

بررسی پاسخ لحظه ای قابهای خمشی فولادی کوتاه روی خاک های نرم وسخت

ایمان نوریان^۱، مهدی کماسی^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران

^۲ عضو هیئت علمی، گروه عمران، واحد بروجرد، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی، بروجرد، ایران

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

مهدی کماسی

چکیده

با گسترش تکنولوژی و شهر نشینی، پروژه های گسترده و وسیعی طراحی و اجرا میشوند که بعضی از این پروژه ها باید در شرایط نامطلوب ژئوتکنیکی اجرا شود. در هنگام وقوع زلزله در چنین شرایطی، اثرات متقابل خاک-سازه حائز اهمیت میباشد و رفتار سازه ها را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار میدهد. در این تحقیق از مدل کرنش مسطح استفاده خواهد شد استفاده می شود. و برای مشخصات مصالح از روش اجزاء محدود و نرم افزار تحلیل عددی پلکسیس استفاده شده است. همچنین در این تحقیق از ابزار Plate برای ترسیم ستون ها و تیر های ساختمان مورد نظر استفاده می شود. مدل مورد مطالعه در تحقیق حاضر شامل سه قاب ۳، ۴ و ۵ دهانه در دو ساختمان ۳ و ۴ طبقه می باشد. عرض دهانه ها برای تمامی قابها ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و ارتفاع زیرزمین ۲ متر در نظر گرفته شده است. طول قاب خمشی در قاب سه دهانه ۱۲ متر، چهار دهانه ۱۶ متر و پنج دهانه ۲۰ متر می باشد. براساس نتایج بدست آمده توصیه می شود ساختمان فولادی کوتاه مرتبه ی مورد نظر هنگامی که تحت یک زلزله ی حوزه نزدیک و بصورت ۳ طبقه طراحی می شود بر روی خاک نوع سخت قرار بگیرد و همچنین تا حد امکان از تعداد دهانه ی کمتر که در این تحقیق ۳ دهانه است استفاده گردد. و همچنین توصیه می شود هنگام طراحی ساختمان کوتاه مرتبه ی فولادی ۴ طبقه از تعداد دهانه ی بیشتر استفاده و در خاک سخت طراحی شود.

واژگان کلیدی: قابهای خمشی فولادی، خاک های نرم وسخت، تحلیل لرزه ای

مقدمه

با گسترش تکنولوژی و شهرنشینی، پروژه‌های گسترده و وسیعی طراحی و اجرا میشوند که بعضی از این پروژه‌ها باید در شرایط نامطلوب ژئوتکنیکی اجرا شود. در هنگام وقوع زلزله در چنین شرایطی، اثرات متقابل خاک-سازه حائز اهمیت میباشد و رفتار سازه‌ها را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار میدهد. این امر باعث گردیده است که این موضوع از چهار دهه ی اخیر مورد توجه محققین زیادی قرار گیرد. در حالت کلی سازه با خاک اطراف خود در حال برهم کنش است. در سازه‌های متکی بر زمین سخت، حرکت پایه سازه در اثر زلزله، برابر همان حرکت میدان آزاد زمین میباشد. برای سازه‌های متکی بر خاک نرم، حرکت پی معمولاً با حرکت میدان آزاد اختلاف دارد. این اختلاف ممکن است شامل یک مؤلفه حرکت گهوارهای، بعلاوه یک مؤلفه جانبی یا انتقالی نسبت به زمین باشد. یک سازه با تکیه‌گاه انعطاف پذیر، با یک سازه با تکیه‌گاه صلب، از این لحاظ نیز اختلاف دارد که ممکن است بخش مهمی از انرژی ارتعاشی بوسیله تشعشع امواج و نیز بوسیله رفتار هیستریزس خاک در تکیه‌گاه انعطاف پذیر مستهلک شود. اثر اندرکنش خاک-سازه اختلافات پاسخ سازه را در حالتی که این پاسخ با فرض برابر بودن حرکت پی سازه با حرکت میدان آزاد زمین محاسبه شده است، نسبت به پاسخ سازه با در نظرگیری حرکت اصلاح شده یا واقعی پی نشان میدهد و این اختلافات به مشخصه حرکت میدان آزاد زمین بعلاوه ویژگیهای سازه و تکیه‌گاه انعطاف پذیر (خاک مجاور و زیر پی) بستگی دارد. اثرات اندرکنش خاک-سازه میتواند عکس العمل سازه را افزایش و یا کاهش دهد که این امر به مشخصه‌ها و خواص سازه و خاک و حرکت زمین مورد نظر بستگی دارد. بنابراین اثرات اندرکنش خاک-سازه ممکن است طرح لرزه‌ای سازه را از حاشیه اطمینان خارج و یا غیر اقتصادی نماید (شکیب، ۱۳۹۰).

محدوده بسیار وسیعی از ساختمان‌های کوتاه، متوسط و بلند با سیستم قاب خمشی طراحی می‌شوند. نکته حائز اهمیت در این میان این است که یکسان نبودن ارتفاع سازه ممکن است بر رویه طراحی اثرگذار باشد. بنابراین بررسی این مساله که پاسخ لرزه‌ای قاب خمشی کوتاه مرتبه بر روی خاکهای نرم و سخت چه تأثیری بر روی این قاب‌ها در هنگام وقوع زلزله می‌گذارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با افزایش ثبت زلزله‌ها و ارتقاء دانش بشر درباره این پدیده، تفسیر نحوه رفتار سازه‌ها در زمان زلزله و راهکارهای افزایش ایمنی در مقابل این پدیده نیز به روز می‌شوند. در این راستا، تعریف مشخصی از ایمنی، عملکرد و خطر زلزله باعث ایجاد زبان مشترک بین محققان و مهندسان و امکان بکارگیری این تعاریف در محاسبات سازه‌های جدید و کنترل سازه‌های موجود می‌گردد. با توجه به مطالب بیان شده اهداف این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- تحلیل لرزه‌ای یک نوع قاب خمشی فولادی کوتاه ۳ طبقه با تعداد ۳، ۴ و ۵ دهانه ی ۴ متری بر روی خاک نرم تحت دو زلزله حوزه دور و نزدیک
- تحلیل لرزه‌ای یک نوع قاب خمشی فولادی کوتاه ۳ طبقه با تعداد ۳، ۴ و ۵ دهانه ی ۴ متری بر روی خاک سخت تحت دو زلزله حوزه دور و نزدیک
- تحلیل لرزه‌ای یک نوع قاب خمشی فولادی کوتاه ۴ طبقه با تعداد ۳، ۴ و ۵ دهانه ی ۴ متری بر روی خاک نرم تحت دو زلزله حوزه دور و نزدیک
- تحلیل لرزه‌ای یک نوع قاب خمشی فولادی کوتاه ۴ طبقه با تعداد ۳، ۴ و ۵ دهانه ی ۴ متری بر روی خاک سخت تحت دو زلزله حوزه دور و نزدیک
- مقایسه و بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل قاب خمشی کوتاه مرتبه بر روی خاک‌های نرم و سخت

