



SO-Foundation

Version 2.3.8598.1

راهنمای علمی نرم افزار

این برنامه توسط گروه نرم افزاری Soil Office تهیه شده و به منظور تعیین ظرفیت باربری شالوده های سطحی با در نظر گرفتن همزمان هر دو معیار گسیختگی برشی و کنترل نشست مجاز می باشد.

Soil Office

تیر ماه ۱۴۰۲

فهرست مطالب

۱	معرفی	۱
۱-۱	SOIL OFFICE	۱
۲-۱	SO-FOUNDATION	۱
۳-۱	قابلیت های نرم افزار	۲
۱-۳-۱	قابلیت های کلی	۲
۲-۳-۱	گسیختگی برشی	۲
۳-۳-۱	کنترل نشست	۳
۲	محیط برنامه	۵
۱-۲	کلیات	۵
۲-۲	توضیحات منوها	۶
۱-۲-۲	FILE MENU	۶
۲-۲-۲	LAYERS	۶
۳-۲-۲	RESULTS	۱۱
۴-۲-۲	EXPORT	۱۳
۵-۲-۲	PROFILES	۱۳
۳	تئوری محاسبات	۱۴
۱-۳	انواع شالوده	۱۵
۲-۳	معیار گسیختگی برشی	۱۶
۱-۲-۳	گونه گسیختگی و پارامترهای معادل	۱۶
۲-۲-۳	تأثیر نوع گسیختگی برشی	۱۶
۳-۲-۳	تأثیر سطح ایستابی	۱۷
۴-۲-۳	معادلات ظرفیت باربری	۱۹
۵-۲-۳	اثر شالوده های بزرگ	۲۲
۳-۳	معیار کنترل نشست	۲۳
۱-۳-۳	عمق موثر در نشست	۲۳
۲-۳-۳	نشست الاستیک	۲۵
۳-۳-۳	نشست تحکیمی	۲۸
۴-۳-۳	اثر گودبرداری	۳۲
۴-۳	ظرفیت باربری مجاز	۳۴

۳-۵ نشست به ازای ظرفیت باربری مجاز.....	۳۴
۳-۶ ضریب عکس العمل بستر.....	۳۴
۴ اطلاعات تماس.....	۳۵
۵ مراجع.....	۳۶
۶ نمادهای مورد استفاده.....	۳۷

۱ معرفی

۱-۱ SOIL OFFICE

گروه نرم افزاری Soil Office به منظور تولید نرم افزارهای مهندسی در رشته ژئوتکنیک از سال ۱۳۹۲ فعالیت خود را آغاز کرده است. هدف اصلی این گروه، تولید نرم افزارهای کاربردی با محیط کاربرپسند بوده که قادر به انجام محاسبات دقیق باشند. در حال حاضر نرم افزارهای زیر در نظر گرفته شده اند:

- SO-Foundation: محاسبه ظرفیت باربری پی های سطحی
- SO-Lab: آزمایش های مکانیک خاک و لاگ گمانه ها شامل:
- SO-Sieve: دانه بندی به روش الک، هیدرومتری و حدود اتربرگ
- SO-Shear: برش مستقیم
- SO-Unconfined: مقاومت فشاری محصور نشده
- SO-Triaxial: سه محوری فشاری
- SO-Consolidation: تحکیم یک بعدی
- SO-Log: لاگ گمانه ها

در انتها، گروه نرم افزاری Soil Office آمادگی خود را جهت هرگونه انتقاد و یا پیشنهاد (خصوصاً در مورد نرم افزارهای آتی) اعلام می دارد.

۱-۲ SO-FOUNDATION

SO-Foundation نرم افزاری است به منظور انجام محاسبات ظرفیت باربری شالوده های سطحی در حالت استاتیکی با در نظر گرفتن همزمان دو معیار گسیختگی برشی و کنترل نشست مجاز. به منظور محاسبه ظرفیت باربری ناشی از گسیختگی برشی، از ۵ روش یوروکد^۱، هنس^۲، مایرهوف^۳، ترزاقی^۴ و وسیک^۵ می توان استفاده کرد. همچنین نشست های الاستیک و تحکیمی نیز با روش ها و قابلیت های گوناگونی قابل محاسبه اند. از نقاط قوت این نرم افزار می توان به ریزمحاسبات آن اشاره کرد که کاملاً واضح و گویا تهیه و تنظیم شده است.

^۱ Eurocode
^۲ Hansen
^۳ Meyerhof
^۴ Terzaghi
^۵ Vesic

۳-۱ قابلیت های نرم افزار

در نرم افزار حاضر، امکانات متعددی جهت انجام محاسبات در حالت های گوناگون تعبیه شده است. در ادامه یک سری از این موارد به صورت فهرست وار ارائه می گردند:

۱-۳-۱ قابلیت های کلی

- پشتیبانی از سه سیستم واحد SI، Metric و English.
- تعداد ۲۰ لایه خاک قابل تعریف می باشد.
- آگاه سازی کاربر از محدوده تغییرات هر یک از پارامترهای ورودی مسئله.
- محاسبه و نمایش خطوط هم فشار^۱ در زیر شالوده.
- محاسبه ظرفیت باربری شالوده ها (منفرد^۲، یکپارچه^۳ و گسترده^۴) به عرض ها و نسبت ابعاد گوناگون (ارائه شده توسط کاربر) با در نظر گرفتن همزمان هر دو معیار گسیختگی برشی و کنترل نشست مجاز (الاستیک و تحکیمی).
- محاسبه نشست به ازای تنش مجاز.
- محاسبه ضریب عکس العمل بستر شالوده.
- محاسبه و نمایش کانتور ضریب عکس العمل بستر در سطح شالوده.
- ترسیم و ارائه نمودار بار-نشست به ازای محدوده بار قابل تعیین توسط کاربر.
- ارائه نتایج در قالب جداول در فایل Excel.
- ارائه ریز محاسبات به همراه توضیحات و جزئیات کامل.
- ایجاد نمایه و در نتیجه ذخیره و بازخوانی تنظیمات مد نظر کاربر.
- ذخیره فایل ها با حجم بسیار اندک.

۲-۳-۱ گسیختگی برشی

- استفاده از ۵ روش یوروکد، هنسِن، مایرهوف، ترزاقی و وسیک.
- قابلیت تغییر ضریب اطمینان کلی در برابر گسیختگی برشی.
- امکان اعمال جداگانه ضرایب کاهش مقاومت به پارامترهای c و ϕ .
- در نظر گرفتن اثر وجود سطح آب زیرزمینی با ۲ روش.
- امکان اصلاح اثر اندازه، در شالوده های بزرگ.

^۱ Pressure isobars
^۲ Spread footing
^۳ Continuous footing
^۴ Mat footing

۱-۳-۳ کنترل نشست

❖ کلیات

- تغییر نشست مجاز بر اساس خواسته کاربر.
- تعیین عمق موثر در محاسبات نشست بر اساس کمینه موارد ذیل:
- خطوط هم فشار (قابل محاسبه با هر یک از روش های بوسینسک^۱، وسترگارد^۲ و روش تقریبی ۲ به ۱^۳) و یا مضربی از عرض شالوده.
- عمق برخورد به لایه صلب^۴.

❖ نشست الاستیک

- تعیین مدول الاستیسیته با ۳ روش:
- میانگین گیری وزنی از لایه ها.
- انتگرال گیری از نمودار تغییرات مدول الاستیسیته با عمق و سپس محاسبه مقدار میانگین.
- مشخص شده توسط کاربر.
- در نظر گرفتن اثر گودبرداری با ۲ روش:
- استفاده از تاریخچه تنش خاک (E_r/E_s).
- اضافه کردن درصدی از تنش سربار موجود بر روی شالوده به ظرفیت باربری در حالت کنترل نشست.
- محاسبه نشست با استفاده از روابط اشتاین برنر^۵ و داس^۶.
- انجام محاسبات در دو حالت، شالوده صلب^۷ و انعطاف پذیر^۸.

❖ نشست تحکیمی

- امکان در نظر گرفتن و یا نگرفتن اثر گودبرداری در محاسبات.
- امکان محاسبه فشار پیش تحکیمی در ۳ حالت خودکار (Auto) و ارائه شده توسط کاربر (OCR و P'_c).
- محاسبه متوسط اضافه تنش ناشی از بارگذاری بر اساس ۳ روش بوسینسک، وسترگارد و روش تقریبی ۲ به ۱. ضمناً محاسبات مذکور در دو حالت صورت می گیرند:

^۱ Boussinesq

^۲ Westergaard

^۳ Approximate 2V:1H

^۴ Rigid layer

^۵ Steinbrenner

^۶ Das

^۷ Rigid footing

^۸ Flexible footing

- وسط لایه، معرف متوسط لایه در نظر گرفته می شود.
- محاسبات در ابتدا، وسط و انتهای لایه صورت گرفته و طبق قانون سیمپسون^۱ میانگین گیری می شود.
- امکان تقسیم لایه ها به چندین ریز لایه جهت دقت بیشتر (محدود به ۲۰ عدد).
- قابلیت اعمال ضریب و در نظر گرفتن درصد دلخواهی از نشست تحکیمی.

^۱ Simpson's rule

۲ محیط برنامه

۱-۲ کلیات

پس از اجرای نرم افزار، منوهای زیر مشاهده می شوند:

- File menu: تمامی اعمال مورد نیاز بر روی فایل پروژه از قبیل ایجاد پروژه جدید، ذخیره، ... در این قسمت صورت می پذیرد.
- Layers: لایه بندی کلی مسئله در این قسمت تعیین و تنظیمات مختلف جهت محاسبات انجام می گردند.
- Results: در بردارنده نتیجه محاسبات است که خود به سه بخش تفکیک می شود.
 - Pressure isobars: خطوط هم فشار در زیر شالوده قابل محاسبه و مشاهده هستند.
 - Bearing capacity: نتایج محاسبات اعم از گراف های ظرفیت باربری مجاز، نشست و ضریب عکس العمل بستر، در این قسمت به کاربر ارائه می شوند.
 - k_s contour: حاوی کانتور ضریب عکس العمل بستر است.
- Export: به منظور استخراج نتایج (در قالب جداول و یا ریز محاسبات) از این منو استفاده می شود.
- Profiles: تنظیمات برنامه و همچنین نمایه ها در این قسمت تعیین می گردند.
- Help: شامل موارد ذیل می باشد:
 - Scientific manual: راهنمای علمی برنامه که حاوی اطلاعات کلی در خصوص بخش های گوناگون نرم افزار و همچنین تئوری روش های مورد استفاده می باشد.
 - Verification manual: چند مثال از کتب معتبر ژئوتکنیکی با استفاده از نرم افزار حل و صحت نتایج بررسی شده است.
 - Help: تمامی تیتراهای مرتبط با Help نرم افزار در این قسمت قابل دسترسی هستند.
 - License: مجوز استفاده از نرم افزار بوده که حاوی اطلاعات شرکت و یا شخص خریدار نرم افزار است.
 - About: حاوی اطلاعات کلی است.
- SO-Foundation: توضیحات کلی در مورد نرم افزار حاضر و نسخه آن.
- Soil Office: آشنایی با گروه نرم افزاری Soil Office.
- Units: واحدهای مورد استفاده در این قسمت قابل تغییر می باشند.

