازه‌های فولادی سه‌بعدی ۸ و ۱۲ طبقه با پلان‌های منظم مربعی و مستطیلی در نرم افزار SAP۲۰۰۰ براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۱۷]، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۸] طرحی شدند و سپس کنترل‌های لرزه‌ای مطابق استاندارد لرزه‌ای ایران ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۱۹] صورت گرفته است. در جدول (۳)، فرضیات مدل‌سازی سازه‌های فولادی مورد نظر ارائه شده‌است.

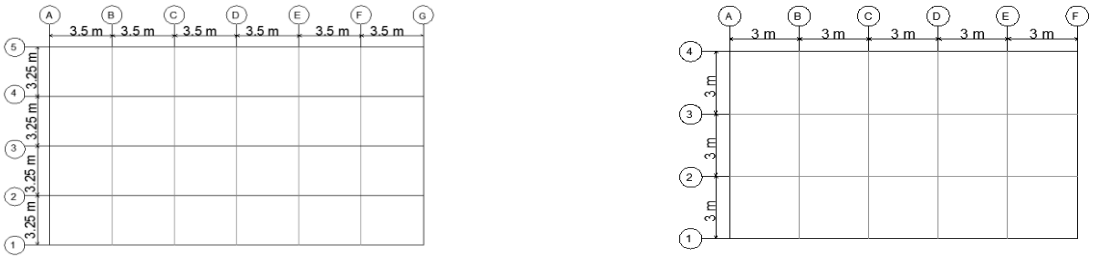
جدول ۳: فرضیات مدل‌سازی سازه‌های فولادی مورد نظر

بار مرده طبقات	۵۰۰ Kg/m^2
بار زنده طبقات	۲۰۰ Kg/m^2
بار مرده بام	۳۰۰ Kg/m^2
بار زنده بام	۱۵۰ Kg/m^2
ارتفاع هر طبقه	۳ m
نوع خاک منطقه	II
I ضریب اهمیت ساختمان	۱.۰
A شتاب مبنای طرح	۰.۳
Ru ضریب رفتار سازه	۵
مقاومت تسلیم فولادهای استفاده شده	۲۴۰۰ Kg/cm^2
مقاومت نهایی فولادهای استفاده شده	۳۶۰۰ Kg/cm^2

در ادامه ابتدا پلان‌های منظم مربعی و مستطیلی به ترتیب برای سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه فولادی براساس شکل‌های (۸) و (۹) و سپس نمای سه‌بعدی سازه‌های فولادی مورد مطالعه با پلان‌های مربعی و مستطیلی به ترتیب براساس شکل‌های (۱۰) و (۱۱) ارائه شده‌است. در جدول (۴) مشخصات مقاطع طراحی‌شده برای کلیه سازه‌های موردمطالعه مشخص شده است.

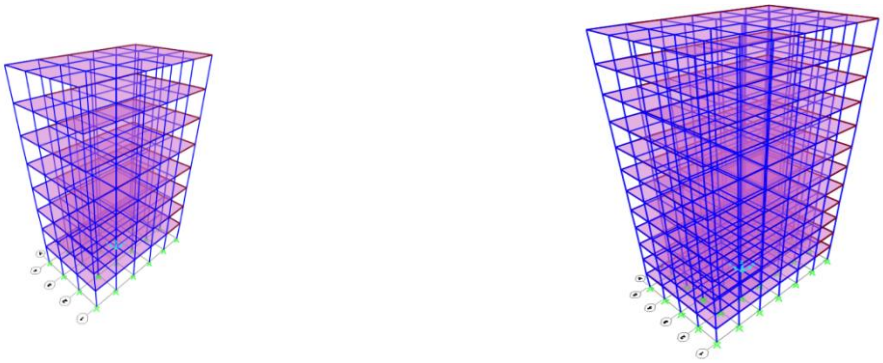


شکل ۸: پلان‌های مربعی ساختمان‌های مورد مطالعه



شکل ۹: پلان‌های مستطیلی ساختمان‌های مورد مطالعه

شکل ۱۰: مدل‌های سه‌بعدی ۸ و ۱۲ طبقه با پلان مربعی



شکل ۱۱: مدل‌های سه‌بعدی ۸ و ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی

جدول ۴: مقاطع قاب‌های فولادی موردمطالعه

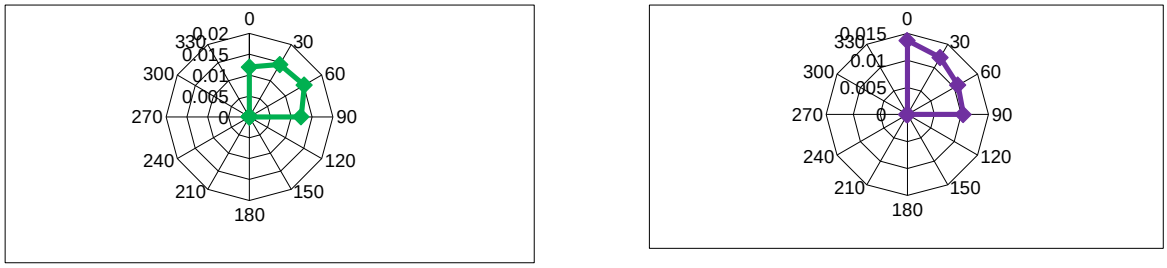
طبقات	مقاطع تیرهای پیرامونی	مقاطع تیرهای میانی	مقاطع ستون‌ها	نوع پلان
چهار طبقه اول	IPE ٤٠٠ و IPE ٣٦٠	I٣٥٠*١٧٠*١٥*٢٠	BOX ٣٠٠*٣٠٠*٢٠	پلان مربعی ۸ طبقه
چهار طبقه دوم	IPE٢٤٠ و IPE٢٧٠	IPE٤٠٠ و IPE٣٦٠	BOX ٣٠٠*٣٠٠*١٥	
کلبه طبقات	IPE ٣٦٠	IPE ٣٦٠	BOX ٣٥٠*٣٥٠*٢٠	پلان مربعی ۱۲ طبقه
چهار طبقه اول	IPE ٢٤٠	I٢٥٠*١٢٠*١٠*١٢	BOX ٣٠٠*٣٠٠*١٥	پلان مستطیلی ۸ طبقه
چهار طبقه دوم	IPE٢٢٠	IPE٢٤٠		
چهار طبقه اول	IPE ٢٤٠	I٢٥٠*١٢٠*١٠*١٢	BOX ٣٠٠*٣٠٠*١٥	پلان مستطیلی ۱۲ طبقه
طبقه پنجم تا دوازدهم	IPE٢٢٠	IPE٢٤٠		

