

به نام خداوند بخشنده بخشایشگر



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی سازه و زلزله

عنوان پایان نامه ارشد

شناسایی رفتار لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده با در نظر گرفتن

اثرات اندرکنش خاک و سازه

دانشجو: امیرمحمد تقوی

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم زمانی بیدختی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریورماه ۱۳۹۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی سازه

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امیرمحمد تقوی به شماره دانشجویی ۹۵۰۳۵۴۴

تحت عنوان شناسایی رفتار لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده با در نظر گرفتن

اثرات اندرکنش خاک و سازه

در تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۲ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد راهنما
	دکتر ابراهیم زمانی بیدختی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر مهدی گلی		دکتر جلیل شفائی
			دکتر محسن کرامتی



تقدیم بہ پدر و مادرم  
کہ از نگاہشان صلابت  
از رفتارشان محبت  
و از صبرشان ایستادگی را آموختم

و

تقدیم بہ برادر و خواہرم  
کہ وجودشان مایہ دلگرمی، شادی، بخشی و آرامش من است.

# سپاس‌گزاری

« این از فضل پروردگار من است، تا مرا آزمایش کند که آیا شکر او را به جامی آورم یا کفران می‌کنم؟! و هر کس شکر نعمت کند، به نفع خود شکر می‌کند و هر کس کفران نماید (به زیان خویش نموده است، که) پروردگار من، غنی و کریم است. » (۴۰- نعل)

در آغاز کلام، سپاس‌یکران پروردگار عالمیان را که شوق آموختن در کسره‌لایتناهی، هستی را عطا می‌نمود. سلام‌های بی‌پایان تقدیم روح ملکوتی آخرین پیک امین، محمد بن عبدالله باد که ترانه‌های یکتا پرستی و انسان دوستی را در جوامع انسانی طنین انداز ساخت و چشم‌نیمخواب بشری را به مدد نسیمی لطیف تر از نسیم سحر می‌کشود و بند عشق را در گلشن دل‌های سالکان راه حق و حقیقت افشاند.

زبان قاصداست از سپاس سخاوت بی‌تهمای مادر و پدر عزیزم که هر چند نثار آنها به وجود حقیرم تا همیشه ممر است و مهر، پیشکش حقیر به پای ایشان همه شرم است و شرم.

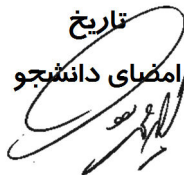
بر این جانب فرض است پیشانی تواضع بر ساحت شریف اساتید و الامامی بسایم که همواره با بزرگواری و ممانعت خویش به من آموختن که همین‌جابه طور عام از همه آنها به طور خاص از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر ابراهیم زمانی که با صبر، اعتماد و راهنمایی‌شان، مشوق و یاور بنده کمترین در طی طریق این تحقیق و پژوهش بودند و بارفکار و گفتار خود به من انگیزه و شوقی دوچندان دادند، شکر و سپاس‌گزاری نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب **امیر محمد تقوی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه شناسایی رفتار لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه تحت راهنمایی دکتر ابراهیم زمانی بیدختی متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافت‌های آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ  
امضای دانشجو



## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیرشده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده

در این پژوهش پاسخ‌های دینامیکی سازه‌های بتن آرمه جداسازی شده و پایه ثابت با بدون در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و دور مورد بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف سه نمونه ساختمان بتنی چهار، هشت و دوازده طبقه با و بدون جداساز لاستیکی با هسته سربی بر روی خاک نرم، متوسط، سخت و صلب در نرم‌افزار اپنسیس مدل گردیده است و در کل شش رکورد حوزه نزدیک و شش رکورد حوزه دور که دارای مؤلفه‌های یکسان اما ایستگاه‌های متفاوت بودند انتخاب و هر یک از آن‌ها در پنجاه گام مقیاس و در هر مرحله بر هریک از سازه‌ها مدل‌سازی شده اعمال گردیدند. تحلیل مورد استفاده تحلیل دینامیکی افزایشی است تا به وسیله و اعمال گستره عظیمی از زلزله‌های مقیاس شده به سازه‌ها، دریافت پاسخ‌های مربوطه، دسته‌بندی و ارائه آن‌ها رفتار این‌گونه سازه‌ها به طور عمیق و دقیق درک گردد. پاسخ‌های مورد بررسی دریافت طبقات، برش پایه، جابجایی و شتاب بام بودند. نتایج نشان دادند که جداسازها با جذب انرژی زلزله‌ها در سازه‌های جداسازی شده پاسخ‌های سازه را کاهش داده و به اقتصادی بودن طرح کمک خواهند نمود. در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه در سازه‌های جداسازی شده با توجه به نتایج بدست آمده، ضروری به نظر می‌رسد. در بیشینه شتاب‌های زمین با مقادیر واقعی رکوردهای حوزه نزدیک پاسخ بیشتری نسبت به رکوردهای حوزه دور ایجاد می‌نمایند اما در بیشینه شتاب‌های زمین با مقادیر یکسان این رکوردهای حوزه دور خواهند بود که پاسخ بیشتری تولید خواهند نمود.

## کلمات کلیدی:

جداساز لاستیکی با هسته سربی، اندرکنش خاک و سازه، تحلیل دینامیکی افزایشی، نمودارهای

IDA، رکوردهای حوزه نزدیک و دور

## فهرست مطالب

۱ فصل اول .....	۱
۱-۱ مقدمه .....	۲
۲-۱ اهمیت موضوع و ضرورت انجام پژوهش .....	۴
۳-۱ اهداف پژوهش .....	۵
۴-۱ ساختار پایان نامه .....	۶
۲ فصل دوم .....	۹
۱-۲ مقدمه .....	۱۰
۲-۲ جداسازهای لرزه‌ای و انواع آن .....	۱۰
۱-۲-۲ مفهوم جداساز لرزه‌ای .....	۱۱
۲-۲-۲ جداساز لرزه‌ای در بهسازی نوین .....	۱۲
۳-۲-۲ مشخصات فنی سیستم های جداساز .....	۱۴
۱-۳-۲-۲ اجزای اصلی سیستم های جداساز .....	۱۴
۲-۳-۲-۲ قابلیت های سیستم جداساز .....	۱۴
۴-۲-۲ مکانیزم سیستم جداساز .....	۱۵
۵-۲-۲ انواع سیستم های جداساز لرزه‌ای پایه .....	۱۶
۱-۵-۲-۲ سیستم الاستومر (لاستیکی) .....	۱۷
۱-۱-۵-۲-۲ نشیمن لاستیکی با ورقه های فولادی و میرایی کم (LDRB) .....	۱۹
۲-۱-۵-۲-۲ نشیمن های لاستیکی با هسته سربی (LRB) .....	۲۰
۳-۱-۵-۲-۲ نشیمن های لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB) .....	۲۱
۴-۱-۵-۲-۲ نشیمن های لاستیکی مسلح با الیاف (F-REI) .....	۲۲
۵-۱-۵-۲-۲ نشیمن های لاستیکی مسلح به حلقه های فلزی (SR-REI) .....	۲۳



- ۲۴..... ۲-۵-۲-۲ سیستم های جداساز لغزنده (اصطکاکی)
- ۲۵..... ۱-۲-۵-۲-۲ سیستم آونگ اصطکاکی (FPS)
- ۲۶..... ۲-۲-۵-۲-۲ سیستم اصطکاکی پس جهنده (R-FBI)
- ۲۷..... ۳-۲-۵-۲-۲ سیستم ترکیبی TASS
- ۲۸..... ۴-۲-۵-۲-۲ سیستم ترکیبی EERC
- ۲۹..... ۳-۵-۲-۲ سیستم های فنری
- ۲۹..... ۴-۵-۲-۲ سیستم جداسازی با استفاده از شمع های غلاف دار
- ۲۹..... ۵-۵-۲-۲ سیستم های گهواره ای
- ۳۱..... ۳-۲ اندرکنش خاک و سازه
- ۳۱..... ۱-۳-۲ روش محیط پیوسته (مستقیم)
- ۳۱..... ۱-۱-۳-۲ روش اجزای مرزی
- ۳۳..... ۲-۱-۳-۲ روش تیر برشی
- ۳۴..... ۳-۱-۳-۲ روش اجزای محدود
- ۳۴..... ۲-۳-۲ مدل های ساده شده
- ۳۵..... ۳-۳-۲ روش زیر سازه
- ۳۶..... ۴-۳-۲ نرم افزارهای موجود
- ۳۶..... ۱-۴-۳-۲ نرم افزار اپنسیس
- ۳۸..... ۲-۴-۳-۲ نرم افزار سپ ۲۰۰۰
- ۳۸..... ۳-۴-۳-۲ نرم افزار فلاش
- ۳۹..... ۴-۲ مروری بر سوابق و تحقیقات انجام شده
- ۳۹..... ۱-۴-۲ تاریخچه اندرکنش خاک و سازه و سازه های جداسازی شده
- ۴۰..... ۱-۱-۴-۲ از سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۶۹
- ۴۲..... ۲-۱-۴-۲ از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰

۴۴	..... ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ سال ۳-۱-۴-۲
۴۹	..... فصل سوم ۳
۵۰	..... ۱-۳ مقدمه
۵۰	..... ۲-۳ زبان Tcl
۵۱	..... ۳-۳ معرفی برنامه OpenSees Navigator
۵۲	..... ۴-۳ مشخصات مدل سازی
۵۲	..... ۱-۴-۳ شناخت مسیر
۵۴	..... ۲-۴-۳ مدل عددی سازه
۶۱	..... ۳-۴-۳ جداساز لاستیکی با هسته سربی (LRB)
۶۲	..... ۴-۴-۳ اندرکنش خاک و سازه
۶۳	..... ۱-۴-۴-۳ BNWF مدل توصیف
۶۷	..... ۵-۳ تحلیل دینامیکی افزایشی
۶۸	..... ۱-۵-۳ رکورد های زلزله
۶۹	..... ۲-۵-۳ تحلیل دینامیکی افزایشی
۶۹	..... ۱-۲-۵-۳ پارامتر مقیاس
۷۰	..... ۳-۵-۳ شاخص شدت مقیاس حرکت زمین
۷۱	..... ۱-۳-۵-۳ شاخص خسارت
۷۲	..... ۲-۳-۵-۳ منحنی IDA یگانه
۷۳	..... ۳-۳-۵-۳ منحنی IDA چندگانه
۷۵	..... فصل چهارم ۴
۷۶	..... ۱-۴ مقدمه

۲-۴ نتایج ..... ۷۶

۱-۲-۴ ماکزیمم دریافت طبقات ..... ۷۷

۲-۲-۴ ماکزیمم برش پایه ..... ۹۱

۳-۲-۴ ماکزیمم جابجایی و شتاب بام ..... ۹۵

۵ فصل پنجم ..... ۱۰۵

۱-۵ مقدمه ..... ۱۰۶

۲-۵ جمع بندی نتایج ..... ۱۰۶

۳-۵ ارائه پیشنهادات ..... ۱۰۹

فهرست شکل ها ..... س

فهرست جدول ها ..... ط

## فهرست شکل‌ها

- شکل ( ۱-۱ ) معرفی ساختار پایان‌نامه ..... ۷
- شکل ( ۱-۲ ) مقایسه تغییر مکان در دو حالت جداسازی شده و پایه ثابت ..... ۱۲
- شکل ( ۲-۲ ) دلایل انتخاب سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در بهسازی ساختمان‌های موجود ..... ۱۳
- شکل ( ۳-۲ ) اثر افزایش انعطاف‌پذیری بر سازه الف) با افزایش زمان تناوب و میرایی شتاب پاسخ لرزه‌ای کم می‌شود ب) افزایش زمان تناوب تغییر مکان کلی سازه جداسازی شده را افزایش می‌دهد، اما افزایش میرایی تا حد زیادی این موضوع را جبران می‌کند ..... ۱۶
- شکل ( ۴-۲ ) تغییر شکل قائم جداساز لاستیکی خالص ..... ۱۷
- شکل ( ۵-۲ ) نشیمن لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز ..... ۱۹
- شکل ( ۶-۲ ) نشیمن لاستیکی با هسته سربی؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز ..... ۲۰
- شکل ( ۷-۲ ) نشیمن لاستیکی طبیعی با میرایی زیاد؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز ..... ۲۲
- شکل ( ۸-۲ ) نشیمن لاستیکی مسلح با الیاف؛ منحنی نیرو - تغییر مکان جداساز ..... ۲۳
- شکل ( ۹-۲ ) نشیمن لاستیکی مسلح به حلقه‌های فلزی؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز ..... ۲۴
- شکل ( ۱۰-۲ ) سیستم آونگ اصطکاکی ..... ۲۶
- شکل ( ۱۱-۲ ) سیستم اصطکاکی پس جهنده ..... ۲۷
- شکل ( ۱۲-۲ ) سیستم ترکیبی TASS ..... ۲۸
- شکل ( ۱۳-۲ ) انواع سیستم جداساز لرزه‌ای ..... ۳۰
- شکل ( ۱۴-۲ ) تقسیم‌بندی فضای بی‌نهایت در روش اجزای مرزی ..... ۳۲
- شکل ( ۱۵-۲ ) الف) تقسیم‌بندی ناحیه با چندین لایه غیرهمگن ب) تقسیم‌بندی نیم فضا در روش

- اجزای مرزی ..... ۳۲
- شکل ( ۱۶-۲ ) تقسیم‌بندی ناحیه در روش تیر برشی ..... ۳۳
- شکل ( ۱۷-۲ ) روش زیرسازه: (الف) خاک مدفون‌شده (ب) سازه (ج) نهشته‌های خاک (د) کل سیستم ..... ۳۵
- شکل ( ۱۸-۲ ) مدل تقارن محوری در نرم‌افزار فلاش ..... ۳۹
- شکل ( ۱۹-۲ ) استفاده از مرزهای ویسکوز و انتقالی در نرم‌افزار فلاش ..... ۳۹
- شکل ( ۲۰-۲ ) تاریخچه برخی از کارهای انجام‌شده از سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۶۹ ..... ۴۲
- شکل ( ۲۱-۲ ) تاریخچه برخی از کارهای انجام‌شده از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ ..... ۴۴
- شکل ( ۲۲-۲ ) تاریخچه برخی از کارهای انجام‌شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ ..... ۴۶
- شکل ( ۱-۳ ) نمونه از رابط کاربری برنامه opensees navigator از Openseeswiki ..... ۵۲
- شکل ( ۲-۳ ) مسیر انجام تحقیق ..... ۵۳
- شکل ( ۳-۳ ) قاب‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار OpenSees ..... ۵۴
- شکل ( ۴-۳ ) نمودار تنش - کرنش ماده Concrete01 ..... ۵۵
- شکل ( ۵-۳ ) مدل رفتار چرخه‌ای تنش - کرنش بتن ۰۱ ..... ۵۶
- شکل ( ۶-۳ ) نمودار تنش - کرنش ماده Steel01 ..... ۵۶
- شکل ( ۷-۳ ) مدل چرخه فولاد ۰۱ بدون سخت‌شوندگی ایزوتروپیک ..... ۵۷
- شکل ( ۸-۳ ) مدل چرخه‌ای فولاد ۰۱ با سخت‌شوندگی ایزوتروپیک در فشار ..... ۵۸
- شکل ( ۹-۳ ) مدل چرخه‌ای فولاد ۰۱ با سخت‌شوندگی ایزوتروپیک در کشش ..... ۵۸
- شکل ( ۱۰-۳ ) نمونه‌ای از مقطع فایبر بتنی دایروی ..... ۵۹
- شکل ( ۱۱-۳ ) نمونه‌ای از دستور پیچ چهارضلعی ..... ۶۰
- شکل ( ۱۲-۳ ) نمونه‌ای از دستور لایر مستقیم ..... ۶۰
- شکل ( ۱۳-۳ ) مقطع عرضی جداساز لاستیکی با هسته سربی، (ب) نمودار نیرو-تغییر مکان ایدئال

- برای جداساز..... ۶۱
- شکل ( ۱۴-۳ ) نمودار چرخه‌ای ماده TxSimple1..... ۶۴
- شکل ( ۱۵-۳ ) نمودار چرخه‌ای PxSimple1..... ۶۵
- شکل ( ۱۶-۳ ) نمودار چرخه‌ای ماده QzSimple2..... ۶۵
- شکل ( ۱۷-۳ ) مدل‌های مواد TxSimple1 و PxSimple1 ، QzSimple2..... ۶۶
- شکل ( ۱۸-۳ ) منحنی تحلیل دینامیکی افزایشی یگانه تحت اثر رکوردهای حوزه الف) نزدیک ب) دور  
..... ۷۳
- شکل ( ۱۹-۳ ) نمودار تحلیل دینامیکی چندگانه به همراه میانگین پاسخ‌های تحت اثر رکوردهای  
دوازده‌گانه حوزه نزدیک و دور ..... ۷۴
- شکل ( ۱-۴ ) نمودار بیشینه دریافت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین  
پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه ..... ۸۰
- شکل ( ۲-۴ ) نمودار بیشینه دریافت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین  
پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه ..... ۸۱
- شکل ( ۳-۴ ) نمودار بیشینه دریافت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین  
پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه ..... ۸۲
- شکل ( ۴-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم دریافت طبقات تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه  
میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه ..... ۸۷
- شکل ( ۵-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم دریافت طبقات تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه  
میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه ..... ۸۹
- شکل ( ۶-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم دریافت طبقات تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه  
میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه ..... ۹۰
- شکل ( ۷-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین

- پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه ..... ۹۲
- شکل ( ۸-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین
- پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه ..... ۹۳
- شکل ( ۹-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین
- پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه ..... ۹۴
- شکل ( ۱۰-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم جابجایی بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه
- میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه ..... ۹۸
- شکل ( ۱۱-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم جابجایی بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه
- میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه ..... ۹۹
- شکل ( ۱۲-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم جابجایی بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه
- میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه ..... ۱۰۰
- شکل ( ۱۳-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم شتاب بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین
- پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه ..... ۱۰۱
- شکل ( ۱۴-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم شتاب بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین
- پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه ..... ۱۰۲
- شکل ( ۱۵-۴ ) نمودارهای IDA ماکزیمم شتاب بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین
- پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه ..... ۱۰۳
- شکل ( ۱-۵ ) چارت ارائه پیشنهادها برای ادامه کار توسط سایر محققان ..... ۱۱۰

## فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۳) مقاطع بتنی مورد استفاده در سازه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه ..... ۵۴
- جدول (۲-۳) خصوصیات مکانیکی سیستم جداساز LRB ..... ۶۱
- جدول (۳-۳) پارامترهای سه نوع خاک نرم، متوسط و سخت ..... ۶۲
- جدول (۴-۳) مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک ..... ۶۸
- جدول (۵-۳) مشخصات رکوردهای حوزه دور ..... ۶۸
- جدول (۱-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دررفت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت تحت اثر رکورد های حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین - ساختمان چهار طبقه ..... ۷۷
- جدول (۲-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دررفت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت تحت اثر رکورد های حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین - ساختمان هشت طبقه ..... ۷۸
- جدول (۳-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دررفت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت تحت اثر رکورد های حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین - ساختمان دوازده طبقه ..... ۷۸
- جدول (۴-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دررفت طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان چهار طبقه ..... ۸۳
- جدول (۵-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دررفت طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان هشت طبقه ..... ۸۴
- جدول (۶-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دررفت طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان دوازده طبقه ..... ۸۴



جدول ( ۷-۴ ) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با

و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان چهار طبقه ..... ۹۵

جدول ( ۸-۴ ) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با

و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان هشت طبقه ..... ۹۶

جدول ( ۹-۴ ) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با

و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان دوازده طبقه ..... ۹۶





فصل ١

كليات

برای کاهش اثرات زمین‌لرزه‌ها بر روی ساختمان‌ها دو راه در پیش روی مهندسان و طراحان قرار گرفته است. اول اینکه ساختمان‌ها را بر اساس روش‌های معمول لرزه‌ای طراحی کرده و تلاش خود را بر این استوار نمایند تا ساختمان‌ها را به‌گونه‌ای طراحی کنند تا تحت اثر زلزله‌های بزرگ فرو نریزند و یا اینکه با انجام تمهیداتی نیروهای لرزه‌ای وارد به ساختمان را کاهش دهند. طی سالیان اخیر و با پیشرفت علم، برای دستیابی به این مهم دو فناوری اساسی برای محافظت از ساختمان‌ها در اختیار آن‌ها قرار گرفته است: سیستم‌های جداساز پایه<sup>۱</sup> و میراگرهای لرزه‌ای<sup>۲</sup>.

جداساز پایه ایده‌ای که باهدف جلوگیری از انتقال حرکات زمین‌لرزه‌ها به ساختمان‌ها به‌طور کامل یا کاهش حداکثری آن، در ذهن محققان شکل گرفت. اگرچه نقطه آغاز شکل‌گیری این ایده دقیقاً مشخص نیست اما مطمئناً به سال ۱۸۸۵ میلادی و یا حتی سال‌هایی قبل از آن برمی‌گردد [۱]. قرارگیری خانه کعبه بر روی سه سنگ صلب (یک سنگ در تماس با خاک، یک سنگ در تماس با سازه و یک سنگ میانی)، مقبره کورش (سنگ‌هایی صلب بر روی یکدیگر) و حتی خانه‌هایی در لاهیجان (پی ساخته‌شده از الوارهای چوبی قرارگرفته بر روی یکدیگر) نمونه‌هایی است که می‌توان به صورت ابتدایی این ایده را در آن‌ها به‌وضوح دید. به‌رحال با گذشت زمان، پیشرفت بشر و افزایش مطالعات و آزمایش‌های علمی کم‌کم این ایده از حالت ابتدایی خود خارج و در سال‌های دور جداسازهایی همانند جداساز لاستیکی، لاستیکی با هسته سربی، اصطکاکی، اصطکاکی پاندولی و بسیاری جداساز نوین دیگر با ویژگی‌ها پیچیده‌تر و بهبودیافته‌تر ساخته شدند و در بسیاری از ساختمان‌های جداسازی شده مورد استفاده قرار گرفتند [۲]. در سازه‌های جداسازی شده، سازه بر روی تکیه‌گاه‌هایی که قابلیت تغییر شکل جانبی زیادی دارند، قرار می‌گیرد. در صورت وقوع زلزله،

---

<sup>1</sup> Base Isolation

<sup>2</sup> Seismic Dampers

تغییر شکل‌هایی رخ داده و سازه مانند جسمی صلب با تغییر شکل‌های کوچکی ارتعاش می‌کند [۳].

در ابتدا جداسازها به طور مؤثر تنها در تعدادی از پروژه‌های حیاتی برای محافظت از زیرساخت‌های مهم عمرانی مورد استفاده قرار می‌گرفتند اما پیشرفت دانش در زمینه‌ی ساخت جداسازها، تکامل یافتن آن‌ها و ظهور انواع گونه‌های آن، باعث گردید دیگر این تکنولوژی فقط در سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی عمرانی مورد استفاده قرار نگیرد و در بسیاری از کشور لرزه‌خیز دنیا از جمله نیوزلند علاوه بر استفاده در بسیاری بیمارستان‌ها وارد حوزه ساختمان‌های مسکونی نیز گردد.

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌هایی که در آن‌ها از جداسازهای لرزه‌ای استفاده می‌شود اغلب با فرض یک پی صلب<sup>۱</sup> انجام می‌گیرد، در نتیجه اثر اندرکنش خاک-سازه<sup>۲</sup> نادیده گرفته می‌شود. این نادیده گرفتن توسط برخی محققان معقول به نظر می‌رسد که نشان می‌دهند که اگرچه اندرکنش خاک-سازه تأثیر کمی روی پاسخ سازه دارد با این حال این تأثیر در سازه‌های جداسازی شده بسیار کوچک‌تر از سازه‌های غیر ایزوله است [۴, ۵]. اما همه محققان بر این باور نیستند و مطالعات دیگری وجود دارد که استدلال می‌کند که طراحی لرزه‌ای بر مبنای پی صلب همیشه مطمئن نیست [۶, ۷].

تحقیقات و آزمایش‌های گوناگون و به دست آمدن نتایج متفاوت محققان باعث گردیده تا صاحب‌نظران برای پی بردن و توضیح رمز و راز این پدیده و برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر و درکی بهتر از رفتار سازه‌های جداسازی شده، ترکیب اثرات اندرکنش خاک و سازه را پیشنهاد دهند. با این وجود تحلیل‌ها و مطالعات گوناگون نشان می‌دهد که موضوع اندرکنش در سازه‌های جداسازی شده هنوز در مراحل ابتدایی خود است و به تحقیق و توسعه بیشتری نیازمند است.

همچنین به نظر می‌رسد استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی و استفاده از نمودارهای مربوطه محققان را در دستیابی و نیل به این مهم کمک شایانی نماید و دیدی جامع ارائه نماید.

---

<sup>1</sup> Rigid Base

<sup>2</sup> Soil Structure Interactions (SSI)

## ۲-۱ اهمیت موضوع و ضرورت انجام پژوهش

جداساز پایه یک فناوری نوظهور برای محافظت لرزه‌ای سازه‌ها است که ایمنی اجزای سازنده و محتویات آن را به وسیله نصب یک رابط بین سازه و پی ضمانت می‌کند به این‌گونه که به وسیله انعطاف‌پذیری بالای سیستم جداساز لرزه‌ای، سازه از حرکات به طور بالقوه آسیب‌پذیر زمین جدا در نتیجه میرایی مناسبی را فراهم می‌گردد [۸]. فناوری سیستم جداسازهای لرزه‌ای در بسیاری از کشورهای استفاده و سیستم‌های جداسازی فراوانی تا به امروز توسعه یافته است [۹].

جداسازهای لرزه‌ای در عمل تحت زلزله‌های بزرگ به‌خوبی از پس وظایف خود برآمدند و همان‌گونه که از آن‌ها انتظار می‌رفت عمل کردند که نتیجه این موضوع ایجاد علاقه شدید بین محققان برای تحقیق و توسعه بیشتر در این زمینه بوده است [۲]. به دلیل مزیت‌های بسیار استفاده از جداساز لرزه‌ای به منظور ارتقا مشخصات لرزه‌ای و کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ها در چند سال اخیر به طور چشمگیری استفاده از آن در کشورهای لرزه‌خیز دنیا افزایش یافته است و عوامل گوناگونی دست به دست هم داده و باعث گردیده تا استفاده از جداسازها به عنوان یک گزینه اقتصادی کاربردی در طراحی سازه‌ها و یا حتی بهسازی سازه‌های موجود، در ذهن مهندسان طراح و مشاور قرار گیرد.

به عنوان یک مثال عملی می‌توان برج ۱۴ طبقه "خانه مشتری ۲۰" در پایتخت لرزه‌خیز نیوزلند در شهر ولینگتون که یکی از برجسته‌ترین ساختمان‌های این شهر است را نام برد. این سازه از نظر فناوری از پیشرفته‌ترین سیستم سازه‌ای برای یک سیستم بلندمرتبه در این کشور است و قرار است تا پایان سال ۲۰۱۷ به بهره‌برداری برسد. این پروژه داری جداساز الاستومری با هسته سربی است که توسط شرکت رابینسون<sup>۱</sup> نیوزلند طراحی و آزمایش گردید.

در پی استفاده از جداسازها در ساختمان‌های مختلف در کشورهای لرزه‌خیز دنیا، در ایران نیز استفاده از این تکنولوژی روز به روز در حال افزایش است. به‌عنوان مثال استفاده از جداسازهای

---

<sup>1</sup> Robinson Seismic Company

لاستیکی با هسته سربی در بیمارستان امام حسین (ع) واقع در شهر مشهد، بیمارستان صدوقی واقع در اصفهان و علی‌الخصوص بیمارستان امام حسین (ع) واقع در شهر کرمانشاه که زلزله بزرگ ازگله در سال ۱۳۹۶ را بدون هیچ‌گونه آسیبی پشت سر گذاشت خود گواه این موضوع است. از این رو به دلیل اهمیت موضوع و استفاده از جداسازها حتی در ساختمان‌های مسکونی در کشور، در این مطالعه پاسخ‌های دینامیکی ساختمان‌های بتن‌آرمه جداسازی شده و پایه ثابت تحت اثر زلزله حوزه نزدیک و دور با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه و با استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی مورد بررسی و مقایسه قرار خواهد گرفت تا رفتار این گونه سازه هرچه بهتر و عمیق‌تر درک گردد.

### ۱-۳ اهداف پژوهش

اگرچه جداسازها در سازه‌های زیادی استفاده شده و این استفاده در حال افزایش است با این وجود اثرات اندرکنش خاک-سازه بر روی سازه‌های جداسازی شده و به دنبال آن تفاوت‌های رفتاری این گونه سازه‌ها نسبت به سازه‌های پایه ثابت<sup>۱</sup> مشابه و در انواع خاک‌های مختلف برای محققان هنوز هم دارای نقاط مبهم زیادی است. همچنین اثرات توأم زلزله‌های حوزه نزدیک و دور با در نظر گرفتن این اندرکنش مورد بررسی قرار نگرفته است و یا کمتر به آن پرداخته شده است. همچنین نیاز به بررسی و درک عمیق رفتار این گونه سازه‌ها تحت اثر رکوردهای زلزله مقیاس شده با شدت‌های مختلف به دلیل نتایج گوناگون و متفاوت محققان می‌باشد و بررسی رفتار این گونه سازه تنها در یک شتاب بیشینه زمین برای رکوردهای مختلف زلزله پاسخ‌گو مسئله نیست.

از این رو به دلیل اهمیت موضوع بر آن شدیم تا مطالعه، تحقیق و عزم خود را بر بررسی دقیق این موضوعات استوار نماییم.

---

<sup>1</sup> Fixed Base

تحلیل سازه‌ها در این پژوهش با روش دینامیکی غیرخطی افزایشی<sup>۱</sup> (IDA) است. تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی، شامل تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده زلزله است. هدف اصلی این روش به دست آوردن پاسخ‌های سازه برای مقادیر مختلف شدت زلزله است و نتایج این تحلیل به شکل منحنی‌های IDA ارائه می‌گردد. برای تحقق بخشیدن به این هدف، سه نمونه ساختمان بتن‌آرمه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با و بدون جداساز را با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه با استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی و اعمال گستره عظیمی از زلزله‌های مقیاس شده مورد تحلیل قرار داده شد و پاسخ‌های مربوطه دریافت و بر روی نمودارها و جداول مربوطه ارائه گردید تا رفتار این‌گونه سازه‌ها هرچه بیشتر و عمیق‌تر روشن گردد. نتایج موردبررسی در این مطالعه دریافت طبقات، برش پایه، جابجایی و شتاب بام است.

## ۴-۱ ساختار پایان‌نامه

گزارش حاصل در پنج فصل به بررسی رفتار سازه‌های جداسازی شده با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌پردازد.

فصل اول کلیات به بیان مسئله پژوهش، ضرورت‌ها و اهداف آن تخصیص یافته است.

فصل دوم به معرفی انواع گونه‌های جداساز و اندرکنش خاک و سازه پرداخته شده و انتهای این فصل مروری بر سوابق تحقیقات انجام‌شده را در بر خواهد گرفت.

در فصل سوم به تعریف هندسه مدل، مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار اپنسیس و درنهایت چگونگی انجام تحلیل دینامیکی افزایشی پرداخته شده است.

در فصل چهارم با دسته‌بندی داده‌ها و ارائه مطلوب آن‌ها بر روی نمودارهای مربوط و جداول

---

<sup>1</sup> Incremental Dynamic Analysis

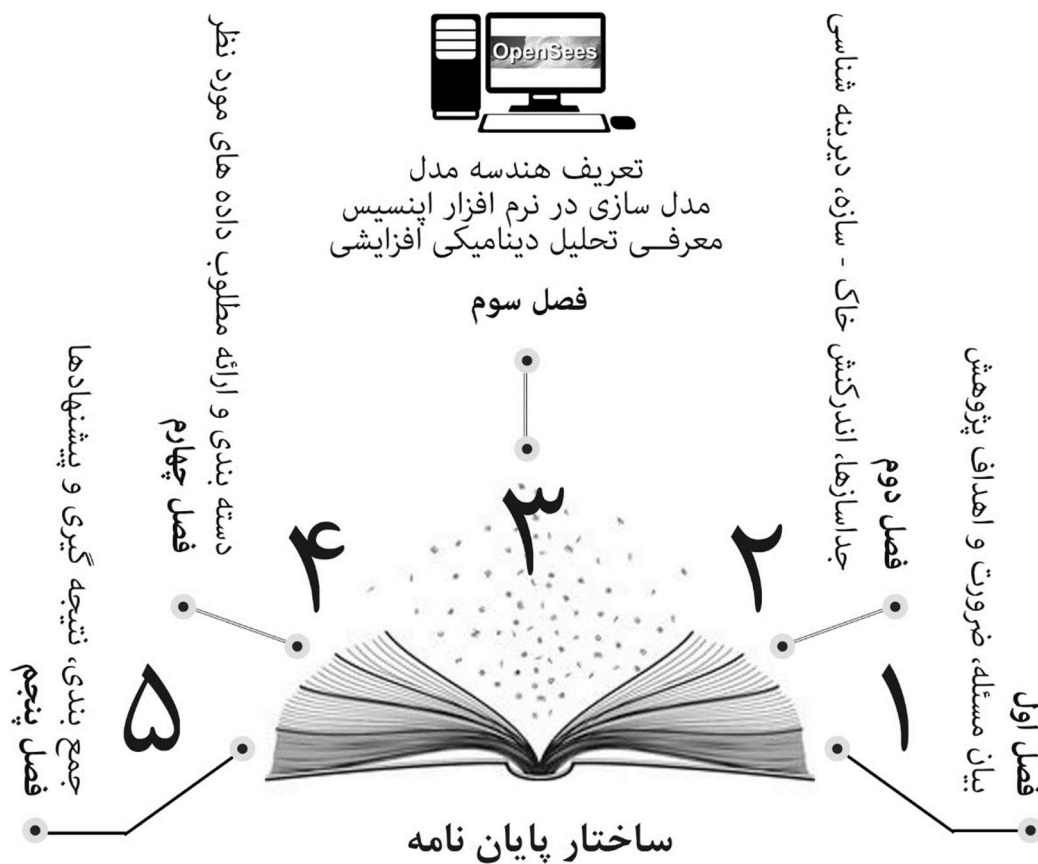


مشخص به بررسی نتایج به دست آمده از این مطالعه پرداخته خواهد شد.

در نهایت و در فصل پنجم به جمع بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی جهت ادامه کار

محققان و مدنظر قرار دادن این موضوعات برای فعالیت های پژوهش های آینده پرداخته شده است.

شکل زیر ساختار این پایان نامه را به صورت گرافیکی نشان می دهد :



شکل ( ۱-۱ ) معرفی ساختار پایان نامه





## فصل ۲

### مروری بر ادبیات فنی

این فصل به سه بخش کلی تقسیم می‌شود به طوری که در ابتدا به معرفی مفهوم جداساز لرزه‌ای، استفاده از آن در بهسازی‌ها، قابلیت‌ها، مکانیزم کارکرد و انواع گونه‌های جداساز پرداخته شده است. سپس به روش‌های مدل‌سازی اندرکنش خاک و برخی نرم‌افزارهای مورد استفاده برای این کار مورد بررسی قرار گرفته و در پایان هم سوابق تحقیقات انجام شده در باب سازه‌های جداسازی شده، اندرکنش خاک و سازه و سوابق توأمان این دو، از گذشته تا به حال به صورت اختصار توضیح داده شده است تا تاریخچه‌ای از روند مطالعاتی در این زمینه‌ها در ذهن خواننده جای گیرد.

## ۲-۲ جداسازهای لرزه‌ای و انواع آن

در عرض سی سال، جداساز لرزه‌ای از یک مفهوم ریاضی به کاربرد گسترده در عمل تبدیل شده است [۱۰]. جداساز لرزه‌ای فناوری مهم کنترل کاهش خطرپذیری به‌ویژه در سازه‌ها و تأسیسات مهم و حیاتی است که هنگام بروز زلزله باید عملکرد مطلوبی داشته باشد و بدون وقفه عملیاتی قابل استفاده باشند. علی‌رغم آنکه ایده جداساز لرزه‌ای به زمان‌های قدیم برمی‌گردد و در ایران به نحوی در ساخت منارجنبان اصفهان نیز به کاررفته، ولی در دهه‌های اخیر این فناوری در قالب امروزه خود، پیشرفت قابل توجهی نموده است و روزبه‌روز در بین مهندسان حرفه‌ای جایگاه خود را به عنوان یک راه‌حل قابل اعتماد برای مقاوم‌سازی و افزایش ضریب ایمنی سازه باز نموده است [۱۱].

جداساز لرزه‌ای، یک روش طراحی لرزه‌ای مقاوم است که به جای افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه، بر مبنای مفهوم کاهش نیاز لرزه‌ای قرار دارد. استفاده صحیح از این فناوری سبب بهبود رفتار سازه‌ها شده و رفتار سازه در حین زمین‌لرزه‌های بزرگ، عمدتاً در محدوده ارتجاعی باقی می‌ماند [۱۱].

جداسازی لرزه‌ای پایه<sup>۱</sup>، که با به کار بردن وسایل جداساز با سختی افقی کم در بین سازه و پی انجام می‌شود، سازه را از مؤلفه‌های افقی حرکات لرزه‌ای زمین جدا می‌سازد و باعث کاهش قابل توجه نیروها و انرژی زلزله منتقل شده به سازه می‌گردد [۱۲].

## ۱-۲-۲ مفهوم جداساز لرزه‌ای

مفهوم جداساز لرزه‌ای به عنوان یک ابزار محافظتی در برابر زلزله، به بیش از ۱۰۰ سال قبل باز می‌گردد [۱۳]. به جدا کردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای آن بخش در زمان رویداد زلزله، جداسازی لرزه‌ای می‌گویند.

روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طراحی لرزه‌ای، ایجاد ظرفیت باربری جانبی سازه، با افزایش مقاومت و تأمین شکل‌پذیری آن صورت می‌گیرد. در نتیجه اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات افزایش یافته و در سازه، اعضای مهاربند جانبی همچون بادبند یا دیوار برشی یا سایر اعضای سخت‌کننده در نظر گرفته می‌شود [۱۴].

