

Investigation of the effects of short columns on the seismic response of reinforced concrete structures

Ashkan KhodaBandehLou^{1*}, Sina Zahiri Miandoab²

1- Assistant Professor, Faculty Of Engineering, Civil Engineering Department, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

2- Ph.D. Student Of Civil Engineering-Structure, Faculty Of Engineering, Civil Engineering Department, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

ABSTRACT

The formation of short columns in concrete structures has been a common practice that has led design engineers to study the behavior of structures when dealing with it. One of the conditions that lead to the formation of a short column is the placement of the structure in a sloping position. Its sections are designed using static-equivalent analysis and then 8 and 16 story structures without short columns are assumed to be on a flat surface so that the responses of structures with and without short columns are compared. Then, using nonlinear time history analysis, the behavior of structures in the plastic region is compared. Structures were modeled in Sap2000v20 software and SeismoSignal.v2018 software was used to scale the accelerometers required for nonlinear time history analysis. According to the results of the software, it was observed that the formation of short columns in concrete structures with a special bending frame system causes a negative effect on the seismic response of the structure, so that it increases the displacement of floors, drifts the structure and also creates a mechanism of plastic joints.

ARTICLE INFO

Receive Date: 08 November 2021

Revise Date: 08 February 2022

Accept Date: 16 February 2022

Keywords:

Short column

Nonlinear time history analysis

Structural seismic response

Plastic area

Structural Analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2022.314094.2635>

*Corresponding author: Ashkan KhodaBandehLou

Email address: a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

بررسی تأثیرات ستون‌های کوتاه در پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های بتن‌آرمه اشکان خدابنده لو^{۱*}، سینا ظهیری میان‌دوآب^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

چکیده

تشکیل پدیده ستون کوتاه در سازه‌های بتن‌آرمه سبب شده است که مهندسين طراح رفتار این‌گونه سازه‌ها را مورد بررسی قرار دهند. از جمله شرایطی که منجر به تشکیل ستون کوتاه می‌گردد قرارگیری سازه در یک موقعیت شیب‌دار است. در این مقاله دو سازه ۸ و ۱۶ طبقه یک‌بار بر روی سطح هموار و بار دیگر بر روی یک موقعیت شیب‌دار مدل‌سازی و مقاطع آن‌ها با استفاده از تحلیل استاتیکی معادل طراحی شدند. سپس با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به مقایسه رفتار این سازه‌ها در ناحیه پلاستیک پرداخته شد. مدل‌سازی سازه‌ها در نرم‌افزار Sap2000v20 صورت گرفت و جهت مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از نرم‌افزار SeismoSignal.v2018 استفاده شد. با بررسی نتایج ملاحظه گردید که تشکیل پدیده ستون کوتاه در سازه‌های بتن‌آرمه دارای سیستم قاب خمشی ویژه، تأثیر منفی بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها دارد؛ به طوری که باعث افزایش جابجایی طبقات، افزایش دررفت سازه و همچنین ایجاد مکانیسم (یا تشکیل مفاصل پلاستیک) می‌شود. به عنوان مثال، بر اساس نتایج بدست از سازه ۸ و ۱۶ طبقه با و بدون ستون کوتاه، مشاهده گردید که میانگین دررفت سازه ۸ و ۱۶ طبقه دارای ستون کوتاه به ترتیب به میزان ۱۹٪ و ۷٪ در جهت X بیش‌تر از سازه بدون ستون کوتاه است و همچنین در جهت Y میانگین دررفت سازه ۸ و ۱۶ طبقه دارای ستون کوتاه به ترتیب به میزان ۷٪ و ۱۲٪ بیش‌تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

کلمات کلیدی: ستون کوتاه، تحلیل استاتیکی معادل، تحلیل تاریخچه زمانی، پاسخ لرزه‌ای، مفصل پلاستیک.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.314094.2635	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2022.314094.2635	۱۴۰۱/۰۹/۳۰	۱۴۰۰/۱۱/۲۷	۱۴۰۰/۱۱/۲۷	۱۴۰۰/۱۱/۱۹	۱۴۰۰/۰۸/۱۷
اشکان خدابنده لو				*نویسنده مسئول:		
a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir				پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

ستون‌ها از اعضای مهم سازه‌های بوده که عمدتاً در معرض نیروهای محوری با و یا بدون لنگر خمشی هستند؛ به طوری که شکست آن‌ها منجر به انهدام سازه می‌گردد. طراحی ایمن و حفظ ایمنی ستون‌ها همواره از موضوع‌های مورد بحث محققین بوده است [1,2]. ستون‌های کوتاه در مقایسه با ستون‌های لاغر دارای سختی به مراتب بالاتری بوده و در نتیجه نیروی زلزله بیش‌تری به خود جذب می‌کنند. به همین دلیل ستون‌های کوتاه منبع قابل توجهی در خسارات جدی زلزله هستند. بسیاری از روش‌های شناسایی خسارت به ارزیابی رفتار این ستون‌ها پرداخته‌اند [3].

خیرالدین و همکاران در سال ۱۳۸۹ به بررسی رفتار غیرخطی ستون‌های کوتاه بتن‌آرمه در قالب سازه‌های با اختلاف تراز طبقه ۴ و ۸ و ۱۰ طبقه پرداختند. سازه‌های مورد نظر تحت دو رکورد زلزله طیس و السنترو با شتاب‌های مختلف حداکثر زمین PGA^1 با کمک نرم افزار IDRAcv6 مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گرفتند. در این تحلیل نتایج حاصل از حداکثر پاسخ برش، شاخص کلی خسارت و تاریخچه زمانی آن‌ها و نسبت سهم ستون کوتاه در خرابی سازه برای هر رکورد زلزله مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان خسارت ستون‌های کوتاه در طبقات مختلف سازه‌ها با افزایش ارتفاع و شتاب زلزله افزایش می‌یابد؛ به جز در سازه ۸ طبقه که در شتاب 0.3g ستون کوتاه طبقه آخر، بیش‌ترین مقدار خسارت را نسبت به شتاب 0.5g و 0.7g متحمل شد. متوسط تاریخچه پاسخ تغییرمکان ستون کوتاه طبقات اول و طبقات میانی در سازه‌های ۴ طبقه و تغییرمکان ستون کوتاه طبقه آخر در سازه ۱۰ طبقه، دارای بیش‌ترین مقدار نسبت به سایر سازه‌ها بود. همچنین ملاحظه گردید که میزان خسارت تقریباً در بالا و پایین ستون کوتاه طبقه وسط در همه سازه‌ها یکسان و دارای کمترین مقدار بودند [۴]. کولمب^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۸، هشت ستون کوتاه محصور شده با FRP^۳ را مورد آزمایش قرار دادند. این ستون‌ها تحت همزمان نیروی محوری فشاری ثابت و بار سیکلی شبه استاتیک جانبی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شکل‌پذیری ستون‌های کوتاه تقویت شده با FRP به واسطه افزایش محصورشدگی این ستون‌ها، افزایش یافت [5]. در تحقیق جلال و همکاران در سال ۲۰۰۵، مشخص شد که ستون‌های کوتاه حتی آن‌هایی که مطابق با آیین‌نامه‌های فعلی طراحی شده‌اند، دچار شکست برشی شکننده شده‌اند. به طور تجربی نشان داده شد که می‌توان مقاومت برشی ستون‌های کوتاه را تقویت کرد؛ به طوری که با ایجاد مفصل‌های پلاستیک در هر دو انتهای ستون، شکست خمشی شکل‌پذیر رخ دهد [6]. ژو^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۰، رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه لوله‌ای SRC^۵ را با انجام آزمایش هشت نمونه تحت ترکیب فشار محوری ثابت و بار چرخه‌ای جانبی مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور در این تحقیق، سه ستون SRC لوله دایره‌ای (CTSRC^۶) و سه ستون SRC لوله مربعی (STSRC^۷) با دو ستون SRC رایج جهت مقایسه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که ستون‌های کوتاه SRC معمولی دارای شکست برشی ترد با شکل‌پذیری کم بودند، در حالی که شکل‌پذیری و توانایی اتلاف انرژی ستون‌های کوتاه SRC لوله شده به دلیل محصورشدگی مؤثر بتن هسته توسط لوله فولادی نازک بیرونی افزایش یافت [2]. ما^۸ و همکاران در سال ۲۰۱۵، به مطالعه آزمایشگاهی رفتار لرزه‌ای ستون‌های بتن بازیافتی تقویت شده فولادی (SRRC) شامل ۹ ستون کوتاه و یک ستون بلند تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداختند. آن‌ها همچنین در این پژوهش به بررسی پارامترهای طراحی ستون‌ها از قبیل درصد جایگزینی سنگدانه درشت بازیافتی (RCA^۹)، نسبت تراکم محوری، نسبت خاموت و نسبت دهانه برشی ستون‌های SRRC پرداختند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی ستون‌های کوتاه با افزایش مقدار درصد جایگزینی RCA کاهش می‌یابد، در حالی که رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه SRC به طور مؤثر با طراحی

