مقدمه

پی سازی یکی از دروس مهم و کاربردی مهندسی عمران است که در مقطع کارشناسی با عنوان مهندسی پی و در دورهٔ کارشناسی ارشد با نام پی پیشرفته در دانشگاه‌های کشور ارائه می‌گردد. عمدهٔ مباحث مطرح شده در این درس در قالب موضوعات کلی زیر می‌باشند:

- فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل
- پی‌های سطحی
- پی‌های عمیق (شمع‌ها)
- مطالعات اکتشافی و آزمایش‌های صحرایی

پس از تألیف و انتشار کتاب پی‌سازی نسل جدید سری عمران در سال ۱۳۹۱ و تجدید چاپ‌های متعدد آن (۱۲ چاپ)، اکنون کتابی کاملاً متفاوت و با یک شیوهٔ آموزشی جدید به شما دانشجویان و مهندسین عزیز تقدیم می‌گردد. این کتاب که اولین کتاب از مجموعهٔ کتاب‌های ۲ در ۱ می‌باشد، دارای ویژگی‌های زیر است:

۱- شما در این کتاب، دو کتاب مستقل شرح درس و بانک تست را خواهید داشت و دلیل نام‌گذاری کتاب‌های ۲ در ۱ نیز همین است. یعنی دو کتاب درسنامهٔ جامع و بانک تست در قالب یک کتاب پی‌سازی به شما ارائه خواهد شد.

۲- در این کتاب مطالب درسی به صورت یک سری مباحث کوتاه شرح داده شده‌اند، بدین ترتیب شما می‌توانید هر مبحث درسی را در مدت زمان کوتاهی بخوانید و تمرین‌های آن را حل کرده و سپس با خیال راحت به سراغ مبحث بعدی بروید.

۳- توضیحات مطالب درسی هر مبحث به صورت پرسش و پاسخ می‌باشد و مشابه با آن چیزی است که در یک کلاس درس بین استاد و دانشجو اتفاق می‌افتد.

۴- تمرین‌های متن درس متعدد و متنوع می‌باشند که به صورت مجموعه‌ای از سؤالات تألیفی، سؤالات کنکور کارشناسی ارشد و سؤالات کنکور دکتری در شرح درس گنجانده شده‌اند.

۵- تمام نکات و مفاهیم درسی از پایه‌ای‌ترین قسمت‌ها تا پیچیده‌ترین موضوعات، شرح داده شده‌اند و برای تمام دانشجویان با هر سطح علمی قابل استفاده است.

۶- در هر مبحث یک خلاصه و جمع‌بندی مفید و کاربردی ارائه شده است تا از این طریق سرعت شما در مرور مطالب افزایش یابد.

۷- در قسمت مربوط به تست‌های کتاب، یک بانک تست جامع در اختیار شما قرار می‌گیرد که شامل سؤالات تألیفی و کنکورهای کارشناسی ارشد و دکتری است.

۸- در انتهای سؤالات بانک تست، یک پاسخ‌نامهٔ کاملاً تشریحی که متناسب با مطالب آموزش داده شده در قسمت شرح درس کتاب است، ارائه شده است.

و اما توصیه‌های مهم برای مطالعه بهینه این کتاب

- مهندسین گرامی بایستی قبل از مطالعهٔ درس پی سازی، آشنایی کلی با درس مکانیک خاک (به خصوص مباحث مربوط به مقاومت برشی) داشته باشند.

- توصیه می‌شود قبل از حل تست‌های کتاب بانک تست، ابتدا کتاب درسنامهٔ جامع را مطالعه نمایید. البته اگر به درس پی‌سازی تسلط کامل دارید، مطالعهٔ خلاصه‌های هر مبحث و حل تمرین‌های بعد از آن کفایت می‌کند.
- دانشجویان عزیز می‌توانند با صلاحدید خود مطالب مورد نیاز را در قسمت خلاصه‌ها به کتاب اضافه کنند. همچنین به شما توصیه می‌کنیم که پس از مطالعهٔ دقیق مطالب هر مبحث و اضافه کردن برداشت‌های خود به قسمت جمع‌بندی و خلاصهٔ مطالب آن مبحث، در یک الی دو ماه باقی مانده تا کنکور فقط به مطالعه و مرور خلاصه مطالب بپردازید. برای این کار می‌توانید برگه‌های خلاصه هر مبحث را از قسمت خط‌چین مشخص شده در آن صفحات، از کتاب جدا کرده و بدین ترتیب خلاصه مطالب درسی را همیشه به‌راحتی همراه خود داشته باشید.
- در مطالعهٔ مباحث کتاب لزوماً نباید ترتیب را رعایت کنید، با این شرط که قبل از مطالعهٔ هر مبحث، پیش‌نیاز ذکر شده برای آن مبحث را خوانده باشید.

در نگارش این اثر تلاش مؤلفین بر این بوده است که یک مجموعهٔ کامل و بی‌نقص در اختیار شما عزیزان قرار بگیرد. ولی از آنجایی که احتمال بروز اشتباهات سهوی وجود دارد از دانشجویان، مهندسین و اساتید گرامی تقاضا می‌شود تا ما را در جهت رفع نقایص احتمالی یاری نموده و پیشنهادات و انتقادهای سازندهٔ خود را به آدرس ایمیل مؤسسه سری عمران به نشانی serieomran@yahoo.com ارسال نمایند.

با سپاس فراوان از جناب آقای دکتر حسام شریفیان، مدیریت مؤسسه سری عمران که تمام تلاش خود را در جهت ارائه هر چه بهتر این مجموعه به کار گرفتند. همچنین از زحمات سرکار خانم طاهره نجفی در امور فنی و صفحه‌آرایی کتاب و نیز آقای مهندس امیرحسین امیری که در بازخوانی کتاب ما را یاری نمودند، کمال قدردانی و تشکر را داریم. امید است تلاش مؤلفین در جهت ارائه این کتاب مورد قبول دانشجویان و مهندسین گرامی قرار گیرد.

به یادتان هستیم، به یادمان باشید
ساسان امیرافشاری، حسین فراهانی

فهـــــرست کتاب درسنامه جامع پی‌سازی

فشار جانبی خاک و دیوار حائل

مبحث ۱ : تأثیر جابه‌جایی دیوارهای حائل بر فشار جانبی خاک ۸
مبحث ۲ : فشار جانبی خاک در شرایط سکون ۱۳
مبحث ۳ : فشار جانبی خاک در حالت‌های حدی (محرک و مقاوم) ۲۶
مبحث ۴ : بحث ترک کششی در حالت محرک ۴۱
مبحث ۵ : پایداری گودها و ترانشه‌های خاکی ۴۹
مبحث ۶ : تئوری کولمب در بحث فشار جانبی خاک ۵۵
مبحث ۷ : آنالیز تنش‌های جانبی خاک با استفاده از دایره‌های موهر ۶۲
مبحث ۸ : بررسی پایداری دیوارهای حائل ۷۰
مبحث ۹ : موضوعات تکمیلی فشار جانبی خاک و دیوار حائل ۸۵

پی‌های سطحی

مبحث ۱۰ : مفاهیم و تعاریف اولیه پی‌های سطحی ۹۰
مبحث ۱۱ : محاسبه فشار (تنش) در زیر پی ۹۹
مبحث ۱۲ : محاسبه نشست پی‌ها ۱۱۲
مبحث ۱۳ : مبانی محاسبه ظرفیت باربری پی‌ها ۱۲۲
مبحث ۱۴ : روابط ظرفیت باربری پی‌ها ۱۳۴
مبحث ۱۵ : تأثیر سفرهٔ آب زیرزمینی و خروج از محوریت بر ظرفیت باربری ۱۴۹
مبحث ۱۶ : آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) ۱۶۸
مبحث ۱۷ : طراحی ژئوتکنیکی پی‌های سطحی ۱۷۴
مبحث ۱۸ : طراحی سازه‌ای پی‌های سطحی ۱۹۰
مبحث ۱۹ : موضوعات تکمیلی پی‌های سطحی ۱۹۹

پی‌های عمیق (شمع‌ها)

مبحث ۲۰ : مفاهیم اولیه و طبقه‌بندی پی‌های عمیق ۲۱۰
مبحث ۲۱ : محاسبه ظرفیت باربری شمع‌های تکی ۲۱۶
مبحث ۲۲ : محاسبه ظرفیت باربری شمع در حالت‌های خاص ۲۳۶
مبحث ۲۳ : عملکرد گروهی شمع‌ها (گروه شمع) ۲۴۴
مبحث ۲۴ : بررسی چگونگی توزیع نیرو در شمع‌های یک گروه ۲۵۳
مبحث ۲۵ : نشست گروه شمع ۲۶۲
مبحث ۲۶ : موضوعات تکمیلی پی‌های عمیق (شمع‌ها) ۲۶۸

