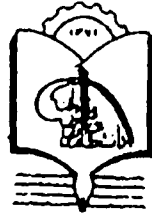


٤٢٩/٣

۱۳۸۱ / ۹ / ۲۰



وزارت فرهنگ و آموزش عالی

دانشگاه علوم و فنون مازندران

از انجمن استادیان مازندران
مستند

پایان نامه
مقطع کارشناسی ارشد
مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان:

بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای مصالح بنایی
با سیستم ایزولاسیون لغزشی ماسه‌ای

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا قدرتی امیری

۴۲۶۱۵

نگارش:

سهیل بگدلو

زمستان ۱۳۷۹

سپاس بیشمار آفریدگاری را سزااست، که زبان
ستایشگران از وصف کمالش عاجز، و کوششگران
سپاسگویی‌شان، با تلاشی هر قدر گران نتوانند:
«کز عهده شکرش بدر آیند»

یکتای بی‌همتایی که، به نیرویی برتر از پندار عدم را
رنگ هستی زد، و آن چه را که در چشم اندیشمندان
جز، ابخره‌ای رنگین و رویاگون بیش نبود، جامه وجود
پوشانید.

تقدیم به :

دو ستارهٔ آسمان عمره

پدر عزیزم، که نهایت اعداد مرمتش را

قادر نیست.

و مادر مهربانم که اقیانوسی از مرکب

ستایش مهربانی هایش را کامل نیست.

سپاسگذاری

خود را بسیار مدیون و سپاسگذار استاد گرامی و گرانمایه خود یعنی جناب آقای دکتر قدرتی امیری می دانم که در تمامی مراحل این تحقیق و در هم حال مشوق و یاریگر بنده بودند. هم چنین وظیفه خود می دانم تا از تمام کسانی که در تکمیل و انجام این تحقیق بنده را یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم:

جناب دکتر حسنی که راهنماییهای ارزنده‌ای در مرحله شروع تحقیق برای اینجانب داشتند. دوست عزیزم جناب مهندس شعبانی که راهنمای بنده در زمینه شناخت و استفاده از نرم افزار ANSYS بوده و هم چنین مشاوره‌های ارزشمندی که در طی تمامی مراحل این تحقیق به بنده ارائه نمودند.

خواهر عزیزم که در زمینه نوشتاری و جمع آوری مطالب یاریگر اینجانب بودند. هم چنین بدین وسیله تشکر می نمایم از سرکار خانم محسنی که در زمینه تایپ و ویرایش این تحقیق بسیار متحمل زحمت شدند.

بسیار باعث شرف و مباهات و افتخار بنده بود که تحقیق اینجانب توسط استاد گرانقدر و شناخته شده‌ای همچون جناب دکتر مجتهدی مورد بررسی و داوری قرار گرفت.

هم چنین سپاسگذاری می نمایم از جناب دکتر قلی پور که قبول زحمت فرموده و تحقیق اینجانب را مورد بررسی و داوری قرار داده و در مراسم دفاعیه شرکت نمودند.

