

## بررسی عملکرد لرزهای غیرخطی سازه‌های بتن مسلح دوبلکسی به روش طیف ظرفیت

علی کارگران<sup>۱</sup>، علی خیرالدین<sup>۲\*</sup>

۱- مربی، دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

### چکیده

ملاحظات معماری از قبیل قرارگیری پیلوت و واحدهای تجاری در همکف، جلوگیری از تجمع ورودی‌های مختلف در مجتمع‌های آپارتمانی، سازه‌های دوبلکسی را پدید می‌آورد که در آن‌ها کف‌های طبقات با اختلاف تراز نسبت به هم در دو یا چند تراز ارتفاعی مختلف ایجاد می‌شوند. در سازه‌های دوبلکسی عمده مشکلات ناشی از عدم پیوستگی دیافراگم کف می‌باشد که باعث تغییرات چشم‌گیری در دوره تناوب، سختی و پخش نیروی زلزله می‌گردد. در این مقاله با آنالیز استاتیکی خطی و غیرخطی به بررسی موقعیت مکانی و زمانی وقوع اولین مفصل پلاستیک در تیرها و ستون‌های کوتاه، دوره تناوب، تغییر مکان، نیروی برشی، نقطه عملکرد و طیف ظرفیت و... در پنج سازه دوبلکسی ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر اختلاف تراز در سازه‌های کوتاه مشهودتر بوده و با افزایش ارتفاع اثر پدیده ستون کوتاه در سازه‌های دوبلکسی کاهش و نقطه عملکردی آن افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: قاب دوبلکسی (با اختلاف تراز ارتفاعی)، بتن آرمه، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، الگوی مفصل پلاستیک، ستون کوتاه، نقطه عملکرد، استاتیکی غیرخطی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
10.22065/JSCE.2017.87786.1215		دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ
doi:	10.22065/JSCE.2017.87786.1215	۱۳۹۶/۰۳/۰۹	۱۳۹۶/۰۶/۱۴	۱۳۹۶/۰۹/۰۷	۱۳۹۶/۰۹/۰۷	۱۳۹۸/۰۴/۰۱
				*نویسنده مسئول:		علی خیرالدین
				پست الکترونیکی:		kheyroddin@semnan.ac.ir

## Nonlinear Seismic Performance of RC Structures with Different Floor by Capacity Spectrum Method

Ali Karegaran<sup>1</sup>, Ali Kheyroddin<sup>2\*</sup>

1- Instructor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran

2- Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

### ABSTRACT

Civil engineering structures as well as office or apartment building are affected by earthquakes. In some buildings, few or no walls are provided at the first story (pilot). In the structures with difference in story level, major problems is due to discontinuity of floor diaphragm that causes significant changes in period, stiffness and distribution of earthquake force. In this paper, using linear and nonlinear static analysis, time history and location of plastic hinge in short columns and beams, period, displacement, shear force, performance point and capacity spectrum and..., in 2, 4, 6, 8, and 10 story structures with story level difference are studied. The results show that the effect of level difference in short structures is obvious and by increasing the height difference, the effect of short column phenomenon is decreased and the performance point is increased.

### ARTICLE INFO

Received: 30/05/2017

Revised: 05/09/2017

Accepted: 28/11/2017

### Keywords:

Frame with different floor, reinforced concrete, Seismic vulnerability, Plastic hinge pattern, Short column, Nonlinear static analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.87786.1215

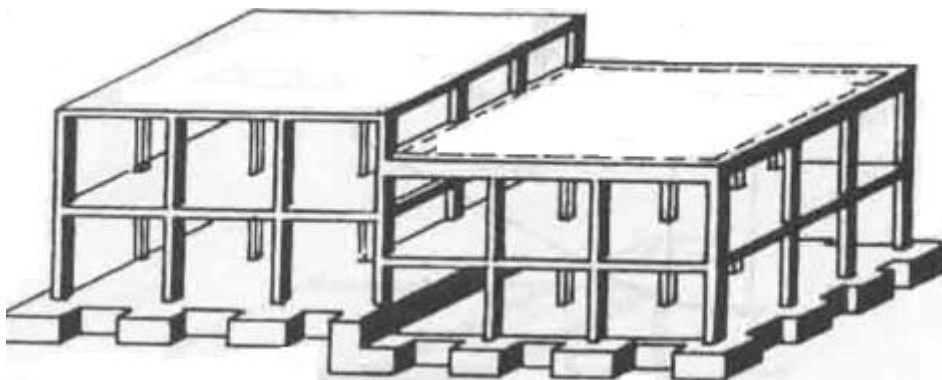
\*Corresponding author: Ali Kheyroddin  
Email address: kheyroddin@semnan.ac.ir

## ۱- مقدمه

در سازه‌های دوبلکسی کف‌های طبقات با اختلاف تراز نسبت به هم در دو یا چند تراز ارتفاعی مختلف ایجاد می‌شوند. طول مؤثر ستون‌های واقع در فصل مشترک این سازه‌ها به اندازه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود که هر یک از آن‌ها به صورت یک ستون کوتاه عمل می‌کنند. نکته حائز اهمیت در این سازه‌ها وجود اختلاف ارتفاع بین دو جزء سازه دوبلکسی می‌باشد که باعث تغییرات چشم‌گیری در پیوند و سختی و پخش نیروی زلزله و بارگذاری لرزه‌ای سازه می‌گردد. بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده وجود ستون کوتاه در یک طبقه از سازه باعث افزایش سختی و کاهش تغییر مکان نسبی آن طبقه و در نتیجه کاهش تغییر مکان کل سازه [۱] و در خصوص نیروهای وارد بر فصل مشترک سازه‌های دوبلکسی، مشخص شده است که نیروی برشی در ستونی (ستون کوتاه) که دو سازه دوبلکسی را به هم متصل می‌کند نسبت به برش در ستون مشابه در سازه معمولی بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد [۲] که در شکل ۱ نمونه‌ای از خرابی ستون کوتاه در زلزله واقعی نشان داده شده است.



شکل ۱: شکست برشی ستون‌های کوتاه بتن مسلح [۳]



شکل ۲: ستون‌های کوتاه سازه دوبلکسی بتن مسلح

با توجه به اهمیت این موضوع، محققین بسیاری در این زمینه تحقیق نموده‌اند. عبدالله و همکاران [۴]، با استفاده از روش الاستوپلاستیک جهت آنالیز تنش در لوله فولادی نتایج حاصل از ارزیابی ستون‌های کوتاه TRC به صورت مدل المان محدود غیرخطی و نتایج آزمایشگاهی را مورد مقایسه قرار داده‌اند. یی و همکاران [۵]، عملکرد ستون‌های فولادی کوتاه و باریک پر شده از بتن را تحت بار محوری و بارگذاری ترکیبی محوری و ممان خمشی با ستون‌های فولادی کوتاه توخالی مورد ارزیابی قرار داده‌اند که مشخص شده است

ستون‌های ترکیبی پر شده از بتن دارای عملکرد و توانایی بهتر و گسترده‌ای جهت به‌کارگیری در اعضای سازه‌ای دارند. زوا و لیو [۶]، رفتار ستون‌های کوتاه SRC استوانه‌ای و مربعی را با آزمایش بر روی هشت نمونه تحت بارگذاری محوری و سیکلی مورد ارزیابی قرار داده‌اند و دریافته‌اند که لوله‌های فولادی به‌طور مؤثر از شکست برشی بتن در ستون‌های استوانه‌ای نسبت به ستون‌های مربعی جلوگیری می‌کنند. لیانگ و فراگومنی [۷]، یک مدل کلی برای تحلیل و طراحی غیر الاستیک غیرخطی ستون‌های کوتاه فولادی پر شده از بتن تحت بار محوری و یک مدل ساختاری دقیق برای بتن محصور شده با مقاومت بالا و متوسط در ستون‌های کوتاه استوانه‌ای ارائه داده‌اند و نیز از روش‌های عددی جهت مدل‌سازی رفتار غیر خطی ستون‌های استوانه‌ای استفاده کرده‌اند. موریتی و تاسیوس [۸ و ۹]، که با آزمایش روی هشت نمونه ستون کوتاه بتن‌آرمه تحت بار محوری ثابت و تغییر مکان‌های استاتیکی سیکلی و اندازه‌گیری کرنش‌های بتن و فولاد، نتایج طراحی لرزه‌ای با نسبت برش کم و رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه را مورد ارزیابی و بررسی قرار داده‌اند و یک مدل خرابی برای شبیه‌سازی رفتار ستون‌های کوتاه بتن‌آرمه در گسیختگی جهت فهم و درک بهتر مکانیزم خرابی و با توزیع نیروها در ستون‌ها پیشنهاد داده‌اند. همچنین مطالعات آزمایشگاهی بر روی رفتار غیرخطی نمونه‌های مختلف ستون کوتاه با کم و زیاد کردن میزان خاموت هنگامی که با صفحات CFRP و GFRP (الیاف کربنی) تقویت شده‌اند، تحت اثر تغییر مکان‌های سیکلی جانبی و بار فشاری ثابت بر حسب تغییرات بارگذاری و شکل‌پذیری توسط محققینی چون هایدرو و زاو [۱۰]، کولمب و همکاران [۱۱]، پرومیس و همکاران [۱۲ و ۱۳]، جلال و همکاران [۱۴]، قبارا و جلال [۱۵]، لپیینگ و همکاران [۱۶] و جلال و قبارا [۱۷] انجام شده است.

