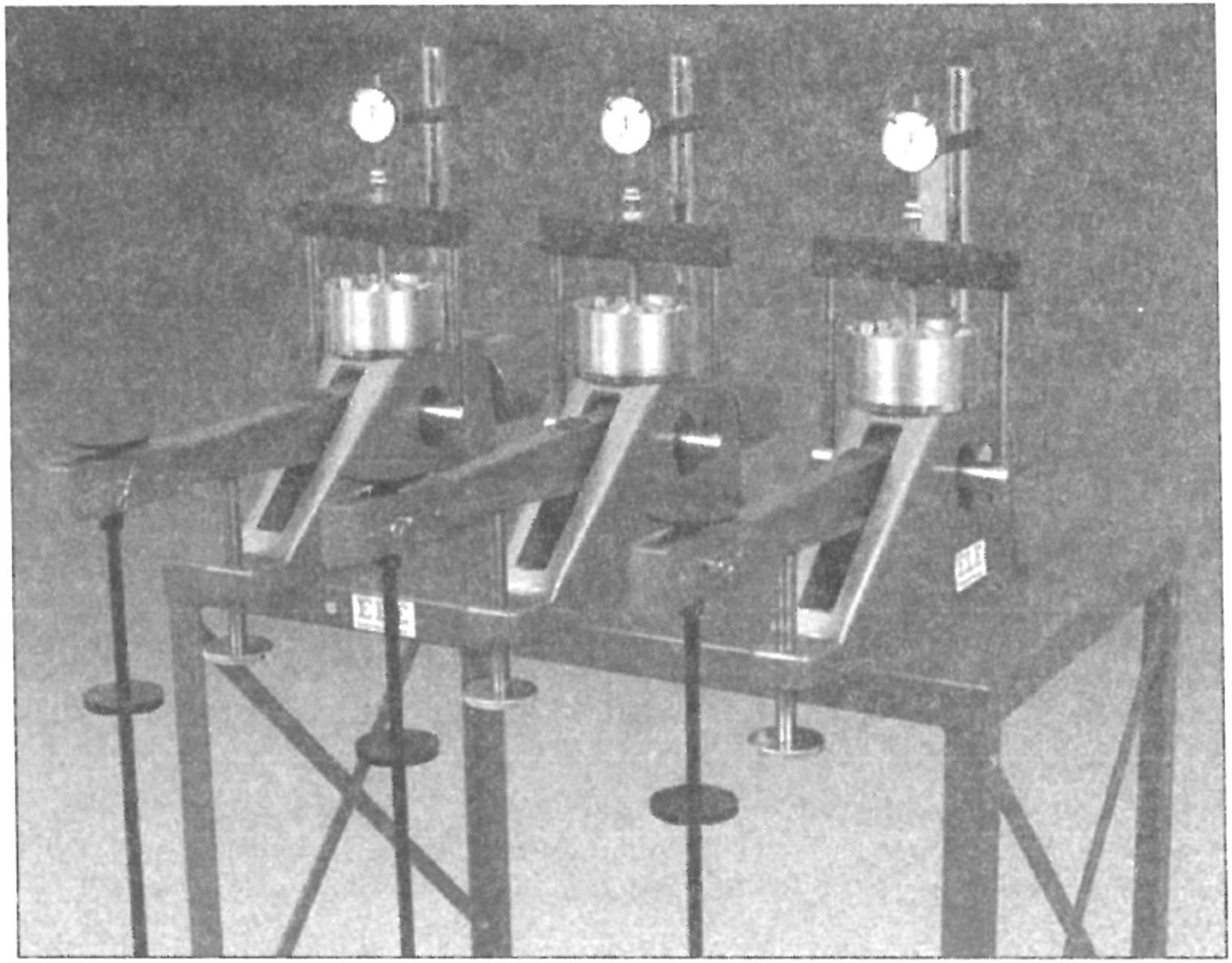
دانشگاه سمنان

آزمایش تحکیم

(Consolidation)

AASHTO T 216-83

ASTM D 2435-90



هدف از انجام آزمایش تحکیم، تعیین پارامترهای موثر در پیش‌بینی مقدار نشست و میزان آن در سازه‌های متکی بر خاک‌های رُسی است.

مقدمه

وقتی خاک اشباع تحت بارگذاری قرار می‌گیرد، در آغاز تمام بارگذاری توسط آب حفره‌ای تحمل می‌شود که به افزایش فشار آب حفره‌ای منتج می‌شود. درصورتی‌که زهکشی انجام شود، به مرور زمان حجم خاک کاهش می‌یابد که به آن تحکیم گفته می‌شود و باعث نشست می‌گردد. از طرفی ممکن است خاک براثر جذب آب حفره‌ای یا فشار آب حفره‌ای منفی افزایش حجم دهد که به آن تورم می‌گویند [۱۰].

پارامترهای مهم خاک که از آزمایش تحکیم به‌دست می‌آید یکی اندیس‌های تراکم است که میزان تراکم‌پذیری نمونهٔ خاک را مشخص می‌کند (C_c و C_r) و دیگری ضریب تحکیم (C_v) که سرعت تراکم را به‌علت بارگذاری تعیین می‌کند.