چکیده

بررسی آمار مرگ و میر و انهدام در ساختمانهای مختلف گواه این موضوع است که بیشتر این آسیبها و خسارات متوجه خانه‌های ساخته شده از مصالح بنایی بوده است. با توجه به توان لرزه خیزی بالای کشورمان، توجه و ارائه راه کارهایی در جهت مقاوم سازی اینگونه ساختمانها الزامی به نظر می‌رسد. یک روش جهت محافظت زلزله‌ای این ساختمانها که هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه بوده و هم ساده و قابل اجرا توسط افراد بومی مناطق باشد، استفاده از یک سیستم ایزولاسیون لغزشی است که در این سیستم جهت ایجاد لغزش اصطکاکی، دیوارهای باربر ساختمان با یک لایه ماسه از شناژ زیرین جدا شده‌اند. در این مطالعه جهت درک و فهم رفتار یک سیستم جدایشگر و همچنین شناخت جزئیات تشکیل دهنده آنها و عملکرد این اجزاء ابتدا مروری بر تحقیقات گذشته در این زمینه صورت پذیرفت. در مرحله بعدی به بررسی خواص مصالح مصرفی جهت لایه لغزشی و همچنین پارامترهای مؤثر بر آن پرداخته شد. با توجه به اینکه درک رفتار این سیستم جهت مدل‌سازی الزامی به نظر می‌رسید، بررسی و تعیین معادلات حاکم در مرحله قبل و بعد از لغزش، مرحله بعدی این تحقیق بود. در نهایت با مدل‌سازی نمونه‌هایی مطابق با شرایط طبیعی ممکن به بررسی رفتار این گونه سازه‌ها تحت تأثیر پارامترهای مؤثر متنوع و گوناگون پرداخته شد. پارامترهایی که به عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب شدند عبارت بودند از تغییر نوع مصالح با ضرایب اصطکاک مختلف، تغییرات ضخامت لایه لغزشی، افزایش و یا کاهش تعداد طبقه، تغییرات نسبت ارتفاع به دهنه و تغییرات ضخامت دیوار. همچنین بررسی کامل این مدلها، تحلیل تحت ۳ شتابنگاشت مهم کشورمان یعنی زلزله‌های ناغان، طبس و منجیل و همچنین شتابنگاشت زلزله السنتر و صورت پذیرفته و پاسخ تحت هر ۴ رکورد زلزله مزبور تحت تأثیر پارامترهای فوق بدست آمد. و در پایان نیز، نتایج بررسی و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل ۱- کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- فلسفه طرح زلزله‌ای سازه‌ها
۳	۳-۱- مقایسه مزایا و معایب سازه‌های نرم و سخت
۳	۱-۳-۱ سازه‌های نرم
۴	۲-۳-۱ سازه‌های سخت (انعطاف‌ناپذیر)
۴	۴-۱- ایمن‌سازی ساختمان در برابر زلزله
۶	۵-۱- مروری بر عملکرد ساختمانهای متداول بنایی ایران در برابر زلزله
۸	۶-۱- نظریه و تکنیک جداسازی لرزه‌ای برای مقابله با زلزله
۹	۷-۱- انگیزه و هدف از انتخاب موضوع
	فصل ۲- سیستم ایزولاسیون لرزه‌ای و مروری بر تحقیقات گذشته
۱۹	۱-۲- مقدمه
۱۹	۲-۲- تاریخچه نظریه و شکل‌گیری فن جداسازی ساختمان از زمین برای مقابله با زلزله
۲۳	۳-۲- مفهوم جداسازی ارتعاشی
۲۷	۴-۲- عناصر اصلی یک سیستم ایزوله‌کننده در برابر زلزله
۲۸	۱-۴-۲- انعطاف پذیری
۲۹	۲-۴-۲- استهلاک
۳۰	۳-۴-۲- صلیبت کافی در مقابل بارهای جانبی کوچک
۳۲	۵-۲- خصوصیات مطلوب یک سیستم ایزولاسیون لرزه‌ای
۳۴	۶-۲- اثرات کلی جداگرها بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها
۳۶	۷-۲- مقایسه‌ای بین روشهای متداول مقاوم سازی در برابر زلزله و سیستم‌های جدایشگر
۳۸	۸-۲- نتایج زلزله‌های اخیر در مورد سازه‌های جدایش یافته
۳۸	۹-۲- ضوابط آئین نامه UBC در مورد سازه‌های جدایش یافته
۴۰	۱۰-۲- معرفی تعدادی از سیستم‌های جدایشگر
۴۰	۱-۱۰-۲- سیستم جداکننده اصطکاکی خالص (P-F)

- ۴۱ ۲-۱۰-۲ سیستم تکیه گاه لاستیکی (LRB)
- ۴۲ ۳-۱۰-۲ سیستم جدایشگرهای اصطکاکی - مقاوم (R-FBI)
- ۴۲ ۴-۱۰-۲ سیستم جدایشگرهای فرانسوی (EDF)
- ۴۲ ۵-۱۰-۲ سیستم‌های جدایشگر زلاندنو (NZ)
- ۴۳ ۶-۱۰-۲ سیستم جداکننده مقاوم اصطکاکی - لغزشی (SR-F)
- ۴۳ ۱۱-۲ سیستم لغزشی پیشنهادی جهت این تحقیق

