

بنام خدا

مهندسی پی

- فصل اول : شناسایی تحت الارضی (کاوش های زیر زمین)
- فصل دوم: پی های سطحی
- فصل سوم : تعیین ظرفیت باربری
- فصل چهارم: نشست در شالوده ها
- فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل

سید مظفر داوری

مهندسی پی

تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : مکانیک خاک ، سازه های بتن آرمه ۱

سرفصل دروس

- ۱- روشهای شناسایی خاک ، گمانه زنی و نمونه برداری ، آزمایش های صحرائی ، نحوه تعیین پارامترهای موثر در طراحی پی
- ۲- شناسائی انواع پی های سطحی - ظرفیت باربری پی های سطحی : تحت اثر بارهای محوری ، با خروج از مرکز و بارهای مایل، پی سطحی واقع بر سطح شیب دار خاک های لایه لایه ، محاسبه و کنترل نشست پی های سطحی ، بررسی پی روی خاکهای مسئله آفرین (متورم شونده ، گچی و ...) ، کنترل آب زیر زمینی در اجرا و گود برداری
- ۳- محاسبه انواع پی های سطحی (شامل پی های منفرد ، کلافدار ، نواری و گسترده ، روش پی صلب و پی روی تکیه گاه ارتجاعی
- ۴- شناسایی انواع دیوارها و ا بنیه نگهبان ، محاسبه فشار جانبی خاک ، فشار استاتیکی و هیدرودینامیکی آب ، روش طرح انواع دیوارهای حائل صلب
- ۵- شناسائی انواع پی های عمیق ، ظرفیت باربری پی های عمیق با روشهای استاتیکی ، دینامیکی و آزمایش های صحرائی
- ۶- محاسبه گروه شمع (ظرفیت گروه و توزیع بار) ، طرح صفحه بتنی (پی اتصالی) مستقر بر

شمع ها

مراجع و منابع

مراجع فارسی

- (۱) **اصول مهندسی ژئوتکنیک**، جلد دوم مهندسی پی، تالیف: برآجا ام داس، ترجمه : شاپور طاحونی
- (۲) **تحلیل و طراحی پی** ، تالیف: جی ای بولز ، ترجمه : اردشیر اطمیانی
- (۳) **مهندسی پی** ، تالیف: دکتر محمدعلی روشن ضمیر، انتشارات دانش پژوهان برین
- (۴) **مهندسی پی** ، طراحی و اجرا، دکتر ابوالفضل اسلامی، انتشارات دانشگاه گیلان
- (۵) **پی های گسترده** ، دکتر ابوالفضل اسلامی، انتشارات دانشگاه گیلان
- (۶) **طراحی سازه های بتن آرمه** ، جلد دوم، دکتر داود مستوفی نژاد، انتشارات ارکان اصفهان
- (۷) **اصول مهندسی پی** ، دکتر علیرضا رهایی ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- (۸) **مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان**، پی و پی سازی

مراجع انگلیسی

- 1) Bowles, J,E,1999. "**Foundation Analysis and Design**" McGraw-Hill Co.
- 2) Budhu, M. 2000." **Soil Mechanics and Foundation**"
- 3) Kramer, S. L., 1996." **Geotechnical Earthquake Engineering**" Prentice-Hall, Englewood Cliffs

۱۰ نمره امتحان پایان ترم

۲ نمره حضور و غیاب

۲ نمره تکالیف درسی

۶ نمره میان ترم



فصل اول

شناسایی تحت الارضی (کاوش های زیر زمین)

Subsurface Exploration



ما همواره برای طراحی شالوده های ساختمان، پی و سد، احتیاج به بررسی معلومات خاک داریم

معلومات خاک به عوامل زیر بر می گردد :

باری که از سازه به شالوده منتقل می شود

احتیاجات آئین نامه های ساختمانی

رفتار **تنش - تغییر شکل** خاک زیر شالوده

شرایط زمین شناسی خاک ناحیه مورد نظر

تعریف شالوده: قسمتی از سازه که در تماس با زمین قرار دارد و بارهای وارده از سازه به آن منتقل می شود

تعریف پی: خاک یا سنگ زیر و اطراف شالوده را پی می گویند

تعریف ژئوتکنیک: به بررسی رفتار مهندسی مصالح زمین و مخاطرات محتمل در رابطه با احداث ابنیه می پردازد

V فصل اول

هدف از شناسایی تحت الارضی (کاوش های زیر زمین) :

- تعیین سطح آب زیر زمینی
- تعیین نوع خاک و پارامترهای مقاومتی و تغییر شکل پذیری آن به نحوی که امکان تعیین نوع و ابعاد شالوده میسر گردد و مشکل نشست و ظرفیت باربری نداشته باشیم
- تعیین خاک های مسأله دار (تورمی، رمنده و ...) و سنگهای هوا زده
- تعیین ضریب نفوذپذیری خاک
- تعیین ضریب فشار جانبی خاک جهت طراحی سازه های نگهبان
- تعیین روش اجرایی بهینه تحت تغییر شرایط زیر زمینی

اهمیت شناسایی تحت الارضی



ابزار های شناسایی اولیه :

- نقشه های توپوگرافی
- عکس های هوایی
- گزارش های ژئوتکنیک سازه های مجاور
- بازدید محلی (توپوگرافی عمومی منطقه - بررسی ترانше های مصنوعی و طبیعی - بررسی مسائل سازه های مجاور - بررسی پوشش گیاهی - وضعیت چاهها و خاک های دستی و ...)
- احداث گمانه های دستی

تعریف پروژه :

Feasibility	امکانسنجی	• فاز صفر
Basic Design	طراحی اولیه (پایه)	• فاز یک
Detailed Design	طراحی جامع	• فاز دو
Constructure	ساختار	• فاز سه

برنامه مطالعات تحت الارضی

عملیات شناسایی تحت الارضی

بازدید محلی

جمع آوری
اطلاعات اولیه

تهیه گزارش
مکانیک خاک توسط
مشاور

حمل نمونه ها به
آزمایشگاه و انجام
آزمایش های
آزمایشگاهی

گمانه زنی و تهیه
نمونه های دست
خورده و دست
نخورده



گمانه (Borehole)

چاهکی به قطر ۳، ۴، یا ۵ اینچ و به عمق های مختلف می باشد که برای شناسایی وضعیت خاک در لایه های زیرین زمین حفر می شود.

عمق، تعداد، و محل گمانه ها باید مشخص شود که بستگی به نوع زمین و نوع پروژه دارد.

تعیین عمق گمانه

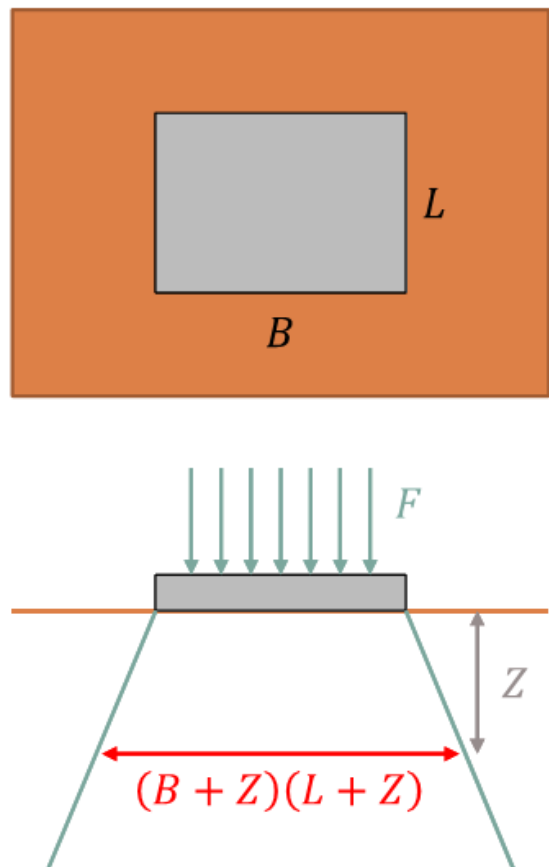
عمق گمانه به سه روش تعیین می شود.

۱- روش پیشنهادی انجمن مهندسين عمران آمریکا (ASCE)

گام اول: تعیین اضافه فشار در عمق برای سازه مورد نظر

$$\Delta P = \frac{F}{(B + Z)(L + Z)}$$

گام دوم: تعیین ارتباط فشار و تنش موثر در عمق



تعیین عمق گمانه

گام سوم: تعیین عمق D_1 به نحوی که در آن عمق، اضافه تنش موثر به ۰.۱ مقدار اولیه برسد.

$$\Delta\sigma'_z = \frac{\Delta\sigma'_0 \times B \times L}{(B + Z)(L + Z)} = 0.1\Delta\sigma'_0$$

گام چهارم: تعیین عمق D_2 به نحوی که در آن $\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_V} = 0.05$ باشد. در این رابطه σ'_V تنش موثر قائم در عمق مورد نظر پیش از اعمال بار اضافی است.

گام پنجم: کوچکترین مقدار بین D_1 و D_2 حداقل عمق گمانه خواهد بود.

تعیین عمق گمانه

۲- استفاده از جداول آماده برای انواع سازه و کاربری و غیره.

این جداول متعدد بوده استفاده از آن ها به قضاوت طراح متکی است.

عمق پیشنهادی	نوع پروژه
حداقل ۱/۵ برابر عمق خاکبرداری	خاکبرداری و احداث ترانشه
۱۰ تا ۳۰ متر پایینتر از کف شمع بسته به عمق تاثیر تنش ناشی از شمع در خاک	احداث شمع
۰/۵ تا ۲ برابر قطر لوله از کف قرارگیری لوله	خط لوله
حداقل به اندازه قطر تونل در زیر کف تونل	تونل
حداقل برابر ارتفاع خاکریز از کف خاکریز	خاکریز

تعیین عمق گمانه

۳- روش پیشنهادی Sower & Sower

الف- برای سازه های فولادی سبک و بتنی کم عرض

$$D_b = 3 \times S^{0.7}$$

ب- برای سازه های فولادی سنگین و بتنی عریض

$$D_b = 6 \times S^{0.7}$$

عمق گمانه: D_b , تعداد طبقات: S

تعیین تعداد گمانه

با بالا رفتن اهمیت، بزرگی بار، پیچیدگی هندسه پروژه، و پیچیدگی لایه بندی خاک محل تعداد گمانه ها بالا می رود.

در یک منطقه با تمرکز تنش، حداقل پنج گمانه مناسب است و در صورت وجود محدودیت، از حداقل سه گمانه استفاده می کنیم. فاصله گمانه ها بسته به نوع و اهمیت و تمرکز بار سازه دارد. به عنوان یک راهنمای عمومی می توان از جدول زیر استفاده نمود.

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

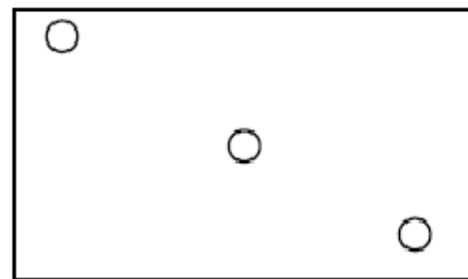
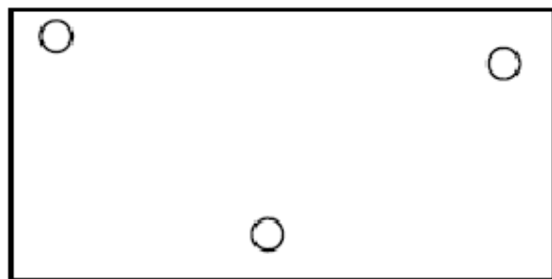
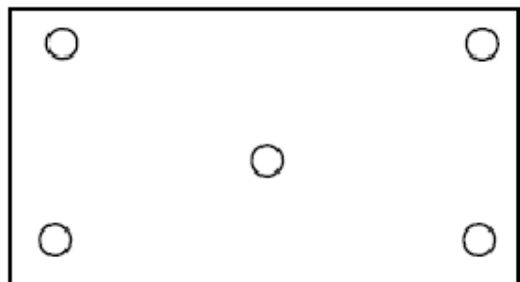
تعیین محل گمانه

محل گمانه ها در نقاطی تعیین می شود که دید کاملتری از وضعیت خاک به ما بدهد. همچنین از آنجا که آزمایش های تعیین مقاومت خاک بر روی نمونه های حاصل از گمانه ها انجام می شود، محل گمانه ها حتل الامکان باید به محل تمرکز تنش نزدیک باشد.

هنگامی که تعداد گمانه ها برابر با سه گمانه و بالاتر است، محل گمانه ها به شکلی انتخاب می شود که نقاط گمانه زنی بر روی یک خط قرار نگیرند.

در صورت وجود پیچیدگی در شکل سازه، شکل لایه بندی، و توپوگرافی محل، حتی امکان در محل تغییر شکل و تغییر وضعیت یک گمانه حفر می شود.

تعیین محل گمانه



روش های گمانه زنی

2

۱- روش تزریقی (Washboring)

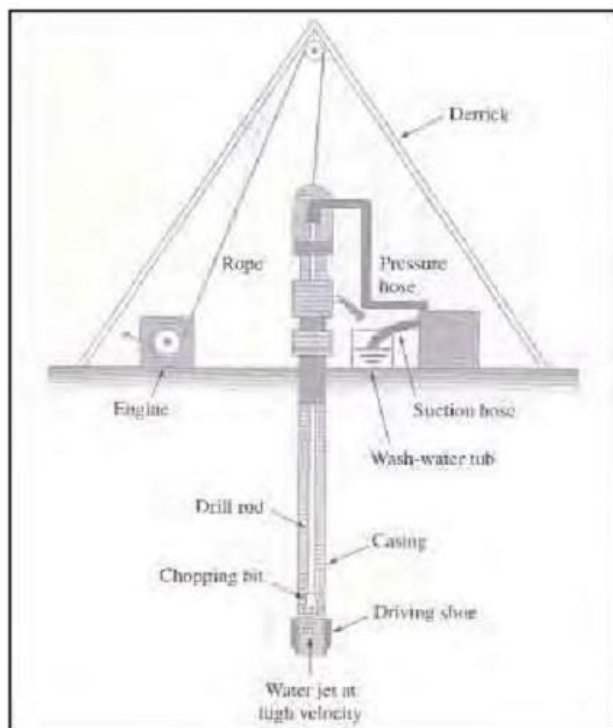
۲- روش دورانی (Rotary)

۳- روش مته (Auger)

روش تزریقی

23

در این روش کیسینگ به درون خاک فرو برده می شود و سپس خاک محصور شده درون کیسینگ با فشار آب شسته شده و بالا می آید. در این روش نمونه خاک دست خوردگی بالایی دارد.