ادبیات تحقیق

اندرکنش خاک و سازه در قابهای خمشی فولادی

مسئله اندرکنش خاک و سازه به‌عنوان یک پدیده‌ی تأثیرگذار بر رفتار سازه‌ها در چند دهه‌ی گذشته مورد توجه مهندسان سازه قرار گرفته است. امروزه محققان دریافته‌اند که بررسی اثر خاک روی رفتار فونداسیون به حدی است که لحاظ نکردن آن از نگاه مهندسی با حاشیه ایمنی پایین در طراحی فونداسیون‌ها همراه خواهد بود. براساس مبحث هفتم از سری مقررات ملی ساختمان در مواردی که سختی سازه قابل ملاحظه است برای تعیین چگونگی توزیع بارها ممکن است به تحلیل اندرکنش سازه و خاک نیاز باشد. براساس همین

مبحث در مواردی که سازه به نشست های ایجاد شده در پی حساس باشد ممکن است تحلیل بر هم کنش بین سازه و خاک ضروری گردد. از طرفی محاسبه نشست های غیر یکنواخت بدون منظور کردن سختی سازه ممکن است به پیش بینی مقادیر غیر واقعی بینجامد. برای تعیین مقادیر واقعی تر باید اندرکنش سازه و خاک در تحلیل ها منظور شود. در این مبحث همچنین به این نکته اشاره شده است که در صورتی که نشست های غیر یکنواخت بیش از پنجاه درصد نشست کل مجاز باشد نمی توان از آن چشم پوشی نمود.

با افزایش ثبت زلزله ها و ارتقاء دانش بشر درباره این پدیده، تفسیر نحوه رفتار سازه ها در زمان زلزله و راهکارهای افزایش ایمنی در مقابل این پدیده نیز به روز می شوند. در این راستا، تعریف مشخصی از ایمنی، عملکرد و خطر زلزله باعث ایجاد زمان مشترک بین محققان و مهندسان و امکان بکارگیری این تعاریف در محاسبات سازه های جدید و کنترل سازه های موجود می گردد. توسعه روشهای طراحی بر اساس عملکرد مبتنی بر این بینش جدید می باشد. با توسعه مفاهیم طراحی لرزه ای، ابزار محاسباتی نیز توسعه یافته است. در این میان، روشهای تحلیل دینامیکی غیرخطی با توجه به سادگی، سرعت انجام و سادگی تفسیر نتایج مورد اقبال مهندسان واقع شده اند. در این روش دو مفهوم نیاز لرزه ای و ظرفیت سازه، با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت حداکثر تغییر مکان انتهایی سازه موجود بر اثر زلزله مفروض با استفاده از نگاهت آن زلزله تعیین میشود. قاب های خمشی فولادی برای عملکرد لرزه ای خود بسیار مورد توجه هستند. این قاب ها، شکل پذیری قابل توجهی را در تحقیقات نشان میدهند و در زلزله های گذشته به خوبی رفتار کرده اند. پیکربندی قاب خمشی، فاکتور مهمی در قابلیت عملکرد آن است. چون قابهای خمشی تمایل دارند تا نسبتاً منعطف باشند، می توانند دریافت های بین طبقه ی بزرگی را هنگامی که در معرضی لرزش قوی زمین قرار دارند، ایجاد کنند. اگر دریافت های بین طبقه ای بسیار بزرگ شوند، می تواند در قاب ناپایداری P-دلتا ایجاد شود و فرو ریزد.

رفتار سازه ها از دید لرزه ای و ژئوتکنیکی

یکی از مسایل مهم در تحلیل و طراحی سازه ها سختی سازه و همچنین سفتی یا میزان متراکم بودن خاک زیر سازه است. سازه های کوتاه عمدتاً سختی بیشتری دارند و بنابر رابطه ۱-۱ با افزایش سختی سازه زمان تناوب کاهش می یابد.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{رابطه ۱-۱}$$

در این رابطه T ، زمان تناوب سازه بر حسب ثانیه را جرم سازه و K سختی سازه می باشد. لذا چنانچه سازه ای کوتاه در کنار سازه ای بلند در مقام مقایسه قرار گیرد طبیعتاً زمان تناوب سازه کوتاه به دلیل سختی بیشتر در مقایسه با سازه بلند کمتر خواهد بود و در نهایت این موضوع تغییر مکان سازه کوتاه را در بر دارد ولی در سازه های بلند به دلیل زمان تناوب بیشتر طبیعتاً تغییر مکان ها نیز افزایش می یابند لذا بایستی سازه را سخت تر کنیم تا تغییر مکان ها کاهش یابند. به عنوان یک جمع بندی از این بحث می توان اظهار نمود که هرچه سازه کوتاهتر است دارای صلبیت بیشتر بوده و هر چه بلند تر است دارای انعطاف پذیری بیشتری است. حال اگر خاک زیر سازه را نیز در این مجموعه به عنوان یک پارامتر تاثیر گذار در نظر بگیریم که می تواند یکی از انواع متراکم یا ست باشد اثر آن بر سازه منجر به ایجاد تغییرات در زمان تناوب سازه، نظروهای داخلی و تغییر مکان ها اعضای سازه خواهد شد. پس اثر سازه بر خاک زیر آن و اثر خاک بر سازه قرار گرفته روی آن وابسته به سختی و میرایی (قابلیت جذب و استهلاک انرژی) سازه و خاک است. لذا اثر این دو به صورت اندرکنشی می باشد. در این خصوص مبحث ششم مقررات ملی ساختمان با سخت گیری بیشتری شرایط خاصی را در تحلیل سازه های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد واقع بر روی زمین نوع IV (براساس تقسیم بندی آیین نامه ۲۸۰۰) در متن خود آورده است. به عنوان یک جمع بندی پیشنهاد می شود که در همه حالات اندرکنش خاک و سازه به منظور بررسی و ارزیابی واقعی تر رفتار سازه در هنگام زمین لرزه لحاظ شود. (به این دلیل است که شاید بنا بر تعریف مبحث هفتم از مقررات ملی ساختمان پی به مجموعه بخش هایی از سازه و خاک در تماس با آن اطلاق می شود).

پیشینه تحقیق

قابهای فولادی خمشی در زمین لرزه های گذشته آسیب های عمده ای متحمل گشته اند، لذا درک و پیش بینی رفتار لرزه ای آنها مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. پارامترهای متعددی همچون ارتفاع قابهای خمشی، نوع خاک زیر پی و اندرکنش خاک و سازه در تحلیل لرزه ای قابهای فولادی خمشی تأثیرگذار می باشند. در این فصل به بررسی مطالعات محققین پیشین در زمینه

معرفی و مشکلات تاثیر امواج زلزله بر روی قابهای خمشی فولادی کوتاه مرتبه و همچنین مطالعاتی که در چند دهه ی گذشته بر روی اندرکنش خاک و این نوع سازه ها انجام شده است پرداخته می شود:

طباطبایی فر و معصومی (۲۰۱۰) طی کار مطالعاتی خود ضریبی را معرفی کردند که با اعمال آن به حداکثر جابجایی های جانبی الاستیک سازه ی پایه ثابت بتوان جابجایی جانبی حداکثر سیستم اندرکنشی خاک و سازه ی معادل را تعیین کرد. گاناینی و نگر^۱ (۲۰۰۹) عملکرد لرزه ای ساختمان های دارای قاب خمشی فولادی را که دارای چندطبقه زیرزمین می باشند، مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اندرکنش خاک - سازه می تواند بطور عمده ای عملکرد ساختمان ها را تحت تاثیر قرار دهد، که این اثرات عموماً برش طبقات، همان طبقات و تغییر شکل های اجزای سازه ای را تغییر می دهد. کیم و روسست^۲ (۲۰۰۴) تأثیر رفتار غیرخطی خاک را روی پاسخ های الاستیک سازه های یک درجه آزادی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در نظرگیری رفتار غیرخطی خاک بر پاسخ سازه ها اهمیت دارد و همچنین اندرکنش سازه و خاک برای سازه های انعطاف پذیر واقع روی خاک های سخت قابل چشم پوشی است ولی برای سازه های سخت واقع روی خاک های نرم اهمیت دارد. استوارت و همکاران^۳ (۲۰۰۳) نشان دادند که اندرکنش خاک و سازه برای سازه های سخت مانند ساختمان هایی با دیوار برشی و یا مهاربندی (با لاغری کم)، واقع روی خاک نرم بسیار مهم است.