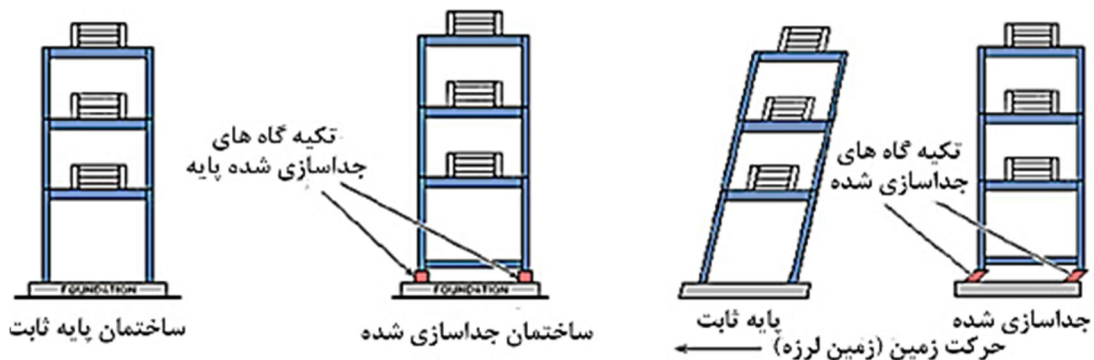
افزایش سختی سازه که جذب نیروی بیشتر ناشی از زلزله را به دنبال داشته و سبب افزایش ابعاد اعضای سازه‌ای به منظور تأمین مقاومت می‌شود، موجب کاهش ارزش اقتصادی پروژه می‌گردد. علاوه بر آن، در روش مرسوم طراحی، به دلیل تغییر شکل‌های غیرخطی در اعضای سازه‌ای امکان بروز خرابی در این اعضا وقوع آسیب در اجزای غیر سازه‌ای و تجهیزات داخل طبقات به دلیل وقوع تغییر مکان و شتاب‌های قابل توجه در طبقه وجود دارد [۱۴].

بنابراین سیستم‌های جداساز، روشی برای محافظت ساختمان‌ها در برابر خسارت ناشی از زلزله بوده و این عمل با محدود ساختن اثر تخریبی زلزله و نه مقاوم کردن سازه در مقابل زلزله انجام

---

<sup>1</sup> Base Isolation

می‌پذیرد. جداسازهای ارتعاشی اثر تخریبی زلزله را محدود می‌سازد، به طوری که پایه انعطاف‌پذیر سازه باعث جدا شدن آن از حرکات زمین می‌شود و نتیجه شتاب پاسخ سازه کمتر از شتاب زمین می‌باشد. نیروهایی که به سازه جدا شده وارد می‌شود را می‌توان با وسایل میراگر که باعث اتلاف انرژی ناشی از زلزله می‌شوند، کاهش داد [۱۵].



شکل (۱-۲) مقایسه تغییر مکان در دو حالت جداسازی شده و پایه ثابت [۱۶]

## ۲-۲-۲ جداساز لرزه‌ای در بهسازی نوین

بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها شامل افزایش ظرفیت سازه به لحاظ سختی و مقاومت، افزایش قابلیت جذب انرژی و کاهش نیاز لرزه‌ای با استفاده از روش‌هایی مانند جداسازی سازه از پی، کاهش جرم سازه و سیستم اتلاف انرژی می‌باشد [۱۷].

بهسازی ساختمان‌های موجود در برابر زلزله با روش‌هایی متفاوت از روش‌های مقاوم‌سازی سنتی صورت می‌گیرد. امروزه استفاده از سیستم‌های شکل‌پذیر یا میراگرهای انرژی رشد شایانی داشته‌اند. این سیستم‌ها سبب می‌شوند عملیات اجرایی بهسازی از نظر حجم و زمان به حداقل برسد و علاوه بر کاهش هزینه‌های اجرایی، سبب می‌شود لطمه کمتری به روند بهره‌برداری از ساختمان وارد شود [۱۸].

عمل جداسازی پایه از نظر بهسازی در برابر زلزله، یک سیستم سازه‌ای انعطاف‌پذیر و مناسب را به وجود می‌آورد. سیستم جداساز لرزه‌ای از گوناگونی زیادی برخوردارند ولی پایه و اساس همگی بر دو نوع لغزشی و لاستیکی استوار است که هر کدام به منظور جداسازی از حرکت زمین در ساختمان‌ها و پل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۹].

فلسفه و هدف بهسازی لرزه‌ای با استفاده از سیستم‌های لرزه‌ای مستقیماً به هدف کارفرما و انتظارات او از عملکرد ساختمان بهسازی شده بستگی دارد. به همین دلیل اهداف بهسازی از پروژه‌ای به پروژه دیگر می‌تواند متفاوت باشد.

پنج مورد از مواردی که انگیزه اصلی کارفرمایان در انتخاب سیستم‌های جداساز لرزه‌ای جهت بهسازی ساختمان‌های موجود محسوب می‌شوند به شرح زیر می‌باشند [۲۰]:

- ۱) قابلیت عملکرد: مراکزى که در هنگام زلزله و بعد از آن بایستی به فعالیت خود ادامه دهند. (مانند مراکز کامپیوتری، مالی و ...).
- ۲) حفظ محتویات: لوازم مهم و ارزشمندی که بایستی از خسارت ناشی از ارتعاشات زلزله محافظت شوند (مانند آثار تاریخی و هنری).
- ۳) حفظ سرمایه: جلوگیری از ضررهای اقتصادی ناشی از خسارت زلزله.
- ۴) حفظ آثار باستانی: جلوگیری از تخریب یا ایجاد خسارت در ساختمان‌های تاریخی.
- ۵) طرح اقتصادی: برخی از ساختمان‌ها به قدری پیچیده هستند که جداسازی لرزه‌ای به عنوان یک روش اقتصادی برای بهسازی لرزه‌ای آن می‌تواند در نظر گرفته شود.



شکل (۲-۲) دلایل انتخاب سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در بهسازی ساختمان‌های موجود

## ۳-۲-۲ مشخصات فنی سیستم‌های جداساز

### ۱-۳-۲-۲ اجزای اصلی سیستم‌های جداساز

در هر سیستم عملی برای جداسازی پایه، سه جزء اصلی را می‌توان مشاهده کرد که هر یک وظیفه‌ای خاص در عملکرد سازه در برابر نیروهای و تغییر شکل‌های ناشی از زمین‌لرزه دارند.

این اجزا عبارت‌اند از [۲۱]:

(۱) تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر در برابر تغییر شکل‌های جانبی، به‌نحوی که زمان ارتعاش کل سیستم را به مقدار کافی طولانی کند تا باعث کاهش مقادیر نیروهای پاسخ شود.

(۲) میراگر یا اتلاف‌کننده انرژی، به‌نحوی که بتوان تغییر شکل‌های نسبی بین ساختمان و زمین را در حد معینی کنترل کرد.

(۳) ابزار برای تأمین سختی جانبی کافی تحت اثر بارهای کم، نظیر باد و زلزله‌های کوچک.

### ۲-۳-۲-۲ قابلیت‌های سیستم جداساز

لازم است که یک سیستم جداسازی دارای قابلیت‌های زیر باشد:

(۱) بتواند نیروهای قائم ناشی از وزن پاسخ زلزله در زمان زلزله را تحمل کند،

(۲) در جهت افقی انعطاف‌پذیری لازم را تأمین نماید،

(۳) قابلیت جذب انرژی داشته باشد.

این قابلیت‌ها می‌تواند به طور هم‌زمان در یک وسیله تأمین شود یا به کمک چند وسیله آن‌ها را برای سامانه‌ی جداسازی فراهم آورد. علاوه بر این طرح ممکن است برای محدود نمودن تغییر مکان

جداسازها، در سامانه جداسازی لرزه‌ای، ضربه‌گیرهایی نیز پیش‌بینی نماید [۱۴].



مهم‌ترین و اصلی‌ترین تأثیر جداسازهای لرزه‌ای افزایش طول پریود و در نتیجه کاهش نیروی القاشده به سازه ناشی از مود اول است. دومین تأثیر عامل جداسازهای لرزه‌ای وجود میرایی در جداسازهای لرزه‌ای سبب تسهیل در اتلاف انرژی در سازه گردیده و در نتیجه پاسخ‌های مربوطه به سازه را کاهش خواهد داد [۲۲].

## ۲-۲-۴ مکانیسم سیستم جداساز

سیستم جداساز انرژی زمین‌لرزه را جذب نمی‌کند، بلکه آن را با استفاده از ویژگی‌های رفتار دینامیکی سیستم منحرف می‌سازد. این اثر ارتباطی به میرایی سیستم ندارد. اما برای جلوگیری از وقوع پدیده تشدید احتمالی در محدوده فرکانسی برابر فرکانس ارتعاشی سیستم جداساز، مقدار مشخصی میرایی، مفید و ضروری می‌باشد [۱۱].

سیستم جداساز، با سختی افقی پایینی که بین سازه و پی ایجاد می‌کند، ساختمان یا سازه را از مؤلفه‌های افقی حرکت زمین جدا می‌سازد. این عمل سیستمی را به وجود می‌آورد که فرکانس پایه‌ای آن بسیار پایین‌تر از فرکانس‌های غالب زمین‌لرزه و نیز فرکانس پایه‌ی همان ساختمان با اتصال گیردار می‌باشد [۱۱].

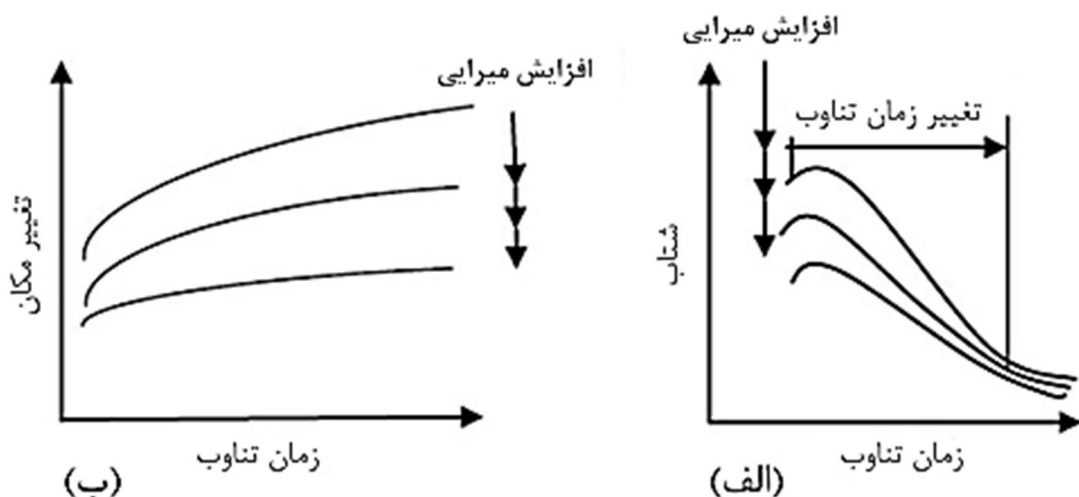
مکانیسم عمل سیستم جداساز از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود [۱۵]:

بخش اول: افزایش زمان تناوب اصلی سازه برای دور کردن از تشدید شتاب مطلق،

بخش دوم: عامل تولید میرایی اضافی ایجاد شده برای استهلاک انرژی زلزله.

همان‌طور که در شکل (2-3) نشان می‌دهد، هر کدام از دو تأثیر فوق می‌توانند باعث کاهش

نیروی جانبی ناشی از زلزله شوند.



شکل (۲-۳) اثر افزایش انعطاف‌پذیری بر سازه الف) با افزایش زمان تناوب و میرایی شتاب پاسخ لرزه‌ای کم می‌شود (ب) افزایش زمان تناوب تغییر مکان کلی سازه جداسازی شده را افزایش می‌دهد، اما افزایش میرایی تا حد زیادی این موضوع را جبران می‌کند [۱۵]

## ۲-۲-۵ انواع سیستم‌های جداساز لرزه‌ای پایه

امروزه جداسازی لرزه‌ای فناوری توسعه‌یافته‌ای است که در بسیاری از کشورها به کار می‌رود و تعداد زیادی سیستم‌های جداساز لرزه‌ای قابل قبول وجود دارند که مبانی ساخت آن‌ها به‌خوبی شناخته شده است. به‌رحال به نظر می‌رسد که این مفهوم، جاذبه اجتناب‌ناپذیری برای مخترعان داشته و هرساله سیستم‌های نوین و مختلفی از جداسازها پیشنهاد شده و به ثبت می‌رسند [۱۱].

سیستم جداساز لرزه‌ای از تنوع زیادی برخوردار می‌باشند ولی پایه و اساس همگی آن‌ها بر دو سیستم کلی استوار است:

۱) سیستم الاستومر (لاستیکی): که ماده اولیه آن لاستیک طبیعی یا نئوپرن است.

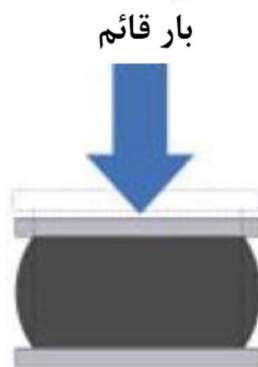
۲) سیستم لغزشی: که سطح لغزنده از جنس تفلون و فولاد ضدزنگ می‌باشد.

که هر کدام به منظور جداسازی از حرکت‌های زمین در ساختمان‌ها و پل‌ها مورد استفاده

قرار گرفته‌اند [۱۱، ۱۹].

## سیستم الاستومر (لاستیکی) ۱-۵-۲-۲

نشیمن لاستیک طبیعی، نخستین بار در سال ۱۹۶۹ برای حفاظت لرزه‌ای ساختمان مدرسه ابتدایی پستالوزی در اسکوپه (مقدونیه) به کار رفت. این نشیمن‌ها بلوک‌های لاستیکی بزرگی می‌باشند که برخلاف نمونه امروزی، فاقد صفحات فولادی تقویت‌کننده بوده و در اثر وزن ساختمان همانند شکل ( 2-4 ) حدود ۲۵٪ فشرده می‌شوند. سختی قائم نشیمن‌ها فقط چند برابر سختی افقی بوده و لاستیک مورد استفاده تقریباً فاقد میرایی است. هر دو سمت نشیمن لاستیکی بلوک‌هایی از جنس شیشه اسفنجی (فوم) قرار داده می‌شود که جهت جلوگیری از حرکت ساختمان در اثر باد، تردهای داخلی ساختمان یا زمین لرزه‌هایی با شدت کم می‌باشد [۳].



شکل ( ۲-۴ ) تغییر شکل قائم جداساز لاستیکی خالص [۳]

ویژگی این سیستم جداساز، ارتباط و جفت‌شدگی (درگیری) شدید حرکات افقی آن‌ها با حرکت گهواره‌ای<sup>۱</sup> بوده و بنابراین حتی در اثر یک حرکت زمین کاملاً افقی شتاب‌های قائم در مورد گهواره‌ای نیز القا می‌گردد [۱۱].

<sup>۱</sup> Rocking

امروزه تکیه‌گاه‌های لاستیکی به صورت چندلایه ساخته می‌شوند که کاربرد اصلی آن‌ها در پایه سازه‌های ابنیه‌ای، صنعتی و روسازه پل‌ها است. این تکیه‌گاه‌ها کاملاً در مقابل تغییر شکل افقی بزرگ، مقاومت کمی از خود نشان می‌دهند. همچنین دوران را نیز تعدیل نموده و توانایی تحمل وزن‌های بزرگ را دارا هستند. این بالشتک کاربرد وسیعی در جداساز ناشی از انبساط حرارتی و ارتعاشات دارند. مقدار میرایی را در این گونه جداسازها می‌توان توسط عوامل جداگانه‌ای افزایش داد. در مدل امروزی نشیمن‌های لاستیکی چندلایه الاستومری از ورقه‌های لاستیک و صفحات تقویت‌کننده نازک فولادی ساخته شده‌اند که این صفحات با استفاده از ولکانیزاسیون<sup>۱</sup> یا پخت لاستیک با ورق‌های نازک لاستیکی تهیه می‌شوند [۱۵].

انواع جداسازهای لاستیکی عبارت‌اند از :

- ۱) نشیمن‌های لاستیکی با ورقه‌های فولادی و میرایی کم (LDRB)،
- ۲) نشیمن لاستیکی با هسته سربی (LRB)،
- ۳) نشیمن لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB)،
- ۴) نشیمن لاستیکی مسلح با الیاف (F-REI)،
- ۵) نشیمن لاستیکی مسلح به حلقه‌های فلزی (SR-REI)،

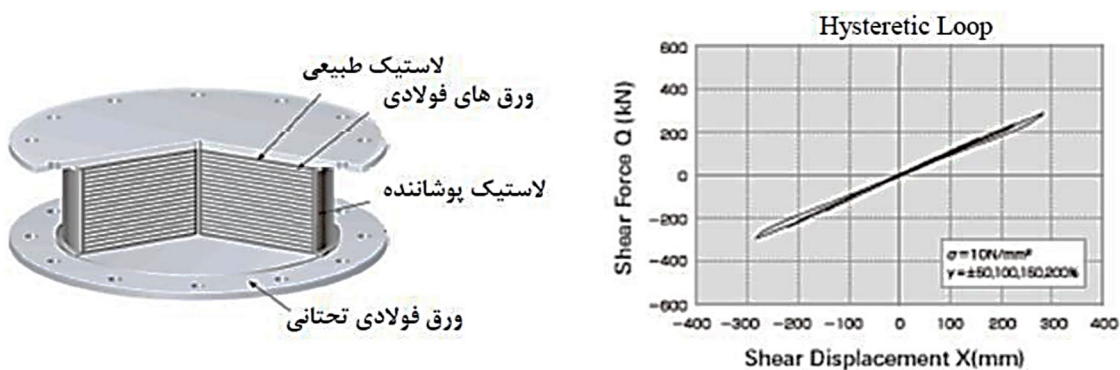
---

<sup>1</sup> Vulcanization

## ۲-۵-۱-۱ نشیمن لاستیکی با ورقه‌های فولادی و میرایی کم (LDRB)

درهام<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد کردند که قرار دادن صفحات فولادی در بین لاستیک و انجام عمل ولکانیزاسیون موجب می‌شود که سختی قائم افقی تأمین گردد که با این ایده از انبساط جانبی در بالشتک جلوگیری شد [۱۱].

نشیمن‌های لاستیکی با ورقه‌های فولادی یکی از جداسازهایی هستند که نیاز به انتقال دوره‌ی تناوب طبیعی سازه و وظیفه‌ی جدا نمودن ارتعاش روسازه از بستر خود را برای مهندسان و طراحان برآورده می‌کنند. این جداسازها، از ورقه‌های نازک لاستیکی و فولادی که به ترتیب بر روی هم چیده شده و تحت فشار و حرارت به شکل مجموعه‌ای متورق و یکپارچه درمی‌آیند، تشکیل شده‌اند. ورق‌های فولادی مسلح کننده، از انبساط جانبی لاستیک جلوگیری کرده و سختی قائم را به مقدار زیادی افزایش می‌دهند؛ اما هیچ تأثیری بر سختی افقی سیستم که به وسیله مدول برشی الاستومر کنترل می‌شود، ندارند. رفتار ماده در برش تا کرنش‌های بیش از ۱۰۰٪ کاملاً خطی بوده و میرایی آن در حدود ۲ تا ۳ درصد مقدار بحرانی می‌باشد [۱۱، ۱۴].



شکل (۲-۵) نشیمن لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز [۲۳]

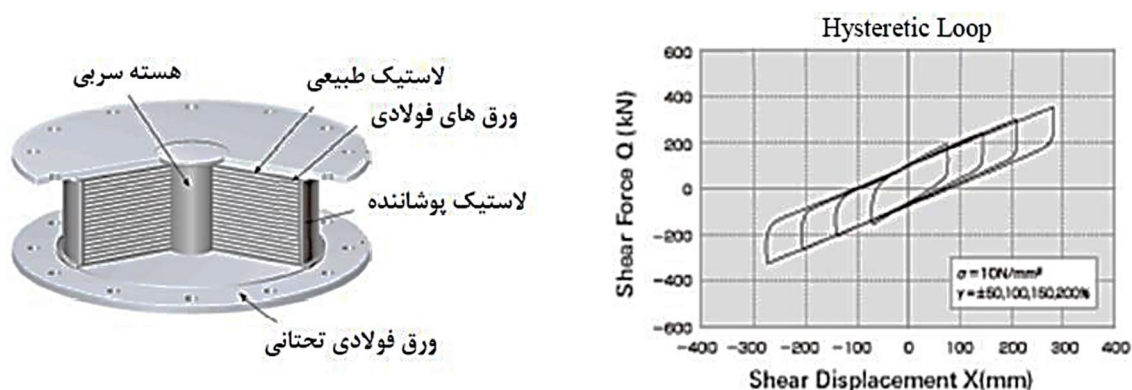
<sup>1</sup> Low Damping Rubber Bearing

<sup>2</sup> Derham, *et al.*

## ۲-۲-۵-۱-۲ نشیمن‌های لاستیکی با هسته سربی (LRB<sup>۱</sup>)

تکیه‌گاه لاستیکی - سربی در آوریل ۱۹۷۶ توسط ویلیام اچ. روبینسون در نیوزلند اختراع گردید. روبینسون هنگامی که تلاش ناموفقی بر روی میراگرهای برشی سربی میله‌ای برای عملکرد در کرنش‌های زیاد را داشت به تکیه‌گاه الاستومری برخورد کرد. او بدون درنگ متوجه صفحاتی فولادی در تکیه‌گاه‌های لاستیکی چندلایه شد که می‌تواند راه‌حل خوبی برای کنترل مشکل تغییر شکل میله‌های سرب در هنگام تغییر شکل‌های بزرگ باشند.

وی یک تکیه‌گاه الاستومری چسبیده و چندلایه را سوراخ کرد و درون آن هسته سربی را به طرز خاصی قرار داد. برای اینکه هسته سربی کاملاً در نشیمن‌های الاستومری محکم شده باشد، قطر هسته را اندکی بیش از سوراخ در نظر گرفت و میله را با فشار به داخل سوراخ راند. ویلیام روبینسون این تکیه‌گاه را تحت آزمایش قرار داد و نتایج آزمایش‌های این تحقیق را به وزارت کار و توسعه نیوزلند<sup>۲</sup> گزارش کرد. در عرض چند ماه آن موسسه جداسازهای ساختمان ویلیام کلیتون را با سیستم مورد نظر روبینسون طراحی نمود، که در این حالت هزینه اجرا به طور قابل توجهی کاهش یافت [۲۴].



شکل (۲-۶) نشیمن لاستیکی با هسته سربی؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز [۲۳]

<sup>۱</sup> Lead Rubber Bearing

<sup>۲</sup> MWD

این جداساز شامل یک هسته‌ی سربی است که در داخل جداساز لاستیکی محصور شده است، به همین دلیل از میرایی بالایی برخوردار می‌باشند. دلیل انتخاب سرب برای این جداساز این است که فلز سرب دارای ساختمانی بلوره‌ای است. ساختار بلوره‌ای سرب با تغییر مکان تغییر می‌کند، اما بلافاصله با برگشت تغییر مکان به حالت اولیه بازگشته و به این ترتیب تسلیم‌های متوالی تحت بارهای ارتعاشی دینامیکی جانبی باعث به وجود آمدن پدیده‌ی خستگی در آن نمی‌شود. بخش لاستیکی این تجهیزات مشابه جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی است و وظیفه‌ی تأمین نیروی بازگرداننده به مبدأ را پس از پایان ارتعاش سازه به عهده دارد [۱۴].

## ۲-۲-۵-۱-۳ نشیمن‌های لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB)

در سال ۱۹۸۲، شرکت انگلیسی موسسه تحقیقات سازندگان مالزیایی لاستیک<sup>۱</sup>، یک ترکیب لاستیک طبیعی ابداع کرد که میرایی ذاتی آن به حدی بود که نیاز به استفاده از اجزای میراگر اضافی را از بین برد. میرایی این ترکیب لاستیکی از افزودن بلوک‌های کربنی بسیار ریز، روغن‌ها یا رزین‌ها و سایر پرکننده‌های ویژه حاصل می‌شود. میرایی را می‌توان در کرنش برشی معادل ۱۰۰٪ به ۱۰٪ تا ۲۰٪ رساند که حد پایین آن (۱۰٪) مربوط به میرایی با سختی پایین (سختی معادل ۵۰ تا ۵۵ با دستگاه تعیین سختی<sup>۲</sup>) با مدول برشی در حدود 0/34 Mpa و حد بالای آن (۲۰٪) مربوط به سیستم‌هایی با سختی بالا (سختی در حدود ۷۰-۷۵) و مدول برشی در حدود 1/4 Mpa می‌باشد [۱۱].

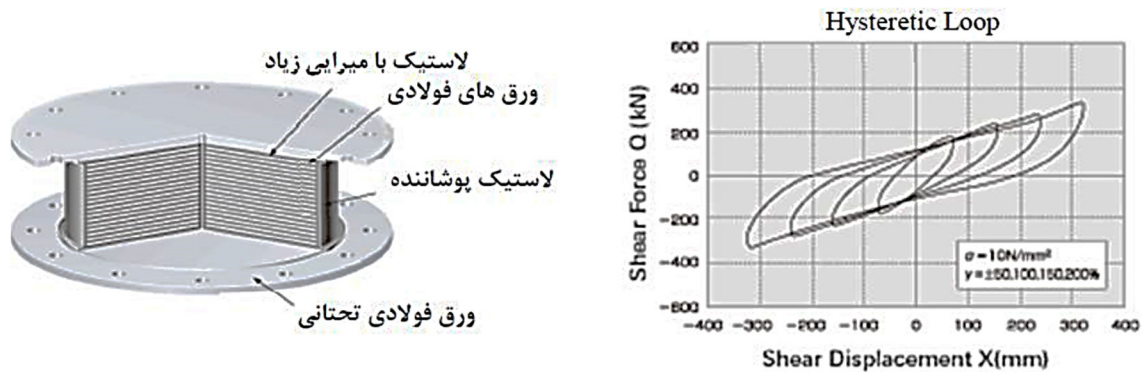
در جداسازهای با میرایی بالا، توزیع نیروی برشی در ارتفاع سازه تقریباً یکنواخت است، ولی در سیستم‌های با میرایی کم این توزیع تقریباً مثلثی است. در حالت میرایی کم، مود ارتعاشی اصلی حاکم می‌شود؛ در صورتی که در میرایی‌های بالاتر پاسخ مودهای بالاتر نیز اهمیت پیدا می‌کند.

<sup>1</sup> High Damping Rubber Bearing

<sup>2</sup> MRPRA

<sup>3</sup> Durometer

سیستم‌های با میرایی بالا برای محافظت سیستم سازه‌ای توصیه می‌شوند، درحالی‌که سیستم‌های با میرایی پائین برای محافظت سیستم‌های ثانویه و لوازم حساس ساختمان‌ها به کار گرفته می‌شوند [۲۰].



شکل (۷-۲) نشیمن لاستیکی طبیعی با میرایی زیاد؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز [۲۳]

## ۴-۱-۵-۲-۲ نشیمن‌های لاستیکی مسلح با الیاف (F-REI<sup>۱</sup>)

کلی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۹، پیشنهاد کرد که با حذف صفحات مسلح کننده فولادی و جایگزینی آن‌ها با الیاف مسلح کننده با سختی الاستیک بالا می‌توان هم‌وزن و هم قیمت جداسازها را کاهش داد. او با معرفی و آزمایش چند نمونه جداساز مسلح با الیاف نشان داد که این جداسازها قادر به تأمین سختی خمشی<sup>۳</sup> کافی و سختی قائم در حدود سختی قائم جداسازهای مسلح با فولاد مشابه (با همان سطح مقطع و ضخامت لاستیک) می‌باشند [۲۵].

وزن اصلی یک جداساز، ناشی از صفحات فولادی مسلح کننده‌ای است که برای فراهم نمودن سختی قائم المان مرکب لاستیک - فولاد به کار می‌رود. هزینه‌ی زیاد تولید جداسازها ناشی از کار آماده‌سازی صفحات فولادی و قرار دادن ورقه‌های لاستیک و صفحات فولادی در یک قالب برای اتصال

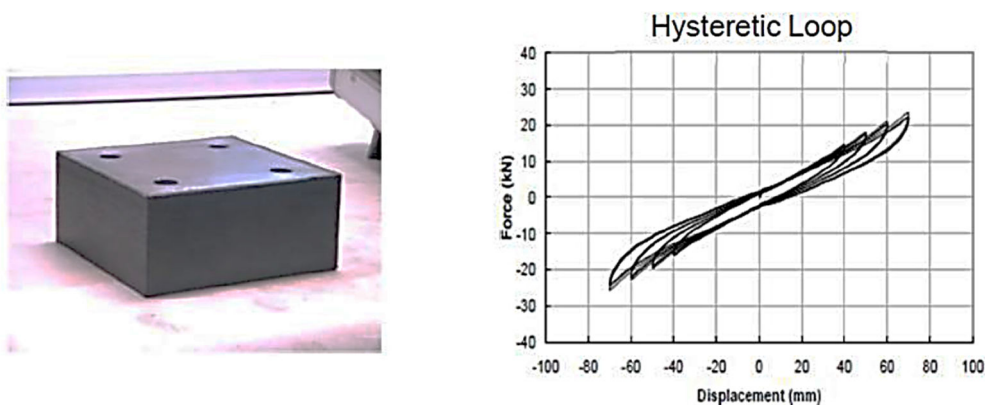
<sup>1</sup> Fiber-Reinforced Elastomeric Isolator

<sup>2</sup> Kelly

<sup>3</sup> Tilting Stiffness.



و پیوستگی ولکانیزه ای آن‌ها می‌باشد. مصالح مسلح کننده موردنیاز برای فراهم نمودن سختی قائم در جداساز می‌تواند به جای صفحات فولادی، با استفاده از مواد الیاف با حجم مشابه فولاد مسلح کننده، ولی با وزن بسیار سبک‌تر تأمین گردد، که باعث کاهش وزن جداساز می‌شود. کاهش هزینه نیز به خاطر این است که استفاده از الیاف امکان فرآیند ساده‌تر و آسان‌تر ساخت را فراهم می‌کند [۲۶]



شکل (۸-۲) نشیمن لاستیکی مسلح با الیاف؛ منحنی نیرو- تغییر مکان جداساز [۱۲]

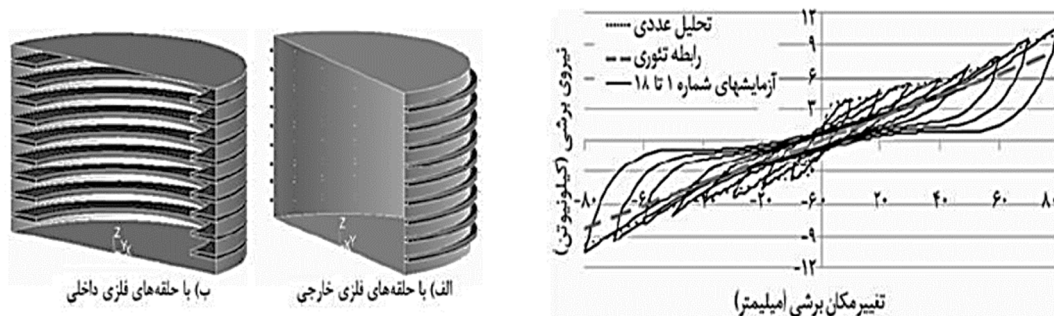
## ۵-۲-۵-۱-۵-۲-۲ نشیمن‌های لاستیکی مسلح به حلقه‌های فلزی (SR-REI)<sup>۱</sup>

ضیائی فر در سال ۲۰۰۱، به منظور کاهش هزینه‌ی جداسازهای الاستومر، ایده‌ای استفاده از حلقه‌های فلزی به جای صفحات فلزی در جداسازهای لاستیکی را ارائه کرد. مدل شماتیک یک جداساز الاستومری مسلح به حلقه‌های فلزی داخلی و خارجی در شکل (۳-۱۹) نشان داده شده است. حلقه‌های فلزی داخلی و خارجی به منظور بالا بردن سختی قائم نسبت به سختی افقی استفاده شده است. از آنجایی که این جداسازها سختی افقی کمتری از جداسازهای معمولی دارند، می‌توان از آن‌ها برای جداسازی اجرام کم‌وزن (مانند تجهیزات صنعتی استفاده به عمل آورد [۲۷].

استفاده از ورقه‌های فولاد سبب افزایش سختی قائم این جداسازها می‌شود. اما از سوی دیگر

<sup>1</sup> Steel Rings-Reinforced Elastomeric Isolator

سبب افزایش وزن آن‌ها شده و کار ساخت، حمل و نصب را دشوار می‌نماید. این امر در کنار این مشکلات موجب افزایش هزینه‌ی ساخت و نصب آن‌ها می‌گردد. اخیراً روش‌هایی برای ساخت کم‌هزینه‌تر جداسازها ارائه شده است. در یکی از این روش حلقه‌های فلزی جایگزین ورقه‌های فولادی شده و وزن این جداسازها را به اندازه‌ی قابل‌توجهی کاهش می‌دهند [۱۴].



شکل (۹-۲) نشیمن لاستیکی مسلح به حلقه‌های فلزی؛ منحنی نیروی برشی - تغییر مکان جداساز [۲۷]

## ۲-۲-۵-۲ سیستم‌های جداساز لغزنده (اصطکاکی)

نخستین و ساده‌ترین جداساز پیشنهاد شده، یک سیستم لغزنده خالص بوده است. این سیستم در سال ۱۹۰۹ به وسیله یک پزشک انگلیسی به نام کالانتارینتز<sup>۱</sup> پیشنهاد شده است. او پیشنهاد کرد که ساختمان به وسیله یک لایه تالک از پی جدا شود. در حقیقت طرح کالانتارینتز دربرگیرنده تمام اجزایی است که امروزه در یک سیستم جداسازی پایه، ضروری می‌باشند. این طرح شامل روشی برای جداسازی ساختمان از پی، روشی برای مقاوم‌سازی خطوط تأسیسات در برابر تغییر مکان نسبی بالا و سیستم مقاومی در برابر باد می‌باشد [۱۱].

متداول‌ترین مصالحی که برای نشیمن‌های لغزنده به کار می‌روند، پلی‌تترافلوئوراتیلن (تفلون)

<sup>1</sup> Uohannes A. Calontarients

توخالی یا توپر بر روی فولاد ضدزنگ بوده و ویژگی‌های اصطکاکی این سیستم وابسته به دما، سرعت حرکت سطح مشترک، مقدار استهلاک سیستم و تمیزی سیستم دارد [۱۱].

از جداسازهای اصطکاکی به طور عمده جداسازهای زیر در صنعت تولید می‌شوند:

(۱) سیستم آونگ اصطکاکی (FPS)؛

(۲) سیستم اصطکاکی پس جهنده (R-FBI)

(۳) سیستم ترکیبی TASS

(۴) سیستم ترکیبی EERC

## ۱-۲-۵-۲-۲ سیستم آونگ اصطکاکی (FPS<sup>۱</sup>)

این سیستم به وسیله هندسه خاص خود، عمل لغزش و نیروی بازگرداننده را فراهم می‌کند. جداساز FPS که در شکل (۱۰-۲) نشان داده شده است، دارای یک قسمت لغزنده مفصلی<sup>۲</sup> است که بر روی یک سطح کرووی از جنس فولاد ضدزنگ می‌لغزد. سطحی از این قسمت لغزنده مفصلی که در تماس با سطح کرووی است، با موادی با اصطکاک کم پوشیده شده است. سطح دیگر این لغزنده نیز کرووی بوده و با لایه‌ای از فولاد ضدزنگ پوشیده شده است. این سطح در یک شیار کرووی که آن‌هم از ترکیباتی با اصطکاک کم پوشیده شده، قرار می‌گیرد. با حرکت قسمت لغزنده از روی سطح کرووی، جرم موجود از روی آن بلند شده که این امر سبب ایجاد نیروی بازگرداننده در سیستم می‌شود. اصطکاک بین سطح لغزنده مفصلی و سطح کرووی نیز سبب ایجاد میرایی در جداسازها می‌شود. سختی مؤثر جداساز و دوره‌ای تناوب سازه‌ای جداسازی شده به وسیله شعاع انحنای سطح محدب

<sup>1</sup> Friction Pendulum System.

<sup>2</sup> Articulated Slider

کنترل می‌شود [۱۱].



شکل ( ۲-۱۰ ) سیستم آونگ اصطکاکی [۲۸]

#### ۲-۲-۵-۲-۲ سیستم اصطکاکی پس جهنده (R-FBI<sup>۱</sup>)

در این نشیمن با استفاده از سطوح متعدد لغزنده‌ی مشترک، مشکل ضریب اصطکاک زیاد تفلون بر روی فولاد ضدزنگ در سرعت‌های بالا رفع شده است. سرعت بین لایه‌های مختلف تقسیم شده و با کاهش سرعت هر لایه، ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. علاوه بر المان‌های لغزنده، هسته مرکزی که از جنس لاستیک است، بار قائمی را حمل نکرده اما یک نیروی بازگرداننده در سیستم ایجاد می‌کند. آزمایش‌های صورت گرفته بر روی این سیستم نشان می‌دهد که هسته لاستیکی توانایی توزیع مناسب تغییر مکان‌ها را ندارد، برای رفع این مشکل یک میله فولادی در داخل هسته لاستیکی قرار گرفته تا توزیع تغییر مکان بین لایه‌های لغزنده را بهبود بخشد [۱۱].

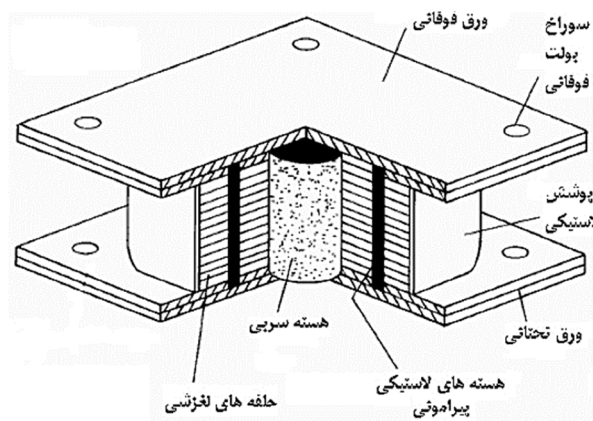
<sup>1</sup> Resilient- Friction Base Isolation System

## سیستم ترکیبی TASS ۳-۲-۵-۲-۲

سیستم TASS توسط گروه تایسه<sup>۱</sup> ژاپن توسعه یافته است. در این سیستم، تمام بارهای قائم سنگین به وسیله لغزنده تفلونی ضدزنگ، حمل می‌شود. به‌علاوه از نشیمن‌های لایه‌ای نئوپرنی که باری به آن‌ها وارد نمی‌شود، به منظور ایجاد نیروی جانبی بازگرداننده استفاده می‌شود (شکل (۲-۱۱) و شکل (۲-۱۲)). فشار سطح لغزنده تفلونی در حدود ۱۰MPa بوده و ضریب اصطکاک آن بین ۵ تا ۱۵٪ برای سرعت‌های کم تا زیاد، متغیر می‌باشد [۳].