مطالعات اکتشافی و آزمایش‌های صحرایی

مبحث ۲۷ : برنامه‌های اجرایی برای بررسی و کاوش خاک منطقه ۲۸۰
مبحث ۲۸ : جزئیات و نحوه اجرای آزمایش‌های صحرایی متداول ۲۸۶
مبحث ۲۹ : کاربرد نتایج آزمایش‌های صحرایی در تعیین پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک‌های مختلف ... ۲۹۶

فهـــــرست کتاب بانک تست‌های پی‌سازی

فشار جانبی خاک و دیوار حائل ۲
پی‌های سطحی ۲۰
پی‌های عمیق (شمع‌ها) ۴۲
مطالعات اکتشافی و آزمایش‌های صحرایی ۶۰
پاسخ‌نامهٔ تشریحی تست‌های پی‌سازی ۶۴
سؤالات آزمون‌های سراسری سال ۹۸ به بعد ۱۳۸

توجه: مهندسین عزیز کتاب درسنامه جامع پی‌سازی از صفحهٔ بعدی آغاز شده و تا صفحهٔ ۳۰۲ ادامه دارد. پس از آن کتاب بانک تست‌های پی‌سازی از صفحهٔ ۳۰۲ آغاز خواهد شد.

سری عمران

درسنامه جامع
فشار جانبی خاک و دیوار حائل

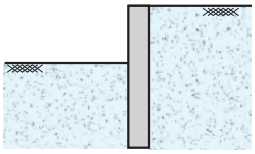
در بسیاری از پروژه‌های عمرانی شرایط خاک به‌گونه‌ای است که ما با یک شیروانی خاکی قائم مواجه هستیم. در این وضعیت خطر لغزش خاک جدی‌تر از هر زمان دیگری مطرح بوده و لازم است تا با تمهیداتی خاص، از ریزش خاک جلوگیری شود. بدین منظور استفاده از دیوار حائل به‌عنوان یک سازه نگهبان، راهکار مناسبی است که توسط مهندسین ژئوتکنیک ارائه می‌گردد. یک دیوار حائل باید به نحوی طراحی و اجرا شود که توانایی تحمل فشارهای جانبی خاک را داشته باشد و پایدار باقی بماند. در مباحث پیش‌رو شما را با موضوع فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل آشنا خواهیم کرد.

www.serieomran.com

مبحث ۱:

تأثیر جابه‌جایی دیوارهای حائل بر فشار جانبی خاک

موضوع کلی: فشار جانبی خاک و دیوار حائل



شکل مقابل یک دیوار حائل را نشان می‌دهد که خاک را در دو طرف خود نگه داشته است. مهم‌ترین موضوع در تحلیل این دیوار، شناخت فشارهای وارده از جانب خاک به آن است که به صورت افقی به دیوار وارد می‌گردند.

در این مبحث قصد داریم تا تأثیر جابه‌جایی دیوارهای حائل بر فشار جانبی خاک را بررسی کرده و مقدمات لازم برای محاسبه این فشارها را فراهم کنیم.

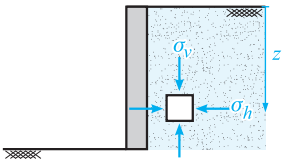
در این بحث چه موضوعاتی را یاد می‌گیرید؟

شما در پایان مطالعه این مبحث موضوعات زیر را به طور کامل یاد می‌گیرید:

- مفهوم فشار جانبی و ضریب فشار جانبی خاک
- مفهوم حالت‌های سکون، محرک و مقاوم
- شرایط ایجاد حالت‌های سکون، محرک و مقاوم

و اما شروع بحث...

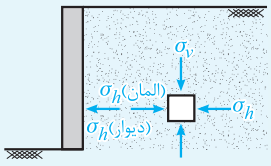
۱- مفهوم فشار جانبی وارد بر دیوار و ضریب فشار جانبی خاک چیست؟



المان دو بعدی شکل مقابل را در نظر بگیرید که در پشت یک دیوار حائل و در عمق z از سطح خاک قرار دارد. همانطورکه ملاحظه می‌کنید، این المان از یک لایه خاک همگن انتخاب شده و تحت تنش قائم σ_v و تنش افقی σ_h قرار دارد.

از مکانیک خاک می‌دانیم که تنش قائم، برابر $\sigma_v = \gamma z$ است، اما در حالت کلی و با صرف‌نظر کردن از چسبندگی خاک، تنش افقی نیز از رابطهٔ $\sigma_h = k\sigma_v$ بدست می‌آید که به آن فشار جانبی می‌گوییم و k نیز ضریب فشار جانبی خاک نامیده می‌شود.

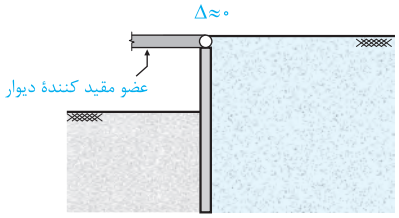
دقیق‌تر ببینیم



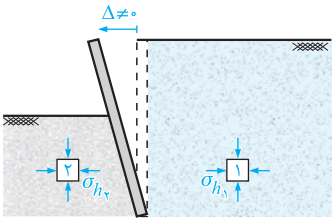
σ_h فشار جانبی وارد بر خاک است که با فشار جانبی وارد بر دیوار برابر می‌باشد. بنابراین برای محاسبه فشار جانبی وارد بر دیوار در هر تراز دلخواه، کافی است تا فشار جانبی وارد بر خاک در آن تراز را محاسبه کنیم:

$$\sigma_h(\text{وارد بر دیوار}) = \sigma_h(\text{وارد بر خاک}) = k\sigma_v$$

۲- جابه‌جایی دیوار چگونه بر روی فشار جانبی خاک تأثیر می‌گذارد؟



بیایید بار دیگر دیوار حائل مطرح شده در ابتدای این مبحث را در نظر بگیریم. فرض کنید دیوار موردنظر در برابر هرگونه تغییر مکان جانبی مقید شده باشد، یعنی جابه‌جایی افقی آن ناچیز و تقریباً برابر صفر باشد ($\Delta \approx 0$). در این شرایط اصطلاحاً گفته می‌شود که خاک مجاور دیوار در حالت سکون (*at rest*) قرار گرفته است.



حال اگر عضو مقیدکننده را برداریم و در اثر فشار خاکِ سمت راست (خاک با ارتفاع بیشتر)، دیوار به صورت شکل مقابل به طرف خاکِ سمت چپ (خاک با ارتفاع کمتر) حرکت کند، در آن‌صورت می‌توان گفت:

۱) با دور شدن دیوار از خاک سمت راست از فشار جانبی خاک (σ_{h_1}) نسبت به حالت سکون کاسته می‌شود و اصطلاحاً خاک این قسمت در حالت محرک (*Active*) قرار می‌گیرد.

۲) با نزدیک شدن دیوار به خاک سمت چپ و فشرده کردن آن، فشار جانبی خاک (σ_{h_2}) نسبت به حالت سکون افزایش می‌یابد و اصطلاحاً خاک این قسمت در حالت مقاوم (*Passive*) قرار می‌گیرد.

۳) با افزایش جابه‌جایی دیوار، در حالت‌های محرک و مقاوم، خاک به سمت گسیختگی پیش می‌رود و در نهایت به ازاء یک مقدار مشخص برای Δ این اتفاق می‌افتد. این درحالی است که در وضعیت سکون، بحث گسیختگی خاک مطرح نیست. از این رو در مهندسی ژئوتکنیک به حالت‌های محرک و مقاوم، حالت‌های حدی نیز گفته می‌شود.

نکته کلیدی در آنالیز تنش‌های جانبی خاک

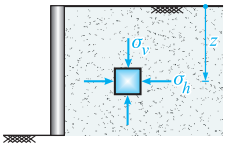
بسته به جابه‌جایی خاک و دیوار نسبت به هم، خاک مجاور دیوار می‌تواند در یکی از حالت‌های سکون، محرک یا مقاوم قرار بگیرد. جالب است بدانید محاسبه فشار جانبی در هریک از این حالت‌ها متفاوت بوده و در نتیجه قدم اول در محاسبه فشار جانبی وارد بر دیوار حائل آن است که مشخص کنیم خاک مجاور دیوار در کدام‌یک از وضعیت‌های سکون، محرک یا مقاوم قرار دارد.