در تحلیل های روزمره فرض ساده کننده بر آن است که اتصال سازه به زمین و رفتار زمین صلب است، این فرض به عنوان فرضی ساده کننده در بسیاری از آیین نامه ها نیز پذیرفته شده است که این فرض همواره صحیح نمی باشد. در تحقیقاتی که توسط گلته و همکاران (۱۳۹۱) ارائه گشته میتوان به وضوح مشاهده کرد سازه ای که دارای وزن بیشتر بوده بیش از سازه سبکتر برش پایه اش تغییر کرده است، میتوان گفت در سازه ای که در یک فرکانس مساوی سنگینتر است اثر اندرکنش خاک و سازه بیشتر است و میتوان به این نتیجه نیز رسید که برخلاف فرض رایج مبنی بر اینکه صرف نظر از اندرکنش خاک سازه که فرض دست بالاست این فرض در برخی سازه ها تحت برخی از بارگذاریهای لرزه ای میتواند فرضی دست پایین باشد، این اثر در سازه های سنگینتر و سختتر با لرزه هایی که دامنه فرکانسی گستردهای را پوشش میدهند بیشتر به چشم میخورد که میبایست برای هر سازه در هر بارگذاری جداگانه اثر این فرض را میبایست مورد ارزیابی قرار داد. در تحقیق صمدیان (۱۳۸۳) اشاره میشود که در تحلیل دینامیکی سازه ها عموماً فرض میشود که خاک زیر شالوده صلب است و از انعطاف پذیری آن صرف نظر میشود. در این حالت پاسخ سازه متأثر از خواص دینامیکی سازه است و انعطاف پذیری خاک، تأثیری در پاسخ سازه ندارد. همچنین لحاظ کردن انعطاف پذیری خاک زیر شالوده در پاسخ دینامیکی سازه ها تأثیر داشته و این تأثیر، متأثر از نوع خاک و زمان تناوب سازه است. در تحقیقات ارائه شده توسط گتمیری (۱۳۸۳) بیان میشود که محیط خاکی زیرین سازه ها و پدیده اندرکنش خاک و سازه، در هنگام وقوع زلزله، نیروهای لرزه ای وارد به سازه را افزایش داده بطوری که این افزایش، در موارد زیادی به خرابی و فروریزش سازه ها منجر شده است، نتایج نشان میدهد که رفتار غیرخطی خاک زیرین سازه ها، به ویژه برای ساختمانهای بلند قرار گرفته بر خاک نرم، میتواند پاسخ دینامیکی سازه ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

شرایط محلی سازه های در حال احداث، تاثیر قابل توجهی در توزیع خرابی ناشی از زلزله دارند. زلزله های اخیراز قبیل کوبه (۱۹۹۵)، نورث ریج (۱۹۹۴) و لوما پریتا (۱۹۸۹)، نقش شرایط محلی را در تغییر مشخصه های داده های لرزش های قوی نشان می دهند. شرایط محلی بر پاسخ لرزه ای سازه ها توسط تشدید و استهلاک خاک که طی آن حرکات سنگ بستر در حین انتقال خاک اصلاح می گردند، تاثیر می گذارد. شرایط محلی ممکن است تشدید ها و حرکات فضایی قابل توجهی ناشی از حرکت لرزه ای زمین ایجاد نمایند و همچنین باعث خرابی های قابل ملاحظه ای در ناحیه ای مشابه گردند (سانچز سسما^۴، ۱۹۸۷). از طرف دیگر، اندرکنش خاک و سازه (SSI) می تواند باعث تغییر حرکت آزاد زمین در تراز شالوده و پاسخ دینامیکی سازه گردند (ولتسوس و همکاران^۵، ۱۹۸۹). تشدید زیاد حرکت زمین و خرابی شدید ساختمان ها در زلزله سال ۱۹۸۹ لوما پریتا نشان می دهد که پیکره بندی، ضخامت و ترکیب مصالح طبیعی دارای اثر قابل ملاحظه ای بر روی لرزش می باشند (بونیللا^۶، ۱۹۹۱).

¹ Ganainy and Naggar

² Kim & Rosset

³ Stewart et al.

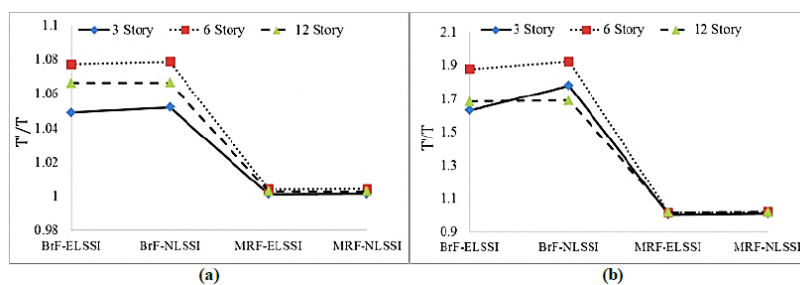
⁴ Sanchez-sesma

⁵ Veletsos et al.

⁶ Bonilla

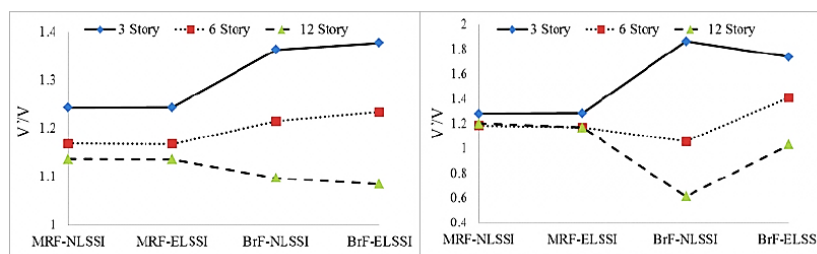
در زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه، حرکات زمین حدود ۲ - ۱.۵ برابر در نواحی تخریب شده دارای لایه های عمیق رسوبی تشدید شده بودند، در حالی که در نواحی سالم مانده، روانگرایی وسیعی رخ داد و شتاب های اوج اندازه گیری شده مشابه با مقادیر موجود در سنگ بود. این موضوع به دلیل اثر جداسازی (ایزوله ای) خاک روان شده بود. می توان این طور نتیجه گرفت که اثرات محلی از جمله مواردی که باعث روانگرایی خاک می شوند، مسئول کاهش خرابی سازه ها مخصوصا سازه های نزدیک به خطوط ساحلی هستند (توکیماتسو و کاکوری^۷، ۱۹۹۶). این موضوع نشان می دهد که وجود یک لایه قابل روانگرایی محبوس بین لایه متراکم خاک می تواند به عنوان روش احتمالی بازسازی کننده در برابر چنین تشدید های تلقی گردد (قاش^۸، ۲۰۰۳).

