

پی سازی



سری کتابهای کمک آموزشی کارشناسی ارشد

مجموعه عمران

مؤلف: حامد تقی زاده

سرشناسه: تقی‌زاده، حامد
عنوان: پی‌سازی
مشخصات نشر: تهران، مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۴
مشخصات ظاهری: ۲۰۳ صفحه
فروست: سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد
شابک: 6-825-458-600-978
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپای مختصر
یادداشت: این مدارک در آدرس <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.



www.Mahan.ac.ir

انتشارات ماهان ۴-۸۸۱۰۱۱۳

خیابان ولیعصر / بالاتر از تقاطع مطهری / روبروی قنادی هتل بزرگ تهران / جنب بانک ملی / پلاک ۲۰۵۰

نام کتاب: پی‌سازی
مدیران مسئول: هادی سیاری، مجید سیاری
مولف: حامد تقی‌زاده
مدیر تولید محتوا: سمیه بیگی
ناشر: مشاوران صعود ماهان
نوبت و تاریخ چاپ: دوم / ۱۴۰۳
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۳/۵۸۰/۰۰۰ ریال
شابک: ISBN:978-600-458-825-6



«ن والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، موسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد گام موثری بردارد. امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این موسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد.

مجموعه کتاب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تالیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتاب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تالیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت ذیل می‌باشد.

کتاب‌های سوال و پاسخ تشریحی کنکور مدیریت که شامل سوالات و پاسخ تشریحی چند سال اخیر کنکور سراسری ارشد می‌باشد.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفان و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به‌روزرسانی تالیفات ماهان نقش موثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد درخصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس Entesharatmahan@yahoo.com با ما در میان بگذارند.

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان





مهندسی پی یکی از مباحث مهم در صنعت ساختمان و در کل در مهندسی عمران می باشد که نیاز به بررسی و کاوش دقیق دارد. شناخت خصوصیات و ویژگیهای یک پی، میزان ظرفیت باربری و نشست آن، در طراحی پی ها از اصول مهم به شمار می آید.

این کتاب مجموعه ای از نکات مهم و ضروری در مورد مباحث پی سازی می باشد که علاوه بر داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد مهندسی عمران می تواند به عنوان مجموعه ای برای دانشجویان مهندسی عمران، زمین شناسی و ... مورد استفاده قرار گیرد.

در نهایت از زحمات بی پایان دوستان خویش که مرا یاری رساندند و همچنین از پرسنل محترم موسسه آموزش عالی ماهان کمال تشکر را داشته و این کتاب را به پدر و مادر عزیز خویش تقدیم می کنم.

حامد تقی زاده



۹	فصل اول: شناسایی تحت الارضی.....
۱۸	سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل اول.....
۱۹	پاسخ سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل اول.....
۲۱	فصل دوم: پی‌های سطحی.....
۴۳	سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل دوم.....
۴۹	پاسخ سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل دوم.....
۵۵	فصل سوم: رانش در خاکها و پایداری دیوارهای حائل و نگهبان.....
۸۸	سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل سوم.....
۹۲	پاسخ سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل سوم.....
۹۵	فصل چهارم: پی‌های عمیق.....
۱۲۱	سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل چهارم.....
۱۲۵	پاسخ سوالات چهارگزینه‌ای تکمیلی فصل چهارم.....
۱۲۹	سوالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۸۹ الی ۱۴۰۳.....
۲۰۳	منابع.....

شناسائی تحت الارضی

عناوین اصلی

❖ مقدمه

❖ عمق - فاصله - تعداد گمانه‌ها

❖ روش‌های گمانه‌زنی

❖ روش‌های نمونه‌گیری

❖ نمونه‌گیری دست خورده و دست نخورده

❖ آزمایشهای صحرائی

فصل اول

شناسائی تحت الارضی

۱-۱ مقدمه

پی‌ها (شالوده‌ها) همواره بار مشخصی از سازه را تحمل می‌کنند. به همین علت مهندس طراح باید از طبیعت و رفتار خاک زیر شالوده اطلاعات کافی را داشته باشد. فرآیند شناسائی لایه های خاک تحت الارضی و تعیین مشخصات فیزیکی آن، شناسائی تحت الارضی نامیده می‌شود. معمولاً شناسائی‌های تحت الارضی با اهداف مشخص انجام می‌شوند، اهدافی چون:

۱- تعیین نوع و عمق شالوده مناسب برای سازه

۲- برآوردی از ظرفیت باربری پی

۳- تخمین نشست احتمالی سازه

۴- تعیین پتانسیل‌های مسئله ساز خاک (تورم و ...)

۵- تعیین سطح آب‌های زیرزمینی

۶- تعیین فشار جانبی بر روی سازه‌ها

۷- تعیین روش‌های اجرائی برای تغییر شرایط تحت الارضی

برنامه مطالعات تحت الارضی شامل چند گام اساسی می‌باشد. گام اول جمع‌آوری اطلاعات اولیه می‌باشد که حاوی اطلاعات کلی و کلان از منطقه مورد مطالعه همچون نقشه‌های زمین شناسی و ژئوتکنیکی است. گام دوم شروع بازدیدهای محلی و جمع‌آوری اطلاعات جزئی‌تری می‌باشد، همچون توپوگرافی عمومی منطقه، بررسی لایه های خاک و گام بعدی عملیات شناسائی می‌باشند. عملیات شناسائی شامل طرح ریزی عملیات، گمانه زنی، اخذ نمونه‌ها در اعماق مختلف برای شناسائی و انجام آزمایشهای آزمایشگاهی می‌باشد. البته در ابتدای کار لازم است یک عمق تقریبی و اولیه برای گمانه‌ها و همچنین تعداد و فواصل آنها تعیین کرد.

۱-۲-۱ عمق - فاصله - تعداد گمانه‌ها

مهم است عمق گمانه‌ها در حدی باشد که تمامی لایه هائی را که ممکن است تحت تاثیر بارگذاری قرار گیرند شامل شود به طور کلی عمق گمانه‌ها را می‌توان تابع شرایط مقابل دانست: میزان بارهای انتقالی، روش انجام حفاری و نمونه برداری، مشخصات و موقعیت لایه مقاوم مورد نظر.

۱-۲-۱-۱ نکاتی در مورد عمق گمانه‌ها

• برای پی‌های مجزا و نواری، عمق گمانه‌ها از تراز پی معمولاً باید بین $(3 - 1/5)$ برابر عرض پی در نظر گرفته شود. همچنین این ارتفاع نباید کمتر از عرض یا ارتفاع سازه در نظر گرفته شود.

• برای پی‌های گسترده عمق گمانه‌ها $1/5$ برابر عرض بنا در نظر گرفته می‌شود.

• برای پی‌های عمیق یا شمع‌ها، عمق گمانه‌ها تا ۴ برابر قطر شمع (4D) از زیر نوک شمع در نظر گرفته می‌شود. در گروه شمع‌ها عمق حفاری باید به اندازه ضلع کوچک مستطیل محیط بر گروه شمع پائین‌تر از نوک شمعها گسترش داده شود.

• در مواردی خاص که سازه مستقیماً بر روی سنگ بستر قرار می‌گیرد، حفاری در سنگ با عمق حداقل ۳ متر ضروری است.

• برای ساختمان‌های عمومی (ساختمان‌های اداری و بیمارستان‌ها و ...). ساور (Sowers) قوانینی را پیشنهاد کرده است:

برای سازه‌های فولادی سبک و بتنی کم عرض $D_b = 3.s^{0.6} \rightarrow$

برای سازه‌های فولادی سنگین و بتنی عریض $D_b = 6.s^{0.7} \rightarrow$

در روابط بالا

D_b : عمق گمانه (متر)

S: تعداد طبقات

۱-۲-۲- تعداد گمانه‌ها

در حالت کلی تعداد گمانه‌ها از لحاظ تعداد و موقعیت باید گونه ای باشد که نیمرخ زمین را در زیر ساختمان مشخص نماید. در زمین‌های هموار گمانه‌های کمتری نیاز می‌باشد.

• حداقل تعداد گمانه‌ها در زمین‌های هموار ۳ گمانه و در زمین‌های ناهموار ۵ گمانه می‌باشد.

• توصیه شده است در هر ۴۰۰ متر مربع حداقل ۱ گمانه وجود داشته باشد.

۱-۲-۳- فاصله گمانه‌ها

هیچ گونه قانون و رابطه سرراستی برای تعیین فاصله گمانه‌ها وجود ندارد. معمولاً فاصله گمانه‌ها در پروژه‌های کوچک حداکثر ۳۰ متر و در پروژه‌های بزرگ حداکثر ۷۰ متر توصیه می‌شود. در جدول (۱-۱) توصیه هائی برای فواصل گمانه‌ها آمده است که البته تحت شرایط تحت‌الارضی این فواصل ممکن است افزایش یا کاهش داده شوند.

جدول ۱-۱ - فواصل تقریبی گمانه‌ها

فاصله (متر)	نوع پروژه
۱۰ - ۳۰	ساختمان چند طبقه
۲۰ - ۶۰	ساختمان صنعتی یک طبقه
۲۵۰ - ۵۰۰	شاهراه
۲۵۰ - ۵۰۰	مجتمع مسکونی
۴۰ - ۸۰	سدها - بندها

۱-۳- روش‌های گمانه زنی

حفاری‌های اکتشافی در زمین را در بعضی شرایط می‌توان به کمک وسایل دستی انجام داد اما در اغلب شرایط به دلیل مزایای متعدد حفاری ماشینی، این نوع ترجیح داده می‌شود.

۱-۳-۱- حفاری دستی

• در پروژه‌ها کوچک و تا عمق (۱۵ - ۱۰) متر می‌توان استفاده کرد.

• عدم کارائی در خاک‌های ریزشی.

