تأثیر مساحت پلان بر تراز پایه در ساختمان‌های دارای پی‌های غیرهمسطح

وحیدرضا کلات‌جاری [۱]، علی نقی‌زاده [۲]، رضا نادری [۳]، محمدحسین طالب‌پور [٤]

۱- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

٤- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان

M.H.Talebpour@du.ac.ir

خلاصه

تراز پایه از جمله پارامترهای مهم و تأثیرگذار در ساختمان هایی است که برای تحلیل آن‌ها در برابر نیروهای زلزله، ازروش استاتیکی معادل استفاده می‌شود. در صورتی که بخشی از پلان ساختمان دارای زیرزمین باشد؛ معمولاً فونداسیون در دو تراز متفاوت اجرا شده و در چنین شرایطی محل ترازپایه، در حدفاصل بین دو فونداسیون، قرار می‌گیرد. دانستن محل دقیق تراز پایه در این سازه‌ها اهمیت ویژه‌ای داشته و می‌تواند متأثر از عواملی مختلفی همچون نوع خاک، تعداد طبقات ساختمان، مساحت پلان و ... باشد. در این تحقیق، تأثیر مساحت پلان بر محل تراز پایه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور سازه‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه با مساحت پلان‌های ۲۵۶ و ۵۷۶ مترمربع به عنوان مدل‌های تحقیق منظور شده است. تمامی مدل‌ها بر روی خاک سخت، در نرم افزار ABAQUS مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده دلالت بر تاثیر اندک مساحت پلان بر تعیین محل تراز پایه دارد.

کلمات کلیدی: تراز پایه، مساحت پلان، پی‌های غیرهمسطح.

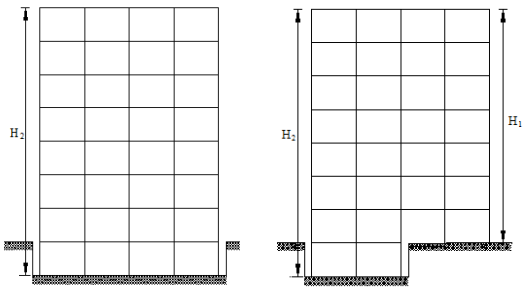
۱. مقدمه

اغلب آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، ترازپایه را محلی فرض کرده‌اند که حرکت افقی زمین لرزه از آن تراز به سازه انتقال می‌یابد و به عبارت دیگر ارتعاش سازه از این تراز آغاز می‌شود [۱-۲]. با دقت در روابط برش پایه، مشاهده می‌شود که تراز پایه چه بصورت مستقیم و چه بصورت غیرمستقیم در محاسبهٔ نیروی وارد به طبقات مؤثر است و بدون داشتن مقدار دقیقی از آن نمی‌توان نیروی زلزله را به درستی تخمین زد. در شکل (۱- الف) این تراز، دقیقاً بر روی فونداسیون قرار دارد. برای برخی از ساختمان‌های دارای زیرزمین که سقف زیرزمین تمام مساحت پلان را در برنمی‌گیرد؛ فونداسیون در دو تراز متفاوت H_1 و H_2 اجرا می شود. در چنین شرایطی مشکلاتی برای مهندس محاسب جهت تعیین محل دقیق ترازپایه که در حدفاصل بین دو فونداسیون قرار دارد، ایجاد می‌شود. آیین‌نامه‌های لرزه‌ای در خصوص تعیین ترازپایه، تاکنون اشاره ای به اینگونه ساختمان ها نداشته اند. از این رو تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است که در آنها به بررسی محل تراز پایه پرداخته و تأثیر پارامترهای مختلف بر روی آن، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

یکی از تحقیقاتی که در زمینه تعیین محل تراز پایه وجود دارد، مطالعات وسیم و همکارانش در سال ۲۰۱۲ می باشد. تحقیقات آنها نشان می‌دهد که اندرکنش خاک و سازه می‌تواند اثرات قابل توجهی بر روی محل تراز پایه داشته باشد؛ علاوه بر آن با افزایش ظرفیت برشی خاک، تراز پایه از روی فونداسیون مدفون به سمت سطح زمین نزدیک می‌شود. در تحقیقات فوق مشخص شد که با افزایش ارتفاع سازه، محل تراز پایه به سمت تراز سطح

[۱] دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود ، پست الکترونیکی: V.Kalatjari@gmail.com
[۲] کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، پست الکترونیکی: A.naghizadeh.eng@gmail.com
[۱] دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود ، پست الکترونیکی: Rz_naderi@yahoo.com
[۱] استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان، پست الکترونیکی: M.H.Talebpour@du.ac.ir