روش دورانی

2



در این روش، خاک طی یک فرآیند دورانی تراشیده شده و به وسیله مغزه گیر بیرون می آید. نمونه ها در این روش دست خوردگی کمتری دارند.

روش مته

23



در این روش خاک به وسیله مته حفاری تراشیده شده و بر روی دندانه های مته بالا می آید. خاک در این روش کاملا دست خورده است.



روش های گمانه زنی

23

گاهی با نصب کردن مغزه گیر بر روی مته، دو روش دورانی و مته را با هم ترکیب می کنند.

از نمونه دست خورده می توان برای آزمایشاتی مثل دانه بندی، حدود اتربرگ، تعیین درصد رطوبت، تعیین چگالی دانه ها و غیره استفاده کرد.

از نمونه دست نخورده در آزمایشات تعیین چگالی خاک، تحکیم تک محوری و سه محوری، برش مستقیم و برش سه محوری استفاده می شود.

انواع نمونه گیر

2

نمونه گیر اسپلیت اسپون (Split Spoon)

برای خاک های دانه ای استفاده می شود.



انواع نمونه گیر

2

نمونه گیر شلبی (Shelby)

برای خاک های ریزدانه استفاده می شود.



انواع نمونه گیر

23

نمونه گیر کور بارل (Core Barrel)

در حفاری دورانی و اغلب برای خاک های سخت و سنگ ها استفاده می شود.



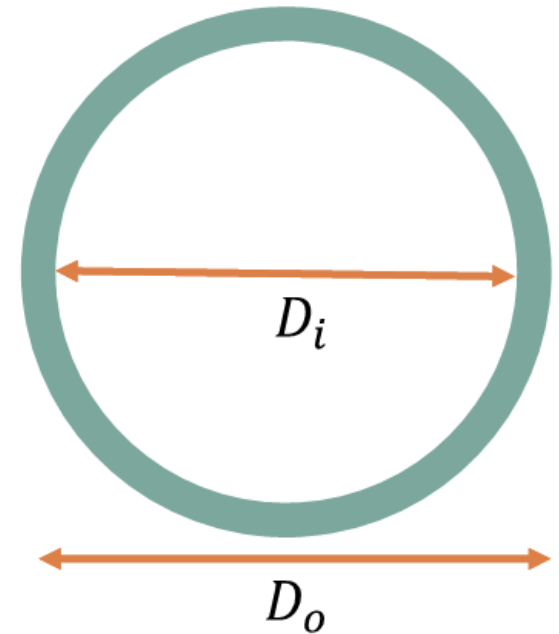
درجه دست خوردگی

2

$$A_r = \frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100$$

$$\text{Split Spoon} \rightarrow \begin{cases} D_o = 50.8\text{mm} \\ D_i = 34.93\text{mm} \end{cases} \rightarrow A_r = 111.5\%$$

$$\text{Shelby} \rightarrow \begin{cases} D_o = 50.8\text{mm} \\ D_i = 47.63\text{mm} \end{cases} \rightarrow A_r = 13.75\%$$



در صورتی که درجه دست خوردگی کمتر از ۱۰ درصد باشد، نمونه دست نخورده محسوب می شود.

فصل دوم

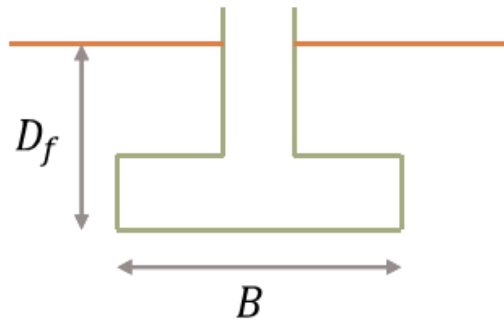
پی های سطحی



پی های سطحی

24

پی (فونداسیون، شالوده) سازه ای است زیرزمینی به منظور حمل و انتقال بارهای حاصل از سازه روزمینی به زمین.



پی

پی عمیق

$$\frac{D_f}{B} \geq 5$$

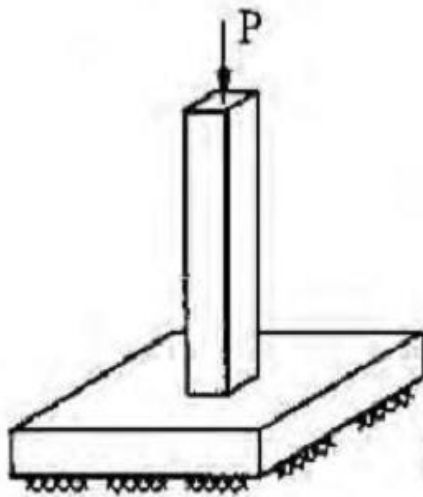
پی سطحی

$$\frac{D_f}{B} \leq 1$$

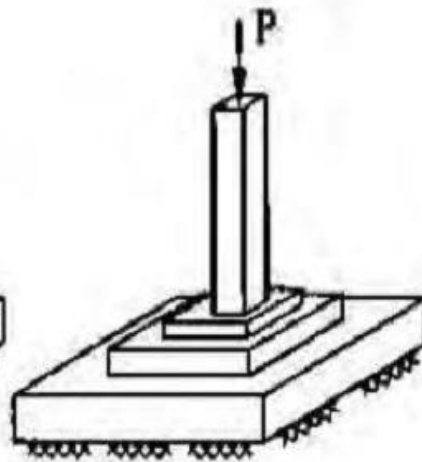
انواع پی های سطحی

24

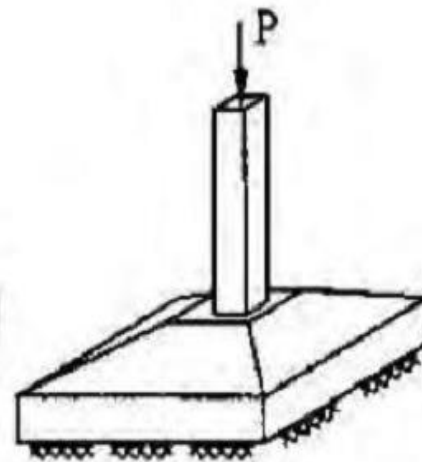
۱- پی منفرد Spread Footing: بار یک ستون را حمل می کند.



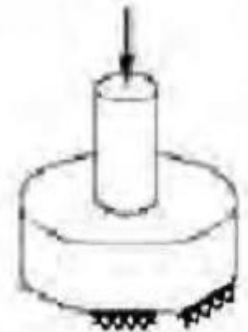
پی ساده



پی پله‌ای



پی شیب‌دار

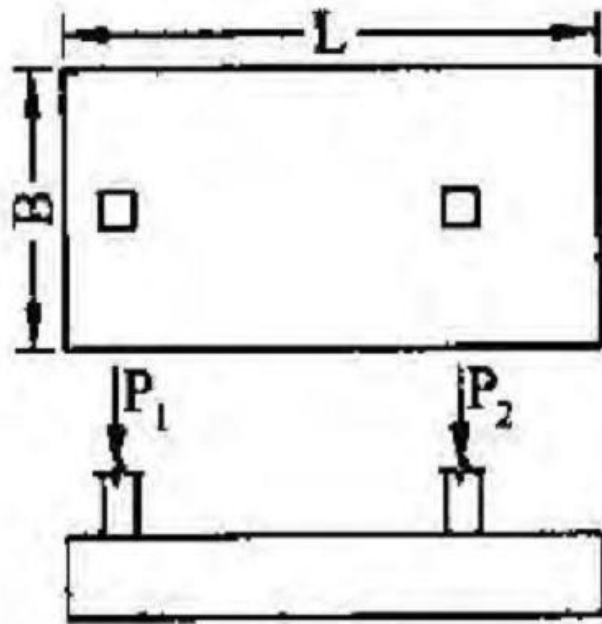


پی دایره‌ای

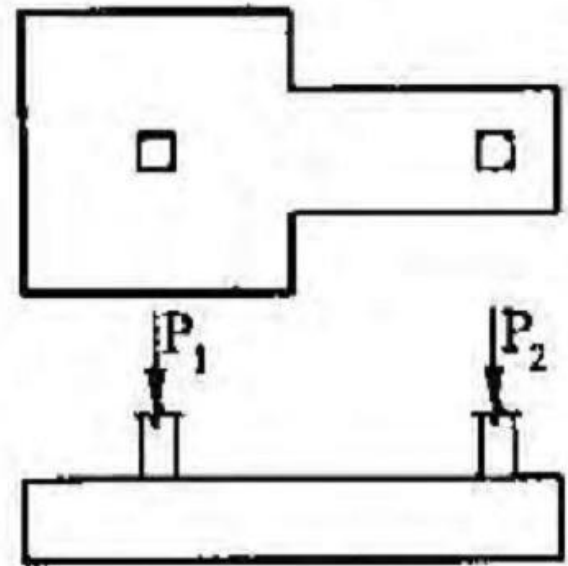
انواع پی های سطحی

24

۲- پی مرکب combined footing : بار دو ستون مجاور را حمل می کند



پی مرکب مستطیلی

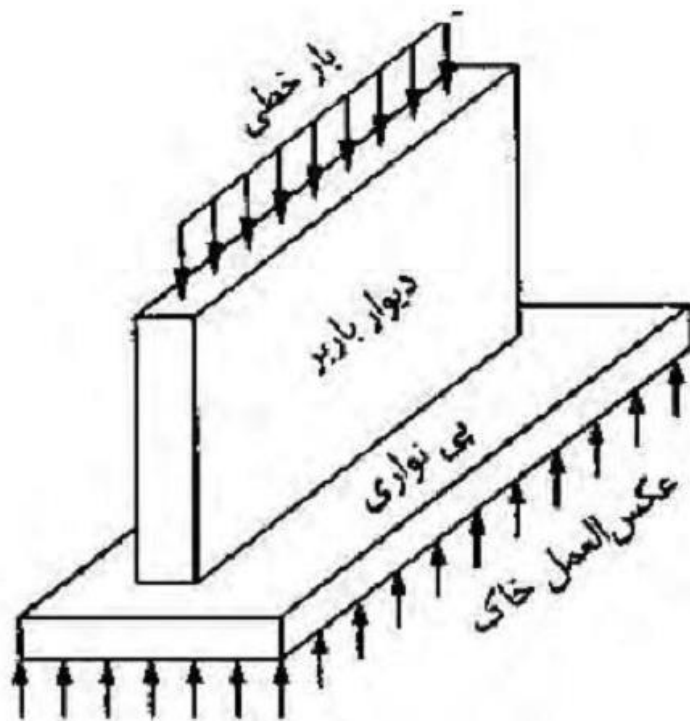


پی مرکب T شکل

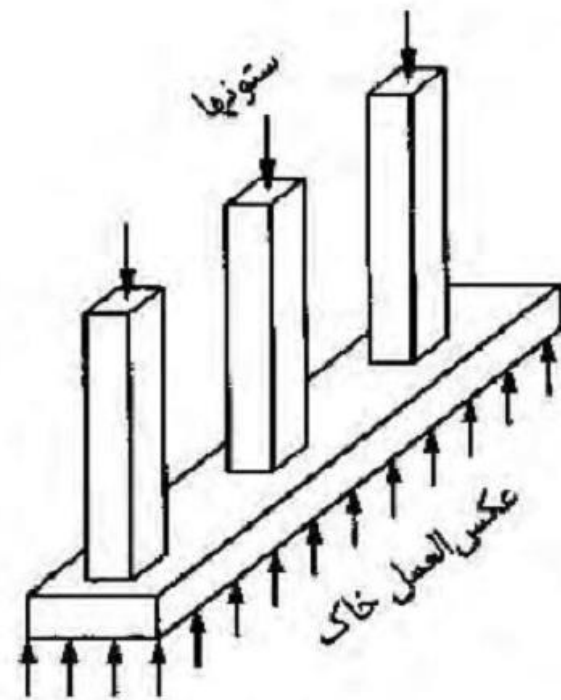
انواع پی های سطحی

24

۳- پی نواری strip or continuous footing : به پی زیر دیوار یا زیر ستونهایی که روی یک محور قرار دارند اطلاق می شود.



