به نام یکتا مهندس هستی

سری عمران

سخن مدیر تألیف

سپاس خداوند متعال را که در این سال‌ها لطف خود را از مؤسسه سری عمران دریغ نکرده و به ما انگیزه‌ای دو چندان داده است تا با **تولید کتاب‌ها و برگزاری کلاس‌های ویژه آزمون نظام مهندسی** و کارشناسی ارشد، قدمی هر چند کوچک برای موفقیت شما مهندسین عزیز بردارد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در آیین‌نامه‌های رسمی کشور (مقررات ملی ساختمان)، تصمیم گرفتیم که با تلاش شبانه‌روزی، فعالیت‌های مؤسسه سری عمران را در زمینه تولید کتاب و برگزاری کلاس‌های آزمون نظام مهندسی ارتقاء دهیم که خلاصه این فعالیت‌ها به شرح زیر است:

کتاب‌های ویژه آزمون نظام مهندسی

با تألیف **نسل جدید** کتاب‌های نظام مهندسی توسط اساتید برجسته و ممتاز، تلاش کرده‌ایم که مجموعه‌ای کم نقص در اختیار شما قرار گیرد. در این کتاب‌ها، ما به‌دنبال ویژگی‌های زیر بوده‌ایم:

۱- با بیانی ساده و روان، کلیه مفاهیم مورد نیاز را آموزش داده و در کنار آن درک و قضاوت مهندسی شما را افزایش دهیم.

۲- با توجه به ابهامات نسبتاً زیاد در آیین‌نامه‌های جدید، با حساسیت خاصی بندهای آیین‌نامه‌ها را شرح داده و سعی کرده‌ایم که کاربرد این بندها، با ارائه مثال‌های متنوع، کاملاً شفاف و واضح شوند.

۳- در یک فرایند سخت و دشوار، تست‌های آزمون سال‌های گذشته (از سال ۸۰ به بعد) را که بر مبنای آیین‌نامه‌های قدیم بوده است، با کمترین تغییر ممکن بر مبنای ویرایش جدید آیین‌نامه‌ها حل کرده و پاسخ تشریحی آنها را نیز با توضیحات کامل آورده‌ایم.

۴- با ارائه فهرست مطالب همراه با جزئیات کامل آن در ابتدای کتاب، عملاً به داوطلبان کمک کرده‌ایم تا در جلسه آزمون، سریعتر مطالب مورد نیاز خود را برای حل سؤالات پیدا کنند. همانطور که می‌دانید این آزمون به‌صورت کتاب باز (open book) برگزار می‌شود و با استفاده از این فهرست، می‌توانید در کوتاهترین زمان ممکن، مطلب مورد نیاز خود در کتاب را پیدا کنید.

کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی

استقبال فراوان و بی‌نظیر مهندسین عزیز از کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی و کارشناسی ارشد مؤسسه سری عمران در سال گذشته و همچنین نتایج درخشان قبولی شرکت‌کنندگان در این کلاس‌ها، باعث شد تا مؤسسه با بازنگری کلی، برنامه‌ریزی دقیق و هدفمندی را جهت برگزاری هر چه بهتر کلاس‌های آمادگی آزمون محاسبات و نظارت انجام دهد. شاخص‌ترین ویژگی این کلاس‌ها به شرح زیر است:

۱- تمامی مطالب مورد نیاز جهت آزمون نظام مهندسی، توسط اساتید برجسته کشور، به‌طور کامل تدریس می‌شوند و شیوه تدریس اساتید به‌گونه‌ای است که شما می‌توانید در کمترین زمان ممکن، به مطالب احاطه پیدا کنید.

۲- با آموزش نکات و مفاهیم تستی برای پاسخ‌دهی سریع به سؤالات، عملاً یک گام جلوتر از سایر داوطلبین هستید.

۳- با حل کلیه تست‌های آزمون‌های نظام‌مهندسی سالیان گذشته و همچنین حل تست‌های تألیفی مکمل، دید بسیار خوبی از نحوه طرح سؤال در آزمون پیدا می‌کنید.

قابل ذکر است که جهت کسب اطلاعات بیشتر از کلاس‌ها و کتاب‌های مؤسسه سری عمران می‌توانید به سایت **www.serieomran.com** مراجعه نمایید.

امید است که تلاش مؤسسه سری عمران مورد قبول مهندسان گرامی قرار گیرد. ارائه پیشنهادهای سازنده شما دوستان و همراهان گرامی، مجموعه را بهتر و پربارتر کرده و ما را که به دنبال کیفیت برتر هستیم یاری می‌کند.

به یادتان هستیم، به یادمان باشید

محمد آهنگر

فهرست

مکانیک خاک و مهندسی پی
مؤسسه انتشارات سری عمران قلم‌داور

پیش فصل: یادآوری از مکانیک خاک
تست‌های پیش فصل ۱۶

فصل اول: پی‌های سطحی

بخش اول: تئوری پی‌های سطحی ۲۲
A-۱- مقدمه‌ای بر پی‌های سطحی ۲۲
A-۲- محاسبه ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۲۳
A-۳- محاسبه ظرفیت باربری پی‌های سطحی در برخی حالات خاص ۲۷
A-۴- پی‌های سطحی مرکب ۳۳
بخش دوم: مباحث آیین‌نامه‌ای پی‌های سطحی ۳۷
B-۱- ملاحظات ظرفیت باربری خاک و نشست مجاز پی ۳۷
B-۲- اصول طراحی پی‌های سطحی با روش‌های تنش مجاز و حد نهایی (حالت حدی) ۳۸
B-۳- نکات و موارد تکمیلی پی‌های سطحی در آیین‌نامه ۵۲
B-۴- مباحث آیین‌نامه‌ای سازه پی‌های سطحی (منطبق بر مبحث نهم) ۵۸
تست‌های فصل اول ۶۷

فصل دوم: فشارهای جانبی، سازه‌های نگهبان و دیوارهای حائل

بخش اول: تئوری فشارهای جانبی، سازه‌های نگهبان و دیوارهای حائل ۸۰
A-۱- انواع سازه‌های نگهبان ۸۰
A-۲- محاسبه فشار جانبی خاک در حالت‌های مختلف ۸۳
A-۳- بررسی تئوری رانکین در محاسبه فشار جانبی وارد بر دیوارهای حائل ۸۸
بخش دوم: مباحث آیین‌نامه‌ای فشارهای جانبی، سازه‌های نگهبان و دیوارهای حائل ۹۶
B-۱- طراحی و کنترل دیوارهای حائل وزنی ۹۶
B-۲- طراحی و کنترل سپرگونه‌ها ۱۰۵
B-۳- مباحث تکمیلی فشارهای جانبی و سازه‌های نگهبان در آیین‌نامه ۱۱۰
تست‌های فصل دوم ۱۲۱

فصل سوم: گودبرداری و پایش

بخش اول: تئوری گودبرداری‌ها و پایداری ترانشه‌ها ۱۳۰
A-۱- محاسبات پایداری گودبرداری‌ها ۱۳۰
A-۲- مفهوم ضریب پایداری ترانشه‌های خاکی (N_s) ۱۳۱
بخش دوم: مباحث آیین‌نامه‌ای گودبرداری و پایش ۱۳۳
B-۱- آماده‌سازی و تسطیح زمین ۱۳۳
B-۲- الزامات گودبرداری‌ها از نگاه آیین‌نامه ۱۳۴
B-۳- پایش و کنترل ۱۴۰
تست‌های فصل سوم ۱۴۱

فصل چهارم: پی‌های عمیق

بخش اول: تئوری پی‌های عمیق ۱۵۰

A-۱-دلایل کاربرد پی‌های عمیق ۱۵۰
A-۲-انواع شمع ۱۵۱
A-۳- محاسبه ظرفیت باربری محوری شمع‌ها با استفاده از روابط تحلیلی ۱۵۳
A-۴-محاسبه ظرفیت باربری کششی شمع‌ها با استفاده از روابط تحلیلی ۱۵۸
A-۵-گروه شمع ۱۵۹

