

## بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای سازه‌های دوبلکسی بتن آرمه در برابر زلزله

غلامرضا قدرتی امیری<sup>۱</sup>، علی خیرالدین<sup>۲\*</sup> و علی کارگران<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

<sup>۲</sup>استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

<sup>۳</sup>عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، کارشناس ارشد مهندسی زلزله

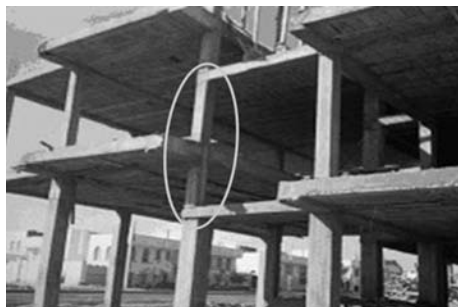
(تاریخ دریافت ۱۳۸۷/۰۵/۱۲، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۱۳۹۰/۰۶/۰۱، تاریخ تصویب ۱۳۹۰/۰۶/۲۸)

### چکیده

ملاحظات معماری از قبیل قرارگیری پیلوت و واحد های تجاری در همکف و جلوگیری از تجمع ورودی‌های مختلف در مجتمع های آپارتمانی، سازه‌های دوبلکسی را پدید می آورد که در آنها کف های طبقات با اختلاف تراز نسبت به هم در دو یا چند تراز ارتفاعی مختلف ایجاد می شوند. در سازه های دوبلکسی عمده مشکلات ناشی از عدم پیوستگی دیافراگم کف می باشد که باعث تغییرات چشم گیری در دوره تناوب، سختی و پخش نیروی زلزله می گردد. در این مقاله با آنالیز دینامیکی غیرخطی به کمک نرم افزار IDARC به بررسی موقعیت مکانی و زمانی وقوع اولین ترک و مفصل پلاستیک، طول زمان وقوع اولین ها، زمان و مکان وقوع مفصل پلاستیک در ستون های کوتاه، شاخص خسارت طبقات و شاخص خسارت کل در سه سازه دوبلکسی ۴، ۸ و ۱۰ طبقه تحت دو نگاشت زلزله طیس و السنترو در PGA های ۰/۳g، ۰/۵g و ۰/۷g پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که در هر دو زلزله، طبقات بالائی همه سازه ها در ۰/۳g دارای بیشترین خسارت می باشند. در زلزله طیس، در سازه ۸ طبقه در ۰/۷g شاخص کل خسارت سازه نسبت به سازه های ۴ و ۱۰ طبقه بیشتر است ولی در زلزله السنترو، علاوه بر ۰/۷g در ۰/۵g نیز این امر صادق است. همچنین تحت هر دو زلزله ترک و مفصل تیرها، در تیرهای متصل به ستون فصل مشترک دو قسمت سازه که دارای اختلاف ارتفاع می باشند، ایجاد می شود و در سازه های ۴ و ۸ طبقه بیشترین خرابی تیرها و ستون ها در قسمت کوتاه تر قاب که دارای ارتفاع کمتر می باشد و در سازه ۱۰ طبقه در قسمت بلندتر قاب رخ می دهند و ...

**واژه‌های کلیدی:** سازه دوبلکسی، بتن آرمه، آسیب پذیری لرزه‌ای، الگوی ترک، مفصل پلاستیک، ستون کوتاه، دینامیکی غیرخطی

### مقدمه



شکل ۱: ستون های کوتاه سازه دوبلکسی بتن مسلح

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. نکتهٔ حائز اهمیت در این سازه‌ها وجود اختلاف ارتفاع بین دو جزء سازهٔ دوبلکسی می‌باشد که باعث تغییرات چشم‌گیری در پیرو و سختی و پخش نیروی زلزله و بارگذاری لرزه‌ای سازه می‌گردد. بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده در خصوص نیروهای وارد بر فصل مشترک سازه‌های دوبلکسی، مشخص شده است که نیروی برشی در ستونی (ستون کوتاه) که دو سازهٔ دوبلکسی را به هم متصل می‌کند نسبت به برش در ستون مشابه در سازهٔ معمولی بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد [۱].

