

بسم الله



دانشکده : پردیس خوارزمی
گروه : خاک و پی

تاثیر ایجاد صفحات فومی در زیر پی بر کاهش نشست‌های لرزه‌ای ساختمان

دانشجو : محمدرضا رفائی

استاد راهنما :
دکتر امیر بذرافشان مقدم

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

فروردین ماه ۹۵

تقدیم به:

پدر و مادر دلسوز و مهربانم

در ابتدای این تحقیق بر خود لازم دانسته تا از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر
امیر بذرافشان مقدم که در تمامی مراحل انجام این پروژه دلسوزانه مرا راهنمایی
نمودند تشکر نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **محمد رضا رفائی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران- خاک و پی دانشکده پردیس خوارزمی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **تاثیر ایجاد صفحات فومی در زیر پی بر کاهش نشست های لرزه ای ساختمان تحت راهنمایی دکتر امیر بذرافشان** مقدم متعهد می شو .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه 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 بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های 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 افزارها 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.

چکیده:

معیارهای اصلی در طراحی فونداسیون در مهندسی پی، تعیین و کنترل معیارهای گسیختگی خاک و همچنین نشست خاک می‌باشد. به عبارت دیگر فونداسیون باید بتواند در زمان بهره‌برداری بار را به صورت ایمن به خاک منتقل نماید، بطوریکه نه تنها خاک دچار گسیختگی نگردد بلکه نشست نیز از حد مجاز بیشتر نشود. جهت حصول به این مطلب، تاکنون روشهای مختلفی نظیر فرآیندهای مکانیکی تراکم، تحکیم، زه‌کشی و فرآیندهای شیمیایی نظیر اصلاح، تثبیت و یا استفاده از عناصر مسلح کننده (الیاف، ژئوگرید، سپرکوبی، شمع کوبی و...) جهت تقویت خاک به کار گرفته شده است. در این تحقیق از مصالح ژئوفوم بر پایه پلی استایرن با خاصیت کاهش تنش‌های ناشی از بارهای قائم در لایه‌های زیرین و کاهش بار افقی خاک در دیوارها، به عنوان عایق ارتعاشی و میراگر در کاهش نشست لرزه‌ای خاک استفاده شده است. بدین منظور تحلیل لرزه‌ای توسط نرم افزار PLAXIS تحت رکوردهای زلزله Northridge، Elcentro و Loma Prieta انجام شده است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که ژئوفوم‌ها با مشخصات فیزیکی مختلف می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش نشست‌های لرزه‌ای داشته باشد. کلمات کلیدی: ژئوفوم، عایق ارتعاشی، نشست لرزه‌ای، PLAXIS

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

۱. تاثیر ایجاد دیواره‌های فومی در اطراف پی بر کاهش نشست‌های لرزه‌ای ساختمان - دومین کنفرانس

ملّی مکانیک خاک و مهندسی پی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم ۲۲ و ۲۳ مهر ماه.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق.....	۲
۱-۳- ساختار پایان نامه.....	۴
فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته.....	۵
۲-۱- بهسازی خاک.....	۶
۲-۲- روش‌های بهسازی.....	۶
۲-۲-۱- ژئوسنتتیک.....	۷
۲-۲-۱-۱- ژئوفوم.....	۹
فصل سوم: مدلسازی و تحلیل.....	۲۸
۳-۱- روش اجزاء محدود.....	۲۹
۳-۲- تئوری تحلیل.....	۲۹
۳-۲-۱- مدهای مورد بررسی در مطالعه رفتار مصالح.....	۲۹
۳-۲-۲- تحلیل دینامیکی.....	۳۱
۳-۲-۳- حل معادلات دینامیکی تعادل.....	۳۴
۳-۲-۴- مرزهای مدل.....	۳۴
۳-۲-۴-۱- مرزهای جاذب.....	۳۵
۳-۳- تعیین پارامترهای میرایی مصالح.....	۳۶
۳-۴- انتخاب زلزله برای تحلیل دینامیکی.....	۳۶
۳-۵- مدل اجزای محدود.....	۳۹
۳-۶- تحلیل‌های لرزه‌ای.....	۴۲
فصل چهارم: نتایج و تفسیر آنها.....	۴۴
۴-۱- مقدمه.....	۴۵
۴-۲- تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای مختلف در پی ساختمان.....	۴۵
۴-۲-۱- تغییرات جابجایی افقی.....	۴۷
۴-۲-۲- تغییرات جابجایی قائم.....	۴۸
۴-۲-۳- تغییرات شتاب افقی.....	۵۰
۴-۳- تأثیر ژئوفوم‌های مختلف بر پارامترهای مختلف در پی ساختمان.....	۵۱
۴-۳-۱- تغییرات جابجایی افقی.....	۵۳
۴-۳-۲- تغییرات جابجایی قائم.....	۵۴

۴-۴-۳- تغییرات شتاب افقی	۵۶
۴-۴- تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای مختلف در نقطه بالای ساختمان.....	۵۸
۴-۴-۱- تغییرات جابجایی افقی	۶۰
۴-۴-۲- تغییرات جابجایی قائم.....	۶۱
۴-۴-۳- تغییرات شتاب افقی	۶۳
۴-۵- تأثیر نوع ژئوفوم‌ها بر پارامترهای مختلف در نقطه بالای ساختمان	۶۵
۴-۵-۱- تغییرات جابجایی افقی	۶۶
۴-۵-۲- تغییرات جابجایی قائم.....	۶۸
۴-۵-۳- تغییرات شتاب افقی	۶۹
فصل پنجم: جمع بندی و پیشنهادها	۷۱
۵-۱- مقدمه	۷۲
۵-۲- جمع بندی نتایج	۷۲
۵-۳- پیشنهادها	۷۳
مراجع	۷۴

فهرست اشکال

- شکل (۲-۱). ژئوفوم ۱۰
- شکل (۲-۲). ساختار شیمیایی پلی استایرن ۱۲
- شکل (۲-۳). انواع کاربرد ژئوفوم ۱۳
- شکل (۲-۴). منحنی تنش - کرنش ژئوفوم با چگالی‌های 12 kg/m^3 و 33 kg/m^3 ۱۵
- شکل (۲-۵). منحنی تنش - کرنش نمونه بتن ۱۶
- شکل (۲-۶). تغییرات مدول الاستیسیته ژئوفوم نسبت به چگالی ۱۷
- شکل (۲-۷). مقاومت کششی ژئوفوم ۱۸
- شکل (۲-۸). رفتار خزش ژئوفوم برای سطح تنش های مختلف ۲۰
- شکل (۲-۹). چیدمان استفاده شده در آزمایش میزلرزه در آزمایشگاه، (زرزانی و باسورست) ۲۴
- شکل (۲-۱۰). مدل استفاده شده جهت مدلسازی در نرم افزار FLAC به همراه شرایط مرزی، (زرزانی و باسورست) ۲۴
- شکل (۲-۱۱). پاسخ نشست-زمان برای مدل های استفاده شده (زرزانی و باسورست) ۲۵
- شکل (۲-۱۲). مدل استفاده شده در نرم‌افزار Plaxis برای دیوار حائل با ارتفاع ۴ و ۷/۵ متری (آتاناسوپولوس و همکاران) ۲۷
- شکل (۳-۱). مدل الاستو - پلاستیک ۳۰
- شکل (۳-۲). تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان رکورد زلزله Elcentro ۳۷
- شکل (۳-۳). تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان رکورد زلزله Northridge ۳۸
- شکل (۳-۴). تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان رکورد زلزله Loma Prieta ۳۸
- شکل (۳-۵). مدل اجزای محدود (مش) ۳۹
- شکل (۳-۶). مدل اجزای محدود (بزرگنمایی شده محدوده ساختمان) ۳۹
- شکل (۳-۷). نمودار جابجایی افقی - زمان برای مدل با عرض‌های مختلف ۴۱
- شکل (۳-۸). مدل تعریف شده جهت بررسی اثر ضخامت ژئوفوم‌های مختلف بر نشست لرزه‌ای ساختمان ۴۲
- شکل (۳-۹). مدل تعریف شده جهت بررسی اثر نوع ژئوفوم بر نشست لرزه‌ای ساختمان ۴۳
- شکل (۴-۱). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro ۴۷
- شکل (۴-۲). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northridge ۴۷
- شکل (۴-۳). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta ۴۸
- شکل (۴-۴). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro ۴۹
- شکل (۴-۵). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northridge ۴۹

شکل (۴-۶). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta ۴۹

شکل (۴-۷). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro ۵۰

شکل (۴-۸). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northridge ۵۱

شکل (۴-۹). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta ۵۱

شکل (۴-۱۰). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Elcentro ۵۳

شکل (۴-۱۱). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Northridge .. ۵۳

شکل (۴-۱۲). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Loma Prieta ۵۴

شکل (۴-۱۳). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Elcentro ۵۵

شکل (۴-۱۴). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Northridge ... ۵۵

شکل (۴-۱۵). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Loma Prieta ۵۵

شکل (۴-۱۶). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Elcentro ۵۶

شکل (۴-۱۷). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Northridge ۵۷

شکل (۴-۱۸). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Loma Prieta ۵۷

شکل (۴-۱۹). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Elcentro، نقطه بالای ساختمان. ۶۰

شکل (۴-۲۰). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Northridge، نقطه بالای ساختمان. ۶۱

شکل (۴-۲۱). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Loma Prieta، نقطه بالای ساختمان. ۶۱

شکل (۴-۲۲). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Elcentro، نقطه بالای ساختمان. ۶۲

شکل (۴-۲۳). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Northridge، نقطه بالای ساختمان. ۶۲

شکل (۴-۲۴). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Loma Prieta، نقطه بالای ساختمان. ۶۳

شکل (۴-۲۵). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان) ۶۴

شکل (۴-۲۶). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 ،
 تحت زلزله Northridge (نقطه بالای ساختمان) ۶۴

شکل (۴-۲۷). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15،
 تحت زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان) ۶۵

شکل (۴-۲۸). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Elcentro، نقطه
 بالای ساختمان ۶۷

شکل (۴-۲۹). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Northridge،
 نقطه بالای ساختمان ۶۷

شکل (۴-۳۰). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Loma Prieta،
 نقطه بالای ساختمان ۶۷

شکل (۴-۳۱). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Elcentro، نقطه
 بالای ساختمان ۶۸

شکل (۴-۳۲). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Northridge، نقطه
 بالای ساختمان ۶۸

شکل (۴-۳۳). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Loma Prieta،
 نقطه بالای ساختمان ۶۹

شکل (۴-۳۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله
 Elcentro (نقطه بالای ساختمان) ۶۹

شکل (۴-۳۵). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله
 Northridge (نقطه بالای ساختمان) ۷۰

شکل (۴-۳۶). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله
 Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان) ۷۰

فهرست جداول

جدول (۲-۱) خواص مکانیکی EPS و حداقل مقادیر مجاز.....	۱۶
جدول (۲-۲) مقادیر نسبت پواسون ژئوفوم.....	۱۷
جدول (۲-۳) مقاومت خمشی ژئوفومها بر اساس استاندارد ASTM C 578-95.....	۱۹
جدول (۲-۴) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوفومها بر اساس استاندارد ASTM D6817.....	۲۱
جدول (۳-۱) مشخصات رکوردهای زلزله استفاده شده در تحلیل لرزه ای.....	۳۷
جدول (۳-۲) خصوصیات المان تیر و ستون ساختمان.....	۴۰
جدول (۳-۳) مشخصات مواد و مصالح استفاده شده در مدل.....	۴۱
جدول (۴-۱). نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفومها بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (پی ساختمان).....	۴۵
جدول (۴-۲). نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفومها بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northrige (پی ساختمان).....	۴۶
جدول (۴-۳). نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفومها بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (پی ساختمان).....	۴۶
جدول (۴-۴). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (پی ساختمان).....	۵۲
جدول (۴-۵). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northrige (پی ساختمان).....	۵۲
جدول (۴-۶). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (پی ساختمان).....	۵۲
جدول (۴-۷). نتایج آنالیز عددی، تأثیر ضخامت ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان).....	۵۸
جدول (۴-۸). نتایج آنالیز عددی، تأثیر ضخامت ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northrige (نقطه بالای ساختمان).....	۵۹
جدول (۴-۹). نتایج آنالیز عددی، تأثیر ضخامت ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان).....	۵۹
جدول (۴-۱۰). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان).....	۶۵
جدول (۴-۱۱). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northrige (نقطه بالای ساختمان).....	۶۶
جدول (۴-۱۲). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان).....	۶۶

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

پیش بینی نشست پی‌ها یکی از مهمترین و مشکل‌ترین مسائل پیش روی مهندسان ژئوتکنیک می‌باشد. روش‌های عددی جهت تحلیل پی عموماً با معادل کردن محیط خاک با یک مجموعه فنر ارتجاعی صورت می‌گیرد که خود وابسته به انتخاب درست پارامترهای خاک است. در همین راستا مطالعات تجربی و عددی متنوعی صورت پذیرفته است [۱-۳]. باید توجه داشت که در بین مصالح ساختمانی، خاک فراوانترین و در دسترس‌ترین ماده می‌باشد، که اگر در اجرای طرح‌های عمرانی استفاده مناسبی از خاک موجود در محل اجرای طرح صورت پذیرد، هزینه‌های اجرای طرح کاهش چشمگیری پیدا خواهد نمود. در سالهای اخیر و به دنبال افزایش نیاز به ایجاد ساختمان‌های بلندمرتبه و با کاربری خاص (مسکونی، ایستگاه مترو و ...) در زمین‌های با ابعاد کوچک، ضرورت احداث پی‌های با طراحی و اجرای پیچیده در اعماق بیشتر همراه با گودبرداری آنها در زمین‌های نامناسب و کم‌مقاومت وجود دارد. هر جا این نوع زمین نادیده گرفته شود، موجب طولانی‌تر شدن زمان اجرای پروژه و افزایش هزینه خواهد گردید. بررسی‌های اقتصادی نشان‌دهنده ضرورت مواجهه و کار با چنین خاک‌های مسئله‌داری است. تجربه نشان داده است که در بسیاری از مناطق شهری وسعت این خاک‌ها قابل ملاحظه بوده و روش سنتی محو و برداشتن کامل این خاک‌ها از محدوده پی‌ها اقتصادی نیست. بدین لحاظ و بتدریج، علم بهسازی زمین در سال‌های اخیر شکل گرفت. هدف این علم بهبود شرایط نامطلوب و یا مخاطره آمیزی است که سازه و محیط اطراف آن را تهدید می‌نماید و باعث تاخیر کار شده و هزینه‌ها را افزایش داده و بر عملکرد سازه تاثیر گذارده و باعث نشست زمین می‌شود.

۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

کشور ایران به عنوان یکی از مناطق زلزله خیز جهان همواره در طی سالیان گذشته در معرض زلزله‌های ویران‌کننده‌ای قرار داشته است. شرایط طبیعی و زمین شناسی ایران از نقطه نظر وقوع زلزله به طور جدی در دستورکار مهندسين و برنامه ریزان قرار گرفته است. با توجه به موارد ذکر شده

طراحی لرزه‌ای پی‌ها و همچنین اصلاح و بهسازی خاک‌های مسئله ساز در محل احداث پروژه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. بطوریکه انتخاب روش مناسب طراحی و انتخاب صحیح روش بهسازی می‌تواند باعث کاهش هزینه و کاهش زمان اجرا گردد ولی در صورت عدم توجه به موارد ذکر شده موجب عواقب ناگوار (خسارات مالی و جانی) فراوانی خواهند شد یا حداقل طولانی تر شدن زمان اجرای پروژه و افزایش هزینه را به دنبال خواهند داشت.

یکی از چالش‌های بزرگی که مهندسين ژئوتکنیک با آن در طراحی پروژه‌ها روبرو می‌شوند طراحی پی با هدف کاهش اثر زلزله می‌باشد. بدین منظور روش‌های مختلفی وجود دارد. با توجه به اینکه نیروی زلزله نسبت مستقیمی با جرم سازه دارد لذا استفاده از سبک سازی می‌تواند جهت مقابله با اثر زلزله مفید باشد. از طرفی وجود خاک مسئله دار در محل احداث پروژه و چگونگی برخورد با اینگونه خاک‌ها یکی دیگر از مسائلی می‌باشد که بایستی در طراحی پی‌ها منظور گردد. پرداختن به بحث بهسازی خاک زیر پی با عایق‌های ارتعاشی جدید می‌تواند یک راه حل مفید برای موارد ذکر شده باشد. از اینرو در این تحقیق از ژئوفوم برای بهسازی خاک مسئله دار و نیز روشی جهت کاهش اثرات زلزله استفاده شده است. ژئوفوم محصولی است بر پایه پلی‌استایرن که با توجه به دو خصوصیت مهم آن یعنی سبک بودن و تراکم پذیری بالا می‌تواند به عنوان یک ماده مؤثر بر کاهش اثرات زلزله‌ها بر سازه‌ها مدنظر قرار گیرد.

در این تحقیق، از روش مدلسازی عددی جهت بررسی تأثیر صفحات فومی بر نشست‌های لرزه‌ای ساختمان استفاده شده است. مدلسازی عددی به وسیله نرم افزار Plaxis که به روش اجزاء محدود مسائل را تحلیل و بررسی می‌کند انجام شده است.

بدین منظور تحلیل لرزه‌ای بر روی ژئوفوم‌ها با مشخصات فیزیکی و مکانیکی مختلف انجام شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- ساختار پایان نامه

در فصل اول، شرح مختصر موضوع تحقیق، روش‌شناسی تحقیق حاضر به طور مختصر مطرح شده است.

در فصل دوم، ابتدا در مورد بهسازی خاک به طور مختصر توضیحاتی ارائه شده، سپس خصوصیات ژئوفوم‌ها به طور تفصیلی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مطالعات پیشین در مورد موضوع تحقیق ذکر شده است.

در فصل سوم، در ابتدا تئوری روش استفاده شده در تحقیق ارائه شده و سپس به بحث تحلیل لرزه‌ای، خصوصیات زلزله‌های مورد استفاده جهت تحلیل لرزه‌ای و خصوصیات مدلسازی عددی پرداخته شده است.

در فصل چهارم نتایج آنالیز عددی ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل پنجم ضمن جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از تحقیق حاضر، پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

فصل دوم:

مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۲- بهسازی خاک

از ویژگی‌های یک سایت عمرانی خوب، برای انواع پروژه‌های عمرانی این است که:

الف) دارای مقاومت برشی کافی و ظرفیت باربری مناسب برای بارهای وارده باشد.

ب) تحت اثر بارهای وارد بر آن، دارای کمترین تغییر شکل ممکن و کمترین نشست تحکیمی باشد.

ج) بر اثر جذب آب کمترین تورم، باد کردن و یا انقباض در آن به وقوع پیوندد.

د) در طول زمان مقاومت خود را حفظ کند و دچار تغییر شکل نشود.

اغلب سایت‌ها دارای برخی از این ویژگی‌ها هستند و برخی دیگر را ندارند. مهندسان طراح مجبورند که برای ساخت و ساز در این سایت‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی خود را با وضعیت موجود تطبیق دهند. به عنوان مثال استفاده از المان‌هایی نظیر شمع و پی‌های گسترده بزرگ و مانند آن یکی از روش‌های متداول است. روش دیگر این است که با تغییراتی در سایت آن را مطلوب پروژه نمایند. در حقیقت بهسازی خاک یکی از روش مناسب در بهبود ویژگی‌های محل پروژه است.

بهسازی خاک، بازسازی کنترل شده خاک درجا برای استفاده مجدد در یک ساختار جدید ژئوتکنیکی است [۴]. بهسازی خاک شامل روش‌های مختلف تغییر خصوصیات خاک بوده که نهایتاً منجر به افزایش مقاومت، کاهش تغییرات حجمی و تامین رفتار خاص خاک می‌شود. انتخاب یک روش مناسب و یا ترکیبی از روش‌ها بستگی به بسیاری از عوامل از جمله نوع خاک، بارهای اعمالی، شرایط محل پروژه، زمان و ملاحظات اقتصادی دارد.

۲-۲- روش‌های بهسازی

روش‌های بهسازی متعدد بوده و بالغ بر ده‌ها روش می‌شود. این روش‌ها با توجه به نوع عملیات اجرایی، مکانیسم‌های تغییر مشخصات ژئوتکنیکی خاک، نوع دانه‌بندی و . . . در شش گروه اصلی بشرح زیر تقسیم می‌شوند:

- روش‌های تراکمی شامل تراکم دینامیکی، بارگذاری، زهکشی‌های مصنوعی، تراکم ارتعاشی، ایجاد ستون‌های سنگی با جایگزینی ارتعاشی، تزریق تراکمی.
 - روش ایجاد چسبندگی شامل تزریق دوغابی، یخ زدگی، تزریق شیمیایی
 - روش‌های حفاری و جایگزینی شامل اجرای دیوارهای دوغابی (سیمان، بنتونیت، بتن پلاستیک و ...)، تزریق با فشار بالا
 - روش‌های تغییرات فیزیکی و شیمیایی شامل الکترواسموز، ستون‌های آهکی (اختلاط)، سیستم‌های تزریق شیمیایی، ایجاد لعاب، اختلاط خاک
 - روش‌های مسلح‌سازی شامل انکوره‌های خاک و سنگ، ستون‌های سنگی با جایگزینی ارتعاشی، ستون‌های سنگی با جابجایی ارتعاشی، ستون‌های بتنی ارتعاشی، ریز شمع‌ها، دیوارهای باربر بتنی زیر زمینی، میخ کوبی، ژئوسنتتیک‌ها، تزریق‌های شکافتنی، اختلاط خاک
 - روش‌های تبدیل بیولوژیکی شامل سیستم‌های بیولوژیکی و یا تزریق‌های محرکی، تقویت‌های ریشه‌ای، کاهش آنزیمی
- همه روش‌های یاد شده برای همه سایت‌های موجود مناسب نبوده و هر سایت با یک یا چند روش قابل بهسازی است. [۵] در ادامه روش تسلیح خاک با استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به عنوان یک روش مناسب و متداول جهت بهسازی خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲-۲- ژئوسنتتیک^۱

کلمه ژئوسنتتیک از دو بخش «ژئو» و «سنتتیک» ساخته شده است. از کلمه «ژئو» در مواردی استفاده می‌شود که ماده مربوط به زمین باشد و قسمت دوم، «سنتتیک»، در مورد موادی استفاده می‌شود که ساخته دست بشر باشند یا به عبارت دیگر موادی که مصنوعی‌اند و به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شوند. کلمه ژئوسنتتیک برای دسته‌ای از محصولات به کار می‌رود که عموماً جهت

^۱ Geosynthetic

^۲ Geo

^۳ Synthetic

برطرف سازی مشکلات ژئوتکنیک به کار می‌روند. این کلمه به طور کلی برای هشت محصول ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئوممبران، ژئونت، ژئوسنتتیک کلی لاینر، ژئوفوم، ژئوسل و ژئوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شود. طبیعت پلیمری آن‌ها به گونه ای است که سبب می‌شود برای استفاده در زمین، جایی که دوام زیادی از آن انتظار می‌رود مورد استفاده قرار گیرد. ژئوسنتتیک‌ها در اشکال و با مواد مختلفی تولید می‌شوند که هر کدام برای مصارف نهایی تقریباً مشابه به کار می‌روند. این محصولات گستره وسیعی از کاربردها را دارند و در حال حاضر در بسیاری از کاربردهای عمرانی، ژئوتکنیک، حمل و نقل، محیطی، هیدرولیک، و کاربردهای توسعه‌ای خصوصی مانند جاده‌ها، فرودگاه‌ها، خطوط راه‌آهن، سدهای خاکی، دیوار حائل، استخرهای ذخیره آب، سدها، کانال‌ها، کنترل فرسایش، کنترل رسوب، بستر لندفیل‌ها، پوشش لندفیل‌ها، معادن، پرورش آبزیان و کشاورزی استفاده می‌شوند. [۶]

ژئوسنتتیک‌ها را از موادی نظیر پلی پروپیلن، پلی استر، پلی اتیلن، پلی آمید (نایلن) پلی وینیلیدن کلراید و یا فایبر گلاس می‌سازند. بیشتر ژئوسنتتیک‌ها از پلی پروپیلن و پلی استر ساخته می‌شوند. مشخصات فیزیکی این مواد با تغییر افزودنی‌هایی که به ترکیباتشان اضافه می‌شود و یا با تغییر پروسه ساخت آنها تغییر می‌یابد. امروزه در احداث بسیاری از سازه‌های خاکی از ژئوسنتتیک‌ها به عنوان المان تسلیح استفاده می‌شود. برای نمونه می‌توان به دیوارها و شیب‌های خاکی مسلح، خاکریزهای مسلح واقع بر روی بستر ضعیف احداث بزرگراه‌ها و غیره اشاره کرد. گاهی در ساخت راه‌ها و خطوط راه آهن از ژئوسنتتیک‌ها به عنوان جداکننده بستر از لایه اساس یا بالاست استفاده می‌شود. قراردادن یک لایه ژئوتکستایل، ژئوگرید یا ژئونت بر روی بستر ریزدانه‌ای، راه نفوذ سنگ‌دانه‌های اساس به بستر را مسدود نموده لذا باعث جلوگیری از نشست راه می‌شود. همچنین با استفاده از ژئوسنتتیک در بین لایه بالاست و بستر رسی یا سیلتی راه آهن می‌توان از نفوذ ریزدانه‌ها به داخل بالاست جلوگیری کرد. علاوه بر این مقاومت کششی مناسب دوام و نفوذپذیری ژئوسنتتیک‌ها امکان استفاده از این مواد بعنوان لایه جداکننده تسلیح و زهکش را بطور همزمان فراهم می‌کند. علاوه بر موارد فوق ژئوسنتتیک‌ها با تسلیح لایه‌های روسازی، مقاومت مصالح را افزایش داده و امکان ساخت لایه‌های با

ضخامت کمتر را فراهم می‌آورند که سبب کاهش هزینه‌های راهسازی می‌شود. استفاده از یک لایه ژئوتکستاتل یا ژئوگرید در ترمیم آسفالت جاده‌ها از انعکاس ترک‌های کهنه در رویه جدید جلوگیری کرده و با افزودن مقاومت کششی آسفالت دوام و عمر مفید رویه راه را افزایش می‌دهد. در صورتیکه عمر مفید و دوام لایه ثابت در نظر گرفته شود افزایش مقاومت آسفالت در اثر وجود لایه تسلیح، امکان ساخت رویه‌ای با ضخامت کمتر را فراهم می‌آورد، و هزینه پروژه را کاهش می‌دهد [۷].