بخشی و تابش پور [۱۸] تأثیر میان قاب و پدیده ستون کوتاه را با نرم‌افزار IDARC و با نداشت زلزله طیس با شتاب بیشینه  $0.35g$  مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار داده‌اند. عباس نیا و برقی [۱۹]، با بررسی انواع انهدام ستون‌ها زیرا اثر بار جانبی دوره‌ای یا زلزله، پارامترهایی که به لحاظ فیزیکی در نوع انهدام تأثیر دارند شناسایی و تعریف کرده و با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و نتایج بارگذاری بر روی تعدادی نمونه، مدل جدیدی برای پیش‌بینی نوع انهدام ستون‌ها معرفی کرده‌اند. خیرالدین و میرنظامی [۲]، با آنالیز ۳ ساختمان فلزی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه پارامترهای لرزه‌ای اعم از تغییرات پیرو، تغییر مکان و همچنین تشکیل ستون کوتاه و عوامل تشدیدکننده آن را مورد بررسی و روشی برای بارگذاری استاتیکی معادل ساختمان‌های دوبلکسی پیشنهاد داده‌اند.

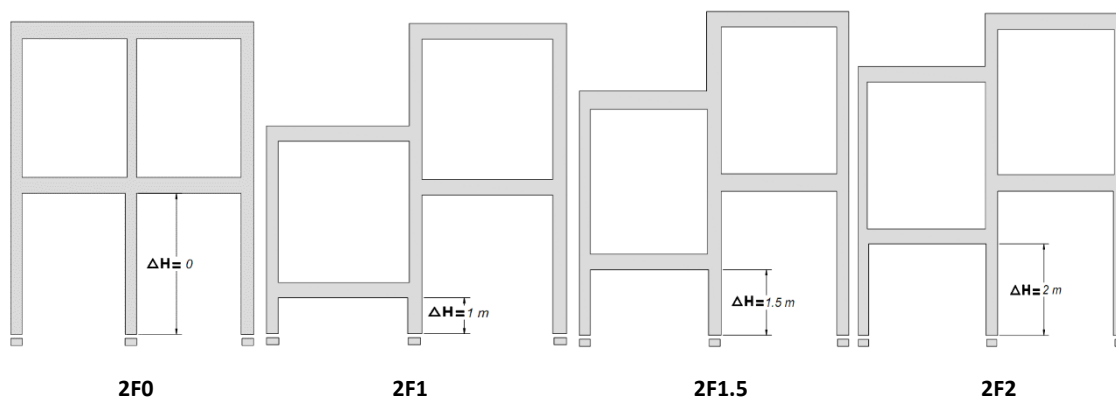
خیرالدین و کارگران [۲۰ و ۲۱] عملکرد لرزه‌ای ستون‌های کوتاه و سازه‌های دوبلکسی ۴، ۸ و ۱۰ طبقه تحت دو رکورد زلزله طیس و السنترو را با بررسی نتایج حاصل از حداکثر پاسخ، برش، شاخص خسارت، نسبت سهم ستون کوتاه در خرابی سازه‌های دوبلکسی و... مورد ارزیابی قرار داده‌اند. همچنین خیرالدین و کارگران [۱] رفتار ستون‌های کوتاه را در سازه‌های واقع بر سطح شیب‌دار تحت آنالیز استاتیکی خطی و غیرخطی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

از آنجایی که بر روی سازه‌های دوبلکسی به صورت محدود مطالعه و تحقیق صورت گرفته است در تحقیق حاضر با آنالیز استاتیکی خطی و غیرخطی به بررسی موقعیت مکانی و زمانی وقوع اولین مفصل پلاستیک در تیرها و ستون‌های کوتاه، دوره تناوب، تغییر مکان، نیروی برشی، نقطه عملکرد و طیف ظرفیت و... در پنج سازه دوبلکسی پرداخته شده است که این خود بیانگر نوآوری و کاربردی بودن این تحقیق می‌باشد.

## ۲- معرفی مسئله و روش تحقیق

در این تحقیق عملکرد و رفتار لرزه‌ای استاتیکی خطی و غیرخطی بیست مدل سازه‌ای متشکل از پنج سازه قابی دو دهانه که دارای اختلاف تراز ارتفاعی ( $\Delta H$ ) ۱ متر، ۱/۵ متر و ۲ متر می‌باشند که به اختصار F0، F1، F1.5 و F2 نام‌گذاری و یک قاب بدون اختلاف تراز ارتفاعی (معمولی) که به اختصار F0 نام‌گذاری شده، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ۳). پلان همه سازه به صورت کاملاً یکسان فرض گردیده و از لحاظ ارتفاع، متغیر و شامل قاب‌های ۲ طبقه، ۴ طبقه، ۶ طبقه، ۸ طبقه و ۱۰ طبقه می‌باشند. پلان سازه‌ها دو دهانه و به ابعاد هر دهانه ۴ متر بوده و به دلیل کاربردی بودن طرح، ابعاد و دهانه‌ها، واقعی و سازه متقارن در نظر گرفته شده است. سیستم باربر جانبی (سیستم لرزه بر)

در تمامی سازه‌ها بر طبق آیین‌نامه زلزله ایران استاندارد ۲۸۰۰ [۲۲] از لحاظ شکل‌پذیری از نوع قاب خمشی بتنی متوسط استفاده شده است. از آنجایی‌که سازه با اختلاف تراز طبقه در ارتفاع نامنظم محسوب می‌شود، بارگذاری لرزه‌ای و تحلیل از دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی انجام شده است.

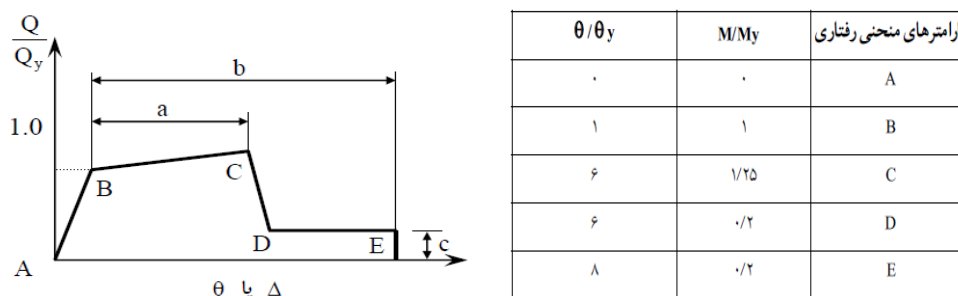


شکل ۳: سازه دو طبقه بتن مسلح

در سالیان اخیر محققان گام‌های مؤثری در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها برداشته‌اند و دیدگاه آنان از تأمین مقاومت، متوجه عملکرد سازه‌ها شده است. روش تحلیل استاتیکی غیرخطی یا بار افزون (pushover) یکی از روش‌های نوین مورد استفاده در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای است. نتیجه این تحلیل، تغییر مکان هدفی است که مبنای تعیین عملکرد سازه قرار می‌گیرد. از آنجایی‌که در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی فقط اثر مشارکت مود اول در نظر گرفته شده است، در ساختمان‌های بلندمرتبه درصد مشارکت مودهای بالاتر بیشتر، در نتیجه نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مورد این ساختمان‌ها قابل استفاده نبوده و می‌بایست نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی مدنظر قرار گیرد. تحلیل دینامیکی غیرخطی با وجود دقت بسیار بالا از نظر زمان‌بری، هزینه بالا و دشواری به‌اندازه روش بار افزون کاربرد ندارد.