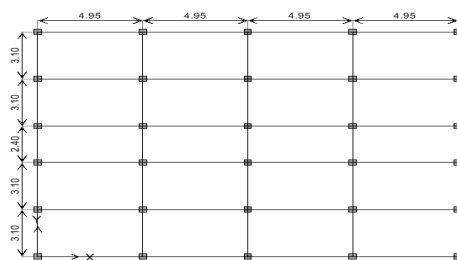
باتوجه به اهمیت این موضوع، محققین بسیاری در این زمینه تحقیق نموده‌اند. عبدالله و همکاران [۲]، با استفاده از روش الاستوپلاستیک جهت آنالیز تنش در لوله فولادی نتایج حاصل از ارزیابی ستون‌های کوتاه TRC به صورت مدل المان محدود غیر خطی و نتایج آزمایشگاهی را مورد مقایسه قرار داده‌اند. یی و همکاران [۳]، عملکرد ستون‌های فولادی کوتاه و باریک پر شده از بتن را تحت

[۱۲]، لیپینگ و همکاران [۱۳] و جلال و قبارا [۱۴] انجام شده است. بخشی و تابش پور [۱۵] تأثیر میانقاب و پدیده ستون کوتاه را با نرم افزار IDARC و با نگاشت زلزله طیس با شتاب بیشینه  $0.35g$  مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار داده‌اند. عباس نیا و برقی [۱۶]، با بررسی انواع انهدام ستون‌ها زیرا اثر بار جانبی دوره ای یا زلزله، پارامترهایی که به لحاظ فیزیکی در نوع انهدام تأثیر دارند شناسائی و تعریف کرده و با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و نتایج بارگزاری بر روی تعدادی نمونه، مدل جدیدی برای پیش بینی نوع انهدام ستون‌ها معرفی کرده‌اند. خیرالدین و میرنظامی [۱]، با آنالیز ۳ ساختمان فلزی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه پارامترهای لرزه‌ای اعم از تغییرات پرپود، تغییر مکان و همچنین تشکیل ستون کوتاه و عوامل تشدید کننده آن را مورد بررسی و روشی برای بارگزاری استاتیکی معادل ساختمان‌های دوبلکسی پیشنهاد داده‌اند.

### معرفی مسأله و روش تحقیق

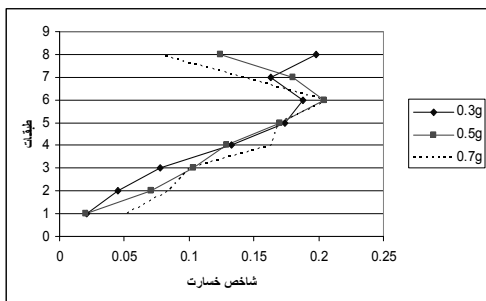
در این تحقیق سه سازه دوبلکسی با شکل پذیری از نوع قاب خمشی بتنی متوسط که دارای اختلاف تراز ارتفاعی ۱/۶ متر می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پلان هر سه سازه به صورت کاملاً یکسان فرض گردیده (شکل ۲) و از لحاظ ارتفاع، متغیر و شامل سازه‌های ۴ طبقه، ۸ طبقه و ۱۰ طبقه می‌گردند. پلان هر سازه به ابعاد  $14/8 \times 19/8$  متر مربع بوده که دارای ۵ دهانه  $4/95$  متری در جهت X و ۴ دهانه  $3/1$  متری و یک دهانه  $2/4$  متری در جهت Y می‌باشد. از آن جایی که سازه دوبلکسی در ارتفاع نامنظم محسوب می‌شود، بارگذاری لرزه‌ای از دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی انجام شده است.

با 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 توانائی بهتر و گسترده‌ای جهت به کارگیری در اعضای سازه‌ای دارند. زوا و لیو [۴]، رفتار ستون‌های کوتاه SRC استوانه‌ای و مربعی را با آزمایش بر روی هشت نمونه تحت بارگذاری محوری و سیکلی مورد ارزیابی قرار داده‌اند و دریافتند که لوله‌های فولادی به طور موثر از شکست برشی بتن در ستون‌های استوانه‌ای نسبت به ستون‌های مربعی جلوگیری می‌کنند. لیانگ و فراگومنی [۵]، یک مدل کلی برای تحلیل و طراحی غیرالاستیک غیرخطی ستون‌های کوتاه فولادی پر شده از بتن تحت بار محوری و یک مدل ساختاری دقیق برای بتن محصور شده ارائه داده‌اند و نیز از روش‌های عددی جهت مدل‌سازی رفتار غیر خطی ستون‌های استوانه‌ای استفاده کرده‌اند. موریتی و تاسیوس [۷ و ۶]، که با آزمایش روی هشت نمونه ستون کوتاه بتن آرمه تحت بار محوری ثابت و تغییر مکان‌های استاتیکی سیکلی و اندازه گیری 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 شبیه سازی رفتار ستون‌های کوتاه بتن آرمه 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 بارگزاری و شکل پذیری توسط محققینی چون هایدرو و زوا [۸]، کولمب و همکاران [۹]، پرومیس و همکاران [۱۰]، جلال و همکاران [۱۱]، قبارا و جلال