۳- مقدار حداقل جابه‌جایی لازم برای رسیدن به شرایط حدی محرک و مقاوم چقدر است؟

همان‌طور که گفتیم در اثر جابه‌جایی افقی دیوار حائل نسبت به خاک مجاورش، در خاک شرایط محرک یا مقاوم ایجاد می‌گردد. مقدار جابه‌جایی لازم برای رسیدن به شرایط حدی در هر یک از این حالت‌ها (که آن را با δ نشان می‌دهیم)، بستگی به نوع خاک و ارتفاع دیوار دارد. جدول صفحهٔ بعد مقدار این جابه‌جایی را برای انواع خاک‌ها در دو حالت محرک و مقاوم برحسب ارتفاع دیوار (H) نشان می‌دهد:

خلاصه و جمع‌بندی نکات مهم مبحث (۱)

۱) اگر مطابق شکل روبرو یک المان خاک را در پشت دیوار حائل در نظر بگیریم، در آن‌صورت بسته به مقدار و جهت جابه‌جایی نسبی دیوار و خاک پشتش (اعم از جابه‌جایی افقی یا دوران)، سه حالت به شرح زیر ممکن است اتفاق بیافتد:



الف) جابه‌جایی نسبی دیوار و خاک ناچیز و تقریباً برابر صفر باشد که در این حالت می‌گوییم، شرایط سکون اتفاق افتاده است.

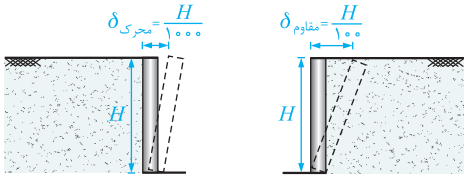
ب) دیوار از خاک پشتش دور شود و به سمت چپ جابه‌جا گردد که در این حالت می‌گوییم، شرایط محرک اتفاق افتاده است و در نهایت خاک پشت دیوار گسیخته می‌شود.

ج) دیوار به خاک پشتش نزدیک شود و به سمت راست جابه‌جا گردد که در این حالت می‌گوییم، شرایط مقاوم اتفاق افتاده است و در نهایت خاک پشت دیوار گسیخته می‌شود.

همانطورکه ملاحظه می‌کنید، بر خلاف حالت سکون، در حالت‌های محرک و مقاوم خاک گسیخته می‌شود که این گسیختگی خاک به‌ترتیب به علت کاهش فشار جانبی (در حالت محرک) و افزایش فشار جانبی (در حالت مقاوم) می‌باشد.

۲) اگر میزان دور یا نزدیک شدن دیوار حائل به خاک از یک مقدار مشخصی بیشتر شود، در آن‌صورت خاک پشت دیوار در اثر کاهش یا افزایش فشار جانبی گسیخته می‌شود. در این شرایط می‌گوییم حالت‌های محرک و مقاوم به‌طور کامل اتفاق افتاده‌اند.

طبق پیشنهاد ترزاقی، جابه‌جایی لازم جهت ایجاد کامل حالت‌های محرک و مقاوم در خاک‌های ماسه‌ای، به‌صورت مقابل تعیین می‌گردد:



با توجه به شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود که جابه‌جایی لازم برای ایجاد حالت مقاوم بیشتر از حالت محرک است و هر چقدر ارتفاع دیوار بیشتر باشد، این جابه‌جایی‌ها، بیشتر خواهند بود. علاوه بر این، مقایسه جابه‌جایی لازم (δ) در انواع خاک‌ها (در حالت‌های محرک و مقاوم) به شرح زیر است:

ماسهٔ متراکم < ماسهٔ شل < رس سفت < رس نرم

یادداشت دانشجو:

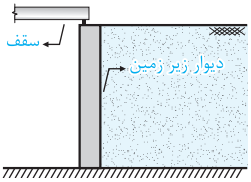
مبحث ۲:

فشار جانبی خاک در شرایط سکون

موضوع کلی: فشار جانبی خاک و دیوار حائل

پیش‌نیاز: مبحث (۱)

مطابق شکل زیر یک دیوار حائل را در نظر می‌گیریم که در برابر هرگونه تغییر مکان جانبی مقید شده و خاک پشت آن در شرایط سکون قرار دارد.



در این بحث چه موضوعاتی را یاد می‌گیرید؟

در این مبحث می‌خواهیم با یک بررسی دقیق‌تر موارد زیر را در مورد وضعیت سکون یاد بگیریم:

- ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون
- محاسبهٔ فشار جانبی خاک در حالت سکون در شرایط مختلف (وجود سربار، خاک اشباع و ...)
- ترسیم نمودارهای مربوط به توزیع فشار جانبی
- محاسبهٔ نیرو و لنگر ناشی از فشارهای جانبی
- کاربرد فشار سکون در مسائل ژئوتکنیک

و اما شروع بحث...

۱- رابطه اصلی ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون به چه صورت است؟

ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون با k_0 نمایش داده می‌شود و طبق تعریف نسبت تنش افقی مؤثر (σ'_h) به تنش مؤثر قائم (σ'_v) در هر نقطه از خاک می‌باشد.

$$k_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$$

براساس نتایج به‌دست آمده از تحقیقات محققین ژئوتکنیک، در حالت کلی رابطهٔ تجربی زیر برای محاسبهٔ k_0 در خاک‌ها پیشنهاد شده است.

$$k_0 = 1 - \sin\phi'$$

که در رابطهٔ فوق ϕ' زاویهٔ اصطکاک داخلی مؤثر خاک می‌باشد.

دقیق‌تر ببینیم

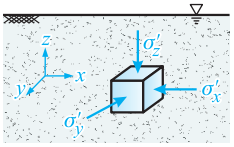
رابطهٔ $k_{\circ}=1-\sin\phi'$ فرمول کاربردی محاسبهٔ ضریب فشار جانبی سکون خاک است. (به‌خصوص در مواقعی که اطلاعات کافی در مورد خاک نداریم) حال اگر نوع خاک و وضعیت تراکمی آن مشخص شده باشد، بهتر است از روابط تجربی زیر که دقیق‌تر می‌باشند، استفاده کنیم:

در خاک‌های دانه‌ای
- دانه‌ای شل: $k_{\circ}=1-\sin\phi'$
- دانه‌ای متراکم: $k_{\circ}=1-\sin\phi'+(\frac{\gamma_d}{\gamma_{d\,min}}-1)\times 5/5$

در خاک‌های چسبنده
- رس عادی تحکیم یافته (NC): $k_{\circ}=0/95-\sin\phi'\simeq 1-\sin\phi'$
- رس پیش تحکیم یافته (OC): $k_{\circ OC}=k_{\circ NC}\times\sqrt{OCR}\simeq(1-\sin\phi')\sqrt{OCR}$

در روابط بالا ϕ' زاویهٔ اصطکاک داخلی مؤثر خاک بوده و γ_d و $\gamma_{d_{min}}$ به‌ترتیب وزن مخصوص خشک موجود و حداقل وزن مخصوص خشک خاک می‌باشند. OCR نیز همان نسبت پیش تحکیمی خاک است.

۲- با فرض رفتار الاستیک خاک، $k_{\circ}$ چگونه محاسبه می‌شود؟



هرگاه رفتار یک لایه خاک را به‌صورت الاستیک در نظر بگیریم (با مدول الاستیسیتهٔ E و ضریب پواسون ν)، در آن‌صورت طبق قانون هوک، خواهیم داشت:

$$\varepsilon_x=\frac{\sigma'_x}{E}-\frac{\nu\sigma'_y}{E}-\frac{\nu\sigma'_z}{E}$$

در رابطهٔ فوق (که آن را در درس مقاومت مصالح نیز دیده‌اید)، ε_x کرنش یا جابجایی نسبی خاک در امتداد افق (محور x) می‌باشد که با در نظر گرفتن خاک در وضعیت سکون ($at\ rest$)، $\varepsilon_x=0$ خواهد بود. همچنین σ'_x و σ'_y نیز همان تنش‌های افقی مؤثر (σ'_h) بوده و σ'_z هم تنش قائم مؤثر (σ'_v) در المان خاک است. لذا می‌توان نوشت:

$$0=\frac{\sigma'_h}{E}-\frac{\nu\sigma'_h}{E}-\frac{\nu\sigma'_v}{E}\ \Rightarrow\ \sigma'_h=(\frac{\nu}{1-\nu})\sigma'_v$$

که از مقایسهٔ رابطهٔ اخیر با رابطهٔ $\sigma'_h=k_{\circ}\sigma'_v$، مقدار $k_{\circ}$ براساس رفتار الاستیک خاک، به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$k_{\circ}=\frac{\nu}{1-\nu}$$

تمرین ۱: در یک خاک رس عادی تحکیم یافته، ضریب پواسون با فرض رفتار الاستیک خاک برابر $\frac{1}{3}$ تخمین زده شده است. زاویهٔ اصطکاک داخلی مؤثر این خاک را به‌دست آورید.

