



SO-Consolidation

Version 1.0.7889.1

راهنمای علمی نرم افزار

این برنامه توسط گروه نرم افزاری Soil Office تهیه شده و مرتبط با آزمایش تحکیم یک بعدی می باشد. امکان استفاده از روش های متعدد و آنالیز حساسیت بر روی نتایج، از جمله قابلیت های هوشمندی است که منجر به تحلیل هر چه دقیق تر و بهتر آزمایش ها می گردد.

علاوه بر اطلاعات خام آزمایش و محاسبات مربوطه، خروجی های نرم افزار در دو قالب Landscape و Portrait قابل ارائه می باشند.

Soil Office

مرداد ماه ۱۴۰۰

فهرست مطالب

۱	معرفی	۱
۱	SOIL OFFICE	۱-۱
۱	SO-CONSOLIDATION	۲-۱
۲	قابلیت های نرم افزار	۳-۱
۲	قابلیت های کلی	۱-۳-۱
۲	محاسبات آزمایش تحکیم	۲-۳-۱
۳	محیط برنامه	۲
۳	کلیات	۱-۲
۴	توضیحات منوها	۲-۲
۴	FILE MENU	۱-۲-۲
۴	MAIN	۲-۲-۲
۶	TEST	۳-۲-۲
۱۱	EXPORT	۴-۲-۲
۱۱	SETTINGS	۵-۲-۲
۱۲	خطاها	۳
۱۲	خطاهای اولیه	۱-۳
۱۲	خطاهای ثانویه	۲-۳
۱۳	تئوری محاسبات	۴
۱۳	کلیات آزمایش	۱-۴
۱۴	مشخصات نمونه	۲-۴
۱۵	جدول های آزمایش	۳-۴
۱۵	WHOLE TEST	۱-۳-۴
۱۶	LOADING STEPS	۲-۳-۴
۱۷	تحلیل نتایج	۴-۴
۱۷	WHOLE TEST	۱-۴-۴
۲۲	LOADING STEPS	۲-۴-۴
۳۱	اطلاعات تماس	۵
۳۲	نمادهای مورد استفاده	۶

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.

۲-۱ SO-CONSOLIDATION

نرم افزار SO-Consolidation به منظور تحلیل و ارزیابی آزمایش تحکیم یک بعدی می باشد. در این نرم افزار تب های جداگانه ای جهت تعریف مشخصات پروژه (اعم از مشخصات اولیه، گمانه ها و نمونه ها) و اطلاعات آزمایش ها در نظر گرفته شده است. همچنین علاوه بر اطلاعات خام آزمایش و محاسبات مربوطه، خروجی های نرم افزار در دو قالب Landscape و Portrait قابل ارائه می باشند. به منظور استخراج ضریب تحکیم و نشانه فشردگی ثانویه، هر یک از مراحل بارگذاری را می توان با دو روش لگاریتم و جذر زمان تحلیل کرد. همچنین جهت تعیین نتایج نهایی آزمایش شامل تنش پیش تحکیم یافتگی و ضرایب فشردگی و تورم، دو روش کازاگرانده و ساده شده، قابل استفاده می باشند. هر یک از روش های مذکور، با قابلیت های متعددی همراه بوده و علاوه بر محاسبه خودکار، از سمت کاربر نیز قابل اصلاح می باشند.

لازم به ذکر است که قابلیت ایجاد نمونه آزمایش های تحکیم (شامل قرائت های هر یک از مراحل بارگذاری) بصورت تصادفی و بر اساس شرایط تعیین شده از سمت کاربر نیز فراهم گردیده است.

۳-۱ قابلیت های نرم افزار

۱-۳-۱ قابلیت های کلی

- آگاه سازی کاربر از محدوده تغییرات پارامترها.
- ارائه خروجی های مجزا مرتبط با مراحل بارگذاری و کل آزمایش.
- خروجی های نرم افزار در دو قالب Landscape و Portrait قابل ارائه هستند.
- ارائه اطلاعات خام آزمایش به همراه محاسبات مربوطه در فرمت جداگانه.
- قابلیت استفاده از فرم های خام جهت ثبت نتایج آزمایش.
- ذخیره فایل ها با حجم بسیار اندک.

۱-۳-۲ محاسبات آزمایش تحکیم

- تحلیل آزمایش با روش هایی فراتر از استاندارد ASTM D2435.
- حل بصورت خودکار توسط نرم افزار انجام گرفته و از سمت کاربر قابل اصلاح است.
- ویرایش اطلاعات آزمایش از هر دو طریق گراف ها و جداول.

❖ مراحل بارگذاری

- حل به دو روش لگاریتم و جذر زمان.
- آنالیز حساسیت بر روی پارامتر درصد تحکیم، جهت تحلیل هر چه بهتر و دقیق تر ضریب تحکیم.
- ساختن نمونه آزمایش بصورت تصادفی و بر اساس شرایط تعیین شده از سمت کاربر شامل:
 - درصد نشست مرتبط با هر یک از مراحل الاستیک، تحکیمی اولیه و تحکیمی ثانویه
 - زمان های انجام قرائت

❖ کل آزمایش

- حل به دو روش کازاگرانده و ساده شده.
- ساختن نمونه آزمایش بصورت تصادفی و براساس شرایط تعیین شده از سمت کاربر شامل:
 - لیست تنش ها و کالیبراسیون دستگاه
 - قرائت شروع آزمایش و صعودی یا نزولی بودن روال آن
 - نشانه تورم، نشانه فشردگی و تنش پیش تحکیم یافتگی

۲ محیط برنامه

۱-۲ کلیات

پس از اجرای نرم افزار، منوهای زیر در نوار بالایی صفحه 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.
- Main: اطلاعات کلی پروژه، گمانه ها و نمونه ها در این قسمت تعیین می گردد.
- Test: شامل موارد ذیل می باشد:
 - One-dimensional consolidation: مختص آزمایش های تحکیم است.
 - Edit: کپی کردن، انتقال و یا حذف آزمایش های انجام گرفته بر روی یک نمونه، از طریق این منو انجام می گیرد.
- Export: شامل موارد ذیل می باشد:
 - Export: به منظور استخراج نتایج از این منو استفاده می شود.
 - Blank: حاوی شیت های خام آزمایشگاهی است.
- Settings: تنظیمات برنامه در این قسمت تعیین می گردند.
- Help: شامل موارد ذیل می باشد:
 - Scientific manual: راهنمای علمی برنامه که حاوی اطلاعات کامل در خصوص بخش های گوناگون نرم افزار و همچنین نحوه انجام محاسبات می باشد.
 - Index: 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-Consolidation: 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 .soc* ذخیره می شوند.

Save as: ذخیره پروژه با عنوانی متفاوت.

Sample project: یک پروژه نمونه جهت نمایش قابلیت های نرم افزار و همچنین تسهیل کار با آن. در این پروژه چند نمونه آزمایش تحکیم به شیوه های متعدد ایجاد و یا محاسبه شده است.

Close: بستن پروژه.

Exit: بستن برنامه.

MAIN ۲-۲-۲

۱-۲-۲-۲ اطلاعات پروژه

اطلاعات اولیه پروژه اعم از نام، نام کارفرما، محل و کد پروژه در این قسمت ثبت می گردند. ضمناً نکات حائز اهمیت نیز در قسمت Note قابل درج هستند. در صورت تمایل، کاربر می تواند محل پروژه را بر روی نقشه مشخص کند. با اینکار مختصات محل پروژه نیز در قسمت Coordinates نمایش داده می شود. همچنین آدرس محل پروژه با فعال کردن گزینه Reverse geocoding بر مبنای مختصات، به کاربر ارائه می شود. در این حالت کاربر می تواند این آدرس پیشنهادی را بصورت خودکار در سلول مرتبط با محل پروژه قرار داده و یا صرفنظر کند.

۲-۲-۲-۲ جدول گمانه ها

گمانه های پروژه در این جدول تعریف می شوند. پارامترهای ورودی این جدول عبارتند از:

Boring method: روش حفاری گمانه. هنگامی که روش حفاری ماشینی بوده و در میان گزینه ها موجود نباشد و یا به هر علت کاربر تمایلی به قید کردن آن نداشته باشد، می توان از گزینه خط تیره استفاده کرد.

Name: نام گمانه.

Depth: عمق گمانه.