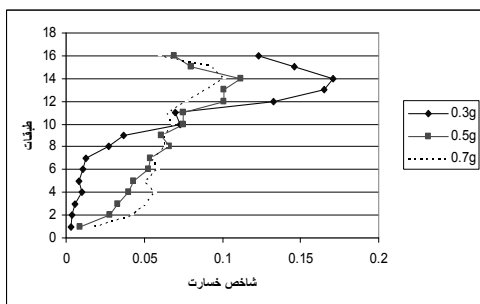


شکل ۲: پلان سازه‌ها

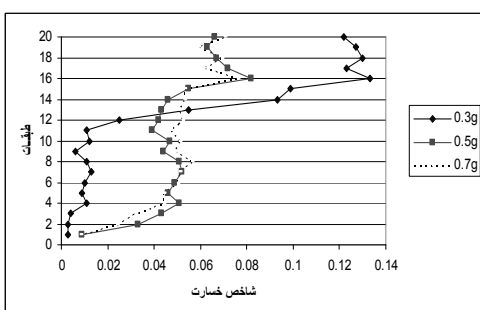
بالایی همه سازه‌ها در ۰/۳g دارای بیشترین شاخص خسارت هستند.



شکل ۳: شاخص خسارت طبقات سازه ۴ طبقه



شکل ۴: شاخص خسارت طبقات سازه ۸ طبقه



شکل ۵: شاخص خسارت طبقات سازه ۱۰ طبقه

### شاخص کل خسارت سازه‌ها

از مقایسه شکل‌های ۶، ۷ و ۸ مشخص می‌گردد که فقط در سازه ۸ طبقه در PGA های بالا (۰/۷g و ۰/۵g)، شاخص کلی خسارت سازه از سازه‌های ۴ و ۱۰ طبقه بمیزان ۱۸ و ۱۲ درصد بیشتر است و در باقی حالات با افزایش تعداد طبقات و PGA، خرابی و خسارت نیز زیاد شده است.

خسارت وارد بر المان‌های سازه ای از طریق یک پروسه پیش رونده و در مسیری که منجر به شکست آن می‌گردد رخ می‌دهد. این روند شامل مرحله خسارت در مقیاس‌های کوچک، ناشی از تجمع تنش‌های جزئی، خسارت در مقیاس متوسط، شامل رشد ترک‌ها و گسترش آنها و خسارت در مقیاس بزرگ که سازه با فروریختگی همراه است. برای بررسی رفتار واقعی سازه هنگام زلزله لازم است که سازه‌ها تحت یک آنالیز غیرخطی قرار گیرند. به این منظور از برنامه غیرخطی IDARC v6.0 [۱۷] که جهت آنالیز غیرخطی سازه‌های بتنی آرمه تهیه شده و قابلیت ایجاد چرخه‌های هیستریزس از روی مشخصات هندسی متقاطع بتن آرمه را داراست و در آن شاخص خسارت - Park-Ang Wen می‌باشد، استفاده شده است. یکی از قابلیت‌های نرم افزار غیرخطی IDARC، مدلسازی و نشان دادن رفتار سازه در یک بازه زمانی در طول مدت اعمال زلزله به سازه می‌باشد. در این تحقیق با اختصاص بازه زمانی ۰ تا ۲۵ ثانیه، رفتار لرزه‌ای قاب خارجی هر یک از سازه های ۴، ۸ و ۱۰ طبقه، مانند موقعیت مکانی و زمانی وقوع اولین ترک و مفصل پلاستیک در المان‌های سازه، طول زمان وقوع اولین‌ها و زمان و مکان وقوع مفصل پلاستیک در ستون‌های کوتاه در PGA های ۰/۳g، ۰/۵g و ۰/۷g دو نگاشت زلزله السنترو و طبس مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. هردو زلزله السنترو و طبس دارای ارتعاش نسبتاً طولانی و بی قاعده‌های می‌باشند که این از خصوصیات زلزله‌هایی است که دارای عمق متوسط و سنگ بستر سخت هستند [۱۸].