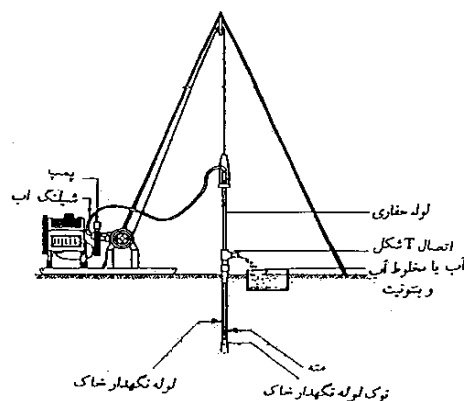
• برای تعیین عمق خاک دستی کاربر دارد.

• عدم کارائی در صورت بالا بودن سطح آب زیرزمینی

حفاری‌های ماشینی به دلیل مزایائی که دارند گستره کاربرد بیشتری دارند. از مزایای این نوع حفاری می‌توان به امکان حفاری‌های عمیق، حفاری در زیرتر از سطح آب، نمونه‌گیری با کیفیت و انجام آزمایشهای در محل درون گمانه‌های اشاره کرد. در زیر چند گونه از این نوع حفاری‌ها تعریف می‌شوند.

۱-۳-۲- حفاری با آب

حفرگمانه در روش حفاری با آب از فرو کردن یک لوله (Casing) در خاک شروع می‌شود. این لوله تا عمق ۱/۵ الی ۳/۵ متر با ضربه در خاک کوبیده می‌شود و از ریزش خاک به درون گمانه جلوگیری می‌کند. در مرحله بعد خاک درون گمانه توسط مته (Bit) حفاری می‌شود. مته حفاری از فشار زیاد آب استفاده می‌کند. لذا این روش به حفاری با آب شهرت دارد. اگر خاک نسبتاً ریزشی باشد بعضاً مخلوط آب و بنتونیت به جای آب استفاده می‌شود. شکل زیر طرز کار مته در روش حفاری با آب را نشان می‌دهد.



- تجهیزات حفاری با آب نسبت به سایر روشها سبکتر است از این روش در مکانهایی که محل وسایل حفاری مشکل است مزیت دارد. ضمناً تجهیزات روش حفاری با آب بطور کلی ارزان است با این روش می توان گمانه را با قطر دلخواه حفر کرد.
- روش حفاری با آب برای خاکهای سست و خاکهای ریزدانه غیر چسبنده مناسب است. زیرا در سایر خاکها عملیات حفاری با آب بسیار کند می باشد و در خاکهایی که حاوی مقدار زیادی قلوه سنگ های بزرگ هستند قابل اجرا نیستند. این روش هنگامی که نمونه دست نخورده در بالای سطح آب زیرزمینی مورد نیاز است قابل توصیه نیست.
- نیاز به آب جهت حفاری می تواند در برخی پروژه ها یک عیب اصلی محسوب شود زیرا همواره امکان دسترسی به آب وجود ندارد.

۱-۳-۳- حفاری دورانی

- در روش حفاری دورانی از یک مته تیز جهت حفاری استفاده می شود. این مته نیروی لازم برای حفاری را از یک موتور بدست می آورد و با ترکیبی از فشار زیاد به مته گمانه و دوران سریع موجب حفر مصالح می گردد.
- مته ها در حفاری دورانی قویتر از روش حفاری با آب هستند لذا روش حفاری دورانی سریعترین روش جهت حفاری در مصالح سخت می باشد.
- از گل حفاری جهت خنک کردن سر مته، بالا آوردن مصالح حفاری شده و تثبیت جداره گمانه استفاده می شود.

۱-۳-۴- حفاری با مته حلزونی

- حفاری با مته حلزونی شباهت زیادی به حفاری دورانی دارد.
- حفر زمین در اثر چرخیدن و فشار اوگر صورت می گیرد.
- این روش در اغلب خاکها قابل اجراست.
- اوگر می تواند توخالی یا توپر باشد.
- به همراه این نوع حفاری می توان آزمایشهای SPT و نمونه گیری دست نخورده شلبی را انجام داد.

۱-۳-۵- حفاری ضربه ای

- در این روش تیغه بسیار سنگین تا ارتفاع مناسب بالا برده شده و رها می شود و این باعث حفر می شود.
- با روش حفاری ضربه ای می توان در مصالح سخت و سنگی حفاری نمود ولی به علت خرد شدن مصالح تهیه نمونه بسیار مشکل است، لذا در کارهای حفاری ژئوتکنیک استفاده کمتری داشته و بیشتر در حفاری چاه های آب استفاده می شود.

۱-۳-۶- نکاتی در مورد روش های حفاری ماشینی

- تجهیزات حفاری با آب سبک تر از تجهیزات دیگر حفاری است.
- طول مته در حفاری اوگر بلندتر از بقیه می باشد.
- سرعت حفاری دورانی در مصالح سخت، بیشتر از سایر روش ها است.
- در روش حفاری ضربه ای نیازی به آب نیست.
- در روش های حفاری با آب و ضربه ای نمی توان نمونه دست نخورده تهیه کرد.
- بهترین روش برای تهیه نمونه دست نخورده حفاری با اوگر است.

۴-۱- روش های نمونه گیری
۴-۱-۱- نمونه گیر SPT
۴-۱-۲- نمونه گیر (Corebarrel)
۴-۱-۳- نمونه گیر جدار نازک (شلی)
۴-۱-۵- نمونه گیری دست خورده و دست نخورده

به واقع تهیه یک نمونه کاملاً دست خورده امکان پذیر نمی باشد، لذا اصلاح «دست نخورده» به نمونه ای اطلاق می شود که تمهیدات لازم جهت حداقل کردن اثرات دست خوردگی در آن بکار رفته باشد.

• نمونه گیری دست نخورده از خاک رسی به علت طبیعت چسبنده و یکپارچه آن ساده تر می باشد ولی نمونه گیری دست نخورده از ماسه ها و شن ها به علت ساختار دانه ای و ناپیوسته آن دشوار می باشد. در خاک هائی که تهیه نمونه های دست نخورده دشوار می باشد تکیه بر روی اطلاعاتی است که از آزمایشات صحرائی بدست می آید.

• از نمونه های دست خورده می توان برای انجام آزمایشهای دانه بندی، تعیین حدود روانی و خمیری، چگالی دانه ها، تعیین میزان مواد آلی و طبقه بندی خاک استفاده کرد.

• از نمونه های دست خورده نمی توان برای انجام آزمایشهای تحکیم یا مقاومت برشی استفاده کرد.

• درجه دست خوردگی نمونه خاک طبق رابطه زیر تعریف می شود.

$$A_R = \frac{D_0^2 - D_i^2}{D_i^2} (100 \%)$$

که در روابط:

A_R : نسبت سطح

D_0 : قطر خارجی نمونه گیر

D_i : قطر داخل نمونه گیر

• هر گاه $A_R \leq 10 \%$ باشد، نمونه دست نخورده تلقی می شود.

• معمولاً برای نمونه گیر استاندارد قاشقی این نسبت حدود $111/5 \%$ و برای نمونه گیر جدار نازک $13/75 \%$ می باشد.

• معیار دیگری نیز برای تخمین میزان دست خوردگی بکار می رود. (L_r) که ضریب دست خوردگی نامیده می شود.

$$L_r = \frac{\text{طول واقعی نمونه خارج شده از نمونه گیر}}{\text{طول تئوریک نمونه}}$$

• هر چقدر مقدار L_r به واحد (۱) نزدیکتر باشد یعنی نمونه در اثر اصطکاک با جداره نمونه گیر کمتر فشرده شده و دست نخورده تر می باشد.

۴-۱-۶- آزمایشهای صحرائی

با توجه به مشکلات تهیه نمونه دست نخورده و تغییراتی که ممکن است در حین نمونه گیری، حمل و نقل و دوره آزمایش در مشخصات خاک حاصل شود، امروزه استفاده از آزمایشهای محلی که با سرعت عمل کافی و بدون نیاز به تعیین پارامترهای ششخصه (C, ϕ) خواص مکانیکی خاک را ارائه می کنند بسیار رواج یافته است. در این قسمت در مورد آزمایشهای صحرائی (در محل) پر کاربرد و مهم بحث می شود.

آزمایشهای مهم صحرائی ژئوتکنیکی عبارتند از:

۱- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)

۲- آزمایش بارگذاری صحنه (PLT)

۳- آزمایش برش پره ای (Vane)

۴- آزمایش نفوذ مخروطی (CPT)

۵- آزمایش پرسپومتری (PMT)

۱-۶-۱- آزمایش نفوذ استاندارد

این آزمایش معمولی‌ترین و کم هزینه‌ترین آزمایش درجا محسوب می‌شود. روش کار در این آزمایش بدین صورت است که نمونه‌گیر - Spilt Spoon استاندارد را در دو مرحله ۱۵ و ۳۰ سانتی متری در داخل خاک فرو می‌برند. برای این کار از وزنه ۶۳/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۷۶ سانتی متری سقوط می‌کند استفاده می‌کنند.

• تعداد ضربه های لازم برای فرو بردن نمونه‌گیر در مرحله دوم (۳۰ سانتی متری) را N یا عدد SPT می‌نامند.

$$N = SPT = N_2(15\text{cm}) + N_3(15\text{cm})$$

واحد N : 30 cm نفوذ

• تعداد ضربه های لازم برای فرو بردن نمونه‌گیر در ۱۵ سانتی متر اول (N_1) به علت دست خوردگی به حساب آورده نمی‌شود.

• اساساً آزمایش SPT برای خاکهای دانه‌ای پیشنهاد شده است ولی امروزه برای هر نوع خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

• در خاکهای دانه‌ای به علت تغییر نسبی دانسیته در عمق، عدد SPT تابع تنش موثر می‌باشد. لذا مقدار آن توسط ضریب C_N اصلاح می‌شود.

$$C_N = 10 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}}$$

$$N(\text{تصحیح شده}) = C_N \cdot N$$

σ'_v : تنش موثر قائم اولیه در ترازای که آزمایش صورت می‌گیرد (KPa)

• محدودیت ها: $C_N \leq 2$ و در اعماق کم معمولاً از این تصحیح صرف‌نظر می‌شود.