برای تعیین میزان نشست خاک‌ها به‌علت تحکیم از تئوری تحکیم تِرزاقی با فرضیات زیر استفاده می‌شود:

۱. خاک همگن است.
۲. خاک اشباع است.
۳. زهکشی و تراکم یک‌بُعدی است.
۴. خواص خاک ثابت است.
۵. منحنی $e - \log p$ یک خط راست را تشکیل می‌دهد.

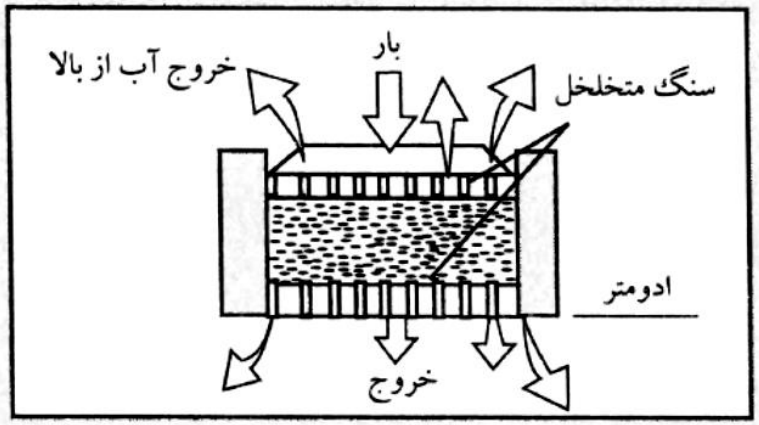
تئوری آزمایش

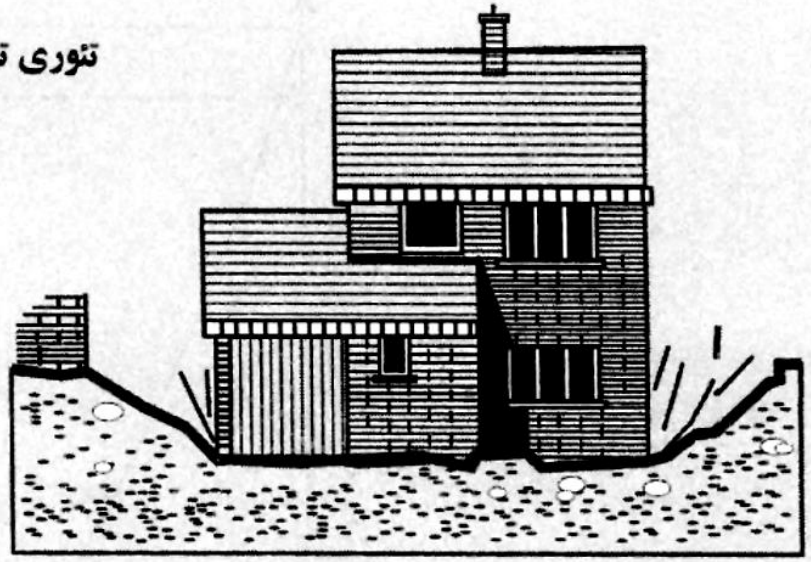
وقتی خاک تحت بارگذاری قرار می‌گیرد به‌علت کاهش نسبت منافذ (e) تغییرشکل پلاستیک از خود نشان می‌دهد. در شکل ۱۲-۲ این مسئله به‌وضوح مشخص است. در این شکل نشست یک ساختمان و همچنین منحنی‌های حجم ـ بار برای بارگذاری و باربرداری مشخص شده است.

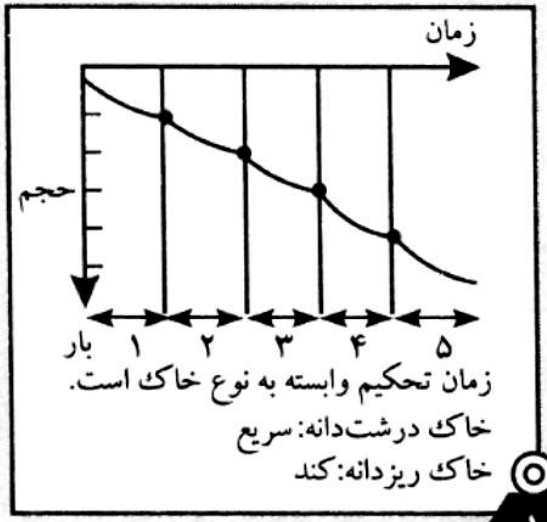
در خاک چسبندهٔ نیمه‌اشباع یا اشباع کامل، زمان تحکیم به عوامل زیر بستگی پیدا می‌کند:

۱. درجهٔ اشباع.
۲. ضریب نفوذپذیری خاک.
۳. خواص سیال.
۴. طول مسیری که سیال برای رسیدن به حالت تعادل طی می‌کند.