بخش دوم: مباحث آیین‌نامه‌ای پی‌های عمیق ۱۶۱

B-۱-کنترل ظرفیت باربری فشاری شمع‌ها ۱۶۱
B-۲-کنترل ظرفیت باربری کششی شمع‌ها ۱۶۴
B-۳-کنترل ظرفیت باربری جانبی شمع ۱۶۷
B-۴-مباحث تکمیلی شمع‌ها در آیین‌نامه ۱۶۸
تست‌های فصل چهارم ۱۷۶

فصل پنجم: مطالعات اکتشافی و آزمایش‌های میدانی

بخش اول: تئوری مطالعات اکتشافی و آزمایش‌های میدانی ۱۸۲

A-۱-آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) ۱۸۲
A-۲-آزمایش نفوذ مخروط (CPT) ۱۸۴
A-۳-آزمایش برش پره (VST) ۱۸۵
A-۴-آزمایش پرسیومتری (PMT) ۱۸۶
A-۵-آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) ۱۸۷

بخش دوم: مباحث آیین‌نامه‌ای مطالعات اکتشافی و آزمایش‌های میدانی ۱۸۸

B-۱-شرایط نیاز به انجام عملیات شناسایی ۱۸۸
B-۲- تعیین فاصله گمانه‌های لازم جهت انجام عملیات شناسایی ۱۸۹
B-۳- تعیین تعداد گمانه‌های لازم جهت انجام عملیات شناسایی ۱۸۹
B-۴- تعیین عمق گمانه‌ها ۱۹۲
B-۵- حفاری و نمونه‌برداری از خاک ۱۹۵
تست‌های فصل پنجم ۱۹۶
آزمون‌های نظام مهندسی سال ۹۴ (بهمن) ۲۰۱

پی‌سازی یکی از شاخه‌های اصلی علم ژئوتکنیک می‌باشد که ارتباط تنگاتنگی با مباحثی از قبیل تنش مؤثر، نشست آنی و تحکیم و همچنین مقاومت برشی خاک دارد. به همین منظور پیش از وارد شدن به مباحث پی‌سازی، مطالب موردنیاز از مکانیک خاک را در قالب «۱۵ نکتهٔ مفید و کاربردی» ارائه می‌کنیم:

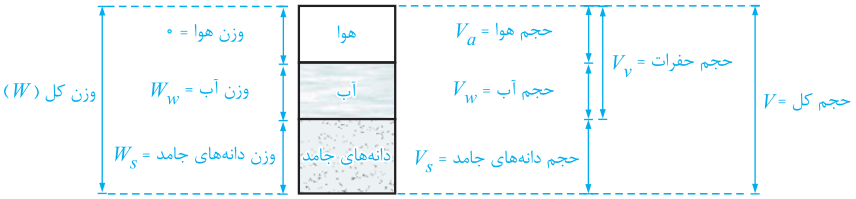
۱- خاک‌ها براساس اندازهٔ دانه‌های جامدشان و نیز رفتارشان در برابر رطوبت به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) طبقه‌بندی براساس اندازهٔ دانه‌های جامد خاک
- درشت دانه‌ها
  - شن
  - ماسه
- ریز دانه‌ها
  - لای
  - رس

ب) طبقه‌بندی براساس رفتار خاک در برابر رطوبت
- دانه‌ای
  - شن
  - ماسه
  - لای
- چسبنده (رس)

با توجه به کثرت قابل ملاحظهٔ 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 چسبندهٔ 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 جاذبهٔ الکترواستاتیکی است در حالیکه در حالت مرطوب، آب لزج و چسبناک (آب جذب سطحی)، ذرات رس را به هم می‌چسباند.

۲- یک تودهٔ 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 نحوهٔ قرارگیری اجزاء تودهٔ خاک در کنار هم می‌باشد و به شکل زیر است:



۳- مهمترین تعاریف وزنی و حجمی در مکانیک خاک به شرح زیر می‌باشند:

الف) روابط حجمی:

$$S_r \text{ (درصد اشباع)} = \frac{V_w}{V_v} \qquad n \text{ (تخلخل یا پوکی)} = \frac{V_v}{V_{کل}} \qquad e \text{ (نسبت تخلخل)} = \frac{V_v}{V_s}$$

ب) روابط وزنی:

$$\omega \text{ (درصد رطوبت)} = \frac{W_w}{W_s}$$

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

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

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

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

تذکر ۱: وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک را با γ_s نشان می‌دهیم و می‌نویسیم: $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$

همچنین طبق تعریف چگالی ویژه دانه‌های جامد خاک که با G_s نشان داده می‌شود، برابر است با:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

تذکر ۲: در حالت اشباع، علاوه بر وزن مخصوص اشباع می‌توان وزن مخصوص غوطه‌وری خاک را نیز به‌دست آورد. وزن مخصوص غوطه‌وری خاک تفاضل وزن مخصوص اشباع خاک و وزن مخصوص آب است.

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

تذکر ۳: یکی از مهمترین روابط ترکیبی وزنی و حجمی در مکانیک خاک به شکل زیر است:

$$\omega . G_s = S_r . e$$

همچنین مهمترین روابط ترکیبی وزن مخصوص‌ها در مکانیک خاک، به‌صورت زیر می‌باشند:

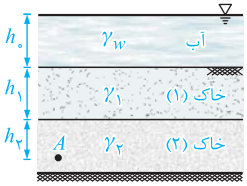
$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \quad , \quad \gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e}$$

$$\gamma_t = \frac{G_s (1+\omega)\gamma_w}{1+e} \quad , \quad \gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+\omega}$$

۵- محاسبهٔ مقادیر تنش‌ها در یک پروفیل خاک از مباحث مهم و مورد توجه در مکانیک خاک است. در یک نقطه از خاک، محاسبهٔ 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. برهمین اساس، اصل تنش مؤثر بصورت زیر بیان می‌گردد:

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

برای محاسبهٔ 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 نقطهٔ (A) به‌شرح زیر می‌باشند:



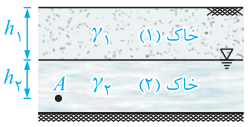
$$\sigma_A = \gamma_w h_0 + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2$$

$$u_A = \gamma_w (h_0 + h_1 + h_2)$$

$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = \gamma'_1 h_1 + \gamma'_2 h_2$$

توجه کنید که در روابط صفحهٔ قبل $\gamma_1 = \gamma_{sat_1}$ و $\gamma_2 = \gamma_{sat_2}$ می‌باشند، زیرا خاکِ قرار گرفته در زیر سفرهٔ آب زیرزمینی، اشباع است.

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



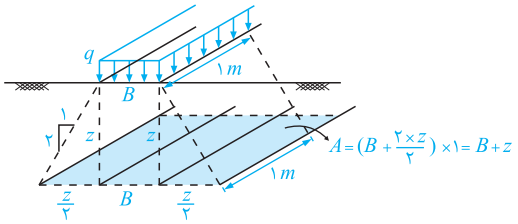
$$\sigma_A = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2$$
$$u_A = \gamma_w h_2$$
$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = \gamma_1 h_1 + \gamma'_2 h_2$$

که در روابط بالا γ_{t_1} یا $\gamma_1 = \gamma_{d_1}$ 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 نواری، 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.