فصل ۳- مباحث آزمایشگاهی و تئوریک

الف - مباحث آزمایشگاهی

- ۷۰ ۱-۳ مقدمه
- ۷۰ ۲-۳ مصالح مصرفی
- ۷۱ ۱-۲-۳ ملات ماسه - سیمان
- ۷۱ ۲-۲-۳ قیر
- ۷۲ ۳-۲-۳ ماسه بادی
- ۷۳ ۴-۲-۳ پرکه صنعتی
- ۷۴ ۵-۲-۳ رس
- ۷۴ ۶-۲-۳ ملات ماسه رس
- ۷۵ ۳-۳ تأثیر بعضی از پارامترهای مصالح مصرفی بر مقدار ضریب اصطکاک
- ۷۵ ۱-۳-۳ ضخامت
- ۷۵ ۲-۳-۳ چسبندگی مصالح
- ۷۶ ۳-۳-۳ درجه حرارت
- ۷۷ ۴-۳-۳ تنش قائم
- ۷۷ ۵-۳-۳ سرعت بارگذاری
- ۷۸ ۴-۳ مقایسه نتایج
- ۷۸ ۱-۴-۳ مصالح دانه‌ای
- ۷۹ ۲-۴-۳ مصالح چسبنده
- ۷۹ ۳-۴-۳ ملات‌ها

۵-۳- تعیین سختی قائم و مماسی لایه لغزشی ۸۰

ب- مباحث تئوریک

۶-۳- تحلیل دینامیکی سازه‌های چند درجه آزادی متکی بر جدایشگرهای لغزشی ۸۹

۷-۳- معادلات حرکت سیستم‌های لغزشی ۹۱

۱-۷-۳- معادلات حرکت سیستم در فاز غیر لغزشی ۹۱

۲-۷-۳- معادلات حرکت سیستم در فاز لغزشی ۹۵

۸-۳- حل معادلات حرکت برای سیستم‌های لغزشی ۹۶

۹-۳- سیستم‌های جداگر دوخطی ۹۶

۱۰-۳- پارامترهای سیستم‌های جداگر دوخطی ۹۷

۱۱-۳- معادلات حرکت سیستم خطی بر روی جداگر هیستریسیس دوخطی ۱۰۲

فصل ۴- مدلسازی و تحلیل مدل

۱-۴- مقدمه ۱۰۵

۲-۴- مدل‌های مورد بررسی ۱۰۵

۱-۲-۴- ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ جهت تعیین ابعاد کلافها ۱۰۶

۲-۲-۴- تعیین سختی جانبی دیوارها و معادل سازی آنها با المانهای قطری ۱۰۸

۱-۲-۲-۴- تبدیل کنش خمشی به کنش خریایی ۱۰۸

۲-۲-۲-۴- محاسبه سختی جانبی دیوار ۱۰۹

۳-۲-۲-۴- معادلسازی دیوارها با المانهای قطری ۱۱۱

۳-۲-۴- بارگذاری و تعیین میزان بار ثقلی اعمالی به قابها ۱۱۲

۳-۴- تعیین مشخصات لایه لغزشی ۱۱۲

۴-۴- تحلیل سیستم‌های لغزشی ۱۱۵

۵-۴- رکوردهای مورد استفاده ۱۱۶

۶-۴- معرفی نرم افزار ANSYS ۱۱۶

۷-۴- پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق ۱۱۷

۸-۴- مدلسازی و تحلیل مدلها ۱۱۸

۱-۸-۴- بررسی المانهای مورد استفاده جهت تشکیل مدل مورد نظر ۱۱۹

۲۸۴- اعمال بارها به مدل و تحلیل آن ۱۲۰

فصل ۵- استخراج و تفسیر نتایج

۱-۵- آنالیز دینامیکی توسط نرم افزار (SAP 90) و مقایسه با نتایج نرم افزار ANSYS ۱۲۶

