بررسی تراز پایه در ساختمان‌های مختلف و عوامل موثر بر آن

محسن تهرانی‌زاده[۱]، محمد صادق برخورداری*[۲]، سید وحید سپهر موسوی[۳]

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

تراز پایه همواره از جمله پارامترهای موثر در تعیین نیروی لرزه‌ای و طراحی مقدماتی مقاطع سازه بوده است. مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ در مواردی که در محیط زیرزمین، دیوارهای بتن مسلح اجرا شده به صورت یکپارچه با سازه وجود دارد و زمین اطراف کوبیده و متراکم است، ترازپایه در بالای دیوار زیرزمین در نظر گرفته می‌شود. در تعیین سطح تراز پایه حرکت افقی زمین دارای اهمیت بسیاری است. معمولا حرکت افقی زمین به وسیله برش و اصطکاک بین کناره‌های دیوار زیرزمین و فونداسیون و همچنین اصطکاک بین سطح زیرین دال و فونداسیون‌های کم عمق با خاک، به سازه منتقل می‌شود. حالت‌های مختلفی مانند پی‌های غیر همسطح سازه‌ها، نوع خاک اطراف ساختمان، اندرکنش خاک با سازه، نوع فونداسیون و غیره بر روی محل تراز پایه تاثیر گذار می‌باشند. عواملی مانند وجود بازشو در دیوار حائل زیرزمین، تعداد طبقات زیرزمین و مشخصات خاک اطراف سازه نیز در تعیین موقعیت تراز پایه نقش دارند. با وجود اینکه در آیین نامه‌های مختلف برای تراز پایه تعاریفی وجود دارد، تعاریف گاهی درست فهمیده نمی‌شوند و گاهی اوقات توسط مهندسین به غلط تفسیر می‌شوند. هنگامی که شرایط سایت کمی با آنچه به طور معمول وجود دارد فرق می‌کند، برای مثال ساختمان‌هایی که در شیب قرار دارند و یا سازه‌هایی که بر روی شمع قرارگرفته‌اند، اغلب برای مهندسان سوال پیش می‌آید که در این شرایط خاص تراز پایه در چه محلی قرار دارد. در این مقاله مطالعات انجام‌شده در سال‌های گذشته پیرامون تراز پایه، بیان شده و مورد بررسی قرارگرفته است.

کلمات کلیدی: تراز پایه، اندرکنش خاک و سازه، پی‌های غیر همسطح، ساختمان‌های بلند، زیرزمین.

***نویسنده مسئول:** **محمد صادق برخورداری**

پست الکترونیکی: m.s.barkhordari@aut.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۴

DOI: 10.22065/jsce.2017.87639.1213

شناسه دیجیتال

http://dx.doi.org/jsce.2017.87639.1213

۱- مقدمه

کلی در مقاله خود علت گسترده بودن معنی تراز پایه را عوامل مختلف تاثیرگذار بر روی محل آن می‌داند. تعدادی از عوامل موثر بر تراز پایه عبارت‌اند از [۱]:

۱- موقعیت سطح زمین نسبت به تراز طبقات

۲- خصوصیات خاک مجاور ساختمان

۳- وجود بازشو در دیوار حائل

۴- موقعیت و سختی المان‌های عمودی مقاوم در برابر زلزله

۵- موقعیت و محل جداسازهای لرزه‌ای

۶- ارتفاع زیرزمین

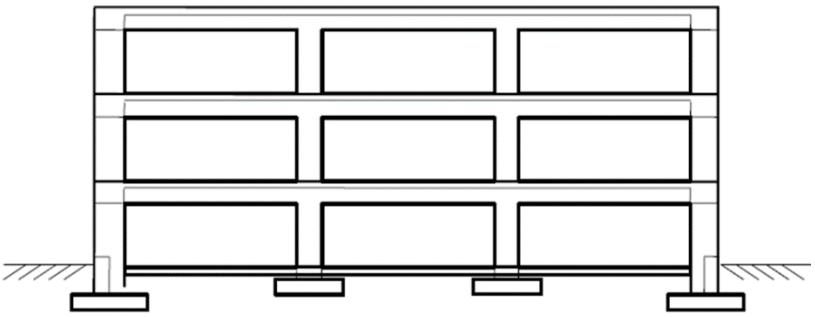
۷- رفتار دیوارهای زیرزمین

۸- مجاورت ساختمان‌های همسایه

۹- شیب سطح زمین

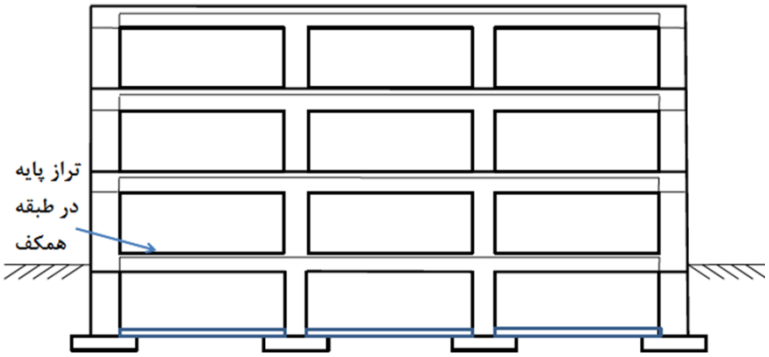
شمع‌ها به دلیل این که با حرکت زمین به صورت جانبی حرکت میکنند و به مقدار کمی در سطحی که حرکت افقی زمین‌لرزه به ساختمان منتقل می‌شود تحت تاثیر قرار می‌گیرند، از عوامل تاثیرگذار بر محل تراز پایه نیستند [۱].