Elev: تراز شروع گمانه.

GWT: فاصله سطح ایستابی از تراز شروع گمانه.

Note: هر نکته خاصی در خصوص گمانه از قبیل شرایط آب و هوایی که ممکن است بر شرایط زیر سطحی اثر بگذارد، در این قسمت قابل درج می باشد.

Export: این گزینه مرتبط با وجود یا عدم وجود گمانه حاضر در خروجی نرم افزار است که بصورت پیش فرض فعال می باشد.

Contractor: نام پیمانکار عملیات حفاری گمانه.

Start date: تاریخ شروع عملیات حفاری.

Finish date: تاریخ خاتمه عملیات حفاری.

ضمناً به منظور تغییر ترتیب گمانه های تعریف شده، می توان از فلش های بالا و پایین که در انتهای سمت راست جدول گمانه ها تعبیه شده اند، استفاده کرد.

۲-۲-۳ جدول نمونه ها

نمونه های اخذ شده در هر یک از گمانه ها، در این جدول قابل تعریف هستند. پارامترهای ورودی این جدول عبارتند از :

Depth: عمق نمونه.

USCS: کد خاک بر اساس سیستم طبقه بندی متحد.

Sample category: طبقه بندی نمونه که شامل دست خورده (Disturbed)، دست نخورده (Undisturbed) و نمونه مغزه گیر (Rock core) می باشد.

Sample type: نوع نمونه که بسته به روش حفاری گمانه و همچنین طبقه بندی نمونه، متغیر است. در صورت عدم تمایل به پر کردن این فیلد، می توان از گزینه خط تیره استفاده کرد.

Color: رنگ نمونه. یک سری رنگ ها بصورت پیش فرض موجود هستند. سایر رنگ ها نیز از سمت کاربر قابل تعریف هستند.

Code: کد نمونه.

Note: نکته خاصی اگر ضمن عملیات نمونه گیری و یا در خصوص نمونه مد نظر باشد، در این فیلد قابل درج است.

TEST ۳-۲-۲

ONE-DIMENSIONAL CONSOLIDATION ۱-۳-۲-۲

نرم افزار حاضر به منظور محاسبه و تحلیل نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی بوده و در دو حالت زیر قابل استفاده است:

- Test data: اطلاعات خام آزمایش وارد شده و محاسبات و تحلیل ها انجام می گیرند.
- Generation: این گزینه مختص ساختن نمونه آزمایش های تحکیم (شامل قرائت های هر یک از مراحل بارگذاری) بصورت تصادفی و بر اساس شرایط تعیین شده از سمت کاربر می باشد.

شایان ذکر است که هر یک از حالات مذکور توسط دکمه های رادیویی تعبیه شده در بخش های “Whole Test” و “Loading Steps” قابل انتخاب می باشند.

TEST DATA ۱-۱-۳-۲-۲

این گزینه بصورت پیش فرض در حالت انتخاب است. همچنین جهت ورود اطلاعات و تحلیل نتایج آزمایش، بخش های گوناگونی در نظر گرفته شده است که در ادامه توضیح داده شده اند:

Whole Test ❖

تمامی اطلاعات آزمایش به غیر از قرائت های نشست-زمان مراحل بارگذاری، در این قسمت قرار گرفته و شامل بخش های زیر می باشد:

Sample properties

مشخصات نمونه در این قسمت تعیین می گردد.

Start: مشخصات نمونه در ابتدای آزمایش

$(H)_{st}$: ارتفاع.

$(M_T)_{st}$: وزن در حالت مرطوب.

$(\gamma_d)_{st}$: وزن مخصوص خشک.

$(w)_{st}$: درصد رطوبت.

$(e)_{st}$: نسبت تخلخل.

$(S)_{st}$: درصد اشباع.

Constant: ثابت در حین آزمایش

D : قطر نمونه.

G_s : وزن مخصوص ویژه خاک.

M_s : وزن ذرات خاک در نمونه (وزن خشک نمونه).

H_s : ارتفاع معادل ذرات خاک.

End: مشخصات نمونه در انتهای آزمایش

$(H)_{en}$: ارتفاع.

$(M_T)_{en}$: وزن در حالت مرطوب.

$(\gamma_d)_{en}$: وزن مخصوص خشک.

$(w)_{en}$: درصد رطوبت.

$(e)_{en}$: نسبت تخلخل.

$(S)_{en}$: درصد اشباع.

بالای جدول

شامل موارد زیر می باشد:

Gauge factor, 1 div: ضریب مورد استفاده در ورود قرائت های گیج.

Drainage: نوع زهکشی شامل یکطرفه و دوطرفه.

Dial trend: روند تغییر قرائت ها در جهت افزایش مقدار نشست.

Load apparatus calibration: این گزینه جهت فراخوانی جداول تنش ها و کالیبراسیون های متناظر آنها می باشد. توجه شود

که این گزینه تنها در هنگام خالی بودن ستون d از جدول قابل استفاده می باشد.

جدول آزمایش

ستون های جدول آزمایش به قرار زیر می باشند:

P : تنش اعمال شده بر روی نمونه.

A_a : کالیبراسیون دستگاه به ازای تنش اعمال شده.

Dial

d : قرائت گیج.

d_c : قرائت اصلاح شده.

ΔH : تغییر ارتفاع نمونه.

H : ارتفاع نمونه.

ε : کرنش محوری.

e : نسبت تخلخل.

m_v / m_{vr} : ضریب قابلیت فشردگی / فشردگی مجدد حجمی.

در انتها گزینه‌ی "More ..." زیر جدول، شامل اطلاعات زیر بوده که در صورت پر بودن با رنگ قرمز نمایش داده خواهد شد:

Date: تاریخ انجام آزمایش.

Time: زمان انجام آزمایش.

Tested by: نام تکنسین آزمایشگاه.

Note: اگر نکته‌ی قابل ذکر وجود داشته باشد، در این قسمت قید می‌گردد.

❖ Loading steps

قرائت‌های نشست-زمان مرتبط با هر یک از مراحل بارگذاری، در جدول این قسمت قرار گرفته و شامل ستون‌های زیر می‌باشد:

Time: زمان سپری شده از اعمال بار.

Dial:

d : قرائت گیج.

d_c : قرائت اصلاح شده.

گزینه‌ی Delete readings نیز مرتبط با حذف قرائت‌ها می‌باشد.

❖ Graph – Whole Test

این بخش شامل نمودار خلاصه آزمایش و گزینه‌های مرتبط با تحلیل آن می‌باشد. در نرم افزار حاضر، تحلیل نتایج کلی آزمایش به دو روش کاژاگرانده و ساده شده قابل انجام بوده و شامل پارامترهای زیر است:

P'_c : تنش پیش تحکیمی.

C_c : نشانه فشردگی.

C_s : نشانه تورم.

گزینه‌های مرتبط با این روش‌ها، به لحاظ درک راحت‌تر، در فصل چهارم (بند ۴-۴-۱) به همراه تئوری‌های انجام محاسبات ارائه شده‌اند.

❖ Graph – Loading steps

این بخش شامل نمودار هر یک از مراحل بارگذاری و گزینه‌های مرتبط با تحلیل آن می‌باشد. در نرم افزار حاضر، دو روش کلی لگاریتم و جذر زمان، با قابلیت‌هایی فراتر از ASTM D2435 بکار گرفته شده و پارامترهای زیر را نتیجه می‌دهند:

C_v : ضریب تحکیم.

C_α : نشانه فشردگی ثانویه.

r_i : درصد نشست الاستیک.

r_p : درصد نشست تحکیمی اولیه.

r_s : درصد نشست تحکیمی ثانویه.

نحوه تحلیل و بکارگیری گزینه‌ها نیز در فصل چهارم (بند ۴-۴-۲) و در ادامه تئوری‌های مربوطه، ارائه گردیده است.

❖ Results Summary

نتایج نهایی آزمایش تحکیم در این قسمت درج میشوند. این نتایج عبارتند از:

BH/TP : نام گمانه.

$Depth$: عمق نمونه.

P'_c : تنش پیش تحکیمی.

C_c : نشانه فشردگی.

C_s : نشانه تورم.

ضمناً با انتخاب گزینه‌ی Remolded، نوع نمونه در خروجی نرم افزار، Remolded (بازسازی شده) قید می‌شود.

