

بخش هفتم

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

(Lateral dynamic earth pressure on retaining walls)

دکتر سید محمد رضا امام

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- کلیات

موارد متعددی از خسارات ناشی از فشار جانبی خاک بر دیوارهای حائل در شرایط زلزله مشاهده شده است. بیشتر این خسارات در دیوارهای ساحلی و در محیط های اشباع روی داده است و میتواند بعلت: افزایش فشار جانبی خاک، کاهش فشار آب جلو دیوار، و یا روانگرایی خاک پشت یا زیر خاک در شرایط زلزله اتفاق افتاده باشد.

مطالعات مربوط به فشار جانبی خاک بر دیوار حائل می تواند به چند روش صورت گیرد:

▪ فرض رفتار پلاستیک کامل برای خاک (روش شبه استاتیکی pseudostatic)

▪ روشهای مبتنی بر تئوری گسترش امواج الاستیک در خاک

▪ روشهای مبتنی بر رفتار الاستوپلاستیک غیر خطی خاک

در اینجا ما روش اول را برای تعیین فشار جانبی مورد استفاده قرار میدهیم.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

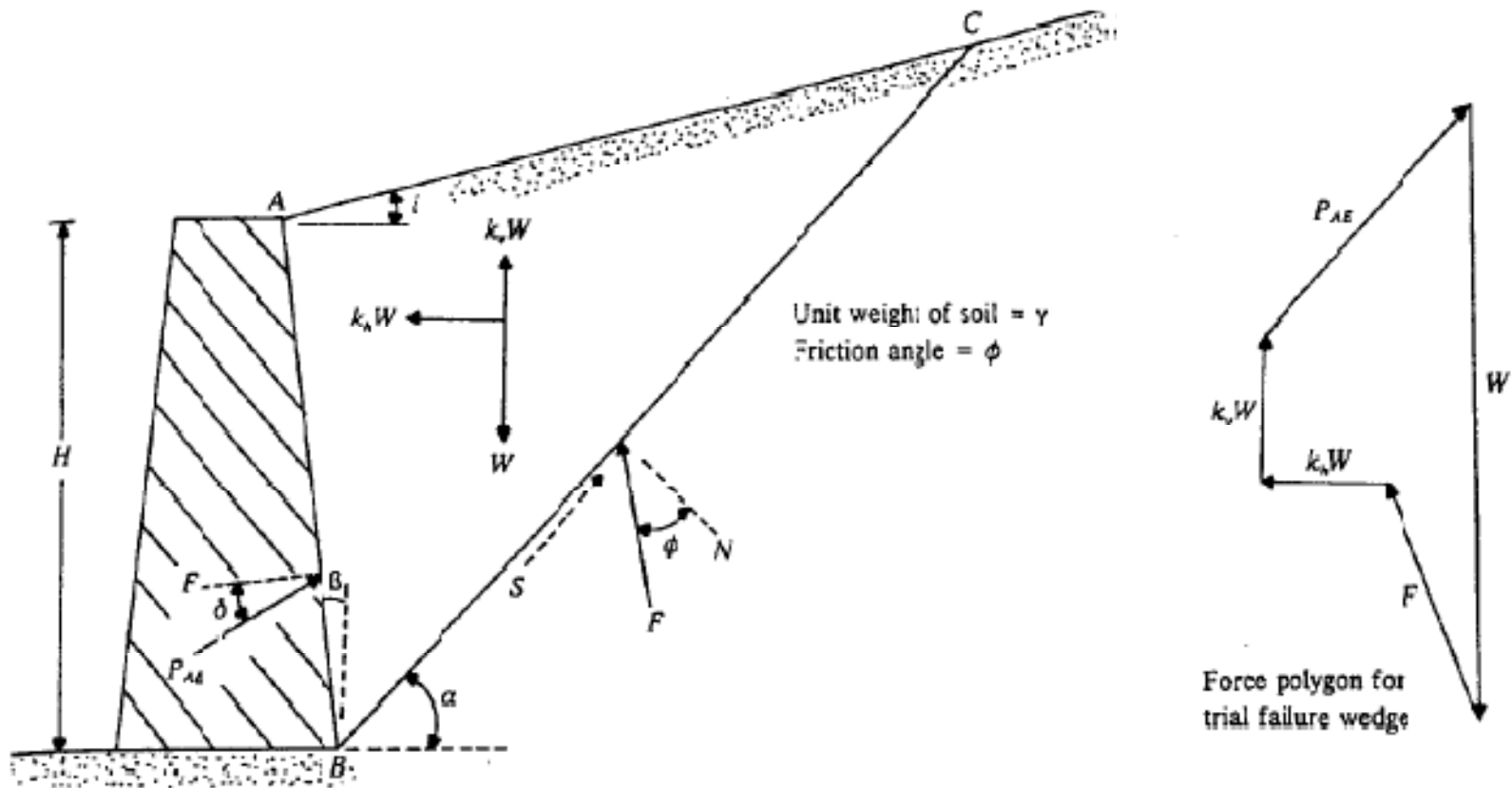
معروفترین روش شبه استاتیکی که برای تعیین فشار جانبی خاک در اثر بار زلزله مورد استفاده قرار میگیرد روش (1929, 1926) Mononobe-Okabe می باشد که در واقع مبتنی بر روش (1776) Coulomb است. در این روش با اضافه کردن نیروهای افقی و عمودی ناشی از زلزله تعادل گسیختگی مورد بررسی قرار میگیرد. این روش مبتنی بر فرضیات زیر است:

- ا گسیختگی خاک تحت بارهای وارده در امتداد یک صفحه صورت میگیرد
- ا دیوار میتواند به اندازه کافی جابجا شود تا حداقل فشار محرک پشت دیوار وارد شود
- ا مقاومت برشی خاک اصطکاکی خشک بصورت خطی با تنش نرمال تغییر میکند
- ا در شرایط گسیختگی، مقاومت برشی بطور کامل در صفحه گسیختگی بسیج میشود
- ا خاک پشت دیوار بصورت جسم صلب رفتار میکند

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

چند ضلعی نیرو برای گوه آزمایشی M-O



فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

در بررسی تعادل گوه آزمایشی M-O نیروهای زیر در نظر گرفته میشوند:

- نیروی وزن گوه (W)

- نیروی محرک وارد بر گوه در بارگذاری دینامیکی (P_{AE})

- نیروی عکس العمل وارد بر گوه گسیختگی از طرف خاک زیر آن (F)

- نیروهای اینرسی افقی و عمودی ناشی از بار دینامیکی. در تعیین این نیروها از ضرایب شتاب افقی و عمودی ناشی از زلزله استفاده میشود. این ضرایب بصورت زیر تعریف میشوند:

$$k_h = \frac{\text{مولفه افقی شتاب زلزله}}{g}$$

$$k_u = \frac{\text{مولفه عمودی شتاب زلزله}}{g}$$

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

با بررسی تعادل گوه آزمایشی M-O نیروی محرک وارد بر دیوار بصورت زیر تعیین میشود:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AE}$$

که در آن ضریب فشار جانبی خاک (K_{AE}) عبارت است از:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

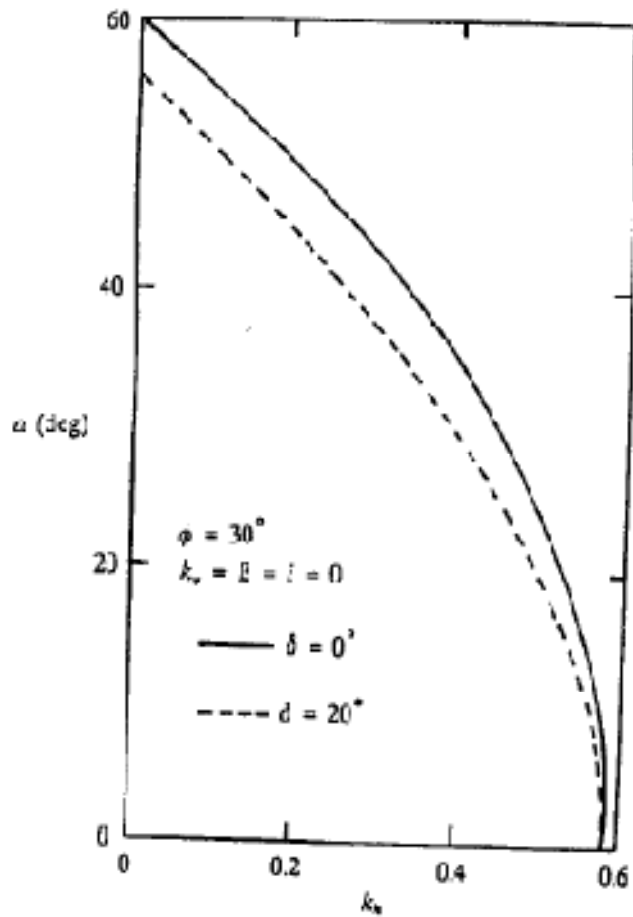
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right)$$

و داریم:

رابطه فوق به رابطه Mononobe-Okabe برای فشار جانبی محرک خاک در حالت دینامیکی معروف است.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی



تغییرات شیب سطح گسیختگی با شتاب افقی برای شرایط: $k_v = 0^\circ, \beta = 0^\circ, i = 0^\circ, \phi = 30^\circ$.

در شکل روبرو نشان داده شده است. دیده میشود که هرچه مولفه افقی شتاب زلزله بزرگتر باشد، سطح گسیختگی به سطح افقی نزدیکتر است.

می توان برای شرایط مختلف ضریب فشار جانبی خاک در شرایط زلزله را در جدولی تهیه کرده و برای طراحی بکار برد.

باید توجه داشت که نیروی محرک محاسبه شده در این روش مجموع نیروهای محرک استاتیکی و دینامیکی است.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

ضرایب فشار جانبی دینامیکی خاک برای دیوار با سطح قائم پشت دیوار و شتاب عمودی زلزله برابر صفر برای بعضی حالت‌های خاص در جدول زیر داده شده است. بقیه این جدول در صفحه 336 کتاب Das آمده است.

