نهمین کنگره ملّی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

بررسی تراز پایه محافظه کارانه در ساختمان های دارای پی های غیر همسطح

وحید رضا کلات جاری [۱]، علی نقی زاده [۲]، رضا نادری [۳]، محمدحسین طالب پور [٤]

۱- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود

۳- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود

٤- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان

A.Naghizadeh.eng@gmail.com

خلاصه

چنانچه برای آنالیز یک سازه از روش استاتیکی معادل استفاده شود، تراز پایه از جمله پارامترهای مؤثر در تعیین نیروی لرزه‌ای وارد بر سازه خواهد بود. در سازه‌هایی که در آن‌ها فونداسیون در یک سطح اجرا می‌شود و هیچ گونه اندرکنشی بین دیوارهای سازه و خاک وجود ندارد، بدیهی است تراز پایه از روی فونداسیون سنجیده می‌شود؛ اما مهندسین معمولاً با ساختمان‌هایی سروکار دارند که در آن‌ها به دلیل وجود زیرزمین در قسمتی از سازه، فونداسیون در دو تراز متفاوت اجرا می گردد. در این خصوص پیشنهادی برای تعیین موقعیت تراز پایه در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای بخصوص آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مطرح نشده است. در برخی مواقع مشاهده می‌شود مهندسین به دلیل ناآگاهی از محل واقعی تراز پایه، در جهت اطمینان، تراز پایین-تر را به عنوان تراز پایه در نظر می گیرند. در این تحقیق به بررسی تراز پایه محافظه کارانه در این گونه ساختمان ها پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که تنها در یک حالت تراز روی فونداسیون (کف زیرزمین) می‌تواند به عنوان تراز محافظه‌کارانه محسوب شود و آن حالتی است که زمان تناوب سازه در محدوده ابتدایی طیف طرح واقع شود.

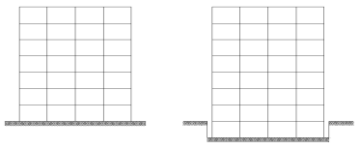
کلمات کلیدی: تراز پایه، تحلیل استاتیکی معادل، پی‌های غیرهمسطح.

۱. مقدمه

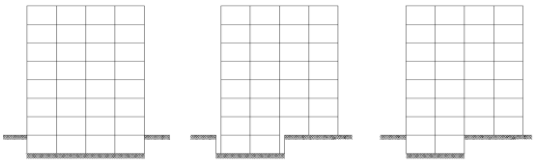
چنانچه برای آنالیز یک سازه از روش استاتیکی معادل استفاده شود، تراز پایه از جمله پارامترهای مؤثر، در تعیین نیروی لرزه ای وارد بر سازه خواهد بود. تعاریف مختلفی برای تراز پایه در آیین نامه های معتبر لرزه ای ارائه شده است. به عنوان یک تعریف کلی، تراز پایه را می توان ترازی در نظر گرفت که حرکت زمین لرزه، از آن تراز به سازه وارد می شود. در سازه های نشان داده شده در شکل (۱) که در آنها فونداسیون در یک سطح اجرا شده و هیچگونه اندرکنشی بین دیواره های سازه و خاک وجود ندارد، بدیهی است تراز پایه از روی فونداسیون شروع می شود؛ اما مهندسین معمولاً با ساختمان‌هایی سروکار دارند که در آنها به دلیل وجود زیرزمین در قسمتی از سازه، فونداسیون در دو تراز متفاوت اجرا می گردد (شکل (۲)). در این

[۱] دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود(V_Kalatjari@shahroodut.ac.ir)
[۲] کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود(A.Naghizadeh.eng@gmail.com)
[۳] استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود(RZ_Naderi@yahoo.com)
[٤] استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان(M.H.Talebpour@du.ac.ir)