۵- ارائه‌ی نتایج تحلیل‌های لرزه‌ای

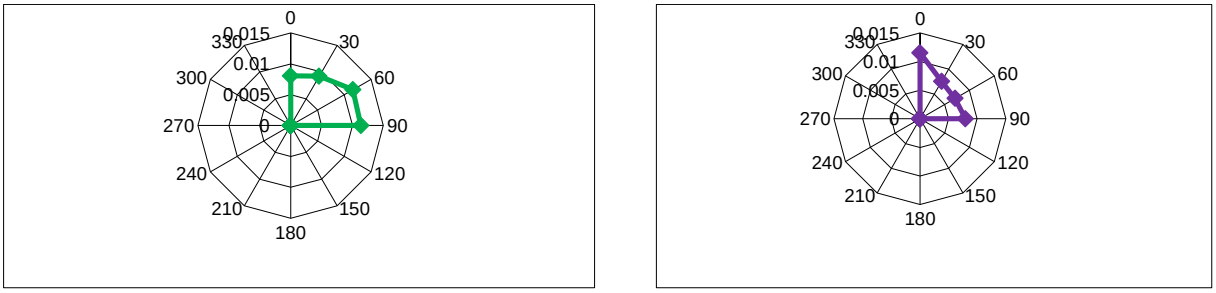
در این بخش، نتایج مربوط به تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی ارائه شده‌است. در ادامه، پاسخ‌های لرزه‌ای (تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات، شتاب بیشینه بام و جابجایی بیشینه بام) تحت ۸ شتاب نگاشت نزدیک به گسل و ۸ شتاب نگاشت دور از گسل مورد بحث قرار گرفته است. به دلیل کثرت نمودارها و محدودیت حجم مقاله تنها پاسخ‌های لرزه‌ای مذکور برای دو مولفه‌ی X و Y زلزله دور از گسل Chi Chi و نزدیک به گسل Nahanni Canada استخراج و به‌صورت نمودار ارائه شده‌است. سایر نتایج به‌صورت خلاصه با عنوان میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای در جدول ذکر شده است.

۵-۱- پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات

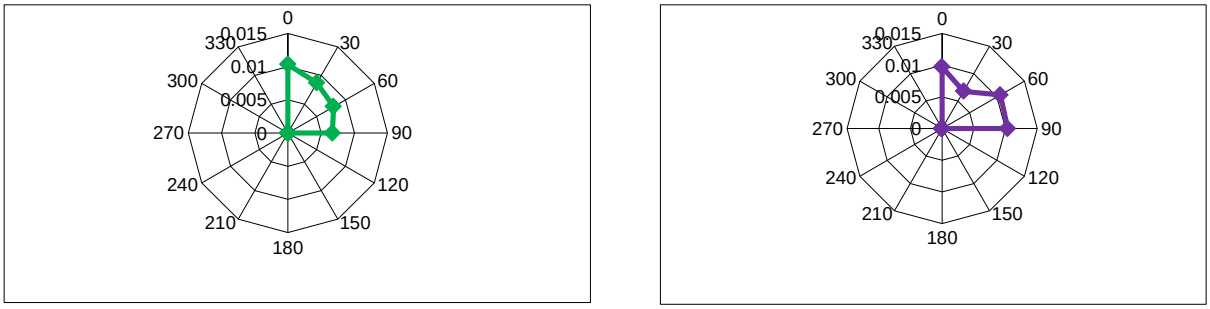
محاسبه‌ی پاسخ تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات در دو جهت X و Y با در نظر گرفتن دوران شتاب‌نگاشت‌ها با زوایای ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه برای سازه‌های فولادی با پلان مربعی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ تحت دوران ۴ زوج شتاب‌نگاشت دور و ۴ زوج شتاب‌نگاشت نزدیک گسل در شکل‌های (۱۲) الی (۱۵) و برای سازه‌های فولادی با پلان مستطیلی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ تحت دوران ۴ زوج شتاب‌نگاشت نزدیک و دور از گسل در شکل‌های (۱۶) الی (۱۹) نشان داده‌شده است. با توجه به شکل‌های (۱۲) الی (۱۹) مشخص می‌گردد که شکل پلان تأثیر بسزایی در کاهش پاسخ‌ها نداشته است و همچنین تغییرمکان نسبی سازه‌های فولادی در زوایای ۶۰ و ۹۰ درجه بحرانی بوده است و همچنین مقدار تغییرمکان نسبی در زاویه ۰ درجه که در اکثر تحقیق‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندک است و عملکرد ساختمان مناسب است. بررسی نتایج مرتبط با سایر زلزله‌ها نیز حاکی از این موضوع می‌باشد.



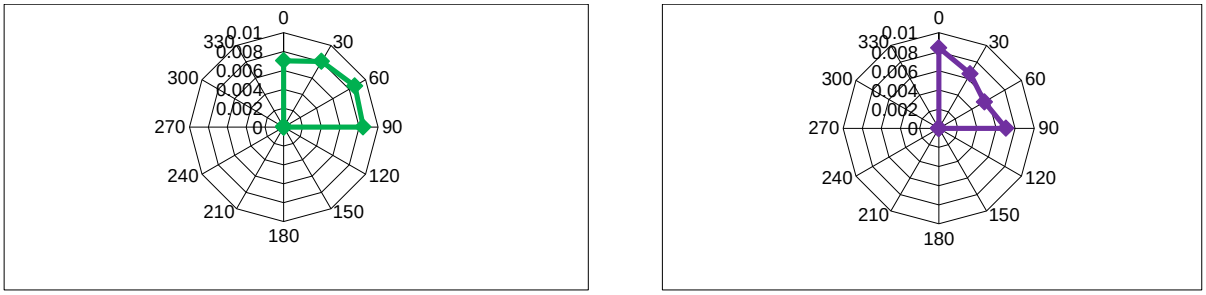
شکل ۱۲: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل Chi Chi



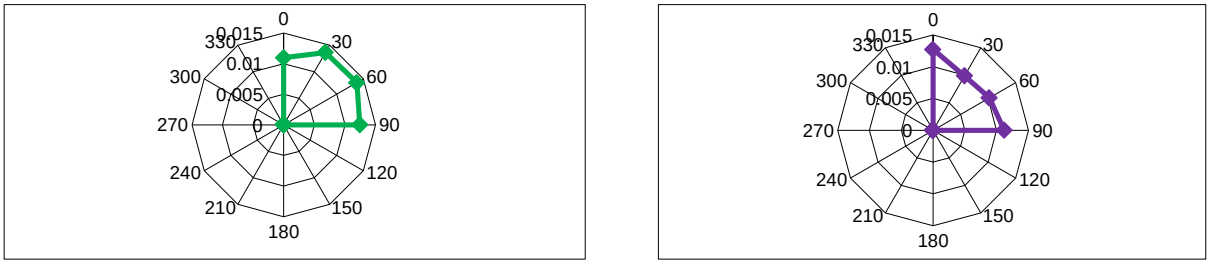
شکل ۱۳: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