۲-۵- استخراج و دسته بندی نتایج ۱۲۶

۳-۵- مقایسه نتایج ۱۲۷

۱-۳-۵- بررسی تاریخچه زمانی و پاسخ برای انواع مصالح تحت رکوردهای مختلف زلزله ۱۲۷

۲-۳-۵- بررسی تأثیر نوع مصالح لغزشی ۱۲۸

۳-۳-۵- بررسی تأثیر ضخامت لایه لغزشی ۱۲۹

۴-۳-۵- تأثیر تعداد طبقات ۱۳۰

۵-۳-۵- بررسی تأثیر تغییرات h/L ۱۳۱

۶-۳-۵- بررسی تأثیر تغییرات ضخامت دیوار ۱۳۲

۷-۳-۵- بررسی تأثیر تغییرات ضریب اصطکاک بر روی پاسخ سازه ۱۳۲

۸-۳-۵- بررسی تأثیر نوع رکورد زلزله ۱۳۳

فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۶- نتیجه گیری ۲۰۰

۲-۶- پیشنهادات ۲۰۳

فهرست منابع و مراجع ۲۰۴

پیوست ۱- شرح المانهای مورد استفاده در ANSYS

پ ۱-۱- تیرالاستیک ۲ بعدی ۲۰۰

پ ۲-۱- تیر خربایی دو بعدی LINK 1 ۲۰۰

پ ۳-۱- جرم سازه ای MASS 21 ۲۰۰

پ ۴-۱- المان CONTACT ۲۰۰

پیوست ۲- آنالیز دینامیکی غیرخطی در نرم افزار ANSYS

پ ۱-۲- بررسی رفتار غیرخطی سازه ها ۲۰۰

پ ۲-۲- آنالیز دینامیکی در نرم افزار ANSYS ۲۰۰

پ ۳-۲- آنالیز غیرخطی در نرم افزار ANSYS ۲۰۰

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	فصل ۱
۱۷	جدول ۱-۱ آمار تلفات ناشی از برخی زلزله‌های ایران
	فصل ۲
۶۲	جدول ۱-۲ فهرست کشورهای فعال در زمینه سیستم‌های جداکننده ساختمان از حرکات لرزه‌ای
۶۴	جدول ۲-۲ فهرست ساختمانها و سازه‌های ایزوله شده در آمریکا
۶۵	جدول ۳-۲ فهرست ساختمانها و سازه‌های ایزوله شده در نیوزلند
۶۶	جدول ۴-۲ فهرست ساختمانها و سازه‌های ایزوله شده در ژاپن
۶۷	جدول ۵-۲ مشاهدات پاسخ زلزله‌ای سازه‌های ایزوله شده در برابر زلزله‌های واقعی
۶۷	جدول ۶-۲ مشخصات سیستم‌های مختلف ایزوله کننده
	فصل ۳
۸۴	جدول ۱-۳ ضریب اصطکاک انواع ملاتهای ماسه سیمان
۸۴	جدول ۲-۳ ضرایب اصطکاک و چسبندگی قیر در دماهای مختلف
۸۴	جدول ۳-۳ نتایج آزمایش برشی ماسه بادی
۸۵	جدول ۴-۳ نتایج آزمایش فشاری پوکه صنعتی
۸۵	جدول ۵-۳ نتایج آزمایش برشی رس
۸۵	جدول ۶-۳ نتایج آزمایش برشی ملات ماسه رس
۸۶	جدول ۷-۳ ضرایب اصطکاک ملات ماسه رس
۸۶	جدول ۸-۳ ضرایب اصطکاک برای انواع مختلف مصالح
۸۷	جدول ۹-۳ پارامترهای الاستیک خاکهای مختلف
۸۷	جدول ۱۰-۳ واحد وزنها و زاویه اصطکاک مؤثر داخلی و ضریب اصطکاک با بتن برای انواع خاکها
	فصل ۴
۱۰۷	جدول ۱-۴ مشخصات مقاطع
۱۱۱	جدول ۲-۴ مشخصات میانقاب
۱۱۳	جدول ۳-۴ خواص مصالح انتخابی

