

به نام خدا

یادبود یکی از بهترین مهندسان سازه
زنده یاد مهندس رضائی

نکات ویژه در خصوص تراز پایه
و توزیع نیروی زلزله در بالا و پایین آن

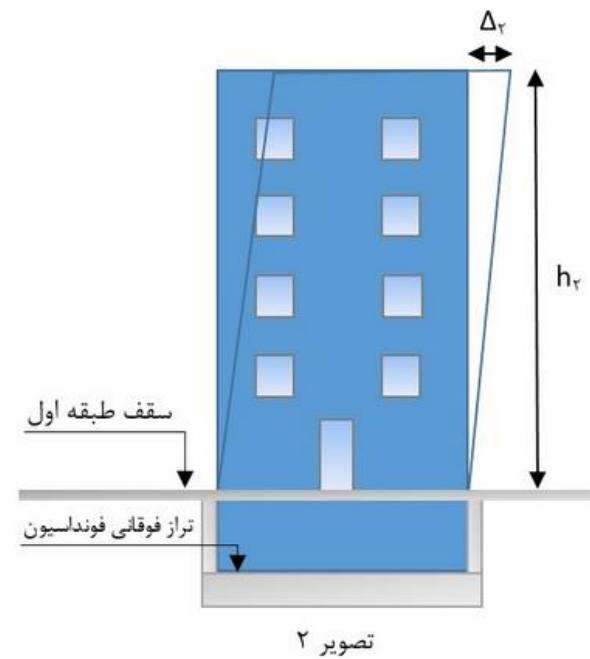
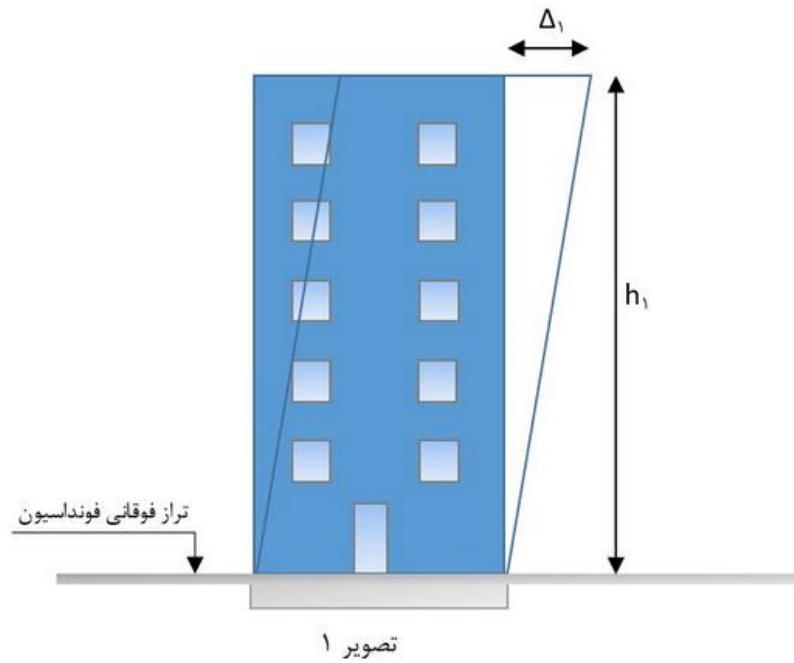


علیرضا فاروقی

استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق
عضو کارگروه فصل بیستم آیین نامه بتن ایران تجدید نظر دوم (ویرایش ۱۴۰۰)
عضو کارگروه طیف استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش پنجم
عضو کمیته ایرانی نرم افزار های مهندسی و کارگروه بتن



تراز پایه





مفهوم تراز پایه

۳-۱-۲ تراز پایه

تراز پایه، بنا به تعریف، به ترازى در ساختمان اطلاق می‌شود که در هنگام زلزله از آن تراز به پایین اختلاف حرکتی بین ساختمان و زمین وجود نداشته باشند. تراز پایه برای طراحی ساختمان‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- برای ساختمان‌های بدون زیرزمین یا ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل نباشند، تراز پایه باید در سطح بالای شالوده در نظر گرفته شود.

۲- برای ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل باشند و فضای بین خاکبرداری و دیوار نگهبان زیرزمین با خاک متراکم پر شده باشد، تراز پایه می‌تواند در نزدیک‌ترین سقف زیرزمین به زمین طبیعی اطراف در نظر گرفته شود، منوط بر آنکه اولاً خاک طبیعی موجود در اطراف ساختمان متراکم باشد و ثانیاً دیوارهای نگهبان زیرزمین بتن‌آرمه بوده و آخرین سقف زیرزمین نیز دارای صلبیت کافی باشد. در این راستا می‌توان از صلبیت تیرها و یا مجموعه تیر و دال سقف‌ها برای افزایش صلبیت سقف استفاده نمود. نزدیک ترین سقف به زمین طبیعی



خلاصه مفاهیم پایه بارگذاری زلزله (نیروی ناشی از جرم سازه)

در یک سیستم n درجه آزاد، بار دینامیکی خارجی که بر کل سیستم اعمال می شود به سه دسته نیروهای داخلی زیر تقسیم می شود، قسمت سمت راست، **نیروی زلزله محرک** وارد بر مجموعه و سمت چپ، پاسخ (**عکس العمل**) سازه است.

$F_I + F_D + F_S = P(t)$ نیروی اینرسی، F_D نیروی میرایی و F_S **نیروی سختی الاستیک** سازه است. در یک سازه چند درجه آزاد خطی رابطه بالا (معادله ارتعاش) در هنگام زلزله به شکل زیر است:

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = -[M][r]\{Eq(t)\}$$

در سمت چپ معادله $\{y, \dot{y}, \ddot{y}\}$ بردارهای نسبی تغییر مکان، سرعت و شتاب هستند.

قسمت اول: طرف راست معادله و معرفی نیروی زلزله

در سمت راست معادله (**نیروی تحریک**)، $[M]$ ماتریس جرم سازه $[r]$ ماتریس ضرایب تاثیر زلزله در هنگام وقوع زمین لرزه (در سازه برشی برابر $[1]$ است) و $\{Eq(t)\}$ بردار تحریک به قرار زیر است:

$$\{Eq(t)\} = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_g(t) \\ \ddot{y}_g(t) \\ \ddot{z}_g(t) \\ \ddot{\theta}_{x_g}(t) \\ \ddot{\theta}_{y_g}(t) \\ \ddot{\theta}_{z_g}(t) \end{Bmatrix}$$



خلاصه مفاهیم پایه بارگذاری زلزله (نیروی ناشی از جرم سازه)

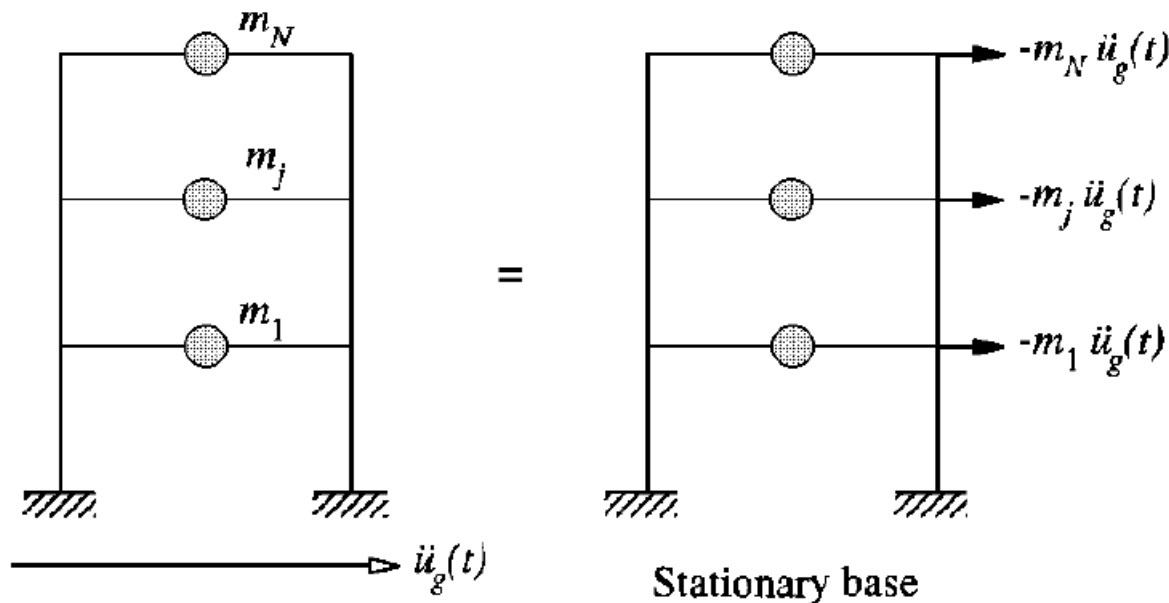
در زلزله ۱ مولفه ای (مثلا زلزله افقی در راستای X) داریم:

$$Eq(t) = \ddot{x}_g(t)$$

با توجه به روابط بالا بنابراین نیروی زلزله وارد بر طبقات برابر جرم آنها در شتاب زلزله خواهد بود یعنی:

(با فرض $ri = 1$ برای درجات آزادی انتقالی افقی و فرض تغییر مکان یا شتاب در درجه دلخواه U)

$$p_{eff}(t) = -m1\ddot{u}_g(t)$$





خلاصه مفاهیم پایه بارگذاری زلزله (نیروی ناشی از جرم سازه)

قسمت دوم : طرف چپ معادله و معرفی پاسخ سازه: $F_I + F_D + F_S = P(t)$

با نگرشی به سمت چپ معادله مجدد یادآوری می شود که سازه باید میرایی، اینرسی و **سختی لازم** را برای مقابله با این نیروی جانبی داشته باشد و با صرف نظر از دو قسمت اول، **پاسخ سختی** (**عکس العمل الاستیک سازه**) به قرار زیر خواهد بود:

$$\{f_{s(t)}\} = [K] \{y(t)\}$$

که در این رابطه $[K]$ ماتریس سختی و $\{y(t)\}$ بردار تغییر مکان **نسبی** است!

بنابراین سازه برای این **عکس العمل مورد نیاز** مورد ارزیابی و یا طراحی قرار گرفته تا بتواند پاسخ مورد نیاز سختی را در هنگام اعمال تحریک جانبی از خود بروز دهد.

۳-۱-۱ نیروی برشی پایه V_{II}

!?

نیروی برشی پایه، یا برش پایه، به مجموع نیروهای جانبی زلزله اطلاق می شود که در تراز پایه، موضوع بند (۳-۱-۳)، به ساختمان اعمال می گردد.



خلاصه مفاهیم پایه بارگذاری زلزله (نیروی ناشی از جرم سازه)

نتیجه مهم بحث فوق این است که با توجه به رابطه قبل و صفر شدن پاسخ یا نیاز سختی سازه در اثر بار زلزله در طبقاتی که تغییر مکان **نسبی** ندارند، مفهوم تراز پایه عبارت است از ترازى که مطابق تعريف استاندارد ۲۸۰۰ از آن تراز به پایین **اختلاف** حرکتی در ساختمان نسبت به زمین مشاهده نشود **یعنی تغییر مکان نسبی ندهد**، لذا به این منظور باید سازه با خاک **متراکم** و دیوارهای **حائل متصل به سازه** و کف **صلب** به این منظور برسد.

$$\{f_{s(t)}\} = [K] \{y_{(t)}\}$$

$$\{y_{(t)}\} = \{0\} \rightarrow \{f_{s(t)}\} = \{0\}$$



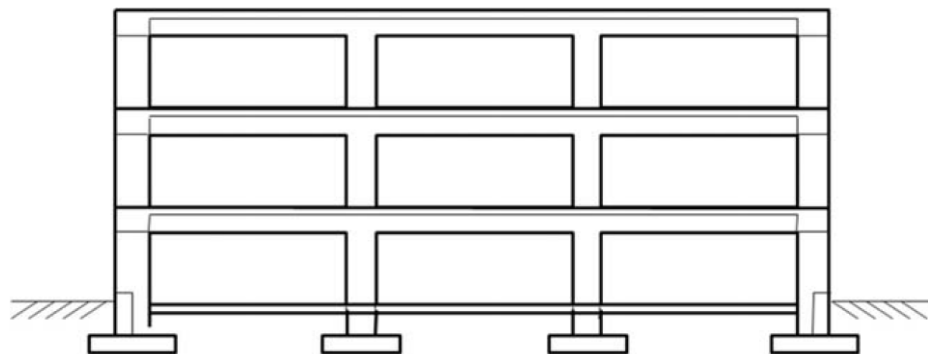
نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 (C11.2)

پایه: عوامل زیادی در محل (موقعیت) پایه لرزه ای (تراز پایه) اثر دارند. بعضی از این عوامل شامل:

- موقعیت نسبی سطح محوطه به تراز کف ها (کف طبقات)
- شرایط خاک مجاور ساختمان
- بازشوها در دیوارهای زیرزمین
- موقعیت و سختی عناصر قائم برابر سیستم مقاوم لرزه ای
- موقعیت و اندازه درزهای لرزه ای
- عمق زیرزمین
- وضعیت (چگونگی) اینکه کدامیک از دیوارهای زیرزمین مقید هستند
- نزدیکی (مجاورت) به ساختمان همسایه (مجاور)
- شیب زمین



نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 C11.2)



Base is at the top of footings

FIGURE C11-2 Base for a Level Site.



FIGURE C11-3 Base at Ground Floor Level.



نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 C11.2)

For a floor level above grade to be considered the base, it generally should not be above grade more than one-half the height of the basement story, as shown in Fig. C11.2-4.

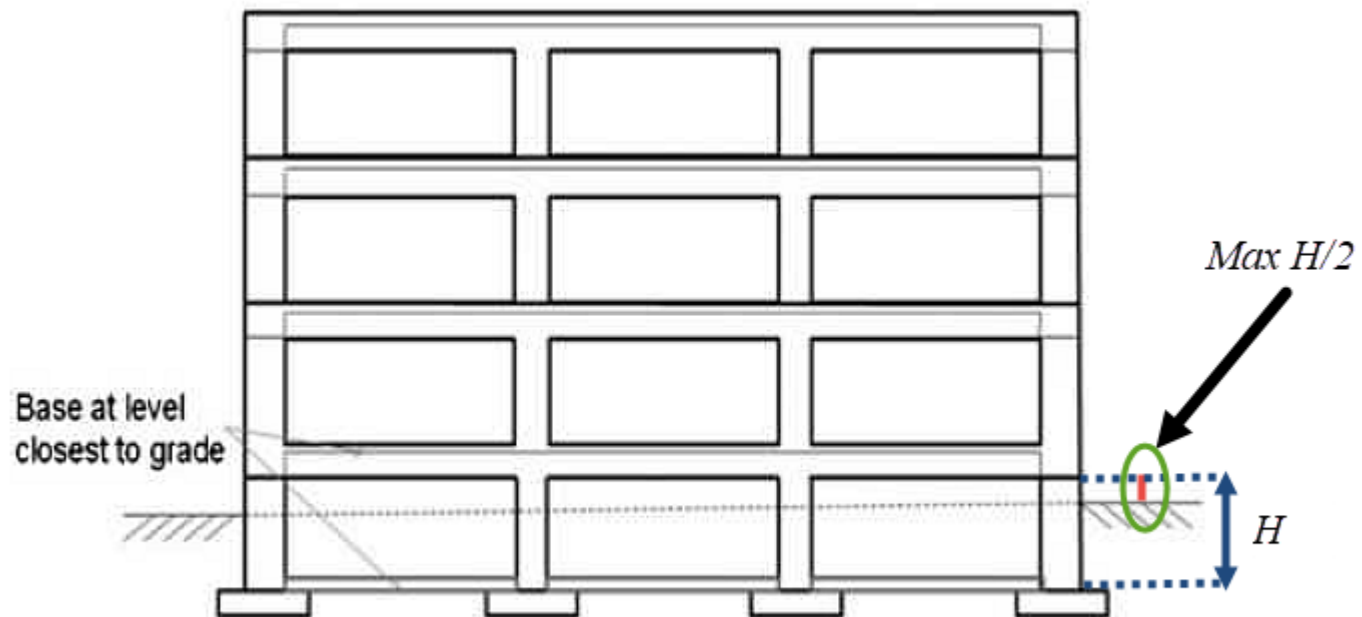


FIGURE C11.2-4 Base at Level Closest to Grade Elevation



نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 C11.2)

اگر قرار باشد که ترازپایه در نزدیکترین تراز به محوطه قرار بگیرد، مقطع خاک بالای عمق زیرزمین نباید **روانگرا** در زلزله طرح باشد. مقطع خاک بالای عمق زیرزمین هم نباید شامل **خاک رس بسیار حساس (رس سریع)** یا سیمانی ضعیف مستعد برای **فروپاشی** در زلزله طرح باشد.