Table 8.4 Values of K_{AE} [Eq. (8.5)] with $k_v = 0$ and $\beta = 0^\circ$

k_h	δ (deg)	i (deg)	ϕ (deg)				
			28	30	35	40	45
0.1	0	0	0.427	0.397	0.328	0.268	0.217
0.2			0.508	0.473	0.396	0.382	0.270
0.3			0.611	0.569	0.478	0.400	0.334
0.4			0.753	0.697	0.581	0.488	0.409
0.5			1.005	0.890	0.716	0.596	0.500
0.1	0	5	0.457	0.423	0.347	0.282	0.227
0.2			0.554	0.514	0.424	0.349	0.285
0.3			0.690	0.635	0.522	0.431	0.356
0.4			0.942	0.825	0.653	0.535	0.442
0.5			—	—	0.855	0.673	0.551

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

نکاتی در مورد رابطه نیروی محرک دینامیکی:

عبارت $\sin(\phi - \theta - i)$ که در رابطه نیروی محرک دینامیکی در زیر رادیکال ظاهر میشود میتواند نقش مهمی در تعیین این نیرو در حالات مختلف داشته باشد:

! در صورتیکه مقدار این عبارت کوچکتر از صفر شود، جواب حقیقی برای این برای K_{AE} وجود نخواهد داشت. از نظر فیزیکی، این بدین معنی است که گوه گسیختگی نمی تواند در تعادل باشد. بنابراین، برای ارضای شرط تعادل حداکثر شیب خاکریز پشت دیوار (i) از رابطه روبرو می آید:

$$i \leq \phi' - \theta$$

$$i \leq \phi$$

! در شرایط استاتیکی ($\theta = 0$) و بنابراین باید داشته باشیم:

که لزوم ارضای این شرط در بارگذاری استاتیکی واضح است.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی

نکاتی در مورد رابطه نیروی محرک دینامیکی:

همچنین برای خاکریز افقی پشت دیوار ($i = 0$)، و بنابراین برای ارضای تعادل باید داشته باشیم:

$$\theta \leq \phi$$

با توجه به آنکه: $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$ ، برای ارضای شرط تعادل، با ترکیب روابط فوق خواهیم داشت:

$$k_h \leq (1 - k_v) \tan \phi$$

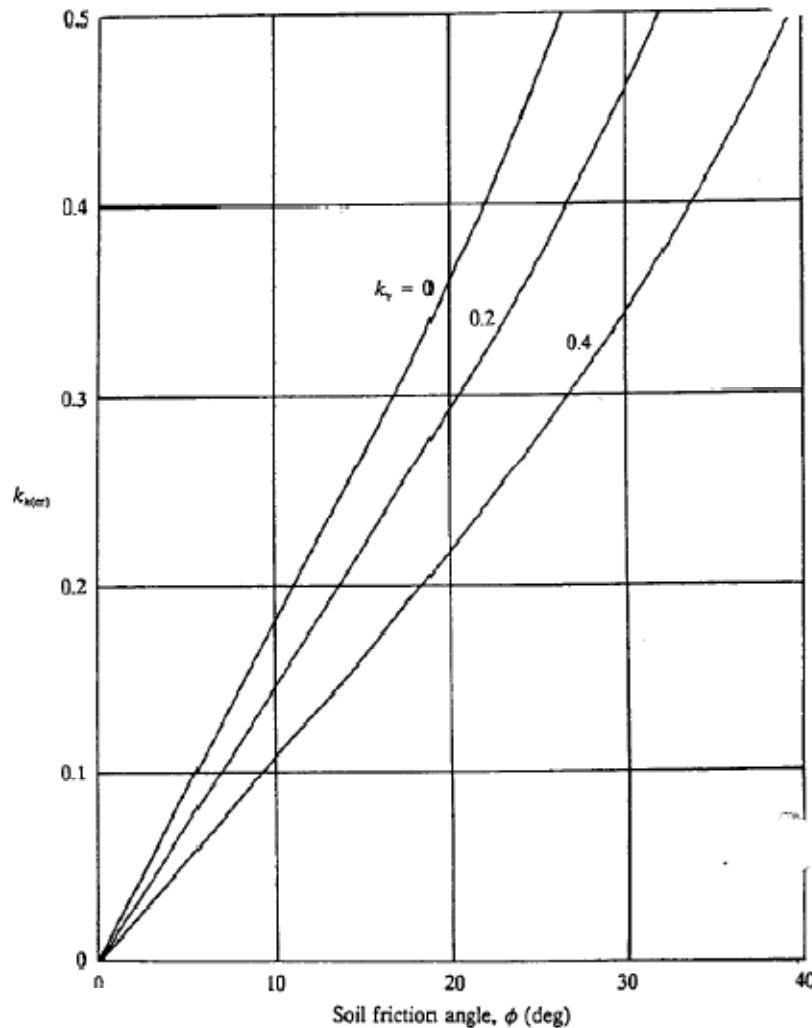
بنابراین مقدار بحرانی ضریب شتاب افقی زلزله عبارت خواهد بود از:

$$k_{h(cr)} = (1 - k_v) \tan \phi$$

طبق این روابط، در صورتیکه شتاب افقی زلزله از مقدار بحرانی فوق بیشتر باشد، تعادل نیروهای وارد بر دیوار برقرار نخواهد شد.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