1 Peak Ground Acceleration

2 Colomb

3 Fiber Reinforced Polymer

4 Zhou

5 steel reinforced concrete

6 circular tubed SRC columns

7 square tubed SRC

8 Ma

9 recycled coarse aggregate

مناسب تراکم محوری و نسبت خاموت بهبود می‌یابد [8]. میبیدی و همکاران در سال ۱۳۹۷ به بررسی رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه بتنی و روش‌های تقویت آن با FRP در مقابل زلزله پرداختند. آن‌ها بیان کردند که مهم‌ترین استراتژی در مورد تقویت ستون‌های کوتاه بتنی افزایش شکل‌پذیری است و استفاده از FRP نسبت به ژاکت‌های فولادی و بتنی، کمترین افزایش در سختی نسبت به سایر روش‌ها داشته که این موضوع سبب بهبود و اصلاح شکل‌پذیری از طریق افزایش ظرفیت خواهد گردید [۹]. در سال ۱۳۹۸ پژوهشی با عنوان بررسی رفتار غیرخطی ستون‌های کوتاه بتن‌آرمه مقاوم‌سازی شده توسط الیاف FRP با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن الیاف FRP به ستون کوتاه بتن‌آرمه، به طور قابل توجهی منجر به افزایش مقاومت نمونه‌ها می‌گردد. همچنین با افزایش تعداد لایه‌های FRP از ۲ به ۴ عدد به طور مستقیم بر مقاومت نمونه‌ها افزوده شد. اگرچه این افزایش مقاومت چندان قابل توجه نبود. همچنین ملاحظه گردید که نمونه‌های با زاویه الیاف ۶۰-۳۰ نسبت به نمونه‌ها با زاویه الیاف ۴۵-۴۵ و ۹۰-۰ دارای مقاومت نسبتاً بیش‌تری هستند [۱۰]. کارگران و همکاران در سال ۲۰۱۹، ۱۰ ستون کوتاه بتن مسلح تهیه و تحت جابجایی‌های جانبی چرخه‌ای قرار دادند. آن‌ها با توجه به این‌که شکست در ستون‌های کوتاه تحت زلزله به صورت ترک‌های مورب و گسیختگی برشی بود، دو تکنیک جدید برای تقویت ستون‌های کوتاه در برابر بارهای لرزه‌ای پیشنهاد دادند. این تکنیک‌ها شامل تقویت باند خارجی با ورق‌های پلیمری تقویت‌شده با الیاف کربن و نصب نزدیک سطح با میلگردهای پلیمری تقویت‌شده با الیاف شیشه در قالب تکنیک‌های تقویت عرضی، مورب و هیبریدی بود. نتایج تجربی نشان داد که تکنیک‌های مقاوم‌سازی فوق در ستون‌های کوتاه منجر به تغییر نوع شکست از برشی به خمشی و تغییر الگوی ترک و شکست ستون‌ها می‌شود. روش‌های مقاوم‌سازی مذکور منجر به افزایش شکل‌پذیری، افزایش ظرفیت تحمل بار و افزایش انرژی اتلاف شده می‌شود [11]. حاجی و همکاران در سال ۲۰۱۹، به بررسی سه روش جدید برای تقویت ستون‌های کوتاه دایره‌ای بتن مسلح پرداختند. از جمله این روش‌ها عبارت بودند از نصب نزدیک سطح با الیاف پلیمری (NSM¹⁰)، تقویت باند خارجی و تقویت هیبریدی ابتکاری (با استفاده از روش نصب شده نزدیک به سطح به شکل شیارهای مارپیچی پر شده با میلگرد CFRP¹¹ در ترکیب با ورق CFRP چسبیده خارجی) و مقایسه آن‌ها با دو روش متداول استحکام‌بخشی (پیچ‌دهی کامل و جزئی). مشاهده گردید که روش ابتکاری تقویت هیبریدی و روش تقویت باند خارجی با الگوی جدید مقادیر بالاتری از استحکام، جذب انرژی، شکل‌پذیری و سختی را در مقایسه با روش‌های موجود نشان دادند [12]. جو¹² و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی پاسخ لرزه‌ای ستون‌های کوتاه در مدهای مختلف شکست پرداختند. برای این منظور پنج ستون بتن‌آرمه تحت اثر همزمان بار محوری ثابت و بارگذاری جانبی چرخه‌ای قرار گرفته و اثرات نسبت ارتفاع به عمق، نسبت بار محوری و نسبت تقویت عرضی در پاسخ لرزه‌ای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر متقابل پاسخ‌های خمشی و برشی با مقایسه تغییرشکل در اجزاء آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون نشان داد که مکانیسم مقاومت در برابر برش ستون کوتاه به طور قابل توجهی تضعیف و پاسخ‌های برشی به سرعت افزایش یافت و در ادامه پاسخ‌های خمشی نیز توسعه یافتند [۱۳].

همانطور که از مطالعات گذشته ملاحظه می‌گردد، تنش موجود در ستون‌های یک سازه تحت بارهای جانبی ممکن است تا حد مفصل پلاستیک افزایش یابد. در چنین وضعیتی در ستون‌های کوتاه به دلیل ظرفیت خمشی قابل توجه، اختلاف لنگرهای بالا و پایین زیاد خواهد بود و در نتیجه نیروهای برشی بزرگی به وجود خواهند آمد. این مسئله اغلب منجر به رخداد شکست برشی ستون کوتاه، پیش از رسیدن به ظرفیت خمشی پلاستیک خواهد شد. بنابراین در این پژوهش جهت مقایسه تأثیر ستون کوتاه بر رفتار سازه‌های بتن‌آرمه، دوسازه ۸ و ۱۶ طبقه بر روی یک موقعیت شیب‌دار در نظر گرفته می‌شوند و نیز یکبار دیگر دوسازه مفروض در یک موقعیت بدون شیب (بدون ستون کوتاه) مدل‌سازی شده است. سازه‌های مذکور در نرم‌افزار SAP2000v20 مدل‌سازی و بر اساس تحلیل استاتیکی معادل طراحی می‌شوند. سپس رفتار این سازه‌ها با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مورد بررسی و به لحاظ جابجایی، دررفت (جابجایی نسبی)، برش پایه و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیکی مقایسه می‌گردند.

¹⁰ Near Surface Mounted

¹¹ Carbon Fiber-reinforced polymers

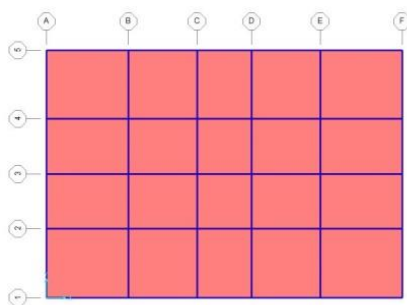
¹² Gu

جنبه نوآوری پژوهش حاضر، بررسی نیروهای زلزله‌های وارد بر سازه‌های دارای ستون کوتاه و تأثیر ستون کوتاه بر رفتار و مشخصات المان‌های سازه‌ای این نوع سازه‌ها بوده که در ادامه منجر به ارائه راهکارهایی برای بهسازی یا تقویت این نوع ساختمان‌ها می‌شود. همچنین الزام انجام تحلیل‌های غیرخطی برای درک بهتر وضعیت سازه تحت اثر بار زلزله، از مهمترین جنبه‌های سازه‌های دارای ستون کوتاه می‌باشد که حتی در آیین‌نامه‌ها نیز بحث زیادی در این مورد انجام نگرفته است.

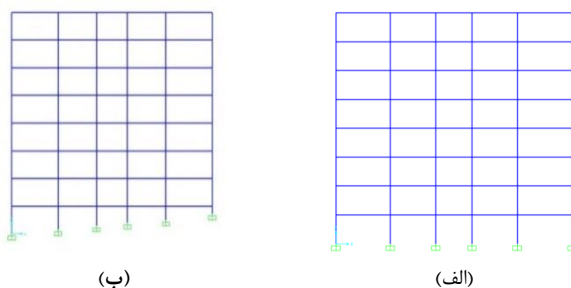
۲- مدل‌سازی در نرم‌افزار SAP2000

سازه‌های مورد بررسی در این مقاله دارای ۸ و ۱۶ طبقه می‌باشند. ارتفاع طبقات در سازه‌های بدون ستون کوتاه ۲/۳ متر و در سازه‌های دارای ستون کوتاه، در طبقه اول از یک ستون ۳/۲ متر شروع شده و در نهایت با یک ستون یک متری تمام شده است. ارتفاع بقیه طبقات ۳/۲ متر است. نوع سقف دال بتنی و سیستم سازه‌ای آن قاب خمشی بتنی ویژه است. خاک زیر سازه از نوع III و شتاب مبنای طرح ۰/۳g در نظر گرفته شده است. بارگذاری‌های ثقلی سازه‌ها براساس مبحث ششم مقررات ملی ایران ویرایش ۱۳۹۲، بارگذاری‌های زلزله سازه‌ها براساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم است و طراحی سازه بتنی براساس ACI318-14 است.

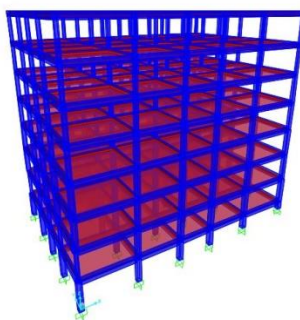
پلان سازه و همچنین نمای جانبی و نمای کلی سازه مدل‌های مطرح شده در نرم‌افزار در شکل‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است.



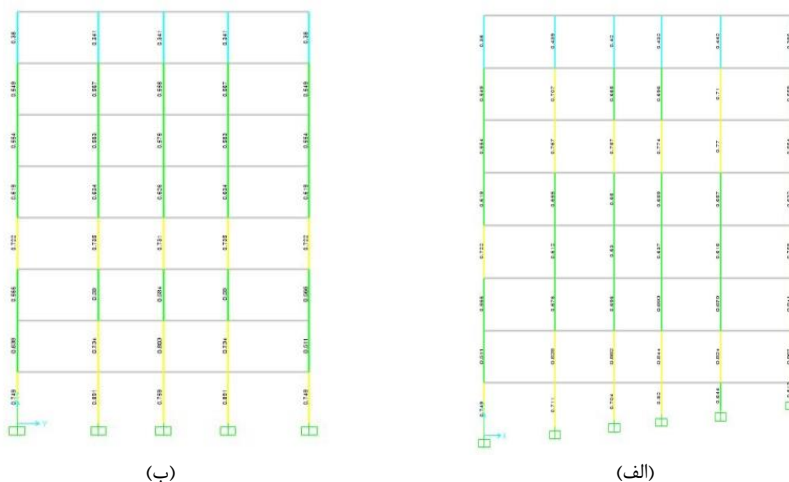
شکل ۱: پلان سازه مدل‌سازی شده در نرم‌افزار



شکل ۲: نمای جانبی سازه: (الف) بدون ستون کوتاه، (ب) با ستون کوتاه



شکل ۳: نمای کلی سازه طراحی شده بر سطح شیبدار



شکل ۴: مقاطع طراحی شده سازه ۸ طبقه: الف) با ستون کوتاه، ب) بدون ستون کوتاه

جدول ۱: جدول مقاطع

Column section	Beam section
Column35X35-12T18	Beam30X30
column45X45-12T18	Beam35X30
column50X50-16T20	Beam40X30
column60X60-16T20	Beam50X40
column70X70-20T22	Beam50X45
column80X80-20T25	Beam55X45

جدول ۲: بارهای ثقلی اعمالی به سازه‌های مدل شده

مقدار	واحد	نوع بار
300	Kg/m ²	بار مرده طبقات
270	Kg/m ²	بار مرده بام
200	Kg/m ²	بار زنده طبقات
200	Kg/m ²	بار زنده بام
100	Kg/m ²	بار معادل تیغه‌بندی
704-486.9	Kg/m	بار دیوار طبقات
536.5-486.9	Kg/m	بار دیوار جان‌پناه
150	Kg/m ²	بار برف

۲-۱- نحوه انتخاب شتاب‌نگاشت و مقیاس‌سازی برای تحلیل تاریخچه زمانی

شتاب‌نگاشت‌ها را می‌توان از سایت جهانی PEER و یا سایت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران بدست آورد. در این مقاله معیار انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها جهت تحلیل تاریخچه‌زمانی سازه‌ها به صورت زیر و از سایت PEER انتخاب شده‌اند.

الف) انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها از رویدادهای ثبت شده (واقعی) هستند.

ب) شتاب‌نگاشت‌ها محدود به یک ناحیه خاص نبوده و از زلزله‌های رخ داده در نقاط مختلف جهان انتخاب شده‌اند.

بنابراین در این مطالعه به منظور ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مطرح شده، ۱۴ رکورد زلزله استفاده شده است. جدول ۳ نام زلزله‌ها، نام ایستگاه ثبت شده، تاریخ وقوع، بزرگی، ماکزیمم شتاب زمین (PGA) را نشان می‌دهد.