برای ساختمان‌هایی که زیرزمین ندارند (شکل ۱) به شرط اینکه خاک اطراف ساختمان از مقاومت و تراکم مناسبی برخوردار باشد و المان‌های قائم سیستم مقاوم لرزه‌ای در آن‌ها روی شالوده داخلی یا کلاهک شمع و یا روی پی‌های دیواری خارجی قرار دارد، تراز پایه بالای سطح فونداسیون در نظر گرفته می‌شود [۱].



شکل۱: تراز پایه در ساختمان‌های بدون زیرزمین [۱].

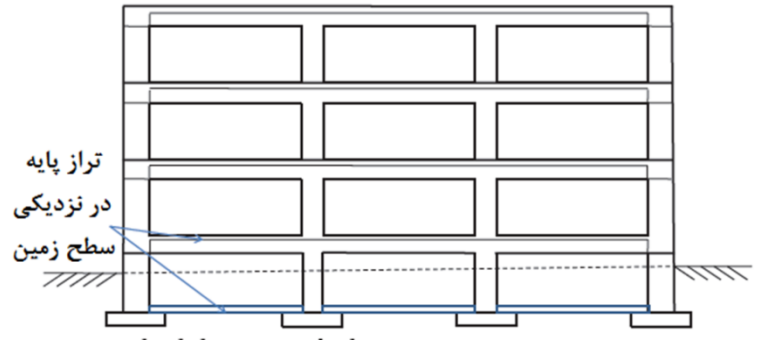
کِلی در مورد ساختمان‌های دارای زیرزمین (شکل ۲) بیان می‌کند که بهتر است تراز پایه در تراز طبقه‌ای در نظر گرفته شود که نزدیک به سطح زمین است. برای اینکه بتوان تراز پایه را در نزدیکی سطح زمین در نظر گرفت باید خاک اطراف زیرزمین سخت و متراکم باشد تا شکل‌گیری و انتقال نیروی لرزه‌ای به ساختمان در تمام ارتفاع دیوار زیرزمین رخ دهد. برای ساختمان‌های بلند و سنگین و یا درجایی که خاک سایت نرم می‌باشد، باید خاک اطراف به اندازه کافی متراکم گردد تا در زمان زلزله انتقال نیروها به صورت مناسب صورت گیرد [۱].



شکل۲ : تراز پایه در ساختمان‌های دارای زیرزمین [۱].

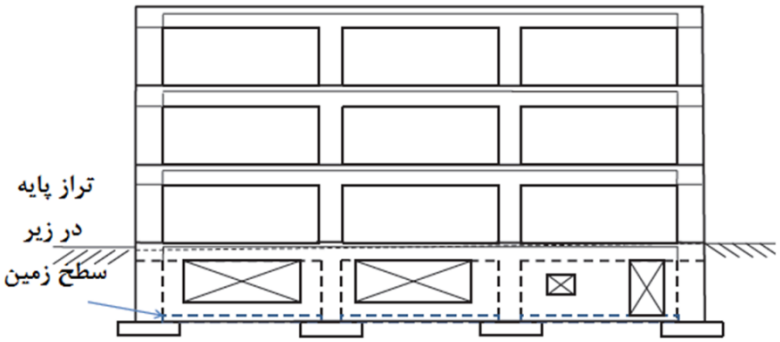
در آیین نامه ASCE ذکر شده‌است اگر تراز پایه در نزدیکی سطح زمین در نظر گرفته شود، خاک پیرامونی ساختمان نباید در بیشینه زلزله محتمل خاصیت روانگرایی داشته باشد. همچنین نباید از نوع خاک‌های رس حساس یا خاک سیمانی ضعیف مستعد فروریزش در بیشینه زلزله باشد. اگر خاک شرایط ذکرشده را نداشته باشد، تراز پایه بر روی فونداسیون برده می‌شود [۱].

گاهی اوقات ممکن است تراز پایه، بالاتر از سطح زمین در نظر گرفته‌شده باشد (شکل ۳). در این حالت دیوارهای چهار طرف ساختمان باید تا محلی که به عنوان تراز پایه در نظر گرفته می‌شود ادامه پیدا کنند. اینکه چه زمانی می‌توان تراز پایه را در بالای سطح زمین در نظر گرفت با توجه به قواعد و اصول ذکرشده در آیین نامه ASCE7، برای روش نیروی جانبی دو مرحله‌ای، تعیین می‌شود. مفهوم و اندیشه قرار دادن تراز پایه در بالای سطح زمین اغلب برای سازه‌های کوچک، مانند ساختمان‌های بنایی کوچک و سازه‌های قابی شکل سبک که بر روی زمین سخت قرارگرفته‌اند، قابل استفاده می‌باشد [۱].



شکل۳ : تراز پایه در بالای سطح زمین [۱].

اگر تراز پایه در مجاورت سطح زمین در نظر گرفته‌شده باشد، در این حالت سختی جانبی دیوارهای زیرزمین باید از سختی المان‌های قائم سیستم مقاوم لرزه‌ای بیشتر باشد. حالتی که شرایط فوق را ارضا نکند زمانی اتفاق می‌افتد که دیوارهای زیرزمین تا بالای سطح زمین آمده‌اند، اما به دلیل نیاز به در پنجره و... در آن‌ها بازشو قرار داده‌شده باشد (شکل ۴). اگر سختی جانبی دیوارهای زیرزمین از سختی المان‌های قائم سیستم مقاوم لرزه‌ای بیشتر نباشد، تراز پایه باید بر روی فونداسیون در نظر گرفته شود. همچنین اگر المان‌های قائم سیستم مقاوم لرزه‌ای بر روی دیوارهای زیرزمین قرارگرفته باشند و تعداد بازشوها و سطح آن‌ها در دیوارهای زیرزمین زیاد باشد، تراز پایه در زیر بازشوها در نظر گرفته می‌شود [۱].



شکل۴ : تراز پایه در زیر بازشوهای دیوار زیرزمین [۱].