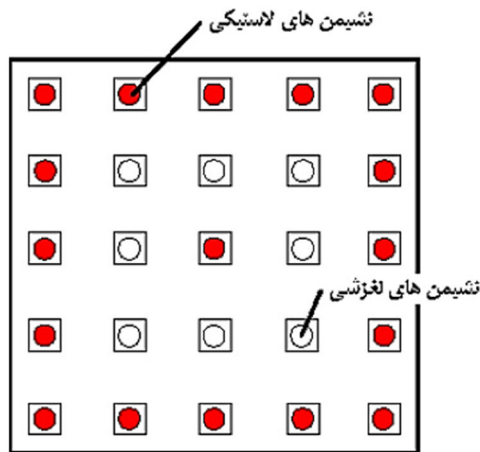
اشکالات این سیستم عبارت‌اند از [۱۱]:

- به دلیل عدم باربری قائم نشیمن‌های الاستومری، این نشیمن‌ها به کشش می‌افتند؛
- حساسیت سطح لغزنده به سرعت، مدل‌سازی این سیستم را بسیار دشوار کرده است.



شکل (۲-۱۱) سیستم اصطکاکی پس جهنده [۳]

<sup>۱</sup> TAISEI



شکل ( ۲-۱۲ ) سیستم ترکیبی TASS [۳]

## ۴-۲-۵-۲-۲ سیستم ترکیبی EERC

کلی در سال ۱۹۸۲، پیشنهاد کرد که لغزنده‌ها و نشیمن‌های الاستومر را با یکدیگر ترکیب کرده و از ویژگی‌های مناسب هر دو نوع جداساز استفاده شود. استفاده از لغزنده‌ها، دوره تناوب سیستم را افزایش می‌دهد و نشیمن‌های لاستیکی با ایجاد یک عمل خنثی‌کننده<sup>۱</sup>، تغییر مکان سیستم را کنترل می‌کنند. در حقیقت سازوکار عمل نشیمن‌ها کنترل پیچش و ایجاد سختی در صورت گذشتن مقادیر تغییر مکان‌ها از مقادیر مجاز طرح می‌باشد [۱۱].

این سیستم متشکل از دو سیستم الاستومری و لغزنده بوده و در موسسه تحقیقاتی EERC ابداع شده است. در این سیستم ستون‌های داخلی ساختمان بر روی المان‌های لغزنده‌ای که از جنس فولاد ضدزنگ می‌باشند، قرار می‌گیرند و ستون‌های خارجی بر روی نشیمن‌های لاستیک طبیعی با میرایی کم واقع می‌شوند. نشیمن‌های الاستومری سبب بازگشت سیستم به حالت اولیه و کنترل پیچش ساختمان می‌گردند و اجزاء لغزنده میرایی مورد نیاز سیستم را فراهم می‌آورند [۳].

<sup>1</sup> Centering Action.

## ۳-۵-۲-۲ سیستم‌های فنری

سیستم‌های جداسازی الاستومری و لغزنده برای فراهم کردن جداسازی افقی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگامی که جداسازی کامل (سه بعدی) مدنظر باشد، می‌توان از سیستم‌های فنری استفاده شود. این سیستم برای جداسازی تجهیزات توربین نیروگاه‌ها طراحی می‌شود. در این سیستم از فنرهای حلقوی فولادی که در دو راستای افقی و قائم انعطاف‌پذیرند استفاده می‌شود. فنرهای فولادی فاقد میرایی بوده و این سیستم همواره با میراگر لزج GERB به کار می‌رود [۳].

در این سیستم نیز مانند تمام سیستم‌های سه‌بعدی دیگر، به دلیل آنکه مرکز گرانش (مرکز ثقل) سازه جدا شده بالاتر از مرکز سختی سیستم جداساز قرار دارد، جفت‌شدگی (درگیری) بسیار قوی بین حرکت افقی و گهواره‌ای وجود دارد. بنابراین کاربرد این سیستم در شرایطی که مرکز گرانش و سختی در یک تراز باشند، مثلاً در محفظه راکتور نیروگاه‌های هسته‌ای، مناسب است.

## ۴-۵-۲-۲ سیستم جداسازی با استفاده از شمع‌های غلاف دار

کاربرد این سیستم در حالاتی که استفاده از شمع‌های عمیق لازم باشد، مثلاً در مورد ساختمان‌هایی که روی خاک‌های بسیار نرم قرار دارند، برای فراهم کردن نرمی (انعطاف‌پذیری) افقی لازم در یک سیستم جداسازی، مفید به نظر می‌رسد. شمع‌ها را با قرار دادن در لوله و با رعایت یک فاصله مناسب بین این دو می‌توان انعطاف‌پذیر نمود [۱۱].

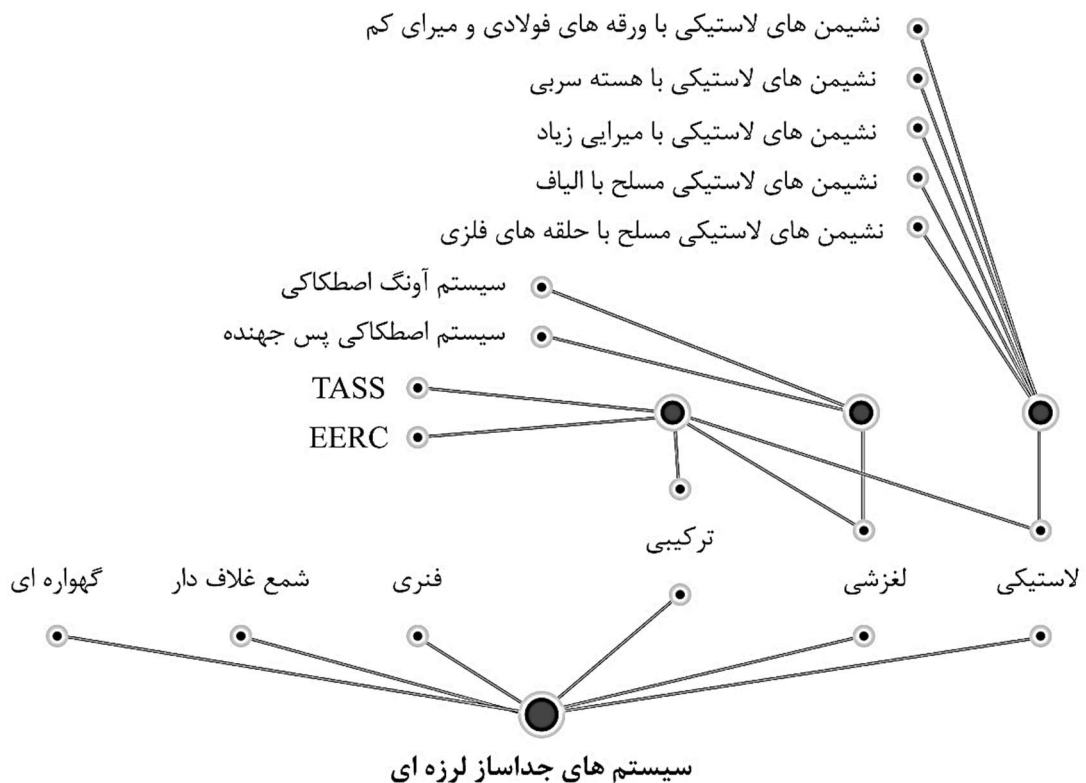
## ۵-۵-۲-۲ سیستم‌های گهواره‌ای

لنگرهای واژگونی به‌ناچار در سازه‌های بلند و باریکی که تحت بارگذاری ساختمان سنگین فوقانی خود قرار دارند، ایجاد شده و سبب تولید کشش در سطح پی می‌شوند. چاره‌ی کار آن است که

به ستون‌ها یا پایه‌های پل‌ها اجازه دهیم از روی پی به‌طور موقت بلند شوند. این نوع جداسازی نسبی سبب کاهش بارهای لرزه‌ای در کل سازه، به‌ویژه نیروهای کششی حاصله در ستون‌ها و پایه‌ها می‌شود.

از ایده‌ی فوق در یک پل راه‌آهن در نیوزلند استفاده شده است. پل رودخانه رانیتیکی جنوبی دارای پایه‌هایی به بلندی ۶۹ متر است که تحت بارگذاری لرزه‌ای، از سطح پی بلند می‌شوند. در داخل هر پایه، دو وسیله بزرگ مستهلک کننده انرژی قرار دارد که بر اساس پیچش ارتجاعی - خمیری میله ده ای فولادی نرم ساخته شده‌اند. این مستهلک کننده‌ها، در هنگام بلند شدن و نشست پایه‌ها، نیروی کنترل کننده‌ای به آن‌ها وارد می‌سازند [۱۱].

و در نهایت در یک جمع‌بندی کلی از آنچه در این بخش گفته شد، می‌توان انواع سیستم‌های جداساز را به صورت شکل زیر نمایش داد:



شکل ( ۲-۱۳ ) انواع سیستم جداساز لرزه‌ای



## ۳-۲ اندرکنش خاک و سازه

برای شبیه‌سازی رفتار دینامیکی سیستم اندرکنش خاک-سازه، روش‌های عددی و تحلیلی متفاوتی پیشنهاد شده است. راه‌حل‌های دقیق تنها از طریق فرمول‌های تحلیلی به دست می‌آیند. ولی با این حال، فرمول‌های تحلیلی برای بیشتر مسائل، به دلیل هندسه و ترکیب مکانیکی آن‌ها معمولاً پیچیده هستند و نیاز به تلاش فراوان دارند و معمولاً استراتژی مشخصی برای حل آن‌ها وجود ندارد، به همین دلیل کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. با یکسری فرض‌های ساده کننده می‌توان راه‌حل‌های ارزان‌تری به دست آورد. دقت آن‌ها بستگی به تفاوت بین مدل فیزیکی و فرمولاسیون ریاضی و مکانیکی آن‌ها دارد. مدل کردن خاک معمولاً به دو صورت محیط پیوسته و مدل ساده‌شده انجام می‌گیرد. مدل‌های محیط پیوسته معمولاً در حوزه فرکانس فرمول‌بندی می‌شوند و اجازه انتشار تا بی‌نهایت را می‌دهند، ولی مطلقاً خطی هستند. شبیه‌سازی مستقیم رفتار غیرخطی تنها در حوزه زمان امکان‌پذیر است. شبیه‌سازی رفتار غیرخطی در حوزه فرکانس، از طریق ترکیب فرمول‌بندی در حوزه زمان یا با روش‌های تقریبی توسط روش معادل خطی امکان‌پذیر است [۲۹].

### ۳-۲-۱ روش محیط پیوسته (مستقیم)<sup>۱</sup>

با استفاده از فرض‌های ریاضی می‌توان این روش را در ۳ گروه دسته‌بندی کرد که در ادامه به بیان آن‌ها پرداخته شده است.

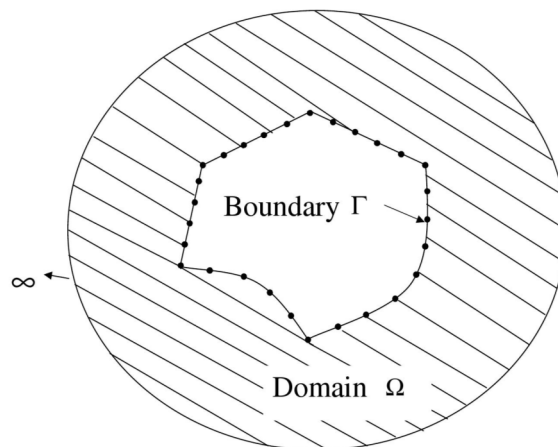
### ۳-۲-۱-۱ روش اجزای مرزی<sup>۲</sup>

در این روش فرمول‌بندی ریاضی برای محیط بی‌نهایت خاک صورت می‌گیرد. این فرمول‌ها معمولاً به صورت تحلیلی و تنها برای محیط‌های همگن به دست می‌آید. این روش تنها برای مسائلی

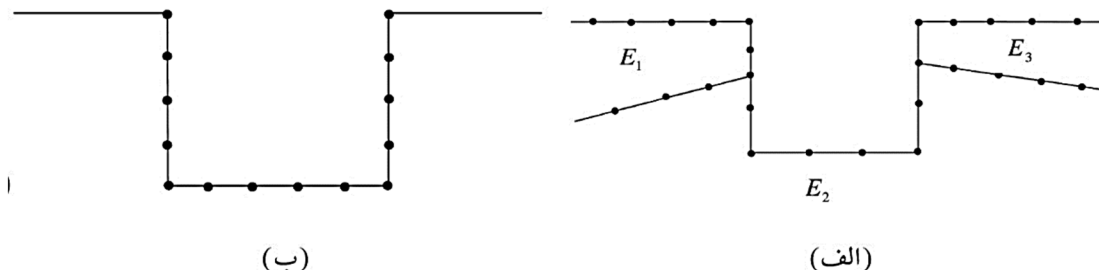
<sup>1</sup> Direct Method

<sup>2</sup> Boundary Element Method

که شامل نیم فضای همگن باشند مناسب است، چون مطابق شکل ( 2-14 ) در داخل نیم فضا تقسیم‌بندی نداریم و تنها در مرزها که جواب را به دست می‌آوریم تقسیم‌بندی نیاز است. عدم پیوستگی در مصالح می‌تواند در یک زوج ناحیه آغاز شود. اتلاف انرژی مصالح در فضای فوریه از طریق فرمول‌بندی میرایی هیستراتیک و یا در فضای لاپلاس توسط مدل کلوین چین<sup>۱</sup> انجام می‌شود. بیشتر فرمول‌بندی‌های براساس روش اجزای مرزی، تنها قادر به حل مسائل در نیم فضای همگن هستند. مطابق شکل ( 2-15 ) تنها یک روش که کی نیا در سال ۱۹۸۲ با استفاده از توابع گرین ارائه داده‌اند، می‌تواند در یک محیط لایه‌بندی شده انجام گیرد. محدودیت فرمول‌بندی کی نیا این است که روسازه نباید حضور داشته باشد [۲۹].



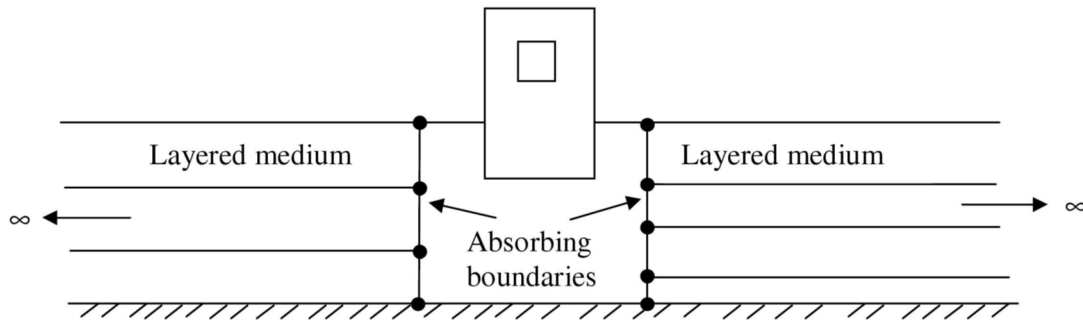
شکل ( ۲-۱۴ ) تقسیم‌بندی فضای بی‌نهایت در روش اجزای مرزی [۳۰]



شکل ( ۲-۱۵ ) (الف) تقسیم‌بندی ناحیه با چندین لایه غیرهمگن (ب) تقسیم‌بندی نیم فضا در روش اجزای مرزی [۳۰]

<sup>۱</sup> Kelvin Chain

روش تیر برشی خاک را توسط فرمول نیمه‌تحلیلی بیان می‌کند. اساساً این روش برای لایه‌های خاک روی یک بستر سخت، توسعه داده شده است. مطابق شکل ( 2-16 ) روش تیر برشی تنها نیاز به تقسیم‌بندی در یک جهت دارد. یک حل برای صفحات افقی موجود است. انتقال مرزها در حوزه فرکانس در یک ماتریس در مختصات صفحه‌ای و استوانه‌ای فرمول‌بندی شده است. در این روش یک محیط بی‌نهایت جانبی را فرض می‌گردد که می‌تواند با فرمول‌بندی ناحیه مرکزی تقسیم شده همراه شود. این راه‌حل در جهت افقی دقیق است اما بستگی به تقسیم‌بندی و فرض‌های در نظر گرفته‌شده در جهت قائم دارد. راه‌حل‌ها برای جابجایی ناشی از نیروی دینامیکی که در و یا بر محیط لایه‌بندی شده اعمال می‌شود، در حوزه فرکانس به دست آمده‌اند. رفتار لرزه‌ای ناشی از اینرسی روسازه، در جهت افقی با روش جرم متمرکز ( با فرض جسم صلب ) و بدون در نظر گرفتن مد گهواره‌ای شبیه‌سازی شده است [۲۹].



شکل ( 2-16 ) تقسیم‌بندی ناحیه در روش تیر برشی [۳۰]

<sup>1</sup> Thin Layer Method

## ۳-۱-۳-۲ روش اجزای محدود<sup>۱</sup>

روش اجزای محدود در مسائل دینامیک خاک و فونداسیون، دارای یک مرحله اضافی برای تعریف محیط خاک است. این روش نیاز به تقسیم‌بندی و تعریف المان‌های محدود در حجم مشخص از خاک دارد. این تقسیم‌بندی انرژی سیستم را محصور و مشخصات دینامیکی آن را از حالت طبیعی خارج می‌کند. برای حل آن، معمولاً روش اجزای محدود به همراه مرزهای انتقالی بکار گرفته می‌شود. نتایج این فرمولاسیون ترکیبی معمولاً به‌عنوان روش اجزای محدود دینامیکی نام برده می‌شود. مرزهای انتقالی انتشار امواج به داخل یک محیط نیمه بی‌نهایت را شبیه‌سازی می‌کنند و حوزه دور را در رفتار سطح آزاد بیان می‌کنند که از اندرکنش با دیگر سیستم‌های مکانیکی جدا شده است). در فرمولاسیون اصلی، مرزهای انتقالی به همراه حجم تقسیم‌بندی شده شامل فونداسیون و خاک اطراف می‌شد که در اندرکنش با سازه قرار داشت. بنابراین مرزها معمولاً دور از فونداسیون قرار داشتند، اما با استفاده از روش حجم انعطاف‌پذیر، که شامل تعریف کل ناحیه لایه‌بندی شده در یک فرم ریاضی می‌شد، دیگر نیاز به قرار دادن مرزهای انتقالی دور از فونداسیون نبود. سپس مرزهای انتقالی به تقسیم‌بندی‌های ساده‌ای وصل می‌شدند یعنی یک ستون قائم از المان‌های ۴ گرهی برای مسائل دوبعدی و یک ستون از المان‌های استوانه‌ای برای ترکیب با مدل‌های ۳ بعدی. فرمولاسیون این ناحیه تقسیم‌بندی شده به‌صورت تقریب‌های اجزای محدود بیان شده است. همین فرمول‌بندی برای هر گره خاک- فونداسیون تکرار می‌شود تا ماتریس سختی کل ناحیه لایه‌بندی شده به دست آید [۲۹].

## ۳-۲-۲ مدل‌های ساده‌شده<sup>۲</sup>

مدل‌های ساده‌شده شامل روش‌های نیمه تجربی و تخمین‌های مختلف می‌باشد، که به مدل‌های

<sup>1</sup> Finite Element Method

<sup>2</sup> Simplified Models

وینکلر یا تیر بر بستر ارتجاعی مربوط می‌شود. در این مدل‌ها اندرکنش خاک - سازه را به صورت حالت ساده شده استاتیکی وینکلر در فرمول‌های دینامیکی در نظر می‌گیرند. آن‌ها رفتار دینامیکی خاک روی فونداسیون را توسط گروهی از فنرها و دمپرها موازی در جهات افقی و عمودی در طول سطح فرض می‌کنند. محدودیت عمده‌ای که در این روش‌ها وجود دارد این است که محیط بی‌نهایت خاک معمولاً صرف نظر می‌شود و یا خیلی ساده در نظر گرفته می‌شود. برای بیان بهتر محیط خاک، فرمولاسیون آن را در حوزه فرکانس انجام می‌دهند. با این کار امکان تعریف پارامترهای وابسته به فرکانس (توابع امیدانس) برای فنر و دمپرها ایجاد می‌شود، ولی بیان رفتار غیرخطی خاک مشکل می‌گردد [۲۹].

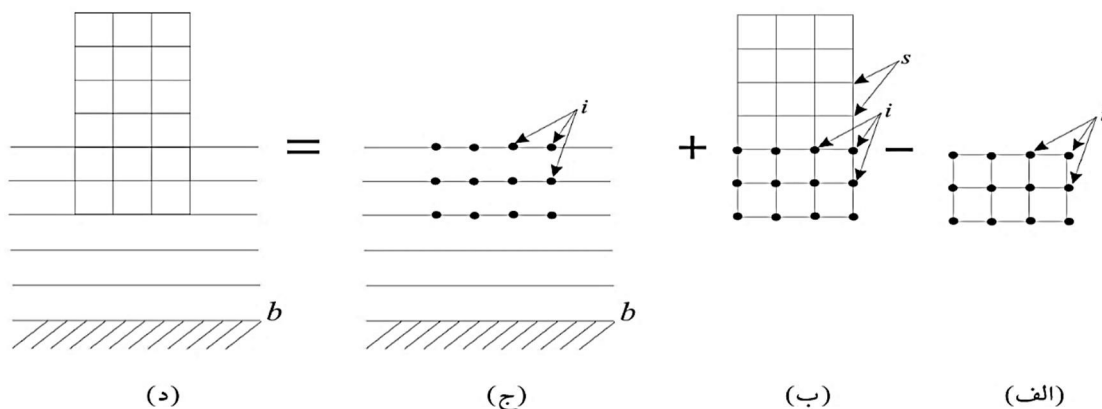
### ۳-۳-۲ روش زیر سازه<sup>۱</sup>

در مورد سازه‌های مدفون، سه زیر فضا برای مدل‌سازی عددی ساخته می‌شود:

۱. خاک اصلی بدون حضور سازه

۲. سازه

۳. خاک گودبرداری شده.



شکل ( ۲-۱۷ ) روش زیرسازه: (الف) خاک مدفون شده (ب) سازه (ج) نهشته‌های خاک (د) کل سیستم [۲۹]

<sup>1</sup> SubStructure Method

خود سازه دوباره به دو قسمت فونداسیون (که در زیر سطح زمین قرار گرفته) و روسازه (که روی سطح زمین قرار گرفته) تقسیم بندی می‌شود. اولین سیستم که خاک اصلی است، توسط تکنیک نیمه گسسته که بروش تیر برشی معروف است، بررسی می‌شود. سیستم‌های دوم و سوم که سازه و خاک گودبرداری شده می‌باشد، با روش اجزای محدود بررسی می‌شوند. این سه سیستم در نقاط اندرکنش (نقاط مشترک هر سه سیستم به هم متصل می‌شوند. به هم پیوستن این سیستم‌ها توسط روش حجم انعطاف‌پذیر صورت می‌گیرد [۲۹].

## ۲-۳-۴ نرم‌افزارهای موجود

نرم‌افزارهای مختلفی برای تحلیل مسئله اندرکنش خاک سازه وجود دارد. به‌طور کلی نرم‌افزارهای عمومی که بر مبنای روش اجزای محدود هستند، مثل Sap 2000, Ansys, Opensees, Abaqus, Diana و ... توانایی انجام تحلیل مسائل اندرکنش را دارند.

## ۲-۳-۴-۱ نرم‌افزار اپنسیس

اپنسیس نرم‌افزار عمومی برای حل مسائل سازه و خاک به روش اجزای محدود است. این نرم‌افزار می‌تواند مسائل خطی و غیرخطی را در محدوده زمان تحلیل کند. مسائل ژئوتکنیکی که نرم‌افزار اپنسیس قادر به حل آنهاست شامل موارد زیر می‌گردد :

### (۱) مسائل استاتیکی

- آنالیزهای تغییرشکلی در ۱، ۲ یا ۳ بعد

- حل مسائل مربوط به مسئله تحکیم

• اندرکنش خاک سازه

- فونداسیون‌های سطحی

- فونداسیون‌های شمعی (ظرفیت افقی و قائم)

(۲) مسائل دینامیکی

• آنالیز میدان آزاد

• مسائل روانگرایی

• اندرکنش خاک سازه ( پاسخ فونداسیون‌های شمعی، پایه‌های پل و یا سازه‌هایی که به‌طور

کامل در خاک مدفون هستند تحت تحریکات زلزله)

مواردی که برای تحلیل اندرکنش خاک سازه موردنیاز است:

(۱) المان‌های جامد برای مشخص کردن محیط خاک (پیوسته)

(۲) شرایط مرزی مناسب برای بیان درست مرزهای محیط خاک

(۳) مدل ترکیبی قوی برای بیان پاسخ تنش - کرنش خاک تحت شرایط بارگذاری یکنواخت و

سیکلیک

(۴) المان‌های سطح مشترک برای ضبط اندرکنش بین خاک و سازه‌های مجاور

کد این نرم‌افزار در دسترس عموم قرار دارد و می‌توان المان‌های موردنیاز خود را به صورت

اختصاصی برای آن بازنویسی کرد. به همین دلیل برای مسائل تحقیقاتی به‌طور گسترده استفاده

می‌گردد [۳۱].

این نرم افزار، نرم افزاری بسیار توانمند در حل مسائل سازه است که تا نسخه ۱۰ امکان تحلیل مصالحی چون فولاد، بتن و آلومینیوم و مشابه آن‌ها را داشته و برای مدل سازی خاک توانایی لازم را نداشت. در دو نسخه جدید این نرم افزار کلیه امکاناتی که برای مدل سازی محیط خاک و مطالعه آن تحت بارهای دینامیکی مورد نیاز است لحاظ شده است. به برخی امکانات این نرم افزار مثل قابلیت معرفی رفتار غیرخطی مصالح با معرفی منحنی تنش - کرنش، قابلیت معرفی میرایی داخلی مصالح به صورت اختصاصی و قابلیت محیط خاک با المان‌های حجمی می توان اشاره کرد [۳۲].

### ۲-۳-۴-۳ نرم افزار فلاش<sup>۱</sup>

نرم افزار فلاش برنامه تکمیل یافته نرم افزار لاش<sup>۲</sup> ۱۰ است که دارای قابلیت تحلیل پاسخ مختلط توسط روش اجزای محدود است. این برنامه توسط گروهی از مهندسين ژئوتکنیک، در انجمن مهندسی عمران دانشگاه برکلی توسعه می یابد. این نرم افزار رفتار غیرخطی خاک را توسط روش معادل خطی که توسط سید و ادريس در سال ۱۹۶۹ ارائه شده انجام می دهد [۳۳].

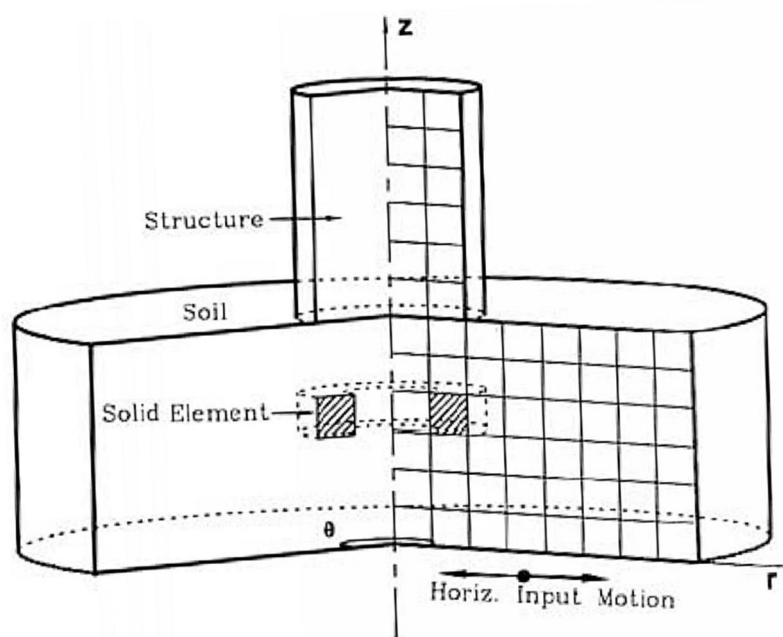
مدل اجزای محدود در این برنامه دوبعدی است. همانند شکل ( 2-18 ) برای در نظر گرفتن اثرات سه بعدی خاک می توان از مدل تقارن محوری استفاده نمود. برای تأمین میرایی تشعشعی، می توان از مرزهای ویسکوز استفاده نمود. همانند شکل ( 2-19 ) برای محدود نمودن ابعاد شبکه گسترده اجزای محدود، مرزهای انتقالی قابل استفاده است. برای مدل سازی خاک از عناصر ۴ گرهی و یا ۳ گرهی و برای مدل سازی سازه از عناصر خمشی استفاده شده است. تاریخچه زمانی زلزله ورودی روی بستر سنگی یا روی سطح آزاد خاک اعمال می شود. رفتار غیرخطی خاک تحت اثر حرکات

<sup>1</sup> FLUSH

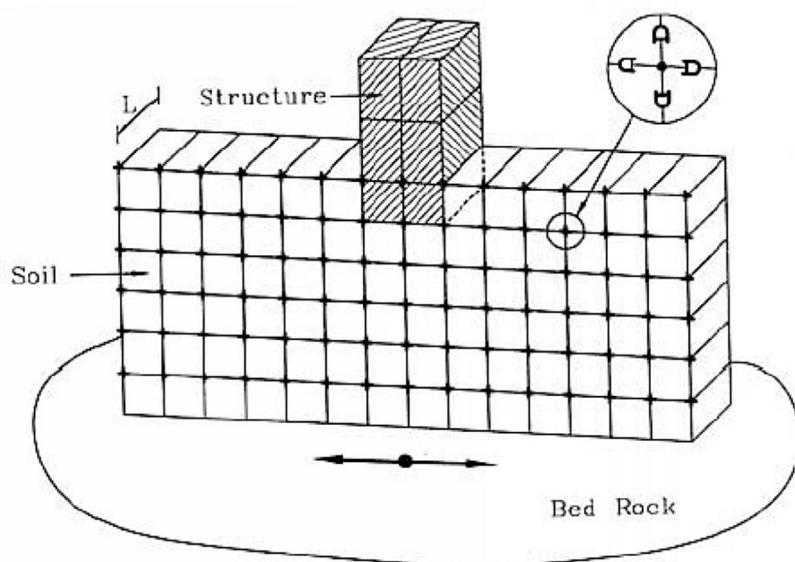
<sup>2</sup> LUSH



لرزه‌ای شدید با روش خطی معادل در نظر گرفته شده است [۳۴].



شکل ( ۱۸-۲ ) مدل تقارن محوری در نرم افزار فلاش [۳۴]



شکل ( ۱۹-۲ ) استفاده از مرزهای ویسکوز و انتقالی در نرم افزار فلاش [۳۴]

## ۴-۲ مروری بر سوابق و تحقیقات انجام شده

از آنجاکه مسئله دربرگیرنده موضوعاتی همانند سازه‌های جداسازی شده و اندرکنش خاک-سازه می‌شود و این موضوعات هر یک به‌تنهایی تاریخچه خاص خود را دارا می‌باشند، بنابراین مرور مطالعات هر یک به‌صورت کامل، مفصل و جدا در این فصل غیرممکن و خارج از حوصله آن می‌باشد. بنابراین سعی شده است خلاصه‌ای از موارد گاهاً مهم و ضروری که برای فهم تاریخچه‌ای موضوعات حیاتی است انتخاب و آورده شود. همچنین برای صرفه‌جویی در وقت، خواننده می‌تواند با نگاه به شکل‌های ارائه‌شده در این فصل خلاصه‌ای از مطالب گفته‌شده در هر بخش را به‌صورت آنی دریافت و در صورت لزوم برای دریافت اطلاعات کامل‌تر متن را مطالعه نماید.

## ۴-۲-۱ تاریخچه اندرکنش خاک و سازه و سازه‌های جداسازی شده

۴-۲-۱-۱ از سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۶۹

اگرچه ممکن است قبل از آن هم کارهایی به صورت پراکنده در ارتباط با اندرکنش خاک-سازه انجام شده باشد اما متن‌های علمی موجود نقطه آغاز مسئله اندرکنش خاک سازه را سال ۱۹۰۴ می‌دانند، زمانی که لمب مطالعاتی بر روی ارتعاشات یک فضای نیمه بی‌نهایت الاستیک خطی انجام داد. از آن‌پس بود که تحقیقات بسیاری بر روی مسئله اندرکنش خاک-سازه انجام پذیرفت [۳۵].

در اوت ۱۹۰۹، شخصی به نام ج.ا. کلانتارینتر<sup>۱</sup> در یکی از شهرهای انگلستان روش نوینی را برای ساختن بناهای مقاوم در برابر زلزله معرفی کرد. در این روش او نشان داد با استفاده از درزهای آزاد روغن کاری شده، شدت زمین‌لرزه در مناطق لرزه‌ای مختلف اهمیت خود را از دست می‌دهد. اما کار او اولین مورد از ارائه مفهوم سازه‌های جداسازی شده نبود. متون علمی نشان می‌دهد که در سال ۱۸۸۵

<sup>1</sup> Calantarients

مایلن در دانشگاه توکیو، با قرار دادن سازه روی گوی‌های چدنی و شمع‌های با لبه‌گرد را برای بهبود رفتار لرزه‌ای سازه پیشنهاد داده بود [۳۶]. همچنین در نیوزلند از سال‌ها قبل ساختمان‌هایی با این سیستم بنا شده بود. از آن‌پس محققان مختلف در کشورهای متفاوت تحقیقات وسیعی را در موضوع سازه‌های جداسازی شده انجام دادند.

در پاییز سال ۱۹۳۱، سویه هیرو<sup>۱</sup> یک سری مقاله در مورد زلزله‌شناسی مهندسی در آمریکا ارائه کرد. در یکی از این مقالات با عنوان "ارتعاش ساختمان‌ها در زلزله" او به بررسی پاسخ و مشاهده خسارت وارد به سه نوع سازه سخت، متوسط و ضعیف بر روی خاک‌های نرم (ماسه شل) و زمین سخت پرداخت. وی توضیح داد که چگونه یک سازه سخت به‌عنوان یک جسم صلب بر بستر زمین حرکت می‌کند و دچار خسارت کمی می‌گردد یا اصلاً خسارتی متحمل نمی‌شود. در مقابل، سازه‌های ضعیف که بر بستر سنگی قرار گرفته‌اند، خراب می‌شوند و یا حداقل خسارت می‌بینند. علت این پدیده می‌تواند به احتمال زیاد خمیری شدن سطح زمین در اثر نوسان فونداسیون باشد [۳۷].

در سال‌های ۱۹۳۵-۱۹۳۶، کنای<sup>۲</sup> و سزاوا<sup>۳</sup> در مورد اندرکنش خاک-سازه بر اساس انتشار امواج بحثی را آغاز کردند؛ ولی آن‌ها اصطلاح «اندرکنش خاک-سازه» را به کار نبردند. آن‌ها قصد داشتند «کاهش ارتعاشات لرزه‌ای ساختمان‌های معمولی و بلند را به وسیله اتلاف انرژی به داخل زمین» بررسی کنند [۳۸].

نخستین مورد استفاده از یک سیستم جداساز لاستیکی برای حفاظت از ساختمان‌ها در برابر زلزله، در سال ۱۹۶۹ در ساختمان سه طبقه بنتی یک مدرسه در اسکوپیه یوگوسلاوی می‌باشد. از جمله دیگر ساختمان‌های مهمی که این سیستم در آن‌ها استفاده شده است می‌توان تقویت ساختمان‌های شهرداری اوکلند و شهرداری سانفرانسیسکو در سال ۱۹۹۵ در آمریکا اشاره نمود که هر

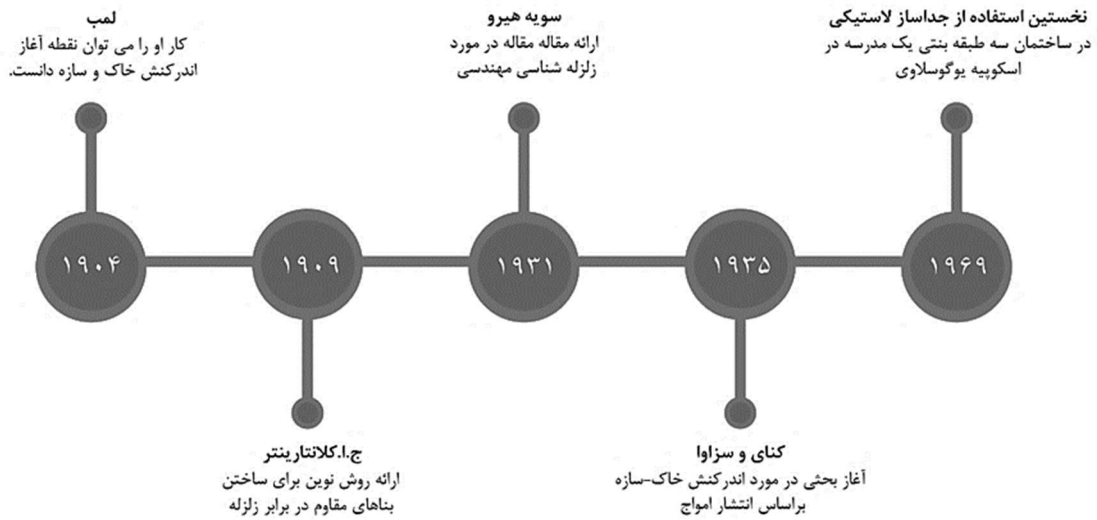
---

<sup>1</sup> Kyoji Suyehiro

<sup>2</sup> Kanai

<sup>3</sup> Sesawa

دو ساختمان در زلزله سال ۱۹۸۹ لوماپریتا آسیب دیده بودند [۳۹].