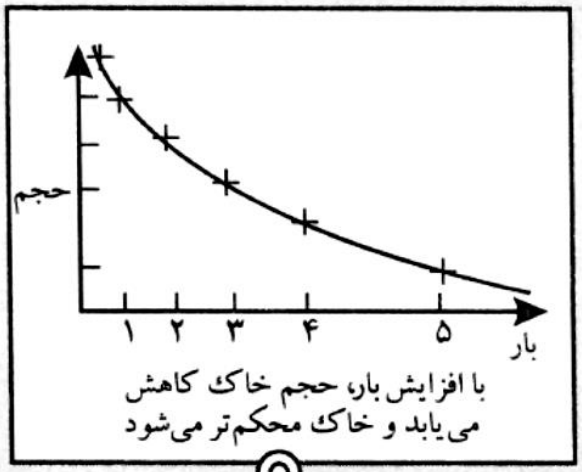
تئوری تحکیم



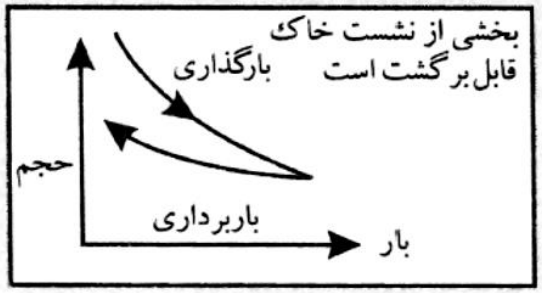


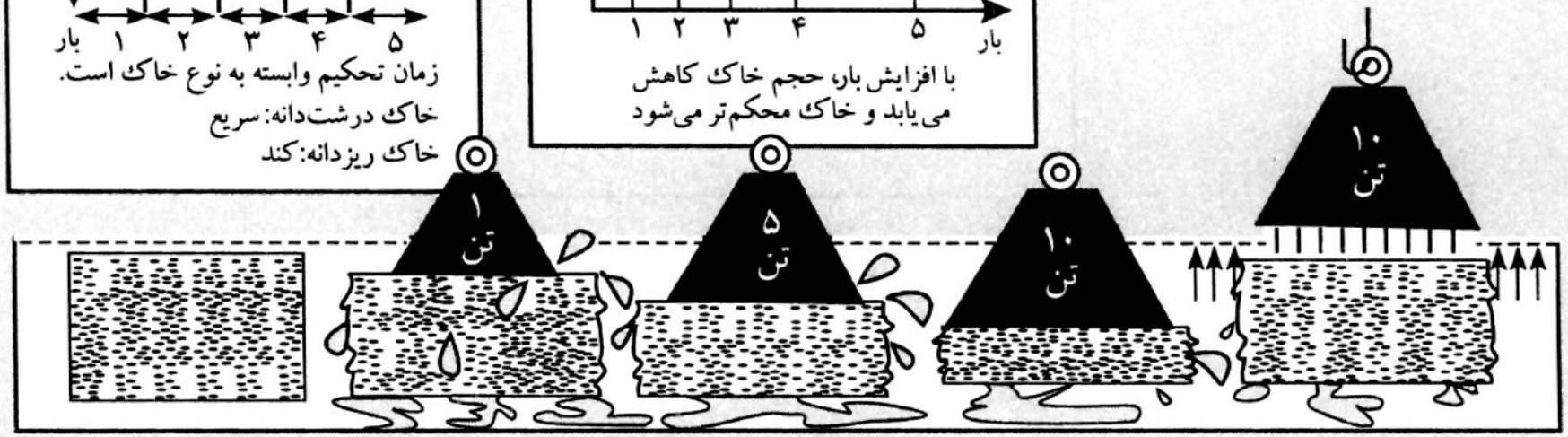


زمان تحکیم وابسته به نوع خاک است.
خاک درشت‌دانه: سریع
خاک ریزدانه: کند

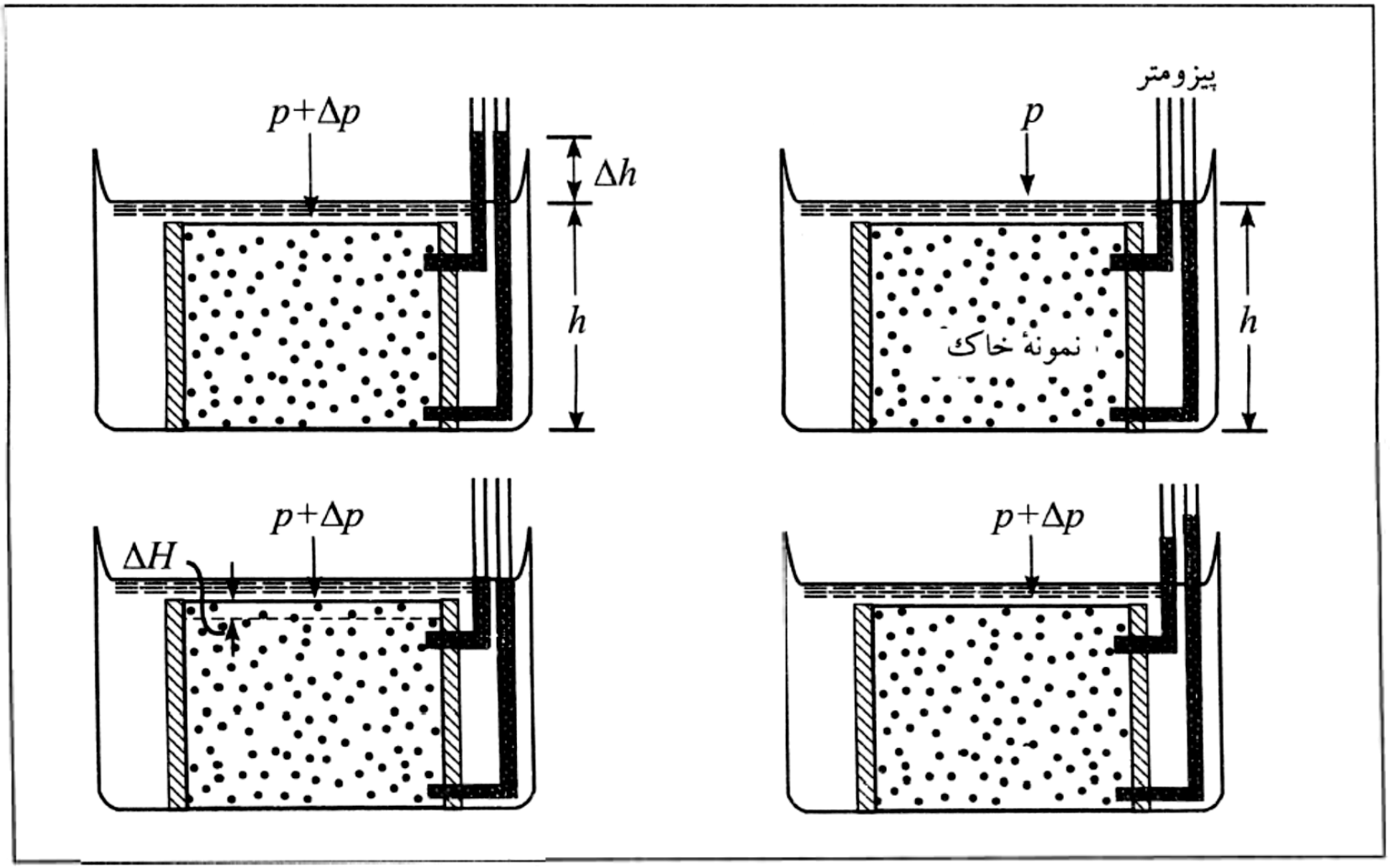


با افزایش بار، حجم خاک کاهش می‌یابد و خاک محکم‌تر می‌شود

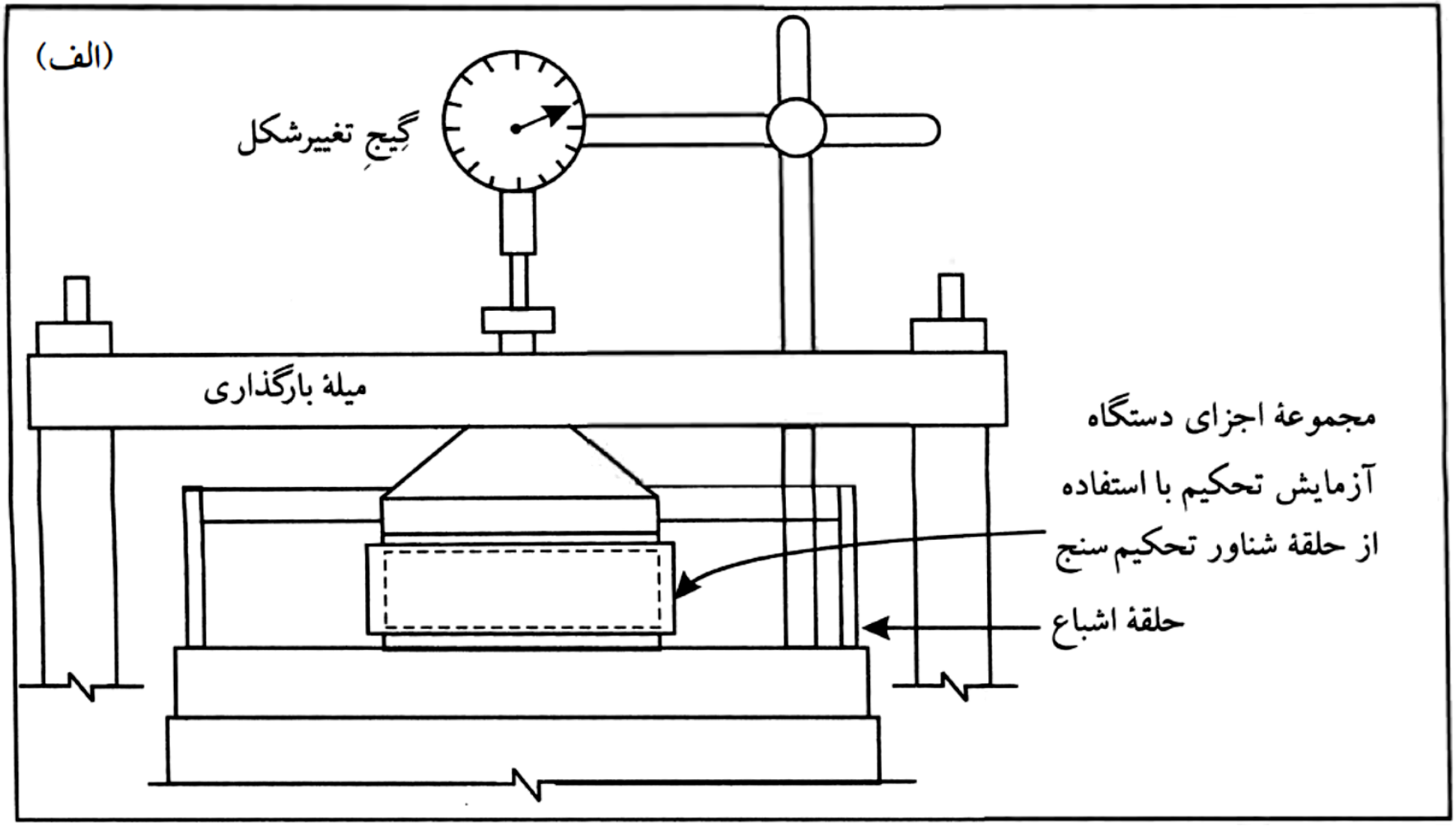


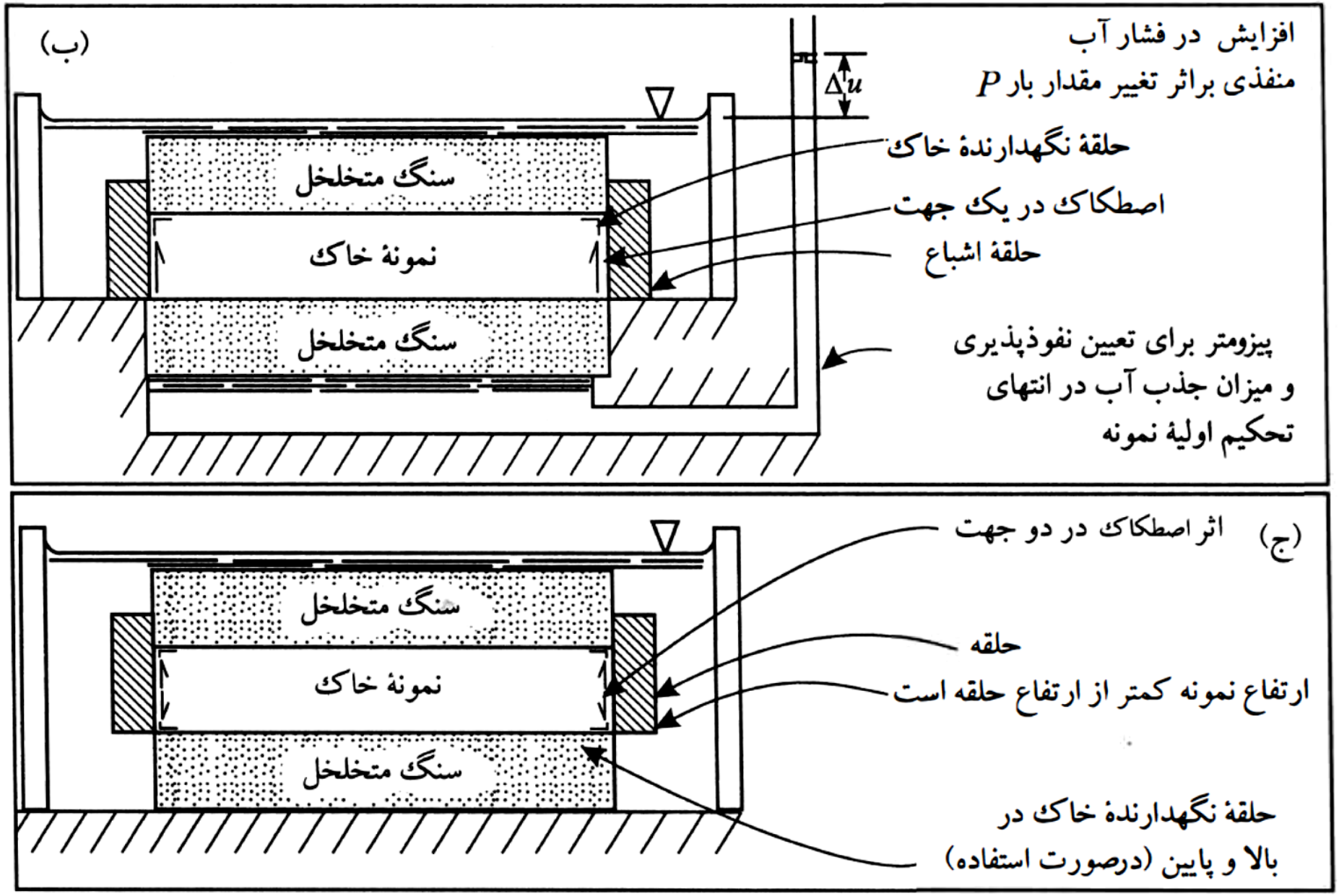


مطابق شکل ۱۲-۳، وقتی بار Δp بر نمونهٔ داخل حلقهٔ فلزی وارد می‌شود، فشارسنج‌ها در نقطهٔ موردنظر فشار را به اندازهٔ Δh از سطح قبلی آب بالاتر نشان می‌دهند. چون ضریب نفوذپذیری کم است، فشار آب حفره‌ای سریع از بین نمی‌رود. با گذشت زمان و خارج شدن آب حفره‌ای، این اختلاف فشار کمتر می‌شود و درنهایت به صفر میل می‌کند. در این حالت تحکیم اولیه پایان می‌پذیرد و بعد از این مرحله تحکیم ثانویه شروع می‌شود.



در آزمایش تحکیم، تغییرشکل جانبی صفر است و تمام تغییرشکل در جهت قائم اتفاق می‌افتد که به این حالت تحکیم یک‌بُعدی گفته می‌شود. ولی در واقعیت، تحکیم سه‌بُعدی است. آزمایش تحکیم معمولاً روی نمونه‌هایی با ضخامت ۲۰mm تا ۴۰mm و با قطر ۴۵mm تا ۱۱۳mm انجام می‌شود. حلقهٔ فلزی به‌کاربرده‌شده می‌تواند ثابت (Fixed ring) یا شناور (Floating ring) باشد. در آزمایش تحکیم با حلقهٔ فلزی شناور، به‌دلیل کاهش اصطکاک در دیوارهٔ حلقه امکان انجام آزمایش با سرعتی تا ۴ برابر حالت حلقهٔ ثابت وجود دارد و حلقهٔ فلزی ثابت بیشتر برای تعیین نفوذپذیری به‌کار می‌رود. شکل ۱۲-۴ این دو حالت را نشان می‌دهد. ضمناً در حلقهٔ فلزی، نسبت قطر به ارتفاع باید از ۲٫۵ بیشتر باشد.


(الف)
گِیجِ تغییرشکل
میلهٔ بارگذاری
مجموعهٔ اجزای دستگاه
آزمایش تحکیم با استفاده
از حلقهٔ شناور تحکیم سنج
حلقهٔ اشباع



ب) تحکیم با حلقهٔ ثابت، ج) تحکیم با حلقهٔ متحرک.

اِعمال فشار در آزمایش تحکیم معمولاً به‌صورتی است که $\Delta P/P = ۱$ است.
برای مثال می‌توان از بارگذاری به ترتیب زیر استفاده کرد:

$$۲۵, ۵۰, ۱۰۰, ۲۰۰, ۴۰۰, ۸۰۰, ۱۶۰۰\,\mathrm{kPa}.$$

وقتی $\Delta P/P$ خیلی بزرگ نباشد، خاک تمایل دارد که مقاومت داخلی خود را مجدداً تجدید کند که درنتیجه تغییرمکان کل نمونه کمتر از حالت $\Delta P/P = ۱$ می‌شود.