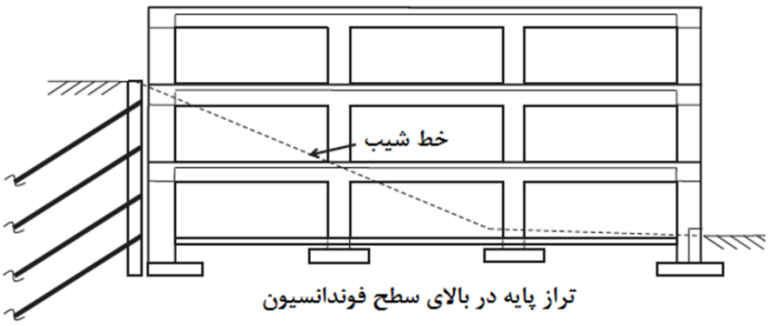
شرایط دیگری وجود دارد که ممکن است سبب قرارگیری تراز پایه در زیر سطح زمین برای ساختمان‌های دارای زیرزمین شود. ازجمله [۱]:

۱- هنگامی که دیافراگم کف نزدیک و زیر سطح زمین، به دیوار فونداسیون متصل نیست.

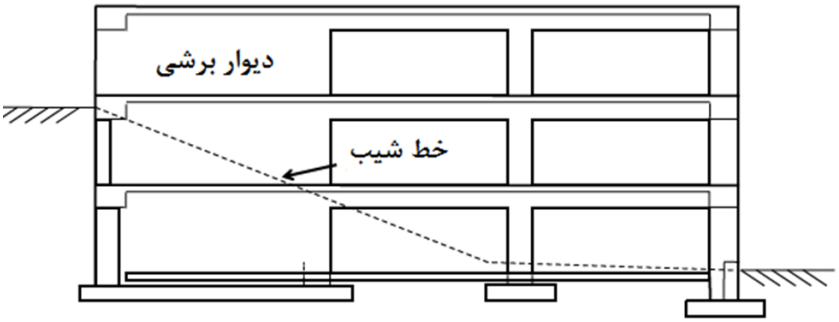
۲- هنگامی‌که دیافراگم‌های کف بخصوص دیافراگم نزدیک به سطح زمین انعطاف‌پذیر هستند.

۳- هنگامی‌که امکان احداث ساختمان در مجاورت سازه وجود داشته باشد.

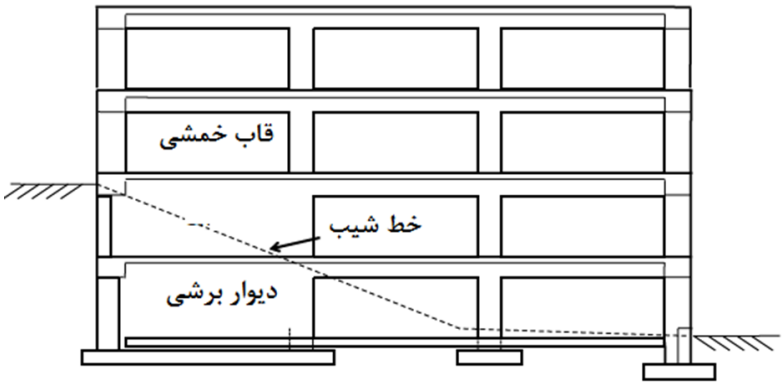
ساختمان‌هایی که بر روی زمین شیبدار قرارگرفته‌اند با توجه به شرایط مختلفی که می‌توانند داشته باشند، محل تراز پایه برای آن‌ها قابل‌بحث است. برای مثال ساختمانی که خاک اطراف آن به کمک دیوار حائل مهار شده است (شکل ۵) و بین دیوار و ساختمان فاصله وجود دارد، چون در این حالت سیستم مقاوم لرزه‌ای نباید در مقابل فشار جانبی خاک مقاومت کند، بنابراین ساختمان به دیوار وابسته نیست و تراز پایه باید در پایین‌ترین سطح زمین در نظر گرفته شود. برای ساختمان‌هایی که سیستم مقاوم لرزه‌ای آن‌ها فشار جانبی خاک را نیز تحمل می‌کند مانند شکل‌های ۶ و ۷، تراز پایه سطح زمین آن طرف از ساختمان می‌باشد که پایین‌تر قرار دارد. برای چنین سازه‌هایی بهتر است سیستم مقاوم لرزه‌ای آن قسمت از ساختمان که زیر بالاترین تراز سطح زمین قرار دارد (شکل ۷)، سخت‌تر و مقاوم‌تر از قسمت بالای ساختمان باشد [۱].



شکل۵ : ساختمان در زمین شیب‌دار و دیوار حائل جدا از ساختمان [۱].



شکل۶ : ساختمان که سیستم مقاوم لرزه‌ای آن فشار جانبی خاک را نیز تحمل می‌کند [۱].



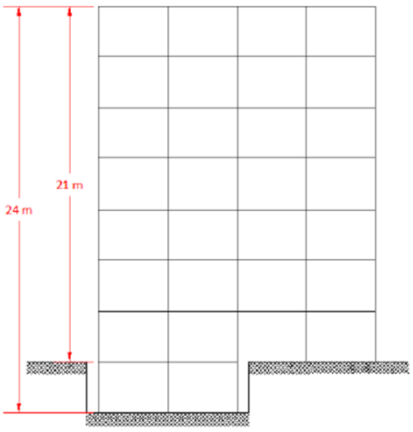
شکل۷ : سیستم مقاوم لرزه‌ای مقاوم در برابر فشار جانبی خاک (قرارگیری دیوار برشی در سمت چپ) [۱].

۲- مطالعات پیشین

در این بخش تحقیقات و مطالعات انجام‌شده در سال‌های گذشته پیرامون تراز پایه، مورد بررسی قرارگرفته است.