از آنجایی‌که در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲۲] معیارهای طراحی دقیقاً بر اساس عملکرد نمی‌باشد، مدل‌های سازه‌ای انتخاب شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲۲] طراحی و با روش طراحی بر اساس عملکرد کنترل شده‌اند. برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها و پیدا کردن نیازهای تغییر مکانی ناشی از زلزله، استفاده از روش‌های آنالیز غیرخطی مورد نیاز است. از این‌رو از نرم‌افزار SAP2000 که قابلیت ارزیابی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی انواع سازه‌ها مبتنی بر طراحی بر اساس عملکرد و منطبق بر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای [۲۳] را دارد استفاده شده است. در روش استاتیکی غیرخطی، بار جانبی ناشی از زلزله، به صورت استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه خاص (نقطه عملکرد)، تحت اثر بار جانبی، به مقدار مشخصی که تغییر مکان هدف نام دارد، برسد و یا اینکه سازه فروریزد. آنالیز غیرخطی استاتیکی روشی مؤثر برای تعیین اضافه مقاومت و شکل‌پذیری سازه و تعیین نحوه تشکیل مکانیزم خسارت و تخریب سازه‌ها می‌باشد. با این روش بار نهائی یک سازه یا یک عضو سازه‌ای قابل تعیین می‌باشد.

برای بررسی رفتار استاتیکی غیرخطی سازه‌ها ۳ نوع مفصل خمیری تعریف شده که برای تیرها از نوع مفصل خمشی M3 و برای ستون‌ها از نوع مفصل خمشی - محوری PMM و مهاربندها از نوع محوری P می‌باشد [۱]. منحنی تعریف شده برای تیرها بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای در شکل ۴ نشان داده شده که در آن a، b و c به ترتیب ۵ و ۷ و ۰/۲ انتخاب شده‌اند [۱].



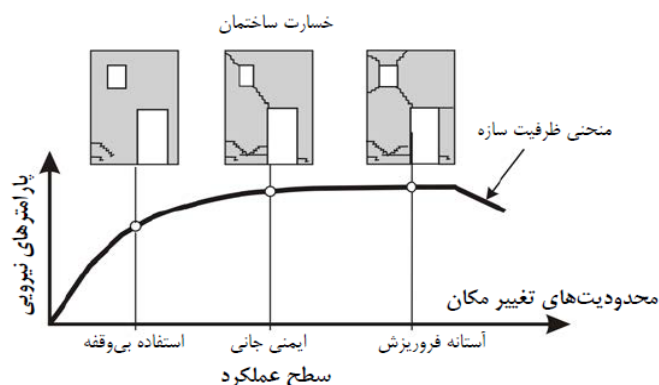
شکل ۴: منحنی ظرفیت سازه‌ها [۱]

در سازه‌های مورد مطالعه برای پارامترهای کنترل شونده توسط تغییر شکل سه سطح عملکرد و برای پارامترهای کنترل شونده توسط یک نیرو یک سطح عملکرد در نظر گرفته و حالات حدی زیر تعریف شده است [۲۳]:

الف- حالت حدی استفاده بی‌وقفه (IO)، با در نظر گرفتن همه مفاصل پلاستیک در تیرها و ستون‌ها و با استفاده از ظرفیت تغییر شکل در سطح ۱.

ب- حالت حدی ایمنی جانی (LS)، با در نظر گرفتن همه مفاصل پلاستیک در تیرها و ستون‌ها و با استفاده از ظرفیت تغییر شکل در سطح ۲.

ج- حالت حدی آستانه فروریزش (CP)، با در نظر گرفتن همه مفاصل پلاستیک در تیرها و ستون‌ها و با استفاده از ظرفیت تغییر شکل در سطح ۳ (شکل ۵).



شکل ۵: منحنی ظرفیت سازه در حالت کلی [۲۳]

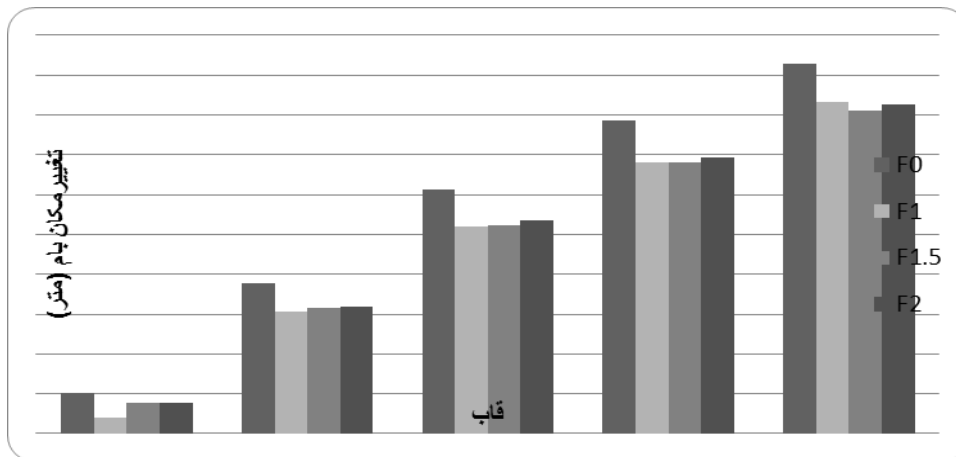
در حین تحلیل سازه، نرم‌افزار همه نسبت‌های نیاز به ظرفیت را برای تمام مفاصل پلاستیک در تمام حالات حدی تعریف شده، محاسبه و بیشترین مقدار را در هر گام ذخیره می‌کند. سطح خطر یک بر اساس ۱۰ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال است تعیین می‌شود. این سطح به عنوان زلزله طرح (DBE) بیان می‌شود که برای طراحی مدل‌های سیستم‌های سازه‌ای بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ [۲۲] استفاده می‌گردد و سطح خطر دو بر اساس ۲ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است تعیین می‌شود. این سطح خطر به عنوان پیشینه زلزله محتمل (MPE) نامیده می‌شود.

### ۳- بررسی تغییر مکان حداکثر سازه‌ها

متطابق نمودار شکل ۶ نتایج نشان می‌دهد که تغییر مکان بام (طبقه آخر) در قاب‌های دو طبقه F1، F1.5 و F2 به ترتیب به میزان ۳۱، ۳۵ و ۳۶ درصد نسبت به قاب معمولی (F0) کاهش یافته است که این میزان در قاب چهار طبقه ۲۰، ۱۷ و ۱۶ درصد، قاب شش طبقه ۱۸، ۱۶ و ۱۵ درصد، قاب هشت طبقه ۱۵، ۱۵ و ۱۳ درصد و قاب ده طبقه ۱۱، ۱۳ و ۱۰ درصد می‌باشد. به دلیل کاهش ارتفاع ستون‌ها و

افزایش سختی سازه‌های دوبلکسی، کاهش تغییرمکان در سازه‌های بلندتر نسبت به سازه‌های کوتاه‌تر بیشتر بوده [۱] و در سازه‌های بلند دوبلکسی تغییرمکان سازه با هر اختلاف تراز ارتفاعی تقریباً نزدیک به هم و یکسان است و اختلاف تراز ارتفاعی اثر چندانی روی تغییرمکان سازه ندارد (اختلاف در حد ۲ درصد).

