
بسم الله الرحمن الرحيم

شرح جامع و نمونه سوالات

پی سازی

«مهندسی عمران»

مولف: شهاب ملکی نجف‌آبادی

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مولف

خداوند بزرگ را سپاس که توانستیم پس از ۱ سال تلاش بی وقفه، سرانجام مجموعه‌ای کامل و جامع در بحث پی سازی را به دانشجویان و داوطلبان گرامی، تقدیم کنیم. اصول مهندسی پی یکی از دروس اصلی و پایه در بخش طراحی انواع سازه‌ها می‌باشد که در این کتاب، سعی شده به طور مفصل به آن پراخته شود.

مجموعه حاضر از ۵ فصل مختلف تشکیل شده که هر یک از آن‌ها شامل موارد زیر است:

- مقدمه‌ای در مورد آن چه که در طول فصل دربارهٔ آن بحث خواهد شد.
- قسمت شرح جامع که در آن به طور کامل و مفصل با ذکر نکات و مثال‌های ضمن درس، به مباحث مربوط به هر فصل پرداخته شده است.
- خلاصه هر فصل در ۱ یا ۲ صفحه در پایان آن آورده شده تا با مرور آن‌ها، نکات کلیدی و مهم در اختیار داوطلبان عزیز قرار بگیرد.
- در انتهای هر یک از فصل‌ها، ۳۰- ۲۰ تست که شامل تست‌های تألیفی و تست‌های کنکور سراسری و آزاد می‌باشد، با پاسخ‌های کاملاً تشریحی برای تفهیم بهتر مطالب، آورده شده است.

اهل قلم به خوبی می‌دانند که انتشار یک اثر مستلزم همکاری افراد بسیاری با مؤلف است. بدین سبب مقتضی می‌دانم در این جا از خانواده عزیزم، همکاران گرامی در انتشارات ارشد و کلیهٔ کسانی که به طور مستقیم و غیر مستقیم در تألیف این مجموعه مرا یاری کردند، صمیمانه تشکر کنم. امیدوارم مطالب ارائه شده در این اثر، مورد استفاده دانشجویان و داوطلبان عزیز قرار بگیرد.

«هرچه را که دوست داری به دست آور، وگرنه مجبور می‌شوی هرچه را که به دست می‌آوری، دوست داشته باشی.»

ویلیام شکسپیر

موفق باشید

شهاب ملکی نجف آبادی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مولف ۴

فصل اول: مفاهیم رانش در خاک

۱-۱- مقدمه ۱۱
۱-۲- حالات مختلف فشار جانبی در خاک ۱۱
۱-۳- محاسبهٔ فشار خاک در حالت سکون ۱۱
۱-۴- محاسبهٔ ضریب رانش خاک در حالت سکون (k_0 و $\delta = 0$ کرنش افقی) ۱۳
۱-۵- مفاهیم رانش‌های محرک و مقاوم ۱۶
۱-۵-۱- فشار محرک ۱۶
۱-۵-۲- فشار مقاوم ۱۶
۱-۶- محاسبهٔ ضرایب رانش خاک در حالت‌های محرک و مقاوم ۱۸
۱-۷- فرضیات رانش رانکین ۱۸
۱-۷-۱- رانش محرک رانکین در خاک با سطح افقی ۱۸
۱-۷-۲- دیاگرام‌های توزیع فشار محرک رانکین در خاکریز های افقی ۱۹
۱-۷-۳- رانش محرک رانکین در خاکریز با سطح شیبدار ۲۱
۱-۷-۴- رانش مقاوم رانکین در خاک با سطح افقی ۲۲
۱-۷-۵- دیاگرام‌های توزیع فشار مقاوم رانکین در خاکریزهای افقی ۲۲
۱-۷-۶- رانش مقاوم رانکین در خاکریز با سطح شیبدار ۲۴
۱-۸- نحوهٔ محاسبهٔ نیروی جانبی وارد بر دیوار ۲۶
۱-۹- فرضیات رانش کولمب ۲۷
۱-۹-۱- رانش محرک کولمب ۲۷
۱-۹-۲- رانش مقاوم کولمب ۲۸
۱-۱۰- چگونگی محاسبهٔ عمق ترک خوردگی ۳۱
۱-۱۱- نحوهٔ محاسبهٔ ارتفاع مجاز خاکبرداری ۳۲
۱-۱۲- تأثیر زلزله بر فشار جانبی ۳۲

عنوان **صفحه**

فصل دوم: شناسایی‌های ژئوتکنیک و آزمایش‌های صحرایی

۲-۱- مقدمه ۴۷
۲-۲- برنامهٔ مطالعات ژئوتکنیکی ۴۷
۲-۳- روش‌های نمونه گیری ۴۸
۲-۳-۱- نمونهٔ دست خورده ۴۹
۲-۳-۲- نمونهٔ دست نخورده ۴۹
۲-۴- روش‌های حفاری ۴۹
۲-۴-۱- حفاری دستی ۴۹
۲-۴-۲- حفاری ماشینی ۴۹
۲-۴-۲-۱- روش حفاری با مته‌های مارپیچ (حفاری اوگر) ۴۹
۲-۴-۲-۲- حفاری دورانی ۵۰
۲-۴-۲-۳- حفاری ضربه ای ۵۱
۲-۵- انواع نمونه گیرها ۵۲
۲-۵-۱- نمونه گیر جدار نازک (شلبی) ۵۲
۲-۵-۲- نمونه گیر قاشقی (نمونه‌گیر SPT) ۵۲
۲-۶- مزایا و معایب استفاده از آزمایش‌های صحرایی ۵۲
۲-۷- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) ۵۲
۲-۸- آزمایش نفوذ مخروط (CPT) ۵۶
۲-۸-۱- آزمایش نفوذ مخروط دینامیکی ۵۶
۲-۸-۲- آزمایش نفوذ مخروطی استاتیکی ۵۷
۲-۸-۳- آزمایش نفوذ مخروط استاتیکی- دینامیکی ۵۷
۲ـ۹ـ آزمایش برش پره‌ای ۵۸
۲ـ۱۰ـ آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) ۵۹
۲ـ۱۱ـ استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) در محاسبات ظرفیت باربری شالوده‌ها ۶۰
۲ـ۱۲ـ آزمایش فشارسنجی ۶۲
۲ـ۱۳ـ شناسایی‌های ژئوفیزیک ۶۳
۲ـ ۱۳ـ۱ـ روش لرزه نگاری ۶۳
۲ـ ۱۳ـ۲ـ روش ژئوالکتریک ۶۴