❖ GENERATION ۲-۱-۳-۲-۲

❖ Whole Test

این گزینه مرتبط با ساختن نمونه آزمایش تحکیم بصورت تصادفی و بر اساس شرایط تعیین شده از سمت کاربر است. علاوه بر مشخصات نمونه، دیگر پارامترهای لازم جهت ساختن نمونه آزمایش عبارتند از:

P'_c , C_c , C_s & Dial trend: همگی پیش‌تر تعریف شده‌اند.

$(d)_{st}$: قرائت شروع آزمایش (متناظر با بار نشیمن).

با مشخص شدن پارامترهای فوق، با هر بار کلیک بر روی عبارت Generate، نرم افزار آزمایش جدیدی بصورت تصادفی (بر اساس اطلاعات موجود) ایجاد می‌کند. از آنجا که به منظور تحلیل نتایج کلی آزمایش و تعیین پارامترهای P'_c ، C_c و C_s روش‌های گوناگونی وجود داشته و قضاوت مهندسی نیز دخیل است، لذا بررسی انطباق میان آزمایش ایجاد شده و پارامترهای اولیه، صرفاً با تحلیل آزمایش قابل انجام بوده و بر عهده کاربر است.

❖ Loading Steps

به منظور ساختن نمونه قرائت‌های نشست-زمان مرتبط با هر یک از مراحل بارگذاری و بر اساس شرایط تعیین شده از سمت کاربر، می-توان از این گزینه استفاده کرد. پارامترهای مورد نیاز این بخش عبارتند از:

$r_i, r_p \& r_s$: پیش‌تر تعریف شده‌اند.

t_{100} : زمان اتمام تحکیم اولیه.

با مشخص شدن پارامترهای فوق، با هر بار کلیک بر روی عبارت Generate، نرم‌افزار سری قرائت‌های جدیدی بصورت تصادفی (بر اساس اطلاعات موجود) ایجاد می‌کند. از آنجا که به منظور تحلیل مراحل بارگذاری و تعیین پارامترهای C_v و C_α روش‌های گوناگونی وجود داشته و قضاوت مهندسی نیز دخیل است، لذا بررسی انطباق میان قرائت‌های ایجاد شده و فرضیات اولیه، صرفاً با تحلیل آزمایش قابل انجام بوده و بر عهده کاربر است.

EDIT ۲-۳-۲-۲

با استفاده از این منو می‌توان اعمال ویرایشی زیر را در رابطه با آزمایش انجام گرفته بر روی یک نمونه، انجام داد.

Copy: کپی کردن.

Move: انتقال.

Delete: حذف کردن.

در شرایطی که ضمن کپی کردن و یا انتقال، نمونه مقصد خود حاوی اطلاعات باشد، جایگزینی اطلاعات جدید نیازمند تأیید از

سمت کاربر نخواهد بود. لذا بهنگام استفاده از این گزینه، می‌بایست دقت شود.

EXPORT ۴-۲-۲

EXPORT ۱-۴-۲-۲

این تب مختص خروجی های نرم افزار است که عبارتند از:

Output: نشاندهنده نتایج نهایی آزمایش است.

- Whole Test - Portrait: خروجی کلی آزمایش در قالب Portrait.
- Whole Test - Landscape: خروجی کلی آزمایش در قالب Landscape.
- Loading Steps: خروجی مرتبط با مراحل بارگذاری.
- Note:** با فعال کردن گزینه View construction lines، خطوط کمکی مرتبط با مراحل حل نیز در خروجی نمایش داده خواهند شد.

Test data: اطلاعات خام و محاسبات مربوطه در این قسمت قابل استخراج است.

- Whole Test: کل آزمایش.
- Loading Steps: مراحل بارگذاری.

BLANK ۲-۴-۲-۲

شیت های خام آزمایش تحکیم به منظور ورود اطلاعات توسط تکنسین، از طریق این منو در دسترس هستند.

SETTINGS ۵-۲-۲

تنظیمات برنامه در این قسمت تعیین می گردد که شامل دو مورد زیر می باشد:

- Apparatus Calibration: جدول تنش ها و کالیبراسیون دستگاه متشکل از ستون های زیر:
 - Stress, P : تنش اعمال شده.
 - Frame deflection: تغییر شکل قاب دستگاه.
 - Sample deflection: تغییر شکل نمونه.
 - Apparatus calibration, Δ_a : کالیبراسیون دستگاه که از اختلاف تغییر شکل قاب دستگاه و نمونه بدست می آید.
- Time List: جدول زمان های قرائت.

۳ خطاها

انواع خطاهای در نظر گرفته شده در نرم افزار حاضر بر ۲ قسم است؛ خطاهای اولیه و خطاهای ثانویه. این فصل به توضیح این خطاها می پردازد.

۳-۱ خطاهای اولیه

مواقعی که اطلاعات ورودی اشتباه و یا دور از منطق باشند، رنگ سلول های مربوطه تغییر و پیغامی متناسب، جهت راهنمایی کاربر نمایش داده می شود. رنگ های مورد استفاده به قرار زیر می باشند:

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

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

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

صورتی: محدودیت های مرتبط با نسخه آزمایشی برنامه.

نکته: در صورت وجود خطاهای اولیه (به استثنای خطاهای سبزرنگ) امکان گرفتن خروجی به کاربر داده نمی شود.

۳-۲ خطاهای ثانویه

خطاهایی هستند که بر خلاف خطاهای اولیه، محدودیتی در گرفتن خروجی ایجاد نمی کنند و عمدتاً زمانی ایجاد می شوند که اعمال یک سری تغییرات در پروژه، موجب نادرستی و یا عدم هماهنگی برخی دیگر شود. این خطاها بر ۲ نوع Compatibility و Depth می باشند:

Compatibility errors: نشان دهنده عدم هماهنگی در اطلاعات موجود است.

Depth errors: نشان دهنده خطاهای ناشی از عدد عمق می باشد.

خطاهای ثانویه شامل مزایای زیر می باشند:

- کارکرد نرم افزار مختل نمی شود (اصطلاحاً برنامه Crash نمی کند).
- همگی خطاها مرتبط با تک تک ورودی ها بصورت مجزا مشخص می شوند.

نکته: با کلیک بر روی نوع خطا در زیر هر یک از جداول، پیغامی نمایش داده می شود و کاربر را از علت و یا علل محتمل بروز خطا آگاه می کند.

۴ تئوری محاسبات

در این فصل پس از ارائه توضیحات مختصری پیرامون آزمایش تحکیم یک‌بعدی، روش‌های تحلیل به همراه پارامترهای مورد استفاده، بطور کامل شرح داده شده‌اند. در نهایت نیز نحوه استفاده از نرم‌افزار و بکارگیری گزینه‌های مرتبط با هر یک از روش‌های تحلیل ارائه شده است.

به لحاظ عدم نیاز به مطالب پیشین، تمامی پارامترها مستقلاً در این فصل تعریف می‌شوند. همچنین پارامترهای محاسباتی با علامت (*) مشخص شده‌اند.

۴-۱ کلیات آزمایش

هدف از این آزمایش تعیین مقدار و نرخ تحکیم خاک در شرایطی است که از اطراف محدود شده و در حالیکه بار بصورت کنترل تنش و تدریجی بر آن وارد می‌گردد، بصورت قائم زهکشی می‌شود.

در این آزمایش یک نمونه خاک که از اطراف محدود شده است، تحت اثر بار قائم بصورت پله‌ای قرار می‌گیرد. هر مرحله از بارگذاری تا زمانی نگاه داشته می‌شود که اضافه فشار آب حفره‌ای زائل گردد. تشخیص زائل شدن فشار آب حفره‌ای بر اساس تفسیر قرائت‌های نشست-زمان تحت تنش کل ثابت می‌باشد. این تفسیر با این فرض انجام می‌گیرد که نمونه ۱۰۰ درصد اشباع شده است. تغییرات ارتفاع نمونه در ضمن آزمایش اندازه‌گیری شده و از آن، جهت تعیین رابطه میان تنش موثر قائم و نسبت تخلخل و یا کرنش محوری، استفاده می‌شود. با تحلیل قرائت‌های نشست-زمان در هر یک از مراحل بارگذاری، پارامتر ضریب تحکیم بدست آمده و بواسطه آن، نرخ تحکیم ارزیابی می‌گردد.