جدول ۳: زلزله‌های مورد استفاده برای تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

ردیف	نام زلزله	نام ایستگاه	سال	بزرگی (MW)	PGA (g)	Type soil
1	chichi	TCUO45	1999	7.6	0.51	III
2	Kobe	Nishi-Akashi	1995	6.9	0.51	III
3	Landers	Cool water	1992	7.3	0.42	III
4	Manjil	Abbar	1990	7.4	0.51	III
5	Kocaeli	GoYnuk	1999	7.14	0.433	III
6	Imperial valleY	Delta	1979	6.53	0.3496	III
7	Loma prietta	Capitola	1989	6.93	0.51	III

مطابق آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ایران، نحوه مقیاس‌سازی زوج شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده برای تحلیل سه بعدی سازه‌ها، باید به روش زیر به مقیاس در آورده شوند:

الف- هر زوج شتاب‌نگاشت به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب در مؤلفه‌ای که دارای بیشینه بزرگتری است، برابر با شتاب g گردد.

ب- طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد تعیین گردد.

پ- طیف‌های پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

ت- هر زوج شتاب‌نگاشت چنان مقیاس شود که برای هر پیوند در محدوده $0.2T$ الی $1.5T$ ، مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مؤلفه‌ها، بیش از ده درصد از $1/3$ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود.

جدول ۴: ضرایب مقیاس برای زلزله‌های مورد استفاده در نرم‌افزار

Earthquake title	8 storY(scale factor)	16storY(scale factor)
Chichi	0.828088	0.692138
Kobe	0.987068	0.438281
Imperial ValleY	0.546436	0.213529
Kocaeli	0.642768	0.324548
Landers	0.838613	0.50551
Loma	0.869681	0.428014
Manjil	0.714055	0.291714

۳- نتایج

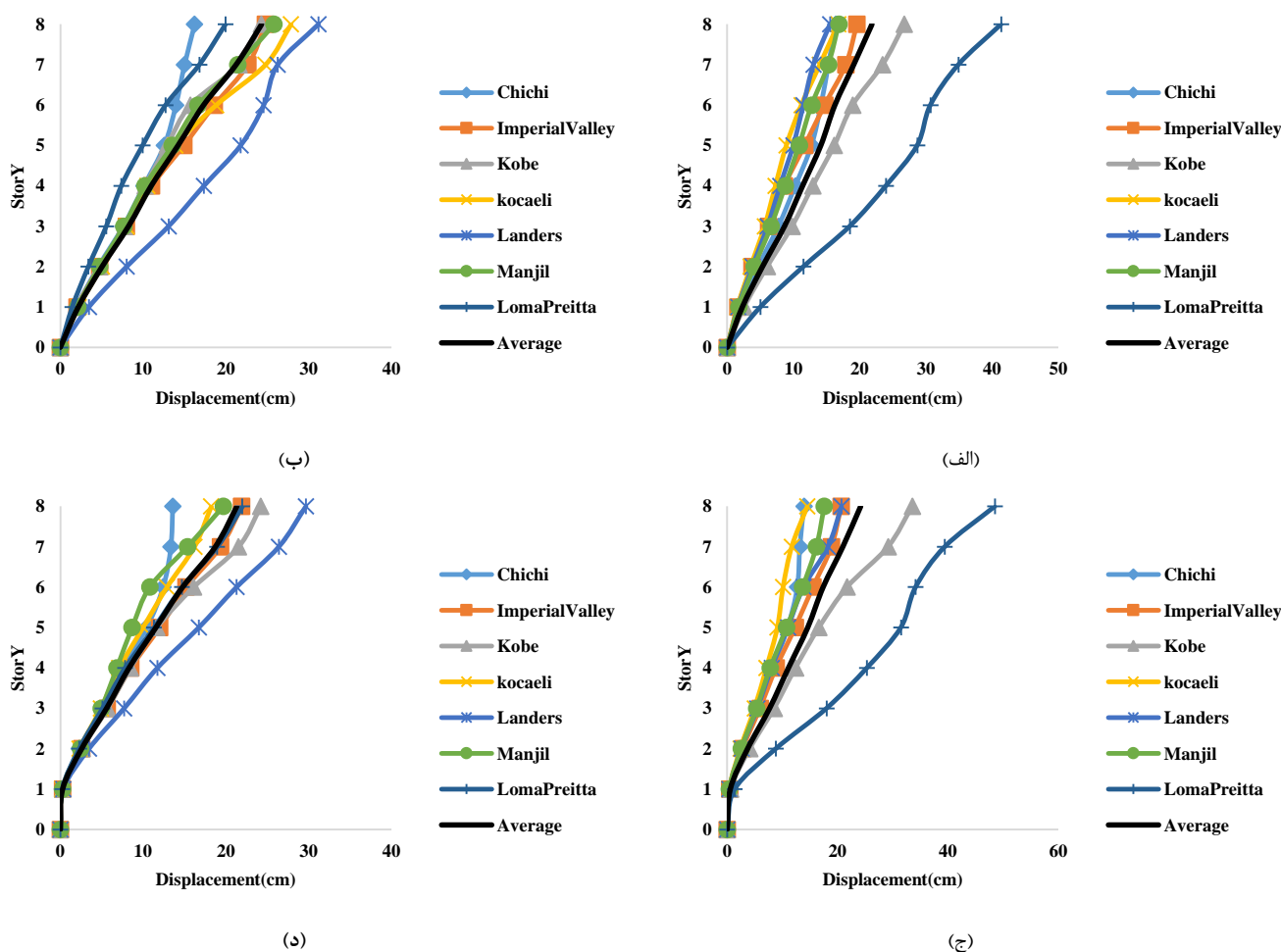
نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به منظور بررسی رفتار دقیق سازه‌ها تحت زلزله‌های در نظر گرفته شده به قرار زیر است.

۳-۱- سازه ۸ طبقه

بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی انجام گرفته، پاسخ سازه ۸ طبقه با و بدون ستون کوتاه به صورت جابجایی طبقات، دریافت سازه، برش پایه و تشکیل مفاصل پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱-۱- تغییر مکان مطلق طبقات سازه ۸ طبقه

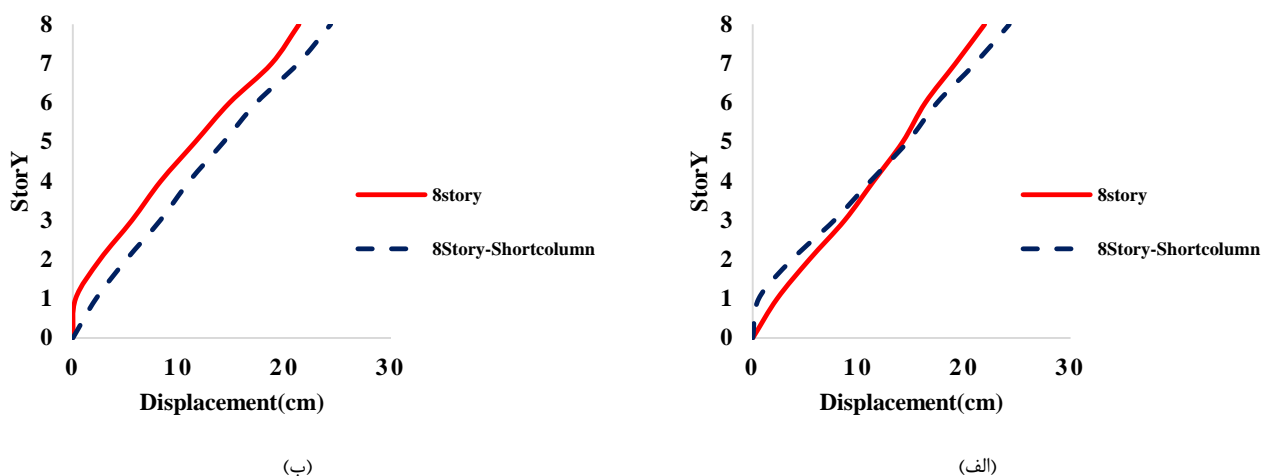
نمودارهای حداکثر تغییر مکان طبقات سازه ۸ طبقه در دو جهت X و Y پلان به صورت شکل ۵ حاصل گردید.



شکل ۵: جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) بدون ستون کوتاه در جهت Y، ج) با ستون کوتاه در جهت X، د) با ستون کوتاه در جهت Y.

بر اساس شکل ۵-الف و ۵-ب، متوسط جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۲۱/۸۹ و ۲۱/۳ سانتی متر است. همچنین طبق شکل ۵-ج و ۵-د، متوسط جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب

برابر $24/2$ و $24/3$ سانتی متر است. شکل ۶ به مقایسه میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X و Y می پردازد.

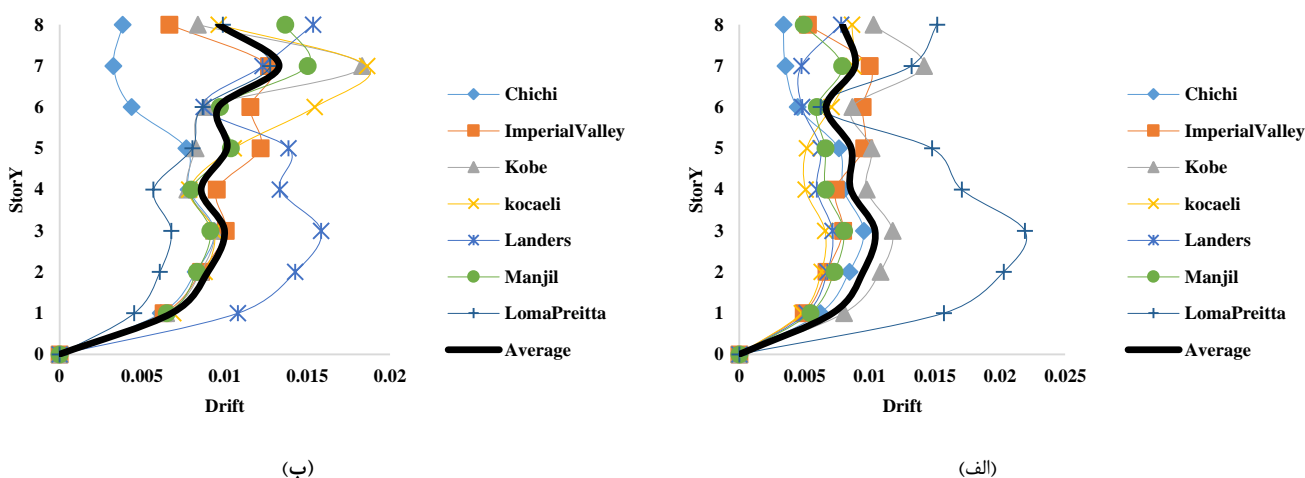


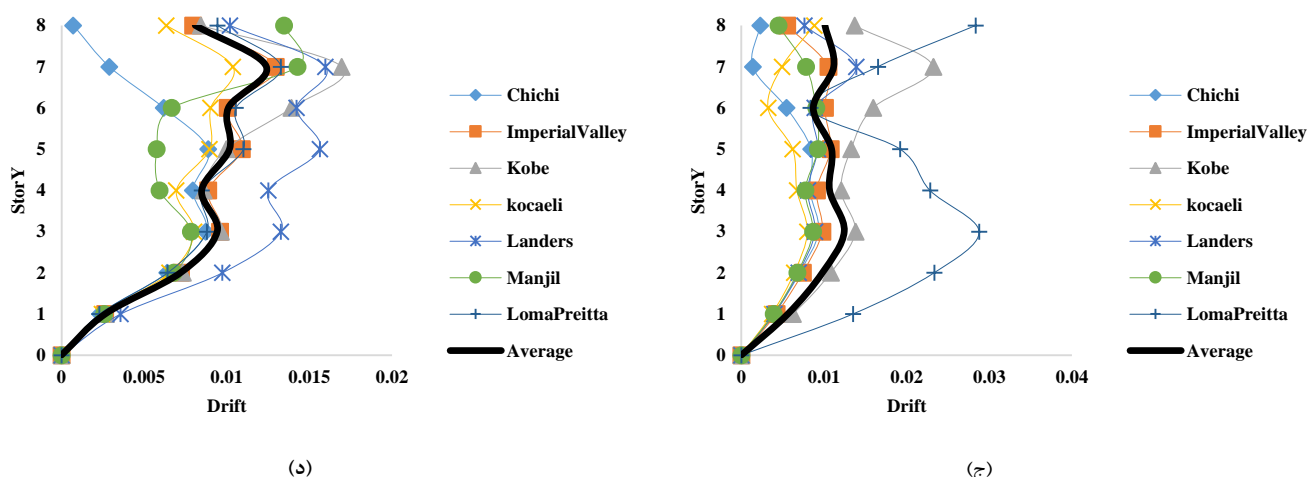
شکل ۶: مقایسه میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با و بدون ستون کوتاه (الف در جهت X، ب) در جهت Y