حالت دیگر نمی توان با قطعیت محل تراز پایه را مشخص نمود. در این نوع ساختمان ها در صورتی که اطراف زیرزمین دیوار حایل احداث شده و خاک پشت دیوار کوبیده شود، محل ترازپایه به بالای دیوار حایل منتقل می شود [۱]؛ در غیر این صورت تراز پایه بسته به میزان اندرکنش بین خاک و دیواره زیرزمین و همچنین سایر پارامترهای سازه دارای اختلاف سطح، می‌تواند در ترازهای مختلف قرارگیرد. برای انجام محاسبات چنین سازه‌هایی یا باید از محلی واقعی تراز پایه آگاه بود و یا آنکه به طور محافظه کارانه، ترازی با بیشترین پاسخ را انتخاب کرد. تحقیقات مختلفی برای تعیین محل ترازپایه در سازه های نیمه مدفون که در آنها یک یا چند طبقه از ساختمان کاملاً درون زمین قرار گرفته، انجام شده است [۲- ۵]. اخیراً بر روی محل تراز پایه در سازه هایی که فونداسیون آنها در دو تراز متفاوت اجرا می شود نیز مطالعاتی صورت گرفته است [۶].



شکل ۱ – سازه های دارای تراز پایه معلوم



شکل ۲ – سازه های دارای تراز پایه نامعلوم

در حال حاضر قسمت وسیعی از ساختمان های موجود در کشور را ساختمان هایی با تعداد طبقات اندک تشکیل می دهند. از آنجا که مهندسان در طراحی این نوع ساختمان ها استفاده از محل تراز پایه محافظه کارانه را می پسندند؛ در این تحقیق به بررسی محل تراز پایه محافظه کارانه در ساختمان هایی با پی های غیر همسطح پرداخته شده است.

۲. کاربرد ترازپایه

برای دانستن کاربرد تراز پایه، لازم است روند محاسبه نیروی زلزله مورد بررسی قرار گیرد. یکی از کاربردی ترین روش های تخمین نیروی لرزه ای وارد به سازه، روش استاتیکی معادل می باشد که در آن نیروی زلزله معادل یک نیروی افقی در نظر گرفته می شود. این روش طی نزدیک به یک قرن شاهد تحولات مختلفی بوده است، اما اساس ساده آن همواره حفظ شده و هنوز هم در اکثر آیین نامه ها روش استاتیکی معادل بعنوان اصلی ترین روش بارگذاری لرزه ای محسوب می شود [۷]. در صورتی که نیروی زلزله توسط روش استاتیکی معادل تخمین زده شود، می بایست در ابتدا دوره تناوب سازه با استفاده از روابط تجربی و یا روابط دقیق ارائه شده در آیین نامه محاسبه گردد [۱]:

الف) برای ساختمان هایی با سیستم قاب خمشی
چنانچه جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب ها نباشند:

قاب های فولادی

$$T = 0.08H^{3/4} \qquad (1)$$

قاب های بتن آرمه

$$T = 0.07H^{3/4} \qquad (2)$$

چنانچه جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب ها باشند؛ مقدار T برابر ۸۰ درصد مقادیر روابط (۱) و (۲) درنظر گرفته می شود.

ب) برای ساختمان هایی با سایر سیستم ها، در تمام موارد وجود یا عدم وجود جداگرهای میانقابی:

$$T = 0.05H^{3/4} \qquad (3)$$

که در روابط فوق H ، ارتفاع ساختمان بر حسب متر از تراز پایه است و در محاسبه آن، ارتفاع خرپشته، در صورتی که وزن آن بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، نیز باید منظور گردد.

در ادامه خاک منطقه طبقه بندی شده و بر اساس تیپ خاک و دوره تناوب سازه، ضریب بازتاب ساختمان B محاسبه می شود. ضریب A با توجه به خطر لرزه خیزی منطقه، ضریب I بر اساس اهمیت ساختمان مورد نظر و در انتها ضریب R با توجه به شکل پذیری سازه تعیین می گردند. سپس ضریب زلزله با استفاده از رابطه شماره (۴) بدست می آید:

$$C = \frac{ABI}{R} \qquad (4)$$

و در انتها برش پایه توسط رابطه (۵) محاسبه می شود:

$$V = C.W \qquad (5)$$

در رابطه (۵) V نیروی زلزله، W وزن ساختمان و C ضر یب زلزله می باشند. اگر نیروی ناشی از زلزله توسط روش استاتیکی معادل تعیین شود، در این صورت باید فرم مناسبی جهت توزیع نیروی زلزله بین اجزای سازه ای در پلان و ارتفاع پیشنهاد کرد. اغلب آیین نامه های ساختمانی از جمله آیین نامه ۲۸۰۰ رابطه زیر را برای توزیع برش پایه در ارتفاع پیشنهاد می کنند:

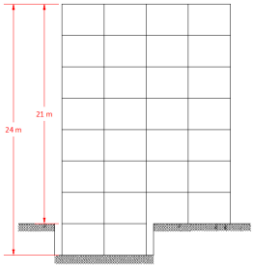
$$F_i = (V - F_t)\frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^{n} w_j h_j} \qquad (6)$$

در رابطه (۶) F_i نیروی جانبی، h_i ارتفاع از تراز پایه و w_i وزن سقف و قسمتی از بار زنده و نصف وزن دیوارها و ستون هایی که در بالا و پایین سقف قرار گرفته اند، برای طبقه iام می باشد. n تعداد طبقات ساختمانی از تراز پایه به بالا و F_t اثر شلاقی در تراز سقف طبقه nام است. طبق این رابطه نیروی ناشی از زلزله در تراز هر طبقه، به جرم طبقه و ارتفاع آن از تراز پایه بستگی دارد.

همانطور که ملاحظه می شود محل تراز پایه نه تنها در تعیین دوره تناوب سازه بلکه در توزیع برش پایه در طبقات نیز مشارکت می نماید. تراز پایه در آیین نامه های مختلفی همچون آئین نامه ASCE و آیین نامه UBC نیز به صورت مستقیم و غیرمستقیم در محاسبه نیروی وارد به طبقات اثرگذار است. در صورتی که برای تحلیل لرزه ای ساختمان از تحلیل دینامیکی نیز استفاده شود؛ دانستن محل تراز پایه جهت مقیاس کردن برش پایه و یا محاسبه طیف طرح لازم است. با توجه به اهمیت تراز پایه در محاسبه نیروی زلزله وارد بر ساختمان، متأسفانه در آیین نامه های لرزه ای پیشنهادی برای تعیین این تراز در ساختمان هایی با پی های غیرهمسطح و یا ساختمان های نیمه مدفون آورده نشده است؛ بنابراین می توان اذعان نمود، تحقیقاتی برای تعیین ترازپایه در سازه های مذکور امری مهم و ضروری است. بر این اساس در این مقاله به ارزیابی تراز پایه محافظه کارانه در ساختمانهای دارای پی های غیرهمسطح پرداخته شده است.

۳.معرفی مدل ها و ساختگاه

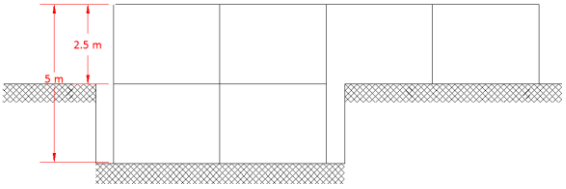
برای انجام این تحقیق از سه مدل مختلف استفاده شده است. مدل های شماره (۱) و (۲) یک ساختمان ۷ طبقه با قاب خمشی فولادی می باشد که در آن ۶۰ درصد ستون ها وارد زیرزمین شده است (شکل (۳)). در مدل شماره (۱) سازه بر روی خاک تیپ II و در مدل شماره (۲) سازه بر روی خاک تیپ IV آیین نامه ۲۸۰۰ قرار گرفته است. مشخصات مربوط به مدل های فوق را می توان در جداول شماره (۱) و (۲) مشاهده نمود.