همانطور که اشاره شد یکی از محصولات ژئوسنتتیک‌ها، ژئوفوم^۱ می‌باشد [۶]. ژئوفوم محصولی است بر پایه پلی استایرن که در پروژه‌های مختلف علی‌الخصوص پروژه‌های راهسازی به عنوان یک پرکننده سبک برای جاهایی که نیاز به خاکریزی دارند و همچنین کاهش تنش‌های ناشی از بارهای قائم در لایه‌های زیرین و کاهش بار افقی خاک در دیوارهای حائل و کوله‌های پل استفاده می‌شود. در ادامه بیشتر در مورد این محصول توضیح داده شده است [۸].

۱-۱-۲- ژئوفوم

ژئوفوم ماده‌ای سفید رنگ و عایق رطوبت و صدا است که اولین بار توسط آلمان نازی در جنگ جهانی دوم برای ساخت پل‌های شناور روی آب ساخته شد. اولین بار این ماده به نام "استیروول" در سال ۱۸۳۹ توسط شخصی به نام "سایمون" ساخته شد. تهیه نوع تجاری منومر استایرن و پلیمریزاسیون آن به سال ۱۹۳۴ بر می‌گردد که کمپانی "داو" توانست استایرن را از فرآورده‌های نفتی سنتز نماید و سپس آن را پلیمریزه کند. در همان زمان، مشابه این فرآیند مراحل تکمیلی خود را در آلمان غربی می‌گذراند [۸]. شکل (۱-۲) نمونه‌ای از ژئوفوم را نشان می‌دهد.

^۱ Geofoam



شکل (۲-۱). ژئوفوم

انواع پلی استایرن

موارد مصرف فراوان صنعتی پلی استایرن، موجب شده است که این پلیمر در انواع بسیار متنوعی ساخته شود، که می توان اکثر آنها را به چهار گروه تقسیم نمود.

پلی استایرن جهت مصارف عمومی

پلی استایرنی که جهت مصارف عمومی مورد استفاده قرار می گیرد، معمولاً بایستی دارای خواص نظیر مقاومت خوب در برابر حرارت، قدرت ضربه پذیری مناسب و سیالیت خوب باشد [۹].

پلی استایرن با وزن مولکولی بالا

اگر وزن مولکولی پلی استایرن کمتر از ۵۰,۰۰۰ باشد، دارای قدرت کششی پایینی می باشد ولی با افزایش وزن مولکولی به بیش از ۱۰۰,۰۰۰، افزایش چشمگیری در قدرت کششی آن ایجاد خواهد شد. ادامه روند افزایش وزن مولکولی گرچه در افزایش قدرت کششی موثر می باشد ولی می تواند بر روی سیالیت پلیمر اثر معکوس بگذارد. چنین افزایش وزن مولکولی، قدرت ضربه پذیری پلیمر را افزایش خواهد داد بدون آن که تغییری در شفافیت آن ایجاد گردد [۹].

پلی استایرن مقاوم در برابر حرارت

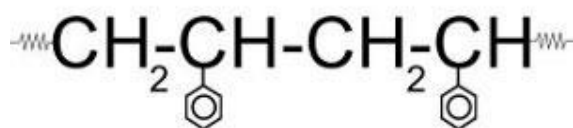
با بالا بردن نقطه نرم شدن پلی استایرن می توان آن را در برابر حرارت مقاوم نمود. برای این منظور با کاهش مقدار مواد قابل تبخیر در پلیمر می توان درجه حرارت نقطه نرم شدن را افزایش داد. برای مثال چنانچه مونومر موجود در پلی استایرن که معمولاً در حدود ۵ درصد به عنوان ناخالصی در پلیمر موجود است، کاملاً خارج گردد، نقطه نرم شدن از ۷۰ به ۱۰۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. نوع تجارتی این پلی استایرن دارای نقطه نرمی معادل ۷ درجه سانتی گراد بالاتر از پلی استایرن جهت مصارف عمومی می باشد [۹].

پلی استایرن با سیالیت زیاد

سیالیت پلی استایرن را می توان با اضافه کردن روان کننده های داخلی از قبیل بوتیل استئارات و یا پارافین مایع، روان کننده های خارجی از قبیل استئارات روی، استفاده از پلیمرهای با وزن مولکولی پایین تر و همچنین با کنترل شکل و اندازه ذرات پلیمر، بهبود بخشید، بدون آن که اثر چندانی بر روی سایر خواص بگذارد. البته اضافه شدن این گونه روان کننده ها به میزان ۱۰ درجه سانتی گراد از نقطه نرم شدن مواد می کاهد ولی با وجود کلیه مزایایی که دارد، نتوانسته جایگزین پلی استایرن از نوع قابل مصرف برای مصارف عمومی گردد. این نوع مواد در قالب گیرهایی که جداره محصول بسیار نازک و یا قالب دارای شکل پیچیده می باشد، مورد استفاده قرار می گیرد [۹].

ساختار و خواص پلی استایرن

پلی استایرن توسط پلیمریزاسیون استایرن مونومر، که از مشتقات نفت خام است تولید می شود. این پلیمر تنها از اتم های کربن و هیدروژن تشکیل شده است. بنابراین در گروه هیدروکربن ها قرار می گیرد. پیوندهای موجود در ساختار شیمیایی آن پیوند کووالانسی می باشد. در زنجیره پلی استایرن به هر اتم کربن متناوب، یک گروه فنیل (حلقه ی بنزن) متصل شده است. پلی استایرن هیدروکربنی با زنجیره بلند است و فرمول شیمیایی آن $(C_8H_8)_n$ می باشد. در شکل (۲-۲) ساختار شیمیایی پلی استایرن در زیر نشان داده شده است [۱۰].



شکل (۲-۲). ساختار شیمیایی پلی استایرن

استایرن یک مونومر آروماتیک (معطر) است که به صورت تجاری از نفت مشتق می‌شود. پلی‌استایرن یک پلیمر وینیل می‌باشد که از طریق پلیمریزاسیون رادیکال آزاد وینیل، از مونومرهای استایرن ساخته می‌شود [۱۰].

اشکال دیگر پلی‌استایرن

پلی‌استایرن بی شکل (آمورف)، به نام پلی‌استایرن کریستالی یا پلی‌استایرن معمولی نیز شناخته شده است. با این حال به علت ترد و شکنندگی پلی‌استایرن کریستالی، پلیمرهای دیگری به آن افزوده می‌شود تا استحکامش بهبود یابد؛ در نتیجه این کار کوپلیمر تشکیل می‌شود. این کوپلیمر، پلی‌استایرن با مقاومت بالا است که با افزودن لاستیک پلی‌بوتادین به پلی‌استایرن در طی فرآیند پلیمریزاسیون، تولید می‌شود. این پلی‌استایرن‌ها سخت‌تر از پلی‌استایرن بی شکل بوده و در مقایسه مقاومت بیشتری در برابر ضربه دارد. پلی‌استایرن انواع مختلفی دارد، پلی‌استایرن اکسترود شده (XPS) یکی از انواع این پلیمر است که استحکام کششی و انعطاف پذیری مناسبی دارد. این ماده عموماً به نام استایروفوم شناخته می‌شود. شکل رایج دیگر پلی‌استایرن، نوع انبساط یافته آن است (EPS). پلی‌استایرن انبساطی و استایروفوم هر دو از مواد یکسانی ساخته شده‌اند اما با یکدیگر تفاوت دارند. استایروفوم نسبت به پلی‌استایرن انبساطی چگالی بالاتری داشته و میان سلول‌های این ماده گذرگاه هوا وجود ندارد. تراکم بالاتر باعث می‌شود که استایروفوم سخت‌تر و مستحکم‌تر باشد. هم‌چنین استایروفوم ضد آب و عایق حرارتی مناسبی است [۱۱].

¹ Extruded Polystyrene

² Expanded polystyrene

کاربرد ژئوفوم: [۸]

- کوله‌های پل: کاهش بارهای قائم و افقی وارد بر پایه‌های پل.
- دیوارهای نگهبان: کاهش بارهای قائم و افقی وارد بر دیوار.
- بسترسازی راه: کاهش سربار، خاکریزی‌های حجیم، عایق کاری حرارتی و صوتی خیابان و راه‌آهن، بسترسازی بر روی خاک‌های نرم، کاهش نشست.
- راهسازی و اجرای سازه بر روی شریان‌های حیاتی و تاسیسات زیرزمینی: کاهش سربار، حفاظت از تاسیسات و تجهیزات در برابر بارهای جانبی و قائم، محافظت از لوله‌ها در برابر سرمازدگی، ایجاد اختلاف سطح و ساخت استادیوم ورزشی، فونداسیون سازه و تجهیزات، کاهش حجم بتن ریزی، استهلاک نیروی لرزشی ناشی از تجهیزات.
- کف سازی: کاهش سربار سازه‌ها، پایداری شیب‌ها.
- جلوگیری از یخ زدگی و تخریب سطح خیابان و جاده.



بازسازی بزرگراه بورمن ، هند



بزرگراه آلاسکا، سیاتل ، واشینگتن



پل رودخانه پیت، کلمبیا



پروژه مسکن دانشجویی، دانشگاه ویرجینی

شکل (۳-۲). انواع کاربرد ژئوفوم

مزایای ژئوفوم: [۸]

- وزن کم
- کاهش زمان اجرای پروژه
- کاهش هزینه‌های نگهداری
- کاهش هزینه‌های جابجایی خاک
- مقاومت فشاری عالی
- بالا بودن نسبت مقاومت به وزن
- بادوام و عدم آسیب رسانی به محیط زیست
- مقاوم در برابر جذب آب
- مطمئن و دوستدار طبیعت
- تطبیق کامل با کارهای بتنی
- عایق صوت و حرارت
- کاهش نیروهای قائم و افقی
- مستهلک کننده صوت و لرزش
- کاهش نشست
- کاهش عمق فونداسیون در مناطق سردسیر
- قابلیت حمل آسان
- قابلیت استفاده پس از رسیدن به سایت
- قابلیت شکل پذیری و برشکاری آسان و بالا بردن انعطاف پذیری طرح
- عدم تاثیر آب و هوا در پروسه اجرایی
- بدون نیاز به هرگونه اسکلت و یا نشیمن خاص
- عدم نیاز به مجوزهای زیست محیطی

۲-۲-۲-۱- پارامترها و خصوصیات مهندسی ژئوفوم

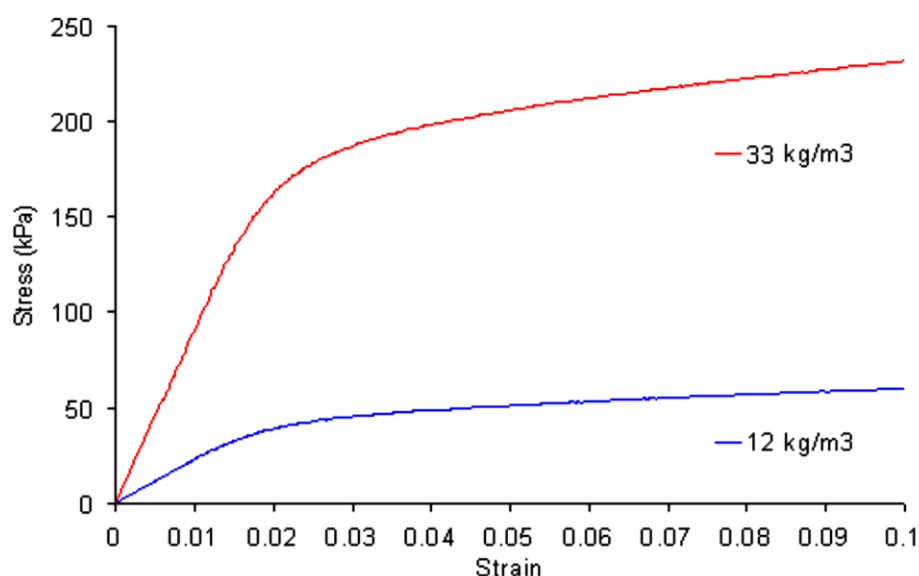
چگالی:

محدوده کلی چگالی ژئوفوم‌ها بین 10 kg/m^3 تا 100 می‌باشد اگرچه برای اهداف عملی این ژئوفوم‌ها با چگالی بسیار کمتر و در محدوده 16 kg/m^3 تا 32 مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲].

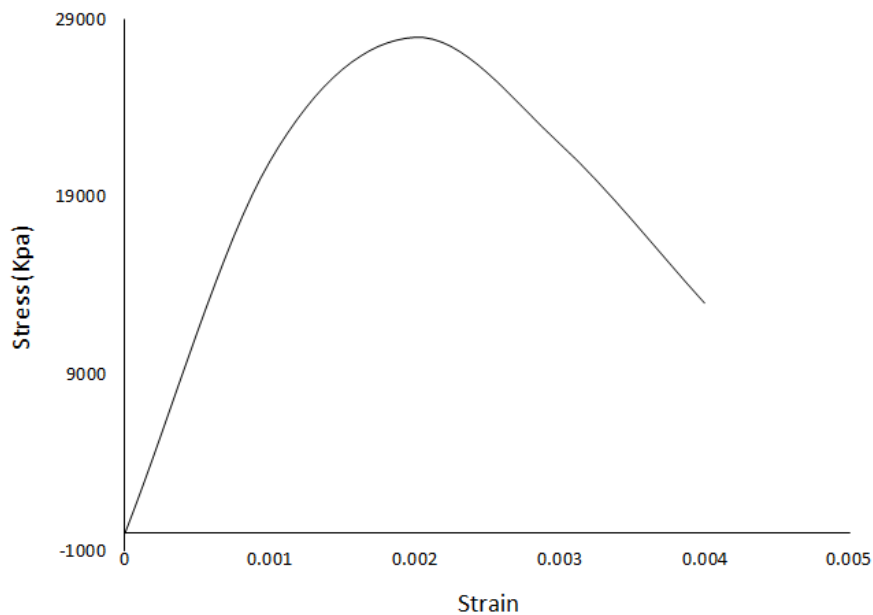
منحنی‌های تنش کرنش:

شکل (۲-۴) منحنی تنش - کرنش ژئوفوم را برای دو چگالی متفاوت نشان می‌دهد. دو چگالی نمایش داده شده، مقادیر متداول استفاده شده در پروژه‌های مهندسی می‌باشد. با توجه به این شکل، تنش در هر سطح کرنش با چگالی افزایش می‌یابد [۱۳].

در شکل (۲-۵) منحنی تنش - کرنش یک نمونه بتن نشان داده شده است. از مقایسه این منحنی با منحنی تنش - کرنش ژئوفوم مشاهده می‌گردد که ژئوفوم‌ها تحت تنش خیلی کمتر و کرنش بیشتری نسبت به نمونه بتنی گسیخته می‌شود.



شکل (۲-۴). منحنی تنش - کرنش ژئوفوم با چگالی‌های 12 kg/m^3 و 33 kg/m^3 [۱۳]



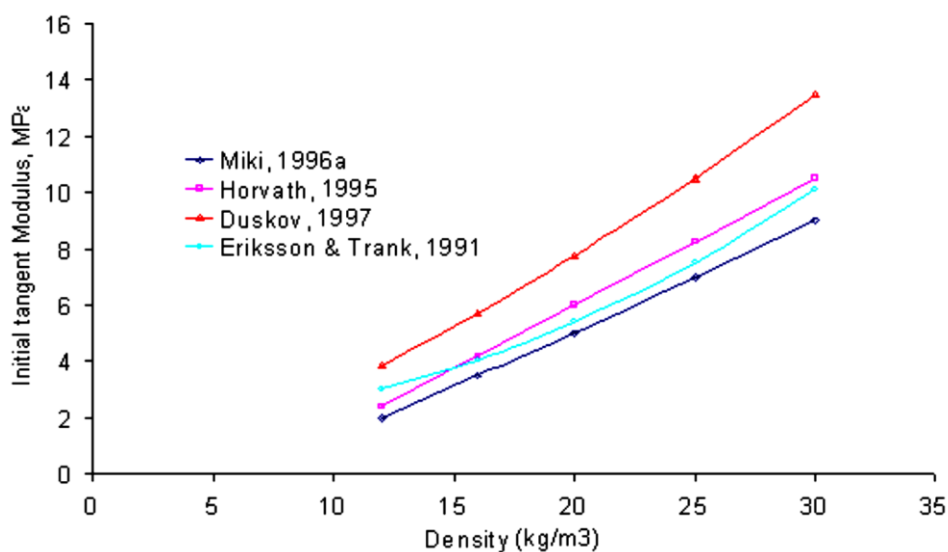
شکل (۲-۵). منحنی تنش - کرنش نمونه بتن [۱۴]

مدول مماسی اولیه:

مقدار شیب قسمت خطی منحنی تنش - کرنش، مدول مماسی اولیه نامیده می‌شود. این مدول، مدول الاستیسیته یا مدول یانگ نیز بیان می‌شود. همانطور که در شکل (۲-۶) نشان داده شده است مدول مماسی اولیه تابع چگالی بوده و با افزایش چگالی مقدار آن افزایش می‌یابد [۱۵]. جدول (۱-۲) پارامترهای برخی ژئوفوم‌ها را که در استانداردهای آشتو و ASTM ذکر شده، بیان می‌کند [۱۶].

جدول (۲-۱). خواص مکانیکی EPS و حداقل مقادیر مجاز [۱۶]

نام محصول		چگالی خشک (kg/m ³)		مقاومت فشاری در کرنش ۱۰٪ (Kpa)	مدول الاستیسیته (Mpa)
ASTM	AASHTO	حداقل	محدوده		
I	EPS40	۱۵	۱۹-۱۵	۹۶,۶-۶۹	۱,۵۲-۱,۲۴
VIII	EPS50	۱۸	۲۱-۱۸	۱۲۴-۹۰	۲,۱۴-۱,۷۲
LI	EPS70	۲۲	۲۹,۲-۲۲	۱۴۵-۱۰۴	۲,۴۸-۲,۲۱
IX	EPS10	۲۹	۳۵,۴-۲۹	۲۲۷,۵-۱۷۳	۳,۴۵-۳,۱۷



شکل (۶-۲). تغییرات مدول الاستیسیته ژئوفوم نسبت به چگالی [۱۵]

نسبت پواسون

مقدار نسبت پواسون از ۰/۰۵ تا ۰/۴۹ برای ژئوفوم‌ها در آزمون‌های مختلف ثبت شده است. با این وجود، متخصصان و طراحان برای استفاده از ۰/۱ به عنوان ارزش صحیح آن، اتفاق نظر دارند [۱۵]. در جدول (۲-۲) نسبت ضریب پواسون اشاره شده در مراجع مختلف آورده شده است.

جدول (۲-۲). مقادیر نسبت پواسون ژئوفوم

مرجع	Yamanaka, et al [۱۷]	Negussey and Sun [۱۸]	GeoTech [۱۹]	Duskov et al [۲۰]	Ooe, et al [۲۱]	Sanders [۲۲]	Momoi and Kokusyo [۲۳]
نسبت پواسون	۰,۰۷۵	۰,۳۳ و ۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۱	۰,۰۸	۰,۲ تا ۰,۰۵	۰,۴۹

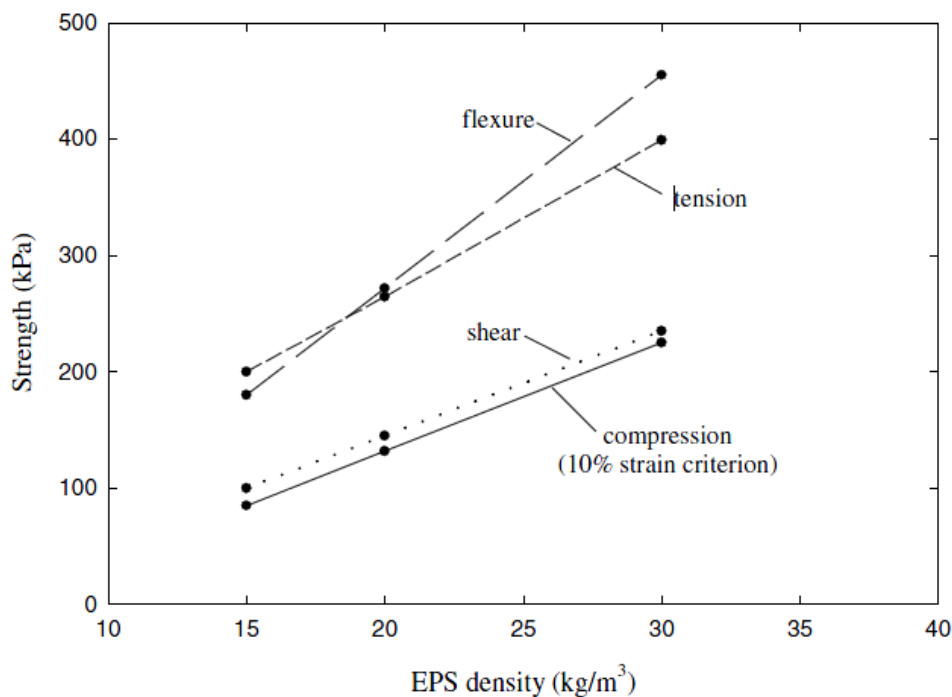
بارگذاری سیکلی

ژئوفوم‌ها ممکن است تحت اثر بارگذاری سیکلی نیز قرار بگیرند. نظیر بارگذاری ناشی از ترافیک و یا بارگذاری دینامیکی. بسیاری از آزمون‌های آزمایشگاهی و مشاهدات میدانی حاکی از این هستند که رفتار بارگذاری سیکلی ژئوفوم‌ها در کرنش‌های کوچکتر از ۱٪، ارتجاعی خطی است [۱۵].

Trank و Eriksson سه آزمون بارگذاری سیکلی تا کرنش ۱۰٪ بر روی ژئوفوم انجام دادند. بر اساس این آزمایشات مدول مماسی اولیه ژئوفوم در چرخه‌های دوم و سوم خیلی کمتر از چرخه اول بدست آمد [۲۴]. Flaate گزارش داد که آزمون‌های مربوط به بارگذاری سیکلی نشان می‌دهند که ژئوفوم تا تعداد نامحدودی از چرخه‌های بارگذاری پایدار باقی می‌ماند مشروط بر اینکه بارگذاری تا ۸۰٪ مقاومت فشاری ژئوفوم محدود گردد [۱۵].

مقاومت کششی

مقاومت کششی یکی از پارامترهای مهم کیفیت در فرآیند تولید ژئوفوم می‌باشد [۱۶]. شکل (۷-۲) رابطه بین مقاومت کششی و چگالی ژئوفوم را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است مقاومت کششی با افزایش چگالی افزایش می‌یابد.



شکل (۷-۲). مقاومت کششی ژئوفوم [۱۶]

مقاومت خمشی

مقاومت خمشی ژئوفوم، تنش است که در آن، ژئوفوم تحت بارگذاری قائم فشاری شکسته می‌شود. چگالی ژئوفوم‌ها نقش مهمی در تعیین مشخصه‌های مهندسی آن ایفا می‌کند. همانطور که در جدول (۳-۲) آمده است، مقاومت خمشی ژئوفوم‌ها، بسته به چگالی آن از ۷۰ تا ۳۵۰ متغیر است.

جدول (۳-۲). مقاومت خمشی ژئوفوم‌ها بر اساس استاندارد ASTM C 578-95 [۱۱]

۲۹	۲۲	۱۸	۱۵	۱۲	چگالی (kg/m^3)
۳۴۵	۲۷۶	۲۰۸	۱۷۳	۷۰	حداقل مقاومت خمشی (Kpa)

تغییر شکل

تغییر شکل آنی

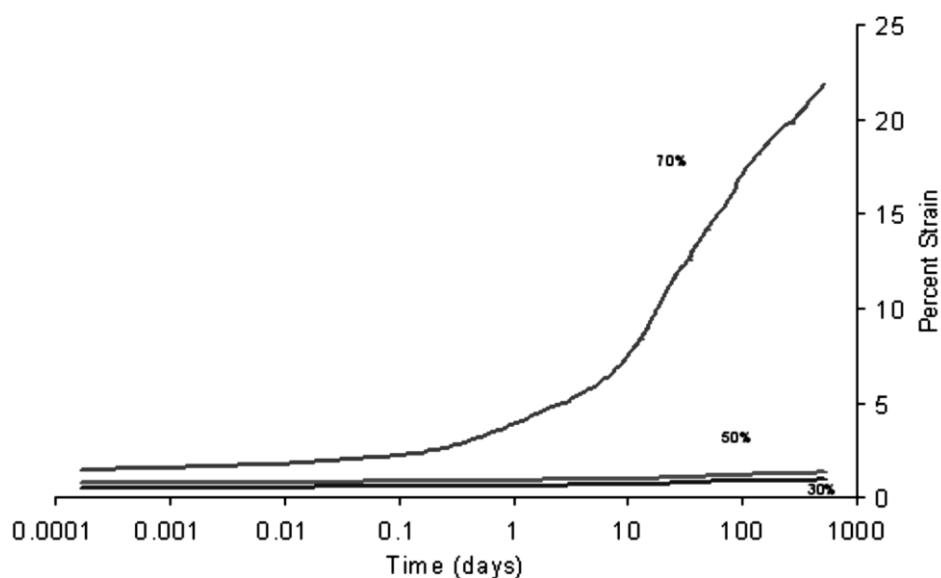
آزمایش‌های مختلف برای شناسایی تغییر شکل ژئوفوم حاکی از این هستند که اندازه نمونه، چگالی و مقدار بارگذاری هم بر تعیین تغییر شکل آنی و هم بر تغییر شکل تدریجی تأثیر دارند. به طور کلی، برای تنش بارگذاری کمتر از ۲۵٪ مقاومت فشاری ژئوفوم، کرنش آنی $\epsilon < 1\%$ را می‌توان انتظار داشت. برای تنش بارگذاری بیش از ۵۰٪، بیش از ۱٪ کرنش را می‌توان انتظار داشت [۲۵].