پی نواری زیر دیوار

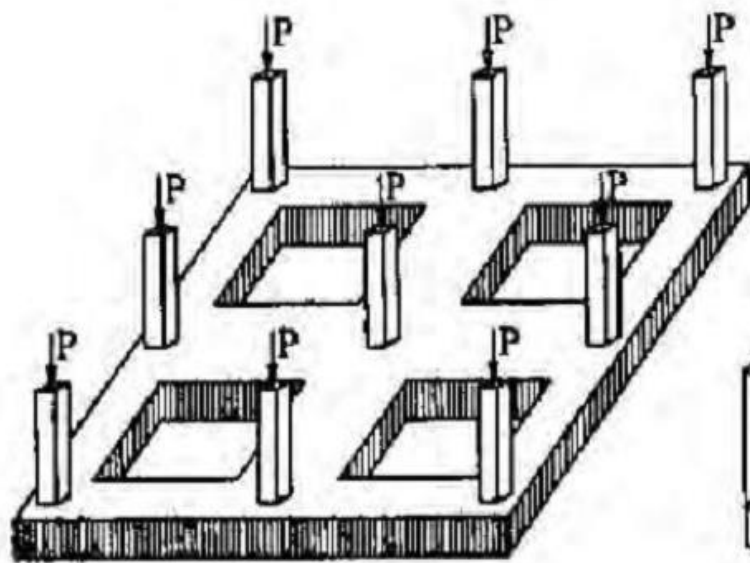


پی نواری زیر ستونهای یک محور

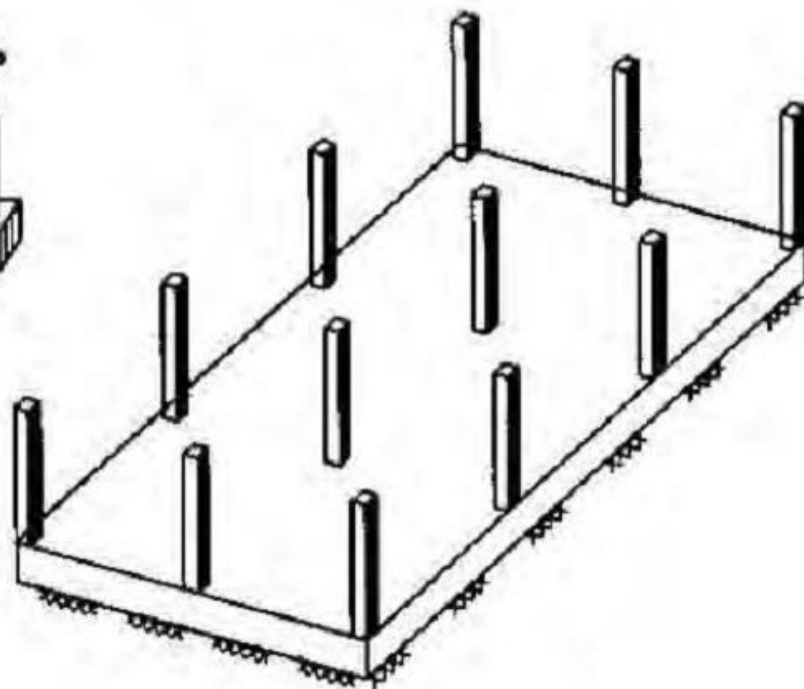
انواع پی های سطحی

24

۴- پی گسترده raft or mat footing



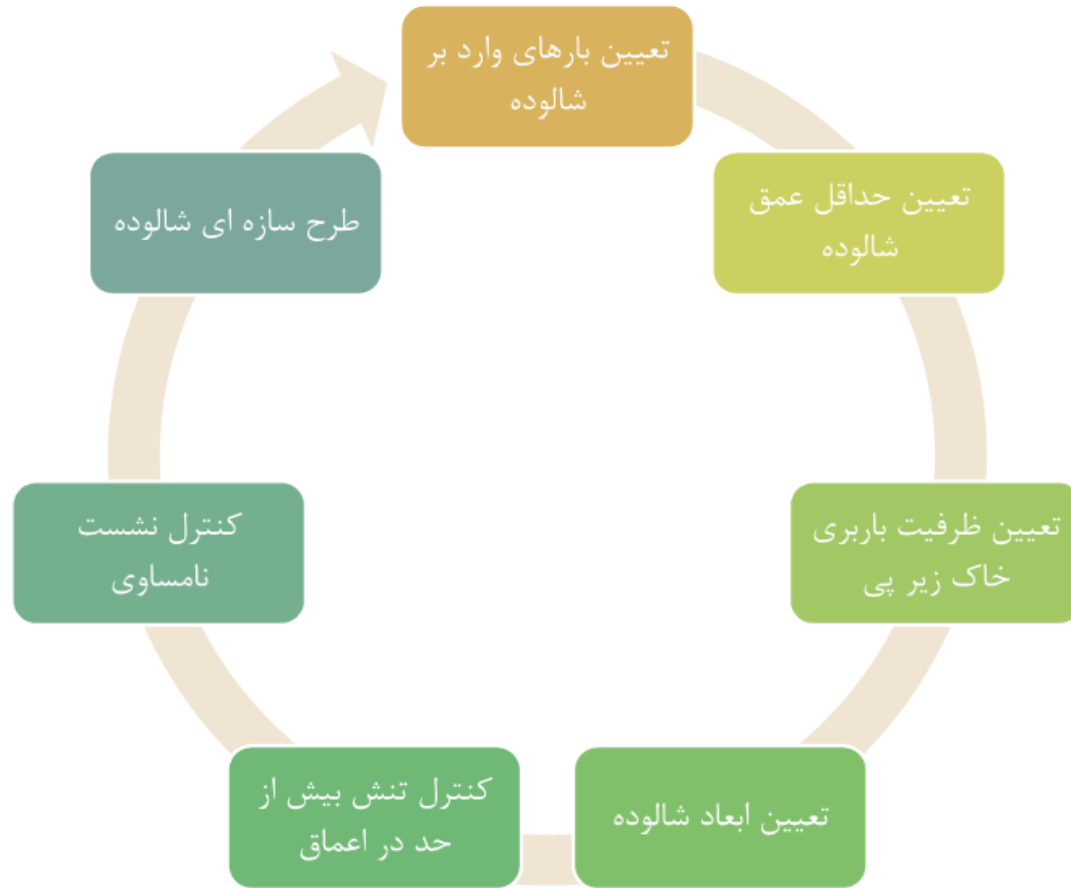
پی نواری دو طرفه (پی شبکه ای)



پی گسترده

مراحل طراحی یک شالوده منفرد

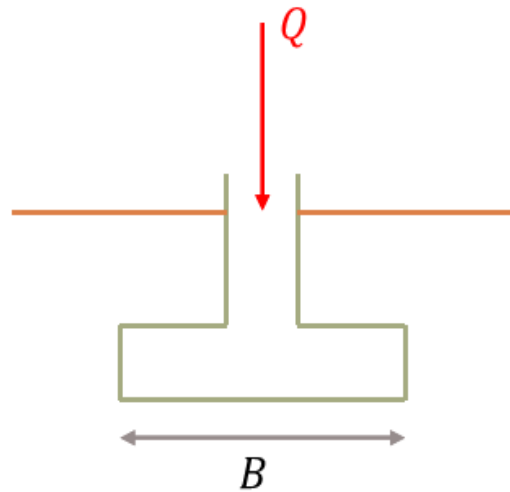
24



تعیین بارهای وارد بر کف پی منفرد

بار وارده بر پی

24



$$q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \times B} \leq q_a$$

$$q_a = \frac{q_u}{F.S.}$$

q_a : تنش مجاز

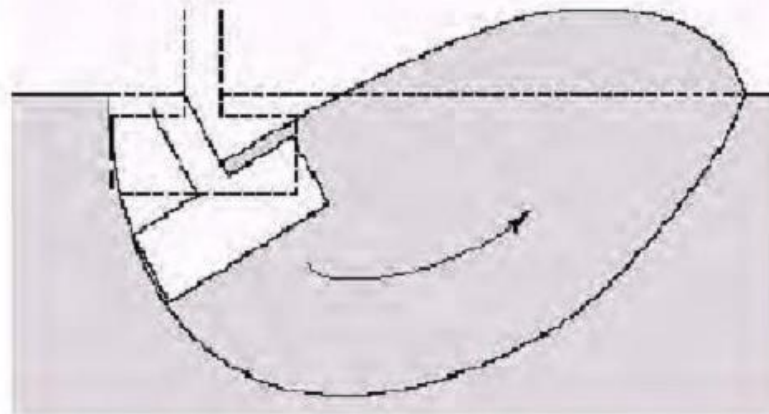
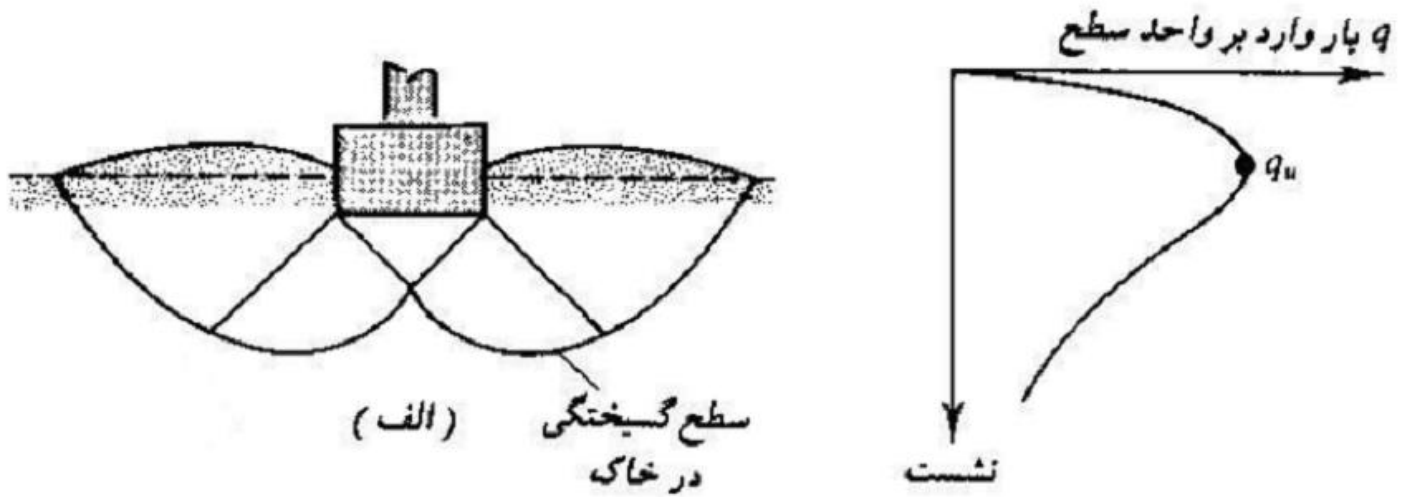
q_u : تنش نهایی

$F.S.$: ضریب اطمینان

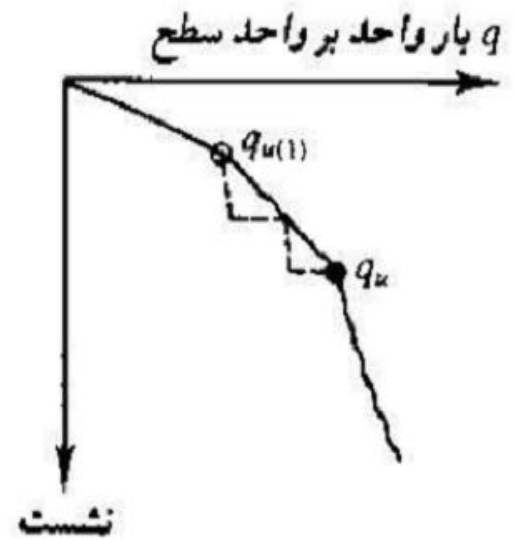
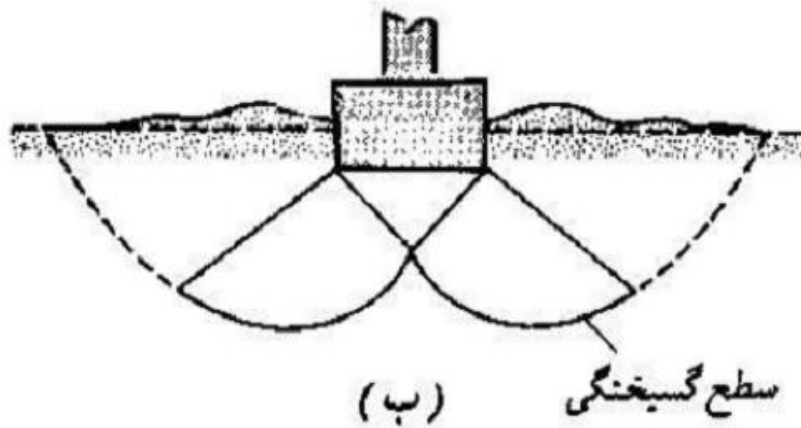
انواع گسیختگی در زیر پی

گسیختگی کلی

25

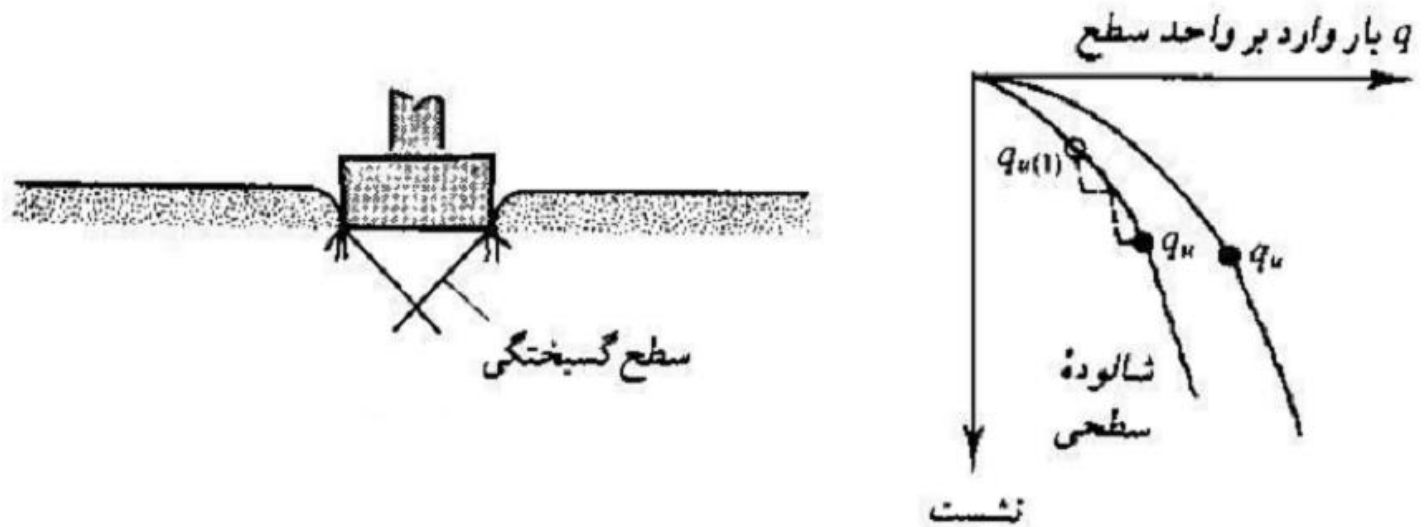


گسیختگی موضعی



گسیختگی سوراخ کننده

25



انواع گسیختگی در زیر پی

25

در حالت گسیختگی برش کلی، بار نهایی در نشستی در حدود ۴ تا ۱۰ درصد عرض شالوده B رخ می دهد.

در حالت گسیختگی برش موضعی و سوراخ کننده بار نهایی در نشستی در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد عرض شالوده B

رخ می دهد.