شکل ۳ – ساختمان ۷ طبقه در حالت ورود ٦۰ درصد ستون ها به زیرزمین

جدول ۱- مشخصات مربوط به مدل شماره (۱)			جدول ۲- مشخصات مربوط به مدل شماره (۲)		
زمین نوع II	T.	۰,۱	زمین نوع IV	T.	۰,۱۵
	Ts	۰,۵		Ts	۱
	S	۱,۵		S	۱,۷۵
خطر لرزه ای بسیار زیاد	A	۰,۳۵	خطر لرزه ای بسیار زیاد	A	۰,۳۵
مسکونی (اهمیت متوسط)	I	۱	مسکونی (اهمیت متوسط)	I	۱
قاب خمشی فولادی (متوسط)	R	۷	قاب خمشی فولادی (متوسط)	R	۷

مدل شماره (۳) یک سازه ۱ طبقه است که در آن مساحت زیرزمین نصف مساحت پلان و ۶۰ درصد ستون ها را شامل می شود (شکل (۴)).
جدول شماره (۳) مشخصات سازه و خاک محل ساخت را برای این مدل نشان می دهد.



شکل ٤ – ساختمان ۱ طبقه در حالت ورود ٦۰ درصد ستون ها به زیرزمین

جدول (۳) مشخصات مربوط به مدل شماره (۳)		
زمین نوع II	T.	۰,۱
	Ts	۰,۵
	S	۱,۵
خطر لرزه ای بسیار زیاد	A	۰,۳۵
مسکونی (اهمیت متوسط)	I	۱
قاب خمشی فولادی (متوسط)	R	۷

۴.روش انجام آنالیز

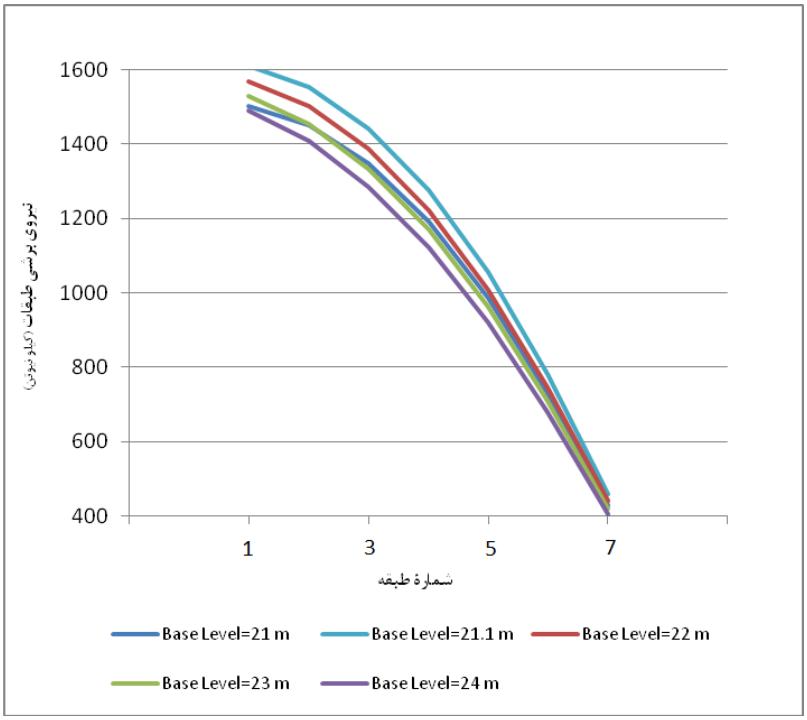
برای محاسبه تراز محافظه کارانه در ساختمان های دارای پی های غیرهمسطح یا ساختمان های دارای زیرزمین، از تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده است. با توجه به آنکه اولین خروجی روش استاتیکی معادل برش طبقات است، لذا به نظر می رسد این خروجی مناسب ترین پاسخ برای مقایسه باشد. از این رو در این تحقیق تراز پایه محافظه کارانه به ترازی گفته می شود که با در نظر گرفتن آن به عنوان تراز پایه؛ بیشترین برش در طبقات بدست آید. برای محاسبه این محل ابتدا یک تراز به عنوان تراز پایه فرض شده است، در ادامه با داشتن تراز پایه، برش طبقات با استفاده از تحلیل استاتیکی معادل محاسبه می شود. سپس تراز پایه را جابجا و مجدداً این روند را با فرض تراز پایه جدید تکرار کرده و برش طبقات برای هر حالت بدست می آید. در انتها در هر ترازی که برش طبقات بیشترین مقدار را داشته باشد، آن تراز را به عنوان تراز پایه محافظه کارانه معرفی می شود.