• عوامل مختلفی در میزان انرژی انتقالی ناشی از چکش در حین آزمایش اثر می‌گذارند. در نتیجه برای سنجش واحد و استاندارد پارامترهای خاک از روی نتایج آزمایش، انتخاب یک سطح انرژی مرجع لازم می‌باشد که این مقدار بر اساس بررسی انواع آزمایش‌های انجام شده در دنیا حدود ۶۰٪ انرژی تئوریک در نظر گرفته می‌شود.

$$N_{60} = N \times \left(\frac{E}{60} \right) = N \times C_E$$

در رابطه

E : درصد انرژی انتقالی در آزمایش

• حاصلضرب نسبت انرژی در تعداد ضربات در هر خاکی در آزمایش SPT مقدار ثابتی است.

$$N_1 E_1 = N_2 E_2 = \dots$$

در رابطه

N_1 : تعداد ضربات بدست آمده در سطح انرژی E_1

• به جز موارد ذکر شده اصلاحاتی نظیر اصلاح اثر قطر گمانه حفاری و نوع نمونه‌گیر در این آزمایش مطرح می‌باشد.

• با توجه به ناهمگنی خاک در شرایط طبیعی اعداد نفوذ استاندارد بدست آمده از یک گمانه دارای دامنه وسیعی خواهند بود.

• در نهشته های خاک که دارای قلوه سنگ و شن می باشند اعداد نفوذ استاندارد بدست آمده ممکن است گمراه کننده و غیرقابل اطمینان باشند.

• از نتایج آزمایش SPT برای تخمین وزن مخصوص (γ)، دانسیته نسبی (D_r) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) استفاده می‌شود. در ضمن از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد می‌توان برای محاسبه ظرفیت باربری پی ها و همچنین مدول الاستیته خاک نیز استفاده کرد.

• رابطه عدد SPT با پارامترهای مقاومتی خاک (این مقادیر را به خاطر بسپارید)

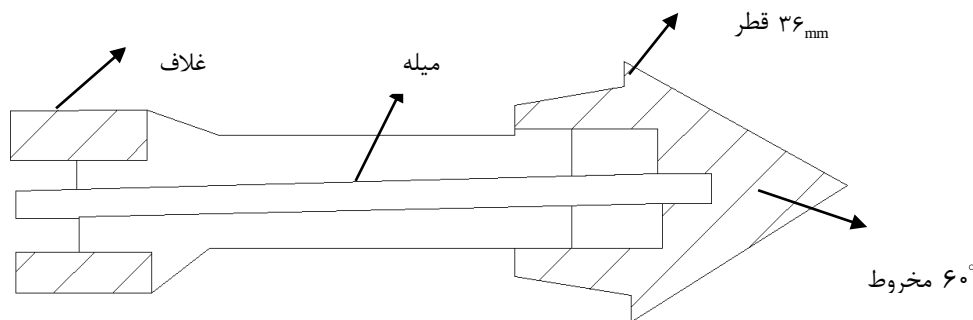
جدول ۱-۲ رابطه عدد N با دانسیته سنی و ϕ برای خاک‌های دانه‌ای

	Very loose بسیار سست	Loose سست	Medium تراکم متوسط	Dense متراکم	Very Dense بسیار تراکم
N	۵ - ۱۰	۸ - ۱۵	۱۰ - ۴۰	۲۰ - ۷۰	> ۳۵
D_r	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۸۵	۱
ϕ	۲۷° - ۳۲°	۳۰° - ۳۵°	۳۵° - ۴۰°	۳۸° - ۴۳°	

جدول ۱-۳ - رابطه عدد N با q_u برای خاک‌های چسبنده

	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
	بسیار نرم	نرم	متوسط	سخت	بسیار سخت	سخت
N	۰ - ۲	۳ - ۵	۶ - ۹	۱۰ - ۱۶	۱۷ - ۳۰	> ۳۰
q_u (KPa)	< ۲۵	۲۵ - ۵۰	۵۰ - ۱۰۰	۱۰۰ - ۲۰۰	۲۰۰ - ۴۰۰	> ۴۰۰

۱-۶-۲- آزمایش نفوذ مخروط (CPT) راس ۶۰ درجه و سطح قاعده ۱۰cm^2 با سرعت یکنواختی در حدود ۲ سانتی متر در ثانیه به داخل باک رانده می‌شود و مقاومت نوک مخروط و مقاومت اصطکاک جدار غلاف با خاک اطراف آن اندازه گیری می‌شود.



• مقاومت نوک مخروط (q_c) مقاومت برشی زهکشی نشده را نشان می‌دهد (چون خاک در این زمان کم فرصت کافی برای زهکشی شدن ندارد). مقاومت اصطکاک (q_f) نیز از کم کردن مقاومت نوک مخروط از حاصلجمع مقاومت نوک مخروط + مقاومت اصطکاک بدنه (در کنار هم) بدست می‌آید.

• نتایج حاصل را معمولاً به صورت تغییرات مقاومت نوک (q_c) در عمق و همچنین تغییرات ضریب اصطکاک (FR) در عمق نشان می‌دهند.

$$FR = \frac{q(\text{total}) - q_c}{q_c} = \left(\frac{q_f}{q_c} \right)$$

• مقاومت نوک (q_c) به دست آمده از آزمایش نفوذ مخروط، به زاویه اصطکاک خاک (در خاک‌های دانه‌ای) و سختی خاک (در خاک‌های رسی) نسبت داده می‌شود.

• از آزمایش CPT در خاک‌های رسی نرم، سیلت نرم و خاک ماسه‌ای متوسط استفاده می‌شود و در خاک‌های رسی سخت و خاک‌های شنی نتایج مناسبی به همراه ندارد.

• کاربردهای آزمایش CPT مشابه آزمایش SPT می‌باشد.

۱-۶-۲-۱- استفاده از نتایج آزمایش CPT در تخمین پارامترهای خاک

• در خاک‌های چسبنده:

$$۱) \quad S_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_K}$$

در رابطه فوق:

S_u : مقاومت برشی زهکشی نشده خاک

σ_v : تنش کل قائم در نقطه مورد نظر

N_K : ضریب ظرفیت باربری نوک مخروط. برای نوک الکتریکی ۱۵ و نوک مکانیکی ۲۰ در نظر گرفته می‌شود.

$$۲) \quad P_C = 0.243(q_c)^{0.96}$$

در رابطه فوق:

p_c : فشار پیش تحکیمی $\left(\frac{MN}{m^2}\right)$

q_c : فشار نوک مخروط $\left(\frac{MN}{m^2}\right)$

$$3) \quad OCR = \frac{1}{3} \gamma \left(\frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_v} \right)^{1/0.1}$$

در رابطه فوق:

COR: نسبت پیش تحکیمی

• پس طبق روابط فوق داریم:

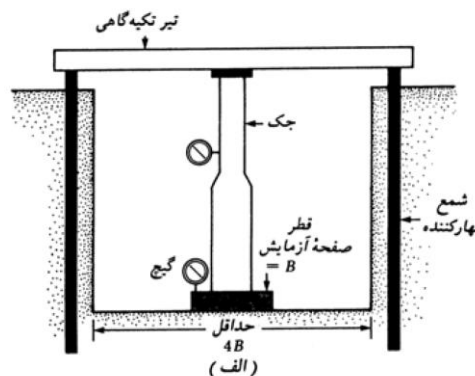
$$q_c \propto s_u \propto OCR \propto P_c$$

• در خاک‌های ماسه‌ای:

در خاک‌های ماسه‌ای می‌توان با استفاده از روابط و نمودارهایی که ارائه شده اند، مقادیر دانسیته نسبی و یا اصطکاک داخلی را بر حسب q_c تخمین زد.

۱-۶-۳- آزمایش بارگذاری صفحه‌ای:

یکی از روشهای تعیین ظرفیت باربری پی‌های سطحی اعمال بار به یک پی نمونه و اندازه گیری مقدار نشست حاصله است. در این آزمایش معمولاً یک صفحه مدور به قطر ۱۵ تا ۷۵ سانتیمتر یا یک صفحه مربعی شکل به ابعاد 30×30 سانتیمتر و ضخامت $2/5$ سانتیمتر از جنس فولاد انتخاب شده و تحت بارگذاری قرار می‌گیرد برای انجام آزمایش ابتدا گودالی به عمق مورد نظر (مثلاً عمق پی) و به عرض ۴ برابر قطر صفحه بارگذاری حفر می‌شود و صفحه فولادی در کف آن قرار می‌گیرد. سپس مطابق شکل بار توسط جک بر روی سطح صفحه اعمال و مقدار نشست آن تعیین می‌شود.



بارگذاری در فواصل زمانی برابر (تقریباً هر یک ساعت یکبار) هر دفعه به میزان $\frac{1}{5}$ ظرفیت باربری تخمینی افزایش یافته تا مقدار نشست صفحه به حد ۲۵ میلیمتر برسد.

• استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه در محاسبات ظرفیت باربری و نشست شالوده‌ها:

آزمایش بارگذاری صفحه در محاسبات شالوده‌ها باید با دقت کافی صورت گیرد و حتماً ابعاد بصورت زیر اعمال شود.
الف- ظرفیت باری گسیختگی شالوده

$$\text{خاک رس} \rightarrow q_{u(F)} = q_{u(p)}$$

$$\text{خاک ماسه‌ای} \rightarrow q_{u(F)} = q_{u(p)} \cdot \frac{B_F}{B_p}$$

در روابط فوق:

$q_{u(p)}$: ظرفیت باربری نهایی آزمایش صفحه

$q_{u(f)}$: ظرفیت باربری نهایی شالوده

B_p : عرض صفحه بارگذاری

B_F : عرض شالوده

تذکره: همانطور که مشاهده می‌شود در خاکهای رسی تقریباً می‌توان گفت که q_u مستقل از ابعاد شالوده است.