### بررسی مراحل خرابی سازه ها تحت زلزله السنترو

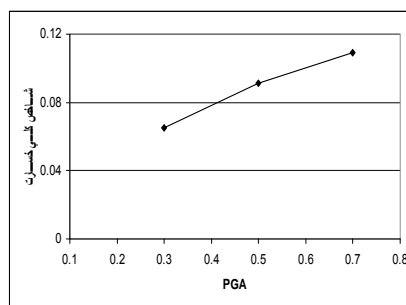
#### بررسی شاخص خسارت طبقات

مقایسه نمودار شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهد که در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه شکل‌های ۸ و ۷، عمده خرابی و خسارت تحت زلزله السنترو متوجه طبقات پایینی و میانی سازه شده است و شاخص کلی خسارت طبقات در این سازه‌ها در ۰/۷g و ۰/۵g دارای مقادیر عددی یکسان و مشابه هم می‌باشند. در سازه‌ها ۴ طبقه شکل ۶، در طبقات بالا و پائین سازه، خسارت بیشتری بوجود آمده است. مطابق نمودارها در طبقات پایین همه سازه‌ها میزان

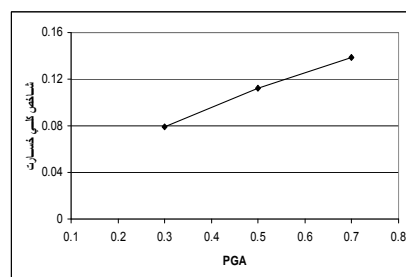
### بررسی مراحل خرابی سازه ۸ طبقه

با توجه به حجم مقاله، فقط مراحل خرابی سازه ۸ طبقه در اینجا ارائه گردیده است. مطابق شکل ۱۱، در ۰/۳g در طبقات ۴ و ۵ تیرها درای ترک‌های بیشتری هستند. ولی در ۰/۳g و ۰/۷g در طبقات ۲ و ۳ تیرها ترک می‌خورند. در ۰/۳g و ۰/۷g ستون‌های کوتاه طبقات ۷ و ۸ بطور همزمان مفصل شده ولی در ۰/۵g همزمان مفصل در ستون‌های کوتاه طبقات ۵ و ۶ و ۷ و ۸ رخ می‌دهد به طوری که تعداد مفاصل در ستون‌های کوتاه در ۰/۷g کمتر در ۰/۳g و ۰/۵g می‌باشد.

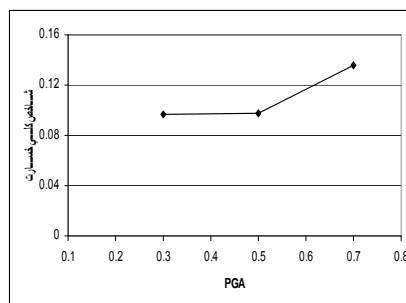
نتایج حاصل از روند آسیب پذیری سازه‌ها از نظر ایجاد اولین ترک و مفصل در اعضای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۰ طبقه تحت زلزله سنترو برحسب زمان و مکان وقوع و بازه زمانی در جدول ۱ ارائه شده است:



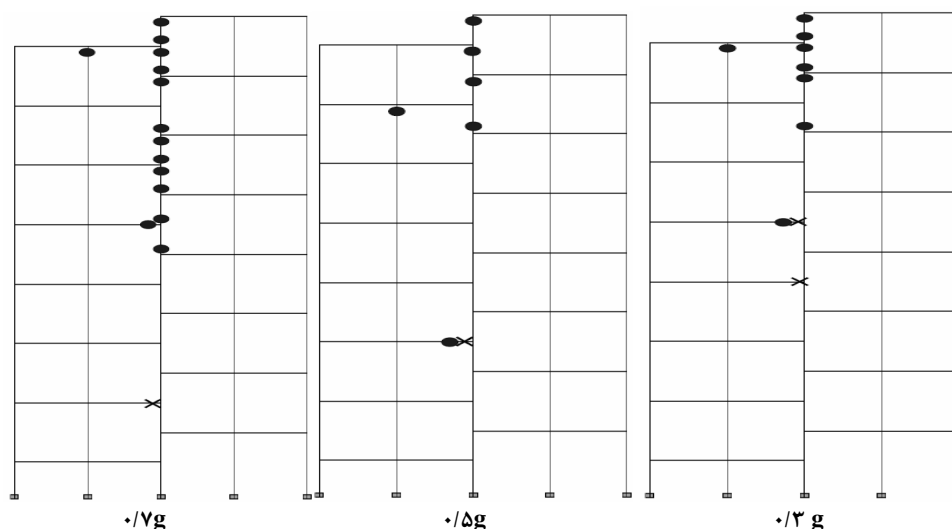
شکل ۶: شاخص کل خسارت سازه ۴ طبقه



شکل ۷: شاخص کل خسارت سازه ۸ طبقه



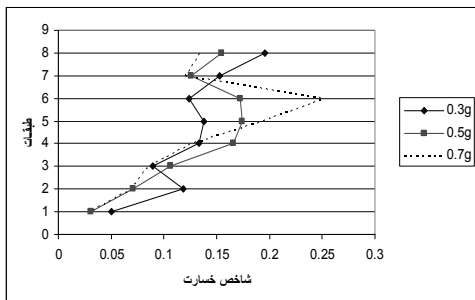
شکل ۸: شاخص کل خسارت سازه ۱۰ طبقه



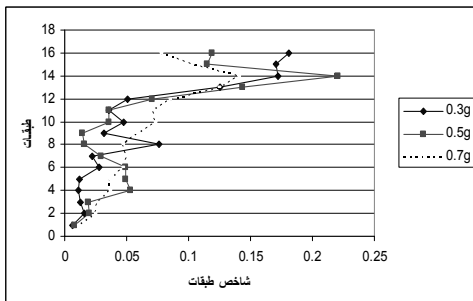
شکل ۹: الگوی ترک و مفصل در قاب سازه ۸ طبقه تحت زلزله سنترو

جدول ۱: مکانیزم آسیب پذیری ( زمان و موقعیت اولین ترک و مفصل پلاستیک ) سازه ها تحت زلزله السنترو

سازه	PGA	مدت زمان خرابی ( ثانیه )	تیر		ستون		ستون کوتاه	
			ترک	مفصل پلاستیک	ترک	مفصل پلاستیک	ترک	مفصل پلاستیک
۶ طبقه	۰/۳g	۳ تا ۱/۱۶	۱/۱۶ ثانیه طبقه ۲	۱/۸ ثانیه طبقه ۲	۱/۹۲ ثانیه طبقه ۴	---	---	۳ ثانیه همزمان طبقه ۳ و ۴
	۰/۵g	۲ تا ۱/۰۶	۱/۰۶ ثانیه طبقه ۲	۱/۱۲ ثانیه طبقه ۲	۱/۶۸ ثانیه طبقه ۳	---	---	۲ ثانیه همزمان طبقه ۳ و ۴
	۰/۷g	۲ تا ۱/۰۱۵	۱/۰۱۵ ثانیه طبقه ۲	۱/۱ ثانیه طبقه ۲	۱/۲۴۵ ثانیه طبقه ۴	---	---	۲ ثانیه همزمان طبقه ۲ و ۳ و ۴
۷ طبقه	۰/۳g	۲ تا ۱/۲	۱/۲ ثانیه همزمان طبقه ۴ و ۵	۱/۷۹ ثانیه طبقه ۴	۱/۹۹ ثانیه طبقه ۸	---	---	۳ ثانیه همزمان طبقه ۷ و ۸
	۰/۵g	۳ تا ۱/۰۸۵	۱/۰۵۸ ثانیه طبقه ۳	۱/۲۲ ثانیه طبقه ۵	۱/۷۳۵ ثانیه طبقه ۸	---	---	۳ ثانیه همزمان طبقه ۵ و ۶ و ۷ و ۸
	۰/۷g	۲ تا ۱/۰۲	۱/۰۲ ثانیه طبقه ۲	۱/۱۴ ثانیه طبقه ۳	۱/۳۳۵ ثانیه طبقه ۷	---	---	۲ ثانیه همزمان طبقه ۷ و ۸
۱۰ طبقه	۰/۲g	۱/۵۵ تا ۰/۰۵	۰/۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۱/۵۵ ثانیه طبقه ۱۰	۱/۵۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۱ ثانیه طبقه ۱۰
	۰/۵g	۱/۲۴۵ تا ۰/۰۰۵	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۹	۱/۲۴۵ ثانیه طبقه ۹	۱/۲۴۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۱ ثانیه طبقه ۱۰
	۰/۷g	۱/۲۰۵ تا ۰/۰۰۵	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۱/۲۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۱ ثانیه طبقه ۱۰