فونداسیون نزدیک می‌شود و با افزایش ارتفاع زیرزمین محل تراز پایه به سمت سطح زمین حرکت می‌کند [۳]. کلات جاری و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی ترازپایه محافظه کارانه در ساختمان های دارای پی‌های غیر همسطح پرداخته و نشان دادند که تنها در یک حالت تراز کف زیرزمین می‌تواند به عنوان تراز محافظه‌کارانه محسوب شود و آن حالتی است که زمان تناوب سازه در محدوده ابتدایی طیف طرح واقع شود [۴]. شهرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثرات انواع سیستم‌های مختلف سازه‌ای و تغییرات تراز پایه در محاسبه برش پایه ساختمان‌های بلند پرداخته‌اند. تحقیقات نشان داد که با اجرای دیوارهای حائل بیشتر حتی بدون کوبیدن خاک اطراف سازه، می‌توان تراز طبقات بالاتر را به عنوان ترازپایه درنظر گرفت. همچنین بالا آوردن تراز پایه در صورت امکان، باعث کاهش دوره تناوب، تغییر مکان‌ها و برش پایه سازه شده و باعث اقتصادی شدن طرح سازه می‌گردد [۵]. آقازاده و همکاران در سال ۲۰۱۳ روش پیشنهادی برای حل مسئله تراز پایه در طراحی ساختمان‌های فولادی و بتنی ارائه کردند. آنها در تحقیق خود پیشنهاد دادند که به دلیل عدم قطعیت‌ها و نقطه نظرات متفاوت و بعضی مواقع متناقض در مورد ترازپایه، بهتر است که تراز پایه همیشه بر روی فونداسیون در نظر گرفته شود[۶]. مدرس در سال ۱۳۶۸ به بررسی تراز مبنای ارتعاش سازه‌های نیمه مدفون بهنگام زلزله پرداخت و در پایان نتیجه‌گیری نمود که اگر خاک در مقابل سازه بقدری صلب باشد که بتواند تغییرشکل‌های بخش مدفون سازه را کنترل نماید، در این حالت می‌توان تراز مبنا را روی سطح زمین فرض نمود. برعکس اگر خاک در مقابل سازه، نرم باشد خاک توانایی کنترل تغییرشکل‌های سازه را نداشته و در نظر گرفتن تراز پایه روی سطح زمین خطای چشمگیری را بوجود می‌آورد [۷]. تحقیق بعدی در این زمینه توسط خان‌محمدی در سال ۱۳۷۵ انجام گرفت. وی نشان داد اندرکنش در نسبت‌های $5<(h/l)$ (نسبت ارتفاع آزاد به ارتفاع مدفون شدگی)، تأثیر قابل توجهی ایجاد نمی‌نماید و در صورتیکه نسبت $5>(h/l)$ باشد؛ محدودهٔ 1/3 میانی عمق مدفون‌شدگی را می‌توان به عنوان محل مناسب تراز پایه معرفی نمود [۸]. در سال ۱۳۷۷ خواجه‌ای بیشک نشان داد با افزایش سختی خاک عمق تراز پایه به سطح زمین نزدیک می‌شود. همچنین با نرم شدن خاک، در محل تراز پایه پراکندگی بوجود می‌آید و با افزایش طبقات مدفون پراکنده‌تر نیز می‌شود که دلیل آن مسلماً اثرات اندرکنش است. از طرف دیگر وی نشان داد محل فرضی تراز پایه با افزایش طبقات مدفون از سطح زمین دور می‌شود و بالعکس [۹]. تحقیق بعدی در این زمینه در سال ۱۳۸۷ توسط کلاهدوزان انجام شد. وی نشان داد در حالت وجود دیوار حائل، برای خاک‌های تیپ I و II، تراز پایه در بالای دیوار حائل و در خاک‌های تیپ III و IV تراز پایه حداقل یک تراز پایین‌تر قرار می‌گیرد. در تحقیقات وی، نوع سیستم باربر جانبی سازه و تعداد طبقات مدفون در زمین تأثیری در محل تراز پایه نداشته و توصیه آیین‌نامه که فقط در صورت وجود خاک کوبیده شده، می‌توان تراز پایه را بالای دیوار در نظر گرفت، بسیار محافظه کارانه است [۱۰].