فصل سوم: بحث در مورد پی‌های سطحی

۳ـ۱ـ تعریف پی ۷۹
۳ـ۲ـ انواع پی ۷۹
۳ـ۲ـ۱ـ پی سطحی ۷۹

عنوان **صفحه**

۳ـ۲ـ۱ـ۱ـ انواع پی‌های سطحی ۸۰
۳ـ۲ـ۱ـ۱ـ۱ـ پی منفرد ۸۰
۳ـ۲ـ۱ـ۱ـ۲ـ پی نواری ۸۰
۳-۲-۱-۱-۳- پی باسکولی ۸۲
۳ـ۲ـ۱ـ۱ـ۴ـ پی گسترده ۸۲
۳ـ۲ـ۲ـ پی نیمه عمیق ۸۲
۳ـ۲ـ۳ـ پی عمیق (شمع) ۸۳
۳ـ۳ـ شالوده‌های مرکب دو ستونی ۸۳
۳ـ۳ـ۱ـ شالودهٔ مرکب مستطیلی ۸۴
۳ـ۳ـ۲ـ شالودهٔ مرکب ذوزنقه‌ای ۸۶
۳ـ۴ـ مسائل تأثیرگذار در انتخاب کردن نوع پی ۸۸
۳ـ۵ـ طراحی پی سطحی ۸۸
۳ـ۵ـ۱ـ کنترل ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۸۸
۳ـ۵ـ۲ـ کنترل نشست ۸۸
۳ـ۶ـ روابط و نظریه‌های ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۸۹
۳ـ۶ـ۱ـ رابطهٔ ظرفیت باربری ترزاقی ۸۹
۳ـ ۶ـ۲ـ رابطهٔ عمومی ظرفیت باربری (آنالیز مایرهوف) ۹۳
۳ـ۷ـ نکاتی در مورد ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۹۴
۳ـ۸ـ برخی حالات خاص در تعیین ظرفیت باربری پی‌های سطحی به روش ترزاقی ۹۷
۳ـ۸ـ ۱ـ در مورد خاک‌های دانه‌ای ۹۷
۳ـ۸ـ۲ـ در مورد خاک‌های چسبنده ۹۸
۳ـ۸ـ۳ـ در مورد خاک‌های سست ۹۸
۳ـ۸ـ۴ـ در مورد خاک‌های لایه‌ای ۹۸
۳ـ۹ـ تأثیر آب زیرزمینی در محاسبهٔ ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۱۰۰
۳-۱۰- گسیختگی های خاک زیر شالوده سطحی ۱۰۱
۳-۱۰-۱ گسیختگی در اثر برش کلی ۱۰۱
۳-۱۰-۲- گسیختگی در اثر برش موضعی ۱۰۲
۳-۱۰-۳- گسیختگی در اثر برش سوراخ کننده (برش پانچ) ۱۰۲
۳-۱۱- مقایسهٔ نتایج به دست آمده از انواع گسیختگی های خاک زیر شالوده ۱۰۳
۳-۱۲- ظرفیت باربری خالص پی‌های سطحی (Net Bearing Capacity) ۱۰۴
۳-۱۳- ضریب اطمینان و ظرفیت باربری مجاز پی‌های سطحی ۱۰۴
۳-۱۳-۱- اعمال ضریب اطمینان روی ظرفیت باربری نهایی ۱۰۵
۳-۱۳-۲- اعمال ضریب اطمینان روی ظرفیت باربری نهایی خالص ۱۰۵
۳-۱۴- اثر بارهای برون محوری روی ظرفیت باربری شالوده های سطحی ۱۰۸
۳-۱۴-۱- اثر بار با خروج از مرکزیت عرضی ۱۰۹

عنوان **صفحه**

۳-۱۴-۲- اثر بار با خروج از مرکزیت طولی ۱۱۱
۳-۱۵- کنترل نشست در پی‌های سطحی ۱۱۴
۳-۱۵-۱- نشست آنی و الاستیک (S_e) ۱۱۶
۳-۱۵-۲- نشست بلندمدت یا تحکیمی (S_c) ۱۱۸
۳-۱۶- استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه‌ای در محاسبهٔ ظرفیت باربری پی‌ها ۱۲۱
۳-۱۷- مقاطع بحرانی در طراحی پی‌ها ۱۲۲
۳-۱۷-۱- مقطع بحرانی خمش ۱۲۲
۳-۱۷-۲- مقطع بحرانی برش ۱۲۳
۳-۱۷-۳- مقطع بحرانی برش سوراخ کننده (برش پانچ) ۱۲۳
۳-۱۸- نکاتی دربارهٔ پی‌های باسکولی ۱۲۴
۳-۱۹- نکاتی دربارهٔ شناژها ۱۲۵
۳-۲۰- بررسی نیروی افقی وارد بر پی‌های سطحی ۱۲۵

فصل چهارم: مسائل دیوارهای حائل

۴-۱- مقدمه ۱۵۱
۴-۲- دیوارهای حائل وزنی ۱۵۱
۴-۳- دیوار حائل طره ای (بتن آرمه) ۱۵۲
۴-۴- پایداری دیوارهای حایل ۱۵۳
۴-۴-۱- کنترل لغزش دیوار در امتداد کف پایه ۱۵۳
۴-۴-۲- کنترل واژگونی دیوار حول پنجه ۱۵۴
۴-۴-۳- کنترل فشار در خاک زیرپی ۱۵۵

فصل پنجم: پی‌های عمیق (شمع‌ها)

۵-۱- مقدمه ۱۷۱
۵-۲- انواع شمع‌ها از نظر جنس مصالح آن‌ها ۱۷۲
۵-۲-۱- شمع‌های فولادی ۱۷۲
۵-۲-۲- شمع‌های بتنی ۱۷۳
۵-۲-۲-۱- شمع بتنی پیش ساخته ۱۷۳
۵-۲-۲-۲-شمع بتنی در جاریز ۱۷۳
۵-۲-۳- شمع‌های چوبی ۱۷۵
۵-۲-۴- شمع‌های مرکب (مختلط) ۱۷۵
۵-۳- انواع شمع‌ها از نظر ایجاد جا به جایی در خاک مجاور ۱۷۶
۵-۴- طبقه بندی شمع‌ها از نظر مکانیسم انتقال بار به خاک ۱۷۶

عنوان **صفحه**

۵-۴-۱- شمع اتکایی ۱۷۶
۵-۴-۲- شمع اصطکاکی (شمع شناور) ۱۷۷
۵-۴-۳- شمع اتکایی – اصطکاکی ۱۷۸
۵-۵- ظرفیت باربری شمع‌ها و ظرفیت باربری مجاز ۱۷۹
۵-۵-۱- مقاومت انتهایی شمع‌ها (Q_P) ۱۸۰
۵-۵-۱-۱- ظرفیت باربری نوک شمع‌ها با استفاده از نتایج آزمایش‌های SPT و CPT ۱۸۴
۵-۵-۱-۲- ظرفیت باربری خالص نوک شمع ۱۸۴
۵-۵-۲- مقاومت اصطکاکی شمع‌ها (Q_S) ۱۸۵
۵-۵-۲-۱- مقاومت جداری خاک‌های دانه‌ای ۱۸۵
۵-۵-۲-۲- مقاومت اصطکاکی خاک‌های چسبنده ۱۸۶
۵-۵-۲-۲-۱- روش α جهت محاسبه f ۱۸۶
۵-۵-۲-۲-۲- روش βجهت محاسبه f ۱۸۷
۵-۵-۲-۲-۳- روش λ جهت محاسبه f ۱۸۸
۵-۶- محاسبه ظرفیت باربری شمع‌ها از طریق روابط کوبش شمع‌ها ۱۹۰
۵-۷- ظرفیت باربری کششی شمع‌ها ۱۹۱
۵-۸- مقاومت اصطکاکی منفی در جداره شمع‌ها ۱۹۱
۵-۹- کاربرد گروه شمع ۱۹۵
۵-۱۰- ضریب کارآیی گروه شمع ۱۹۵
۵-۱۰-۱- ضریب کارآیی گروه شمع در خاک‌های دانه‌ای ۱۹۶
۵-۱۰-۲- ضریب کارآیی گروه شمع در خاک‌های چسبنده ۱۹۷
۵-۱۰-۳- ضریب کارآیی گروه شمع با کمک قاعده فلد ۱۹۹
۵-۱۱- اجرای گروه شمع و اثر آن برروی خاک ۱۹۹
۵-۱۲- نشست گروه شمع ۲۰۰
۵-۱۲-۱- نشست الاستیک گروه شمع ۲۰۰
۵-۱۲-۲- نشست تحکیمی گروه شمع ۲۰۰
۵-۱۳- انواع شکست و خرابی در گروه شمع ۲۰۲
۵-۱۴- ریز شمع‌ها ۲۰۲
۵-۱۵- توزیع بار بین شمع‌های گروه ۲۰۴
۵-۱۶- نکات تکمیلی درباره شمع‌ها ۲۰۵
سوالات پی‌سازی سراسری سال ۱۳۸۹ ۲۲۵
پاسخنامه پی‌سازی سراسری سال ۱۳۸۹ ۲۳۰
سؤالات مکانیک خاک و پی‌سازی سراسری سال ۱۳۹۰ ۲۳۹
پاسخنامه مکانیک خاک و پی‌سازی سراسری سال ۱۳۹۰ ۲۴۴
سؤالات مکانیک خاک و پی‌سازی سراسری سال ۱۳۹۱ ۲۴۵
پاسخنامه مکانیک خاک و پی‌سازی سراسری سال ۱۳۹۱ ۲۵۰