حالتی که دیوارهای زیرزمین ممکن است سختی مناسب را (زمانی که دارای بازشو بسیاری مانند منافذ نور، راه های عبور، پنجره ها و درها دارد) فراهم نکند، تراز پایه باید پایین این دیوارها باشد.

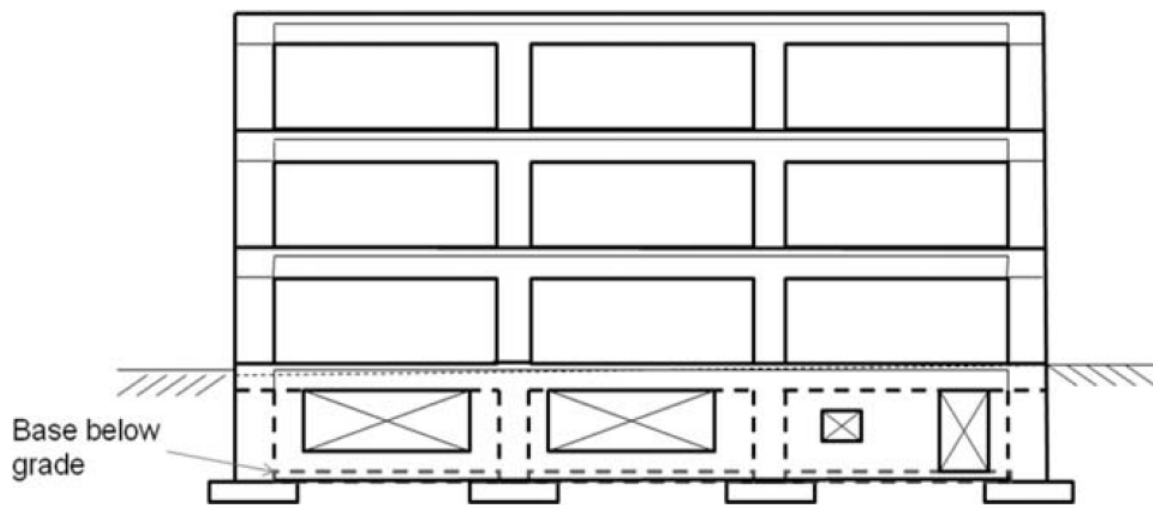


FIGURE C11-5 Base below Substantial Openings in Basement Wall.



نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 (C11.2)

در جاییکه که کف به دیوارهای حائل متصل نشده است، ممکن است نیاز باشد که ترازپایه در زیر سطح زمین و در تراز فونداسیون قرار داده شود. برای اینگونه سازه ها، دال ممکن است به دیوارها متصل نباشد تا اجازه حرکت نسبی بین این دو دهد. اگر دیافراگم واقع در سطح زمین **انعطاف پذیر** باشد و مقاومت فشاری قابل توجه نداشته باشد، ممکن است نیاز باشد که ترازپایه ساختمان در زیر سطح قرار بگیرد.

برای ساختمانهای با فضای اشغال بزرگ، **درزهای جداکننده لرزه ای** ممکن است در طول ساختمان در دو جهت گسترده شوند و یا ممکن است چندین درز موازی در جهات مختلف داده شود. برای اینگونه ساختمانها، ترازپایه معمولاً **روی فونداسیون** در پایین زیرزمین یا بالاترین سطح دال زیرزمین است جاییکه درزها دیگر وجود ندارند.

نزدیکی سایر سازه ها نیز می تواند در موقعیت تراز پایه اثر گذار باشد. اگر سایر ساختمانهای دارای زیرزمین در مجاورت یک و یا چند طرف ساختمان قرار بگیرند، ممکن است مناسب باشد تا **ترازپایه در پایین زیرزمین قرار** بگیرد. با نزدیکتر شدن ساختمانهای مجاور به ساختمان، آنچه بیشتر احتمال دارد آن است که ترازپایه باید در **زیر سطح زمین** باشد.



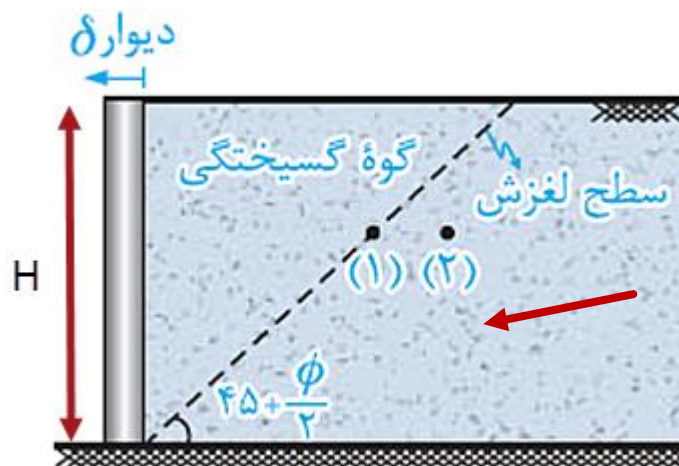
جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



شماره: ۹۶-۱۱-۱۸۱۵۵ تاریخ: ۹۶/۹/۵ پیوست:

پاسخ سوال شماره ۳- الف: حداقل بعد افقی خاک متراکم در امتداد عمود بر دیوار آن میزان است که گوه گسیختگی پشت دیوار

فعال شود.



$$\theta_{\text{حالت محرک}} = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$$

(حالت محرک)

با توجه به زاویه اصطکاک خاک بین ۲۸-۳۷ درجه لذا طول لازم در جهت عمود بر دیوار برای عمق کافی خاک به منظور فرض تراز پایه، بین **0.5H تا 0.6H** می باشد.



نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 (C11.2)

در عمق بالای زیرزمین خاک **سخت** (متراکم) نیازمند است زیرا نیروهای زلزله به ساختمان در این سطح و در ارتفاع بالای دیوارهای زیرزمین منتقل می شوند. **مهندس زلزله** مسئول تأیید کردن این امر می باشد که آیا خاک به اندازه کافی سخت است تا نیروهای زلزله را نزدیک به سطح تراز محوطه منتقل نماید.

rather than close to grade. **Stiff soils** are required over the depth of the basement because seismic forces will be transmitted to and from the building at this level and over the height of the basement walls. The **engineer of record** is responsible for establishing whether the soils are stiff enough to transmit seismic forces near grade. For tall or heavy buildings or where

Table 20.3-1 Site Classification

Site Class	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ or $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
A. Hard rock	>5,000 ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	>50	>2,000 psf
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s (۱۸۲-۳۶۵) m/s	15 to 50	1,000 to 2,000 psf
E. Soft clay soil	<600 ft/s	<15	<1,000 psf



بررسی شرایط خاک متراکم (سخت) در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴

۲-۳-۲ تراز پایه

تراز پایه، بنا به تعریف، به تراز در ساختمان اطلاق می‌شود که به پایین حرکتی در ساختمان نسبت به زمین مشاهده نشود. فوقانی شالوده در نظر گرفته می‌شود، ولی در مواردی که در دیوارهای حایل بتن مسلح وجود دارد و این دیوارها با سازه ساخ تراز پایه در تراز نزدیک‌ترین کف ساختمان به زمین کوبیده شده می‌شود. مشروط بر آن که دیوارهای حایل تا زیر این کف ادامه دا

۲- برای ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل باشند و فضای بین خاکبرداری و دیوار نگهبان زیرزمین با **خاک متراکم** پر شده باشد، تراز