شکل ۱ – نمونه ای از ساختمان های دارای زیرزمین

در این تحقیق مساحت پلان به عنوان یکی از پارامترهایی که انتظار می رود بر محل ترازپایه در ساختمان های دارای زیرزمین تأثیرگذار باشد؛ مورد توجه قرار گرفته است. برای تعیین تأثیر مساحت پلان بر روی ترازپایه، ساختمان های ۴، ۶ و ۸ طبقه با دو مساحت پلان متفاوت آنالیز و نتایج با هم مقایسه شده‌اند. برای آنکه مساحت پلان تنها متغیر تأثیرگذار بر محل ترازپایه باشد؛ در تمامی مدل‌ها متغیر درصد ستون‌های ورودی به زیرزمین نسبت به ستون‌های کل سازه، یکسان در نظر گرفته شده است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در نظرگرفتن خاک پیرامون سازه در آنالیزها، می تواند بر روی رفتار سازه و به دنبال آن بر روی تراز پایه اثر بگذارد. این اثر گذاری نه فقط در سازه‌های دارای اختلاف تراز، بلکه در تمام حالاتی که سازه بر روی خاک واقع شده است وجود خواهد داشت. از این رو در تحقیق حاضر اندرکنش خاک و سازه به عنوان یکی از متغییرهای اصلی درنظر گرفته شده است. تمامی نمونه‌ها به همراه خاک اطراف به صورت یکجا در نرم افزار Abaqus، مدل و آنالیز شده‌اند.

۲. روش محاسبه تراز پایه در ساختمان‌های دارای پی‌های غیرهمسطح

با توجه به تعریف تراز پایه، احتمالاً مقایسه نتایج آنالیز دینامیکی و استاتیکی معادل منجر به یافتن محل این تراز خواهد شد. برای این منظور می‌بایست مقادیر نیروهای داخلی اعضای سازه حاصل از تحلیل استاتیکی معادل با اتخاذ H به عنوان تراز پایه، با نتایج ناشی از آنالیز دینامیکی برابر شود. مشکل اصلی این فرآیند مقایسهٔ نتایج آنالیز استاتیکی معادل (روشی مبتنی بر تجربه) با روشی صرفاً تحلیلی است. به عنوان یک راه حل، می‌توان نتایج تحلیل استاتیکی معادل را با تحلیل دینامیکی در حالت بی‌بعد مورد مقایسه قرار داد. به عبارت دیگر در صورتیکه قرار باشد تراز پایه از مقایسهٔ نتایج آنالیز استاتیکی و دینامیکی بدست آید، می‌بایست ابتدا پاسخ سازه دارای اختلاف تراز را تحت آنالیز دینامیکی بدست آورده و سپس آن را بی‌بعد کرد. در ادامه با فرض یک ارتفاع به عنوان تراز پایه، سازه مذکور را با استفاده از تحلیل استاتیکی معادل آنالیز نموده و نتایج حاصل را نیز بی‌بعد نمود. حال با توجه به پاسخ‌های بی‌بعد حاصل از دو آنالیز، می‌توان آنها را با هم مورد مقایسه قرار داد. در صورتیکه اختلاف بین پاسخ‌های محاسبه شده حاصل از دو آنالیز از مقدار قابل قبولی کمتر باشد، می‌توان تراز موردنظر را به عنوان تراز پایه معرفی نمود، در غیر این صورت باید با فرض ارتفاع دیگری این عمل را مجدداً تکرار نمود [۱۱]. حال نکته اساسی بی‌بعد نمودن نتایج حاصل از دو آنالیز می‌باشد. برای این منظور، می‌توان از پاسخ یک سازه با تعداد طبقات یکسان و بدون اختلاف تراز استفاده نمود. فرض کنید هدف محاسبهٔ تراز پایه برای سازه نشان داده شده در شکل (۱- ب) باشد؛ ابتدا باید پاسخ سازه‌های (۱- الف) و (۱- ب) را تحت آنالیز دینامیکی محاسبه نمود. پاسخ بی‌بعد ناشی از آنالیز دینامیکی با نسبت زیر تعریف می‌شود.

$$D.R = \frac{\text{پاسخ حاصل از آنالیز دینامیکی برای سازه دارای اختلاف تراز در پایه (سازه دارای پی غیرهمسطح)}}{\text{پاسخ حاصل از آنالیز دینامیکی برای سازه بدون اختلاف تراز در پایه و تعداد طبقات یکسان}}$$

پس از محاسبهٔ نسبت D.R می‌بایست پاسخ بی‌بعد ناشی از آنالیز استاتیکی معادل را نیز بر اساس روابط ارائه شده در آیین‌نامه (C.R) محاسبه کرد. با توجه به آنکه در سازه شکل (۱- الف)، تراز پایه بر روی فونداسیون قرار دارد، به راحتی می‌توان ضریب زلزله را محاسبه و پاسخ استاتیکی سازه را بدست آورد. در ادامه می‌توان با فرض ارتفاع H به عنوان تراز پایه برای سازه دارای پی غیرهمسطح، ضریب زلزله و پاسخ سازه را محاسبه نمود. نسبت C.R به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$C.R = \frac{\text{پاسخ حاصل از آنالیز استاتیکی برای سازه دارای اختلاف تراز در پایه (سازه دارای پی غیرهمسطح) با فرض تراز پایهٔ } H}{\text{پاسخ حاصل از آنالیز استاتیکی برای سازه بدون اختلاف تراز در پایه و تعداد طبقات یکسان}}$$

در صورتیکه اختلاف نسبت‌های D.R و C.R در حد قابل قبولی باشد ارتفاع فرضی H به عنوان تراز پایه محسوب می‌شود؛ در غیر این صورت باید مجدداً این عمل را با فرض ارتفاع دیگری تکرار کرد. با توجه به آنکه اولین خروجی روش استاتیکی معادل برش طبقات است، لذا مناسب‌ترین پاسخ برای مقایسه، برش طبقات می‌باشد.