سؤالات مکانیک خاک و پی‌سازی سراسری سال ۱۳۹۲ ..... ۲۵۱
پاسخنامه مکانیک خاک و پی‌سازی سراسری سال ۱۳۹۲ ..... ۲۵۵
سوالات مکانیک خاک آزاد سال ۱۳۸۹ ..... ۲۶۰
سوالات مکانیک خاک آزاد سال ۱۳۹۰ ..... ۲۶۳
سوالات مکانیک خاک آزاد سال ۱۳۹۱ ..... ۲۶۷

فصل اول

مفاهیم رانش در خاک

عناوین اصلی

- حالات مختلف فشار جانبی در خاک
- مفاهیم رانش‌های محرک و مقاوم
- رانش رانکین
- نحوهٔ محاسبه نیروی جانبی وارد بر دیوار
- رانش کولمب
- نحوهٔ محاسبه عمق ترک خوردگی
- نحوهٔ محاسبه ارتفاع مجاز خاکبرداری

فصل اول

مفاهیم رانش در خاک

۱-۱- مقدمه

مبحث رانش در خاک، با وجود اینکه ممکن است در نگاه اول، بحثی بسیار ساده و کم اهمیت به نظر برسد، ولی درواقع از مهمترین مباحث در رابطه با مهندسی خاک و پی می‌باشد. از این رو، همیشه این مبحث، به طور ویژه مورد نظر طراحان سئوالات کنکورهای آزمایشی و کنکورهای سراسری و آزاد، قرار گرفته است.

کاربرد این بحث، در مورد بخش‌های مربوط به دیوارهای حائل، سپرهای زیر سدها (برای جلوگیری از انتقال آب از زیر سد از بالادست به پایین دست)، محاسبهٔ عمق ترک خوردگی، محاسبهٔ ارتفاع مجاز خاکبرداری و نیز در مورد اغلب سازه های نگهبان (خصوصاً ساز های نگهبان خاکی) می‌باشد.

حال که اهمیت این مبحث، به طور کامل تشریح شد، لازم است که داوطلبان گرامی، با نگاه ویژه و دقت نظر کافی مباحث مربوطه را، پیگیری کرده تا به هدف مورد نظر خود، دست پیدا کنند.

۱-۲- حالات مختلف فشار جانبی در خاک

همواره سربار وارده روی خاک و نیز خاکی که پشت یک دیوار قرار دارد، سبب ایجاد تنش در خاک و به دنبال آن، باعث ایجاد فشار جانبی به دیوار می گردند. بسته به اینکه، این فشار جانبی باعث شود که دیوار به جلو و یا عقب رانده شود و یا اینکه بدون حرکت، سرجای خود باقی بماند، فشارهای جانبی متفاوتی در خاک به وجود خواهد آمد.

با این توصیف، حالات مختلف فشار جانبی در خاک عبارتند از:

فشار در حالت سکون، فشار در حالت محرک و فشار در حالت مقاوم.

در ادامهٔ این فصل، به معرفی هریک از این فشارها و مباحث مرتبط با هرکدام، خواهیم پرداخت.

۱-۳- محاسبهٔ فشار خاک در حالت سکون

اگر فشار جانبی وارده بر دیوار، آنقدر کم باشد که جابجایی جانبی (کرنش) دیوار از حدی مشخص کمتر باشد، اصطلاحاً گفته می‌شود که دیوار در حالت سکون قرار دارد. کرنش افقی خاک در این حالت، به طور معمول صفر فرض می‌شود. (به صورت تئوری برای راحتی کار، صفر در نظر گرفته می‌شود، در حالی که در واقعیت، اصلاً چنین نیست.) در این شرایط، فشار جانبی در عمق خاک، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. $(\gamma \times h)$

📖 **نکته:** همواره فشار جانبی ناشی از سربار در طول عمق خاک، مقداری ثابت است.

همواره فشار جانبی ناشی از خاک پشت دیوار، در طول عمق خاک، به طور خطی افزایش پیدا می‌کند. همواره فشار جانبی ناشی از وجود آب در پشت دیوار، در طول عمق خاک، به طور خطی افزایش پیدا می‌کند.

🕮 نکات

- نکته: در برخی سئوالات کنکور، طراحان با تغییردادن واحد وزن مخصوص آب، سعی می‌کنند تا داوطلبان را سردرگم نمایند، از این رو، در این قسمت، مقادیر γ_w را برحسب واحدهای مختلف آن، بررسی می‌کنیم:

$$\gamma_w = ۶۲/۴\,pcf = ۱۰\,KN/m^۳ = ۱۰۰۰\,kg/m^۳ = ۱\,kg/lit = ۱\,ton/m^۳$$

- نکته: از این به بعد با وزن مخصوص غوطه وری و وزن مخصوص اشباع، به طور گسترده کار خواهیم کرد؛ از این رو، در این بخش، به تشریح رابطهٔ بین این دو پارامتر می‌پردازیم:

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

در رابطهٔ فوق: وزن مخصوص خاک در حالت اشباع : γ_{sat} و وزن مخصوص خاک در حالت غوطه وری: γ'

در حالت سکون، رابطهٔ بین تنش‌های مؤثر جانبی و قائم در یک خاک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma'_h = k_۰\sigma'_v$$

$$\sigma_h - u = k_۰(\sigma_v - u) \Rightarrow \sigma_h = k_۰(\sigma_v - u) + u$$

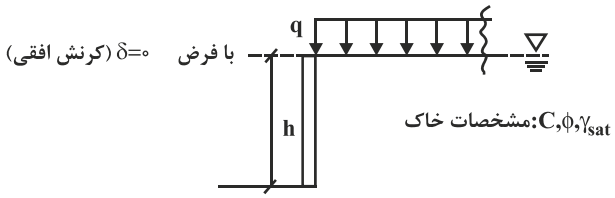
🕮 **نکته:** رابطهٔ ذکر شده بین فشارهای جانبی و قائم، فقط در حالت تنش‌های مؤثر برقرار است، نه در حالت تنش‌های کلی.

$$\sigma' = \sigma - u$$

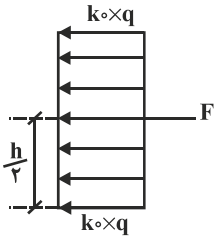
یادآوری: از مکانیک خاک به یاد داریم که فشار آب حفره ای (u) برابر است با:

γ_w×ارتفاع آب در پیزومتر موجود در نقطهٔ مورد نظر

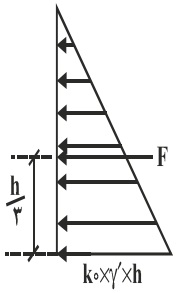
حال به بررسی فشارهای جانبی ناشی از خاک، آب و سربار، در شکل زیر می‌پردازیم:



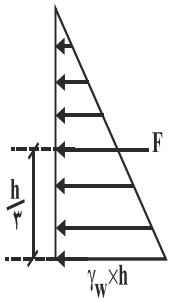
برای فشار جانبی ناشی از سربار روی خاک، با توجه به نکات ذکر شده خواهیم داشت:



برای فشار جانبی ناشی از خاک پشت دیوار، با توجه به نکات گذشته داریم:



در خصوص فشار جانبی ناشی از وجود آب در پشت دیوار نیز، با توجه به نکات گذشته خواهیم داشت:



حال، فشار جانبی کل، برابر مجموع سه مقدار فوق خواهد بود؛ یعنی:

$$\sigma_h = k_. \times q + k_. \times \gamma' \times h + \gamma_w \times h$$

اما این، راه حل مسئله با استفاده از ترسیم دیاگرام فشار جانبی بود. حال قصد داریم این مسئله را با استفاده از رابطهٔ اصلی بین فشارهای جانبی و قائم که قبلاً بیان شده بود، حل کنیم:

$$\sigma'_h = k_. \times \sigma'_v \quad \text{و} \quad \begin{cases} \sigma'_h = \sigma_h - u \\ \sigma'_v = \sigma_v - u \end{cases} \quad \text{و} \quad \begin{cases} \sigma_v = h \times \gamma_{sat} + q \\ u = h \times \gamma_w \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma_h - u = k_. \times (\sigma_v - u) \Rightarrow \sigma_h - h \times \gamma_w = k_. \times (q + h \times \gamma_{sat} - h \times \gamma_w)$$

$$\Rightarrow \sigma_h = k_. \times (q + h \times \gamma') + h \times \gamma_w$$

۱-۴- محاسبهٔ ضریب رانش خاک در حالت سکون ($k_.$ و $\delta = ۰$ کرنش افقی)

به طور کلی، در منابع مختلف روابط متنوعی برای محاسبهٔ $k_.$ پیشنهاد شده است که سعی در به خاطر سپردن همهٔ آنها، باعث گیج شدن داوطلبان گرامی می‌گردد. از این رو، در ایجا سعی می‌شود تا با معرفی روابط کاربردی و اساسی جهت محاسبهٔ $k_.$ ، دورنمای مناسبی در اختیار خوانندگان محترم این مجموعه، قرار گیرد.

۱- در مورد خاک‌های دانه‌ای و نیز خاک رس عادی تحکیم یافته، مقدار ضریب رانش خاک در حالت سکون، از رابطهٔ مقابل محاسبه می‌گردد:

$K_. = ۱ - \sin\phi$ و ϕ: زاویهٔ اصطکاک داخلی

۲- در مورد خاک رس بیش تحکیم یافته، مقدار ضریب رانش خاک در حالت سکون، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$k_. = (۱ - \sin\varphi) \times \sqrt{OCR}$, OCR : نسبت بیش تحکیمی

توجه: عدد ۱ در روابط فوق ، ممکن است در برخی مراجع به صورت ۰/۹ یا ۰/۹۵ ملاحظه گردد. این تفاوت، فقط به دلیل وجود دو رابطهٔ بروکر و جکی و تفاوت این روابط با یکدیگر می‌باشد، اما اغلب در سئوالات مختلف، رابطه به همان صورت که در بالا ذکر شد، مورد نظر طراحان سئوال می‌باشد.

رابطهٔ بروکر : $k_0 = 1 - \sin\varphi$

رابطهٔ جکی : $k_0 = 0/95 - \sin\varphi$

نکات:

- نکته: در مورد تمامی خاک‌های دانه‌ای، رس عادی تحکیم یافته و رس بیش تحکیم یافته، با فرض رفتار الاستیک برای نمونهٔ خاک، داریم:

در خاک‌های دانه‌ای و خاک رس عادی تحکیم یافته:

$$k_0 = \frac{\upsilon}{1-\upsilon}$$

در خاک رس بیش تحکیم یافته:

$$k_0 = \frac{\upsilon}{1-\upsilon} \times \sqrt{OCR}$$

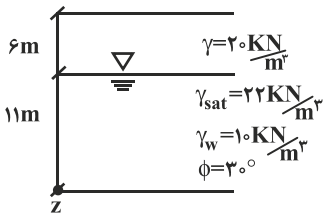
در روابط فوق، υ ضریب پواسون خاک، می‌باشد.

- نکته: در خاک‌های رسی، مقدار k_0 در اثر افزایش نسبت بیش تحکیمی (OCR) و دامنهٔ خمیری (PI) افزایش می‌یابد.
- نکته: با توجه به رابطهٔ $k_0 = \frac{\upsilon}{1-\upsilon}$ ، مشخص است که با افزایش ضریب پواسون خاک، مقدار k_0 کاهش می‌یابد.
- نکته: همواره در خاک‌های متراکم، مقدار k_0 بیشتر از خاک‌های سست می‌باشد.
- نکته: در مورد خاک‌های دانه‌ای، افزایش یا کاهش زاویهٔ اصطکاک داخلی خاک (φ) ، به ترتیب موجب کاهش یا افزایش k_0 می‌گردد.

$$\begin{cases} k_0 = 1 - \sin\varphi \\ \varphi \nearrow \Rightarrow \sin\varphi \nearrow \end{cases} \Rightarrow \swarrow k_0 = 1 - \sin\varphi \nearrow$$

مثال:

در شکل مقابل، مقدار تنش کلی افقی (σ_h) برحسب kpa کدام است؟ (در نقطهٔ z) (مؤلف)



۱) ۳۰۳
۲) ۲۵۰
۳) ۲۳۶
۴) ۲۸۲

پاسخ گزینه:«۳»

$\sigma'_h = k_0 \times \sigma'_v$ و $\sigma'_v = \sigma_v - u$

$$\Rightarrow \sigma_v = ۶\times۲۰+۲۲\times۱۱ = ۳۶۲\,kpa \quad و \quad u = ۱۱\times۱۰ = ۱۱۰\,kpa$$

$$K_. = ۱-\sin\phi = ۱-\frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۲}$$

$$\Rightarrow \sigma_h - u = k_.\times(\sigma_v - u) \Rightarrow \sigma_h = \frac{۱}{۲}\times(۳۶۲-۱۱۰)+۱۱۰ = ۲۳۶\,kpa$$

مثال :

کدامیک از عبارت‌های زیر، در مورد ضریب رانش خاک در حالت سکون، صحیح است؟ (مؤلف)

۱) مقدار آن، با افزایش ضریب پواسون افزایش می‌یابد.

۲) در رس‌های فوق تحکیم یافته، از رابطهٔ $۱-\sin\phi$ به دست می‌آید.

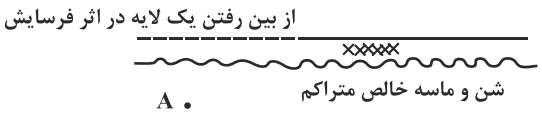
۳) در خاک‌های با رفتارهای الاستیک و غیرالاستیک از رابطهٔ $\frac{\upsilon}{۱-\upsilon}$ به دست می‌آید.