شکل (۲-۲) تاریخچه برخی از کارهای انجام شده از سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۶۹

۲-۱-۴-۲ از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰

در آمریکا آیین نامه مختلفی از سال ۱۹۸۶ مورد استفاده قرار می گرفت که به تدریج این آیین نامه ها روند تکاملی خود را طی کردند و سرانجام در سال ۱۹۹۱ آیین نامه<sup>۱</sup> UBC تحت عنوان " ضوابط طراحی لرزه ای برای سازه ها با جداسازی لرزه ای"<sup>۲</sup> ارائه شد. نگارش بعدی آیین نامه مانند نسخه سال ۱۹۹۴ و ۱۹۹۷ پیچیده تر از نسخه اولیه می باشد و عمداً بر مبنای روش های دینامیکی طراحی قرار دارند.

<sup>۱</sup> Uniform Building Code

<sup>۲</sup> Seismic design criteria for isolated structures

برخی پژوهشگران برای بررسی تأثیرات اندرکنش خاک-سازه مطالعات آزمایشگاهی را اجرا نمودند. برای مثال لوگو و همکارانش در سال ۱۹۸۸ برای بررسی تأثیرات اندرکنش خاک-سازه، آزمایش‌های میدانی را برای یک سازه بتنی تقویت‌شده‌ی ۹ طبقه، یعنی ساختمان کتابخانه‌ی میلیکان انجام دادند. این آزمایش‌های نشان داد که اندرکنش خاک-سازه تأثیرات معناداری بر خواص دینامیکی سازه داشته است.

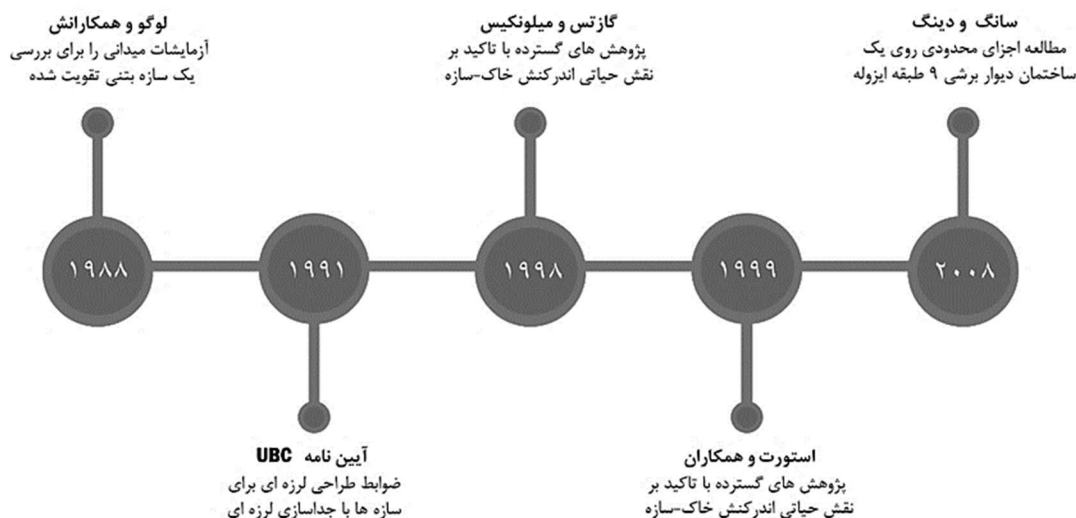
در پژوهش‌های گسترده نقش حیاتی اندرکنش خاک-سازه بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها به اثبات رسیده است. گازتس و میلونکیس در سال ۱۹۹۸ و استورت و همکاران در سال ۱۹۹۹ به صورت کاملاً واضح بر اهمیت نقش مهم اندرکنش خاک-سازه بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه تأکید کردند. آن‌ها به این باور دست پیدا کردند که در طراحی لرزه‌ای و آنالیز سازه‌ها باید اثر اندرکنش خاک-سازه را در نظر بگیرند.

در سال ۲۰۰۸ سانگ<sup>۱</sup> و دینگ<sup>۲</sup> یک مطالعه اجزای محدودی روی یک ساختمان دیوار برشی ۹ طبقه ایزوله انجام دادند. آن‌ها فرض کردند که خاک الاستیک باشد اما به این نتیجه رسیدند که اگرچه اندرکنش خاک و سازه تنها تأثیر کمی روی دررفت‌های طبقات داشت اما جابجایی جداساز می‌تواند تا حدودی بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از مقدار پیش‌بینی‌شده برای ساختمان ایزوله پایه ثابت و وابسته به ویژگی‌های زلزله‌های ورودی باشد [۶].

---

<sup>۱</sup> Z. Song

<sup>۲</sup> H.Ding



شکل ( ۲-۲۱ ) تاریخچه برخی از کارهای انجام شده از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸

۳-۱-۴-۲ از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶

اسپیراکوس و همکاران یک مدل کلاسیک بر اساس سیستم جرم متمرکز با دو درجه آزادی (نماینده سازه ایزوله) در نظر گرفتند که توسط یک سیستم دو درجه آزادی به نمایندگی از یک فضای الاستیک و شکل پذیر نیمه بی نهایت پشتیبانی می شود. یک مطالعه پارامتریک انجام و نتیجه گیری شد که پیروید و میرایی مؤثر سیستم ایزوله به ویژه برای خاک های نرم تر و سیستم های سازه ای سخت که وزن پایین تری دارند در مقایسه با خاک اطراف سازه تغییر خواهد کرد [۷].

در ایران نیز مطالعات زیادی جهت بررسی اثرات اندرکنش خاک - سازه بر پاسخ سیستم های سازه ای صورت گرفته است. به عنوان مثال طباطبایی فر و معصومی در سال ۲۰۱۰ ضریبی را معرفی کردند که با اعمال آن به حداکثر جابجایی های جانبی الاستیک سازه ای پایه ثابت بتوان جابجایی جانبی حداکثر سیستم اندرکنشی خاک و سازه ای معادل را تعیین کرد [۳۲].

همچنین در سال ۲۰۱۱ مرزبان تحقیقی تحت عنوان بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب و دیوار برشی بتنی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک - فونداسیون - سازه انجام گرفت که نتایج آن نشان می‌دهد فرض پای گیردار در خلاف جهت اطمینان برای طراحی و بهسازی سازه‌هاست.

در سال ۲۰۱۲ توسط اسنوب جورنسان<sup>۱</sup> تحت عنوان اثر اندرکنش خاک - سازه بر پاسخ ساختمان‌های کوتاه بتنی در حوزه نزدیک و دور ارائه شده است.

اندرکنش خاک و سازه مدت‌هاست که در طراحی نیروگاه‌های در معرض زلزله در نظر گرفته می‌شود [۴۰, ۴۱]. پلیتوپولوس و همکاران [۴۲] و ژوو و همکاران [۴۱] نشان دادند که اندرکنش خاک و سازه ممکن است پاسخ موده‌های غیرایزوله را تقویت کند و از این رو نباید نادیده گرفته شود.

سید و همکاران [۴۳] نشان دادند که یک مدل نیروگاه با جداساز پایه با توجه به فونداسیون شمع آن، پاسخ‌های بالاتری نسبت به مدل نیروگاه ایزوله بر روی زمین صلب تحت ورودی با پریود کوتاه نشان می‌دهد، در حالی که آن‌ها کمتر تحت پریود بلند زمین لرزه‌ها هستند.

رضایی فر و مهر پویا به شناسایی رفتار دینامیکی پل‌های جداسازی شده تحت زمین لرزه‌های حوزه نزدیک با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه پرداختند. نتایج تحلیل‌های آن‌ها نشان داد که جداسازی‌ها<sup>۲</sup> LRB افزایش نسبی جابجایی روسازه و کاهش جابجایی نسبی زیر سازه نسبت به جداساز الاستومری شده و تأثیر اندرکنش خاک و کوله را کم می‌کنند. از طرف دیگر جداسازی پل سبب کاهش نیرو و توزیع بهتر نیروی برشی بین کوله و پایه‌های میانی می‌گردد [۴۴].

شورستانی، سلطانی، قاسمی و اعتدالی به مطالعه پارامتریک سازه‌های جدا شده در پایه با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه پرداختند. آن‌ها سه نوع خاک شامل خاک نرم، خاک با سختی متوسط (خاک متوسط) و خاک سخت برای ارزیابی اثرات نوع خاک بر عملکرد لرزه‌ای سازه

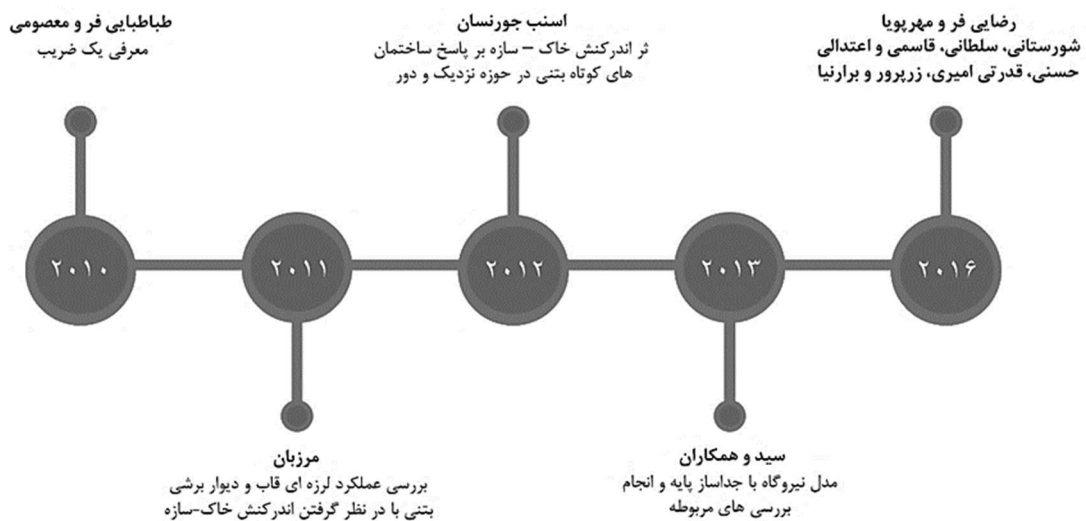
---

<sup>1</sup> J.Th.Snabjornsson

<sup>2</sup> lead rubber bearing

تحت چند زلزله ثبت شده معروف دنیا را در نظر گرفتند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که ضرورت در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه در ارزیابی لرزه‌های سازه‌های جدا شده در پایه بسیار مهم است [۴۵].

حسنى، قدرتى اميرى، زرپرور و برارنيا به مطالعه اثر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ ديناميکى ساختمان‌هاى بتنى مجهز به جداساز لرزه‌اى پرداختند. در اين مطالعه آن‌ها پديده اندرکنش خاک و سازه بر رفتار لرزه‌اى ساختمان‌هاى بتنى مجهز به جداساز لرزه‌اى موردبررسى قراردادند. به منظور مطالعه دقيق‌تر، چهار مدل سازه‌اى شامل ساختمان‌هاى ۳ و ۷ و ۱۰ و ۱۵ طبقه به عنوان نماينده ساختمان‌هاى متداول که توسط جداسازهاى هسته سربى LRB از زمين جدا شده‌اند و با در نظر گرفتن زمين‌هاى نوع II III IV مطابق طبقه‌بندى استاندارد ۲۸۰۰ (ويرايش سوم) مورد ارزيايى قرار گرفتند. نتايج نشان داد باتوجه به زمان تناوب سازه و نوع خاک ساختگاه، در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه بر رفتار لرزه‌اى ساختمان‌هاى جداسازى شده حائز اهميت مى‌باشد [۴۶].



شکل (۲-۲۲) تاريخچه برخى از کارهاى انجام شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶



همان‌طور که در موارد قسمت بیان شد، مطالعات در زمینه جداسازها و اثر اندرکنش خاک و سازه انجام شده است. با این حال مطالعات جامع‌تری لازم است تا در تعداد زیادی شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه و همچنین در گستره عظیمی از شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده رفتار خاک و سازه بر روی سازه‌های جداسازی شده مورد مطالعه و بررسی گردد و همچنین رفتار سازه جداسازی شده نسبت به رفتار سازه‌های پایه ثابت مشابه مورد مقایسه قرار گیرد. استفاده از یک شتاب‌نگاشت و تعداد کمی از آن‌ها، استفاده از نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰، عدم استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی و ... از موارد است که در مطالعات انجام‌شده درک جامع و مناسبی از رفتار سازه به محققان نمی‌دهد. از این‌رو نیاز به استفاده از نرم‌افزار اپنسیس و همچنین مواد کالیبره شده و المان‌های توسعه‌یافته آن توسط تعداد زیادی از محققان که مورد استفاده و بارها و بارها به دست آنها بهبود یافته و به همراه چند صد خط برنامه‌نویسی را در یک دستور خاص در اختیار محقق قرار می‌دهد راه را برای انجام یک مطالعه جامع‌تر در این زمینه مهیا می‌کند.

از این‌رو برای نیل به این هدف و انجام یک مطالعه جامع از رفتار سازه‌های جداسازی شده و مقایسه آن‌ها با سازه‌های پایه ثابت مشابه در این پژوهش انجام خواهد گرفت تا این اطلاعات مورد استفاده سایر محققان قرار گرفته و راه را برای انجام مطالعات جامع‌تر و تکامل این سیر مطالعاتی در زمینه بازنماید و به لطف خدا مؤثر واقع افتد.





### فصل ۳

### روش تحقیق

در این فصل در ابتدا جزئیات مدل‌سازی انجام‌شده بیان شده است، سپس در انتها روش تحلیل دینامیکی افزایشی به عنوان روش بکار گرفته‌شده برای سازه‌های مدل‌سازی شده به‌طور مشروح توضیح داده خواهد شد. از میان نرم‌افزارهای بیان‌شده در فصل قبل، نرم‌افزار اپنسیس برای انجام مدل‌سازی و تحلیل بکار گرفته شده است. نرم‌افزار اپنسیس یک نرم‌افزار اجزای محدود است که به وسیله مازونی<sup>۱</sup>، اسکات<sup>۲</sup>، کنا<sup>۳</sup> و فنوس<sup>۴</sup> تهیه شده و همچنان در حال توسعه است. این نرم‌افزار مجموعه کاملی از انواع المان‌ها، مصالح و روش‌های مختلف تحلیل است [۴۷].

نرم‌افزار اپنسیس به طور تخصصی در حوزه سیستم عملکردی خاک و سازه تحت زلزله طراحی شده و با این هدف از سال ۱۹۹۰ تاکنون در حال بررسی و توسعه می‌باشد.

مفاهیم اساسی برنامه اپنسیس با استفاده از مفسر این برنامه قابل توجیه است. مفسر یک فرم گسترش‌یافته از زبان متنی Tcl است. مفسر برای انجام عملیات تحلیل اجزای محدود دستورات لازم را به Tcl اضافه می‌کند.

### ۲-۳ زبان Tcl

Tcl (که مخفف عبارت "Tool Command Language" و یا زبان دستور ابزاری است معمولاً به جای TCL به صورت Tcl نوشته شده و به صورت تیکل تلفظ می‌شود.) یک زبان اسکریپتی است که توسط آقای جان استرهایت<sup>۵</sup> ابداع شده است.

---

<sup>1</sup> Mazzoni  
<sup>2</sup> Scot  
<sup>3</sup> Mc Kenna  
<sup>4</sup> Fenves  
<sup>5</sup> John Ousterhout

این زبان در عین اینکه یادگیری آن بسیار ساده می‌باشد از ویژگی‌هایی برخوردار است که آن را قدرتمند کرده است. از این زبان معمولاً برای پیش تعریف‌های سریع کاربردهای اسکریپتی، محیط‌های با رابط گرافیکی و عملیات آزمون و اشکال‌زدایی استفاده می‌شود.

برخی ویژگی‌های در این زبان به این صورت است که هر چیزی به صورت یک فرمان است، هر چیزی می‌تواند به صورت پویا تعریف مجدد یا بازنویسی شود، قواعد گرامری بسیار آسانی دارد، توسط زبان‌های C و C PLUS PLUS و Java توسعه می‌یابد، مستقل از بستر عمل می‌کند Win32، یونیکس، مک و ...، رابطه‌ی نزدیکی با ابزارهای با رابط گرافیکی همچون TK دارد و ... .

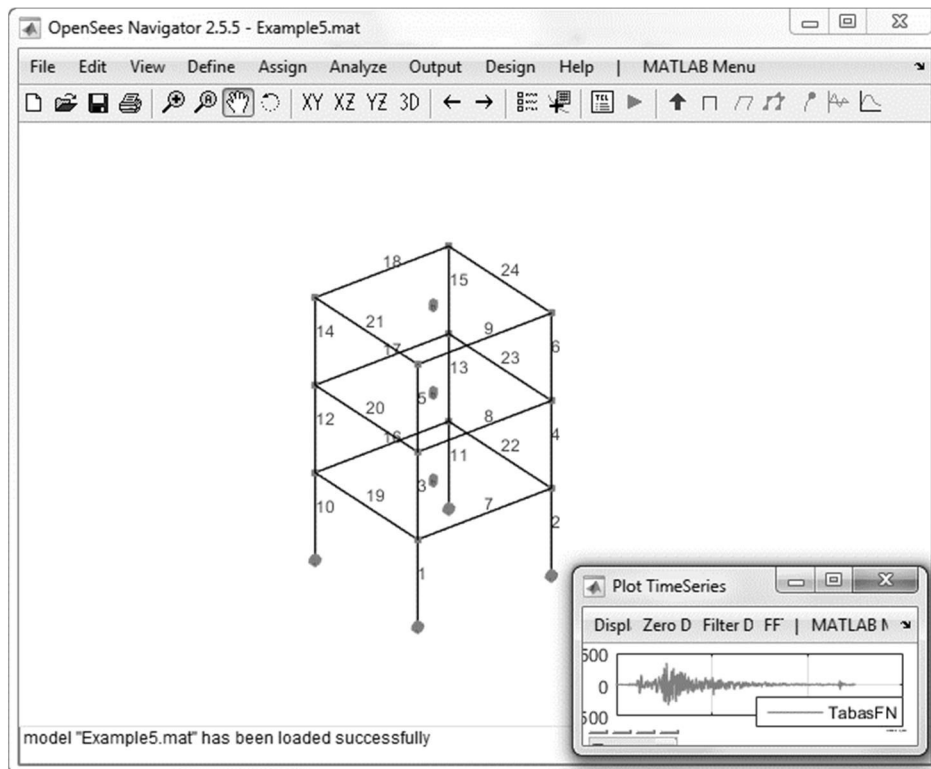
برای بیان دستورات اپنسیس از زبان متنی Tcl استفاده می‌شود یعنی از این دستورات می‌توان برای تعریف هندسه، بارگذاری، فرمول‌بندی و حل مسائل استفاده نمود.

### ۳-۳ معرفی برنامه OpenSees Navigator

این برنامه یک رابط گرافیکی برای کاربران می‌باشد که در آن می‌توانند پیش و پس پردازش‌هایی برای نرم‌افزار اپنسیس انجام داد. این برنامه در نرم‌افزار متلب نوشته شده است با این وجود به صورت مجزا نیز قابل اجرا می‌باشد. این برنامه روزبه‌روز در حال به‌روزرسانی و بهبود می‌باشد و برای دریافت آخرین نسخه منتشرشده می‌توان به وب‌سایت PEER مراجعه نمود.

برخی ویژگی‌های این برنامه می‌توان رابط کاربری انعطاف‌پذیر و کاربرپسند، امکان مشاهده هندسه مدل که کاربر آن را مدل‌سازی نموده، قالب‌های آماده برای مدل‌سازی‌های سریع، پایگاه داده‌ای از مقاطع فولادی AISC و CISC، چک‌های طراحی و سایر ابزارهای پس پردازش، استفاده از اپنسیس بدون فایل‌های برنامه‌نویسی Tcl، مشاهده نتایج تحلیل مدل‌ها مانند شکل مودها، جابجایی گرهی و نیروهای المان‌ها و ... را نام برد.

مدل‌سازی مراحل ابتدایی این پژوهش برای جلوگیری از روی دادن اشتباهات انسانی به دلیل تعداد بی‌شمار گره‌ها و المان‌ها و سایر موارد مدل‌سازی در این برنامه مدل گردید است و برای به حداقل رساندن اشتباهات مدل‌سازی، استفاده از این برنامه نیز به سایر محققان توصیه می‌گردد.

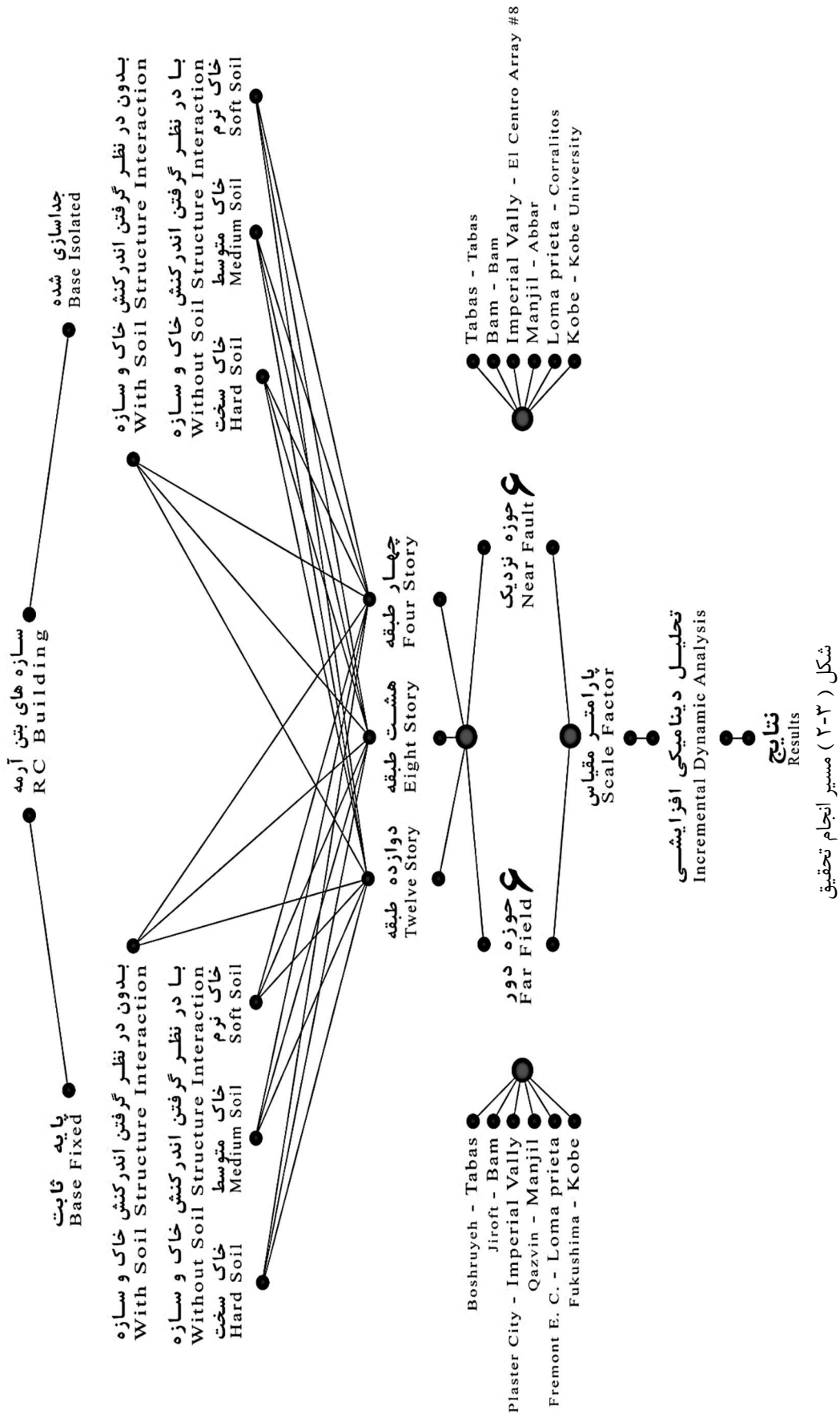


شکل (۳-۱) نمونه از رابط کاربری برنامه *opensees navigator* از *Openseeswiki*

### ۳-۴ مشخصات مدل‌سازی

#### ۳-۴-۱ شناخت مسیر

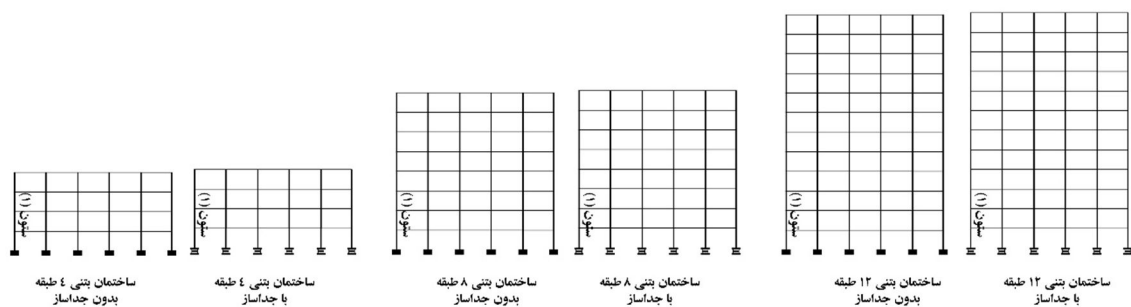
نحوه مدل‌سازی و مراحل انجام تحقیق در این پژوهش را می‌توان در چارتی دقیق همانند آنچه که در شکل (۳-۲) آمده است و برای درک بهتر از مراحل انجام کار ارائه نمود.



شکل ( ۲-۳ ) مسیر انجام تحقیق

### ۳-۴-۲ مدل عددی سازه

در این پژوهش ۶ نمونه قاب ساختمان بتنی ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با و بدون جداساز لاستیکی با هسته سربی، در نرم‌افزار OpenSees مدل گردید. سپس هریک از این ۶ قاب با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه مورد تحلیل قرار گرفتند. برای حالت با اندرکنش خاک و سازه سه نوع خاک نرم، متوسط و سخت در نظر گرفته شده است. سازه طراحی شده شامل ۵ دهانه ۵ متری با ارتفاع ۳٫۲ متری برای هر طبقه است. بار مرده و بار زنده مورد استفاده به ترتیب برابر ۶٫۴ و ۱٫۹۶ کیلو نیوتن بر مترمربع برای طبقات، ۵٫۹ و ۱٫۴۷ کیلو نیوتن بر مترمربع برای بام است. برای طراحی سازه از ACI 318 و سیستم قاب خمشی متوسط استفاده شده است.



شکل (۳-۳) قاب‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار OpenSees

جدول ۱ مشخصات مقاطع بتنی مورد استفاده در سازه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه را نشان می‌دهد.

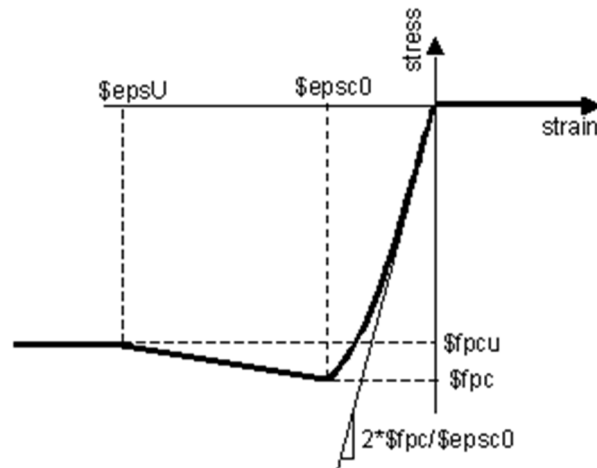
جدول (۱-۳) مقاطع بتنی مورد استفاده در سازه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه

طبقه ۴		طبقه ۸		طبقه ۱۲	
ستون‌ها	تیرها	ستون‌ها	تیرها	ستون‌ها	تیرها
C60X60,C45X45	B40X40	C75X75,C65X65	B45X45	C85X85,C70X70	B50X50
C40X40,C35X35	B30X30	C60X60,C55X55	B40X40	C60X60,C55X55	B40X40
		C50X50,C45X45		C50X50,C45X45	
		C40X40,C35X35			



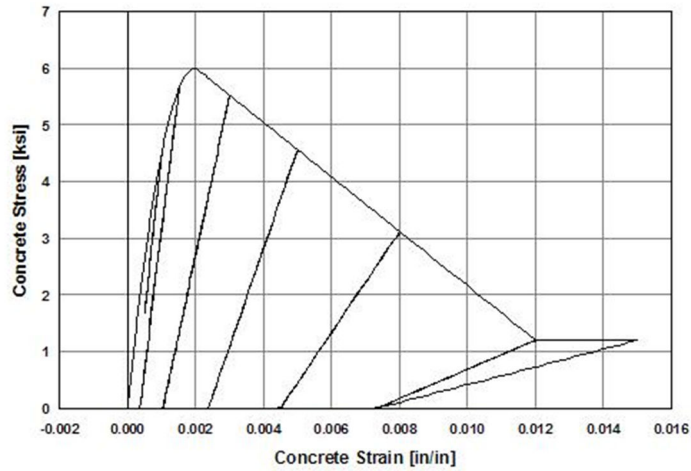
برای ساخت المان‌های تیرها و ستون‌ها در نرم‌افزار اپنسیس از دستور المان Force-Based Beam-Column استفاده شده است.

به تیرهای و ستون‌های بتنی مواد Concrete01 که نمودار تنش کرنش آن مطابق شکل (۴-۳) می‌باشد اختصاص یافته است. مصالح بتنی<sup>۱</sup> با مقاومت کششی صفر، که برای ساخت مصالح بتنی تک‌محوره کنت<sup>۲</sup>، اسکات<sup>۳</sup> و پارک<sup>۴</sup> با سختی باربری/بارگذاری که به صورت خطی کاهش یافته و مطابق با کار کارسان<sup>۵</sup> و جیرسا<sup>۶</sup> و شکل (۳-۵) می‌باشد. بتن با مقاومت فشاری ۲۴/۵ مگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۲ و مدول یانگ ۲۳ مگاپاسکال مورد استفاده قرار گرفته است.



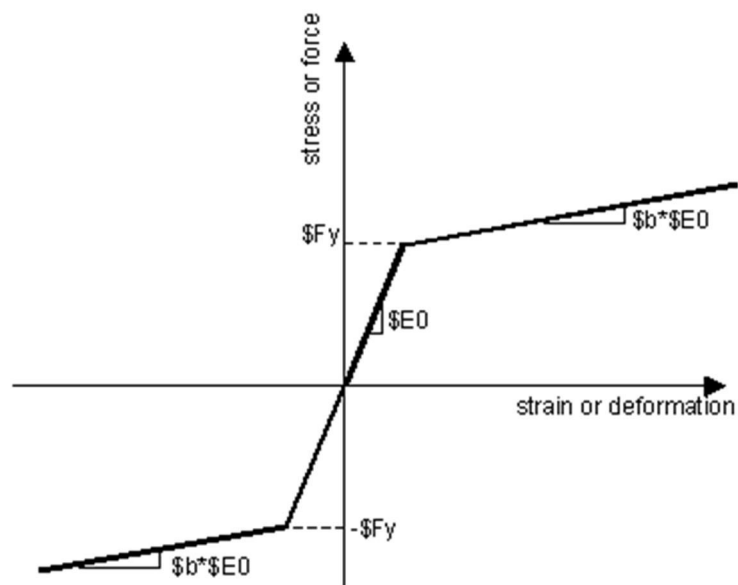
شکل (۴-۳) نمودار تنش - کرنش ماده Concrete01

- 
- 1 Concrete01 Material
  - 2 Kent
  - 3 Scott
  - 4 Park
  - 5 Karsan
  - 6 Jirsa



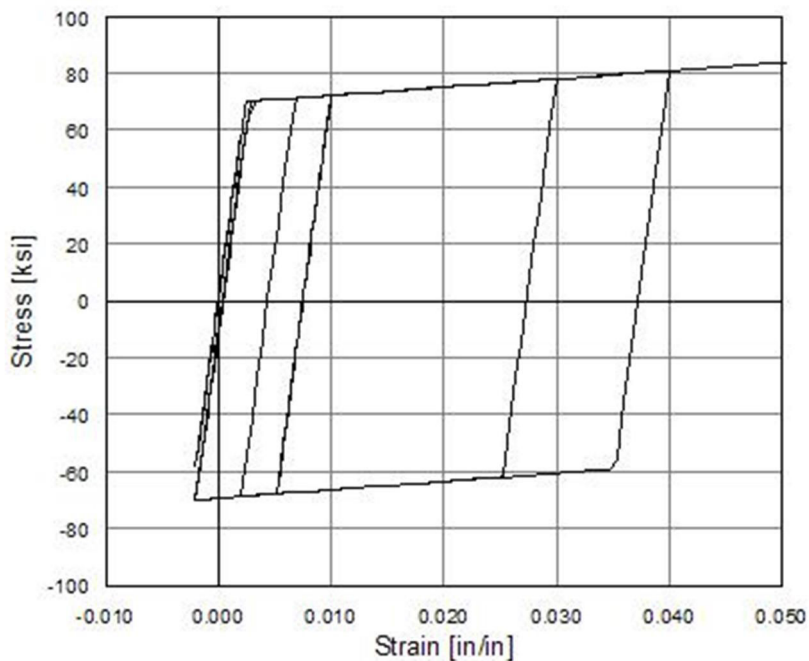
شکل ( ۳-۵ ) مدل رفتار چرخه‌ای تنش - کرنش بتن ۰۱

از مواد Steel01 برای مصالح فولادی که دارای نمودار تنش-کرنش مطابق شکل ( ۳-۶ ) است، استفاده گردیده است. میلگرد های طولی مقطع ۳ درصد، تنش جاری شدن ۳۳۸ مگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲E۵ مگاپاسکال برای تیر و ستون ها مورد استفاده قرار گرفته است.



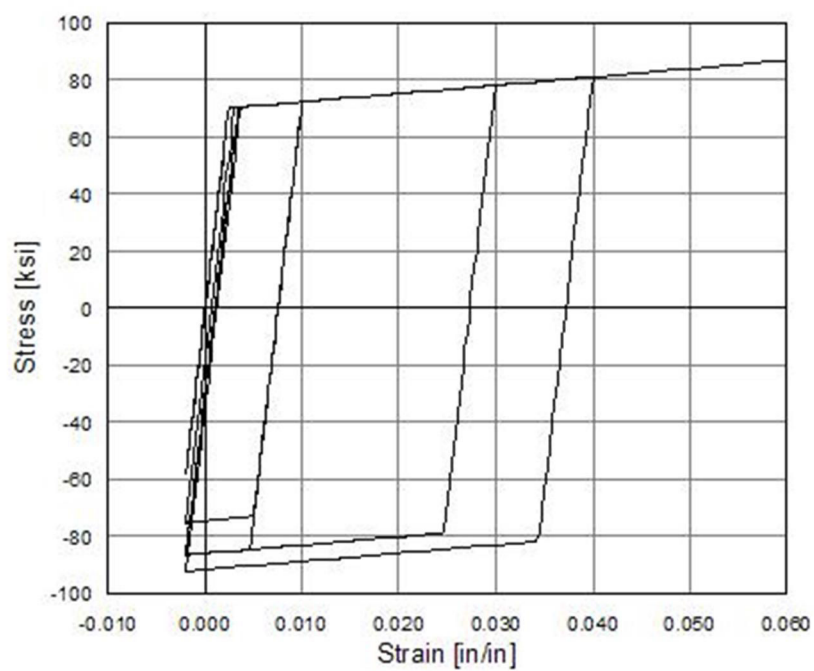
شکل ( ۳-۶ ) نمودار تنش - کرنش ماده Steel01

مصالح فولادی ۱۰۱ که برای ساخت مصالح فولادی تک‌محوره دوخطی با سخت‌شوندگی سینماتیک و سخت‌شوندگی ایزوتروپیک اختیاری که با یک معادله تکاملی غیرخطی توصیف می‌شود. همان‌طور که در شکل ( 7-3 ) مشاهده می‌گردد در حالت بدون سخت‌شوندگی ایزوتروپیک حلقه‌های هیستریزیس مساحتشان تقریباً ثابت می‌ماند اما در شکل ( 8-3 ) و شکل ( 9-3 ) مشاهده می‌گردد که در حالت‌های سخت‌شوندگی ایزوتروپیک در فشار و کشش مساحت حلقه‌های هیستریزیس در هر حلقه رو به افزایش است.

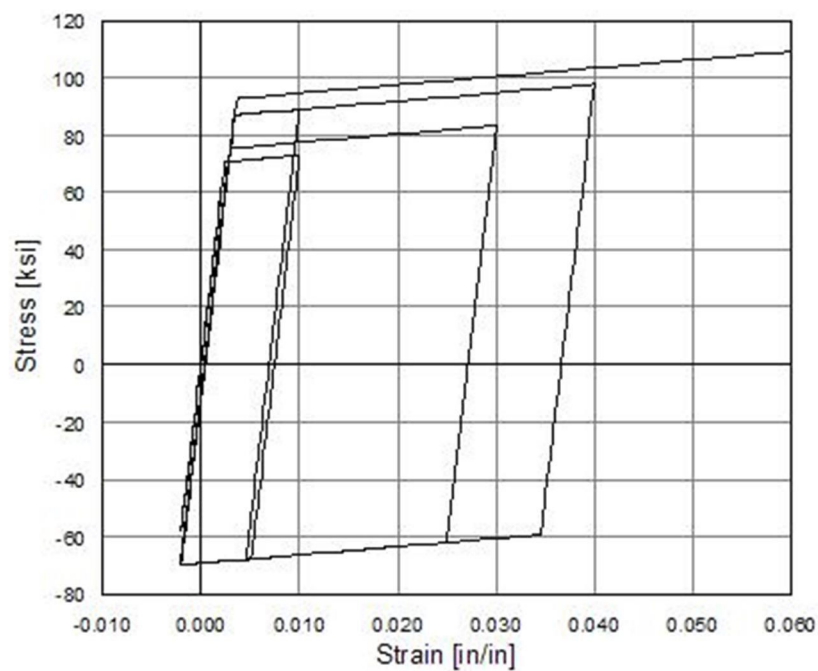


شکل ( ۷-۳ ) مدل چرخه فولاد ۰۱ بدون سخت‌شوندگی ایزوتروپیک

<sup>1</sup> Steel01 Material



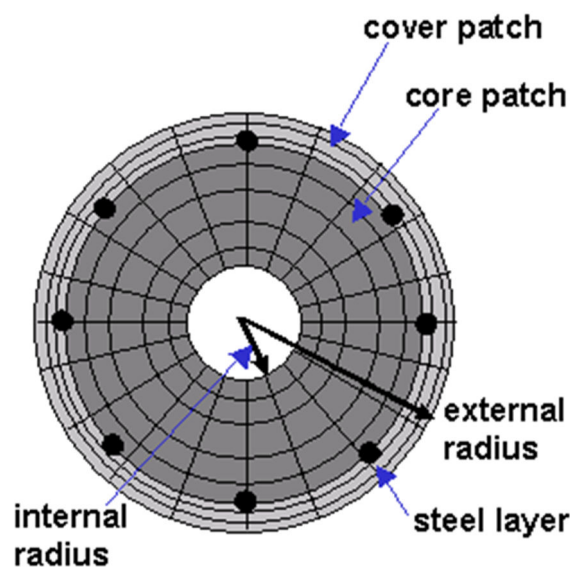
شکل (۸-۳) مدل چرخه‌ای فولاد ۰۱ با سخت‌شوندگی ایزوتروپیک در فشار



شکل (۹-۳) مدل چرخه‌ای فولاد ۰۱ با سخت‌شوندگی ایزوتروپیک در کشش

برای ساخت مقاطع از مقطع فایبر<sup>۱</sup> استفاده شده است. این مقطع یک شکل هندسی عمومی دارد که از نواحی با اشکال ساده تر و منظم تر مانند نواحی مستطیلی، دایروی و مثلثی تشکیل شده است. نواحی نام برده شده اصطلاحاً پچ<sup>۲</sup> نامیده می شوند. علاوه بر این سفره آرماتور مسلح کننده را نیز می توان با این مقطع تعریف کرد. زیر دستوره های پچ و لایر<sup>۳</sup> برای تعریف تقسیم بندی مقطع به فایبرها مورد استفاده قرار می گیرند. در روند ساخت مقطع فایبر از مصالح تک محوری استفاده می شود که فرضیه ها تیر برنولی را تحمل نماید.