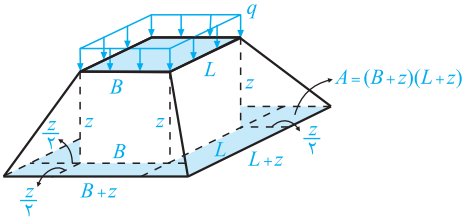
الف) بار نواری با شدت q



کل بار در واحد طول $= q \times B \times 1$

$$\Delta\sigma_z = \frac{q \times B \times 1}{A} = \frac{q \times B}{B + z}$$

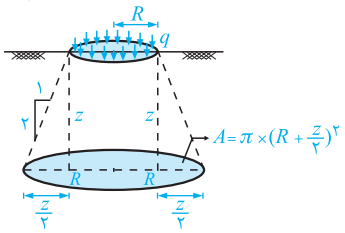
ب) بار مستطیلی با شدت q



کل بار $= q \times B \times L$

$$\Delta\sigma_z = \frac{q \times B \times L}{A} = \frac{q \times B \times L}{(B + z)(L + z)}$$

ج) بار دایره‌ای با شدت q



کل بار $= q \times \pi R^2$

$$\Delta\sigma_z = \frac{q \times \pi R^2}{A} = \frac{q \times R^2}{(R + \frac{z}{2})^2}$$

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

$$\Delta\sigma_z = q$$

همچنین ضریب شکل s_γ براساس B' و L' به‌دست آمده، برابر می‌شود با:

$$s_\gamma = ۱ - ۰/۴\frac{B'}{L'} = ۱ - ۰/۴ \times \frac{\frac{۷}{۳}}{۳} = ۱ - \frac{۲/۸}{۹} \simeq ۰/۷$$

در نتیجه ظرفیت باربری نهایی خاک زیر پی برابر می‌شود با:

$$q_{ult} = ۰/۵ \times \frac{۷}{۳} \times ۱/۸ \times ۲۰ \times ۰/۷ = ۲۹/۴ t/m^۲$$

حال به محاسبهٔ q_{max} می‌پردازیم. برای این کار ابتدا کنترل می‌کنیم خاک زیر پی به کشش می‌افتد یا خیر.

$$e_B = \frac{۱}{۳} < \frac{B}{۶} = \frac{۳}{۶} = \frac{۱}{۲} \Rightarrow \text{خاک زیر پی به کشش نمی‌افتد}$$

بنابراین مقدار q_{max} برابر می‌شود با:

$$q_{max} = \frac{\sum F_y}{BL}(۱ + \frac{۶e_B}{B}) = \frac{۱۲۰}{۳ \times ۳}(۱ + \frac{۶ \times \frac{۱}{۳}}{۳}) = ۲۲/۲ t/m^۲$$

در نهایت ضریب اطمینان خاک زیر این پی برابر می‌شود با:

$$F.S. = \frac{q_{ult}}{q_{max}} = \frac{۲۹/۴}{۲۲/۲} = ۱/۳۲$$

پس گزینهٔ (۱) صحیح است.

الف - ۲) روش حالت حدی

بار دیگر رابطهٔ اصلی کنترل ظرفیت باربری پی را در نظر بگیرید: $F \le R$

اگر بخواهیم با روش حالت حدی ابعاد پی را طراحی یا پایداری آن را کنترل کنیم، مقادیر نیروهای F و R به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند:

۱) نیروی *R*: نیروی مقاوم کاهش یافتهٔ خاک است که به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R = \varphi q_{ult} A_{\text{پی}}$$

در رابطهٔ فوق q_{ult} همان ظرفیت باربری نهایی خاک زیر پی است و $A_{\text{پی}}$ نیز مساحت کف شالوده می‌باشد. همچنین φ ضریب کاهش مقاومت خاک نامیده شده و طبق جدول زیر در رابطهٔ R جایگذاری می‌شود:

ضرائب کاهش مقاومت خاک در محاسبهٔ ظرفیت باربری

شرایط بارگذاری	استاتیکی	دینامیکی (لرزه‌ای)
φ	۰/۴۵	۰/۶

۲) نیروی *F*: همانطورکه می‌دانید در روش حالت حدی، ترکیب بارها به‌صورت ضریب‌دار در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس برای محاسبهٔ نیروی F در دو حالت طرح استاتیکی (غیر لرزه‌ای) و دینامیکی (لرزه‌ای) از ترکیب بارهای زیر استفاده می‌کنیم:

طرح استاتیکی : $F = ۱/۲۵ D + ۱/۵ L$

طرح لرزه‌ای : $F = D + ۱/۲ L + ۰/۸۴ E$

تمرین ۱۸: **اگر ظرفیت باربری نهایی خاک زیر یک پی، $q_{ult} = ۲\ kg/cm^۲$ محاسبه شده باشد، ظرفیت باربری نهـایی کاهش یافتهٔ خاک زیر این پی در طرح غیر لرزه‌ای چند $kg/cm^۲$ خواهد بود؟**

۱) ۱/۳۳ ۲) ۰/۹ ۳) ۱ ۴) ۱/۲

● حل: ظرفیت باربری نهایی کاهش یافتهٔ خاک زیر پی همان φq_{ult} است که طبـق جـدول داده شـده در ایـن قسمت، در طرح غیر لرزه‌ای $\varphi = ۰/۴۵$ می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\varphi q_{ult} = ۰/۴۵ \times ۲ = ۰/۹\ kg/cm^۲$$

تمرین ۱۹: **اگر بخواهیم پی سطحی مطرح شده در تمرین (۱۴) را با روش حالت حدی طراحی کنیم، حداقل بعـد لازم برای پی مربع شکل چند متر به‌دست می‌آید؟ (هم طرح لرزه‌ای و هم طرح غیر لرزه‌ای را مدنظر قرار دهید.)**

۱) ۱/۷ ۲) ۱/۸ ۳) ۲ ۴) ۲/۲

● حل:

الف) براساس طرح غیر لرزه‌ای: ابتدا رابطهٔ $F \le R$ را در نظر گرفته و نیروهای F و R آن را به‌دست می‌آوریم:

طرح غیر لرزه‌ای : $F = ۱/۲۵\,D + ۱/۵\,L = ۱/۲۵ \times ۲۰۰ + ۱/۵ \times ۱۰۰ = ۴۰۰\ kN$

$$R = \underbrace{\varphi}_{\text{ضریب کاهش مقاومت در طرح غیر لرزه‌ای}}\ q_{ult} A_{\text{پی}} = \overbrace{۰/۴۵}\ \times ۱۲۰B \times B^۲ = ۵۴B^۳$$

در نهایت با جایگذاری مقادیر به‌دست آمده برای F و R در معادلهٔ اولیه، خواهیم داشت:

$$F \le R \Rightarrow ۴۰۰ \le ۵۴B^۳ \Rightarrow B \ge ۱/۹۴\ m \Rightarrow B_۱ \simeq ۲\ m$$

ب) براساس طرح لرزه‌ای: بار دیگر رابطهٔ $F \le R$ را در نظر گرفته و نیروهـای F و R را ایـن بـار براسـاس طـرح لرزه‌ای به‌دست می‌آوریم:

طرح لرزه‌ای : $F = D + ۱/۲\,L + ۰/۸۴\,E = ۲۰۰ + ۱/۲ \times ۱۰۰ + ۰/۸۴ \times ۱۰۰ = ۴۰۴\ kN$

$$R = \underbrace{\varphi}_{\text{ضریب کاهش مقاومت در طرح لرزه‌ای}}\ q_{ult} A_{\text{پی}} = \overbrace{۰/۶}\ \times ۱۲۰B \times B^۲ = ۷۲B^۳$$

در نهایت با جایگذاری مقادیر به‌دست آمده برای F و R در رابطهٔ اولیه، می‌توان نوشت:

$$F \le R \Rightarrow ۴۰۴ \le ۷۲B^۳ \Rightarrow B \ge ۱/۷۷\ m \Rightarrow B_۲ \simeq ۱/۸\ m$$

از بین دو مقدار به‌دست آمده برای عرض پی، مقدار بزرگتر یعنی $B_۱ = ۲\ m$ انتخاب می‌گردد. بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