تغییر شکل تدریجی (خزش)

هنگام اعمال یک تنش ثابت، ژئوفوم رفتار تغییر شکل تدریجی وابسته به زمان (خزش) از خود نشان می‌دهد. پارامترهای موثر بر خزش، چگالی و اندازه نمونه می‌باشد. تغییر شکل تدریجی با افزایش چگالی کاهش می‌یابد. که آن را می‌توان بعلت افزایش مدول الاستیسیته، همزمان با افزایش چگالی بیان نمود (شکل ۲-۸) [۲۶]. خزش ژئوفوم تا حد زیادی به میزان بارگذاری بستگی دارد. تغییر تدریجی ناچیزی برای بارگذاری کمتر از ۲۵٪ اندازه گیری شده است ولی با افزایش بارگذاری، تغییرات قابل ملاحظه می‌باشد.

شکل (۸-۲) نتایج سه نمونه بلوک ۰/۰۵ m را نشان می‌دهد که هر کدام برای یک دوره بالای ۵۰۰ روز، تحت تنش محوری محدود نشده قرار گرفته اند. تنش‌ها، ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ مقاومت فشاری ماده هستند. این ۳ نمونه از نوع VIII (EPS 50) با حداقل چگالی 18 kg/m^3 هستند. با توجه به شکل می‌توان دید که خزش وابسته به سطح تنش است. برای تنش‌های پایین تر، تغییر شکل تدریجی خیلی کمی بعد از ۵۰۰ روز بدست آمده است [۲۷].

علاوه بر بارگذاری، اندازه نمونه هم تأثیر چشمگیری بر رفتار تدریجی ژئوفوم دارد. پیش بینی کرنش کل بر مبنای نتایج حاصل از نمونه‌های کوچکتر، کرنش واقعی بزرگتر از اندازه واقعی آن برآورد می‌کند. به عنوان مثال، در موسسه تحقیقاتی وابسته به وزارت راه کشور نروژ نتایج نمونه‌ها با مقیاس واقعی و آزمایشات صورت گرفته در آزمایشگاه مقایسه گردید. در مدل با مقیاس کامل، ژئوفوم به ارتفاع ۲ متر تا ۵/۵۲٪ مقاومت فشاری آن تحت بارگذاری قرار گرفت. نتایج مشاهده شده در یک دوره ۳ ساله حاکی از تغییر شکل پیوسته بر حسب زمان است. کرنش پس از این ۳ سال حدود ۱٪ بود و با گذر زمان افزایش ناچیزی پیدا کرد.



شکل (۸-۲). رفتار خزش ژئوفوم برای سطح تنش‌های مختلف [۲۸]

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوفوم‌ها بر اساس استاندارد ASTM D6817:

این خصوصیات در جدول (۲-۴) آورده شده است.

جدول (۲-۴). خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوفوم‌ها بر اساس استاندارد ASTM D6817 [۲۹]

خصوصیت	واحد	EPS12	EPS15	EPS19	EPS22	EPS29	EPS39	EPS46
چگالی حداقل	lb/ft ³ (kg/m ³)	0.70 (11.2)	0.90 (14.4)	1.15 (18.4)	1.35 (21.6)	1.80 (28.8)	2.40 (38.4)	2.85 (45.7)
مقاومت فشاری در کرنش ۱ درصد	psi psf (kPa)	2.2 316.8 (15)	3.6 518.4 (25)	5.8 835.2 (40)	7.3 1051.2 (50)	10.9 1569.6 (75)	15.0 2160.0 (103)	18.6 2678.4 (128)
مقاومت فشاری در کرنش ۵ درصد	psi psf (kPa)	5.1 734.4 (35)	8.0 1152.0 (55)	13.1 1886.4 (90)	16.7 2404.8 (115)	24.7 3556.8 (170)	35.0 5040.0 (241)	43.5 6264.0 (300)
مقاومت فشاری در کرنش ۱۰ درصد	psi psf (kPa)	5.8 835.2 (40)	10.2 1468.8 (70)	16.0 2304.0 (110)	19.6 2822.4 (135)	29.0 4176.0 (200)	40.0 5760.0 (276)	50.0 7200.0 (345)
حداقل مقاومت خمشی	psi (kPa)	10.0 (69)	25.0 (172)	30.0 (207)	40.0 (276)	50.0 (345)	60.0 (414)	75.0 (517)
ضریب اصطکاک	--	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6
حداقل مدول الاستیسیته	psi (kPa)	220 (1500)	360 (2500)	580 (4000)	730 (5000)	1090 (7500)	1500 (10300)	1860 (12800)

رفتار لرزه‌ای ژئوفوم‌ها:

ژئوفوم‌ها با توجه به دارا بودن دو مزیت مهم، وزن کم و فشردگی بالا، مصالح مناسب برای طراحی لرزه‌ای می‌باشند. از آنجاکه نیروی زلزله متناسب با جرم سیستم می‌باشد، وزن کم ژئوفوم‌ها باعث کاهش چشم گیر نیروی زلزله می‌گردد. از طرفی به علت فشردگی بالای ژئوفوم‌ها، در هنگام زلزله به عنوان یک حائل عمل نموده و باعث کاهش نیروی زلزله به سیستم می‌گردد.

مدلسازی‌های عددی نشان می‌دهند که نیروهای افقی زلزله وارد بر دیوار حایل و دیگر سازه‌های مدفون می‌تواند حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد بسته به ضخامت و مقاومت فشاری ژئوفوم کاهش یابد [۳۰].

بر اساس تحقیقات انجام شده در کشور ژاپن خاکریزهای ساخته شده از ژئوفوم پایداری خوبی در برابر زلزله از خود نشان داده‌اند. همچنین تحقیقات در کشور آمریکا بیان می‌کنند که خاکریزهای ساخته شده از ژئوفوم در زلزله‌های کوچک و متوسط ذاتاً پایدار باقی می‌مانند [۳۰]. کاربرد دیگر ژئوفوم‌ها جهت حفاظت خطوط لوله مدفون بوده بطوریکه باعث محافظت لوله‌ها در هنگام جابجایی زمین می‌شود.

مروری بر تحقیقات گذشته:

کاهش مقدار نیروی زلزله وارد شده به دیوار حائل صلب در اثر استفاده از حائل فشرده و متراکم مابین خاکریز و دیوار حائل توسط محققین مختلف با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی در مقیاس کوچک نشان داده شده است [۳۶-۳۱].

Ikizler و همکارانش توسط چند آزمون آزمایشگاهی در مقیاس کوچک اثر کاهشی استفاده از ژئوفوم EPS بر نیروی زلزله در خاک‌های واگرا گزارش نموده‌اند [۳۷].

Inglis و همکارانش اولین مورد میدانی استفاده از ژئوفوم در بین دیوار زیرزمین صلب و خاکریز پشتی آن به منظور کاهش نیروی‌های زلزله گزارش دادند. در این تحقیق، ژئوفوم با عرض ۱ متر در بین دیوار با ارتفاع ۱۰ متر و خاکریز دانه‌ای در نرم افزار FLAC مدل شده است. بر اساس نتایج این تحلیل در حالت استفاده از ژئوفوم بارهای جانبی ناشی از زلزله تا ۵۰٪ کاهش را نشان داده است [۳۸]. مدل‌های فیزیکی دارای مقیاس کاهش یافته با استفاده از آزمون میز لرزه به لحاظ کمی نشان داده‌اند که فنی که ابتدا Inglis و همکارانش به کار گرفتند می‌تواند نیروهای حاصل از زمین لرزه‌های بزرگ را تا حد زیادی کاهش دهد [۴۲-۳۹].

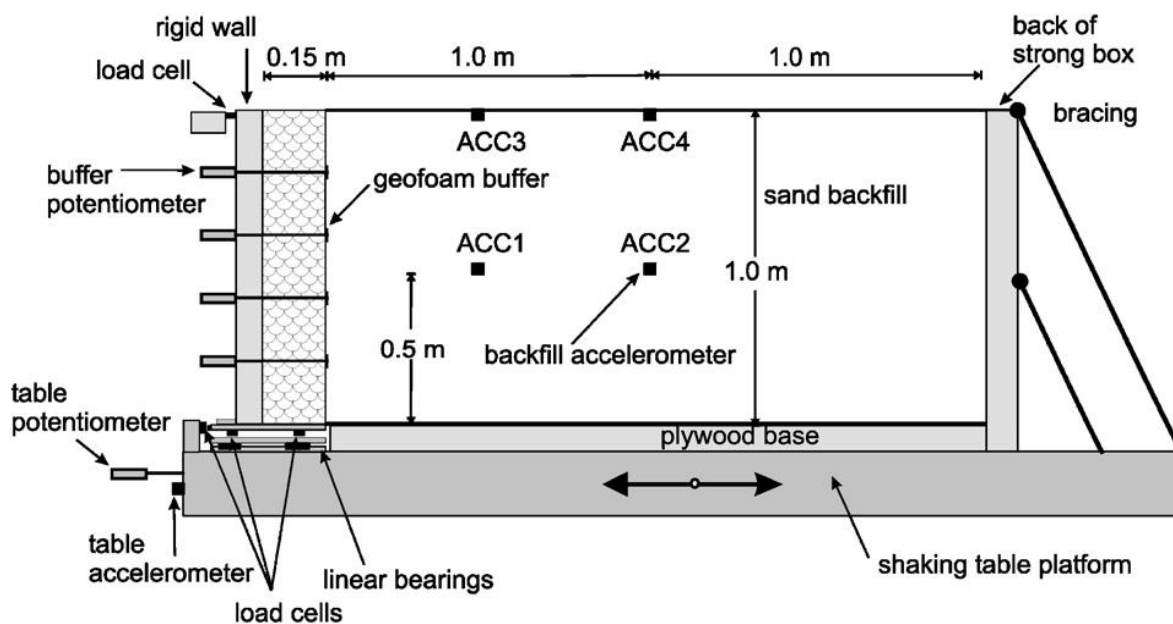
Hazarika و همکارانش از ماده‌ای اسفنجی با قابلیت فشردگی بالا برای ایجاد لایه متراکم استفاده کردند. این محققان و همکارانشان از مواد EPS برای اجرای همین کار استفاده کردند [۳۹]. Zarnani و همکارانش توسط آزمون‌های مختلف نشان دادند که ماکزیمم نیروی جانبی زلزله در مدلی که از EPS استفاده شده نسبت به مدل بدون EPS حدود ۴۰٪ کاهش یافته است [۴۲].

Karpurapu و Bathurst با استفاده از مدل اجزای محدود، مطالعه پارامتری بر روی ساختار دیوار حائل صلب با ژئوفوم انجام دادند. نتایج این تحقیق ابتدا در برابر آزمون هایی با مدل فیزیکی گزارش شده توسط McGown و همکاران [۳۱،۳۲] تأیید شد و سپس برای ایجاد جداول طراحی مورد استفاده قرار گرفت. از جداول طراحی برای انتخاب ترکیب مناسب ضخامت حائل ژئوفومی، ارتفاع دیوار حائل و مشخصات خاکریز دانه‌ای جهت به حداقل رساندن نیروهای زلزله استفاده کرد [۴۳].

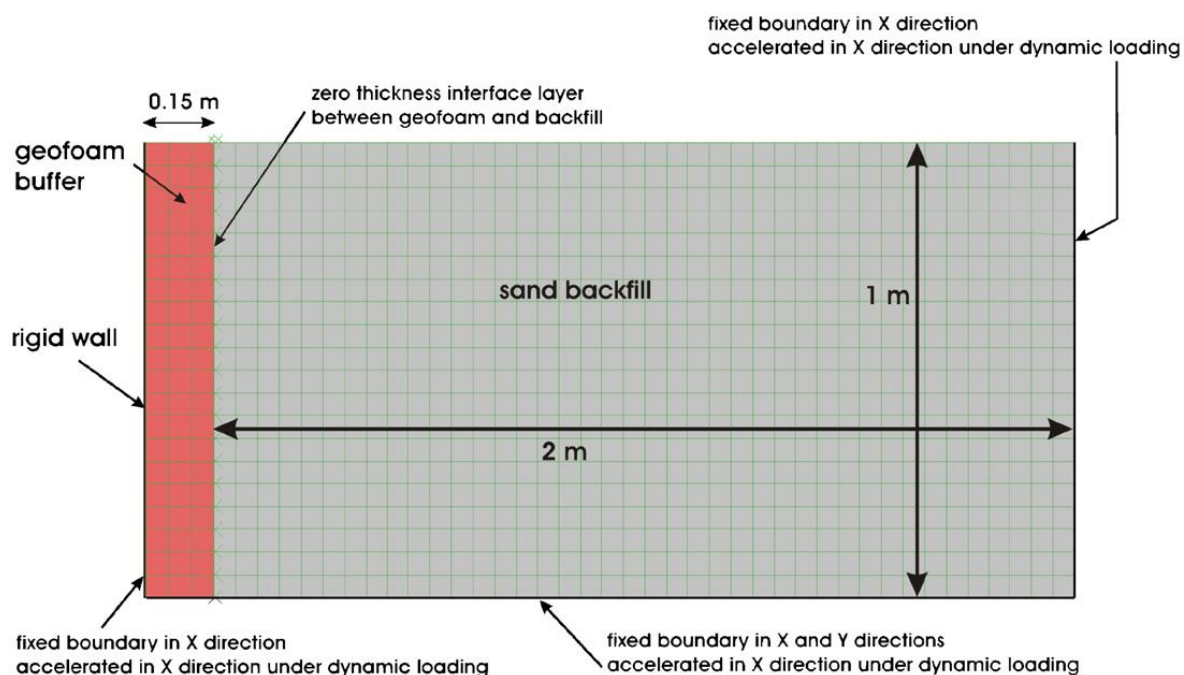
Athanasopoulos و Pelekis خصوصیات دینامیکی ژئوفوم‌ها را با استفاده از آزمایشات آزمایشگاهی بررسی نمودند. این تحقیق بر مبنای نتایج آزمایشات ستون تشدید پیچشی و تک محوره سیکلیک روی دو نمونه ژئوفوم با چگالی‌های $12/4 \text{ kg/m}^3$ و $17/1$ تحت فشار محدود شده صفر انجام شده است. مقادیر مدول دینامیکی (مدول برشی و مدول الاستیسیته) بصورت تابعی از کرنش سايکلیک و فرکانس بارگذاری نشان داده شده است. رفتار ژئوفوم‌ها برای کرنش‌های در محدوده 10^{-4} تا 8×10^{-4} بررسی شده است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، ژئوفوم‌ها در کرنش‌های کمتر از $0/1\%$ رفتار خطی و در کرنش‌های بیشتر از $1/1\%$ رفتار غیر خطی از خود نشان می‌دهند. چگالی ژئوفوم‌ها تاثیر زیادی بر خصوصیات مدول دینامیکی داشته (افزایش چگالی موجب افزایش مدول دینامیکی شده است) در حالیکه بر روی نسبت میرایی تاثیری مشاهده نشده است. مقادیر نسبت میرایی برای کرنش‌های کمتر از $0/1\%$ خیلی کم (حدود $0/1\%$) و برای کرنش‌های بیشتر از $1/1\%$ به طور تدریجی تا $10/1\%$ افزایش داده شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان دادند که فرکانس بارگذاری تأثیر چشم‌گیری بر روی مدول دینامیکی ندارد، در حالیکه نسبت میرایی با افزایش مقادیر فرکانس بارگذاری کاهش یافته است [۴۴].

Bathurst و Zarnani نتایج مدلسازی ژئوفوم به عنوان حائل لرزه‌ای با استفاده از نرم افزار FLAC و نتایج حاصل از آزمایشات میز لرزه برای مدل با مقیاس کاهش یافته در آزمایشگاه را مقایسه نموده‌اند. در این بررسی ۵ مدل فیزیکی با ژئوفوم‌ها با مدول‌های مختلف ساخته شده و با حالتی که ژئوفوم استفاده نشده است مقایسه شده‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهند که مدلسازی عددی این قابلیت را دارد که با افزایش شتاب پایه برای هر ۶ مدل، به روند موجود در نیروهای جانبی دست پیدا کند و

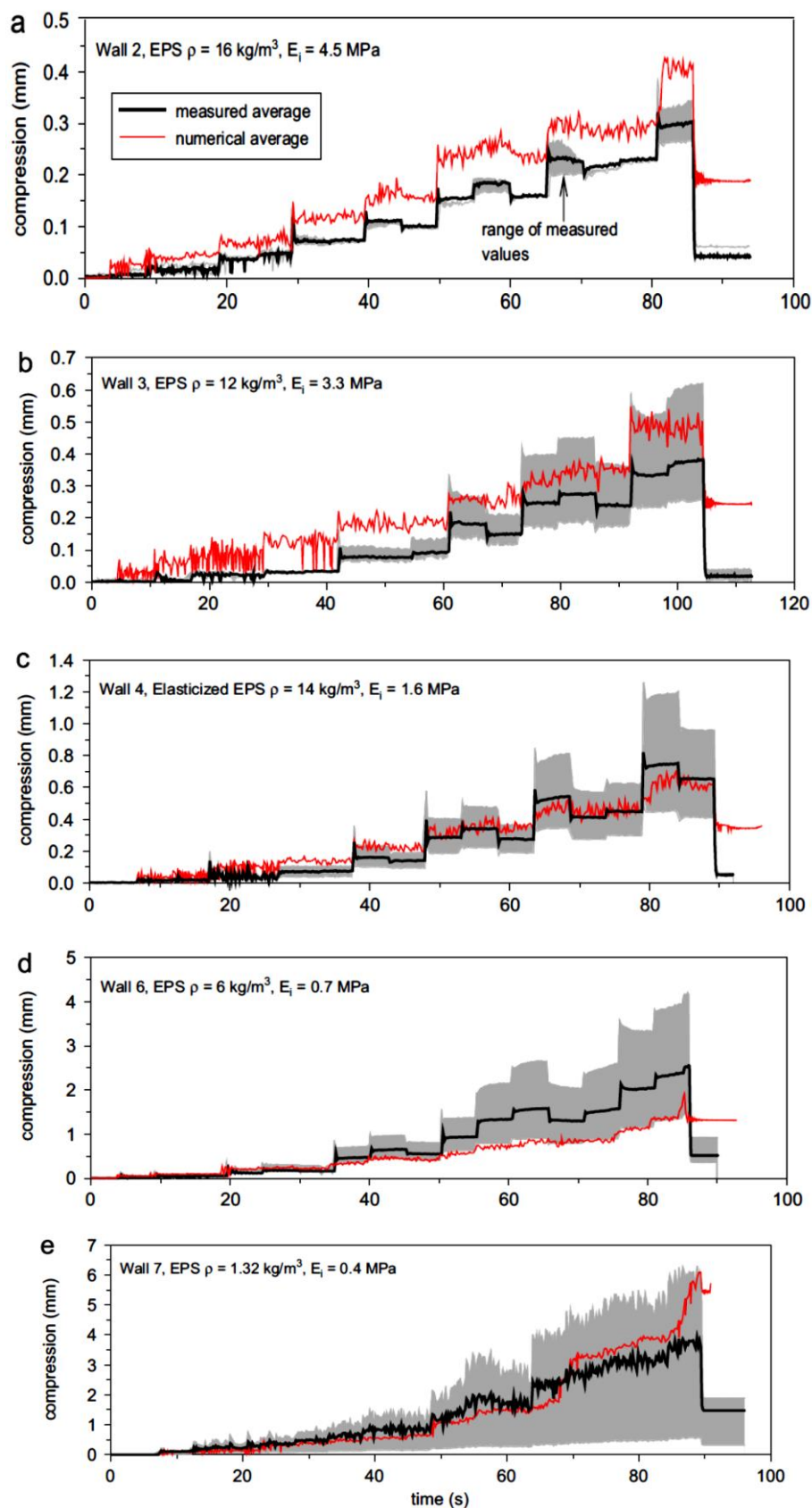
در بسیاری از موارد، پاسخ کمی دینامیکی مبتنی بر زمان بارگذاری بدست آمده از مدلسازی عددی، با مقادیر اندازه گیری شده از آزمایشات آزمایشگاهی همسویی قابل قبولی دارد. پاسخ نیرو-زمان و پاسخ نشست-زمان مدل‌های فیزیکی و مدلسازی عددی با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهند که مدلسازی عددی می‌تواند به عنوان یک روش قابل قبول جهت بررسی رفتار ژئوفوم‌ها استفاده گردد [۴۵].



شکل (۹-۲). چیدمان استفاده شده در آزمایش میز لرزه در آزمایشگاه، (زرنانی و باسورست)

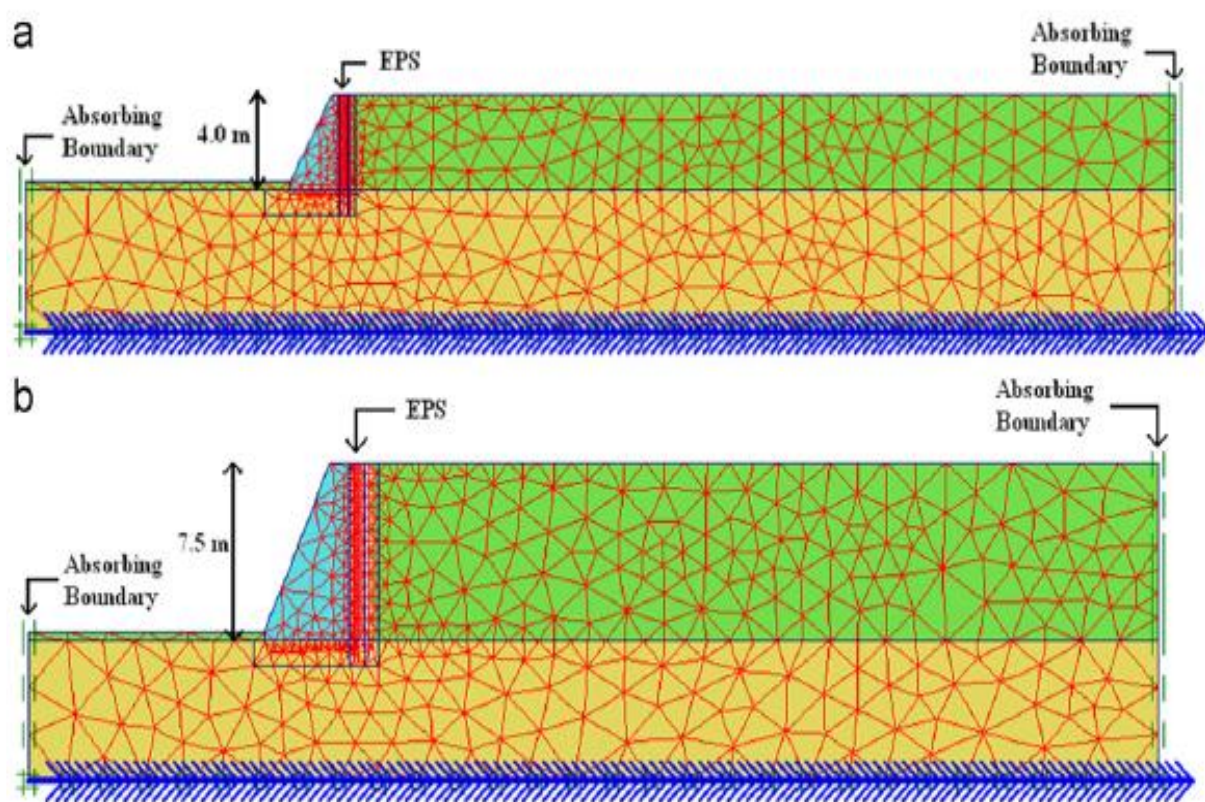


شکل (۱۰-۲). مدل استفاده شده جهت مدلسازی در نرم افزار FLAC به همراه شرایط مرزی، (زرنانی و باسورست)



شکل (۲-۱۱) پاسخ نشست-زمان برای مدل های استفاده شده (زرنانی و باسورست)

در مطالعه دیگری Athanasopoulos و همکاران با استفاده از نرم افزار المان محدود PLAXIS، پاسخ لرزه‌ای دو دیوار حایل وزنی با ارتفاع ۴ و ۷/۵ متر تحت تحریک لرزه‌ای با بزرگای متغیر (۰/۱ تا ۰/۷ g) و فرکانس متغیر (۰/۳ تا ۲۰ هرتز) مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق ضریب تحریک پذیری، که بصورت نسبت جابه‌جایی یا تنش دیوار در حالت استفاده از ژئوفوم به عنوان حائل لرزه‌ای به مقادیر متناظر آن در حالت بدون استفاده از ژئوفوم تعریف می‌شود، بر اساس تابعی از ضخامت نرمال شده (با توجه به ارتفاع دیوار) ژئوفوم‌ها و شدت تکانه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که به طور کلی، ضریب تحریک پذیری با افزایش ضخامت دیوار ژئوفومی افزایش می‌یابد و به شدت تکانه، ارتفاع دیوار و فرکانس تحریک نیز بستگی دارد. در این بررسی، برای حالت استفاده از ژئوفوم EPS100 (یعنی $\rho_{EPS} = 20 \text{ kg/m}^3$)، با ضخامت نسبی ۱۵ تا ۲۰٪ می‌تواند نیروی لرزه‌ای را تا ۲۰٪، و جابجایی لرزه‌ای دیوار را تا ۵۰٪ کاهش دهد که این به شدت تکانه و ارتفاع دیوار بستگی دارد. در نهایت، نشان داده شد که فرکانس تحریک و مقدار نسبی آن، با نظر به فرکانس طبیعی سیستم خاکریز پستی دیوار، پارامتر مهمی است که بر ضریب تحریک‌پذیری ژئوفوم‌ها و وابستگی آن به شدت تکانه تأثیر می‌گذارد. از این بررسی این نتیجه بدست آمد که ژئوفوم‌ها می‌تواند ابزار مؤثری برای کاهش جابجایی لرزه‌ای دائمی برای دیوارهای حایل باشند [۴۶].