۲-۲ توضیحات منوها

FILE MENU ۱-۲-۲

منوی فایل شامل موارد زیر می باشد:

New: ایجاد پروژه جدید.

Open: باز کردن پروژه از قبل ایجاد شده.

Save: ذخیره کردن پروژه. ذکر این نکته الزامی است که فایل ها با فرمت *.sof * ذخیره می شوند.

Save as: ذخیره پروژه با عنوانی متفاوت.

Verified examples: دسترسی به مثال های حل شده از مراجع گوناگون.

Close: بستن پروژه.

Exit: بستن برنامه.

LAYERS ۲-۲-۲

کلیه ورودی های مسئله در این تب تعیین می گردند. در این قسمت، مواقعی که اطلاعات ورودی اشتباه و یا دور از منطق باشند، رنگ سلول مربوطه تغییر و پیغامی متناسب، جهت راهنمایی کاربر در نوار زیرین صفحه نمایش داده می شود. رنگ های مورد استفاده از قرار زیر می باشند:

۱- رنگ قرمز: سلول خالی بوده و یا اطلاعات از جنس اشتباه در آن وارد شده است.

۲- رنگ نارنجی: مقدار وارد شده در محدوده مورد قبول نرم افزار نمی باشد.

۳- رنگ سبز: محاسبات قابل انجام بوده اما مقدار پارامتر در مقایسه با مراجع به نظر غیر منطقی می رسد.

نکته: محدودیت های مرتبط با نسخه آزمایشی برنامه با رنگ صورتی مشخص شده اند.

۱-۲-۲-۲ مشخصات پروژه

اطلاعات اولیه پروژه اعم از نام، نام کارفرما، کد، محل پروژه و تاریخ در این قسمت ثبت می گردند. ضمناً نکات حائز اهمیت نیز در قسمت Notes قابل درج هستند.

۲-۲-۲-۲ لایه بندی زمین

در این جدول، کلیات لایه بندی مسئله از سطح زمین طبیعی (بدون در نظر گرفتن محل قرارگیری شالوده) تعریف می شود. به این منظور می بایست با بهره گیری از قضاوت مهندسی، حتی الامکان از تعریف لایه های اضافی خودداری نمود. به هر ترتیب، تعداد ۲۰ لایه قابل تعریف می باشد. پارامترهای ورودی این جدول عبارتند از:

USCS^۱: کد خاک بر اساس سیستم طبقه بندی متحد. همچنین در صورت برخورد به لایه صلب می توان از گزینه Rigid استفاده نمود.

Thickness: ضخامت هر یک از لایه ها.

Bounds: محدوده عمق هر یک از لایه ها نسبت به سطح زمین.

γ : وزن مخصوص.

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی.

c : چسبندگی.

E_s : مدول الاستیسیته.

ν : نسبت پواسون.

Consolidation: تعیین کننده انجام و یا عدم انجام محاسبات نشست تحکیمی.

C_c : نشانه فشردگی.

C_s : نشانه تورم.

e_0 : نسبت تخلخل خاک پیش از بارگذاری.

P'_c : تنش پیش تحکیمی (در صورت انتخاب).

OCR: نسبت پیش تحکیمی (در صورت انتخاب).

Sublayers: تعداد تقسیمات هر لایه.

۲-۲-۲-۳ تنظیمات کلی و هندسه مسئله

g : شتاب گرانش.

T : ضخامت شالوده.

D : فاصله از کف شالوده تا سطح زمین.

D_w : فاصله سطح ایستابی تا سطح زمین (در صورتیکه خط تیره باشد، به این معنی است که سطح آب زیرزمینی در محدوده انجام محاسبات وجود ندارد).

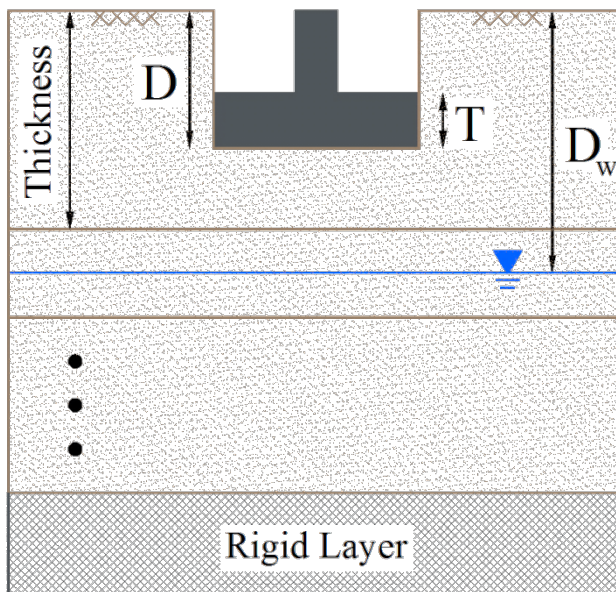
Footing type: نوع شالوده در این قسمت تعیین می گردد (بند ۳-۱).

B : عرض تمامی شالوده هایی که ظرفیت باربری آن ها مدنظر است.

^۱ Unified Soil Classification System

L/B : نسبت ابعاد شالوده‌ها.

همچنین به لحاظ درک بهتر، نمایی از شالوده و پارامترهای مرتبط با آن در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ - نمایی شماتیک از لایه‌بندی و ابعاد مسئله

۴-۲-۲-۲ تنظیمات گسیختگی برشی

در این بخش تنظیمات مربوط به تعیین ظرفیت باربری ناشی از گسیختگی برشی انجام می‌گردد.

Method: روش کلی محاسبه است که در کد حاضر ۵ روش یوروکد، مایرهورف، هنسِن، ترزاقی و وسیک مهیا هستند.

Failure type: نوع گسیختگی برشی اعم از کلی و یا موضعی توسط کاربر تعیین می‌گردد.

F.S.: همان ضریب اطمینان کلی است. با تقسیم ظرفیت باربری نهایی بر این عدد، مقدار ظرفیت باربری مجاز بدست می‌آید.

RF_ϕ : ضریب کاهش زاویه اصطکاک داخلی.

RF_c : ضریب کاهش چسبندگی.

Water effect: به منظور تعیین اثر سطح ایستابی بر ظرفیت باربری شالوده‌ها، از روابط ارائه شده توسط بولز^۱ و داس می‌توان استفاده کرد (بند ۳-۲-۳).

Large footing effect: با فعال کردن این گزینه، در صورت تجاوز عرض شالوده از ۲ متر، ضریب کاهش مرتبط با عرض شالوده (r_f)، در جمله مربوطه در محاسبات گسیختگی برشی ضرب شده و نتایج واقع‌بینانه‌تری بدست می‌دهد.

^۱ Bowles

۲-۲-۲-۵ تنظیمات کنترل نشست

۲-۲-۲-۵-۱ تنظیمات اولیه

Allowable settlement: به منظور کنترل نشست شالوده و سازه فوقانی آن، مقدار مجاز نشست (مجموع نشست الاستیک و تحکیمی) به این عدد محدود می گردد.

Effective stratum depth: عمق موثر در نشست با در نظر گرفتن دو معیار قابل محاسبه می باشد.

- Pressure isobars: در این روش عمقی که افزایش فشار ناشی از بارگذاری در تراز کف شالوده به [%] I مقدار آن تقلیل یافته باشد، به عنوان عمق موثر در نشست در نظر گرفته می شود. این عدد به صورت پیش فرض برابر با 10% لحاظ شده است. ضمناً به منظور انجام محاسبات مذکور، می توان از هر یک از روش های بوسینسک، وسترگارد و روش تقریبی ۲ به ۱ استفاده کرد (بند ۳-۳-۱-۱).
- Multiple of footing width - xB: در این حالت عمق موثر در نشست برابر مضربی از عرض شالوده در نظر گرفته می شود که توسط کاربر تعیین می گردد.

۲-۲-۲-۵-۲ تنظیمات نشست الاستیک

Es method: نحوه ی محاسبه مدول الاستیسیته را تعیین می کند. گزینه های موجود عبارتند از Graph، Weighted average و Manual که به تفکیک توضیح داده خواهند شد:

- Weighted average: مدول الاستیسیته با میانگین گیری وزنی از مقادیر مربوط به هر لایه، در محدوده عمق موثر بدست می آید.
- Graph: استفاده از این گزینه در شرایطی مناسب است که نمودار تغییرات مدول الاستیسیته با عمق در دست باشد. در این حالت با انتگرال گیری از این نمودار در محدوده عمق موثر و در نهایت میانگین گیری، پارامتر مدول الاستیسیته استخراج می شود.
- Manual: با انتخاب این گزینه، کاربر می تواند به دلخواه خود، مدول الاستیسیته را در هر یک از حالات (عرض ها و نسبت ابعاد گوناگون) تغییر دهد. شایان ذکر است که نتایج بدست آمده از روش میانگین گیری وزنی لایه ها، به عنوان پیش فرض به کاربر ارائه می گردد.

Excavation effect: به لحاظ در نظر گرفتن اثر گودبرداری (خصوصاً در اعماق زیاد)، می توان از دو راهکار زیر بهره گرفت (بند ۳-۳-۴):

- E_r/E_s : نسبت مدول الاستیسیته در حالت بارگذاری مجدد به حالت عادی تحکیم یافته می باشد. این عدد به طور پیش فرض برابر با ۱ است.
- $U.W.(%)$: درصدی از تنش سربار شالوده است که در صورت صلاح دید مهندس طراح، به عدد ظرفیت باربری در حالت کنترل نشست اضافه می گردد.

Influence factor: جهت محاسبه نشست الاستیک از دو روش اشتاین برنر و داس می توان استفاده کرد (بند ۳-۳-۲).

Rigidity: نوع شالوده اعم از صلب و یا انعطاف پذیر تعیین می گردد. در شالوده های صلب فرض بر یکسان بودن نشست در تمامی نقاط است. این در حالی است که در شالوده های انعطاف پذیر، مقادیر نشست در مرکز شالوده نسبت به گوشه های آن بیشتر بوده و به عبارتی شکم دادگی رخ می دهد.

۲-۲-۲-۳ تنظیمات نشست تحکیمی

P'c method: در این قسمت نحوه محاسبه تنش پیش تحکیمی به نرم افزار دیکته می گردد. ۳ روش موجود عبارتند از:

- Auto: محاسبات به صورت خودکار توسط نرم افزار انجام می گیرد.
- P'c: تنش پیش تحکیمی مستقیماً از کاربر گرفته می شود.
- OCR: مقادیر فشار پیش تحکیمی از ضرب کردن تنش موثر موجود در نسبت پیش تحکیمی تعریف شده، حاصل می شوند.

برای جزئیات بیشتر به بند ۳-۳-۳ مراجعه شود.

Loading effects: نحوه محاسبه متوسط افزایش فشار ناشی از بارگذاری (Δq) تعیین می گردد.

- روش محاسبه: در این قسمت نیز از هر یک از روش های بوسینسک، وسترگارد و روش تقریبی ۲ به ۱ می توان استفاده کرد.
 - محل محاسبه: متوسط افزایش فشار ناشی از بارگذاری را می توان معادل با یکی از موارد زیر در نظر گرفت:
- أ- مقدار افزایش تنش در وسط لایه.

$$\Delta q = \Delta q_{middle}$$

ب- محاسبات مذکور در ابتدا، وسط و انتهای لایه صورت گرفته و طبق قانون سیمپسون میانگین گیری می شود.

$$\Delta q = 1/6 (\Delta q_{top} + 4\Delta q_{middle} + \Delta q_{bottom})$$

α_{cons} : درصدی از نشست تحکیمی که بسته به دلخواه کاربر در محاسبات لحاظ می گردد.

