

الله أكبر
محمد الرحمن

به نام یکتا مهندس هستی...



سخن مؤلفان

پی‌سازی یکی از دروس مهم مهندسی عمران است که در واقع باید آن را ادامه علم مکانیک خاک دانست. پس از شناخت خاک و کسب اطلاعات لازم در مورد آن، بخصوص در بحث تنش‌ها و تغییر شکل‌های خاک (مقاومت برشی و نشست)، نوبت طراحی یک پی مناسب جهت منتقل کردن بار سازه به زمین است. بسته به مقاومت خاک و توان آن در برابر نشست، می‌توان نوع و ابعاد پی را مشخص کرد که این موضوع قسمت عمده درس پی‌سازی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین تعیین ضخامت و میلگردهای پی نیز بصورت مشترک با درس سازه‌های بتنی مطرح می‌گردد. در این کتاب درس پی‌سازی در ۴ فصل به شرح زیر ارائه می‌شود:

فصل اول: فشارهای جانبی خاک و دیوارهای حائل

فصل دوم: پی‌های سطحی

فصل سوم: پی‌های عمیق (شمع‌ها)

فصل چهارم: شناسایی‌های زیرزمینی

کتاب حاضر، حاصل دو سال تلاش بی‌وقفه مؤلفین آن و عوامل اجرایی مؤسسه سری عمران است و هدف آن ارائه یک مجموعه کامل و بی‌نقص است تا مهندسان گرامی به واسطه آن بتوانند بهترین نتیجه را در آزمون کارشناسی ارشد کسب کنند. نکته قابل توجه در مورد این کتاب، آموزش منحصر به فرد درس پی‌سازی است که شاید تاکنون در هیچ کجا ارائه نشده باشد. همچنین از ویژگی‌های بارز این کتاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- آموزش مفهومی مطالب درسی همراه با ریز طبقه‌بندی‌های مناسب جهت یادگیری بهتر مطالب.

۲- شرح درس با متنی ساده و روان که حتی دانشجویان نوآموز نیز به راحتی بتوانند با کتاب ارتباط برقرار کنند.

۳- حل تمرین‌های متنوع و فراوان در متن درس (۱۵۰ تمرین)

۴- ارائه تست‌های تألیفی طبقه‌بندی شده و کاملاً جدید به همراه پاسخ‌های

تشریحی آنها در انتهای هر فصل (بیش از ۳۲۰ تست)

۵- حل کلیه تست‌های مطرح شده در آزمون‌های سراسری کارشناسی ارشد عمران از سال ۷۲ تاکنون

۶- جدا کردن مباحث کم‌اهمیت‌تر در آزمون کارشناسی ارشد از مباحث اصلی که این قسمت تحت عنوان بخش تکمیلی در آخر هر فصل آمده است.



در نگارش این اثر، تلاش مؤلفین بر ارائه یک مجموعه کامل و بی نقص بوده است ولی از آنجائی که احتمال بروز اشتباهات سهوی وجود دارد از دانشجویان، مهندسين و اساتید گرامی تقاضا می شود تا ما را در جهت رفع نقایص احتمالی یاری نموده و در ضمن پیشنهادات و انتقادهای سازنده خود را از طریق تالار گفتگوی سایت مؤسسه سری عمران (www.serieomran.ir) به ما منتقل نمایند.

با سپاس فراوان از جناب آقای دکتر شریفیان مدیریت مؤسسه سری عمران، دوست گرامی جناب آقای دکتر آهنگر و عوامل اجرایی مؤسسه سری عمران جناب آقای احمد فرزانه و سرکار خانم طاهره نجفی که تمام تلاش خود را در جهت ارائه هر چه بهتر این مجموعه بکار گرفتند.

زحمات دوستان عزیزمان آقای مهندس پارساجلوخانی، مهندس ارسلان بهزادی پور، مهندس محمد کاظمی و مهندس امین محمدی نیز که در بازخوانی کتاب ما را یاری دادند قابل تقدیر است. امید است تلاش مؤلفین در جهت ارائه این کتاب مورد قبول دانشجویان و مهندسين گرامی قرار گیرد.

ساسان امیرافشاری
حسین فراهانی



فهرست

| | |
|--|----|
| بخش (۳): بررسی پایداری دیوارهای حائل..... | ۵۰ |
| ۱-۳-۱- مقدمه..... | ۵۰ |
| ۱-۳-۲- بررسی لغزش دیوارهای حائل..... | ۵۰ |
| ۱-۳-۳- بررسی واژگونی دیوارهای حائل..... | ۵۱ |
| ۱-۳-۴- استفاده از میل مهار جهت تأمین پایداری دیوار حائل..... | ۵۲ |
| بخش (۴): نکات تکمیلی فشار جانبی و دیوارهای حائل..... | ۵۷ |
| ۱-۴-۱- تئوری‌های مطرح شده در مورد دیوارهای حائل..... | ۵۷ |
| ۱-۴-۲- تئوری کولمب برای بررسی دیوارهای حائل..... | ۵۸ |
| ۱-۴-۳- اثر شیب سطح خاک روی فشارهای جانبی..... | ۵۸ |
| ۱-۴-۴- تحلیل دیاگرام‌های توزیع فشار در خاک چند لایه پشت دیوار..... | ۵۹ |
| ۱-۴-۵- اثر زلزله بر دیوارهای حائل..... | ۶۰ |
| ۱-۴-۶- محاسبه فشار جانبی ناشی از سربار (روش بوسینسک)..... | ۶۱ |
| تست‌های فصل اول..... | ۶۲ |
| پاسخ تست‌های فصل اول..... | ۸۰ |

فصل دوم

| | |
|---|-----|
| پی‌های سطحی..... | ۱۰۵ |
| پیش‌گفتار..... | ۱۰۵ |
| بخش (۱): ظرفیت باربری پی‌های سطحی..... | ۱۰۸ |
| ۱-۱-۱- مقدمه..... | ۱۰۸ |
| ۱-۱-۲- آشنایی با مفاهیم اولیه ظرفیت باربری نهایی..... | ۱۰۸ |
| ۱-۲-۳- تحلیل سطوح گسیختگی در خاک و ارتباط آنها با q_{ult} | ۱۱۰ |
| ۱-۲-۴- آشنایی با انواع گسیختگی زیر پی..... | ۱۱۵ |
| ۱-۲-۵- تعیین ظرفیت باربری براساس نظریه محققین مختلف..... | ۱۱۶ |
| ۱-۲-۶- تأثیر تراز آب زیرزمینی و اشباع بودن خاک در ظرفیت باربری..... | ۱۲۵ |

پیش فصل

| | |
|----------------------------|---|
| یادآوری از مکانیک خاک..... | ۹ |
|----------------------------|---|

فصل اول

| | |
|---|----|
| فشارهای جانبی خاک و دیوارهای حائل..... | ۱۹ |
| پیش‌گفتار..... | ۱۹ |
| بخش (۱): آنالیز تنش‌های وارد بر خاک تحت اثر فشارهای جانبی..... | ۲۱ |
| ۱-۱-۱- مقدمه..... | ۲۱ |
| ۱-۲-۱- آنالیز خاک در حالت سکون..... | ۲۱ |
| ۱-۳-۱- آنالیز خاک در حالت محرک..... | ۲۱ |
| ۱-۴-۱- آنالیز خاک در حالت مقاوم..... | ۲۳ |
| ۱-۵-۱- جابه‌جایی افقی دیوارهای حائل برای ایجاد حالت‌های محرک و مقاوم..... | ۲۵ |
| بخش (۲): محاسبه فشارهای جانبی وارد بر دیوار حائل..... | ۲۶ |
| ۱-۲-۱- مقدمه..... | ۲۶ |
| ۱-۲-۲- بررسی فشارهای جانبی وارد بر دیوار در حالت سکون..... | ۲۶ |
| ۱-۲-۳- بررسی فشارهای جانبی وارد بر دیوار در حالت محرک..... | ۳۶ |
| ۱-۲-۴- بررسی فشارهای جانبی وارد بر دیوار در حالت مقاوم..... | ۳۸ |
| ۱-۲-۵- بررسی پدیده ترک کششی در خاک پشت دیوار در حالت محرک..... | ۴۱ |
| ۱-۲-۶- پایداری گودبرداری‌ها و ترانشه‌های خاکی..... | ۴۷ |