بر اساس نمودار شکل ۶-الف میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X به ترتیب برابر $24/2$ و $29/89$ سانتی متر است. همچنین طبق شکل ۶-ب میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت Y به ترتیب برابر $24/3$ و $21/3$ سانتی متر است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی بر روی سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه در طبقه اول و بدون ستون کوتاه، مشاهده گردید که میانگین جابجایی سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان 10% در جهت X بیش تر از حالت بدون ستون کوتاه و همچنین در جهت Y میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان 14% بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

۳-۱-۲- تغییر مکان نسبی (دریفت) سازه ۸ طبقه

بر اساس تحلیل های انجام گرفته، جابجایی نسبی (دریفت) که از جمله مهمترین پاسخ های سازه در قبال نیروهای لرزه ای است به صورت نمودارهای شکل ۷ برای سازه ۸ طبقه حاصل گردید.

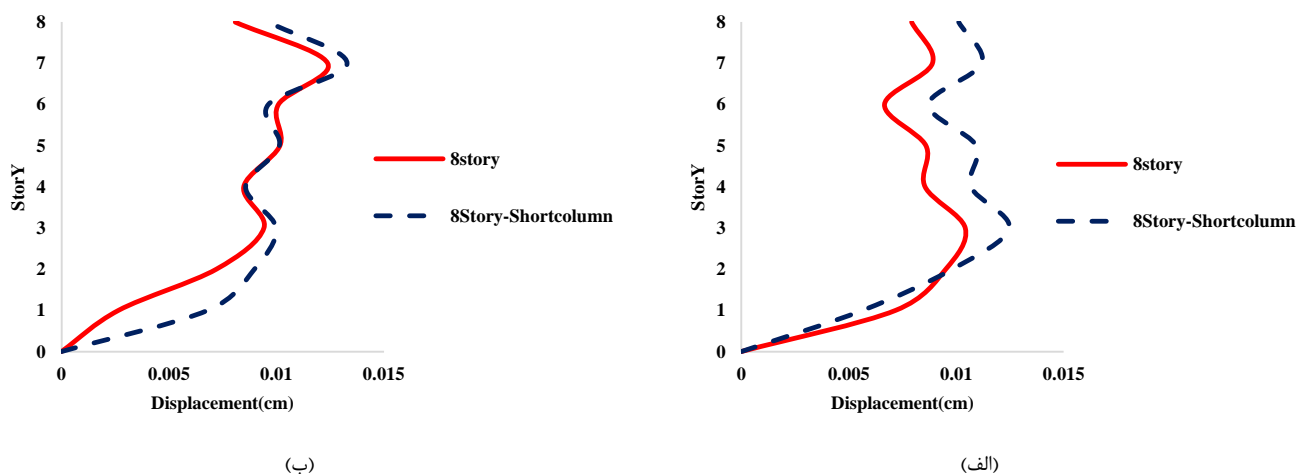




شکل ۷: جابجایی نسبی طبقات سازه ۸ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) بدون ستون کوتاه در جهت Y، ج) با ستون کوتاه در جهت X، د) با ستون کوتاه در جهت Y.

بر اساس شکل ۷-الف و ۷-ب، ماکزیمم میانگین دررفت سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۰/۰۱۰۴ و ۰/۰۱۲۳۸ بدست آمد. همچنین طبق شکل ۷-ج و ۷-د، متوسط جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۰/۰۱۲۴۵ و ۰/۰۱۳۲۷ است.

شکل ۸ به مقایسه میانگین جابجایی نسبی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X و Y می پردازد.

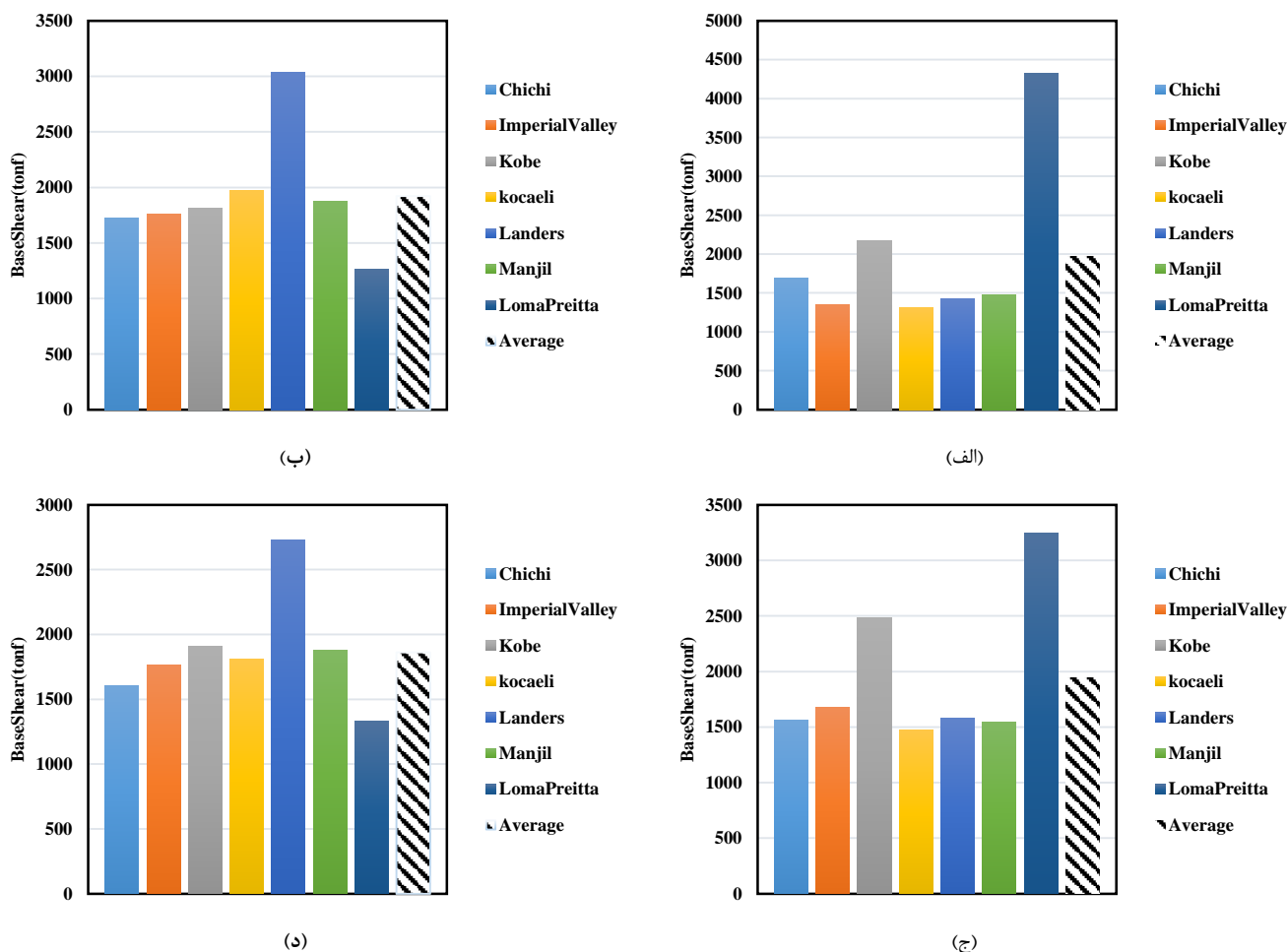


شکل ۸: مقایسه میانگین جابجایی نسبی طبقات سازه ۸ طبقه با و بدون ستون کوتاه (الف) در جهت X، ب) در جهت Y

بر اساس نمودار شکل ۸ میانگین جابجایی نسبی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه به ترتیب در جهت X برابر ۰/۰۱۲۴۵ و ۰/۰۱۰۴ و در جهت Y برابر ۰/۰۱۳۲۷ و ۰/۰۱۲۳۸ حاصل گردید. بر اساس نتایج به دست از سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه در طبقه اول و بدون ستون کوتاه، مشاهده گردید که میانگین دررفت سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان ۱۹٪ در جهت X بیش تر از حالت بدون ستون کوتاه و همچنین در جهت Y میانگین دررفت سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان ۷٪ بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

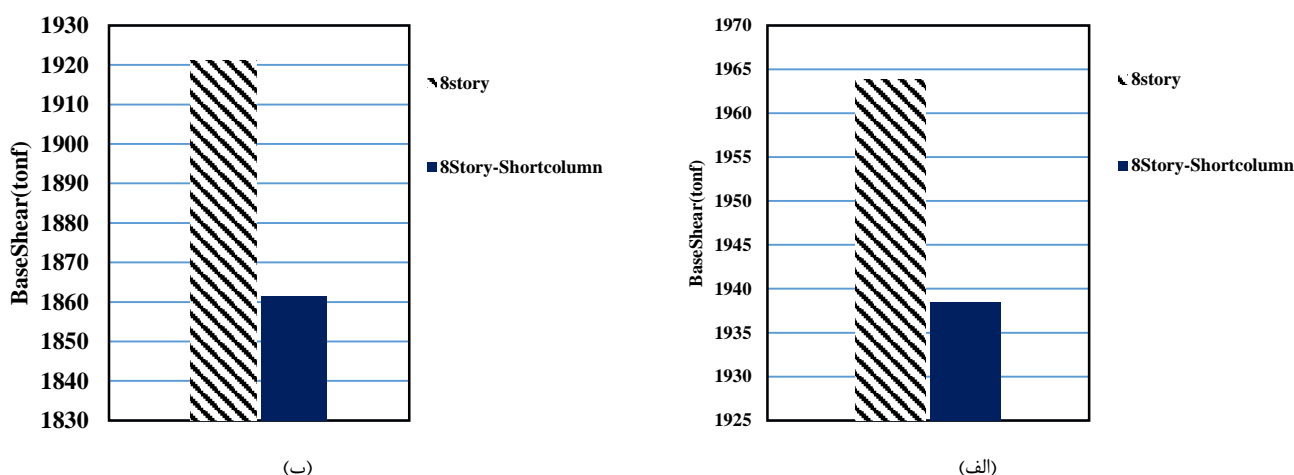
۳-۱-۳- برش پایه سازه ۸ طبقه

با توجه به نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، برش پایه سازه ۸ طبقه در دو حالت با و بدون ستون کوتاه در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹: برش پایه سازه ۸ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) بدون ستون کوتاه در جهت Y، ج) با ستون کوتاه در جهت X، د) با ستون کوتاه در جهت Y.