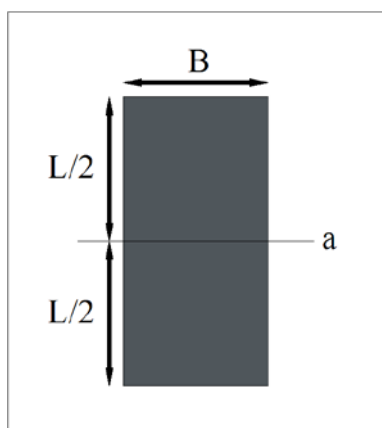
Excavation effect: این گزینه مرتبط با در نظر گرفتن اثرات ناشی از گودبرداری است که بصورت پیش فرض فعال می باشد. علیرغم اینکه در برخی مراجع از این اثر صرف نظر شده است، استفاده از آن اکیداً توصیه شده و موجب افزایش دقت محاسبات می گردد.

RESULTS ۳-۲-۲

همانگونه که پیش تر توضیح داده شد، این قسمت حاوی نتایج محاسبات می باشد که مشتمل بر ۳ بخش است.

PRESSURE ISOBARS ۱-۳-۲-۲

خطوط هم فشار برای شالوده دلخواه به ابعاد $B \times L$ در اعماق مختلف زیر خط منصف طول شالوده (خط a با توجه به شکل ۲-۲)، قابل ترسیم است. به این ترتیب مهندس طراح دید بهتری از محدوده ی تأثیر لایه ها در محاسبات خواهد داشت.



شکل ۲-۲ - محل ترسیم خطوط هم فشار در زیر شالوده

Method: به دلخواه کاربر، هر یک از روش های بوسینسک، وسترگارد و روش تقریبی ۲ به ۱ قابل استفاده می باشند.

B & L/B: ابعاد شالوده در این قسمت تعیین می گردد.

Extension from sides: میزان گستردگی شکل از طرفین (بر اساس مضربی از عرض شالوده)، قابل تنظیم است.

Meshing: به لحاظ کنترل بر دقت خطوط رسم شده، می توان اندازه مش بندی ها را ریزتر یا درشت تر در نظر گرفت. واضح است که با ریزتر شدن مش ها، علیرغم دقت بیشتر، زمان بیشتری صرف می گردد.

مطلب دیگر این که کاربر می تواند با کلیک بر روی هر یک از نقاط، مقدار افزایش فشار آن محل، ناشی از بارگذاری در تراز قرارگیری شالوده (I) را مشاهده کند.

نکته: در صورت انتخاب روش تقریبی ۲ به ۱، نمایش خطوط هم فشار به نقاطی که عیناً زیر شالوده قرار گرفته اند، محدود می گردد.

BEARING CAPACITY ۲-۳-۲-۲

در این قسمت نمودارهای خروجی نرم افزار نمایش داده می شوند که عبارتند از:

q_{all} : تغییرات ظرفیت باربری مجاز شالوده ها (با عرض ها و نسبت ابعاد گوناگون) با در نظر گرفتن همزمان دو عامل گسیختگی برشی و کنترل نشست مجاز.

S_{q-all} : نشست شالوده ها به ازای ظرفیت باربری مجاز آن ها.

k_s : تغییرات ضریب عکس العمل بستر شالوده ها.

- در شالوده های انعطاف پذیر در سه حالت مرکز، گوشه و میانگین ارائه می گردد. مقدار ضریب عکس العمل بستر در حالت میانگین از رابطه زیر بدست می آید:

$$k_{s-average} = \frac{4 \times k_{s-center} + k_{s-corner}}{5}$$

- در شالوده های صلب، این مقدار ثابت است.

Shear failure & Settlement: این نمودار همانند نمودار q_{all} می باشد، با این تفاوت که در آن تمامی نتایج حاصل از هر یک از معیارهای گسیختگی برشی و کنترل نشست، قابل نمایش و مقایسه می باشند. ضمناً کاربر می تواند به لحاظ سهولت در امر بررسی، نتایج مورد نظر خود را بر حسب نسبت ابعاد (L / B) فیلتر کند.

Load-Settlement: نمودار بار- نشست به ازای شرایط مختلف. بسته به گزینه انتخاب شده، یکی از پارامترهای مقدار بار (q_{user}) ، عرض پی (B) و یا نسبت ابعاد (L / B) ثابت و محاسبات در خصوص تمامی پی ها انجام می شود.

K_s CONTOUR ۳-۳-۲-۲

کانتور ضریب عکس العمل بستر شالوده در این بخش نمایش داده می شود. ذکر این نکته الزامی است که این کانتور تنها در شرایطی قابل ترسیم است که در محاسبه نشست الاستیک و تحکیمی، میان تمام نقاط سطح شالوده، تمایز قائل شود. این مطلب بدان معنی است که در شرایط زیر، این بخش غیر فعال خواهد بود.

- شالوده صلب باشد.
- روش محاسبه نشست الاستیک، داس باشد.
- در محاسبات نشست تحکیمی، Δq با روش تقریبی ۲ به ۱ محاسبه گردد.

B & L/B: ابعاد شالوده در این قسمت تعیین می گردد.

Meshing: اندازه مش بندی ها جهت انجام محاسبات در این قسمت قابل تنظیم است. بدیهی است که مش بندی ریزتر، دقت بالاتری داشته ولی در عوض ممکن است زمان بر باشد.

EXPORT ۴-۲-۲

این تب مختص خروجی‌های نرم افزار می باشد که عبارتند از:

Detailed report: که در آن با مشخص کردن ابعاد شالوده مورد نظر، ریزمحاسبات کامل به همراه توضیحات، به کاربر گزارش می شود.

Summary of results: خلاصه نتایج محاسبات در قالب فایل Excel ارائه می گردد.

PROFILES ۵-۲-۲

تنظیمات برنامه و همچنین نمایه‌ها در این قسمت تعیین می گردند که شامل دو تب است:

Settings: تنظیمات نرم افزار از قبیل نمایه فعال، پیغام‌های قابل نمایش و ... در این قسمت قابل دسترسی می باشند.

Profiles: کلیه اعمال بر روی نمایه‌ها از قبیل ایجاد، ذخیره، ویرایش و حذف، در این تب صورت می گیرد.

نکته: توضیحات لازم در خصوص هر یک از بخش‌های Help، License، About و Units پیش تر در بند ۲-۱ ارائه شده است.

۳ تئوری محاسبات

تحتانی ترین قسمت یک سازه که وزن آن را به خاک یا زمین منتقل می کند، شالوده نامیده می شود که به دو دسته سطحی و عمیق تقسیم می گردد. طبق نظر ترزاقی (۱۹۴۳)، شالوده وقتی سطحی خوانده می شود که عمق آن کمتر یا مساوی عرض شالوده باشد. محققین بعدی پیشنهاد کردند شالوده هایی با عمق ۳ تا ۴ برابر عرض نیز می توانند به عنوان شالوده سطحی در نظر گرفته شوند. در راهنمای حاضر نیز مقصود از شالوده، همان شالوده سطحی می باشد [1].

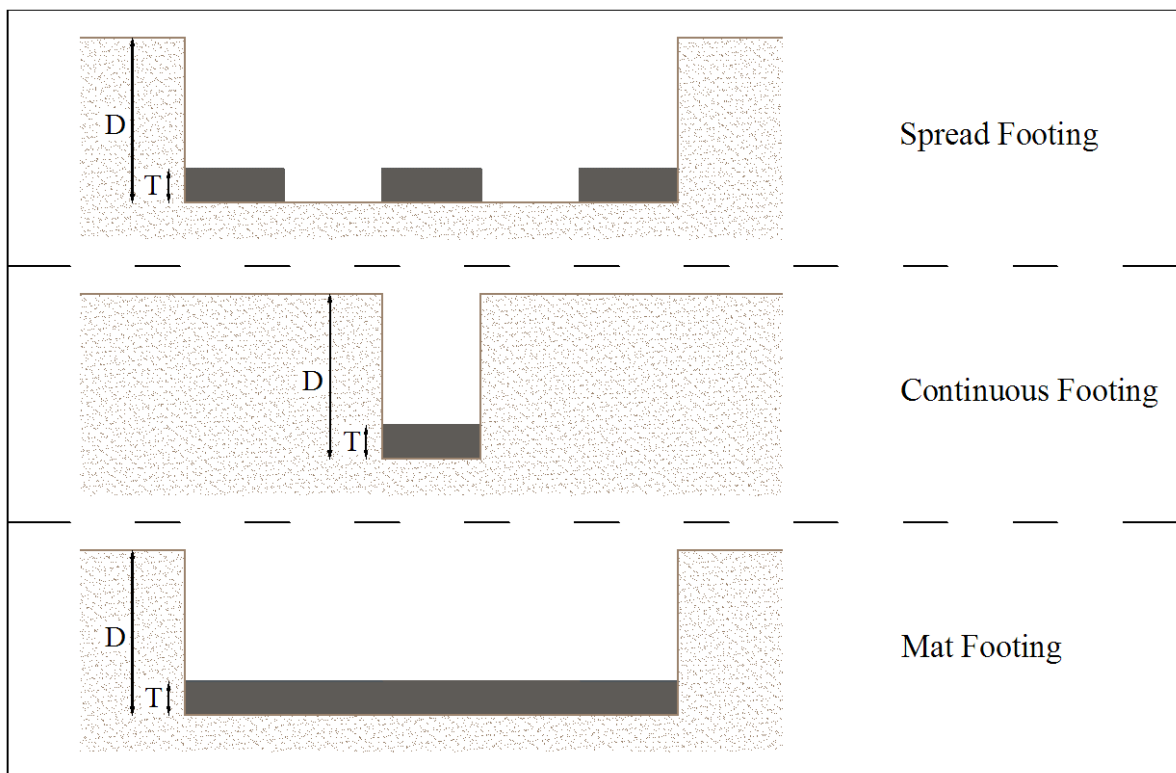
شالوده ها می بایست قابلیت تحمل بار سازه فوقانی را در شرایطی داشته باشند که خاک زیر آن ها دچار گسیختگی برشی نشده و همچنین نشست ها در حد قابل تحمل و مجاز سازه فوقانی باشد. ذکر این نکته الزامی است که نرم افزار حاضر وزن پی را در محاسبات خود دخیل نمی کند.

۱-۳ انواع شالوده

انواع شالوده‌ها در نرم افزار حاضر عبارتند از منفرد، یکپارچه و گسترده که در ادامه ملاحظه می گردند:

- Spread footings: همان "شالوده‌های منفرد" هستند که عمدتاً به صورت شبکه‌ای متعامد بر هم احداث می‌شوند. در این حالت سطح گسیختگی با فرض وقوع گسیختگی برشی کلی، تا ارتفاعی معادل می‌نیمم هر یک از دو مقدار T و D بالاتر از تراز کف شالوده ادامه می‌یابد.
- Continuous footings: همان "شالوده یکپارچه" می‌باشد که به حالت شبکه‌ای نبوده و لذا سطح گسیختگی برشی کلی (با فرض تشکیل)، تا سطح زمین پیشروی می‌کند. از جمله کاربردهای آن می‌توان به پی‌ریزی دیوارها و مخازن اشاره نمود.
- Mat footings: در صورت پی‌ریزی به صورت گسترده (شرایطی که شالوده تمامی سطح زیر بنا را پوشانده و در نواحی گوناگون بارهای متعددی بر آن وارد گردند)، از این گزینه می‌بایست استفاده نمود. پیشروی سطوح گسیختگی در این حالت نیز همانند شالوده یکپارچه، تا سطح زمین در نظر گرفته می‌شود.