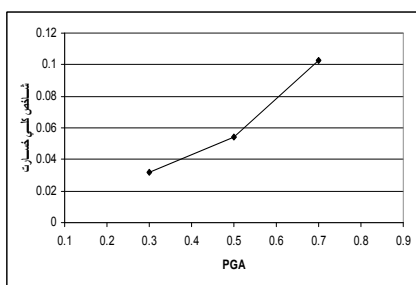
شکل ۱۰: شاخص خسارت طبقات سازه ۴ طبقه



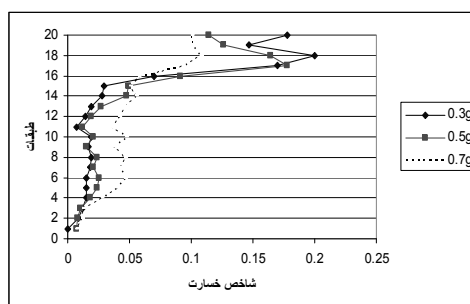
شکل ۱۱: شاخص خسارت طبقات سازه ۸ طبقه

### بررسی مراحل خرابی سازه‌ها تحت زلزله طبیعی شاخص خسارت طبقات

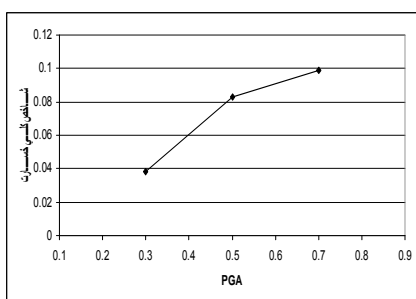
مقایسه شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهد که در سازه‌های بلند (۸ و ۱۰ طبقه) عمده خرابی و خسارت متوجه طبقات بالایی شده است و در این سازه‌ها، شاخص کلی خسارت طبقات در ۰/۳g و ۰/۵g دارای نمودار و مقادیر عددی نزدیک به هم می‌باشند و اختلاف کمی بین آن‌ها وجود دارد. بر اساس نمودارها در طبقات پایین همه سازه‌ها، میزان خسارت در ۰/۷g بیشتر است و طبقات بالای همه سازه‌ها در ۰/۳g دارای بیشترین شاخص خسارت هستند. در سازه ۴ طبقه (شکل ۱۰) اختلاف زیادی بین مقادیر عددی خرابی و بین منحنی‌ها وجود دارد.



شکل ۱۴: شاخص کل خسارت سازه ۸ طبقه



شکل ۱۲: شاخص خسارت طبقات سازه ۱۰ طبقه



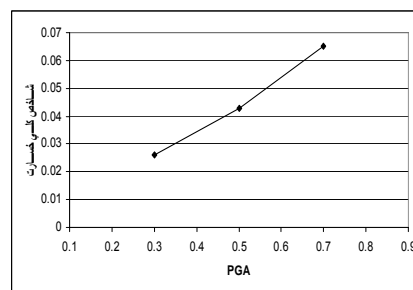
شکل ۱۵: شاخص کل خسارت سازه ۱۰ طبقه

### شاخص کل خسارت سازه ها

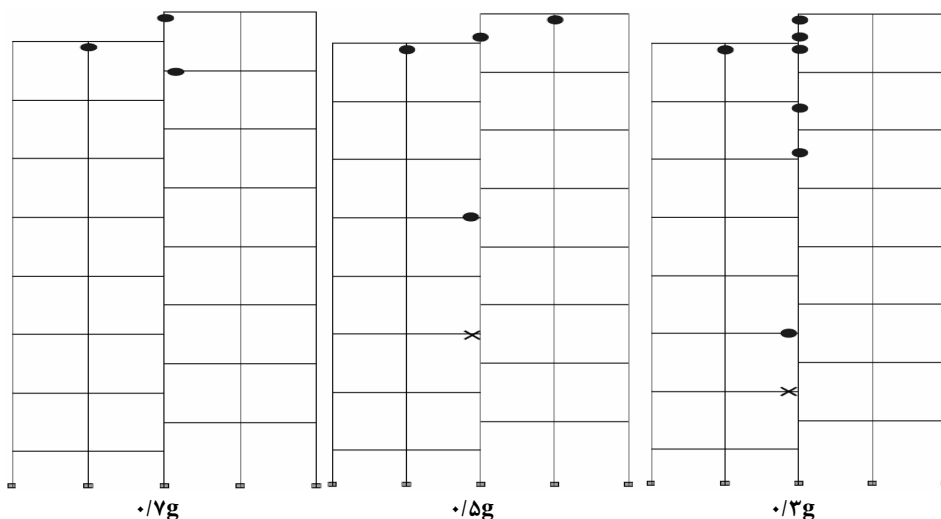
از مقایسه شکل‌های ۱۴، ۱۳ و ۱۵ مشخص می‌گردد که در تمامی سازه‌ها با افزایش تعداد طبقات و PGA، شاخص کل خسارت، افزایش یافته است. فقط در سازه ۸ طبقه در ۰/۷g شاخص کل خسارت از سازه‌های ۴ و ۱۰ طبقه بمیزان ۳۷ و ۴ درصد بیشتر است و در باقی حالات با افزایش طبقات و PGA خسارت زیاد شده است.