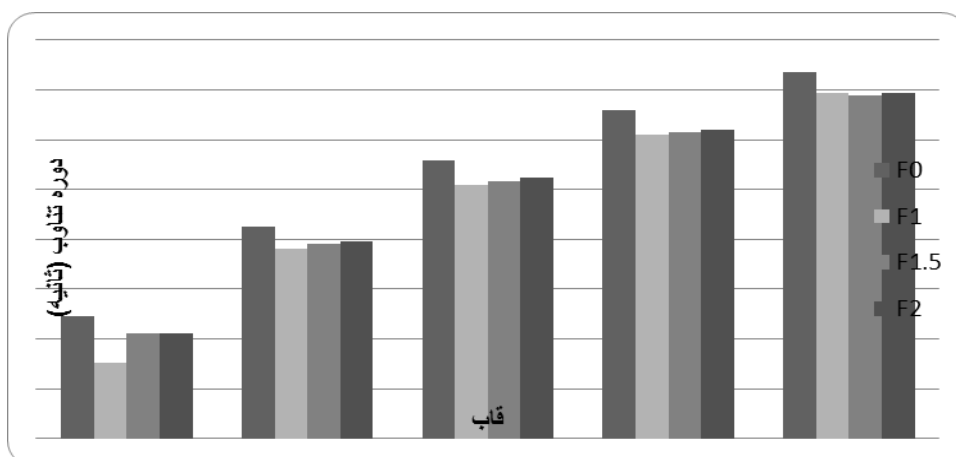
میزان کاهش تغییرمکان بام در قاب‌های بلندتر دوبلکسی نسبت به قاب‌های معمولی، در مقایسه با قاب‌های کوتاه کمتر است و در تمامی مدل‌ها، قاب F2 در مقایسه با سایر قابها دارای کاهش کمتری در تغییرمکان نسبت به قاب F0 می‌باشد که این میزان تقریباً به حداکثر حدود ۱۵ درصد محدود می‌شود.



شکل ۶: حداکثر تغییر مکان حداکثر سازه‌ها

#### ۴- بررسی دوره تناوب حداکثر (مد اول ارتعاش) سازه‌ها

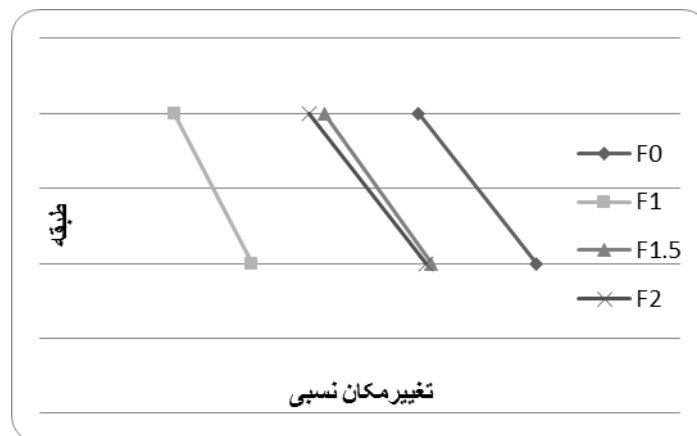
در کلیه سازه‌های دوبلکسی دوره تناوب در قاب F0 بیشتر از قاب‌های F1 و F1.5 و F2 می‌باشد (شکل ۷). این میزان افزایش نسبت به قاب F1 به ترتیب در سازه‌های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه، ۶۱، ۱۲، ۹، ۷ و ۵ درصد می‌باشد. دوره تناوب در قاب‌های F1.5 و F2 تقریباً یکسان است که نشانگر رفتار یکسان آنها می‌باشد.



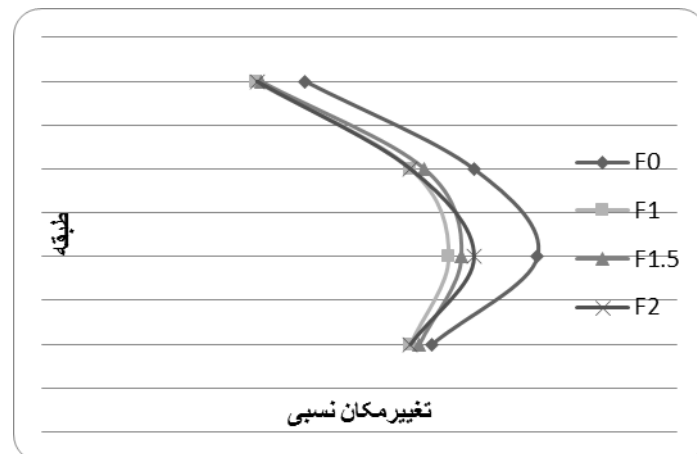
شکل ۷: حداکثر دوره تناوب حداکثر سازه‌ها

## ۵- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات در سازه‌ها

نتایج حاصل از منحنی شکل‌های ۸ الی ۱۲ نشان می‌دهد که تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های ۶ و ۸ طبقه یکسان و تقریباً مشابه هم می‌باشند. در قاب‌های ۲ طبقه، میزان درصد کاهش تغییر مکان نسبی طبقات در قاب‌های F1، F1.5 و F2 نسبت به قاب معمولی (F0) به ترتیب ۶۰، ۳۰ و ۳۴ درصد، در قاب‌های ۴ طبقه ۱۶، ۱۵ و ۱۵ درصد، در قاب‌های ۶ طبقه ۱۱/۵، ۱۲/۲ و ۱۱ درصد، در قاب‌های ۸ طبقه ۱۰، ۱۲ و ۱۱ درصد و در قاب‌های ۱۰ طبقه ۸، ۱۰ و ۱۰ درصد می‌باشد. در سازه‌های دوبلکسی هرچه ارتفاع سازه کمتر باشد، تغییر مکان نسبی آن نسبت به حالت معمولی بیشتر است به عبارتی با افزایش ارتفاع، متوسط تغییر مکان نسبی طبقات کاهش می‌یابد و در قاب‌های بلندتر میزان این کاهش تقریباً برابر و به میزان حدود ۱۰ درصد است. (شکل ۱۳).

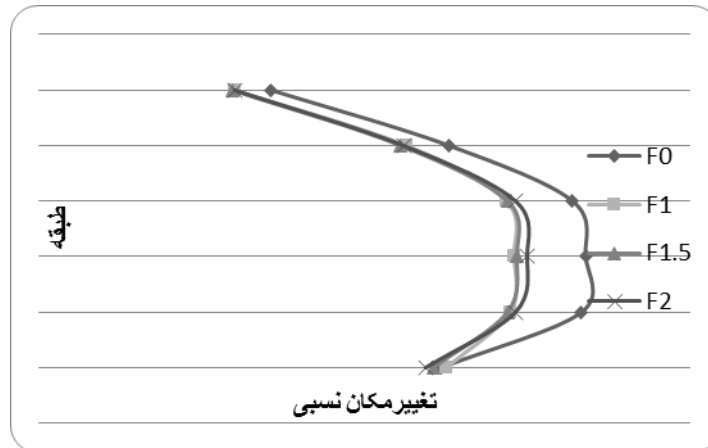


شکل ۸: منحنی تغییر مکان نسبی در قاب ۲ طبقه (2F)

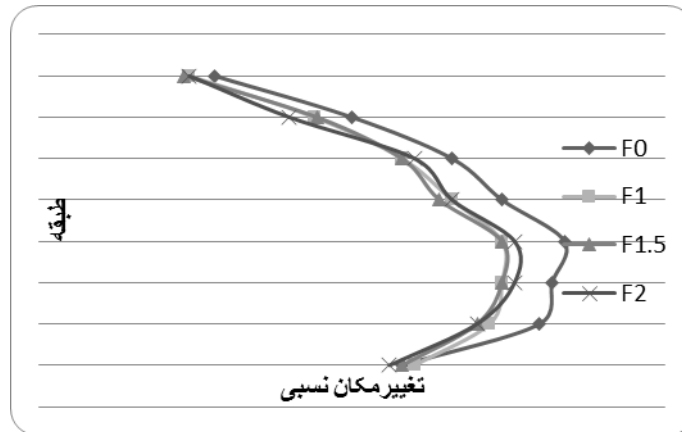


شکل ۹: منحنی تغییر مکان نسبی در قاب ۴ طبقه (4F)





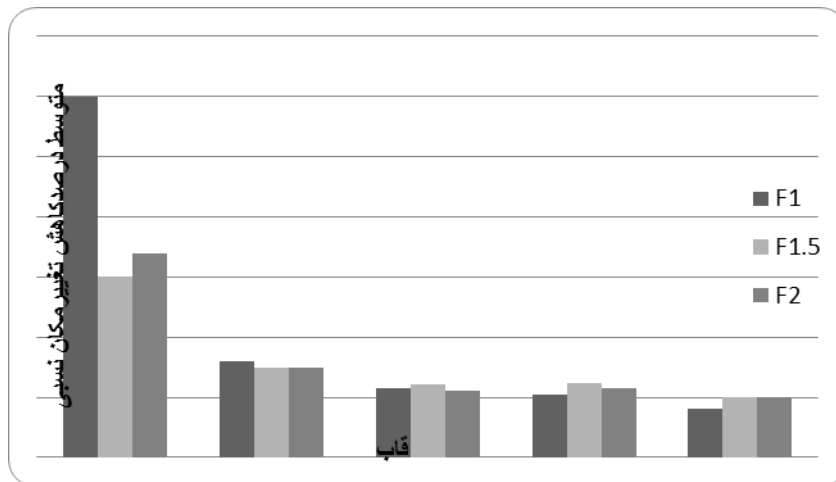
شکل ۱۰: منحنی تغییر مکان نسبی در قاب ۶ طبقه (6F)