شکل (۱۲-۲). مدل استفاده شده در نرم‌افزار Plaxis برای دیوار حائل با ارتفاع ۴ و ۷/۵ متری (آتاناسوپولوس و همکاران)

فصل سوم:

مدلسازی و تحلیل

۳-۱- روش اجزاء محدود

روش‌های مختلف عددی در دهه‌های اخیر برای تحلیل سازه‌ها پیشنهاد شده و توسعه یافته‌اند. از جمله مهمترین این روش‌ها می‌توان به ترتیب شکل‌گیری، به روش‌های تفاضل محدود^۱، اجزای محدود^۲ و دسته روش‌های موسوم به روش‌های بدون مش^۳ اشاره کرد. به عبارت کلی‌تر می‌توان گفت که این روش‌ها، روش‌های حل معادلات دیفرانسیل جزئی بوده و علاوه بر تحلیل سازه در بسیاری از مسائل مهندسی مانند حل معادلات حاکم بر مسائل انتقال حرارت، مکانیک سیالات، الکتریسیته، انتشار امواج و غیره بکار می‌روند [۴۷-۴۸]. در این میان، امروزه روش اجزای محدود بعنوان روشی قدرتمند در بسیاری از علوم مهندسی شناخته شده و با استفاده از آن نرم افزارهای مختلفی نوشته شده است که در صنعت کاربرد فراوان دارند. در این تحقیق از نرم افزار Plaxis جهت انجام تحلیل دینامیکی به روش اجزاء محدود استفاده شده است.

۳-۲- تئوری تحلیل

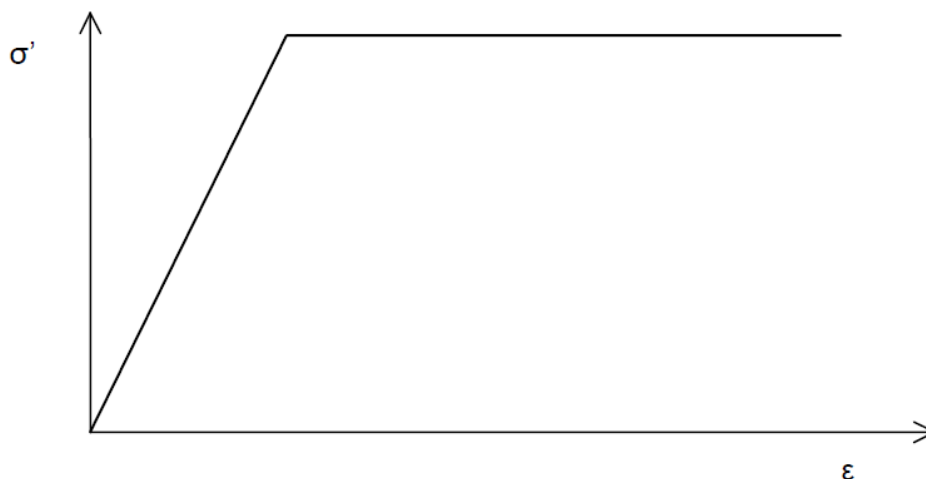
۳-۲-۱- مدهای مورد بررسی در مطالعه رفتار مصالح

بطور ساده مدل، یک رابطه ریاضی برای توصیف رفتار تنش - کرنش مصالح می باشد. مدل‌ها با توجه به نوع مصالح و نوع بارگذاری متفاوت هستند. مدل‌ها یا تابع زمان و یا مستقل از زمان می باشند. برای بررسی رفتار مصالح تحت بارگذاری دینامیکی، باید از مدل‌های تابع زمان استفاده کنیم. کاربرد مدل‌های مستقل از زمان برای حل مسائل استاتیکی می‌باشد که رفتار مصالح به صورت الاستیک خطی و غیرخطی توصیف می‌شود.

مدل بایستی دارای قابلیت نمایش رفتار مصالح تحت شرایط مختلف بارگذاری باشد ولی در حال حاضر یک مدل کامل و منحصر به فرد که بتواند تمام مسائل ژئوتکنیکی را در بر گیرد، وجود ندارد. در انتخاب

1 Finite Difference Method
2 Finite Element Method
3 Mshless Method

مدل بایستی دقت نمود که مدل تا حد امکان ساده باشد و با معادلات ریاضی معمول قابل فرموله شدن باشد. در عین حال پارامترهای آن را بتوان با آزمایشهای متداول خاک بدست آورد و تعداد پارامترهای آن تا حد ممکن کم باشد. این نکته را نیز باید توجه کرد که مدل‌های موجود برای خاک‌های همگن نتایج قابل قبولی می‌دهند ولی برای خاک‌های غیرهمگن با شرایط مرزی پیچیده، غالباً دقت کمی دارند. اختلاف اساسی بین مدل‌های الاستیک و پلاستیک در رفتار آنها در جریان بارگذاری و باربرداری است. در بیشتر موارد مهم، خاک به صورت یک مصالح الاستوپلاستیک رفتار می‌کند، به عبارت دیگر تغییر شکل‌های خاک اساساً غیرالاستیک بوده و با برداشتن بار، مسیر باربرداری با مسیر بارگذاری متفاوت خواهد بود (شکل ۱-۳). با وجود آنکه یک مدل الاستیک ممکن است رفتار خاک را تحت شرایط بارگذاری کلی تبیین نماید، بایستی برای بارگذاری و باربرداری یک معیار اعمال بار خاص ارائه گردد. این قبیل روابط به نام تئوری تغییر شکل پلاستیسیته معروف هستند.



شکل (۱-۳). مدل الاستو - پلاستیک

روابط تغییر شکل پلاستیسیته به شکل رابطه جزئی تنش - کرنش به عنوان «مدل‌های با مدول متغیر» شناخته می‌شوند. در مدل‌های با مدول متغیر و تئوری تغییر شکل پلاستیسیته محدودیت‌هایی

وجود دارد. این محدودیت‌ها با استفاده از تئوری جریان پلاستیسیته مرتفع گردیده است. سه فرض

اساسی پایه تئوری جریان را تشکیل می‌دهند:

- وجود یک سطح جاری شدن اولیه

- قانون جریان پلاستیک

- قانون سخت شوندگی

هنگامی که رفتار تنش-کرنش خاک پیچیده باشد، استفاده از تئوری سخت شوندگی پیشرفته ترجیح دارد.

۲-۲-۳- تحلیل دینامیکی

روش اجزای محدود روشی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل حاکم بر محیط‌های پیوسته است. بدین منظور دستگاهی از معادلات جبری مربوط به تعدادی از متغیرها تشکیل و حل می‌شوند. محبوبیت این روش بیشتر به دلیل سهولت برنامه نویسی آن است. این روش در اوایل برای حل مسائل سازه‌ای به کار گرفته شد، ولی استفاده از آن در زمینه‌های مختلف دیگر در حال گسترش می‌باشد. اولین گام، جداسازی یا قطعه بندی محیط پیوسته موردنظر است. این گام شامل تقسیم بندی محیط به زیرمحیط‌هایی است که اجزای محدود گفته می‌شوند و همچنین انتخاب نقاطی است که به آنها گره می‌گویند. نقاط گره‌ای روی مرز المان‌های داخل آنها قرار دارد. تغییر مکان‌ها و نیروها در گره‌ها به صورت متغیرهای جدا از هم بدست می‌آید. تغییر مکان و سایر کمیت‌های وابسته در یک نقطه المان با استفاده از توابع درونیایی و متغیرهای گرهی مربوط می‌شوند.

رفتار دینامیکی سیستم‌ها را معمولاً با معادلات دیفرانسیل مدل می‌کنند. ساده‌ترین مدل، مدل ریاضی یک سیستم خطی با یک درجه آزادی است که به وسیله معادله دیفرانسیل مرتبه دوم با ضرایب ثابت تعریف می‌گردد. تعداد زیادی از مسائل و مفاهیم ارتعاشات را می‌توان به وسیله مدل‌هایی با یک درجه آزادی با دقت کافی مورد بررسی قرار داد. از آن جایی که تجزیه و تحلیل های سیستم های خطی

آسان تر از سیستم های غیر خطی می باشد، لذا اغلب سیستم های مهندسی طوری طراحی شده اند که رفتار خطی داشته باشند، اگر چه این سیستم ممکن است ایده آل نباشند. در مطالعه سیستم های دینامیکی، ابتدا مدل ریاضی سیستم ارائه می شود تا خصوصیات دینامیکی آن تحلیل شود. مدل ریاضی یک سیستم دینامیکی مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل است که دینامیک سیستم را به طور دقیق و یا با تقریب بالا بیان می کند. باید توجه داشت که ارائه یک مدل ریاضی قابل قبول، قسمت مهمی از یک تجزیه و تحلیل کامل می باشد. در ارائه یک مدل، باید رابطه مشخصی بین سادگی سیستم و دقت نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آن برقرار نمود. اگر دقت بسیار بالا مورد نظر نباشد ارائه یک مدل ساده توصیه می شود. در حقیقت، تحلیلگر سیستم همیشه باید دنبال ارائه یک مدل ریاضی مناسب با توجه به شرایط موجود سیستم باشد. اما باید توجه کرد که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل با توجه به دقت مدل ریاضی ارائه شده برای دینامیک سیستم، قابل اطمینان می باشند. در مسائل دینامیکی که بارهای وارد به سازه مورد نظر (خاک) تابعی از زمان هستند (مانند بار زلزله)، برای رسیدن به پاسخ های دقیق به تعداد المان های بسیار بیشتری نیاز است. هرچه فرکانس بار اعمالی به سازه مورد نظر بیشتر باشد، برای همگرا شدن پاسخ به تعداد المان بیشتری نیاز است. تحلیل ارتعاش سازه ها به دو دسته ارتعاش آزاد و ارتعاش نیرویی واداشته تقسیم می شود. در ارتعاش واداشته، عامل ارتعاش سازه بار خارجی است، ولی در ارتعاش آزاد عاملی غیر از بارگذاری خارجی (مانند تغییر مکان اولیه) علت ارتعاش سازه است. معادله اساسی برای حرکت وابسته به زمان یک حجم تحت تاثیر بار دینامیکی به صورت زیر می باشد [۴۹].

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = P(t) \quad (۱-۳)$$

که M ماتریس جرم، C ماتریس میرایی، K ماتریس سختی، u بردار جابجائی، $\dot{u}$ بردار سرعت و $\ddot{u}$ بردار شتاب وارد بر سازه مورد بحث می باشد. که در زیر بطور مختصر به معرفی آنها خواهیم پرداخت. M ماتریس جرم: ساده ترین راه برای تعریف خواص جرم یک سازه این است که فرض شود تمام جرم سازه در نقاطی که برای آن نقاط جابجائی های انتقالی تعریف می شود، متمرکز شده است. روش

معمول برای تعریف جرم نقطه‌ای در هر گره این است که فرض شود سازه مورد نظر به قطعاتی تقسیم شده است و گره‌ها به عنوان نقاط اتصال عمل می‌کنند. در ماتریس جرم مصالح (خاک + آب + دیگر سازه‌ها) بحساب آورده می‌شود.

C ماتریس میرائی: میرائی مصالح را نشان می‌دهد. در اصل میرائی مصالح از اصطکاک و تغییر شکل‌های برگشت ناپذیر پلاستیسیته و ویسکوزیته ناشی می‌شود. با پلاستیسیته و ویسکوزیته بیشتر انرژی ارتعاش بیشتری از بین می‌رود. اگر رفتار مصالح الاستیسیته فرض شود، میرائی می‌تواند با استفاده از ماتریس زیر به روش ضرایب رایلی محاسبه شود [۴۹].

$$C = \alpha M + \beta K \quad (۲-۳)$$

که α, β ضرایب رایلی می‌باشد. ضرایب رایلی α, β حداقل از دو نسبت میرائی داده شده ξ_i که متناظر با دو فرکانس ارتعاش ω_i می‌باشد، تعیین می‌شود. رابطه بین ضرایب رایلی و پارامترهای بیان شده به قرار زیر است [۴۹].

$$\alpha + \beta \omega_i^2 = 2\omega_i \xi_i \quad (۳-۳)$$

بطور کلی در روش اجزای محدود ماتریس جرم و سختی با استفاده از فرمول‌های زیر در هر المان حاصل می‌گردد.

$$K^e = \iiint [B]^T [D] [B] \cdot dv \quad (۴-۳)$$

$$M^e = \rho \iiint [N]^T [N] \cdot dv \quad (۵-۳)$$

که N توابع شکل المان مورد استفاده (۶ گرهی یا ۱۵ گرهی)، D ماتریس الاستیسیته المان و B مشتقات توابع نسبت به متغیرهای x, y, z می‌باشد.

پس از مش بندی محیط مورد تحلیل ماتریس سختی و جرم در هر المان محاسبه و با مونتاژ نمودن المان‌ها بر یکدیگر، معادله مورد نظر در گام‌های زمانی مختلف محاسبه و نتایج حاصل می‌گردد.

۳-۲-۳- حل معادلات دینامیکی تعادل

دو راه حل برای حل معادلات دینامیکی حرکت وجود دارد. یکی انتگرال گیری به روش تفاضل پیش‌رونده^۱ و دیگری انتگرال گیری به روش نیومارک^۲ می‌باشد. روش پیش‌رونده یک روش صریح است و روش نیومارک به صورت غیر صریح مسئله را حل می‌کند.

طرح انتگرال زمان نیومارک روشی است که مکرراً از آن استفاده می‌شود. با این روش، تغییر مکان و سرعت در نقطه‌ای در زمان $t+\Delta t$ بترتیب بصورت زیر بیان می‌شود:

$$u^{t+\Delta t} = u^t + \dot{u}^t \Delta t + \left(\left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \ddot{u}^t + \alpha \ddot{u}^{t+\Delta t} \right) \Delta t^2 \quad (3-6)$$

$$\dot{u}^{t+\Delta t} = \dot{u}^t + \left((1-\beta) \ddot{u}^t + \beta \ddot{u}^{t+\Delta t} \right) \Delta t \quad (3-7)$$

در معادلات بالا، Δt مرحله زمانی می‌باشد، ضرایب α و β دقت انتگرال گیری زمانی عددی را تعیین می‌نمایند. این ضرایب با α و β رایلی فرق دارند. به منظور بدست آوردن جواب ثابت، شرایط زیر باید اعمال شود:

$$\beta \geq 0.5 \quad \alpha \geq \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} + \beta \right)^2 \quad (3-8)$$

توصیه می‌شود که از تنظیمات استاندارد که طرح نیومارک میرا با $\alpha=0.3025$ و $\beta=0.6$ بکار برده شده است استفاده شود [۴۹].

۳-۲-۴- مرزهای مدل

برای محاسبات دینامیک، مرزها باید دورتر از آنالیز استاتیک باشند چون در غیر اینصورت موج‌های تنش بازتاب خواهند داشت و نتایج صحیح و واقعی بدست نخواهد آمد. با این وجود، قرارگیری مرزها در فاصله دور به المان‌های اضافی زیاد و نیز به زمان محاسباتی و حافظه بیشتر نیاز دارد. جهت

¹ Forward difference time integration

² Newmark time integration

جلوگیری از بازتاب موج های تنش از مرزهای جاذب یا خاموش استفاده می شود. روش های مختلفی برای ایجاد چنین مرزهایی وجود دارد:

- استفاده از المان های نیمه محدود (المان های مرزی)
 - سازگاری مشخصات مصالح المان ها در مرزها (سختی کم، ویسکوزیته بالا)
 - استفاده از مرزهای ویسکوز (میراگرها)
- برای ایجاد اثرات دینامیکی در نرم افزار PLAXIS مرزهای جاذب با آخرین روش ایجاد می شود.

۱-۴-۲-۳- مرزهای جاذب

در برگزیدن مرزهای جاذب، میراگرها به جای بکاربردن گیرداری ها در جهت معین استفاده می شود. میراگر تضمین می کند که افزایش در تنش روی مرز جذب می شود. مرز سپس شروع به حرکت می نماید.

مولفه های تنش برشی و عمودی جذب شده به وسیله میراگر در جهت x بصورت زیر می باشند:

$$\sigma_n = -c_1 \rho V_p \dot{u}_x \quad (3-9)$$

$$\tau = -c_2 \rho V_s \dot{u}_y \quad (3-10)$$

در اینجا ρ دانسیته مصالح می باشد. V_p و V_s سرعت موج تراکمی و برشی می باشد.

تغییرات تنش در آنالیز دینامیکی

با برداشتن گیرداری های مرزی در حین انتقال از آنالیز استاتیکی به آنالیز دینامیکی تنش ها بر روی مرزها نیز از بین خواهند رفت. این بدان معنی است که مرز در اثر تنش های اولیه شروع به حرکت خواهد کرد.

برای جلوگیری از این امر، تنش مرزی واقعی به سرعت مرزی اولیه (مجازی) تبدیل می شود. در هنگام محاسبه تنش، سرعت مرزی اولیه باید از سرعت واقعی کاسته شود.

$$\sigma_n = -c_1 \rho V_p \dot{u}_n^0 + \sigma_n^0 = -c_1 \rho V_p (\dot{u}_n - \dot{u}_n^0) \quad (3-11)$$

این سرعت اولیه در شروع آنالیز دینامیکی محاسبه می‌شود و بنابراین کاملاً بر اساس تنش مرز واقعی می‌باشد (محاسبات قبلی یا حالت تنش اولیه).

حال، حالاتی ممکن است رخ دهد که در آن یک بار جدید در یک مکان مشخص بر روی مدل اعمال شده و از آن پس بطور پیوسته باقی بماند. این بار باعث افزایش تنش مرزی میانگین خواهد شد. اگر در مسئله با یک مرز جاذب روبرو باشیم تنش جزئی میانگین نمی‌تواند جذب شود، بجای آن مرز شروع به حرکت می‌کند. با این وجود در اکثر مواقع در قسمت‌هایی از شبکه بطور مثال در پایین آن، مرزهای ثابت (غیر جاذب) وجود دارد که بطور معمول در انتهای شبکه در محل انتقال از یک لایه خاک غیرصلب به خاک سخت استفاده می‌شود. البته در اینجا نیز در حقیقت مسئله انعکاس رخ می‌دهد [۴۹].

۳-۳- تعیین پارامترهای میرایی مصالح

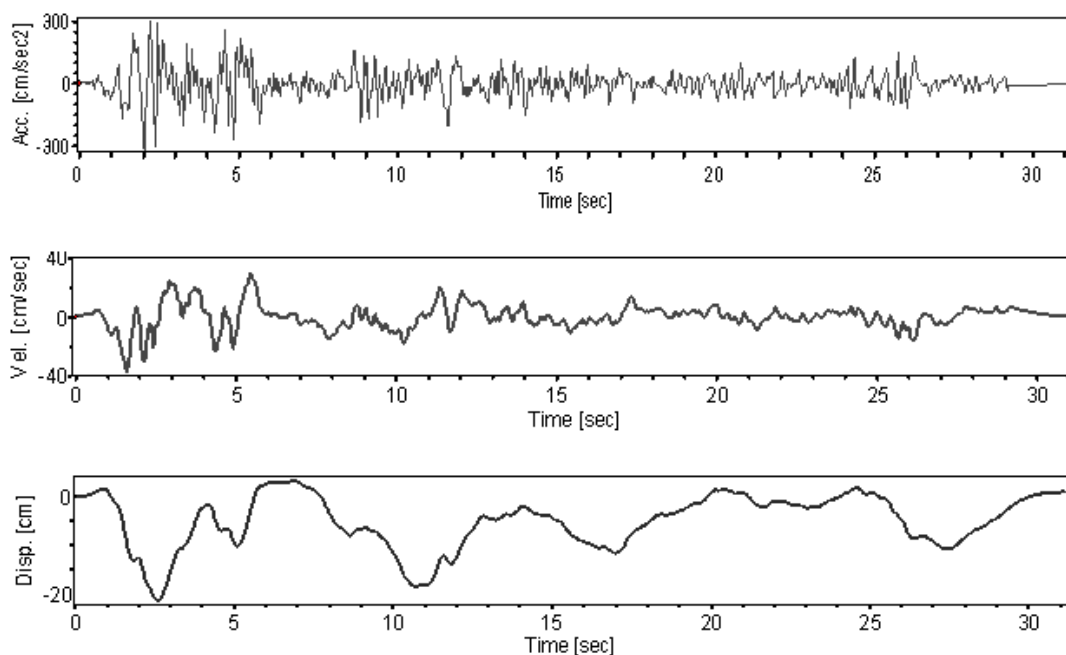
همانطور که در بخش تحلیل دینامیکی ذکر گردید برای تعریف میرایی به نرم افزار Plaxis بایستی پارامترهای α و β مشخص گردد. این پارامترها بستگی به میرایی بحرانی و بزرگای زلزله داشته و مقدار آنها بین ۱٪ برای زلزله‌های با بزرگای کمتر تا ۱۰٪ برای زلزله‌های با بزرگای بیشتر متغیر می‌باشد [۵۰]. در این تحقیق این پارامترها ثابت و برابر با ۰/۰۱ برای تمامی زلزله‌ها انتخاب شده است.

۳-۴- انتخاب زلزله برای تحلیل دینامیکی

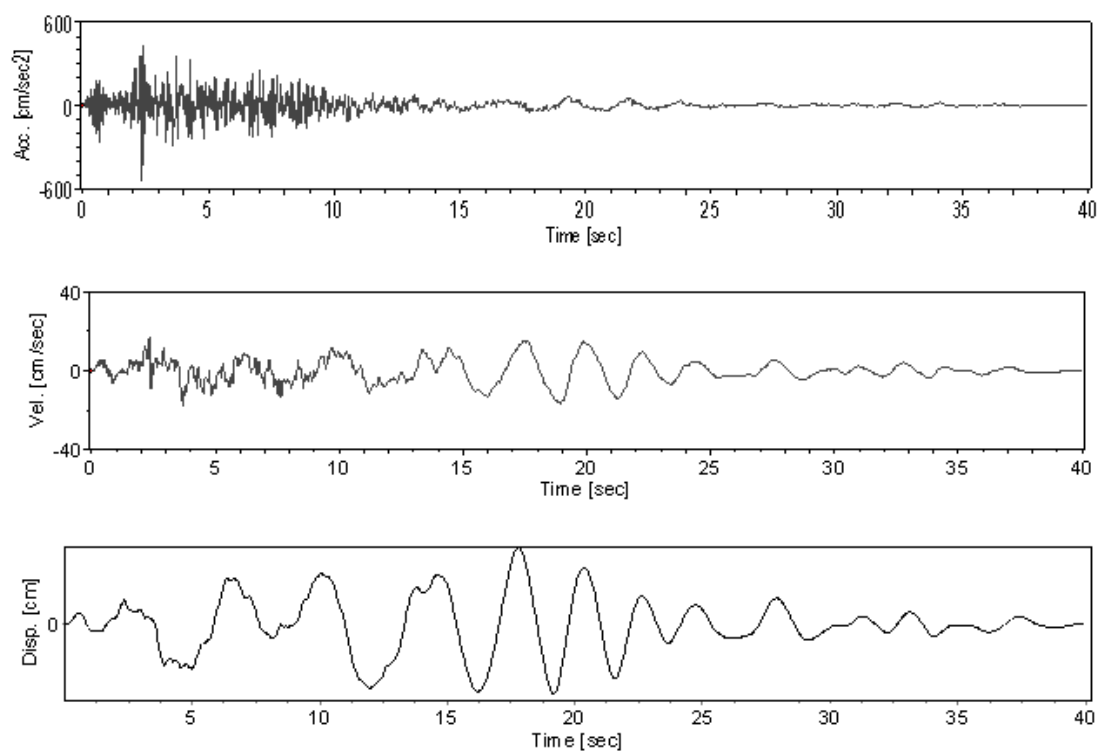
جهت تحلیل دینامیکی سه زلزله با مشخصات جدول (۳-۱) انتخاب شده است. تاریخچه شتاب افقی، سرعت و تغییر مکان این زلزله‌ها در شکل‌های (۳-۲)، (۳-۳) و (۳-۴) نشان داده شده است.