| | | |
|----------------|--|---|
| ۱۳۰ | ظرفیت باربری | ۷-۱-۲- تأثیر خروج از مرکزیت بارگذاری وارد بر پی در |
| ۱۳۸ | ظرفیت باربری پی‌های مستقر بر خاک‌های لایه‌ای | ۸-۱-۲- ظرفیت باربری پی‌های مستقر بر خاک‌های لایه‌ای |
| ۱۴۲ | بخش (۲): توزیع تنش (فشار) در زیر پی‌ها | بخش (۲): توزیع تنش (فشار) در زیر پی‌ها |
| ۱۴۲ | مقدمه | ۱-۲-۲- مقدمه |
| ۱۴۲ | محاسبه تنش‌های فشاری یکنواخت در زیر پی‌های تکی | ۲-۲-۲- محاسبه تنش‌های فشاری یکنواخت در زیر پی‌های تکی |
| ۱۴۳ | بررسی توزیع تنش در زیر پی وقتی بارگذاری دارای خروج از مرکزیت کوچک است | ۳-۲-۲- بررسی توزیع تنش در زیر پی وقتی بارگذاری دارای خروج از مرکزیت کوچک است |
| ۱۴۳ | بررسی توزیع تنش در زیر پی در آستانه بلند شدن از زمین است | ۴-۲-۲- بررسی توزیع تنش در زیر پی در آستانه بلند شدن از زمین است |
| ۱۴۹ | محاسبات تنش در زیر پی وقتی قسمتی از پی از زمین جدا می‌شود | ۵-۲-۲- محاسبات تنش در زیر پی وقتی قسمتی از پی از زمین جدا می‌شود |
| ۱۵۴ | توزیع تنش در زیر پی‌های مرکب دو ستونی (مستطیلی، دوزنقه‌ای و باسکولی) | ۶-۲-۲- توزیع تنش در زیر پی‌های مرکب دو ستونی (مستطیلی، دوزنقه‌ای و باسکولی) |
| ۱۶۴ | بخش (۳): نشست پی‌ها | بخش (۳): نشست پی‌ها |
| ۱۶۴ | مقدمه | ۱-۳-۲- مقدمه |
| ۱۶۵ | انواع پی‌ها از نظر انعطاف‌پذیری و چگونگی توزیع تنش و نشست در زیر آن‌ها | ۲-۳-۲- انواع پی‌ها از نظر انعطاف‌پذیری و چگونگی توزیع تنش و نشست در زیر آن‌ها |
| ۱۶۷ | نشست الاستیک (آنی) و محاسبه آن | ۳-۳-۲- نشست الاستیک (آنی) و محاسبه آن |
| ۱۶۹ | آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) | ۴-۳-۲- آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) |
| ۱۷۲ | ضریب عکس‌العمل بستر | ۵-۳-۲- ضریب عکس‌العمل بستر |
| ۱۷۳ | جابجایی افقی پی در اثر لغزش | ۶-۳-۲- جابجایی افقی پی در اثر لغزش |
| ۱۷۵ | بخش (۴): اصول طراحی پی‌های سطحی | بخش (۴): اصول طراحی پی‌های سطحی |
| ۱۷۵ | مقدمه | ۱-۴-۲- مقدمه |
| ۱۷۵ | نحوه محاسبه مساحت کف پی و ابعاد آن | ۲-۴-۲- نحوه محاسبه مساحت کف پی و ابعاد آن |
| ۱۷۷ | ارتفاع پی (h) را چگونه بدست بیاوریم؟ | ۳-۴-۲- ارتفاع پی (h) را چگونه بدست بیاوریم؟ |
| ۱۸۱ | چگونه آرماتورهای خمشی پی را مشخص کنیم؟ | ۴-۴-۲- چگونه آرماتورهای خمشی پی را مشخص کنیم؟ |
| ۱۸۳ | مطالب تکمیلی پی‌های سطحی | بخش (۵): مطالب تکمیلی پی‌های سطحی |
| ۱۸۳ | ظرفیت باربری خالص مجاز ($q_{all_{net}}$) | ۱-۵-۲- ظرفیت باربری خالص نهایی ($q_{ult_{net}}$) و ظرفیت باربری خالص مجاز ($q_{all_{net}}$) |
| ۱۸۴ | نکات تکمیلی در مورد انواع گسیختگی | ۲-۵-۲- نکات تکمیلی در مورد انواع گسیختگی |
| ۱۸۶ | نظریه هانسن در تعیین ظرفیت باربری در حضور سفره آب زیرزمینی | ۳-۵-۲- نظریه هانسن در تعیین ظرفیت باربری در حضور سفره آب زیرزمینی |
| ۱۸۷ | محاسبه نشست آبی باروش اشمرتمن-هارتمن | ۴-۵-۲- محاسبه نشست آبی باروش اشمرتمن-هارتمن |
| ۱۸۸ | محاسبه نشست در پی‌های انعطاف‌پذیر | ۵-۵-۲- محاسبه نشست در پی‌های انعطاف‌پذیر |
| ۱۸۸ | نشست آبی پی صلب در حضور یک بار خارج از مرکز | ۶-۵-۲- نشست آبی پی صلب در حضور یک بار خارج از مرکز |
| ۱۹۰ | تست‌های فصل دوم | تست‌های فصل دوم |
| ۲۱۱ | پاسخ تست‌های فصل دوم | پاسخ تست‌های فصل دوم |
| فصل سوم | | |
| ۲۴۱ | پی‌های عمیق | پی‌های عمیق |
| ۲۴۱ | پیش‌گفتار | پیش‌گفتار |
| ۲۴۳ | بخش (۱): شمع‌های تکی | بخش (۱): شمع‌های تکی |
| ۲۴۳ | مقدمه | ۱-۱-۳- مقدمه |
| ۲۴۳ | طبقه‌بندی انواع شمع‌ها | ۲-۱-۳- طبقه‌بندی انواع شمع‌ها |
| ۲۴۵ | ظرفیت باربری شمع‌های تکی | ۳-۱-۳- ظرفیت باربری شمع‌های تکی |
| ۲۴۵ | محاسبه مقاومت اصطکاکی بدنه شمع (مقاومت جلدی، Q_s) | ۴-۱-۳- محاسبه مقاومت اصطکاکی بدنه شمع (مقاومت جلدی، Q_s) |
| ۲۴۵ | محاسبه مقاومت اتکایی انتهای شمع (مقاومت نوک، Q_p) | ۵-۱-۳- محاسبه مقاومت اتکایی انتهای شمع (مقاومت نوک، Q_p) |
| ۲۵۸ | ظرفیت باربری مجاز شمع | ۶-۱-۳- ظرفیت باربری مجاز شمع |
| ۲۵۹ | مقاومت کششی شمع تحت بارهای کششی | ۷-۱-۳- مقاومت کششی شمع تحت بارهای کششی |
| ۲۶۱ | پدیده اصطکاک منفی در شمع‌ها | ۸-۱-۳- پدیده اصطکاک منفی در شمع‌ها |
| ۲۶۳ | بخش (۲): گروه شمع | بخش (۲): گروه شمع |
| ۲۶۳ | مقدمه | ۱-۲-۳- مقدمه |
| ۲۶۳ | اثر متقابل شمع‌ها در گروه شمع | ۲-۲-۳- اثر متقابل شمع‌ها در گروه شمع |

بخش (۱): برنامه‌ای برای چگونگی بررسی و کاوش خاک منطقه ۳۳۳

۱-۱-۴- مقدمه ۳۳۳

۲-۱-۴- روش‌های گمانه‌زنی ۳۳۳

۳-۱-۴- عمق و فاصله گمانه‌ها ۳۳۴

۴-۱-۴- نمونه‌گیری از خاک و روش‌های آن ۳۳۵

بخش (۲): آزمایش‌های صحرایی (میدانی) متداول ۳۳۷

۱-۲-۴- مقدمه ۳۳۷

۲-۲-۴- آزمایش نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test) ۳۳۷

۳-۲-۴- آزمایش نفوذ مخروط (Cone Penetration Test) ۳۴۰

۴-۲-۴- آزمایش برش پره (Vane Shear Test) ۳۴۲

۵-۲-۴- آزمایش فشارسنجی یا پرسیمتری (Pressure meters Test) ۳۴۳

۶-۲-۴- آزمایش انبساط‌سنج تخت (Flat Plate Dilatometer Test) ۳۴۴

۷-۲-۴- آزمایش بارگذاری صفحه (Plate Load Test) ۳۴۴

بخش (۳): مطالب تکمیلی در تعیین ظرفیت باربری خاک با استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی ۳۴۵

۱-۳-۴- محاسبه ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۳۴۵

۲-۳-۴- محاسبه ظرفیت باربری شمع‌ها ۳۴۷

تست‌های فصل چهارم ۳۴۸

پاسخ تست‌های فصل چهارم ۳۵۲

آزمون‌های سراسری از سال ۱۳۹۳ به بعد ۳۵۶

۳-۲-۳- محاسبه ضریب کارایی و ظرفیت باربری گروه شمع ۲۶۴

۴-۲-۳- نیروی ایجاد شده در هر یک از شمع‌ها در یک گروه شمع ۲۷۱

۵-۲-۳- نشست گروه شمع ۲۷۹

بخش (۳): مطالب تکمیلی شمع‌ها ۲۸۲

۱-۳-۳- نکات کلی در مورد انواع شمع‌ها ۲۸۲

۲-۳-۳- نکاتی در مورد نحوه اجرای شمع‌ها در انواع خاک‌ها ۲۸۲

۳-۳-۳- مکانیزم گسیختگی در خاک اطراف شمع ۲۸۳

۴-۳-۳- روش‌ها در محاسبه ظرفیت باربری جانبی شمع ۲۸۴

۵-۳-۳- نکات تکمیلی مقاومت نوک شمع ۲۸۵

۶-۳-۳- نشست شمع تکی ۲۸۷

۷-۳-۳- ظرفیت باربری کششی گروه شمع ۲۸۸

۸-۳-۳- کلاهک شمع‌ها ۲۸۹

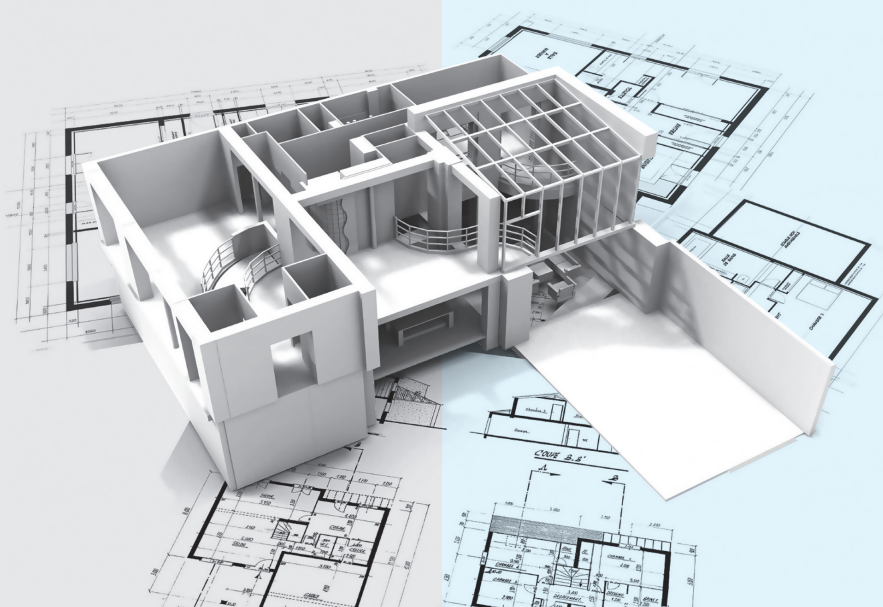
تست‌های فصل سوم ۲۹۱

پاسخ تست‌های فصل سوم ۳۰۹

فصل چهارم

شناسایی‌های زیرزمینی ۳۳۱

پیش‌گفتار ۳۳۱





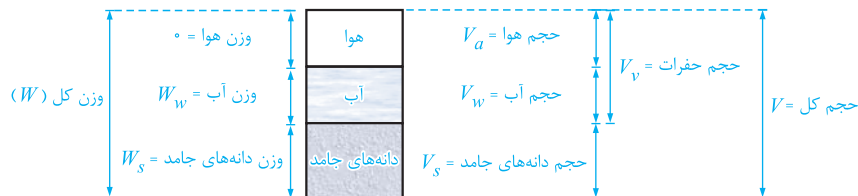
پیش فصل: یادآوری از مکانیک خاک

از آنجائیکه درس «مکانیک خاک» پیش‌نیاز درس «پی‌سازی» است، انتظار می‌رود دانشجویان گرامی قبل از مطالعه این کتاب، درس مکانیک خاک را به نحو مطلوبی آموخته باشند. اما این امکان وجود دارد که برخی از شما عزیزان در هنگام شروع مطالعه کتاب، مطالب آموخته شده را فراموش کرده باشید. از این‌رو در ابتدای این کتاب یک پیش فصل، تحت عنوان «یادآوری از مکانیک خاک»، گنجانده شده است که آن را به مرور مطالب موردنیاز از مکانیک خاک اختصاص داده‌ایم. توجه کنید که:

- مطالعه این قسمت برای افرادی که هیچگونه آشنایی با مکانیک خاک ندارند و یا مدت زیادی از یادگیری آنها (بیش از یک سال) گذشته است، کافی نبوده و این افراد بایستی حتماً قبل از شروع مطالعه پی‌سازی، مکانیک خاک را به صورت کامل فرا بگیرند.
- مطالعه این قسمت برای دانشجویان عزیز که تسلط کافی بر مکانیک خاک دارند الزامی نبوده و می‌توانند از آن عبور کنند.

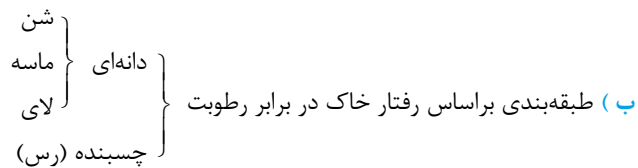
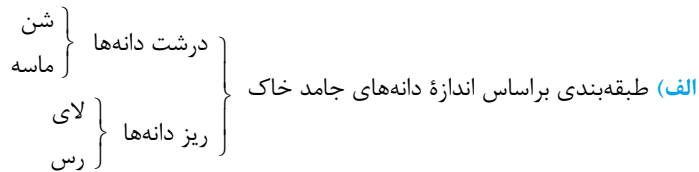
حال مطالب موردنیاز از درس مکانیک خاک را در قالب «۱۵ نکته مفید و کاربردی» ارائه می‌کنیم:

۱- یک توده خاک در حالت کلی از سه بخش دانه‌های جامد، آب و هوا تشکیل شده است که برای نمایش این اجزاء در مکانیک خاک، از یک دیاگرام فرضی بنام «دیاگرام سه فازی» استفاده می‌کنیم. این دیاگرام، یک حالت فرضی از نحوه قرارگیری اجزاء توده خاک در کنار هم می‌باشد و به شکل زیر است:





۲- خاک‌ها براساس اندازه دانه‌های جامدشان و نیز رفتارشان در برابر رطوبت به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:



با توجه به کثرت قابل ملاحظه ماسه و رس در طبیعت و نیز کاربردشان در مهندسی عمران (نسبت به شن و لای)، در اکثر مواقع منظور ما از خاک دانه‌ای، ماسه و از خاک ریزدانه، رس است. خاک چسبنده رسی برخلاف خاک‌های دانه‌ای، تمایل به جذب آب داشته و با کسب مقدار مشخصی آب، چسبناک شده و به حالت خمیری در می‌آید. البته باید بدانید که خاک رس بدون آب هم چسبندگی دارد ولی ماهیت آن، با چسبندگی حالت مرطوبش متفاوت است. در حالت خشک چسبندگی رس ناشی از نیروهای جاذبه الکترواستاتیکی است در حالیکه در حالت مرطوب، آب لزج و چسبناک (آب جذب سطحی)، ذرات رس را به هم می‌چسباند.

۳- برای سنجش وضعیت تراکم خاک‌های دانه‌ای از معیاری بنام تراکم نسبی یا دانسیته نسبی (D_r) استفاده می‌شود. طبق تعریف، تراکم نسبی برابر است با:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

که در آن e نسبت تخلخل خاک ($e = \frac{V_v}{V_s}$) در وضعیت موجود بوده و e با اندیس‌های ماکزیمم و مینیمم به ترتیب نشانگر نسبت تخلخل خاک در شل‌ترین و متراکم‌ترین حالت آن می‌باشند.

در مورد خاک‌های رسی میزان آب لازم برای ورود و خروج آنها از حالت خمیری مهم است. درصد رطوبت لازم برای آنکه خاک رس خمیری شود، حد خمیری (PL) و درصد رطوبتی که لازم است تا توده خمیری رس به صورت مایع درآید، حد روانی (LL) نامیده می‌شود. تفاضل این دو حد نیز نشانه خمیری (PI) نام دارد و نشانگر خاصیت خمیری توده رسی است.

$$PI = LL - PL$$

بر همین اساس، با توجه به درصد رطوبت خاک در محل (ω)، می‌توان سفتی نسبی یک خاک چسبنده را توسط نسبتی که نشانه مایع (LI) نامیده می‌شود به صورت زیر بیان کرد:

$$LI = \frac{\omega - PL}{PI}$$



۴- یک توده خاک بسته به میزان آب موجود در خود، می‌تواند به صورت خشک، نیمه اشباع یا اشباع باشد که حالت نیمه اشباع را حالت تر هم می‌گویند. بر همین اساس وزن مخصوص توده خاک (نسبت وزن خاک به حجم کل توده خاک) در حالت‌های مذکور به صورت زیر مشخص می‌گردد.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad \text{الف) وزن مخصوص حالت خشک خاک (وزن مخصوص خشک):}$$

$$\gamma_t \text{ یا } \gamma = \frac{W}{V} \quad \text{ب) وزن مخصوص حالت تر خاک (وزن مخصوص تر):}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} \quad \text{ج) وزن مخصوص حالت اشباع خاک (وزن مخصوص اشباع):}$$

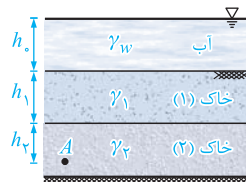
لازم به ذکر است که در حالت اشباع، علاوه بر وزن مخصوص اشباع می‌توان وزن مخصوص غوطه‌وری خاک را نیز به دست آورد. وزن مخصوص غوطه‌وری خاک تفاضل وزن مخصوص اشباع خاک و وزن مخصوص آب است.

$$\gamma_b = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

۵- محاسبه مقادیر تنش‌ها در یک پروفیل خاک از مباحث مهم و مورد توجه در مکانیک خاک است. در یک نقطه از خاک، محاسبه تنش مؤثر (σ')، فشار آب حفره‌ای (u) و تنش کل (σ) مدنظر قرار می‌گیرند که به ترتیب مربوط به دانه‌های جامد، آب و مجموع آب و دانه‌های جامد هستند. بر همین اساس، اصل تنش مؤثر بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$\sigma = \sigma' + u \quad \text{یا} \quad \sigma' = \sigma - u$$

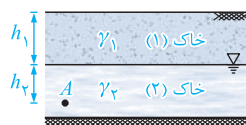
برای محاسبه تنش‌ها، مطابق شکل زیر یک پروفیل خاک را در نظر بگیرید که تحت هیچگونه بارگذاری خارجی نبوده و آب در آن حرکت نداشته باشد. در این حالت مقادیر تنش‌ها برای نقطه (A) به شرح زیر می‌باشند:



$$\begin{aligned} \sigma_A &= \gamma_w h_0 + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 \\ u_A &= \gamma_w (h_0 + h_1 + h_2) \\ \sigma'_A &= \sigma_A - u_A = \gamma'_1 h_1 + \gamma'_2 h_2 \end{aligned}$$

توجه کنید که در روابط بالا $\gamma_1 = \gamma_{sat_1}$ و $\gamma_2 = \gamma_{sat_2}$ می‌باشند، زیرا خاک قرار گرفته در زیر سفره آب زیرزمینی، اشباع است.

حال اگر سطح آب زیرزمینی تا سطح خاک (۲) پایین بیاید، در آن صورت خواهیم داشت:



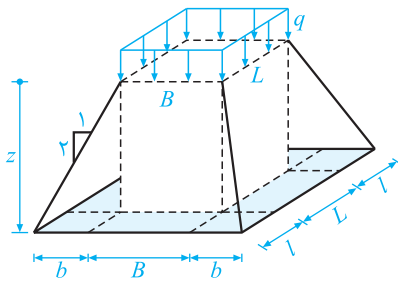
$$\begin{aligned} \sigma_A &= \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 \\ u_A &= \gamma_w h_2 \\ \sigma'_A &= \sigma_A - u_A = \gamma_1 h_1 + \gamma'_2 h_2 \end{aligned}$$

که در روابط بالا $\gamma_1 = \gamma_d_1$ یا $\gamma_1 = \gamma_{sat_1}$ بوده و $\gamma_2 = \gamma_{sat_2}$ است.

۶- با قرار گرفتن سربار بر روی خاک، مقدار تنش موجود در خاک افزایش می‌یابد و هرچه از محل اثر بار فاصله بگیریم، از تأثیر سربار کاسته خواهد شد. اضافه تنش قائم ناشی از سربار که به خاک منتقل می‌شود ($\Delta\sigma_z$)، بستگی به حالت‌های مختلف بارگذاری داشته و با روش‌های مختلفی مثل روش بوسینسک و روش تقریبی دو به یک قابل محاسبه است.

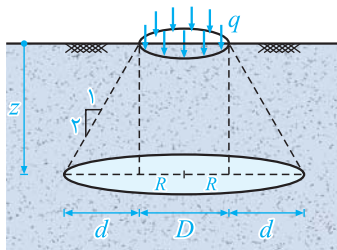


در اینجا با صرف‌نظر از توضیحات مربوط به روش بوسینسک، محاسبه $\Delta\sigma_z$ در زیر پی‌های مستطیلی و دایره‌ای را با روش تقریبی دو به یک بیان می‌کنیم. در روش تقریبی دو به یک فرض می‌شود که بار اعمال شده در سطح خاک، با شیب خطی دو به یک (قائم ۲ و افقی ۱) در عمق خاک توزیع می‌شود.



$$\left\{ \begin{aligned} \frac{b}{z} = \frac{l}{z} = \frac{1}{2} &\Rightarrow z = 2b = 2l \\ \Delta\sigma_z = \frac{q(B \times L)}{(B + 2b)(L + 2l)} \end{aligned} \right.$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_z = q \left[\frac{BL}{(B+z)(L+z)} \right] = \frac{P}{(B+z)(L+z)}$$



$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d}{z} = \frac{1}{2} &\Rightarrow z = 2d \\ \Delta\sigma_z = \frac{q\left(\frac{\pi}{4} \times D^2\right)}{\frac{\pi}{4} \times (2d + D)^2} \end{aligned} \right.$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_z = q \left(\frac{D}{D+z} \right)^2 = \frac{4P}{\pi(D+z)^2}$$

توجه کنید که اگر یک بار گسترده به شدت q در یک سطح وسیع روی خاک پخش شود، در آن صورت مقدار $\Delta\sigma_z$ برابر شدت بار وارده، یعنی q خواهد بود.

۷- وقتی برای خاک اتفاقی می‌افتد (مثلاً بارگذاری یا باربرداری می‌شود) و یا سطح سفره آب زیرزمینی در آن تغییر می‌کند، خاک رس اشباع به علت نفوذپذیری پایین خود، با تأخیر تحت تأثیر این اتفاقات قرار می‌گیرد ولی ماسه که نفوذپذیری بالایی دارد سریعاً متأثر می‌شود.

در خاک رس اشباع بلافاصله بعد از بارگذاری، باربرداری یا تغییر سطح آب، تنش مؤثر تغییر نکرده و ثابت می‌ماند ولی در دراز مدت و پس از گذشت مدت مدیدی از این اتفاقات، تنش مؤثر تغییر می‌کند. این در حالی است که برای ماسه اصولاً رفتار دراز مدت و کوتاه مدت یکسان بوده و فرقی نمی‌کند.

به عبارت دیگر می‌توان گفت:

$$\left\{ \begin{aligned} \text{خاک رسی} &\left\{ \begin{aligned} \text{کوتاه مدت (بلافاصله پس از تغییر)} &\Rightarrow \Delta\sigma' = 0 \\ \text{بلند مدت (مدت مدید پس از تغییر)} &\Rightarrow \Delta\sigma' \neq 0 \end{aligned} \right. \\ \text{خاک ماسه} &\Rightarrow \text{کوتاه مدت و بلند مدت} \Rightarrow \Delta\sigma' \neq 0 \end{aligned} \right.$$

۸- وقتی خاک تحت بارگذاری قرار می‌گیرد (مثل بنا شدن یک سازه بر روی آن یا احداث خاکریز و غیره)، فشرده می‌شود و اصطلاحاً نشست می‌کند. در محاسبه نشست خاک معمولاً سه نوع نشست مدنظر است:

- ۱- نشست آنی (الاستیک)، ۲- نشست تحکیم اولیه و ۳- تحکیم ثانویه (تراکم ثانویه) که این نشست‌ها در انواع خاک‌ها به شرح صفحه بعد مورد توجه می‌باشند:



الف) خاک‌های دانه‌ای

در خاک‌های دانه‌ای مثل ماسه تنها نشست آبی (الاستیک) رخ می‌دهد.

ب) خاک‌های چسبنده (رسی)

در خاک‌های رسی اشباع (و نزدیک به اشباع)، نشست آبی، تحکیم اولیه و تحکیم ثانویه رخ می‌دهد که در خاک رس اشباع از نشست آبی در برابر نشست تحکیم (اولیه و ثانویه) صرف‌نظر می‌گردد. این در حالی است که در خاک‌های رسی غیراشباع، نشست آبی محاسبه می‌شود و نشست تحکیم نداریم.

۹- محاسبه نشست آبی و نشست تحکیم اولیه به صورت زیر می‌باشد:

الف) نشست آبی (الاستیک)

$$s_e = q \cdot B \left(\frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \right) I_p$$

که در آن q نیروی وارد بر پی تقسیم بر مساحت پی، B عرض پی، μ_s ضریب پواسون خاک، E_s مدول ارتجاعی خاک و I_p ضریب تأثیر پی است.

ب) نشست تحکیم

$$\begin{cases} \Delta H_c = \frac{H_o}{1+e_o} \Delta e, \quad \Delta e = e_o - e_f \\ \Delta H_c = H_o m_v \Delta \sigma' \\ \Delta H_c = \begin{cases} \text{رس عادی تحکیم یافته} \Rightarrow \Delta H_c = \frac{H_o}{1+e_o} c_c \log \left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_o} \right) \\ \text{رس پیش تحکیم یافته} \begin{cases} \sigma'_f \leq \sigma'_c \Rightarrow \Delta H_c = \frac{H_o}{1+e_o} c_s \log \left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_o} \right) \\ \sigma'_f \geq \sigma'_c \Rightarrow \Delta H_c = \frac{H_o}{1+e_o} \left[c_s \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \right) + c_c \log \left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_c} \right) \right] \end{cases} \end{cases} \end{cases}$$

که در روابط بالا:

e_o و e_f به ترتیب نسبت تخلخل خاک در ابتدا و انتهای تحکیم می‌باشند.

σ'_o و σ'_f به ترتیب تنش مؤثر اولیه و نهایی در وسط لایه رسی هستند که تنش مؤثر نهایی (σ'_f) برابر مجموع تنش مؤثر اولیه (σ'_o) و اضافه تنش مؤثر ($\Delta \sigma'$) است. در ضمن σ'_c نیز تنش پیش تحکیمی (بیشترین تنش مؤثری که تاکنون رس تحمل کرده است) در وسط لایه رسی می‌باشد.

H_o ضخامت اولیه نمونه است.

m_v ضریب تغییر حجم خاک رس است.

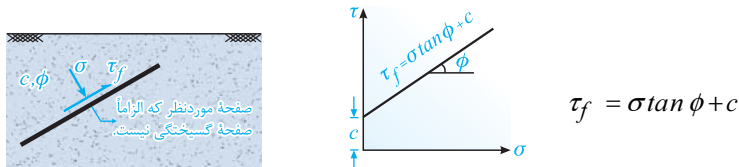
c_s و c_c به ترتیب نشانه فشردگی و نشانه تورم خاک رسی می‌باشند.

لازم به ذکر است که خاک رس پیش تحکیم یافته به خاک رسی گفته می‌شود که بیشترین تنش مؤثر تحمل شده توسط آن (σ'_c) بیشتر از تنش مؤثر موجودش (σ'_o) قبل از بارگذاری باشد. در این حالت نسبت $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ را

نسبت پیش تحکیمی (OCR) می‌گویند.



۱۰- ایمنی هر سازه که بر روی خاک بنا می‌شود، بستگی به مقاومت خاک دارد. منظور ما از مقاومت خاک، مقاومت برشی آن می‌باشد که عبارت است از بیشترین تنش برشی مقاومی که خاک در برابر گسیختگی از خود نشان می‌دهد. توجه کنید که در لحظه گسیختگی، در امتداد یک صفحه در داخل خاک، قسمت بالا و پایین صفحه نسبت به هم حرکت می‌کنند که نتیجه آن بروز تغییر شکل‌های زیاد در خاک است. مقاومت برشی خاک در امتداد هر صفحه‌ای قابل تعیین بوده و می‌توان مقدار آن را با استفاده از رابطه زیر (رابطه مور - کولمب) به دست آورد:



در رابطه بالا τ_f مقاومت برشی خاک است و σ تنش قائم در صفحه مورنظر می‌باشد. c و ϕ نیز پارامترهای مقاومت برشی خاک هستند و به ترتیب چسبندگی (نیروی چسب در واحد سطح) و زاویه اصطکاک داخلی خاک (زاویه اصطکاک در داخل خاک) نامیده می‌شوند.

توجه کنید که اگر خاک اشباع بوده و تنش مؤثر حاکم باشد، در آن صورت رابطه مور - کولمب به صورت زیر در می‌آید:

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi' + c'$$

که در این حالت به c' و ϕ' ، پارامترهای مؤثر مقاومت برشی گفته می‌شود.

۱۱- در مورد پارامترهای مقاومت برشی در انواع خاک‌ها می‌توان گفت:

الف) خاک‌های دانه‌ای

در خاک‌های دانه‌ای مثل ماسه، چسبندگی برابر صفر است ($c = c' = 0$) و مقاومت برشی خاک تنها از طریق عامل اصطکاک تأمین می‌شود.

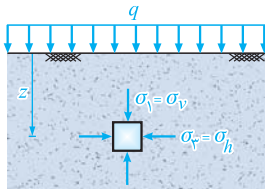
ب) خاک‌های رسی

خاک رسی عادی تحکیم یافته: در خاک رس اشباع که تحت اثر وزن خود به طور عادی تحکیم یافته است، چسبندگی برابر صفر بوده ($c' = 0$) و مانند خاک‌های دانه‌ای، مقاومت برشی خاک تنها از طریق اصطکاک تأمین می‌شود.

خاک رس چسبنده: در خاک رس چسبنده مثل رس غیر اشباع یا رس اشباع پیش تحکیم یافته، اصطکاک و چسبندگی هر دو در تأمین مقاومت برشی خاک مشارکت دارند. ($c, \phi \neq 0$)

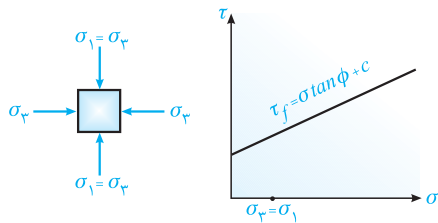
خاک رس صرفاً چسبنده: اگر خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده بارگذاری و گسیخته شود، در آن صورت زاویه اصطکاک داخلی آن برابر صفر شده ($\phi = 0$) و چسبندگی خاک برابر مقاومت برشی آن خواهد شد. به خاک رس اشباع در این شرایط، خاک رس صرفاً چسبنده می‌گویند.