تذکر: هرگاه بارگذاری وارد بر پی دارای خروج از مرکزیت باشد، رابطهٔ طراحی و یا کنترل پی در مقابل ظرفیت باربری (طبق روش حالت حد نهایی) به‌صورت مقابل تبدیل می‌شود: $q_{max} \le \varphi q_{ult}$

ب) کنترل لغزش افقی پی بر روی خاک زیرین

ممکن است در برخی حالت‌های بارگذاری بر روی پی (ناشی از عوامل مختلف)، ترکیب بارهـای وارد شـده دارای مؤلفه‌ای افقی باشد که بخواهد باعث لغزش پی روی سطح خاک شود. برای جلوگیری از این موضوع لازم است تا برآیند نیروهای محرک برای ایجاد لغزش (H)، از برآیند نیروهای مقاوم در مقابل لغزش (شامل S و P_p) کمتـر باشد. یعنی داشته باشیم: $H \le S + P_p$

در رابطهٔ صفحهٔ قبل (که فرمول ۷-۴-۲ آیین‌نامه است):

H برآیند بارهای طراحی افقی وارد بر پی است که می‌خواهد لغزش را ایجاد کند. اگر لایهٔ خاک در حالت محرک نیز به پی نیروی افقی وارد کند، لازم است آن را در نیروی H برآیند در نظر گرفته و محاسبه کنیم.

S نیروی ناشی از تنش برشی بین خاک و سطح زیرین پی است.

P_p نیروی لایه خاک مقاوم در جلوی پی می‌باشد که می‌خواهد در مقابل لغزش افقی مقاومت کند.

تمرین ۲۰: در کنترل لغزش پی‌های سطحی تحت بارهای مورب و یا افقی، کدام‌یک از توضیحات زیر در مورد نیروهای ناشی از فشار جانبی خاک در حالت محرک و مقاوم صحیح است؟

۱) اصولاً از اثر فشار جانبی خاک (چه محرک و چه مقاوم) در بررسی لغزش پی صرف‌نظر می‌شود.

۲) اصولاً اثر هر دو نیروی محرک و مقاوم وارد شده از سوی خاک، در صورت وجود باید لحاظ شود.

۳) از اثر نیروهای محرک صرف‌نظر کرده، ولی اثر نیروی مقاوم خاک را در نظر می‌گیریم.

۴) از اثر نیروهای مقاوم صرف‌نظر کرده، ولی اثر نیروی محرک خاک را در نظر می‌گیریم.

● حل: طبق توضیحات داده شده در مورد لغزش پی‌های سطحی، اثر نیروی محرک جانبی خاک در نیروی H و اثر نیروی مقاوم جانبی خاک در نیروی P_p لحاظ می‌شوند. پس گزینهٔ (۲) صحیح است.

در ادامه قصد داریم تا چگونگی محاسبهٔ نیروهای H ، S و P_p و کنترل رابطهٔ لغزش پی سطحی را با روش تنش مجاز و همچنین روش حالت حدی بررسی کنیم.

ب - ۱) روش تنش مجاز

۱) نیروی S: براساس روش تنش مجاز، نیروی مقاوم برشی در مقابل لغزش پی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$S = \frac{N \tan\delta + c_a A}{F.S.}$$

در رابطهٔ فوق که براساس اصول مقاومت برشی خاک نوشته شده است:

N عکس‌العمل قائم وارد بر کف پی است که با توجه به نیروهای قائم و از معادلهٔ تعادل $\sum F_y = 0$ به‌دست می‌آید. معمولاً N همان نیروی قائم فشاری بر روی پی است.

δ زاویهٔ اصطکاک بین خاک و کف پی و $\tan\delta$ ضریب اصطکاک بین این دو سطح است. گاهی ضریب اصطکاک را با μ یا f_s نیز نمایش می‌دهند.

c_a چسبندگی بین خاک و کف پی در واحد سطح آنها است.

A مساحت کف پی می‌باشد.

به منظور اطمینان از طراحی پی در مقابل لغزش، آیین‌نامه توصیه می‌کند در شرایط بارگذاری غیر لرزه‌ای و لرزه‌ای، مقادیر زیر را برای $F.S.$ در رابطه لحاظ کنیم:

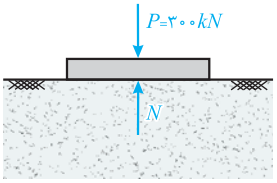
ضرایب اطمینان در مقابل لغزش افقی پی‌های سطحی

شرایط بارگذاری	استاتیکی	دینامیکی (لرزه‌ای)
$F.S.$	۱/۵	۱/۲

تمرین ۲۱: پی مربعی با طول ضلع $3\ m$، بر روی یک لایه خاک ماسه‌ای اجرا شده است. اگر مؤلفهٔ قائم نیروی طراحی ستون بر روی پی $300\ kN$ باشد، در این‌صورت حداکثر ظرفیت باربری افقی مجاز برای این پی چند kN خواهد بود؟ (چسبندگی $c_a = 20\ kN/m^2$ و ضریب اصطکاک بین خاک و پی $\tan\delta = 0/5$ می‌باشد.)

۱) در شرایط بارگذاری استاتیکی معادل $275\ kN$ است.
۲) در شرایط بارگذاری استاتیکی معادل $220\ kN$ است.
۳) در شرایط بارگذاری استاتیکی معادل $245\ kN$ است.
۴) در شرایط بارگذاری استاتیکی معادل $200\ kN$ است.

حل: حداکثر ظرفیت باربری افقی پی مقداری است که به ازاء آن پی در آستانهٔ لغزش قرار بگیرد. بنابراین این مقدار نیرو باید با نیروی S مقاوم در مقابل لغزش پی برابر شود.



$$H_{max} = S + P_p^{\circ} = \frac{N\tan\delta + c_a A}{F.S.}$$
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N = P = 300\ kN$$

حال نیروی S را محاسبه می‌کنیم:

$$S = \frac{N\tan\delta + c_a A}{F.S.} = \frac{300\times 0/5 + 20\times(3\times 3)}{1/5} = 220\ kN$$

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

۲) نیروی P_p: همانطورکه گفته شد این نیرو ناشی از فشار جانبی لایه خاک در حالت مقاوم است که در خلاف جهت لغزش افقی پی، بسیج می‌شود و مقدار آن برابر است با:

$$P_P = \frac{\frac{1}{2} k_P\ \gamma' t^2 B}{F.S.}$$

در رابطهٔ فوق داریم:

γ': وزن مخصوص غوطه‌وری خاک

k_p: ضریب فشار جانبی خاک (در فصل دوم می‌خوانیم: $k_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$)

t: ضخامت پی

B: عرض (بعد) پی عمود بر جهت لغزش

ضریب اطمینان $F.S.$ نیز بسته به خواستهٔ طرح و شرایط باید در نظر گرفته شود.

۳) نیروی H: نیرویی است که قصد دارد لغزش را به‌وجود آورد و از بارگذاری وارد شده بر پی به‌دست می‌آید. (مؤلفهٔ افقی بار وارد شده)

تمرین ۲۲: نیروی فشاری قائم مؤثر طراحی وارد بر یک پی منفرد برابر $750\ kN$ و مؤلفه افقی بارهای طراحی وارد بر پی برابر $270\ kN$ است. اگر نیروی رانشی مقاوم خاک جلوی پی ناچیز باشد حداقل زاویه اصطکاک بین سطح زیرین پی و خاک در شرایط زهکشی شده حدوداً چند درجه باشد تا لغزش صورت نگیرد؟ (محاسبات - ۹۰)

۱) ۳۰ درجه ۲) ۲۰ درجه ۳) ۴۵ درجه ۴) ۱۵ درجه

سایر نکات تکمیلی فشارهای جانبی و سازه‌های نگهبان

برخی دیگر از نکات مطرح شده در مبحث هفتم پیرامون سازه‌های نگهبان را در بندهای زیر می‌خوانیم:

۷-۵-۵-۱-۲-۲ ضریب اطمینان در برابر بالازدگی کف

بالازدگی کف گود باید کنترل شود و ترجیحاً $\frac{\gamma H}{C} > ۶$ باشد.