۴) مقدار آن، با افزایش نسبت بیش تحکیمی افزایش می‌یابد.

پاسخ گزینه:«۴»

مثال :

به نظر شما، اثر فرسایش لایه‌های آبرفتی یک زمین از جنس شن و ماسهٔ خالص متراکم، چه تأثیری بر ضریب $K_.$ خاک در اعماق می‌گذارد؟ (فرضاً در نقطهٔ A) (کنکور سراسری ۸۸)



۱) مقدار $k_.$ با توجه به شرایط خاک، ممکن است کاهش یا افزایش یابد.

۲) مقدار $k_.$ کاهش می‌یابد.

۳) مقدار $k_.$ افزایش می‌یابد.

۴) با توجه به دانه‌ای بودن خاک، فرسایش تأثیری بر مقدار $k_.$ ندارد.

پاسخ گزینه:«۳»

به دلیل از بین رفتن یک لایه در اثر فرسایش، قطعاً مقدار تنش قائم در نقطهٔ A کاهش خواهد یافت. با فرض ثابت بودن تنش جانبی در نقطهٔ A، با توجه به رابطهٔ مقابل خواهیم داشت:

$$k_. = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

پس، اگر σ_v کاهش یابد قطعاً مقدار $k_.$ افزایش می‌یابد.

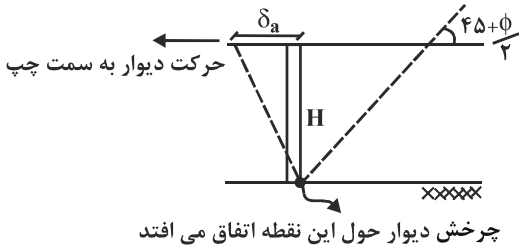
۱-۵- مفاهیم رانش‌های محرک و مقاوم

هنگامی که دیوار و خاک پشت آن، به یکدیگر فشار وارد می‌کنند و روی هم، اثر متقابل می‌گذارند، مقداری جابجایی یا کرنش افقی، به وجود می‌آید. وقتی این مقدار جابجایی، از یک حد مجاز فراتر رود، وضعیت رانش خاک از حالت سکون، خارج شده و رانش‌های محرک و مقاوم به وجود می‌آیند. در ادامه به بررسی هریک از این دو حالت رانش خاک، می‌پردازیم:

۱-۵-۱- فشار محرک

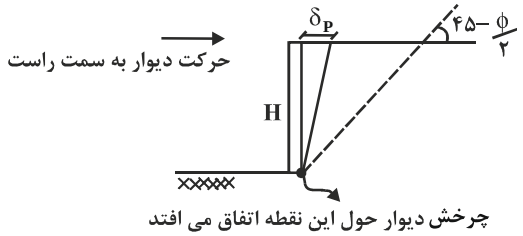
این حالت زمانی رخ می‌دهد که خاک به دیوار فشار وارد کرده و آن را به طرف جلو، حرکت می‌دهد. مقدار تغییر مکانی که باید اتفاق بیفتد تا فشار محرک به وجود آید، برای خاک‌های مختلف، متفاوت است. (منظور، جابجایی رأس دیوار است) این مقدار جابجایی برای خاک‌های دانه‌ای، بین ۰/۰۰۱ H تا ۰/۰۰۴H و در مورد خاک‌های چسبنده، بین ۰/۰۱H تا ۰/۰۴H می‌باشد.

پس می‌توان نتیجه گرفت که مقدار جابجایی لازم برای به وجود آمدن فشار جانبی محرک در خاک‌های چسبنده، تقریباً ۱۰ برابر جابجایی لازم در مورد خاک‌های دانه‌ای است. فشار محرک باعث به وجود آمدن یک گوه به اصطلاح گسیختگی در پشت دیوار می‌گردد. زاویهٔ سطح گسیختگی با افق در مورد فشار جانبی محرک، $۴۵+\frac{\varphi}{۲}$ خواهد بود.



۱-۵-۲- فشار مقاوم

این حالت، زمانی اتفاق می‌افتد که دیوار به خاک فشار وارد می‌کند و آن را به طرف عقب حرکت می‌دهد. مقدار تغییر مکان رأس دیوار که بایستی رخ دهد تا فشار مقاوم به وجود آید، برای خاک‌های مختلف، متفاوت است. این مقدار جابجایی برای خاک‌های دانه‌ای، بین ۰/۰۰۵H تا ۰/۰۱H در مورد خاک‌های چسبنده، بین ۰/۰۲H تا ۰/۰۴H می‌باشد.فشار مقاوم نیز، باعث به وجود آمدن یک گوه گسیختگی می‌گردد که زاویهٔ سطح گسیختگی با افق، برابر $۴۵-\frac{\varphi}{۲}$ می‌باشد.



نکات

- نکته: همواره جابجایی لازم برای ایجاد رانش مقاوم، نسبت به حالت محرک، بیشتر خواهد بود.
- نکته: هرچه خاک متراکم تر شود، جابجایی لازم برای به وقوع پیوستن حالت‌های فشار محرک و مقاوم، کمتر خواهد شد؛ (δ_a و δ_p کاهش می‌یابند.)
- نکته: در سال‌های گذشته در برخی سئوالات مشاهده شده است که طراحان با در اختیارگذاشتن ارتفاع دیوار (H) از داوطلبان خواسته‌اند که مقادیر جابجایی لازم برای به وجود آمدن حالت‌های محرک و مقاوم را محاسبه کنند، به این منظور در اینجا، روابطی که توسط ترزاقی توصیه شده‌اند، را بیان می‌کنیم. پیشنهاد می‌شود تا داوطلبان، سعی کنند این روابط را به خاطر بسپارند.

روابط پیشنهادی توسط ترزاقی

$$\delta_a = \frac{H}{۱۰۰۰}$$

$$\delta_p = \frac{H}{۱۰۰}$$

مثال:

کدامیک از عبارت‌های زیر درست است؟ (مؤلف)

۱) در خاک‌های رسی، مقدار δ_p و δ_a بیشتر از خاک‌های ماسه‌ای است.

۲) در خاک رس بیش تحکیم یافته، مقدار $k_.$ از رابطهٔ $۱-\sin\varphi$ به دست می‌آید.

۳) در حالت رانشی محرک، زاویهٔ سطح گسیختگی با افق، زاویهٔ $۴۵-\frac{\varphi}{۲}$ است.

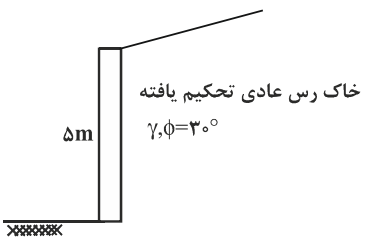
۴) برای ایجاد رانش محرک، به تغییر مکان به مراتب بیشتری نسبت به حالت مقاوم نیاز است.

پاسخ گزینه:«۱»

همواره در مورد خاک‌های رسی مقدار جابجایی‌های لازم برای رخ دادن حالت‌های رانش محرک و مقاوم، بیشتر از خاک‌های ماسه‌ای می‌باشد.