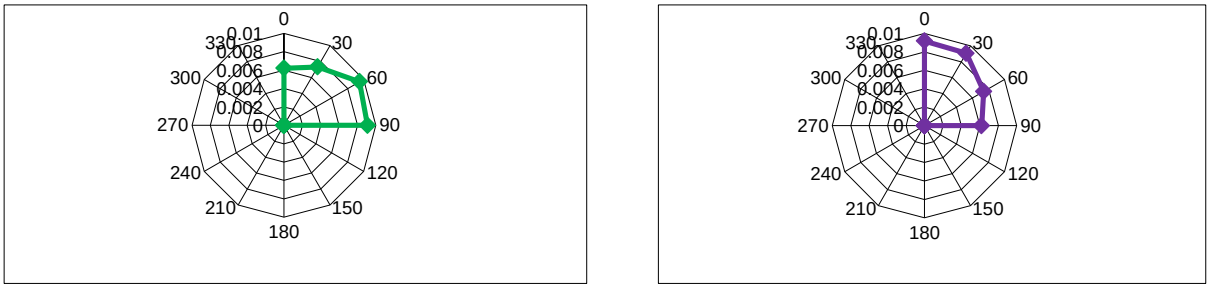
شکل ۱۴: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل Chi Chi



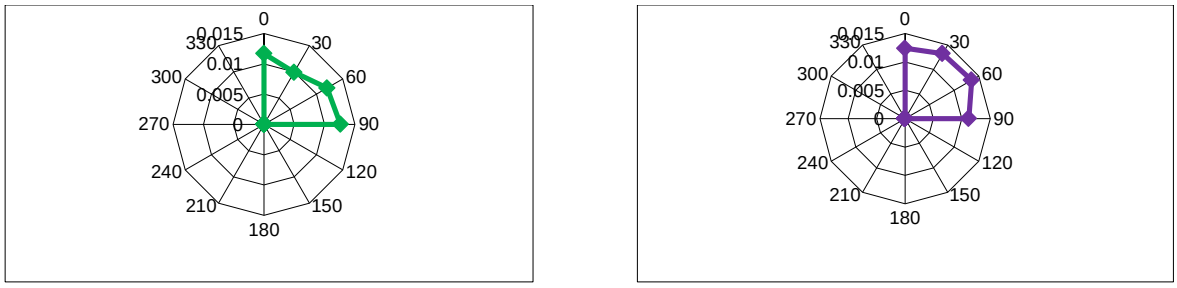
شکل ۱۵: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



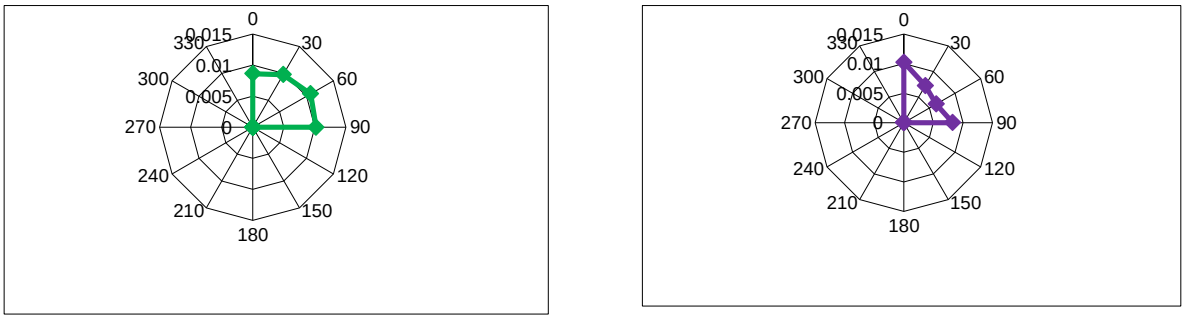
شکل ۱۶: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل Chi Chi



شکل ۱۷: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



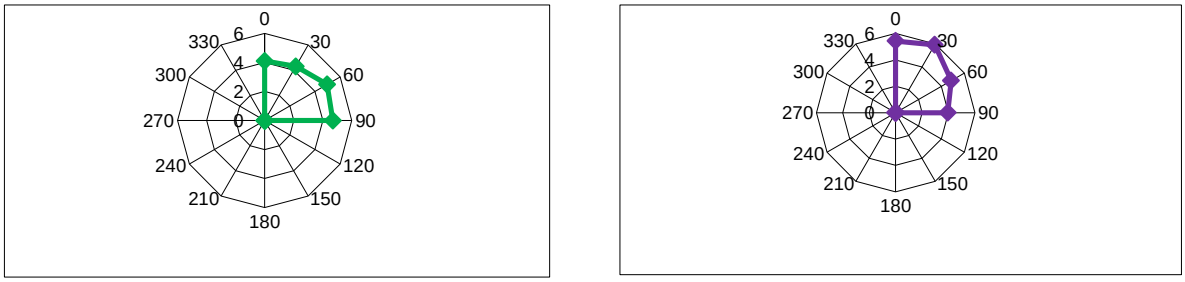
شکل ۱۸: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل Chi Chi



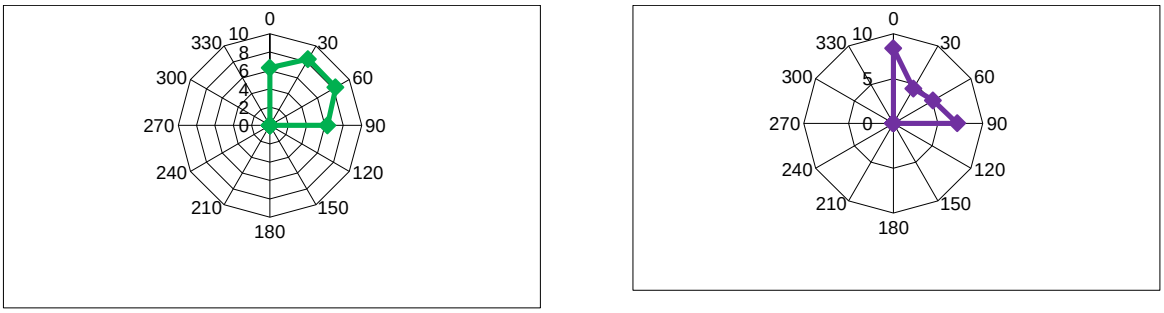
شکل ۱۹: تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada

۵-۲- پاسخ شتاب بیشینه بام

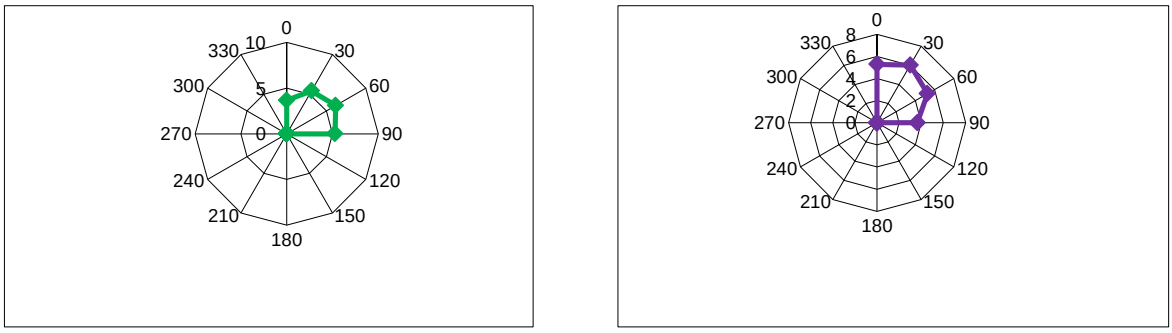
محاسبه‌ی پاسخ شتاب بیشینه بام در دو جهت X و Y با در نظر گرفتن دوران شتاب‌نگاشت‌ها با زوایای برخورد ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه برای سازه‌های فولادی با پلان مربعی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ تحت دوران ۴ زوج شتاب‌نگاشت دور و نزدیک گسل در شکل‌های (۲۰) الی (۲۳) و برای سازه‌های فولادی با پلان مستطیلی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ تحت دوران ۴ زوج شتاب‌نگاشت نزدیک و دور از گسل در شکل-های (۲۴) الی (۲۷) نشان داده‌شده است. با توجه به شکل‌های (۲۰) الی (۲۷) مشخص می‌گردد که ارتفاع سازه تأثیر بسزایی در افزایش پاسخ شتاب داشته است و تأثیر شکل پلان ناچیز است و همچنین شتاب بام سازه‌های فولادی در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه بحرانی بوده است و همچنین مقدار شتاب بام در زاویه ۰ درجه که در اکثر تحقیق‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد نسبت به سایر زوایای برخورد کم‌تر است. بررسی نتایج مرتبط با سایر زلزله‌ها نیز حاکی از این موضوع می‌باشد.



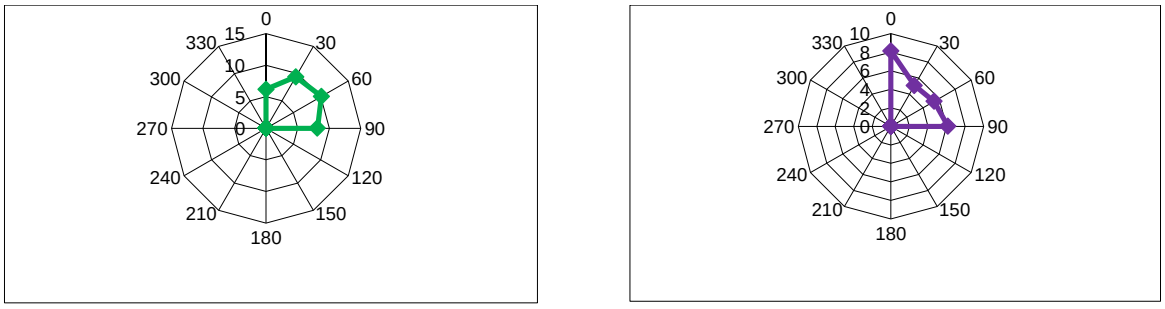
شکل ۲۰: شتاب بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل **Nahanni Canada**



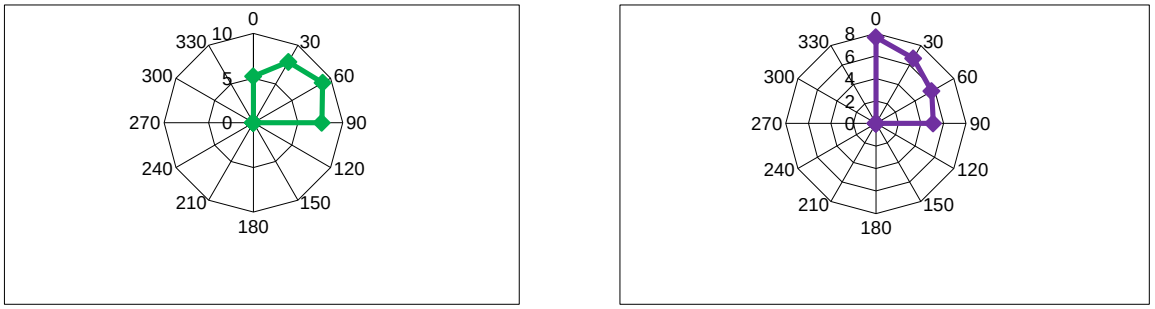
شکل ۲۱: شتاب بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل **chi chi**



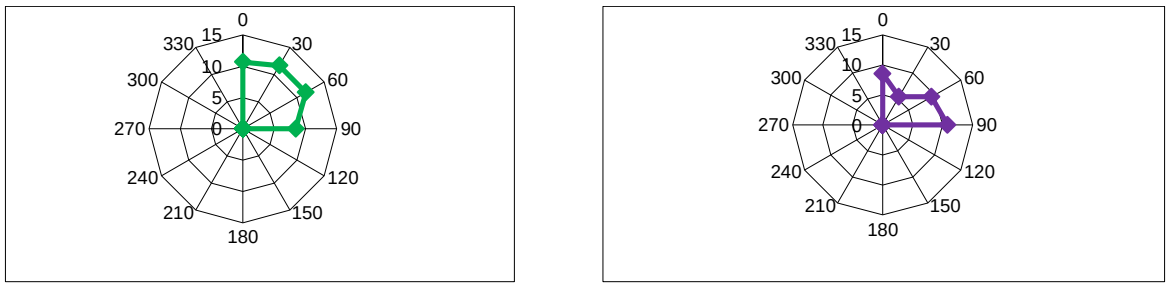
شکل ۲۲: شتاب بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل **Nahanni Canada**



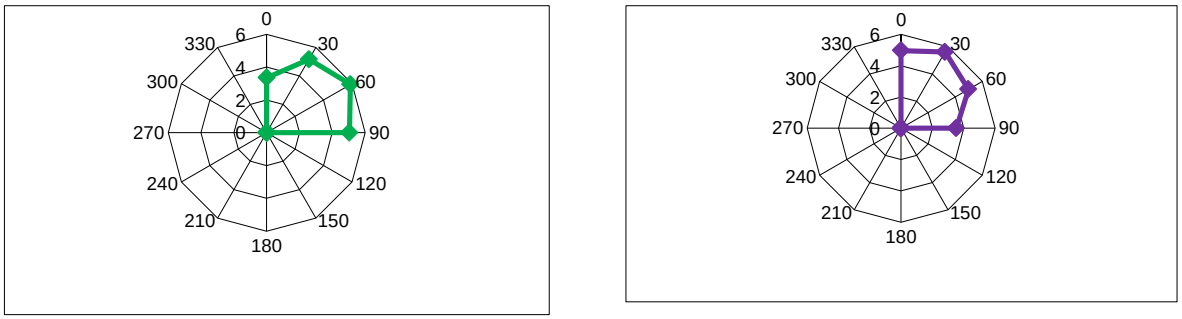
شکل ۲۳: شتاب بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل **chi chi**