۵.بررسی نتایج عددی

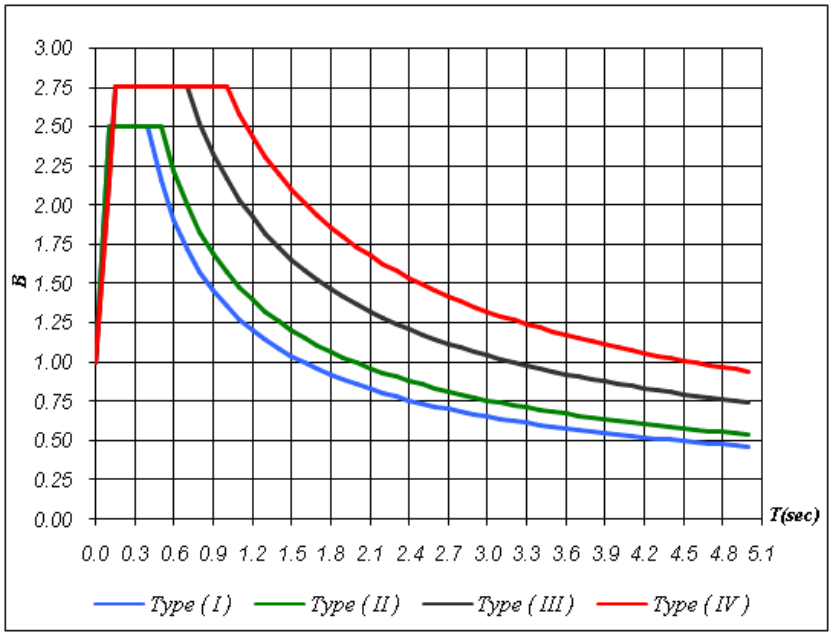
در این قسمت با بررسی مدل ها آشکار خواهد شد که با جابجا شدن و حرکت تراز پایه مابین فونداسیون و سقف زیرزمین، نیروی برشی طبقات چگونه تغییر خواهد کرد. شکل (۵) میزان برش طبقات را با تغییر در محل تراز پایه برای مدل شماره (۱) نشان می دهد. با مشاهده شکل به راحتی می توان دریافت بر خلاف حالتی که تصور می شد با افزایش ارتفاع تراز پایه و نزدیک شدن آن به کف زیرزمین نیروی برشی طبقات بیشتر می شود؛ بالعکس هر چه تراز پایه به کف زیرزمین نزدیکتر می شود نیروی برشی طبقات کاهش می یابد. علّت کاهش نیروی برشی طبقات را می توان در دو عامل خلاصه نمود:

۱. کاهش میزان نیروی برش پایه به علت کاهش ضریب بازتاب زلزله. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود طیف بازتاب از سه قسمت تشکیل شده است که در قسمت ابتدایی با افزایش دوره تناوب سازه ضریب بازتاب B افزایش، در قسمت میانی بدون تغییر و در قسمت انتهایی طیف که شامل یک منحنی با شیب منفی است؛ با افزایش دوره تناوب سازه ضریب بازتاب B کاهش می یابد. طبق روابط ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ دوره تناوب سازه با ارتفاع تراز پایه رابطه مستقیم دارد. در صورتی که دوره تناوب سازه در ناحیه منحنی شکلِ نمودار طیف بازتاب قرار گیرد، همواره با افزایش ارتفاع تراز پایه، ضریب بازتاب زلزله کاهش می یابد. با کاهش ضریب بازتاب، از مقدار برش پایه و به دنبال آن از نیروی برشی طبقات کاسته می شود.

۲. به ازای مقادیر یکسان V ، با افزایش مقدار h، مقدار F_i در اکثر طبقات فوقانی کاهش می یابد؛ کاهش نیروی وارد به طبقات فوقانی، در نهایت برش تمامی طبقات را کاهش می دهد. به عبارت دیگر می توان گفت با افزایش ارتفاع تراز پایه h، ضریب $\frac{w_i h_i}{\sum w_j h_j}$ همواره باعث کاهش برش طبقات می شود.