پارامترهای هندسی با توجه سیستم مختصات محلی صفحه ای (y,z) تعریف می شوند. یک نمونه مقطع فایبر نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۰) نمونه ای از مقطع فایبر بتنی دایروی

دستور پچ چهارضلعی<sup>۴</sup> برای ساخت پچ با شکل چهارضلعی به کار می رود. هندسه پچ توسط

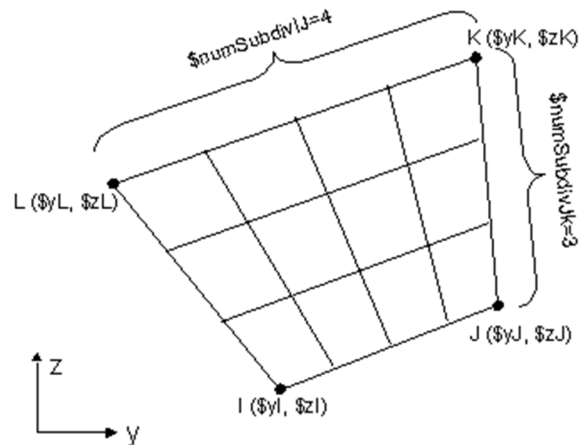
<sup>1</sup> Fiber section

<sup>2</sup> Patch

<sup>3</sup> Layer

<sup>4</sup> Quadrilateral PatchCommand

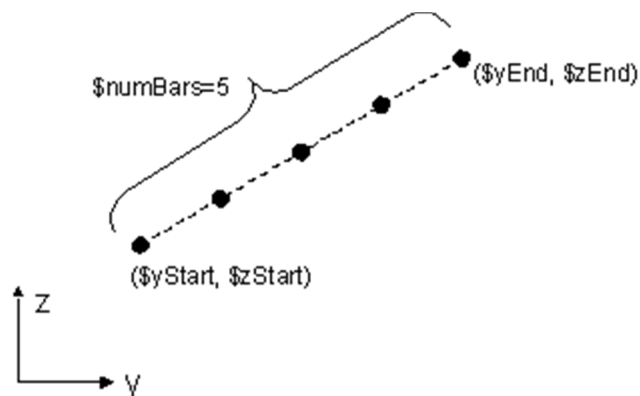
چهار رأس I، J، K و L آن طور که در شکل ( 3-11 ) نشان داده شده است، مشخص می شود. مختصات هر یک از این چهار رأس در جهت چرخش مثبت حول محور X تعریف می شود. در این شکل با توجه به برون سو بودن محور محلی X مختصات این چهار گره باید در جهت پات ساعت گرد تعریف شود.



شکل ( 3-11 ) نمونه ای از دستور پیچ چهارضلعی

دستور لایر مستقیم<sup>1</sup> برای ساخت لایر مستقیم از میلگردهای مسلح کننده استفاده شده است

(شکل ( 3-12 )).

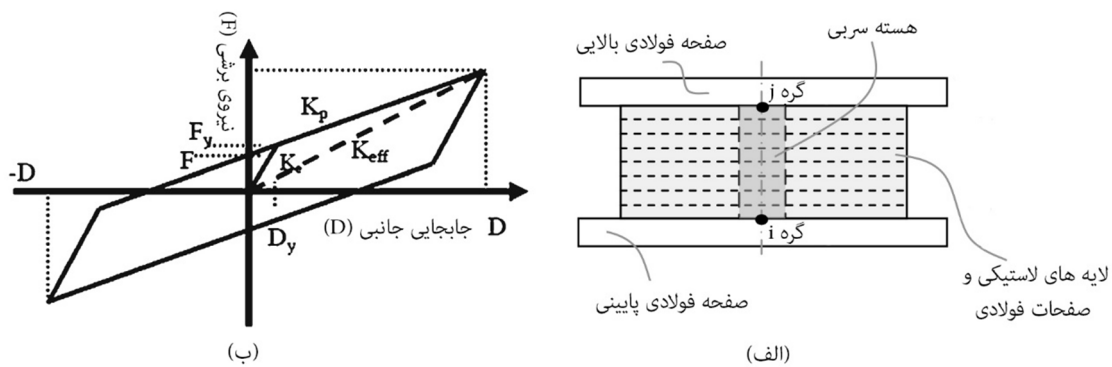


شکل ( 3-12 ) نمونه ای از دستور لایر مستقیم

<sup>1</sup> Straight Layer Command

### ۳-۴-۳ جداساز لاستیکی با هسته سربی (LRB)

برای مدل سازی جداساز لاستیکی با هسته سربی (LRB) در OpenSees در این پژوهش از المان Elastomeric Bearing استفاده شده است. این المان بر اساس پاسخ دوخطی نیرو-تغییر مکان (شکل ۲-ب) توسعه یافته و شامل سطح اندرکنش دایره‌ای برای نیروی برشی افقی است که به درجات آزادی باقی مانده آن، مواد تک‌محوره مجزا اختصاص یافته است. برای پارامترهای غیرخطی جداسازها از مقادیر طراحی ارائه شده توسط سازنده استفاده شده است.



شکل (۳-۳) مقطع عرضی جداساز لاستیکی با هسته سربی، (ب) نمودار نیرو-تغییر مکان ایدئال برای جداساز

جدول ۲ خصوصیات مکانیکی جداسازهای LRB را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۳) خصوصیات مکانیکی سیستم جداساز LRB [۴۸]

DD(m)	TD(s)	$\alpha$	Fy(KN)	QD(KN)	Kp(KN/m)	K1(KN/m)	Keff(KN/m)	مدل
۰/۲۹۵	۲/۵	۰/۰۸۶	۶۴/۷۵	۵۴/۵۵	۲۶۵/۶	۳۰۸۳/۲۲	۴۳۷/۴	۴ طبقه
۰/۳۲	۲/۷	۰/۱	۱۰۳/۶	۹۲/۴۶	۴۸۴/۵۹	۴۵۰۴/۵۹	۷۹۷/۹۳	۸ طبقه
۰/۳۵۴	۳	۰/۰۹۵	۱۴۷/۱۶	۱۳۳/۱۴	۵۶۰/۷۵	۵۸۸۶/۴	۹۲۳/۳۲	۱۲ طبقه

### ۳-۴-۴ اندرکنش خاک و سازه

قاب‌های مدل سازه در شکل با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه تحت اثر رکورد حوزه نزدیک و دور مورد تحلیل قرار گرفتند. برای انجام تحلیل سازه با اندرکنش خاک و سازه سه نوع خاک نرم، متوسط و سخت با خصوصیات زیر در نظر گرفته شد. هریک از سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه یعنی این سه نوع خاک معرفی شده و همچنین بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه یعنی حالت صلب مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

جدول (۳-۳) پارامترهای سه نوع خاک نرم، متوسط و سخت [۴۹]

نوع خاک	ضریب پواسون $\nu$	سرعت موج برشی $V_s, m/s$	چگالی $\rho, kg/m^3$	مدول الاستیسیته $E_s, 10^6 N/m^2$	چسبندگی $c, N/m^2$
نرم	۰/۲	۱۰۰	۱۷۵۰	۲۵	۲۵۰۰۰
متوسط	۰/۳۲۵	۲۰۰	۱۹۵۰	۵۰	۷۵۰۰۰
سخت	۰/۴	۳۰۰	۲۲۵۰	۱۰۰	۱۵۰۰۰۰

مطالعات زیادی برای معرفی مدل‌های تحلیلی اندرکنش خاک پی سازه انجام شده است که به‌طور کلی به سه دسته با نام‌های روش المان محدود، فرمولاسیون ماکرو مدل و روش‌های مبتنی بر وینکلر تقسیم می‌شوند. با توجه به سادگی ذاتی در کاربرد و راندمان محاسباتی، روش‌های مبتنی بر وینکلر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در این مطالعه برای در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه از روش تیر اصلاح‌شده برای پی غیرخطی وینکلر ( $BNWF^1$ ) بر اساس

<sup>1</sup> Beam on Nonlinear Winkler Foundation



کارهای آقای ریچودهاری<sup>۱</sup> استفاده شده است. این مدل می‌تواند اثرات اندرکنش خاک و سازه را در مسائل دوبعدی با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند که این شبیه‌سازی بر روی نرم‌افزار اپنسیس اجرا می‌شود.

مطابق این روش، می‌توان خاک را به صورت فنرهای قائم و افقی مدل کرد. در نرم‌افزار اپنسیس سه مدل فیزیکی جهت تعریف مدل وینکلر وجود دارد؛ ترکیب ماده الاستوپلاستیک کامل و المان گپ، ماده هیستریزیک و استفاده از مصالح QzSimple، PySimple و TzSimple که تمرکز در این پژوهش در مدل‌سازی خاک بر روی قسمت سوم می‌باشد. هر یک از این مواد را می‌توان جهت معرفی خاک استفاده نمود؛ اما چون مصالح QzSimple، PySimple و TzSimple همه این مواد را در خود دارند، کامل‌ترین نوع آن‌ها هستند.

### ۳-۴-۱ توصیف مدل BNWF

پی سطحی دوبعدی ساخته شده در اینجا به یک تیر الاستیک انعطاف‌پذیر که توسط تعداد فنرهای غیرخطی و مجزای وینکلر مورد حمایت قرار گرفته، مدل‌سازی شده است. تیر الاستیک با استفاده از المان‌های یک‌بعدی beam-column با سه درجه آزادی در هر گره برای ارائه بارها و تغییر شکل‌ها در جهت قائم، افقی و چرخشی مدل‌سازی شده است.

المان با طول صفر<sup>۲</sup> برای ساخت المان با طول صفر که کاربرد زیادی در مدل‌سازی‌ها دارد. این المان با دو گره در مختصات یکسان تعریف می‌شود که این گره‌ها برای ایجاد رابطه نیرو - جابجایی با مصالح تک‌محوری به یکدیگر متصل می‌شوند.

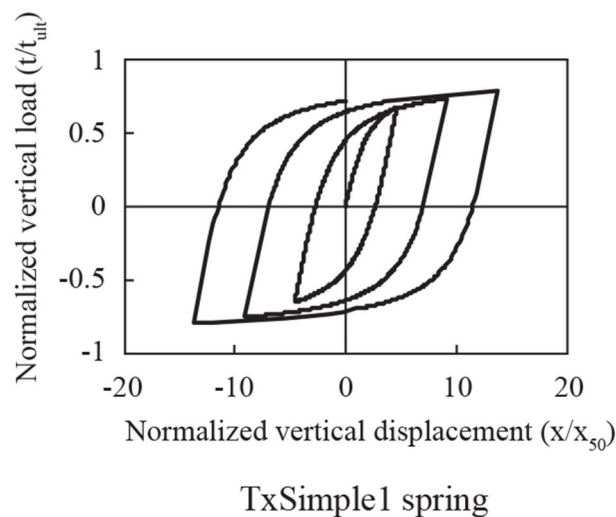
پارامتر تعریف المان با طول صفر در حالت دوبعدی و سه‌بعدی فرقی ندارد و همیشه به صورت سه‌بعدی نوشته می‌شود، در نتیجه برخلاف معمول که دوران حول محور z را در دوبعدی درجه آزادی

<sup>1</sup> Prishati Raychowdhury

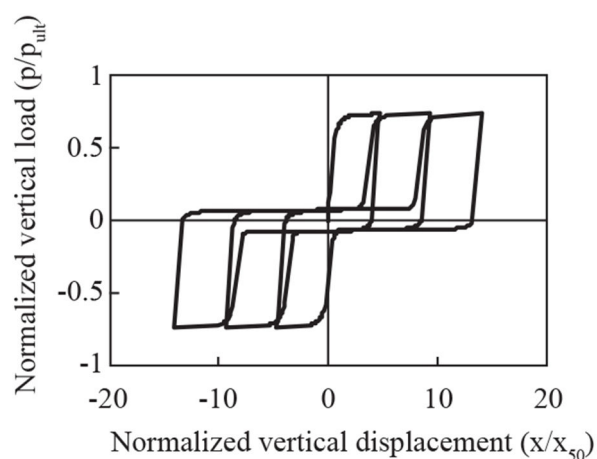
<sup>2</sup> Zero-Length Element

۳ می‌نامیم در مورد این المان در حالت استفاده دوبعدی دوران حول محور z درجه آزادی ۶ می‌باشد. فنرهای غیرخطی وینکلر نسبت به یکدیگر مستقل هستند و به صورت المان zeroLength یک‌بعدی در نرم‌افزار اپنسیس در نظر گرفته می‌شوند به گونه‌ای که این غیرخطی بودن با استفاده از ویرایش‌های مدل‌های اصلاح‌شده مواد Qzsimple1, PySimple1 و TzSimple1 توسط بولانگر اعمال شده است. این مواد براساس نتایج آزمایشگاهی پی سطحی انجام‌شده اصلاح‌شده‌اند. این المان‌ها رفتار بار قائم - جابجایی و رفتار بار فعال جانبی - جابجایی در مقابل وجه یک پی و رفتار برش افقی - لغزش در پایه پی را شبیه‌سازی می‌کنند.

نمودارهای چرخه‌ای این مواد در شکل (۳-۱۴)، شکل (۳-۱۵) و شکل (۳-۱۶) به ترتیب ارائه گردیده است.

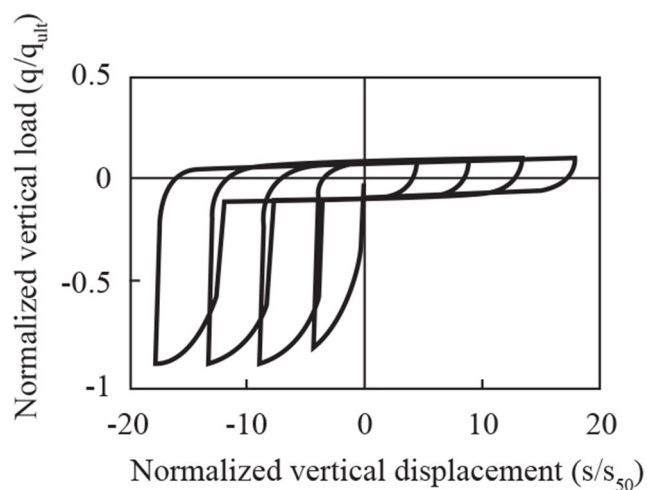


شکل (۳-۱۴) نمودار چرخه‌ای ماده TxSimple1 [۵۰]



PxSimple1 spring

شکل (۳-۱۵) نمودار چرخه‌ای *PxSimple1*



QzSimple2 spring

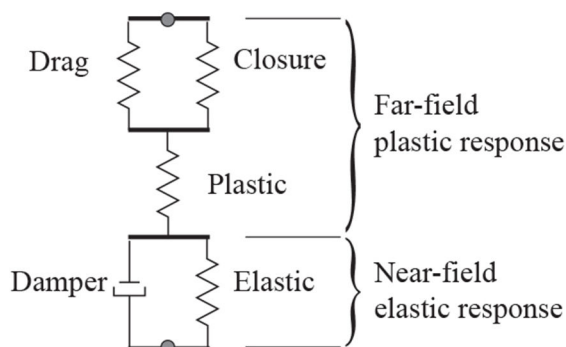
شکل (۳-۱۶) نمودار چرخه‌ای ماده *QzSimple2*

به‌طور ضمنی، به وسیله توزیع فنرهای قائم قرار داده شده در امتداد طول پی رفتار ممان-چرخش در نظر گرفته شده است. منحنی استقامت<sup>۱</sup> مدل‌های مواد اصلی به‌وسیله همانندسازی نتایج آزمایش‌های

<sup>۱</sup> backbone curves

بارگذاری شمع درجا کالیبره شده است. رفتار هیستریزیک این سه مواد به همراه چگونگی کالیبره کردن آن‌ها در [۵۱] به طور کامل توضیح داده شده است.

بر اساس شکل ب مدل‌های مواد QzSimple2، PxSimple1 و TxSimple1 در واقع یک مجموعه فنرهایی هستند که رفتار حوزه نزدیک و دور اندرکنش خاک و سازه را نمایش می‌دهند [۵۰]. جابجایی‌های دائمی وابسته شدن به رفتار حوزه نزدیک که به وسیله فنرهای پلاستیک در نظر گرفته شده است درحالی‌که مؤلفه‌های الاستیک میدان دور که شامل یک دمپر است میرایی شعاعی را در نظر می‌گیرد. همچنین مؤلفه شکاف تشکیل شده از کشش و بسته شدن فنر در QzSimple2 و PxSimple1 برای در نظر گرفتن جداشدگی پی-خاک وجود دارد.



شکل (۳-۱۷) مدل‌های مواد QzSimple2، PxSimple1 و TxSimple1

تمامی پارامترهای موجود در این مواد بر اساس آزمایش سانتریفیوژ و سایر آزمایش‌ها کالیبره شده است. معمولاً محققان برای نشان دادن صحت مطالعاتی که از این گونه مواد استفاده کرده‌اند، شکل‌ها و نمودارهایی از مثال صحت‌سنجی انجام‌شده توسط ریچودهای را ارائه کرده و یا بدون ارائه آن، محقق را به این مطالعات ارجاع می‌دهند.

### ۳-۵ تحلیل دینامیکی افزایشی<sup>۱</sup>

با گذشت زمان و مشاهده اینکه سازه‌های طراحی شده توسط مهندسان بر اساس آیین‌نامه‌های موجود در کشورها در هنگام رخ داد زلزله‌ها باز هم آسیب جدی می‌بینند و موده‌های آسیبی غیر از آنچه که آن‌ها در نظر داشته‌اند اتفاق می‌افتد، همواره به دنبال روش‌های تحلیلی دقیق‌تر بودند.

با گذشت زمان رشد قدرت پردازش کامپیوتری باعث یک محرکه مداوم به سوی روش‌های دقیق‌تر و دقیق‌تر در عین حال پیچیده‌تر را باعث می‌شدند. بنابراین، وضعیت به تدریج از تحلیل استاتیکی الاستیک به دینامیکی الاستیک، غیرخطی استاتیکی و در نهایت دینامیکی غیرخطی منتقل شده است و در حال حاضر همچنان ادامه دارد و محققان همواره به دنبال بهبود روش‌های تحلیلی هستند تا بتوانند رفتار سازه‌ها را در زلزله آتی بهتر پیش‌بینی نمایند.

در گذشته عرف به این صورت بوده است که یک تا چند رکورد مختلف اجرا کنند. هر بار از یک تا چند تحلیل "تک نقطه" که معمولاً برای چک کردن سازه طراحی شده استفاده می‌شده است، استفاده می‌کردند. با این وجود، روش‌هایی شبیه تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش آور و یا روش طیف ظرفیت به وسیله مقیاس کردن مناسب الگو نیروی استاتیکی پیشنهاد شد تا با این کار یک تصویر "پیوسته" به عنوان محدوده کامل از رفتار سازه محقق شود.

به‌طور مشابه، با عبور کردن از تحلیل استاتیکی تک به تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش آور افزایشی می‌توان از بسط یک تحلیل تاریخچه زمانی تک به نوع افزایشی آن رسید، به‌طوری‌که بارگذاری لرزه‌ای در این تحلیل جدید مقیاس شده است. مفهوم اولیه این تحلیل در اوایل سال ۱۹۹۷ توسط برترو ذکر شده است و به چندین شکل در کار تعداد زیادی محقق قرار گرفته است.

در این فصل روش دینامیکی افزایشی غیرخطی به‌عنوان روش بکار گرفته شده در این پایان‌نامه

---

<sup>1</sup> Incremental Dynamic Analysis

به طور مشروح توضیح داده شده و سپس جزئیات مدل سازی انجام شده و تحلیل دینامیکی

افزایشی بیان می شود.

### ۳-۵-۱ رکوردهای زلزله

همان طور که در جدول (۳-۴) و جدول (۳-۵) مشاهده می گردد در این پژوهش ۶ رکورد حوزه

نزدیک و ۶ رکورد حوزه دور که دارای مؤلفه های یکسان اما ایستگاه های متفاوتی بودند انتخاب گردید.

اگرچه به طور دقیق نمی توان فاصله مشخصی برای زلزله های نزدیک گسل تعریف نمود، اما

به طور قراردادی به جنبش های ثبت شده در فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر از محل گسیختگی و کانون

زلزله، نگاشت های نزدیک گسل نامیده می شود.

جدول (۳-۴) مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک

EQ6	EQ5	EQ4	EQ3	EQ2	EQ1	نام رکورد
Kobe	Loma prieta	Manjil	Imperial Vally	Bam	Tabas	
۶/۹	۶/۹۳	۷/۳۷	۶/۵۳	۶/۶	۷/۶۲	بزرگا
Kobe University	Corralitos	Abbar	El Centro Array #8	Bam	Tabas	ایستگاه
۰/۹	۰/۱۶	۱۲/۵۵	۰/۵۶	۱/۷	۱/۷۹	مسافت (km)
۰/۴۵۱	۰/۴۵۸	۰/۵۱۵	۰/۵۷۷	۰/۸۰۷	۰/۸۵۴	شتاب بیشینه زمین (g)

جدول (۳-۵) مشخصات رکوردهای حوزه دور

EQ12	EQ11	EQ10	EQ9	EQ8	EQ7	نام رکورد
Kobe	Loma prieta	Manjil	Imperial Vally	Bam	Tabas	
۶/۹	۶/۹۳	۷/۳۷	۶/۵۳	۶/۶	۷/۶۲	بزرگا
Fukushima	Fremont E. C.	Qazvin	Plaster City	Jiroft	Boshruyeh	ایستگاه
۱۷/۸۵	۳۹/۸۵	۴۹/۹۷	۳۰/۳۳	۶۹/۲۹	۲۸/۷۹	مسافت (km)
۰/۰۱۹۸	۰/۰۶۸	۰/۰۹۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴	۰/۱۰۵	شتاب بیشینه زمین (g)

### ۳-۵-۲ تحلیل دینامیکی افزایشی<sup>۱</sup>

این روش اولین بار در سال ۱۹۷۷ توسط برترو معرفی شد [۵۲]. او با ایده گرفتن از روش استاتیکی غیرخطی که در تحلیل استاتیکی با افزایش گام به گام نیروی جانبی پا را از محدوده ارتجاعی فراتر می گذارد، روش تحلیل دینامیکی افزایشی را مطرح کرد به گونه ای که در آن تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه چند بار انجام می شود و در هر یک از این تحلیل ها رکورد مورد نظر در مقیاس مشخصی ضرب می شود. با افزایش ضریب مقیاس در واقع میزان نیروی جانبی به صورت گام به گام افزایش پیدا می کند و در واقع تحلیل دینامیکی فزاینده انجام می شود.

مفاهیم این روش در سال ۱۹۷۷ توسط بروتو ادامه پیدا کرد و بعد از آن بسیاری از محققین روی این نظریه فعالیت نمودند که می توان به نام هایی چون لوکو و کرنل<sup>۲</sup>، بازورو و کرنل<sup>۳</sup> یان و فوچ<sup>۴</sup>، مهانی و دیرلین<sup>۵</sup>، ناسار و کراینکلو<sup>۶</sup> و سیچاریس و همکارانش را اشاره کرد [۵۳].

### ۳-۵-۱ پارامتر مقیاس<sup>۷</sup>

در ابتدا یک شتابنگاشت زلزله در نظر گرفته می شود، که این شتابنگاشت می تواند توسط زلزله شناسان یا مهندسين زلزله، مورد اعمال تصحیحاتی از قبیل تصحیح خط مبنا و عبور دادن از فیلترها قرار گرفته شده باشد. این پارامتر مربوط به یک شتابنگاشت مقیاس شده می باشد که یک

<sup>1</sup> Incremental Dynamic Analysis (IDA)

<sup>2</sup> Loco and Cornell

<sup>3</sup> Bazurro and Cornell

<sup>4</sup> Yon and Foutch

<sup>5</sup> Mehanny and Deierlein

<sup>6</sup> Nassar and Krawinkler

<sup>7</sup> Scale Factor

عدد مثبت مانند  $\lambda$  که در مقادیر شتابنگاشت اولیه ضرب شده و شتابنگاشت مقیاس شده را به دست می‌دهد. در این صورت شتابنگاشت جدید دارای مقادیر شتاب‌هایی خواهد بود که هرکدام به صورت  $\alpha = \lambda\alpha_1$  قابل تعریف می‌باشند. که  $\lambda = 1$  است، شتابنگاشت مقیاس شده همان شتابنگاشت اصلی می‌باشد. وقتی که  $\lambda < 1$ ، شتابنگاشت مقیاس شده مقادیری کمتر از شتابنگاشت اصلی به خود می‌گیرد و وقتی که  $\lambda > 1$  است، شتابنگاشت مقیاس شده مقادیری بیشتر از مقادیر شتابنگاشت اصلی به خود می‌گیرد.

این نوع مقیاس کردن ساده‌ترین روش مقیاس می‌باشد که هیچ‌گونه مفهوم مهمی از انرژی شتابنگاشت و تأثیر آن بر روی سازه مورد تحلیل را در بر نخواهد داشت، اما در حالت ایدئال‌تر باید شتابنگاشت طوری مقیاس شود که رابطه‌ی نسبی با مقدار خسارات وارده بر سازه را بیان نماید.

### ۳-۵-۳ شاخص شدت مقیاس حرکت زمین<sup>۱</sup>

شاخص شدت یا IM یک مقدار مثبت می‌باشد که تابعی از شتابنگاشت اصلاح‌شده و پارامترهای اصلاح (مقیاس) شتابنگاشت می‌باشد.

$$IM = f(\alpha_1, \lambda) \quad (۱-۳)$$

$\alpha_1$  : شتاب اصلاح‌شده

$\lambda$  : ضریب مقیاس

---

<sup>۱</sup> Intensity Measure



چون شدت یک زلزله به انواع مختلفی تعریف شده است، می توان یک زلزله را به انواع گوناگونی مقیاس نمود. برای مثال می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

بیشینه شتاب زمین (PGA)، بیشینه سرعت زمین (PGV)، شتاب طیفی برای مود اول ارتعاش سازه یا  $S_a(T_1)$ ، ضریب مقیاس که معادل عددی کاهش مقاومت (R) است، گشتار لرزه‌ای، مدت زمان لرزش، شدت تصحیح شده و مرکالی و... همه مواردی هستند که می توان از آن‌ها در پژوهش‌های مورد نظر و توسط محققان استفاده گردد.

در این پژوهش برای شاخص شدت مقیاس حرکت زمین از بیشینه شتاب زمین یا همان PGA استفاده شده و نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی بر اساس آن ترسیم گردیده است.

### ۱-۳-۵-۳ شاخص خسارت<sup>۱</sup>

همان طور که بیان شد تحلیل دینامیکی افزایشی شامل انجام یک سری تحلیل دینامیکی غیرخطی برای هر رکورد است. این رکوردها با مقیاس بندی چندین سطح از شدت زلزله که به طور مناسبی انتخاب شده‌اند، محدوده کاملی از رفتار مدل را به نمایش می گذارند.

هر تحلیل دینامیکی حداقل با دو کمیت مشخص می شود. اولین آن اندازه شدت (IM) است که همان طور که گفته شد ضریب مقیاس رکورد را نشان می دهد و دومین مورد هم مقیاس خرابی (DM) است که واکنش سازه‌ای مدل را نشان می کند (مثلاً نسبت انحراف بین طبقه‌ای بیشینه  $\theta_{max}$  یا نسبت بیشینه انحراف سقف  $\theta_{roof}$ ).

---

<sup>1</sup> Damage Measure

شاخص خسارت یک مقدار مثبت اسکالر است که مشخص کننده پاسخ یک سازه در برابر بارهای لرزه‌ای ورودی می‌باشد. به بیان دیگر DM، یک مقدار محاسبه شده است که می‌تواند یک قسمت از پاسخ سازه در تحلیل دینامیکی غیرخطی باشد.

شاخص‌های خسارت متعددی را می‌توان انتخاب کرد که از جمله آن‌ها به موارد ذیل اشاره نمود: برش پایه، چرخش گره‌ها، پیشینه شکل‌پذیری طبقات شاخص خسارت انرژی تغییر مکان نسبی طبقات و پیشینه مقادیر چرخش نسبی طبقات ( $\theta_{max}$ ) و ... هم موادی هستند که توسط محققان به عنوان شاخص خسارت می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

انتخاب یک DM مناسب بستگی به نوع سازه و مشخصات آن دارد به‌طور مثال اگر خسارت وارده به اجزا غیر سازه‌ای در یک قاب چندطبقه مورد مطالعه است یک انتخاب می‌تواند پیشینه شتاب مطلق طبقات باشد. در این مطالعه دریافت طبقات، برش پایه، جابجایی و شتاب بام به عنوان شاخص خسارت مورد بررسی انتخاب گردیده است.

### ۳-۵-۳-۲ منحنی *IDA* یگانه<sup>۱</sup>

منحنی *IDA* یگانه شامل مطالعه تحلیل دینامیکی یک سازه مشخص تحت سطوح مختلف بارهای لرزه‌ای می‌باشد یعنی در واقع تحلیل دینامیکی فزاینده یک سری تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی می‌باشند که برای سطوح مختلف مقیاس شده یک شتاب‌نگاشت انجام می‌شوند.

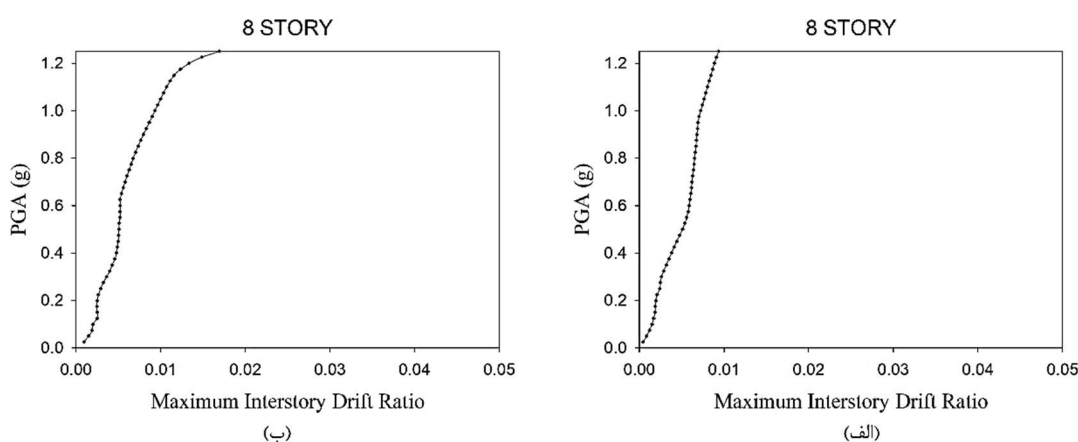
در اینجا هدف به دست آوردن DM ها یا شاخص خسارت در هر مرحله از تحلیل می‌باشد چراکه DM میزان خسارت وارده را به سازه را مشخص می‌کند. یک منحنی *IDA* مقادیر DM را برحسب یک یا چند شاخص شدت یا همان IM نشان می‌دهد. یک منحنی *IDA* می‌تواند به صورت دو

---

<sup>۱</sup> Single Record IDA

یا چندبعدی که حالت چندبعدی بسته به تعداد IM ها است، رسم شود.

در هر منحنی IDA محور افقی بیان کننده شاخص خسارت (DM) و محور قائم مشخص کننده شاخص شدت تحریک زلزله (IM) می باشد. به عنوان مثال دو منحنی تحلیل دینامیکی افزایشی یگانه نشان داده شده در شکل (3-18) که در آن شاخص شدت در ۵۰ گام مقیاس شده و مربوط به سازه جداسازی شده و زلزله طبرس است که در آن جداساز در سطح زیرین طبقه اول قرار گرفته است.

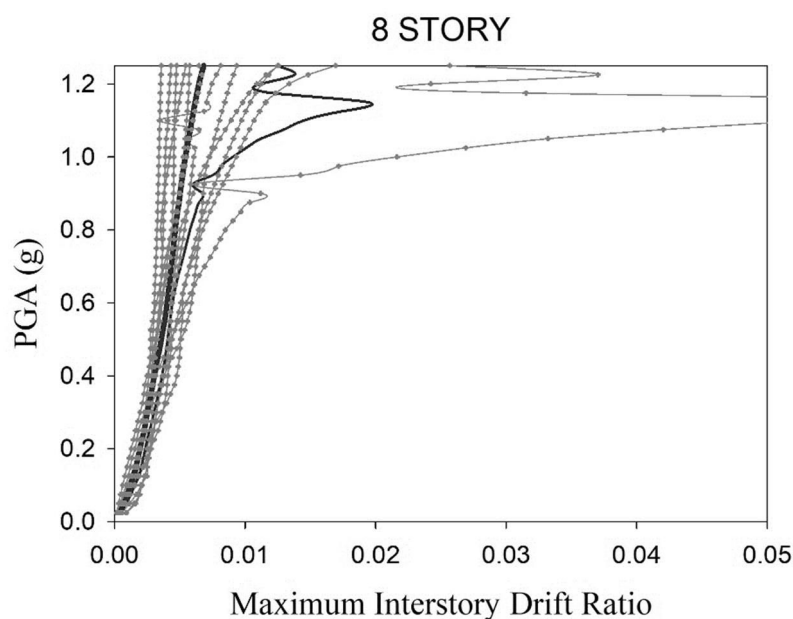


شکل (3-18) منحنی تحلیل دینامیکی افزایشی یگانه تحت اثر رکوردهای حوزه الف) نزدیک ب) دور [۱]

### ۳-۳-۵-۳ منحنی IDA چندگانه

همان طور که آشکار است، یک منحنی IDA یگانه که مربوط به یک شتابنگاشت می باشد، نمی تواند به تنهایی رفتار یک سازه را در زلزله احتمالی پیش بینی نماید. یک منحنی IDA یگانه تا حد زیادی وابسته به شتابنگاشت مربوطه می باشد. پس یک سری شتابنگاشت لازم است تا بتوان به صورت آماری، خصوصیات تعداد زیادی شتابنگاشت را در پاسخ سازه وارد کرد. یک منحنی IDA چندگانه، یک استنتاج از یک سری منحنی های یگانه IDA بوده که مربوط به تحلیل یک سازه می باشد.

به عنوان مثال شکل ( 3-19 ) نمودار تحلیل دینامیکی چندگانه به همراه میانگین پاسخ‌های رکوردهای حوزه نزدیک و دور را برای زمانی که جداساز در ساختمان هشت طبقه در سطح زیرین طبقه اول است را نشان می‌دهد.



شکل ( ۳-۱۹ ) نمودار تحلیل دینامیکی چندگانه به همراه میانگین پاسخ‌های تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه حوزه نزدیک و دور [۱]

پس از آشنایی با مفاهیم و چگونگی مدل‌سازی همان‌طور که در این فصل مشاهده گردید، در فصل آینده به ارائه و بررسی نتایج به دست آمده پرداخته خواهد شد.



## فصل ۴

### بررسی و تحلیل نتایج

پس مدل سازی و انجام تحلیل دینامیکی افزایشی در این فصل به ارائه نتایج پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی افزایشی علاوه بر ارائه به صورت نمودارهای تحلیل دینامیکی، جداولی برای درک بهتر در هر بخش ارائه گردیده است. در قسمت توضیحات در هر بخش به دلیل استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی و گستره عظیم داده‌های عددی به دست آمده، از توضیح تک تک مواردی که در جداول و نمودارها آورده شده است، جلوگیری شده و تنها مواردی که مهم بیان گردیده و از تکرار موارد مشابه صرف نظر شده است. یکی از دلایل برای این کار جلوگیری از تکرار برخی موارد بود. همچنین توضیح و بیان تک تک موارد و اعداد موجود در جداول خارج از حوصله این فصل می باشد.

نتایج مورد بررسی در این بخش در چهار دسته شامل ماکزیمم دریفت طبقات، ماکزیمم برش پایه، ماکزیمم جابجایی بام و ماکزیمم شتاب بام طبقه بندی شده است.

## ۲-۴ نتایج

تفسیر نتایج در این پژوهش به سه صورت انجام خواهد شد:

- ۱- افزایش یا کاهش پاسخ در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در خاک‌های مختلف و حالت صلب در سه شتاب بیشینه زمین انتخابی
- ۲- افزایش یا کاهش پاسخ در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت در خاک‌های مختلف نسبت به حالت صلب در سه شتاب بیشینه زمین انتخابی
- ۳- بر اساس منحنی‌های تحلیل دینامیکی افزایشی و در شتاب‌های بیشینه مختلف زمین

#### ۴-۲-۱ ماکزیمم دریافت طبقات

به دلیل عملکرد رفتاری سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت این گونه به نظر می‌رسد که می‌بایست ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده بیشتر از سازه‌های پایه ثابت باشد. از این رو بر همین اساس با بررسی پاسخ‌ها در حالت بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، یعنی در حالت صلب می‌توان همین نتیجه دست یافت. در حالت صلب و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، در سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه همواره در سه شتاب بیشینه زمین مورد بررسی ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده بیشتر از سازه‌های پایه ثابت بوده است.