جدول ۴-۴ مشخصات لایه لفضشی ۱۱۴

پیوست ۱

جدول پ ۱-۱ خلاصه ورودیهای المان (Beam 3)

جدول پ ۲-۱ تعریف المانهای خروجی (Beam 3)

جدول پ ۳-۱ خلاصه ورودیهای المان Linkl

جدول پ ۴-۱ تعریف خروجیهای المان Linkl

جدول پ ۵-۱ خلاصه ورودیهای المان MASS 21

جدول پ ۶-۱ خلاصه اطلاعات ورودی المان Contac 12

جدول پ ۷-۱ تعریف خروجیهای المان Contac 12

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) حدود بحرانی روشهای مقاوم سازی ساختمانها. ۱۱
- شکل (۲-۱) نمایش انهدام یک ساختمان خشت و گلی. ۱۲
- شکل (۳-۱) ۱۲
- شکل (۴-۱) ۱۳
- شکل (۵-۱) ۱۳
- شکل (۶-۱) ۱۴
- شکل (۷-۱) ۱۴
- شکل (۸-۱) ۱۵
- شکل (۹-۱) ۱۵
- شکل (۱۰-۱) ۱۶
- شکل (۱۱-۱) ۱۶

فصل ۲ -

- شکل (۱-۲) انواع مختلف سیستم‌های ایجادکننده حرکت پایه. ۴۶
- شکل (۲-۲) نمایش عملکرد یک سازه ایزوله شده قبل و بعد از زلزله. ۴۷
- شکل (۳-۲) نمایش شماتیک یک سازه جداسازی شده. ۴۷
- شکل (۴-۲) اثر افزایش زمان تناوب سازه بر شتاب سازه. ۴۸
- شکل (۵-۲) اثر افزایش زمان تناوب سازه بر تغییر مکان سازه. ۴۸
- شکل (۶-۲) الف) انواع قطعات مستهلک کننده انرژی. ۴۹
- شکل (۶-۲) ب) تجهیزات اصطکاکی برای ایجاد استهلاک. ۵۰
- شکل (۷-۲) طیف پاسخ شتاب برای زلزله NS السنترو ۱۹۴۰ برای میرایی‌های مختلف. ۵۱
- شکل (۸-۲) طیف پاسخ شتاب برای میانگین وزن دار ۸ شتاب نگاشت. ۵۱
- شکل (۹-۲) طیف تغییر مکان. ۵۲
- شکل (۱۰-۲) مقایسه عملکرد سیستم معمولی و سیستم جدایش یافته لرزه‌ای در برابر نیروهای جانبی ناشی از زمین لرزه. ۵۳
- شکل (۱۱-۲) مدل تحلیلی تعدادی از سیستمهای جدایشگر. ۵۴

- شکل (۱۲-۲) مدل پیشنهادی سیستم پی لغزشی ۵۵
- شکل (۱۳-۲) مدل تحلیلی سیستم لغزشی پیشنهادی ۵۵
- شکل (۱۴-۲) رابطه نیرو - تغییر مکان برای سیستم لغزشی پیشنهادی ۵۵
- شکل (۱۵-۲) سیستم ایزولاسیون لرزه‌ای پاندول اصطکاکی ۵۶
- شکل (۱۶-۲) برخی از انواع ایزولاتورها ۵۷
- شکل (۱۷-۲) برخی از انواع ایزولاتورها ۵۸
- شکل (۱۸-۲) نمایش اجزای مختلف سیستم جدایشگر R-FBI ۵۹
- شکل (۱۹-۲) تکیه‌گاه لاستیکی لایه‌ای تقویت شده قبل از اعمال بار و تحت کشش قائم ۶۰
- شکل (۲۰-۲) نمایش شماتیک یک سازه ایزوله شده روی کف لغزشی ۶۱
- شکل (۲۱-۲) جزئیات اجرایی پی لغزشی ۶۱