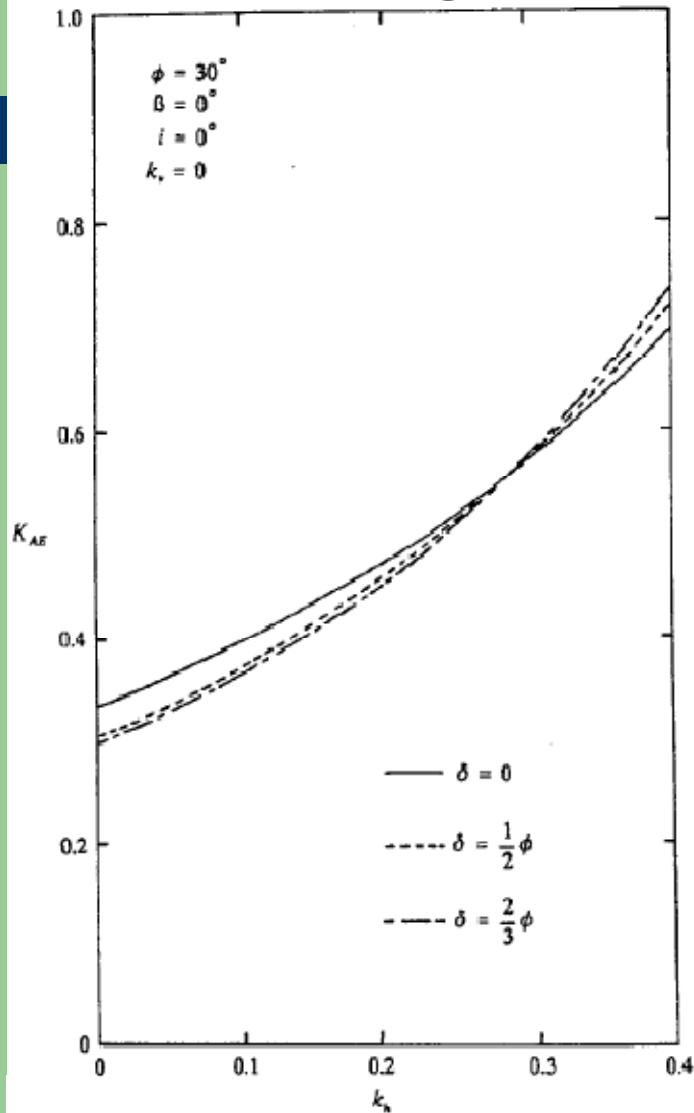
- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی



در شکل روبرو تغییرات شتاب افقی بحرانی با زاویه اصطکاک داخلی خاک داده شده است. دیده میشود که برای یک مقدار مشخص زاویه اصطکاک داخلی خاک، هرچه شتاب عمودی بیشتر باشد، شتاب افقی بحرانی کمتر است.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای فشار محرک دینامیکی



اثر عوامل مختلف بر فشار جانبی خاک تحت بار دینامیکی

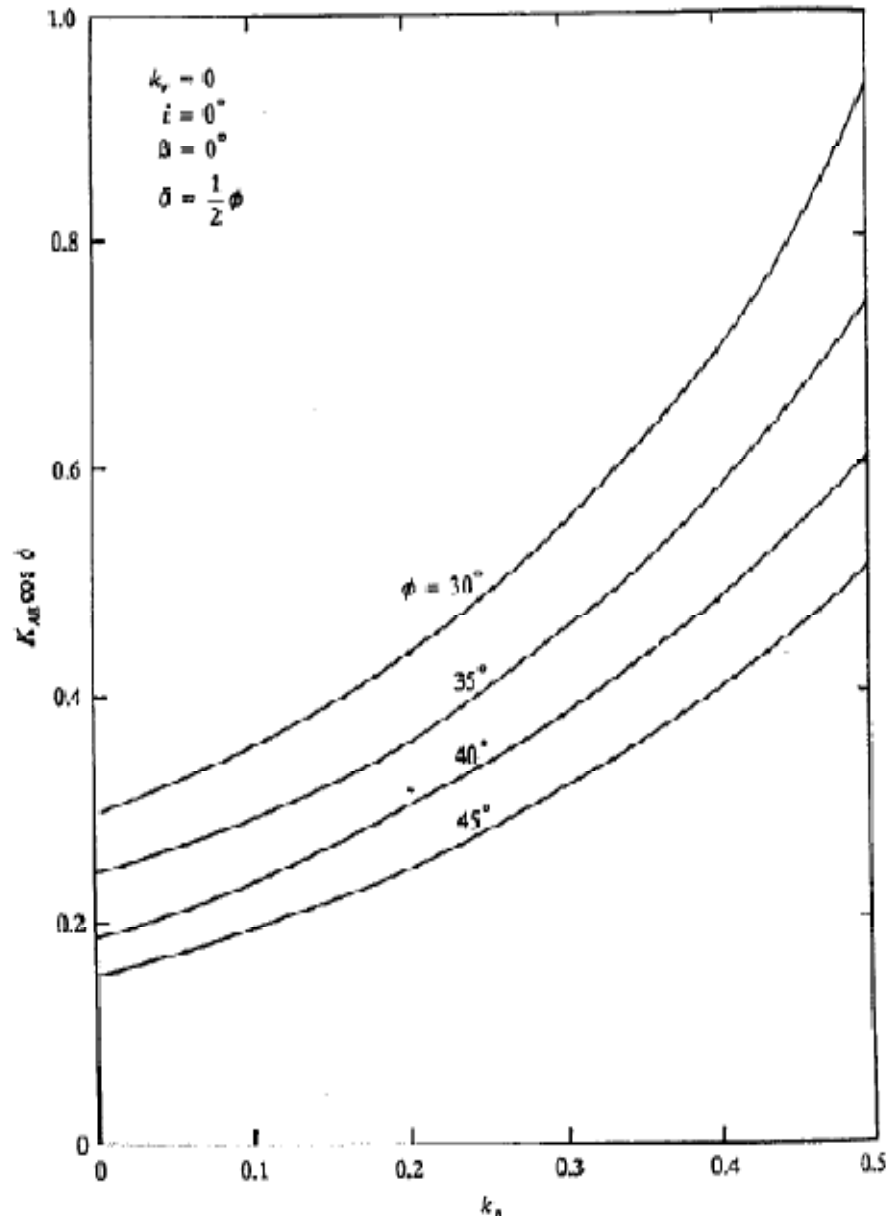
با توجه به رابطه M-O می توان اثر عوامل مختلف مانند اصطکاک دیوار با خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک، شیب خاکریزی پشت دیوار بر فشار جانبی خاک را بررسی کرد:

اثر زاویه اصطکاک d بین خاک و دیوار

با توجه به شکل روبرو دیده میشود که برای مقادیر داده شده پارامترهای دیگر، تغییر زاویه d تاثیر زیادی بر ضریب فشار جانبی خاک تحت بار دینامیکی ندارد.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

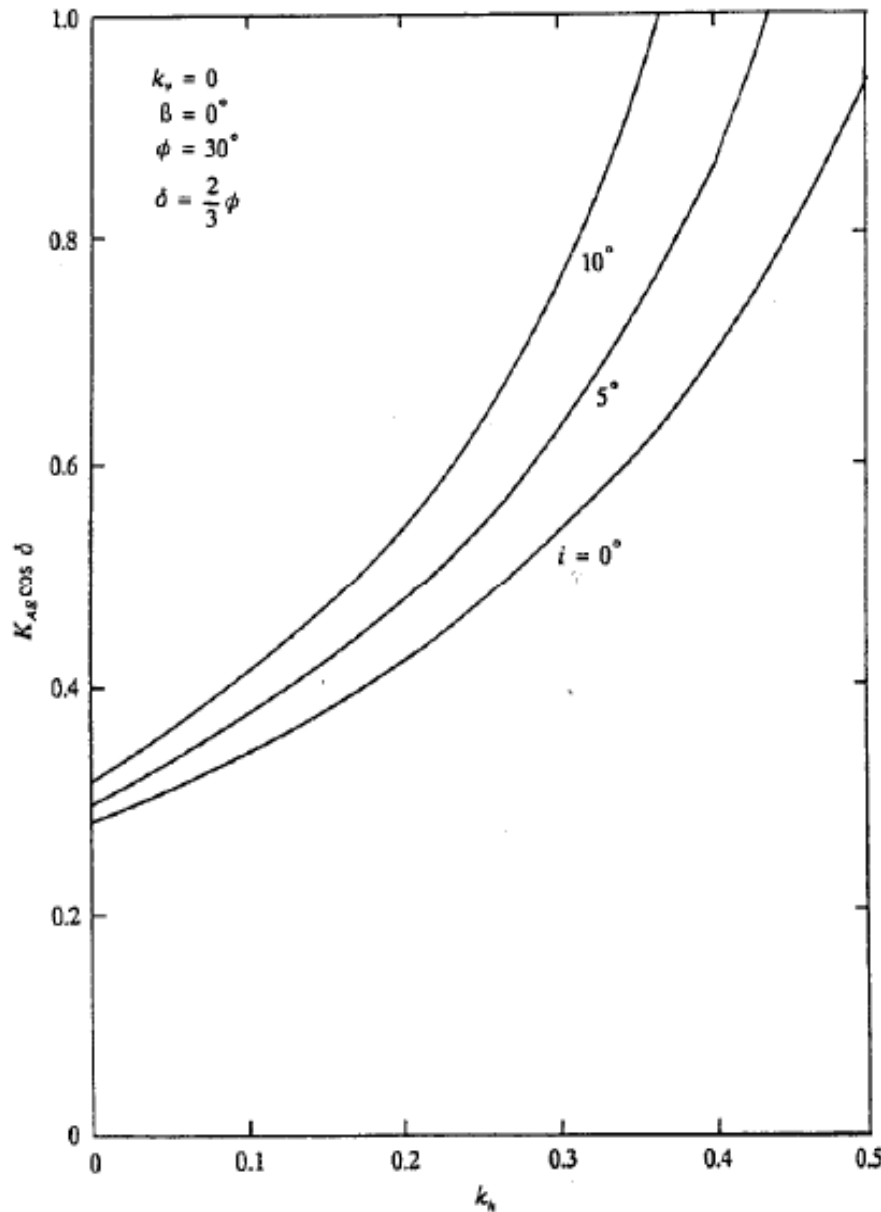
- روش Mononobe-Okabe برای
فشار محرک دینامیکی



اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک j
در شکل روبرو اثر زاویه اصطکاک داخلی بر
مولفه افقی ضریب فشار جانبی خاک تحت بار
دینامیکی دیده میشود. با توجه به شکل
میتوان دید که برای مقادیر داده شده
پارامترهای دیگر، بطور مثال تغییر زاویه
اصطکاک داخلی خاک از 30 به 40 درجه
باعث کاهش ضریب فشار جانبی خاک بمیزان
حدود 30% میشود. این امر نشان میدهد که
خطای نسبتا کوچکی در تعیین زاویه
اصطکاک داخلی میتواند باعث خطای نسبتا
بزرگی در تعیین فشار جانبی خاک بشود.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- روش Mononobe-Okabe برای
فشار محرک دینامیکی