شهرآبادی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در مقاله خود به بررسی اثرات انواع سیستم‌های سازه‌ای مختلف و تغییرات تراز پایه در محاسبه برش پایه ساختمان پرداخته‌اند و بیان می‌کنند که بالا بردن تراز پایه ساختمان در سازه‌های بلند، باعث کاهش قابل توجه برش پایه ساختمان به دلیل تجمیع وزن زیاد سازه در طبقات زیرزمین خواهد شد و در نتیجه به اقتصادی شدن طرح نیز کمک قابل توجهی می‌نماید [۲].

نقی‌زاده در سال ۱۳۹۱ با ارزیابی تراز پایه در ساختمان‌های دارای پی‌های غیر همسطح با در نظر گرفتن اندرکنش خاک - پی – سازه، ابتدا به بررسی صحت نظریه انتخاب تراز پایین‌تر به عنوان تراز محافظه کارانه می‌پردازد. وی اشاره می‌کند که بعضی از مهندسین در مواجهه با ساختمان‌هایی که قادر به تعیین محل دقیق تراز پایه آن‌ها نیستند، تراز پایین‌تر را به عنوان تراز بحرانی‌تر انتخاب می‌کنند. مهندسین در برخورد با این مسائل تصور می‌کنند هرچه تراز پایه، پایین‌تر انتخاب شود سازه با نیروی بحرانی‌تری روبرو می‌شود. وی برای نشان دادن غلط بودن این فرض، یک ساختمان هشت طبقه (شکل ۸) با قاب خمشی فولادی که ۶۰ درصد ستون‌های آن وارد زیرزمین شده است را در نظر می‌گیرد [۳].



شکل۸ : ساختمان هشت طبقه در حالت ورود ۶۰ درصد ستون‌ها به زیرزمین [۳].

نقی‌زاده با بررسی ساختمان ذکرشده نتیجه‌گیری نمود که کاهش و یا افزایش برش پایه علاوه بر ارتفاع سازه، به نوع خاک و ناحیه‌ای که دوره تناوب سازه در طیف بازتاب قرار می‌گیرد نیز بستگی دارد. طیف بازتاب آیین نامه ۲۸۰۰ از سه قسمت تشکیل‌شده است که در قسمت ابتدایی با افزایش دوره‌ی 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 کاهش می‌یابد. طبق روابط ارائه‌شده در آیین نامه ۲۸۰۰ دوره تناوب سازه با ارتفاع از محل تراز پایه رابطه مستقیم دارد. در صورتی که با تغییر ارتفاع تراز پایه، دوره تناوب سازه در ناحیه منحنی شکل نمودار طیف بازتاب جابه‌جا شود، همواره با افزایش ارتفاع تراز پایه، ضریب بازتاب زلزله کاهش پیدا می‌کند. با کاهش ضریب بازتاب، برش پایه کاهش و به دنبال آن نیروی برشی طبقات کاهش می‌یابد؛ بنابراین تنها در یک حالت با افزایش ارتفاع تراز پایه و نزدیک شدن آن به کف زیرزمین نیروی برشی طبقات افزایش می‌یابد و آن حالتی است که سازه در محدوده‌ی ابتدایی طیف طرح واقع شود [۳].

به طور کلی در باب تراز پایه محافظه‌کارانه این‌گونه می‌توان نتیجه‌گیری نمود [۳]:

- در شرایطی که اطراف زیرزمین از دیوار حائل استفاده کرده و خاک پشت آن را بکوبیم، تراز پایه به تراز سقف زیرزمین منتقل می‌شود. با این کار علاوه بر آنکه از محل تراز پایه اطلاع کامل داریم، نیروی طرح را نیز تا حدودی کاهش داده‌ایم و سازه سبک‌تر طراحی می‌شود. کاهش برش طبقه با اجرای دیوار در شرایطی که سازه در محدوده افقی و بالارونده طیف طرح قرار دارد چشمگیرتر است.
- در شرایطی که نخواهیم از دیوار حائل استفاده کنیم تراز پایه بسته به میزان اندرکنش بین خاک و دیواره زیرزمین و همچنین سایر پارامترهای سازه می‌تواند در ترازهای مختلف قرار گیرد. در حالتی که بخواهیم از تراز پایه محافظه کارانه استفاده کنیم، بهتر است به این صورت عمل شود: الف- در صورتی که سازه در محدوده افقی یا منحنی شکل طیف طرح قرار گیرد، بهتر است به شکل محافظه کارانه تراز پایه را کمی پایین‌تر از سقف زیرزمین در نظر بگیریم به گونه‌ای که در این تراز سقف اول نوسان کرده و در محاسبه نیروی زلزله دخالت داده می‌شود.
- در شرایطی که سازه در محدوده بالارونده طیف قرار گیرد، به شکل محافظه کارانه تراز پایه را بر روی فونداسیون در نظر می‌گیریم و برش طبقات را محاسبه و سازه را طراحی می‌کنیم.

وسیم و همکاران پس از بررسی ۳۶۰۰ مدل با در نظر گرفتن تعداد طبقات مختلف هم در روی سطح زمین و هم در زیر سطح زمین، جرم‌های مختلف برای طبقات، مساحت‌های گوناگون برای پلان طبقات، سختی‌های جانبی متفاوت سازه و نوع خاک اطراف زیرزمین معادلات ساده و تجربی را ارائه کردند تا مهندسان و طراحان بتوانند با استفاده از آن معادلات محل تراز پایه را با دقت خوبی تعیین کنند [۴].