۱۲- اگر مطابق شکل یک المان را در عمق z از داخل خاک در نظر بگیریم، در آن صورت وضعیت تنش‌های وارد بر آن به صورت مقابل خواهد بود.

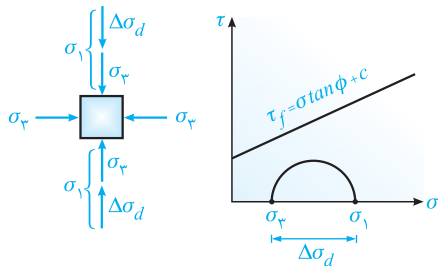


حال سعی می‌کنیم شرایط طبیعی این المان را از ابتدای بارگذاری تا لحظه گسیختگی با یک نمونه در آزمایشگاه مدل‌سازی کنیم. در این حالت بایستی وضعیت نمونه در آزمایشگاه تا حد امکان با وضعیت المان در خاک مشابه باشد. برای این منظور مراحل زیر انجام می‌شود:

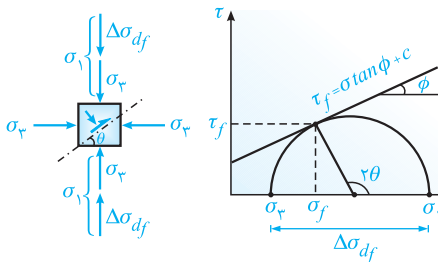
مرحله اول: نمونه در آزمایشگاه تحت فشار همه جانبه σ_p قرار می‌گیرد. فشار جانبی خاک در طبیعت است که به علت عدم حرکت المان، برابر فشار سکون می‌باشد.



مرحله دوم: در این مرحله تنش افقی σ_p را ثابت نگاه داشته و با اعمال تنش قائم $\Delta\sigma_d$ ، قطر دایره مور را افزایش می‌دهیم. به تنش قائم $\Delta\sigma_d$ ، تنش انحرافی گفته می‌شود.



مرحله سوم: با افزایش بیش از پیش تنش انحرافی $\Delta\sigma_d$ ، سرانجام به ازای $\Delta\sigma_{df}$ خاک گسیخته می‌شود. این حالت بیانگر وضعیتی است که دایره مور بر خط گسیختگی مور کولمب مماس شده و یک نقطه روی آن (یک صفحه روی المان) به وجود آمده که تنش‌های آن، تنش‌های گسیختگی σ_f و τ_f هستند.



۱۳- رابطه بین تنش‌های اصلی در لحظه گسیختگی به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_1 = \sigma_p \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) + 2c \left(\frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \right) \quad \text{یا} \quad \sigma_1 = \sigma_p \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

تنش اصلی حداکثر تنش اصلی حداقل

که می‌توان رابطه فوق را به صورت زیر نیز نوشت:

$$\sigma_p = \sigma_1 \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) - 2c \left(\frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad \text{یا} \quad \sigma_p = \sigma_1 \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

تنش اصلی حداقل تنش اصلی حداکثر

همچنین زاویه صفحه گسیختگی با صفحه تنش اصلی حداکثر، برابر $\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$ است. بنابراین می‌توان رابطه گسیختگی تنش‌های اصلی را به صورت زیر ساده کرد:

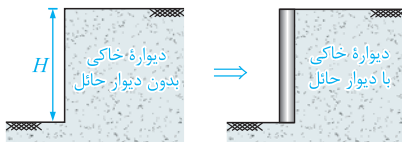
$$\sigma_1 = \sigma_p \tan^2 \theta + 2c \tan \theta$$



فصل اول: فشارهای جانبی خاک و دیوارهای حائل

پیش‌گفتار

در شکل زیر دیوارهٔ خاکی سمت چپ را که در واقع یک شیروانی خاک قائم است، در نظر بگیرید. اگر ارتفاع دیوار از مقدار مشخصی بیشتر باشد، دیگر پایدار باقی نمانده و خاک آن فرو می‌ریزد. برای پایدار نگه داشتن دیوارهٔ خاکی در این حالت، عموماً از دیوارهای حائل استفاده می‌شود.



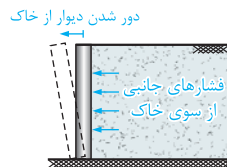
دیوار حائل معمولاً یک سازهٔ بتنی است و طراحی آن به‌گونه‌ای می‌باشد که بتواند فشارهای جانبی وارده از سوی خاک را تحمل کرده و دیوارهٔ خاکی را متعادل نگه دارد.

دیوارهای حائل در سه وضعیت متفاوت، تحت فشارهای جانبی از سوی خاک قرار می‌گیرند:

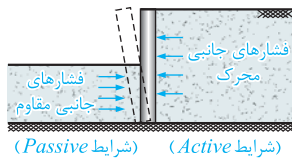
۱) حالت سکون (*at rest*) ۲) حالت محرک (*Active*) ۳) حالت مقاوم (*Passive*)



هرگاه دیوار حائل به نحوی مهار شود که از تغییر مکان افقی یا دوران آن جلوگیری گردد، در آن صورت دیوار در حالت سکون قرار خواهد داشت. در این حالت برای محاسبهٔ فشارهای جانبی (افقی) وارده از سوی خاک، از ضریبی به نام ضریب فشار جانبی سکون (k_0) استفاده می‌شود.



حال اگر تغییر مکان افقی یا دوران دیوار مهار نشود، در آن صورت در اثر فشارهای وارده از سوی خاک، دیوار حائل از خاک پشت خود فاصله گرفته و به این ترتیب حالت محرک (*Active*) رخ می‌دهد. در حالت محرک فشارهای جانبی خاک براساس ضریبی به نام ضریب فشار جانبی محرک (k_a) بدست می‌آیند.



حالت مقاوم نیز زمانی ایجاد می‌شود که یک لایه خاک در سمت چپ دیواره مذکور قرار داشته و در اثر فشارهای جانبی وارده از خاک سمت راست، دیوار به سمت خاک طرف چپ جابه‌جا شود. در چنین شرایطی خاک سمت چپ در موقعیت مقاوم (*Passive*) قرار می‌گیرد. مشابه با دو حالت قبلی، فشارهای جانبی خاک در حالت مقاوم نیز براساس ضریبی به نام ضریب فشار جانبی مقاوم (k_p) بدست می‌آیند.

در این فصل فشارهای جانبی خاک در پشت دیوار حائل را در هر سه حالت گفته شده بررسی می‌نماییم. بر همین اساس مباحث مطرح شده در فصل اول عبارتند از:

بخش (۱): آنالیز تنش‌های وارد بر خاک تحت اثر فشارهای جانبی

بخش (۲): محاسبه فشارهای جانبی وارد بر دیوار حائل

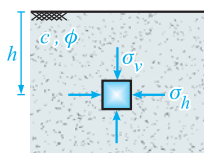
بخش (۳): بررسی پایداری دیوارهای حائل

بخش (۴): نکات تکمیلی فشار جانبی و دیوارهای حائل

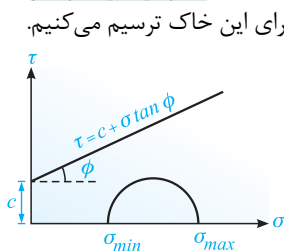
فشارهای جانبی خاک و دیوارهای حائل

بخش (۱): آنالیز تنش‌های وارد بر خاک تحت اثر فشارهای جانبی

۱-۱-۱- مقدمه



المان دو بعدی شکل مقابل که در عمق h از یک لایه خاک همگن انتخاب شده است، تحت تنش‌های قائم σ_v و افقی σ_h قرار دارد. از مکانیک خاک می‌دانیم که تنش قائم، برابر $\sigma_v = \gamma h$ است، همچنین تنش افقی نیز از رابطه $\sigma_h = k \sigma_v$ بدست می‌آید که در آن، k ضریب فشار جانبی خاک نامیده می‌شود.



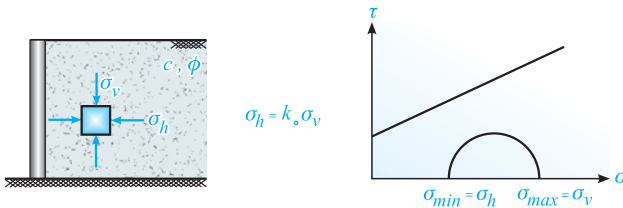
حال خط گسیختگی $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ را با پارامترهای مقاومت برشی (c, ϕ) برای این خاک ترسیم می‌کنیم. براساس مطالب خوانده شده در مکانیک خاک چنانچه دایره موهر مربوط به این المان، بصورت شکل مقابل باشد، در آن صورت هیچگونه گسیختگی در خاک رخ نمی‌دهد. حال اگر دایره موهر (در اثر تغییرات σ_{max} و σ_{min})، آنقدر بزرگ شود، که بر خط $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ مماس گردد، در آن صورت المان موردنظر در آستانه گسیختگی قرار می‌گیرد.

در این بخش می‌خواهیم خاک مجاور دیوارهای حائل را در نظر گرفته و مکانیزم افزایش تنش‌ها را در یک المان خاک، تحت اثر تغییر فشارهای جانبی، بررسی نماییم. قسمت‌های مختلف این بخش عبارتند از:

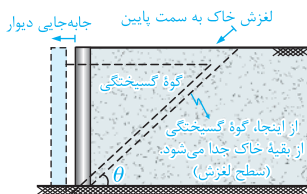
- آنالیز خاک در حالت سکون
 - آنالیز خاک در حالت محرک
 - آنالیز خاک در حالت مقاوم
- آنالیز تنش‌های وارد بر خاک تحت اثر فشارهای جانبی
- جابه‌جایی افقی دیوارهای حائل برای ایجاد حالت‌های محرک و مقاوم

۱-۱-۲- آنالیز خاک در حالت سکون

دیوار حائل شکل زیر را در نظر بگیرید که در حالت سکون (*at rest*) می‌باشد. چون فاصله تنش‌های افقی و قائم در خاک پشت دیوار کم است، بنابراین دایره موهر مربوط به المان خاک کوچک بوده و به خط گسیختگی موهر - کولمب نخواهد رسید، لذا خاک گسیخته نشده و هیچ لغزشی در آن رخ نمی‌دهد.