جدول (۳-۱). مشخصات رکوردهای زلزله استفاده شده در تحلیل لرزه‌ای [۵۱]

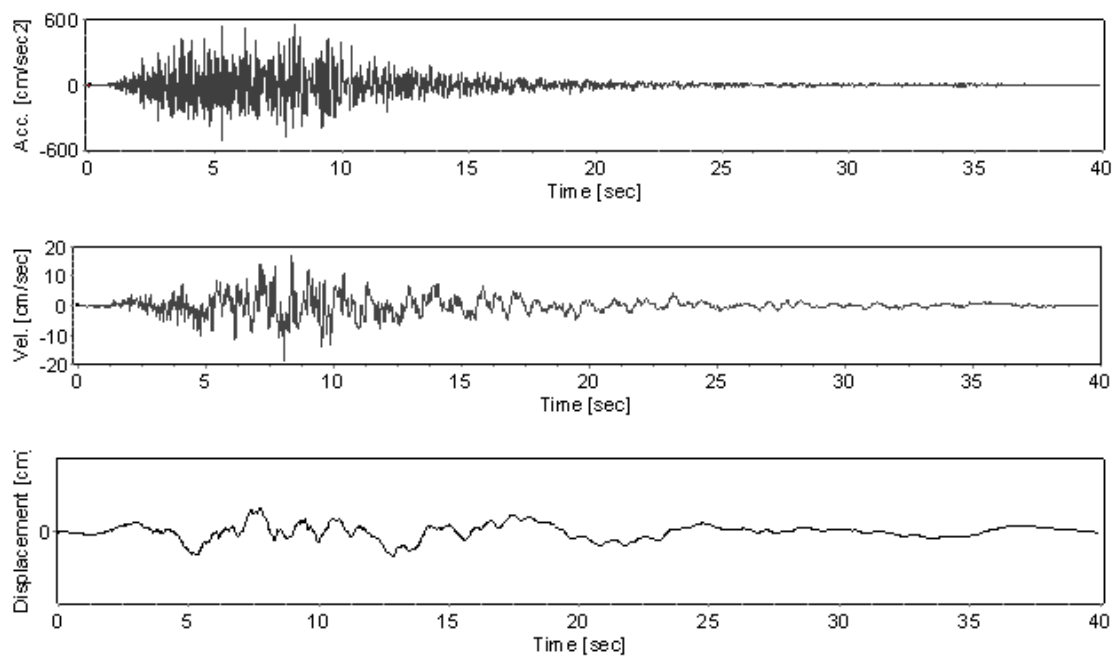
تاریخ وقوع	فرکانس غالب (Hz)	جابجایی ماکزیمم (cm)	سرعت ماکزیمم (cm/s)	شتاب ماکزیمم (cm/s ²)	زلزله
۱۹۴۰-۰۵-۱۸	۱,۱۷۲	۲۱/۶۲	۳۶/۸۰	۳۱۹	Elcentro
۱۹۹۴-۰۱-۱۷	۶,۹۵۸	۸/۶۰	۱۸/۱۴	۵۵۲	Northrige
۱۹۸۹-۱۰-۱۸	۵,۲۹۸	۲/۹۹	۱۸/۰۵	۵۴۱	Loma Prieta



شکل (۳-۲). تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان رکورد زلزله Elcentro



شکل (۳-۳). تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان رکورد زلزله Northridge

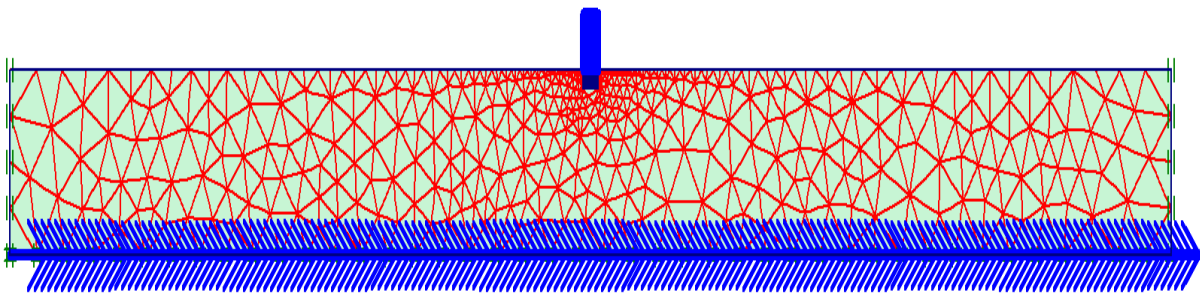


شکل (۳-۴). تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان رکورد زلزله Loma Prieta

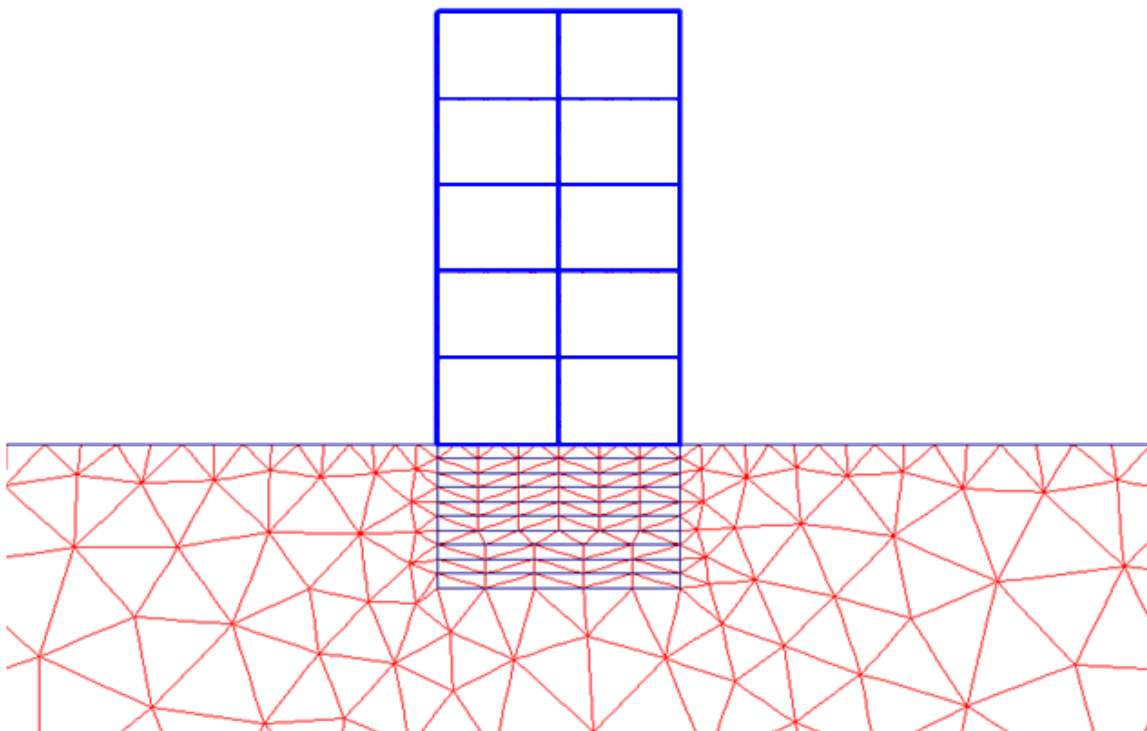
جهت استفاده از شتابنگاشت‌ها، ابتدا شتابنگاشت‌ها توسط برنامه SeismoSignal مقیاس شده و سپس برای تحلیل دینامیکی استفاده شده‌اند.

۵-۳- مدل اجزای محدود

در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶)، مدل استفاده شده جهت تحلیل لرزه‌ای نشان داده شده است.



شکل (۳-۵). مدل اجزای محدود (مش)



شکل (۳-۶). مدل اجزای محدود (بزرگنمایی شده محدوده ساختمان)

مدل در نظر گرفته شده دارای اجزای زیر می‌باشد:

- ساختمان:

ساختمان بتنی در ۵ طبقه و به عرض ۸ متر مدل شده است. جهت مدلسازی عناصر ساختمان (تیرها و ستون‌ها) از المان‌های صفحه‌ای در برنامه استفاده شده است. مشخصات این المان‌ها در جدول (۲-۳) آورده شده است. وزن هر طبقه از ساختمان 1 t/m^2 در نظر گرفته شده است [۵۲].

جدول (۲-۳). خصوصیات المان تیر و ستون ساختمان

W (KN/m/m)	EI (KNm ² /m)	EA (KN/m)
۵	۲,۲۸E۶	۲,۷۴E۷

- خاک زیر ساختمان:

خاک زیر ساختمان بصورت یک لایه نیمه بینهایت مدل شده است. خصوصیات این خاک در جدول (۳-۳) آورده شده است. همانطور که در این جدول ذکر شده، خاک از نوع رس نرم بعنوان یک خاک مسئله ساز و برای تحلیل آن از مدل موهرکلمب استفاده شده است.

- ژئوفوم:

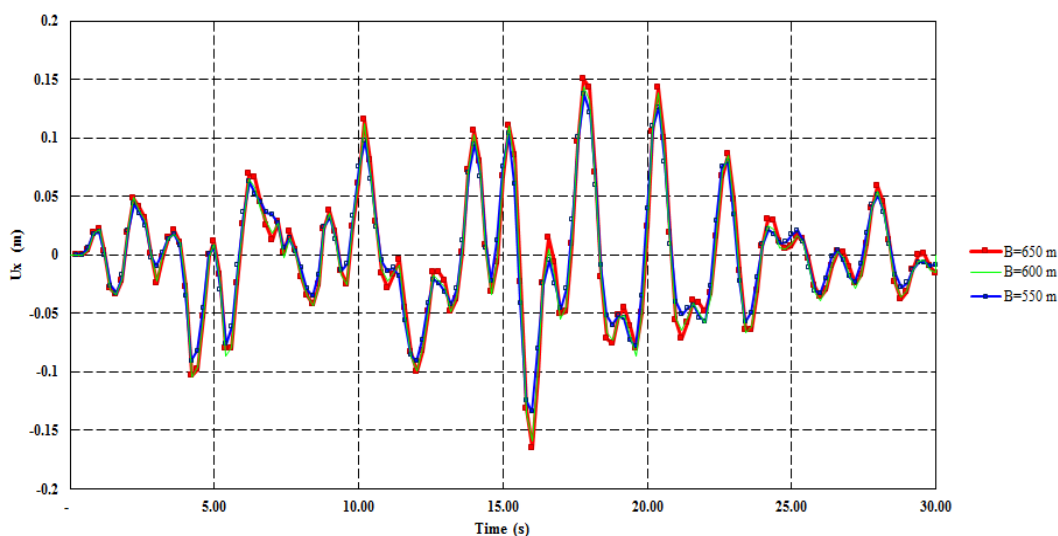
ژئوفوم‌ها بصورت لایه‌ای در زیر ساختمان مدل شده‌اند. مشخصات و ضخامت این ژئوفوم‌ها بر اساس نوع تحلیل تغییر می‌کند. مشخصات این ژئوفوم‌ها از استاندارد ASTM D6817 استخراج و در جدول (۳-۳) آورده شده است. مدل در نظر گرفته شده برای تحلیل ژئوفوم‌ها مدل الاستیک خطی می‌باشد.

- سطح آب زیرزمینی:

در این تحقیق، سطح آب زیر زمینی پایین تر از عمق ۵۰ متر در نظر گرفته شده لذا خاک در شرایط غیر اشباع تحلیل شده است.

انتخاب ابعاد مدل:

جهت انتخاب ابعاد مدل، تحلیل بر روی سه مدل با عرض‌های ۵۵۰، ۶۰۰ و ۶۵۰ متر با ارتفاع یکسان (۵۰ متر) انجام گرفت. نتایج تحلیل در شکل (۳-۷) آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد نتایج مدل با عرض‌های ۶۰۰ و ۶۵۰ متر تطابق خوبی را نشان می‌دهد. از اینرو مدل با عرض ۶۰۰ متر و ارتفاع ۵۰ متر جهت تحلیل انتخاب گردید.



شکل (۳-۷). نمودار جابجایی افقی - زمان برای مدل با عرض‌های مختلف

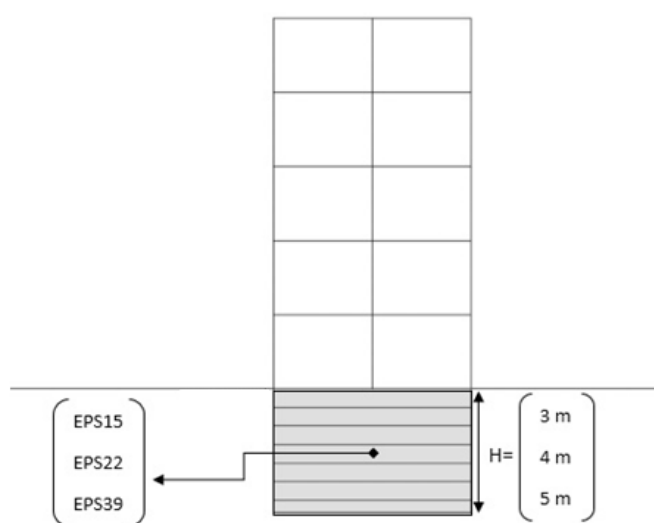
جدول (۳-۳). مشخصات مواد و مصالح استفاده شده در مدل

مصالح	مدل رفتار مصالح	γ (KN/m ³)	C (KN/m ²)	ϕ°	ψ	ν	E (KN/m ²)
خاک رس [۵۳]	موهر کلمب	۲۰	۱۲	۱۵	۱	۰,۳۵	۱,۱E۴
ژئوفوم EPS 15 [۱۱]	الاستیک خطی	۰,۱۴۴	-	-	-	۰,۱	۲۵۰۰
ژئوفوم EPS 22 [۱۱]	الاستیک خطی	۰,۲۱۶	-	-	-	۰,۱	۵۰۰۰
ژئوفوم EPS 39 [۱۱]	الاستیک خطی	۰,۳۸۴	-	-	-	۰,۱	۱,۰۳E۴

۳-۶- تحلیل‌های لرزه‌ای

۱- بررسی اثر ضخامت ژئوفوم‌های مختلف بر نشست لرزه‌ای ساختمان:

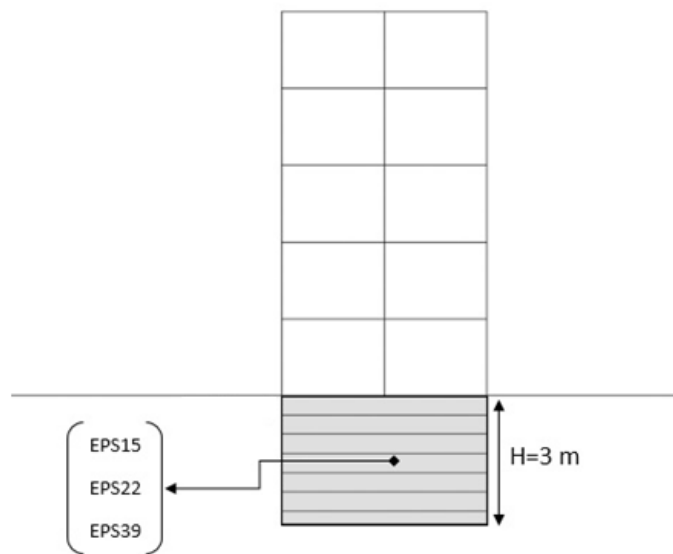
جهت بررسی این موضوع، ژئوفوم‌ها بصورت لایه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت (۳، ۴ و ۵ متری) تحت زلزله‌های مختلف قرار گرفته و نتایج تحلیل‌ها در پی و بالاترین نقطه ساختمان با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل (۳-۸). مدل تعریف شده جهت بررسی اثر ضخامت ژئوفوم‌های مختلف بر نشست لرزه‌ای ساختمان

۲- بررسی اثر نوع ژئوفوم بر نشست لرزه‌ای ساختمان:

جهت بررسی این موضوع، ژئوفوم‌های مختلف بصورت لایه‌هایی با ضخامت ثابت ۳ متری تحت زلزله‌های مختلف قرار گرفته و نتایج تحلیل‌ها در پی و بالاترین نقطه ساختمان با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل (۳-۹). مدل تعریف شده جهت بررسی اثر نوع ژئوفوم بر نشست لرزه‌ای ساختمان

فصل چهارم:

نتایج و تفسیر آنها

۴-۱- مقدمه

در این فصل، نتایج مدلسازی عددی به همراه نمودارها و جداول مربوط به آن ارائه شده و اثر ژئوفوم‌های مختلف بر نشست لرزه‌ای ساختمان مدل بررسی شده است.

۴-۲- تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای مختلف در پی ساختمان

در جدول‌های (۴-۱) تا (۴-۳)، نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفوم‌های مختلف (EPS15، EPS22، EPS39) بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکوردهای زلزله Elcentro، Loma Prieta و Northridge آورده شده است.

جدول (۴-۱). نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (پی ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s^2)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.1432		0.0075		1.8867	
EPS15	A-2	3	0.1381	3.5	0.0000	100	1.8524	2
	A-4	4	0.1382	3.5	0.0000	100	1.8763	0.5
	A-5	5	0.1379	4	0.0000	100	1.9569	-4
EPS22	A-7	3	0.1388	3	0.0000	100	1.8688	1
	A-9	4	0.1385	3	0.0000	100	1.8687	1
	A-10	5	0.1381	3.5	0.0000	100	1.8661	1
EPS39	A-12	3	0.1416	1	0.0007	91	1.9084	-1
	A-14	4	0.1410	1.5	0.0000	100	1.9083	-1
	A-15	5	0.1404	2	0.0000	100	1.9002	-1

جدول (۴-۲). نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northridge (پی ساختمان)

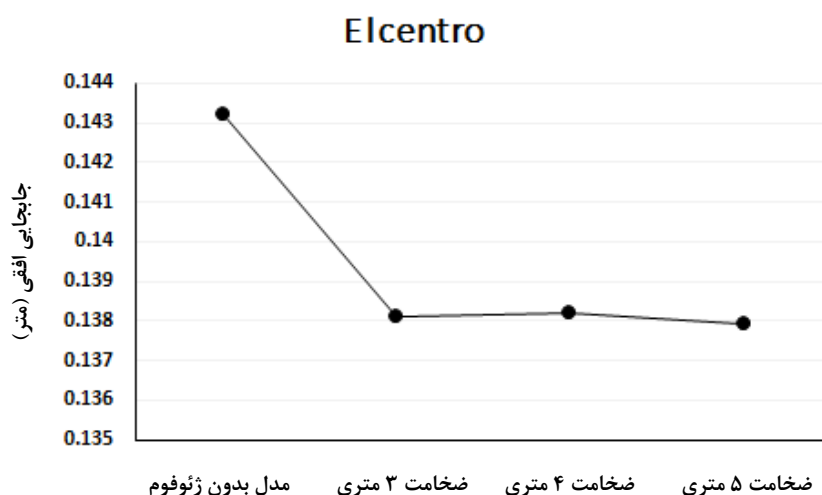
نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s ²)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.1873		0.0208		3.2897	
EPS15	A-2	3	0.1845	1.5	0.0000	100	3.9879	-21
	A-4	4	0.1845	1.5	0.0000	100	4.0592	-23
	A-5	5	0.1845	1.5	0.0000	100	4.0830	-24
EPS22	A-7	3	0.1833	2	0.0089	57	3.5717	-8.5
	A-9	4	0.1836	2	0.0163	22	3.5531	-8
	A-10	5	0.1840	2	0.0243	-17	3.5209	-7
EPS39	A-12	3	0.1832	2	0.0015	93	3.4542	-5
	A-14	4	0.1833	2	0.0000	100	3.4712	-5.5
	A-15	5	0.1836	2	0.0000	100	3.4691	-5.4

جدول (۴-۳). نتایج آنالیز عددی تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (پی ساختمان)

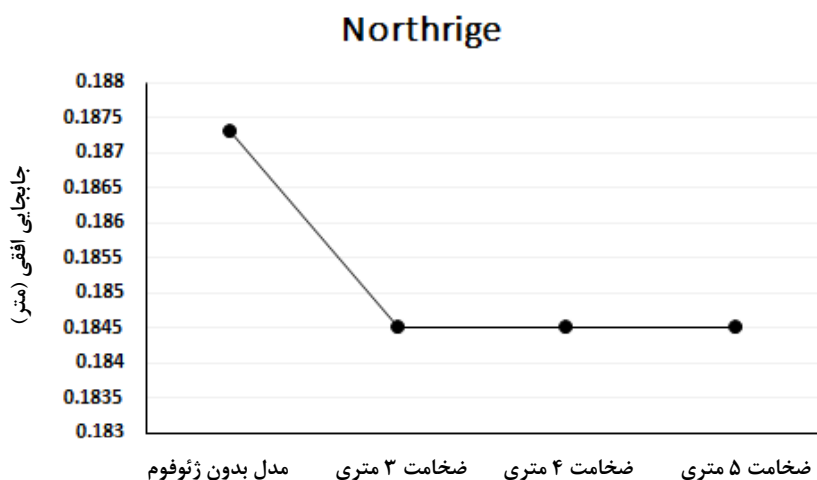
نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s ²)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.0804		0.0042		2.2422	
EPS15	A-2	3	0.0763	5	0.0000	100	2.6206	-17
	A-4	4	0.0763	5	0.0000	100	2.5973	-16
	A-5	5	0.0765	5	0.0000	100	2.5434	-13
EPS22	A-7	3	0.0776	3	0.0057	-37	2.7875	-24
	A-9	4	0.0772	4	0.0097	-133	2.7930	-24
	A-10	5	0.0770	4	0.0139	-235	2.7643	-23
EPS39	A-12	3	0.0798	1	0.0000	100	2.7825	-24
	A-14	4	0.0795	1	0.0000	100	2.8341	-26
	A-15	5	0.0793	1	0.0000	100	2.8642	-28

۱-۲-۴- تغییرات جابجایی افقی

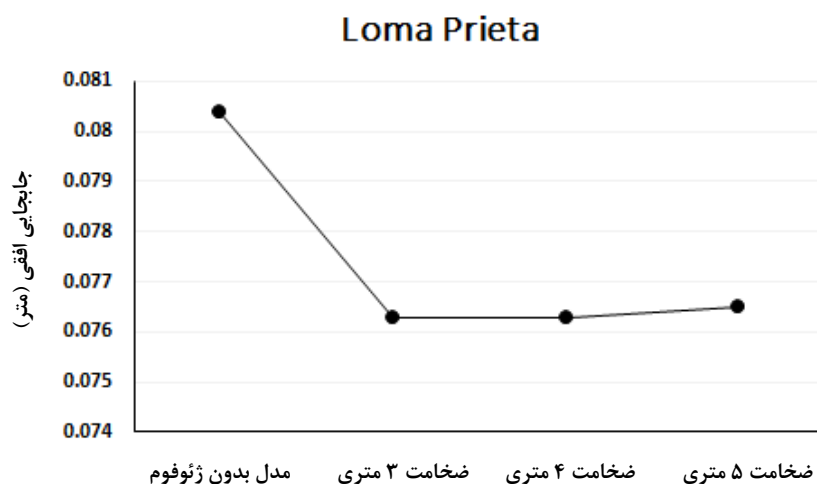
بر اساس نتایج مدل‌سازی عددی و شکل‌های (۱-۴) تا (۳-۴)، در حالت اعمال زلزله Elcentro هر سه نوع ژئوفوم با ضخامت ۵ متری بیشترین کاهش جابجایی افقی را نشان داده‌اند. در حالت استفاده از زلزله Northrige هر سه نوع ژئوفوم با ضخامت ۳ متری بیشترین کاهش را نشان داده‌اند. در حالت اعمال زلزله Loma Prieta، EPS22 و EPS39 با افزایش ضخامت کاهش جابجایی افقی را به همراه داشته و EPS15 با ضخامت ۳ متری بیشترین کاهش را نشان داده است.



شکل (۱-۴). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro



شکل (۲-۴). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northrige

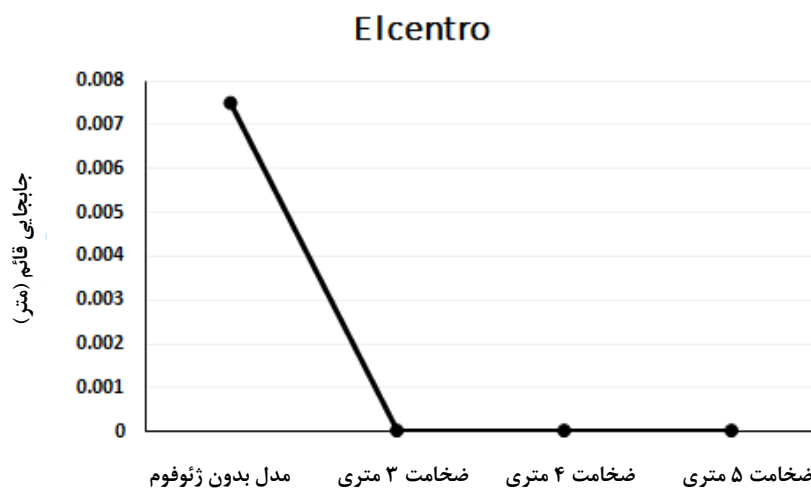


شکل (۳-۴). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta

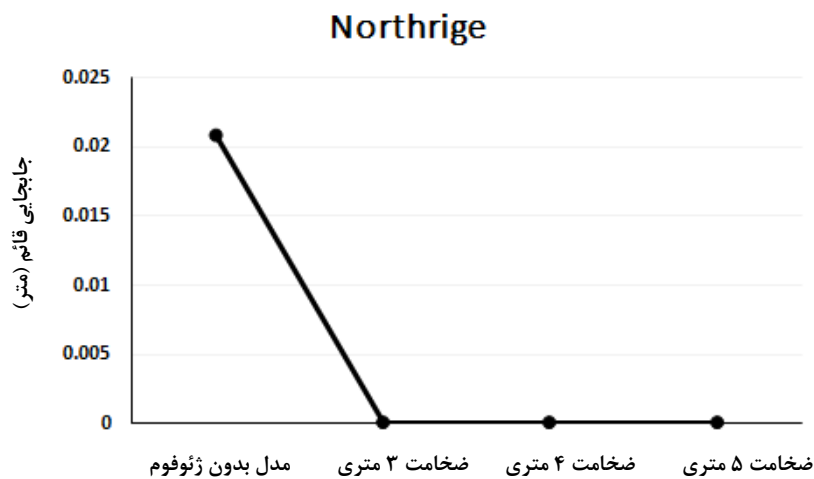
۲-۲-۴- تغییرات جابجایی قائم (نشست)

در حالت اعمال زلزله Elcentro هر سه نوع ژئوفوم کاهش صد درصدی جابجایی قائم را نشان داده‌اند. در حالت اعمال زلزله Northridge هر سه نوع ژئوفوم باعث کاهش جابجایی قائم شده‌اند ولی EPS15 و EPS39 کاهش حدود ۱۰۰ درصدی و EPS22 کاهش ۵۷/۳۶ درصدی را نشان داده است. در حالت اعمال زلزله Loma Prieta، EPS15 و EPS39 کاهش ۱۰۰ درصدی و EPS22 افزایش جابجایی را نشان داده است.

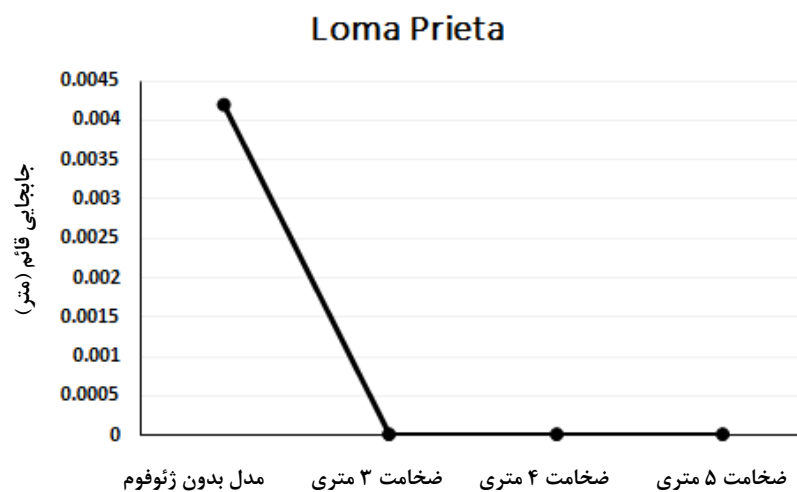
شکل‌های (۴-۴) تا (۴-۶) تغییرات جابجایی قائم را برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف نشان می‌دهند.