در انتها، تصویر شماتیک آرایش این شالوده‌ها در شکل ۱-۳ آورده شده است.



شکل ۱-۳ - نحوه آرایش شالوده‌های منفرد، یکپارچه و گسترده

۲-۳ معیار گسیختگی برشی

۱-۲-۳ گوه گسیختگی و پارامترهای معادل

ابتدایی ترین مرحله در محاسبات گسیختگی برشی، عبارتست از تعیین ارتفاع گوه گسیختگی و به تبع آن پارامترهای معادل. بدین منظور ارتفاع اولیه گوه گسیختگی برابر خواهد بود با:

$$H = 0.5B \times \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$$

که در آن ϕ ، زاویه اصطکاک اولین لایه خاک واقع در زیر شالوده می باشد.

حال با میانگین گیری وزنی از پارامتر ϕ در ارتفاع بدست آمده H ، مقدار جدیدی به آن اختصاص می یابد [2].

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n H_i}\right)$$

با تکرار این عملیات، هر یک از پارامترهای H و ϕ به عددی میل می کنند که از این پس به عنوان مقادیر معادل در نظر گرفته می شوند. سایر پارامترهای معادل (c, γ) نیز با استفاده از روابط زیر بدست می آیند.

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n H_i c_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

۲-۲-۳ تأثیر نوع گسیختگی برشی

همان گونه که در مراجع مختلف اشاره شده است، پدید آمدن سه نوع گسیختگی برشی در خاک زیر شالوده ها محتمل است: گسیختگی برشی کلی^۱، موضعی^۲ و سوراخ کننده. معادلات و محاسبات نرم افزار حاضر و روابط موجود، دو حالت ابتدایی را شامل می شوند. در ادامه، نحوه بکارگیری ضریب اطمینان کلی و ضریب کاهش مقاومت بسته به شرایط توضیح داده شده است.

۱-۲-۲-۳ ضریب اطمینان کلی

در شرایطی که فرض بر توسعه سطح گسیختگی تا سطح خاک و عبارتی وقوع گسیختگی برشی کلی باشد، از ضریب اطمینان کلی استفاده می شود.

^۱ General
^۲ Local

$$q_{all-sh} = \frac{q_{ult-sh}}{F.S.}$$

که در آن:

q_{all-sh} : ظرفیت باربری مجاز بر اساس گسیختگی برشی.

q_{ult-sh} : ظرفیت باربری نهایی بر اساس گسیختگی برشی.

$F.S.$: ضریب اطمینان کلی.

۳-۲-۲ ضرایب کاهش مقاومت

در شرایطی که فرض بر وقوع گسیختگی برشی موضعی باشد، می توان از این ضرایب در کاهش پارامترهای مقاومتی خاک (چسبندگی c) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) استفاده کرد. ضمناً مقادیر کاهش یافته c و ϕ از معادلات زیر قابل استخراج اند.

$$\phi = \tan^{-1} (RF_{\phi} \cdot \tan \phi_{average})$$

$$c = RF_c \cdot c_{average}$$

استفاده از مقادیر گوناگون ضریب اطمینان کلی ($F.S.$) و ضرایب کاهش مقاومت (RF_{ϕ} & RF_c) در تلفیق با یکدیگر در آیین نامه های مختلف و همچنین به صلاح دید مهندسان طراح، بسته به اهمیت پروژه و درصد ریسک قابل قبول، متغیر است. لذا در نرم افزار حاضر به سادگی قابل تعریف و تغییر می باشند.

۳-۲-۳ تأثیر سطح ایستابی

روابط ظرفیت باربری که تا کنون ارائه شده اند، در شرایطی صادق می باشند که سطح ایستابی در عمق قابل توجهی از سطح زیرین شالوده قرار داشته باشد، چرا که جهت محاسبه ظرفیت باربری نهایی شالوده ها، از وزن مخصوص موثر خاک استفاده می شود. به همین لحاظ در صورت نزدیکی سطح آب زیرزمینی به کف شالوده، می بایست اصلاحاتی بر روی روابط پیشین صورت پذیرد. در این راستا بولز و داس، هر یک عمق تأثیر معینی را برای قرارگیری سطح ایستابی از کف شالوده قائل شده اند. بر این اساس در صورتی که سطح ایستابی پایین تر از این عمق باشد، هیچ گونه تأثیری بر ظرفیت باربری نداشته و در غیر این صورت، اصلاح ظرفیت باربری بر طبق رابطه ارائه شده ایشان انجام می پذیرد.

نکته: نرم افزار حاضر قابلیت انجام محاسبات در شرایطی که سطح ایستابی بالای تراز شالوده قرار داشته باشد را دارا نمی باشد. البته چنین امری به ندرت در کاربردهای عملی مشاهده می شود. اما در صورت تمایل کاربر می تواند سطح آب را هم تراز با کف فونداسیون در نظر گرفته و وزن مخصوص خاک واقع در بالای پی و زیر سطح آب زیرزمینی را با وزن مخصوص مستغرق آن جایگزین کند.

۳-۲-۱ رابطه باولز

بر این اساس، عمق موثر برابر با ارتفاع گوه گسیختگی در زیر شالوده بوده و معادل $H = 0.5B \times (\pi / 4 + \phi / 2)$ می باشد. وزن مخصوص اصلاح شده با در نظر گرفتن سطح آب زیرزمینی برابر خواهد بود با [2]:

$$\gamma_e = (2H - d_w) \frac{d_w}{H^2} \gamma + \frac{\gamma'}{H^2} (H - d_w)^2$$

که در آن:

γ_e : وزن مخصوص اصلاح شده با در نظر گرفتن اثر سطح ایستابی.

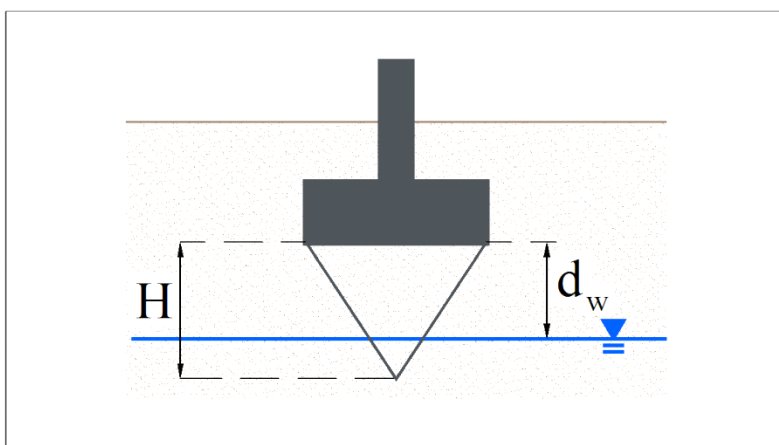
H : ارتفاع گوه گسیختگی.

d_w : فاصله سطح ایستابی از کف شالوده.

γ : وزن مخصوص مرطوب.

γ' : وزن مخصوص غوطه‌ور در زیر سطح ایستابی ($\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_{water}$).

ضمناً هر یک از پارامترهای H و d_w در شکل ۳-۲ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳-۲ - پارامترهای مورد استفاده در اصلاح وزن مخصوص خاک، با در نظر گرفتن اثر سطح ایستابی

۳-۲-۲ رابطه داسی

در این رابطه عمق موثر برابر با عرض شالوده در نظر گرفته شده است. لذا در قالب زیر ارائه شده است [1]:

$$\gamma_e = \gamma' + \frac{d_w}{B} (\gamma - \gamma')$$

در رابطه فوق نیز B ، عرض شالوده و سایر پارامترها همانند بند ۳-۲-۱ می باشند.

۳-۲-۴ معادلات ظرفیت باربری

شکل کلی معادله ظرفیت باربری شالوده‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$q_{ult-sh} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q} N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma_e B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

که در آن:

q_{ult-sh} : ظرفیت باربری نهایی.

c : چسبندگی خاک.

$\bar{q}$: مقدار سربار در تراز کف شالوده.

γ_e : وزن مخصوص خاک (پس از اصلاح اثر سطح ایستایی).

B : عرض شالوده.

$N_c, N_q \& N_\gamma$: ضرایب ظرفیت باربری که به ترتیب مرتبط با چسبندگی خاک، فشار سربار و عرض شالوده می‌باشند.

$s_c, s_q \& s_\gamma$: ضرایب شکل شالوده.

$d_c, d_q \& d_\gamma$: ضرایب عمق شالوده.

$i_c, i_q \& i_\gamma$: ضرایب میل بار.

$g_c, g_q \& g_\gamma$: ضرایب میل زمین.

$b_c, b_q \& b_\gamma$: ضرایب میل شالوده.

از آن‌جا که نرم‌افزار حاضر اثر میل بار، زمین و شالوده را در محاسبات خود لحاظ نمی‌کند، همگی برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شوند.

محققین مختلف ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی در برابر گسیختگی برشی را مشابه رابطه حاضر با اندکی تفاوت نسبت به یکدیگر

ارائه داده‌اند. ۵ مورد از این روابط در نرم‌افزار گنجانده شده‌اند.

جدول ۳-۱ - معادله ظرفیت باربری ترزاقی

$q_{ult-sh} = cN_c s_c + \bar{q}N_q + 0.5\gamma_e B N_\gamma s_\gamma$									
Cohesion				Overburden pressure		Foundation width			
$\phi = 0 \rightarrow N_c = 1.5\pi + 1$ $\phi > 0 \rightarrow N_c = (N_q - 1)cot\phi$				$N_q = \frac{a^2}{2cos^2\left(\pi/4 + \phi/2\right)}$ $a = e^{(0.75\pi - \phi/2)tan\phi}$		$* N_\gamma = \frac{2(N_q + 1)tan\phi}{1 + 0.4sin(4\phi)}$			
Shape	Strip	Circular	Square	-----		Shape	Strip	Circular	Square
s_c	1.0	1.3	1.3			s_γ	1.0	0.6	0.8

* رابطه ارائه شده فرم ساده شده‌ای از رابطه اصلی ترزاقی است. شایان ذکر است که میزان اختلاف نتایج رابطه اخیر با رابطه ترزاقی در حدود ۱۰٪ می‌باشد [3].