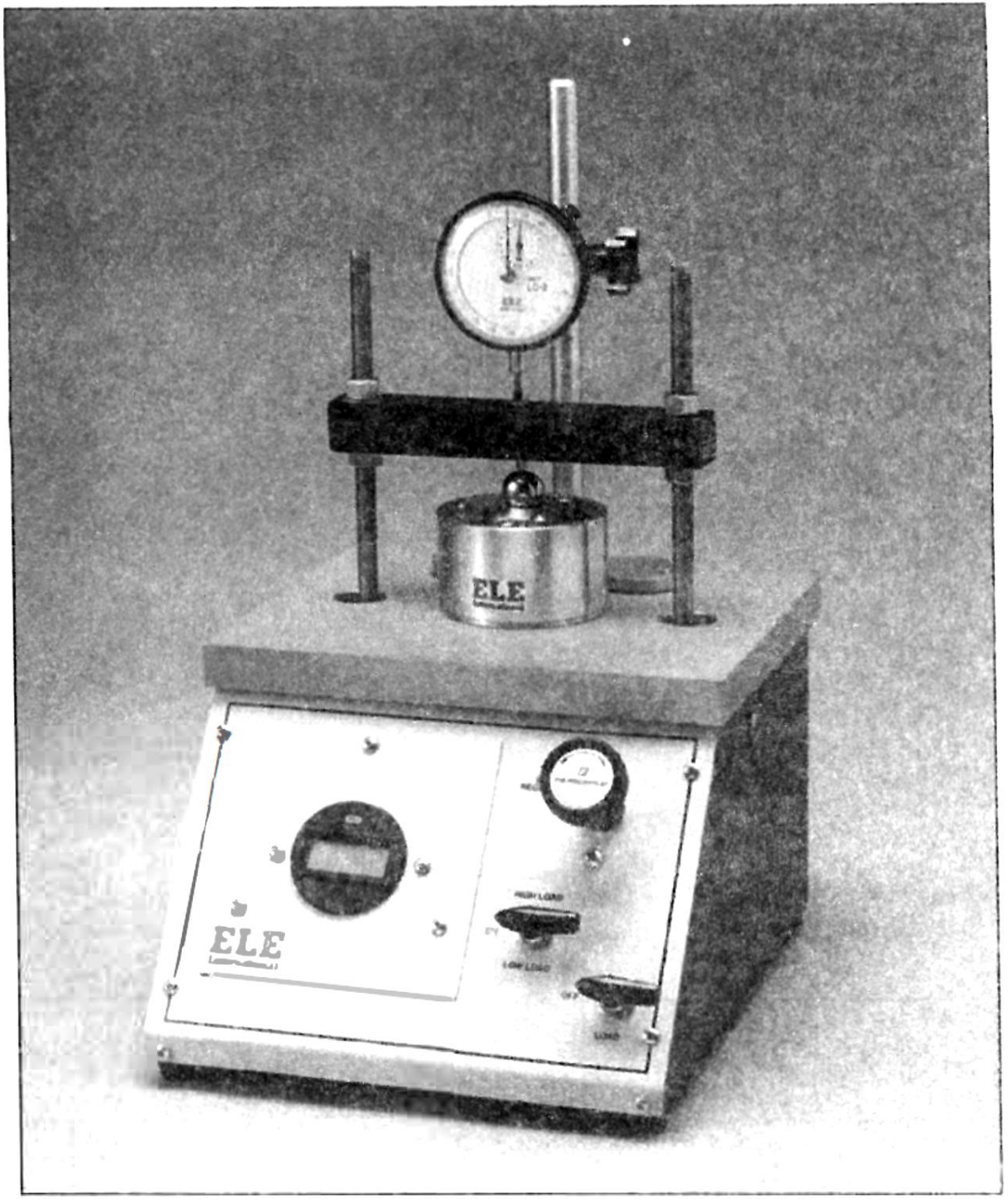
وسایل آزمایش [۹]

۱. دستگاه بارگذاری: مطابق شکل ۱۲-۶، دستگاهی با یک سِری وزنه‌های مناسب برای وارد کردن بار عمودی روی نمونه است. این وزنه‌ها باید بار موردنظر را به‌مدت طولانی با خطای کمتر از ۵±٪ ثابت نگه دارند. هر افزایش بار باید در فاصلهٔ زمانی ۲s و بدون وارد کردن ضربه اِعمال شود.

۲. دستگاه تحکیم که شامل قسمت‌های زیر است:

۲ـ۱. بدنهٔ دستگاه تحکیم: ظرف استوانه‌ای است که در داخل آن حلقهٔ فلزی جای داده می‌شود (شکل ۱۲-۷). به جدار ظرف استوانه‌ای دو نیروسنج برای مشاهدهٔ سطح آب نصب و حدفاصل حلقهٔ فلزی و جدار ظرف استوانه‌ای آب ریخته می‌شود. درنتیجه نمونه در طول آزمایش همیشه در داخل آب غوطه‌وراست و به حالت اشباع باقی می‌ماند.

۲ـ۲. حلقهٔ فلزی: از برنج یا فلز زنگ‌نزن دیگری ساخته می‌شود و نمونه را دربرمی‌گیرد. این حلقه باید شرایط زیر را داشته باشد:


ELE
ELE

اجزای مختلف سلول تحکیم.

الف) متناسب با حداقل قطر نمونه باشد. حداقل قطر نمونه ۲in (۵cm) است.

ب) متناسب با حداقل ضخامت نمونه باشد. حداقل ضخامت نمونه ۰٫۵in (۱۳mm) است. باید توجه داشت که این حداقل ضخامت نباید از ۱۰ برابر قطر دشت‌ترین دانهٔ موجود در خاک کمتر باشد.

ج) متناسب با حداقل نسبت قطر به ضخامت نمونه باشد (حدود ۲٫۵).

د) سختی و استحکام حلقه در بیشترین فشار هیدرواستاتیک وارد بر نمونه باید طوری باشد که افزایش قطر آن از ۳٪ تجاوز نکند. حلقهٔ فلزی‌باید از فلز ضدزنگ ساخته شده، دربرابر مواد موجود در خاک نیز مقاوم باشد. سطح داخلی حلقه‌باید کاملاً صیقلی باشد یا از ماده‌ای با حداقل قابلیت اصطکاک پوشانده شده باشد. گریس‌سیلیکون یا پلی‌تترافلورتیلن برای خاک‌های غیرماسه‌ای پیشنهاد می‌شود.