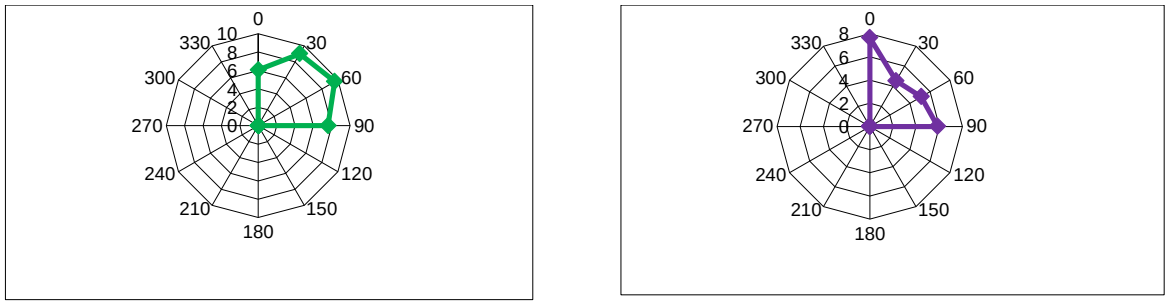
شکل ۲۴: شتاب بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



شکل ۲۵: شتاب بیشینه طبقات سازه ۸ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل chi chi



شکل ۲۶: شتاب بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



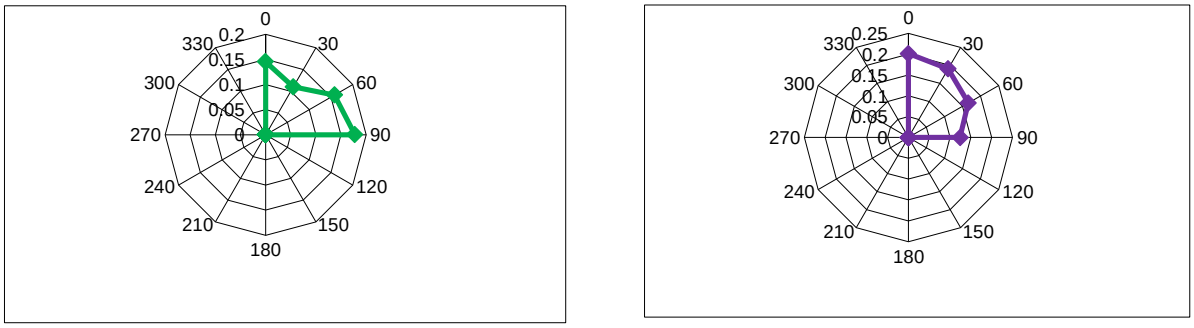
شکل ۲۷: شتاب بیشینه طبقات سازه ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل chi chi

۵-۳- پاسخ جابجایی بیشینه بام

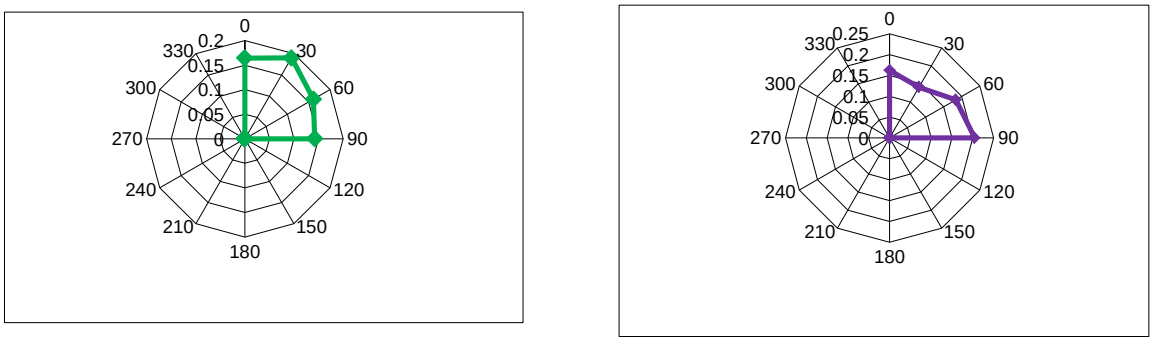
بررسی پاسخ جابجایی بیشینه بام نسبت به تراز پایه در دو جهت X و Y با در نظر گرفتن دوران شتاب‌نگاشت‌ها با زوایای برخورد ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه برای سازه‌های فولادی با پلان مربعی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ تحت دوران ۴ زوج شتاب‌نگاشت دور و نزدیک گسل در شکل‌های (۲۸) الی (۳۱) و برای سازه‌های فولادی با پلان مستطیلی با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ تحت دوران ۴ زوج شتاب‌نگاشت نزدیک و دور از گسل در شکل‌های (۳۲) الی (۳۵) نشان داده‌شده است. با توجه به شکل‌های (۲۸) الی (۳۵) مشخص می‌گردد که ارتفاع سازه نسبت به

شکل پلان تأثیر بسزایی در افزایش پاسخ جابجایی داشته است و همچنین جابجایی بام سازه‌های فولادی در زوایای ۶۰ و ۹۰ درجه بزرگتر بوده و تقریبا عملکرد آن‌ها بحرانی تر بوده است و همچنین مقدار جابجایی بام در زوایای ۰ و ۳۰ درجه نسبت به سایر زوایای برخورد کم‌تر است. بررسی نتایج مرتبط با سایر زلزله‌ها نیز این موضوع را تایید می‌نماید.

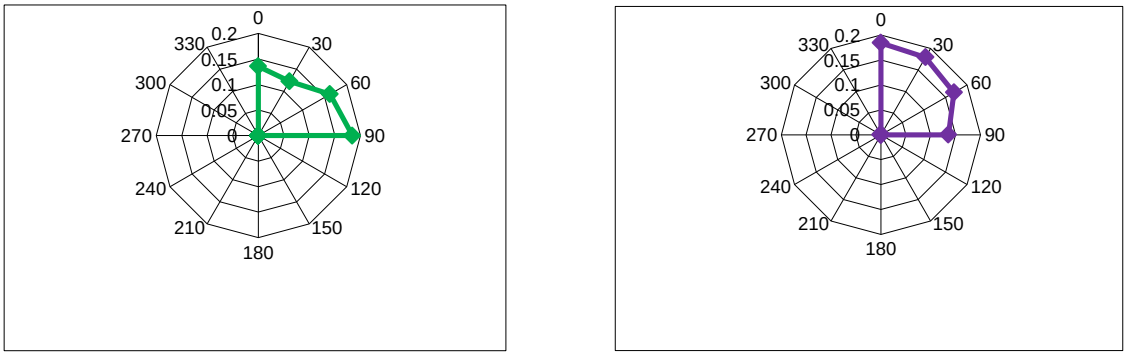
شکل ۲۸: جابجایی بیشینه بام سازه ۸ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