۳. مشخصات مکانیکی خاک

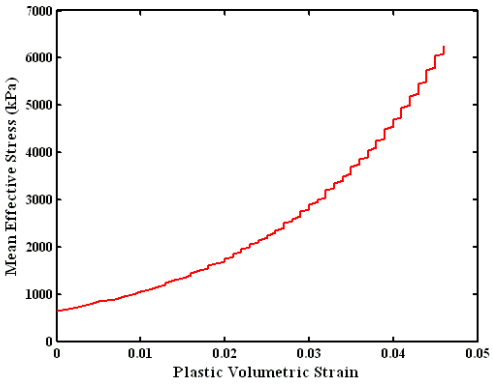
معمولاً در تحلیل سازه، تکیه گاه سازه صلب و تغییر شکل ناپذیر فرض شده و از انعطاف پذیری تکیه گاه صرف نظر می‌شود. ولی مشاهدات و تجربیات گذشته نشان می‌دهد که عامل تغییرشکل‌پذیری تکیه‌گاه ممکن است تغییرات قابل ملاحظه ای در واکنش سازه در مقابل زلزله ایجاد نماید. این موضوع در ادبیات مهندسی به اندرکنش سازه و خاک موسوم است. در تحقیق حاضر اندرکنش خاک و سازه به عنوان یکی از متغییرهای اصلی درنظر گرفته شده است. برای حل مسئله اندرکنش خاک و سازه روش مستقیم انتخاب شده است. در روش مستقیم سازه به همراه خاک اطرافش به کمک اجزاءمحدود مدل می شوند و سپس مجموعه به صورت یکجا تحلیل می شود. این روش می‌تواند برای محیط وسیعی از مسائل با هندسه‌های مختلف به کار برده شود [۱۲و۱۳].

مدل پلاستیسیته دراکر- پراگر اصلاح شده بطور گسترده در برنامه‌های اجزای محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل Cap یکی از مناسب‌ترین مدل‌ها برای نمایش رفتار خاک می‌باشد؛ چراکه این مدل قادر است تاریخچهٔ تنش، مسیر تنش، اتساع و اثر تنش اصلی میانگین را درنظر

بگیرد. جدول (۱) مشخصات درنظر گرفته شده برای خاک را در این تحقیق نشان می‌دهند. اطلاعات تکمیلی درباره مشخصات خاک و روابط حاکم بر مقادیر ارائه شده در این جدول را می توان در مراجع [۱۱ ، ۱۴ و ۱۵] جستجو نمود. منحنی سخت‌شوندگی خاک در شکل (۲) آورده شده است.

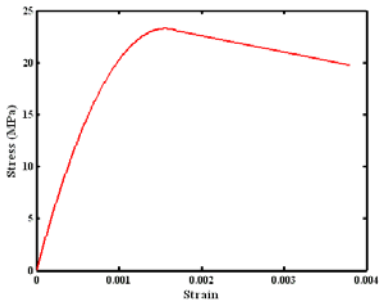
جدول ۱- مشخصات خاک

درصد رطوبت (درصد)	6
وزن مخصوص خشک (کیلونیوتن بر متر مکعب)	22
نسبت تخلخل	0.42
سرعت موج برشی (متر بر ثانیه)	650
نسبت پواسون	0.25
چسبندگی (پاسکال) (C)	40000
زاویهٔ اصطکاک داخلی (درجه)	38
دانسیته (کیلوگرم بر متر مکعب)	2377.17
زاویهٔ اصطکاک داخلی دراکر-پراگر (رادیان)	1.00
چسبندگی دراکر-پراگر (پاسکال)	237956.04