فصل سوم

تعیین ظرفیت باربری



مراحل طراحی یک شالوده منفرد

25



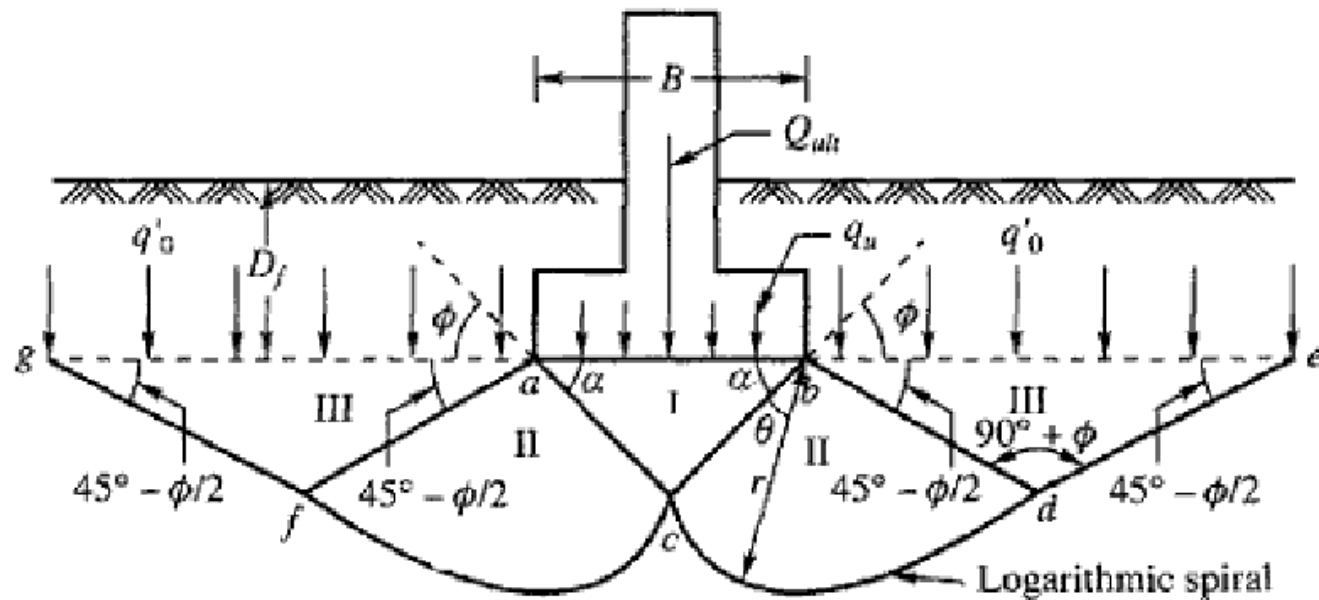
تئوری ترزاقی برای تعیین ظرفیت باربری سطحی

Terzaghi's Theory for Ultimate Bearing Capacity

تئوری ترزاقی

29

در تئوری ترزاقی سه ناحیه گوه زیر پی، پلاستیک، و مقاوم برای خاک در نظر گرفته می شود. فرضیات این روش به شرح صفحه بعد هستند.



۱- در زیر شالوده گسیختگی برشی کلی رخ می دهد.

۲- خاک موجود در بالای سطح زیرین شالوده حذف شده و به جای آن تنش ناشی از وزن برابر با $q = \gamma D_f$ جایگزین میشود. در نتیجه از مقاومت برشی آن هم صرف نظر می شود.

۳- در زیر شالوده یک ناحیه گوه ای abc تشکیل می شود.

۴- سطح تماس شالوده و خاک کاملاً زبر فرض می شود.

۵- cd و cf بخشی از یک اسپیرال لگاریتمی هستند و دو بخش به نام ناحیه پلاستیک را تشکیل می دهند. در فرم های اولیه این تئوری این دو بخش قطاعی از دایره بودند.

۶- نواحی bde و afg نواحی مقاوم رانکین را می سازند. به دلیل مقاوم بودن رفتار، زاویه آن ها برابر با $45 - \frac{\varphi}{2}$ است.

۷- زاویه α برابر با زاویه اصطکاک داخلی φ است.

با این فرض ها، تئوری ظرفیت باربری ترزاقی به شکل زیر معرفی شد.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

که در آن

c : چسبندگی، γ : وزن مخصوص خاک، N_c : ظرفیت باربری شالوده q_u :

B : عرض شالوده، $q = \gamma D_f$: بار ناشی از خاک بالای کف پی

N_c, N_q, N_γ : ضرایب ظرفیت باربری خاک

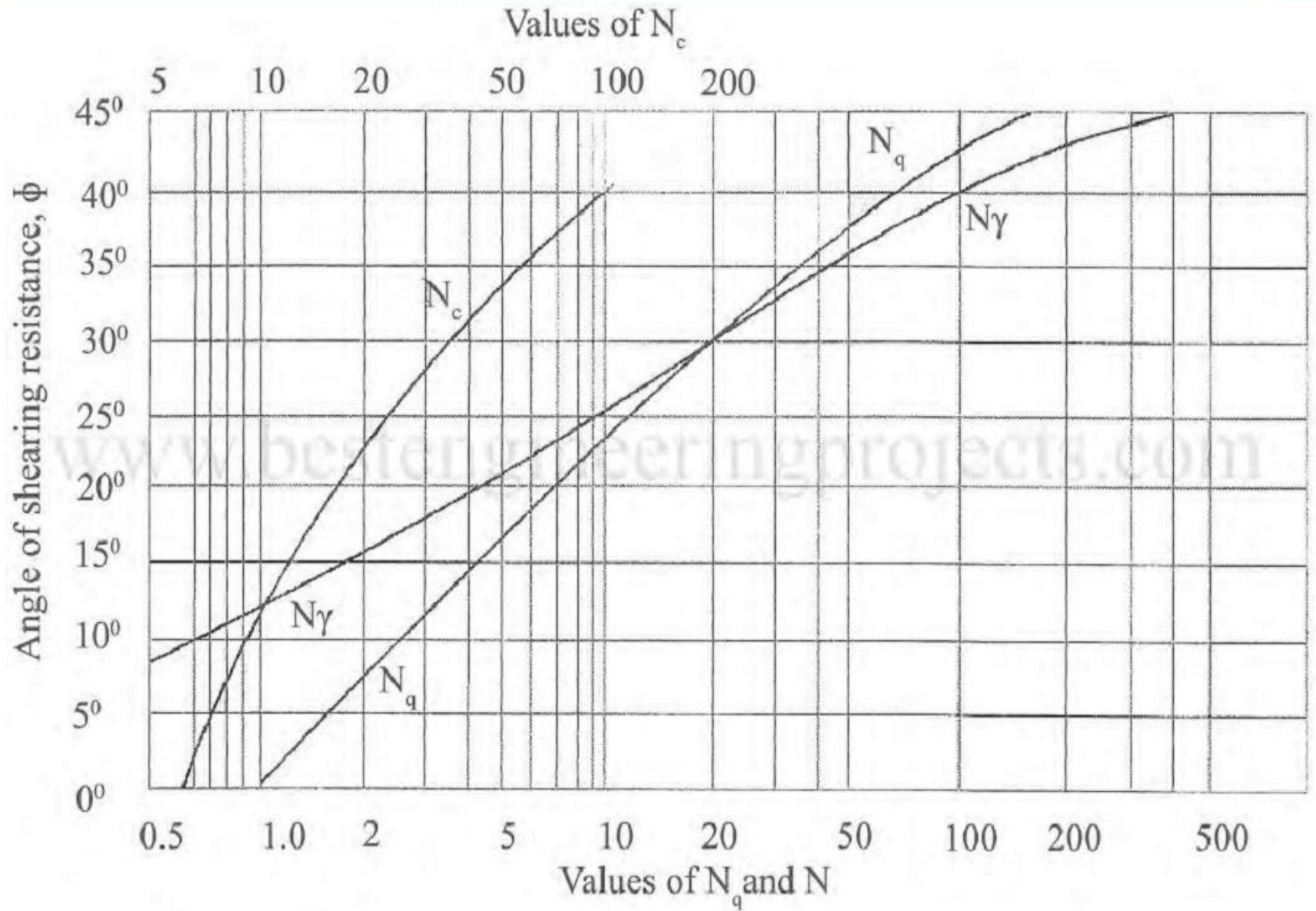
$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$N_c = \cot\phi \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} - 1 \right] = \cot\phi [N_q - 1]$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1 \right) \tan\phi$$

$K_{p\gamma}$: ضریب فشار مقاوم خاک

در روابط بالا ϕ به رادیان است. (از شکل صفحه بعد نیز می توان استفاده نمود)



رابطه داده شده برای شالوده نواری ($L \gg B$) است. در صورتی که شالوده مربعی یا دایره ای باشد مسئله از حالت دو بعدی خارج شده و حل آن سه بعدی می شود. ترزاقی برای این دو حالت روابط خود را به شکل زیر اصلاح نمود.

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

اگر شالوده مربعی باشد

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

اگر شالوده دایره ای باشد

وقتی گسیختگی در زیر شالوده ها بصورت موضعی باشد local shear Failure ترزاقی روابط زیر را پیشنهاد نمود.

شالوده نهاری $q_u = \frac{2}{3}cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma$

شالوده مربعی $q_u = 0.867cN'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma$

شالوده دایره ای $q_u = 0.867cN'_c + qN'_q + 0.3\gamma BN'_\gamma$

در روابط فوق N'_c, N'_γ, N'_q همان روابط قبلی است فقط به جای ϕ باید از رابطه زیر استفاده کنید:

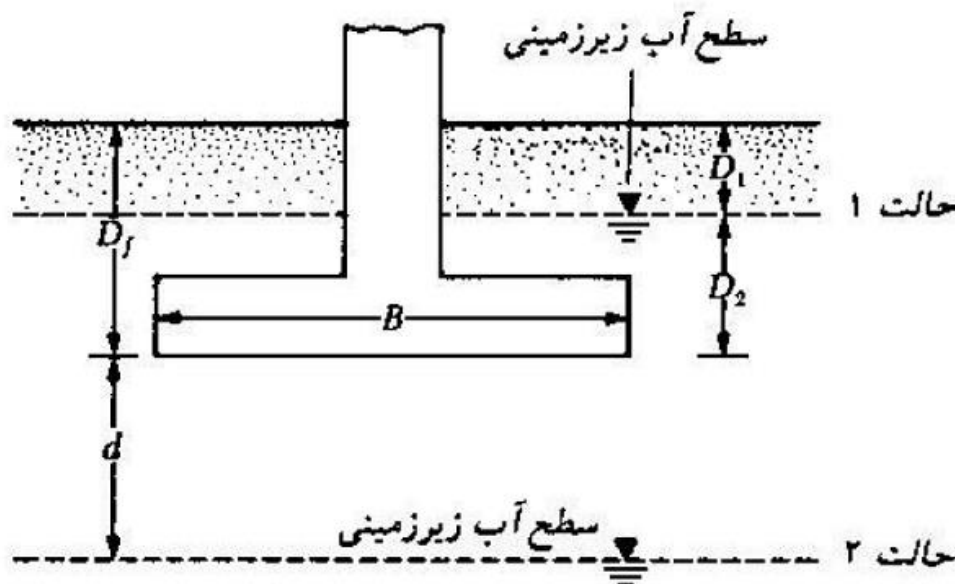
$$\phi' = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\tan\phi\right)$$

اثر وجود آب زیرزمینی

20

در صورتی که سطح آب زیرزمینی در عمق بالایی نباشد روابط برای در نظر گرفتن آب زیرزمینی اصلاح می شوند. سه حالت برای آب زیرزمینی

محتمل خواهد بود.



اصلاح رابطه ظرفیت باربری برای سطح آب زیرزمینی

اثر وجود آب زیر زمینی

20

حالت ۱) با توجه به شکل زیر اگر سطح آب زیر زمینی طوری باشد که $0 \leq D_1 < D_f$ مقدار q موجود

در روابط ظرفیت باربری باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$q = D_1 \gamma + D_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

همچنین مقدار γ در آخرین جمله روابط باید با مقدار $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ جایگزین گردد.

حالت ۲) با توجه به شکل زیر اگر سطح آب زیر زمینی در ترازی باشد که $0 \leq d < B$ مقدار q از رابطه

زیر به دست می آید: $q = \gamma D_f$

همچنین مقدار γ در آخرین جمله روابط باید با مقدار روبرو جایگزین گردد:

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B} (\gamma - \gamma')$$

حالت ۳) وقتی که سطح آب زیر زمینی در ترازی باشد که $d \geq B$ است، آب زیر زمینی هیچ گونه تاثیری

در ظرفیت باربری ندارد.

معایب روش ترزاقی

26

از مقاومت خاک بالای تراز کف شالوده صرف نظر شده است.

این رابطه محافظه کارانه است.

اثر بار افقی را نمیتوان در نظر گرفت.

زاویه φ برای گوه گسیختگی به اشتباه فرض شده است.

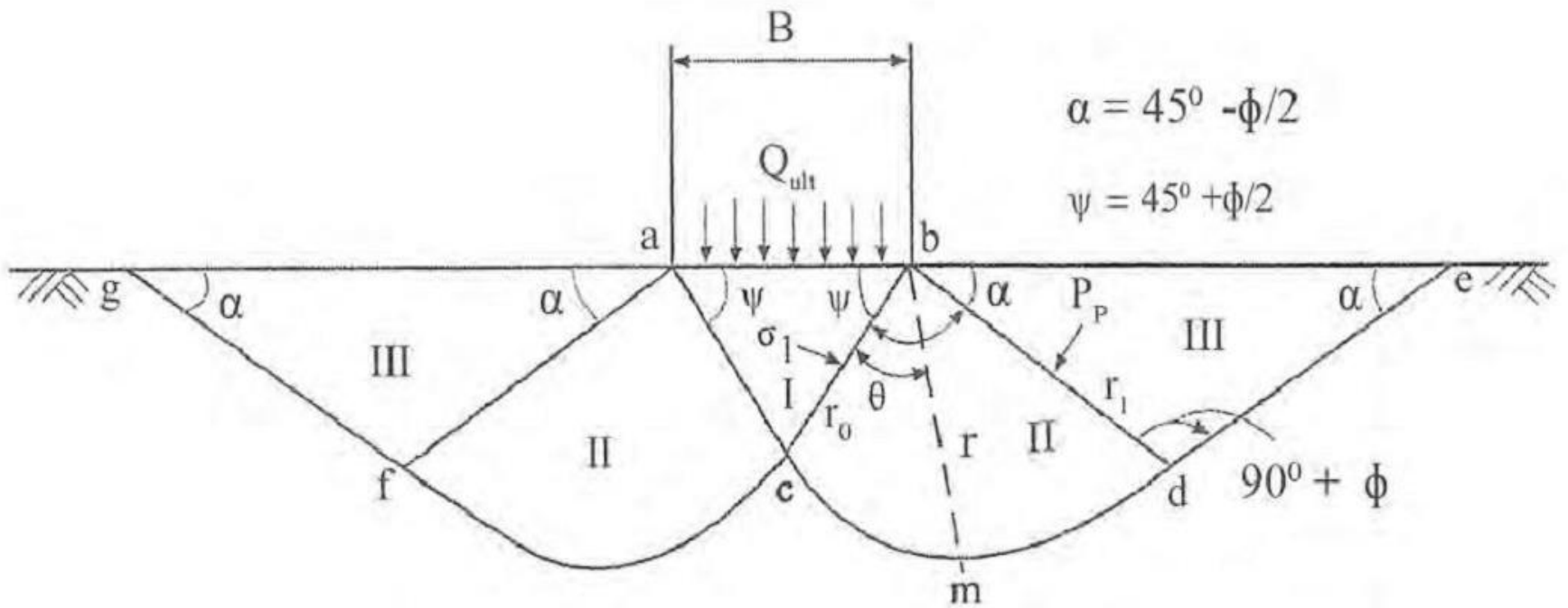
اثر شکل و عمق پی را نمی توان به طور کامل در نظر گرفت.