وسیم و همکاران برای کاهش پارامترهای معادلات و همچنین برای اینکه طراحان بتوانند به صورت کمی انعطاف‌پذیری سازه را در حین طراحی درک کنند، پارامتر $\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}$ را در معادلات بکار بردند و برای آن حد بالا و حد پایین ارائه کردند. در پارامتر ذکرشده M جرم کل هر دال ساختمان برحسب تن، S مساحت هر دال ساختمان برحسب مترمربع، E مدول الاستیسیته بتن برحسب $\frac{ton}{m^2}$ و I اینرسی دیوار برشی در جهت زلزله است. فرآیند گام‌به‌گام تعیین تراز پایه ارائه‌شده توسط آن‌ها به‌صورت زیر است [۴]:

ابتدا باید بررسی شود که پارامتر $\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}$ در محدوده مجاز ارائه‌شده باشد.

با استفاده از روابط زیر پارامترهای γ_1، γ_2، δ_1 و δ_2 تعیین شوند.

$$\gamma_1 = 0.137 \cdot e^{0.0943.(\frac{1000MS}{EI})} \quad (۱)$$

$$\gamma_2 = 0.1225 \cdot (\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}) + 0.1627 \quad (۲)$$

$$\delta_1 = 0.2633 \cdot \ln\left(\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}\right) + 0.8108 \quad (۳)$$

پارامترهای γ و δ با استفاده از روابط زیر تعیین شوند.

$$\gamma = \gamma_1 \cdot \ln(H_0) + \gamma_2 \quad (۴)$$

$$\delta = \delta_1 \cdot \ln(H_0) + \delta_2 \quad (۵)$$

ضرایب α_1، α_2، β_1 و β_2 با استفاده از روابط زیر تعیین شوند.

$$\alpha_1 = 0.0327 \cdot \left(\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}\right) + 0.2515 \quad (۶)$$

$$\alpha_2 = 0.0225 \cdot \left(\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}\right) - 0.6431 \quad (۷)$$

$$\beta_1 = -0.3066 \cdot \left(\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}\right) + 0.1893 \quad (۸)$$

$$\beta_2 = 0.2524 \cdot \ln\left(\frac{1000 \cdot M \cdot S}{E \cdot I}\right) + 0.0559 \quad (۹)$$

ضرایب α و β با استفاده از روابط زیر تعیین شوند.

$$\alpha = \alpha_1 \cdot H_0^{\alpha_2} \quad (۱۰)$$

$$\beta = \beta_1 \cdot H_0^{\beta_2} \quad (۱۱)$$

محل تراز پایه از روی فونداسیون h، با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود.

$$a = \alpha \cdot H_1 + \beta \quad (۱۲)$$

$$b = \gamma \cdot H_1 + \delta \quad (۱۳)$$

$$h = 10 \cdot a \cdot q + b \quad (۱۴)$$

که در روابط فوق H_0 ارتفاع روی سازه (آن قسمت از سازه که بالای سطح زمین است) برحسب متر، H_1 ارتفاع کل زیرزمین برحسب متر و h محل تراز پایه از روی فونداسیون است.

به‌طورکلی، نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات وسیم و همکاران را می‌توان در چند مورد برشمرد [۴]:

- محل شروع جابه‌جایی در ساختمان h با افزایش ظرفیت برشی خاک، از صفر به سمت H_1 میل می‌کند. این موضوع با آنچه در آیین‌نامه‌ها آمده است هم‌خوانی دارد.
- هنگامی‌که ارتفاع سازه H_0 افزایش پیدا می‌کند محل شروع جابه‌جایی (تراز پایه) در سازه به سمت ترازهای پایین در قسمت زیر سطح زمین تغییر موقعیت می‌دهد. این موضوع نشان‌دهنده این است که افزایش انعطاف‌پذیری سازه (نرم شدن سازه) محل تراز پایه را به سمت تراز سطح فونداسیون سوق می‌دهد.
- با افزایش ارتفاع زیرزمین H_1 محل تراز پایه به سمت سطح زمین حرکت می‌کند. علت این موضوع این است که خاک و زیرزمین سازه مانند یک جسم واحد صلب عمل می‌کنند و باعث دور شدن تراز پایه از سطح فونداسیون می‌شوند.

نرمی و انعطاف‌پذیری بخش زیر سازه تأثیر قابل توجهی بر روی پاسخ سازه و بارهای زلزله دارد. نتایج تحقیق وسیم و همکاران نشان می‌دهد که اندرکنش خاک و سازه می‌تواند تأثیرات قابل توجه‌ای بر روی محل تراز پایه داشته باشد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، شهرآبادی و همکاران به بررسی اثرات انواع سیستم‌های سازه‌ای مختلف و تغییرات تراز پایه در محاسبه برش پایه ساختمان‌های بلند پرداخته‌اند. در راستای بررسی موضوع ذکرشده، مدل‌هایی از ساختمان ۱۷ طبقه با سیستم‌های مختلف ساختمانی ازجمله قاب خمشی فولادی ویژه در دو حالت با در نظر گرفتن اثر میان قاب‌ها در حرکت آن و در نظر نگرفتن آن‌ها، قاب خمشی فولادی ویژه به علاوه دیوار برشی ویژه، قاب خمشی بتنی ویژه به علاوه دیوار برشی ویژه، قاب خمشی فولادی متوسط به علاوه دیوار برشی ویژه و قاب خمشی بتنی متوسط به علاوه دیوار برشی ویژه در نرم‌افزار مدل‌سازی گردید. میزان برش پایه ساختمان با سیستم‌های مختلف سازه‌ای و در دو حالت متفاوت تراز پایه، در جدول ۱ آورده شده است [۲].