جدول ۲-۳ طبقه‌بندی نوع زمین

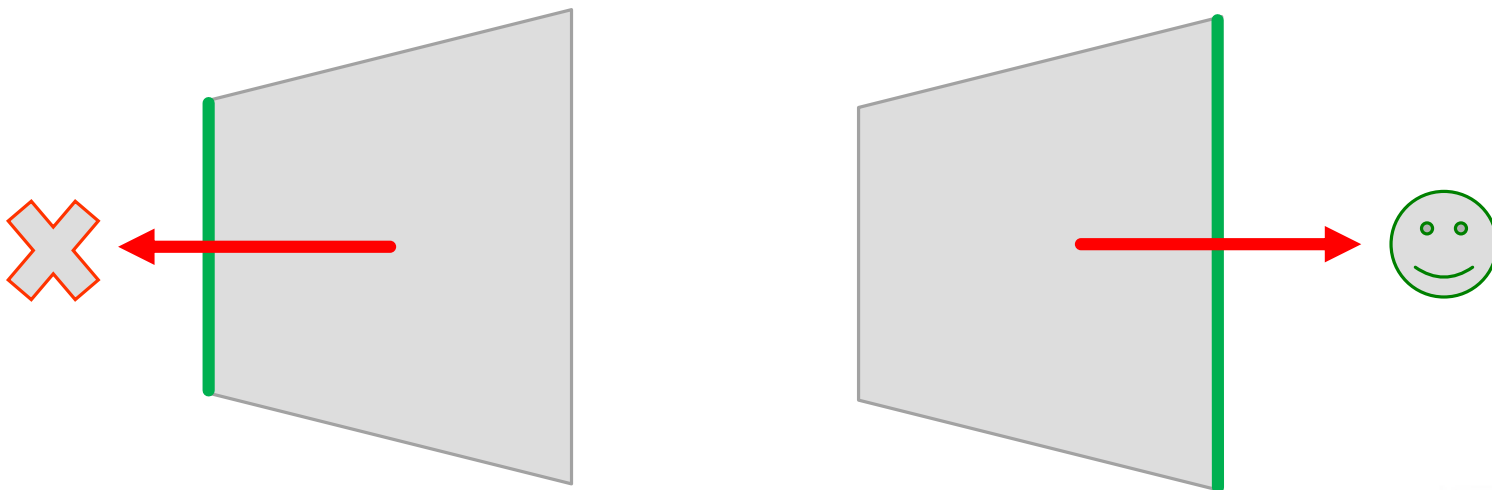
نوع زمین	توصیف لایه‌بندی زمین	پارامترها		
		$\bar{v}_s (m/s)$	$\bar{N}_{l(60)}$	$\bar{C}_g (kPa)$
I	سنگ و شیشه سنگ، شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک‌های سیمانته بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر تا سطح زمین	>750	-	-
II	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل - شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد. سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	۳۷۵ - ۷۵۰	>50	>250
III	<u>خاک متراکم</u> تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	<u>۱۷۵ - ۳۷۵</u>	۱۵ - ۵۰	۷۰ - ۲۵۰
IV	خاک متوسط تا نرم، لایه‌های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه‌های خاک کاملاً چسبنده نرم تا محکم.	<175	<15	<70

همانطور که مشخص است تفسیر آیین نامه از خاک پیرامون ساختمان از یک تعریف **فیزیکی (کوبیده شده)** در ویرایش ۳، به یک تعبیر **دینامیکی (متراکم)** با توجه به سرعت موج برشی) در ویرایش ۴ تغییر پیدا کرده است. این تفسیر دقیقاً در ASCE7 نیز با اشاره به مهندس **زلزله شناس** و تعریف خاک **سخت** مشاهده می‌شود.



نگرشی به تفسیر آیین نامه بارگذاری آمریکا (ASCE7 (C11.2)

بنابراین در بسیاری از حالتها ممکن است ناگزیر باشیم برای ساختمانهایی با زیرزمین، ترازپایه را پایین تر از سطح زمین قرار دهیم. این گونه حالتها شامل مواردی مانند اینکه دیافراگم کف به دیوارهای حائل متصل نشده اند، دیافراگم کفها شامل دیافراگم انعطاف پذیر در تراز نزدیک به سطح باشد و یا سایر ساختمانها در نزدیکی آن قرار داشته باشند. دانش **پاسخ دینامیکی** در ساختمانها و **قضاوت مهندسی** اغلب در تعریف ترازپایه این سازه ها تعیین کننده است.





نحوه اثر دهی تراز پایه

از آنجا که اثر تراز پایه، اثری دو گانه است در صورت نبود **حالت پایدار** در طول عمر مفید ساختمان می بایست به طور کامل (حال یا آینده) مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور می بایست هر دو حالت تراز پایه (در صورت وجود) در **ضریب زلزله و وزن موثر لرزه ای** پایه اعمال شود.

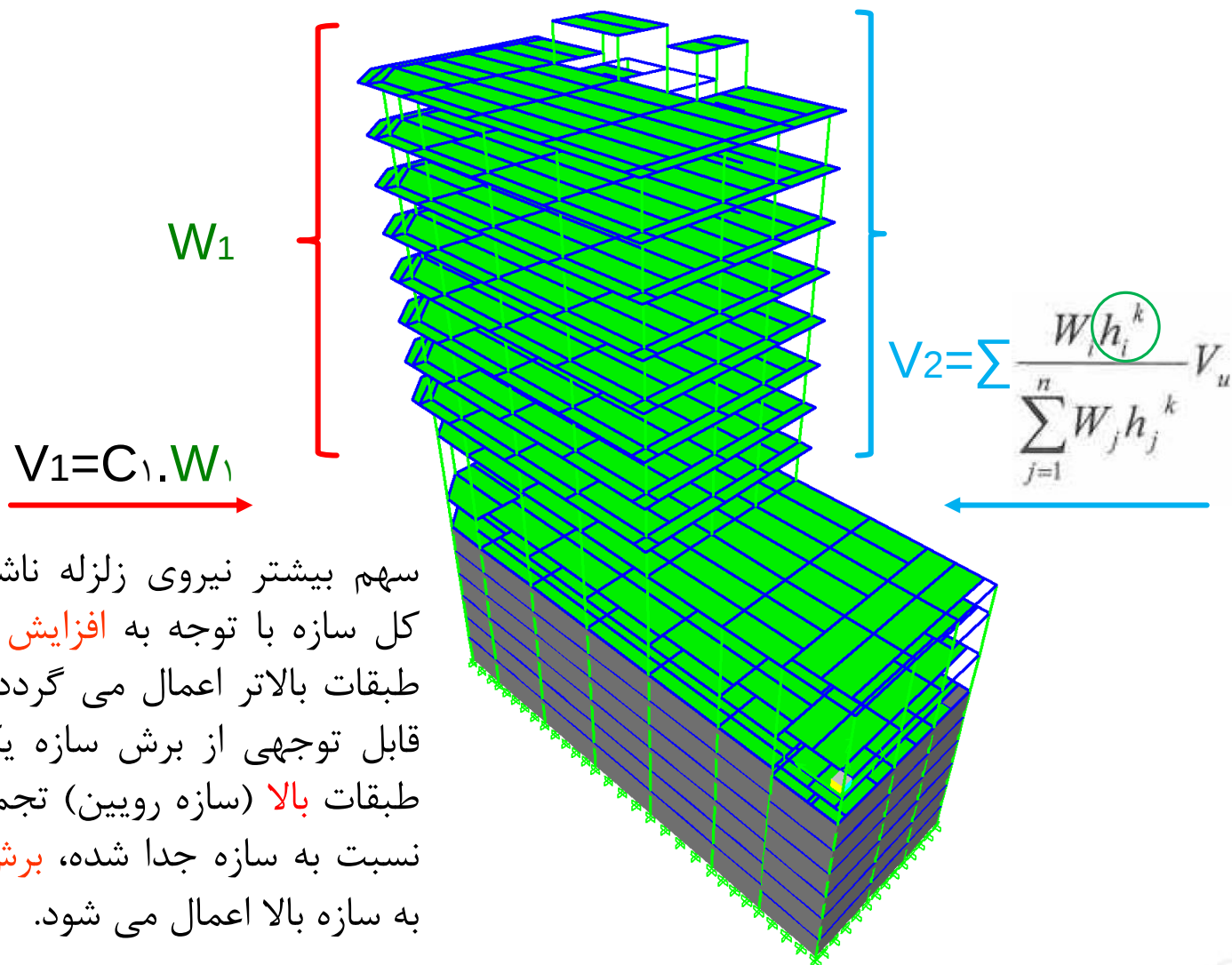
$$V = C.W$$

$$T = \alpha H^{\beta}$$

$$B = \gamma \cdot \left(\frac{TS}{T} \right)$$

$$C = AB I / R$$

با توجه به روابط بالا و اثر بیشتری که تراز پایه بر **روی وزن لرزه ای** دارد، چنانچه سطح طبقات زیرین خالی نباشد، با افزایش ارتفاع موثر سازه، برش پایه **بیشتر** می گردد!