۱-۱-۳- آنالیز خاک در حالت محرک

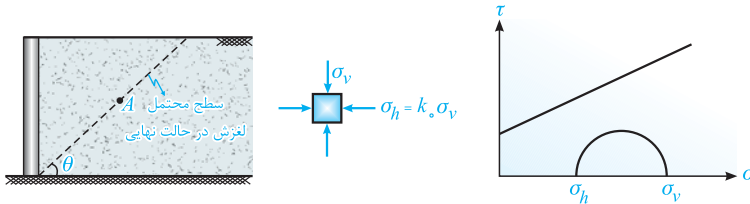


همانطور که قبلاً گفته شد، چنانچه دیوار از خاک پشت خود فاصله بگیرد، حالت محرک ایجاد می‌شود. در این شرایط، در وضعیت نهایی (در آستانه گسیختگی خاک) یک گوه گسیختگی مطابق شکل روبرو تشکیل می‌گردد که می‌خواهد در اثر جابه‌جایی افقی دیوار، به سمت پایین بلغزد. سطح لغزش در این گوه، با راستای افق زاویه θ را تشکیل می‌دهد که این زاویه در واقع همان راستای گسیختگی المان‌های خاک می‌باشد.

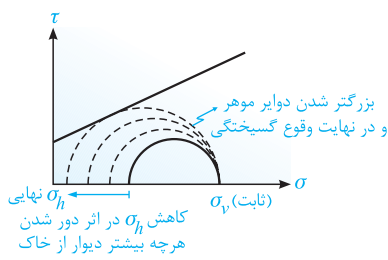


حال اگر المانی را در سطح لغزش در نظر بگیریم، در آن صورت تنش های افقی و قائم روی این المان در دو حالت ابتدایی (سکون) و نهایی (محرک) به شکل زیر خواهند بود:

(۱) **حالت سکون (قبل از شروع لغزش دیوار):** در این حالت، دایره موهر با خط گسیختگی $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ برخورد نداشته و در نتیجه خاک گسیخته نمی شود.



(۲) **لغزش دیوار و ادامه آن تا آستانه گسیختگی خاک (حالت محرک):** در این حالت با دور شدن دیوار از خاک، σ_v ثابت مانده و فشار افقی σ_h کاهش می یابد. واضح است که هر چه دیوار بیشتر جابه جا شود، فشار جانبی σ_h بیشتر کاهش می یابد. بنابراین تنش های حداقل در دایره موهر (تنش جانبی σ_h) بصورت نشان داده

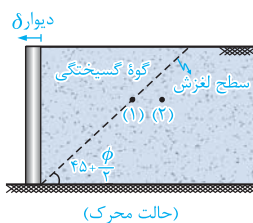


شده در شکل تغییر می کنند تا جایی که در نهایت σ_h آنقدر کوچک شود که دایره موهر بدست آمده بر خط گسیختگی مماس می گردد. در این شرایط که همان حالت نهایی است، خاک پشت دیوار در آستانه گسیختگی قرار گرفته و گوهر گسیختگی آماده لغزش می شود. حال اگر دایره موهر مربوط به حالت نهایی را در نظر بگیریم، می توان زاویه θ (امتداد سطح گسیختگی با راستای افق) را در حالت محرک بصورت زیر بدست آورد.

$$\Delta ABC \text{ در مثلث } : \phi + \pi - 2\theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\Rightarrow \theta_{\text{حالت محرک}} = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad (1-1)$$

بنابراین در حالت محرک، زاویه سطح گسیختگی (سطح لغزش) نسبت به افق، برابر $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$ می باشد.



نکته: در مورد نقاط مشخص شده روی شکل می توان گفت:

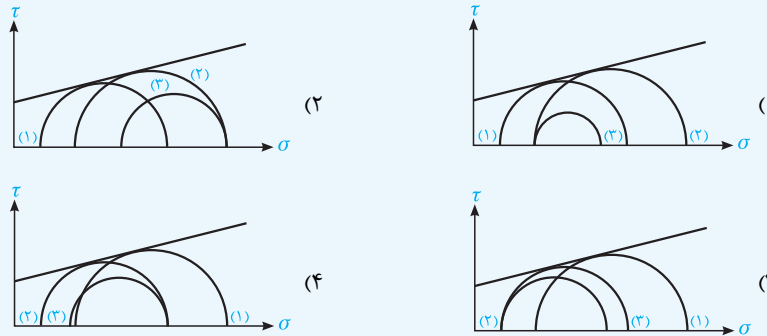
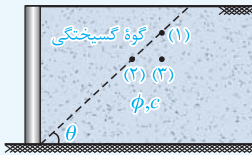
الف) نقطه (۱) در آستانه گسیختگی قرار دارد.

ب) در نقطه (۲) خاک گسیخته نخواهد شد.

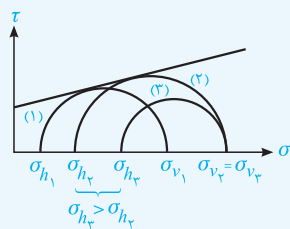
توجه کنید که نقطه (۲) چون در داخل گوهر گسیختگی نیست، بنابراین از جابه جایی افقی دیوار و در نتیجه کاهش تنش افقی، تأثیر کمتری گرفته است. از

این رو دایره موهر آن بر خط گسیختگی مماس نخواهد شد.

تمرین ۱: با توجه به دیوار حائل شکل مقابل، تعیین کنید کدام گزینه دایره موهر مربوط به نقاط (۱)، (۲) و (۳) را به درستی نشان می‌دهد؟ (دیوار حائل در حالت محرک قرار دارد.)



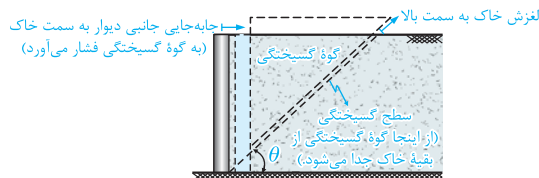
پاسخ: نقاط (۱) و (۲) روی سطح گسیختگی قرار دارند، بنابراین باید دایره موهر آنها بر خط گسیختگی مماس باشد که در تمامی گزینه‌ها این‌طور است. همچنین نقطه (۲) در عمق بیشتری نسبت به نقطه (۱) قرار دارد، لذا تنش‌های قائم و افقی آن بیشتر بوده و دایره موهر بزرگتری خواهد داشت، پس دو گزینه (۳) و (۴) حذف می‌شوند. در این گزینه‌ها دایره موهر (۲) کوچکتر از دایره موهر (۱) رسم شده است!



در ادامه می‌توان گفت نقطه (۳) در عمقی مشابه عمق نقطه (۲) قرار دارد، لذا تنش‌های قائم هر دو نقطه با هم برابر است ($\sigma_v = \gamma h$). از طرفی نقطه (۳) خارج از گوه گسیختگی بوده و از جابه‌جایی دیوار تأثیر کمتری می‌گیرد، پس تنش افقی در نقطه (۳) بیشتر از تنش افقی در نقطه (۲) خواهد بود. بنابراین دایره موهر (۲) رسم شده در گزینه (۲) صحیح می‌باشند.

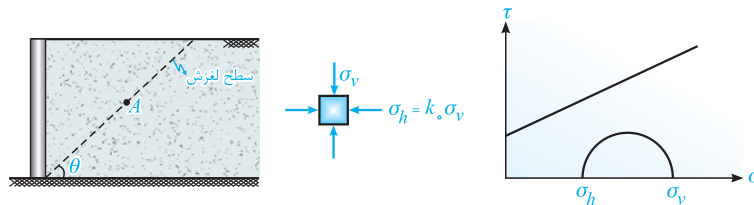
۱-۱-۴- آنالیز خاک در حالت مقاوم

هنگامی که دیوار به خاک پشت خود نزدیک شده و یک فشار مضاعف به آن وارد نماید، در حالت نهایی، یک گوه از خاک جدا شده و به سمت بالا می‌لغزد. امتداد سطح گسیختگی گوه با راستای افق را با θ نمایش داده و در ادامه مقدار آن را می‌یابیم:

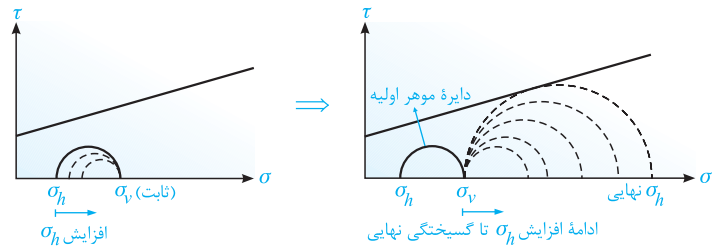




(۱) **حالت سکون (قبل از شروع لغزش دیوار):** ابتدا المانی از خاک را قبل از شروع جابه‌جایی دیوار (یعنی در حالت سکون) مطابق شکل در نظر می‌گیریم. در این حالت هیچ گسیختگی‌ای رخ نداده و لذا دایرهٔ موهر به خط گسیختگی $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ نخواهد رسید.



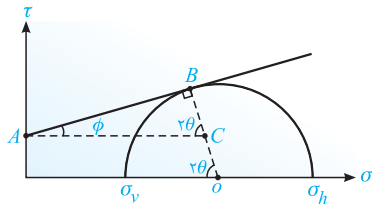
(۲) **لغزش دیوار و ادامهٔ آن تا گسیختگی خاک (حالت مقاوم):** با شروع لغزش دیوار به سمت خاک، ضمن ثابت باقی ماندن تنش قائم σ_v ، تنش افقی σ_h افزایش می‌یابد تا جایی که $\sigma_h \geq \sigma_v$ می‌گردد. این افزایش تنش افقی باز هم ادامه یافته تا سرانجام دایرهٔ موهر مربوط به المان، آنقدر بزرگ می‌شود که ضمن عبور از σ_v ، نهایت بر خط گسیختگی نیز مماس می‌گردد. در این حالت خاک پشت دیوار گسیخته خواهد شد.



ابتدا با افزایش σ_h ، دایرهٔ موهر کوچکتر می‌شود.