۲-۴ مشخصات نمونه

پارامترهای جدول زیر گویای مشخصات و ابعاد نمونه ضمن آزمایش هستند:

جدول ۱-۴ - مشخصات و ابعاد نمونه ضمن آزمایش تحکیم

توصیف پارامتر	قطر	وزن مخصوص ویژه خاک	ارتفاع معادل ذرات خاک	وزن ذرات خاک در نمونه	ارتفاع	وزن در حالت مرطوب	وزن مخصوص خشک	درصد رطوبت	نسبت تخلخل	درصد اشباع
ابتدای آزمایش					$(H)_{st}$	$(M_T)_{st}$	$(\gamma_d)_{st}$	$(w)_{st}$	$(e)_{st}$	$(S)_{st}$
انتهای آزمایش	D	G_s	H_s	M_s	$(H)_{en}$	$(M_T)_{en}$	$(\gamma_d)_{en}$	$(w)_{en}$	$(e)_{en}$	$(S)_{en}$
واحد	[in.]	[-]	[in.]	[g]	[in.]	[g]	[pcf]	[%]	[-]	[%]
			(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

نکته:

۱- پارامترهای $(H)_{st}$ و $(\gamma_d)_{st}$ ورودی از سمت کاربر بوده و پارامترهای $(H)_{en}$ و $(\gamma_d)_{en}$ بصورت خودکار از اطلاعات آخرین مرحله آزمایش استخراج می گردند.

۲- تمامی محاسبات فوق با استفاده از روابط وزنی- حجمی انجام می پذیرد.

۳-۴ جدول های آزمایش

در نرم افزار حاضر دو جدول در خصوص اطلاعات آزمایش در نظر گرفته شده است. توجه شود که پارامتر Dial trend عبارتست از روند تغییر قرائت های آزمایش در جهت افزایش نشست که بصورت خودکار توسط نرم افزار تشخیص داده می شود.

WHOLE TEST ۱-۳-۴

این جدول گویای اطلاعات کلی آزمایش تحکیم بوده و هر سطر آن مرتبط با انتهای یکی از مراحل بارگذاری است. در روابطی که در ادامه ارائه شده اند، اندیس های st ، m و n به ترتیب مرتبط با ابتدا و مراحل m و n ام آزمایش می باشند به نحوی که $n = m + 1$.

جدول ۲-۴ - پارامترهای بکار رفته در جدول کلی آزمایش تحکیم

توصیف پارامتر	شمارنده گام بارگذاری	تنش بارگذاری	کالبراسیون دستگاه	قرائت گیج	قرائت اصلاح شده	تغییر ارتفاع نمونه	ارتفاع نمونه	کرنش محوری	نسبت تخلخل	ضریب قابلیت فشردگی / فشردگی مجدد حجمی	مدول الاستیسیته محصور شده در حالت فشردگی / فشردگی مجدد
پارامتر	Step	P	Δ_a	d	d_c	ΔH	H	ε	e	m_v/m_{vr}	E'_c/E'_{cr}
واحد	[-]	[ksf]	[in.]	[-]	[-]	[in.]	[in.]	[%]	[-]	[1/ksf]	[ksf]
					(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

محاسبات نیز به شرح زیر می باشند:

$$\text{if Dial trend: Increase} \Rightarrow \begin{cases} (d_c)_n = (d)_n - (\Delta_a)_n \\ (\Delta H)_n = (d_c)_n - (d_c)_{st} \end{cases}$$

$$\text{if Dial trend: Decrease} \Rightarrow \begin{cases} (d_c)_n = (d)_n + (\Delta_a)_n \\ (\Delta H)_n = (d_c)_{st} - (d_c)_n \end{cases}$$

$$(H)_n = (H)_{st} - (\Delta H)_n$$

$$(\varepsilon)_n = \frac{(\Delta H)_n}{(H)_{st}}$$

$$(e)_n = (e)_{st} - (\varepsilon)_n [1 + (e)_{st}]$$

$$(m_v)_n \text{ or } (m_{vr})_n = \frac{(\varepsilon)_n - (\varepsilon)_m}{(P)_n - (P)_m} \quad \text{depends on the loading history \& direction}$$

$$(E'_c)_n \text{ or } (E'_{cr})_n = \frac{1}{(m_v)_n \text{ or } (m_{vr})_n} \quad \text{depends on the loading history \& direction}$$

نکته: در نرم افزار حاضر بصورت قراردادی زمانیکه نمونه خاک، کل و یا قسمتی از محدوده تنش را پیش تر تجربه کرده باشد، بجای

پارامترهای m_v و E'_c ، به ترتیب از m_{vr} و E'_{cr} استفاده شده است.

LOADING STEPS ۲-۳-۴

این جدول مرتبط با هر یک از مراحل آزمایش تحکیم بوده و همانگونه که ملاحظه می‌گردد با بکارگیری اندیس‌ها، هر یک از این پارامترها به زمان و یا درصد خاصی از تحکیم اختصاص داده شده است.

جدول ۳-۴ - پارامترهای مختص هر یک از مراحل آزمایش تحکیم

توصیف پارامتر	زمان	قرائن گنج	قرائت اصلاح شده	تغییر ارتفاع نمونه در یک از مراحل	تغییر ارتفاع نمونه	ارتفاع نمونه	کرنش محوری	نسبت تخلخل
پارامتر	t	d	d_c	Δh	ΔH	H	ε	e
ابتدای مرحله	$t_i = 0$	d_i	d_{ic}	Δh_i	ΔH_i	H_i	ε_i	e_i
درصد تحکیم اولیه	0	—	d_0	Δh_0	ΔH_0	H_0	ε_0	e_0
50	t_{50}	d_{50}	d_{50c}	Δh_{50}	ΔH_{50}	H_{50}	ε_{50}	e_{50}
90	t_{90}	d_{90}	d_{90c}	Δh_{90}	ΔH_{90}	H_{90}	ε_{90}	e_{90}
100	t_{100}	d_{100}	d_{100c}	Δh_{100}	ΔH_{100}	H_{100}	ε_{100}	e_{100}
انتهای مرحله	t_f	d_f	d_{fc}	Δh_f	ΔH_f	H_f	ε_f	e_f
واحد	[min]	[—]	[—]	[in.]	[in.]	[in.]	[%]	[—]
			(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

نحوه انجام محاسبات به ازای گام فرضی n ام به شرح زیر است:

$$\text{if Dial trend: Increase} \Rightarrow \begin{cases} d_c = d - (\Delta_a)_n \\ \Delta h = d_c - d_{ic} \\ \Delta H = d_c - (d_c)_{st} \end{cases}$$

$$\text{if Dial trend: Decrease} \Rightarrow \begin{cases} d_c = d + (\Delta_a)_n \\ \Delta h = d_{ic} - d_c \\ \Delta H = (d_c)_{st} - d_c \end{cases}$$

$$H = (H)_{st} - \Delta H$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{(H)_{st}}$$

$$e = (e)_{st} - \varepsilon[1 + (e)_{st}]$$

۴-۴ تحلیل نتایج

WHOLE TEST ۱-۴-۴

در نرم افزار حاضر، تحلیل نتایج کلی آزمایش به دو روش کازاگرانده و ساده شده قابل انجام می باشد. هر یک از این روش ها با کلیک بر روی گزینه Solve قابل انتخاب بوده و پارامترهای زیر را نتیجه می دهد:

P'_c (*) تنش پیش تحکیمی، [ksf].

C_c (*) نشانه فشردگی، [-].

C_s (*) نشانه تورم، [-].