در تحقیقی که تحقیقی و اربابی (۱۳۹۴) انجام دادند، ساختمانهای با تعداد طبقات مختلف شامل قاب خمشی فولادی و قاب مهاربندی شده واقع بر پی سطحی، تحت تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی قرار گرفته اند. اندرکنش خاک سازه به روش فنر میراگر معادل مدل سازی شده است. شتاب نگاشت های مورد استفاده، بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ مقیاس شده و اثر اندرکنش سینماتیکی لحاظ شده است. مدل سازی مسئله SSI به روش تیر وینکلر و در نرم افزار OpenSees صورت گرفت. نتایج به دست آمده ناشی از احتساب پدیده SSI، افزایش زمان تناوب، برش پایه و جابه جایی مطلق طبقات در اکثر مدل ها است که می تواند باعث افزایش تقاضای نیرو گردد. افزایش دررفت درون طبقه در ساختمان های مهاربندی نیز از اثرات زیان بار SSI می باشد، که می تواند موجب خسارت های جبران ناپذیری بر ساختمان گردد. اثرات فوق الذکر به مشخصات خاک محلی بسیار وابسته است و بر لزوم تعیین واقع بینانه تر مشخصات خاک زیرین و دخالت انعطاف پذیری پی در تحلیل و طراحی تأکید می کند. شکل (۱) نشان می دهد که اثر SSI بر افزایش زمان تناوب ساختمان شش طبقه نسبت به دو ساختمان دیگر و خاک نرم تپ IV نسبت به خاک سخت تر، افزایش می یابد. همچنین در هر سه ارتفاع، زمان تناوب قاب مهاربندی شده نسبت به قاب خمشی بیشتر افزایش می یابد.



شکل (۱) نسبت افزایش زمان تناوب مدل ها واقع بر (a) خاک تیب I و (b) خاک تیب IV

پدیده SSI باعث افزایش برش پایه در تمام مدل های ساختمان سه و شش طبقه گردیده است. اما با افزایش ارتفاع ساختمان، این نسبت کاهش می یابد. در دو ساختمان سه و شش طبقه، اثرپذیری ساختمان مهاربندی شده نسبت به قاب خمشی بیشتر می باشد. این موضوع نشان می دهد که با افزایش سختی ساختمان نسبت به خاک، اثرپذیری از SSI افزایش می یابد. افزایش برش پایه تحت تأثیر SSI، ممکن است نیروهای طراحی باربر را افزایش دهد. این موضوع در شکل (۲) قابل مشاهده است.

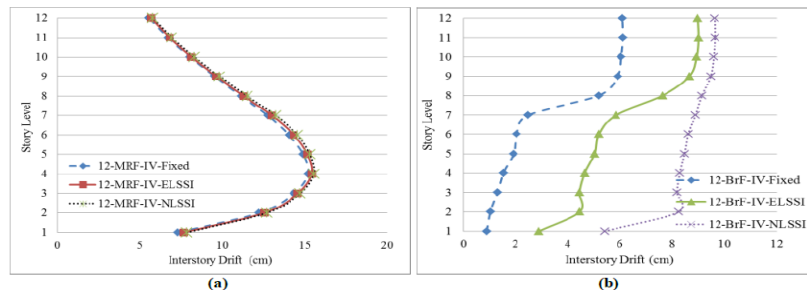


شکل (۲) نسبت میانگین حداکثر برشی پایه با در نظر گرفتن SSI به برشی پایه حالت پایه - ثابت مدل ها

⁷ Tokimatsu & Kakurai

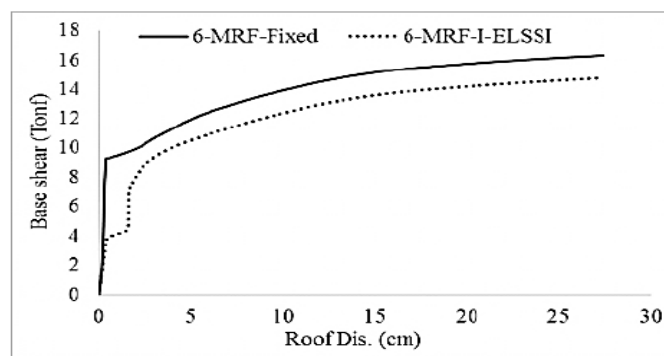
⁸ Ghosh

همانطور که از شکل (۳) مشخص است دریافت طبقات ساختمان مهاربندی شده نسبت به قاب خمشی افزایش بیشتری داشته است. افزایش جابه جایی نسبی طبقات مهاربندی شده تحت تأثیر SSI، یکی از اثرات زیان آور این مسئله می باشد و می تواند بر سطح عملکرد ساختمان تاثیر بسزایی داشته باشد. در ساختمان قاب خمشی دریافت طبقات پایین و بالا تغییر کمتری نسبت به طبقات میانی دارد.



شکل (۳) میانگین حداکثر جابه جایی نسبی بین طبقات ساختمان دوازده طبقه (a) قاب خمشی و (b) قاب مهاربندی شده

در شکل (۴) نمودار پوش اور، یعنی جابه جایی بام در برابر تغییر برش پایه ساختمان را نشان می دهد. این شکل به طور نمونه برای ساختمان شش طبقه قاب خمشی به نمایش گذاشته شده است. در شکل فوق می توان ملاحظه نمود که در حضور اندرکنش خاک سازه، نیروی لازم جهت تسلیم سیستم کاهش یافته است. علت این کاهش ظرفیت، نرم تر شدن سیستم به علت دخالت یافتن خاک در سیستم می باشد. سختی عمومی سیستم در ابتدای منحنی نیز تغییر محسوسی را تجربه می کند، که در حالت پایه گیردار قابل پیش بینی نبوده است (تحقیق و ارزیابی، ۱۳۹۴)



شکل (۴) نمودار پوش اور ساختمان شش طبقه قاب خمشی بر روی خاک تپ I

محدوده بسیار وسیعی از ساختمان های کوتاه، متوسط و بلند با سیستم قاب خمشی طراحی می شوند. نکته حائز اهمیت در این میان این است که یکسان نبودن ارتفاع سازه ممکن است بر رویه طراحی اثرگذار باشد. بنابراین بررسی این مساله که تغییر ارتفاع سازه چگونه می تواند پارامتر ضریب ارتفاع را تحت تاثیر قرار دهد، دارای اهمیت است. بدین ترتیب طراحان قادر خواهند بود با نگرشی واقع بینانه تر نسبت به طراحی سازه های با تراز ارتفاعی متفاوت تصمیم بگیرند. بر این اساس در مقاله ای به منظور بررسی رفتار غیرخطی قاب های فولادی خمشی متوسط با استفاده از نرم افزار SAP2000، چهار قاب فولادی سه، شش، نه و دوازده طبقه بر اساس ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ طراحی و تحت بارگذاری استاتیکی غیرخطی تحلیل شده است و تاثیر تغییر در تراز ارتفاعی بر پارامتر ضریب رفتار قاب ها مورد بررسی قرار گرفته است. می توان نتیجه گرفت پارامتر ضریب رفتار قاب های کوتاه با توجه به اثر کمتر نیروی زلزله مقدار بزرگتری است. اما از تراز ارتفاعی قاب های متوسط به بالا تقریباً ضریب رفتار قاب های خمشی فولادی به مقدار ثابت تری می رسد و دارای دامنه تغییرات کمتری می باشد. شایان ذکر است که روش های متفاوتی برای محاسبه ضریب رفتار وجود دارد که می تواند نتایج نسبتاً متفاوتی داشته باشد. نتایج تحلیل تاریخچه زمانی زلزله نیز می تواند تغییراتی در این ضریب ایجاد کند، ولی آنچه واضح است این است که پراکندگی مقدار ضریب رفتار با توجه به پارامترهای مختلف سازه انجام می گیرد. جدول (۱) نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و تعیین پارامتر ضریب رفتار را نشان می دهد (سعیدی و سمندری، ۱۳۹۳).