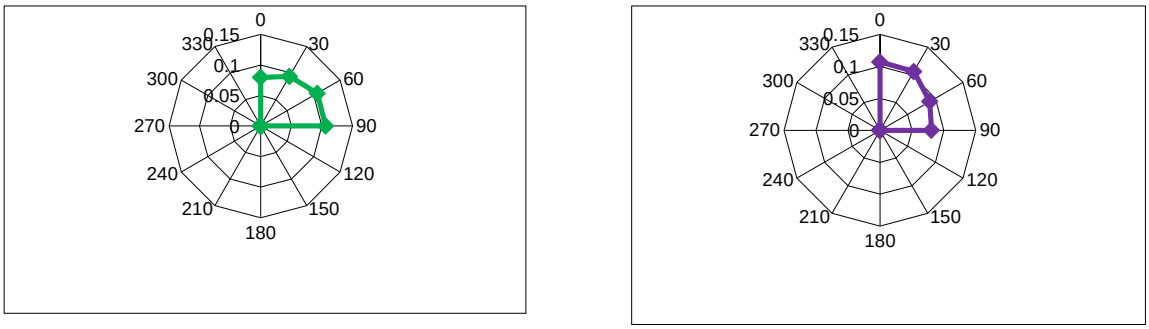
شکل ۲۹:جابجایی بیشینه بام سازه ۸ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل chi chi



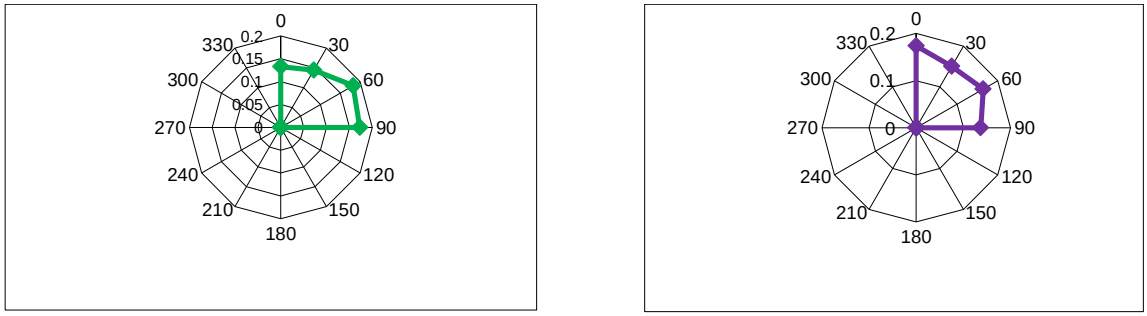
شکل ۳۰: جابجایی بیشینه بام سازه ۱۲ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



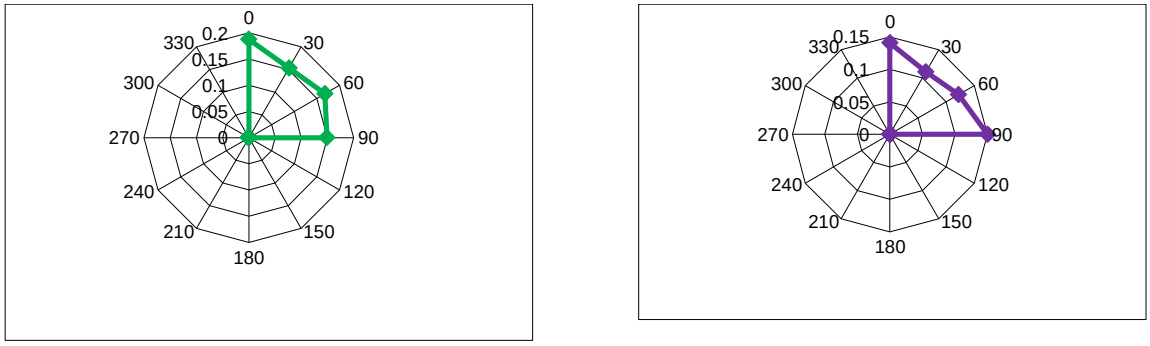
شکل ۳۱:جابجایی بیشینه بام سازه ۱۲ طبقه با پلان مربعی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل chi chi



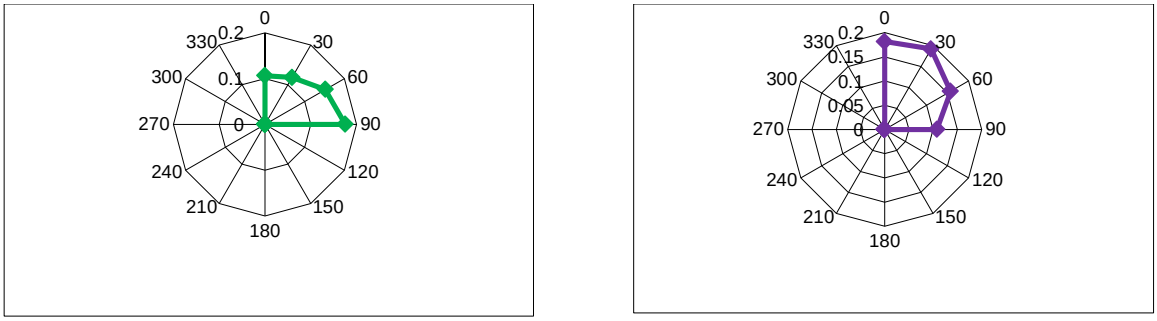
شکل ۳۲: جابجایی بیشینه بام سازه ۸ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



شکل ۳۳: جابجایی بیشینه بام سازه ۸ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل chi chi



شکل ۳۴: جابجایی بیشینه بام سازه ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله نزدیک گسل Nahanni Canada



شکل ۳۵: جابجایی بیشینه بام سازه ۱۲ طبقه با پلان مستطیلی و دوران مؤلفه‌های L و T زلزله دور از گسل Chi Chi

میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های فولادی با پلان‌های مربعی و مستطیلی تحت زوایای مختلف برخورد ۱۶ شتاب نگاشت زلزله‌های نزدیک و دور از گسل به‌صورت خلاصه در دو جهت X و Y در جدول‌های (۵) الی (۸) ارائه شده است:

جدول ۵: میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها با پلان مربعی تحت زلزله‌های نزدیک گسل

مدل سازه‌ای	پاسخ لرزه‌ای	۰ درجه		۳۰ درجه		۶۰ درجه		۹۰ درجه	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
مربعی هشت طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶
	جابجایی بام (m)	۰/۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۳	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۶
	شتاب بام (m/s^2)	۹/۲	۹/۳	۸/۵	۹	۹/۹	۱۰/۱	۱۱	۱۰/۹
مربعی دوازده طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۳
	جابجایی بام (m)	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳	۰/۲۸
	شتاب بام (m/s^2)	۷/۷	۷/۹	۱۰/۲	۹	۱۰/۲	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۶

جدول ۶: میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها با پلان مستطیلی تحت زلزله‌های نزدیک گسل

مدل سازه‌ای	پاسخ لرزه‌ای	۰ درجه		۳۰ درجه		۶۰ درجه		۹۰ درجه	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
مستطیلی هشت طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳	۰/۰۳۲
	جابجایی بام (m)	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳
	شتاب بام (m/s^2)	۹/۹	۹/۳	۹/۱	۹/۱	۱۰/۱	۱۰/۴	۱۱	۱۰/۹
مستطیلی دوازده طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳
	جابجایی بام (m)	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳
	شتاب بام (m/s^2)	۸	۹/۷	۷/۷	۸	۱۲/۱	۱۲	۹/۵	۱۰