مواردی در مورد ترکیب بارهای حالت حدی و اثر فشار جانبی

۷-۵-۵-۲-۲ در ترکیب‌های بارگذاری در شرایط زلزله، فقط اضافه فشار خاک هنگام زلزله به عنوان بخشی از نیروهای زلزله (E) لحاظ می‌گردد. در این حالت ترکیب بارگذاری، فشار خاک در شرایط استاتیکی به عنوان بار مرده (D) محسوب می‌گردد.

۷-۵-۵-۲-۳ در ترکیب‌های بارگذاری در شرایط استاتیکی با حضور وزن خاک، کافیست فشار خاک در شرایط استاتیکی به عنوان فشار خاک (H) لحاظ گردد.

۷-۵-۵-۲-۶ ضرایب کاهش نیروی مقاوم در خاکریزها و شیروانی‌ها

در ترانشه‌ها جهت کاهش نیروی مقاوم از ضرایب جدول ۷-۵-۶ استفاده می‌شود.

جدول ۷-۵-۶ مبحث هفتم: ضرایب کاهش مقاومت شیروانی

کنترل‌ها	ضرایب کاهش مقاومت در شرایط استاتیکی	ضرایب کاهش مقاومت در شرایط لرزه‌ای
پایداری کلی	۰/۶۶	۰/۸
ظرفیت باربری	۰/۵۵	۰/۶۵
لغزش	۰/۹	۰/۹۵

۷-۵-۷ خاکریز پشت دیوار

بهترین نوع مصالح برای خاکریزی، خاک‌های GW، GP، SW و SP می‌باشند.

در صورتی می‌توان از خاک‌های GM، GC، SM و SC استفاده کرد که بتوان از سیستم‌های زهکشی مناسب استفاده و خاک را همواره در شرایط غیر اشباع و رطوبت کم نگه داشت.

انواع دیگر خاک‌ها جهت استفاده به عنوان خاکریز مناسب نمی‌باشند، مگر آنکه تمهیدات لازم با نظر مشاور ذیصلاح (مانند روش‌های تثبیت با آهک، سیمان و غیره و تأمین زهکشی) دیده شده باشد.

۷-۵-۸-۲ دیوارهای زیرزمین باید به‌صورت آب‌بندی شده طراحی شوند و فشار احتمالی آب در طراحی لحاظ شود.

تمرین ۱۹: در کدام گزینه عامل پایداری سازهٔ نگهبان به درستی بیان نشده است؟

۱) عامل اصلی پایداری دیوار حائل وزنی، وزن دیوار است.

۲) اصلی‌ترین عوامل در پایداری سپرگونه‌ها، عمق مدفون و مقاومت خمشی آنهاست.

۳) در دیواره‌های خاکی مسلح، خاک توسط میل‌های مهاری تقویت و پایدار می‌شود.

۴) در دیوارهای خاکی میخکوبی شده، میخ‌ها و مهارهایی که به خاکریز پشت دوخته شده‌اند، عامل اصلی پایداری خاک می‌باشند.

حل: با توجه به توضیح ذکر شده در بند ۷-۵-۲-۳ در مورد خاک‌های مسلح، عامل پایداری این سیستم‌ها تسمه‌های فلزی، ورق‌های پلیمری و پارچه‌گونه‌ها هستند. بنابراین گزینهٔ (۳) پاسخ تست است.

تمرین ۲۰: به منظور تحلیل فشارهای جانبی زلزله وارد بر یک دیوار حائل صلب با ارتفاع H، باید ..... .

۱) فشار دینامیکی را در فاصلهٔ $0/6H$ از پای دیوار اعمال نمود.

۲) اضافه فشار دینامیکی را در فاصلهٔ $0/6H$ از پای دیوار اعمال نمود.

۳) فشار دینامیکی را در فاصلهٔ $0/45H$ از پای دیوار اعمال نمود.

۴) اضافه فشار دینامیکی را در فاصلهٔ $0/45H$ از پای دیوار اعمال نمود.

حل: با توجه به بند ۷-۵-۴-۲-۵-۱ از مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان، نقطه اثر اضافه فشار دینامیکی بین ۰/۴۵ تا ۰/۶ ارتفاع دیوار از پای دیوار در نظر گرفته می‌شود. هر چه دیوار صلب‌تر باشد، مقدار کوچکتر نقطه اثر انتخاب می‌شود. چون در این سؤال دیوار به‌صورت صلب در نظر گرفته شده، از کوچکترین مقدار یعنی $0/45H$ برای نقطه اثر اضافه فشار دینامیکی استفاده می‌گردد.

تمرین ۲۱: کدام گزینه در مورد فشارهای جانبی وارد بر دیوار حائل صحیح است؟

۱) اضافه فشار مقاوم با اثر مساعد، در هر صورت (شرایط لرزه‌ای یا غیر لرزه‌ای) در نظر گرفته نمی‌شود.

۲) در دیوارهای حائل مهار نشده، صرف‌نظر از میزان انعطاف‌پذیری و جابه‌جایی دیوار، باید از فشار جانبی در حالت محرک استفاده کرد.

۳) در دیوارهای سپری مهار شده با چند تیرک افقی یا مایل از جلو، از توزیع فشار ذوزنقه‌ای یا مستطیلی استفاده می‌شود.

۴) در دیوارهای حائل طره‌ای یا سپری‌های مهار شده با یک میل مهار از پشت، فشار خاک در حالت سکون و با توزیع مثلثی منظور می‌شود.

حل:

طبق بند ۷-۵-۴-۲-۵-۲ گزینهٔ (۱) غلط است.

طبق بندهای ۷-۵-۴-۳-۱ و ۲ گزینهٔ (۲) غلط است.

طبق بند ۷-۵-۴-۳-۴ گزینهٔ (۳) صحیح است.

طبق بند ۷-۵-۴-۳-۳ گزینهٔ (۴) غلط است.

تمرین ۲۲: یک مهندس محاسب در نظر دارد فشار جانبی وارد بر دیوار زیرزمین را در شرایط لرزه‌ای به‌دست بیاورد. اگر خاکریز پشت این دیوار سست و نسبتاً متراکم باشد، کدام روش پیشنهاد می‌شود؟

۱) باید فشار دینامیکی خاک با فرض حالت محرک و روابط مونونوبه اکابه در نظر گرفته شود.

۲) باید فشار دینامیکی خاک با فرض حالت سکون و به‌کارگیری روابطی مانند وود به‌دست بیاید.

۳) دیوار حائل را در حالت محرک در نظر گرفته و اضافه فشار دینامیکی را در فاصلهٔ $0/6H$ لحاظ کند.

۴) محاسبهٔ فشار جانبی وارد بر دیوار حائل زیرزمین در شرایط لرزه‌ای ضروری نیست.

حل: طبق جدول ۷-۵-۲، گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۲۳: در یک دیوار خاکی مسلح که با ژئوسنتتیک تقویت شده است، تنش کششی نهایی این عناصر $3\ kg/cm^2$ است. تنش کششی مجاز آن را بیابید. حداکثر ضریب اطمینان برای تمامی عوامل محتمل را در نظر بگیرید.