شکل ۱۱: منحنی تغییر مکان نسبی در قاب ۸ طبقه (8F)



شکل ۱۲: منحنی تغییر مکان نسبی در قاب ۱۰ طبقه (10F)

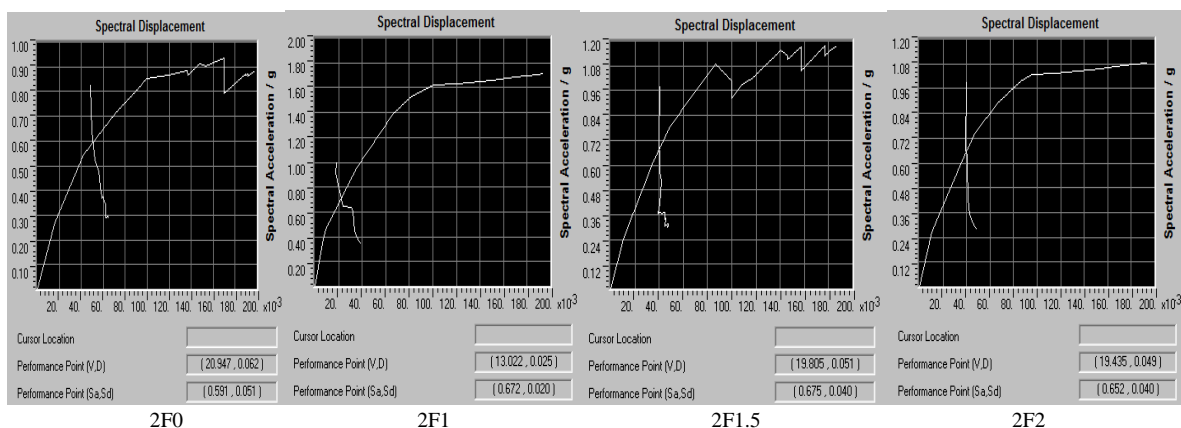


شکل ۱۳: منحنی متوسط درصد کاهش تغییر مکان نسبی قاب‌ها نسبت به قاب معمولی (F0)

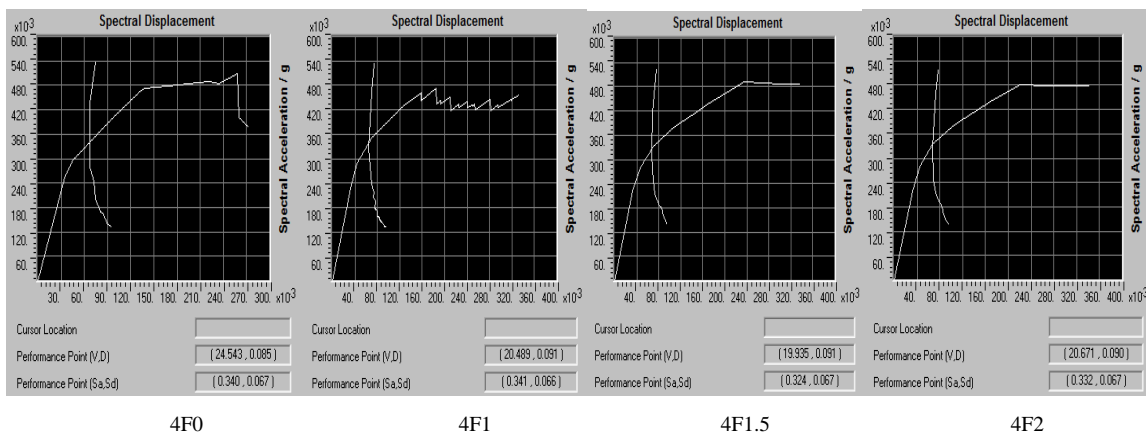
### ۶- بررسی نقطه عملکرد سازه‌ها

در قاب دو طبقه نقطه عملکردی قاب F0 از سه قاب F1 و F1.5 و F2 بیشتر است. در قاب ۴ طبقه، تغییر مکان نقطه عملکردی در تمامی قاب‌ها تقریباً برابر و نیروی برشی نقطه عملکردی در قاب‌های F1 و F2 از قاب F1.5 بیشتر است و فقط در قاب ۴ طبقه، تغییر مکان نقطه عملکردی در تمامی قاب‌ها برابر هم بوده و تقریباً از قاب F0 بیشتر است. نقطه عملکردی در قاب ۶ طبقه F0 بیشتر و در قاب ۸ طبقه F1 و F2 برابر و از قاب F1.5 بیشتر است. قاب ۱۰ طبقه دارای نقطه عملکردی بیشتری می‌باشد. به جزء قاب‌های ۴ و ۸ طبقه، نقطه عملکردی در تمامی قاب‌های F0 نسبت به سایر قاب‌های F1.5 و F1 و F2 بیشتر بوده که نشانگر عملکرد بهتر قاب فوق می‌باشد (شکل‌های ۱۴ الی ۱۸).

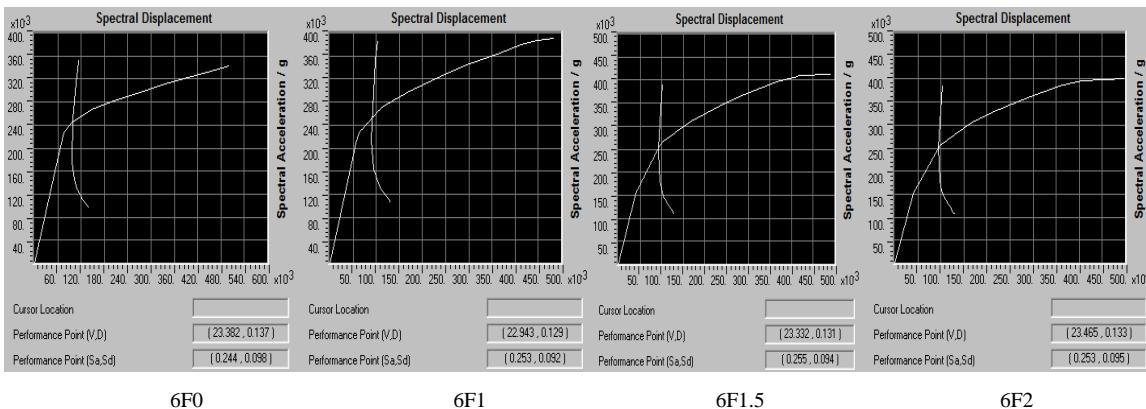
نتایج حاصل از طیف ظرفیت و نقطه عملکردی سازه‌ها نشان می‌دهد به طور میانگین، نقطه عملکردی قاب‌های F1، F1.5 و F2 نسبت به قاب F0، در قاب دو طبقه حدود ۴۰ درصد کاهش، در قاب ۴ طبقه حدود ۷ درصد افزایش، در قاب ۶ طبقه حدود ۵ درصد کاهش، در قاب ۸ طبقه حدود ۵ درصد افزایش و در قاب ۱۰ طبقه حدود ۶ درصد کاهش یافته است (نمودار شکل ۱۹). نقطه عملکردی در سازه‌های دوبلکسی بلند بهتر از سازه‌های دوبلکسی کوتاه می‌باشد و به عبارتی با افزایش ارتفاع سازه، نقطه عملکردی آن افزایش می‌یابد به طوری که به ازای افزایش هر ۲ طبقه در هر مجموعه از قاب‌ها، تقریباً حدود ۲۰ درصد نقطه عملکردی آنها افزایش می‌یابد.