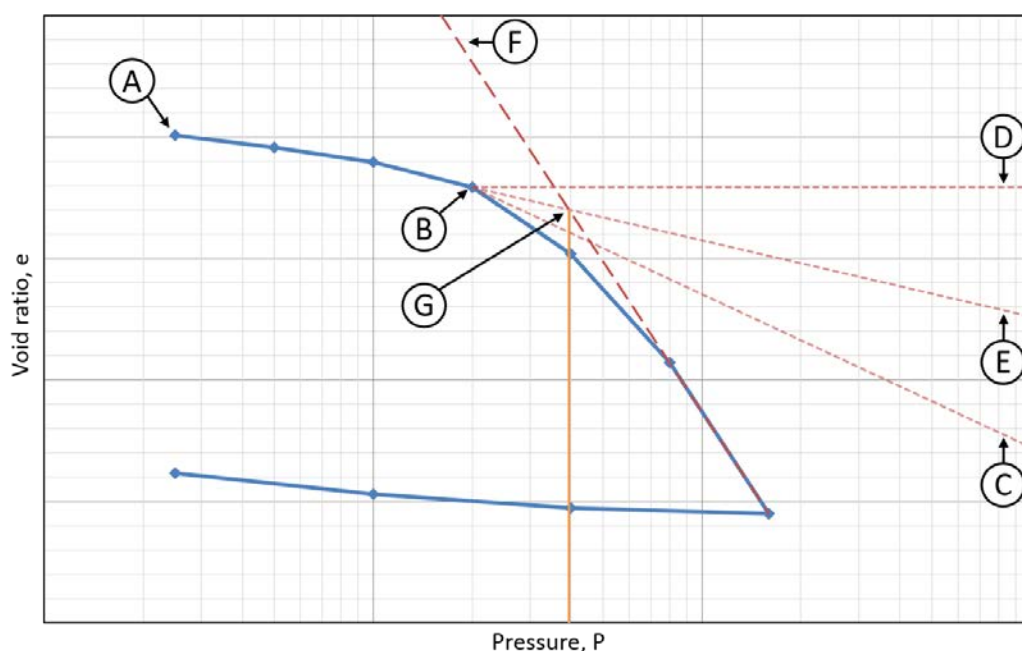
توضیحات هر یک از این دو روش به همراه گزینه های مرتبط با آنها در نرم افزار، در ادامه ارائه شده است. ضمناً گزینه های Construction lines و Delete solve نیز به ترتیب مرتبط با نمایش خطوط کمکی در تحلیل مسئله و حذف تحلیل های صورت گرفته، می باشند.

۴-۴-۱-۱ روش کاذاگرانده

۴-۴-۱-۱-۱ تئوری

$$\underline{P'_c} \quad \diamond$$

- A- نمودار $e - \log(P)$ ترسیم می گردد.
- B- نقطه ای که در قسمت ابتدایی نمودار بیشترین انحنا را دارد، تعیین می گردد.
- C- از نقطه B خط مماسی بر منحنی ترسیم می شود.
- D- از نقطه B خطی موازی با محور افقی ترسیم می شود.
- E- نیمساز زاویه ایجاد شده بین خطوط C و D ترسیم می شود.
- F- مماس بر منحنی در محدوده ی با شیب بیشینه ترسیم می گردد.
- G- محل تقاطع خطوط E و F نشان دهنده ی تنش پیش تحکیم یافتگی می باشد.



شکل ۴-۱ - نحوه تعیین تنش پیش تحکیمی با روش کاذاگرانده

$$\underline{C_c} \quad \diamond$$

قدر مطلق شیب خط ترسیم شده در گام F از تعیین تنش پیش تحکیمی به روش کاذاگرانده معادل C_c می باشد.

$$\underline{C_s} \quad \diamond$$

تعیین این پارامتر تا حدی بسته به قضاوت مهندسی بوده و متأثر از شیب نمودار $e - \log(P)$ در کلیه بخش هایی است که مقدار تنش در آنها، کوچکتر یا مساوی تنش پیش تحکیمی باشد. قدر مطلق میانگین شیب بخش های منتخب معادل C_s خواهد بود.

۴-۱-۱-۲ کاربرد

❖ $\underline{C_s}$

این پارامتر متأثر از شیب نمودار $e - \log(P)$ در بخش‌های زیر است:

- Initial: بخش ابتدایی نمودار. گزینه‌های Mode 1 تا Mode 4 به ترتیب شیب بهترین خط گذرنده از ۲ تا ۵ نقطه اول نمودار را لحاظ می‌کنند.
- Unloading steps: کلیه گام‌های باربرداری.
- Reloading steps: کلیه گام‌های بارگذاری مجدد.

خط C_s با شیبی معادل میانگین بدست آمده از گزینه‌های فعال فوق، از اولین نقطه ترسیم می‌گردد. این خط صرفاً بعنوان پیشنهاد اولیه به کاربر ارائه شده و کاربر می‌تواند آن را بسته به قضاوت مهندسی خود، تغییر دهد.

❖ $\underline{C_c}$

ترسیم خط C_c به نوعی معادل گام F در بند ۴-۱-۱-۱ بوده و بر اساس یکی از دو معیار زیر انجام می‌شود:

- Steepest line: خط با شیب (مطلق) بیشینه در نمودار $e - \log(P)$ استفاده از این گزینه در استاندارد ASTM D2435 توصیه شده است.
- Modes (1 to 4): شروع خط از آخرین گام بارگذاری بوده و شیب آن بسته به گزینه مورد استفاده، Mode 1 تا Mode 4، به ترتیب شیب بهترین خط گذرنده از ۲ تا ۵ نقطه آخر گام‌های بارگذاری می‌باشد.

این خط نیز صرفاً بعنوان پیشنهاد اولیه بوده و کاربر می‌تواند بسته به قضاوت مهندسی خود، آن را تغییر دهد.

❖ $\underline{P'_c}$

در این قسمت نقطه‌ای که در بخش ابتدایی نمودار بوده و بیشترین انحنا را دارد (معادل گام B در بند ۴-۱-۱-۱) انتخاب گردیده و سایر مراحل تعیین P'_c بصورت خودکار انجام می‌شوند. توجه شود که نرم‌افزار این نقطه را بصورت خودکار تشخیص داده و به کاربر پیشنهاد می‌دهد.

۴-۱-۴-۲ روش ساده شده

۴-۱-۴-۲-۱ تئوری

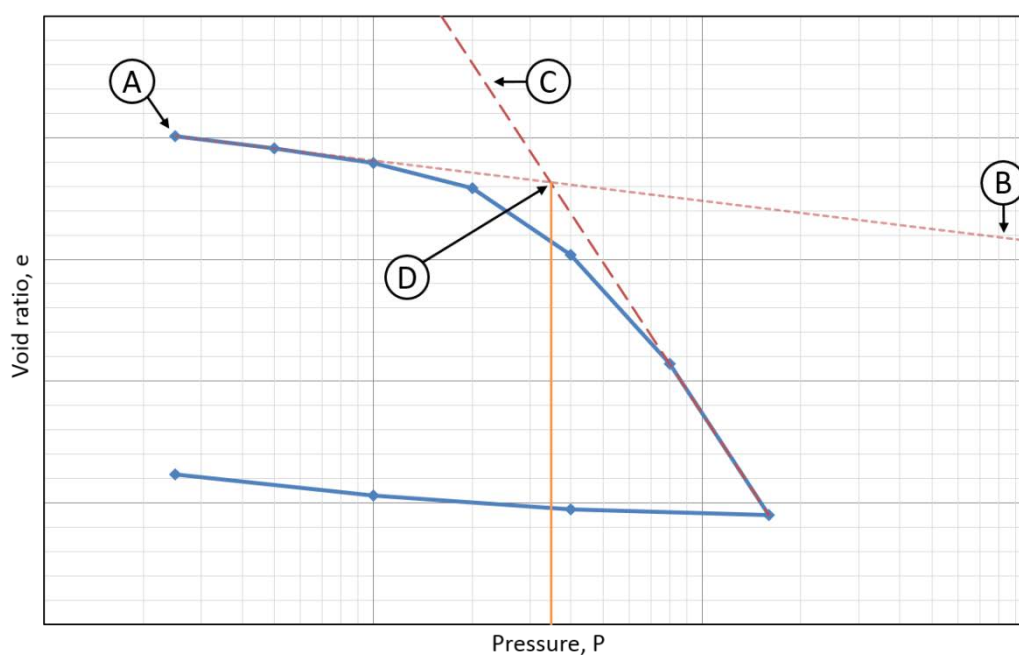
$$\underline{P'_c} \quad \diamond$$

A- نمودار $e - \log(P)$ ترسیم می گردد.

B- خط راست گذرنده از ابتدای نمودار (پیش از رسیدن به تنش پیش تحکیمی) ترسیم می گردد.

C- خط تحکیم عادی ترسیم و به سمت عقب امتداد داده می شود.

D- مختصه افقی محل تقاطع خطوط B و C نشان دهنده تنش پیش تحکیمی می باشد.