جدول ۳-۲ - معادله ظرفیت باربری مایر هوف

$q_{ult-sh} = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q s_q d_q + 0.5\gamma_e B N_\gamma s_\gamma d_\gamma$		
Cohesion	Overburden pressure	Foundation width
$\phi = 0 \rightarrow N_c = \pi + 2$ $\phi > 0 \rightarrow N_c = (N_q - 1)cot\phi$	$N_q = e^{\pi tan\phi}tan^2\left(\pi/4 + \phi/2\right)$	$N_\gamma = (N_q - 1)tan(1.4\phi)$
$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	$\phi = 0 \rightarrow s_q = 1$ $\phi > 0 \rightarrow s_q = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$\phi = 0 \rightarrow s_\gamma = 1$ $\phi > 0 \rightarrow s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$
$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	$\phi = 0 \rightarrow d_q = 1$ $\phi > 0 \rightarrow d_q = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	$\phi = 0 \rightarrow d_\gamma = 1$ $\phi > 0 \rightarrow d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$
$* K_p = tan^2\left(\pi/4 + \phi/2\right)$		

جدول ۳-۳ - معادله ظرفیت باربری هسن

$q_{ult-sh} = \begin{cases} (\pi + 2)c \times (1 + s'_c + d'_c) + \bar{q} & \phi = 0 \\ cN_c s_c d_c + \bar{q} N_q s_q d_q + 0.5\gamma_e B N_\gamma s_\gamma d_\gamma & \phi > 0 \end{cases}$		
Cohesion	Overburden pressure	Foundation width
$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$	$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$	$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$
$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L}$ $s'_c = 0.2 \frac{B}{L}$	$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin \phi$	$s_\gamma = \max \left(1 - 0.4 \frac{B}{L}, 0.6 \right)$
$d_c = 1 + 0.4k$ $d'_c = 0.4k$	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$	$d_\gamma = 1$
$* k = \begin{cases} D/B & D/B \leq 1 \\ \tan^{-1}(D/B) & D/B > 1 \end{cases}$		
Note that "k" has to be in radians.		

جدول ۴-۳ - معادله ظرفیت باربری وسیک

$q_{ult-sh} = cN_c s_c d_c + \bar{q} N_q s_q d_q + 0.5\gamma_e B N_\gamma s_\gamma d_\gamma$		
Cohesion	Overburden pressure	Foundation width
$\phi = 0 \rightarrow N_c = \pi + 2$ $\phi > 0 \rightarrow N_c = (N_q - 1) \cot \phi$	$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$	$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$
$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L}$	$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \phi$	$s_\gamma = \max \left(1 - 0.4 \frac{B}{L}, 0.6 \right)$
$d_c = 1 + 0.4k$	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$	$d_\gamma = 1$
$* k = \begin{cases} D/B & D/B \leq 1 \\ \tan^{-1}(D/B) & D/B > 1 \end{cases}$		
Note that "k" has to be in radians.		

جدول ۵-۳ - معادله ظرفیت باربری یوروکد

$$q_{ult-sh} = cN_c s_c + \bar{q}N_q s_q + 0.5\gamma_e B N_\gamma s_\gamma$$

Cohesion	Overburden pressure	Foundation width
$\phi = 0 \rightarrow N_c = \pi + 2$ $\phi > 0 \rightarrow N_c = (N_q - 1) \cot \phi$	$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$	$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi$
$s_c = \begin{cases} 1 + 0.2 \frac{B}{L} & \phi = 0 \\ \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} & \phi > 0 \end{cases}$	$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin \phi$	$s_\gamma = 1 - 0.3 \frac{B}{L}$

۵-۲-۳ اثر شالوده‌های بزرگ

با استفاده از شالوده‌های کوچک به عرض تقریباً ۱ متر، شواهدی وجود دارد که جمله BN_γ ، ظرفیت باربری را به صورت نامحدود افزایش نداده و برای مقادیر بسیار بزرگ B ، وسیک (۱۹۶۹) و دی بیر^۱ (۱۹۶۵) معتقدند که مقدار حدی q_{ult-sh} به شالوده عمیق نزدیک می‌شود. در این راستا بکارگیری ضریب کاهش (r_γ) طبق رابطه زیر توصیه می‌گردد [2].

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \log \left(\frac{B}{K} \right) ; B \geq 2m$$

که در آن:

r_γ : ضریب کاهش مرتبط با عرض شالوده.

B : عرض شالوده.

K : به صورت پیش فرض (سیستم واحدهای SI و Metric) برابر با ۲ است. در صورت تغییر واحد نیز، به تناسب تبدیل خواهد شد.

^۱ De Beer

۳-۳ معیار کنترل نشست

ضمن بررسی گسیختگی برشی خاک، مقدار نشست شالوده را نیز می‌بایست تحت شرایط بهره‌برداری کنترل نمود. لذا در نرم‌افزار حاضر، مقدار نشست لایه‌های خاک (متشکل از الاستیک و تحکیمی) می‌بایست همواره از مقدار نشست مجاز تعریف شده توسط کاربر فراتر نروند.

۳-۳-۱ عمق موثر در نشست

عمق موثر در محاسبات نشست، با معیارهای زیر قابل محاسبه است:

۳-۳-۱-۱ خطوط هم فشار

در این روش، عمقی که در آن افزایش فشار ناشی از بارگذاری در تراز شالوده، برابر درصد مشخصی از مقدار اولیه آن باشد (به دلخواه کاربر)، برابر با عمق موثر در نشست خواهد بود. به منظور تخمین میزان افزایش فشار، از سه روش ذیل می‌توان استفاده کرد:

ا- روش تقریبی ۲ به ۱

مزیت اصلی این روش سادگی آن است. چنانچه منطقه تنش با شیب ۲ به ۱ تعریف شود، افزایش فشار (Δq) ناشی از بارگذاری در تراز شالوده (q_0) در عمق Z زیر سطح بارگذاری عبارت است از:

$$\Delta q = \frac{q_0 \times B \times L}{(B + Z) \times (L + Z)}$$

ب- روش بوسینسک

یکی از روش‌های متداول جهت بدست آوردن تنش‌های ایجاد شده در خاک (Δq) در اثر اعمال بار، معادله بوسینسک بر مبنای نظریه الاستیسیته است. معادله بوسینسک یک بار متمرکز را بر روی سطحی از نیم‌فضای نیمه نامتناهی، همگن، همسان، بدون وزن و الاستیک در نظر می‌گیرد.

روشی که برای شالوده‌های مربعی یا مستطیلی (و دایره‌ای تبدیل شده به مربعی معادل) وجود دارد، انتگرالگیری از معادله بوسینسک بر روی مستطیلی به ابعاد $B \times L$ است. معادله نیومارک^۱ که از آن در زیر گوشه سطح $B \times L$ استفاده می‌شود، عبارتست از:

^۱ Newmark

$$\Delta q = q_0 \times 1/4\pi \left[\frac{2MN\sqrt{V}}{V+V_1} \cdot \frac{V+1}{V} + \tan^{-1} \left(\frac{2MN\sqrt{V}}{V-V_1} \right) \right]$$

$$M = \frac{B}{Z} ; N = \frac{L}{Z} \quad (\Delta q = q_0 \text{ for } Z = 0)$$

$$V = M^2 + N^2 + 1$$

$$V_1 = (MN)^2$$

باید توجه شود، زمانی که $V_1 > V$ باشد، جمله $\tan^{-1}$ منفی است و باید π را به آن اضافه نمود.

ج- روش وسترگارد

زمانی که توده خاک همانند خاک زیر روسازی جاده‌ها دارای چینه‌ای از مصالح ریز و درشت است یا لایه‌ها به طور متناوب از رس و ماسه تشکیل شده‌اند، برخی معتقدند که معادله وسترگارد تخمین بهتری از تنش Δq بدست می‌دهد. انتگرال تنش‌ها برای افزایش تنش در زیر گوشه سطح مستطیلی به ابعاد $B \times L$ معادله زیر را نتیجه می‌دهد:

$$\Delta q = \frac{q_0}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{MN}{\sqrt{a}(M^2 + N^2 + a)^{1/2}} \right)$$

که در آن:

$M \& N$: طبق تعریف ارائه شده در رابطه بوسینسک.

$$a = \frac{1-2\nu}{2-2\nu}$$

همچنین جمله $\tan^{-1}$ نیز می‌بایست بر حسب رادیان باشد.

۳-۱-۲-۳ مضرّی از عرض شالوده

عمق موثر در نشست از حاصلضرب عرض شالوده در ضریب تعریف شده توسط کاربر بدست می‌آید.

نکته:

- ۱- در صورت برخورد به لایه صلب (تراکم‌ناپذیر)، کاربر می‌تواند آن را تعریف نماید. از این رو می‌بایست در لایه‌بندی مسئله در محل کد USCS، گزینه Rigid را انتخاب کند. به این ترتیب عمق موثر با استفاده از یکی از دو معیار گفته شده در بالا محاسبه و با محل قرارگیری لایه صلب مقایسه می‌گردد. کمینه این دو، به عنوان عمق موثر نهایی در نظر گرفته می‌شوند.

۲- لایه بندی می بایست تا عمق قابل توجهی زیر شالوده ارائه گردیده تا با افزایش ابعاد شالوده و به تبع آن افزایش عمق موثر، خصوصاً در محاسبات کنترل نشست، محدودیتی در خروجی های نرم افزار اعمال نگردد. شایان ذکر است که مشخصات آخرین لایه تعریف شده، تا بیشینه عمق زیر شالوده در نظر گرفته می شود.

۳-۳-۲ نشست الاستیک

نشست الاستیک (S_e)، همان نشست آنی است که همزمان با اعمال بار یا در زمانی حدود ۷ روز پس از اعمال بار رخ می دهد. از تحلیل نشست آنی برای تمامی خاک های ریزدانه شامل لای ها و رس ها با درجه اشباع کمتر از ۹۰٪ ($S < 90\%$) و برای تمامی خاک های درشت-دانه با ضریب نفوذپذیری بالا استفاده می شود [2]. به منظور محاسبه نشست الاستیک، محققین مختلف روابط گوناگونی ارائه کرده اند. در این میان، دو مورد از روابط برگزیده و به کار گرفته شده اند. کلیات هر یک از این روابط در ادامه آورده شده است:

۳-۳-۱-۲ رابطه داس

ا- شالوده انعطاف پذیر [4]

$$S_e = \frac{qB}{E_s} (1 - \nu^2) \frac{\alpha}{2}$$

$$S_e = \frac{qB}{E_s} (1 - \nu^2) \alpha$$

نشست در گوشه شالوده انعطاف پذیر - داس

نشست در مرکز شالوده انعطاف پذیر - داس

که در آن:

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{\sqrt{1+m^2}+m}{\sqrt{1+m^2}-m} \right) + m \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{1+m^2}+1}{\sqrt{1+m^2}-1} \right) \right]$$

B : عرض شالوده.

L : طول شالوده.

$m = L/B$.

q : مقدار تنش وارد شده به شالوده.

E_s : مدول الاستیسیته.