اما این نتیجه همیشه حاکم نبوده به گونه‌ای که با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه دیگر این نتیجه را در بیشتر موارد نمی‌توان مشاهده نمود. همان‌طور که در جدول (۴-۱)، جدول (۴-۲) و جدول (۴-۳) مشاهده می‌شود، در خاک نرم و متوسط و در سازه ۴ طبقه در سه شتاب بیشینه زمین انتخابی همواره میانگین ماکزیمم دریافت دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده کمتر از حالت پایه ثابت مشابه می‌باشد.

جدول (۴-۱) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین - ساختمان چهار طبقه

درصد افزایش ماکزیمم/کاهش دریافت طبقه اول در سازه جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در						رکوردها	PGA		
خاک سخت		خاک متوسط		خاک نرم				حالت صلب	
▲	٪ ۱۲/۷	▼	٪ ۸/۵	▼	٪ ۱۴/۲	▲	٪ ۲۵۵	حوزه نزدیک	0.4G
▼	٪ ۴/۴	▼	٪ ۱۹/۳	▼	٪ ۲۴	▲	٪ ۲۲۷/۱	حوزه دور	
▲	٪ ۲/۳	▼	٪ ۱۵/۹	▼	٪ ۱۷/۱	▲	٪ ۲۸۲/۷	حوزه نزدیک	0.6G
▼	٪ ۴/۱	▼	٪ ۲۷/۴	▼	٪ ۴۰/۵	▲	٪ ۲۴۹/۵	حوزه دور	
▲	٪ ۱۲/۲	▼	٪ ۱۷	▼	٪ ۳۸/۷	▲	٪ ۳۸۴/۷	حوزه نزدیک	0.8G
▲	٪ ۲۸/۳	▼	٪ ۴/۹	▼	٪ ۳۹/۳	▲	٪ ۳۵۷/۸	حوزه دور	

با افزایش تعداد طبقات از چهار به هشت دیگر در خاک نرم و متوسط همواره کاهش میانگین ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به حالت پایه ثابت نداریم بلکه این نسبت در برخی موارد در شتاب‌های بیشینه مربوطه کاهش و در برخی موارد دیگر افزایش می‌یابد. باین حال با افزایش تعداد طبقات به دوازده طبقه همواره میانگین ماکزیمم دریافت طبقه اول در حالت جداسازی شده بیشتر از حالت پایه ثابت مشابه بوده و دوباره همان نتیجه اولیه حکم‌فرما خواهد شد.

جدول (۲-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین - ساختمان هشت طبقه

درصد افزایش ماکزیمم/کاهش دریافت طبقه اول در سازه جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در	رکوردها				PGA
	حالت صلب	خاک نرم	خاک متوسط	خاک سخت	
حوزه نزدیک	▲ % ۱۵۰/۳	▼ % ۱۸/۴	▼ % ۲۳/۳	▲ % ۲/۱	0.4G
	▲ % ۱۲۷/۴	▼ % ۲۲/۸	▼ % ۳۲	▼ % ۱۲/۷	
حوزه نزدیک	▲ % ۱۳۴/۷	▼ % ۴۴	▼ % ۱۷/۷	▼ % ۲/۴	0.6G
	▲ % ۱۷۸/۹	▼ % ۲۴	▼ % ۱۹/۲	▲ % ۱/۳	
حوزه نزدیک	▲ % ۱۹۱/۳	▼ % ۴۸/۱	▼ % ۲۶/۶	▼ % ۱/۹	0.8G
	▲ % ۴۰۱/۱	▲ % ۳۳/۱	▲ % ۳۴	▲ % ۱۳۴/۲	

جدول (۳-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین - ساختمان دوازده طبقه

درصد افزایش ماکزیمم/کاهش دریافت طبقه اول در سازه جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در	رکوردها				PGA
	حالت صلب	خاک نرم	خاک متوسط	خاک سخت	
حوزه نزدیک	▲ % ۳۶۵/۱۹	▲ % ۴۷/۷	▲ % ۹۵/۵	▲ % ۱۴۹/۳	0.4G
	▲ % ۴۰۶	▲ % ۶/۴	▲ % ۶۹/۷	▲ % ۱۳۲/۸	
حوزه نزدیک	▲ % ۳۶۹/۶	▲ % ۳۰/۱	▲ % ۷۶/۸	▲ % ۱۲۸/۵	0.6G
	▲ % ۵۶۵/۵	▲ % ۱۵/۳	▲ % ۸۳/۲	▲ % ۱۶۵/۶	
حوزه نزدیک	▲ % ۴۸۵/۵	▲ % ۳۵/۳۴	▲ % ۹۶/۳	▲ % ۱۵۷	0.8G
	▲ % ۱۱۴۰/۳۹	▲ % ۱۰۰/۶	▲ % ۲۲۴	▲ % ۳۸۰	



در پایان می‌توان نتیجه اولیه را به این صورت کامل نمود که در حالت بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در تمام سازه‌های کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه همواره میانگین ماکزیمم دریافت طبقه اول بیشتر از سازه‌های پایه ثابت مشابه آن است که این نتیجه برای سازه‌های بلندمرتبه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در خاک‌های نرم، متوسط و سخت نیز همواره برقرار است اما با کاهش تعداد طبقات و نرم شدن خاک زیر سازه این نتیجه دیگر همواره حکم‌فرما نبوده و این پاسخ‌ها در سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه‌های پایه ثابت کمتر خواهد شد.

آنچه در این قسمت به صورت عددی و در جداول مربوطه آورده شد به همراه میانگین ماکزیمم دریافت در سایر طبقات در سازه‌های چهار، هشت و دوازده طبقه را می‌توان به ترتیب و به صورت گرافیکی و بر روی نمودارهای شکل ( ۱۱-۴ )، شکل ( ۲۲-۴ ) و شکل ( ۳۳-۴ ) مشاهده نمود.

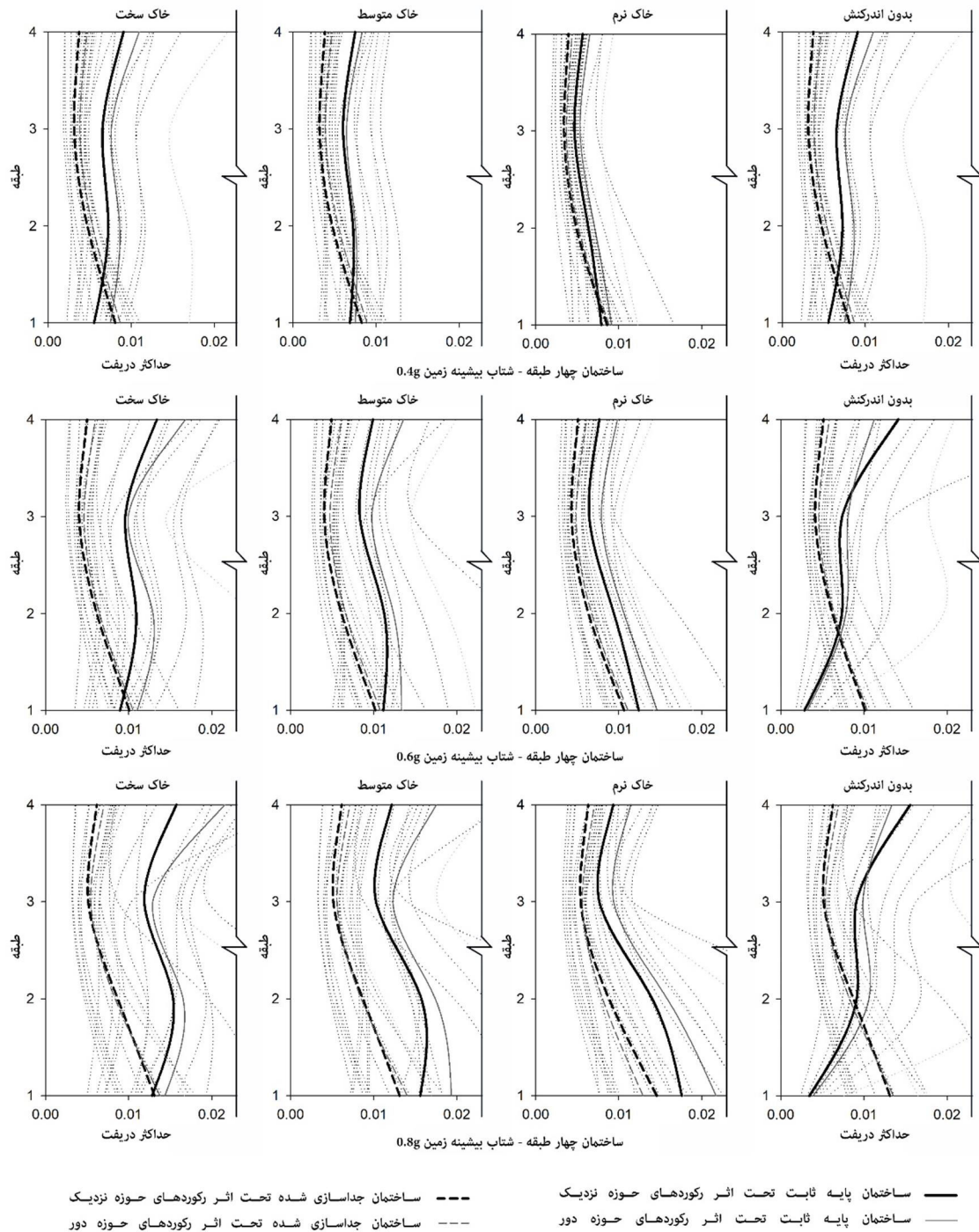
در طبقات بالاتر در حالت بدون در نظر گرفتن اندرکنش و در حالت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه همواره پاسخ‌های سازه‌های جداسازی شده کمتر از سازه‌های پایه ثابت و در طبقات مشابه بوده و با افزایش تعداد طبقات و در سازه‌های کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه این نتیجه همواره حکم فرماست.

همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌گردد در طبقات مشابه و با نرم شدن خاک میانگین ماکزیمم دریافت طبقه‌های سازه‌های پایه ثابت به سازه‌های جداسازی شده نزدیک گشته و این نسبت در خاک نرم کمتر از خاک متوسط، سخت و حالت صلب بوده و در خاک متوسط کمتر از خاک سخت و حالت صلب می‌باشد.

این نمودارها به شرح زیر ارائه گردیده‌اند:

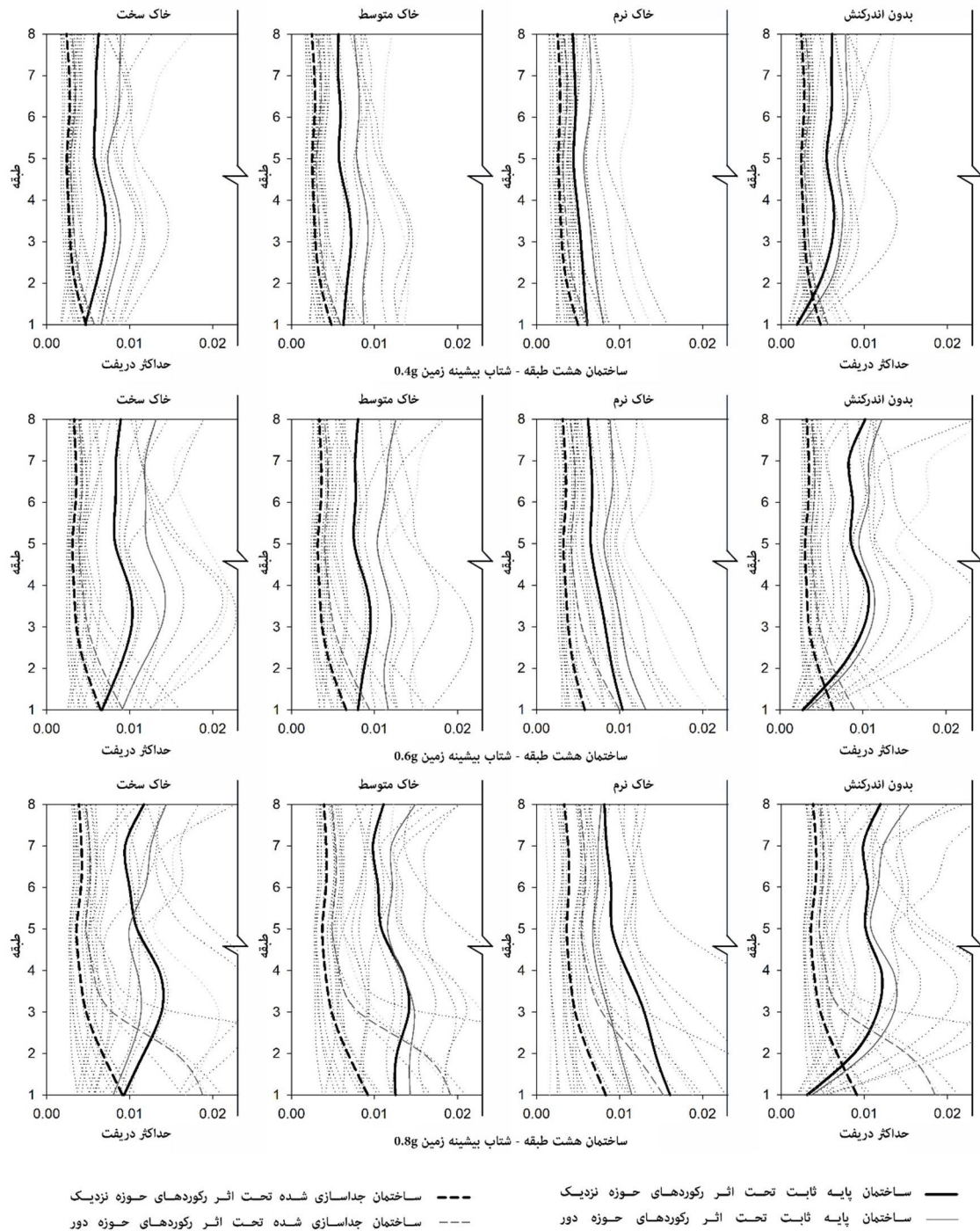
نمودار شکل ( ۱۱-۴ ) دوازده نمودار مربوط به ماکزیمم دریافت هر طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت چهار طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه حوزه نزدیک و حوزه دور

ارائه شده در جدول ( 3-4 ) و جدول ( 3-5 ) به همراه میانگین پاسخهای رکوردهای حوزه نزدیک و دور در سه شتاب بیشینه زمین انتخاب شده ارائه داده است.



شکل ( 4-1 ) نمودار بیشینه دریفت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه

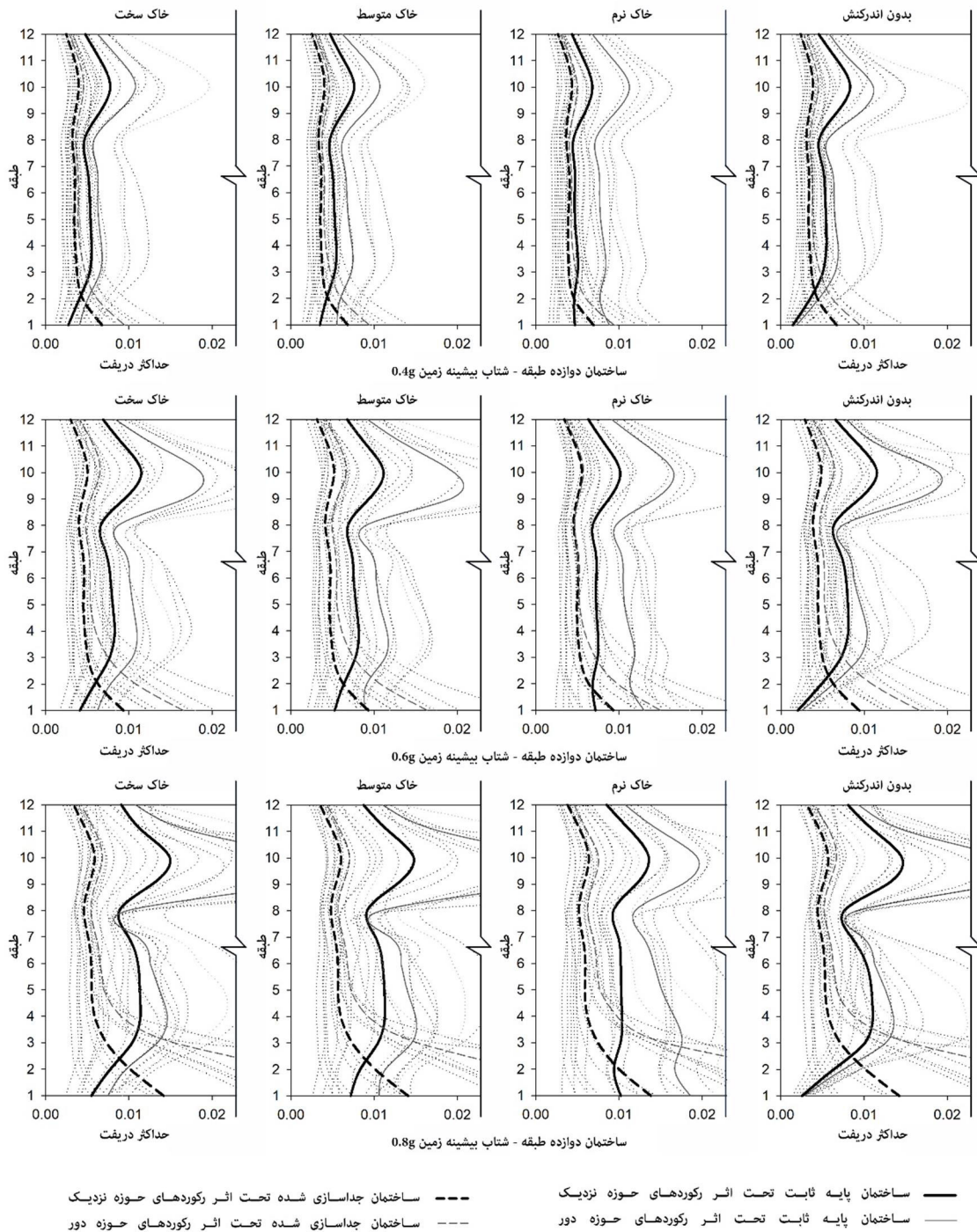
نمودارهای شکل ( 4-2 ) نمودارهای بیشینه دریفت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور در ساختمان هشت طبقه می باشد.



شکل ( ۴-۲ ) نمودار بیشینه دریفت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه

و در نهایت نمودارهای شکل ( 3-4 ) نمودارهای بیشینه دررفت هر طبقه تحت اثر رکوردهای

دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور در ساختمان دوازده طبقه می باشد.



شکل ( ۳-۴ ) نمودار بیشینه دررفت هر طبقه تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه

پس از آنکه پاسخ‌های سازه در سازه‌ها جداسازی شده نسبت به پایه ثابت بررسی گردید، میزان افزایش یا کاهش پاسخ در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت در حالت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه نسبت به یکدیگر نیز حائز اهمیت می‌باشد که به بررسی آن پرداخته خواهد شد. جدول ( 4-4 )، جدول ( 5-4 ) و جدول ( 6-4 ) این مهم را نشان می‌دهند.

به‌عنوان مثال در سه شتاب پیشینه زمین موردبررسی شاهد افزایش حداکثر ۱۰.۹، ۱۰ و ۲۰.۴ درصدی ماکزیمم دریفت طبقه تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و افزایش ۶.۸، ۱۸.۴ و ۱۹ درصدی پاسخ‌ها تحت اثر رکوردهای حوزه دور و در سازه‌های جداسازی شده ۴، ۸ و ۱۲ طبقه بوده‌ایم. اندرکنش خاک و سازه بر روی سازه پایه ثابت تأثیر بیشتری را بر روی افزایش میانگین ماکزیمم دریفت طبقات نسبت به سازه‌های جداسازی شده مشابه داشته که این میزان افزایش در خاک نرم، متوسط و سخت نسبت به حالت صلب در جداول زیر قرار گرفته است.

جدول ( ۴-۴ ) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دریفت طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان چهار طبقه

PGA	سازه ها	رکورد ها	نرم نسبت به صلب	متوسط نسبت به صلب	سخت نسبت به صلب
0.4G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	۲۵۹/۶ % ▲	۲۱۱/۳ % ▲	۱۵۲/۱ % ▲
		حوزه دور	۳۳۴/۸ % ▲	۲۶۴/۵ % ▲	۲۶۰ % ▲
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	۷/۸ % ▲	۳/۹ % ▲	۰/۷ % ▲
		حوزه دور	۳/۴ % ▲	۴ % ▲	۱/۷ % ▲
0.6G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	۳۳۴/۷ % ▲	۲۹۱/۱ % ▲	۲۱۴/۱ % ▲
		حوزه دور	۳۵۹/۶ % ▲	۳۲۰/۴ % ▲	۲۴۷/۱ % ▲
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	۵ % ▲	۰/۸ % ▲	۱/۴ % ▼
		حوزه دور	۶/۸ % ▲	۵ % ▲	۲/۶ % ▲
0.8G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	۴۱۱/۹ % ▲	۳۵۴/۷ % ▲	۲۷۳/۲ % ▲
		حوزه دور	۴۵۹/۷ % ▲	۳۹۹ % ▲	۲۷۰/۶ % ▲
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	۱۰/۹ % ▲	۱ % ▼	۰/۷ % ▼
		حوزه دور	۴/۳ % ▲	۳/۸ % ▲	۱/۴ % ▲

جدول (۴-۵) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دریافت طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان هشت طبقه

PGA	سازه ها	رکورد ها	نرم نسبت به صلب	متوسط نسبت به صلب	سخت نسبت به صلب
0.4G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۲۲۵/۷	▲ % ۲۳۲/۶	▲ % ۱۴۷
		حوزه دور	▲ % ۲۲۸/۸	▲ % ۲۵۳/۳	▲ % ۱۶۶/۷
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۱۰	▲ % ۴	▲ % ۱/۹
		حوزه دور	▲ % ۱۴/۵	▲ % ۹/۳	▲ % ۵/۱
0.6G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۲۷۸/۵	▲ % ۱۹۱/۷	▲ % ۱۴۲/۹
		حوزه دور	▲ % ۳۰۸/۹	▲ % ۲۶۱/۷	▲ % ۱۸۲/۲
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۹/۵	▲ % ۵/۴	▲ % ۲/۸
		حوزه دور	▲ % ۱۴	▲ % ۷/۲	▲ % ۲/۹
0.8G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۴۱۵/۸	▲ % ۳۰۱	▲ % ۱۹۸/۶
		حوزه دور	▲ % ۲۱۱/۱	▲ % ۲۸۷	▲ % ۱۱۷/۳
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۲/۶	▲ % ۴/۲	▲ % ۲/۱
		حوزه دور	▲ % ۱۸/۴	▲ % ۷/۵	▲ % ۵

جدول (۴-۶) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم دریافت طبقه در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان دوازده طبقه

PGA	سازه ها	رکورد ها	نرم نسبت به صلب	متوسط نسبت به صلب	سخت نسبت به صلب
0.4G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۲۲۵/۸	▲ % ۱۴۲/۸	▲ % ۸۸/۶
		حوزه دور	▲ % ۳۶۹/۸	▲ % ۱۹۴/۵	▲ % ۱۱۶/۲
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۱۹/۴	▲ % ۸/۹	▲ % ۴/۳
		حوزه دور	▲ % ۱۵/۹	▲ % ۷/۲	▲ % ۳/۴
0.6G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۲۵۷/۹	▲ % ۱۶۲/۹	▲ % ۱۰۴/۵
		حوزه دور	▲ % ۴۱۸/۹	▲ % ۲۵۷	▲ % ۱۴۸/۷۷
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۱۸/۸	▲ % ۸/۷	▲ % ۴/۵
		حوزه دور	▲ % ۱/۲	▲ % ۷/۱	▲ % ۴/۵
0.8G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۳۰۰/۶	▲ % ۱۸۱/۳	▲ % ۱۱۵/۴
		حوزه دور	▲ % ۵۴۶	▲ % ۲۶۸/۲	▲ % ۱۶۰/۵
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۲۰/۴	▲ % ۱۰/۵	▲ % ۵/۹
		حوزه دور	▲ % ۱۹	▲ % ۸/۲	▲ % ۴/۵

به عنوان یک نتیجه کلی از این قسمت می‌توان نتیجه گرفت که اندرکنش خاک و سازه بر روی دریافت طبقات باعث افزایش پاسخ‌های می‌گردد که این افزایش پاسخ بر روی سازه‌های پایه ثابت نسبت به سازه‌های جداسازی به‌شدت بیشتر بوده که اهمیت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در سازه‌های پایه ثابت به میزان قابل توجه بوده و همچنین در نظر گرفتن آن در سازه‌های جداسازی شده ضروری به نظر می‌رسد.

بعد بررسی نتایج در جداول مربوطه از آنجا تحلیل مورد استفاده در این پژوهش تحلیل دینامیکی افزایشی بوده از می‌توان نمودارهای مربوط به تحلیل دینامیکی افزایشی را نیز ترسیم نمود که ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته خواهد شد. برای جلوگیری از تکرار برخی موارد و برای آشنایی بهتر در ابتدا به بررسی رفتارهایی که در منحنی تحلیل دینامیکی افزایشی ممکن است مشاهده گردد، می‌پردازیم تا با این کار از تکرار این موارد در بخش‌های بعدی جلوگیری کرده باشیم.

به‌طور کلی در این نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی چهار رفتار ممکن است مشاهده گردد که به شرح ذیل است:

اول اینکه ممکن است حالتی اتفاق بیفتد که با افزایش ماکزیمم شتاب بیشینه زمین، سازه مورد نظر پاسخ زیادی را تجربه نکند که به این اتفاق یک حالت نرم شدگی<sup>۱</sup> گفته می‌شود. حالت دوم این است که پس از غیرخطی شدن سازه مقداری بر سختی آن اضافه گردد که در این حالت مقداری سخت شدگی<sup>۲</sup> اتفاق می‌افتد اما هنوز در این حالت این سخت شدگی‌ها به صورت مکرر اتفاق نمی‌افتد. حالت سوم حالتی است که چندین دفعه سخت شدگی<sup>۳</sup> اتفاق می‌افتد و این حالت در عمل به حالتی اطلاق می‌شود که سازه رفتاری را از خود نشان دهد که در آن به طور متوالی حالت‌های

---

<sup>1</sup> A softening Case

<sup>2</sup> A bit of hardening

<sup>3</sup> Sever hardening

سخت شدگی و نرم شدگی مشاهده گردد.

در مسائل مهندسی این بدان معناست که با افزایش شدت زلزله سازه گاهی اوقات خسارت را تجربه می‌کند و گاهی اوقات کاهش خسارت را که این موضوع می‌تواند یک فاکتور مثبت برای افزایش مقاومت سازه و جلوگیری از خسارت وارده باشد، تنها و تنها در صورتی که این رفتار به صورت صحیح مورد بررسی و مهندسی گردد. حالت سوم حالتی است که سخت شدگی‌های پیاپی سازه یک رفتار موجی<sup>1</sup> شکل را به وجود می‌آورد. هر یک از این چهار حالت رفتاری ممکن است در منحنی‌های تحلیل دینامیکی افزایشی مشاهده گردند، حال اینکه کدام یک از این حالت‌ها در چه سازه و در چه شرایطی در سازه‌های مورد بررسی اتفاق خواهد افتاد در قسمت بعدی بیان خواهد شد.

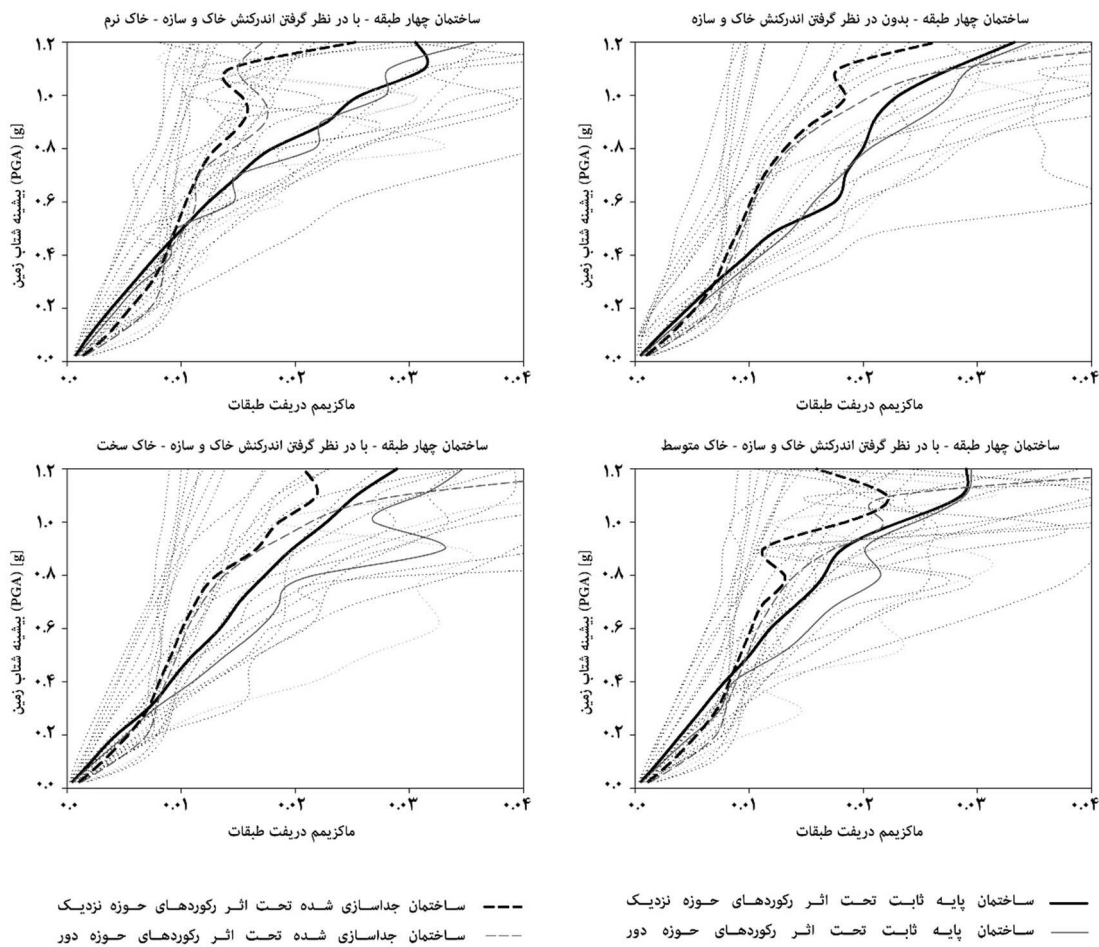
اولین نتیجه‌ای که با نگاه به منحنی‌های تحلیل دینامیکی افزایشی ماکزیمم دریفت طبقات مشاهده می‌شود بیشتر بودن پاسخ‌های سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه‌های پایه ثابت مشابه در بازه‌ای از بیشینه شتاب‌های زمین کوچک و حالت بلعکس آن در بازه‌ای از بیشینه شتاب‌های بزرگ زمین می‌باشد که این رفتار با توجه به خصوصیات عملکردی سیستم‌های جداسازی امری کاملاً طبیعی می‌باشد اما آنچه مورد توجه قرار می‌گیرد بازه‌ای که سازه‌های جداسازی شده پاسخ بیشتری نسبت به پایه ثابت ایجاد نموده‌اند با نرم شدن خاک افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال برای سازه‌های چهار طبقه شکل (4-4) این بازه برای خاک سخت، متوسط و نرم به ترتیب برابر  $[0 - 0/3g]$ ،  $[0 - 0/4g]$  و  $[0 - 0/5g]$  می‌باشد. حالت موجی در منحنی میانگین دریفت طبقات سازه چهار طبقه در خاک نرم برای سازه پایه ثابت تحت اثر رکوردهای حوزه دور مشاهده می‌گردد که این رفتار برای سازه جداسازی شده به حالت سختی‌های متعدد تبدیل گشته است. تعداد سختی شدگی متعدد در خاک‌های متوسط و سخت به نسبت کاهش یافته است و هر مقدار که خاک سخت‌تر می‌گردد این رفتار مشهودتر خواهد بود. همچنین با افزایش نرمی خاک این رفتار موجی در منحنی تحلیل دینامیکی افزایشی به سمت

---

<sup>1</sup> Weaving behavior



پایین و بیشینه شتاب کمتر انتقال پیدا می‌کند که این پدیده برای پاسخ‌های ناشی از اعمال رکوردهای حوزه دور قابل نمایان تر می‌باشد.



شکل (۴-۴) نمودارهای *IDA* ماکزیمم دررفت طبقات تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه

اگر بخواهیم به صورت عددی و درصد میزان بیشترین کاهش میانگین ماکزیمم دررفت طبقات در سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه‌های پایه ثابت در ساختمان چهار طبقه بر روی خاک‌های سخت، متوسط و نرم بیان نمود به این صورت است که پاسخ‌ها به ترتیب کاهش ۲۸.۲۲، ۴۵.۱ و ۵۴.۶ تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و ۴۸.۷۲، ۳۴.۹۲ و ۵۲.۱ تحت اثر رکوردهای حوزه دور تجربه

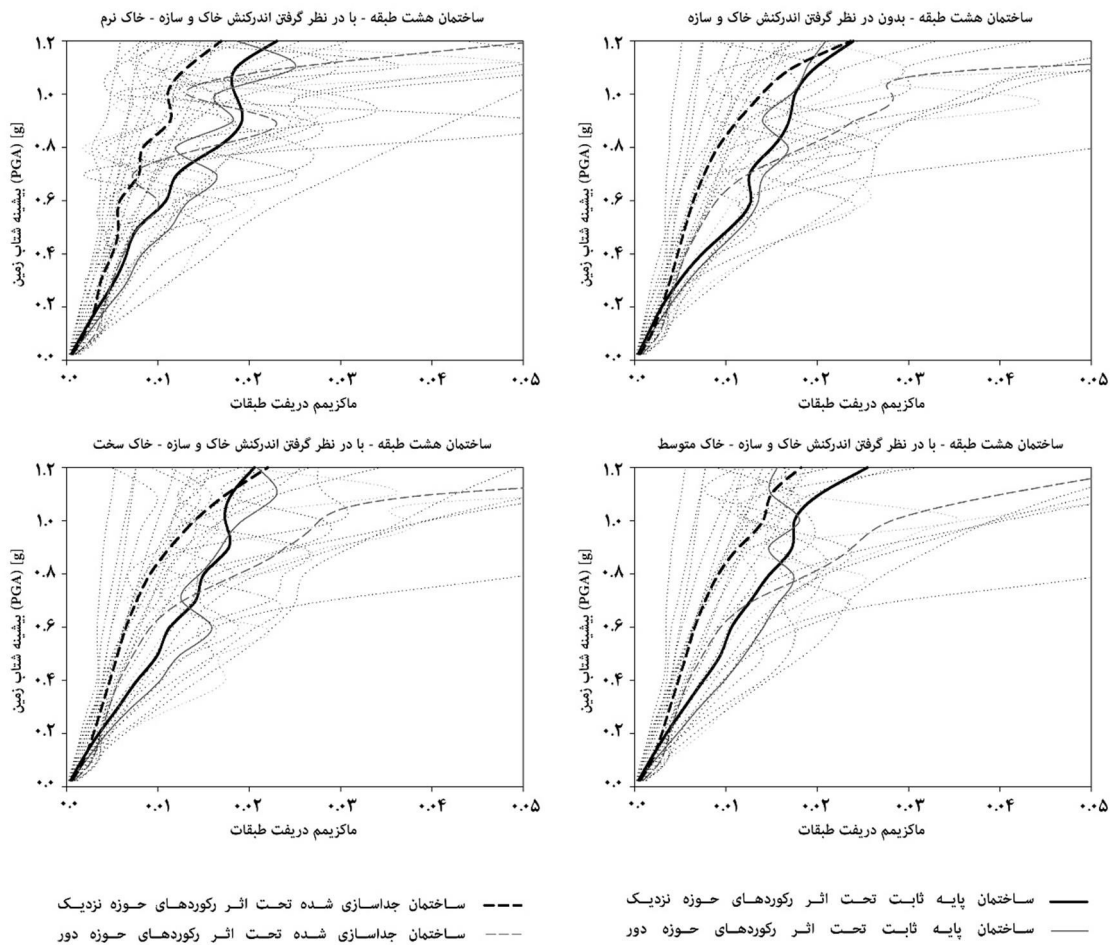
نموده‌اند.

اثرات اندرکنش خاک و سازه بر روی سازه‌های جداسازی چهار طبقه اگرچه به شدت تأثیری که بر روی سازه‌های پایه ثابت مشابه می‌گذارد نیست اما با این وجود در این گونه سازه‌ها به دلیل رفتار موجی مشاهده شده در نمودار تحلیل‌های دینامیکی افزایشی در صورت عدم استفاده از این تحلیل جامع می‌توان تفاسیر متفاوتی را بیان نمود به گونه‌ای که می‌توان گفت در سازه‌های جداسازی شده در برخی شتاب‌های بیشینه زمین پاسخ‌ها در خاک نرم نسبت به خاک سخت بیشتر و در برخی شتاب‌های بیشینه زمین دیگر، کمتر است که این گونه تفسیر سطحی در مطالعات برخی از محققان دیده شده است.

حال مهم این است که محقق چه شتاب بیشینه زمینی را برای انجام تحلیل‌های خود انتخاب نماید. به همین دلیل می‌توان گفت یکی از عواملی که برخی محققان لزوم در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه را در سازه‌های جداسازی شده را ضروری و برخی در نظر گرفتن آن را غیرضروری می‌دانند و یا در صورت در نظر گرفتن آن را به عنوان حاشیه ایمنی برای طراحی این گونه سازه‌ها می‌دانند عدم استفاده آن‌ها از تحلیل دینامیکی افزایشی در پژوهش آن‌ها می‌باشد.

برای ساختمان هان ۸ و ۱۲ طبقه همان‌طور که در شکل ( 4-5 ) و شکل ( 4-6 ) مشخص است، آنچه که در مورد میانگین ماکزیمم دریافت طبقات ساختمان‌های ۴ طبقه بیان شد از نظر مفاهیم کلی یکی است ولی با ذکر تفاوت‌هایی، موارد دیگری را برای سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه را می‌توان به شرح زیر بیان نمود.