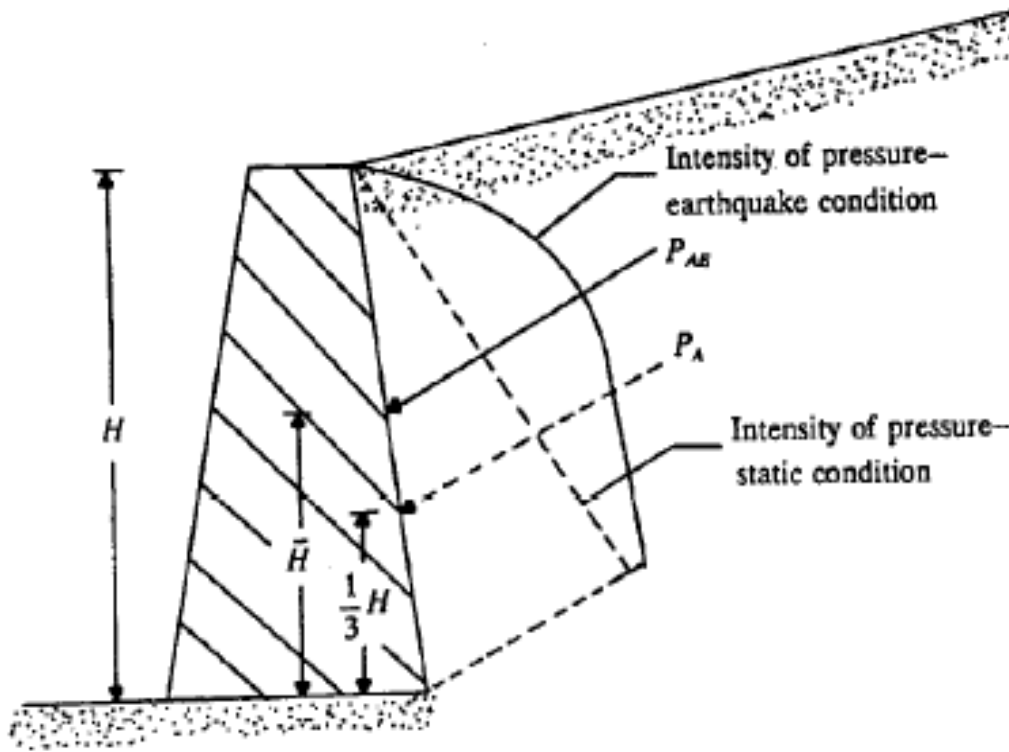
اثر زاویه شیب خاکریز پشت دیوار i
اثر زاویه شیب خاکریز بر مولفه افقی
ضریب فشار جانبی خاک تحت بار
دینامیکی در شکل روبرو نشان داده
شده است. با توجه به شکل دیده میشود
که افزایش شیب خاکریز با افزایش
شدید مولفه افقی نیروی جانبی خاک
تحت بار دینامیکی میشود، و این
افزایش با زیاد شدن مولفه افقی شتاب
زلزله سرعت زیاد میشود.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- محل اثر نیروی محرک دینامیکی

۱ تعیین محل اثر نیروی محرک دینامیکی

رابطه اولیه M-O به این نتیجه منجر میشد که محل اثر نیروی محرک دینامیکی در نقطه ای بفاصله یک سوم ارتفاع از پایین دیوار است. ولی آزمایشات بعدی همگی نشان میداد که این نقطه بالاتر از یک سوم ارتفاع قرار دارد (شکل روبرو).



فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- محل اثر نیروی محرک دینامیکی

روش Seed and Whitman (1969) برای تعیین محل اثر نیروی دینامیکی

در این روش مراحل تعیین محل عبارتست از:

تعیین نیروی محرک استاتیکی P_A

تعیین نیروی کل در شرایط زلزله P_{AE}

تعیین تفاضل دو نیروی فوق که بخش دینامیکی نیروی

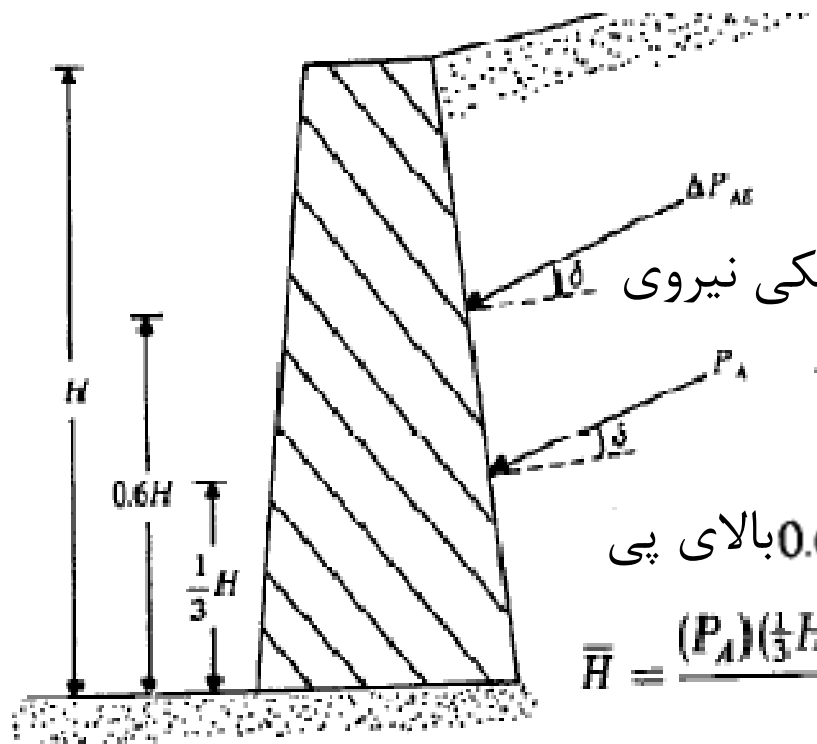
کل است

$$\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_A$$

اعمال نیروی استاتیکی بفاصله $\frac{1}{3}H$ بالای پی

اعمال بخش دینامیکی نیروی کل بفاصله $0.6H$ بالای پی

تعیین محل اثر نیروی کل: $\bar{H} = \frac{(P_A)(\frac{1}{3}H) + (\Delta P_{AE})(0.6H)}{P_{AE}}$



فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

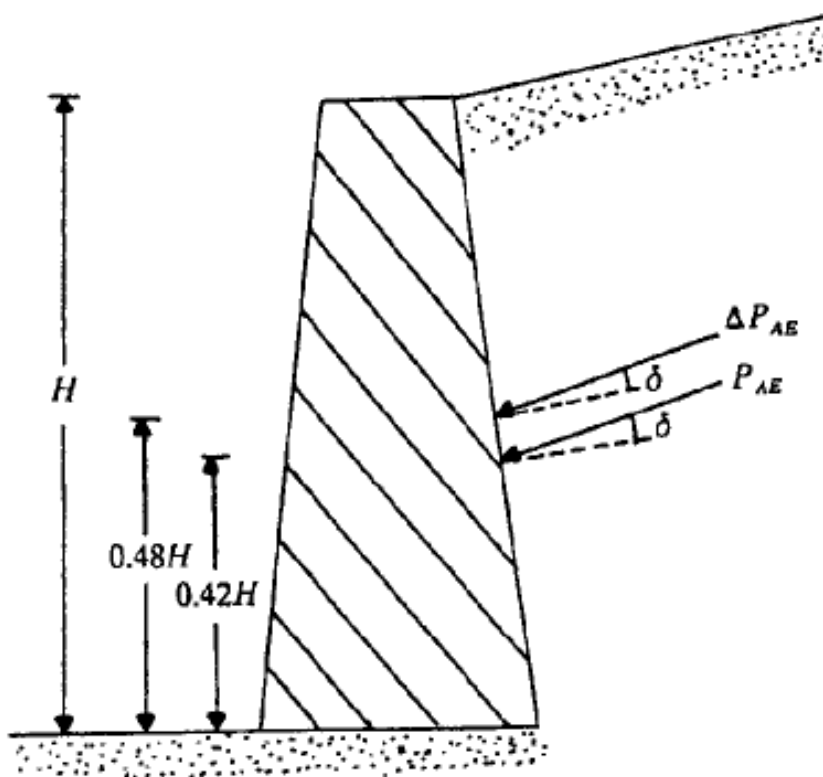
- محل اثر نیروی محرک دینامیکی

دیوارهای با انتقال افقی (روش Sherif et al 1982)

در این روش مراحل تعیین محل عبارتست از:

- | تعیین نیروی محرک استاتیکی P_A
- | تعیین نیروی کل در شرایط زلزله P_{AE}
- | تعیین تفاضل دو نیروی فوق که بخش دینامیکی نیروی کل است $\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_A$
- | تعیین محل اثر نیروی کل از رابطه زیر:

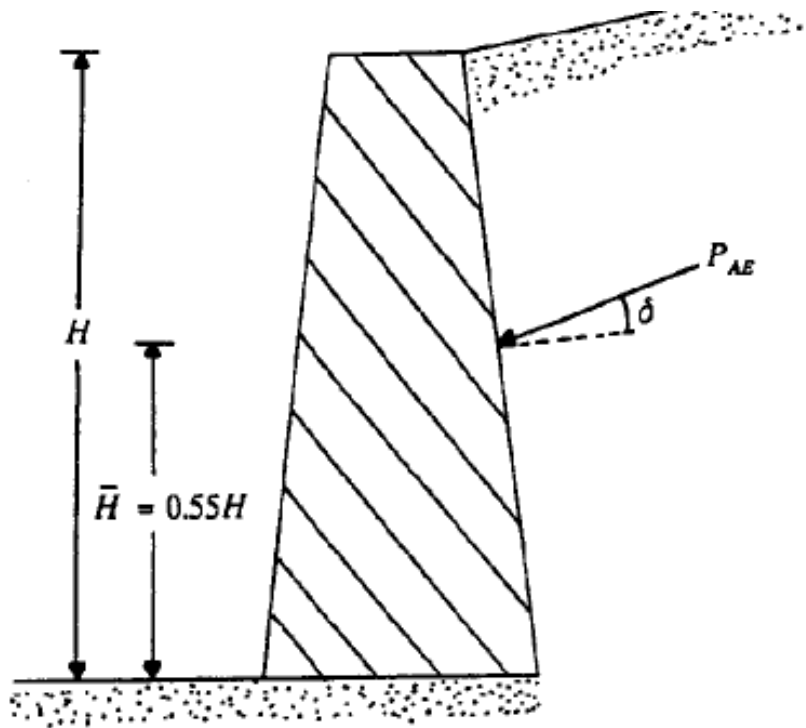
$$\bar{H} = \frac{(P_A)(0.42H) + (\Delta P_{AE})(0.48H)}{P_{AE}}$$



فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- محل اثر نیروی محرک دینامیکی

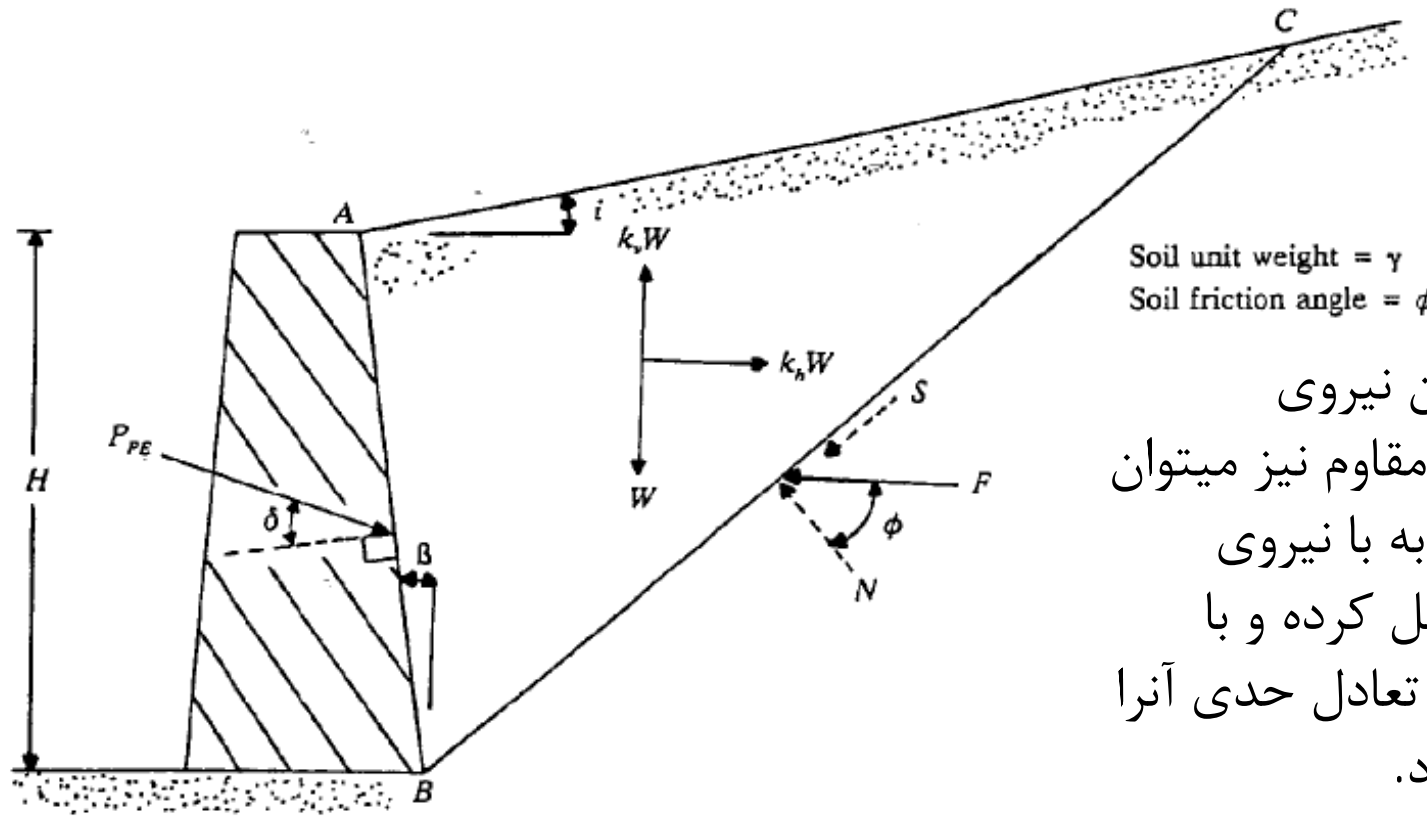
دیوارهای با دوران نسبت به بالای دیوار (روش Sherif and Fang 1984)



در این روش محل اثر نیروی کل تقریباً
بفاصله $0.55H$ از پی در نظر گرفته
میشود.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- تعیین نیروی مقاوم دینامیکی (Dynamic Passive earth Pressure)



برای تعیین نیروی دینامیکی مقاوم نیز میتوان بروش مشابه با نیروی محرک عمل کرده و با استفاده از تعادل حدی آنرا بدست آورد.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- تعیین نیروی مقاوم دینامیکی (Dynamic Passive earth Pressure)

در اینصورت نیروی دینامیکی مقاوم با استفاده از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$P_{PE} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K_{PE}$$

که در آن:

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi + \beta - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta) \left[1 - \left\{ \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + i - \theta)}{\cos(i - \beta) \cos(\delta - \beta + \theta)} \right\}^{1/2} \right]^2}$$

با استفاده از روابط فوق میتوان اثر عوامل مختلف بر فشار جانبی خاک در شرایط مقاوم را تعیین کرد. در شکلهای بعد اثر زاویه اصطکاک داخلی، شتاب افقی، و شیب خاکریز پشت دیوار را بر نیروی مقاوم خاک در شرایط زلزله نشان داده شده است.

فشار جانبی دینامیکی خاک بر دیوارهای حائل

- تعیین نیروی مقاوم دینامیکی (Dynamic Passive earth Pressure)