تئوری مایرهوف برای تعیین ظرفیت باربری سطحی

Meyerhof Theory for Ultimate Bearing Capacity

تئوری مایر هوف

تفاوت این روش با روش ترزاقی، وجود اسپیرال لگاریتمی در فرم اولیه آن، صرف نظر نکردن از مقاومت خاک بالای کف شالوده و فرض کردن زاویه $45 + \frac{\phi}{2}$ برای گوه زیر پی است.



فرم کلی این رابطه برای پی صلب به صورت زیر است.

$$q_u = cN_c S_c d_c i_c + qN_q S_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

که در آن

c : چسبندگی، γ : وزن مخصوص خاک، γ : ظرفیت باربری شالوده: q_u

B : عرض شالوده، B : بار ناشی از خاک بالای کف پی $q = \gamma D_f =$

N_c, N_q, N_γ : ضرایب ظرفیت باربری خاک، S_c, S_q, S_γ : ضرایب شکل

d_c, d_q, d_γ : ضرایب عمق، i_c, i_q, i_γ : ضرایب تمایل بار

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \frac{D_f}{B} \quad \text{For any amount of } \varphi$$

$$d_q = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \frac{D_f}{B} \quad \text{For } \varphi \geq 10$$

$$d_\gamma = d_q \quad \text{For } \varphi \geq 10$$

$$d_\gamma = d_q = 1 \quad \text{For } \varphi = 0$$

$$k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

برای مقادیر $0 < \varphi < 10$ از میانبایی خطی استفاده می شود.

$$i_c = \left(1 - \frac{\theta^o}{90}\right)^2 \quad \text{For any amount of } \varphi$$

$$i_q = i_c \quad \text{For any amount of } \varphi$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^o}{\varphi^o}\right)^2 \quad \text{For } \varphi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{For } \varphi = 0$$

θ زاویه برآیند نیروهای وارد بر فونداسیون نسبت به خط قائم است. اگر θ برابر صفر باشد تمام ضرایب i برابر با یک می شوند.

$$S_c = 1 + 0.2k_p \left(\frac{B}{L}\right) \quad \text{For any amount of } \varphi$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1k_p \left(\frac{B}{L}\right) \quad \text{For } \varphi \geq 10$$

$$S_q = S_\gamma = 1 \quad \text{For } \varphi \cong 0$$

برای مقادیر $0 < \varphi < 10$ از میانبایی خطی استفاده می شود.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

تئوری هنسن برای تعیین ظرفیت باربری سطحی

Hansen Theory for Ultimate Bearing Capacity

در رابطه هسنن شیب خاکریز و شیب کف پی نیز در نظر گرفته شده است.

$$q_u = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

که در آن

c : چسبندگی، γ : وزن مخصوص خاک، γ : ظرفیت باربری شالوده: q_u

B : عرض شالوده، B : بار ناشی از خاک بالای کف پی $q = \gamma D_f =$

N_c, N_q, N_γ : ضرایب ظرفیت باربری خاک، S_c, S_q, S_γ : ضرایب شکل

d_c, d_q, d_γ : ضرایب عمق، i_c, i_q, i_γ : ضرایب تمایل بار

g_c, g_q, g_γ : ضرایب شیب زمین، b_c, b_q, b_γ : ضرایب شیب کف پی

برای خاکهای با $\phi > 0$

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

برای خاکهای با $\phi = 0$

$$q_{ult} = 5.14c_u(1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad , \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

N_c, N_q مشابه روابط مایر هوف

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

$$\text{ضرایب شکل} \left\{ \begin{array}{l} S'_c = 0.2 \frac{B'}{L'} \quad (\phi = 0) \\ S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B'}{L'} \\ S_c = 1 \\ S_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi \\ S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'} \geq 0.6 \end{array} \right. \quad \text{for Strip footing} \quad \text{ضرایب عمق} \left\{ \begin{array}{l} d'_c = 0.4k \quad (\phi = 0) \\ d_c = 1 + 0.4k \\ d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k \\ d_\gamma = 1 \quad \text{for all } \phi \end{array} \right.$$

$$k = \begin{cases} \frac{D}{B} & \frac{D}{B} \leq 1 \\ \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right) & \frac{D}{B} > 1 \end{cases}$$

ضرایب میل بار

$$\left\{ \begin{array}{l}
 i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f C_a}} \quad (\phi = 0) \\
 i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0) \\
 i_q = \left[1 - \frac{0.5 H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^{2.5} \\
 i_\gamma = \left[1 - \frac{0.7 H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^{3.5} \quad (\eta = 0) \\
 i_\gamma = \left[1 - \frac{(0.7 - \frac{n^\circ}{450^\circ}) H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^{3.5} \quad (\eta > 0)
 \end{array} \right.$$

ضرایب شیب پاشنه

$$\begin{cases} g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} & (\phi = 0) \\ g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5 \end{cases} \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi > 0)$$

ضرایب زمین

$$\begin{cases} b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} & (\phi = 0) \\ b_q = \exp(-2\eta \tan \phi) \\ b_\gamma = \exp(-2.7\eta \tan \phi) \end{cases} \quad b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi > 0)$$

$\eta = \text{radian}$

در صورت وجود نیروی برشی در هر دو جهت در پای ستون (هر دو H_B, H_L) به روش زیر عمل می کنیم:

الف) محاسبه i_c, i_q, i_γ با استفاده از فرمولهای ارائه شده قبلی به صورت جداگانه برای H_B, H_L

$$i_{c,B}, i_{c,L}, i_{q,B}, i_{q,L}, i_{\gamma,B}, i_{\gamma,L}$$

ب) با استفاده از ضرایب تمایل بار بدست آمده ضرایب شکل به صورت زیر اصلاح می شوند.

$$\text{for } H_B = \begin{cases} S'_{c,B} = 0.2 \frac{B}{L} i_{c,B} & \text{for } \phi = 0 \\ S_{c,B} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L} i_{c,B} & \text{for } \phi > 0 \\ S_{q,B} = 1 + \sin \phi \frac{B}{L} i_{q,B} \\ S_{\gamma,B} = 1 - 0.4 \frac{B' i_{\gamma,B}}{L' i_{\gamma,L}} \end{cases} \quad \text{for } H_L = \begin{cases} S'_{c,L} = 0.2 \frac{L}{B} i_{c,L} & \text{for } \phi = 0 \\ S_{c,L} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{L}{B} i_{c,L} & \text{for } \phi > 0 \\ S_{q,L} = 1 + \sin \phi \frac{L}{B} i_{q,L} \\ S_{\gamma,L} = 1 - 0.4 \frac{L' i_{\gamma,L}}{B' i_{\gamma,B}} \end{cases}$$

$$q_{ult,B} = c N_c S_{c,B} d_{c,B} i_{c,B} + q N_q S_{q,B} d_{q,B} i_{q,B} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_{\gamma,B} d_{\gamma,B} i_{\gamma,B}$$

$$q_{ult,L} = c N_c S_{c,L} d_{c,L} i_{c,L} + q N_q S_{q,L} d_{q,L} i_{q,L} + \frac{1}{2} \gamma L' N_\gamma S_{\gamma,L} d_{\gamma,L} i_{\gamma,L}$$

$$q_{ult} = \text{Min}(q_{ult,B}, q_{ult,L})$$

تئوری وسیک برای تعیین ظرفیت باربری سطحی

Vesic Theory for Ultimate Bearing Capacity

رابطه وسیک مشابه رابطه هنسن است و تنها شکل محاسبه برخی از ضرایب در آن متفاوت است..

$$q_u = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

که در آن

q_u : چسبندگی، c : وزن مخصوص خاک، γ : ظرفیت باربری شالوده

$q = \gamma D_f$: عرض شالوده، B : بار ناشی از خاک بالای کف پی

N_c, N_q, N_γ : ضرایب شکل، S_c, S_q, S_γ : ضرایب ظرفیت باربری خاک

d_c, d_q, d_γ : ضرایب عمق، i_c, i_q, i_γ : ضرایب تمایل بار

g_c, g_q, g_γ : ضرایب شیب زمین، b_c, b_q, b_γ : ضرایب شیب کف پی

N_c, N_q مشابه معادله ظرفیت باربری هسنن بوده اما N_γ تا حدودی متفاوت می باشد.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

ضرایب شکل

$$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} \quad S_c = 1 \quad \text{برای پی های نواری}$$

$$S_q = 1 = \frac{B}{L} \tan \phi \quad S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$$

ضرایب عمق همان ضرایب هسنن می باشد

ضرایب میل بار

$$i'_c = 1 - \frac{mH_i}{A_f \cdot C_a \cdot N_c} \quad (\phi = 0)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^m$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^{m+1}$$

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

اگر نیروی برشی موازی امتداد B در پی باشد

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

اگر نیروی برشی موازی امتداد L در پی باشد

$$m = \sqrt{m_B^2 + m_L^2}$$

اگر نیروی برشی موازی هم در امتداد B و هم در امتداد L باشد

ضرایب زمین (شیب فاکریز طرفین)

$$g'_c = \frac{\beta}{5.14} \quad (\beta = \text{radian}) \quad (\phi = 0)$$

$$g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0)$$

$$g_q = g_r = (1 - \tan \beta)^2$$

ضرایب شیب پاشنه

$$b'_c = g'_c \quad (\phi = 0)$$

$$b_c = 1 - \frac{2\beta}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0)$$

$$b_q = b_r = (1 - \eta \tan \phi)^2$$

ضرایب زمین (شیب فاکریز طرفین)

$$g'_c = \frac{\beta}{5.14} \quad (\beta = \text{radian}) \quad (\phi = 0)$$

$$g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0)$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2$$

ضرایب شیب پاشنه

$$b'_c = g'_c \quad (\phi = 0)$$

$$b_c = 1 - \frac{2\beta}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0)$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan \phi)^2$$

موارد پیشنهاد شده برای استفاده از هر معادله

مورد استفاده	معادله
<ul style="list-style-type: none"> • برای خاک های چسبنده با $\frac{D}{B} < 1$ • برای تخمین سریع ظرفیت باربری به منظور مقایسه با سایر روش ها • برای پی های حامل لنگر و بار افقی و پی های قرار گرفته بر روی شیب و نیز پی های غیر افقی استفاده از رابطه ترزاقی جایز نیست. 	ترزاقی
<ul style="list-style-type: none"> • در هر موقعیتی قابل استفاده هستند. 	مایرهوف، هنسن، و وسیک
<ul style="list-style-type: none"> • وقتی پی افقی نبوده و یا روی شیب قرار بگیرد. 	هنسن و وسیک

پیشنهاد می گردد که در موارد عملی حداقل دو روش به کار گرفته شود چنانچه دو روش نتایج یکسانی ارائه ندهند از روش سوم استفاده کنید (روش ها را کامپیوتری کنید تا این کار سریعاً انجام گیرد).

با متوسط حسابی یا وزنی نتایج سه روش می توان q_{ult} را تعیین نمود.

جداول تکمیلی جهت استفاده از معادلات ظرفیت باربری

جدول (۱-۴). معادلات ظرفیت باربری ارائه شده توسط چندین محقق

معادله ترازقی (Terzaghi, ۱۹۲۳): برای مقادیر نمونه N_i و k_{py} جدول ۳-۴ را ملاحظه نمایید.

$$q_{ult} = cN_c s_c + \bar{q}N_q + 0.15\gamma B N_\gamma s_\gamma$$

$$N_q = \frac{a^\gamma}{\gamma \cos^\gamma \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad a = e^{(1.75\pi - \frac{\phi}{\gamma}) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_\gamma = \frac{\tan \phi}{\gamma} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

برای پی	نواری	مدور	مربعی
s_c	۱	۱.۳	۱.۳
s_γ	۱	۰.۶	۰.۸

× میرهوف (۱۹۶۳) برای ضرائب شکل، عمق و تمایل بار جدول ۳-۴ را ملاحظه نمایید
برای بار قائم

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q s_q d_q + 0.15\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

برای بار مایل

$$q_{ult} = cN_c d_c i_c + \bar{q}N_q d_q i_q + 1.5\gamma B' N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^\gamma \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1/4\phi)$$

× هنسن (۱۹۷۰) برای ضرائب شکل، عمق و دیگر ضرائب به جدول ۴-۵ مراجعه شود
+ معادله کلی:

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q}N_q s_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{\gamma} \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$q_{ult} = 5(1/4) s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

برای $\phi = 0$

همانند رابطه میرهوف در بالا $N_q =$

همانند رابطه میرهوف در بالا $N_c =$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

× وسیک (۱۹۷۳، ۱۹۷۵) برای ضرائب شکل، عمق و دیگر ضرائب جدول ۴-۵ را ملاحظه نمایید معادلات
هنسن را بکار ببرید

همانند رابطه میرهوف $N_q =$

همانند رابطه میرهوف $N_c =$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

× در این روشها برای تعیین ابعادی نیاز به انجام روش سعی و خطا می باشد زیرا عرض پی B و طول پی L جهت محاسبه ضرائب شکل، عمق و ضرائب تاثیر مورد نیاز می باشند.
+ وقتی $i_i < 1$ است بخش ۴-۶ را ملاحظه نمایید.

جدول (۴-۲). ضرائب ظرفیت باربری برای معادلات ترزاقی

مقادیر N_γ برای ϕ ، 34° و 48° همان مقادیر اصلی Terzaghi است و از آنها برای محاسبه $K_{p\gamma}$ استفاده شده است.