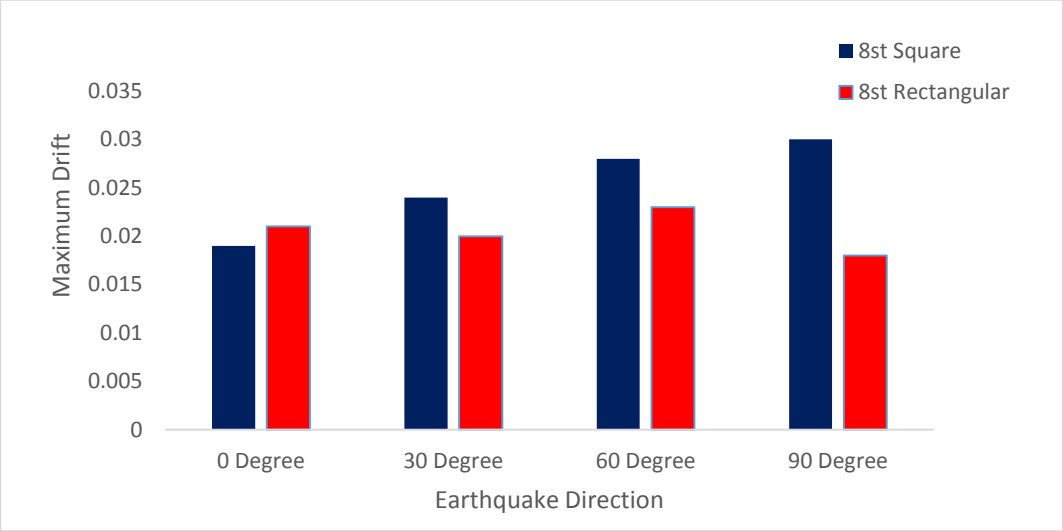
جدول ۷: میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها با پلان مربعی تحت زلزله‌های دور از گسل

مدل سازه‌ای	پاسخ لرزه‌ای	۰ درجه		۳۰ درجه		۶۰ درجه		۹۰ درجه	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
مربعی هشت طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۱۶	۰/۰۲۱	۰/۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۲۳	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷
	جابجایی بام (m)	۰/۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۵
	شتاب بام (m/s^2)	۹/۲	۹/۳	۸/۵	۹	۱۰/۹	۱۰/۱	۱۱	۱۱/۱
مربعی دوازده طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳۱	۰/۰۲۷
	جابجایی بام (m)	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۴
	شتاب بام (m/s^2)	۹/۹	۹/۷	۷/۵	۸/۸	۱۰	۱۰/۵	۱۰	۹/۱

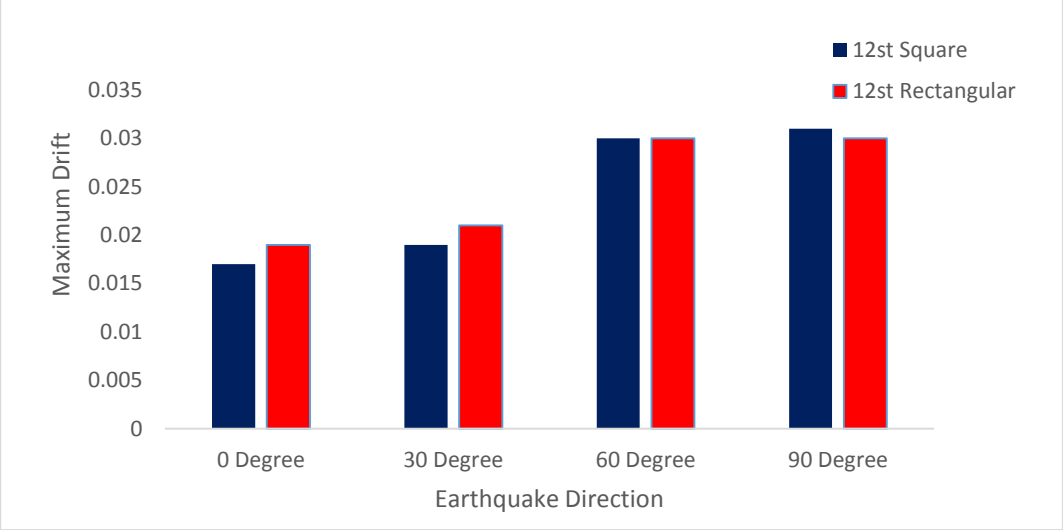
جدول ۸ : میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها با پلان مستطیلی تحت زلزله‌های دور از گسل

مدل سازه‌ای	پاسخ لرزه‌ای	۰ درجه		۳۰ درجه		۶۰ درجه		۹۰ درجه	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
مستطیلی هشت طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۱۴	۰/۰۱۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲۹
	جابجایی بام (m)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۳	۰/۳	۰/۳۱
	شتاب بام (m/s^2)	۹/۹	۱۰	۹	۹/۹	۱۰/۹	۱۱/۱	۱۱/۱	۱۰/۸
مستطیلی دوازده طبقه	تغییرمکان نسبی	۰/۰۱۷	۰/۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۳	۰/۰۲۱
	جابجایی بام (m)	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۳	۰/۳۲
	شتاب بام (m/s^2)	۷/۷	۸/۹	۱۰	۹	۱۰/۵	۱۰/۱	۱۰	۹/۹

نتایج ارائه شده در جدول‌های (۵) الی (۸) نشان می‌دهد که ارتفاع سازه نسبت به شکل پلان تاثیرگذارتر است و عملکرد سازه‌ها تحت زوایای برخورد ۶۰ و ۹۰درجه در اکثر زلزله‌های نزدیک و دور از گسل بحرانی‌تر بوده‌اند. در ادامه، به عنوان نمونه مقایسه‌ی پاسخ حداکثر تغییر مکان نسبی در قاب‌های ۸ و ۱۲ طبقه با پلان‌های مربعی و مستطیلی شکل مطابق شکل‌های (۳۶) و (۳۷) ارائه شده است.



شکل ۳۶: مقایسه‌ی پاسخ حداکثر تغییر مکان نسبی در قاب‌های ۸ طبقه با پلان‌های مربعی و مستطیلی شکل



شکل ۳۷: مقایسه‌ی پاسخ حداکثر تغییر مکان نسبی در قاب‌های ۱۲ طبقه با پلان‌های مربعی و مستطیلی شکل

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی با سیستم قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط با تعداد طبقات ۸ و ۱۲ با پلان‌های منظم مربعی و مستطیلی تحت ۱۶ رکورد نزدیک و دور از گسل (۸ زوج شتاب‌نگاشت) در راستاهای مختلف (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه) مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قرار گرفته‌اند. طراحی و تحلیل‌های غیرخطی سازه‌ها در نرم افزار SAP۲۰۰۰ انجام گردید. هدف از این تحقیق، ارزیابی تأثیر زاویه‌ی اعمال شتاب‌نگاشت‌ها به سازه‌های مورد نظر در ۴ حالت ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه بوده‌است. پس از انجام

تحلیل‌ها و بررسی نتایج می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱- شکل پلان سازه‌های فولادی مورد مطالعه (مستطیلی یا مربعی) در نتایج به‌دست‌آمده تأثیر محسوسی نداشته‌است.