شکل ۴-۲ - نحوه تعیین تنش پیش تحکیمی با روش ساده شده

$$\underline{C_c} \quad \diamond$$

قدر مطلق شیب خط C در تعیین تنش پیش تحکیمی به روش ساده شده معادل C_c می باشد.

$$\underline{C_s} \quad \diamond$$

قدر مطلق شیب خط B در تعیین تنش پیش تحکیمی به روش ساده شده معادل C_s می باشد.

۴-۴-۱-۲-۲ کاربرد

❖ $\underline{C_s}$

ترسیم خط C_s معادل گام B در بند ۴-۴-۱-۲-۱ بوده و متأثر از شیب نمودار $e - \log(P)$ در بخش‌های زیر است:

- Initial: بخش ابتدایی نمودار. گزینه‌های Mode 1 تا Mode 4 به ترتیب شیب بهترین خط گذرنده از ۲ تا ۵ نقطه اول نمودار را لحاظ می‌کنند.
- Unloading steps: کلیه گام‌های باربرداری.
- Reloading steps: کلیه گام‌های بارگذاری مجدد.

خط C_s با شیبی معادل میانگین بدست آمده از گزینه‌های فعال فوق، از اولین نقطه ترسیم می‌گردد. این خط صرفاً بعنوان پیشنهاد اولیه به کاربر ارائه شده و کاربر می‌تواند آن را بسته به قضاوت مهندسی خود، تغییر دهد.

❖ $\underline{C_c}$

ترسیم خط C_c معادل گام C در بند ۴-۴-۱-۲-۱ بوده و بر اساس یکی از دو معیار زیر انجام می‌شود:

- Steepest line: خط با شیب (مطلق) بیشینه در نمودار $e - \log(P)$.
- Modes (1 to 4): شروع خط از آخرین گام بارگذاری بوده و شیب آن بسته به گزینه مورد استفاده، Mode 1 تا Mode 4، به ترتیب شیب بهترین خط گذرنده از ۲ تا ۵ نقطه آخر گام‌های بارگذاری می‌باشد.

این خط نیز صرفاً بعنوان پیشنهاد اولیه بوده و کاربر می‌تواند بسته به قضاوت مهندسی خود، آن را تغییر دهد.

❖ $\underline{P'_c}$

بر اساس گام D از بند ۴-۴-۱-۲-۱، طول نقطه تقاطع خطوط C_c و C_s بصورت خودکار تعیین و معادل P'_c می‌باشد.

LOADING STEPS ۲-۴-۴

در نرم افزار حاضر به منظور تحلیل هر یک از مراحل بارگذاری (که در آن قرائت های نشست-زمان انجام شده است)، دو روش کلی لگاریتم و جذر زمان با قابلیت هایی فراتر از ASTM D2435 بکار گرفته شده است. هر یک از این روش ها با کلیک بر روی گزینه Solve قابل انتخاب بوده و نهایتاً پارامترهای زیر را نتیجه می دهد:

H_{dr} (*): طول مسیر زهکشی، [in.].

C_v (*): ضریب تحکیم، [in.²/min].

C_α (*): نشانه فشردگی ثانویه [-].

r_i (*): درصد نشست الاستیک، [%].

r_p (*): درصد نشست تحکیمی اولیه، [%].

r_s (*): درصد نشست تحکیمی ثانویه، [%].

توضیحات هر یک از این دو روش به همراه گزینه های مرتبط با آنها در نرم افزار، در ادامه ارائه شده است. ضمناً گزینه های Construction lines و Delete solve نیز به ترتیب مرتبط با نمایش خطوط کمکی در تحلیل مسئله و حذف تحلیل های صورت گرفته، می باشند.

۴-۴-۲-۱ روش لگاریتم زمان

٤-٤-٢-١-١ تئوری

 d_{0c} & d_{100c} ♦♦

A- نمودار $d_c - \log(t)$ ترسیم می گردد.

B- مقدار d_{ic} مشخص می‌شود.

C- یک خط قائم انتخابی به معادله $t = t_a$ ترسیم می‌شود.

D- خط قائم به معادله $t = t_b = 4t_a$ ترسیم می‌گردد. توجه شود که کرنش محوری متناظر با $t = t_b$ می‌بایست بزرگتر از $\frac{1}{4}$ و

کوچکتر از $\frac{1}{2}$ کرنش محوری کل در آن مرحله از بارگذاری باشد.

E- اختلاف قرائت‌های متناظر با زمان‌های t_a و t_b محاسبه می‌شود.

F- یک خط افقی، به فاصله E از قرائت متناظر با t_a ترسیم می‌شود.

G- محل برخورد خط افقی ترسیم شده در مرحله F با محور قائم، d_{0c} خواهد بود.

H- خط راست گذرنده از قسمت انتهایی نمودار ترسیم می‌شود.

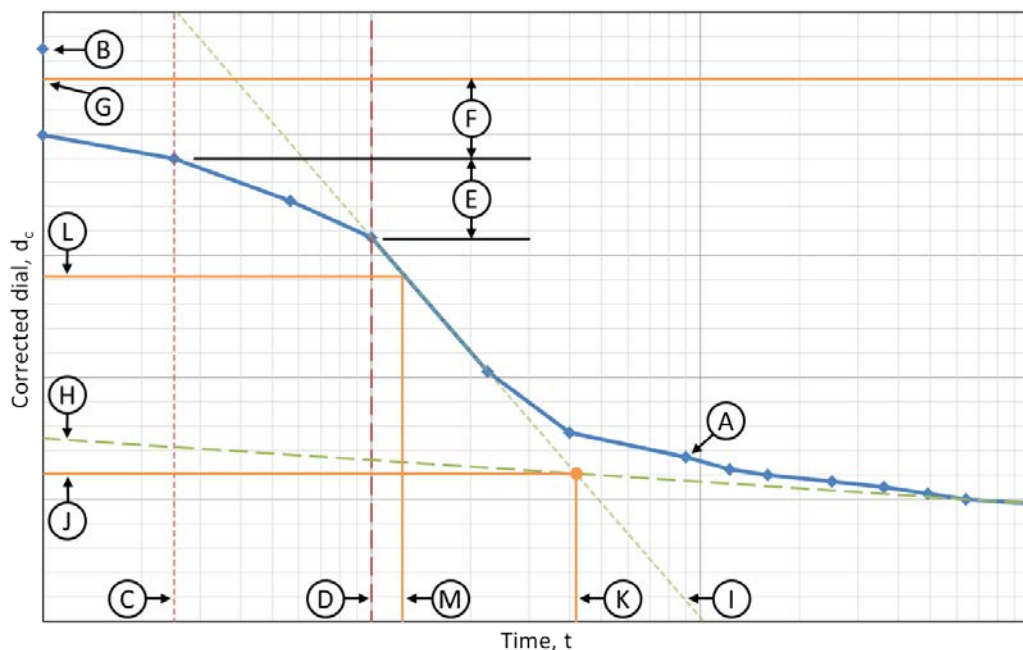
I- خط راست گذرنده از پرشیب‌ترین قسمت نمودار ترسیم می‌شود.

J- عرض نقطه تقاطع خطوط H و I ، d_{100c} است.

K- طول نقطه تقاطع خطوط H و I ، t_{100} است.

-L میانگین قرائت‌های d_{0c} و d_{100c} معادل d_{50c} خواهد بود.

-M: زمان متناظر با قرائت d_{50c} با توجه به نمودار بدست آمده و t_{50} نامیده می‌شود.



شکل ۴-۳- نحوه تعیین پارامترهای d_{0c} و d_{100c} با روش لگاریتم زمان

نکته: روش قید شده در استاندارد ASTM D2435 برای تعیین d_{0c} (گام های C تا G) یک حالت خاص بوده و روش حل کلی به شرح زیر می باشد:

۱- ترسیم دو خط قائم $t = t_a$ و $t = t_b$ به نحوی که $t_b > t_a$ و کرنش محوری متناظر هر دو زمان t_a و t_b کوچکتر از ۶۰٪ کرنش محوری کل در آن مرحله از بارگذاری باشد. توجه شود که در این حالت محدودیتی مبنی بر نسبت چهار برابری زمان ها وجود ندارد.