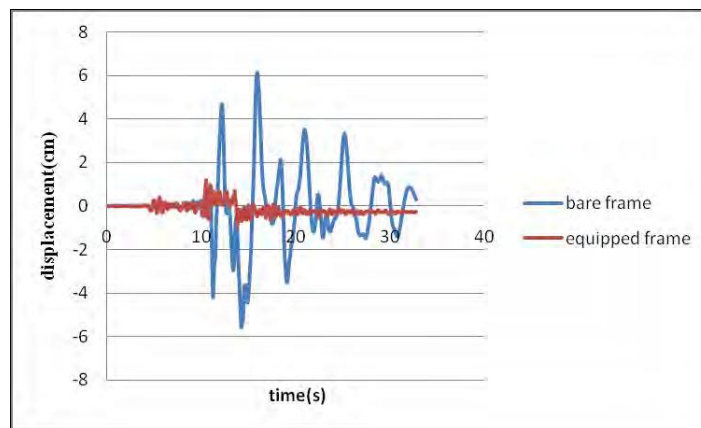
جدول (۱) نسبت افزایش زمان تناوب مدل ها واقع بر (a) خاک تیب I و (b) خاک تیب IV

قاب مورد مطالعه	برش الاستیک (V _E) (Ton)	برش طراحی (V _d) (Ton)	ضریب رفتار (R _w)
قاب خمشی فولادی سه طبقه	۴۷,۰۴۵۲	۵,۴۰۳۷	۸,۷
قاب خمشی فولادی شش طبقه	۵۴,۸۵۴۱	۸,۷۴۲۲	۶,۳
قاب خمشی فولادی نه طبقه	۷۲,۰۴۹۰	۱۰,۷۹۶۰	۶,۷
قاب خمشی فولادی دوازده طبقه	۹۳,۳۹۸۵	۱۳,۵۵۰۵	۶,۸

در تحقیقی دیگر به بررسی تاثیر اندر کنش خاک و سازه بر پاسخ لرزه ای سازه بتنی کوتاه بوسیله روش المان محدود پرداخته شده است. در این تحقیق قاب بتنی با شکل پذیری متوسط واقع بر خاک تیب 3 براساس تقسیم بندی آیین نامه ۲۸۰۰ در ابتدای امر با نرم افزارهای تحلیل و طراحی سازه و فونداسیون به طور کامل طرح گردید و در نهایت زیر سازه و روسازه در یک مدل کامل به منظور بررسی تاثیر اندر کنش بر پاسخ لرزه ای قاب با استفاده از روش المان محدود مورد بررسی قرار گرفت. بررسی انجام شده نشان داد که در حالت بدون لحاظ اندر کنش خاک و سازه تحت ترکیب بار DL+LL+EQ تغییر مکان جانبی در تراز بام حدود ۳/۷۴ سانتیمتر بوده و این در حالی است که با لحاظ اندر کنش خاک و سازه این تغییر مکان به ۱۰/۵۸ سانتیمتر افزایش یافت. همچنین مقدار لنگر طراحی به مقدار قابل توجهی کاهش یافت که این امر نیز بدیهی بود. نتایج به دست آمده به خوبی نشان داد مقادیر تغییر مکان جانبی سازه در حالت لحاظ اندر کنش خاک و سازه به مقدار قابل توجهی افزایش یافت که علت آن انعطاف پذیری به دلیل لحاظ خاک زیر سازه بود. تحلیل اندر کنش خاک و سازه علاوه بر نتایج اشاره شده مقادیر تنش در خاک و تغییر مکانهای افقی و قائم در خاک را به دست می دهد که می تواند مفید باشد و به این ترتیب این مقادیر می تواند با مقادیر مجاز مقایسه گردد. لحاظ نمودن اندر کنش خاک و سازه در این بررسی معطوف به خاک نوع 3 بود که به نوعی نه خیلی سخت / متراکم و نه خیلی نرم / سست است. این موضوع موید آن است که برای سازه مشابه اگر خاک زیر سازه نرم / سست باشد دیگر نتایج طراحی نمی تواند ملاک درست و واقع بینانه ای باشد. در نهایت پیشنهاد می شود که طراحان سازه قبل از تصمیم گیری در مورد طرح نهایی یکبار تحلیل اندر کنش خاک و سازه را انجام داده و آنرا مبنای طرح نهایی خود قرار دهند (داودی و حیدری، ۱۳۹۴).

در تحقیقی دیگر کاربرد نمونه جدیدی از میراگر فلزی جهت بهبود عملکرد لرزه ای ساختمانهای فولادی کوتاه مرتبه مورد بررسی قرار گرفته است. این میراگر که نوعی میراگر تسلیم شونده است از ترکیبی از چند حلقه فولادی ساخته شده و در محل بادبند قرار میگیرد. در این تحقیق تاثیر این میراگر در بهبود رفتار لرزه ای یک قاب چهار طبقه فولادی مهاربندی شده مورد بررسی قرار گرفته است.

استفاده از بادبند هم محور در ساختمان های کوتاه مرتبه فولادی گزینه اصلی در تحمل بارهای جانبی زلزله محسوب می گردد. استفاده از المان حلقوی فلزی تسلیم شونده فولادی می تواند قابلیت جذب و استهلاک انرژی در اینگونه ساختمانها را افزایش داده و رفتار لرزه ای آنها را بطور قابل ملاحظه ای بهبود بخشد. بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی به عمل آمده روی یک ساختمان چهارطبقه فولادی مهاربندی شده، استفاده از میراگر حلقوی پیشنهادی توانست ضمن کاهش جابجایی کلی و نسبی طبقات سازه و کاهش برش پایه وارده به سازه، سطح عملکرد سازه را تحت سه زلزله مورد بررسی به حد قابل قبول برساند. در شکل (۵) نتایج جابجایی حداکثر مربوط به زلزله ی طیس برای قاب مهاربندی شده با میراگر و بدون میراگر در وسط بادبند نشان داده شده است (مرشد و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۵) جابجایی نسبی ماکزیمم تحت زلزله طبس

روش تحقیق

در این بخش به بررسی روش انجام تحقیق، معرفی نرم افزار تحلیل عددی پلکسیس^۹ و مشخصات مصالح بکار رفته در مدل پرداخته می شود. سپس براساس اهداف تحقیق که بررسی سه نوع قاب ۳، ۴ و ۵ دهانه در دو ساختمان کوتاه مرتبه ۳ و ۴ طبقه بر روی خاک نرم و سخت می باشد مدل‌های استفاده شده در نرم افزار توضیح داده می شود.