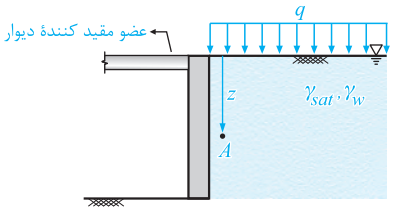
حل:

$$k_{\circ}=\frac{\nu}{1-\nu}=\frac{\frac{1}{3}}{1-\frac{1}{3}}=0/5$$

$$k_{\circ}=1-\sin\phi'\ \Rightarrow\ 0/5=1-\sin\phi'\ \Rightarrow\ \sin\phi'=0/5\ \Rightarrow\ \phi'=30^{\circ}$$

۳- رابطهٔ محاسبهٔ فشار جانبی در حالت سکون چگونه است؟

همانطور که گفته شد، در هر نقطهٔ دلخواه از خاک (مثل A در شکل زیر)، نسبت تنش مؤثر افقی به قائم، ضریب فشار جانبی سکون نامیده می‌شود. بنابراین مقدار تنش‌های مؤثر و کل افقی در این نقطه عبارتند از:



$$k_\circ = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \Rightarrow \boxed{\sigma'_h = k_\circ \sigma'_v}$$

$$\sigma_h = \sigma'_h + u \Rightarrow \boxed{\sigma_h = k_\circ \sigma'_v + u}$$

که در این روابط داریم:

σ'_v: تنش مؤثر قائم در نقطهٔ موردنظر می‌باشد و طبق روابط ذکر شده در مکانیک خاک برابر است با:

$$\sigma'_v = \gamma' z + q$$

u: فشار هیدرواستاتیک (فشار آب حفره‌ای) می‌باشد که به علت یکسان بودن فشار در یک نقطه از سیال ساکن (طبق قوانین مکانیک سیالات)، مقدار آن در کلیهٔ جهات یکسان بوده و از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

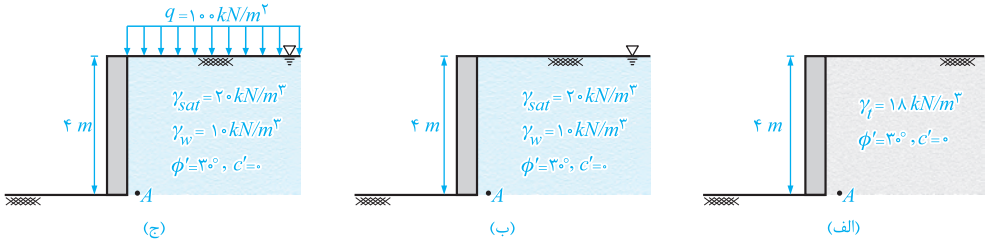
$$u = \gamma_w z$$

تذکر: اگر خاک اشباع نباشد، تنش جانبی کل و مؤثر با هم برابر بوده به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\sigma'_v = \sigma_v \ , \ u = \circ \rightarrow \begin{cases} \sigma_h = k_\circ \sigma'_v + u = k_\circ \sigma_v + \circ = k_\circ \sigma_v \\ \sigma'_h = k_\circ \sigma'_v = k_\circ \sigma_v \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma'_h = \sigma_h = k_\circ \sigma_v$$

تمرین ۲: در شکل‌های زیر خاک پشت یک دیوار حائل در سه وضعیت نشان داده شده است. با فرض عدم تغییر مکان جانبی برای دیوار و ایجاد شرایط سکون، فشار جانبی مؤثر و کل را در نقطهٔ A محاسبه کنید.



حل: در هر سه شکل (الف)، (ب) و (ج) به نوع خاک اشاره نشده است و ϕ' نیز مساوی ۳۰° می‌باشد. بنابراین ابتدا از رابطهٔ کلی $k_\circ$، مقدار آن را به صورت زیر می‌یابیم.

$$k_\circ = ۱ - \sin \phi' = ۱ - \sin ۳۰^\circ = ۱ - ۰/۵ = ۰/۵$$

حال در ادامه مقدار فشار جانبی (مؤثر و کل) در نقطهٔ A در هریک از حالت‌های موردنظر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف)

$$\sigma'_h = \sigma_h = k_\circ \sigma_v = k_\circ \times \gamma_t z = ۰/۵ \times (۱۸ \times ۴) = ۳۶ \ kPa$$

مبحث ۲۲:

محاسبه ظرفیت باربری شمع در حالت‌های خاص

موضوع کلی: پی‌های عمیق (شمع‌ها)

پیش‌نیاز: مبحث (۲۱)

در مبحث قبل دیدیم که هرگاه یک شمع منفرد تحت نیروی فشاری از سوی سازه قرار بگیرد، قدری در داخل خاک فرو می‌رود. در این شرایط نیروهای مقاوم اصطکاکی (Q_s) و اتکایی (Q_p) به‌ترتیب روی جداره و در نوک شمع تشکیل شده و ظرفیت باربری نهایی شمع به‌صورت $Q_{ult} = Q_s + Q_p$ به‌دست می‌آید. ما در این مبحث خواهیم دید که شرایط شمع و بارگذاری وارد بر آن می‌تواند قدری متفاوت با حالت‌های روتین گفته شده باشد.

در این بحث چه موضوعاتی را یاد می‌گیرید؟

در این مبحث قصد داریم ظرفیت باربری نهایی شمع‌های تکی را تحت شرایط خاص زیر بررسی و محاسبه کنیم:

- ظرفیت باربری شمع‌ها تحت نیروی کششی
- ظرفیت باربری شمع‌ها هنگام وقوع پدیدهٔ اصطکاک منفی

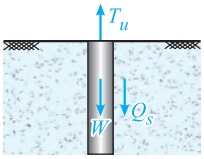
و اما شروع بحث...

۱- ظرفیت باربری کششی شمع تکی چگونه محاسبه می‌شود؟

همان‌طور که در مبحث (۲۰) گفتیم، یکی از موارد کاربرد شمع‌ها در فونداسیون سازه، هنگامی است که تحت نیروهای وارده، قسمتی از فونداسیون بخواهد از زمین بلند شود.

در این شرایط برای جلوگیری از بلند شدن پی از روی خاک، از شمع استفاده می‌شود. شمعی که تحت کشش قرار گرفته و لازم است تا از توان کافی برای مقابله با کشش برخوردار باشد.

توان یا ظرفیت کششی شمع را که به آن مقاومت کششی (T_u) نیز می‌گویند، بصورت زیر می‌توان بدست آورد:



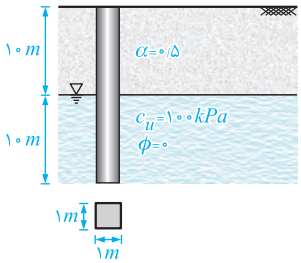
$$T_u = Q_s + W$$

که در این رابطه:

W وزن شمع است که برای قسمت‌های قرار گرفته در زیر سطح آب زیرزمینی، بایستی بصورت وزن غوطه‌وری (W') در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است که وزن غوطه‌وری تفاضل وزن شمع و نیروی شناوری است، یعنی: $W' = W - F_B$

Q_s نیز مقاومت جانبی شمع است که برای محاسبهٔ آن، از همان روابط گفته شده در مبحث (۲۱) استفاده می‌شود.