فصل ۳

- شکل (۱-۳) نمودار نمایش آزمایش برشی ماسه بادی ۸۲
- شکل (۲-۳) نمودار نمایش نتایج آزمایش برشی رس ۸۲
- شکل (۳-۳) نمودار نمایش نتایج آزمایش برشی ملات ماسه - رس ۸۳
- شکل (۴-۳) رفتار سیستم تکیه‌گاه لغزشی ۸۹
- شکل (۵-۳) رفتار صلب - پلاستیک تکیه‌گاه لغزشی ۸۹
- شکل (۶-۳) تصویری از سیستم N درجه آزادی ۹۰
- شکل (۷-۳) نمودار جسم آزاد پایه صلب در فاز غیر لغزشی ۹۴
- شکل (۸-۳) نمودار نیرو - تغییر مکان در سیستم جداگر دوخطی ۹۶
- شکل (۹-۳) نمایش کلی سیستم جداساز دوخطی ۹۷
- شکل (۱۰-۳) نمودار تغییر نیروی برش بر جهت تغییر مکان ۹۸
- شکل (۱۱-۳) مقایسه حلقه هیستریسیس با مستطیل محاطی آن به منظور تعریف ضریب غیرخطی NL ۹۹
- شکل (۱۲-۳) حلقه هیستریسیس نمودار نیروی برشی - تغییر مکان جهت تعریف سختی مؤثر ۱۰۰
- شکل (۱۳-۳) نمونه‌ای از یک مدل سازه‌ای با سیستم جداگر دوخطی ۱۰۲

فصل ۴

- شکل (۱-۴) قاب با رفتار خمشی ۱۰۸

- شکل (۲-۴) دیوار تحت نیروی جانبی ۱۰۹
- شکل (۳-۴) قاب مرکب با رفتار خرابایی ۱۰۹
- شکل (۴-۴) مشخصات هندسی لایه لغزشی ۱۱۳
- شکل (۵-۴) مدل تحلیلی سیستم پی لغزشی ۱۱۵
- شکل (۶-۴) مؤلفه‌های افقی رکورد زلزله طیس ۱۲۱
- شکل (۷-۴) مؤلفه‌های افقی رکورد زلزله ناغان ۱۲۲
- شکل (۸-۴) مؤلفه‌های افقی رکورد زلزله منجیل ۱۲۳
- شکل (۹-۴) مؤلفه‌های افقی رکورد زلزله 1940 EL-centro ۱۲۴
- شکل (۱۰-۴) نمایش شماتیک مدل مورد تحلیل ۱۱۸

فصل ۵

- شکل (۱-۵) مقایسه پاسخ تغییر مکان در طبقه اول برای دو نرم‌افزار SAP90, ANSYS ۱۳۴
- شکل (۲-۵) مقایسه پاسخ تغییر مکان در طبقه دوم برای دو نرم‌افزار SAP90, ANSYS ۱۳۵
- شکل (۳-۵) نمایش مدل قاب دو طبقه با پای گیردار ۱۳۶
- شکل (۴-۵) نمایش مدل قاب دو طبقه جدایش یافته ۱۳۷
- شکل (۵-۵) تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان برای مصالح نوع ۱ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۳۸
- شکل (۶-۵) تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان برای مصالح نوع ۲ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۳۸
- شکل (۷-۵) تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان برای مصالح نوع ۳ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۳۹
- شکل (۸-۵) تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان برای مصالح نوع ۴ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۳۹
- شکل (۹-۵) تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان برای مصالح نوع ۵ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۰
- شکل (۱۰-۵) تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان برای مدل با پای گیردار تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۰
- شکل (۱۱-۵) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب برای مصالح نوع ۱ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۱
- شکل (۱۲-۵) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب برای مصالح نوع ۲ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۱
- شکل (۱۳-۵) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب برای مصالح نوع ۳ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۲
- شکل (۱۴-۵) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب برای مصالح نوع ۴ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۲
- شکل (۱۵-۵) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب برای مصالح نوع ۵ تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۳
- شکل (۱۶-۵) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب برای مدل با پای گیردار تحت رکورد زلزله ال سنترو ۱۴۳