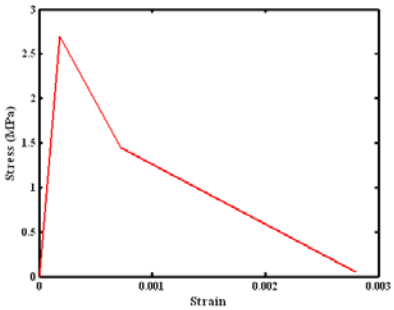


شکل ۲ - منحنی سخت‌شوندگی خاک

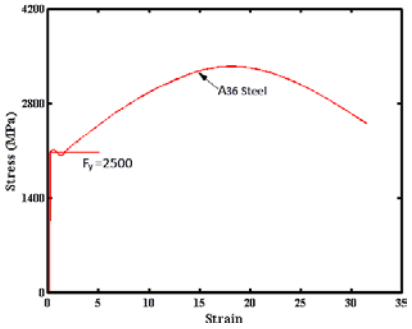
بتن مصرفی از نوع C25 (مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال) با جرم مخصوص kg/m^2 ۲۵۰۰، مدول الاستیسیته ۲۶۸۷۵ مگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۱۶ در نظر گرفته شده است. برای ترسیم نمودار تنش-کرنش بتن در ناحیه فشاری از رابطهٔ Hognestad اصلاح‌شده استفاده و در ناحیه کششی، این نمودار به صورت خطی فرض شده است (اشکال (۳) و (۴)) [۱۶]. فولاد مصرفی از نوع A36 با جرم مخصوص ۸۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مدول الاستیسیته ۲۰۶۰۱۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۳ فرض شده است (شکل (۵)) [۱۷].



شکل ۳ - نمودار تنش-کرنش فشاری بتن



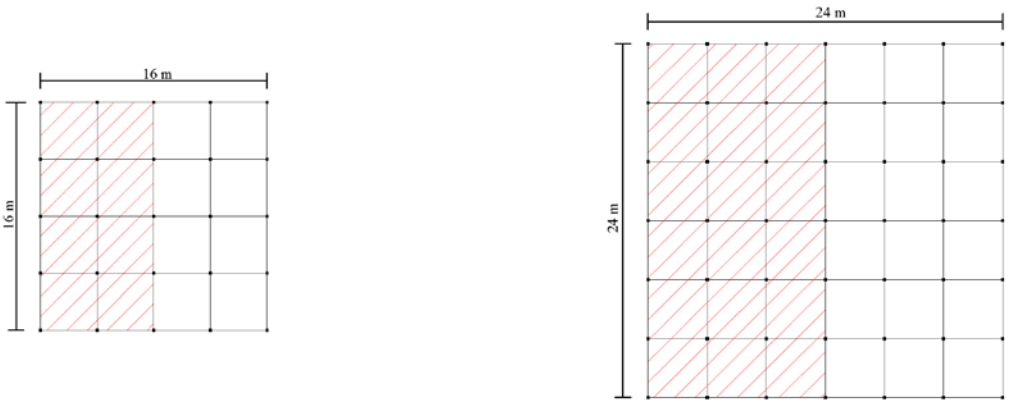
شکل ٤ - نمودار تنش-کرنش کششی بتن



شکل ۵ - نمودار تنش-کرنش فولاد

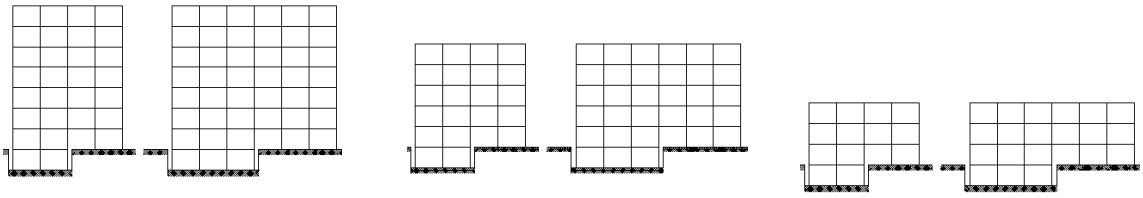
۴. مدل‌سازی

مدل‌های بررسی شده در این تحقیق ساختمان‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه می‌باشند. تمامی متغیرها، برای مدل‌های بررسی شده ثابت درنظر گرفته شده است و فقط مساحت پلان تغییر می‌کند. برای تعیین تأثیر مساحت پلان بر روی محل ترازپایه، مدل‌ها یکبار با مساحت پلان ۲۵۶ مترمربع (چهار دهانه در چهار دهانه با طول هر دهانه ۴ متر) و بار دیگر با مساحت ۵۷۶ مترمربع (شش دهانه در شش دهانه با طول هر دهانه ۴ متر) مدل‌سازی و آنالیز شده‌اند. برای آنکه نسبت مساحت سقف زیرزمین به کل مساحت پلان ساختمان یا به عبارت دیگر درصد ستون‌های ورودی به زیرزمین به نسبت کل ستون‌های ساختمان، در دو مدل با مساحت های متفاوت یکسان شود؛ در مدل ۴ دهانه از حالتی که در آن ۱۵ عدد ستون به زیرزمین وارد شده است (۶۰ درصد کل ستون‌ها) و برای مدل‌های ۶ دهانه از حالت ورود ۲۸ عدد ستون به زیرزمین (۵۷ درصد کل ستون‌ها) استفاده شده است. شکل (۶) پلان ساختمان و ناحیه اختصاص داده شده به زیرزمین را در دو مساحت عنوان شده نشان می‌دهد. این ناحیه با هاشور قرمز رنگ در اشکال مشخص شده است. مدل های بررسی شده در این مطالعه که در مجموع ۶ مدل می باشند را می توان در شکل (۷) مشاهده نمود.