براساس شکل ۹-الف و ۹-ب، میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۱۹۶۳/۸۷ و ۱۹۲۱/۱۹ تن بدست آمد. همچنین طبق شکل ۹-ج و ۹-د، متوسط جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۱۹۳۸/۵۳ و ۱۸۶۱/۶۲ تن است. شکل ۱۰ به مقایسه میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X و Y را نشان می‌دهد.



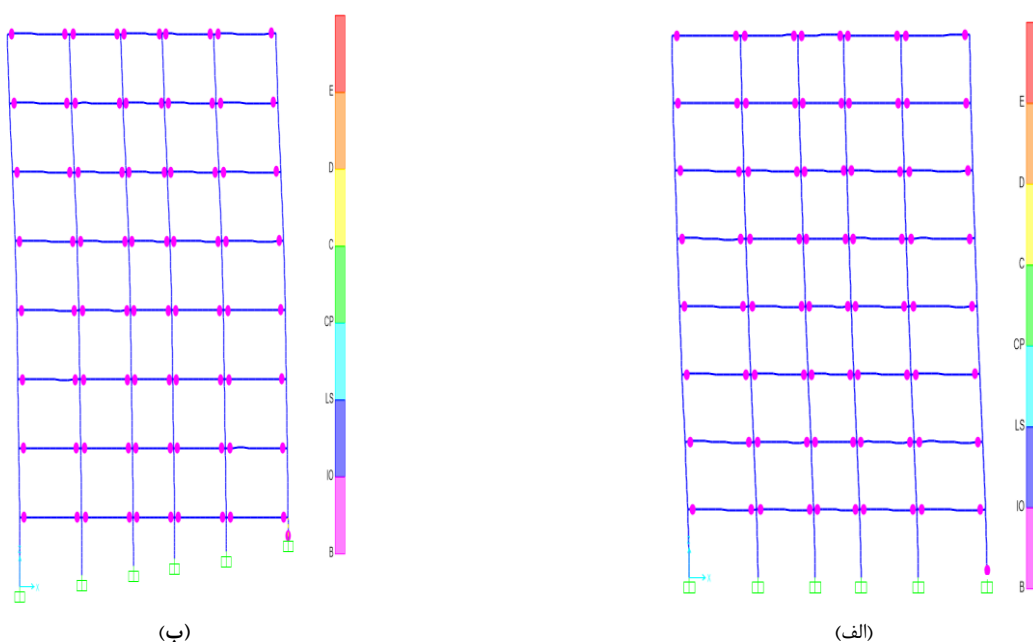
شکل ۱۰: مقایسه میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه با و بدون ستون کوتاه (الف) در جهت X، (ب) در جهت Y

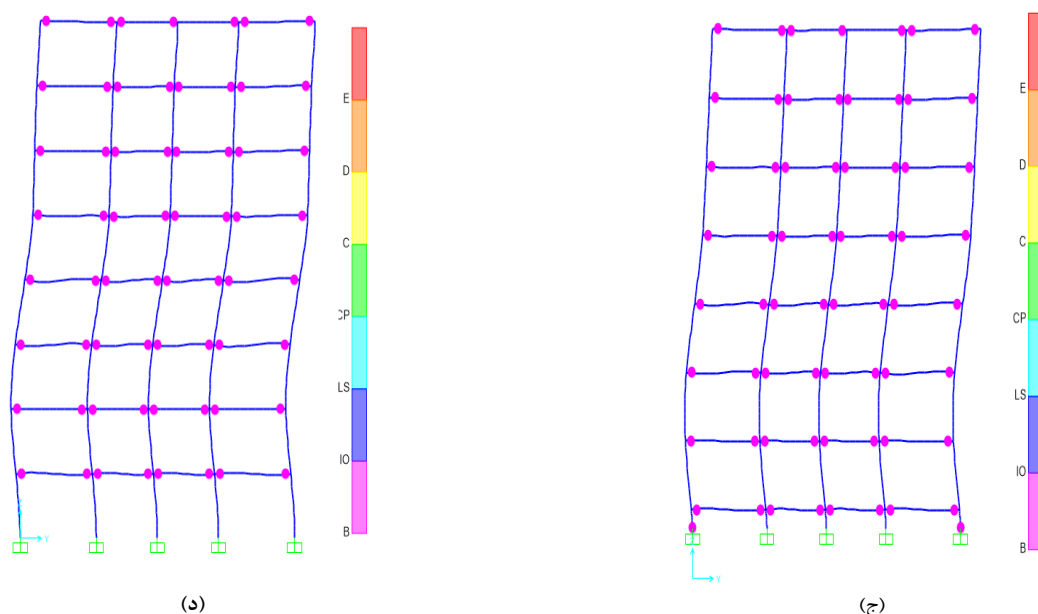
بر اساس نمودار شکل ۱۰ میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه نسبت به یازه با ستون کوتاه به ترتیب در جهت X به میزان ۱/۳٪ و در جهت Y برابر ۳/۲٪ بیش تر است.

با توجه به نتایج به دست آمده در سازه ۸ طبقه، مشاهده شد که میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه نسبت به سازه ۸ طبقه دارای ستون کوتاه به میزان ۱/۳٪ در جهت X پلان سازه بیش تر است. همچنین بر اساس نتایج مشاهده گردید میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت Y به میزان ۳/۲٪ نسبت به سازه ۸ طبقه دارای ستون کوتاه بیش تر است.

۳-۱-۴- ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک سازه ۸ طبقه

بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی سازه ۸ طبقه، ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک به دو صورت سازه با و بدون ستون کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.





شکل ۱۱: ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه ۸ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) با ستون کوتاه در جهت X، ج) با ستون کوتاه در جهت Y، د) بدون ستون کوتاه در جهت Y.

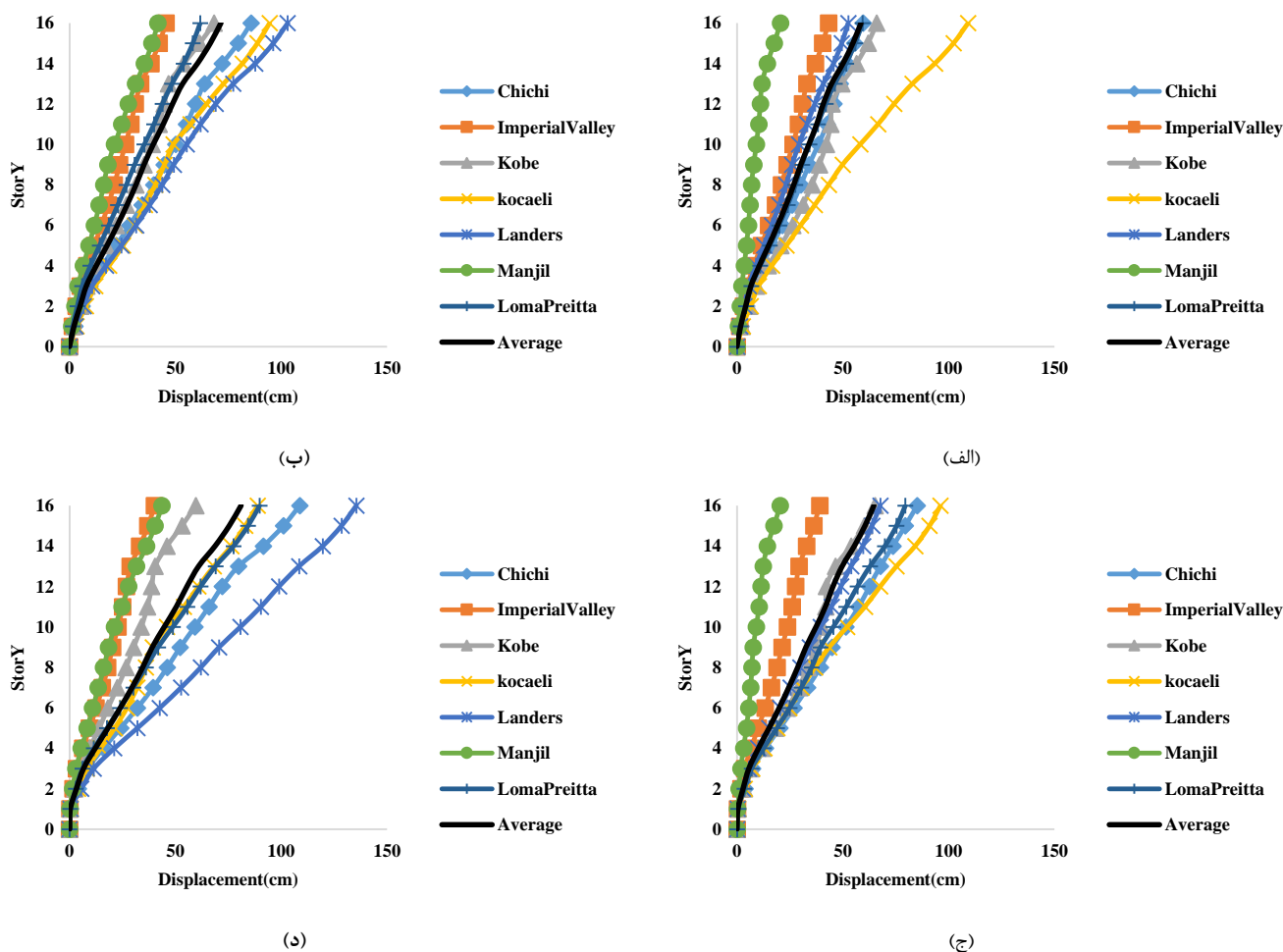
براساس شکل ۱۱-الف و ۱۱-ب، در سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X مشاهده گردید که ابتدا مفاصل پلاستیک در تیرها و در نهایت در ستون‌ها تشکیل می‌شود. این در حالی است که در سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه‌تر جهت X، مفاصل پلاستیک ابتدا در تیرها و در نهایت در ستون کوتاه تشکیل شد. در جهت Y نیز در سازه ۸ طبقه با ستون کوتاه ابتدا مفاصل پلاستیک در تیرها و سپس در پای ستون کوتاه تشکیل می‌شود. این در حالی است که در همان جهت و در حالت عدم وجود ستون کوتاه، مفاصل پلاستیک ابتدا در تیرها و اولین مفصل پلاستیک در پای ستون‌های کوتاه ایجاد شده و در سایر ستون‌ها به دلیل وجود ستون کوتاه مفصل پلاستیک ایجاد نمی‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، در سازه ۸ طبقه مشاهده شد که ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک بدین صورت است که ابتدا در تیرها و سپس در پای ستون همکف سازه ایجاد می‌شود. اما زمانی که در سازه ستون کوتاه وجود دارد ابتدا در تیرها و سپس اولین مفصل پلاستیک در پای ستون کوتاه ایجاد شده و در نهایت در سایر ستون‌ها مفاصل پلاستیک ایجاد می‌شود.