۲- مقدار d_{0c} با توجه به رابطه زیر بدست می آید:

$$d_{0c} = \frac{d_a \sqrt{t_b} - d_b \sqrt{t_a}}{\sqrt{t_b} - \sqrt{t_a}}$$

که در آن d_a و d_b به ترتیب قرائت های اصلاح شده متناظر با زمان های t_a و t_b می باشند.

$$\underline{H_{dr}, C_v, C_\alpha, r_i, r_p \& r_s} \quad \diamond$$

محاسبات نهایی به شرح زیر می باشد:

$$H_{dr} = \begin{cases} 0.5H_{50} & \text{Double drainage} \\ H_{50} & \text{Single drainage} \end{cases}$$

$$C_v = \frac{0.197H_{dr}}{t_{50}}$$

$$C_\alpha = -\text{Slope}(e, \log(t)) \quad t \geq t_{100}$$

$$r_i = \frac{d_{ic} - d_{0c}}{d_{ic} - d_{fc}}$$

$$r_p = \frac{d_{0c} - d_{100c}}{d_{ic} - d_{fc}}$$

$$r_s = \frac{d_{100c} - d_{fc}}{d_{ic} - d_{fc}}$$

نکته:

۱- رابطه کلی تعیین C_v بصورت زیر می باشد:

$$C_v = \left(\frac{T_v H_{dr}}{t} \right)_U$$

که در آن:

U : درصد تحکیم، [%]

$H_{dr} (*)$: طول مسیر زهکشی، [mm]. این پارامتر در هر مرحله از بارگذاری ثابت است.

$T_v (*)$: عامل زمان متناظر با درصد تحکیم U . رابطه تعیین این پارامتر در ادامه ارائه شده است.

$t (*)$: زمان متناظر با درصد تحکیم U ، [min]. این زمان با روش ترسیمی و یا استفاده از درونیایی خطی قابل تعیین است.

$$T_v(U) = \begin{cases} \frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{100} \right)^2 & U < 60[\%] \\ -0.085 - 0.933 \log \left(1 - \frac{U}{100} \right) & U \geq 60[\%] \end{cases}$$

با توجه به توضیحات فوق، در استاندارد ASTM D2435 استفاده از $U = 50 [\%]$ توصیه شده و لذا رابطه بصورت $C_v = \frac{0.197 H_{dr}}{t_{50}}$ ارائه گردیده است.

۲- در نرم افزار حاضر می توان از مقادیر مختلف U در محدوده (0,100) جهت تحلیل و محاسبه C_v استفاده کرد. سایر پارامترها نیز در ادامه و بر آن اساس، قابل ارزیابی هستند.

۳- کاربر می تواند با بکارگیری گزینه "View U variations ..."، تغییرات C_v را به ازای تغییرات U در محدوده (0,100) مشاهده کرده و آن را به نحوی تعیین کند که منتج به حداکثر انطباق و حداقل خطا گردد.

۴- منفی شیب بهترین خط گذرنده از نقطه (t_{100}, e_{100}) و نقاط بعد از آن در گراف $e - \log(t)$ ، معادل C_α خواهد بود. بر این اساس مقدار C_α در هر یک از حالات بارگذاری و باربرداری به ترتیب مثبت و منفی خواهد بود.

۴-۲-۱-۲-۴ کاربرد

❖ d_{0c}

این قسمت به نوعی دربرگیرنده گام‌های B الی G در بند ۴-۲-۱-۲-۴ بوده و شامل گزینه‌های زیر می‌باشد:

- Initial dial: با استفاده از این گزینه پارامتر d_{0c} عیناً برابر با d_{ic} در نظر گرفته شده و لذا معادل $r_i = 0$ [%] می‌باشد.
- Standard: این گزینه معادل روش قید شده در استاندارد ASTM D2435 بوده که در ابتدا بصورت خودکار توسط نرم افزار اعمال می‌گردد. لازم به ذکر است که در این روش محل خط $t = t_a$ از سمت کاربر نیز قابل تغییر است
- General: مرتبط با حل به روش کلی بوده که در آن، هر دو خط $t = t_a$ و $t = t_b$ از سمت کاربر قابل جابجایی می‌باشند.

❖ $d_{100c} \& t_{100}$

این قسمت در برگیرنده گام‌های H الی K در بند ۴-۲-۱-۲-۴ بوده و شامل گزینه‌های زیر می‌باشد:

- Steepest line: خطی که در نمودار $d_c - \log(t)$ دارای بیشترین شیب است، بصورت خودکار انتخاب و ترسیم می‌گردد.
- End line: خطی است مرتبط با بخش انتهایی نمودار $d_c - \log(t)$ که از آخرین نقطه شروع و شیب آن بسته به گزینه مورد استفاده متغیر خواهد بود. گزینه‌های Mode 1 الی Mode 4، به ترتیب شیب بهترین خط گذرنده از ۲ الی ۵ نقطه آخر نمودار را در نظر می‌گیرند.

محل تقاطع دو خط Steepest line و End line، نشانگر محل اتمام تحکیم اولیه بوده و لذا طول و عرض نقطه مذکور، به ترتیب t_{100} و d_{100c} خواهند بود. شایان ذکر است که هر یک از خطوط Steepest line و End line، بسته به قضاوت مهندسی و میل کاربر، قابل تغییر هستند.

❖ U

مقدار پارامتر U متناظر با حل، از سمت کاربر تعیین و بر آن اساس، سایر پارامترها محاسبه می‌شوند.

۴-۲-۴-۲ روش جذر زمان

۴-۲-۴-۱ تئوری

❖ d_{0c} & d_{100c}

A- نمودار $d_c - \sqrt{t}$ ترسیم می گردد.

B- خط راست گذرنده از قسمت ابتدایی نمودار ترسیم می گردد.

C- خط امتداد داده شده تا محور قائم را در $t = 0$ قطع کند. این نقطه متناظر با d_{0c} خواهد بود.

D- از نقطه d_{0c} خط راستی عبور داده می شود به نحوی که شیب خط B، $1/15$ برابر شیب آن باشد.

E- پارامتر d_{90c} معادل قرائت نقطه برخورد خط D و نمودار A می باشد.

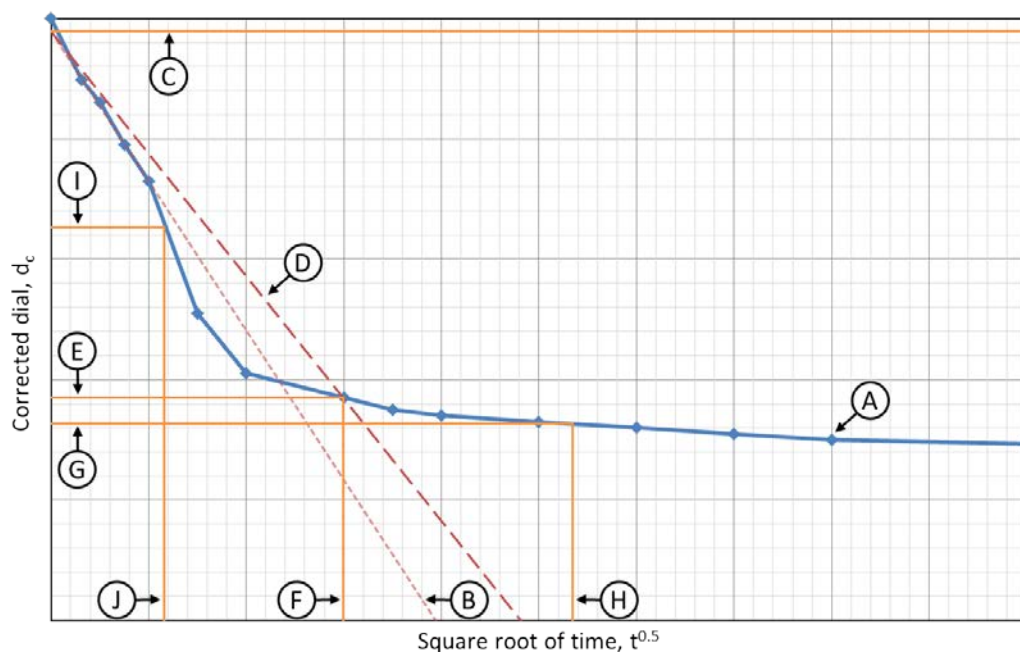
F- پارامتر t_{90} معادل زمان نقطه برخورد خط D و نمودار A می باشد.