شکل (۴-۴). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro



شکل (۴-۵). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northridge



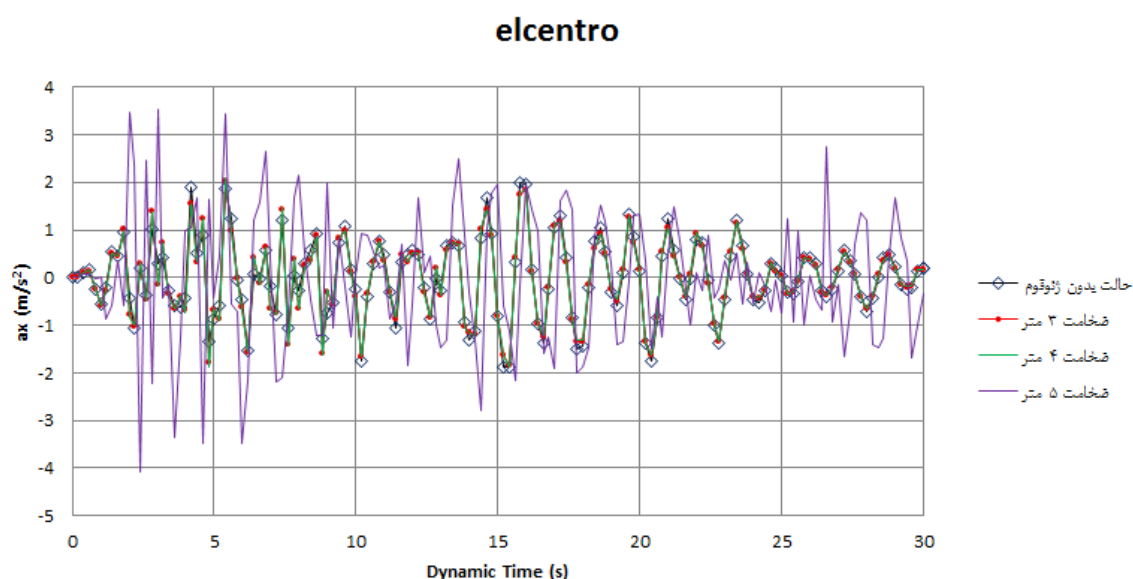
شکل (۴-۶). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta

۳-۲-۴- تغییرات شتاب افقی

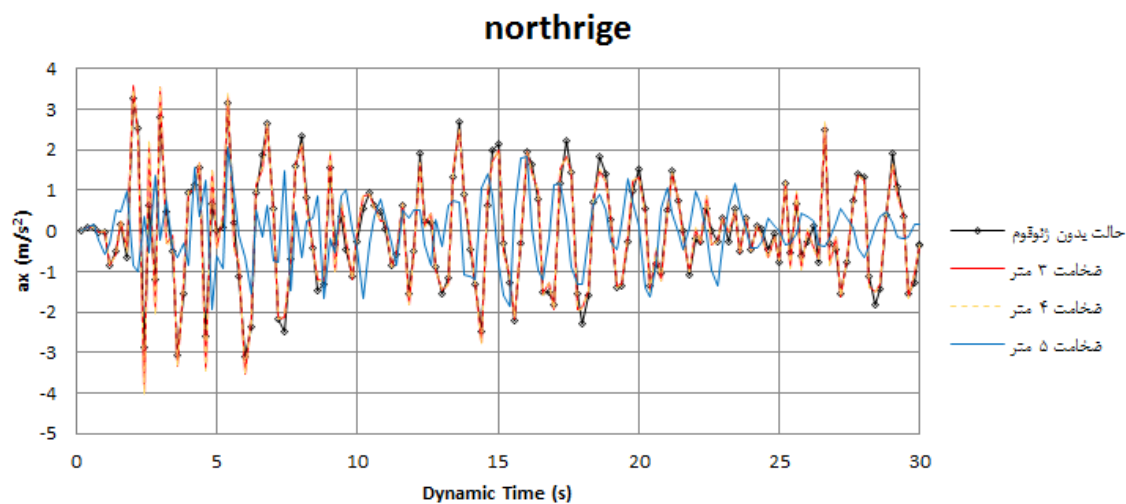
تغییرات نتایج شتاب افقی در برابر زمان دینامیکی در اثر تغییر ضخامت ژئوفوم‌ها تحت زلزله‌های مختلف در پی ساختمان در شکل‌های (۴-۷) تا (۴-۹) آورده شده است.

بر اساس نتایج مدلسازی و این شکل‌ها، در حالت اعمال زلزله Elcentro، در مدل‌های استفاده شده از ژئوفوم EPS15، ضخامت‌های ۳ و ۴ متری، در مدل استفاده شده از EPS22 در ضخامت‌های ۳، ۴ و ۵ متری شتاب افقی کاهش یافته است ولی در حالت استفاده از EPS39 شتاب افقی افزایش یافته است.

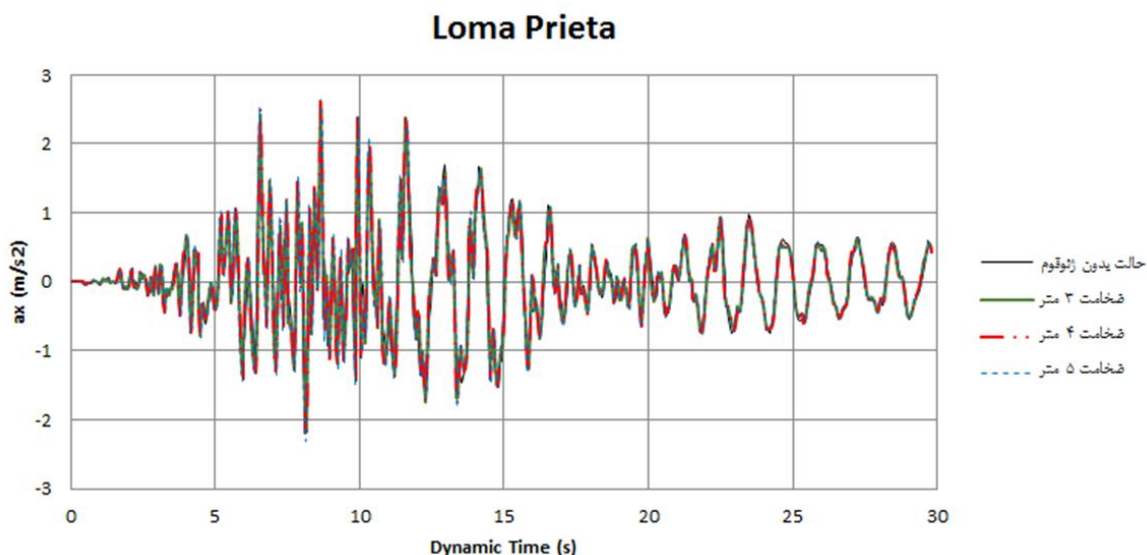
در حالت اعمال زلزله Northridge و Loma Prieta، ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت‌های ۳، ۴ و ۵ متری باعث افزایش شتاب افقی شده‌اند.



شکل (۴-۷). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro



شکل (۴-۸). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northrige



شکل (۴-۹). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta

۳-۴- تأثیر ژئوفوم‌های مختلف بر پارامترهای مختلف در پی ساختمان

در جدول‌های (۴-۴) تا (۴-۶)، نتایج آنالیز عددی تأثیر ژئوفوم‌های مختلف (EPS15، EPS22،

EPS39) بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکوردهای زلزله Elcentro

Northrige و Loma Prieta آورده شده است.

جدول (۴-۴). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله

Elcentro (پی ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s ²)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.1432		0.0075		1.8867	
EPS15	A-2	3	0.1381	3.5	0.0000	100	1.8524	2
EPS22	A-7	3	0.1388	3	0.0000	100	1.8688	1
EPS39	A-12	3	0.1416	1	0.0007	90	1.9084	-1

جدول (۴-۵). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله

Northrige (پی ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s ²)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.1873		0.0208		3.2897	
EPS15	A-2	3	0.1845	1.5	0.0000	100	3.9879	-21
EPS22	A-7	3	0.1833	2	0.0089	57	3.5717	-8.5
EPS39	A-12	3	0.1832	2	0.0015	93	3.4542	-5

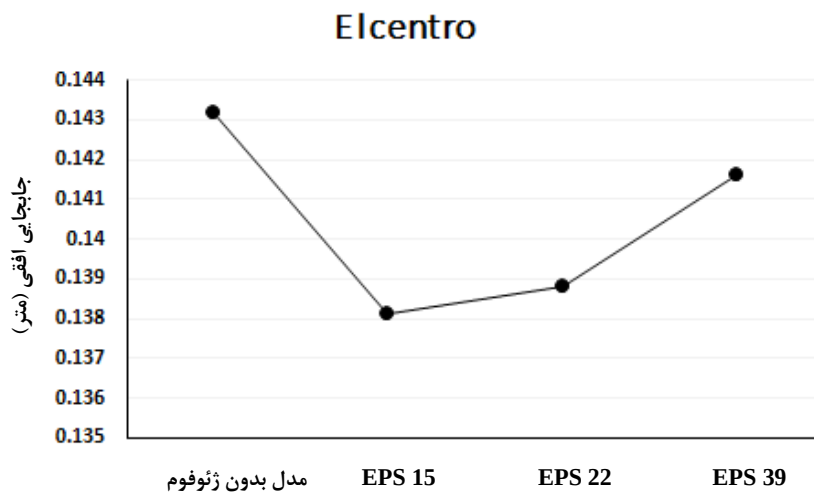
جدول (۴-۶). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله

Loma Prieta (پی ساختمان)

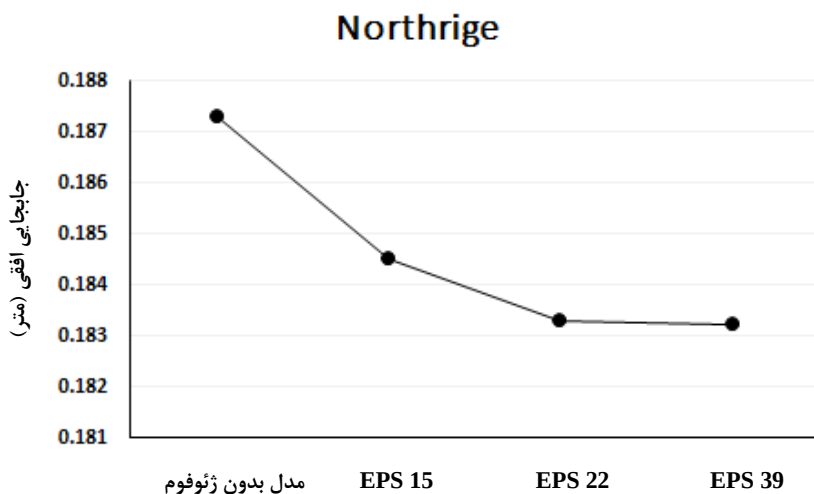
نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s ²)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.0804		0.0042		2.2422	
EPS15	A-2	3	0.0763	5	0.0000	100	2.6206	-17
EPS22	A-7	3	0.0776	3.5	0.0057	-37	2.7875	-24
EPS39	A-12	3	0.0798	1	0.0000	100	2.7825	-24

۱-۳-۴- تغییرات جابجایی افقی

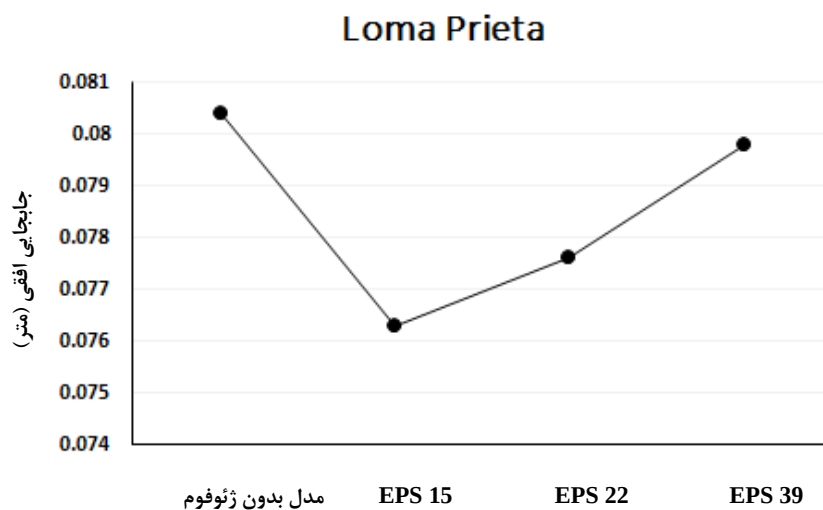
بر اساس نتایج آنالیز عددی، در حالت اعمال زلزله Elcentro بیشترین کاهش جابجایی افقی مربوط به EPS15 با کاهش ۳/۵۴٪، در حالت اعمال زلزله Northrige، مربوط به ژئوفوم EPS39 با کاهش ۲/۱۹٪ و در حالت اعمال زلزله Loma Prieta، مربوط به ژئوفوم EPS15 با کاهش ۵/۰۶٪ بوده است. شکل‌های (۴-۱۰) تا (۴-۱۲) تغییرات جابجایی افقی را برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف نشان می‌دهند.



شکل (۴-۱۰). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Elcentro



شکل (۴-۱۱). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Northrige

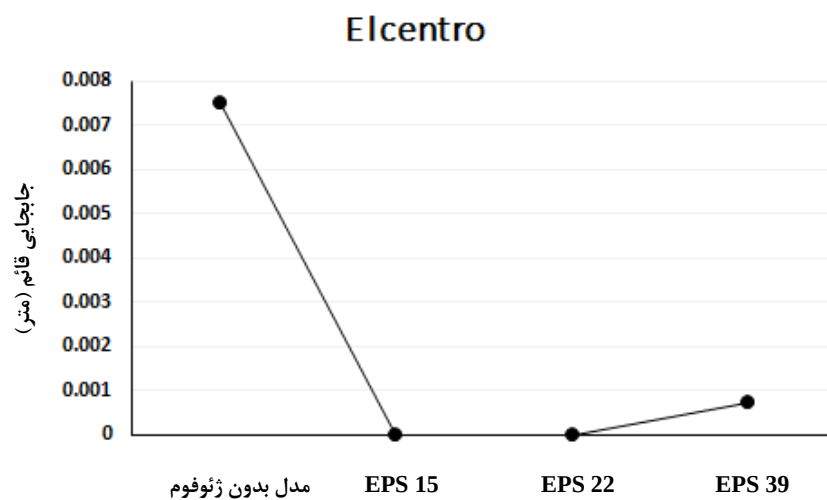


شکل (۴-۱۲). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Loma Prieta

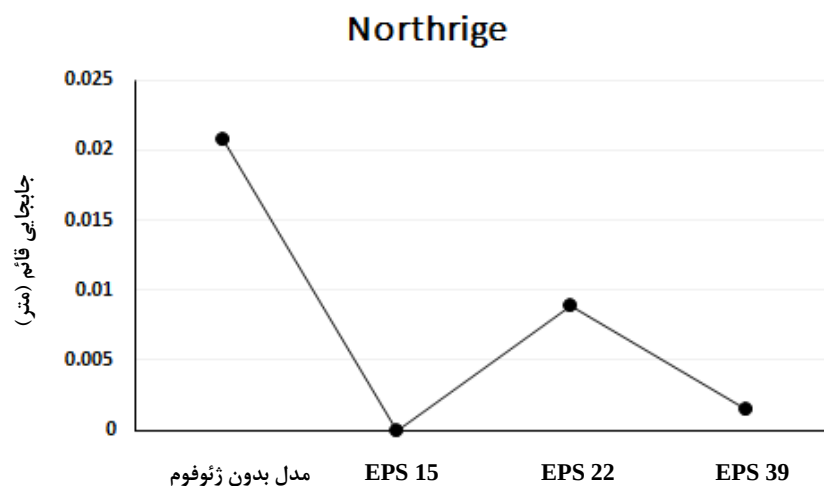
۲-۳-۴- تغییرات جابجایی قائم (نشست)

بر اساس نتایج آنالیز عددی، در حالت اعمال زلزله Elcentro جابجایی قائم برای هر سه نوع ژئوفوم کاهش یافته بطوریکه جابجایی حدود صفر را نتیجه داده است. در حالت اعمال زلزله Northridge ژئوفوم‌های EPS15 و EPS39 کاهش حدود ۱۰۰ درصدی و EPS22 کاهش ۵۷ درصدی را نشان داده است. در حالت اعمال زلزله Loma Prieta، ژئوفوم‌های EPS15 و EPS39 کاهش حدود ۱۰۰ درصدی و EPS22 افزایش جابجایی قائم را نشان داده است.

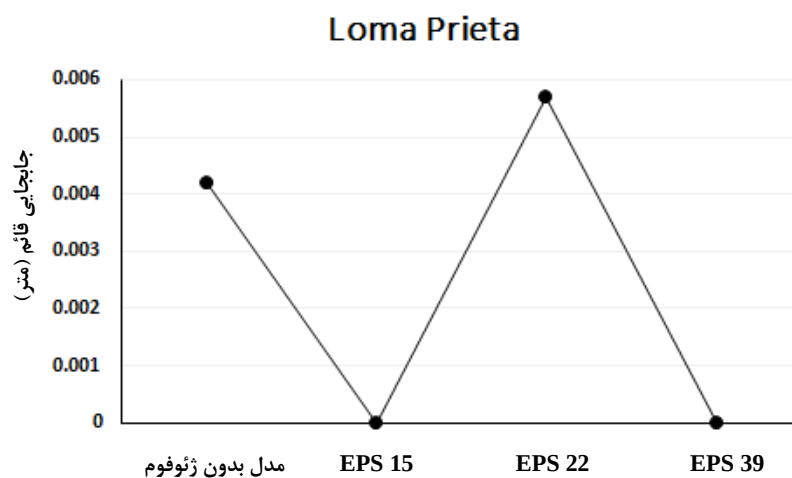
شکل‌های (۴-۱۳) تا (۴-۱۵) تغییرات جابجایی قائم را برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف نشان می‌دهند.



شکل (۴-۱۳). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳متر، تحت زلزله Elcentro



شکل (۴-۱۴). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳متر، تحت زلزله Northridge

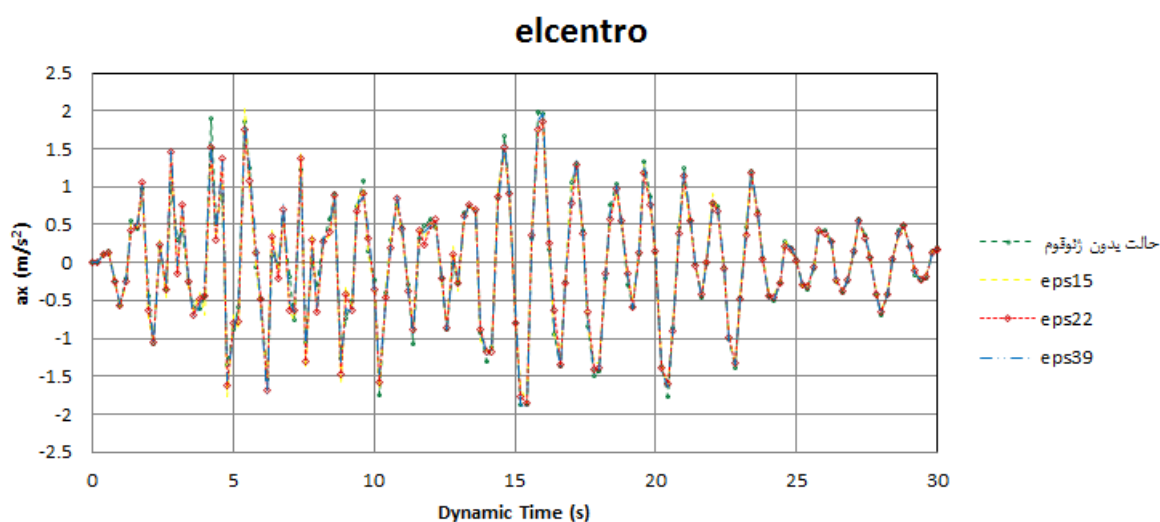


شکل (۴-۱۵). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳متر، تحت زلزله Loma Prieta

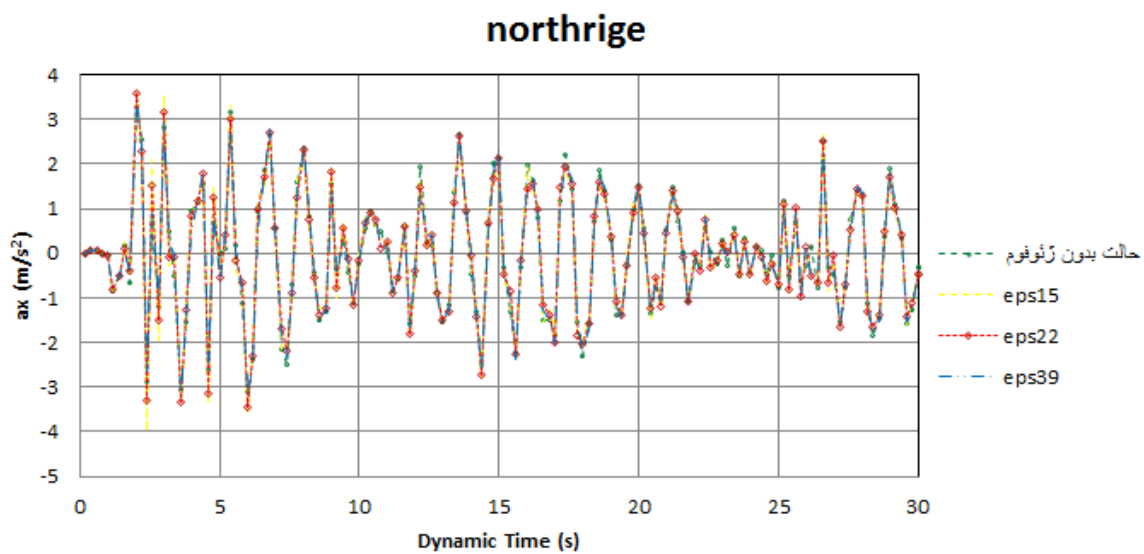
۳-۳-۴- تغییرات شتاب افقی

تغییرات نتایج شتاب افقی در برابر زمان دینامیکی در اثر تغییر نوع ژئوفوم تحت زلزله‌های مختلف در پی ساختمان در شکل‌های (۴-۱۶) تا (۴-۱۸) آورده شده است.

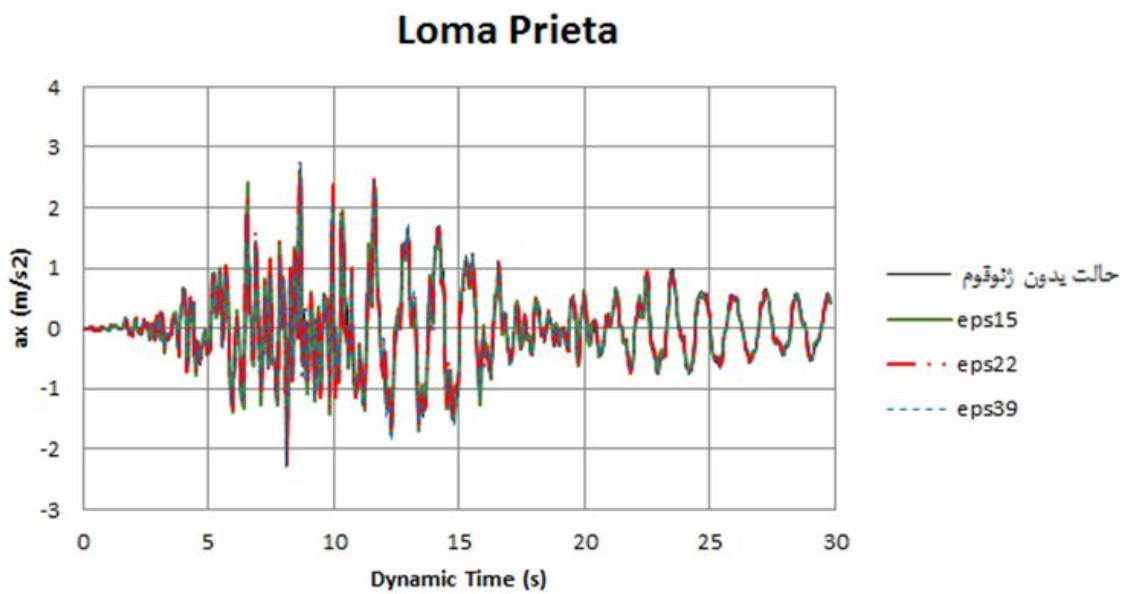
بر اساس نتایج مدل‌سازی و این شکل‌ها، در حالت اعمال زلزله Elcentro، در مدل‌های استفاده شده از ژئوفوم‌های EPS15 و EPS22 شتاب افقی کاهش یافته و در حالت اعمال زلزله‌های Northridge و Loma Prieta برای ژئوفوم‌های مختلف افزایش شتاب افقی را به همراه داشته است.



شکل (۴-۱۶). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Elcentro



شکل (۴-۱۷). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Northrige



شکل (۴-۱۸). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Loma Prieta

۴-۴- تأثیر ضخامت ژئوفوم‌ها بر پارامترهای مختلف در نقطه بالای

ساختمان

در جدول‌های (۴-۷) تا (۴-۹)، نتایج آنالیز عددی تأثیر ژئوفوم‌های مختلف (EPS15، EPS22، EPS39) در ضخامت‌های مختلف بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکوردهای زلزله Loma Prieta و Northridge آورده شده است.