روش های عددی

روش های عددی^{۱۰} در حل مسائل مهندسی می تواند کاربردهای زیادی داشته باشند. در گذشته به علت نبود امکانات رایانه ای کافی و همچنین زمان بر بودن انجام محاسبات، بیشتر از روابط تجربی استفاده می شد. باید توجه داشت که حل دقیق مسائل با استفاده از روش های تجربی و عددی به تنهایی ممکن نیست. ترکیب این دو روش، می تواند طراح را در حل مسائل پیچیده کمک کند. یکی از روشهای عددی، روش اجزاء محدود^{۱۱} (FEM) می باشد. روش اجزاء محدود یک دستورالعمل عددی جهت حل مسائل فیزیکی می باشد که توسط معادله دیفرانسیل توصیف می شوند. این روش دارای دو ویژگی است که آن را از سایر روشهای عددی متمایز می سازد:

۱. در این روش از یک فرمول بندی انتگرالی جهت ایجاد یک دستگاه معادلات جبری استفاده می شود.
۲. در این روش از توابع هموار به طور قطعه ای پیوسته جهت تقریب کمیات مجهول استفاده می شود.

معرفی نرم افزار Plaxis

PLAXIS یک برنامه اجزای محدود است که به طور خاصی جهت تحلیل تغییر شکل و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک توسعه یافته است. روندهای وارد نمودن داده ها به صورت گرافیکی ساده این امکان را به وجود می آورد که مدل های پیچیده اجزای محدود به سرعت تولید و امکان ارائه نتایج محاسباتی به صورت تفصیلی و با سهولت بیشتری فراهم شود. انجام محاسبات به طور کامل به صورت اتوماتیک و براساس روندهای قوی عددی می باشند (پلکسیس، ۲۰۰۷). برنامه PLAXIS برای انجام یک آنالیز اجزاء محدود دو بعدی به کار گرفته می شود. در نرم افزار، مدل های اجزاء محدود شامل دو مدل کرنش مسطح (Plain Strain) و متقارن محوری (Axisimmetry) می باشد، که در این تحقیق از مدل کرنش مسطح استفاده خواهد شد. یک مدل کرنش مسطح برای هندسه هایی به کار می رود که دارای یک یا چند سطح مقطع یکسان باشند و تنش ها و بارگذاری ها در یک طول مشخص، عمود بر این سطح

⁹ Plaxis

¹⁰ Numerical Method

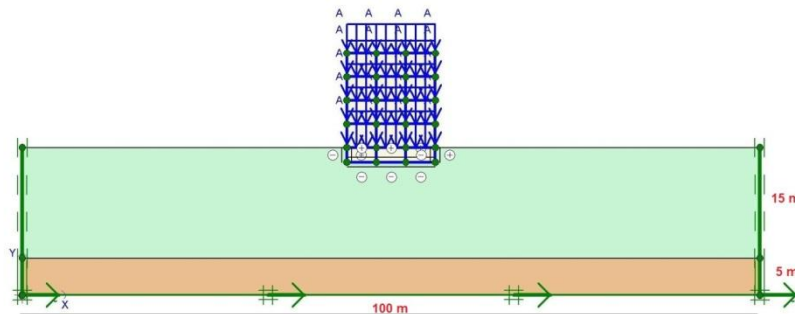
¹¹ Finite Element Methods

مقطع‌ها اعمال شده باشند (محور Z). جا به جایی‌ها و کرنش‌ها در جهت Z در این حالت صفر فرض گردیده می‌شود، اما تنش‌های نرمال در این جهت مد نظر قرار گرفته می‌شوند.

هندسه سازی

برای ترسیم مدل هندسی براساس نوع پروژه از ابزارهای ترسیم موجود در نرم افزار Plaxis استفاده می‌کنیم. مهم‌ترین ابزار برای ترسیم هندسه مدل، ابزار Geometry line می‌باشد. این ابزار را می‌توان از زیر منوی Geometry یا کلیک بر روی آیکن مربوط به آن که در نوار ابزار قرار گرفته، انتخاب نمود. در این تحقیق از این ابزار برای ترسیم لایه های خاک استفاده می‌شود. همچنین در این تحقیق از ابزار Plate برای ترسیم ستون‌ها و تیرهای ساختمان مورد نظر استفاده می‌شود.

مدل مورد مطالعه در تحقیق حاضر شامل سه قاب ۳، ۴ و ۵ دهانه در دو ساختمان ۳ و ۴ طبقه می‌باشد. عرض دهانه‌ها برای تمامی قابها ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و ارتفاع زیرزمین ۲ متر در نظر گرفته شده است. طول قاب خمشی در قاب سه دهانه ۱۲ متر، چهار دهانه ۱۶ متر و پنج دهانه ۲۰ متر می‌باشد. همچنین ابعاد خاک زیر پی ساختمان با توجه به ابعاد مدل‌های ساختمان و با توجه به اینکه نیاز به تحلیل دینامیکی می‌باشد جهت بالا بردن دقت تحلیل‌ها برابر ۱۵۰ متر طول و ۲۰ متر عمق در نظر گرفته می‌شود. لایه‌های خاک شامل دو لایه می‌باشد که لایه ی زیرین از یک لایه ی سخت به ارتفاع ۵ متر و لایه رویه جهت بررسی دو نوع خاک نرم و سخت به ارتفاع ۱۵ متر در نظر گرفته می‌شود. شکل (۶) نمونه ای از مدلسازی صورت گرفته در نرم افزار Plaxis را بصورت دو بعدی نمایش میدهد.



شکل (۶) مدلسازی

مشخصات مصالح

بعد از اعمال مدلسازی، مشخصات خاک پی و عناصر ساختمان به نرم افزار Plaxis اعمال می‌شود. برای این مورد، نیاز به ایجاد دو مجموعه داده داریم. یک مجموعه برای لایه های خاک که شامل خاک نرم و سخت می‌شود و مجموعه ی دیگر برای عناصر ساختمان شامل ستون‌ها و تیرهای و دیوارهای ساختمان می‌باشد. در شبیه سازی لایه های خاک از مدل موهر کلمب استفاده می‌گردد و نیاز به پنج پارامتر شامل مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی خاک و زاویه اتساع خاک می‌باشند. مشخصات لایه های خاک در جدول (۲) و عناصر ساختمان در جدول (۳) آمده است:

جدول (۲) مشخصات مصالح خاک

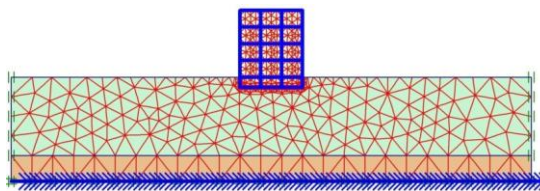
پارامتر	نام	رس نرم	ماسه متراکم	لایه سخت زیرین	واحد
مدل رفتاری	مدل	موهر - کولمب	موهر - کولمب	موهر - کولمب	-
مدول الاستیسیته	E	۲۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰	Kn/m ²
ثابت چسبندگی	C	۲	۱	۱۹/۶۲	Kn/m ²
زاویه اصطکاک	φ	۲۴	۳۳	۳۸	درجه
ضریب پواسون	ν	۰/۳۵	۰/۳	۰/۲	-
وزن مخصوص اشباع	Y _{sat}	۱۸	۲۱	۲۰	Kn/m ³
وزن مخصوص خشک	Y	۱۶	۱۷	۱۹	Kn/m ³
زاویه اتساع		۰	۱۰	۱۲	درجه
فاکتور کاهش مقاومت	R _{inter}	۰/۷	۰/۸	-	-