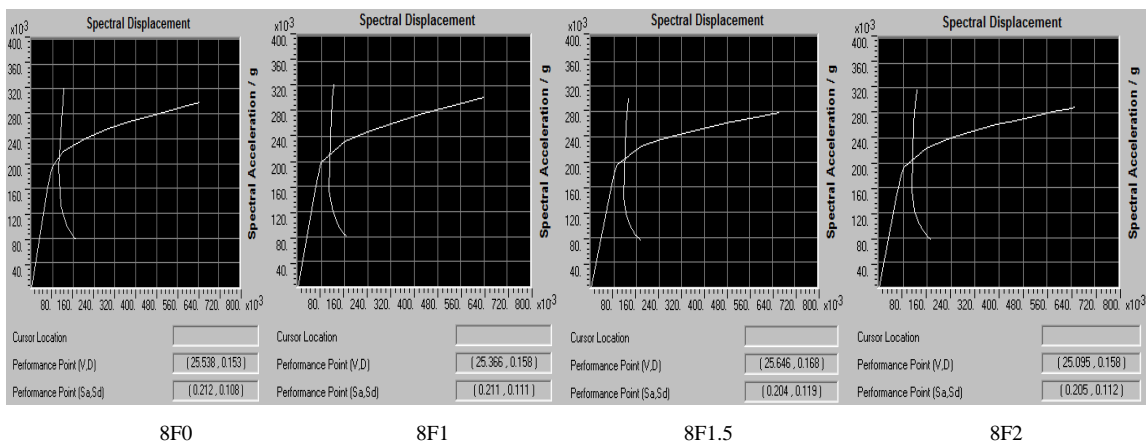
شکل ۱۴: منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد قاب ۲ طبقه



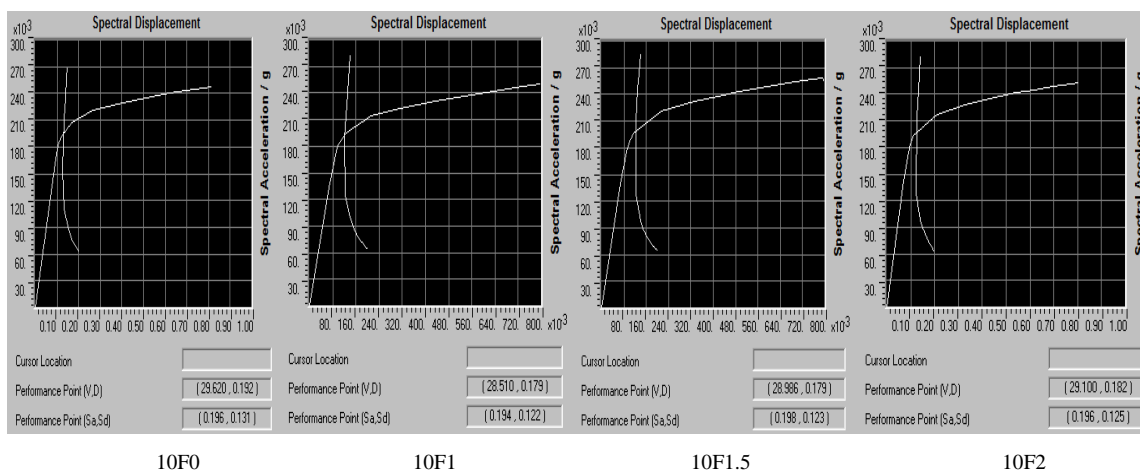
شکل ۱۵: منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد قاب ۴ طبقه



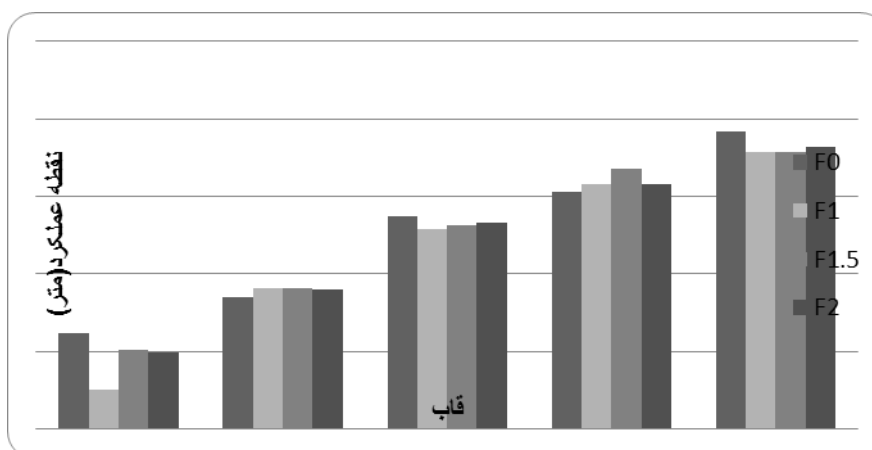
شکل ۱۶: منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد قاب ۶ طبقه



شکل ۱۷: منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد قاب ۸ طبقه



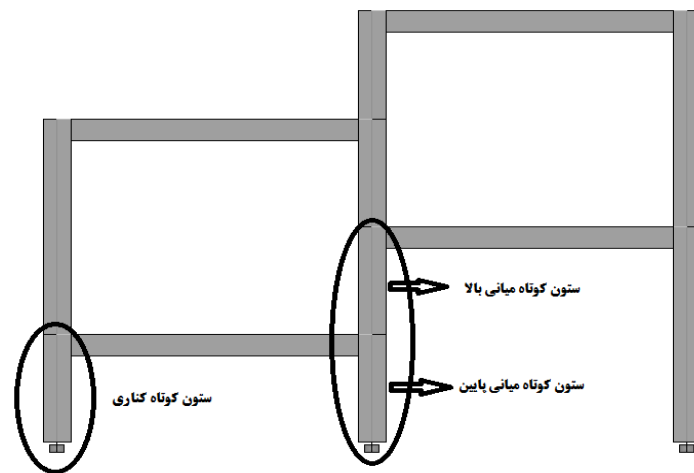
شکل ۱۸: منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد قاب ۱۰ طبقه