۱) $0/34\ kg/cm^2$ ۲) $0/43\ kg/cm^2$ ۳) $0/68\ kg/cm^2$ ۴) $1/2\ kg/cm^2$

حل: طبق فرمول ۷-۵-۱ و مطالب پیرامون آن می‌نویسیم:

$$T_a = T_{ult} \times \frac{1}{F.S_{id} \times F.S_{cr} \times F.S_{cd} \times F.S_{bd}} = 3 \times \frac{1}{1/5 \times 3 \times 1/5 \times 1/3} \rightarrow = 8/775$$

حال از آنجاکه طبق قسمت (ب-۲) از بند ۷-۵-۵-۱-۳ مبحث هفتم، ضریب اطمینان تنش کششی مسلح‌کننده‌ها باید بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد، $F.S._{\text{کل}}$ را برابر ۲/۵ انتخاب کرده و می‌نویسیم:

$$T_a = \frac{T_{ult}}{F.S.} = \frac{3}{2/5} = 1/2\ kg/cm^2$$

تمرین ۲۴: برای یک کابل پیش‌تنیده یا میلگرد مورد استفاده در مهاربند، طول آزاد مهاربندها حداقل باید چند متر باشد؟

۱) ۲ متر ۲) ۴ متر ۳) ۵ متر ۴) ۶ متر

حل: طبق بند ۷-۵-۶-۲-۲ گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۲۵: در طراحی سازه نگهبان به روش تنش مجاز، برای تعیین ضریب اطمینان مربوط به تنش کششی مجاز مسلح‌کننده‌های ژئوسنتتیک، ضریب اطمینان جزیی مربوط به کدام‌یک از عوامل زیر در نظر گرفته نمی‌شود؟

(محاسبات - آبان ۹۳)

۱) ضریب تغییرشکل مجاز ۲) ضریب احتمال آسیب‌دیدگی ناشی از نصب
۳) ضریب خزش با توجه به نوع مصالح ۴) ضریب خوردگی یا شیمیایی

حل: با توجه به بند ۷-۵-۵-۱-۳ (رابطهٔ قسمت ب-۱)، ضریب اطمینان ناشی از تغییرشکل مجاز در تنش کششی مجاز مسلح‌کننده‌های ژئوسنتتیک لحاظ نمی‌شود.

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۲۶: در یک پروژه به منظور مهاربندی خاک از ۵۰۰ عدد مهاربند استفاده شده است. بار طراحی این مهارها ۴۰ton تخمین زده شده است. اگر هیچ تجربه‌ای در زمینهٔ خاک و مهار وجود نداشته باشد، لازم است ..... از مهارها را تحت بار ..... مورد آزمایش باربری قرار داده و سپس آزمایش خزش را نیز انجام دهیم. مهارها به‌صورت دائمی طراحی می‌شوند.

۱) ۲٪ الی ۳٪ - ۱۰۰ton ۲) ۱۰ عدد - ۱۰۰ton
۳) ۱۰٪ - ۶۰ton ۴) ۲ الی ۳ عدد - ۶۰ton

حل: طبق بند ۷-۵-۶-۳-۱ و جدول ۷-۵-۸ (حالت ۳) لازم است ۱۰٪ از تعداد کل مهارها تا ۱۵۰٪ (۱/۵ برابر) بار طراحی تحت آزمایش قرار بگیرند. یعنی ۵۰ مهار (۱۰٪ کل مهارها) تحت بار ۶۰ton قرار بگیرند. پس گزینهٔ (۳) صحیح است.

همچنین باید ۲ الی ۳ مهار تحت باری معادل ۲۵۰٪ (۲/۵ برابر) بار طراحی مورد آزمایش واقع شوند. یعنی باری معادل ۱۰۰ton به آنها وارد شود.

تمرین ۲۷: در طراحی سیستم مهاربندی موقت خاک یک پروژه، ۸۰۰ مهار استفاده می‌شود. اگر خاک منطقه ماسه‌ای باشد و تجربهٔ خاک و مهار در محل پروژه وجود داشته باشد و بار طراحی مهارها ۵۰ton محاسبه شده باشد، حداقل تعداد لازم برای آزمایش باربری و خزش چقدر است؟ بار لازم برای انجام هر دو آزمایش را محاسبه کنید. مدت زمان نگهداری در بار حداکثر در آزمایش خزش را نیز مشخص کنید.

● حل: طبق جدول ۷-۵-۸ (حالت ۱) لازم است ٪۵ از تعداد کل مهارها تحت آزمایش‌های باربری و خزش قرار بگیرند. یعنی:

n (تعداد مهار لازم برای آزمایش باربری) $= ۵٪ \times n_{\text{کل}} = ۵٪ \times ۸۰۰ = ۴۰$

همچنین چون مهارها موقت هستند، بار آزمایش می‌تواند به‌جای ٪۱۵۰ بار طراحی، ٪۱۲۵ منظور شود. یعنی:

$P_{\text{بار آزمایش}} = ۱۲۵٪ \times P_{\text{طراحی}} = ۱/۲۵ \times ۵۰ = ۶۲/۵\,ton$

در نهایت هم چون خاک منطقه ماسه‌ای است، در آزمایش خزش لازم است مهارها به مدت ۱ الی ۲ ساعت، تحت نیروی حداکثر قرار بگیرند.

تمرین ۲۸: در محاسبات دیوارهای حائل تحت شرایط لرزه‌ای، ..... به‌عنوان بار ..... لحاظ می‌شود.

۱) فشار جانبی خاک - زلزله (E)
۲) اضافه فشار جانبی لرزه‌ای خاک - زنده (L)
۳) فشار جانبی استاتیکی خاک - مرده (D)
۴) اضافه فشار جانبی لرزه‌ای خاک - مرده (D)

● حل: طبق بند ۷-۵-۵-۲-۲ گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۲۹: مقدار $\frac{\gamma H}{C}$ طبق مقررات ملی ساختمان، برای کنترل ضریب اطمینان در برابر بالازدگی کف گود در طراحی سازه‌های نگهبان ترجیحاً باید کوچکتر از کدام‌یک از مقادیر زیر باشد؟ (محاسبات - مرداد ۹۴)

۱) ۴ ۲) ۶ ۳) ۸ ۴) ۱۰

● حل: طبق بند ۷-۵-۵-۱-۲-۲ این مقدار نباید از ۶ بیشتر باشد.
بنابراین گزینه (۲) صحیح است.

تمرین ۳۰: برای خاکریز پشت یک دیوار حائل، کدام‌یک از خاک‌های زیر را می‌توان بدون تمهید خاصی به‌کار برد؟ (نظارت - مرداد ۹۴)

۱) GC ۲) SC ۳) SM ۴) SW

● حل: طبق بند ۷-۵-۷ مبحث هفتم، اگر خاک پشت دیوار SW باشد، مناسب بوده و بدون نیاز به تمهید خاصی می‌توان آن را به کار برد.
بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

تمرین ۳۱: برای نگهداری یک سازه نگهبان از ۴۰۰ مهار استفاده شده است. در صورتی‌که تجربه اجرای چنین سازه‌ای از نظر نوع مهار و نوع خاک در نزدیکی کارگاه مورد نظر وجود داشته باشد، حداقل چه تعداد از کل مهارها باید آزمایش شوند؟ (نظارت - مرداد ۹۴)

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۳۰ ۴) ۴۰

● حل: طبق جدول ۷-۵-۸ مبحث هفتم چون تجربه‌ای از خاک و مهار در نزدیکی کارگاه وجود دارد، از حالت (۱) استفاده کرده و باید ٪۵ تعداد کل مهارها یعنی ۲۰ مهار تحت آزمایش قرار بگیرند.
بنابراین گزینه (۲) صحیح است.