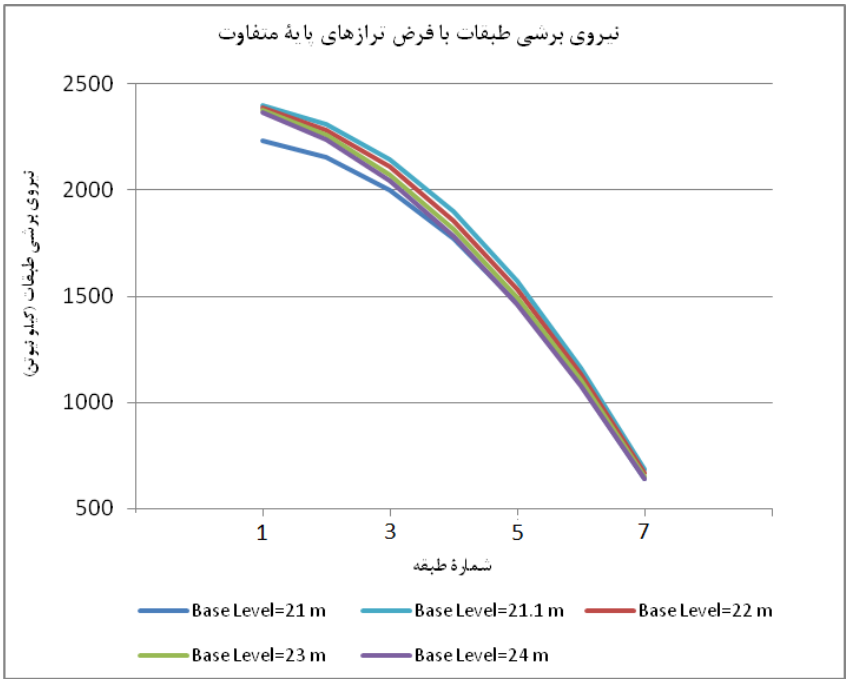
شکل ۵ – نیروی برشی طبقات بالای سطح زمین برای مدل شماره (۱)



شکل ٦ – طیف های بازتاب آیین نامه ۲۸۰۰ برای چهار نوع خاک – خطر لرزه خیزی زیاد

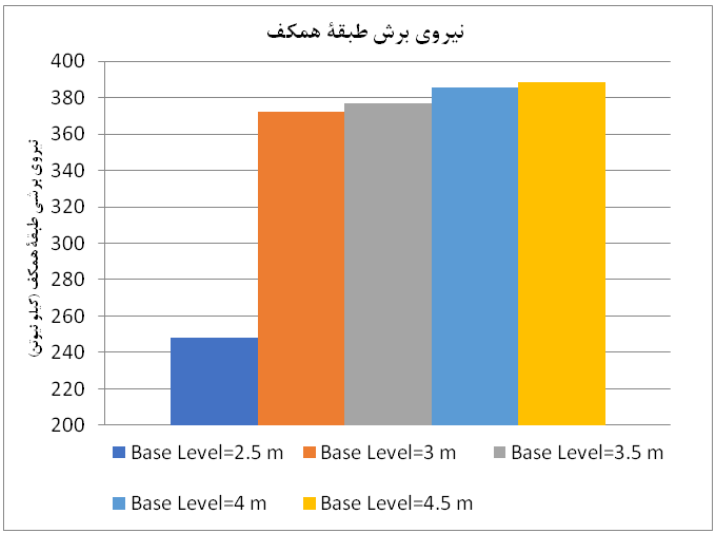
با مشاهده شکل (۵) می توان دریافت هنگامی که تراز پایه دقیقاً هم تراز سقف زیرزمین در نظر گرفته می شود یک حرکت ناهماهنگ در نمودار ایجاد شده و برش طبقه ناگهان کاهش پیدا می کند. علّت این کاهش آن است که وقتی تراز پایه از روی سقف زیرزمین محاسبه می شود فرض می شود که نوسان سازه از تراز سقف زیرزمین شروع شده و لذا منطقی است که جرم سقف زیرزمین از فرمول محاسبه و توزیع برش پایه حذف شود (تعریف تراز پایه)؛ با حذف این جرم از محاسبات، نیروی برشی طبقات کاهش پیدا می کند و برش طبقه همکف با حالتی که در آن تراز پایه بر روی فونداسیون قرار دارد برابر می شود. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران در مواردی که اطراف زیرزمین دیوار حایل بتن مسلح وجود داشته باشد و این دیوارها با سازه ساختمان یکپارچه ساخته شوند، به شرط کوبیده شدن خاک اطراف ساختمان می توان تراز پایه را نزدیکترین کف ساختمان به زمین کوبیده شده در نظر گرفت. این نتیجه می تواند اجرای دیوار حایل و کوبیدن خاک پشت آن را جهت بالا آوردن تراز پایه به تراز سقف زیرزمین کاملاً منطقی جلوه دهد. از این رو یکی از تصمیماتی که در این شرایط می توان گرفت اجرای دیوار حایل در اطراف زیرزمین و کوبیدن خاک پشت آن است. با این کار تراز پایه به تراز سقف زیرزمین منتقل شده و نیروی برشی طبقات نسبت به حالات دیگر مقداری کاهش پیدا می کند. در صورتی که نخواهیم از دیوار حایل استفاده کنیم تراز پایه محافظه کارانه را می توان ترازی در نزدیکی سقف زیرزمین در نظر گرفت؛ به گونه ای که در این تراز سقف زیرزمین نیز نوسان کرده و در محاسبه نیروی زلزله مشارکت می کند.