تمرین ۱: ظرفیت کششی شمع مقابل چند کیلو نیوتن است؟ (وزن مخصوص شمع $25\ kN/m^3$ است)



حل:

$$Q_s = \alpha c_u PL = (۰/۵)(۱۰۰)(۴\times۱)(۲۰) = ۴۰۰۰ kN$$
$$W' = (۲۵)(۱۰\times۱\times۱) + (۲۵-۱۰)(۱۰\times۱\times۱) = ۴۰۰ kN$$
$$T_u = Q_s + W' = ۴۰۰۰ + ۴۰۰ = ۴۴۰۰ kN$$

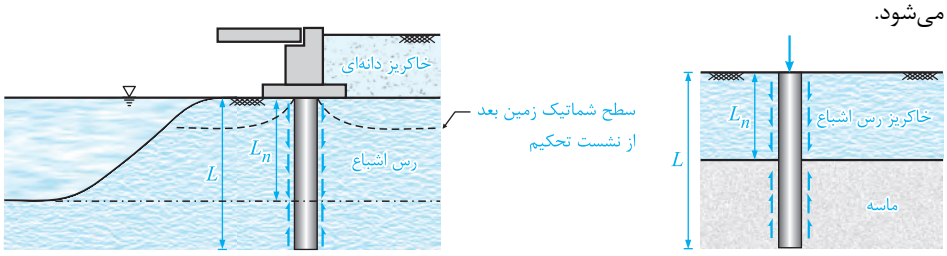
۲- منظور از پدیدهٔ اصطکاک منفی در شمع‌ها چیست و در چه شرایطی با این پدیده مواجه می‌شویم؟

از مطالب گذشته می‌دانیم که برای فعال شدن کامل مقاومت جانبی در شمع‌ها، لازم است تا شمع نشستی حداقل به اندازهٔ ۵ تا ۱۰ میلی‌متر نسبت به خاک اطراف خود داشته باشد. در این حالت نیروی اصطکاک ایجاد شده در شمع (نیروی مقاومت جانبی Q_s) به سمت بالا و خلاف جهت بارگذاری است، بنابراین از فشار بارگذاری می‌کاهد و جنبهٔ مثبت دارد. حال اگر تحت شرایطی خاک نشست کند و نسبت به شمع قرار گرفته در آن پایین رود، در آن‌صورت به علت اصطکاک میان خاک و جدارهٔ شمع، نیرویی خلاف جهت حالت قبل ایجاد می‌شود. از این نیرو که به سمت پایین و هم جهت با بارگذاری است، به **اصطکاک منفی** تعبیر می‌شود.

اصطکاک منفی به دلیل هم جهت بودن با بارگذاری، باعث کاهش ظرفیت باربری فشاری شمع می‌گردد و حتی ممکن است باعث شود تا بار فشاری از مقاومت مجاز شمع بیشتر گردد.

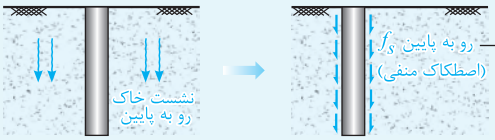
موارد زیر نمونه‌هایی از شرایطی هستند که در اثر وقوع آنها، اصطکاک منفی در جدارهٔ شمع ایجاد می‌شود:

۱) در اثر بارگذاری (مثل اجرای خاکریز روی خاک) یا پایین آمدن سطح آب زیرزمینی، لایهٔ رسی که شمع در آن قرار دارد، نشست تحکیمی خواهد داشت. بنابراین خاک رسی باعث ایجاد اصطکاک منفی در شمع می‌شود.



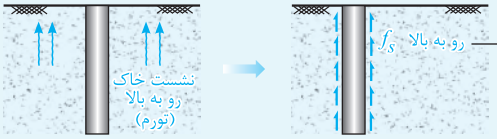
بیشتر بدانیم

همان‌طور که دیدید اگر نشست خاک پیرامون شمع از نشست خود شمع در اثر بارگذاری بیشتر باشد، شاهد پدیده اصطکاک منفی خواهیم بود. در این شرایط تنش‌های اصطکاکی روی جدارهٔ شمع به طرف پایین به شمع وارد می‌شوند.

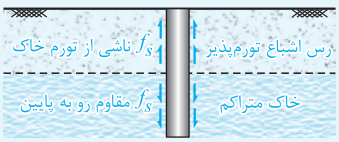


حال ممکن است شرایطی پیش بیاید که خاک منطقه متورم شود. مثلاً اگر در اطراف شمع، خاک رس اشباع داشته باشیم و تراز آب زیرزمینی در آن بالا برود، به علت کاهش تنش موثر، خاک رس متورم خواهد شد.

در این شرایط خاک اطراف شمع به طرف بالا حرکت کرده و به نوعی می‌خواهد شمع را نیز به طرف بالا بکشد که در نتیجه شمع تحت نیروی کششی به طرف بالا قرار می‌گیرد.

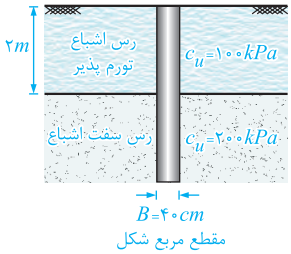


برای مقابله با این پدیده لازم است تا لایه‌های خاک زیرین در شمع، با تنش اصطکاکی رو به پایین، جلوی بیرون آمدن شمع از خاک را بگیرند.

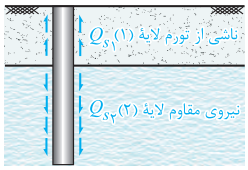


تمرین ۳: حداقل طول کل شمع مقابل چند متر باشد تا پدیدهٔ تورم خاک در لایهٔ اول، نتواند شمع را تحت تأثیر قرار دهد؟ (از وزن شمع صرف‌نظر گردد و ضریب هم‌چسبی برای لایهٔ رس فوقانی ۰/۵ و برای لایهٔ رس تحتانی ۰/۲۵ فرض شود) (کارشناسی ارشد - ۹۱)

۱) ۳
۲) ۴
۳) ۶
۴) ۵



حل: در اثر تورم خاک بالایی، تنش‌های اصطکاکی روی جدارهٔ شمع در این لایه، یک نیروی کششی به شمع (رو به بالا) وارد می‌کنند (Q_{s_1}) که تنش‌های اصطکاکی روی قسمت پایینی شمع (Q_{s_2}) باید بتوانند با این نیرو مقابله کنند. از این‌رو می‌نویسیم:



$$\begin{cases} Q_{s_1} = Q_{s_2} \\ Q_s = \alpha c_u PL \end{cases} \Rightarrow \alpha_1 c_{u_1} PL_1 = \alpha_2 c_{u_2} PL_2$$

$$\Rightarrow \text{۰/۵}\times\text{۱۰۰}\times P\times\text{۲} = \text{۰/۲۵}\times\text{۲۰۰}\times P\times L_2 \Rightarrow L_2 = \text{۲}\,m$$

بنابراین طول کل شمع برابر است با:

$$L_{\text{کل}} = L_1 + L_2 = \text{۲} + \text{۲} = \text{۴}\,m$$

پس گزینهٔ (۲) پاسخ صحیح این تست است.

خلاصه و جمع‌بندی نکات مهم مبحث ۲۲

۱) مقاومت کششی در شمع‌ها از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$T_u = W + Q_s$$

که در رابطه بالا W وزن شمع و Q_s مقاومت جانبی شمع می‌باشند.

۲) اگر تحت شرایطی خاک نشست کرده و نسبت به خاک اطرافش پایین رود، در آن‌صورت نیروی اصطکاک ایجاد شده در شمع به سمت پایین و در جهت بارگذاری است که به آن «اصطکاک منفی» گفته می‌شود. اصطکاک منفی به علت هم‌جهت بودن با بارگذاری، باعث کاهش ظرفیت باربری فشاری شمع می‌گردد و حتی ممکن است باعث شود بار فشاری از مقاومت مجاز شمع نیز بیشتر گردد. برای محاسبهٔ اصطکاک منفی در شمع‌ها، مشابه با حالت محاسبهٔ Q_s داریم:

$$Q_n = \int_{\circ}^{L_n} \underbrace{f_n(z)}_{\text{حداکثر تنش جانبی ناشی از اصطکاک منفی}} \underbrace{P(z)}_{\text{محیط شمع}} dz = \sum \bar{f}_n PL$$

که در رابطه بالا مقدار $f_n(z)$ را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$f_n(z) = k\sigma'_v \tan\delta \Rightarrow \underbrace{\bar{f}_n}_{\text{تنش اصطکاکی متوسط در وسط لایهٔ خاک}} = k\bar{\sigma}'_v \tan\delta$$

توجه کنید که اگر مقدار k در صورت سؤال داده نشود، آن را برابر $k_\circ$ یعنی ضریب فشار سکون خاک و در حدود $(1-\sin\phi')$ در نظر می‌گیرند.