مدل با مساحت پلان ۵۷۶ متر مربع مدل با مساحت پلان ۲۵۶ متر مربع

شکل ٦ - پلان مدل ها و ناحیه اختصاص داده شده به زیرزمین

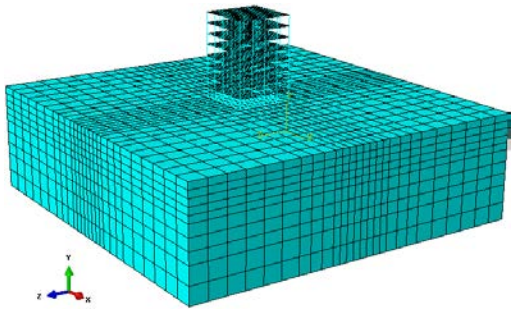


گروه (۱) – ساختمان های ٤ طبقه گروه (۲) – ساختمان های ٦ طبقه گروه (۳) – ساختمان های ۸ طبقه

شکل ۷ - گروه‌بندی ساختمان‌ها با مساحت های پلان ۲۵٦ و ۵۷٦ متر مربع

۵. کلیات مدل‌سازی در نرم‌افزار Abaqus

برای آنالیز اندرکنش خاک - سازه، از روش مستقیم استفاده شده است که در آن سازه به همراه خاک اطرافش، در نرم‌افزار مدل شده و توسط روش اجزای محدود آنالیز می‌شود. در این تحقیق ابعاد کلی خاک ۱۰۰متر در ۱۰۰متر در ۳۰ متر فرض و حداکثر ابعاد المان‌ها برای خاک در هر دو جهت افقی و همچنین در عمق ۵ متر درنظر گرفته شده است. در مش‌بندی المان‌های خاک اندازه المان‌ها با نزدیک شدن به مرز سازه کوچکتر می‌شود. شکل (۸) شمایی کلی از ساختگاه را بعد از انجام مش‌بندی نشان می‌دهد.



شکل ۸ – نمونه‌ای از مش‌بندی جزیره خاکی

جهت تحلیل سه بعدی محیط خاک و سازه از نرم افزار اجزاء محدود Abaqus استفاده شده است. نرم‌افزار Abaqus مبتنی بر روش اجزای محدود بوده و قابلیت حل مسایل مختلف از تحلیل های خطی ساده تا پیچیده‌ترین مسایل غیرخطی را دارد. این نرم‌افزار دارای مجموعه‌ای از المان‌های بسیار

گسترده است. بطوریکه با استفاده از این المان‌ها می‌توان هر نوع هندسه‌ای را به صورت مجازی مدل کرد. در این تحقیق اعضای قاب و میلگردها توسط المان‌های Beam مدل‌سازی شده‌اند. برای اعضای قابی از المان‌هایی به طول ۱ متر و برای میلگردهای فونداسیون از المان‌هایی به طول ۲ متر جهت سازگاری با اندازهٔ مش فونداسیون استفاده شده است. سقف‌های ساختمان نیز با استفاده از المان‌های مربعی Shell با طول ضلع ۱ متر مدل‌سازی شده‌اند. مشخصات المان‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی در نرم افزار در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲ – مشخصات المان ها در مدل سازی کامپیوتری

موضوع	نوع المان	مشخصات المان
سقف	Shell	S4R
قاب فولادی و میلگردها	Beam	B31
خاک و فونداسیون	3D Stress	C3D8R

در این تحقیق محیط خاک به چشمه‌های ۱۰ متر در ۱۰ متر تقسیم‌شده و در گوشه چشمه‌ها فنر و میراگر در دو جهت عمود بر هم قرار داده شده است. ضرایب فنر و میراگرها توسط روابط ارائه شده در مرجع [۱۱] محاسبه شده اند. اتصال بین خاک و فونداسیون از نوع سطح به سطح و دارای دو رفتار Tangential Behavior با Friction Coeff مساوی 0.4 و Normal Behavior با رفتار Hard Contact می‌باشد. اتصال سقف با تیرها از نوع اتصال Tie بوده و اتصال بین میلگردها و فونداسیون با استفاده از قید Embedded تعریف شده است