پس از مدتی $\sigma_h > \sigma_v$ می‌شود و در نهایت با بزرگ شدن دایرهٔ موهر، شرایط گسیختگی المان فراهم می‌گردد.

در حالت مقاوم نیز می‌توان با در نظر گرفتن دایرهٔ موهر مربوط به حالت نهایی (لحظهٔ گسیختگی) زاویهٔ θ گسیختگی با راستای افق را بدست آورد.



$$\Delta ABC \text{ در مثلث } : 2\theta + \phi = \frac{\pi}{2}$$

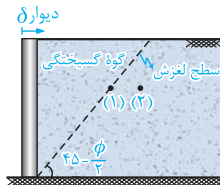
$$\Rightarrow \theta_{\text{حالت مقاوم}} = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} = 45^\circ - \frac{\phi}{2} \quad (۷-۱)$$

بنابراین در حالت مقاوم، زاویهٔ سطح گسیختگی (سطح لغزش) نسبت به افق، برابر $\theta = 45 - \frac{\phi}{2}$ می‌باشد.

لازم به ذکر است که در این حالت نیز در مورد نقاط (۱) و (۲) که روی شکل مشخص شده‌اند می‌توان گفت:

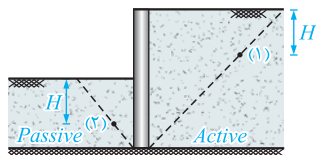
الف) نقطهٔ (۱) در آستانهٔ گسیختگی قرار دارد.

ب) در نقطهٔ (۲) خاک گسیخته نخواهد شد.

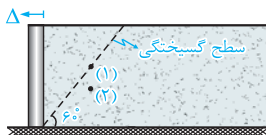
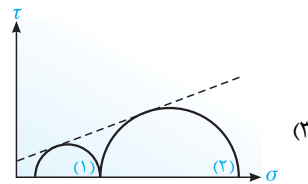
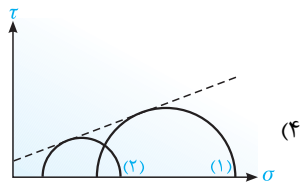
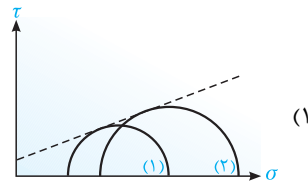
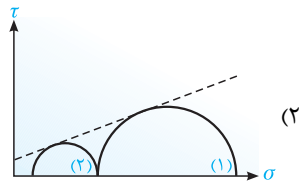


تست های فصل اول

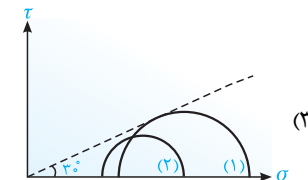
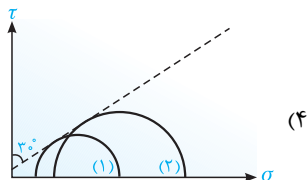
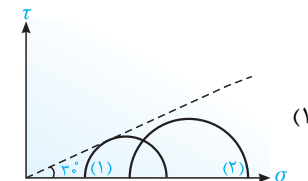
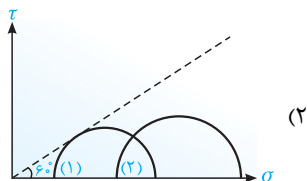
سوالات تالیفی



۱- در دیوار حائل شکل مقابل، تحت جابجایی افقی ایجاد شده در دیوار، سطوح گسیختگی بصورت نشان داده شده، تشکیل می شوند. کدام گزینه دواپر موهر مربوط به المان های خاک در نقاط (۱) و (۲) را به درستی نشان می دهد؟ خاک هر دو سمت یکسان می باشد. (ϕ و c ثابت)



۲- در دیوار حائل شکل مقابل که برای نگهداری یک لایه خاک دانه ای ($c = 0$) استفاده شده است، در اثر جابجایی دیوار به سمت چپ، گوه لغزش تحت زاویه 60° نسبت به افق مطابق شکل تشکیل شده است. کدام گزینه دواپر موهر صحیحی را برای نقاط (۱) و (۲) مشخص شده در پشت دیوار، ارائه می کند؟





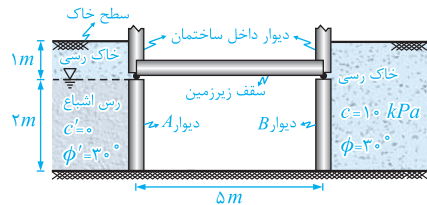
۳- در صورتی که ضریب فشار جانبی در یک لایه خاک دانه‌ای و در وضعیت سکون k باشد، ضریب فشار جانبی خاک در حالت محرک کدام گزینه است؟ (زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر ϕ می‌باشد.)

$$\frac{k_0}{1 + \sin \phi} \quad (۱) \quad k_0 \sin \phi \quad (۲) \quad \frac{k_0}{1 + \tan \phi} \quad (۳) \quad k_0 \tan \phi \quad (۴)$$

۴- یک دیوار حائل طره‌ای به ارتفاع ۸ متر، نگاهی یک خاکریز دانه‌ای با تراکم نسبی ۴۵٪ می‌باشد. تغییرمکان لازم دیوار جهت رسیدن به حالت محرک چقدر است؟

$$۱۶ \text{ تا } ۳۲ \text{ میلی‌متر} \quad (۲) \quad ۳۲ \text{ تا } ۶۴ \text{ میلی‌متر} \quad (۳) \quad ۱۶ \text{ تا } ۳۲ \text{ سانتی‌متر} \quad (۴) \quad ۳۲ \text{ تا } ۶۴ \text{ سانتی‌متر}$$

۵- دیواره‌های حائل A و B در یک زیرزمین با سقف صلب، طراحی شده‌اند. با توجه به اطلاعات داده شده برای خاک، نیروی جانبی وارد بر واحد طول دیوارها را بیابید. ($\gamma_{sat} = ۲۰ \text{ kN/m}^3$ و $\gamma_d = ۱۶ \text{ kN/m}^3$)

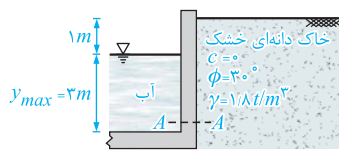


$$F_B = ۳۲ \text{ kN/m}, F_A = ۴۶ \text{ kN/m} \quad (۱)$$

$$F_B = ۱۶ \text{ kN/m}, F_A = ۴۰ \text{ kN/m} \quad (۲)$$

$$F_B = ۱۶ \text{ kN/m}, F_A = ۴۶ \text{ kN/m} \quad (۳)$$

$$F_B = ۳۲ \text{ kN/m}, F_A = ۴۰ \text{ kN/m} \quad (۴)$$



$$۹/۶ \quad (۴)$$

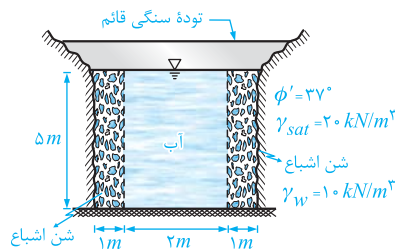
۶- یک کالورت مطابق شکل برای انتقال آب از مخزنی به پایین دست در نظر گرفته شده است. اگر عمق آب در کالورت، در بیشترین حالت ۳m باشد، حداکثر لنگر طراحی در مقطع $A-A$ در پایین جداره کالورت چند ton.m/m خواهد بود؟

$$۵/۱ \quad (۳)$$

$$۴/۵ \quad (۲)$$

$$۱/۶ \quad (۱)$$

۷- یک توده سنگی قائم مطابق شکل، در قسمتی از پایین یک دره، مقداری آب و شن را در پشت خود نگهداشته است. کل نیروی افقی وارد بر این توده سنگ را بیابید. دیوار بین جداره‌های دره کاملاً گیر کرده است. (در شکل، توده سنگی به همراه شن اشباع و آب جمع شده در پشت آن، از نمای مقابل نشان داده شده‌اند.)



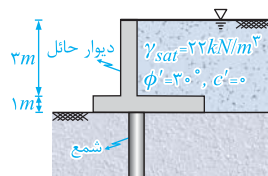
$$۶۰۰ \quad (۲)$$

$$۳۵۰ \quad (۱)$$

$$۴۵۰ \quad (۴)$$

$$۷۰۰ \quad (۳)$$

۸- به منظور جلوگیری از جابه‌جایی و نیز نشست بیش از حد دیوار حائل شکل زیر، از شمع‌هایی با فاصله ۴m در طول دیوار استفاده شده است. در این صورت نیروی برشی ایجاد شده در رأس شمع‌ها (محل اتصال شمع‌ها به کف دیوار) چند kN خواهد بود؟ از اصطکاک بین کف زمین و کف دیوار صرف‌نظر کنید. ($\gamma_w = ۱۰ \text{ kN/m}^3$)



$$۱۲۸ \quad (۱)$$

$$۲۸۸ \quad (۲)$$

$$۵۱۲ \quad (۳)$$

$$۳۵۲ \quad (۴)$$

پاسخ تست‌های فصل اول

-۱ (۳)

تنش قائم در هر دو نقطه با هم برابر است ($\sigma_{v_1} = \sigma_{v_2} = \gamma H$). در نقطه (۱) که در وضعیت محرک است، تنش افقی کمتر از تنش قائم بوده و در نقطه (۲) نیز که در وضعیت مقاوم قرار دارد، تنش افقی بیشتر از تنش قائم خواهد بود. بنابراین دوایر رسم شده در گزینه (۳) با شرایط موجود مطابقت دارند.

-۲ (۱)

دایره مور مربوط به المان (۱) باید بر پوش گسیختگی مماس شود ولی دایره مور (۲) به پوش گسیختگی نمی‌رسد، چرا که خاک در نقطه (۲) گسیخته نشده است.

از طرفی زاویه گسیختگی با راستای افق در حالت محرک $\theta = 60^\circ$ داده شده است. با توجه به رابطه

$$60 = 45 + \frac{\phi}{2} \Rightarrow \phi = 30^\circ \text{ (شیب خط گسیختگی)}$$

همچنین تنش قائم (تنش بزرگتر در دایره مور) در نقطه (۲) باید از تنش قائم در نقطه (۱) بیشتر باشد، یعنی:

$$h_2 > h_1 \Rightarrow \sigma_{v_2} > \sigma_{v_1}$$

با توجه به توضیحات فوق واضح است که گزینه (۱) پاسخ صحیح است.