ب- نشست خاک زیر شالوده:

برای یک مقدار تنش مشخص q_0 وارد بر صفحه بارگذاری و شالوده روابط زیر بین مقادیر نشست برقرار است.

$$\text{خاک رس} \rightarrow S_F = S_p \cdot \frac{B_F}{B_p}$$

$$\rightarrow S_F = S_p \cdot \left(\frac{B_F}{B_p} \right)^2 \cdot \left(\frac{3.28B_p + 1}{3.28B_F + 1} \right)^2$$

در رابطه فوق:

S_p : نشست صفحه بارگذاری

S_F : نشست شالوده

B_F : عرض شالوده

B_p : عرض صفحه بارگذاری

۱-۳-۶-۱- تاثیر حباب تنش بر نتایج بدست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه

فرض اساسی در آزمایش بارگذاری صفحه این است که سطح آب زیرزمینی و جنس خاک که در حباب تنش پی اصلی قرار می گیرد، با صفحه بارگذاری یکسان است که این فرض ممکن است برقرار نباشد.

پس اگر وضعیت خاک در حباب تنش پی اصلی با صفحه بارگذاری مشابه نباشد، نمی توان به نتایج آزمایش بارگذاری صفحه اطمینان کافی داشت.

۱-۳-۴-۱- آزمایش برش پره ای

آزمایش برش پره (VST) روش اصلی مورد استفاده در تخمین مقاومت برشی زهکشی نشده در جای نهشته های بسیار نرم، حساس و ریزدانه است. نتیجه حاصل از این آزمایش با نماد S_{uv} (مقاومت برشی زهکشی نشده آزمایش پره) نمایش داده می شود. روش انجام آزمایش:

برای انجام آزمایش ابتدا گمانه ای تا عمق مورد نظر حفر می شود. سپس میله دستگاه، که در یک انتهای آنها یک چهارپره (دو صفحه عمود بر هم) و در انتهای دیگران آن یک بازوی چرخاننده نصب شده است در حفره قرار می گیرد بطوریکه چهارپره بطور کامل در خاک واقع گردد در مرحله بعد دسته باز می شود و با سرعت ثابت بطوریکه با سرعت ۰/۱ درجه در ثانیه خاک را برش دهد به حرکت درمی آید و بدین ترتیب گشتاور پیچشی T که باعث چرخش چهارپره و در نهایت برش استوانه ای خاک می شود تعیین می گردد.

سطح برش یافته در خاک استوانه ای به ارتفاع h و شعاع R می باشد که معمولاً ارتفاع چهارپره $h = 4R$ می باشد. (قطرهای متداول ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی متر می باشد). با استفاده از این دستگاهها می توان مقدار چسبندگی را از ۰/۱ تا ۱ MPa و در کل مقاومت برشی را تا عمق ۶۰ متر اندازه گیری کرد.

• با اندازه گیری T لنگر پیچشی مقدار چسبندگی زهکشی نشده خاک در این آزمایش از رابطه زیر بدست می آید.

$$C_u = \frac{3}{28} \times \frac{T}{\pi R^3} \quad C_u \propto \frac{\pi}{R^3}$$

در رابطه فوق:

T: لنگر پیچشی مورد نیاز برای بریدن خاک

R: شعاع استوانه بریده شده خاک

• نتایج تحقیقات انجام شده نشان می دهد که برای بدست آوردن چسبندگی زهکشی نشده واقعی خاک بهتر است مقدار بدست آمده از آزمایش برش پره را بصورت زیر در یک ضریب اصلاحی λ ضرب نمود.

$$C_{u(d)} = \lambda \cdot C_u(v)$$

ضریب اصلاحی λ تابعی از دامنه خمیری PI است. رابطه زیر برای محاسبه λ بر حسب PI ارائه شده است.

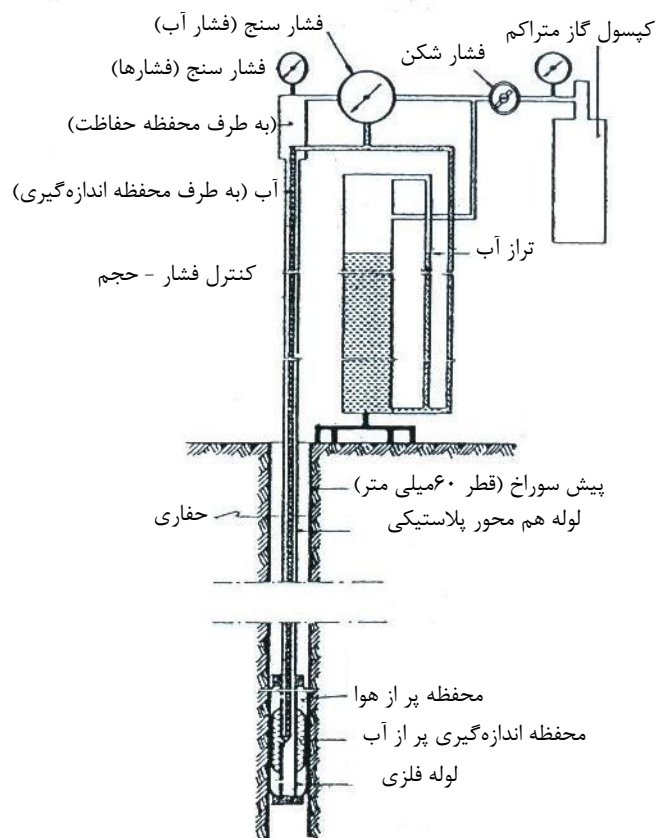
$$\lambda = 1/1 - 0/005 \times PI$$

نکته: چسبندگی زهکشی نشده بدست آمده از آزمایش برش پره (C_{uv}) دارای رابطه زیر با مقاومت فشاری تک محوره خاک می باشد.

$$C_{u(v)} = 2q_u$$

۱-۳-۵-۱- آزمایش پرسیمتری (PMT)

در این آزمایش، به کمک انبساط یک استوانه، خاک تحت بارگذاری سریع و مستقیم قرار می گیرد. تغییر شکلهای حاصله اندازه گیری می شود. با توجه به نحوه بارگذاری، نتایج حاصله مربوط به رفتار کوتاه مدت خاک است که بدون نیاز به تعیین پارامترهای مشخصه (C, ϕ) مستقیماً ظرفیت باربری آن قابل محاسبه است.



- آزمایش پرسویمتری در نهشته های رسوبی نسبتاً ریزدانه بهترین کاربرد را دارد.
- تنشهای ذکر شده در این آزمایش همگی تنش کامل بوده و اندازه گیری فشار منفذی در طول انجام آزمایش امکان پذیر نیست.
- مدول عکس العمل افقی خاک در محدوده شرایط سکون (k_v) تا رانش مقاوم (k_p) با استفاده از نتایج این آزمایش قابل اندازه گیری مستقیم است.

سوالات چهار گزینه‌ای تکمیلی فصل اول

- ۱- دلیل تصحیح عدد SPT در خاک‌های ماسه‌ای ریز یا ماسه‌ای سیلت دار و اشباع در خاک نسبتاً تراکم چیست؟
 - (۱) تغییر ساختار اولیه خاک در اثر ضربات
 - (۲) تابعیت عدد نفوذ استاندارد از سربار موثر
 - (۳) افزایش فشار حفره ای در خاک بر اثر ضربات
 - (۴) افزایش کاذب تعداد ضربات بعثت تراکم خاک
- ۲- خاکی با مشخصات D_r بین ۰/۸۵ - ۰/۶۵ و عدد نفوذ بین ۵۰ - ۳۰ و ϕ بین ۴۲ - ۳۵ درجه به طور کلی چگونه طبقه بندی می‌شود؟
 - (۱) خیلی سست
 - (۲) تراکم
 - (۳) سست
 - (۴) خیلی تراکم
- ۳- روش مناسب برای کنترل میزان تراکم اجرای خاکریز با ضخامت حداقل ۱۰ متر در زیر سطح آب زیرزمینی کدام است؟
 - (۱) آزمایش بارگذاری صفحه‌ای
 - (۲) آزمایش تراکم پروکتور
 - (۳) آزمایش پیزومتر استاتیک
 - (۴) آزمایش پیزومتر دینامیک
- ۴- در آزمایش CPT مخروط در عین نفوذ به یک لایه سست و لجنی برخورد نموده است در اینصورت:
 - (۱) سرعت نفوذ بیشتر شده و مخروط از طرف خاک مقاومت کمتری می‌بیند.
 - (۲) سرعت نفوذ توسط دستگاه ثابت مانده و مخروط از طرف خاک مقاومت کمتری می‌بیند.
 - (۳) سرعت نفوذ ثابت مانده و از طرف خاک مقاومت حاصل تغییر نمی‌کند.
 - (۴) هیچکدام
- ۵- آزمایش بارگذاری صفحه به ابعاد $30 \times 30 \text{ cm}$ بر روی یک خاک چسبنده رسی انجام شده و ظرفیت باربری نهائی برابر $2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ بدست آمده است. با فرض ضریب اطمینان ۳، تنش مجاز برای یک پی مربعی به ابعاد $15 \times 15 \text{ cm}$ بر روی همین خاک چقدر است؟
 - (۱) $1/33 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 - (۲) $0/67 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 - (۳) $3/33 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 - (۴) $10 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
- ۶- کدام گزینه در مورد آزمایش بارگذاری صفحه نیست؟
 - (۱) در خاکهای رسی ظرفیت باربری نهائی، مستقل از اندازه صفحه آزمایش است.
 - (۲) در خاکهای ماسه‌ای ظرفیت باربری برابر نیست عرض شالوده به عرض صفحه آزمایش است.
 - (۳) در خاکهای ماسه‌ای مقدار نشست با توان سوم عرض شالوده به عرض صفحه متناسب است.
 - (۴) در خاکهای رسی مقدار نشست با نسبت عرض شالوده به عرض صفحه متناسب است.
- ۷- چنانچه ابعاد یک پره برش را که قطر و ارتفاع آن با هم برابرند، دو برابر کنیم، طول بازوی آن باید چند برابر باشند تا نیروی لازم برای چرخاندن آن در یک رس اشباع تغییر نکند؟
 - (۱) $\frac{1}{8}$
 - (۲) $\frac{1}{4}$
 - (۳) ۴
 - (۴) ۸
- ۸- در آزمایش برش پره‌ای هر چه مقدار دانه خمیری (PI) کمتر شود مقدار ضریب اصلاح آزمایش
 - (۱) تغییری نمی‌کند.
 - (۲) بستگی به سطح آب زیرزمینی دارد.
 - (۳) کمتر می‌شود.
 - (۴) بیشتر می‌شود.
- ۹- اگر مقاومت برشی رسهای نرم اشباع را که با پره برش اندازه گیری می‌کنند با حرف A و مقاومت برشی واقعی این خاکها را در شرایط طبیعی با حرف B نشان دهیم کدام گزینه صحیح است؟
 - (۱) $A = B$
 - (۲) $A < B$
 - (۳) $A > B$ و تفاوت A و B بستگی به نسبت پوکی دارد.
 - (۴) $A > B$ و تفاوت A و B بستگی به شاخص خمیری (PI) دارد.
- ۱۰- در کدام حفاری از گل حفاری استفاده می‌شود؟
 - (۱) حفاری دستی
 - (۲) حفاری شستشوئی
 - (۳) حفاری دورانی
 - (۴) حفاری ضربه‌ای

پاسخ سؤالات چهار گزینه‌ای تکمیلی فصل اول

۱- گزینه ۳ صحیح است.