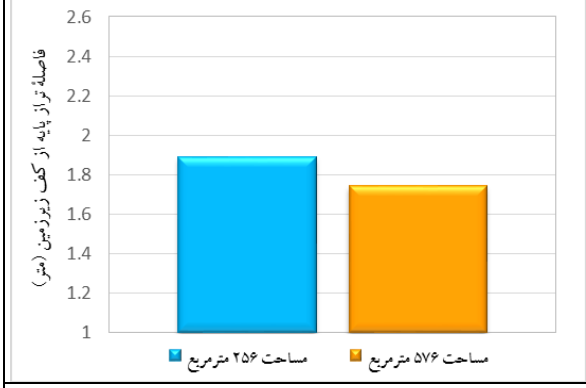
۶. بررسی نتایج

در این بخش تأثیر مساحت پلان بر محل تراز پایه مورد بررسی قرار می‌گیرد. شرایط آنالیز برای تمامی مدل‌ها یکسان در نظر گرفته شده و در انتها تراز پایهٔ حاصل از دو حالت با یکدیگر مقایسه شده است. نکته مهم در مقایسه‌های انجام شده این است که در تمامی مدل‌ها، نسبت مساحت سقف زیرزمین به مساحت کل پلان، تقریباً با هم برابر می‌باشد و صرفاً مساحت کل پلان در مدل‌ها افزایش داشته است. پس از آنالیز هر ۶ مدل و استفاده از روابط ارائه شده در قسمت‌های قبل، محل ترازپایه و فاصله آن از کف زیرزمین تعیین و در جدول (۳) ارائه شده است.

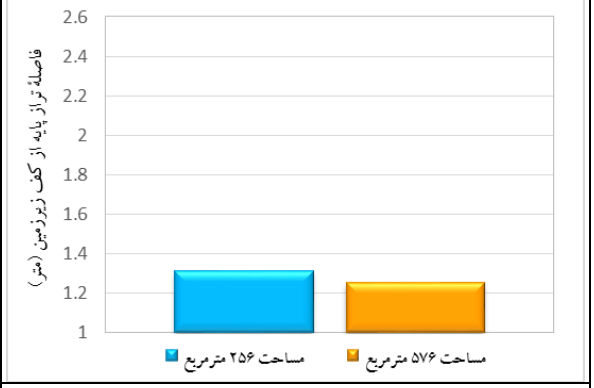
جدول ۳ – محل محاسبه شده برای ترازپایه

	مساحت پلان ساختمان	فاصلهٔ تراز پایه از کف زیرزمین (متر)	حداکثر تغییرات تراز پایه (سانتیمتر)
ساختمان ۴ طبقه	۵۷۶ مترمربع	1.25	۶
	۲۵۶ مترمربع	1.31	
ساختمان ۶ طبقه	۵۷۶ مترمربع	1.74	۱۵
	۲۵۶ مترمربع	1.89	
ساختمان ۸ طبقه	۵۷۶ مترمربع	2.27	۱۹
	۲۵۶ مترمربع	2.46	

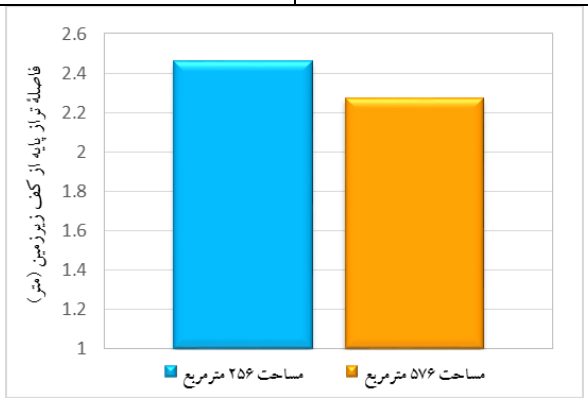
از مقادیر ارائه در جدول (۳) می‌توان دریافت که برای تمامی حالات، هنگامی که مساحت پلان بیشتر شده است، تراز پایه اندکی به کف زیرزمین نزدیک‌تر می‌شود. شکل (۹) محل ترازپایه در مدل های بررسی شده در این تحقیق نشان می‌دهد.