-۳ (۱)

$$\begin{cases} k_o = 1 - \sin \phi \\ k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \end{cases} \Rightarrow k_a = \frac{k_o}{1 + \sin \phi}$$

در خاک دانه‌ای داریم:

-۴ (۲)

می‌دانیم برای خاک دانه‌ای شل ($D_r = 45\%$)، جابجایی لازم برای ایجاد شرایط فعال عبارت است از:

$$\delta = 0.1002H \sim 0.1004H \xrightarrow{H=8m=8000mm} \begin{cases} \delta_{min} = 0.1002 \times 8000 = 16 \text{ mm} \\ \delta_{max} = 0.1004 \times 8000 = 32 \text{ mm} \end{cases}$$

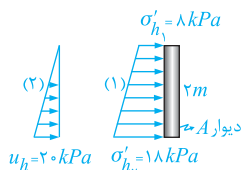
-۵ (۱)

دیوارهای A و B به‌علت اتصال به سقف زیرزمین، در حالت سکون قرار داشته و ضریب فشار جانبی آنها با هم برابر است:

$$k_{oA} = k_{oB} = k_o = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 30^\circ = 0.5$$

با در نظر گرفتن نمودارهای توزیع فشار روی هر دیوار، نیروی جانبی وارد بر هر یک را می‌یابیم:

- دیوار A:

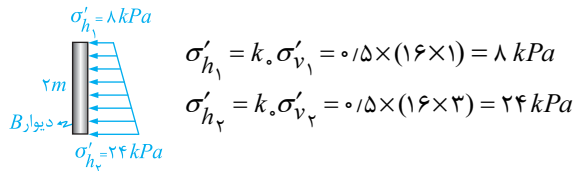


$$\begin{aligned} \sigma'_{h_1} &= k_o \sigma'_{v_1} = 0.5 \times (1 \times 16) = 8 \text{ kPa} \\ \sigma'_{h_2} &= k_o \sigma'_{v_2} = 0.5 \times [1 \times 16 + 2 \times (20 - 10)] = 18 \text{ kPa} \\ u_h &= \gamma_w h = 10 \times 2 = 20 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$F_{hA} = F_{h_1} + F_{h_2} = \frac{1}{2} \times (8 + 18) \times 2 \times 1 + \frac{1}{2} \times 20 \times 2 \times 1 = 46 \text{ kN/m}$$

طول دیوار

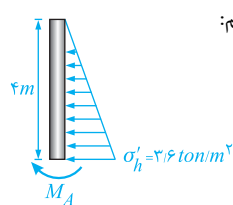
- دیوار B:



$$F_{h_B} = \frac{1}{2} (\lambda + 24) \times 2 \times 1 = 32 \text{ kN/m}$$

-۶ (۴)

در حالتی که کانال خالی است، نیروهای جانبی فقط از جانب خاک به دیوار اثر می‌کنند. در حالیکه وقتی کانال پر از آب می‌شود، نیروی هیدرواستاتیک ناشی از فشار آب از میزان فشار جانبی مذکور می‌کاهد، بنابراین حالت بحرانی مربوط به زمانی است که کانال خالی است. می‌دانیم فشار جانبی وارد بر دیواره کالورت، به صورت فشار سکون در نظر گرفته می‌شود، از این رو می‌نویسیم:



سپس در ادامه توزیع فشار وارد بر جداره را بصورت زیر در نظر گرفته و M_A را می‌یابیم:

$$\sigma'_h = k \cdot \sigma'_v = 0.15 \times (4 \times 1.8) = 3.6 \text{ ton/m}^2$$

$$M_A = \left[\frac{1}{2} \times 3.6 \times 4 \times 1 \right] \times \left(\frac{4}{3} \right) = 9.6 \text{ ton.m/m}$$

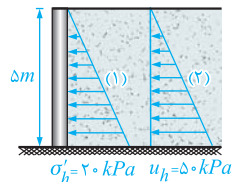
واحد طول کالورت

-۷ (۲)

با توجه به توضیحات داده شده در صورت سؤال، واضح است که دیوار کاملاً در حالت سکون قرار دارد. بنابراین می‌نویسیم:

$$k_o = 1 - \sin \phi' = 1 - \sin 37^\circ = 0.4$$

نیروهای جانبی وارد بر توده سنگی به شکل مقابل می‌باشند:



$$\sigma'_h = k_o \cdot \sigma'_v = 0.4 \times [5 \times (20 - 10)] = 20 \text{ kPa}$$

$$u_h = \gamma_w h = 10 \times 5 = 50 \text{ kPa}$$

بنابراین کل نیروهای وارد بر دیوار عبارتند از:

$$F_{h_{\text{کل}}} = F_{h_1} + F_{h_2} = \frac{1}{2} \times 20 \times 5 \times 2 + \frac{1}{2} \times 50 \times 5 \times 4 = 100 + 500 = 600 \text{ kN}$$

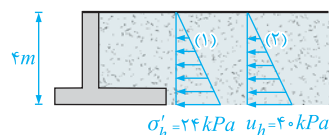
عرض خاک‌های شنی عرض مربوط به آب

-۸ (۳)

با توجه به آنکه شمع قرار است جلوی جابه‌جایی جانبی دیوار را بگیرد، لذا می‌توان دیوار را در حالت سکون در نظر گرفته و بنویسیم:

$$k_o = 1 - \sin \phi = 1 - 0.15 = 0.15$$

در این حالت توزیع فشارهای وارد بر دیوار به شکل مقابل است:



$$\sigma'_h = k_o \cdot \sigma'_v = 0.15 \times [4 \times (22 - 10)] = 24 \text{ kN/m}^2$$

$$u_h = \gamma_w h = 10 \times 4 = 40 \text{ kN/m}^2$$

در نهایت کل نیروی جانبی وارد بر دیوار که توسط مقاومت برشی شمع تحمل می‌شود، برابر خواهد بود با:

$$V_{\text{شمع}} = F_h = F_{h_1} + F_{h_2} = \frac{1}{2} \times 4 \times 24 \times 4 + \frac{1}{2} \times 4 \times 40 \times 4 = 512 \text{ kN}$$

فاصله شمع‌ها



۹- (۲)

تنش جانبی کل برابر است با:
 از طرفی می‌دانیم در آزمایش تحکیم، شرایط سکون (*at rest*) حاکم بوده و $\sigma'_h = k \cdot \sigma'_v$ می‌باشد. پس از گذشت ۵۰ درصد از آزمایش تحکیم، مقادیر تنش مؤثر و فشار آب حفره‌ای نمونه عبارتند از:

$$u = \Delta u = \frac{\Delta \sigma}{1.05} \times \Delta \sigma = 0.15 P \quad \sigma'_v = \Delta \sigma' = \left(1 - \frac{\Delta \sigma}{1.05}\right) \times \Delta \sigma = 0.15 P$$

از طرف مقدار k برای رس عادی تحکیم یافته برابر است با: $k = 1 - \sin \phi' = 1 - \sin 37^\circ = 1 - 0.6 = 0.4$
 بنابراین تنش جانبی کل نمونه ($\sigma_{h \text{ کل}}$) در نقطه مورد نظر به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_{h \text{ کل}} = \sigma'_h + u = k \cdot \sigma'_v + u = 0.4 \times 0.15 P + 0.15 P = 0.17 P$$

۱۰- (۳)

مشابه سؤال قبل، شرایط فشار جانبی سکون حاکم بوده و همچنین تنش افقی کل در هر نقطه برابر است با:

$$\begin{cases} \sigma_{h \text{ کل}} = \sigma'_h + u \\ \sigma'_h = k \cdot \sigma'_v \end{cases} \Rightarrow \sigma_{h \text{ کل}} = 1 \times \sigma'_v + u = \sigma_v = \sigma'_v + u$$

$$k = (1 - \sin \phi') \cdot \sqrt{OCR} = (1 - \sin 30^\circ) \times \sqrt{4} = 1$$

مقدار $\sigma'_v + u$ در طول آزمایش همواره ثابت و برابر $\sigma_v = 2 \text{ kg/cm}^2$ است، لذا تنش کل جانبی در طول آزمایش 2 kg/cm^2 و ثابت است.

۱۱- (۴)

$$\begin{cases} \sigma'_{hA} = k \cdot \sigma'_{vA} \\ \sigma'_{vA} = 5 \times 18 + 2 \times (20 - 10) = 110 \end{cases} \Rightarrow \sigma'_{hA} = 0.3 \times 110 = 33 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{h \text{ کل}} = \sigma'_{hA} + u_A = 33 + 2 \times 10 = 53 \text{ kPa}$$

۱۲- (۱)

در نقطه A، تنش کل افقی برابر است با:

$$\begin{cases} \sigma_{h \text{ کل}A} = \sigma_{aA} + u_A = k_{a1} \sigma'_{vA} - 2c_1 \sqrt{k_{a1}} + u_A = k_{a1} \sigma'_{vA} \\ k_{a1} = \frac{1 - \sin \phi_1}{1 + \sin \phi_1} = \frac{1 - \frac{1}{2}}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{1}{3} \end{cases} \Rightarrow \sigma_{h \text{ کل}A} = \frac{1}{3} \times (16 \times 3) = 16 \text{ kPa}$$

در نقطه B نیز تنش کل افقی برابر خواهد بود با:

$$\begin{cases} \sigma_{h \text{ کل}B} = \sigma_{aB} + u_B = k_{a2} \sigma'_{vB} - 2c_2 \sqrt{k_{a2}} + u_B = k_{a2} \sigma'_{vB} - 2c_2 \sqrt{k_{a2}} \\ k_{a2} = \frac{1 - \sin \phi'_2}{1 + \sin \phi'_2} = \frac{1 - 0}{1 + 0} = 1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma_{h \text{ کل}B} = 1 \times (16 \times 3) - 2 \times 10 \times \sqrt{1} = 48 - 20 = 28 \text{ kPa}$$

و در نهایت نسبت خواسته شده برابر است با:

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{h \text{ کل}A}}{\sigma_{h \text{ کل}B}} = \frac{16}{28} = \frac{4}{7}$$