مثال:

در شکل مقابل با فرض به وقوع پیوستن رانش محرک، مقادیر δ_a، $k_.$ و زاویهٔ سطح گسیختگی با افق به ترتیب کدامند؟ (مؤلف)



۱) ۴mm و ۰/۷ و ۶۰°

۲) ۵mm و ۰/۶ و ۶۰°

۳) ۵mm و ۰/۵ و ۶۰°

۴) ۶mm و ۰/۵ و ۴۵°

پاسخ گزینه:«۳»

$$\delta_a = \frac{H}{۱۰۰۰} = \frac{۵}{۱۰۰۰} = ۰/۰۰۵\,m = ۵\,mm$$

خاک رس تحکیم یافته، پس: $k_. = ۱ - \sin\varphi = ۱ - \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۲}$

زاویهٔ سطح گسیختگی با افق: $= ۴۵ + \frac{\varphi}{۲} = ۴۵ + ۱۵ = ۶۰^\circ$ ⇒ زاویه گسیختگی ⇒ رانش محرک

۱-۶- محاسبهٔ ضرایب رانش خاک در حالت‌های محرک و مقاوم

با توجه به فرضیات رانکین که در بخش بعدی خواهد آمد، برای ضرایب رانش خاک در حالت‌های محرک و مقاوم، یعنی k_a و k_p داریم:

$$k_a = \frac{۱ - \sin\varphi}{۱ + \sin\varphi} \text{ و } k_p = \frac{۱ + \sin\varphi}{۱ - \sin\varphi} \qquad \Rightarrow k_a \times k_p = ۱$$

قبلاً داشتیم $k_. = ۱ - \sin\varphi$، بنابراین:

$$k_a < k_. < k_p$$

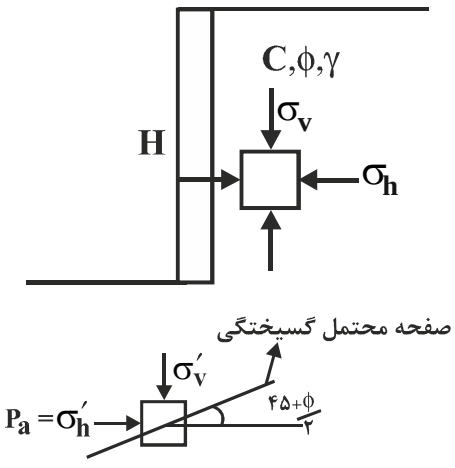
۱-۷- فرضیات رانش رانکین

مهمترین و اساسی‌ترین فرض از فرضیات رانش رانکین، صرف‌نظرکردن از زبری دیوار می‌باشد، که البته این فرض از نقاط ضعف رانش رانکین، محسوب می‌شود.

سایر فرضیات رانش رانکین، عبارتند از:

- همسان فرض کردن تودهٔ خاک پشت دیوار
- قائم فرض کردن جدار داخلی دیوار، که البته این مورد هم، یکی دیگر از نقاط ضعف رانش رانکین است.

۱-۷-۱- رانش محرک رانکین در خاک با سطح افقی



در این حالت، فشار جانبی محرک یا p_a ، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

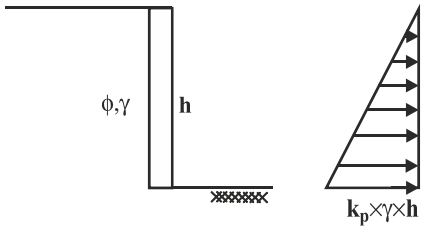
$$p_a = \sigma'_v \times k_a - 2c \times \sqrt{k_a} \quad و \quad k_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$$

کاربرد عمدهٔ رابطهٔ مذکور، در محاسبهٔ فشار جانبی پشت دیوار (توزیع فشار جانبی) و سپس محاسبه کردن نیروی وارد بر دیوار از روی دیاگرام فشار می‌باشد. چگونگی محاسبه کردن نیروی جانبی وارد بر دیوار در بخش‌های بعدی، توضیح داده خواهد شد. اصولاً رابطهٔ ذکرشده از روی فرمول معروف $\sigma'_1 = \sigma'_3 \times tg^2(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}) + 2c \times tg(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})$ که آن را از مکانیک خاک به یاد داریم، به دست آمده است.

چگونگی اثبات رابطهٔ فشار جانبی محرک، جزء کار داوطلبان گرامی نبوده، پس در اینجا از اثبات آن، صرف‌نظر می‌شود. اما به خاطر سپردن رابطهٔ محاسبهٔ فشار جانبی محرک، الزامی است.

۱-۷-۲- دیاگرام‌های توزیع فشار محرک رانکین در خاکریز های افقی

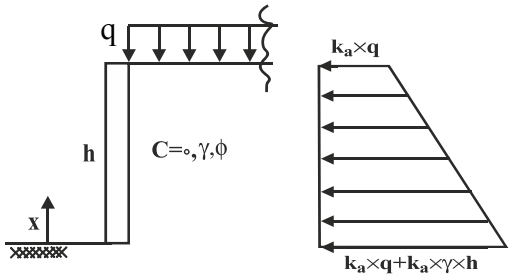
مورد اول: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c = 0$) و داریم:



$$\begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - 2c \times \sqrt{k_a} \\ c = 0 \end{cases} \Rightarrow P_a = \sigma'_v \times k_a \ , \ \sigma'_v = h \times \gamma$$

$$\Rightarrow P_a = k_a \times \gamma \times h$$

مورد دوم: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c = 0$) و سربار نیز، روی خاک وجود دارد و خواهیم داشت:



در $x = h$ داریم:

$$\sigma'_v = q \Rightarrow \begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - 2c \times \sqrt{k_a} \\ c = 0 \end{cases}$$

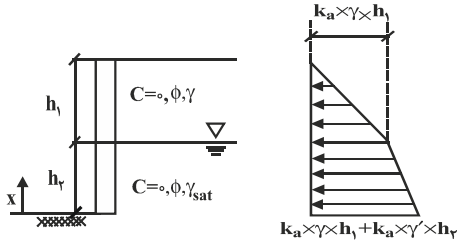
$$\Rightarrow P_a = k_a \times q - 0 \Rightarrow P_a = k_a \times q$$

در $x = 0$ داریم:

$$\sigma'_v = q + \gamma \times h \Rightarrow \begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - ۲c \times \sqrt{k_a} \\ c = ۰ \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_a = k_a \times q + k_a \times \gamma \times h$$

مورد سوم: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c = ۰$) و خاک پشت دیوار، نیمه اشباع است، پس داریم: (در واقع خاک یا اشباع است و یا اشباع نیست؛ یعنی حالت نیمه اشباع برای آن وجود ندارد، امّا این در زبان فارسی یک غلط متداول است.)