ϕ .deg	N_c	N_q	N_γ	$K_{p\gamma}$
۰	۵/۷*	۱/۰	۰/۰	۱۰/۸
۵	۷/۳	۱/۶	۰/۵	۱۲/۲
۱۰	۹/۶	۲/۷	۱/۲	۱۴/۷
۱۵	۱۲/۹	۴/۴	۲/۵	۱۸/۶
۲۰	۱۷/۷	۷/۴	۵/۰	۲۵/۰
۲۵	۲۵/۱	۱۲/۷	۹/۷	۳۵/۰
۳۰	۳۷/۲	۲۲/۵	۱۹/۷	۵۲/۰
۳۴	۵۲/۶	۳۶/۵	۳۶/۰	
۳۵	۵۷/۸	۴۱/۴	۴۲/۴	۸۲/۰
۴۰	۹۵/۷	۸۱/۳	۱۰۰/۴	۱۴۱/۰
۴۵	۱۷۲/۳	۱۷۳/۳	۲۹۷/۵	۲۹۸/۰
۴۸	۲۵۸/۳	۲۸۷/۹	۷۸۰/۱	
۵۰	۳۴۷/۵	۴۱۵/۱	۱۱۵۳/۲	۸۰۰/۰

$$N_c = 1/5\pi + 1 \quad *$$

جدول (۴-۳). ضرائب شکل، عمق و تمایل بار برای معادلات ظرفیت باربری میرهوف

ضرائب	مقدار	برای
شکل:	$s_c = 1 + 0.12 K_p \frac{B}{L}$	ϕ هر
	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.11 K_p \frac{B}{L}$	$\phi > 10^\circ$
	$s_q = s_\gamma = 1$	$\phi = 0$
عمق:	$d_c = 1 + 0.12 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	ϕ هر
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.11 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	$\phi > 10^\circ$
	$d_q = d_\gamma = 1$	$\phi = 0$
تمایل بار:	$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	ϕ هر
	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$	$\phi > 0$
	$i_\gamma = 0 \text{ for } \theta > 0$	$\phi = 0$

که در این جا: $K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$ همانند شکل (۴-۲).

θ = زاویه برآیند R نسبت به خط قائم، بدون علامت، اگر $\theta = 0$ تمامی $i_f = 1$ است.

جدول ۴-۴ ضرائب ظرفیت باربری روابط هنسن، میرهوف، و وسیک. مقادیر N_c و N_q در هر سه روش یکسان است. زیرنویس N_γ ضریب مربوط به هر روش را مشخص می کند.

ϕ	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$	N_q / N_c	$\gamma \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$
0	5/140	1/0	0/0	0/0	0/0	0/195	0/000
5	6/49	1/6	0/1	0/1	0/4	0/242	0/146
10	8/34	2/5	0/4	0/4	1/2	0/296	0/241
15	10/19	3/9	1/3	1/1	2/6	0/359	0/294
20	14/82	6/4	2/9	2/9	5/4	0/421	0/315
25	20/17	10/7	6/8	6/8	10/9	0/514	0/311
26	22/25	11/8	7/9	8/0	12/5	0/533	0/308
28	25/19	14/7	10/9	11/2	16/7	0/570	0/299
30	30/13	18/4	15/1	15/7	22/4	0/610	0/289
32	35/47	23/2	20/8	22/0	30/2	0/652	0/276
34	42/14	29/4	28/7	31/1	41/0	0/698	0/262
36	50/55	37/7	40/0	44/4	56/2	0/746	0/247
38	61/31	48/9	56/1	64/0	77/9	0/797	0/231
40	75/25	64/1	79/4	93/6	109/2	0/852	0/214
45	133/12	134/7	200/5	262/2	271/2	100/7	0/172
50	266/50	318/5	567/4	871/7	761/2	1/195	0/131

* $\pi + 2 =$ به عنوان حد در زمان $\phi \rightarrow 0$.

جدول (۴-۸۵). ضرایب شکل و عمق برای استفاده در معادلات ظرفیت باربری هنسن یا وسیک، اندیسه‌های H و V به ترتیب نشانگر هنسن و وسیک می‌باشند.

ضرایب عمق	ضرایب شکل
$d'_c = 0.14 k \quad (\phi = 0^\circ)$	$s'_{c(H)} = 0.12 \frac{B}{L} \quad (\phi = 0^\circ)$
$d_c = 1.0 + 0.14 k$	$s_{c(H)} = 1.0 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L}$
$k = D/B$ برای $D/B \leq 1$	$s_{c(V)} = 1.0 \cdot \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L}$
$k = \tan^{-1}(D/B)$ برای $D/B > 1$ بر حسب رادیان	$s_c = 1.0$ برای نواری
$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$	$s_{q(H)} = 1.0 + \frac{B}{L} \sin \phi$
در بالا تعریف شد k	$s_{q(V)} = 1.0 + \frac{B}{L} \tan \phi$
	برای تمامی ϕ ها
$d_\gamma = 1.0$ برای تمامی ϕ ها	$s_{\gamma(H)} = 1.0 - 0.14 \frac{B}{L} \geq 0.16$
	$s_{\gamma(V)} = 1.0 - 0.14 \frac{B}{L} \geq 0.16$

توجه:

- در مورد بار قائم و بار H_L (یا $H_B = 0$ یا $H_B > 0$) باید دو مجموعه ضریب شکل و عمق s_i و d_i به صورت $s_{i,L}$ ، $s_{i,B}$ و $d_{i,L}$ ، $d_{i,B}$ محاسبه کنید. برای اندیسه‌های i و L معادله (۴-۲) که در بخش (۴-۸) ارائه خواهد شد، از

نسبت $\frac{L}{B}$ یا $\frac{D}{L}$ استفاده کنید.

جدول (۴-۵۵). ضرائب تمايل بار، شيب زمين، و كجی پی برای استفاده در

معادلات ظرفیت باربری هنسن

ضرائب ميل بار

$$i'_c = 0.15 - 0.15 \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f c_a}} \quad (\phi = 0)$$

$$i_c = i_q \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0.15 H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{\alpha_1}$$

$$2 \leq \alpha_1 \leq 5$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{0.17 H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{\alpha_2}$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{(0.17 - \eta^\circ / 145^\circ) H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{\alpha_2}$$

$$2 \leq \alpha_2 \leq 5$$

ضرائب زمين (پی بر روی شيب)

$$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.15 \tan \beta)^\delta$$

ضرائب پی (پی كج شده)

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi = 0)$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi > 0)$$

$$b_q = \exp(-2 \eta \tan \phi)$$

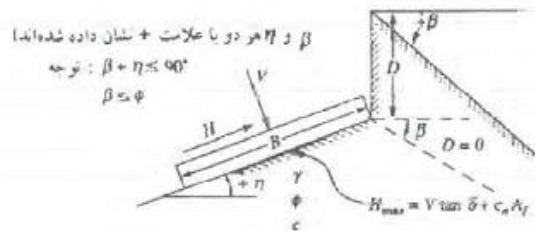
$$b_\gamma = \exp(-2/7 \eta \tan \phi)$$

η بر حسب راديان

توجه:

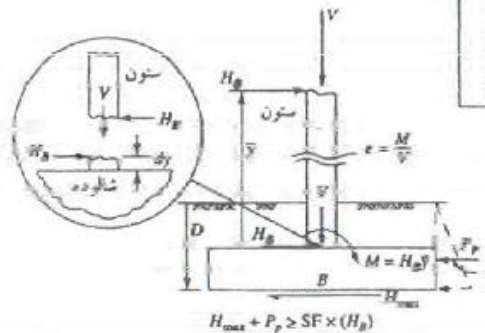
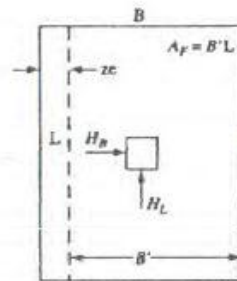
- ۱- از H_i به صورت H_B یا H_L یا چنانچه $H_L > 0$ ، از هر دو استفاده کنید.
- ۲- Hansen (۱۹۷۰) برای $\phi > 0$ ، i_c ارائه نکرده است. مقادير بالا از Hansen (۱۹۶۱) و همچنین مقادير استفاده شده Vesic است.
- ۳- متغير c_a = همجسبي پی تقريباً برابر است با 0.16 تا $1 \times$ چسبندگی پی.
- ۴- برای شناسایی زوایای η و β ، عمق شالوده D ، موقعیت H_i (موازی و در قسمت فوقانی دال پی، معمولاً برون محوری ایجاد می‌کند) به تصویر حاشیه جدول (۴-۵۵) مراجعه کنید. به ویژه توجه کنید که V = نیروی قائم وارد بر پی می‌باشد.

جدول (۴-۵c). جدول ضرایب تمایل بار، شیب زمین، و کجی پی برای استفاده در معادلات ظرفیت باربری وسیک، برای آشنائی با پارامترهای روابط به توضیحات پانویس و تصاویر شماتیک حاشیه جدول مراجعه نمایند.



برای: $L/B \leq 2$ از ϕ_{ps} استفاده کنید
 از $L/B \geq 2$ از $\phi_{ps} = 1/5 \phi_p - 1^\circ$ استفاده کنید
 از $\phi_{ps} = \phi$ از $L/B \geq 2.2$ استفاده کنید

$i_c = i_e - \frac{1 - i_e}{N_c - 1} \quad (\phi > 0)$
 $i_e = i_e - \frac{1 - i_e}{N_c - 1}$
 $c_p = c$ (چندگسی بی (۰/۶ تا ۱/۰))
 $A_p = B'L$ (سطح مؤثر)
 $\delta = \text{زاویه اصطکاک بین پی و خاک } (\phi \leq \delta \leq 1.5\phi)$



ضرایب میلبار	ضرایب زمین بر روی شیب
$i'_c = \frac{mH_i}{5/14 A_p c_p} \quad (\phi = 0)$	بر حسب رادیان β $i'_c = \frac{\beta}{5.14}$
$i_c = i_e - \frac{1 - i_e}{N_c - 1} \quad (\phi > 0)$	$i_c = i_e - \frac{1 - i_e}{N_c - 1} \quad \phi > 0$
$i_e = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_p c_p \cot \phi} \right]$	$i_c = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_p c_p \cot \phi} \right]$
$i_y = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_p c_p \cot \phi} \right]^{1.1}$	$i_y = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_p c_p \cot \phi} \right]^{1.1}$
$m = m_e = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$	$m = m_e = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$
$m = m_c = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$	$m = m_c = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$

ضرایب بی (پی کج شده)

$b'_c = \frac{2.7}{5.14}$
 $b_r = b_y = \frac{1 - b_e}{N_c \tan \phi}$
 $b_e = b_y = (1 - \eta \tan \phi)^2$

توجه:

۱- زمانی که $\phi = 0$ از $i_c = 0$ در جمله N_p از $N_p = -\tan(\pm \beta)$ استفاده کنید.

۲- زمانی که $\phi = 0$ از $H_i = H_p$ و زمانی که $\phi > 0$ از $H_i = H_p$ و زمانی که $\phi > 0$ از $H_i = H_p$ استفاده کنید.

۳- صورت وجود هر دو مقدار H_i و H_p از $H_i = H_p$ استفاده کنید. توجه داشته باشید که B و L استفاده کنید نه از B' و L' .

۴- برای شناسایی جملات به شکل موجود جدول و جدولهای b و c مراجعه کنید.

۵- N_c و N_p در جدول ۴.۱ تعریف شده‌اند.

۶- N_c و N_p از معادله ظرفیت باربری ارائه شده در جدول ۴.۱ استفاده می‌کند (همی زمانی که $H_i = H_p$ در جمله N_p از B استفاده کنید).

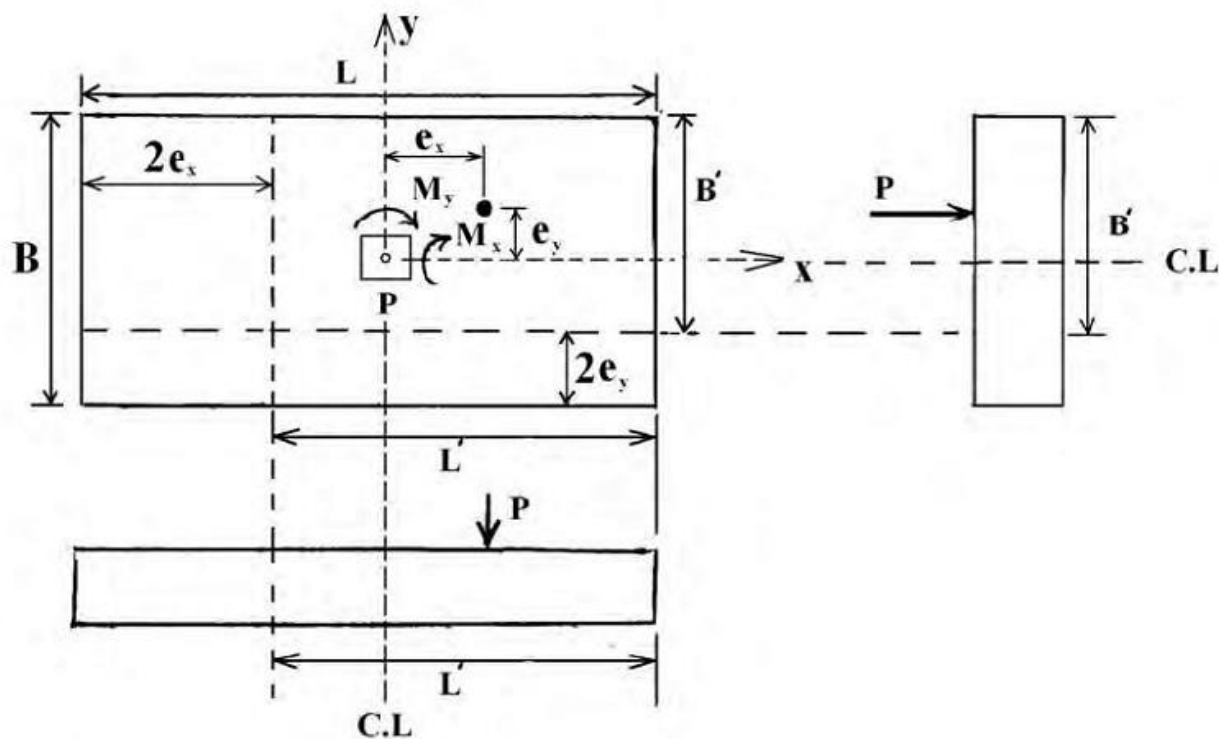
۷- برای محاسبه i_c ، i_y ، جمله $H_i \geq 1$ است (همیشه).

شالوده با بارگذاری برون محوری

شالوده با بارگذاری برون محوری

2

همانطور که در شکل زیر ملاحظه می کنید، یک شالوده ممکن است از طریق ستون مرکزی به واسطه وجود لنگر حول یک یا هر دو محور توام با بار محوری تحت بارگذاری برون محوری قرار گیرد. همچنین برون محوری در قرارگیری یک ستون خارج از مرکز پی نیز ممکن است رخ دهد.