جدول۱: میزان برش پایه ساختمان با سیستم‌های مختلف سازهای [۲]

شماره حالت مورد بررسی	تراز پایه	سیستم سازه‌ای	برش (تن)
۱	زیرزمین(۱-)	قاب خمشی فولادی ویژه (بدون میانقاب)	۷۲۱
۲	زیرزمین(۱-)	قاب خمشی فولادی ویژه (با میانقاب)	۸۳۷
۳	زیرزمین(۱-)	قاب خمشی فولادی ویژه + دیوار برشی ویژه	۱۰۴۰
۴	فونداسیون	قاب خمشی فولادی ویژه (بدون میانقاب)	۱۲۵۸
۵	فونداسیون	قاب خمشی فولادی ویژه (با میانقاب)	۱۵۷۸
۶	فونداسیون	قاب خمشی فولادی ویژه + دیوار برشی ویژه	۱۷۴۱
۷	زیرزمین(۱-)	قاب خمشی فولادی متوسط + دیوار برشی ویژه	۱۷۵۲
۸	زیرزمین(۱-)	قاب خمشی بتنی ویژه + دیوار برشی ویژه	۱۸۱۶
۹	فونداسیون	قاب خمشی بتنی ویژه + دیوار برشی ویژه	۲۸۳۸
۱۰	زیرزمین(۱-)	قاب خمشی بتنی متوسط + دیوار برشی ویژه	۲۹۴۴
۱۱	فونداسیون	قاب خمشی فولادی متوسط + دیوار برشی ویژه	۳۱۱۳
۱۲	فونداسیون	قاب خمشی بتنی متوسط + دیوار برشی ویژه	۴۶۰۵

در بررسی‌های مربوط به سیستم‌های مختلف سازه‌ای، قاب‌های متوسط با دیوار بتنی ویژه، به دلایل ضریب رفتار کمتر، زمان تناوب کمتر که منجر به ضریب بازتاب بزرگ‌تر می‌شود و وزن سازه بیشتر، بیشترین برش پایه را دارند که بیشترین برش مربوط به ساختمان با قاب متوسط بتنی و دیوار بتنی ویژه است؛ بنابراین قاب‌های ویژه با دیوار بتنی ویژه با وجود ضریب رفتار بزرگ‌تر، به دلیل زمان تناوب کمتر و وزن سازه بیشتر، دارای برش بیشتری هستند. کمترین برش نیز مربوط به قاب‌های خمشی فولادی ویژه است. در صورتی که میان قاب‌ها برای حرکت، ممانعتی ایجاد ننمایند، به دلیل زمان تناوب بیشتر، برش پایه کمتری به دست خواهد آمد. میزان و درصد برش پایه بیشتر در صورت عملکرد میان قاب‌ها به عنوان مانع حرکت، با توجه به ثابت بودن سایر عوامل، به نسبت کاهش زمان با توان ۰/۶۶۷ رابطه مستقیم دارد. همچنین از تحلیل‌های صورت گرفته، مشخص شد که در نظر گرفتن تراز طبقات بالاتر، حتی بدون کوبیدن خاک اطراف سازه، با اجرای دیوارهای حائل بیشتر نیز ممکن است، امکان‌پذیر باشد. 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 [۲].

آقازاده و همکاران روش پیشنهادی برای حل مسئله تراز پایه در طراحی ساختمان‌های فولادی و بتنی ارائه کردند. وی پیشنهاد داد که به دلیل عدم قطعیت‌ها و نقطه نظرات متفاوت و بعضی مواقع متناقض بهتر است که صورت مسئله تراز پایه را حذف نمود تا تمامی اختلافات رفع گردیده و تراز پایه همیشه بر روی فونداسیون در نظر گرفته شود؛ اما باید یک روش برای پاسخ‌گویی به سؤالاتی مانند سؤالات زیر پیدا شود [۵].

۱- جرم سنگین و سختی جانبی دیوارها را چگونه باید مدنظر قرارداد؟

۲- پریود سازه‌ای که شامل ده طبقه قاب خمشی شکل‌پذیر به همراه سه طبقه زیرزمین با دیوار حائل بتنی است چگونه محاسبه می‌شود؟

۳- ضریب رفتار سازه فوق چه مقداری است؟

روش پیشنهادی آن‌ها روش دقیق ترکیب سیستم‌ها در ارتفاع است با این تفاوت که برای محاسبه نیروی برشی زلزله برای سازه صلب طبقات پایینی نه از روش محاسبه نیروی برشی زلزله معادل استاتیکی بلکه از نیروی برشی زلزله محاسبه شده با آنالیز مودال استفاده می‌شود [۵].

ساختمان شکل ۹ را در نظر بگیرید که دارای m طبقه زیرزمین با دیوار حائل بتنی که با سازه یکپارچه ساخته می‌شود و n طبقه قاب روی آن است. در این صورت مراحل روش پیشنهادی به صورت زیر است [۵]:

۱- کل ساختمان را مدل کرده و زمان تناوب دینامیکی سازه (T_{tot}) را به دست می‌آوریم.

۲- زمان تناوب (T) ساختمان n طبقه را با فرض تکیه‌گاه‌های صلب محاسبه می‌کنیم.

۳- اگر $T_{tot} \le 1.1T_{top}$ ادامه می‌دهیم.

۴- بر اساس زمان تناوب محاسبه‌شده طبق روابط تجربی آیین‌نامه و ضرایب B، A، I و R و وزن سازه n طبقه مقدار نیروی برشی زلزله (V_{top}) را به دست می‌آوریم.

۵- ساختمان m طبقه بسیار صلب را مدل کرده و نیروی برشی آنالیز مودال (V_{Bot}) را بر اساس محاسبه کامپیوتری به دست می‌آوریم.

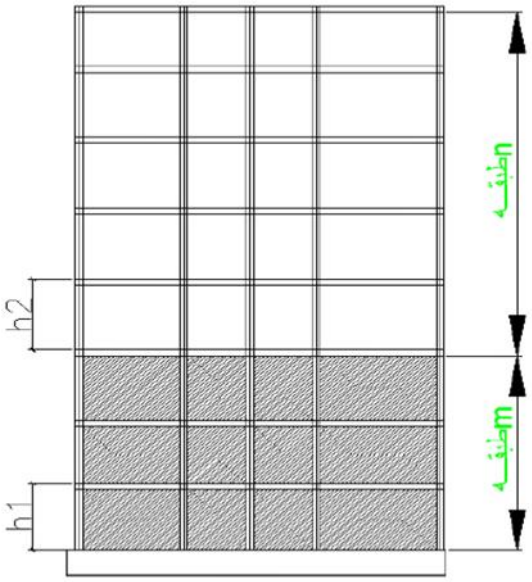
لازم به یادآوری است که محاسبه نیروی برشی ساختمان m طبقه نباید با روش معادل استاتیکی انجام گیرد.