۳-۲- سازه ۱۶ طبقه

بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی انجام گرفته، پاسخ سازه ۱۶ طبقه با و بدون ستون کوتاه به صورت جابجایی طبقات، دریفت سازه، برش پایه و تشکیل مفاصل پلاستیک در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

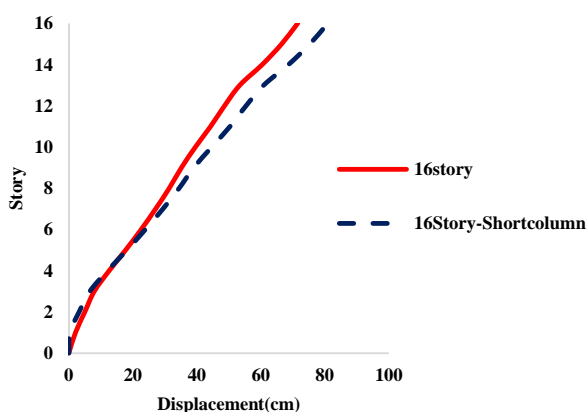
۳-۲-۱- تغییرمکان مطلق طبقات سازه ۱۶ طبقه

نمودارهای حداکثر تغییرمکان طبقات سازه ۱۶ طبقه در دو جهت X و Y پلان به صورت شکل ۱۲ حاصل گردید.

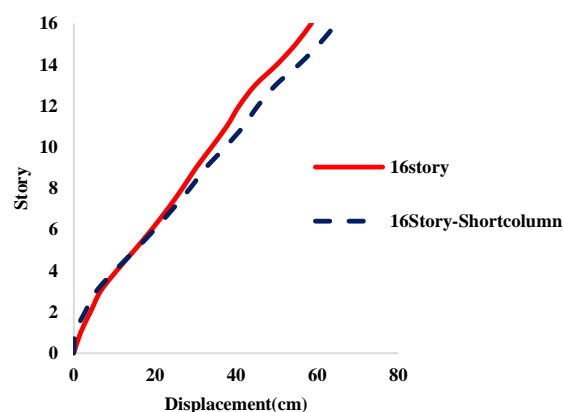


شکل ۱۲: جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) بدون ستون کوتاه در جهت Y، ج) با ستون کوتاه در جهت X، د) با ستون کوتاه در جهت Y.

براساس شکل ۱۲-الف و ۱۲-ب، متوسط جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۵۸/۶۳ و ۷۱/۵۳ سانتی متر است. همچنین طبق شکل ۱۲-ج و ۱۲-د، متوسط جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۶۴/۷۴ و ۸۰/۹۳ سانتی متر است. شکل ۱۳ به مقایسه میانگین جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X و Y می پردازد.



(ب)



(الف)

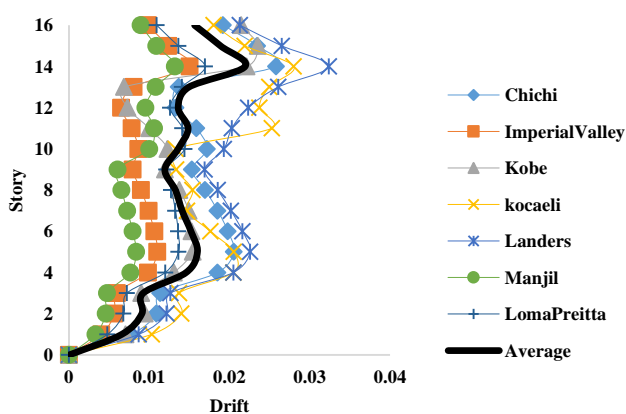
شکل ۱۳: مقایسه میانگین جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه با و بدون ستون کوتاه (الف) در جهت X، (ب) در جهت Y

بر اساس نمودار شکل ۱۳-الف میانگین جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه و با ستون کوتاه در جهت X به ترتیب برابر $۵۸/۶۳$ و $۶۴/۷۴$ سانتی متر است. همچنین طبق شکل ۱۳-ب میانگین جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه و با ستون کوتاه در جهت Y به ترتیب برابر $۵۸/۶۳$ و $۶۴/۷۴$ سانتی متر است.

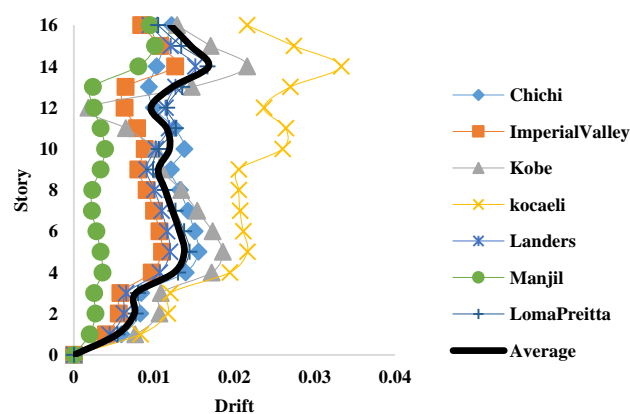
بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی بر روی سازه ۱۶ طبقه در دو حالت با و بدون ستون کوتاه مشخص شد که در سازه با ستون کوتاه میانگین جابجایی مطلق طبقات به میزان ۱۰% در جهت X بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه است. همچنین میانگین جابجایی مطلق طبقات در جهت Y با ستون کوتاه ۱۳% بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

۳-۲-۲- تغییر مکان نسبی (دریفت) سازه ۱۶ طبقه

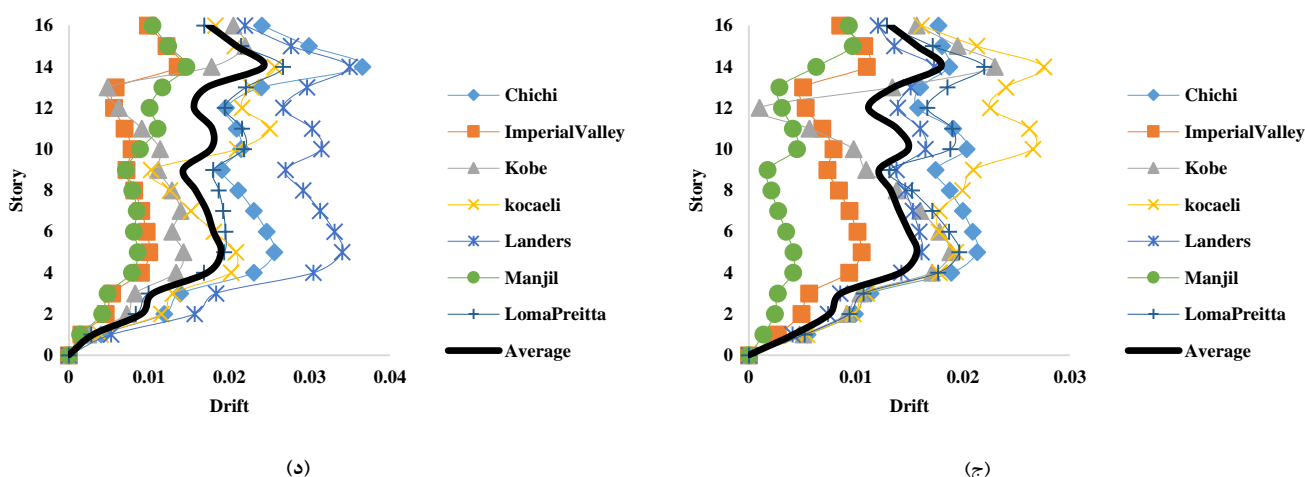
بر اساس تحلیل‌های انجام گرفته، جابجایی نسبی (دریفت) که از جمله مهمترین پاسخ‌های سازه در قبال نیروهای لرزه‌ای است به صورت نمودارهای شکل ۱۴ برای سازه ۱۶ طبقه حاصل گردید.



(ب)



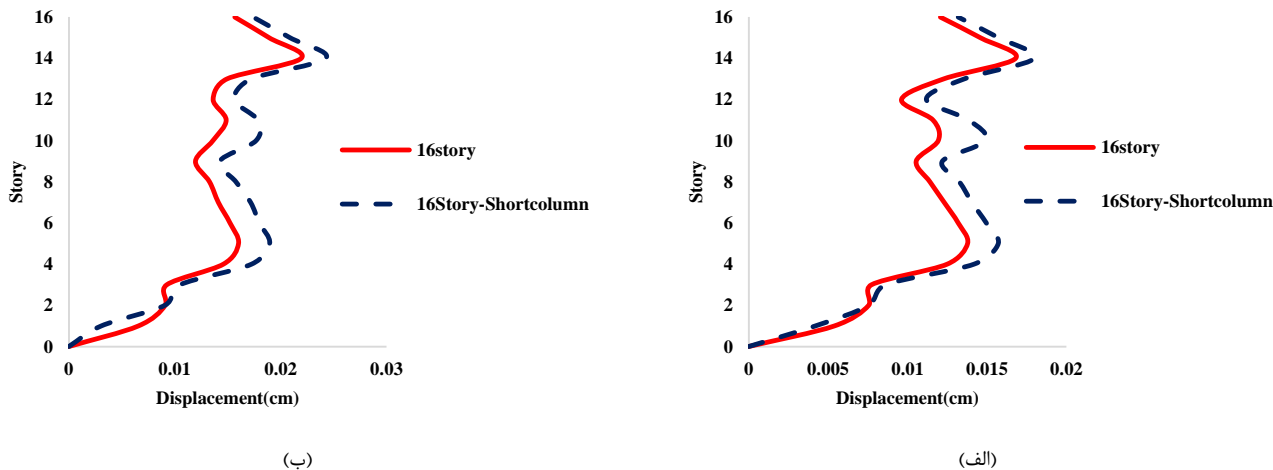
(الف)



شکل ۱۴: جابجایی نسبی طبقات سازه ۱۶ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) بدون ستون کوتاه در جهت Y، ج) با ستون کوتاه در جهت X، د) با ستون کوتاه در جهت Y.

بر اساس شکل ۱۴-الف و ۱۴-ب، ماکزیمم میانگین دررفت سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۰/۰۱۶۷۹ و ۰/۰۲۱۹۳ بدست آمد. همچنین طبق شکل ۱۴-ج و ۱۴-د، متوسط جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۰/۰۱۷۹۸ و ۰/۰۲۴۷۵ است.

شکل ۱۵ به مقایسه میانگین جابجایی نسبی طبقات سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X و Y می پردازد.