G- پارامتر d_{100c} به اندازه $\frac{1}{9}$ بیشتر از اختلاف قرائت های d_{0c} و d_{90c} (خطوط C و E) می باشد.

H- پارامتر t_{100} معادل زمان متناظر با قرائت d_{100c} می باشد.

I- میانگین قرائت های d_{0c} و d_{100c} معادل d_{50c} خواهد بود.

J- پارامتر t_{50} معادل زمان متناظر با قرائت d_{50c} می باشد.



شکل ۴-۴ - نحوه تعیین پارامترهای d_{100c} و d_{0c} با روش لگاریتم زمان

نکته: روش قید شده در استاندارد ASTM D2435 برای تعیین d_{100c} (گام های D تا G) یک حالت خاص بوده و روش حل کلی به شرح زیر می باشد:

۱- انتخاب پارامتر U به نحوی که $U \in [60,100]$ و محاسبه شیب خط D طبق رابطه زیر:

$$Slope_D = \frac{Slope_B}{\alpha(U)}$$

$$\alpha(U) = \frac{2}{\frac{U}{100}\sqrt{\pi}} \sqrt{-0.085 - 0.933 \log\left(1 - \frac{U}{100}\right)}$$

با توجه به توضیحات فوق، در استاندارد ASTM D2435 استفاده از $U = 90$ [%] توصیه شده ولی در روش کلی، این عدد می تواند در محدوده $[60,100]$ باشد.

۲- ترسیم خط D با شیب محاسبه شده و شروع از نقطه d_{0c} .

۳- تعیین نقطه تقاطع خط D با نمودار A .

۴- مختصات قائم و افقی نقطه تقاطع بدست آمده در گام ۳ به ترتیب d_{Uc} و t_U نامیده می شوند.

۵- محاسبه d_{100c} طبق رابطه زیر:

$$d_{100c} = \begin{cases} d_{0c} + \frac{1}{U}(d_{Uc} - d_{0c}) & \text{Dial trend: Increase} \\ d_{0c} - \frac{1}{U}(d_{0c} - d_{Uc}) & \text{Dial trend: Decrease} \end{cases}$$

$$\underline{H_{dr}, C_v, C_\alpha, r_i, r_p \& r_s} \quad \diamond$$

محاسبات نهایی به شرح زیر می باشد:

$$H_{dr} = \begin{cases} 0.5H_{50} & \text{Double drainage} \\ H_{50} & \text{Single drainage} \end{cases}$$

$$C_v = \frac{0.848H_{dr}}{t_{90}}$$

$$C_\alpha = -Slope(e, \log(t)) \quad t \geq t_{100}$$

$$r_i = \frac{d_{ic} - d_{0c}}{d_{ic} - d_{fc}}$$

$$r_p = \frac{d_{0c} - d_{100c}}{d_{ic} - d_{fc}}$$

$$r_s = \frac{d_{100c} - d_{fc}}{d_{ic} - d_{fc}}$$

نکته:

۱- رابطه کلی تعیین C_v بصورت زیر می باشد:

$$C_v = \left(\frac{T_v H_{dr}}{t} \right)_U$$

که در آن:

U : درصد تحکیم، [%].

$H_{dr} (*)$: طول مسیر زهکشی، [mm]. این پارامتر در هر مرحله از بارگذاری ثابت است.

$T_v (*)$: عامل زمان متناظر با درصد تحکیم U . رابطه تعیین این پارامتر در ادامه ارائه شده است.

$t (*)$: زمان متناظر با درصد تحکیم U ، [min]. این زمان با روش ترسیمی و یا استفاده از درونیایی خطی قابل تعیین است.

$$T_v(U) = \begin{cases} \frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{100} \right)^2 & U < 60[\%] \\ -0.085 - 0.933 \log \left(1 - \frac{U}{100} \right) & U \geq 60[\%] \end{cases}$$

با توجه به توضیحات فوق، در استاندارد ASTM D2435 استفاده از $U = 90 [\%]$ توصیه شده و لذا رابطه بصورت $C_v = \frac{0.848 H_{dr}}{t_{90}}$ ارائه گردیده است.

۲- در نرم افزار حاضر می توان از مقادیر مختلف U در محدوده (60,100) جهت تحلیل و محاسبه C_v استفاده کرد. سایر پارامترها نیز در ادامه و بر آن اساس، قابل ارزیابی هستند.

۳- کاربر می تواند با بکارگیری گزینه "View U variations ..."، تغییرات C_v را به ازای تغییرات U در محدوده (60,100) مشاهده کرده و آن را به نحوی تعیین کند که منتج به حداکثر انطباق و حداقل خطا گردد.

۴- پارامتر C_α همانند روش لگاریتم زمان (بند ۴-۴-۲-۱) محاسبه می شود.

۴-۲-۲-۲-۲ کاربرد

$$d_{0c} \quad \diamond$$

این قسمت معادل گام‌های B و C در بند ۴-۲-۲-۲-۲ می‌باشد. با استفاده از هر یک از گزینه‌های Mode 1 الی Mode 4، بهترین خط گذرنده از نقطه دوم و ۱ الی ۴ نقطه بعد از آن ترسیم و تا محور $t = 0$ ادامه می‌یابد. در اینجا نیز همانند سایر روش‌ها، خط ترسیم شده توسط نرم‌افزار، بسته به نظر کاربر قابل تغییر و جابجایی است.

$$d_{100c} \& t_{100} \quad \diamond$$

این مقادیر بصورت خودکار و پس از تعیین پارامتر U محاسبه می‌شوند.

$$U \quad \diamond$$

مقدار پارامتر U متناظر با حل، از سمت کاربر تعیین و بر آن اساس، سایر پارامترها از جمله d_{100c} و t_{100} محاسبه می‌شوند.

۵ 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 افزارهای WhatsApp و LINE)

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

۶ نمادهای مورد استفاده

نماد	توضیحات
$(*)_{en}$	هر یک از پارامترها در انتهای آزمایش
$(*)_m$	هر یک از پارامترها در مرحله m ام آزمایش
$(*)_n$	هر یک از پارامترها در مرحله n ام آزمایش
$(*)_{st}$	هر یک از پارامترها در ابتدای آزمایش
$*_f$	هر یک از پارامترها در انتهای هر یک از مراحل آزمایش
$*_i$	هر یک از پارامترها در ابتدای هر یک از مراحل آزمایش
$*_{number}$	هر یک از پارامترها در درصد مشخصی از تحکیم اولیه در هر یک از مراحل آزمایش
C_c	نشانه فشردگی
C_s	نشانه تورم
C_v	ضریب تحکیم
C_α	نشانه فشردگی ثانویه
d	قرائت گیج
d_c	قرائت اصلاح شده
D	قطر نمونه
e	نسبت تخلخل
E'_c/E'_{cr}	مدول الاستیسیته محصور شده در حالت فشردگی / فشردگی مجدد
$Elev.$	تراز شروع گمانه
g_d / γ_d	وزن مخصوص خشک
G_s	وزن مخصوص ویژه خاک
GWT	فاصله سطح ایستابی از تراز شروع گمانه
H	ارتفاع نمونه
H_{dr}	طول مسیر زهکشی
H_s	ارتفاع معادل ذرات خاک
m_v/m_{vr}	ضریب قابلیت فشردگی / فشردگی مجدد حجمی
M_s	وزن ذرات خاک در نمونه (وزن خشک نمونه)
M_T	وزن نمونه در حالت مرطوب
P	تنش اعمال شده بر روی نمونه
P'_c	تنش پیش تحکیمی
r_i	درصد نشست الاستیک
r_p	درصد نشست تحکیمی اولیه
r_s	درصد نشست تحکیمی ثانویه
S	درصد اشباع
t	زمان سپری شده از اعمال بار
T_v	عامل زمان در تحکیم
U	درصد تحکیم
$USCS$	کد خاک بر اساس سیستم طبقه بندی متحد
w	درصد رطوبت

نماد	توضیحات
Δ_a	کالیبراسیون دستگاه به ازای تنش اعمال شده
Δh	تغییر ارتفاع نمونه در هر یک از مراحل آزمایش
ΔH	تغییر ارتفاع نمونه
ε	کرنش محوری