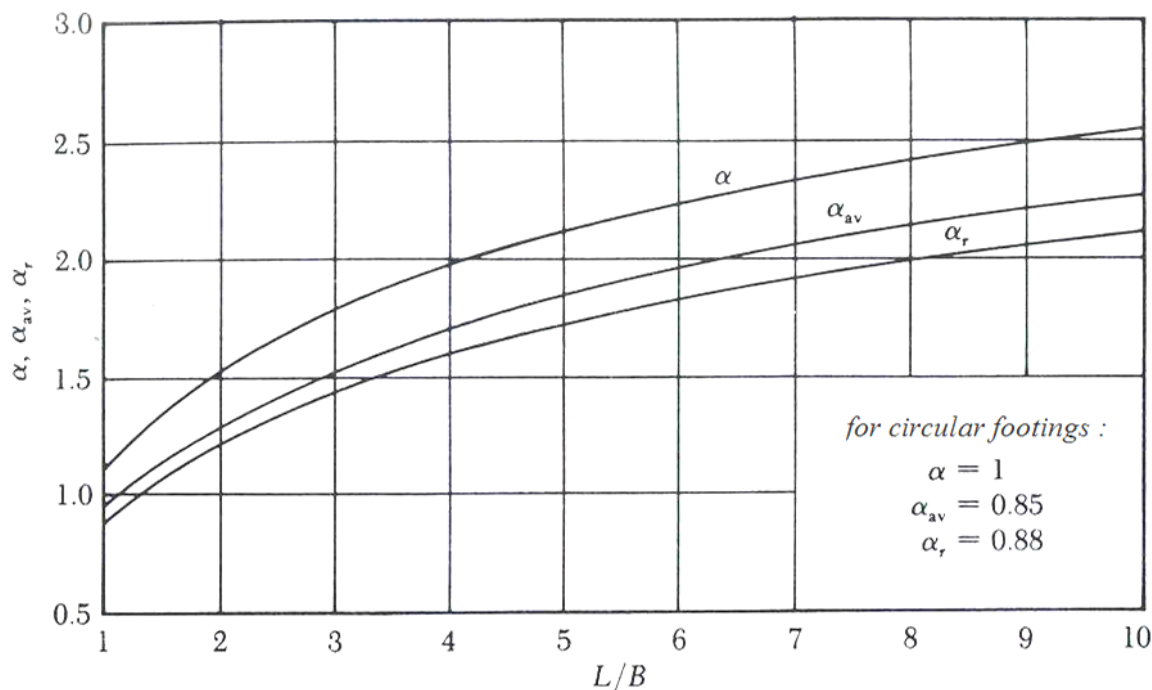
ν : نسبت پواسون.

ب- شالوده صلب [4]

$$S_e = \frac{qB}{E_s} (1 - \nu^2) \alpha_r$$

نشست در شالوده صلب - داس

تمامی پارامترهای فوق همانند حالت انعطاف پذیر می باشند. ضمناً α_r نیز از شکل ۳-۳ قابل استخراج است.



شکل ۳-۳ - تغییرات α و α_r مورد استفاده در رابطه داس بر حسب (L/B) [4]

همان گونه که از روابط فوق برمی آید، نشست شالوده منعطف در مرکز، دو برابر مقدار آن در گوشه در نظر گرفته شده است. این در حالیکه در شالوده های صلب، نشست در تمامی نقاط یکسان است.

۳-۲-۲-۳ رابطه اشتاین برنر

ا- شالوده انعطاف پذیر

$$S_e = \frac{qB'}{E_s} (1 - \nu^2) I_{sf} I_F m$$

نشست در شالوده انعطاف پذیر - اشتاین برنر

که در آن:

q, E_s & ν : پیش تر تعریف شده اند.

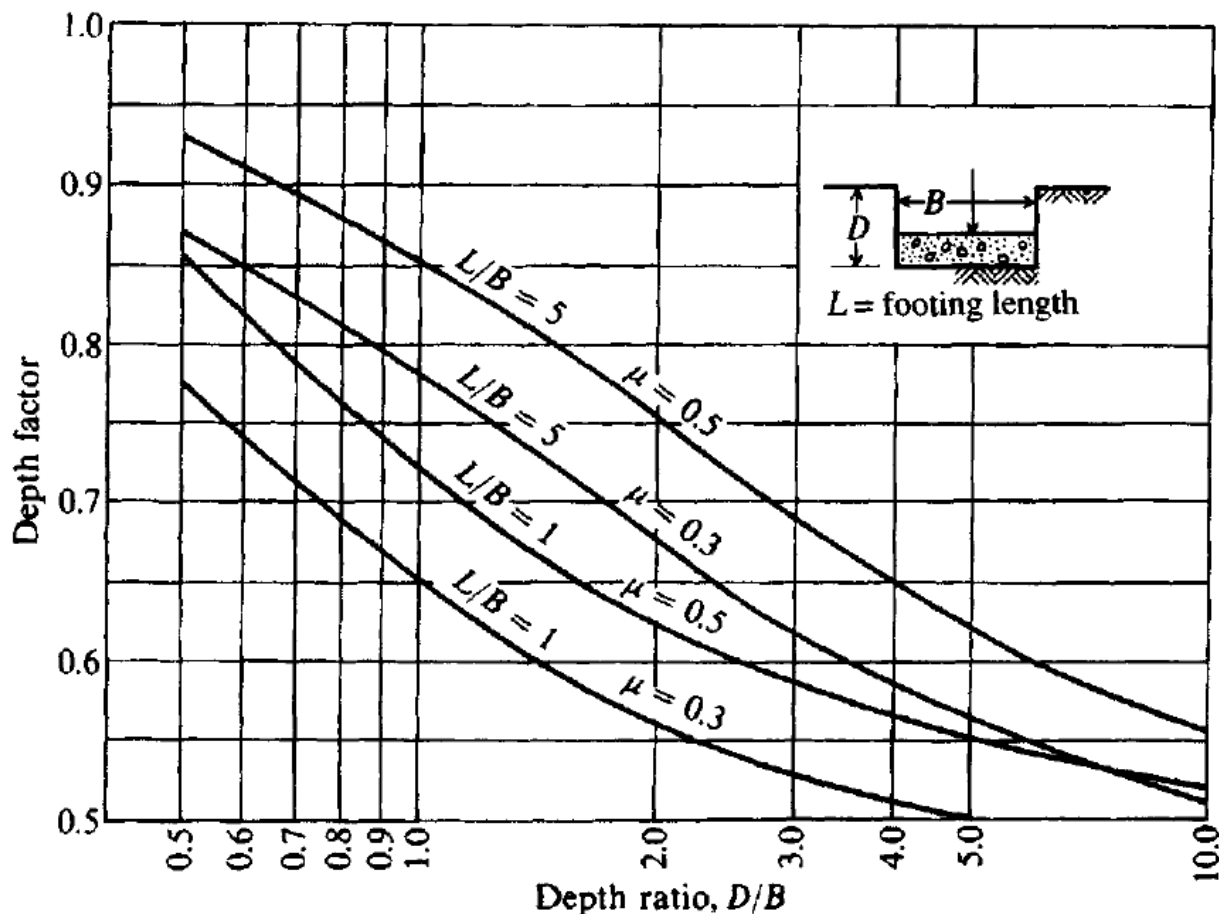
B' : حداقل بعد جانبی سطح شالوده سهیم.

I_{sf} : ضریب تأثیر اشتاین برنر در شالوده های انعطاف پذیر که از رابطه $I_{sf} = I_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} I_2$ بدست می آید (مقادیر I_1 و I_2 در ادامه ارائه شده اند).

I_F : ضریب تأثیر عمق فاکس^۱ که از شکل ۴-۳ بدست می آید.

m : تعداد گوشه های سهیم در محاسبه نشست.

^۱ Fox



شکل ۳-۴ - تغییرات ضریب تأثیر عمق فاکس برای شالوده مدفون در عمق D [2]

ب- شالوده صلب

$$S_e = \frac{qB'}{E_s} (1 - \nu^2) I_{sr} I_F m$$

نشست در شالوده صلب - اشتاین برنر

تمامی پارامترها همانند حالت انعطاف پذیر بوده، با این تفاوت که $I_{sr} = 0.93 I_{sf}$ همچنین باید توجه شود که در رابطه اخیر، I_{sf}

می بایست در مرکز شالوده محاسبه گردد ($m = 4; B' = B / 2; L' = L / 2$).

ضمناً پارامترهای I_1 و I_2 از روابط زیر بدست می آیند:

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

$$I_2 = N/2\pi \tan^{-1} \left(\frac{M}{N\sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right)$$

$$M = \frac{L'}{B'} ; N = \frac{Z}{B'}$$

$$B' = \frac{B}{2} \text{ for center; } = B \text{ for corner}$$

$$L' = \frac{L}{2} \text{ for center; } = L \text{ for corner}$$

همانگونه که از روابط فوق برمی آید:

B' : عرض موثر سطح شالوده.

L' : طول موثر سطح شالوده.

Z : ضخامت لایه موثر در نشست.

توجه به این نکته الزامی است که مقدار $\tan^{-1}$ بر حسب رادیان می باشد.

همچنین به لحاظ تفکیک پارامترهای مورد استفاده در ریزمحاسبات نرم افزار، هر یک از پارامترهای M و N به ترتیب با M_{St} و N_{St} جایگزین شده اند.

۳-۳-۳ نشست تحکیمی

نشست تحکیمی (S_c)، به زمان وابسته بوده و علت وقوع آن، خروج آب از میان حفرات خاک به علت اضافه فشار تحمیل شده می باشد. این نشست در خاک های ریزدانه اشباع رخ داده و با روابط زیر محاسبه می گردد:

أ- رس عادی تحکیم یافته

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta q}{P'_0}$$

ب- رس پیش تحکیم یافته ($P'_0 + \Delta q < P'_c$)

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta q}{P'_0}$$

ج- رس پیش تحکیم یافته ($P'_0 < P'_c < P'_0 + \Delta q$)

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_0} \log \frac{P'_c}{P'_0} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta q}{P'_c}$$

که در آن:

C_c : نشانه فشردگی.

C_s : نشانه تورم.

H_c : ضخامت لایه رسی.

e_0 : نسبت تخلخل اولیه.

P'_0 : تنش موثر وسط لایه قبل از اعمال بارگذاری.

Δq : متوسط افزایش فشار ناشی از بارگذاری.

P'_c : تنش پیش تحکیمی.

نکته:

۱- P'_0 و P'_c بسته به صلاحدید مهندس طراح و شرایط، به ۹ روش قابل محاسبه می باشند که در بند ۳-۳-۱ به آن اشاره شده است.

۲- در مواردی که نشست تحکیمی در لایه های سطحی تر مورد ارزیابی قرار گیرد، به لحاظ تأثیر قابل توجه بارگذاری و همچنین محدوده وسیع تغییرات افزایش فشار (Δq)، می بایست آن لایه خاص را به چند "ریز لایه" تقسیم کرد تا خطای ناشی از محاسبات به حداقل کاهش یابد. در نرم افزار حاضر این امر به سهولت قابل انجام بوده و نیازی به تعریف لایه های جدید نمی باشد. بدین منظور تنها می بایست تعداد ریز لایه های مد نظر کاربرد در اطلاعات ورودی مرتبط با هر یک از لایه ها درج گردد.

استفاده از این گزینه در شرایطی که نشست تحکیمی در لایه های نزدیک به شالوده رخ بدهد، از ضروریات می باشد. به منظور درک اهمیت این موضوع می توان تعداد ریز لایه ها را به تدریج افزود و تأثیر آن را در میل ظرفیت باربری غیر واقعی به ظرفیت باربری واقعی مشاهده کرد.

۳- کاربر می تواند بسته به قضاوت مهندسی خود، درصد دلخواهی از نشست تحکیمی را بواسطه گزینه α_{cons} در محاسبات خود لحاظ کند.