به توضیحات آزمایش مراجع شود.

۲- گزینه ۲ صحیح است.

به جداول مربوط به بخش ۱-۶-۱ مراجعه شود.

۳- گزینه ۳ صحیح است.

در خاکهای با ضخامت زیاد استفاده از آزمایشهای متعارف نظیر بارگذاری صفحه‌ای یا آزمایش تراکم کاربردی ندارد و به دلیل استهلاک انرژی کوبش توسط آب استفاده از پیرومتر دینامیک در زیر سطح آب زیرزمینی توصیه نمی‌شود.

۴- گزینه ۲ صحیح است.

در آزمایش CPT سرعت نفوذ همواره ثابت است.

۵- گزینه ۲ صحیح است.

$$q_u(F) = q_u(p) = 2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leftarrow \text{در خاکهای رسی}$$

$$q_{al}(F) = \frac{q_u(F)}{F.s} = \frac{2}{3} = 0.67 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

۶- گزینه ۳ صحیح است.

طبق روابط ارائه شده

۷- گزینه ۴ صحیح است.

طبق ارائه داریم:

$$T = c_u \pi o^2 \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right)$$

$$D \rightarrow 2D$$

$$H \rightarrow 2H \quad T_{(new)} = c_u \pi (2D)^2 \left(\frac{2H}{2} + \frac{2D}{6} \right)$$

$$T_N = 8 \times (C_u \pi D^2 \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right))$$

$$T_N = 8T = 8.F.L$$

گشتاور لازم ۸ برابر می‌شود، لذا طول بازو باید ۸ برابر شود.

۸- گزینه ۴ صحیح است.

۹- گزینه ۴ صحیح است.

داریم:

$$C_u(d) = \lambda.C_u(V) \rightarrow B = \lambda.A$$

از طرفی داریم $\lambda = f(PI)$ و در خاکهای رسی $PI > 20$ پس $\lambda < 1$

$$\rightarrow B < A$$

۱۰- گزینه ۳ صحیح است.

پی‌های سطحی

عناوین اصلی

- ❖ مقدمه
- ❖ پی‌های سطحی
- ❖ ظرفیت باربری پی‌های سطحی
- ❖ ظرفیت باربری نهائی شالوده‌ها
- ❖ کنترل تنش برای طرح سازه‌ای پی
- ❖ کلاف (شناژ)
- ❖ طراحی ابعاد شالوده‌های مرکب
- ❖ نشست شالوده‌ها

فصل دوم

پی‌های سطحی

۲-۱- مقدمه

مجموعه بخشهایی از سازه و خاک در تماس با آن که انتقال بار بین سازه و زمین از طرف آن صورت می‌پذیرد «پی» نامیده می‌شود همچنین شالوده عضو بتنی است که در زیر ستون یا دیوار قرار دارد و بار را به زمین منتقل می‌کند. یک شالوده سطحی وقتی دارای عملکرد صحیح است که دو شرط زیر را برآورده نماید:

الف) گسیختگی برشی در خاک زیر شالوده (پی) رخ ندهد.

ب) نشست‌های بیشتر از مقدار مجاز در زیر شالوده رخ ندهد. مقدار نشست مجاز یک کمیت نسبی است، زیرا مقدار آن برای یک سازه بخصوص بستگی به عوامل و شرایط گوناگون دارد.

بطور کلی پی‌ها را می‌توان به چند گروه عمده تقسیم کرد و نوع آنها بر حسب ابعاد مهندسی پی تعیین می‌شود.

۱- پی‌های سطحی - مانند شالوده‌های سطحی

۲- پی‌های عمیق - مانند شمعها

۳- پی‌های نیمه عمیق - مانند پی‌های صندوقچه‌ای

۴- پی‌های ویژه - مانند مهارها و ستون‌های شنی

تقسیم بندی پی‌ها بر حسب نسبت D/B صورت می‌پذیرد.

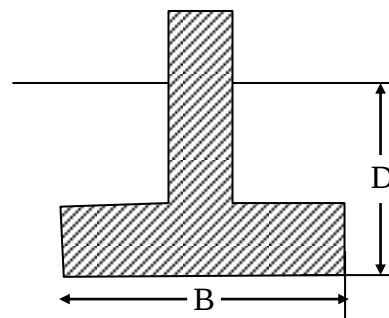
D : عمق شالوده

B : عرض شالوده

h : ارتفاع پی

که داریم:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{D}{B} \leq 4 \rightarrow & \text{پی سطحی} \\ 4 < \frac{D}{B} \leq 10 \rightarrow & \text{پی نیمه عمیق} \\ \frac{D}{B} > 10 \rightarrow & \text{پی عمیق} \end{array} \right.$$



۲-۲- پی‌های سطحی

پی‌هایی هستند که در عمق کم و نزدیک سطح زمین اجرا می‌شوند و بارهای سازه‌ای را به زمین منتقل می‌کنند. نسبت عمق به عرض پی‌های سطحی کم می‌باشد. $(\frac{D}{B} \leq 4)$.

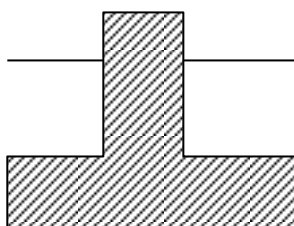
عملکرد شالوده‌ها امکان دارد به صورت تکی و یا مرکب باشد شالوده ای که تحت بار یک ستون یا دیوار قرار دارد و جسم آن نسبتاً صلب است

شالوده با عملکرد تکی خوانده می‌شود. اگر شالوده‌های تکی نزدیک به هم باشند می‌توانند به یکدیگر پیوسته شوند و به صورت شالوده مرکب کار کنند. شالوده‌های مرکب تحت بار چند ستون یا دیوار قرار دارند پی‌های سطحی از نظر شکل به چند دسته عمده تقسیم می‌شوند:

- ۱- پی منفرد
- ۲- پی دو ستونی
- ۳- پی نواری
- ۴- پی شبکه ای
- ۵- پی گسترده
- ۶- پی پوسته ای

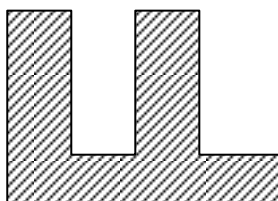
۲-۲-۱- شالوده‌های منفرد

شالوده‌های منفرد تحت بار یک ستون قرار دارند و معمولاً شامل یک دال دایره ای یا مربعی یا مستطیلی با ارتفاع مشخص می‌باشند. ارتفاع شالوده منفرد می‌تواند متغیر باشد و این شالوده‌ها به صورت تکی عمل می‌کنند.



۲-۲-۲- شالوده‌های دو ستونی

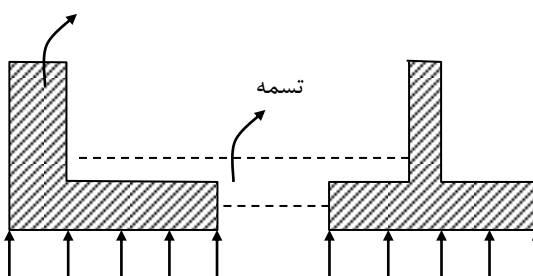
این شالوده‌ها بار دو ستون مجاور را تحمل می‌کنند. اگر دو ستون نزدیک به هم باشند این نوع شالوده‌ها مناسب می‌باشند. به عنوان نمونه شالوده ستون‌های مجاور ساختمان همسایه را نمی‌توان به صورت یک ستون مرکزی بر روی شالوده منفرد قرار داد. در این حالت استفاده از شالوده‌های دو ستونی مفید می‌باشد.



نکته مهم در طراحی این شالوده‌ها این است که مرکز هندسی آنها در نقطه اثر برآیند بارهای وارد منطبق باشد. گاهی برای مقابله با خروج از مرکزیت ستون کناری، شالوده آنرا توسط یک تیر قوی به نزدیکترین شالوده داخلی متصل می‌کنند. این نوع شالوده را شالوده با سکولی یا تسمه ای گویند.

این پی‌ها به صورتی طراحی می‌شوند، که تسمه به صورت صلب برای جلوگیری از چرخش پی عمل کند. همچنین تسمه در تماس با خاک زیر پی نباشد و یا خاک زیر تسمه سست باشد و البته لازم است فشار خاک زیر هر دو پی یکنواخت باشد و عرض پی‌ها یکسان باشد. برای اینکار لازم است مرکز هندسی سطح تماس دو شالوده به منطق بر محل بر آیند. نیروی محوری ستون‌ها باشد.

پی با خروج از مرکزیت محوری



نکته: تیر تسمه برای اینکه بتواند از کج شدن شالوده کناری جلوگیری کند، می بایست دارای ممان اینرسی حداقل برابر آن باشد.

نکته: برای طراحی دقیق تر، وزن تیر تسمه به بار محوری ستون ها اضافه می شود.