شالوده با بارگذاری برون محوری

29

L' و B' را ابعاد موثر شالوده می نامند و چنین تعریف می شوند:

$$L' = L - 2e_x$$

$$B' = B - 2e_y$$

$$e_x = \frac{M_y}{P} \quad e_y = \frac{M_x}{P} \quad \text{که در آنها}$$

ظرفیت باربری نهایی Q_{ult} برای شالوده هایی با بارگذاری برون مرکز را می توان به یکی از دو روش زیر محاسبه نمود:

روش ۱) استفاده از معادلات ظرفیت باربری هنسن ووسیک به شرح گام های زیر:

الف) در جمله γBN_y به جای B از B' استفاده شود.

ب) در محاسبه ضرایب شکل ابعاد موثر B' و L' به کار گرفته شود.

ج) در محاسبه ضرائب عمق از ابعاد واقعی B و L استفاده کنید.

سپس با معادلات ارائه شده در صفحات قبلی جزوه Q_{ult} را به دست آورید و با اعمال یک ضریب اطمینان

به Q_{all} تبدیل کنید.

شالوده با بارگذاری برون محوری

3

روش II ظرفیت باربری را با استفاده از روابط کلی ظرفیت باربری مایرهوف محاسبه نمائید و سپس با اعمال ضریب کاهشده R_e آنرا تعدیل کنید.

$$q_{ult} = q_{ult(comp)} \times R_e$$

$q_{ult(comp)}$: محاسبه شده بر اساس معادله مایرهوف

چون این روش پیشنهادی مایرهوف می باشد لذا فقط باید از معادلات ظرفیت باربری مایرهوف استفاده شود. R_e به روش زیر محاسبه می شود:

$$R_e = 1 - \frac{2e}{B}$$

برای خاک های چسبنده

$$R_e = 1 - \sqrt{\frac{e}{B}}$$

$$0 < e < 0.3B$$

برای خاک های غیرچسبنده

از شکل صفحه قبل واضح است که اگر $e = \frac{B}{2}$ باشد یعنی قرارگیری ستون در لبه پی که در این حالت ناپایداری پی را به دنبال دارد. در عمل به ندرت $e > \frac{B}{6}$ لحاظ می شود.

نکته: اگر پی برون محوری دوطرفه داشته باشد یعنی هم در امتداد L و هم در امتداد B آنگاه هم R_{eB} و هم

$$R_e = R_{eL} \times R_{eB}$$

R_{eL} محاسبه می گردد:

شالوده با بارگذاری برون محوری

30

جداکتر میزان برون محوری e در هر راستا مطابق رابطه زیر خواهد بود.

$$e_x \leq \frac{L}{6}$$

$$e_y \leq \frac{B}{6}$$

فصل چهارم

نشست در شالوده ها



نشست در شالوده ها

نشست آنی

نشست تحکیمی

□ نشست شالوده در هیچ نقطه ای نباید از نشست مجاز شالوده، که با معیارهای آسیب سازه ای مشخص می شود، بیشتر شود.

محاسبه نشست تحکیمی در شالوده ها

محاسبه نشست تحکیمی در شالوده ها

30

محاسبه نشست تحکیمی در شالوده ها

1

محاسبه افزایش تنش موثر در عمق

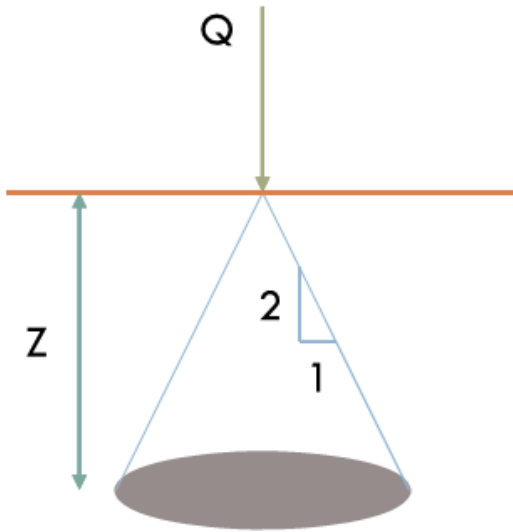
2

محاسبه نشست با استفاده از روابط تحکیم

محاسبه افزایش تنش موثر در عمق

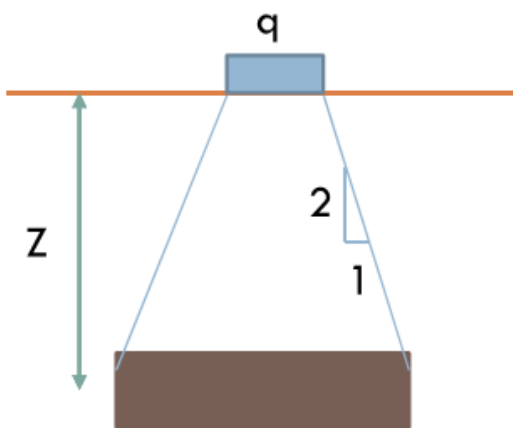
30

روش ۲ به ۱-بار متمرکز



$$\Delta\sigma' = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi * \frac{Z^2}{4}}$$

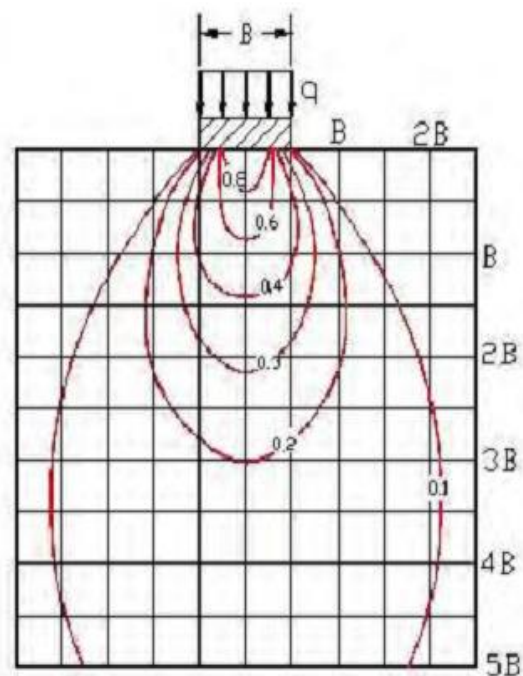
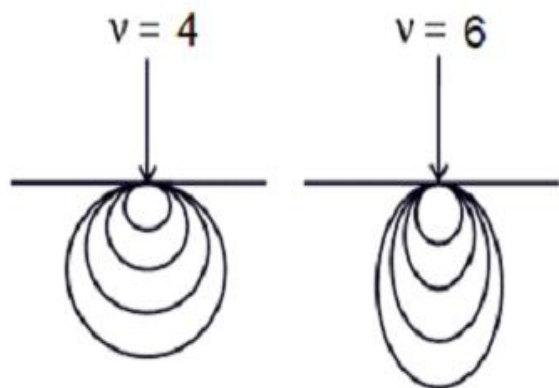
روش ۲ به ۱-بار گسترده به ابعاد BXL



$$\Delta\sigma' = \frac{q}{(B + Z)(L + Z)}$$

این روش از عمق $Z=B$ تا عمق $Z=4B$ دقت نسبتاً خوبی دارد ولی خارج از این محدوده و به خصوص در محدوده عمق $Z=0$ تا $Z=B$ دقت پایینی دارد.

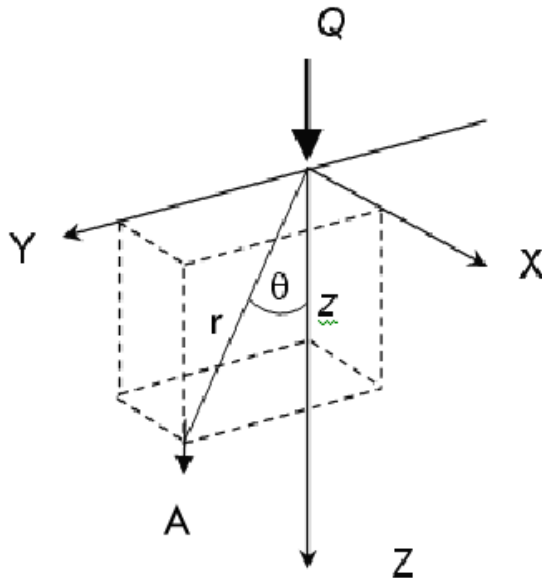
محاسبه افزایش تنش موثر در عمق



محاسبه افزایش تنش موثر در عمق

3

ناشی از بار متمرکز در یک نقطه دلخواه-روش بوسینسک



$$\Delta\sigma'_A = \frac{3Q}{2\pi Z^2} \cos^5 \theta = \frac{3Q}{2\pi Z^2} \left[\frac{1}{\left(\frac{1+r^2}{Z^2}\right)^{\frac{5}{2}}} \right] = \frac{Q}{Z^2} A_b$$

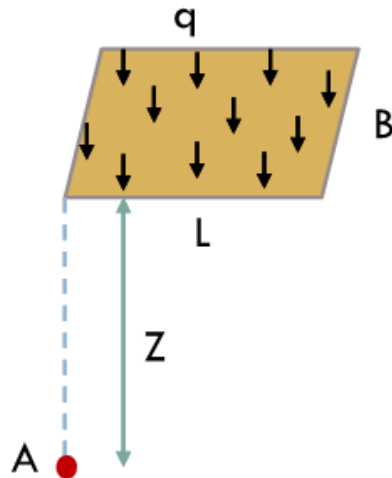
ضریب وابسته به نسبت $A_b: \frac{r}{Z}$

$\frac{r}{\pm Z}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5
A_b	0.477	0.466	0.433	0.385	0.329	0.273	0.156	0.084	0.025

محاسبه افزایش تنش موثر در عمق

3

حل عددی رابطه بوسینسک برای بار گسترده-روش نیومارک



$$\Delta\sigma'_A = q \frac{1}{\pi} \left[\frac{2MN\sqrt{V}}{V + V_1} \times \frac{V + 1}{V} + \tan^{-1} \left(\frac{2MN\sqrt{V}}{V - V_1} \right) \right]$$

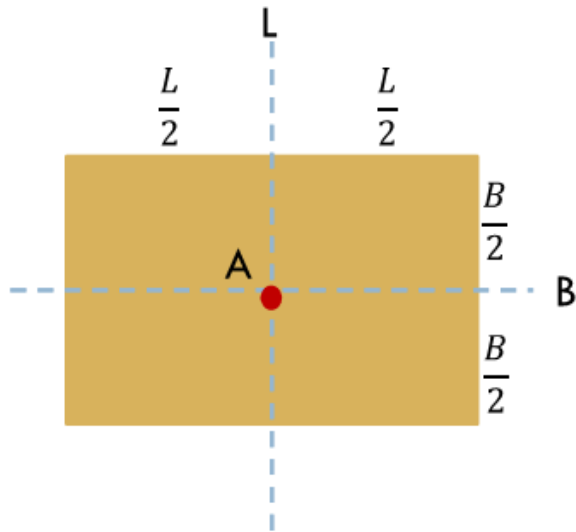
$$V = M^2 + N^2 + 1 \quad , \quad V_1 = (MN)^2$$

$$M = \frac{B}{Z} \quad , \quad N = \frac{L}{Z}$$

این رابطه مقدار افزایش تنش ناشی از بار گسترده مستطیلی، مربعی، و یا دایره معادل سازی شده به صورت مربع را در نقطه ای به عمق Z در زیر گوشه مربع یا مستطیل را به ما می دهد.

محاسبه افزایش تنش موثر در عمق

3



رابطه صفحه قبل را می توان به شکل زیر نیز خلاصه نمود.

$$\Delta\sigma'_A = qmI_\sigma$$

شدت بار گسترده q :

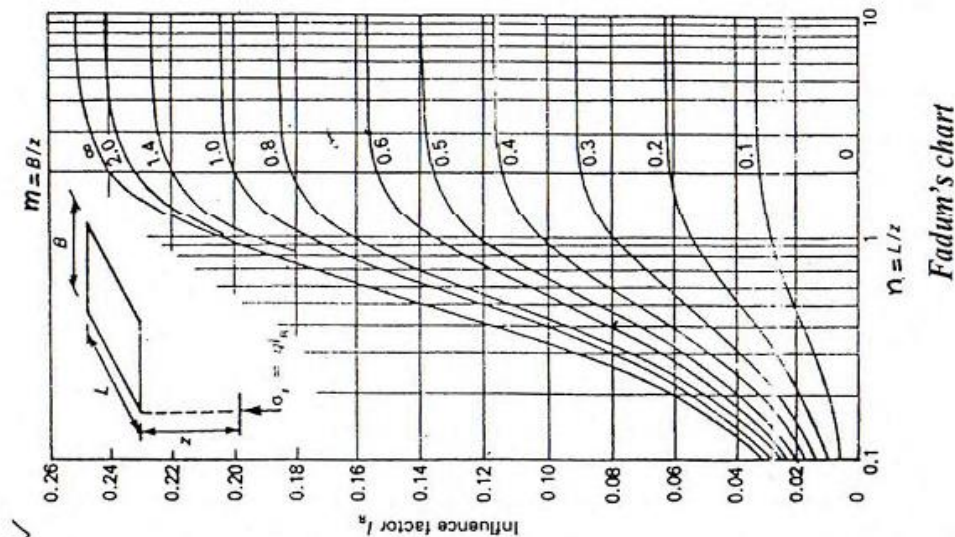
تعداد سطوح هم اندازه بار که نقطه مورد نظر زیر آن قرار گرفته است m :

ضریب وابسته به M و N : I_σ

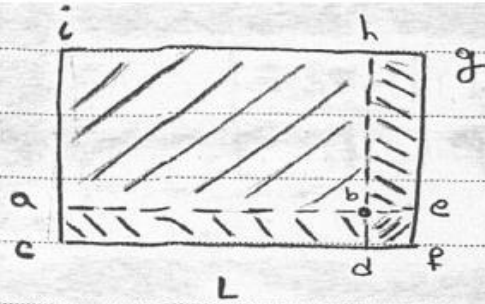
ضریب I_σ را می توان از جداول و یا نمودارهایی همانند جدول و نمودار صفحه بعد و بر حسب M و N به دست آورد.