نکات ویژه در خصوص تراز پایه و توزیع نیروی زلزله در بالا و پایین آن

علیرضا فاروقی

۳-۳-۵-۹ ترکیب سیستم‌ها در ارتفاع

در ساختمان‌هایی که از دو سیستم سازه‌ای مختلف برای تحمل بار جانبی در یک امتداد در ارتفاع استفاده شده باشد، برای تعیین نیروی جانبی زلزله باید الزامات زیر رعایت گردد:

۳-۳-۵-۹-۱ حالت کلی

الف- زمان تناوب اصلی سازه باید مطابق ضوابط بند (۳-۳-۳) تعیین گردد. در مواردی که از روابط تجربی استفاده می‌شود، این زمان باید برابر با متوسط وزنی زمان‌های تناوب هر یک از سیستم‌ها در ارتفاع کل سازه در نظر گرفته شود.

پریودهای $T1, T2$

محاسباتی برای هر

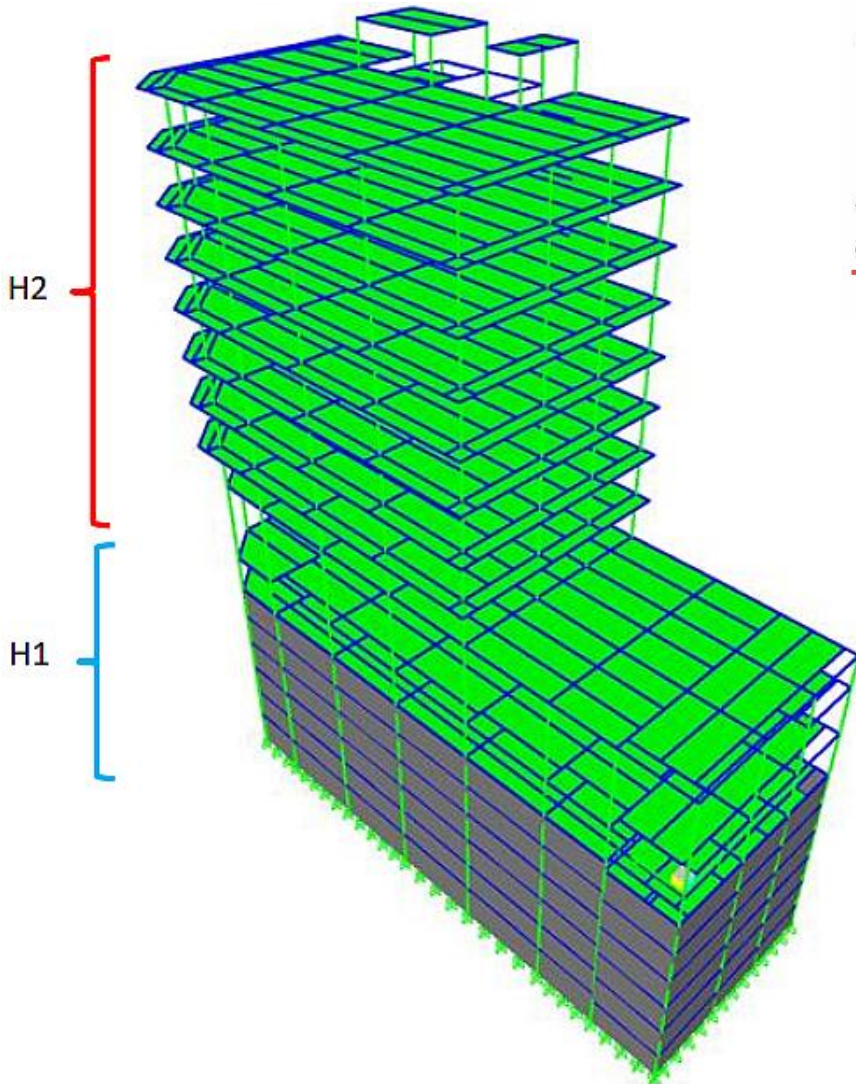
سیستم با ارتفاع کل



$$T = \frac{T1.H1 + T2.H2}{H1 + H2}$$

ب- در ساختمان‌هایی که ضریب رفتار برای سیستم قسمت تحتانی بیشتر از مقدار آن برای سیستم قسمت فوقانی است، مقادیر R_u ، C_d و Ω_0 قسمت فوقانی باید برای محاسبات هردو قسمت مورد استفاده قرار گیرد.

پ- در ساختمان‌هایی که ضریب رفتار برای سیستم قسمت تحتانی کمتر از مقدار آن برای سیستم قسمت فوقانی است، مقادیر R_u ، C_d و Ω_0 قسمت فوقانی باید برای محاسبات این قسمت مورد استفاده قرار گیرد. برای محاسبات قسمت تحتانی مقادیر R_u ، C_d و Ω_0 مربوط به همین قسمت مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی حالت نیروهای عکس‌العمل ناشی از تحلیل قسمت فوقانی نیز که در نسبت R_u/p قسمت فوقانی به R_u/p قسمت تحتانی ضرب شده‌اند، باید به مدل سازه قسمت تحتانی اضافه شود. این نسبت در هر حال نباید کوچک‌تر از ۱/۰ باشد.





۳-۳-۵-۹ ترکیب سیستم‌ها در ارتفاع

۳-۳-۵-۹-۲ حالت خاص

در ساختمان‌هایی که سختی جانبی قسمت فوقانی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سختی جانبی قسمت تحتانی بوده و شرایط زیر موجود باشد:

الف) سختی جانبی متوسط طبقات تحتانی حداقل ده برابر سختی متوسط طبقات فوقانی باشد.

ب) زمان تناوب اصلی نوسان کل سازه کمتر از ۱/۱ برابر زمان تناوب اصلی قسمت فوقانی باشد.

نیروهای جانبی را می‌توان با استفاده از روش دو مرحله زیر تعیین نمود:

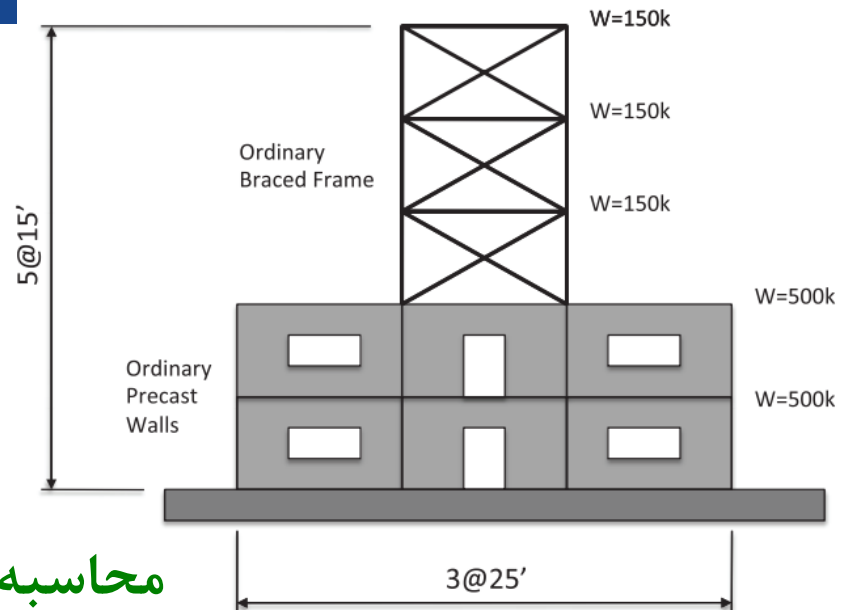
۱- سازه انعطاف‌پذیر قسمت فوقانی به‌طور مجزا و با پایه‌های گیردار در نظر گرفته شده و مطابق روال عادی تحلیل می‌گردد. در تعیین نیروها کلیه پارامترهای مربوط به سیستم این قسمت مورد استفاده قرار داده می‌شود.