تست‌های فصل دوم

۱- در طراحی لرزه‌ای یک ساختمان بلند که تا ۳ طبقه در زمین فرو رفته است، فشار خاک بر سازه چگونه اعمال می‌شود؟ (پایه ۲ - ۸۰)

۱) با در نظر گرفتن ضریب رانش فعال خاک در هر دو طرف سازه
۲) با در نظر گرفتن ضریب رانش مقاوم در یک طرف و رانش فعال در طرف دیگر
۳) با در نظر گرفتن ضریب رانش در حال سکون خاک در هر دو طرف
۴) با در نظر گرفتن ضریب رانش در حال سکون در یک طرف و رانش فعال در طرف دیگر

۲- در مسأله فشار جانبی ناشی از خاک برای $\phi = ۳۰^\circ$، نسبت ضریب فشار فعال به غیرفعال چقدر است؟ (پایه ۳ - ۸۳)

۱) $\frac{۱}{۳}$ ۲) $\frac{۱}{۹}$ ۳) $\frac{۱}{۱۶}$ ۴) $\frac{۱}{۲۵}$

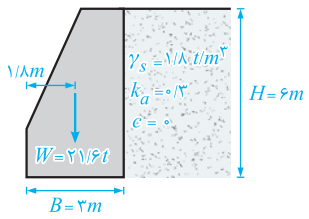
۳- در مورد ضرایب رانش فعال و مقاوم خاک در حالت لرزه‌ای کدام‌یک از عبارات زیر صحیح هستند؟ (پایه ۱ - ۸۴)

۱) ضرایب رانش فعال و مقاوم دینامیکی از این ضرایب در حالت استاتیکی کمتر هستند.
۲) ضرایب رانش فعال و مقاوم دینامیکی از این ضرایب در حالت استاتیکی بیشتر هستند.
۳) ضریب رانش فعال دینامیکی از حالت استاتیکی کمتر و ضریب رانش مقاوم دینامیکی از حالت استاتیکی بیشتر است.
۴) ضریب رانش فعال دینامیکی از حالت استاتیکی بیشتر و ضریب رانش مقاوم دینامیکی از حالت استاتیکی کمتر است.

۴- اشباع شدن خاک پشت دیوار حائل: (پایه ۳ - ۸۶)

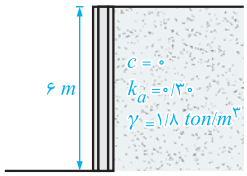
۱) باعث کاهش فشار جانبی و افزایش فشار منفذی می‌گردد.
۲) کرنش‌های برشی زیاد در سطح جانبی دیوار به‌وجود می‌آورد.
۳) باعث افزایش فشار به دیوار حائل می‌گردد.
۴) هیچ‌کدام

۵- وزن یک دیوار حائل وزنی بر واحد طول برابر $۲۱/۶t$ می‌باشد و در مرکز ثقل آن که در شکل نشان داده شده وارد می‌شود. ضریب اطمینان این دیوار در مقابل واژگونی برابر است با: (پایه ۳ - ۸۶)



۱) ۱/۵ ۲) ۱/۷۵
۳) ۲/۰ ۴) ۲/۲۵

۶- جهت نگهداری خاک محل گودبرداری یک ساختمان از ستون‌های فلزی به عنوان سازه نگهبان استفاده شده است. در صورتی‌که ارتفاع گودبرداری ۶ متر بوده و لنگر مجاز خمشی ستون فلزی برابر $۵۸/۳۲\ t.m$ و نیروی مجاز برشی آن ۳۸/۸۸ تن باشد، فاصله بین ستون‌های سازه نگهبان حدوداً چه مقدار می‌باشد؟ (پایه ۳ - ۸۷)



۱) $S = ۶\ m$ ۲) $S = ۵\ m$
۳) $S = ۴\ m$ ۴) $S = ۳\ m$

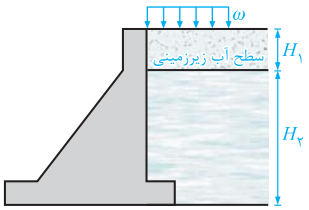
۷- در کدام‌یک از موارد زیر، فشار خاک در حالت سکون در نظر گرفته می‌شود؟ (پایه ۳ - ۸۹)

۱) دیوارهای نگهبان وزنی یا پشت بنددار
۲) فقط دیوارهای نگهبان که در چهار طرف به قاب‌های محصورکننده آنها دوخته شده‌اند.
۳) دیوارهای نگهبان زیرزمین‌ها که انتهای آنها به سقف‌ها متکی هستند.
۴) دیوارهای نگهبان طره‌ای بتن‌آرمه

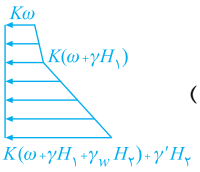
۸- به ازای چه میزان از حرکت جانبی دیوار حائلی به ارتفاع بیست متر نسبت به زمین، می‌توان وضعیت خاک را در حالت تنش سکون فرض نمود؟ (پایه ۳ - ۹۰)

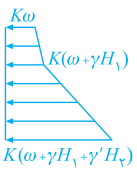
۱) $۲\ mm$ ۲) $۱\ mm$ ۳) $۵\ mm$ ۴) $۱۰\ mm$

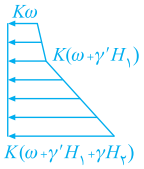
۹- بارگذاری ناشی از اثر آب زیرزمینی بالاتر از کف دیوار، بر روی فشار وارد بر دیوار حائلی که پائین‌تر از سطح سواره‌رو ساخته می‌شود، چگونه است؟ (شهریور ۹۱ - محاسبات)

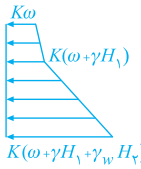


K = ضریب فشار خاک
γ = وزن مخصوص خاک خشک
γ_{sat} = وزن مخصوص خاک اشباع
ω = سربار حاصل از تردد ماشین‌ها
γ_w = وزن مخصوص آب
H_1 = ضخامت لایهٔ خشک خاک
H_2 = ضخامت لایهٔ اشباع خاک
$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ وزن مخصوص غوطه‌ور خاک

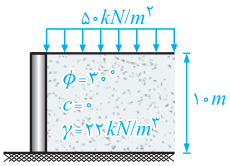
۱) 

۲) 

۳) 

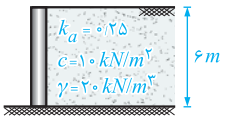
۴) 

۱۰- دیوار حائل زیر، در برابر حرکت جانبی کاملاً مقید شده است. فشار افقی وارد بر دیوار در عمق ۵ متری چند kN/m^2 است؟ (شهریور ۹۱ - محاسبات)



۱) ۴۰
۲) ۸۰
۳) ۱۲۰
۴) ۱۶۰

۱۱- در اثر وقوع ترک کششی، نیروی وارد بر دیوار زیر، چگونه تغییر می‌کند؟ (شهریور ۹۱ - محاسبات)



۱) ۲۵٪ کاهش می‌یابد.
۲) ۲۵٪ افزایش می‌یابد.
۳) ۳۳٪ کاهش می‌یابد.
۴) ۳۳٪ افزایش می‌یابد.

در این بخش قصد داریم تا شما را با بندهای آیین‌نامه‌ای مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان در خصوص پی‌های عمیق آشنا کنیم. با در نظر گرفتن کلیات فصل پی‌های عمیق در آیین‌نامه، در می‌یابیم که لازم است به سه موضوع عمده در مورد پی‌های عمیق توجه شود که عبارتند از:

۱- کنترل ظرفیت باربری فشاری شمع

۲- کنترل ظرفیت باربری کششی شمع

۳- کنترل ظرفیت باربری جانبی شمع

در ادامه قصد داریم تا بندهای آیین‌نامه در مورد این سه موضوع را برای شما مطرح کرده و نحوهٔ استفاده از آنها را در محاسبات شمع شرح دهیم.