### بررسی مراحل خرابی سازه ۸ طبقه

با مشاهده شکل ۱۶ نتیجه می‌شود که الگوی ترک و مفصل در PGA های مختلف در این سازه از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند در ۰/۳g تیرهای سازه دچار ترک نمی‌شود و سازه نسبت به ۰/۵g و ۰/۷g دیرتر دچار خرابی می‌گردد. در ۰/۷g در سازه ۸ طبقه تعداد بیشتری ستون کوتاه مفصل می‌شود و بیشتر خرابی‌ها در بالای سازه و طبقات آخری می‌باشند.



شکل ۱۳: شاخص کل خسارت سازه ۴ طبقه



شکل ۱۶: الگوی ترک و مفصل در قاب سازه ۸ طبقه تحت زلزله طبس

تحت زلزله طبس برحسب زمان و مکان وقوع و بازه زمانی در جدول ۲ ارائه شده است :

نتایج حاصل از روند آسیب پذیری سازه‌ها از نظر ایجاد اولین ترک و مفصل در اعضای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۰ طبقه

جدول ۲: مکانیزم آسیب پذیری ( زمان و موقعیت اولین ترک و مفصل پلاستیک ) سازه‌ها تحت زلزله طبس

سازه	PGA	مدت زمان خرابی ( ثانیه )	تیر		ستون		ستون کوتاه	
			ترک	مفصل پلاستیک	ترک	مفصل پلاستیک	ترک	مفصل پلاستیک
مقیسه ۴	۰/۳g	۴/۷۸ تا ۱۱	۴/۷۸ ثانیه طبقه ۲	۹/۵۸ ثانیه طبقه ۲	۹/۶ ثانیه طبقه ۳	---	---	۱۱ ثانیه همزمان طبقه ۳ و ۴
	۰/۵g	۴/۶۷ تا ۱۰	۴/۶۶۵ ثانیه طبقه ۲	۵/۱۵ ثانیه طبقه ۲	۵/۱۹ ثانیه طبقه ۳	---	---	۱۰ ثانیه طبقه ۳
	۰/۷g	۴/۶۲ تا ۸	۴/۶۲ ثانیه طبقه ۲	۴/۷۱۵ ثانیه طبقه ۲	۶ ثانیه همزمان طبقه ۳ و ۴	---	---	۸ ثانیه طبقه ۳
مقیسه ۷	۰/۳g	۱۰/۷۳ تا ۱۱	---	۱۰/۷۳ ثانیه طبقه ۷	۱۰/۷۶ ثانیه طبقه ۸	---	---	۱۱ ثانیه طبقه ۸
	۰/۵g	۴/۷۳ تا ۱۰/۴۲	۴/۷۳ ثانیه طبقه ۳	---	۱۰/۴۲ ثانیه طبقه ۸	---	---	۱۰/۴۲ ثانیه طبقه ۸
	۰/۷g	۴/۶۸۵ تا ۱۱	۴/۶۸۵ ثانیه طبقه ۲	۴/۸۲ ثانیه طبقه ۳	۶/۲ ثانیه طبقه ۸	---	---	۱۱ ثانیه همزمان طبقه ۷ و ۸
مقیسه ۱۰	۰/۳g	۰/۰۰۵ تا ۵/۲۸	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۵/۲۸ ثانیه طبقه ۱۰	۱ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۱ ثانیه طبقه ۱۰
	۰/۵g	۰/۰۰۵ تا ۴/۹	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۹	۴/۹ ثانیه طبقه ۹	۱ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۱ ثانیه طبقه ۱۰
	۰/۷g	۰/۰۰۵ تا ۰/۹۱۵	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۹۱۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۹۱۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۰۵ ثانیه طبقه ۱۰	۰/۰۱ ثانیه طبقه ۱۰

است ولی در سازه ۱۰ طبقه از ۰/۰۰۵ تا حداکثر ۵/۲ ثانیه می‌باشد. در واقع سازه ۱۰ طبقه در زمان کوتاه‌تر و بازه زمانی کوتاه‌تری خرابی در آن آغاز می‌گردد و زمان آغاز خرابی در سازه‌های ۴ و ۸ طبقه یکسان و برابر است و از آنجایی که زمان پیک زلزله السنترو در قسمت ابتدایی شتاب نگاشت قرار دارد در همان زمان اولیه وقوع زلزله، سازه دچار خرابی شده و به طور متوسط مدت زمان آغاز اولین مکانیزم‌های خرابی در سازه‌های ۴ و ۸ طبقه از ۱ ثانیه تا حداکثر ۳ ثانیه است. ولی در سازه ۱۰ طبقه از ۰/۰۰۵ ثانیه تا حدود ۱/۵ ثانیه می‌باشد، در واقع خرابی در سازه ۱۰ طبقه در زمان کوتاه‌تر و بازه زمانی کوچکتری آغاز می‌گردد و زمان آغاز خرابی در سازه‌های ۴ و ۸ طبقه یکسان و برابر است.