۲-۲-۳- شالوده های نواری

نسبت طول به عرض این شالوده ها بزرگ است ($\frac{L}{B} > 10$) این شالوده ها تحت بار دیوار و یا ستون های یک ردیف قرار دارند اگر ستون های یک ردیف در فاصله نزدیک به هم قرار داشته باشند و بار آنها زیاد باشد، شالوده های نواری بر روی آنها نسبت به شالوده های منفرد اقتصادی تر می باشد (به دلیل هزینه های قالب بندی)

شالوده های نواری که زیر دیواره های باربر و ... قرار دارند بصورت تکی عمل می کنند ولی اگر تحت بار ستونهای یک ردیف باشند عملکرد آنها مثل شالوده های مرکب است. پس شالوده های نواری از لحاظ عملکرد به دو دسته با عملکرد تکی و مرکب تقسیم می شوند.

۲-۲-۴- شالوده شبکه ای

اگر شالوده ستونهای یک ردیف در هم ادغام شود شالوده بصورت نواری دو طرفه عمود بر هم ایجاد شود شالوده شبکه ای بوجود می آید. شالوده شبکه ای بصورت مرکب عمل می کند.

پلان شالوده های منفرد با عملکرد تکی با کلاف شباهت ظاهری زیاد به پلان شالوده شبکه ای دارد اما از لحاظ عملکرد متفاوت هستند.

۲-۲-۵- شالوده های گسترده:

اگر زمین زیر پی سست باشد یا فواصل ستونها در امتداد طولی و عرضی ساختمان کم باشد، از شالوده گسترده استفاده می شود.

این شالوده شامل یک دال یکپارچه است و تحت تمام بارهای ناشی از ستونها و دیوارها قرار دارد.

شالوده گسترده موجب توزیع نسبتاً یکنواخت تنش و جلوگیری از تمرکز آن زیر بارهای سنگین و موضعی می گردد لذا در کاهش نشست غیر یکنواخت بسیار موثر است.

روش طراحی شالوده گسترده بستگی به صلبیت خمشی آنها دارد. اگر شالوده صلب باشد طراحی آن بسیار ساده تر از شالوده انعطاف پذیر است زیرا تعیین توزیع تنش در کف شالوده انعطاف پذیر مشکل است.

برای ایجاد صلبیت خمشی در شالوده های گسترده می توان از میلگردهای خمشی و تیرهای افقی در دو امتدادها و بر هم استفاده کرد.

ضخامت شالوده های گسترده برای ساختمانهای معمولی بین ۰/۴ تا ۰/۸ متر است که در ساختمانهای بلند تا ۲ متر و بیشتر نیز می رسد.

۲-۲-۶- شالوده های پوسته ای:

اساس این نوع پی ها آنست که بار سازه را به سبب شکل خود به زمین منتقل می کند نه به سبب جرم و حجم

طراحی و ساخت این پی ها مشکل است و معمولاً بعنوان پی برجهای خیلی بلند مانند برجهای رادیو و تلویزیون یا برجهای خنک کننده بکار می روند.

۲-۲-۷- عوامل موثر در انتخاب نوعی پی

۱- نوع خاک زیر پی (هر چقدر خاک سست تر، ابعاد پی بزرگتر)

۲- نوع و میزان بار وارده بر سازه (بار بیشتر، شالوده گسترده تر)

۳- سطح آب زیر زمینی (سطح آب زیرزمین بالا، شالوده گسترده به دلیل وجود زیر فشار حفره ای)

۴- بارگذاری زلزله

۵- مسائل اقتصادی

۶- شرایط جوی

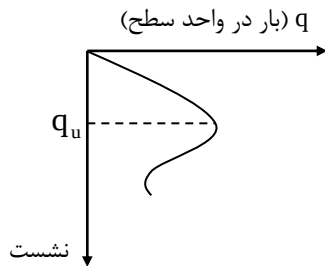
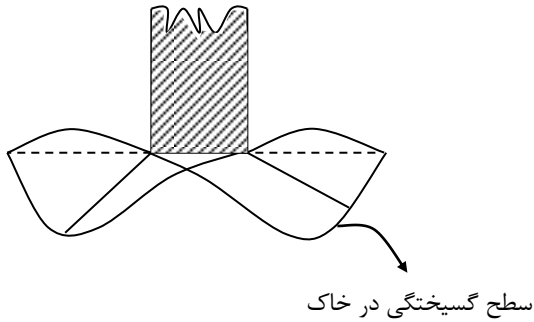
نکته: لازم است که پی در عمقی بیشتر از عمق یخبندان قرار گیرد.

۲-۳- ظرفیت باربری پی های سطحی

مقاومت برشی خاک در برابر گسیختگی برشی کامل در مجموعه ای از نقاط خاک زیر شالوده، ظرفیت باربری پی گویند که تابعی از پارامترهای مکانیکی خاک، به شکل پی و نحوه بارگذاری می باشد.

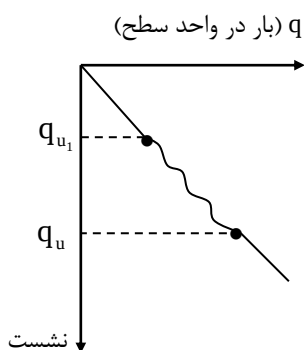
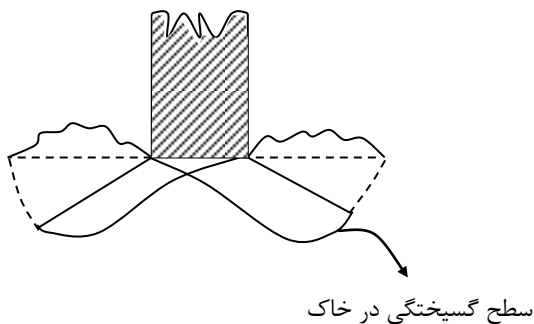
۲-۳-۱- انواع گسیختگی در خاک زیر شالوده

۱- **گسیختگی در اثر برش کلی:** مکانیزم ها گسیختگی در برش کلی به این صورت است که تا قبل از رسیدن سربار به مقدار نهایی (q_u) مقدار نشست بسیار کم است اما به محض رسیدن سربار به مقدار نهائی (ظرفیت باربری)، ناگهان نشست زیاد شده و گسیختگی روی می دهد.



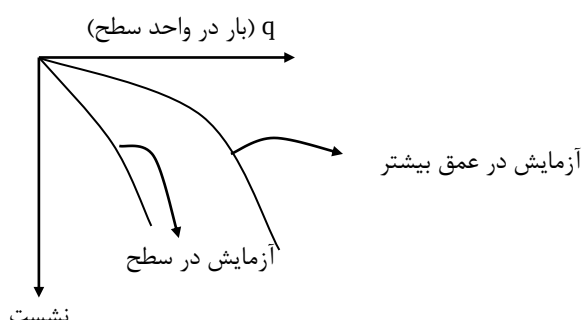
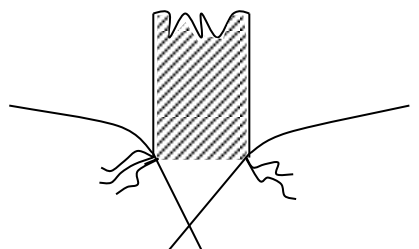
نکته: گسیختگی در اثر برش کلی در خاکهای ماسه ای متراکم و یا رس سخت روی می دهد و در خاکهای بسیار سست امکان روی دادن ندارد.

۲- گسیختگی در اثر برش موضعی: گسیختگی در اثر برش موضعی مشابه حالت برش کلی است با این تفاوت که در این حالت قبل از اینکه منحنی گسیختگی به طور کامل تشکیل گردد، گسیختگی بوقوع می پیوندد. خصوصیات گسیختگی در اثر برش موضعی به این صورت است که حتی قبل از رسیدن سربار به مقدار نهائی خود، مقدار نشست زیاد است (تا نقطه q_{u1}) از این به بعد برای اینکه سطح گسیختگی به سطح زمین توسعه یابد، احتیاج به نشست زیادی می باشد فشار شالوده در لحظه ای که سطح گسیختگی به سطح زمین می رسد (q_u) ظرفیت باربری نهائی خوانده می شود. بعد از این نقطه هر افزایش دربار همراه با افزایش شدید نشست در شالوده همراه است.



نکته: گسیختگی در اثر برش موضعی در خاک های ماسه ای با تراکم کم و متوسط یا در خاکهای رسی با سختی متوسط و کم بر در می کند.

۳- گسیختگی در اثر برش سوراخ کننده: مکانیزم گسیختگی در این حالت کاملاً با دو حالت قبل متفاوت است. در این حالت منحنی گسیختگی سریعاً شکل می گیرد و گوئه مثلی از خاک زیر شالوده تشکیل می شد که همراه با شالوده نشست می کند. در این نوع گسیختگی شیب منحنی بار نشست بسیار تندتر است و حرکت قائم شالوده در ابتدا قابل ملاحظه است.

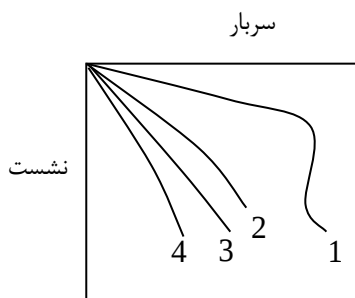


نکته: در این نوع گسیختگی، گسیختگی به سطح زمین توسعه نمی یابد.

نکته: گسیختگی در اثر برش سوراخ کننده فقط در خاکهای ماسه ای بسیار سست و رس نرم بروز می دهد.

نکته: معمولاً ساختمان بر روی ماسه بسیار سست و یا خاک رس نرم واقع نمی گردد گسیختگی در اثر برش سوراخ کننده بسیار نادر است و معمولاً گسیختگی در اثر برش کلی بوجود می آید.