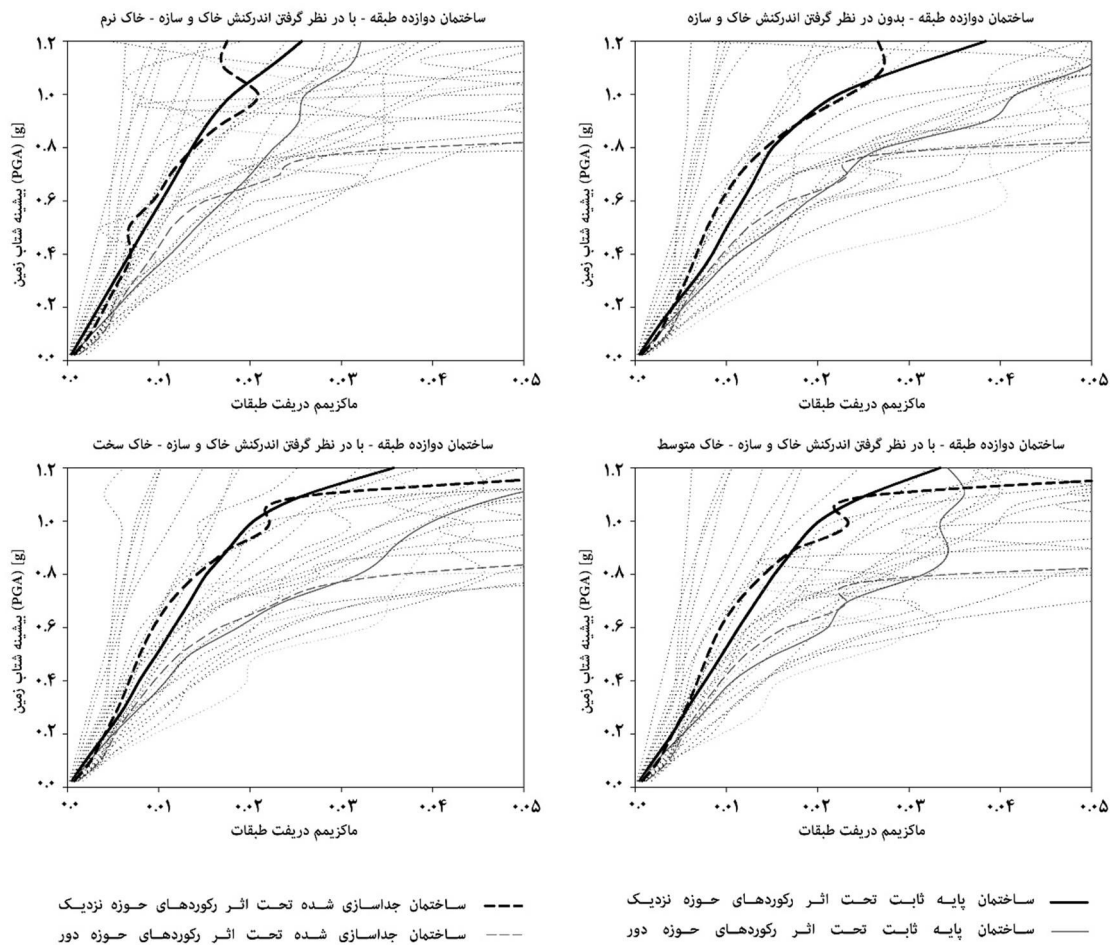
یکی از تفاوت‌ها این است که با افزایش تعداد طبقات عملکرد رفتاری سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه‌های پایه ثابت، با و بدون اندرکنش خاک در سه بازه مشهودتر می‌گردد. در بازه اول و سومی که پاسخ سازه‌های جداسازی شده بیشتر از پایه ثابت بوده و بازه میانی پاسخ سازه‌های جداسازی شده کمتر از پایه ثابت مشابه است.



شکل (۴-۵) نمودارهای *IDA* ماکزیمم دررفت طبقات تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه

دوم اینکه برای ساختمان‌ها ۱۲ طبقه این بازه‌های حتی به بیش از سه نیز افزایش یافته است که در نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی میانگین ماکزیمم دررفت طبقات یکی از دلایل این اتفاق نزدیک شدن پاسخ‌ها در ساختمان‌های جداسازی شده و پایه ثابت می‌باشد.

همچنین برای ساختمان ۱۲ طبقه و جداسازی شده تحت اثر رکوردهای حوزه دور در شتاب‌های بیشینه زمین بالاتر  $0/6g$  یک حالت نرم شدگی موردی مشاهده گردیده است به طوری که اگرچه شدت افزایش نیافته است و پاسخ‌ها در این حالت پاسخ‌ها در حال افزایش یافتن می‌باشد.



شکل (۴-۶) نمودارهای *IDA* ماکزیمم دریفت طبقات تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه

با این وجود یکی از راههایی که می توان باعث بهبود میانگین ماکزیمم دریفت طبقات در سازه های بلندمرتبه گردید، استفاده از جداسازی در سطح زیرین طبقه اول می باشد. در این حالت می توان به طور میانگین کاهش ۴۰ درصدی ماکزیمم دریفت طبقات در حالتی که جداساز در سطح زیر طبقه اول قرار گرفته نسبت به حالتی که در تراز ارتفاعی صفر است، دست یافت. با این وجود در این دو تراز ارتفاعی مختلف سازه های جداسازی شده میانگین ماکزیمم برش پایه یکسانی ایجاد نموده است که برای به دست آوردن اطلاعات کامل تر می توان به [۱] مراجعه نمود.

#### ۲-۲-۴ ماکزیمم برش پایه

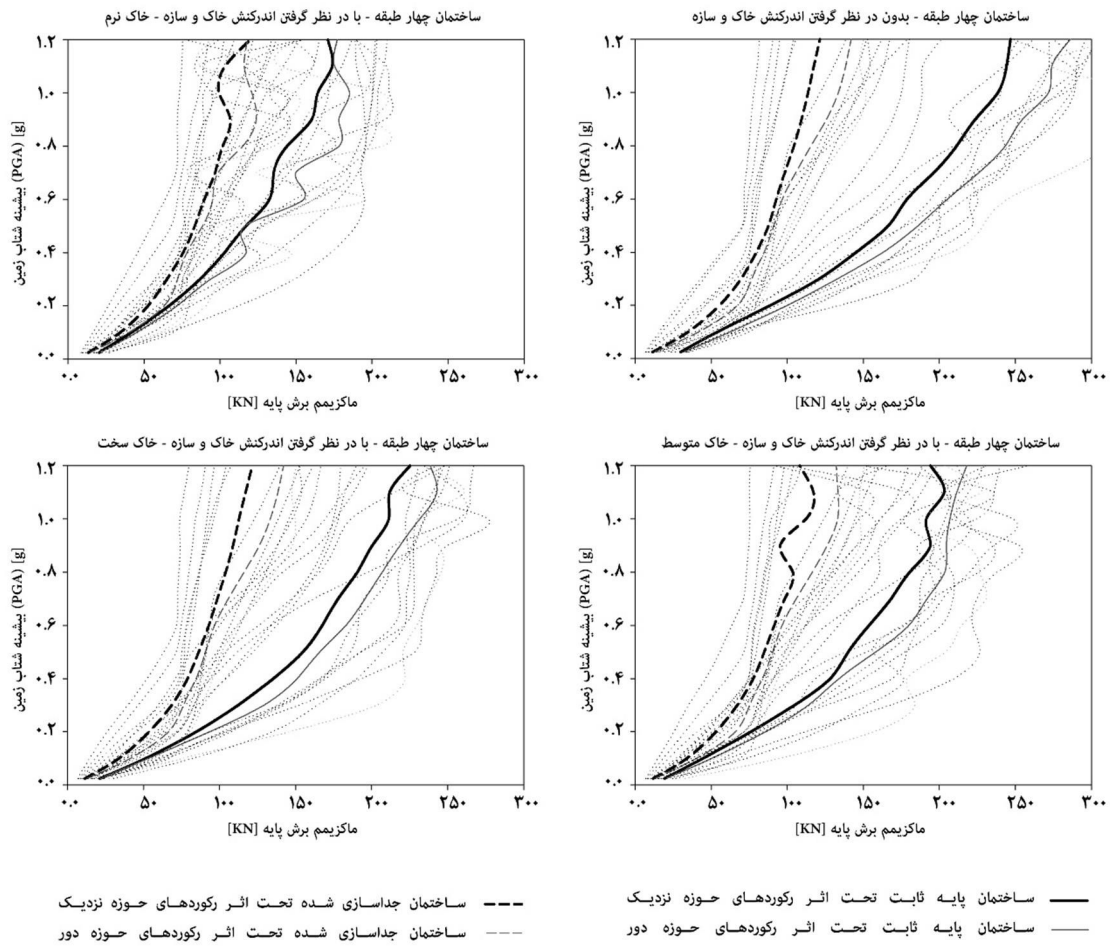
اندرکنش خاک و سازه بر روسازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت باعث کاهش ماکزیمم برش پایه گردیده است به گونه‌ای که تأثیر آن بر روی سازه‌های پایه ثابت به طور میانگین بیشتر از سازه‌های جداسازی شده بوده است. به طور میانگین ماکزیمم برش پایه برای سازه‌های پایه ثابت چهار طبقه در خاک نرم، متوسط و سخت نسبت به حالت صلب به ترتیب کاهش ۲۸.۸، ۱۷.۲ و ۱۰ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و به ترتیب ۳۱.۲، ۱۹.۳ و ۱۳.۲ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه دور داشته است. این درصدها برای سازه‌های جداسازی شده چهار طبقه به ترتیب ۳.۲، ۳ و ۱ تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و به ترتیب ۵، ۱.۴ و ۰.۳ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک است.

ماکزیمم برش پایه در سازه‌های جداسازی شده هشت طبقه دستخوش کاهش ۸.۴، ۳.۲ و ۰.۹ درصدی به ترتیب در خاک نرم، متوسط و سخت نسبت به حالت صلب تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و کاهش ۲.۶ درصدی در خاک نرم نسبت به حالت صلب و افزایش ۱.۲ درصدی پاسخ در خاک متوسط نسبت به صلب بوده است. در سازه‌های بلندمرتبه جداسازی در خاک نرم و متوسط نسبت به حالت صلب بوده شاهد کاهش ۶.۷ و ۱.۲ درصدی ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و کاهش ۴.۵ و ۲ تحت اثر رکوردهای حوزه دور بوده است.

برای درک تغییرات ماکزیمم برش در شتاب‌های بیشینه زمین گوناگون نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی آن‌ها برای سازه جداسازی شده و پایه ثابت ۴، ۸ و ۱۲ طبقه ارائه گردیده که در قسمت بعدی به بررسی آن‌ها پرداخته شده است.

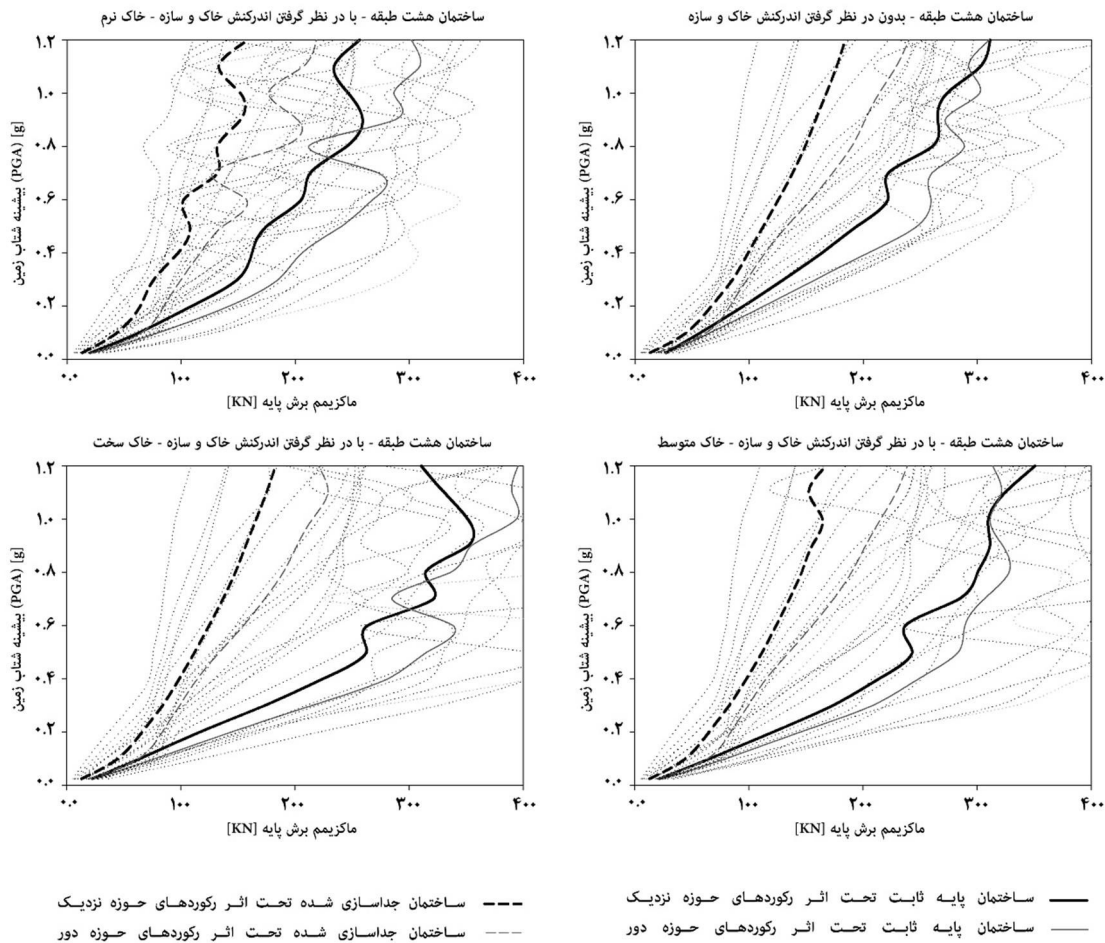
ماکزیمم برش پایه در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در سازه‌های ۴ طبقه به طور میانگین به نصف کاهش یافته به گونه‌ای با نرم شدن خاک افزایش ۱۵ درصدی این نسبت را شاهد بوده است یعنی در خاک نرم پاسخ‌های سازه جداسازی شده نسبت به پایه ثابت مشابه ۳۵ درصد کاهش یافته است. با مشاهده نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی حالت موجی در خاک نرم به

نسبت سایر کاملاً مشهود بود و با افزایش سختی خاک این حالت تغییر خواهد نمود.



شکل (۷-۴) نمودارهای *IDA* ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه

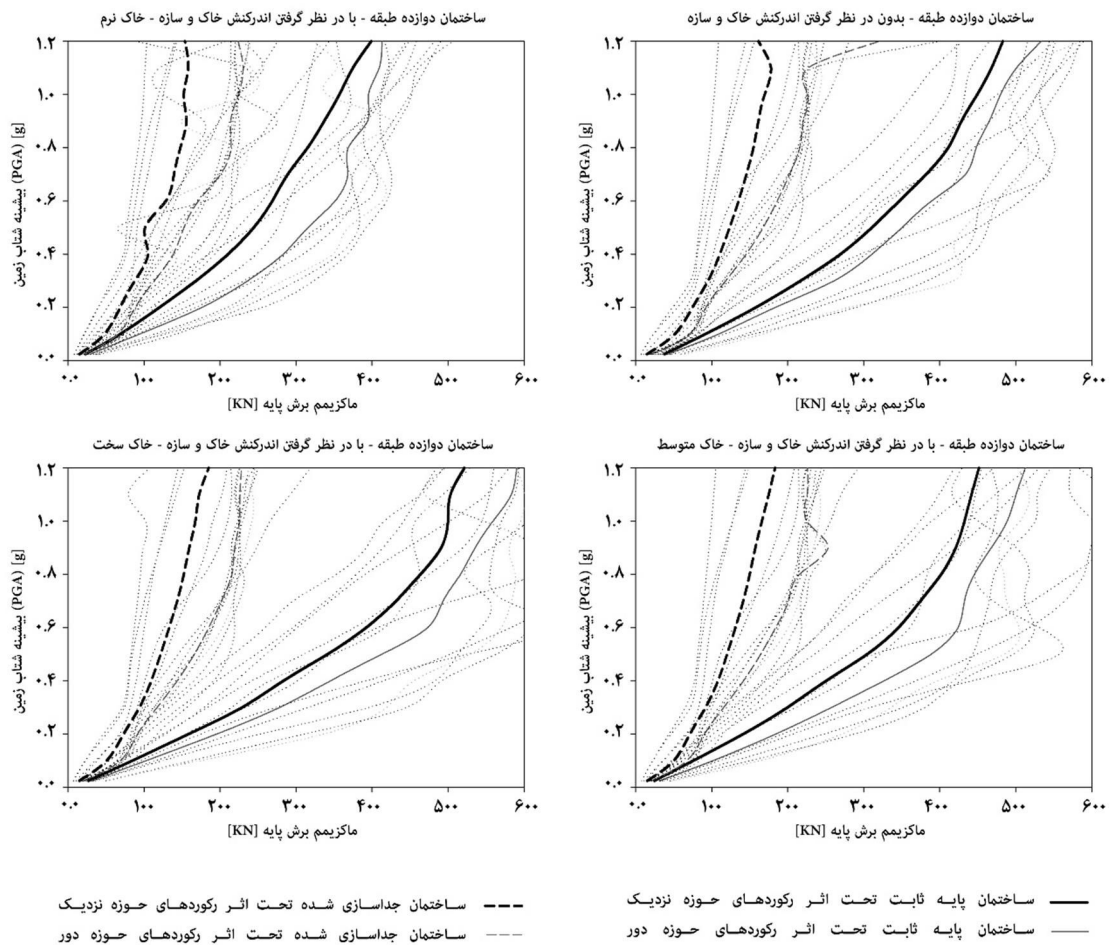
در سازه‌های ۸ طبقه نیز همانند سازه‌های کوتاه مرتبه کاهش پاسخ در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت به طور تقریبی بر طبق درصدهای بیان شده برقرار است. نمودار (۸-۱) نمودار تحلیل دینامیکی برای سازه‌های ۸ طبقه را نشان می‌دهد.



شکل (۸-۴) نمودارهای *IDA* ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه

در سازه‌های ۸ طبقه درصد کاهش پاسخ در سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در حالت صلب، خاک‌های نرم، متوسط و سخت به ترتیب ۵۴.۸، ۴۷.۲، ۵۳.۲ و ۵۷.۸ درصد می‌باشد یعنی به گونه‌ای که این نسبت با نرم شدن خاک کاهش یافته و ماکزیمم برش پایه در سازه‌های پایه ثابت به سازه‌های جداسازی شده نزدیک گردیده است.

نمودار تحلیلی دینامیکی افزایشی برای سازه‌های بلندمرتبه در سه نوع خاک و حالت صلب تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و دور در شکل (۹-۱) ارائه گردیده است.



شکل (۹-۴) نمودارهای *IDA* ماکزیمم برش پایه تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه

در سازه‌های ۱۲ طبقه به طور میانگین پاسخهای سازه جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در حالت صلب، خاک نرم، متوسط و سخت کاهش ۶۶.۵، ۶۱.۵، ۶۲.۸ و ۶۷.۵ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و کاهش ۵۴.۸، ۵۱.۹، ۵۷.۷ و ۶۱.۳ تحت اثر رکوردهای حوزه دور را تجربه کرده است. در سازه‌های جداسازی شده در خاک نرم، متوسط و سخت تغییرات ماکزیمم برش پایه نسبت به حالت صلب کمتر از ۵ درصد بوده است.



#### ۳-۲-۴ ماکزیمم جابجایی و شتاب بام

بعد از بررسی نتایج ماکزیمم دررفت طبقات و پس از آن ماکزیمم برش پایه، حال در این بخش در ابتدا به بررسی ماکزیمم جابجایی بام و سپس به بررسی ماکزیمم شتاب بام خواهیم پرداخت. بررسی نتایج در این بخش به صورت جدول و همچنین نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی انجام خواهد شد. نتایج بررسی ماکزیمم جابجایی بام از نظر کاهش یا افزایش پاسخها در خاک نرم، متوسط و سخت در سازه‌های جداسازی شده چهار، هشت و دوازده طبقه نسبت به حالت صلب تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و دور به ترتیب در جدول (۷-۴) و جدول (۸-۴) و جدول (۹-۴) در زیر ارائه گردیده است.

جدول (۷-۴) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه - ساختمان چهار طبقه

PGA	سازه ها	رکورد ها	نرم نسبت به صلب	متوسط نسبت به صلب	سخت نسبت به صلب
0.4G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ ٪ ۱۴/۵	▲ ٪ ۱۳/۶	▲ ٪ ۱۰/۵
		حوزه دور	▲ ٪ ۲۷/۱	▲ ٪ ۱۶/۹	▲ ٪ ۲۸/۲
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ ٪ ۳/۱	▲ ٪ ۲/۱	▲ ٪ ۱/۲
		حوزه دور	▼ ٪ ۶/۴	▲ ٪ ۲/۸	▲ ٪ ۱/۷
0.6G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ ٪ ۱۵/۷	▲ ٪ ۷/۴	▲ ٪ ۱۰/۳
		حوزه دور	▲ ٪ ۳۴/۸	▲ ٪ ۲۶/۵	▲ ٪ ۱۸/۴
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ ٪ ۲/۵	▲ ٪ ۱/۲	▲ ٪ ۱/۱
		حوزه دور	▲ ٪ ۱۰/۵	▲ ٪ ۴/۳	▲ ٪ ۲
0.8G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ ٪ ۱۹/۴	▲ ٪ ۲۱/۸	▲ ٪ ۲۱/۷
		حوزه دور	▲ ٪ ۶۱/۷	▲ ٪ ۳۳/۹	▲ ٪ ۲۳/۳
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ ٪ ۱/۷	▲ ٪ ۰/۴	▲ ٪ ۰/۳
		حوزه دور	▲ ٪ ۸	▲ ٪ ۴/۳	▲ ٪ ۲/۱

جدول ( ۴-۸ ) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه – ساختمان هشت طبقه

PGA	سازه ها	رکورد ها	نرم نسبت به صلب	متوسط نسبت به صلب	سخت نسبت به صلب
0.4G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۹	▲ % ۲۵/۷	▲ % ۱۵/۸
		حوزه دور	▲ % ۱۵	▲ % ۳۲/۷	▲ % ۲۳/۴
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۱۱/۲	▲ % ۳/۱	▲ % ۱
		حوزه دور	▲ % ۹/۴	▲ % ۴/۷	▲ % ۲/۳
0.6G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۵/۲	▲ % ۸/۷	▲ % ۱۱/۲
		حوزه دور	▲ % ۱۹/۴	▲ % ۲۹	▲ % ۳۶/۳
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۱۳/۱	▲ % ۲/۷	▲ % ۱/۱
		حوزه دور	▲ % ۱۱/۵	▲ % ۵/۳	▲ % ۲/۶
0.8G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۲۵/۴	▲ % ۲۳/۶	▲ % ۱۷/۲
		حوزه دور	▼ % ۱۹/۷	▲ % ۲۳/۴	▼ % ۱/۷
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▼ % ۹/۲	▲ % ۱/۴	▲ % ۰/۶
		حوزه دور	▲ % ۴	▲ % ۳/۴	▲ % ۲

جدول ( ۴-۹ ) درصد افزایش/کاهش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه – ساختمان دوازده طبقه

PGA	سازه ها	رکورد ها	نرم نسبت به صلب	متوسط نسبت به صلب	سخت نسبت به صلب
0.4G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۱۱	▲ % ۱۳/۲	▲ % ۶/۳
		حوزه دور	▲ % ۴۱/۸	▲ % ۱۵/۶	▲ % ۴
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۷/۸	▲ % ۳/۹	▲ % ۱/۸
		حوزه دور	▲ % ۰/۵	▲ % ۰/۳	▲ % ۰/۴
0.6G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۱۴/۸	▲ % ۱۴/۱	▲ % ۱۰/۸
		حوزه دور	▲ % ۳۹/۳	▲ % ۳۱/۸	▲ % ۲۲/۵
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۶/۳	▲ % ۳/۳	▲ % ۱/۸
		حوزه دور	▼ % ۲/۳	▲ % ۱/۶	▲ % ۰/۸
0.8G	پایه ثابت	حوزه نزدیک	▲ % ۱۸/۵	▲ % ۱۶/۸	▲ % ۱۲/۵
		حوزه دور	▲ % ۴۴/۵	▲ % ۲۳/۸	▲ % ۱۴/۶
	جداسازی شده	حوزه نزدیک	▲ % ۶/۵	▲ % ۳/۸	▲ % ۲/۲
		حوزه دور	▲ % ۵/۹	▲ % ۱/۷	▲ % ۱/۴

همان‌طور که در جداول مشخص است در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در سازه کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه باعث افزایش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت نسبت به حالت صلب گردیده که با توجه به آنچه قبلاً نیز گفته شد اثر اندرکنش خاک و سازه بر روی سازه‌های پایه ثابت قابل توجه‌تر می‌باشد.

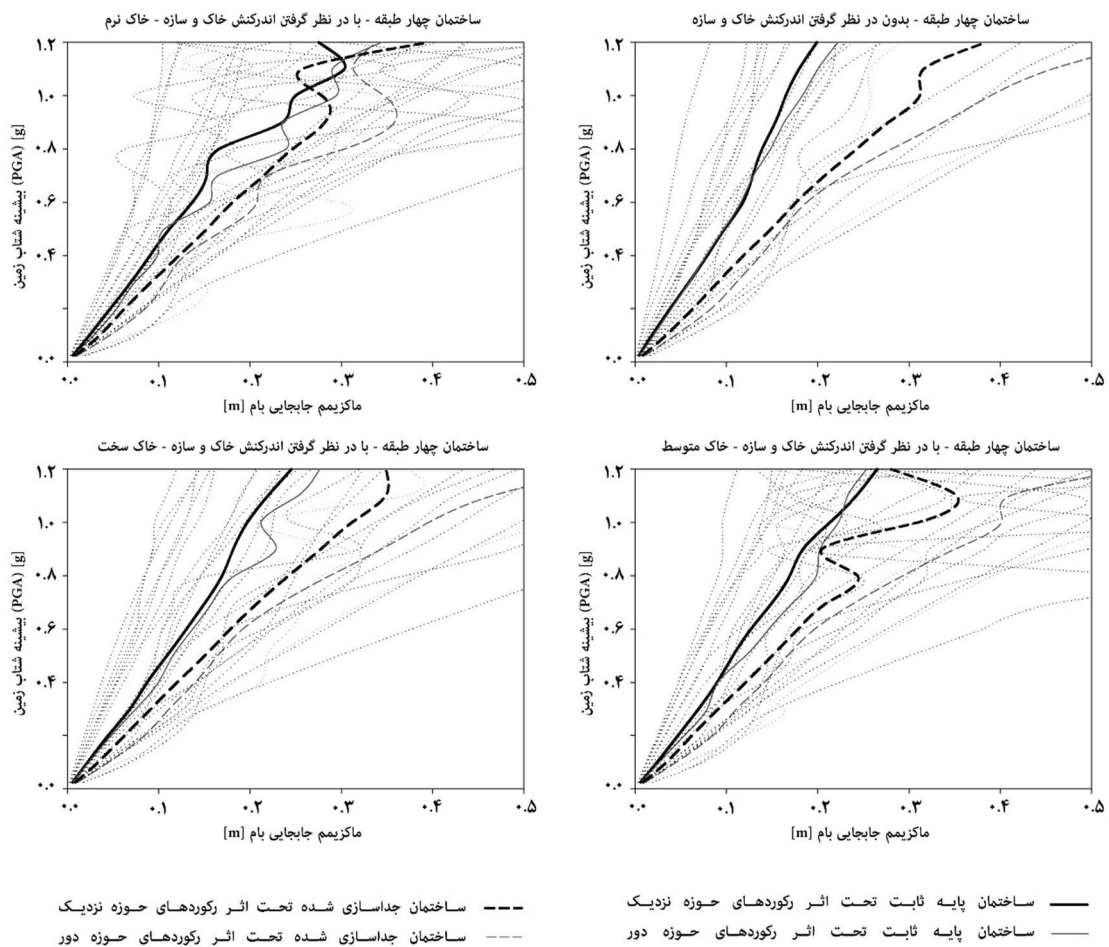
به‌عنوان مثال در سازه چهار طبقه در سه شتاب موردبررسی در جدول ( 4-7 ) در بالا شاهد افزایش حداکثر ۱۹.۴، ۲۱.۸ و ۲۱.۷ درصدی در خاک نرم، متوسط و سخت نسبت به حالت صلب تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و افزایش ۶۱.۷ و ۳۳.۹ و ۲۳.۳ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه دور و برای سازه‌های پایه ثابت بوده‌ایم. این افزایش ماکزیمم جابجایی بام در خاک نرم، متوسط و سخت نسبت به حالت صلب برای سازه‌های جداسازی شده برای رکوردهای حوزه نزدیک و دور به ترتیب برابر ۳.۱، ۲.۱، ۱.۲ و ۱۰.۵، ۴.۳ و ۲.۱ درصدی بوده است.

برای مشاهده و درک عمیق‌تر رفتار سازه‌های جداسازی شده نسبت به پایه ثابت در خاک‌های نرم، متوسط، سخت و حالت صلب، نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایش مربوط به سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه به ترتیب در شکل ( 4-10 )، شکل ( 4-11 ) و شکل ( 4-12 ) ارائه شده است.

این نمودارها، نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی ماکزیمم جابجایی بام مربوط به رکوردهای دوازده‌گانه حوزه نزدیک و حوزه دور به همراه میانگین پاسخ‌ها در این دو حوزه می‌باشند.

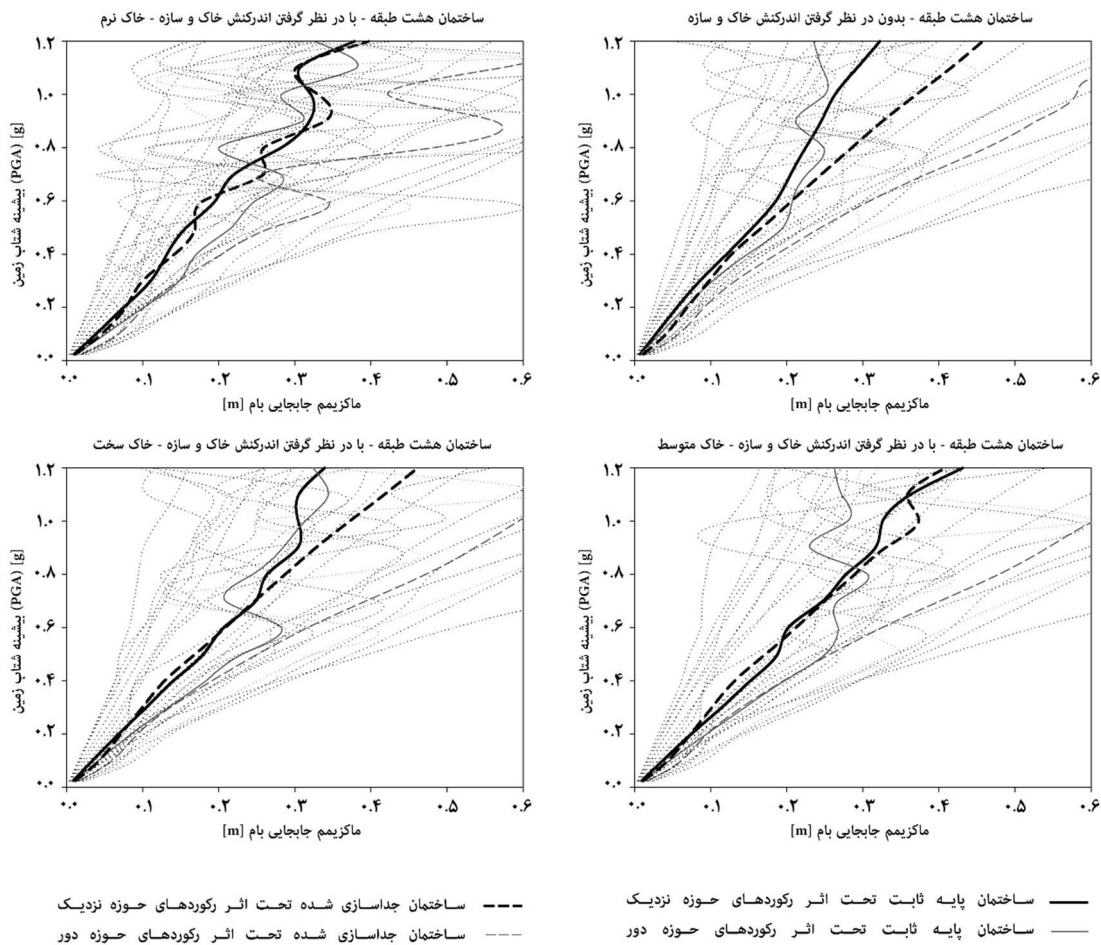
با بررسی این نمودارها می‌توان بیان نمود که میانگین ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده نسبت به حالت پایه ثابت در حالت صلب، خاک نرم، متوسط و سخت به ترتیب افزایش ۷۱.۴، ۳۱.۹، ۳۵.۶ و درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و افزایش ۱۰۰، ۳۷.۳، ۶۱.۲ و ۶۶.۷ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه دور برای سازه‌های چهار طبقه بوده است. همان‌طور که از نتایج مشخص است با نرم شدن خاک نسبت پاسخ‌های سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت کاهش می‌باید که نشان از نزدیک شدن پاسخ‌ها در خاک نرم به یکدیگر است.

همچنین با بررسی نمودار تحلیل دینامیکی افزایشی در شکل ( 4-10 ) حالت موجی که یکی از مواردی بود که در نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی ممکن بود اتفاق بیفتد در خاک نرم به وضوح قابل مشاهده است. این حالت موجی در خاک متوسط کاهش یافته و شامل چند سخت شدگی و نرم شدگی می باشد. در خاک سخت و حالت صلب این موارد به ندرت مشاهده می گردد.



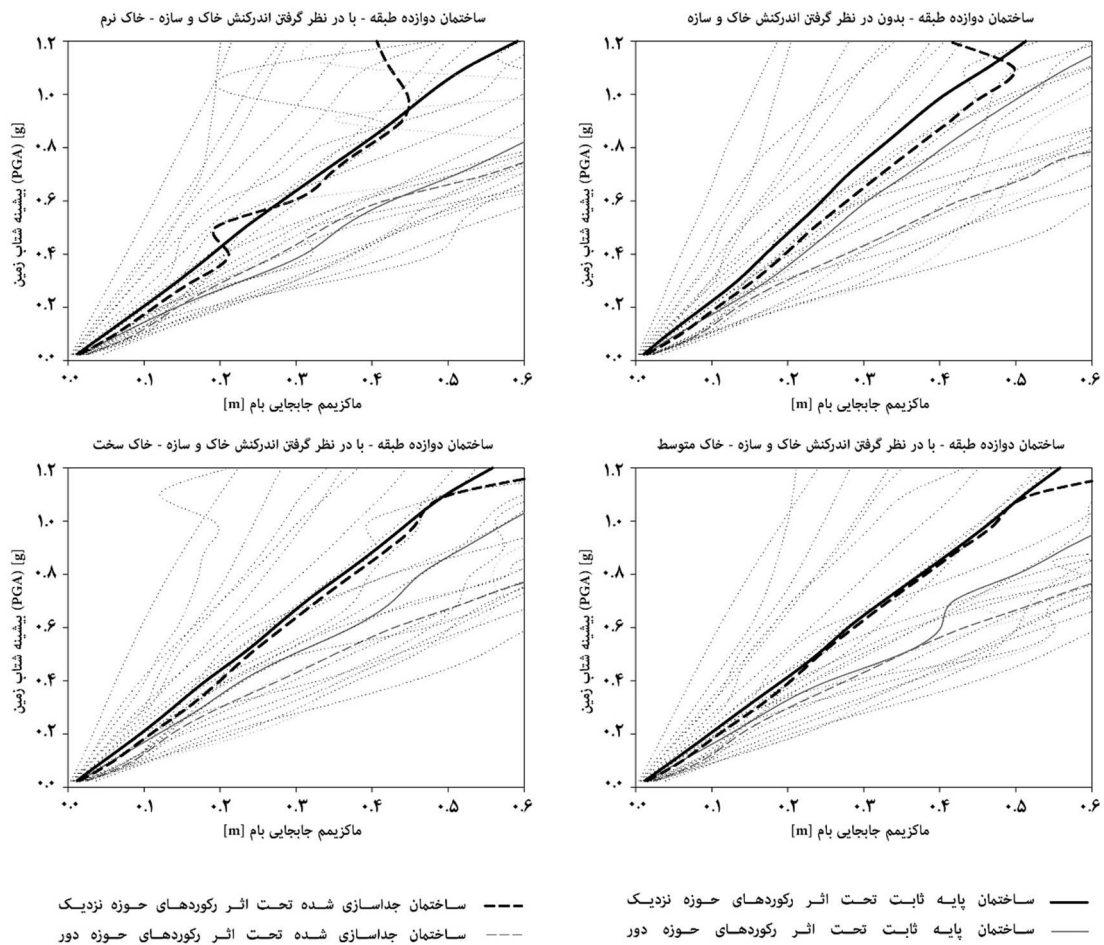
شکل ( 4-10 ) نمودارهای *IDA* ماکزیمم جابجایی بام تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه

در سازه های هشت طبقه و دوازده طبقه تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک پاسخهای مطابق نمودارهای شکل ( 4-11 ) و شکل ( 4-12 ) در خاک نرم به یکدیگر نزدیک گردیده است.