جدول (۳) پارامترهای ساختمان

پارامتر	تیرها و ستونها	دیوارها	واحد
EA	۵x۱۰ ^۶	-	KN/m
E ref	-	۳۰۰۰۰	
EI	۹۰۰۰	-	KNm ² /m
W	۵	-	KN/m/m
ضریب پواسون	۰	۰/۲	-
دانسیته	-	۱۷	Kn/m ³

مش بندی

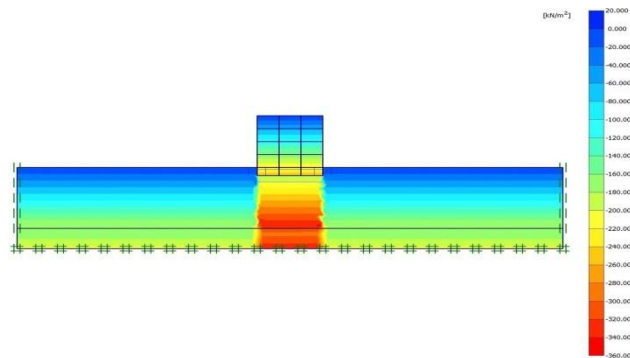
در روش اجزا محدود مدل مورد نظر به اجزا کوچکتر تقسیم شده که به اصطلاح مش بندی یا شبکه بندی گفته می شود و سپس هر کدام از آن اجزا بطور جداگانه تحلیل می شوند. به محدوده هایی که به طور کامل به وسیله خطوط بسته می شوند، عرصه (Clusters) می گویند. در برنامه PLAXIS این عرصه ها به طور اتوماتیک براساس خطوط هندسی وارد شده، شناخته می شوند. از بین المان های ۱۵ گرهی و المان های ۶ گرهی یک گزینه انتخاب می شود. انتخاب المان قوی ۱۵ گرهی به دلیل ریزتر کردن شبکه مش بندی باعث بالا رفتن دقت محاسبات تنش ها و بارهای گسیختگی می گردد. در این تحقیق از المان ۱۵ گرهی استفاده گردیده است. همچنین برای افزایش دقت محاسبات از مش های ریز در ساختمان استفاده شده است. شکل (۷)، مش بندی مدل مورد نظر را در نرم افزار Plaxis نشان میدهد.



شکل (۷) مش بندی

شرایط اولیه و مرزی

در این تحقیق تنش های اولیه به روش $k0 - procedure$ و با مقدار پیش فرض $k0$ تولید می گردند. این تنش ها در شکل (۷) قابل مشاهده می باشند. به دلیل اینکه در اثر برخورد نیروی های ناشی از زلزله به دیواره های مدل و برگشت آن به درون مدل باعث ایجاد مشکلات زیادی در محاسبات می شود در نرم افزارهای عددی از مرزهای جاذب استفاده می گردد. این مرزها از ایجاد چنین اختلالاتی جلوگیری کرده و شرایط طبیعی زلزله را مدل میکنند. بنابراین در این تحقیق در نرم افزار Plaxis از این مرزها استفاده گردیده است و در شکل (۸) قابل مشاهده می باشد. همچنین بار مرده و درصد بار زنده برابر ۵ کیلونیوتن بر متر مربع در طبقات و بار ۴ کیلونیوتن بر متر مربع بر بام اعمال می شود. در تحقیق حاضر سطح آب زیرزمینی در نظر گرفته نشده است.



شکل (۸) تنش های اولیه

تحلیل و محاسبات

در این تحقیق محاسبات در دو فاز استاتیکی و دینامیکی انجام شده است. محاسبات در مدل مورد نظر در دو فاز انجام شد. فاز اول محاسبات استاتیکی می باشد که توسط محاسبات $plastic$ و با استفاده از $Staged\ construction$ تعریف میگردد. فاز دوم محاسبات دینامیکی می باشد و با وارد نمودن شتاب زلزله انجام می شود. در این تحقیق از دو نوع شتابنگاشت زلزله ی حوزه دور و نزدیک استفاده شده است. شتابنگاشت زلزله از طریق سایت peer.berkeley.edu جستجو شده اند و مربوط به کشور ایران می باشند. مشخصات این دو زلزله در جدول (۴) نمایش داده شده است.

جدول (۴) مشخصات زلزله های بدست آمده

محل وقوع	سال وقوع	بزرگا برحسب (ریشتر)	شدت زلزله (متر بر ثانیه)	فاصله از کانون (کیلومتر)	نوع گسل	سرعت موج برشی (متر بر ثانیه)	مقدار زمان موثر (ثانیه)
طیس	۱۹۷۸	۷/۳۵	۱۱/۸	۱/۷۹	معکوس	۷۶۶/۷۷	۱۶/۵
منجیل	۱۹۹۰	۷/۳۷	۱/۹	۷۵/۵۸	امتداد لغز	۳۰۲/۶۴	۲۳/۳

طبق این جدول زلزله ی طیس با توجه به فاصله از کانون که کمتر از ۱۰ کیلومتر می باشد یک زلزله ی حوزه نزدیک و زلزله ی منجیل یک زلزله حوزه ی دور محسوب می شود. مقدار PGA در زلزله ی طیس برابر $۰/۸۵۳g$ و مقدار PGA در زلزله ی منجیل برابر $۰/۲۰۸g$ می باشد. مدت زمان اعمال زلزله ۱۰ ثانیه می باشد. در این تحقیق مطالعات پارامتریک ساختمان فولادی کوتاه مرتبه بر روی خاک های نرم و سخت تحت نیروی زلزله انجام می شود. مدل های مورد مطالعه در جدول (۵) نمایش داده شده است.

جدول (۵) ابعاد مدل های مورد مطالعه

نوع زلزله	نوع خاک	تعداد طبقات	تعداد دهانه	پارامتر مورد بررسی
حوزه دور	نرم	۳	۳	مدل های خاک نرم
			۴	
حوزه ی نزدیک	نرم	۴	۵	
			۳	
حوزه دور	سخت	۳	۴	
			حوزه ی نزدیک	سخت

نتیجه گیری

• در اثر زلزله ی حوزه نزدیک که در این تحقیق طبس می باشد با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ی ۳ طبقه از ۳ به ۴ دهانه در خاک نرم ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۳-۵/۷۸X۱۰^{-۴}$ به $۴-۷/۹۱X۱۰^{-۴}$ متر کاهش و با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه از ۴ به ۵ دهانه ، جابجایی از $۴-۷/۹۱X۱۰^{-۴}$ به $۳-۱/۱۲X۱۰^{-۳}$ متر افزایش می یابد ، همچنین با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ی ۳ طبقه از ۳ به ۵ دهانه در خاک سخت ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۵-۶/۷۴X۱۰^{-۵}$ به $۵-۷/۴۷X۱۰^{-۵}$ متر افزایش می یابد . براساس نتایج بدست آمده توصیه می شود ساختمان فولادی کوتاه مرتبه ی مورد نظر هنگامی که تحت یک زلزله ی حوزه نزدیک و بصورت ۳ طبقه طراحی می شود بر روی خاک نوع سخت قرار بگیرد و همچنین تا حد امکان از تعداد دهانه ی کمتر که در این تحقیق ۳ دهانه است استفاده گردد .