۳-۳-۱ نحوه تعیین P'_0 و P'_c

۳-۳-۱-۱ نحوه تعیین P'_0

محاسبه تنش موثر بسته به گزینه اثر گودبرداری (Excavation effect) و نوع پی (Spread, Continuous & Mat) در ۳ حالت زیر انجام می گیرد:

جدول ۳-۶ - حالات مختلف تعیین تنش موثر در محاسبات نشست تحکیمی

Mode	Excavation effect	Footing type
a	False	All types
b	True	Spread
c	True	Continuous & Mat

أ - Mode a

همانگونه که در جدول ۳-۶ ملاحظه می گردد، در این روش از اثر گودبرداری صرف نظر می گردد، لذا محاسبه تنش موثر موجود از سطح زمین صورت می گیرد. علیرغم استفاده از این روش در برخی مراجع، بکارگیری آن در مسائل کاربردی توصیه نمی شود.

ب - Mode b

این روش اثر گودبرداری را در نظر گرفته و بر این فرض استوار است که ابعاد پی‌های منفرد در مقایسه با ابعاد گودبرداری انجام شده، کوچک هستند. لذا تنش موثر موجود با توجه به تراز خاکبرداری شده محاسبه می‌شود.

ج - Mode c

این روش اثر گودبرداری را در نظر گرفته و بر این فرض استوار است که ابعاد پی‌های یکپارچه و گسترده، عیناً معادل ابعاد گودبرداری انجام شده، هستند. لذا مقدار کاهش تنش ناشی از عملیات گودبرداری، با استفاده از هر یک از روش‌های توزیع تنش (پیش‌تر در بند ۳-۱-۳ توضیح داده شده است) قابل محاسبه است.

۳-۱-۳-۳ نحوه تعیین P'_c

بمنظور محاسبه تنش پیش‌تحکیمی سه روش تعبیه شده است:

أ - Auto

این روش که در بسیاری از مسائل کاربردی قابل استفاده می‌باشد، مربوط به شرایطی است که خاک محل احداث سازه از نوع عادی تحکیم یافته باشد. بنابراین فشار پیش‌تحکیمی صرفاً ناشی از لایه‌بندی کنونی زمین بوده و از آن تجاوز نمی‌کند.

ب - P'_c

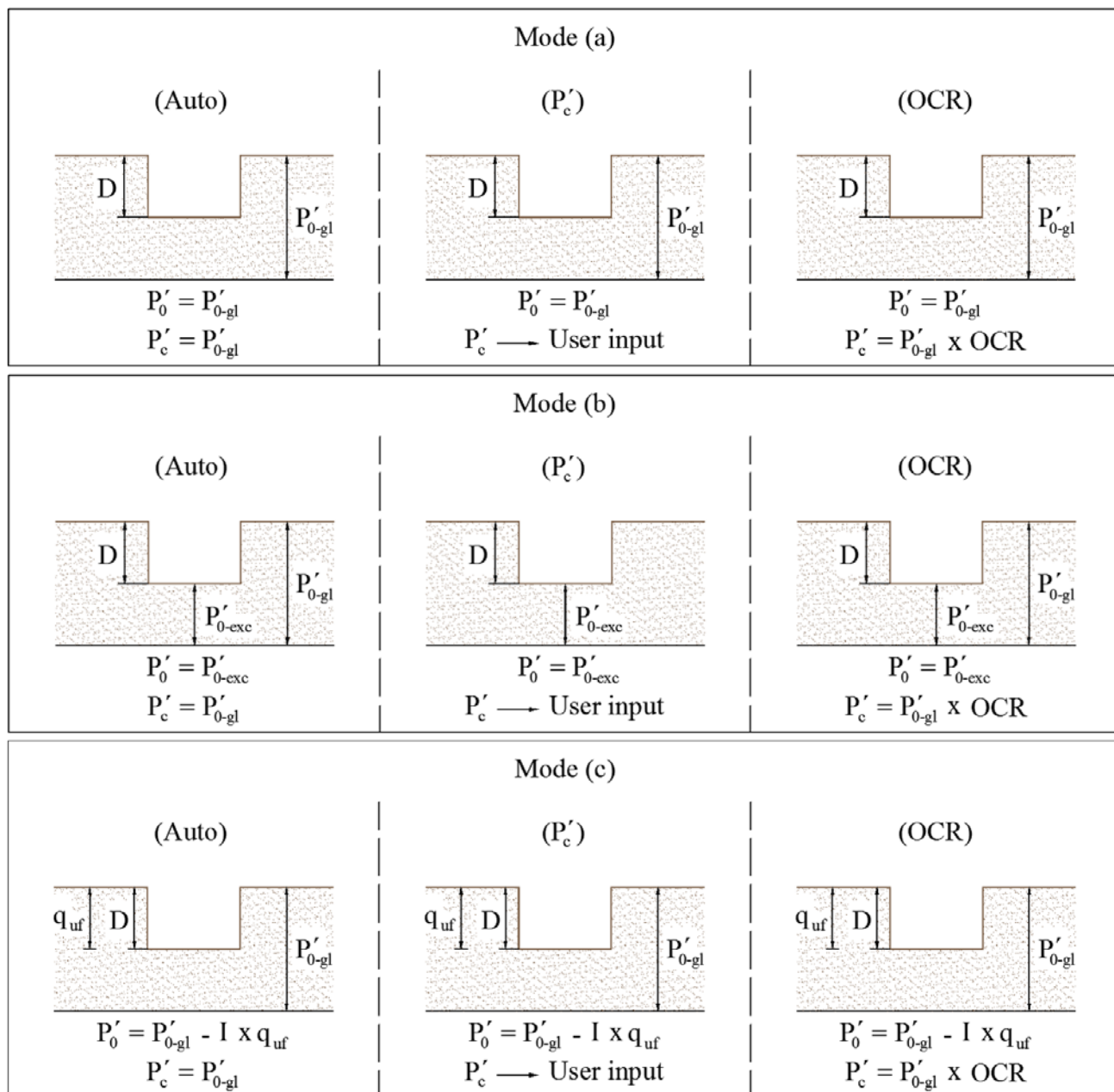
مقادیر فشار پیش‌تحکیمی مرتبط با هر یک از لایه‌ها مستقیماً از اطلاعات ورودی کاربر اتخاذ می‌شود.

ج - OCR

در این روش تنش پیش‌تحکیمی، از حاصلضرب تنش موثر اولیه (طبق لایه‌بندی طبیعی زمین) در عدد نسبت پیش‌تحکیمی تعریف شده توسط کاربر، بدست می‌آید.

۳-۱-۳-۳-۳ خلاصه روش های محاسبه P'_0 و P'_c

تمامی روش های ارائه شده در بندهای ۳-۱-۳-۳-۳ و ۲-۱-۳-۳-۳ بصورت شماتیک در شکل زیر نشان داده شده اند:



شکل ۳-۵ - فرضیات و نحوه محاسبه P'_0 و P'_c با توجه به هر یک از روش های موجود

۳-۳-۴ اثر گودبرداری

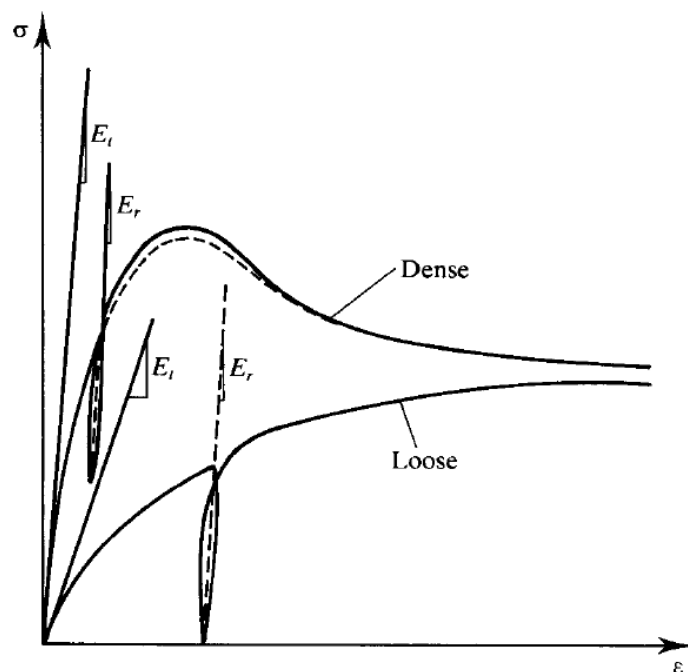
در اثر گودبرداری به منظور احداث سازه و شالوده، ظرفیت باربری تحت اثر نشست افزایش می یابد. در مورد نشست تحکیمی، پارامترهای C_s و P'_c در برگیرنده این اثر می باشند. اما در محاسبه نشست الاستیک دو راهکاری که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند، در نرم افزار گنجانده و در ادامه آورده شده اند.

نکته: در شرایطی که از اثر گودبرداری در نشست تحکیمی صرف نظر شود (Mode a) که پیش تر در بند ۳-۳-۱-۱ توضیح داده شد، استفاده از گزینه های مرتبط با در نظر گرفتن اثر گودبرداری در نشست الاستیک (که در ادامه توضیح داده خواهند شد) توصیه نمی گردد، چرا که این دو فرض با هم در تناقض خواهند بود.

أ- استفاده از تاریخچه تنش خاک (E_r/E_s)

مهم ترین عامل موثر در قابلیت تراکم خاک های دانه ای، تاریخچه تنش آن ها و بعبارت دقیق تر تاریخچه کرنش آن هاست. اگر خاک ماسه ای پیش تر تحت بار قرار گرفته و یا کرنش داشته باشد، قابلیت تراکم و در نتیجه نشست آن به مقدار زیادی کاهش می یابد (مدول الاستیسیته معادل آن افزایش می یابد).

تراکم پذیری در خاک های عادی تحکیم یافته حداقل ۵ برابر (با محدوده نرمال ۸ الی ۱۶ برابر) و گاهی نزدیک به ۳۰ برابر بیشتر از خاک های پیش تحکیم یافته می باشد. دلیل این امر اینست که اگر ماسه تحت فشار قرار بگیرد - بعنوان مثال در آزمایش سه محوری - و جایی قبل از وقوع گسیختگی، باربرداری شده و مجدداً بارگذاری شود، مدول الاستیسیته مصالح به هنگام بارگذاری مجدد (E_r) دارای شیب بیشتری بوده و لذا بزرگ تر از مدول الاستیسیته خاک عادی تحکیم یافته است. این اثر در ماسه های سست بیشتر قابل توجه است. مدول بارگذاری مجدد (E_r) در ماسه های سست می تواند به راحتی بین ۵ تا ۳۰ برابر مدول مماسی اولیه باشد [5].



شکل ۳-۶ - منحنی‌های تنش-کرنش ماسه معمولی در شرایط سست و متراکم [5]

همانگونه که در شکل ۳-۶ ملاحظه می‌گردد، مدول الاستیسیته مصالح دانه‌ای پیش‌تحکیم یافته تا رسیدن به تنش پیش‌تحکیمی (P'_c)، نسبت به مصالح عادی تحکیم یافته بیشتر بوده و لذا نمودار از شیب بیشتری برخوردار است.