۴- در زلزله السنترو، در سازه‌ها، به ویژه سازه‌های ۴ و ۸ طبقه، ستون‌های کوتاه به تعداد بیشتری نسبت به سایر

### نتیجه گیری

از بررسی و مقایسه شکل‌های ۴ تا ۱۹ و جداول ۱ و ۲، نتایج زیر از آنالیز دینامیکی غیرخطی سازه‌های ۴، ۸ و ۱۰ طبقه تحت زلزله السنترو و طبس ارائه می‌شود:

۱- در زلزله طبس، در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه (سازه‌های بلند) عمده خسارت و خرابی در طبقات بالایی سازه‌ها و در زلزله السنترو، در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه عمده خسارت و خرابی در طبقات پائینی و میانی سازه و در سازه ۴ طبقه ( سازه کوتاه ) در طبقات بالا و پائین، بیشتر می‌باشد.

۲- در زلزله طبس، در ۰/۷g، شاخص کل خسارت سازه ۸ طبقه نسبت به سازه‌های ۴ و ۱۰ طبقه بیشتر است ولی در زلزله السنترو، علاوه بر ۰/۷g، در ۰/۵g نیز این امر صادق است و در هر دو زلزله، طبقات بالایی همه سازه‌ها در ۰/۳g دارای بیشترین خسارت می‌باشند.

ستون و ستون کوتاه طبقه آخر ترک خورده و سپس ستون کوتاه، ستون و تیر طبقه آخر بترتیب مفصل می‌گردند. در هر دو زلزله، ترک و مفصل تیرها، در تیرهای متصل به ستون فصل مشترک دو قسمت سازه که دارای اختلاف ارتفاع می‌باشند، رخ می‌دهد. در هر دو زلزله، در سازه‌های ۴ و ۸ طبقه بیشترین خرابی تیرها و ستون‌ها در قسمت کوتاه‌تر قاب که دارای ارتفاع کمتر می‌باشد و در سازه ۱۰ طبقه در قسمت بلندتر قاب رخ می‌دهند.

ستون‌ها دچار مکانیزم خرابی می‌شوند که این پدیده در طبقات بالایی بارزتر است ولی در زلزله طیس در همه سازه‌ها، ستون‌های کوتاه بطور یکسان و برابر با سایر ستون‌ها دچار خرابی می‌شوند.

۵- در هر دو زلزله، در سازه‌های ۴ و ۸ طبقه روند خرابی با ترک تیر آغاز و به ترتیب با مفصل شدن تیر، مفصل شدن ستون و مفصل شدن ستون کوتاه به پایان می‌رسد ولی در سازه ۱۰ طبقه ابتدا به طور همزمان تیر،

## مراجع

- 1 - 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.
- 2 - 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.
- 3 - 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.
- 4 - 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.
- 5 - 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.
- 6 - Moretti, M., and Tassios TP.(2007). "Behaviour of short columns subjected to cyclic shear displacements: Experimental results." *Engineering Structures:*29:2018-2029.
- 7 - Moretti, M., and Tassios TP.(2006). "Behaviour and ductility of reinforced concrete short columns using global truss model." *ACI Structural Journal.*:103 :319-327.
- 8 - Haedir, J., and Zhao, XL.(2011). "Design of short CFRP-reinforced steel tubular columns." *Journal of Constructional Steel Research.* 67:497-509.
- 9 - 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.
- 10 - Promis, G., Ferrier, E., and Hamelin, P.(2008) "Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening." *Composite Structures* : In Press.
- 11 - Galal, K., Arafa, A., and Ghobarah, A.(2005) "Retrofit of RC square short columns." *Engineering Structures.*:27:801-813.
- 12 - Ghobarah, A., and Galal, K.(2004) "Seismic rehabilitation of short rectangular RC columns." *Journal of Earthquake Engineering.*:8:45-68.
- 13 - 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.
- 14 - Galal, K., Ghobarah, A.(2003). "Flexural and shear hysteretic behaviour of reinforced concrete columns with variable axial load." *Engineering Structures.*:25:1353-1367.
- 15 - 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.
- 16 - 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.
- 17 - Valles, RE., Reinhorn, AM., Kunnath, SK., Li, G., and Madan, A. (1996). *IDARC 2D: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings*, state University of New York at Buffalo.
- 18 - Moghaddam, H. (1384) "Earthquake Engineering." PP. 935.