۲- سازه سخت قسمت تحتانی عیناً مانند آنچه در زیر بند (۱) گفته شد و با در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به این قسمت تحلیل می‌گردد، با این تفاوت که نیروهای عکس‌العمل سازه فوقانی نیز به سازه تحتانی اثر داده می‌شود. این نیروها باید با ضریب نسبت R_u/p قسمت تحتانی به R_u/p قسمت فوقانی تعدیل شوند. ضریب مورد نظر نباید کوچک‌تر از ۱/۰ در نظر گرفته شود.



Guide to the Seismic Load Provisions of ASCE 7-16

۳-۳-۵-۹ ترکیب سیستم‌ها در ارتفاع



محاسبه تقریبی سختی طبقات:

The system was analyzed using SAP2000 (CSI 2019), wherein the precast walls were modeled with shell elements. The stiffness of the upper portion was determined by fixing it at its base (transition from the upper to the lower portion) and applying a 100 kip lateral load at the top. The displacement at the top was 0.607 in.; thus, the stiffness is approximately $100/0.607 = 165$ kips/in. The stiffness of the lower portion was found by removing the upper portion and applying a 100 kip lateral force at the top of the lower portion. The displacement at the top of the lower portion was 0.0146 in., and the stiffness is $100/0.0146 = 6,872$ kips/in. The ratio of the stiffness of the lower portion to the upper portion is $6,872/165 = 41.6$, so the first criterion is met.



Upper Portion:

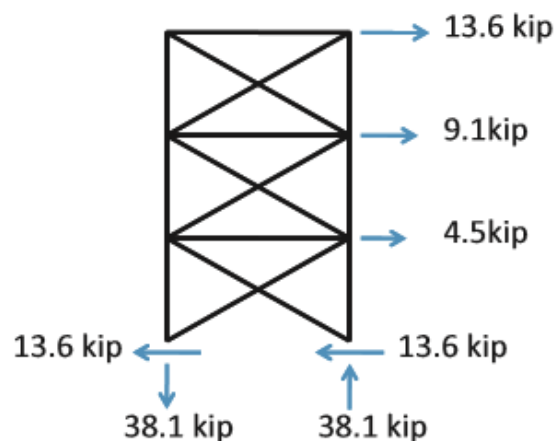
W=450 kip

R=3.25

T=0.367 s

 $C_s=0.0604$

V=27.2 kip



Lower Portion:

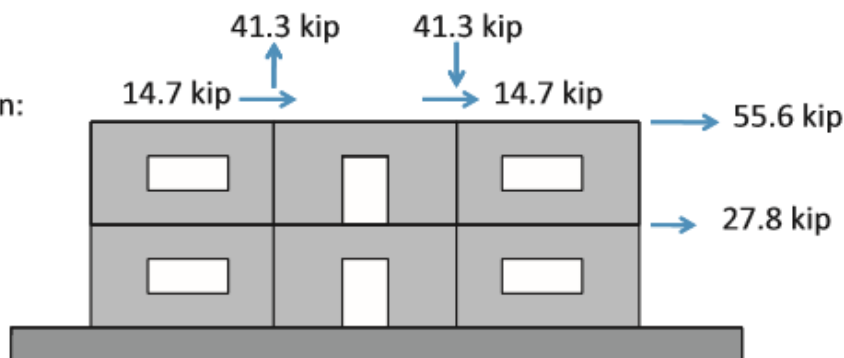
W=1000 kip

R=3.00

T (< .1 s)

 $C_s=0.0833$

V=83.3 kip



نکته :

به جای جدا سازی می توان ۲ حالت بار مجزا با مشخصات هر قسمت تعریف نمود (Etop-Ebot) بعد یک ترکیب (یا حالت بار) جدید تعریف نمود با نام Eall برای بارگذاری سازه تحتانی استفاده می شود که شامل هر دو بار است با ضریب اعمال شده به قسمت top:

$$E_{all} = (E_{top} \times \alpha + E_{bot})$$



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه) (نیروی زلزله ناشی از توده خاک)

مطابق بند ۷-۵-۴-۳-۶ مبحث هفتم در دیوارهای زیرزمین که انتهای آن متکی به سقف هستند در شرایط بارگذاری لرزه ای باید طبق جدول ۷-۵-۲ و بند ۷-۵-۴-۳-۷، در خاکهای متراکم یا سخت علاوه بر فشار سکون، از **اضافه فشار** خاک هنگام زلزله از روابط مانند وود نیز استفاده گردد :

جدول ۷-۵-۲ تعیین فشار خاک جهت تحلیل لرزه‌ای

خاک پشت دیوار	روش محاسبه فشار جانبی خاک در هنگام زلزله
متراکم یا سخت (بر اساس مدول برشی)	فشار دینامیکی خاک با فرض حالت سکون و بکارگیری روابطی مانند وود
متوسط و سست	(۱) فشار دینامیکی خاک با فرض حالت محرک و بکارگیری روابطی مانند مونونوبه - اکابه یا (۲) فشار استاتیکی با فرض حالت سکون

۷-۵-۴-۳-۷ فشار جانبی خاک در هنگام زلزله، با دو مولفه در ترکیبات بارگذاری در نظر گرفته می‌شود.
فشار خاک در حالت استاتیکی + اضافه فشار خاک هنگام زلزله = فشار خاک در هنگام زلزله



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

معرفی روش **وود**: راهنمای دیوار حائل - نشریه شماره ۳۰۸ بازنگری اول (۱۳۹۶)

۱۴-۴-۳- حائل‌های ثابت

برخی از حائل‌ها نظیر دیوارهای حائل وزنی بزرگ قرار گرفته بر سنگ یا بستری مشابه سنگ یا دیوارهای زیرزمین ساختمانی که در بالا و پایین مهار شده‌اند، فاقد حرکت لازم جهت بسیج مقاومت فعال یا مقاوم خاکریز می‌باشند. نتایج تحقیقات^۱ نشان داده است برای محدوده تکانه‌هایی با فرکانس کمتر از نصف فرکانس طبیعی خاک مهار نشده، فشارهای وارد بر دیوار را می‌توان از حل الاستیک برای یک شتاب افقی یکنواخت ثابت وارد بر خاک محاسبه کرد. برای دیوارهای صلب و بدون اصطکاک، مولفه دینامیکی نیرو و لنگر واژگونی حول پایه دیوار مطابق روابط (۱۲-۱۴) و (۱۳-۱۴) به دست می‌آیند:

$$\Delta P_{eq} = \gamma H^2 k_h F_p \quad (12-14)$$

$$\Delta M_{eq} = \gamma H^3 k_h F_m \quad (13-14)$$

k_h = مولفه افقی شتاب زلزله

γ = وزن مخصوص مرطوب خاک



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

نشریه ۱۲۳ ویرایش ۱۳۹۵:

۳-۵-۲- اضافه فشار دینامیکی خاک پشت دیوارهای پیرامونی

در صورت عدم انجام مطالعات دقیق، حداقل برآیند اضافه فشار دینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش خاک پشت دیوارهای پیرامونی مخازن طبق رابطه ۳-۳۹ محاسبه می‌گردد. مقدار k_h در این رابطه با توجه به جنس خاک و میزان تغییر مکان جانبی دیوارهای پیرامون مخازن بر اثر نیروی زلزله تعیین می‌شود. این مقدار برای دیوارهای پیرامونی که ضوابط فشار محرک خاک را برآورده می‌کنند، نباید کمتر از $\frac{A}{2}$ و برای دیوارهای سخت کمتر از A در نظر گرفته شود.