۲- با افزایش ارتفاع سازه‌های فولادی مورد مطالعه، پاسخ‌های سازه‌ای بحرانی تر شده‌است.

۳- سازه‌های فولادی تحت اثر زلزله‌های نزدیک به گسل در مقایسه با زلزله‌های دور از گسل پاسخ‌های لرزه‌ای بحرانی‌تری داشته‌اند.

۴- میزان پاسخ‌های لرزه‌ای در زوایای برخورد ۰ و ۳۰ درجه نسبت به ۶۰ و ۹۰ درجه به‌صورت میانگین کم‌تر بوده‌است بنابراین پاسخ-های لرزه‌ای بررسی شده در زوایای ۶۰ و ۹۰ درجه، بحرانی تر بوده‌اند. به عنوان مثال میانگین تغییرمکان نسبی بیشینه طبقات در سازه فولادی ۸ طبقه با پلان مربعی تحت مؤلفه X زلزله‌های نزدیک گسل در حالت ۶۰ درجه نسبت به ۰ درجه تقریبا ۲۳ درصد بزرگ‌تر بوده‌است و میانگین شتاب بیشینه بام در سازه فولادی ۸ طبقه با پلان مربعی تحت مؤلفه X زلزله‌های نزدیک گسل در حالت ۶۰ درجه نسبت به ۰ درجه تقریبا ۱۵ درصد افزایش یافته‌است و میانگین جابجایی بیشینه بام در سازه فولادی ۸ طبقه با پلان مربعی تحت مؤلفه X زلزله‌های نزدیک گسل تقریبا ۳۳ درصد افزایش یافته‌است.

۵- بیش‌ترین درصد افزایش پاسخ‌های لرزه‌ای به‌صورت میانگین در اثر اعمال زلزله‌های نزدیک به گسل با زوایای بحرانی ۶۰ و ۹۰ درجه رخ داده‌است.

مراجع

[۱] Penzien. J., Watabe, M. (۱۹۷۵). Characteristics of ۳-dimensional earthquake ground motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. ۳, No. ٤, Pages ۳٦٥–۳۷۳. https://doi.org/۱۰.۱۰۰۲/eqe.۴۲۹۰۰۳۰۴۰۷

[۲] Marinilli, A., Lopez, O.A. (۲۰۰۸). Evaluation of critical responses and critical incidence angles obtained with RSA and RHA, *Proceedings of ۱۴th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.

[۳] Fernandez-Davilla I., Cominetti, S., and Cruz E.F. (۲۰۰۰). Considering the bi-directional effects and the seismic angle variations in building design, *Proceedings of ۱۲th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. ۰۴۳۵, Auckland, New Zealand.

[۴] Kalkan, E., and Chopra, A.K. (۲۰۱۱). Modal-pushover based ground-motion scaling procedure, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, Vol. ۱۳۷ (۳), Pages ۲۸۹-۳۱۰. https://doi.org/۱۰.۱۰۶۱/(ASCE)ST.۱۹۴۳-۵۴۱X.۰۰۰۰۳۰۸

[۵] Mazza, F., Mazza, M. (۲۰۱۲). Nonlinear modeling and analysis of R.C. framed buildings located in a near-fault area, *The Open Construction and Building Technology Journal*, Vol. ۶, No. ۱, Pages ۳۴۶-۳۵۴. http://doi.org/ ۱۰.۲۱۷۴/۱۸۷۴۸۳۶۸۰۱۲۰۶۰۱۰۳۴۶

[۶] Lagaros, N.D. (۲۰۱۰). The impact of the earthquake incident angle on the seismic loss estimation, *Engineering Structures*, Vol. ۳۲, No. ۶, Pages ۱۵۷۷-۱۵۸۹. https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.engstruct.۲۰۱۰.۰۲.۰۰۶

[۷] Reyes, J.C., Kalkan, E. (۲۰۱۵). Significance of rotating ground motions on behavior of symmetric- and asymmetric-plan structures: part ۱. Single-story structures, *Earthquake Spectra*, Vol. ۳۱, No. ۳, Pages ۱۵۹۱-۱۶۱۲. https://doi.org/۱۰.۱۱۹۳/۰۷۲۰۱۲EQS۲۴۱M

[۸] Saberi, V., Saberi, H., Sadeghi, A., (۲۰۲۰). Collapse Assessment of Steel Moment Frames Based on Development of Plastic Hinges, *Journal of Science and Technology*, (In Persian).

[۹] Sadeghi, A., Hashemi, S., Mehdizadeh, K. (۲۰۲۰). Probabilistic Assessment of Seismic Collapse Capacity of ۳D Steel Moment-Resisting Frame Structures. *Journal of Structural and Construction Engineering*, (In Persian).

[۱۰] Mehdizadeh, K., Karamodin, A. & Sadeghi, A. Progressive Sidesway Collapse Analysis of Steel Moment-Resisting Frames Under Earthquake Excitations. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* ۴۴, ۱۲۰۹–۱۲۲۱ (۲۰۲۰).

[۱۱] Habibullah, A. (۲۰۱۸). SAP-Three Dimensional Analysis of Building Systems. Manual. Computers and Structures Inc., Berkeley, California. https://www.csiamerica.com/

[۱۲] FEMAP۶۹۵. P۶۹۵-*Quantification of Building Seismic Performance Factors, Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, Document No (۲۰۰۹), FEMA.

[۱۳] PEER Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Centre, Web Site: http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database

[۱۴] SeismoSignal (۲۰۱۸). Constitutes a simple, yet efficient, package for the processing of strong-motion data. *SeismoSoft's Ltd*. https://www.seismosoft.com/

[۱۵] MATLAB (matrix laboratory), (۲۰۱۸). *multi-paradigm numerical computing environment and proprietary programming language developed by MathWorks*. https://www.mathworks.com/help/matlab/

[۱۶] Chopra, A.K. and Goel, R.K. (۲۰۰۲), A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engng. Struct. Dyn*., ۳۱: ۵۶۱-۵۸۲. Doi:۱۰.۱۰۰۲/eqe.۱٤٤

[۱۷] INBC. (۲۰۱۳). *Design Loads for Buildings*. Tehran: Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part ۶. (In Persian).

[۱۸] INBC. (۲۰۱۳). *Design and Construction of Steel Structures*. Tehran: Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part ۱۰. (In Persian).

[۱۹] BHRC. (۲۰۱٤). *Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings*. Tehran: Building and Housing Research Centre, Standard No. ۲۸۰۰. (In Persian).