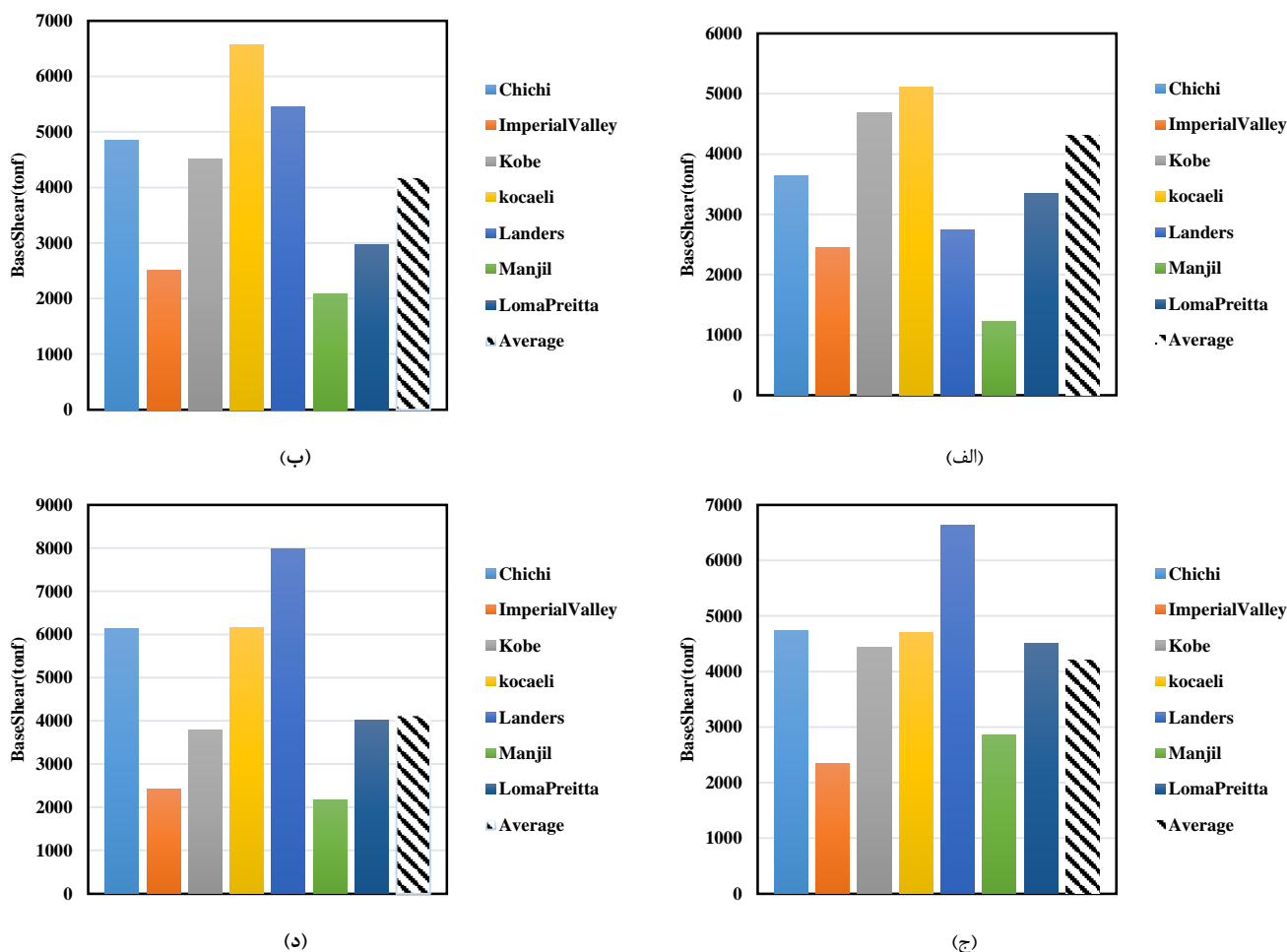


شکل ۱۵: مقایسه میانگین جابجایی نسبی طبقات سازه ۱۶ طبقه با و بدون ستون کوتاه الف) در جهت X، ب) در جهت Y

بر اساس نمودار شکل ۱۵ میانگین جابجایی نسبی طبقات سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه به ترتیب در جهت X برابر ۰/۰۱۶۷۹ و ۰/۰۱۷۹۸ و در جهت Y برابر ۰/۰۲۱۹۳ و ۰/۰۲۴۷۵ حاصل گردید. با مقایسه نتایج دررفت حاصل از سازه ۱۶ طبقه به همراه ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه مشاهده شد که دررفت سازه ۱۶ طبقه به همراه ستون کوتاه در جهت X به میزان ۱/۷٪ بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه و همچنین در جهت Y به میزان ۱۲/۸٪ اختلاف وجود دارد.

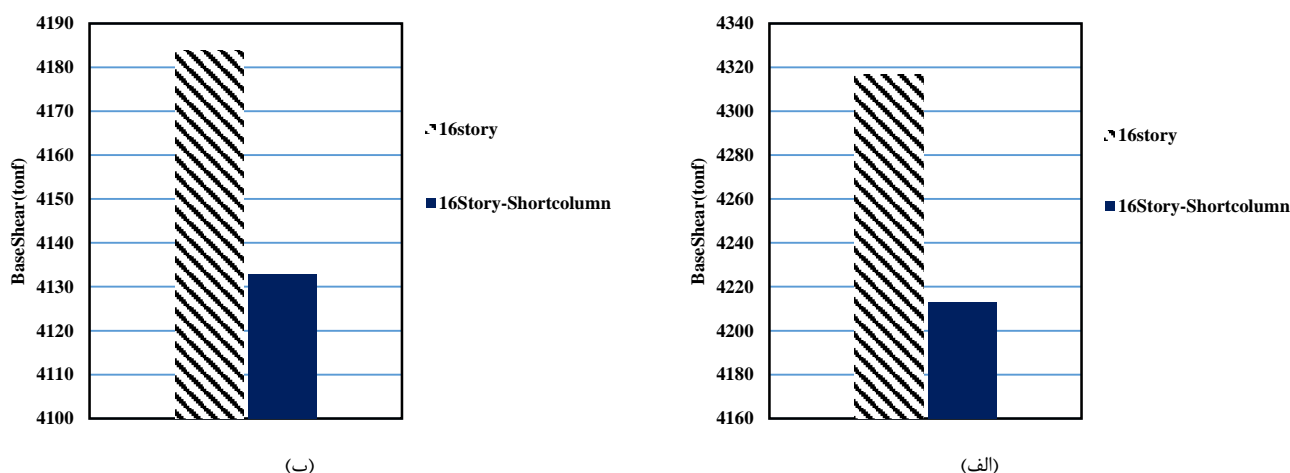
۳-۲-۳- برش پایه سازه ۱۶ طبقه

با توجه به نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، برش پایه سازه ۱۶ طبقه در دو حالت با و بدون ستون کوتاه در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۵: برش پایه سازه ۱۶ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) بدون ستون کوتاه در جهت Y، ج) با ستون کوتاه در جهت X، د) با ستون کوتاه در جهت Y.

براساس شکل ۱۵-الف و ۱۵-ب، میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۴۳۱۶/۹۱ و ۴۱۸۳/۹۰ تن بدست آمد. همچنین طبق شکل ۱۵-ج و ۱۵-د، متوسط جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه در جهت X و Y به ترتیب برابر ۳۳۱۲/۹۶ و ۴۱۳۲/۹۶ تن است. شکل ۱۶ به مقایسه میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه در جهت X و Y را نشان می دهد.



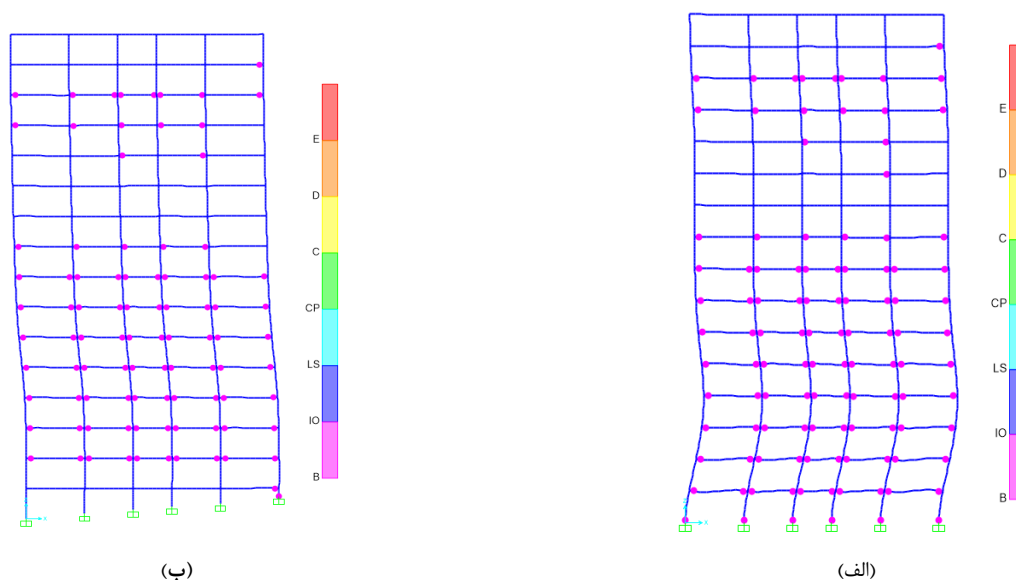
شکل ۱۶: مقایسه میانگین جابجایی طبقات سازه ۱۶ طبقه با و بدون ستون کوتاه (الف) در جهت X، (ب) در جهت Y

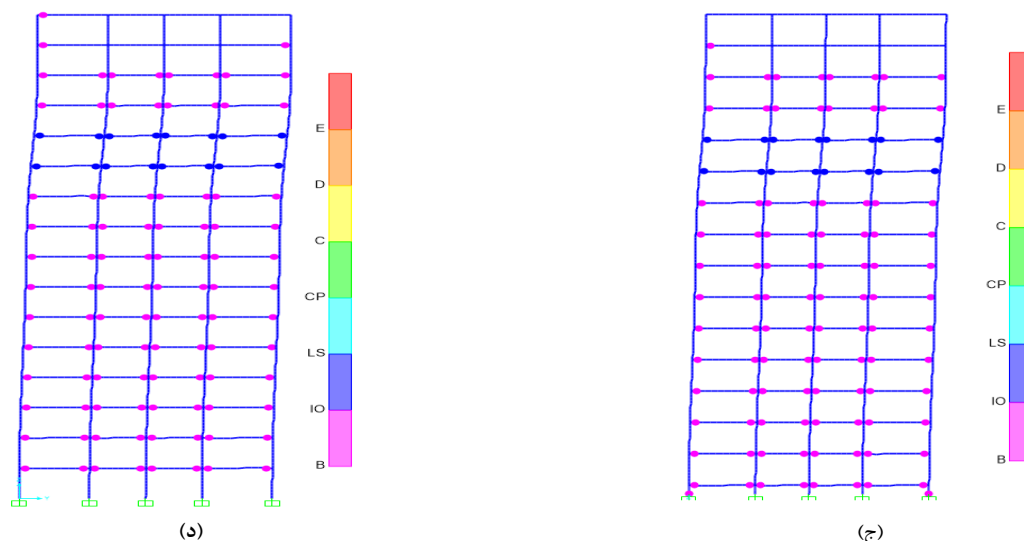
بر اساس نمودار شکل ۱۶-الف میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه و با ستون کوتاه به ترتیب در جهت X برابر با ۴۲۱۲/۹۶ و ۴۳۱۶/۹۱ تن است. همچنین طبق شکل ۱۶-ب، میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه و با ستون کوتاه به ترتیب در جهت Y برابر با ۴۱۳۲/۹۶ و ۴۱۸۳/۹۰ تن است.