نکته: تشخیص حالت گسیختگی از روی شکل منحنی (سربار - نشست)



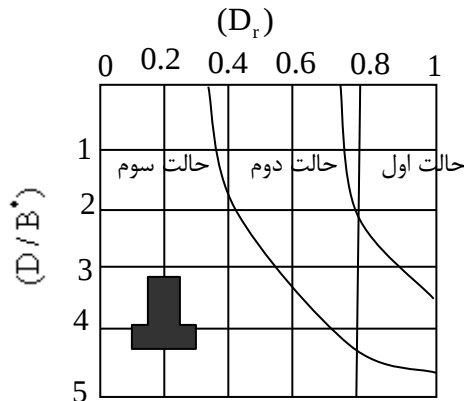
۱- گسیختگی برش کلی

۲- گسیختگی برش موضعی

۳-۴- گسیختگی برش سوراخ کننده

نکته: چگالی نسبی خاک ۴ از همه خاک های دیگر کمتر است.

۲-۳-۲- تاثیر عمق پی و دانسیته نسبی بر طبیعت گسیختگی برشی شالوده های سطحی در خاک های ماسه ای با توجه به مطالعات تجربی، و سیک رابطه ای را برای نوع گسیختگی برشی در شالوده های متکی بر ماسه پیشنهاد کرد. این موضوع در شکل روبرو نشان داده شده است.



D_r : تراکم نسبی ماسه
 D : عمق شالوده
 B : عرض شالوده
 L : طول شالوده ($L > B$)

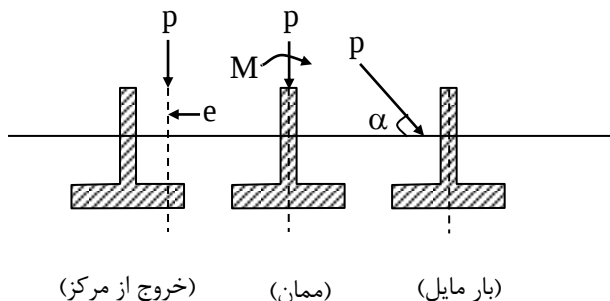
$$B^* = \frac{2BL}{B+L}$$

آنچه مهم است نتایج استنباطی از نمودار فوق است. این نتایج بدین شرح می باشد.

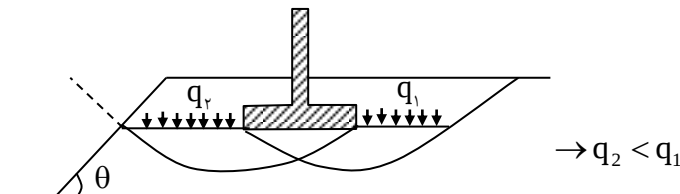
- ۱- برای خاک ماسه ای با $D_r \leq 0.4$ (شُل) گسیختگی از نوع سوراخ کننده و با افزایش عمق تغییر نمی کند.
- ۲- برای خاک ماسه ای با $0.4 \leq D_r \leq 0.6$ (متوسط) در عمق های کم گسیختگی برشی - در عمق های زیاد گسیختگی سوراخ کننده
- ۳- برای خاک ماسه ای با $D_r \geq 0.7$ (متراکم) بسته به عمق پی هر سه حالت گسیختگی می تواند روی دهد.

۲-۳-۳- بررسی اثر چند عامل بر ظرفیت باربری پی های سطحی

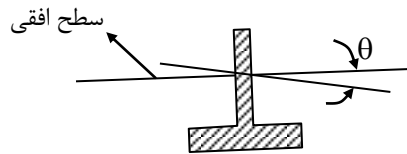
- ۱- تاثیر عمق پی: با نفوذ کردن پی در عمق، تنش موثر در سطح گسیختگی و در نتیجه مقاومت برشی در آن سطح افزایش می یابد. افزایش مقاومت برشی ظرفیت باربری پی را زیاد می کند.
- ۲- تاثیر خروج از مرکزی و امتداد بار: اگر پی سطحی تحت اثر لنگر خمشی یا بار خارج از مرکز قرار گیرد توزیع تنش در زیر آن غیر یکنواخت گشته و ظرفیت باری آن کاهش می یابد. هر چه مقدار ممان یا خروج از مرکزی بیشتر باشد کاهش ظرفیت باربری بیشتر می شود.



- اعمال بار به صورت مایل و افقی باعث می شود که منطقه گسیختگی فقط در یک طرف گسترش یابد و در نتیجه ظرفیت باربری کاهش خواهد یافت و هرچه زاویه میل بار (α) بیشتر باشد ظرفیت باربری کاهش بیشتری خواهد داشت.
- ۳- تاثیر قرارگیری پی در کنار شیب: به علت کاهش تنش موثر (سربار) و طول سطح گسیختگی در طرف شیب ظرفیت باربری کاهش می یابد و افزایش زاویه θ موجب کاهش بیشتر ظرفیت باربری می شود.



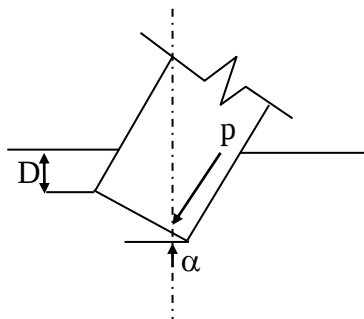
۴- تاثیر مایل بودن بستر پی: به علت کاهش سربار در یک سمت (در اینجا سمت چپ پی) ظرفیت باربری پی کاهش می یابد و افزایش زاویه θ موجب کاهش بیشتر ظرفیت باربری می شود.



۵- تاثیر سطح آب زیرزمینی: هرچه درصد بیشتری در سطح گوه گسیختگی در زیر آب قرار گیرد، به علت کاهش تنش موثر ناشی از فشار آب به حفره ای مقاومت برشی آن و در نتیجه ظرفیت باربری کاهش می یابد. تغییرات سطح آب زیرزمینی در زیر سطح گسیختگی، اثری بر مقدار ظرفیت باربری نخواهد داشت، چرا که موجب تغییری در تنش موثر سطح گسیختگی نخواهد شد. تاثیر سطح آب زیرزمینی در بخشهای بعدی توضیح بیشتر داده می شود.

۶- اثر شیب کف شالوده: به علت کاهش عمق پی (فاصله زمین از لبه یکطرفه) خطوط لغزش در این ناحیه متمرکز شده و ظرفیت باربری کاهش می یابد.

هرچقدر مقدار α افزایش یابد ظرفیت باربری کاهش بیشتری دارد



۲-۴- ظرفیت باربری نهائی شالوده‌ها

محققین پیشنهادات مختلفی جهت تعیین ظرفیت باربری شالوده‌ها ارائه کرده اند. علت تفاوت این پیشنهادات عمدتاً ناشی از تفاوت در منحنی گسیختگی فرض شده است. اشخاص چون رانکین (۱۸۸۵)، پراندت (۱۹۲۱)، ترزاتی (۱۹۴۳)، میرهوف (۱۹۵۱) و هانس (۱۹۲۵) با ارائه روابط تئوریک و کاربردی در این زمینه کارهای فراوانی انجام داده اند. با صرفنظر از ارائه روابط و نظریه های تئوریک در این بخش به بررسی روابط اصولی مهندسی و کاربردی می پردازیم.

۲-۴-۱- آنالیز ترزاقی

اساسی آنالیز ترزاقی عبارتست از تعیین ظرفیت باربری یک پی نواری تحت بار قائم بر روی خاک همگن همسان با استفاده از تعادل خمیری.

الف) فرضیات نظریه ترزاقی

۱- کف شالوده زبر می باشد.

۲- عمق شالوده کوچکتر مساوی عرض شالوده است.

۳- مقاومت برشی خاک بالای تراز کف شالوده قابل صرفنظر کردن است.

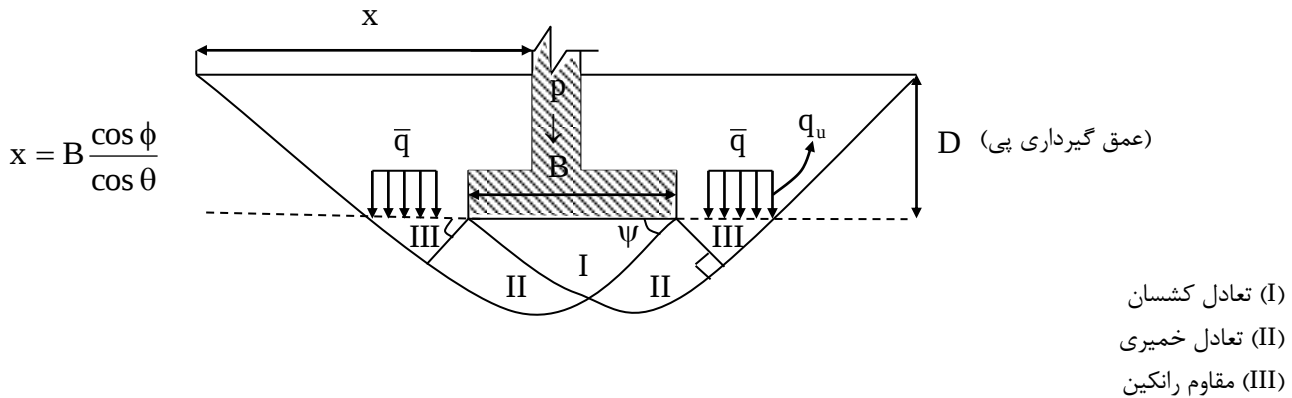
۴- طول شالوده زیاد (نواری) است.

۵- خاک بالای تراز کف شالوده با فشار یکنواخت γD جایگزین می شود.

۶- بار وارده به شالوده قائم بوده و بصورت یکنواخت توزیع شده است.

۷- مقاومت برشی خاک زیر شالوده تابع معیار گسیختگی (موهر - کلمب) است.

۸- ترزاقی $\phi = \psi$ را فرض کرد.



به دلیل زبر بودن کف شالوده، گوه مثلثی تغییر شکل جانبی چندانی نخواهد داشت. این گوه همواره در حالت تعادل کشسان باقی می ماند. منحنی گسیختگی به شکل حلزونی لگاریتمی است و در حالت $\phi = 0$ به شکل قوسی از دایره در می آید.