۶- نیروی برشی کل $V = V_{Bot} + V_{top}$ را به دست می‌آوریم.

۷- در ساختمان m+n طبقه مدل شده در بند یک نیروی برشی آنالیز مودال را در روی فونداسیون با نیروی برشی V بند شش مقیاس (همپایه) می‌کنیم.

نکته اول: در آنالیز مودال باید مقدار مدهای انتخابی حداکثر مد باشد به طوری که جرم مستهلک شده حدود ۱۰۰ درصد باشد و یا نیروی برشی در Response Spectrum Base Reaction با نیروی برشی Story Shear برابر باشد.

نکته دوم: همچنین در طیف طرح در مقابل پریودها نباید فقط B داده شود. بلکه باید $\frac{ABI}{R}g$ داده شود. تا نیروی واقعی آنالیز مودال به دست آید.



شکل۹ : ساختمان با m طبقه دیوار حائل و n طبقه قاب مختلط [۵].

مدرس در سال ۱۳۶۸ در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به بررسی تراز مبنای ارتعاش سازه‌های نیمه مدفون به هنگام زلزله پرداخت و در پایان کار تحقیقاتی خود نتیجه‌گیری نمود که اگر خاک در مقابل سازه به قدری صلب باشد که بتواند تغییر شکل‌های بخش مدفون سازه را کنترل نماید، در این صورت کیفیت ارتعاشی بخش مدفون و غیر مدفون سازه شدیداً با یکدیگر تفاوت خواهد داشت. در این حالت بخش مدفون تقریباً از تغییر شکل‌های خاک تبعیت کرده و بخش غیر مدفون آن به طور مستقل ارتعاش خواهد کرد؛ بنابراین اگر در این حالت فرض شود تراز مبنا روی سطح خیابان است خطای قابل توجهی را نسبت به حالت واقعی مرتکب نخواهیم شد و لذا این فرض در این حالت صحیح خواهد بود. برعکس اگر خاک در مقابل سازه، نرم باشد خاک توانایی کنترل تغییر شکل‌های سازه را نداشته و در نظر گرفتن تراز پایه روی سطح خیابان خطای چشمگیری را به وجود می‌آورد. وی همچنین نشان می‌دهد که در حالت وجود خاک نرم در نظر گرفتن تراز پایه روی سطح پی نیز می‌تواند خطای قابل توجهی را ایجاد نماید. این بدان معنی است که خاک نرم نه تنها نمی‌تواند بخش مدفون سازه را حفظ نماید، بلکه با آن وارد عمل متقابل شده و ارتعاش سازه را نسبت به حالت تراز مبنا روی سطح پی تغییر می‌دهد [۶].

تحقیق بعدی در این زمینه در سال ۱۳۷۵ توسط خان محمدی انجام گرفت. وی در پایان‌نامه خود به بررسی تراز پایه در ساختمان‌های نیمه مدفون با توجه به تأثیر اندرکنش خاک و سازه و وجود زلزله به صورت تصادفی پرداخت. وی با توجه به نسبت‌های مختلف ارتفاع آزاد به ارتفاع مدفون‌شدگی نتایج زیر را جهت محاسبه تراز پایه استخراج نمود [۷]:

۱- برای نسبت‌های $\frac{h}{l} \le 5$ محدوده $\frac{1}{3}$ میانی عمق مدفون شدگی (l) را می‌توان به عنوان محل مناسب تراز پایه معرفی نمود.

۲- برای نسبت‌های $\frac{h}{l} > 5$ اندرکنش تاثیر قابل توجهی را نمی‌تواند ایجاد نماید.

۳- با افزایش مقدار مدول برشی خاک، محل قرارگیری تراز پایه به سطح زمین نزدیک می‌شود.

۴- در نسبت‌های پایین $\left(\frac{h}{l} < 2.5\right)\frac{h}{l}$، اتر اندرکنش ملموس‌تر و قابل توجه‌تر می‌باشد.

در سال ۱۳۷۷ خواجه‌ای بیشک در پایان‌نامه خود به بررسی پارامتریک تراز پایه با در نظر گرفتن اثرات خاک پرداخت. به طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات خواجه‌ای بیشک را می‌توان در چند مورد برشمرد [۸]:

۱- با افزایش سختی خاک عمق تراز پایه به سطح زمین نزدیک می‌شود و با افزایش طبقات مدفون‌شدگی شتاب زیادتری به خود می‌گیرد.

۲- با افزایش طبقات رو سازه و با ثابت نگه‌داشتن طبقات زیر سازه با محفوظ بودن نتایج قبلی، عمق فرضی تراز پایه زیاد می‌شود.

۳- با کاهش طبقات مدفون، تراز پایه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود.

۴- با نرم شدن خاک در محل تراز پایه پراکندگی به وجود می‌آید که با افزایش طبقات مدفون پراکنده‌تر نیز می‌شود و دلیل آن مسلماً اثرات اندرکنش است.

تحقیق بعدی در این زمینه در سال ۱۳۸۷ توسط کلاهدوزان انجام شد. وی تأثیر سختی سازه زیرزمینی در تعیین تراز پایه با استفاده از تحلیل دینامیکی اندرکنش خاک و سازه را مورد بررسی قرارداد. نتایج این تحقیق را می‌توان در چند مورد به شرح ذیل خلاصه کرد [۹]:

۱- در صورت وجود دیوار میان‌قاب در سازه، با پارامترهای دیگر متفاوت، همیشه تراز پایه بالای دیوار میان قابی قرار می‌گیرد.