فصل ششم

الزامات ژئوتکنیکی

۶-۲-۲-۱ ارزیابی پایداری شیبها به منظور بررسی استعداد زمین لغزش

در مواردی که توپوگرافی سطحی و لایه‌بندی خاک نامنظمی شدید نداشته باشد، پاسخ زمین‌های شیب‌دار به زلزله طرح می‌تواند با استفاده از تحلیل شبه استاتیکی ساده‌شده محاسبه گردد. در غیر این صورت باید از روش‌های تحلیل دینامیکی نظیر المان محدود یا مدل بلوک صلب لغزنده و دیگر روش‌ها استفاده گردد. در آنالیز شبه‌استاتیکی، نیروهای اینرسی لرزه‌ای طرح که بر توده خاک وارد می‌شوند، باید محاسبه گردند.

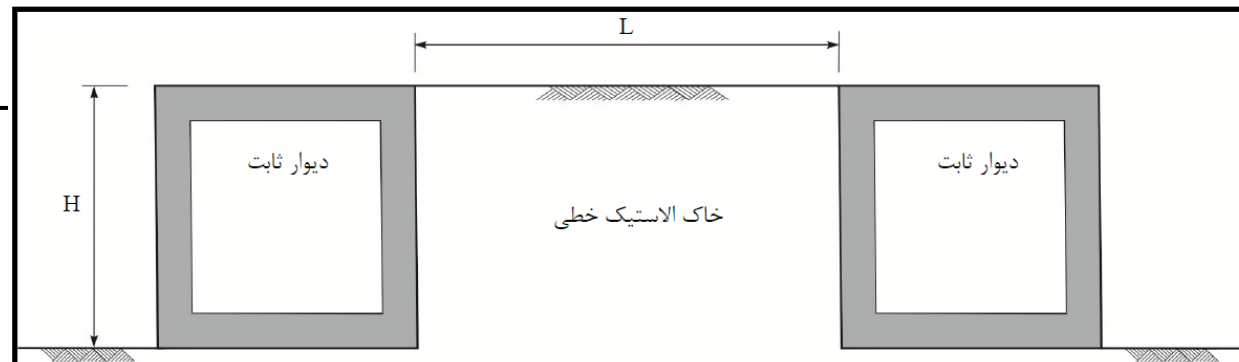
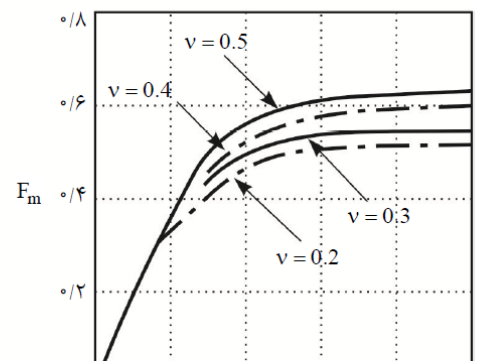
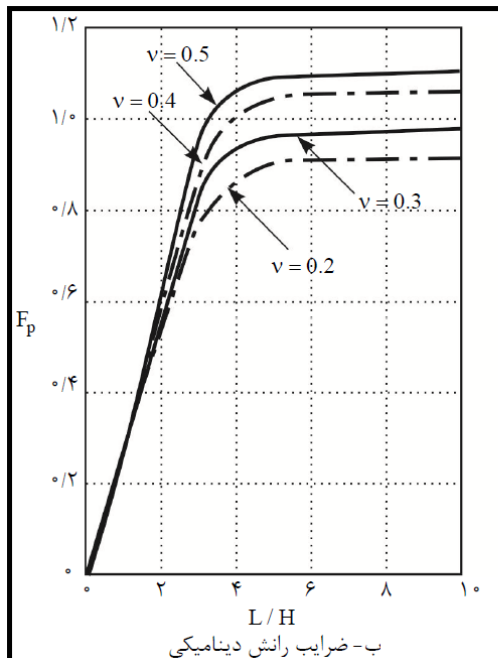
$$F_H = k_h W_s \quad (۲-۶)$$

$$k_h = 0.5 A \quad (۳-۶)$$



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

معرفی روش **وود**: راهنمای دیوار حائل - نشریه شماره ۳۰۸





نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

معرفی روشهایی مانند وود:

۴- روش ملکی و محجوبی (۲۰۱۰): توزیع و مقدار اضافه نیروی جانبی در هنگام زلزله

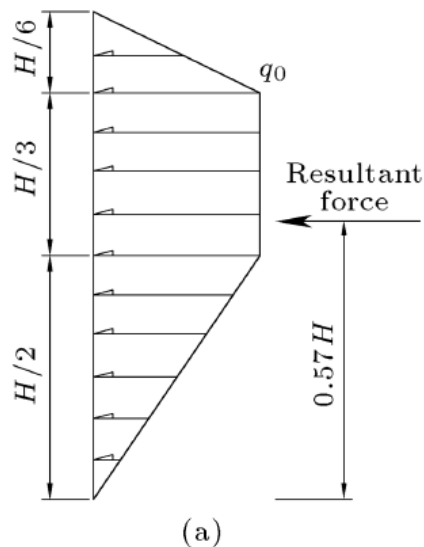


Table 1. Coefficient α and distribution type in α method.

Case	Distribution	α
Bridge abutment ($H < 5$ m)	I	0.31
Bridge abutment ($H \geq 5$ m)	I	0.55
Rigid and propped wall ($H < 5$ m)	I	0.32
Rigid and propped wall ($H \geq 5$ m)	I	0.64
RC retaining wall ($H < 5$ m)	I	0.25
RC retaining wall ($H \geq 5$ m)	II	0.44

$$q_0 = \Delta P_E = 0.64 A_s H^2 \quad H \geq 5 \text{ m}$$

$$q_0 = \Delta P_E = 0.32 A_s H^2 \quad H < 5 \text{ m}$$



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

معرفی روشهایی مانند وود:

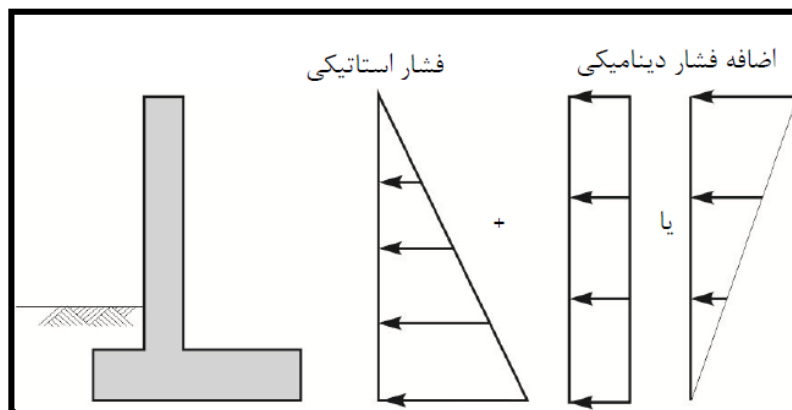
۶- بند ۱۴-۴-۵ نشریه ۳۰۸ سازمان مدیریت و برنامه ریزی بازنگری اول (۱۳۹۶)

۱۴-۴-۵- روابط آیین‌نامه‌ای برای فشار لرزه‌ای

علاوه بر روابط نظری بیان شده برای تعیین فشار جانبی لرزه‌ای، برخی آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی نیز، روابط ساده‌ای را جهت تعیین فشار جانبی لرزه‌ای بر حائل‌ها ارائه نموده‌اند. در این قسمت روابط ارائه شده توسط آیین‌نامه FEMA^۱ برای تعیین اضافه فشار دینامیکی وارد بر دیوارهای حائل ثابت (دیوار طبقات زیرزمینی ساختمان) در حضور خاک غیراشباع با سطح صاف و بالاتر از سطح آب زیرزمینی، بیان می‌گردد:

$$\Delta P_e = 0.4k_h \gamma H$$

(۱۴-۲۵)



شکل ۱۴-۱۰- اضافه فشار دینامیکی وارد بر دیوارهای حائل



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

معرفی روشهایی مانند وود:

۵- نشریه ۳۶۰ دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود-تجدید نظر اول ۱۳۹۲

۴-۵- فشار لرزه ای جانبی خاک

دیوارهای ساختمانی نگهدارنده ی خاک باید در مقابل اثرات فشارهای لرزه ای زمین ارزیابی شوند. در غیاب مطالعات ژئوتکنیکی خاص پروژه، اضافه فشار خاک در حین زلزله ی وارد بر یک دیوار ساختمانی که یک توده ی خاک غیراشباع با سطح افقی (تراز) در بالای سطح آب زیرزمینی را نگه می دارد می تواند از رابطه (۴-۲۰) محاسبه شود:

$$\Delta p = 0.4K_h \gamma H$$

(۴-۲۰)

که در آن:

Δp : اضافه فشار جانبی خاک در حین زلزله ی وارد بر دیوار حایل است که توزیع آن در ارتفاع دیوار یکنواخت فرض می شود.