در $x = h_۲$ داریم:

$$\sigma'_v = \gamma \times h_۱ \Rightarrow \begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - ۲c \times \sqrt{k_a} \\ c = ۰ \end{cases}$$

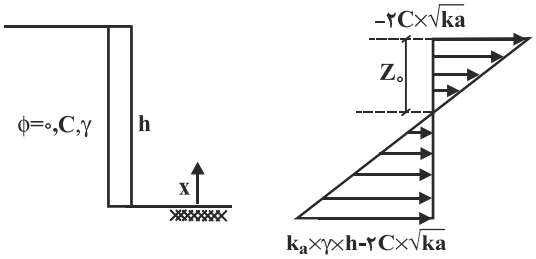
$$\Rightarrow P_a = k_a \times \gamma \times h_۱$$

در $x = ۰$ داریم:

$$\sigma'_v = \gamma h_۱ + \gamma' h_۲ \Rightarrow \begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - ۲c \times \sqrt{k_a} \\ c = ۰ \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_a = k_a \times \gamma h_۱ + k_a \times \gamma' h_۲$$

مورد چهارم: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً چسبنده بوده ($\varphi = ۰$) و خواهیم داشت:



در $x = ۰$ داریم:

$$\sigma'_v = \gamma \times h \Rightarrow P_a = \sigma'_v \times k_a - ۲c \times \sqrt{k_a}$$

$$\Rightarrow P_a = k_a \times \gamma \times h - ۲c \times \sqrt{k_a}$$

در $x = h$ داریم:

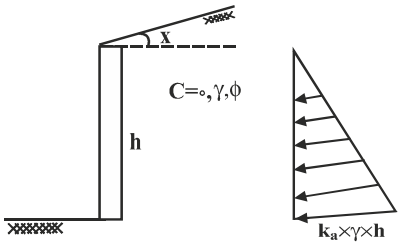
$$\sigma'_v = ۰ \Rightarrow P_a = \sigma'_v \times k_a - ۲c \times \sqrt{k_a}$$

$$\Rightarrow P_a = -۲c \times \sqrt{k_a}$$

در محدودهٔ Z.، خاک به کشش می‌افتد و بنابراین خاک ترک می‌خورد. به z. در شکل فوق، عمق ترک کششی گفته می‌شود. در ادامه چگونگی محاسبهٔ عمق ترک کششی بیان خواهد شد.

۱-۷-۳- رانش محرک رانکین در خاکریز با سطح شیبدار

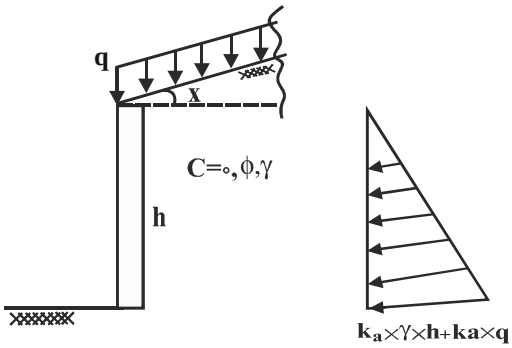
مورد اول: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c=0$) و داریم:



$$\begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - 2c \times \sqrt{k_a} \\ c = 0 \end{cases} \Rightarrow P_a = \sigma'_v \times k_a \ , \ \sigma'_v = \gamma \times h$$

$$\Rightarrow P_a = k_a \times \gamma \times h$$

مورد دوم: در این حالت، خاک پشت دیوار صرفاً اصطکاکی بوده ($c=0$) و سربار نیز روی خاک، قرار دارد و خواهیم داشت:



$$\begin{cases} P_a = \sigma'_v \times k_a - 2c \times \sqrt{k_a} \\ c = 0 \end{cases} \Rightarrow P_a = \sigma'_v \times k_a \ , \ \sigma'_v = \gamma \times h + q$$

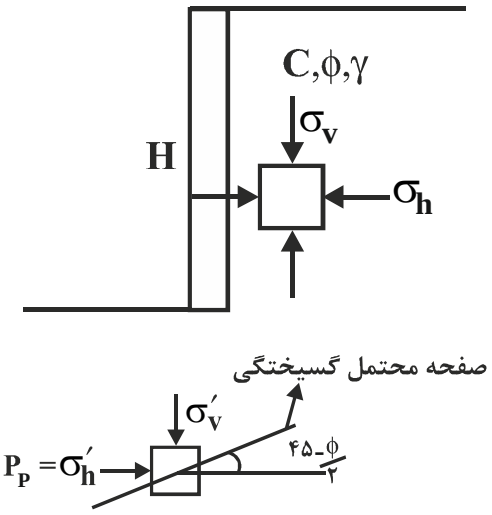
$$\Rightarrow P_a = k_a \times \gamma \times h + k_a \times q$$

📖 **نکته:** مسئله ای که باید به آن توجه کرد، این است که در حالت خاکریز شیبدار، k_a برابر $\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$ نخواهد بود، و مقدار آن از رابطهٔ مقابل، به دست می‌آید:

$$k_a = \cos x \frac{\cos x - \sqrt{\cos^2 x - \cos^2 \varphi}}{\cos x + \sqrt{\cos^2 x - \cos^2 \varphi}}$$

البته نیازی به این نیست که رابطهٔ فوق را به خاطر بسپارید، زیرا در اکثر سئوالات مربوط به خاکریزهای شیبدار، مقدار k_a در صورت سئوال، داده خواهد شد.

۱-۷-۴- رانش مقاوم رانکین در خاک با سطح افقی



در این حالت، فشار جانبی مقاوم یا P_p از رابطهٔ زیر، به دست می‌آید:

$$P_p = \sigma'_v \times k_p + ۲c \times \sqrt{k_p}$$

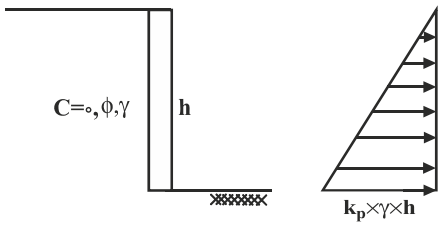
$$k_p = \frac{۱+\sin\varphi}{۱-\sin\varphi}$$

کاربرد عمدهٔ رابطهٔ مذکور در محاسبهٔ فشار جانبی پشت دیوار (توزیع فشار جانبی) و سپس محاسبه کردن نیروی وارد بر دیوار از روی دیاگرام فشار می‌باشد. چگونگی محاسبه کردن نیروی جانبی وارد بر دیوار در بخش‌های بعدی، توضیح داده خواهد شد. اصولاً رابطهٔ بالا، از فرمول معروف $\sigma'_۱ = \sigma'_۳ + tg^۲(\frac{\pi}{۴}+\frac{\varphi}{۲}) + ۲c \times tg(\frac{\pi}{۴}+\frac{\varphi}{۲})$ در مکانیک خاک، منتج شده است.

چگونگی اثبات رابطهٔ فشار جانبی مقاوم، جزء کار داوطلبان گرامی نبوده، پس در اینجا از اثبات آن، صرف‌نظر می‌شود.اما به خاطر سپردن رابطهٔ محاسبهٔ فشار جانبی مقاوم، الزامی است.

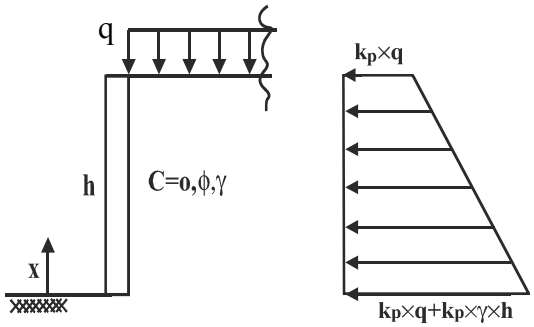
۱-۷-۵- دیاگرام‌های توزیع فشار مقاوم رانکین در خاکریزهای افقی

مورد اول: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c = ۰$) و داریم:



$$\begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases} \Rightarrow P_p = \sigma'_v \times k_p \ , \ \sigma'_v = h \times \gamma \ \Rightarrow P_p = K_p \times \gamma \times h$$

مورد دوم: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده و سربار نیز، روی خاک وجود دارد. پس خواهیم داشت:



در $x = h$ داریم:

$$\sigma'_v = q \Rightarrow \begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases}$$