جدول (۴-۷). نتایج آنالیز عددی، تأثیر ضخامت ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s^2)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.1583		0.0075		3.1123	
EPS15	A-2	3	0.1879	-19	0.0121	-61	2.7090	13
	A-4	4	0.1816	-15	0.0195	-160	2.5774	17
	A-5	5	0.1818	-15	0.0265	-254	2.4831	20
EPS 22	A-7	3	0.2060	-30	0.0000	100	2.9129	6
	A-9	4	0.2036	-29	0.0000	100	2.7564	11
	A-10	5	0.2007	-27	0.0000	100	2.6590	14.5
EPS 39	A-12	3	0.1801	-14	0.0007	91	3.6707	-18
	A-14	4	0.1807	-14	0.0000	100	3.5601	-14
	A-15	5	0.1796	-14	0.0000	100	3.4715	-11.5

جدول (۸-۴). نتایج آنالیز عددی، تأثیر ضخامت ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northridge (نقطه بالای ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s^2)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.2221		0.0208		4.6456	
EPS15	A-2	3	0.2696	-21	0.0141	32	3.5777	23
	A-4	4	0.2633	-18.5	0.0243	-17	3.3812	27
	A-5	5	0.2583	-16	0.0342	-65	3.2601	30
EPS 22	A-7	3	0.2850	-28	0.0000	100	4.5227	3
	A-9	4	0.2785	-25	0.0000	100	4.2759	8
	A-10	5	0.2722	-22.5	0.0000	100	4.0104	14
EPS 39	A-12	3	0.2204	1	0.0015	93	4.8557	-4.5
	A-14	4	0.2166	2.5	0.0000	100	4.7083	-1
	A-15	5	0.2172	2	0.0000	100	4.5654	2

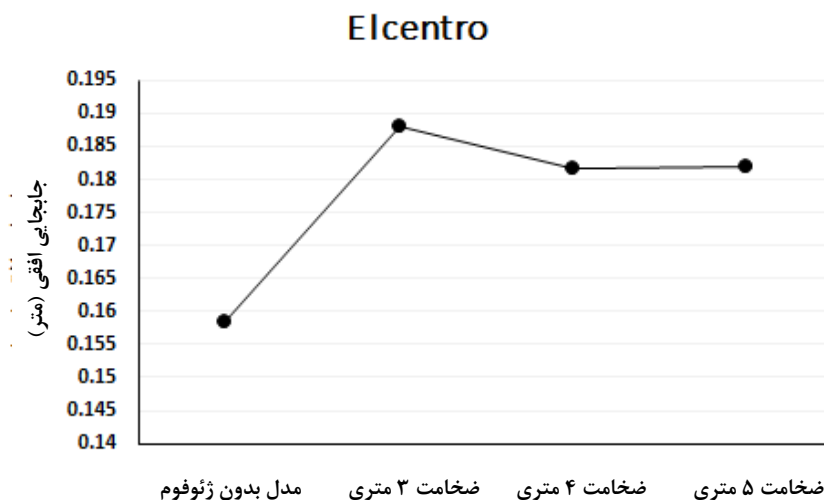
جدول (۹-۴). نتایج آنالیز عددی، تأثیر ضخامت ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s^2)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.0873		0.0042		3.1253	
EPS15	A-2	3	0.1017	-16.5	0.0109	-161.5	1.9181	39
	A-4	4	0.1002	-15	0.0167	-302	1.8241	42
	A-5	5	0.0988	-13	0.0221	-433.5	1.7483	44
EPS 22	A-7	3	0.1182	-35	0.0000	100	2.4161	23
	A-9	4	0.1172	-34	0.0000	100	2.3166	26
	A-10	5	0.1166	-33	0.0000	100	2.2659	28
EPS 39	A-12	3	0.1148	-31.5	0.0000	100	2.7555	12
	A-14	4	0.1161	-33	0.0000	100	2.6725	14
	A-15	5	0.1167	-34	0.0000	100	2.5920	17

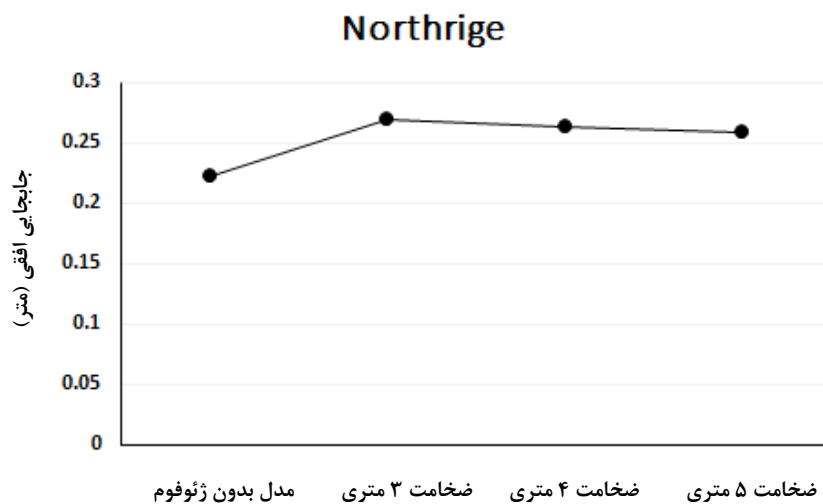
۴-۴-۱- تغییرات جابجایی افقی

بر اساس نتایج مدلسازی عددی، در حالت اعمال زلزله Elcentro، جابجایی افقی با افزایش ضخامت هر سه نوع ژئوفوم کاهش یافته است.

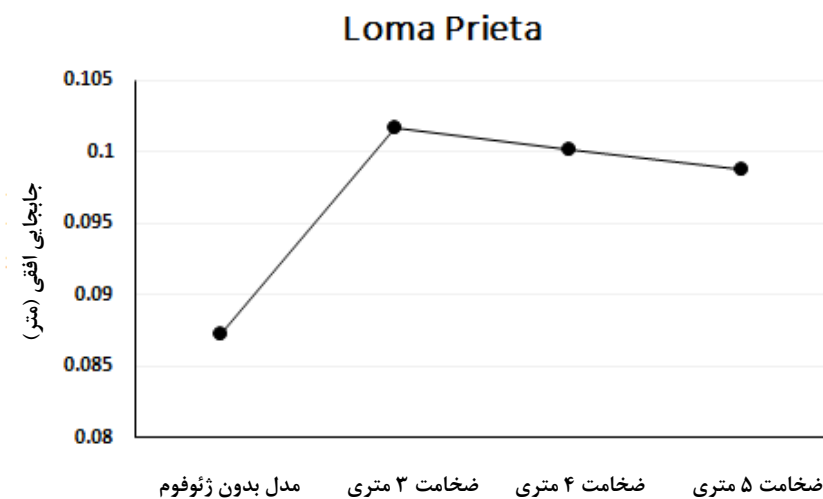
در حالت اعمال زلزله Northridge در مدل‌هایی که از ژئوفوم EPS39 استفاده شده است بیشترین کاهش را در ضخامت ۴ متری نشان داده است و دیگر مدل‌ها باعث افزایش جابجایی افقی شده‌اند. در حالت اعمال زلزله Loma Prieta در تمامی مدل‌ها باعث افزایش جابجایی افقی شده است. شکل‌های (۴-۱۹) تا (۴-۲۱) تغییرات جابجایی افقی را برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف در بالای ساختمان نشان می‌دهند.



شکل (۴-۱۹). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Elcentro، نقطه بالای ساختمان.



شکل (۴-۲۰). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Northridge، نقطه بالای ساختمان.

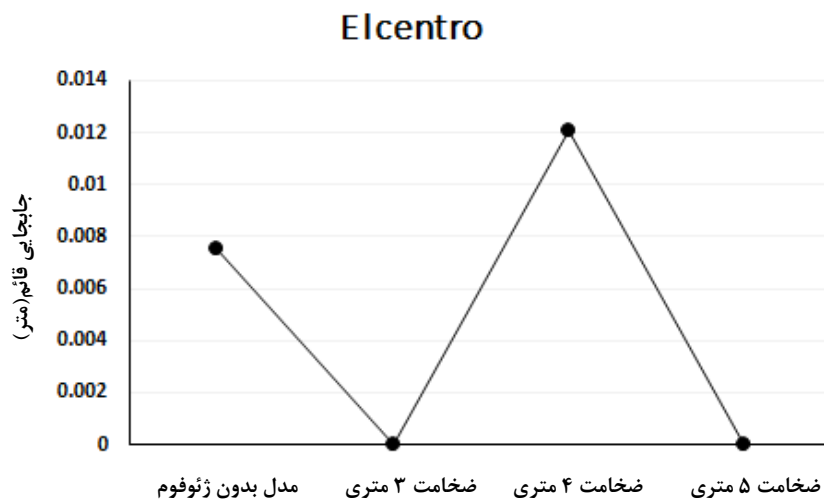


شکل (۴-۲۱). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Loma Prieta، نقطه بالای ساختمان.

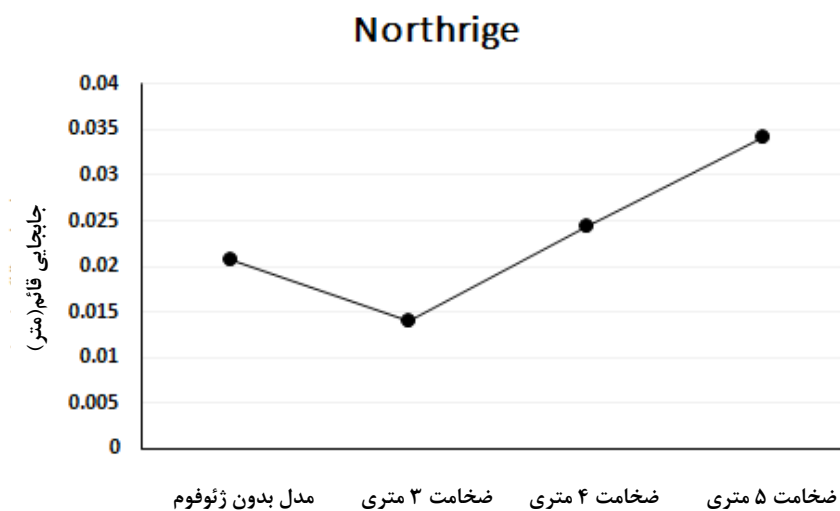
۴-۴-۲- تغییرات جابجایی قائم (نشست)

در تمامی حالات اعمال رکوردهای زلزله، در مدل‌هایی که از EPS22 و EPS39 استفاده شده است جابجایی قائم برای تمامی ضخامت‌ها کاهش صد درصدی را نشان داده است.

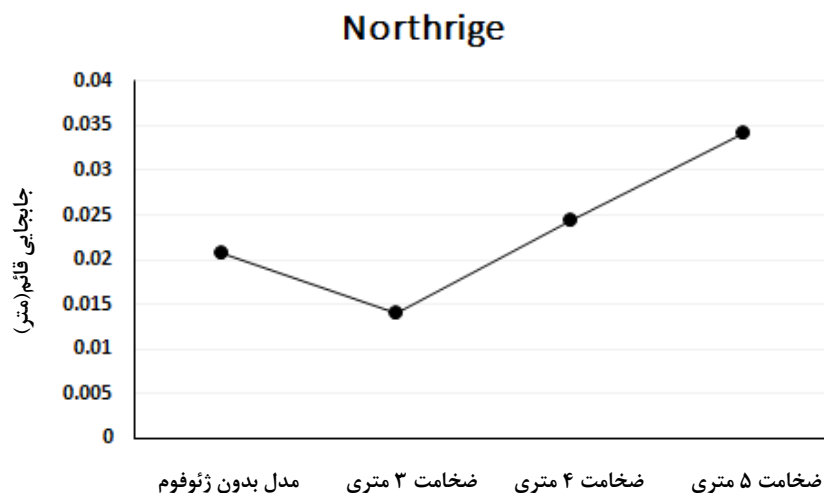
شکل‌های (۴-۲۲) تا (۴-۲۴) تغییرات جابجایی قائم را برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف در بالای ساختمان نشان می‌دهند.



شکل (۴-۲۲). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Elcentro، نقطه بالای ساختمان.



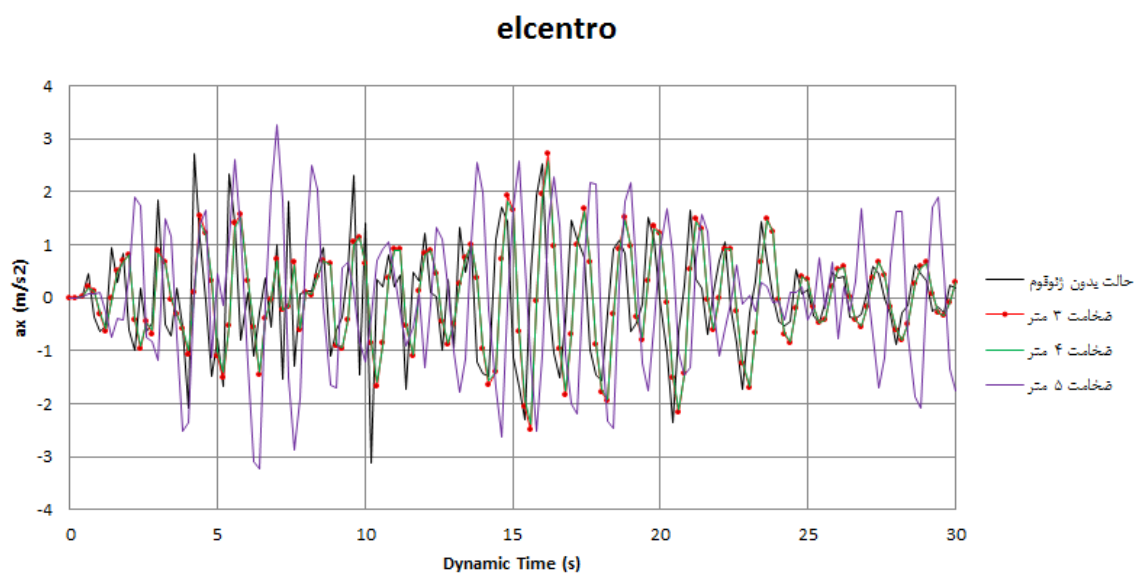
شکل (۴-۲۳). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Northridge، نقطه بالای ساختمان.



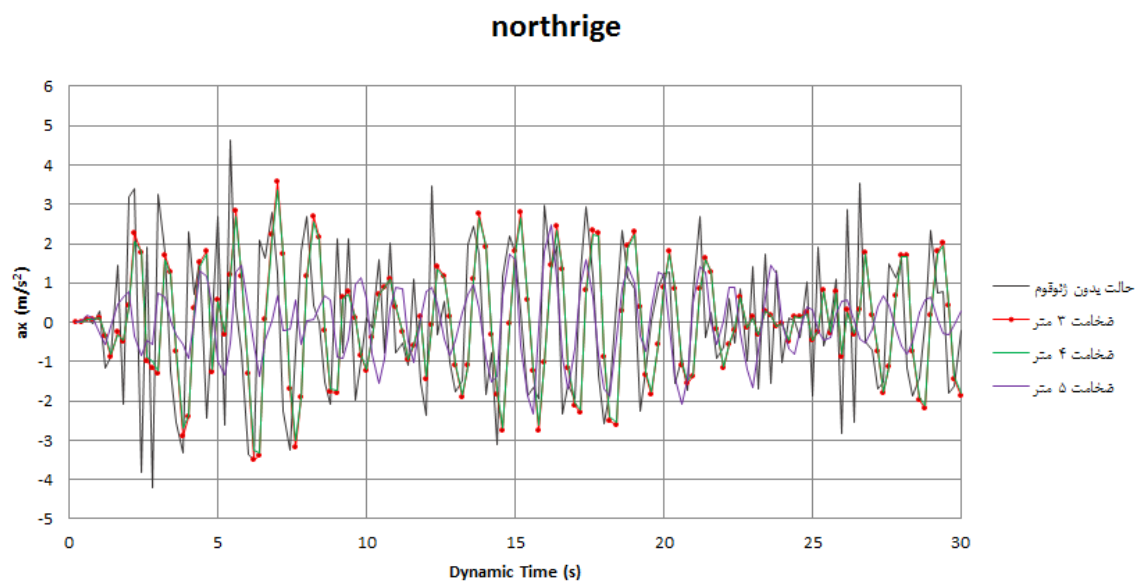
شکل (۴-۲۴). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15 تحت زلزله Loma Prieta، نقطه بالای ساختمان.

۳-۴-۴- تغییرات شتاب افقی

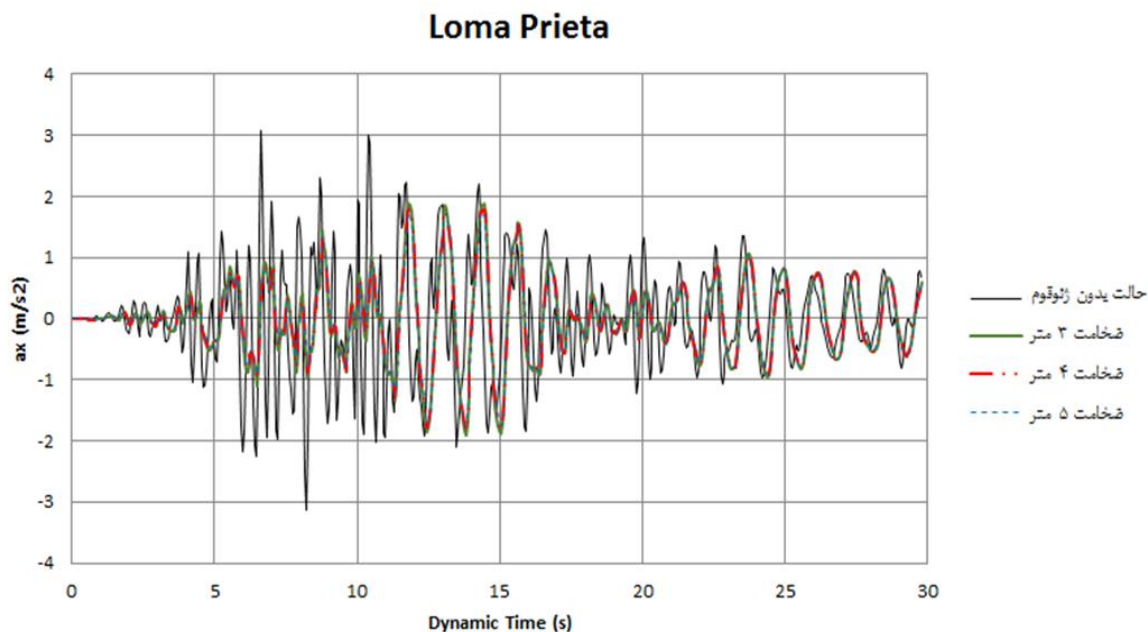
تغییرات نتایج شتاب افقی در برابر زمان دینامیکی در اثر تغییر ضخامت ژئوفوم‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف در نقطه بالای ساختمان در شکل‌های (۴-۲۵) تا (۴-۲۷) آورده شده است. بر اساس نتایج مدلسازی و این شکل‌ها، در حالت اعمال زلزله Elcentro و Northrige، در مدل‌های استفاده شده از ژئوفوم EPS15 و EPS22 با افزایش ضخامت ژئوفوم، شتاب افقی کاهش یافته است. در حالت اعمال زلزله Loma Prieta در تمامی مدل‌ها با افزایش ضخامت، شتاب افقی کاهش یافته است.



شکل (۲۵-۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان)



شکل (۲۶-۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Northrige (نقطه بالای ساختمان)



شکل (۲۷-۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف برای ژئوفوم EPS15، تحت زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان)

۴-۵- تأثیر نوع ژئوفوم‌ها بر پارامترهای مختلف در نقطه بالای ساختمان

در جدول‌های (۴-۱۰) تا (۴-۱۲)، نتایج آنالیز عددی تأثیر ژئوفوم‌های مختلف (EPS15، EPS22، EPS39) بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکوردهای زلزله Elcentro، Loma Prieta و Northridge آورده شده است.

جدول (۴-۱۰). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان)

نوع ژئوفوم	عنوان تحلیل	ضخامت (m)	جابجایی افقی (m)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	شتاب افقی (m/s ²)	درصد کاهش
	A-0	بدون استفاده از ژئوفوم	0.1583		0.0075		3.1123	
EPS15	A-2	3	0.1879	-19	0.0121	-61	2.7090	13
EPS 22	A-7	3	0.2060	-30	0.0000	100	2.9129	6
EPS 39	A-12	3	0.1801	-14	0.0007	91	3.6707	-18

جدول (۴-۱۱). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Northridge (نقطه بالای ساختمان)

درصد کاهش	شتاب افقی (m/s^2)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	جابجایی افقی (m)	ضخامت (m)	عنوان تحلیل	نوع ژئوفوم
	4.6456		0.0208		0.2221	بدون استفاده از ژئوفوم	A-0	
23	3.5777	32	0.0141	-21	0.2696	3	A-2	EPS15
3	4.5227	100	0.0000	-28	0.2850	3	A-7	EPS 22
-4.5	4.8557	93	0.0015	1	0.2204	3	A-12	EPS 39

جدول (۴-۱۲). نتایج آنالیز عددی تأثیر نوع ژئوفوم بر پارامترهای جابجایی افقی و قائم و شتاب افقی تحت رکورد زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان)

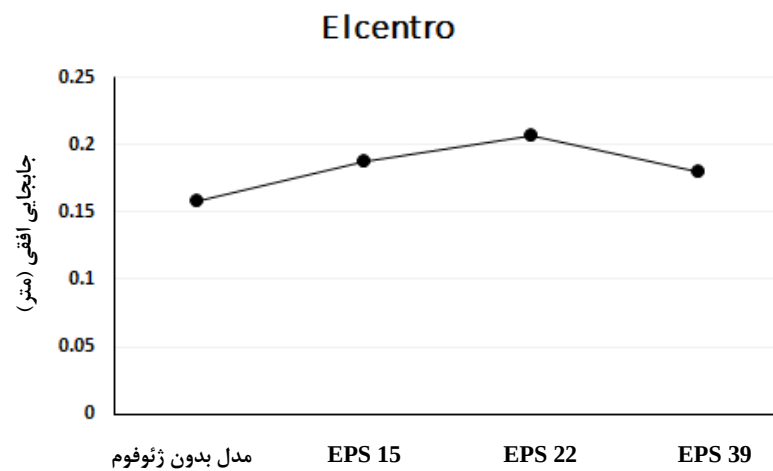
درصد کاهش	شتاب افقی (m/s^2)	درصد کاهش	جابجایی قائم (m)	درصد کاهش	جابجایی افقی (m)	ضخامت (m)	عنوان تحلیل	نوع ژئوفوم
	3.1253		0.0042		0.0873	بدون استفاده از ژئوفوم	A-0	
39	1.9181	-161.5	0.0109	-16.5	0.1017	3	A-2	EPS15
23	2.4161	100	0.0000	-35	0.1182	3	A-7	EPS 22
12	2.7555	100	0.0000	-31.5	0.1148	3	A-12	EPS 39

۴-۵-۱- تغییرات جابجایی افقی

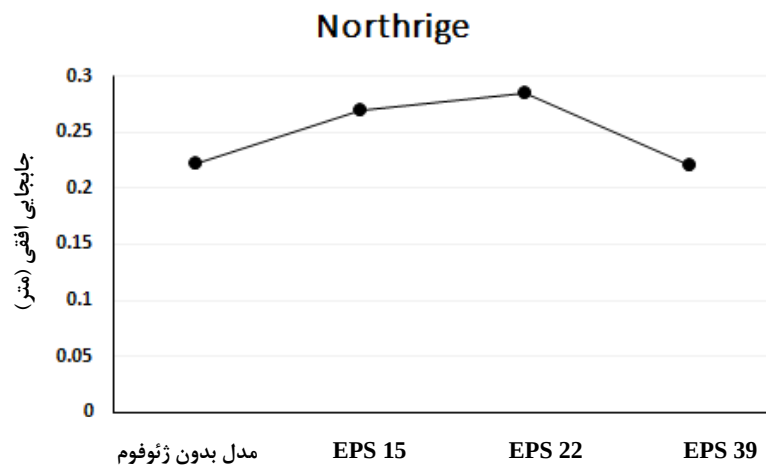
بر اساس نتایج مدلسازی عددی، جابجایی افقی در حالت اعمال زلزله Elcentro و Loma Prieta برای تمامی مدل‌ها (ژئوفوم‌های EPS15، EPS22 و EPS39) افزایش یافته است.

در حالت اعمال زلزله Northridge، جابجایی افقی در مدل‌هایی که از ژئوفوم EPS39 استفاده شده است کاهش یافته است.

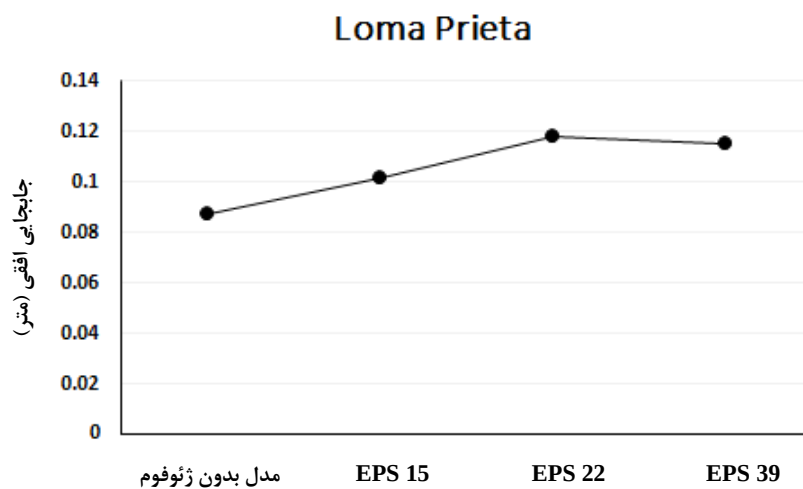
شکل‌های (۴-۲۸) تا (۴-۳۰) تغییرات جابجایی افقی را برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف در بالای ساختمان نشان می‌دهند.



شکل (۴-۲۸). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Elcentro، نقطه بالای ساختمان.