• در اثر زلزله ی تحت نیروی زلزله ی حوزه دور منجیل با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ی ۳ طبقه از ۳ به ۴ دهانه در خاک نرم ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۳-۵/۷۸X۱۰^{-۴}$ به $۴-۷/۸۵X۱۰^{-۴}$ متر کاهش و با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه از ۴ به ۵ دهانه ، جابجایی از $۴-۷/۸۵X۱۰^{-۴}$ به $۳-۱/۱۲X۱۰^{-۳}$ متر افزایش می یابد ، همچنین تحت اثر نیروی زلزله ی حوزه دور منجیل با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ۳ طبقه از ۳ به ۵ دهانه در خاک سخت ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۵-۳/۸۰X۱۰^{-۵}$ به $۵-۴/۰۲X۱۰^{-۵}$ متر افزایش می یابد . بنابراین توصیه می شود ساختمان فولادی کوتاه مرتبه ی مورد نظر که تحت زلزله حوزه ی دور و نزدیک و بصورت ۳ طبقه طراحی می گردد در خاک سخت و با تعداد ۳ دهانه طراحی شود . علاوه بر این تفاوت چندان بین نتایج زلزله ی حوزه ی دور و نزدیک نیست و جابجایی ها در زلزله حوزه ی دور منجیل کمتر می باشد .

• با توجه به نتایج در اثر زلزله ی حوزه نزدیک با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ۴ طبقه از ۳ به ۵ دهانه در خاک نرم ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۳-۷/۴۵X۱۰^{-۳}$ به $۳-۱/۶۹X۱۰^{-۳}$ متر کاهش می یابد ، علاوه بر این با افزایش تعداد دهانه ها ، تنش برشی در زیر پی نیز افزایش می یابد و دلیل این امر این است که با افزایش تعداد دهانه ها ، عرض قاب افزایش یافته و نیروی زلزله ی بیشتری را جذب می کند و باعث افزایش تنش برشی می شود . همچنین در اثر زلزله ی حوزه نزدیک با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ۴ طبقه از ۳ به ۵ دهانه در خاک سخت ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۵-۷/۳۸X۱۰^{-۵}$ به $۵-۷/۱۹X۱۰^{-۵}$ متر کاهش می یابد . براساس نتایج در هر دو نوع خاک هنگامی که تعداد طبقات از ۳ به ۴ افزایش می یابد میزان جابجایی در دهانه ها بزرگتر مانند ۵ دهانه کاهش می یابد . بنابراین توصیه می شود هنگام طراحی ساختمان کوتاه مرتبه ی فولادی ۴ طبقه از تعداد دهانه ی بیشتر استفاده و در خاک سخت طراحی شود .

تحت اثر نیروی زلزله ی حوزه دور منجیل با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه از ۳ به ۴ دهانه در قاب ۴ طبقه در خاک نرم ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۳-۷/۴۵X۱۰^{-۳}$ به $۳-۱/۶۷X۱۰^{-۳}$ کاهش می یابد . همانطور که مشخص است با افزایش تعداد طبقات به دلیل افزایش وزن ساختمان میزان جابجایی ها در تمامی دهانه ها نسبت به قاب ۳ طبقه افزایش داشته است علاوه بر آن با افزایش تعداد دهانه ها به ۵ دهانه ، جابجایی ها بیشترین کاهش را در زیر پی ساختمان داشته اند . همچنین در اثر زلزله ی حوزه نزدیک با افزایش تعداد دهانه های قاب خمشی کوتاه مرتبه ۴ طبقه از ۳ به ۵ دهانه در خاک سخت ، جابجایی در ناحیه ی زیر پی از $۵-۷/۳۸X۱۰^{-۵}$ به $۵-۷/۱۹X۱۰^{-۵}$ متر کاهش می یابد .

منابع و مراجع

- [۱] تحقیقی، حسین و محمد اربابی، مطالعه پاسخ ساختمانهای فولادی با لحاظ نمودن اندرکنش غیرخطی خاک و سازه، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران، ۱۳۹۴
- [۲] داودی آزاد، حسین و رضا حیدری، تاثیر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ لرزه ای سازه بتنی کوتاه بوسیله روش المان محدود، کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی، امارت - دبی، موسسه ایده پرداز پایتخت ویرا، ۱۳۹۴
- [۳] زمانیان مصطفی؛ داریوش ابولفتحی، بررسی اثر تنش همه جانبه بر روی پاسخ دینامیکی تونلها، فصلنامه صنعت مقاوم سازی و بهسازی نشریه شماره ۶
- [۴] سعیدی، فرزاد و سمانه سمندری، بررسی ضریب رفتار قاب های فولادی خمشی متوسط در ترازهای ارتفاعی متفاوت، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۳
- [۵] شکیب، ح، اصول مهندسی زلزله، انتشارات آذرین مهر، چاپ اول، ۱۳۹۰
- [۶] صمدیان، ب و همکاران،، لحاظ نمودن اثر اندکنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی سازه ها، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۳، مقاله ۸۳-۱۷۴۰
- [۷] گتمیری، ب و همکاران،، بررسی اثرات رفتار غیر خطی خاک بر پاسخ دینامیکی سازه های بلند، نشریه دانشکده فنی، ۱۳۸۳، جلد ۳۷ شماره ۲
- [۸] گلنپه، آ و همکاران،، بررسی فرض ساده کننده دست بالا بودن حذف اثر اندکنش خاک سازه، اولین کنفرانس ملی بنای ماندگار، مشهد مقدس، ۱۳۹۱
- [۹] مرشد، رضا؛ بهروز احمدی و صالح قمی، تاثیر المان نوین شکل پذیر در بهبود رفتار لرزه ای ساختمان فولادی کوتاه مرتبه، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۲
- [10] Bonilla MG Natural and artificial deposits in the Marina District, chap. A of Effects of the Loma Prieta earthquake on the Marina District, San Francisco, California. U.S. Geological Survey open-File Report (1991)90-253, pp A1-A24
- [11] Ganainy H, Naggat M.H. Seismic performance of three-dimensional frame structures with underground stories. Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.29, pp.1249–1261, 2009
- [12] Ghosh B. Madabhushi SPG , Effect of localized soil inhomogeneity in modifying seismic soil structure interaction. In: Proceeding of ASCE 16th engineering mechanics conference, Seattle, 16-18th July 2003, pp 1-8
- [13] Kim S, Rosset J.M. Effect of nonlinear soil behavior on inelastic seismic response of a structure. International Journal of Geomechanics, 42,104-114, 2004
- [14] Plaxis 8.5,(2007), Finite element program for geotechnical applications
- [15] Sanchez-sesma FJ Site effects onstrong ground motion. JSoil Dyn Earthq Eng(1987) 6:124-132
- [16] Stewart J. P, Kim S, Bielak J, Dobry R, Power M. Revisions to soil structure interaction procedures in NEHRP design provisions. Journal of Earthquake Spectra, 19, 677-96, 2003
- [17] Tabatabaiefar H, Massumi A. A simplified method to determine seismic responses of reinforced concrete moment resisting building frames under influence of soil–structure interaction. Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.30, pp.1259–1267, 2010
- [18] Tokim atsu K. Mizuno H. Kakurai M Building damage associated with geotechnical problems. Special issue of soils and foundations, (1996) pp. 219–234
- [19] Veletsos AS, Prasad AM Seismic interaction of structures and soils: stochastic approach. J Struct Eng ASCE(1989) 115(4):935–956