اکنون با ثابت نگه داشتن هندسه مدل و تنها تغییر خاک محل ساختگاه از تیپ II به تیپ IV ، حالت دوم مورد بررسی قرار می گیرد. با قرارگیری سازه بر زمین نوع IV ضریب بازتاب سازه در محدوده میانی طیف بازتاب (قسمت افقی) قرار می گیرد و با تغییر ارتفاع ترازپایه از ۲۱ به ۲۴ متر ضریب بازتاب B همواره برابر ۲/۷۵ می باشد. در این حالت نیز با افزایش ارتفاع ترازپایه و نزدیک شدن آن به کف زیرزمین از مقدار نیروی برشی طبقات، به مقدار اندکی کاسته می شود. همانطور که در شکل (۷) ملاحظه می شود میزان تغییرات نیروی برشی طبقات نسبت به حالتی که سازه در محدوده منحنی شکل طیف بازتاب قرار داشت کمتر شده است و این بدان علت است که برای هر چهار تراز نیروی برش پایه یکسان است و تنها عاملی که باعث کاهش نیروی برشی طبقات می شود؛ کم شدن حاصل رابطه خطی توزیع نیرو در ارتفاع، با افزایش ارتفاع تراز پایه می باشد. در این حالت هنگامی که تراز پایه از روی سقف زیرزمین محاسبه می شود نیروی برشی طبقات به طور چشمگیری نسبت به سایر حالات قرارگیری تراز پایه کاهش می یابد. در این حالت نیز مشاهده می شود اجرای دیوار حایل و کوبیدن خاک پشت آن را جهت بالا آوردن تراز پایه به تراز سقف زیرزمین کاملاً منطقی است. با بررسی مدل شماره (۲) مشخص شد برش طبقات با تغییر ارتفاع تراز پایه مابین سقف و کف زیرزمین تغییر چشمگیری ندارد، با این وجود در صورت عدم استفاده از دیوار حایل اطراف زیرزمین، بهتر است تراز پایه محافظه کارانه را همانند حالت قبل در نزدیکی سقف زیرزمین در نظر گرفت به گونه ای که در این تراز سقف زیرزمین نیز نوسان کرده و در محاسبه نیروی زلزله مشارکت کند.