H : ارتفاع کل دیوار

γ : وزن واحد حجم خاک پشت دیوار

K_h : ضریب شتاب افقی زلزله که برابر شتاب حداکثر زلزله در سطح زمین نسبت به شتاب ثقل فرض می شود (اگر از استاندارد

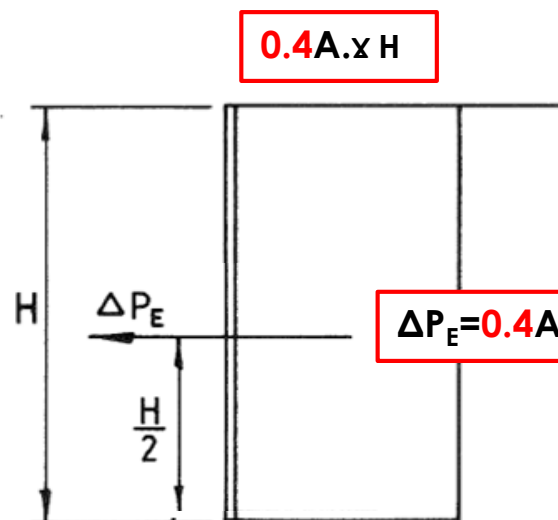
۲۸۰۰ برای محاسبه ی زلزله ی طرح استفاده می شود، همان شتاب مبنای محل (A) خواهد بود).



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

جمع بندی:

(با توجه به ۴ مرجع بررسی شده با تاکید بر روش ارائه شده در نشریه ۳۶۰ داریم)



یا:

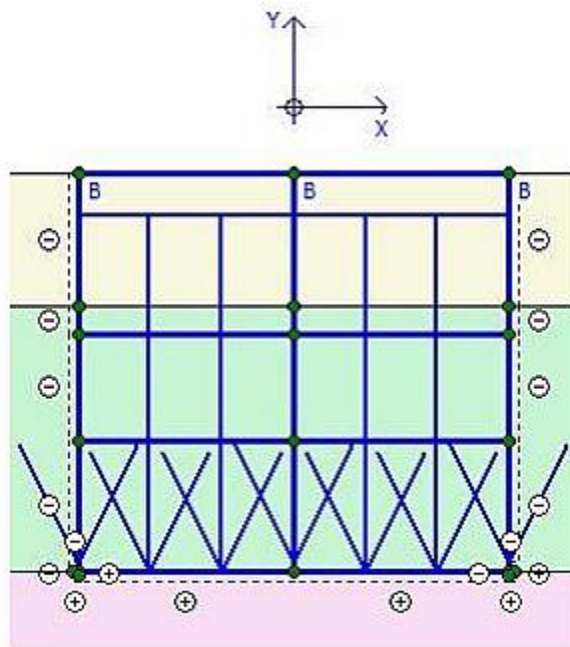
کل اضافه فشار در هنگام زلزله:



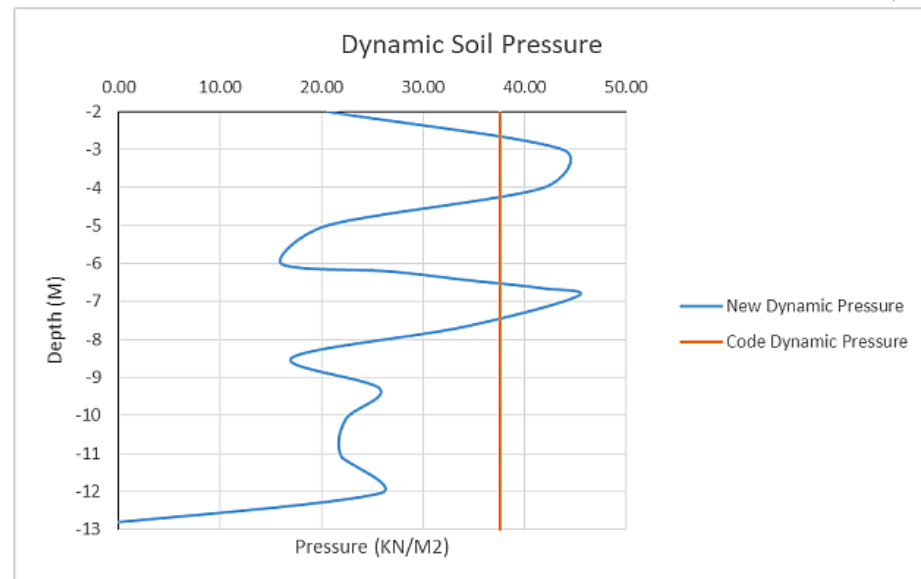
نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

معرفی روشهایی مانند وود:

یک نمونه ارتعاش واقعی مدل شده :



شکل ۱.۲ مدل سازه در نرم افزار PLAXIS



شکل ۷.۲ مقایسه متوسط توزیع فشار خاک دینامیکی وارد بر دیوار حائل با مقادیر آیین نامه ای



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

۲-۲-۵-۵-۷ در ترکیب‌های بارگذاری در شرایط زلزله، فقط اضافه فشار خاک هنگام زلزله به عنوان بخشی از نیروهای زلزله (E) لحاظ می‌گردد. در این حالت ترکیب بارگذاری، فشار خاک در شرایط استاتیکی به عنوان بار مرده (D) محسوب می‌گردد.

بنابراین طبق مبحث هفتم داریم: (روش مقاومت)

$$1.2H + 1.4EH$$

H: static load pressure

Eh: seismic earth pressure

در استعلام از رئیس کمیته **ASCE7** داریم:

Common practice in the U.S. is to treat the dynamic increment of soil pressure associated with earthquake, as an “E” load and to use the 1.0 factor on it

بنابراین طبق **ASCE7** داریم: (روش مقاومت)

$$1.6H + 1.0EH$$

H: static load pressure

Eh: seismic earth pressure



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

سوال: طراحی دیوار و سازه در این حالت چگونه است؟

جواب: الف: دیوار – مطابق **ASCE41** داریم:

The seismic earth pressure shall be added to the unfactored static active earth pressure to obtain the total earth pressure on the wall. The wall shall be evaluated as a force-controlled component using acceptance criteria based on the type of wall construction and approved methods.

بنابراین دیوار نباید پلاستیک شده و کاهش اثرات زلزله بدلیل عواملی مانند ضریب رفتار ممنوع است.



نگرشی به اثر زلزله بر دیوارهای صلب ساختمانی (زیر تراز پایه)

ب : سازه – در این خصوص مشخصا در **ASCE41** گفته شده که این اضافه فشار نباید در افزوده شدن برش پایه سازه مورد استفاده قرار گیرد :

Seismic earth pressures calculated in accordance with this section are intended for use in checking acceptability of local wall components and should not be used to increase total base shear on the building.

اما اثرات این نیرو در سازه چه می شود؟

منطقی ترین برداشت این است که از آنجا سازه در اثر هرگونه بار زلزله اجازه پلاستیک شدن دارد لذا می توان این اضافه فشار نیروی زلزله را به طریق زیر اعمال نمود:
همانطور که مطابق **ASCE7** هر جا اثر **R** و کاهش مقاومت دیده شده، **I** هم برای جبران آن ذکر شده اینجا نیز ضریب اهمیت اعمال می شود:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \rightarrow \frac{EH}{\frac{Ru}{I}} = \frac{I \cdot EH}{Ru}$$