در نرم‌افزار حاضر، انتخاب نسبت (E_r/E_s) بر عهده کاربر بوده و بر حسب جنس مصالح قابل تغییر می‌باشد. حال نکته حائز اهمیت استفاده از مدول الاستیسیته E_r تا رسیدن به تنش پیش‌تحکیمی و استفاده از E_s در تنش‌های بالاتر می‌باشد. عبارتی رابطه محاسبه نشست الاستیک به صورت دو ضابطه‌ای و مطابق زیر خواهد بود:

$$\text{if } q \begin{cases} \leq P'_c & \rightarrow E = E_r \\ > P'_c & \rightarrow E = E_s \end{cases}$$

ب- اضافه کردن درصدی از تنش سربار موجود بر روی شالوده به ظرفیت باربری در حالت کنترل نشست

در ادامه توضیحات ارائه شده در بخش پیشین، گاهی اوقات مهندسان طراح درصدی از سربار لایه‌های خاک موجود در بالای شالوده پیش از احداث آن را، به عدد ظرفیت باربری در حالت کنترل نشست، اضافه می‌کنند. این مقدار بسته به قضاوت مهندسی (بر اساس جنس مصالح، شرایط سایت و همچنین اهمیت پروژه) متغیر بوده و با این فرض به ظرفیت باربری اضافه می‌گردد که تا رسیدن به تنش پیش‌تحکیمی، شالوده هیچ‌گونه نشستی نمی‌کند، که البته این فرض صحیح نیست.

۳-۴ ظرفیت باربری مجاز

پس از تعیین ظرفیت باربری بر اساس هر یک از معیارهای گسیختگی برشی و کنترل نشست، کمینه این دو به عنوان ظرفیت باربری مجاز شالوده انتخاب و به کاربر ارائه می گردد.

$$q_{all} = \min(q_{all-sh}, q_{set})$$

که در آن:

q_{all} : ظرفیت باربری مجاز شالوده با در نظر گرفتن همزمان هر دو معیار گسیختگی برشی و کنترل نشست.

q_{all-sh} : ظرفیت باربری مجاز شالوده بر اساس گسیختگی برشی.

q_{set} : ظرفیت باربری مجاز شالوده بر اساس معیار کنترل نشست.

۳-۵ نشست به ازای ظرفیت باربری مجاز

پس از تعیین ظرفیت باربری مجاز، مقدار نشست شالوده به ازای آن نیز محاسبه می گردد. این پارامتر در ریزمحاسبات برنامه با S_{q-all} نمایش داده می شود.

۳-۶ ضریب عکس العمل بستر

از این ضریب به منظور محاسبه سختی فنرهای گرهی بر اساس سطح پلان سهیم مرتبط با هر یک از المان ها استفاده می شود که در روند طراحی بسیار حائز اهمیت است. مقدار این ضریب از تقسیم کمینه q_{ult-sh} و q_{set} بر نشست متناظر آن بدست می آید:

- در شالوده های انعطاف پذیر، محاسبات در سه حالت مرکز، گوشه و میانگین ارائه می شوند.

$$k_{s-center} = \frac{\min(q_{ult-sh}, q_{set})}{S_{ks-center}}$$

$$k_{s-corner} = \frac{\min(q_{ult-sh}, q_{set})}{S_{ks-corner}}$$

$$k_{s-average} = \frac{4 \times k_{s-center} + k_{s-corner}}{5}$$

- در شالوده های صلب، این مقدار ثابت است.

$$k_{s-rigid} = \frac{\min(q_{ult-sh}, q_{set})}{S_{ks-rigid}}$$

۴ اطلاعات تماس

جهت دریافت اطلاعات تکمیلی و یا هرگونه انتقاد یا پیشنهاد، می توانید از یکی از چهار طریق زیر با ما در تماس باشید:

۱- از طریق وبسایت <http://www.soiloffice.com/ContactUs-Fa>

۲- از طریق پست الکترونیکی info@soiloffice.com

۳- تماس با ۴۱۰۷ ۳۱۳ ۹۱۲ (+۹۸) - عماد زرگران

(همچنین با استفاده از نرم افزار WhatsApp)

۴- تماس با "Emad.Zargaran" از طریق Skype

۵ مراجع

- [1] B. M. Das, Principles of Foundation Engineering, 7th ed., Stamford: Cengage Learning, 2010.
- [2] J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design, 5th ed., New York: McGraw-Hill, 1997.
- [3] D. P. Coduto, Foundation Design: Principles and practices, 2nd ed., New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [4] ب. ام. داس، اصول مهندسی ژئوتکنیک، ویرایش دوم، جلد ۲، تهران: موسسه انتشارات پارس آئین، ۱۳۸۳.
- [5] R. D. Holtz, "Stress Distribution and Settlement of Shallow Foundations," in *Foundation Engineering Handbook*, 2nd ed., H. Fang, Ed., New York, Chapman & Hall, 1991, pp. 166-222.

۶ نمادهای مورد استفاده

نماد	توضیحات
a	از پارامترهای مورد استفاده در روش وسترگارد که تابعی از نسبت پواسون می باشد.
$b_c, b_q \text{ \& } b_\gamma$	ضرایب میل شالوده
B	عرض شالوده
B'	عرض مستطیل سهیم (در هر یک از روش های بوسینسک، وسترگارد و اشتاین برنر)
c	چسبندگی
C_c	نشانه فشردگی
C_s	نشانه تورم
$d_c, d_q \text{ \& } d_\gamma$	ضرایب عمق شالوده
d'_c	ضریب عمق در معادله ظرفیت باربری هنسین در شرایطی که $\phi = 0$
d_w	فاصله سطح ایستابی از کف شالوده
D	فاصله از سطح زمین تا کف شالوده
D_w	فاصله سطح ایستابی از سطح زمین
e_0	نسبت تخلخل اولیه
E_r	مدول الاستیسیته خاک در حالت بارگذاری مجدد
E_s	مدول الاستیسیته خاک در شرایط عادی تحکیم یافته
$F.S.$	ضریب اطمینان کلی
g	شتاب گرانش
$g_c, g_q \text{ \& } g_\gamma$	ضرایب میل زمین
H	ارتفاع گوه گسیختگی
$i_c, i_q \text{ \& } i_\gamma$	ضرایب میل بار
I	نسبت افزایش فشار (در عمق و محل مشخصی از زیر شالوده) ناشی از بارگذاری در تراز شالوده به مقدار اولیه بارگذاری، بر حسب درصد
$I_1 \text{ \& } I_2$	پارامترهای مورد استفاده در محاسبه ضریب تأثیر اشتاین برنر
I_{center}	پارامتر I در عمق مشخصی از مرکز شالوده انعطاف پذیر
I_{corner}	پارامتر I در عمق مشخصی از گوشه شالوده انعطاف پذیر
I_F	ضریب تأثیر عمق فاکس
I_{rigid}	پارامتر I در عمق مشخصی از شالوده صلب
I_{sf}	ضریب تأثیر اشتاین برنر در شالوده های انعطاف پذیر
I_{sr}	ضریب تأثیر اشتاین برنر در شالوده های صلب
$k_s\text{-average}$	میانگین مدول عکس العمل بستر در شالوده انعطاف پذیر
$k_s\text{-center}$	مدول عکس العمل بستر در مرکز شالوده انعطاف پذیر
$k_s\text{-corner}$	مدول عکس العمل بستر در گوشه شالوده انعطاف پذیر
$k_s\text{-rigid}$	مدول عکس العمل بستر در شالوده صلب
L	طول شالوده
L'	طول مستطیل سهیم (در هر یک از روش های بوسینسک، وسترگارد و اشتاین برنر)
$M_B \text{ \& } N_B$	پارامترهای مورد استفاده در روش بوسینسک
$M_{St} \text{ \& } N_{St}$	پارامترهای مورد استفاده در روش اشتاین برنر

نماد	توضیحات
M_W & N_W	پارامترهای مورد استفاده در روش وسترگارد
N_c, N_q & N_γ	ضرایب ظرفیت باربری
OCR	نسبت پیش تحکیم یافتگی
P'_0	تنش مؤثر وسط لایه پیش از اعمال بارگذاری
P'_c	تنش پیش تحکیمی
$\bar{q}$	مقدار سربار در تراز کف شالوده
q_{all}	ظرفیت باربری مجاز با در نظر گرفتن همزمان دو معیار گسیختگی برشی و کنترل نشست
q_{all-sh}	ظرفیت باربری مجاز بر اساس گسیختگی برشی
q_{set}	ظرفیت باربری مجاز با معیار کنترل نشست
$q_{uf}(\%)$	درصدی از وزن سربار موجود بر روی شالوده که به صلاحدید مهندس طراح، به ظرفیت باربری در حالت کنترل نشست اضافه می گردد.
q_{uf}	وزن سربار موجود بر روی شالوده
q_{ult-sh}	ظرفیت باربری نهایی بر اساس گسیختگی برشی
r_γ	ضریب کاهش مرتبط با عرض شالوده
RF_c	ضریب کاهش مقاومت - چسبندگی
RF_ϕ	ضریب کاهش مقاومت - زاویه اصطکاک داخلی
s_c, s_q & s_γ	ضرایب شکل شالوده
s'_c	ضریب شکل در معادله ظرفیت باربری هسنن در شرایطی که $\phi = 0$
S	نشست کل شالوده
S_c	نشست تحکیمی شالوده
S_e	نشست الاستیک شالوده
$S_{ks-center}$	مقدار نشست مورد استفاده در محاسبه ضریب عکس العمل بستر در مرکز شالوده انعطاف پذیر
$S_{ks-corner}$	مقدار نشست مورد استفاده در محاسبه ضریب عکس العمل بستر در گوشه شالوده انعطاف پذیر
$S_{ks-rigid}$	مقدار نشست مورد استفاده در محاسبه ضریب عکس العمل بستر در شالوده صلب
S_{q-all}	مقدار نشست شالوده ناشی از ظرفیت باربری مجاز آن
T	ضخامت شالوده
$U.W.(\%)$	درصدی از وزن سربار موجود بر روی شالوده که به صلاحدید مهندس طراح، به ظرفیت باربری در حالت کنترل نشست اضافه می گردد.
$USCS$	کد خاک بر اساس سیستم طبقه بندی متحد
Z	عمق نهایی مؤثر در محاسبات نشست
$Z_I(\%)$	عمق مؤثر در محاسبات نشست بر اساس معیار خطوط هم فشار
Z_{Rigid}	عمق قرارگیری لایه تراکم ناپذیر نسبت به کف شالوده
Z_{xB}	عمق مؤثر در محاسبات نشست بر اساس مضرپی از عرض شالوده
α	ضریب محاسبه نشست در روش داس در شالوده انعطاف پذیر
α_{cons}	درصدی از نشست تحکیمی که بسته به دلخواه کاربر در محاسبات لحاظ می گردد.
α_r	ضریب محاسبه نشست در روش داس در شالوده صلب
Δq_{center}	افزایش فشار در عمق مشخصی از مرکز شالوده انعطاف پذیر
Δq_{corner}	افزایش فشار در عمق مشخصی از گوشه شالوده انعطاف پذیر
Δq_{rigid}	افزایش فشار در عمق مشخصی از شالوده صلب

نماد	توضیحات
ϕ	زاویه اصطکاک داخلی
γ	وزن مخصوص مرطوب
γ'	وزن مخصوص غوطه‌ور در زیر سطح ایستابی
γ_e	وزن مخصوص اصلاح شده با در نظر گرفتن اثر سطح ایستابی
γ_{uf}	میانگین وزن مخصوص لایه‌های خاک بالای تراز قرارگیری شالوده
γ_{water}	وزن مخصوص آب
ν	نسبت پواسون