یادداشت دانشجو:

مقدار $Q_p = ۱۰۰۰\,kN$ است که در صورت سؤال داده شده است و ما در ادامه مقادیر Q_n و Q_s را به‌صورت زیر می‌یابیم:

محاسبهٔ Q_n:

$$\begin{cases} Q_n = \bar{f}_n PL_n \\ \bar{f}_n = k\bar{\sigma}_v \tan\delta = ۰/۴\bar{\sigma}_v = (۰/۴)(۱۸\times۳) = ۲۱/۶\,kN/m^۲ \\ P = \pi D = \pi\times۰/۴ \simeq ۱/۲m \quad , \quad L_n = ۶m \end{cases} \Rightarrow Q_n = ۲۱/۶\times۱/۲\times۶ = ۱۵۵\,kN$$

محاسبهٔ Q_s:

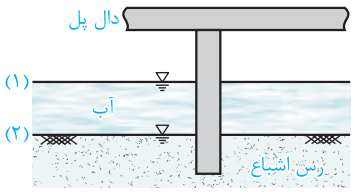
$$\begin{cases} Q_s = \bar{f}_s PL \\ \bar{f}_s = k\bar{\sigma}_v \tan\delta = ۰/۶\bar{\sigma}_v = (۰/۶)(۱۸\times۶ + ۲۰\times۶) = ۱۳۶/۸\,kN/m^۲ \\ P = ۱/۲m \ , \ L = ۱۲m \end{cases} \Rightarrow Q_s = ۱۳۶/۸\times۱/۲\times۱۲ \simeq ۱۹۷۰\,kN$$

و در نهایت با جایگذاری مقادیر Q_s، Q_p و Q_n در رابطهٔ اولیه، خواهیم داشت:

$$Q_u = Q_s + Q_p - Q_n = ۱۹۷۰ + ۱۰۰۰ - ۱۵۵ = ۲۸۱۵\,kN$$

بنابراین گزینهٔ (۳) پاسخ صحیح این تست است.

تمرین ۷: یک شمع به عنوان پایهٔ پل درون یک لایه خاک رسی کوبیده شده است. اگر سطح آب از تراز (۱) به تراز (۲) تنزل پیدا کند، در آن‌صورت کدام عبارت در مورد ظرفیت باربری محوری شمع صحیح است؟ (دکتری - ۹۲)



۱) ظرفیت باربری محوری کششی شمع کاهش می‌یابد.
۲) ظرفیت باربری محوری فشاری شمع افزایش می‌یابد.
۳) ظرفیت باربری محوری فشاری شمع کاهش می‌یابد.
۴) ظرفیت باربری محوری شمع تغییری نمی‌کند.

حل: تغییرات تراز آب در بالای خاک، تأثیری بر تنش مؤثر خاک نداشته و در نتیجه هیچگونه تحکیم یا تورمی در خاک رس اشباع ایجاد نمی‌شود. از این‌رو پدیدهٔ اصطکاک منفی (که در اثر پایین آمدن سطح آب در خاک رخ می‌دهد) اتفاق نیافتاده و ظرفیت باربری محوری شمع هیچ تغییری نمی‌کند. بنابراین گزینهٔ (۴) پاسخ صحیح این تست است.

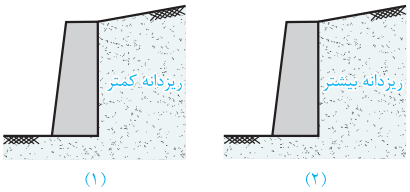
سری عمران

بانک تست‌های
فشار جانبی خاک و دیوار حائل

www.serieomran.com

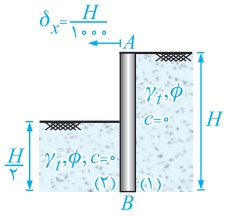
مبحث ۱: تأثیر جابه‌جایی دیوارهای حائل بر فشار جانبی خاک

۱- خاکریز پشت دو دیوار مشابه با تراکم یکسان ریخته شده است. در حالت دوم درصد ریزدانه‌ها به مراتب بیشتر از ریزدانه‌های خاکریز حالت اول است. برای ایجاد حالت محرک، حرکت دیوارها چگونه است؟ (کارشناسی ارشد - ۸۱)



۱) باید هر دو دیوار به‌طور یکسان حرکت کنند.
۲) باید دیوار ۱ بیشتر از دیوار ۲ حرکت کند.
۳) باید دیوار ۲ بیشتر از دیوار ۱ حرکت کند.
۴) نمی‌توان حرکت دیوارها را با هم مقایسه نمود.

۲- سپر فلزی نشان داده شده در شکل زیر در داخل خاک ماسه‌ای کوبیده شده است. اگر نقطهٔ A در اثر دوران سپر حول نقطهٔ B به اندازهٔ $\frac{H}{۱۰۰۰}$ در امتداد افق جابه‌جا شود، در آن‌صورت شرایط گسیختگی المان‌های (۱) و (۲) چگونه است؟



۱) المان (۱) و (۲) هر دو گسیخته می‌شوند.
۲) المان (۱) در آستانه گسیختگی است ولی المان (۲) گسیخته نمی‌شود.
۳) المان (۲) در آستانهٔ گسیختگی است ولی المان (۱) گسیخته نمی‌شود.
۴) هیچکدام از المان‌های (۱) و (۲) گسیخته نمی‌شوند.

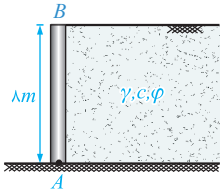
۳- اگر فاصلهٔ خالی بین دیوار زیرزمین و خاک پشت، با مصالح خاکی در دسترس در کارگاه ساختمانی که عمدتاً رس ماسه‌دار غیراشباع است پر شود، طراحی دیوارهای زیرزمین در برابر فشار جانبی خاک، بر اساس کدام حالت صورت می‌گیرد؟ (کارشناسی ارشد - ۸۰)

۱) فشار جانبی حالت سکون
۲) فشار جانبی محرک
۳) فشار جانبی مقاوم
۴) فشار خاک در نظر گرفته نمی‌شود.

۴- پشت یک دیوار حائل مطابق شکل زیر، از مصالح دانه‌ای پر شده است. به‌ازای کدام مقدار برای تراکم نسبی (D_r) احتمال گسیختگی خاک پشت دیوار بیشتر است؟

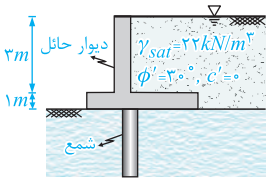
۱) $D_r = ۳۰٪$
۲) $D_r = ۵۰٪$
۳) $D_r = ۷۰٪$
۴) $D_r = ۹۰٪$

۵- دوران دیوار حائل شکل زیر حول نقطهٔ A چند رادیان باشد تا بدانیم خاک پشت دیوار در شرایط محرک کامل قرار گرفته است؟



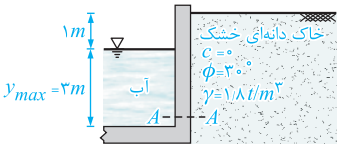
۱) $\frac{۱}{۱۰۰۰}$
۲) $\frac{۸}{۱۰۰۰}$
۳) $\frac{۱}{۸۰۰۰}$
۴) $\frac{۸}{۱۰۰}$

۱۶- به منظور جلوگیری از جابه‌جایی و نیز نشست بیش از حد دیوار حائل شکل زیر، از شمع‌هایی بـا فاصـلهٔ $۴m$ در طول دیوار استفاده شده است. در این صورت نیروی برشی ایجاد شده در رأس شمع‌ها (محل اتصال شمع‌هـا بـه کف دیوار) چند kN خواهد بود؟ از اصطکاک بین کف زمین و کف دیوار صرف‌نظر کنید. ($\gamma_w = ۱۰\ kN/m^۳$)



۱) ۱۲۸
۲) ۲۸۸
۳) ۵۱۲
۴) ۳۵۲

۱۷- یک کانال مطابق شکل برای انتقال آب از مخزنی به پایین دست در نظر گرفته شده است. اگر عمق آب در کانال، در بیشترین حالت $۳m$ باشد، حداکثر لنگر طراحی در مقطع $A-A$ در پایین جـدارهٔ کانـال چنـد $ton.m/m$ خواهد بود؟ (راهنمایی: در دیوارهٔ کانال‌ها شرایط سکون برقرار است)



۱) ۱/۶
۲) ۴/۵
۳) ۵/۱
۴) ۹/۶

مبحث ۳: فشار جانبی خاک در حالت‌های حدی (محرک و مقاوم)

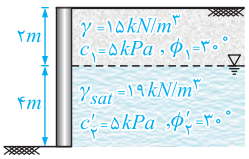
۱۸- بر یک نمونه خاک رس صرفاً چسبنده که دارای چسبندگی $۳/۵ton/m^۲$ می‌باشد، فشار قائم ۲ کیلوگرم بر سـانتی متـر مربع وارد می‌شود. حدود فشار جانبی قابل تحمل توسط این نمونه چند $kg/cm^۲$ است؟ (کارشناسی ارشد - ۷۵)

۱) ۱/۳ و ۲/۶
۲) ۱/۳ و ۲/۷
۳) ۱/۵ و ۲/۶
۴) ۱/۵ و ۲/۷

۱۹- در صورتی‌که ضریب فشار جانبی در یک لایه خاک دانه‌ای و در وضعیت سکون $k_۰$ باشد، ضـریب فـشار جـانبی خاک در حالت محرک مطابق کدام گزینه است؟ (زاویهٔ اصطکاک داخلی خاک برابر ϕ می‌باشد.)