شکل ۷ – نیروی برشی طبقات بالای سطح زمین برای مدل شماره (۲)

تنها در یک حالت با افزایش ارتفاع تراز پایه و نزدیک شدن آن به کف زیرزمین نیروی برشی طبقات افزایش می یابد و آن حالتی است که سازه در محدوده ابتدایی طیف طرح واقع شود. اگر برای مدل شماره (۳) نیروی برشی طبقه همکف برای حالت های مختلف قرارگیری تراز پایه ترسیم شود مشاهده می شود که با افزایش ارتفاع تراز پایه و نزدیک شد آن به کف زیرزمین نیروی برش طبقه نیز افزایش می یابد (شکل (۸)). بدیهی است علّت افزایش برش طبقه همراه با افزایش ارتفاع تراز پایه، قرارگیری دوره تناوب ساختمان در محدوده بالارونده طیف طرح است. در واقع با نزدیک شدن تراز پایه به کف زیرزمین، عامل اولِ مؤثر بر نیروی برشی طبقات (افزایش مقدار ضریب بازتاب) باعث افزایش برش طبقه شده و اثر آن بیشتر از اثر کاهشی عامل دوم (رابطه توزیع نیرو در ارتفاع ساختمان) می باشد و در نهایت نیروی برشی طبقات افزایش می یابد. همانطور که مشاهده می شود در این حالت نیز در صورت اجرای دیوار حایل در اطراف زیرزمین و کوبیدن خاک پشت آن (انتقال تراز پایه به تراز سقف زیرزمین)، به طرز چشمگیری می توان نیروی برشی طبقات را کاهش داد.



شکل ۸ – نیروی برشی طبقه همکف برای مدل شماره (۳)

۶. نتیجه گیری

۱. در شرایطی که اطراف زیرزمین از دیوار حایل استفاده و خاک پشت آن را نیز کوبیده شود، تراز پایه به تراز سقف زیرزمین منتقل می شود. با این کار علاوه بر آنکه محل تراز پایه مشخص است، نیروی طرح نیز تا حدودی کاهش داده شده و سازه سبک تر طراحی می شود. کاهش برش طبقه با اجرای دیوار حایل در شرایطی که سازه در محدوده افقی و صعودی طیف طرح قرار دارد چشمگیرتر است.

۲. در شرایطی که از دیوار حایل استفاده نشود؛ تراز پایه بسته به میزان اندرکنش بین خاک و دیواره زیرزمین و همچنین سایر پارامترهای سازه دارای اختلاف تراز، می تواند در ترازهای مختلف قرار گیرد؛ که در این حالت یا باید از محل واقعی تراز پایه آگاه بود و یا اینکه به طور محافظه کارانه بحرانی ترین حالت انتخاب شود. برای استفاده از تراز پایه محافظه کارانه به ترتیب زیر عمل می شود:

- در صورتی که سازه در محدوده افقی یا منحنی شکل طیف طرح قرار گیرد؛ بهتر است به شکل محافظه کارانه تراز پایه را کمی پایین تر از سقف زیرزمین در نظر گرفت؛ به گونه ای که در این تراز سقف زیرزمین نوسان کرده و جرم آن در محاسبه نیروی زلزله دخالت داده شود.
- در شرایطی که سازه در محدوده صعودی طیف طرح قرار گیرد؛ بهتر است به شکل محافظه کارانه تراز پایه را بر روی فونداسیون (کف زیرزمین) در نظر گرفت و برش طبقات را محاسبه و سازه را طراحی کرد.

۷.مراجع

۱. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ - ویرایش سوم.

۲. خواجه ای بیشک، محمد رضا؛ "بررسی پارامتریک تراز پایه با درنظر گرفتن اثرات خاک"، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۷.

۳. مدرس، لطفعلی؛ "بررسی تراز مبنای ارتعاش سازه های نیمه مدفون بهنگام زلزله"، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۶۸.

۴. خان محمدی، محمد؛ "بررسی تراز پایه در ساختمان های نیمه مدفون با توجه به تأثیر اندرکنش خاک- سازه و وجود زلزله به صورت پدیده تصادفی"، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.

۵. کلاهدوزان، سامی؛ "تأثیر سختی سازه زیرزمینی در تعیین تراز پایه با استفاده از تحلیل دینامیکی اندرکنش خاک و سازه"، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

۶. نقی زاده، علی؛ " ارزیابی تراز پایه در ساختمانهای دارای پی های غیرهمسطح با درنظر گرفتن اندرکنش خاک – پی- سازه"، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود، ۱۳۹۱.

۷. مقدم ، ح.، (۱۳۸۷)، " مهندسی زلزله: مبانی و کاربرد ،" ، تهران.