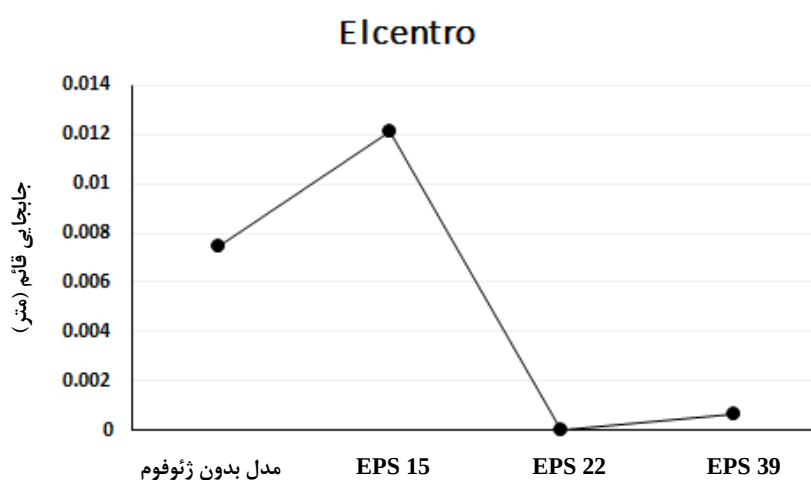
شکل (۴-۲۹). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Northridge، نقطه بالای ساختمان.



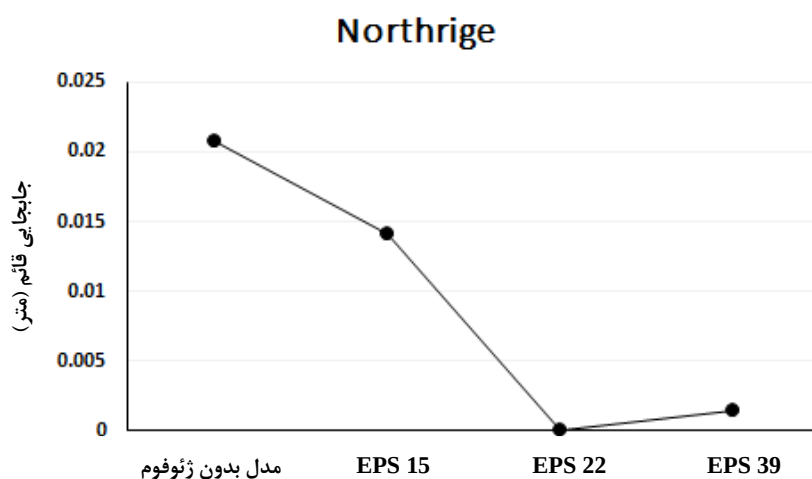
شکل (۴-۳۰). تغییرات جابجایی افقی برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Loma Prieta، نقطه بالای ساختمان.

۲-۵-۴- تغییرات جابجایی قائم (نشست)

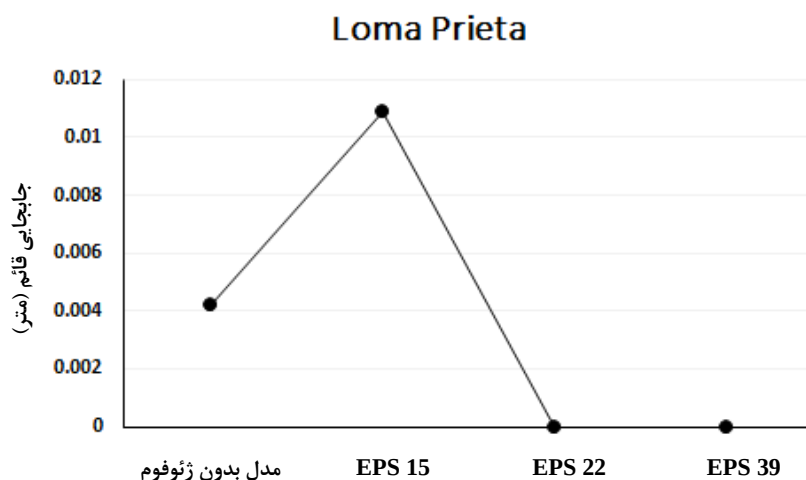
بر اساس نتایج مدلسازی عددی، جابجایی قائم برای تمامی حالت‌های اعمال زلزله برای مدل‌هایی که از EPS22 و EPS39 استفاده شده است، کاهش یافته است. شکل‌های (۴-۳۱) تا (۴-۳۲) تغییرات جابجایی قائم را برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف تحت زلزله‌های مختلف در بالای ساختمان نشان می‌دهند.



شکل (۴-۳۱). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Elcentro، نقطه بالای ساختمان.



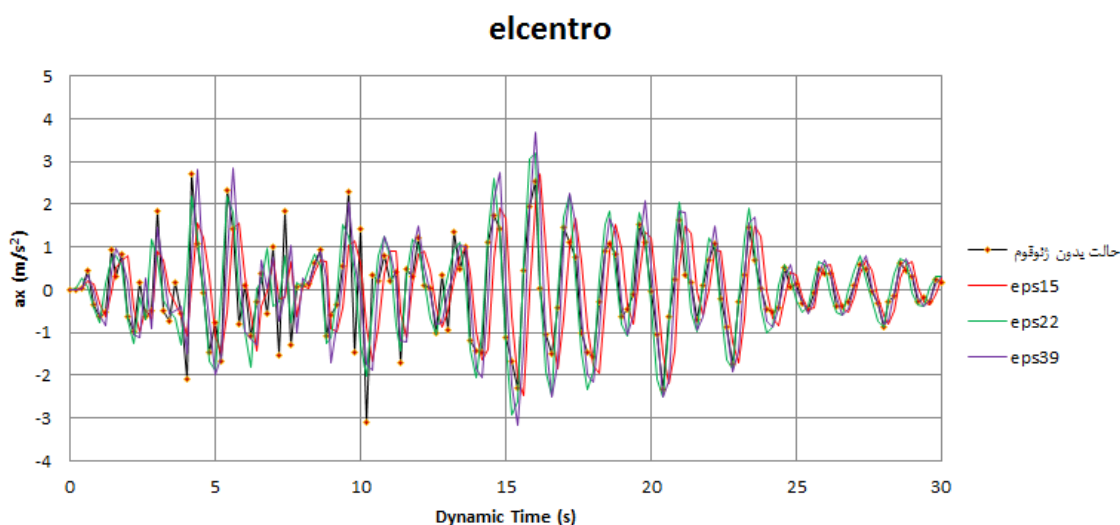
شکل (۴-۳۲). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Northrige، نقطه بالای ساختمان.



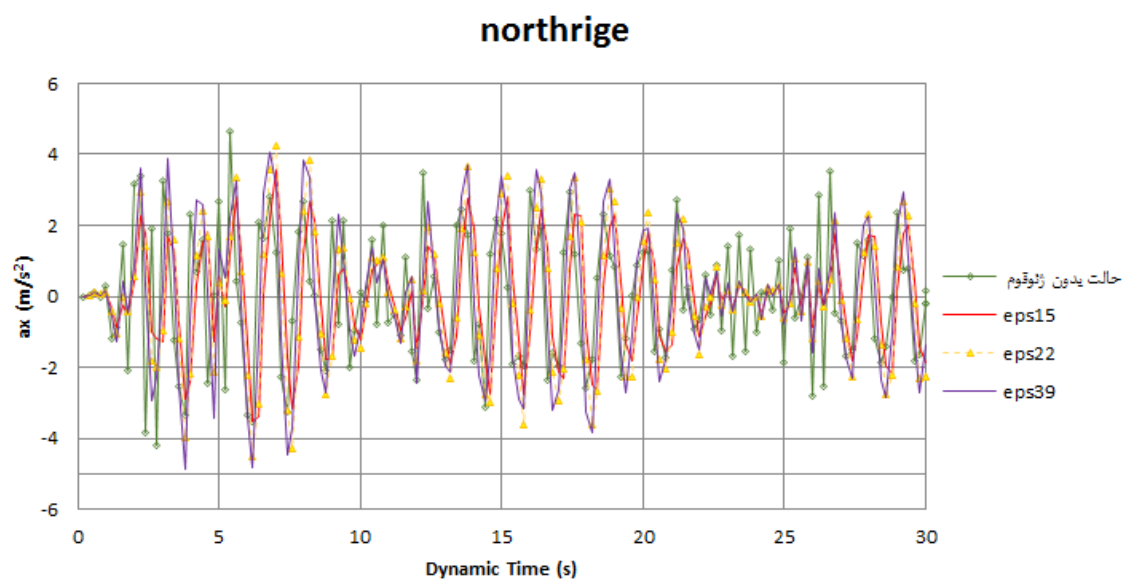
شکل (۴-۳۳). تغییرات جابجایی قائم برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر تحت زلزله Loma Prieta، نقطه بالای ساختمان.

۳-۵-۴- تغییرات شتاب افقی

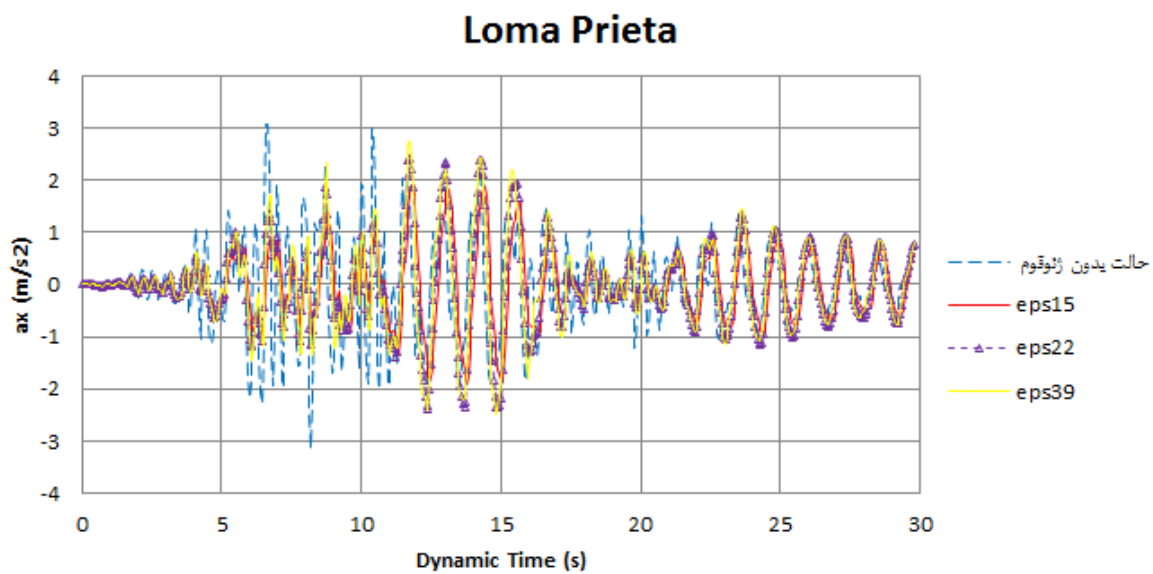
تغییرات نتایج شتاب افقی در برابر زمان دینامیکی در اثر تغییر نوع ژئوفوم تحت زلزله‌های مختلف در نقطه بالای ساختمان در شکل‌های (۴-۳۴) تا (۴-۳۵) آورده شده است. بر اساس نتایج مدلسازی عددی و این شکل‌ها، شتاب افقی برای تمامی حالت‌های اعمال زلزله برای مدل‌هایی که از EPS15 و EPS22 استفاده شده است، کاهش یافته بطوریکه بیشترین کاهش مربوط به مدل‌هایی می‌باشد که ژئوفوم EPS15 در آن استفاده شده است.



شکل (۴-۳۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Elcentro (نقطه بالای ساختمان)



شکل (۳۵-۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Northrige (نقطه بالای ساختمان)



شکل (۳۶-۴). تغییرات شتاب افقی نسبت به زمان برای حالت استفاده از ژئوفوم‌های مختلف با ضخامت ۳ متر، تحت زلزله Loma Prieta (نقطه بالای ساختمان)

فصل پنجم:

جمع بندی و پیشنهادها

۱-۵- مقدمه

در این فصل خلاصه‌ای از یافته‌های تحقیق جاری ارائه و عناوین و موضوعات پیشنهادی برای تحقیقات بیشتر در زمینه مورد بحث در آینده ارائه می‌شود.

۲-۵- جمع بندی نتایج

در این تحقیق به تاثیر ایجاد صفحات فومی در زیر پی بر کاهش نشست‌های لرزه‌ای ساختمان پرداخته شد. بدین منظور پس از مدل‌سازی خاک مورد نظر از سه زلزله متفاوت برای تحلیل دینامیکی استفاده شد و در هر مورد ابتدا سازه بدون استفاده از ژئوفوم مدل‌سازی و تحلیل گردید. سپس از سه نوع ژئوفوم به نام های EPS15, EPS22, EPS39 جهت تحلیل استفاده شده است. در ادامه اثر تغییر پارامترهای وابسته به ژئوفوم نظیر خصوصیات مکانیکی (نوع ژئوفوم) و ضخامت ژئوفوم‌ها بر مدلسازی بررسی شده است. در مدلسازی، ژئوفوم با ضخامت‌های ۴،۳ و ۵ متر مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفته است.

نتایج زیر از این پژوهش استخراج شده است:

۱- جابجایی افقی در پی ساختمان در حالت استفاده از ژئوفوم کاهش یافته و این مقدار کاهش برای ضخامت‌های مختلف ژئوفوم تقریباً یکسان بدست آمده است.

۲- جابجایی قائم در پی ساختمان در حالت استفاده از ژئوفوم کاهش یافته بطوریکه ژئوفوم با ضخامت‌های مختلف کاهش حدود ۱۰۰ درصدی را نشان می‌دهند.

۳- در اثر اعمال زلزله با شتاب کمتر، شتاب افقی در پی ساختمان در حالت استفاده از ژئوفوم کاهش یافته است. ژئوفوم با چگالی کمتر بیشترین کاهش شتاب افقی را نشان می‌دهد.

۴- در هنگام اعمال زلزله با شتاب کمتر، ژئوفوم با چگالی‌های مختلف باعث کاهش جابجایی قائم گردیده ولی در در هنگام زلزله با شتاب بیشتر تغییرات جابجایی از روند خاصی پیروی نمی‌کند.

۵- جابجایی افقی در بالای ساختمان در اثر استفاده از ژئوفوم افزایش یافته و مقدار افزایش در

تمامی ضخامت‌های ژئوفوم مقدار تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند.

۶- جابجایی قائم در بالای ساختمان در اثر استفاده از ژئوفوم افزایش یافته و مقدار آن در

ضخامت‌های مختلف ژئوفوم متغیر می‌باشد.

۷- در زلزله‌های مختلف، شتاب افقی در بالای ساختمان با افزایش ضخامت ژئوفوم کاهش یافته

است.

۸- در زلزله‌های مختلف، ژئوفوم‌ها با چگالی‌های مختلف باعث افزایش جابجایی افقی در بالای

ساختمان شده است.

۹- در زلزله‌های مختلف ژئوفوم باعث کاهش شتاب افقی در بالای ساختمان شده است و ژئوفوم

با چگالی کمتر، بیشترین کاهش شتاب افقی را نشان می‌دهد.

۳-۵- پیشنهادها

۱- بررسی تأثیر خصوصیات لرزه‌ای ژئوفوم‌ها توسط مدل فیزیکی در آزمایشگاه با استفاده از

سانتریفیوژ

۲- بررسی آزمایشگاهی مدول برشی دینامیکی و نسبت میرایی ژئوفوم‌ها

۳- بررسی آزمایشگاهی خصوصیات لرزه‌ای ژئوفوم‌ها با استفاده از آزمایشات میز لرزه

مراجع

- [1] Brian J. A., Townsend M. F. C., Rahelison L., (2007) "Load Testing and Settlement Prediction of Shallow Foundation" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133 (12), pp. 1494-1502.
- [2] Tong L. I., Ronald L. B., (2005) "Nonlinear Parameters for Granular Base Materials from Plate Tests" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131(7), pp. 907-913.
- [3] Lin P. S., Yang L. W., Juang C. H., (1998) "Subgrade reaction and load-settlement characteristics of gravelly cobble deposits by plate-load tests" Canadian geotechnical journal, 35(5), pp. 801-810.
- [4] بیاتی ه.، (۱۳۹۳) "ارائه مختصر برخی از روش‌های بهسازی خاک" خبرنامه نظام مهندسی استان فارس، دوره ششم، سال بیست و سوم، ویژه نامه آبان و آذر ماه، ص ۵۶-۶۱.
- [5] حق شناس ا.، (۱۳۹۲) "بررسی تأثیر استفاده از مخلوط شیشه خردشده- خاک ماسه‌ای تثبیت شده با سیمان در زیر پی با نرم افزار PLAXIS" نشریه فنی تخصصی سازمان نظام مهندسی ساختمان استان اصفهان، سال بیست و دوم، دوره سوم، شماره ۲۲۱-۲۲۲، ص ۶۸-۷۳.
- [6] شه کلاهی ا.، (۱۳۹۰) "معرفی و تاریخچه محصولات ژئوسینتتیک" مجله ژئوسینتتیک، شماره ۱، ص ۱۶-۱۱.
- [7] بای بوردی م.، (۱۳۸۸) "اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- [8] وبسایت شرکت مهندسی و تولیدی پایه ایمن پارس (اپکو)، "<http://www.epco-panel.com/fa/>".
- [9] انصاری ح.، (۱۳۹۳) "خواص پلی‌استایرن" وبسایت راسخون، "<http://rasekhoon.net>".
- [10] Ravve A., (2000) "Principles of Polymer Chemistry" Kluwer academic, plenum publishers, New York.
- [11] ASTM C 578-06., (2006) "Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Thermal Insulation" American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [12] Miki G., (1996) "EPS Construction Method in Japan" Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo, Japan, pp. 1-7.
- [13] Elragi A., Negussey D., and Kyanka G., (2000) "Sample Size Effect on the Behavior of EPS Geofoam" Proceedings of the soft ground technology conference, The Netherlands.
- [14] مستوفی نژاد د.، (۱۳۸۵) "سازه های بتن آرمه" انتشارات ارکان دانش، اصفهان.
- [15] Ahmed Awol T., (2012) PhD thesis, "A Parametric Study of Creep on EPS Geofoam Embankments" Department of Civil and Transport Engineering .Norwegian University of Science and Technology.
- [16] NCHRP Project HR 24-11 report 529., (2004) "Guidelines for Geofoam Applications in Embankment Projects" Transportation research board (TRB), USA, pp 1- 70.
- [17] Yamanaka H., Onuki T., Katsurada H., Kitada I., Kashima K., Takamoto A., and Maruoka M., (1996) "Use of Vertical Wall-Type EPS Elevated Filling (H=15m) for Bridge Abutment Backfill" Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo, Japan, pp. 223-233.

- [18] Negussey D., and Sun M., (1996) "Reducing Lateral Pressure by Geofoam (EPS) Substitution" Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo, Japan, pp. 201-211.
- [19] GeoTech., (1999a) "GeoTech Terralite" GeoTech System Corporation, VA, USA.
- [20] Duskov M., Houben L. J. M., and Scarpas A., (1998) "Response Investigation and Design Guidelines for Asphalt Pavements with an EPS Geofoam Sub-base" Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, USA, pp.993-998.
- [21] Ooe Y., Yasuaki M., Tada S., and Nishikawa J., (1996) "Earth Pressure Reduction for Culverts Using EPS" Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo, Japan, pp. 214-221.
- [22] Sanders R. L., (1996) "United Kingdom Design and Construction Experience with EPS" Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo, Japan, pp. 235-246.
- [23] Momoi T., and Kokusyo T., (1996) "Evaluation of Bearing Properties of EPS Subgrade" Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo, Japan, pp. 93-103.
- [24] Eriksson L., and Trank R., (1991) "Properties of Expanded Polystyrene, Laboratory Experiments" Swedish Geotechnical Institute, Sweden.
- [25] Gnip I. J., Kersulis V. I., and Vaitkus S. I., (2005) "Predicting the deformability of Expanded polystyrene in long term compression" Mechanics of Composite Materials, Vol. 41, No. 5.
- [26] Sun M., (1997) Master's Thesis, "Engineering Behavior of Geofoam (Expanded Polystyrene) and Lateral Pressure Reduction in Substructures", Syracuse University, Syracuse, NY, USA.
- [27] Norwegian public road administration., (2002) "Publication no.100: Light-weight filling materials for road construction" Oslo, pp.11-25.
- [28] Sheeley M., (2000) Master's Thesis, "Slope Stabilization Utilizing Geofoam" Syracuse University, Syracuse, NY, USA.
- [29] ASTM D 6817-06., (2006) "Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam" American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [30] Expanded Polystyrene (EPS), Geofoam Applications, & Technical Data, The EPS Industry Alliance, www.epsmolders.org.
- [31] McGown A., Andrawes K.J., (1987) "Influence of wall yielding on lateral stresses in unreinforced and reinforced fills" Research Report 113, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK.
- [32] McGown A., Andrawes K.Z., Murray R.T., (1988) "Controlled yielding of the lateral boundaries of soil retaining structures" Proceedings of the ASCE Symposium on Geosynthetics for Soil Improvement, Nashville, TN, USA, pp. 193-211.
- [33] Reeves J.N., Filz G.M., (2000) "Earth force reduction by a synthetic compressible inclusion." Report of Research Conducted under the Sponsorship of GeoTech Systems Corporation and Virginia's Center for Innovative Technology, Virginia Tech., Department of Civil Engineering, Blacksburg.
- [34] Partos A.M., Kazaniwsky P.M., (1987) "Geoboard reduces lateral earth pressures." In: Proceedings of Geosynthetics '87, New Orleans, Industrial Fabrics Association International, pp. 628-639.

- [35] Hoppe J.E., (2005) "Field study of integral backwall with elastic inclusion." Virginia Transportation Research Council in cooperation with the US Department of Transportation Federal Highway Administration.
- [36] Hoppe J.E., (2006) "Field measurements on skewed semi-integral bridge with elastic inclusion: instrumentation report" Virginia Transportation Research Council in cooperation with the US Department of Transportation Federal Highway Administration.
- [37] Ikizler S.B., Aytekin M., Nas E., (2008) "Laboratory study of expanded polystyrene (EPS) geofoam used with expansive soils" *Geotextiles and Geomembranes* 26 (2), pp. 189–195.
- [38] Inglis D., Macleod G., Naesgaard E., Zergoun M., (1996) "Basement wall with seismic earth pressures and novel expanded polystyrene foam buffer layer" *Proceedings of 10th Annual Symposium of the Vancouver Geotechnical Society*, Vancouver, BC, Canada.
- [39] Hazarika H., Okuzono S., Matsuo Y., (2003) "Seismic stability enhancement of rigid nonyielding structures" *Proceedings of the 13th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Honolulu, HI, USA, pp. 1244–1249.
- [40] Zarnani S., Bathurst R.J., (2005) "Numerical investigation of geofoam seismic buffers using FLAC" *Proceedings of the North American Geosynthetics Society (NAGS)/GRI19 Conference*, Las Vegas, Nevada.
- [41] Bathurst R.J., Zarnani S., Gaskin A., (2007) "Shaking table testing of geofoam seismic buffers" *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 27 (4), pp. 324–332.
- [42] Zarnani S., Bathurst R.J., (2007) "Experimental investigation of EPS geofoam seismic buffers using shaking table tests" *Geosynthetics International* 14 (3), pp. 165–177.
- [43] Karpurapu R., Bathurst R.J., (1992) "Numerical investigation of controlled yielding of soil-retaining wall structures" *Geotextiles and Geomembranes* 11, pp. 115–131.
- [44] Athanasopoulos G. A., Pelekis P. C., & Xenaki V. C., (1999) "Dynamic properties of EPS geofoam: an experimental investigation" *Geosynthetics International*, 6(3), pp. 171-194.
- [45] Zarnani S, Bathurst J., (2008) "Numerical modeling of EPS seismic buffer shaking table tests. *Geotextiles and Geomembranes*";26:371–83.
- [46] Athanasopoulos-Zekkos A., Lamote K., & Athanasopoulos G. A., (2012) "Use of EPS geofoam compressible inclusions for reducing the earthquake effects on yielding earth retaining structures" *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 41, pp. 59-71.
- [47] Przemieniencki J.S., (1968) "Theory of Matrix Structural Analysis" McGraw-Hill, New York.
- [48] Zienkiewicz O.C. and Cheung Y.K., (1967) "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics" McGraw-Hill, London.
- [49] Brinkgreve R., Engin E. & Swolfs W., (2002) "PLAXIS 2D version8 – Dynamic Manual" Delft, Netherlands.
- [50] Das B. M., (1995) "Fundamentals of Soil Dynamics" Elsevier, New York, Amsterdam, Oxford.
- [51] Ground Motion Database , from the World Wide Web: ngawest2.berkeley.edu.

[۵۲] سرمد نهري ا.، کادران م.، (۱۳۹۱) "اصول و مبانی گودبرداری و سازه های نگهدارنده" سیمای دانش، تهران.

[53] Ibrahim K. M. H. I., & Ibrahim T. E., (2013) “Effect of historical earthquakes on pre-stressed anchor tie back diaphragm wall and on near-by building” HBRC Journal, 9(1), pp. 60-67.

Abstract:

The main criteria in the design of foundation engineering foundation, set and control is the ultimate bearing capacity and soil subsidence. In other words, the foundation must be able to safely exploit the load transfer into the soil, so the soil is not only not failed but the settlement is not exceeded. To achieve this, Several different methods of mechanical processes such as compression, consolidation and chemical processes such as correction, consolidation or reinforcement elements to strengthen Soil is used. The study of materials based on polystyrene with property reducing stresses due to vertical loads and reduce the burden of the lower layers of soil horizontal walls as insulation and vibration damper is used to reduce soil seismic settlement. Therefore, after the introduction of the walls of the foam to the walls around seeking behavior modeling using PLAXIS software under various seismic loading and the effect this has on various walls is studied. In what follows, the results will be evaluated with a model without foam wall. The results of this analysis show that the physical characteristics of different geofoam can have a significant impact in reducing the seismic settlement.

Key words: Geo-foam, vibration isolation, seismic settlement, PLAXIS



University of Shahrood

Faculty Kharazmi

**The effect of installation foam blocks under the foundation on
mitigation of seismic settlement of structure**

Mohammad Reza Refaei

Supervisors:

Dr. Amir Bazrafshan Moghadam

Date: April 2016