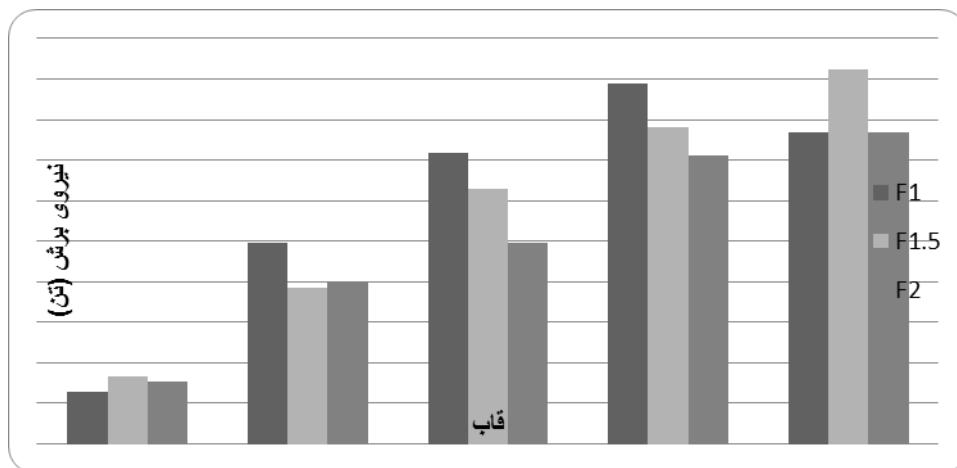
شکل ۱۹: نمودار نقطه عملکرد قابها

### ۷- بررسی نیروی برشی در ستون‌های کوتاه طبقه اول سازه‌ها

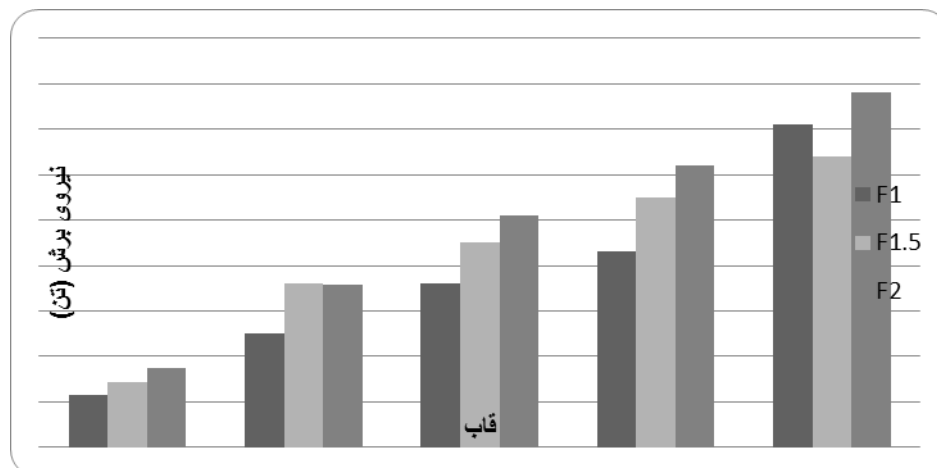
نتایج حاصل از شکل‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳ بر روی نیروی برشی در ستون‌های کوتاه کناری و میانی (در قسمت بالا و پایین) (شکل ۲۰) واقع در طبقه اول سازه‌ها نشان می‌دهد که نیروی برشی در ستون کوتاه کناری در قاب F1 در سازه‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه (به طور میانگین حدود ۲۵ درصد) و در ستون کوتاه میانی (بالا و پایین) در قاب F2 (به طور میانگین در ستونهای کوتاه پایین حدود ۱۵ درصد و در ستونهای کوتاه بالا حدود ۸ درصد) در تمامی سازه‌ها دارای بیشترین مقدار می‌باشد. به عبارتی در سازه‌های دوبلکسی، ستون کوتاه واقع در فصل مشترک دو قاب در حالت F2 دارای برش بیشتری است که مطابق نمودار شکل‌های فوق این میزان افزایش در ستون کوتاه میانی پایین مشهودتر و بیشتر می‌باشد.



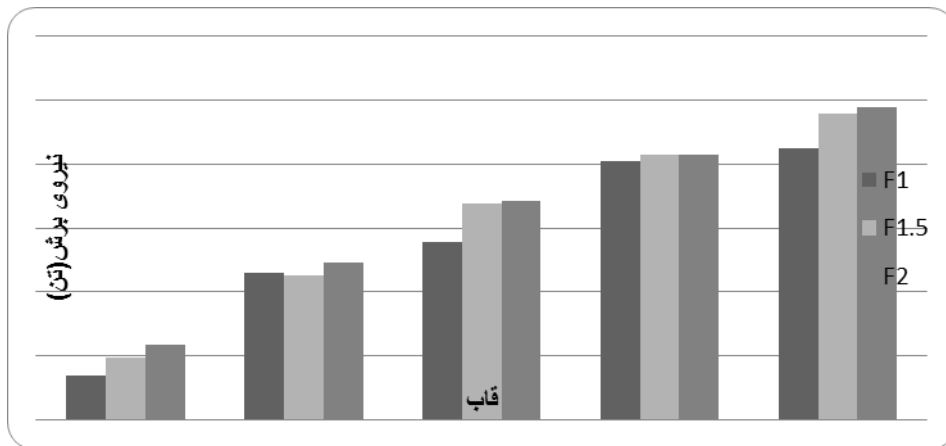
شکل ۲۰: موقعیت ستون‌های کوتاه کناری و میانی در طبقه اول



شکل ۲۱: نمودار نیروی برشی در ستون کوتاه کناری



شکل ۲۲: نمودار نیروی برشی در ستون کوتاه میانی (پایین)



شکل ۲۳: نمودار نیروی برشی در ستون کوتاه میانی (بالا)

## ۸- بررسی الگوی مفصل پلاستیک در سازه‌ها

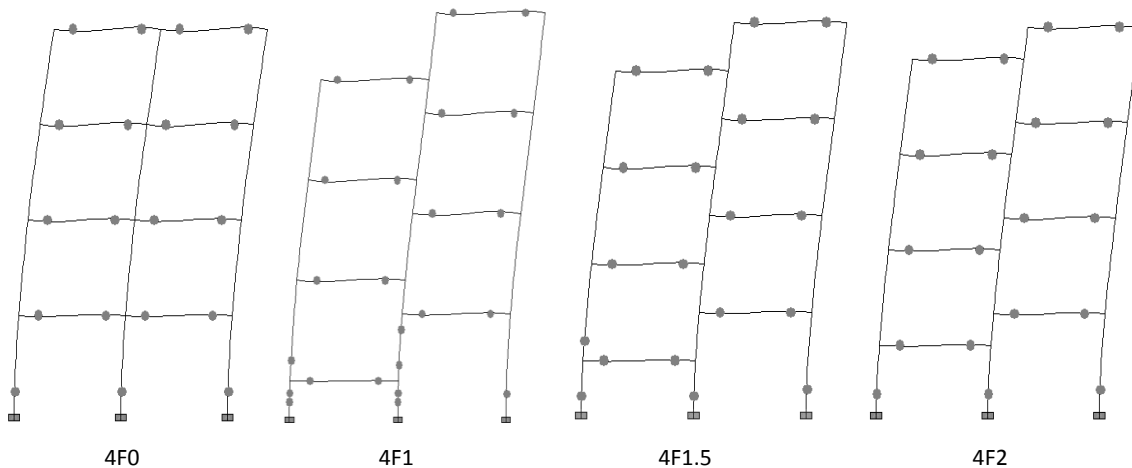
در روش آنالیز استاتیکی غیرخطی نیروی جانبی زلزله توسط یک مجموعه نیروهای استاتیکی بر سقف‌های سازه اثر کرده و مدل‌سازی می‌شوند. الگوی توزیع این نیروها همان توزیع نیروهای اینرسی در محل طبقات ساختمان در طول اعمال زلزله می‌باشد. این نیروها به تدریج از صفر افزایش یافته و تا سازه مرحله خطی را طی نموده و در رفتار غیرخطی تا جایی پیش رفته که سازه منهدم و سختی آن به صفر برسد. به این طریق در هر مرحله ماتریس سختی سازه بر اساس هندسه تغییر شکل یافته اصلاح تا اینکه سازه دچار مکانیزم مفصل پلاستیک گردد. بار وارده به سازه در این حالت همان بار نهائی است ولی از آنجاکه مدل‌سازی سازه با سختی صفر امکان پذیر نیست در عمل نیروی جانبی آن قدر افزایش داده می‌شود تا تغییر مکان بام به مقدار نهائی خود برسد مگر آنکه پیش از آن در یکی از اعضا مفصل پلاستیک رخ دهد. نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی بر روی مکانیزم خسارت سازه‌ها در جدول شماره ۳ نشان داده شده است که در تیرها، اولین مفاصل پلاستیک در قاب‌های دوبلکسی کوتاه در طبقات بالائی و در قاب‌های بلند در طبقات میانی و در قسمت بلندتر قاب‌ها در ناحیه فصل مشترک دو قاب کوتاه و بلند رخ می‌دهند. در ستون‌ها، اولین مفاصل پلاستیک در قاب‌های دوبلکسی در ستون‌های کوتاه طبقه اول و در برخی حالات طبقه دوم و بیشتر در پای ستون کوتاه واقع شده‌اند. به‌طور کلی با افزایش ارتفاع سازه‌ها، اولین مفاصل تشکیل شده در تیرها افزایش می‌یابند و نیز تعداد اولین مفاصل تشکیل شده در قاب‌های دوبلکسی به‌طور قابل توجهی بیشتر از قاب‌های معمولی است. در شکل ۲۴ به‌طور نمونه نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر و ستون‌های قاب ۴ طبقه ارائه شده است.