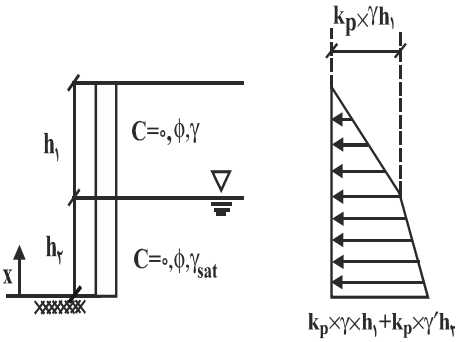
$$\Rightarrow P_p = k_p \times q$$

در $x = 0$ داریم:

$$\sigma'_v = q + \gamma \times h \Rightarrow \begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_p = k_p \times q + k_p \times \gamma \times h$$

مورد سوم: در این حالت، خاک پشت دیوار صرفاً اصطکاکی بوده ($c = 0$) و خاک پشت دیوار، نیمه اشباع است. پس، خواهیم داشت:



در $x = h_2$ داریم:

$$\sigma'_v = \gamma \times h_1 \Rightarrow \begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases}$$

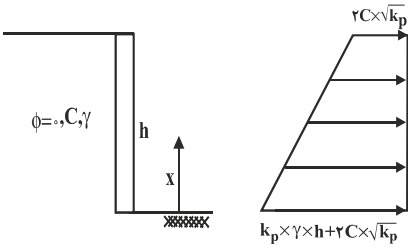
$$\Rightarrow P_p = k_p \times \gamma \times h_1$$

در $x = 0$ داریم:

$$\sigma'_v = \gamma h_1 + \gamma' h_2 \Rightarrow \begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_p = k_p \times \gamma h_1 + k_p \times \gamma' h_2$$

مورد چهارم: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً چسبنده بوده ($\varphi = 0$) و خواهیم داشت:



در $x = 0$ داریم:

$$\sigma'_v = \gamma \times h \Rightarrow P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p}$$

$$\Rightarrow P_p = k_p \times \gamma \times h + 2c \times \sqrt{k_p}$$

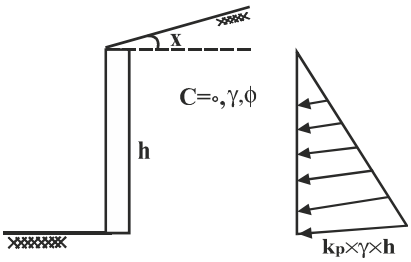
در $x = h$ داریم:

$$\sigma'_v = 0 \Rightarrow P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p}$$

$$\Rightarrow P_p = 2c \times \sqrt{k_p}$$

۱-۷-۶- رانش مقاوم رانکین در خاکریز با سطح شیبدار

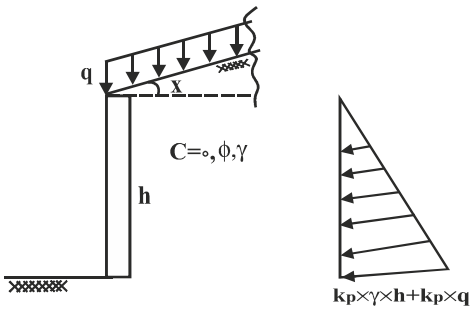
مورد اول: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c = 0$) و داریم:



$$\begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases} \Rightarrow P_p = \sigma'_v \times k_p \ , \ \sigma'_v = \gamma \times h$$

$$\Rightarrow P_p = k_p \times \gamma \times h$$

مورد دوم: در این حالت، خاک پشت دیوار، صرفاً اصطکاکی بوده ($c = 0$) و سربار روی خاک، قرار دارد و در این صورت، خواهیم داشت:



$$\begin{cases} P_p = \sigma'_v \times k_p + 2c \times \sqrt{k_p} \\ c = 0 \end{cases} \Rightarrow P_p = \sigma'_v \times k_p \ , \ \sigma'_v = \gamma \times h + q$$

$$\Rightarrow P_p = k_p \times \gamma \times h + k_p \times q$$

🕮 نکات

- نکته: مسئله‌ای که باید به آن توجه کنیم، این است که در حالت خاکریز شیبدار، k_p برابر $\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$ نخواهد بود، و مقدار آن، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$k_p = \cos x \frac{\cos x + \sqrt{\cos^2 x - \cos^2 \varphi}}{\cos x - \sqrt{\cos^2 x - \cos^2 \varphi}}$$

البته نیازی نیست که رابطهٔ فوق را به خاطر بسپارید زیرا در اکثر سئوالات مربوط به خاکریز های شیبدار، مقدار k_p در صورت سئوال، داده می‌شود.

- نکته: در مورد ضرایب k_a و k_p در یک خاکریز شیبدار با زاویهٔ شیب x نسبت به افق در حالت رانش رانکین، خواهیم داشت:

$$k_a \times k_p = (\cos x)^2$$

- نکته: در حالت خاکریز شیبدار با فرض رانش رانکین، با افزایش زاویهٔ شیب x ، مقدار k_a افزایش و مقدار k_p کاهش می‌یابد.

۱-۸- نحوهٔ محاسبهٔ نیروی جانبی وارد بر دیوار

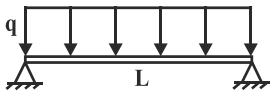
محاسبه کردن نیروی وارد یر دیوار، همواره نیازمند دقت بسیار زیادی می‌باشد، و برای محاسبهٔ آن، در اکثر کتابها فقط یک راه حل بیان می‌شود:

بعد عمود بر صفحهٔ دیوار× مساحت دیاگرام توزیع فشار

اما این یک راه حل کلی نیست. مثلاً ممکن است دیاگرام توزیع فشار به صورت کروی و یا هرمی باشد. (در برخی حالات خاص) در این صورت نمی‌توان از راه حل بیان شده در بالا، استفاده کرد. پس، آیا یک راه حل اساسی برای این مسئله وجود دارد؟

پاسخ مثبت است. برای درک این راه حل به یک یادآوری مختصر از استاتیک می‌پردازیم:

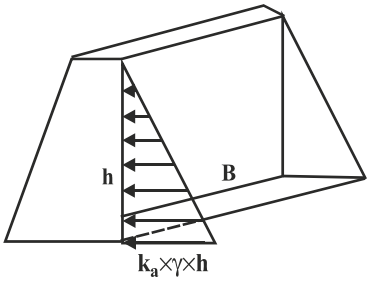
از استاتیک به یاد داریم که وقتی یک تیر تحت بار خطی قرار می‌گرفت، نیروی متمرکز، مانند زیر محاسبه می‌شد:



$$\text{نیروی متمرکز (F)} = q \times L$$

درواقع، قبلاً برای محاسبهٔ نیروی متمرکز وارد بر تیر، سطح زیر منحنی فشار را، محاسبه می کردیم؛ و از بعد عمود بر صفحهٔ تیر، به دلیل کوچک بودن آن صرف‌نظر می‌شد.

اما حالا، در مورد محاسبهٔ نیروی متمرکز وارد بر دیوار، چون دیوار معمولاً دارای بعد عمود بر صفحهٔ بزرگی است، پس، باید حجم زیر منحنی فشار جانبی را، محاسبه نماییم.



مشاهده می‌شود در شکل بالا حجم زیر منحنی فشار جانبی، برابر نصف حجم مکعب مستطیلی به ابعاد B و h و $k_a \gamma h$ می‌باشد، پس نیروی متمرکز وارد بر دیوار برابر است با:

$$\text{نیروی متمرکز (F)} = \frac{1}{2} \times \underbrace{h}_{c} \times \underbrace{B}_{b} \times \underbrace{k_a \times \gamma \times h}_{a}$$