B/z	L/z														
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.4	2.0	3.0	5.0	∞
0.1	0.0047	0.0092	0.0132	0.0168	0.0198	0.0222	0.0242	0.0258	0.0270	0.0279	0.0301	0.0311	0.0315	0.0316	0.0316
0.2	0.0092	0.0179	0.0259	0.0328	0.0387	0.0435	0.0474	0.0504	0.0528	0.5470	0.0589	0.6100	0.0620	0.0620	0.0620
0.3	0.0132	0.0259	0.0374	0.0474	0.5600	0.0630	0.0686	0.0731	0.0766	0.0794	0.0856	0.0887	0.0898	0.0901	0.0902
0.4	0.0168	0.0328	0.0474	0.0602	0.0711	0.0801	0.0873	0.0931	0.0977	0.1013	0.1094	0.1134	0.1150	0.1154	0.1154
0.5	0.0198	0.0387	0.0560	0.0711	0.0840	0.9470	0.1034	0.1104	0.1158	0.1202	0.1300	0.1350	0.1368	0.1374	0.1375
0.6	0.0222	0.0435	0.0629	0.0801	0.0947	0.1069	0.1168	0.1247	0.1310	0.1361	0.1475	0.1533	0.1555	0.1561	0.1562
0.7	0.0240	0.0474	0.0686	0.8730	0.1034	0.1168	0.1277	0.1365	0.1436	0.1491	0.1620	0.1686	0.1711	0.1719	0.1720
0.8	0.2580	0.0504	0.0731	0.0931	0.1104	0.1247	0.1365	0.1461	0.1537	0.1598	0.1739	0.1812	0.1841	0.1849	0.1850
0.9	0.0270	0.0528	0.0766	0.0977	0.1158	0.1311	0.1436	0.1537	0.1619	0.1684	0.1836	0.1915	0.1947	0.1956	0.1958
1.0	0.0279	0.0547	0.0794	0.1013	0.1202	0.1361	0.1491	0.1598	0.1684	0.1752	0.1914	0.1999	0.2034	0.2044	0.2046
1.4	0.0301	0.0589	0.0856	0.1094	0.1300	0.1475	0.1620	0.1739	0.1836	0.1914	0.2102	0.2206	0.2250	0.2263	0.2266
2.0	0.0311	0.0610	0.0887	0.1134	0.1350	0.1533	0.1686	0.1812	0.1915	0.1999	0.2206	0.2325	0.2378	0.2395	0.2399
3.0	0.0315	0.0618	0.0898	0.1150	0.1368	0.1555	0.1711	0.1841	0.1947	0.2034	0.2250	0.2378	0.2420	0.2461	0.2465
5.0	0.0316	0.0620	0.0901	0.1154	0.1374	0.1561	0.1719	0.1849	0.1956	0.2044	0.2263	0.2395	0.2461	0.2486	0.2491
∞	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046	0.2266	0.2399	0.2465	0.2492	0.2500

$$\sigma_z = q/r$$

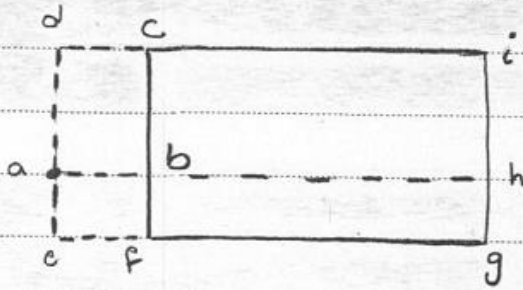


Influence factors (I_R) for vertical stress under a corner of a uniformly-loaded rectangular area.

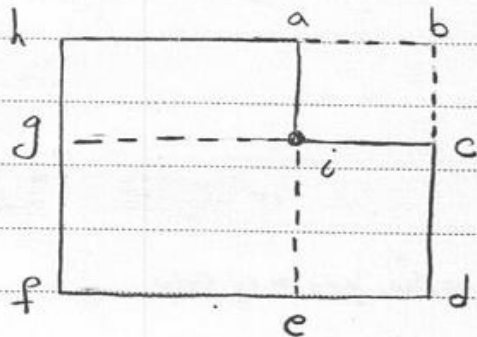


$m=1$ چون فقط یک ایجا شده مثل هم هستند.

$$B \quad q = q_{abhi} + q_{abcd} + q_{begh} + q_{bedf}$$



$$q = q_{ahid} + q_{aegh} - q_{abcd} - q_{aefb}$$



$$q = q_{iced} + q_{iefg} + q_{aigh}$$

محاسبه نشست ناشی از تحکیم اولیه

3

با داشتن اضافه تنش، میتوان برای محاسبه نشست تحکیمی از روابط تحکیم، که پیشتر گفته شد، استفاده کرد.

رس عادی تحکیم یافته

$$\frac{S}{H_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

$$S = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_0 = \frac{C_c H_0}{1 + e_0} \text{Log} \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right)$$

محاسبه نشست ناشی از تحکیم اولیه

3

رس بیش تحکیم یافته $(P_0 + \Delta P) \leq P_c$

$$S = \frac{C_s H_0}{1 + e_0} \text{Log} \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right)$$

رس بیش تحکیم یافته $(P_0 + \Delta P) > P_c$

$$S = \frac{C_s H_0}{1 + e_0} \text{Log} \left(\frac{P_c}{P_0} \right) + \frac{C_c H_0}{1 + e_0} \text{Log} \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_c} \right)$$

محاسبه نشست ناشی از تحکیم اولیه

در این روابط ΔP برابر افزایش تنش متوسط در کل لایه در معرض نشست است که می توان آن را از رابطه زیر تقریب زد.

$$\Delta P = \frac{1}{6} (\Delta P_t + 4\Delta P_m + \Delta P_b)$$

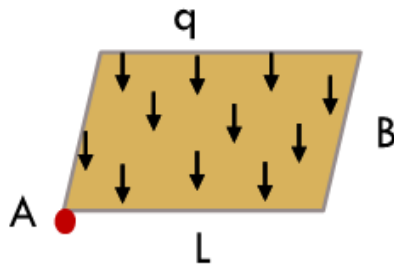
که در آن ΔP_t ، ΔP_m ، و ΔP_b به ترتیب میزان افزایش تنش موثر در بالا، وسط، و پایین نقطه مورد نظر هستند.

محاسبه نشست آبی در شالوده ها

محاسبه نشست آنی در زیر شالوده

3

نشست آنی در زیر یک نقطه در گوشه یک شالوده مستطیلی تحت بار یکنواخت q



$$\Delta H = S = \frac{q_0 B' (1 - \nu^2)}{E_s} \left(I_1 + \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} I_2 \right) I_F$$

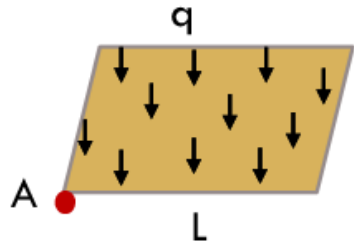
مدول الاستیسیته خاک زیر پی: E_s , عرض موثر شالوده مستطیلی: B' , ضریب پواسون: ν , نشست: S

ضرایب وابسته به شکل شالوده و ضخامت خاک زیر پی: I_1, I_2 , ضریب تاثیر مربوط به عمق شالوده: I_F

این رابطه مقدار نشست ناشی از بار گسترده مستطیلی، مربعی، و یا دایره معادل سازی شده به صورت مربع، که بر روی خاک به ضخامت H قرار دارد، را در زیر نقطه ای در گوشه مربع یا مستطیل را به ما می دهد.

محاسبه نشست آنی در زیر شالوده

31



$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{M(1 + \sqrt{M^2 + 1})\sqrt{M^2 + N^2}}{M(1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} + L \ln \frac{(M + \sqrt{(M^2 + 1})\sqrt{1 + N^2})}{(M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} \right],$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \left[\frac{M}{N\sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right]$$

$$M = \frac{L'}{B'}, N = \frac{H}{B'}, m: \text{تعداد مستطیل های همسان}$$

$$S = q_0 B' \frac{1 - \nu^2}{E_s} m I_S I_F$$

$$I_S = I_1 + \frac{1 + 2\nu}{1 - \nu} I_2$$

روش گام به گام باولز برای بکارگیری معادله نشست

31

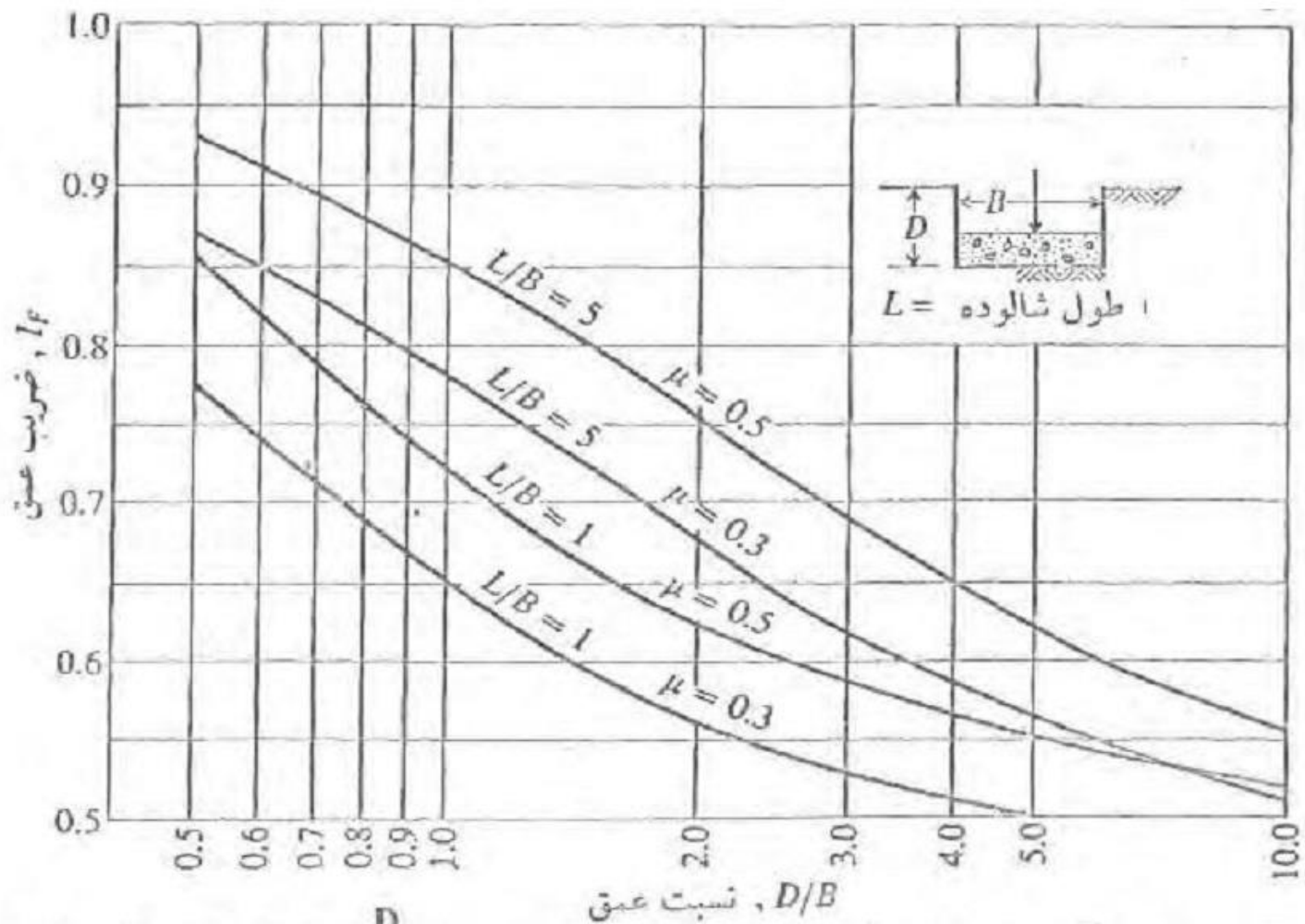
- بهترین تخمین را از فشار تماس پی (q_0) را تعیین نمایید.
- برای پی های مدور، این پی ها به یک مربع معادل تبدیل شوند.
- نقطه ای که تعیین نشست در آن نقطه مورد نظر است را تعیین نموده و پی را تقسیم بندی نمایید به نحوی که نقطه مورد نظر در گوشه یا گوشه مشترک یک الی چهار مستطیل سهیم در نشست قرار بگیرد.
- توجه نمایید که عمق موثر خاکی که تغییر شکل آن باعث ایجاد نشست می گردد نامحدود نیست و مقدار آن برابر با کوچکترین در میان دو مقدار زیر است.
- عمق $z = 5B$ که در آن B حداقل عمق پی باشد.
- عمقی که در آن یک لایه سخت قرار گرفته است. لایه ای سخت فرض می شود که E_s آن ده برابر E_s لایه فوقانی باشد.

روش گام به گام باولز برای بکارگیری معادله نشست

3

- نسبت $\frac{H}{B'}$ را محاسبه نمایید. عمق به کار برده شده برای کلیه گوشه های سهمیم در نشست می بایست یکسان باشد. برای مثال برای یک مستطیل $H = 5B = 15m$ و برای یک مستطیل سهمیم دیگر $H = 5B = 10m$ را به کار نبرید. در این حالت می بایست برای کلیه مستطیل ها $H = 15m$ به کار برده شود.
- از جدول ضرایب I_1 و I_2 را تعیین نموده و با بهترین تخمین از ν مقدار I_S را محاسبه نمایید. I_F را هم از نمودار تعیین کنید. ضریب عمق I_F برای نسبت های $1 \rightarrow \frac{D}{B}$ می تواند نشست ها را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش دهد.
- مقدار متوسط وزنی E_S در عمق $z = H$ را محاسبه نمایید.

$$E_{S,av} = \frac{H_1 \times E_{s1} + H_2 \times E_{s2} + \dots + H_n \times E_{sn}}{H}, H = \sum_{i=1}^n H_i \quad \text{برای } n \text{ لایه}$$



شکل (۵-۶). ضریب تأثیر I_f برای شالوده در عمق D . برای نسبت $\frac{D}{B}$ از ابعاد واقعی استفاده نمایید

نشست های مجاز در زیر پی

نشست مجاز در زیر پی

32

اولین مقادیر پیشنهادی برای نشست مجاز در زیر پی توسط ترزاقی و به شرح زیر تعیین شدند.

- حداکثر نشست که موجب خرابی در شالوده دیوارها می گردد = یک اینچ
- حداکثر نشست برای پی منفرد و نواری = یک اینچ
- حداکثر نشست برای پی های مرکب و گسترده که بار ساختمان های دارای قاب را تحمل می نمایند = چهار اینچ