جدول ۳: مکانیزم آسیب‌پذیری و موقعیت مکانی اولین مفاصل پلاستیک

قاب	F0	F1	F1.5	F2
۲ طبقه	تیر طبقه ۱ و همزمان پای سه ستون طبقه ۱	تیر طبقه ۱ در قاب بلندتر و پای ستون میانی طبقه ۱	تیر طبقه ۱ در قاب بلندتر و پای ستون میانی طبقه ۱	تیر طبقه ۱ در قاب بلندتر و پای دو ستون طبقه ۱ در قاب کوتاه‌تر
۴ طبقه	تیر طبقه ۱ و همزمان پای سه ستون طبقه ۱	تیر طبقه ۳ در قاب کوتاه تر و همزمان پای ستون میانی طبقه ۲ و پای ستون کناری در قاب کوتاه تر طبقه ۱	تیر طبقه ۳ در قاب بلندتر و همزمان پای سه ستون طبقه ۱	تیر طبقه ۳ در قاب بلندتر و همزمان پای دو ستون طبقه ۱ در قاب کوتاه تر
۶ طبقه	تیر طبقه ۵ و پای دو ستون کناری طبقه ۱	تیر طبقه ۲، ۳ و ۴ در قاب بلندتر و پای دو ستون طبقه ۲ و ۱ در قاب کوتاه تر	تیر طبقه ۳ در قاب بلندتر و سه ستون طبقه ۱	تیر طبقه ۳ در قاب بلندتر و پای دو ستون طبقه ۱ در قاب کوتاه تر

ادامه جدول ۳:

تیر طبقات ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ در قاب بلندتر و تیر طبقه ۵ و ۴ در قاب کوتاه‌تر و پای سه ستون طبقه ۱	تیر طبقات ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ در قاب بلندتر و تیر طبقه ۵ در قاب کوتاه‌تر و پای سه ستون طبقه ۱	تیر طبقات ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ در قاب بلندتر و تیر طبقه ۵ در قاب کوتاه‌تر و پای سه ستون طبقه ۱ و ۲ در قاب کوتاه‌تر	تیر طبقه ۵	۸ طبقه
تیر طبقات ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در قاب بلندتر و تیر طبقات ۶ و ۷ در قاب کوتاه‌تر و همزمان پای سه ستون طبقه ۱	تیر طبقات ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در قاب بلندتر و تیر طبقات ۶ و ۷ در قاب کوتاه‌تر و همزمان پای دو ستون طبقه ۱ در قاب کوتاه‌تر	تیر طبقات ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در قاب بلندتر و تیر طبقات ۶ در قاب کوتاه‌تر و همزمان پای دو ستون طبقه ۱ و ۲ در قاب کوتاه‌تر	تیر طبقات ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ در قاب بلندتر و تیر طبقات ۶ و ۷ در قاب کوتاه‌تر و همزمان پای سه ستون طبقه ۱	۱۰ طبقه



شکل ۲۴: الگوی مفصل پلاستیک در اعضای قاب ۴ طبقه

## ۹- نتیجه‌گیری

با بررسی و مقایسه شکل‌ها و جداول ارائه‌شده، نتایج زیر حاصل می‌شود:

- ۱- میزان کاهش تغییرمکان بام در قاب‌های بلند دوبلکسی نسبت به قاب‌های معمولی، در مقایسه با قاب‌های کوتاه حدود ۵ الی ۱۰ درصد کمتر است.
- ۲- در سازه‌های بلند دوبلکسی، اختلاف تراز ارتفاعی اثر چندانی روی تغییرمکان سازه ندارد و با افزایش ارتفاع سازه دوبلکسی دوره تناوب آن با اختلاف تراز ارتفاعی مختلف تقریباً یکسان می‌باشد.
- ۳- در سازه‌های دوبلکسی هرچه ارتفاع سازه کمتر باشد، تغییرمکان نسبی آن نسبت به حالت معمولی بیشتر است به عبارتی با افزایش ارتفاع، متوسط تغییرمکان نسبی طبقات کاهش می‌یابد به طوری که در سازه ۶ طبقه تا ۱۰ طبقه، حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

- ۴- در کلیه قاب‌های دوبلکسی هرچه اختلاف تراز ارتفاعی ستون‌های کوتاه کمتر باشد آنگاه تغییر مکان کل سازه نسبت به قاب‌های با اختلاف تراز ارتفاعی بیشتر، کمتر می‌باشد.
- ۵- نقطه عملکردی در تمامی قاب‌های F0 (معمولی) نسبت به سایر قاب‌های F1.5 و F1 و F2 (دوبلکسی) بیشتر بوده که نشانگر عملکرد بهتر قاب‌های معمولی می‌باشد.
- ۶- در سازه‌های دوبلکسی، ستون کوتاه واقع در فصل مشترک دو قاب (ستون میانی) در حالت F2 دارای برش بیشتری است به طوری که با افزایش هر ۲ طبقه، نقطه عملکردی قابها حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.
- ۷- نتایج حاصل از طیف ظرفیت و نقطه عملکردی سازه‌ها نشان می‌دهد که نقطه عملکردی در سازه‌های دوبلکسی بلند بهتر از سازه‌های دوبلکسی کوتاه می‌باشد و به عبارتی با افزایش ارتفاع سازه، نقطه عملکردی آن افزایش می‌یابد.
- ۸- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در قاب‌های دوبلکسی به‌طور قابل توجهی بیشتر از قاب‌های معمولی است.

## مراجع

- 1- Kheyroddin, A., and Kargaran, A.(2009) " Seismic behavior of short column in RC structures on slope surface." *Journal of Modeling in Engineering.*; 7:57-62.
- 2 - Kheyroddin, A., and Mirnezami, A. R.(2002). "Seismic behavior steel buildings with different floor." *Proc., 3<sup>rd</sup> National conf. on Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings.*, Tehran,Iran.
- 3 – Bayraktar, A., CanAltunisik, A., and Pehlivan, M.(2013). " Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes. " *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.* 53:49-72.
- 4 - Abdullah, JA.,Sumei, Z., and Jiepeng, Liu.(2010). "Shear strength and behavior of tubed reinforced and steel reinforced concrete (TRC and TSRC) short columns." *Thin-Walled Structures.* 48:191-199.
- 5 -Uy, B., Tao, Z., and Han, LH.(2011). "Behavior of short and slender concrete-filled stainless steel tubular columns." *Journal of Constructional Steel Research.* 67:360-378.
- 6 - Zhou, X., and Liu, J.(2010). "Seismic behavior and strength of tubed steel reinforced concrete (SRC) short columns." *Journal of Constructional Steel Research.* 66:885-896.
- 7 - Liang, QQ., and Fragomeni, S.(2009). "Nonlinear analysis of circular concrete-filled steel tubular short columns under axial loading." *Journal of Constructional Steel Research.*65:2186-2196.
- 8 - Moretti, M., and Tassios TP.(2007). "Behaviour of short columns subjected to cyclic shear displacements: Experimental results." *Engineering Structures*:29:2018-2029.
- 9 - Moretti, M., and Tassios TP.(2006). "Behaviour and ductility of reinforced concrete short columns using global truss model." *ACI Structural Journal.*;103 :319-327.
- 10-Haedir, J., and Zhao, XL.(2011). "Design of short CFRP-reinforced steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research.*67:497-509.
- 11 - Colomb, F., Tobbi, H., Ferrier, E., and Hamelin, P.(2008) "Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials." *Composite Structures* :82: 475-487.
- 12-Promis, G., Ferrier, E, P.(2012) "Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening." *Composite Structures* : In Press.
- 13-Promis, G., Ferrier, E., and Hamelin, P.(2008) "Performance indices to assess the efficiency of external FRP retrofitting of reinforced concrete short columns for seismic strengthening." *Construction and Building Materials.*; 26:32-40.
- 14 - Galal, K., Arafa, A., and Ghobarah, A.(2005) "Retrofit of RC square short columns." *Engineering Structures.*;27:801-813.
- 15 - Ghobarah, A., and Galal, K.(2004) "Seismic rehabilitation of short rectangular RC columns." *Journal of Earthquake Engineering.*;8:45-68.
- 16 - Lieping, Ye.,Qingrui, Yue., shuhong, Zhao., and Quanwang, Li.(2002). "Shear strength of reinforced concrete columns strengthened with carbon Fiber Reinforced plastic sheet." *Journal of Structural Engineering.*;128: 1527-1534.
- 17 - Galal, K., Ghobarah, A.(2003). "Flexural and shear hysteretic behaviour of reinforced concrete columns with variable axial load." *Engineering Structures.*;25:1353-1367.



- 18 – Bakhshi, A., and Tabeshpor, M. R.(2006). "Evaluation of short column fracture calculation in earthquake." Research Bulletin of Seismology and Earthquake Engineering., Vol. 8, No. 1, spring.
- 19 - Barghi, M., and Abasnia, R.(2006). "Augury of RC columns destruction type in cyclic lateral load." Proc., 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Civil Eng., Tehran, Iran.
- 20- Ghodrati Amiri, G.r., Kheyroddin, A., and Kargaran, A.(2011) " Seismic vulnerability of RC structures with different floor under earthquake." *Journal of Civil and Surveying Engineering.*; 45:479-486.
- 21- Kheyroddin, A., and Kargaran, A.(2011) " Seismic behavior of short column in RC structures with different floor level." *Journal of Civil Engineering.*; 22:129-145.
- 22- Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings.(2005); Standard No: 2800-05.
- 23 – Moghaddam, H. (2006) "Earthquake Engineering." PP. 935.