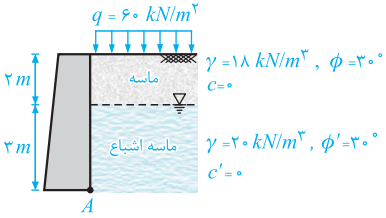
۱) $\frac{k_۰}{۱+\sin\phi}$
۲) $k_۰\sin\phi$
۳) $\frac{k_۰}{۱+\tan\phi}$
۴) $k_۰\tan\phi$

۲۰- در پروفیل شکل زیر که خاک در حالت محرک قرار دارد، تنش افقی کل در فاصلهٔ $۴m$ از سـطح خـاک حـدوداً چقدر است؟ ($\gamma_w = ۱۰\ kN/m^۳$)



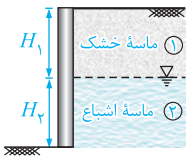
۱) ۵۰ کیلو پاسکال
۲) ۳۰ کیلو پاسکال
۳) ۲۰ کیلو پاسکال
۴) ۷۰ کیلو پاسکال

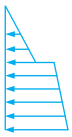
۲۱- با توجه به شکل زیر، فشار کل وارد به دیوار در حالت محرک و در نقطه A کدام است؟ (کارشناسی ارشد - ۷۹)



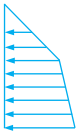
۱) $۶۶\ kN/m^۲$
۲) $۷۲\ kN/m^۲$
۳) $۵۰\ kN/m^۲$
۴) $۴۲\ kN/m^۲$

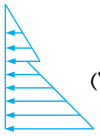
۳۲- در شکل زیر، لایه بالایی خشک و لایهٔ پایینی اشباع می‌باشد. کدام شکل نمودار توزیع تنش‌های محرک در پشت دیوار را به‌درستی نشان می‌دهد؟ ($k_{a_1} = 1/5\, k_{a_2}$ ، $\gamma_{sat} = \frac{4}{3}\gamma_d = 20\, kN/m^3$)



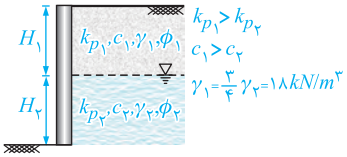
۱) 

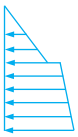
۲)

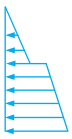
۳) 

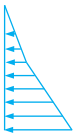
۴) 

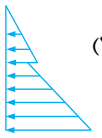
۳۳- کدام شکل منحنی فشار جانبی کل وارد بر دیوار حائل را که در حالت مقاوم قرار دارد، به‌درستی نشان می‌دهد؟ (کلیهٔ عوامل را در نمودار توزیع فشار نهایی در نظر بگیرید.)



۱) 

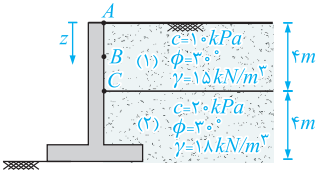
۲) 

۳) 

۴) 

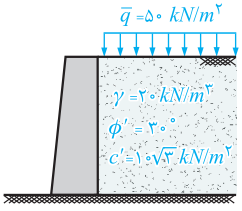
مبحث ۴: بحث ترک کششی در حالت محرک

۳۴- در دیوار حائل شکل زیر، مقدار فشار جانبی محرک در نقطهٔ B $(z = 2m)$ چند kN/m^2 است؟ (دکتری - ۹۵)



۱) صفر
۲) ۱۰
۳) ۲۲
۴) ۵۵

۳۵- در شکل زیر، خاک پشت یک دیوار حائل همراه با مشخصات آن نشان داده شده است. سربار سطح زمین شدت $50\, kN/m^2$ را دارد. عمق زون کششی (z_t) را محاسبه کنید. (برحسب متر) (کارشناسی ارشد - ۷۸)



۱) $z_t = 0/66$
۲) $z_t = 0/5$
۳) $z_t = 1/67$
۴) زون کششی اصلاً به وجود نمی‌آید.

سری عمران

پاسخ‌نامه تشریحی بانک تست‌های پی‌سازی

www.serieomran.com

۱- (۳)

همانطور که در متن درس نیز گفته شد، هر چه خاک ریزدانه‌تر باشد تغییر مکان لازم برای رسیدن به حالت محرک (کامل) نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین در حالت دوم دیوار بایستی جابه‌جایی بیشتری برای رسیدن به حالت محرک (کامل) داشته باشد.

۲- (۲)

خاک سمت راست سپر در حالت محرک و خاک سمت چپ در حالت مقاوم قرار دارد. بنابراین طبق روابط ترزاقی، جابه‌جایی لازم برای ایجاد شرایط محرک و مقاوم در خاک دو طرف سپر برابر است با:

$$\begin{cases} \Delta_{a(\text{موجود})} = \delta_{a(\text{لازم})} = \dfrac{H}{۱۰۰۰} \Rightarrow \text{خاک سمت راست در حالت محرک کامل قرار دارد} \\ \Delta_{p(\text{موجود})} = \dfrac{۱}{۳}\Delta_{a(\text{موجود})} = \dfrac{H}{۳۰۰۰} (\text{تالس}) < \delta_{p(\text{لازم})} = \dfrac{\frac{H}{۳}}{۱۰۰} = \dfrac{H}{۳۰۰} \Rightarrow \text{خاک سمت چپ به حالت مقاوم کامل نمی‌رسد} \end{cases}$$

چون خاک سمت راست به حالت محرک کامل رسیده است، بنابراین المان (۱) در آستانهٔ گسیختگی قرار دارد، اما خاک سمت چپ به حالت مقاوم کامل و آستانهٔ گسیختگی نرسیده و در نتیجه در المان (۲) گسیختگی نداریم.

۳- (۱)

برای دیوار زیرزمین، شرایط سکون در نظر گرفته می‌شود، زیرا سقف موجود بر روی این دیوار مانع از هرگونه تغییر مکان جانبی دیوار می‌شود.

۴- (۴)

هرچقدر خاک پشت دیوار متراکم‌تر و سفت‌تر باشد، به‌جابه‌جایی کمتری برای رسیدن به حالت محرک کامل و گسیختگی نیاز دارد. بنابراین احتمال گسیختگی خاک پشت دیوار در شرایطی که D_r بیشتری داریم ($D_r = ۹۰٪$) محتمل‌تر است.

۵- (۱)

برای قرارگیری خاک پشت دیوار در شرایط محرک کامل بایستی جابه‌جایی نقطهٔ B برابر $\frac{H}{۱۰۰۰}$ (H = ارتفاع دیوار) باشد، بنابراین زاویه دوران دیوار حول نقطه A در این حالت برابر خواهد بود با:

$$\theta \simeq \tan\theta = \frac{\delta_a}{H} = \frac{\frac{H}{۱۰۰۰}}{H} = \frac{۱}{۱۰۰۰} \quad \text{رادیان}$$

۶- (۳)

در اثر فرسایش به نوعی باربرداری رخ می‌دهد و درهم رفتگی دانه‌های خاک در اعماق کاهش می‌یابد. این موضوع باعث کاهش اصطکاک بین دانه‌ها (کاهش زاویهٔ اصطکاک داخلی خاک) می‌شود و چون در خاک ماسه‌ای $k_۰ = ۱ - \sin\phi'$ است، بنابراین با کاهش ϕ' مقدار $k_۰$ افزایش می‌یابد.

۷- (۲)

با توجه به توضیحات ارائه شده در صورت سؤال، دیوار در حالت سکون قرار دارد، بنابراین ضریب فشار جانبی خاک برابر است با:

$$k_{\circ} = ۱ - sin\phi = ۱ - ۰/۵ = ۰/۵$$

و در ادامه با توجه به اشباع نبودن خاک، می‌نویسیم:

$$\sigma_h = k_{\circ}\sigma_v = (۰/۵)(۲۰\times ۳ + ۹۰) = ۷۵\ kPa$$

تذکر: بار وارده روی دیوار نقشی در تعیین فشار جانبی خاک ندارد.