با توجه به نتایج به دست آمده در سازه ۱۶ طبقه، مشاهده شد که میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه نسبت به سازه ۱۶ طبقه دارای ستون کوتاه به میزان ۲٫۴٪ در جهت X پلان سازه بیش تر است. همچنین بر اساس نتایج مشاهده گردید میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت Y به میزان ۱٫۲٪ نسبت به سازه ۱۶ طبقه دارای ستون کوتاه بیش تر است.

۳-۲-۴- ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک سازه ۱۶ طبقه

بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی سازه ۱۶ طبقه، ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک به دو صورت سازه با و بدون ستون کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۱۷ نشان داده شده است.





شکل ۱۷: ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه ۱۶ طبقه: الف) بدون ستون کوتاه در جهت X، ب) با ستون کوتاه در جهت X، ج) با ستون کوتاه در جهت Y، د) بدون ستون کوتاه در جهت Y.

براساس شکل ۱۷-الف و ۱۷-ب، در سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت X مشاهده گردید که ابتدا مفاصل پلاستیک در تیرها و در نهایت در ستون‌ها تشکیل می‌شود. این در حالی است که در سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه در جهت X، مفاصل پلاستیک ابتدا در تیرها و در نهایت در ستون کوتاه تشکیل شد. در جهت Y نیز در سازه ۱۶ طبقه با ستون کوتاه ابتدا مفاصل پلاستیک در تیرها و سپس در پای ستون کوتاه تشکیل می‌شود. این در حالی است که در همان جهت و در حالت عدم وجود ستون کوتاه، مفاصل پلاستیک ابتدا در تیرها و اولین مفصل پلاستیک در پای ستون‌های کوتاه ایجاد شده و در سایر ستون‌ها به دلیل وجود ستون کوتاه مفصل پلاستیک ایجاد نمی‌شود.

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، در سازه ۱۶ طبقه مشاهده شد که ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک بدین صورت است که ابتدا در تیرها و سپس در پای ستون همکف سازه ایجاد می‌شود. اما زمانی که در سازه ستون کوتاه وجود دارد ابتدا در تیرها و سپس اولین مفصل پلاستیک در پای ستون کوتاه ایجاد شده و در نهایت در سایر ستون‌ها مفاصل پلاستیک ایجاد می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ستون‌کوتاه‌ها همواره سازه‌های بتنی را دچار مشکل می‌کردند. بررسی موضوع پژوهش حاضر به دلیل اهمیت موضوع ستون کوتاه است. در این پژوهش دو سازه ۸ و ۱۶ طبقه را با و بدون ستون کوتاه مورد بررسی قرار داد شده و نتایج حاصل را در فصل چهارم به تفصیل مورد بررسی قرار داده‌ایم. با توجه به خروجی‌های حاصل از نرم‌افزار نتایج زیر درباره سازه‌های مفروض پژوهش قابل بیان است:

۱- بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی بر روی سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه در طبقه اول و بدون ستون کوتاه، مشاهده گردید که میانگین جابجایی سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان ۱۰٪ در جهت X بیش‌تر از حالت بدون ستون کوتاه و همچنین در جهت Y میانگین جابجایی طبقات سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان ۱۴٪ بیش‌تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

۲- بر اساس نتایج به دست از سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه در طبقه اول و بدون ستون کوتاه، مشاهده گردید که میانگین دریافت سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان ۱۹٪ در جهت X بیش‌تر از حالت بدون ستون کوتاه و همچنین در جهت Y میانگین دریافت سازه ۸ طبقه به همراه ستون کوتاه به میزان ۷٪ بیش‌تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

۳- با توجه به نتایج به دست آمده در سازه ۸ طبقه، مشاهده شد که میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه نسبت به سازه ۸ طبقه دارای ستون کوتاه به میزان ۱,۳٪ در جهت X پلان سازه بیش تر است. همچنین بر اساس نتایج مشاهده گردید میانگین برش پایه سازه ۸ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت Y به میزان ۳,۲٪ نسبت به سازه ۸ طبقه دارای ستون کوتاه بیش تر است.

۴- بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، در سازه ۸ طبقه مشاهده شد که ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک بدین صورت است که ابتدا در تیرها و سپس در پای ستون همکف سازه ایجاد می شود. اما زمانی که در سازه ستون کوتاه وجود دارد ابتدا در تیرها و سپس اولین مفصل پلاستیک در پای ستون کوتاه ایجاد شده و در نهایت در سایر ستون ها مفاصل پلاستیک ایجاد می شود.

۵- بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی بر روی سازه ۱۶ طبقه در دو حالت با و بدون ستون کوتاه مشخص شد که در سازه با ستون کوتاه میانگین جابجایی مطلق طبقات به میزان ۱۰٪ در جهت X بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه است. همچنین میانگین جابجایی مطلق طبقات در جهت Y با ستون کوتاه ۱۳٪ بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه است.

۶- با مقایسه نتایج دریافت حاصل از سازه ۱۶ طبقه به همراه ستون کوتاه و بدون ستون کوتاه مشاهده شد که دریافت سازه ۱۶ طبقه به همراه ستون کوتاه در جهت X به میزان ۷/۱٪ بیش تر از سازه بدون ستون کوتاه و همچنین در جهت Y به میزان ۱۲/۸٪ اختلاف وجود دارد.

۷- با توجه به نتایج به دست آمده در سازه ۱۶ طبقه، مشاهده شد که میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه نسبت به سازه ۱۶ طبقه دارای ستون کوتاه به میزان ۲/۴٪ در جهت X پلان سازه بیش تر است. همچنین بر اساس نتایج مشاهده گردید میانگین برش پایه سازه ۱۶ طبقه بدون ستون کوتاه در جهت Y به میزان ۱/۲٪ نسبت به سازه ۱۶ طبقه دارای ستون کوتاه بیش تر است.

۸- بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، در سازه ۱۶ طبقه مشاهده شد که ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک بدین صورت است که ابتدا در تیرها و سپس در پای ستون همکف سازه ایجاد می شود. اما زمانی که در سازه ستون کوتاه وجود دارد ابتدا در تیرها و سپس اولین مفصل پلاستیک در پای ستون کوتاه ایجاد شده و در نهایت در سایر ستون ها مفاصل پلاستیک ایجاد می شود.

۹- با توجه به نتایج به دست آمده می توان اذعان داشت که وجود ستون کوتاه در سازه ها باعث ایجاد اثرات منفی در رفتار سازه از قبیل جابجایی طبقات، دریافت طبقه و همچنین ایجاد مکانیسم تشکیل مفاصل پلاستیک می شود.

جهت تحقیقات آتی می توان موارد زیر را به طور خلاصه پیشنهاد نمود:

- ۱- بررسی تأثیر میراگر اصطکاکی بر پاسخ سازه های بتنی با ستون کوتاه
- ۲- بررسی تأثیر ستون کوتاه بر اتصالات سازه های قاب خمشی بتن آرمه ویژه
- ۳- بررسی تأثیر ستون کوتاه بر ظرفیت ترک خوردگی دیوار برشی بتنی در سازه با سیستم دوگانه
- ۴- بررسی تأثیرات ستون کوتاه بر پاسخ لرزه ای سازه های بتن آرمه بلندمرتبه تحت اثر توالی لرزه ای
- ۵- بررسی ضریب رفتار و شکل پذیری سازه های بتن آرمه دارای ستون کوتاه
- ۶- بررسی پاسخ سازه های بتن آرمه دارای ستون کوتاه بر اساس تحلیل دینامیکی فزاینده

۵- مراجع

- [1] H. F. Isleem, D. Wang, and Z. Wang, "A new numerical model for polymer-confined rectangular concrete columns," *Proc. Inst. Civ. Eng. - Struct. Build.*, vol. 172, no. 7, pp. 528-544, Jul. 2019, doi: 10.1680/jstbu.17.00103.
- [2] M. Bagheri, A. Chahkandi, and H. Jahangir, "Seismic Reliability Analysis of RC Frames Rehabilitated by Glass Fiber-Reinforced Polymers," *Int. J. Civ. Eng.*, May 2019, doi: 10.1007/s40999-019-00438-x.
- [3] H. Jahangir, H. Hasani, and M. R. Esfahani, "Wavelet-based damage localization and severity estimation of experimental RC beams subjected to gradual static bending tests," *Structures*, vol. 34, pp. 3055-3069, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.09.059.
- [4] A. Kheyroddin and A. Kargar, "Seismic Behavior of Short Column in RC Structures with Different Floor Level," *Ferdowsi Civ. Eng.*, vol. 22, no. 1, 2011, doi: 10.22067/civil.v22i1.9042.

- [5] F. Colomb, H. Tobbi, E. Ferrier, and P. Hamelin, "Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials," *Compos. Struct.*, vol. 82, no. 4, pp. 475–487, 2008, doi: 10.1016/j.compstruct.2007.01.028.
- [6] K. Galal, A. Arafa, and A. Ghobarah, "Retrofit of RC square short columns," *Eng. Struct.*, vol. 27, no. 5, pp. 801–813, 2005, doi: 10.1016/j.engstruct.2005.01.003.
- [7] X. Zhou and J. Liu, "Seismic behavior and strength of tubed steel reinforced concrete (SRC) short columns," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 66, no. 7, pp. 885–896, 2010, doi: 10.1016/j.jcsr.2010.01.020.
- [8] H. Ma, J. Xue, Y. Liu, and X. Zhang, "Cyclic loading tests and shear strength of steel reinforced recycled concrete short columns," *Eng. Struct.*, vol. 92, pp. 55–68, 2015, doi: 10.1016/j.engstruct.2015.03.009.
- [9] S. S. Aghaie Meybodi, S. M. Emami Meybodi, and S. M. Taran, "Investigation of seismic behavior of short concrete columns and methods of strengthening it with FRP against earthquake," 2018.
- [10] H. Safar and V. Davari, "Investigation of nonlinear behavior of short RC columns retrofitted by FRP fibers using nonlinear time history analysis," 2018.
- [11] A. Kargaran and A. Kheyroddin, "Experimental investigation of seismic strengthening of reinforced concrete short columns using externally bonded reinforcement, near surface mounted, and hybrid techniques," *J. Compos. Mater.*, vol. 54, no. 9, pp. 1177–1195, 2020, doi: 10.1177/0021998319874499.
- [12] M. Haji, H. Naderpour, and A. Kheyroddin, "Experimental study on influence of proposed FRP-strengthening techniques on RC circular short columns considering different types of damage index," *Compos. Struct.*, vol. 209, pp. 112–128, 2019, doi: 10.1016/j.compstruct.2018.10.088.
- [13] X. Gu, J. Hua, and M. Cai, "Seismic responses of reinforced concrete intermediate short columns failed in different modes," *Eng. Struct.*, vol. 206, p. 110173, 2020.