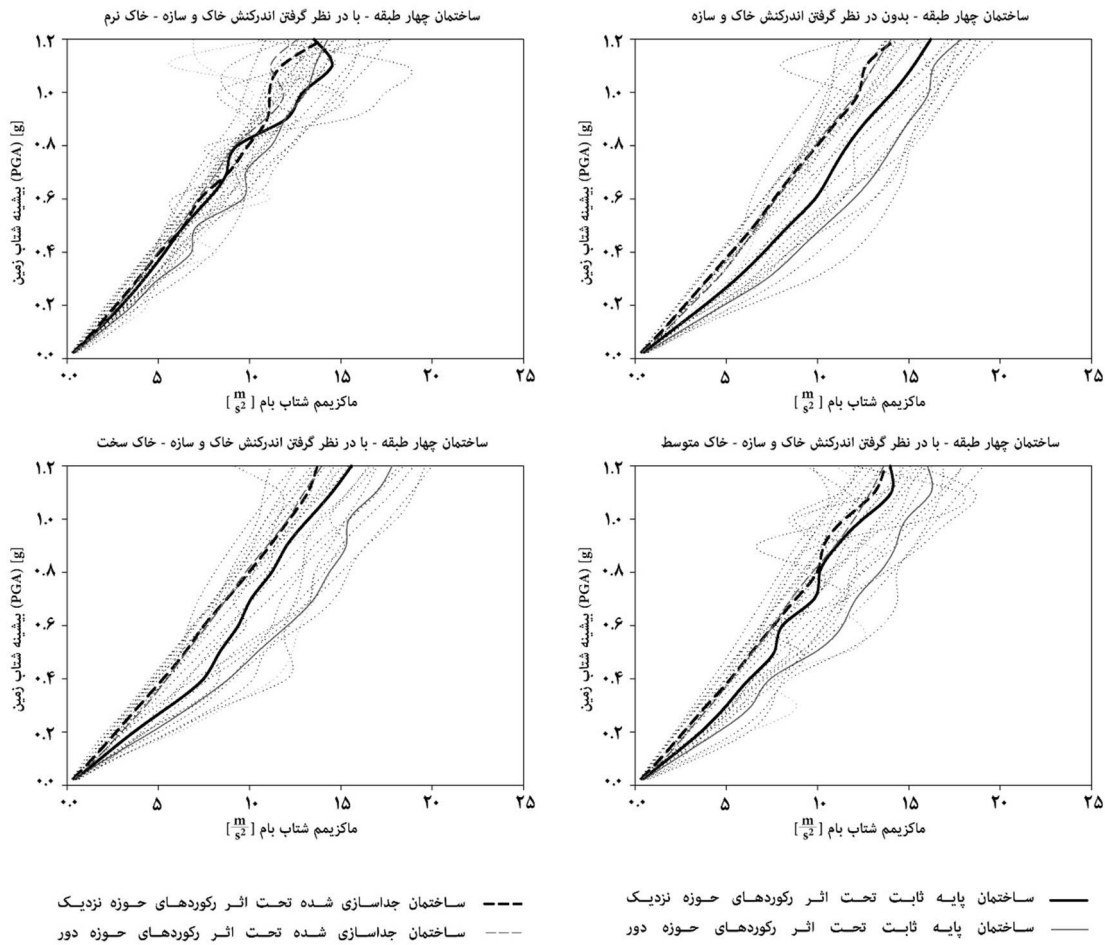
شکل (۴-۱۱) نمودارهای *IDA* ماکزیمم جابجایی بام تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه

با بررسی این نمودارهای شکل (۴-۱۲) می توان بیان نمود که میانگین ماکزیمم جابجایی بام در سازه های جداسازی شده نسبت به حالت پایه ثابت در حالت صلب، خاک نرم، متوسط و سخت به ترتیب افزایش ۱۵.۲، ۲.۹، ۹ و ۱۰.۹ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک و افزایش ۵۳.۹، ۱۵.۷، ۳۳.۸ و ۴۰.۵ درصدی تحت اثر رکوردهای حوزه دور در ساختمان های دوازده طبقه بوده است.



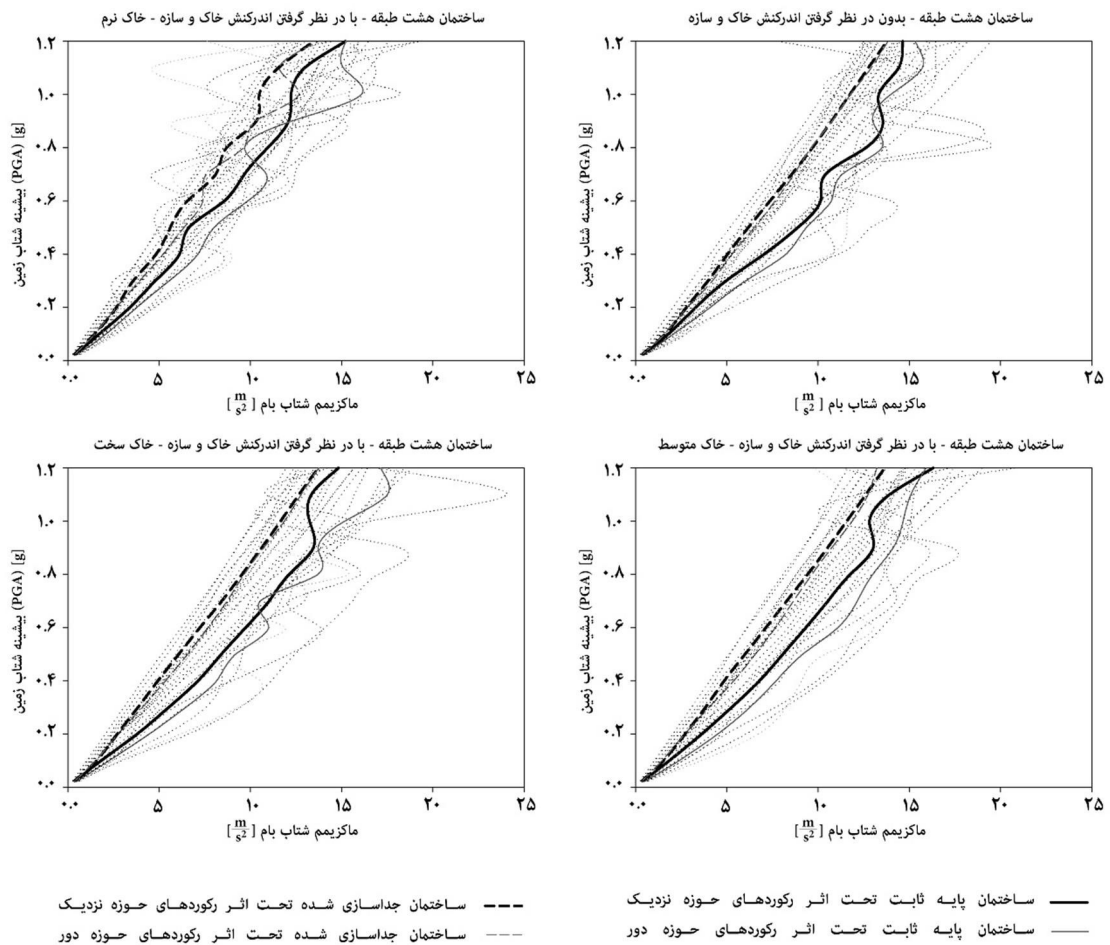
شکل (۴-۱۲) نمودارهای *IDA* ماکزیمم جابجایی بام تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه

نمودارهای تحلیل دینامیکی ماکزیمم شتاب بام برای سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخ رکوردهای حوزه نزدیک و دور برای ساختمان‌های چهار، هشت و دوازده طبقه در خاک‌های نرم، متوسط و سخت و همچنین بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه به ترتیب در شکل (۴-۱۳)، شکل (۴-۱۴) و شکل (۴-۱۵) در ادامه ارائه گردیده است.



شکل (۴-۱۳) نمودارهای *IDA* ماکزیمم شتاب بام تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان چهار طبقه

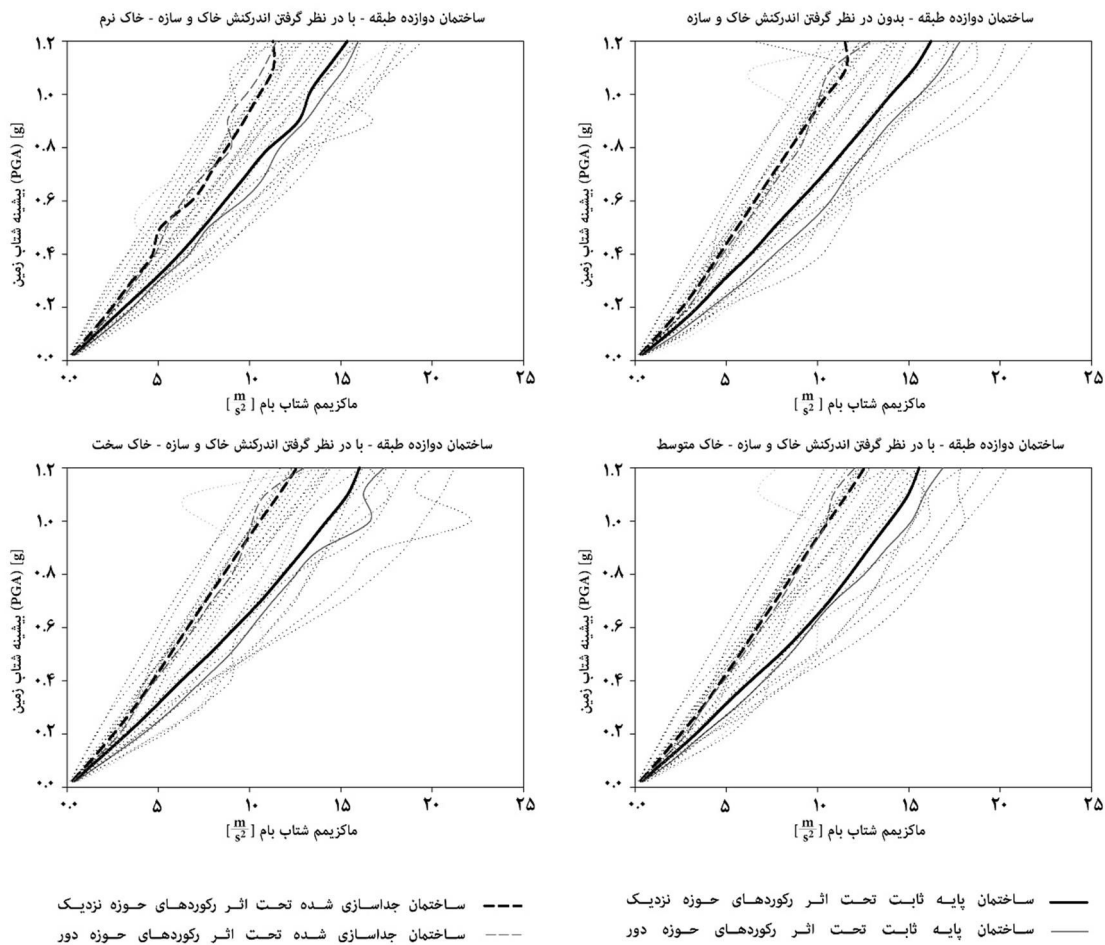
برخلاف ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده که در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه باعث افزایش پاسخها می‌گردد، در نظر گرفتن اثر اندرکنش باعث کاهش به ترتیب ۵.۹ و ۱.۸ درصدی ماکزیمم شتاب بام در خاک نرم و متوسط نسبت به حالت صلب در سازه‌های ۴ طبقه و کاهش ۵ و ۱ درصدی در سازه‌های ۸ طبقه می‌گردد. پایین‌حال ماکزیمم شتاب بام در سازه‌های جداسازی شده ۱۲ طبقه افزایش ۷/۲ و ۱/۸ درصدی پاسخ را ایجاد نموده است.



شکل (۴-۱۴) نمودارهای *IDA* ماکزیمم شتاب بام تحت اثر رکوردهای دوازده‌گانه به همراه میانگین پاسخ‌های حوزه نزدیک و دور - ساختمان هشت طبقه

به‌طور کلی و در هر چهار حالت بدون اندرکنش خاک و سازه، برای خاک‌های نرم، متوسط و سخت در شتاب‌های بیشینه زمین متفاوت همواره پاسخ سازه‌های جداسازی شده در میانگین بیشینه شتاب زمین کمتر از سازه‌های پایه ثابت مشابه می‌باشد. این نتیجه برای سازه‌های چهار، هشت و دوازده طبقه حکم فرماست.





شکل (۴-۱۵) نمودارهای *IDA* ماکزیمم شتاب بام تحت اثر رکوردهای دوازده گانه به همراه میانگین پاسخهای حوزه نزدیک و دور - ساختمان دوازده طبقه

در پایان هم می توان به عنوان یک نتیجه بیان نمود که اندرکنش خاک و سازه در شتابهای بیشینه زمین کمتر از  $0/6g$  در سازه های چهار، هشت و دوازده طبقه تأثیر چندانی بر روی ماکزیمم جابجایی جداسازها نگذاشته است و اندرکنش خاک و سازه بر روی ماکزیمم جابجایی جداسازها در شتابهایی بالاتر از این بیشینه شتاب زمین اثر خود را می گذارد.





فصل ۵

جمع بندی و نتایج

پس از آنکه در فصل‌های قبل با برخی گونه‌های جداسازها و این سیستم لرزه‌ای اقتصادی آشنا شده و نحوه مدل‌سازی آن‌ها و چگونگی انجام تحلیل دینامیکی افزایشی توضیح داده شد، در فصل قبل نتایج مربوط به این پژوهش شامل جداول و انواع نمودارها ارائه گردید. حال در این فصل به یک جمع‌بندی کلی از آنچه تاکنون به آن پرداخته شده، بیان خواهد شد.

در انتهای این فصل هم پیشنهادهایی برای ادامه کار توسط محققان ارائه خواهد شد تا با نقشه راهی در مقابل آن‌ها ادامه‌دهنده و کامل‌کننده این پژوهش بوده و به هر چه جامع و کامل شدن آن کمک شایانی نمایند.

## ۲-۵ جمع‌بندی نتایج

در این پژوهش شش نمونه ساختمان بتنی چهار، هشت و دوازده طبقه جداسازی شده و پایه ثابت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه (حالت صلب، خاک‌های نرم، متوسط و سخت) با استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی تحت اثر شش رکورد حوزه نزدیک و شش رکورد حوزه دور که دارای مؤلفه‌های یکسان اما ایستگاه‌های متفاوتی بودند، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. نتایج مورد بررسی شامل ماکزیمم دریفت طبقات، برش پایه، جابجایی و شتاب بام بودند که جمع‌بندی این نتایج به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

- در حالت بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در تمام سازه‌های کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه همواره میانگین ماکزیمم دریفت طبقه اول بیشتر از سازه‌های پایه ثابت مشابه آن است که این نتیجه برای سازه‌های بلندمرتبه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در خاک‌های نرم، متوسط و سخت نیز همواره برقرار است اما با کاهش تعداد

طبقات و نرم شدن خاک زیر سازه این نتیجه دیگر همواره حکم فرما نیست یعنی ماکزیمم دریافت طبقه اول در سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه‌های پایه ثابت مقداری کمتر خواهد بود.

- در طبقات بالاتر در حالت بدون در نظر گرفتن اندرکنش و در حالت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه همواره ماکزیمم دریافت هر طبقه در سازه‌های جداسازی شده کمتر از سازه‌های پایه ثابت و در طبقات مشابه بوده و با افزایش تعداد طبقات و در سازه‌های کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه این نتیجه همواره حکم فرماست.

- دو نتیجه قبلی از بررسی نتایج سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت در خاک‌های نرم، متوسط، سخت و حالت صلب که به صورت مجزا هر حالت در نظر گرفته شده، به دست آمده است. باین حال نتیجه حاصل از بررسی ماکزیمم دریافت طبقات در هر یک سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت در حالت‌های مختلف به این شرح است که اندرکنش خاک و سازه بر روی دریافت طبقات باعث افزایش پاسخ‌های می‌گردد که این افزایش پاسخ بر روی سازه‌های پایه ثابت نسبت به سازه‌های جداسازی به شدت بیشتر بوده که اهمیت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در سازه‌های پایه ثابت به میزان قابل توجه بوده و همچنین این افزایش به گونه است که در سازه‌های جداسازی شده در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه ضروری است.

- از چهار حالتی رفتاری که در نمودارهای تحلیل دینامیکی افزایشی می‌تواند اتفاق بیفتد، حالت رفتاری موجی با نرم شدن خاک در اکثر موارد قابل مشاهده است که به دلیل این رفتار موجی استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی در مطالعاتی که شامل اندرکنش خاک و سازه هستند به دلیل رفتار متفاوت سازه‌ها در بیشینه شتاب‌های زمین متفاوت به محققان توصیه می‌گردد.

- برخلاف ماکزیمم دریافت طبقات، اندرکنش خاک و سازه باعث کاهش ماکزیمم برش پایه در خاک‌های نرم، متوسط و سخت نسبت به حالت صلب می‌گردد. با افزایش تعداد طبقات اگرچه پاسخ‌ها در خاک‌های مختلف نسبت به حالت صلب کاهش بیشتری داشته است باین حال این کاهش در سازه‌های پایه ثابت حالتی مشهودتر نسبت به سازه‌های جداسازی شده به خود گرفته است.
- ماکزیمم برش پایه در سازه‌های جداسازی شده نسبت به حالت پایه ثابت در سازه‌های کوتاه مرتبه به نصف کاهش یافته است به گونه‌ای که با نرم شدن خاک کاهش ۱۵ درصدی این نسبت را شاهد بوده‌ایم. با افزایش تعداد طبقات کاهش ماکزیمم برش پایه در سازه‌های جداسازی شده نسبت به حالت پایه ثابت افزایش می‌یابد.
- در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در سازه‌های کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه باعث افزایش ماکزیمم جابجایی بام در سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت نسبت به حالت صلب گردیده که مشابه آنچه که گفته شده اثر اندرکنش خاک و سازه بر روی سازه‌های پایه ثابت در این حالت هم قابل توجه‌تر می‌باشد.
- با نرم شدن خاک پاسخ سازه‌های جداسازی شده و پایه ثابت یعنی ماکزیمم جابجایی بام به یکدیگر نزدیک‌تر شده است.
- در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه برخلاف ماکزیمم جابجایی بام باعث افزایش ماکزیمم شتاب بام می‌گردد باین حال همواره در سازه کوتاه مرتبه، متوسط و بلندمرتبه ماکزیمم شتاب بام در سازه‌های جداسازی شده کمتر از سازه‌های پایه ثابت می‌باشد.
- رکوردهای حوزه نزدیک در بیشینه شتاب واقعی زمین پاسخ بزرگ‌تری نسبت به رکوردهای حوزه دور ایجاد می‌نمایند اما در بیشینه شتاب‌های زمین با مقادیر یکسان، این رکوردهای حوزه دور خواهند بود که پاسخ بیشتری را ارائه خواهند کرد.

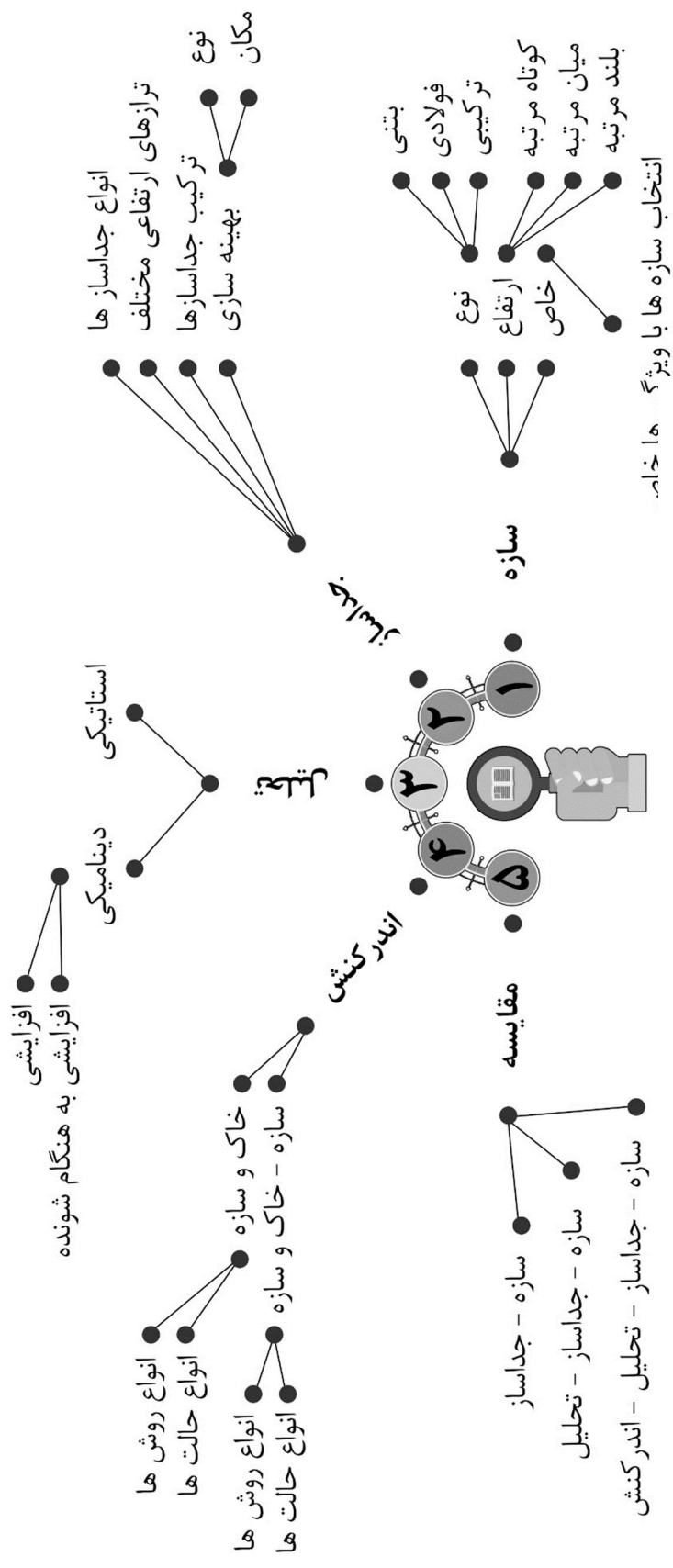
## ۳-۵ ارائه پیشنهادها

با پیشرفت علم و دانش در زمینه جداسازهای لرزه‌ای، استفاده روزافزون از این سیستم، عملکرد مناسب آن‌ها در زلزله‌های بزرگ در واقعیت و علاقه وافر محققان به مطالعه در این زمینه و بسیاری موارد دیگر باعث گردیده که یک زمینه مطالعاتی و حتی کاری ناب و برخی حالات بستر مطالعاتی دست‌نخورده در این زمینه را به وجود آورد.

تعداد زیاد انواع گونه‌های جداسازها باعث گردیده که در صورت عدم استفاده از تحلیل‌ها و یا اندرکنش‌هایی خاص در پژوهش‌های مرتبط به‌تنهایی خود زمینه‌های مطالعاتی بی‌شماری را به وجود آورند و حتی می‌توان گفت که با در نظر گرفتن حالت‌ها، تحلیل‌های گوناگون و سایر موارد، موضوعات دارای قابلیت پژوهش در این زمینه به سمت بی‌نهایت میل می‌نماید.

نموداری ابتدایی از انجام و ادامه کار در این زمینه پژوهشی در زیر در شکل (۱-۵) آورده شده و از آن لحاظ ابتدایی نامیده شده که تمی توان آن را یک ویرایش ابتدایی در نظر گرفت و باگذشت زمان به هر چه کامل‌تر شدن این نمودار کمک کرد.

پس از به وجود آمده جداسازها و انواع گونه‌های آن اینکه چه جداسازی در چه شرایطی بهترین عملکرد را نسبت به خود و یا سایر جداسازها داشته باشد همواره یکی از دغدغه‌های محققان، مهندسان و معماران بوده است بنابراین بررسی هر یک از جداسازها در سازه‌های مختلف و همچنین مقایسه رفتاری دو جداساز در بهبود و یا عدم بهبود پاسخ‌های سازه‌ها نسبت به یکدیگر می‌تواند یکی از زمینه‌های مطالعاتی مادر باشد که خود به زیر موضوعات گوناگون زیادی می‌تواند تقسیم گردد. موضوعاتی که با بررسی برخی مجلات معتبر و با جست‌وجویی کوتاه می‌توان با بعضی از موضوعات کارشده توسط برخی از محققان آشنا شده و در بهبود همان یا استفاده مشابه برای تعریف موضوعات دیگر استفاده نمود.



شکل ۱۵-۵ ( ۱-۵ ) چارت ارائه پیشنهادات برای ادامه کار توسط سایر محققان



یکی دیگر از مواردی که می‌توان در ادامه انجام داد بهینه‌سازی در خود جداسازها و یا بهینه‌سازی محل و نحوه قرارگیری در سازه‌ها و ترکیب با سایر جداسازها از مواردی است در این زمینه می‌توان موضوع پژوهشی تعریف نمود.

استفاده از تحلیل‌های نو از جمله تحلیل دینامیکی افزایشی و تحلیل دینامیکی افزایشی بهنگام شونده نیز از مواردی هستند که برای ادامه کار توسط محققان می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

تحلیل دینامیکی افزایشی متداول دارای دو مشکل اصلی است. در این روش برخلاف تحلیل دینامیکی افزایشی که برای تمام سطوح شدت از یک دسته شتاب‌نگاشت استفاده می‌شد در هر سطح از شدت، شتاب‌نگاشت‌های متناظر با آن سطح انتخاب می‌گردد. پاسخ‌های سازه را با استفاده از این شتاب‌نگاشت‌ها به دست آورده سپس با رسم مقادیر میانگین پاسخ‌های به‌دست آمده می‌توان یک منحنی شبیه منحنی‌های تحلیل دینامیکی افزایشی به دست آورد. علت نام‌گذاری این روش به هنگام شونده به این دلیل است که در هر سطح از شدت شتاب‌نگاشت‌های جدید و متناظر از آن سطح انتخاب می‌گردد.

روش‌های مختلفی برای انتخاب شتاب‌نگاشت با شدت یکسان وجود دارد که در اغلب این روش‌ها با استفاده از تطابق طیف شتاب‌نگاشت‌ها با یک طیف هدف، شتاب‌نگاشت انتخاب می‌گردد. طیف یکنواخت خطر و طیف میانگین شرطی از طیف‌هایی هستند که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان طیف هدف استفاده نمود.

علاوه بر استفاده از روش‌های گوناگون در مدل‌سازی اندرکنش خاک و سازه در سازه‌های انتخاب شده می‌توان فراتر رفته و از اندرکنش سازه-خاک-سازه استفاده نموده که خود دنیای جدیدی را فراروی محقق قرار می‌دهد. در نهایت موضوعاتی پیشنهاد می‌گردد که از مقایسه آنچه گفته شده است به دست خواهد آمد.

## فهرست منابع

- [۱] تقوی، ا.م. و زمانی بیدختی، ا. (۱۳۹۶)، "بررسی تأثیر قرارگیری جداساز در ارتفاع‌های مختلف بر رفتار سازه‌ها"، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [۲] Heaton, T.H., Hall, J.F., Wald, D.J. and Halling, M.W., (1995). Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical Mw 7.0 blind thrust earthquake. *Science*, 267(5195), pp.206-211.
- [۳] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، (۱۳۸۹)، "راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی"، نشریه شماره ۵۲۴، چاپ اول، تهران، ایران.
- [۴] Constantinou, M.C. and Kneifati, M.C., (1988). Dynamics of soil-base-isolated-structure systems. *Journal of Structural Engineering*, 114(1), pp.211-221.
- [۵] Zou, L.H., Zhao, R.D. and Zhao, J.C., (2004). Analysis of the response to earthquake of the pile-soil-isolated structure interaction. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 26(6), p.782.
- [۶] Song, Z. and Ding, H., (2008), October. The analysis of seismic response for baseisolated structure by LS-DYNA. In of the 14th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE'08).
- [۷] Spyrakos, C.C., Koutromanos, I.A. and Maniatakis, C.A., (2009). Seismic response of base-isolated buildings including soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(4), pp.658-668.
- [۸] Skinner, R.I., Robinson, W.H. and McVerry, G.H., (1993). An introduction to seismic isolation.
- [۹] F. Naeim and J. M. Kelly, *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons, . ۱۹۹۹
- [۱۰] امان پور، آ.، زهرایی، س.م. و تقی‌خانی، ت.، (۱۳۸۷)، "بررسی کارایی الگوریتم LQR در راندمان جداسازی لرزه‌ای در برابر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران.
- [۱۱] غفوی آشتیانی، م. و همایون شاد، ف.، (۱۳۸۱)، "طراحی ساختمان‌ها با جداسازهای لرزه‌ای از تئوری تا عمل (ترجمه)"، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول، تهران، ایران.

- [۱۲] دهقانی اشکذری، ق.، آقا کوچک، ع.ا. و کوبی، م.، (۱۳۸۶)، "بررسی آزمایشگاهی عملکرد جداسازهای لرزه‌ای الاستومر مسلح با الیاف، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، جلد ۴۱، شماره ۶، صفحه ۷۵۲-۷۳۹.
- [۱۳] Islam, A.S., Jameel, M. and Jumaat, M.Z., (2011). Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behaviour of structure and installation technique. *Journal of Engineering and Technology Research*, 3(4), pp.99-117.
- [۱۴] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت رئیس‌جمهور، (۱۳۹۰)، "راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها (نشریه ۵۲۳)"، چاپ اول، تهران، ایران.
- [۱۵] تهرانی زاده، م. و حامدی، ف.، (۱۳۷۸)، "جداسازی لرزه‌ای در مقابل زلزله (ترجمه)"، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول، تهران، ایران.
- [۱۶] MCEER, (2014), "Advanced Earthquake Resistant Design Techniques [Online]," Available: [http://mceer.buffalo.edu/infoservice/reference\\_services/adv\\_eqdesign.asp](http://mceer.buffalo.edu/infoservice/reference_services/adv_eqdesign.asp).
- [۱۷] Haghghi, M., Zarfam, P., and Kazeminezhad, E., (2011), Seismic Evaluation Of R/C Buildings Equipped with Base Isolation Systems, 4th International Conference on Seismic Retrofitting (Earthquake Engineering and new Technology on Retrofitting), Tabriz, iran..
- [۱۸] زندی، ا. پ. و سطنی محمدی، ح.، (۱۳۸۵)، "مقایسه به‌کارگیری سیستم‌های مدرن جاذب انرژی در بهسازی لرزه‌ای ساختمان اسکلت فولادی ۱۲ طبقه، همایش آشنایی با تکنولوژی نوین بهسازی لرزه‌ای"، تهران، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، صفحه ۱-۱۴.
- [۱۹] کازرونیان، س.ع.، (۱۳۸۹)، "بررسی تأثیر مشخصات سیستم‌های جداساز بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده از پایه"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی.
- [۲۰] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت رئیس‌جمهور، (۱۳۸۸)، "تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۱)"، ویرایش اول، تهران، ایران.
- [۲۱] امیری امامی، ر.، صفدریان، ل.، توکل پناه، م. و کریمی، ن. (۱۳۸۴)، "جداساز لرزه‌ای پایه"، دوازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده عمران.
- [۲۲] سیاه پلو، ن.، (۱۳۸۷)، "بررسی دینامیک لرزه‌ای ساختمان‌های ایزوله شده با جداگر لرزه‌ای"، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، سمنان، دانشگاه سمنان.

- [۲۳] Catalogues of Bridgestone Corporation , (2013), Characteristics data of Bridgestone's seismic isolation bearings, Tokyo, Japan..
- [۲۴] تهرانی زاده، م.، تقی‌خانی، ت. و امان پور، آ.، (۱۳۸۷)، " عملکرد سیستم‌های کنترل نیمه فعال در حفاظت لرزه‌ای تجهیزات حساس با استفاده از الگوریتم سختی منفی"، چهارمین کنفرانس کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران.
- [۲۵] J. M. Kelly, "Analysis of Fiber -Reinforced Eastomeric Isolators," ( 1999), *J. Seismol. Earthq. Eng*, vol. Vol. ۲(۱), pp. ۱۹-۳۴,.
- [۲۶] وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۵)، "آشنایی با جداسازهای لرزه‌ای و تأثیر آن‌ها بر عملکرد پل‌ها"، پژوهشکده حمل‌ونقل، تهران، ایران.
- [۲۷] پور محمد، ح.، ضیائی فر، م. و غفوری آشتیانی، م.، (۱۳۸۵)، "جداساز الاستومر مسلح به حلقه‌های فلزی - مطالعه تئوری، عددی و آزمایشگاهی، نشریه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال ۸، شماره ۲، صفحه ۱۴۴-۱۳۵.
- [۲۸] واثقی امیری، ج. و اسماعیل‌زاده طلوعی، ش.، (۱۳۹۰)، "بررسی عملکرد سازه‌های فولادی جداسازی شده با جداگرهای پایه پاندولی اصطکاکی تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.
- [۲۹] García, J.A., (2002). Reduction of seismically induced structural vibrations considering soil-structure interaction.
- [۳۰] Bazyar Mansoor Khani and M. Hossein, (2007), "Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis using the Scaled Boundary Finite-Element Method," PHD, School of Civil and Enviromental Engineering the University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [۳۱] P. Arduino, (2008), "*Geotechnical elements and models in opensees*". In *OpenSees Days ۲۰۰۸*. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER).
- [۳۲] معصومی، علی، و حمیدرضا طباطبایی فر، (۱۳۸۶)، "بررسی تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح با سیستم قاب خمشی (با استفاده از روش مستقیم)"، پنجمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- [۳۳] Seed, H.B., (1970). "Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis". EERC.
- [۳۴] Lysmer *et al.*, (1975), "Flush: a computer program for approximate ۳ d analysis of soil-structure interaction problems problems," in "EERC ۷۵-۳۰," Earthquake Engineering Reserch Center.

- [۳۵] Venanzi, I., Salciarini, D. and Tamagnini, C., (2014). "The effect of soil–foundation–structure interaction on the wind-induced response of tall buildings". *Engineering structures*, 79, pp.117-130.
- [۳۶] Harte, M., Basu, B. and Nielsen, S.R., (2012). "Dynamic analysis of wind turbines including soil-structure interaction". *Engineering Structures*, 45, pp.509-518.
- [۳۷] Suyehiro, K., (1932). *Engineering seismology: "Notes on American lectures"*. *Proc. Amer. Soc. Civil Engin.*, 58(4), pp.1-110.
- [۳۸] Sezawa, K. and Kanai, K., (1936). "Improved theory of energy dissipation in seismic vibrations on a structure". *Bull. Earth. Res. Inst*, 14(Part 2), pp.164-168.
- [۳۹] Li, M., Lu, X., Lu, X. and Ye, L., (2014). "Influence of soil–structure interaction on seismic collapse resistance of super-tall buildings". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(5), pp.477-485.
- [۴۰] Tena-Colunga, A., Pérez-Rocha, L.E., Avilés, J. and Cordero-Macías, C., (2015). "Seismic isolation of buildings for power stations considering soil-structure interaction effects". *Journal of Building Engineering*, 4, pp.21-40.
- [۴۱] Zhou, Z., Nicholas, S. and Mahin, S., (2013), August. "Effects of soil-structure interaction on seismically isolated nuclear power plant". In *Proceedings of the 22th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*.
- [۴۲] Politopoulos, I., Sergis, I. and Wang, F., (2015). "Floor response spectra of a partially embedded seismically isolated nuclear plant". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 78, pp.213-217.
- [۴۳] Sayed, M., Kim, D. and Cho, S., (2013), August. "Seismic analysis of base isolated nuclear power plant considering nonlinear pile-soil interaction". In *Proceedings of the 22th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*.
- [۴۴] رضایی فر، ا. و مهرپویا، م.، (۱۳۹۵)، "شناسایی رفتار دینامیکی پل‌های جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های حوزه نزدیک با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه " پنجمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۷۷-۸۹.
- [۴۵] شورشانی، س.، سلطانی، ف.، قاسمی، م.، و اعتدالی، ص.، (۱۳۹۵)، "مطالعات پارامتریک سازه‌های جداشده در پایه با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه"، دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین‌المللی مخترعان جهان (IFIA)، دانشگاه جامع علمی کاربردی.
- [۴۶] حسینی، ن.، قدرتی امیری، غ.، زرپرور، پ. و برارنیا، م.، (۱۳۹۳)، "مطالعه اثر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ دینامیکی ساختمان‌های بتنی مجهز به جداساز لرزه‌ای"، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی.

[۴۷] حسینی، س.م. و کنارنگی، ه.، (۱۳۹۴)، "کاربرد نرم‌افزار اپنسیس در مدل‌سازی و تحلیل سازه‌ها". تهران، ایران، انتشارات آزاده.

- [۴۸] Tavakoli, H.R., Naghavi, F. and Goltabar, A.R., (2014). "Dynamic responses of the base-fixed and isolated building frames under far-and near-fault earthquakes". *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(4), pp.2573-2585.
- [۴۹] Bowles, L., (۱۹۹۶), *Foundation analysis and design*. McGraw-hill.
- [۵۰] Amini, F., Bitaraf, M., Nasab, M.S.E. and Javidan, M.M., (2018). "Impacts of soil-structure interaction on the structural control of nonlinear systems using adaptive control approach". *Engineering Structures*, 157, pp.1-13.
- [۵۱] Raychowdhury, P. , (۲۰۰۸), "Nonlinear winkler-based shallow foundation model for performance assessment of seismically loaded structures". University of California, San Diego,.
- [۵۲] Bertero, V.V., (1977). "Strength and deformation capacities of buildings under extreme environments". *Structural engineering and structural mechanics*, 53(1), pp.29-79..
- [۵۳] Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A., (2005). "Direct estimation of seismic demand and capacity of multidegree-of-freedom systems through incremental dynamic analysis of single degree of freedom approximation". *Journal of Structural Engineering*, 131(4), pp.589-599.

## Abstract

In this study, dynamic responses of isolated and fixed base RC building with and without soil structure interaction (SSI) under near fault and far field earthquakes are investigated. For this purpose, three RC building of 4, 8 and 12 story with and without lead rubber bearing (LRB) isolators were modeled in Opensees software and generally six records of near fault and six record of far field ground motions which had the same components but different stations, conducted to each of this models. The analysis that used in this study is incremental dynamic analysis (IDA) in which, by applying a vast range of scale-up records of earthquakes to structures, receiving relevant responses, categorizing and presenting them, the behavior of such structures is understood as better and deeper. The results of the study were interstory drift ratio, base shear, roof displacement and acceleration. The results showed that the isolators in the isolated structures greatly reduce the structural responses by absorbing the earthquake energy and will help to economize of the projects. Considering the effects of soil structure interaction in isolated buildings is important and in actual PGA, near fault records generate bigger results than far field records but in same PGA, far field records generate bigger results.

**Keywords:** Soil structure interaction, Incremental dynamic analysis, Lead rubber bearing, IDA Curve, Near fault and Far field earthquakes.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of civil engineer**

**The effect of soil structure interaction (SSI) on seismic behavior of  
isolated structures**

**Amir Mohammad Taghavi**

**Supervisor:**

**Ebrahim Zamani Beydokhti**

**Date: September 2018**