۲- در خاک‌های تیپ ۱ و ۲ و وجود دیوار حائل، با پارامترهای دیگر متفاوت، تراز پایه باز هم در بالای دیوار حائل قرار می‌گیرد.

۳- در خاک‌های تیپ ۳ و ۴ و وجود دیوار حائل، با پارامترهای دیگر متفاوت، تراز پایه حداقل یک تراز پایین‌تر قرار می‌گیرد.

۴- نوع سیستم جانبی سازه تأثیری در محل تراز پایه ندارد.

۵- تعداد طبقات مدفون در زمین تأثیری در موقعیت تراز پایه ندارد.

نقی‌زاده در سال ۱۳۹۱ تراز پایه در ساختمان‌های دارای پی‌های غیر هم‌سطح را مورد بررسی قرارداد. وی نتایج به‌دست‌آمده را به طور خلاصه به صورت زیر بیان نمود [۳]:

۱- نوع خاک بیشترین تأثیر را بر محل تراز پایه می‌گذارد و همواره با سخت شدن خاک محل تراز پایه به سطح زمین نزدیک می‌شود و بلعکس با نرم شدن خاک تراز پایه در نزدیکی کف زیرزمین جای می‌گیرد.

۲- نتایج نشان می‌دهد که بر روی خاک نرم همواره تراز پایه در نزدیکی کف زیرزمین است، به ویژه در مواردی که تعداد طبقات ساختمان کم است. ازاین‌رو در مناطقی که دارای خاک نرم هستند (خاکی در محدود تیپ ۴ آیین‌نامه) توصیه می‌شود تراز پایه از کف زیرزمین محاسبه شود.

۳- چه برای خاک سخت و چه برای خاک نرم همواره با افزایش تعداد طبقات، تراز پایه به سمت بالا (سقف زیرزمین) حرکت می‌کند. در خاک سخت این حرکت کاملاً مشهود و قابل لمس است در حالی که برای خاک نرم با تغییر در تعداد طبقات، تغییرات محل تراز پایه اندک بوده و می‌توان گفت محل تراز پایه تا حدودی مستقل از تعداد طبقات سازه است.

- همواره بر روی هر خاکی با افزایش تعداد ستون‌های ورودی به زیرزمین، تراز پایه به کف زیرزمین نزدیک می‌شود. در ساختمان‌های کوتاه که معمولاً بیشتر رایج هستند، تعداد ستون‌های ورودی به زیرزمین تا حدی از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و می‌توانند تراز پایه را در حد قابل‌توجهی جابه‌جا نماید.

۵- بر روی خاک سخت هر چه تعداد طبقات سازه بیشتر باشد، تغییر در تعداد ستون‌های ورودی به زیرزمین تراز پایه را کمتر جابه‌جا می‌کند و بالعکس. در صورتی که تعداد طبقات سازه آن‌قدر افزایش یابد که بتوان سازه را نیمه بلند یا بلند قلمداد کرد، تراز پایه، در تمامی حالات ورود ستون‌ها به زیرزمین در همسایگی سطح زمین قرار می‌گیرد.

۶- تغییر در مساحت پلان نمی‌تواند بر محل تراز پایه تأثیر بگذارد.

۷- هر چه تعداد ورود ستون‌ها به زیرزمین کمتر باشد، تغییر در تعداد طبقات، تراز پایه را کمتر جابه‌جا می‌کند و بالعکس.

۳- نتیجه گیری

با توجه به اینکه در بسیاری از موارد برای آنالیز سازه از روش‌های ساده مانند روش استاتیکی معادل استفاده می‌شود، بررسی و تعیین محل تراز پایه بخصوص در ساختمان‌های دارای طبقات زیاد در زیرزمین مهم است. از نتایج مطالعات انجام‌شده تا این زمان مشخص‌شده است که اندرکنش خاک و سازه و مشخصات خاک اطراف زیرزمین تأثیر زیادی بر محل تراز پایه دارد. با توجه به این‌که بیشتر مطالعات انجام‌شده بر روی سازه‌های کوتاه مرتبه بوده است پیشنهاد می‌شود برای سازه‌های بلند با سیستم‌های باربر جانبی متفاوت این تحقیقات انجام شود.

مراجع

[1] Kelly, D. (2009). Location of base for seismic design. *Structure Magazine*, p. 8-11.
[2] Shahrabadi, H; Nazari, S; Ashrafigol, M. (2015). Investigation of different structural systems and base level variation effect on base shear calculation of high rise buildings. In: *The International Conference on Human, Architecture, Civil Engineering and City*. City: Tabriz.
[3] Naghizadeh, A. (2012). *Base level investigation in buildings with non-same elevated foundation using soil-structure interaction*. Master of civil engineering. Shahrood University of Technology.
[4] Elias, W. Khouri, M. (2012). Identifying the Fixed Base Location of Building Structures under Seismic Excitation. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3 (12), p. 2612-2618.
[5] Civil808, (2013). *proposed method around base level problems in design of steel and concrete structures*. [online] Available at: http://civil808.com/.
[6] Moddares, L. (1989). *Investigation of vibration base level in semi buried structures during earthquake*. Master of civil engineering. University of Tehran.
[7] Khanmohammadi, M. (1996). *Base level investigation in semi buried structures considering soil-structure interaction and probabilistic earthquake*. Master of civil engineering. University of Tehran.
[8] Khajeyee bishk, M. (1998). *parametric base level investigation attending to soil influence*. Master of civil engineering. Sharif University of Technology.
[9] Kolahdoozan, S. (2008). *Effect of sub-basement structure stiffness in evaluating base level using soil-structure interaction dynamically analysis*. Master of civil engineering. University of Tehran.