(ب) روابط آنالیز ترازقی

ایشان این فرض را انجام دادند. $\psi = \phi$

$q_u = 0.5\gamma B N_\gamma + \gamma D N_q + C N_c$ برای پی‌های نواری

اثر عرض شالوده اثر جسیبندگی اثر عمق گیرداری

$$q_u = 0.4\gamma BN_\gamma + 1.3CN_c$$

برای ی‌های مربعی

$$q_u = 0.3\gamma B N_\gamma + \gamma D N_q + 1.3 C N_c$$

برای پهنای دایره ای

در این روابط N_c, N_γ, N_q ضرائب ظرفیت باربری هستند که فقط تابع ϕ می‌باشد. از ارائه روابط صرف نظر می‌شود. q_u ظرفیت باربری نهائی می‌باشد.

در خاکهای تراکم پذیر (نشست زیاد) در محاسبه ظرفیت باربری از C و ϕ جایگزین استفاده می شود.

$$\phi^* = \frac{2}{3}\phi \qquad c^* = \frac{2}{3}c$$

در خاک های چسبنده ($\phi = 0$) داریم:

$$N_\gamma = 0 \quad N_g = 1 \quad N_c = 5.14$$

نقص آنالیز ترزاقی، عدم توانایی در تعیین ظرفیت باربری پی‌ها با هندسه و سربارهای مختلف است.

٢-٤-٢- آنالیز مایه هوف

اساس آنالیز مایه‌هوف بر اساس تکمیل و اصلاح رابطه ترزاقی برای پی‌های سطحی ارائه شده و قادر است که برخی از محدودیت‌های نظریه ترزاقی را برطرف کند.

الف) محدودیت های رابطه ترزاقی که مایر هوف بر طرف کرد.

۱- وقتی عمق یه بزرگتر از عرض آن است ($D > B$) نیز قابل استفاده است.

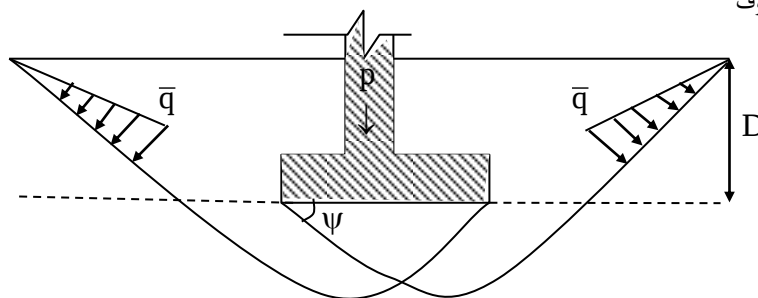
۲- مقاومت برشی خاک در بالای تراز کف پی در نظر می گیرد.

۳- برای شالوده‌های مستطیلی نیز بکار می‌رود.

۴- حالت بارگذاری مایل را نیز در نظر می گیرد.

مایر هوف منحنی گسیختگی خاک را مشابه ترزاقی فرض کرد با این تفاوت که سطوح گسیختگی را تا سطح زمین ادامه داد.

(ب) روابط آنالیز مایر هوف



$$\psi \approx \frac{\phi}{2} + 45^\circ$$

$$q_u = 0.5\gamma B N_\gamma (S_y \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma) + \gamma D N_q (S_q \cdot d_q \cdot i_q) + C N_c (s_c \cdot d_c \cdot i_c)$$

در این روابط:

S : مراتب شکل پی ← که تابعی از $(k_p, \frac{B}{L})$

d : ضرائب عمق پی ← که تابعی از $(k_p, \frac{D}{B})$

i : ضرائب شیب بار ← که تابعی از زاویه شیب بار وارده و ϕ

۲-۴-۳- آنالیز هانسن

اساس آنالیز هانسن اینگونه است که منحنی گسیختگی را مثل منحنی گسیختگی ترزاقی فرض می کند با این تفاوت که هانسن در هنگام

تعیین ضرائب ظرفیت باربری، مقدار بحرانی α را برای تعیین N_c, N_q برابر با $\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$ بدست می آید ولی در تعیین α بحرانی برای

محاسبه N_γ اختلاف نظر بسیاری وجود دارد.

الف) روابط آنالیز هانسن

$$\phi = \frac{\phi}{2} + 45^\circ$$

$$q_u = 0.5\gamma B N_\gamma (s_\gamma d_\gamma b_\gamma i_\gamma) + \gamma D N_q (s_q d_q g_q b_q i_q) + C N_c (s_c d_c g_c b_c i_c)$$

در این روابط:

g : ضرائب تاثیر شیب سطح زمین ← تابعی از شیب سطح زمین (β)

b : ضرائب تاثیر شیب کف پی ← تابعی از شیب کف پی (α)

(ب) نکاتی در مورد جملات فرمول ظرفیت باربری

مقدار جمله چسبندگی ($C N_c$) در فرمول ظرفیت باربری برای خاکهای چسبنده بیشتر از سایر جملات است.

مقدار جمله ($\gamma D N_q$) در فرمول ظرفیت باربری برای خاکهای دانه ای بیشتر از سایر جملات است.

جمله عرض شالوده ($\frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$) تاثیر کمی در ظرفیت باربری دارد.

وقتی عرض شالوده کمتر از ۲ الی ۳ متر باشد جمله عرض شالوده قابل صرف نظر است.

نکته: در محدوده $D \leq B$ مقادیر ظرفیت باربری حاصل از روابط ترزاقی و مایر هوف به هم نزدیک هستند ولی برای مقادیر

بزرگتر $\frac{D}{B}$ اختلاف حاصله قابل ملاحظه می باشد.

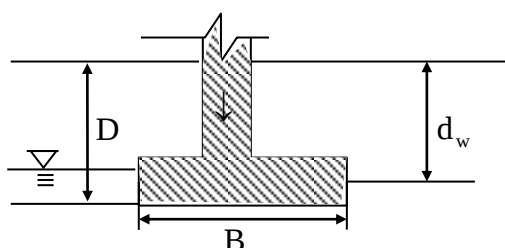
۲-۴-۴- اثر سطح آب زیرزمینی

(۱) آب روی ظرفیت باربری پی بی اثر است وقتی که:

$$d_w > D + \frac{B}{2} \cdot \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$

(۲) آب بر زیر پی اثر دارد وقتی که:

$$D < d_w < B + \frac{B}{2} \cdot \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$



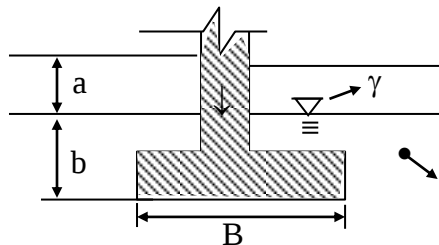
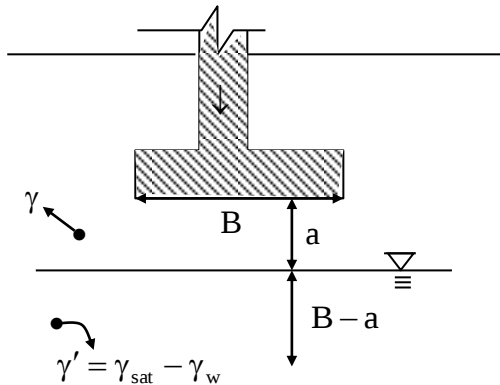
۳) آب بر تمام نقاط پی اثر دارد وقتیکه:

$$d_w < D$$

۲-۴-۱- تصحیح اثر سطح آب زیرزمینی

برای اینکار وزن مخصوص معادل خاک ($\bar{\gamma}$) را تعریف می‌کنیم.

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{a}{B}(\gamma - \gamma') \quad \text{رابطه (a)}$$



$$\bar{\gamma} = \frac{a\gamma + b\gamma'}{D} \quad \text{رابطه (b)}$$

روش اعمال تصحیح: در روابط ظرفیت باربری (q_u) می‌توانیم از $\bar{\gamma}$ رابطه (a) به جای γ در جمله اول و از $\bar{\gamma}$ رابطه (b) به جای γ در جمله اول و دوم استفاده کرد و در جمله دوم اگر سطح آب زیرزمینی بالای کف پی قرار گیرد، اثر سربار به جای $q = \gamma D$ به صورت زیر در می‌آید:

$$\bar{q} = a\gamma + b\gamma'$$

لازم به تذکر است که اصطلاحات گفته شده به شرطی است که هیچ گونه تراوش در آب وجود نداشته باشد و آب ساکن باشد.

۲-۴-۵- اثر لنگر در ظرفیت باربری پی‌ها

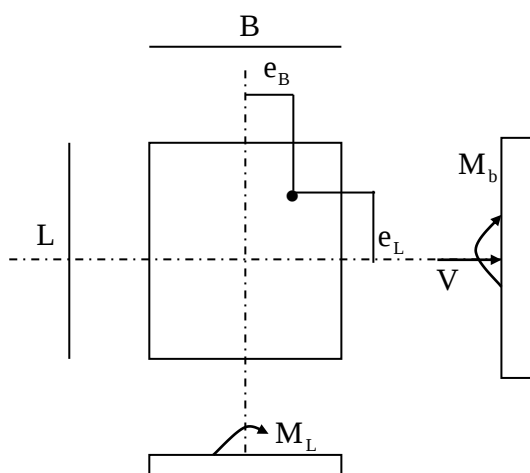
(۱) ظرفیت باربری شالوده‌ها با بار برون محوری (تأثیر لنگر خمشی):

اگر شالوده تحت اثر لنگر خمشی قرار گیرد ظرفیت باربری خاک مشابه حالت پی تحت اثر بار با خروج از مرکزیت محاسبه می‌شود.

$$e_B = \frac{M_L}{V}, \quad e_L = \frac{M_B}{V}$$

$$B' = B - 2e_B \quad \text{عرض موثر}$$

$$L' = L - 2e_L \quad \text{طول موثر}$$



جهت محاسبه ظرفیت باربری می‌توان از روابط مایرهورف یا هانس و ترزاقی استفاده کرد بدینصورت که به جای جمله $\frac{1}{2}B\gamma N_\gamma$ مقدار $\frac{1}{2}B'\gamma N_\gamma$ قرار داد و ضرایب شکل نیز بر حسب L', B' محاسبه شوند. ضمناً بار قائم نهایی از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$Q_u = q_u(B'.L')$$