الف) مقایسه محل ترازپایه برای مدل های ٤ طبقه (گروه ۱)



ب) مقایسه محل ترازپایه برای مدل های ٦ طبقه (گروه ۲)



ج) مقایسه محل ترازپایه برای مدل های ۸ طبقه (گروه ۳)

شکل ۹ - محل ترازپایه در ساختمان های دارای مساحت پلان ۲۵٦ و ۵۷٦ مترمربع

با مشاهده شکل (۹) و همچنین مقادیر ارائه شده در جدول (۳) می‌توان دریافت که با افزایش ارتفاع طبقات سازه از ۴ به ۸ طبقه، تغییر در مساحت پلان، محل تراز پایه را کمی بیشتر جابجا کرده است. برای مدل‌های ۴ طبقه، با تغییر مساحت پلان از ۲۵۶ به ۵۷۶ مترمربع، تراز پایه ۶ سانتی‌متر جابجا شده و این مقدار جابجایی برای ساختمان های ۶ و ۸ طبقه به ترتیب به مقادیر ۱۵ و ۱۹ سانتیمتر می‌رسد. اگرچه با تغییر مساحت پلان، محل ترازپایه جابجا می‌شود ولی این جابجایی بسیار اندک بوده و در بیشترین مقدار برابر ۱۹ سانتیمتر می‌باشد که همچنان مقدار اندکی است. این نتیجه بیانگر آن است که محل تراز پایه مستقل از مساحت پلان بوده و تغییر در مساحت پلان بر محل تراز پایه تأثیر ندارد.

۷. نتیجه‌گیری

پس از مقایسه مقادیر بدست آمده برای محل ترازپایه در مدل‌های مربوط به هر گروه، مشخص شد که محل ترازپایه با تغییر در مساحت پلان ساختمان جابجایی اندکی از خود نشان می‌دهد؛ لذا می‌توان به صراحت بیان کرد که تغییر در مساحت پلان، تأثیری بر محل تراز پایه ندارد؛ البته لازم به یادآوری است که نتیجه فوق به شرط ثابت ماندن نسبت مساحت پلان زیرزمین به مساحت کل پلان بدست آمده است.

۷. مراجع

1. Code, Uniform Building, (1997), “International Conference of Building Officials”, Whittier, CA.
2. Code, Iranian Seismic, (2005), “Iranian Code for Seismic Resistant Design of Buildings”, Tehran, Iran.

3. Elias, W. and Khouri, M. (2012), "Identifying the Fixed Base Location of Building Structures under Seismic Excitation", International Journal of Science and Research, **3** (12), pp 2612-2618.

٤. کلات جاری، و. ر؛ نقی زاده، ع؛ نادری، ر و طالب پور، م. ح. (۱۳۹۵)، " *بررسی تراز پایه محافظه کارانه در ساختمان های دارای پی های غیر همسطح*"، نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۵، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

5. Shahrabadi, H., Nazari, S. and Ashrafigol, M. (2015), "Investigation of different structural systems and base level variation effect on base shear calculation of high rise buildings", The International Conference on Human, Architecture, Civil Engineering and City. City: Tabriz.

6. Civil808, (2013). "Proposed method around base level problems in design of steel and concrete structures". [online] Available at: http://civil808.com.

۷. مدرس، ل. (۱۳۶۸)، " بررسی تراز مبنای ارتعاش سازه‌های نیمه مدفون بهنگام زلزله"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

۸. خان محمدی ، م. (۱۳۷۵)، " بررسی تراز پایه در ساختمان‌های نیمه مدفون با توجه به تأثیر اندرکنش خاک- سازه و وجود زلزله به صورت پدیدهٔ تصادفی "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

۹. خواجه‌ای بیشک ، م، ر. (۱۳۷۷)، "بررسی پارامتریک تراز پایه با درنظر گرفتن اثرات خاک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۱۰. کلاهدوزان ، س. (۱۳۸۷)، " تأثیر سختی سازهٔ زیرزمینی در تعیین تراز پایه با استفاده از تحلیل دینامیکی اندرکنش خاک و سازه "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

۱۱. نقی زاده، ع. (۱۳۹۱)، " ارزیابی تراز پایه در ساختمانهای دارای پی های غیرهمسطح با درنظر گرفتن اندرکنش خاک – پی- سازه "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

12. Dutta, S. C. and Roy, R. (2002), "A critical review on idealization and modeling for interaction among soil–foundation–structure system", Computers and Structures, **80**, pp 1579-1594.

13. Gazetas, G. (1991), "Formulas and Charts for Impedances of Surface and Embedded Foundations", Journal Foundation Engineering, ASCE, pp 1363-1381.

14. *Helwany*, S., "*Applied Soil Mechanics: with ABAQUS Applications*", John Wiley & Sons, Inc, 2007.

15. Das, B. M., "*Advanced Soil Mechanics*", Taylor & Francis, 3rd edition, New York, 2008.

16. Hognestad, E. A. (1951), "A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members", University of Illinois Engineering Experiment Station, Engineering Experimental Station, Bulletin Series No 399.

17. Salmon, C. G., Johnson J. E., and Malhas F. A., "*Steel Structures, Design and Behavior*", Prentice Hall, 5rd edition, 2008.