۸- (۳)

با توجه به عدم حرکت دیوار نسبت به خاک پشتش، دیوار در شرایط سکون قرار داشته و ضریب فشار جانبی آن که ضریب فشار سکون می‌باشد، برابر است با:

$$k_{\circ} = ۱ - sin\,\phi' = ۱ - ۰/۵ = ۰/۵$$

پس تنش کل افقی در نقطهٔ موردنظر (مجموع تنش مؤثر افقی σ'_h و فشار آب حفره‌ای u) برابر خواهد بود با:

$$\sigma_h = k_{\circ}\sigma'_v + u = ۰/۵\times[(۲۰-۱۰)\times ۲/۵ + ۱۰۰] + ۱۰\times ۲/۵ = ۸۷/۵\ kN/m^۲$$

۹- (۳)

در صورت سؤال صراحتاً ذکر شده است که دیوار در حالت سکون قرار دارد. در این شرایط با وجود سطح آب در تراز (۱)، تنش افقی در نقطهٔ A برابر است با:

$$\begin{cases}\sigma_{h_{A_۱}} = k_{\circ}\sigma'_{v_۱} + u_۱ \\ k_{\circ} = ۱ - sin\phi' = ۱ - ۰/۵ = ۰/۵\end{cases} \Rightarrow \sigma_{h_{A_۱}} = ۰/۵\times[۱۸\times ۴ + (۲۰-۱۰)\times ۲] + ۱۰\times ۲ = ۶۶\ kPa$$

حال اگر سطح آب در تراز (۲) قرار بگیرد، در آن‌صورت تنش افقی در نقطهٔ A برابر خواهد بود با:

$$\sigma_{h_{A_۲}} = k_{\circ}\sigma'_{v_۲} + u_۲ = ۰/۵\times[۱۸\times ۳ + (۲۰-۱۰)\times ۳] + ۱۰\times ۳ = ۷۲\ kPa$$

بنابراین فشار جانبی در نقطهٔ A، به اندازهٔ $۶\ kPa$ افزایش می‌یابد. $\Delta\sigma_{h_A} = \sigma_{h_{A_۲}} - \sigma_{h_{A_۱}} = ۷۲ - ۶۶ = ۶\ kPa$

تذکر: این سؤال را می‌توانستیم بصورت زیر نیز پاسخ دهیم:

$$\Delta\sigma_h = k_{\circ}\,\Delta\sigma'_v + \Delta u = k_{\circ}\,\Delta h(\gamma' - \gamma) + \Delta h\gamma_w = (۰/۵)(۱)(۱۰-۱۸) + ۱\times ۱۰ = +۶\ kPa$$

۱۰- (۴)

$$\sigma_v = \sigma'_v + u = [۱۹\times ۱۰ + (۲۱-۱۰)\times ۱۰] + ۱۰\times ۱۰ = ۳۰۰ + ۱۰۰ = ۴۰۰\ kPa$$

$$\sigma_h = k_{\circ}\sigma'_v + u = ۰/۵\times ۳۰۰ + ۱۰۰ = ۲۵۰\ kPa$$

۱۱- (۲)

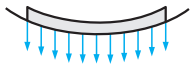
با توجه به اینکه المان موردنظر در یک پروفیل خاک نمایش داده شده است و هیچگونه تغییرمکان جانبی ندارد، بنابراین شرایط فشار سکون برقرار بوده و $\sigma_۳$ فشار جانبی سکون خواهد بود. از این‌رو می‌نویسیم:

$$\begin{cases}\sigma_۳ = \sigma_h = \sigma'_v k_{\circ} + u \\ k_{\circ} = (۱ - sin\phi')\sqrt{OCR} \quad \text{رس پیش تحکیم یافته}\end{cases}$$

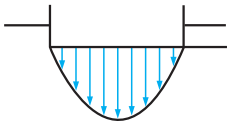
$$\Rightarrow\ \sigma_۳ = [۵\times(۱۸-۱۰)](۱ - sin۳۷^{\circ})\sqrt{۴} + ۵\times ۱۰ = ۸۲\ kN/m^۲$$

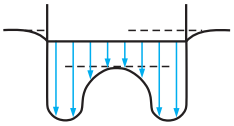
سوالات آزمون سراسری سال ۹۸

۱- توزیع تنش و نشست واقعی خاک در زیر یک شالوده صلب که روی سطح زمینی متشکل از خاک دانه‌ای قرار گرفته است، به کدام شکل نزدیک‌تر است؟

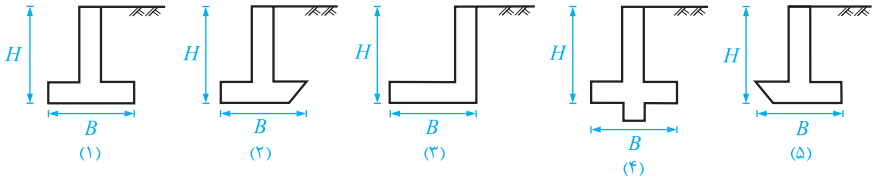
۱) 

۲)

۳) 

۴) 

۲- با فرض دانه‌ای بودن خاک پشت دیوارها، کمترین مقدار فشار جانبی خاک مربوط به کدام حالت است؟



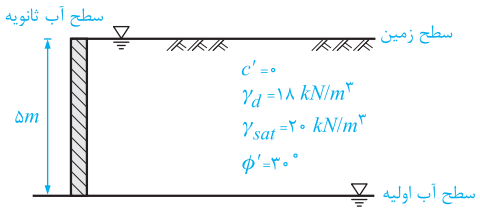
۱) حالت (۱)　　۲) حالت (۲)　　۳) حالت (۱) و (۳)　　۴) حالت (۴) و (۵)

۳- چنانچه عرض و عمق شالوده‌ای به ترتیب برابر b و h درنظر گرفته شوند و ضریب واکنش بستر k باشد، ضریب B معیار مناسبی برای طراحی شالوده به‌صورت صلب یا انعطاف‌پذیر بوده و از رابطهٔ $B = \sqrt[4]{\frac{bk}{4E_F I_F}}$ به‌دست می‌آید که در آن $I_F = \frac{bh^3}{12}$ لنگر اینرسی مقطع شالوده و E_F ضریب کشسانی مصالح شالوده است. فاصلهٔ ستون‌ها در یک نوار شالوده کدام باشد تا در طراحی، شالوده به‌صورت صلب در نظر گرفته شود؟

۱) کمتر از $\frac{۱/۷۵}{B}$　　۲) بزرگتر از $\frac{۱/۷۵}{B}$

۳) کمتر از نصف مقدار $\frac{۱/۷۵}{B}$　　۴) بزرگتر از نصف مقدار $\frac{۱/۷۵}{B}$

۴- در دیوار نگهبان نشان داده شده در شکل زیر، چنانچه سطح آب در پشت دیوار تا تراز سطح زمین بالا بیاید، مقدار کل نیروی جانبی در حالت سکون نسبت به حالت اول چند برابر افزایش می‌یابد؟

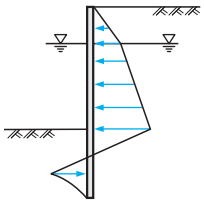


۱) ۲/۱۱
۲) ۱/۷۵
۳) ۱/۶۷
۴) ۱/۵۰

۷- (۱)

توزیع فشار وارد بر سپر (که به علت خنثی شدن فشار آب دو طرف توسط یکدیگر، فقط فشار محرک یا مقاوم است)، در تمام گزینه‌ها یکسان است و نیازی به بررسی آن نیست. حال باتوجه به دوران دیوار حول نقطهٔ O واضح است که در نواحی A و B دیوار به سمت چپ رفته و خاک طرف راست در وضعیت محرک خواهد بود و خاک طرف چپ در قسمت B ، در وضعیت مقاوم قرار می‌گیرد. این در شرایطی است که در ناحیهٔ C ، دیوار به سمت راست می‌آید و در نتیجه خاک سمت راست را در شرایط مقاوم و خاک سمت چپ را در شرایط محرک قرار می‌دهد. باتوجه به توضیحات فوق گزینهٔ (۱) درست است.

دقت: نمودار توزیع فشار جانبی در سپر مذکور در مقاصد عملی به‌صورت زیر ساده می‌شود:



۸- (۴)

همان‌طور که در قسمت‌های (C) و (D) از مبحث (۲۶) کتاب آمده است، در خاک‌های دانه‌ای تنش جانبی مقاوم (f_s) و ظرفیت باربری نوک شمع (q_p) با افزایش عمق افزایش می‌یابند تا اینکه در نسبت $(\frac{L_b}{D})_{cr}$ به مقدار حداکثر خود رسیده و از آن به بعد ثابت خواهند بود. بنابراین در این تست، گزینهٔ (۴) صحیح است.