B-۱-کنترل ظرفیت باربری فشاری شمع‌ها

برای آنکه یک شمع، بارهای فشاری طراحی را با ایمنی مناسبی تحمل نماید، باید نامساوی زیر در همه حالات حدی نهایی و برای کلیه ترکیبات بارگذاری برقرار باشد.

$$R_c \geq F_c$$

در این نامساوی داریم:

F_c: بار فشاری طراحی

R_c: باربری فشاری شمع

در ادامه قصد داریم تا با استفاده از روش‌های تنش مجاز و حالت حدی نهایی، نیروهای مطرح شده در رابطهٔ فوق را به‌دست آوریم.

الف) روش تنش مجاز

براساس این روش مقدار باربری فشاری شمع (یعنی R_c) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R_c = \frac{Q_{ult}}{F.S.}$$

در رابطهٔ فوق Q_{ult} ظرفیت باربری نهایی فشاری شمع است که طبق مطالب بخش اول به‌دست می‌آید. در واقع می‌توان $\frac{Q_{ult}}{F.S.}$ را ظرفیت باربری مجاز فشاری شمع (Q_{all}) در روش تنش مجاز دانست که در آن $F.S.$ ضریب اطمینان ظرفیت باربری است و با توجه به روشی که برای تعیین Q_{ult} به‌کار برده‌ایم، طبق جدول ۷-۶-۱ مبحث هفتم، یکی از مقادیر صفحهٔ بعد را خواهد داشت.

زیر شاخه‌های بخش دوم:

B-۱- کنترل ظرفیت باربری فشاری شمع‌ها
B-۲- کنترل ظرفیت باربری کششی شمع‌ها
B-۳- کنترل ظرفیت باربری جانبی شمع‌ها
B-۴- مباحث تکمیلی شمع‌ها در آیین‌نامه

حداقل ضریب اطمینان شمع در شرایط استاتیکی (روش تنش مجاز)

نوع بار اعمالی	روش تعیین ظرفیت باربری Q_{ult}		$F.S.$
فشاری	فقط روش تحلیلی	کوبشی	۳
		در جاریز	۴
	آزمایش نفوذ مخروط		۲/۸
	آزمایش بارگذاری استاتیکی		۲/۲
	آزمایش بارگذاری دینامیکی		۲/۵

همچنین مقدار نیروی طراحی فشاری F_c نیز از ترکیب بارهای فشاری (قائم) بدون ضریب به‌دست می‌آید که در حالت استاتیکی به‌صورت $DL+LL$ است.

تمرین ۹: ظرفیت باربری محوری یک شمع از طریق آزمایش نفوذ مخروط $840\ kN$ به‌دست آمده است. ظرفیت باربری محوری مجاز این شمع به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (پایه ۳ - آذر ۹۲)

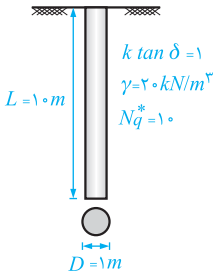
۱) $380\ kN$ ۲) $210\ kN$ ۳) $420\ kN$ ۴) $300\ kN$

حل: ظرفیت باربری محوری مجاز شمع به‌صورت $Q_{all}=\frac{Q_u}{F.S.}$ تعریف می‌شود. حال با توجه به جدول ۷-۶-۱ از مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲، ظرفیت باربری مجاز فشاری (یا کششی) این شمع برابر است با:

$$F.S.\ \xrightarrow[\text{آزمایش نفوذ مخروط}]{\text{جدول ۷-۶-۱}}\ ۲/۸ \Rightarrow Q_{all}=\frac{Q_u}{F.S.}=\frac{۸۴۰}{۲/۸}=۳۰۰\ kN$$

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

تمرین ۱۰: حداکثر ظرفیت باربری فشاری مجاز شمع در جاریز که در یک خاک دانه‌ای با مشخصات نشان داده شده در شکل اجرا شده و در محاسبات ظرفیت باربری آن از روابط تحلیلی استفاده شده است، چند *kN* می‌باشد؟



حل: حداکثر ظرفیت باربری مجاز همان $R=\frac{Q_{ult}}{F.S.}$ می‌باشد که برای محاسبهٔ آن، ابتدا لازم است Q_{ult} را بیابیم.

$$\begin{cases} Q_{ult}=Q_b+Q_s \\ Q_b=q_b A_b=(cN_c^*+\bar{q}N_q^*)\times\frac{\pi D^۲}{۴}=(۰+۱۰\times۲۰\times۱۰)\times\frac{\pi\times۱^۲}{۴}=۵۰۰\pi(kN) \\ Q_s=\frac{۱}{۲}k\tan\delta\gamma PL^۲=\frac{۱}{۲}k\tan\delta\gamma\pi DL^۲=\frac{۱}{۲}\times۱\times۲۰\times\pi\times۱\times۱۰^۲=۱۰۰۰\pi(kN) \end{cases}$$

$$\Rightarrow Q_{ult}=۵۰۰\pi+۱۰۰۰\pi=۱۵۰۰\pi(kN)$$

حال با مراجعه به مقادیر داده شده برای ضریب اطمینان، مشاهده می‌کنیم هنگام استفاده از روابط تحلیلی بـرای شمع درجاریز، $F.S.=۴$ به‌دست می‌آید. در نهایت حداکثر نیروی مجاز فشاری برای این شمع برابر می‌شود با:

$$Q_{all}=R_c=\frac{Q_{ult}}{F.S.}=\frac{۱۵۰۰\pi}{۴}=۳۷۵\,\pi\,(kN)$$

ب) روش حالت حدی

براساس این روش مقدار باربری فشاری شمع (R_c) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R_c=\varphi Q_{ult}$$

در رابطهٔ فوق Q_{ult} همان ظرفیت باربری نهایی شمع بوده و φ ضریب کاهش مقاومت فـشاری شـمع اسـت. در واقع می‌توان گفت φQ_{ult} ظرفیت باربری فشاری کاهش یافتهٔ شمع می‌باشد. ضریب φ طبق جـدول ۷-۶-۲ از مبحث هفتم براساس روشی که برای به‌دست آوردن Q_{ult} اسـتفاده شـده اسـت، یکـی از مقـادیر زیـر را خواهـد داشت.

ضرایب کاهش مقاومت فشاری شمع در شرایط استاتیکی (روش حدی نهایی)

نوع بار اعمالی	روش تعیین ظرفیت باربری Q_{ult}		φ
فشاری	فقط روش تحلیلی	کوبشی	۰/۳۵
		در جاریز	۰/۴۵
	آزمایش نفوذ مخروط		۰/۵
	آزمایش بارگذاری استاتیکی		۰/۶۵
	آزمایش بارگذاری دینامیکی		۰/۵۵

همچنین مقدار نیروی طراحی فشاری F_c نیز از ترکیب بارهای ضریب‌دار فشاری قائم بـه‌دسـت مـی‌آیـد کـه در حالت استاتیکی به صورت $۱/۲۵\,DL+۱/۵\,LL$ می‌باشد.

تمرین ۱۱: ظرفیت باربری نهایی یک شمع طبق روش آزمایش نفوذ مخروط برابر ۶۰۰ kN به‌دست آمده است. اگر در طراحی شمع از روش حالت حد نهایی استفاده کرده باشیم، حداکثر بار نهایی فشاری طراحی برای این شمع چند kN است؟

۱) ۲۰۰ ۲) ۲۷۰ ۳) ۳۰۰ ۴) ۶۰۰

حل:

$$\begin{cases}R_c\geq F_c\\ \text{روش حد نهایی}: R_c=\varphi Q_{ult}\xrightarrow[\text{استفاده شده است.}]{\text{از آزمایش نفوذ مخروط}}\varphi=۰/۵\end{cases}\Rightarrow R_c=۰/۵\times۶۰۰=۳۰۰\,kN$$

$$\Rightarrow ۳۰۰\geq F_c\Rightarrow F_{c_{max}}=۳۰۰\,kN$$

$F_{c_{max}}$ در واقع حداکثر بار نهایی فشاری طراحی برای این شمع می‌باشد.