۲ـ۳. سنگ‌های متخلخل: در بالا و پایین نمونه قرار می‌گیرند

۲ـ۴. صفحهٔ بارگذاری: صفحهٔ فلزی ضدزنگی با قطر مساوی سنگ متخلخل بالایی است. بار وارده ازطریق یک گلولهٔ فلزی به صفحهٔ سربارو به نمونه وارد می‌شود و درنتیجه موجب سالم ماندن سنگ متخلخل بالایی می‌گردد.

۲ـ۵. گِیجِ اندازه‌گیری تغییر ضخامت نمونه با دقت ۰٫۰۰۲۵mm

۳. وسیلهٔ آماده‌سازی نمونه: استوانه‌ای است با لبهٔ تیز که می‌توان به‌وسیلهٔ آن نمونهٔ اولیه را که قطر آن بیشتر از قطر داخلی حلقه است به‌راحتی و با کمترین دست‌خوردگی برید و به اندازهٔ قطر داخلی حلقه درآورد و سپس به داخل آن منتقل کرد. سطح داخلی این استوانه باید کاملاً صیقلی و با ماده‌ای با حداقل ضریب اصطکاک پوشانده شود.

۴. جک برای بیرون آوردن نمونه از قالب

۵. سایر وسایل: شامل ترازو با حساسیت ۰٫۱gr، گرمخانه با کنترل درجه حرارت، ارهٔ سیمی، کارد و کاردک، قوطی‌های تعیین رطوبت و کرونومتر.

تعیین خواص فیزیکی خاک

قبل از انجام آزمایش، وزن، ابعاد نمونه و درصد رطوبت نمونه تعیین می‌شود. از این داده‌ها مقدار نسبت منافذ اولیه e_0، سطح مقطع نمونه A و ارتفاع اولیهٔ آن H_i محاسبه می‌گردد.

آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود اتربرگ، قبل و بعد از آزمایش تحکیم برای شناسایی خاک و رفتار آن انجام می‌گیرد. G_s خاک نیز محاسبه می‌شود.

روش انجام آزمایش (ASTM D 2435)

۱. دستگاه تحکیم باید طوری سوار شود که نمونه خواص خود را در حین تحکیم از دست ندهد. صفحات متخلخل و صافی‌ها برای خاک‌های منبسط‌شونده و سایر خاک‌ها باید خشک باشند. برای خاک‌های اشباع از صفحهٔ مرطوب استفاده می‌شود.

نمونه را درون حلقه قرار می‌دهیم و صفحات متخلخل و صافی‌ها و نمونه را در دستگاه سوار می‌کنیم. باید دقت کرد که بین حلقه و بدنهٔ دستگاه تحکیم، آب‌بندی کامل با واشر لاستیکی انجام گردد تا در طول آزمایش بتوان نمونه را اشباع نگه داشت. صفحهٔ سربار را روی سنگ متخلخل بالایی می‌گذاریم و مخزن اطراف نمونه را از آب پُر می‌کنیم. حال دستگاه آمادهٔ بارگذاری است.

۲. دستگاه تحکیم را در دستگاه بارگذاری می‌گذاریم و باری به میزان ۵kPa بر آن وارد می‌کنیم. به‌محض وارد شدن این بار، تغییرمکان را می‌خوانیم و مقدار قرائت اولیه d_0 را ثبت می‌کنیم. درصورت نیاز برای جلوگیری از تورم نمونه باید بار بیشتری اِعمال کرد و اگر پیش‌بینی شود که بار ۵kPa تحکیم بیش از اندازه را به‌همراه خواهد داشت (برای خاک‌های خیلی نرم)، باید بار را تا ۲kPa یا ۳kPa یا کمتر کاهش داد.

۳. اگر نمونه، دست‌نخوردهٔ اشباع باشد یا عمق برداشت نمونه زیر تراز آب زیرزمینی باشد، بعد ازاِ عمال بار نشیمن (همان ۵kPa) به‌آرامی نمونه را غرقاب می‌کنیم و با افزایش فشار وارد بر نمونه جلوی تورم را می‌گیریم. بار لازم برای جلوگیری از تورم و همچنین تغییرمکان ایجادشده را ثبت می‌کنیم.

۴. افزایش فشار باید مطابق قسمت (۵) باشد. اگر شیب و شکل منحنی تراکم یا تعیین فشار پیش‌تحکیمی لازم باشد، فشار نهایی باید تا ۴ برابر بیشتر از فشار پیش‌تحکیمی باشد. برای تعیین پارامترهای بارگذاری مجدد در خاک‌های رُسی لازم است یک باربرداری و بارگذاری مجدد در طول آزمایش انجام شود. بهتر است باربرداری تا دو دوره کاهش بارگذاری انجام گردد.

۴ـ۱. همان‌طورکه گفته شد، لازم است $\frac{\Delta p}{p}$ برابر واحد باشد (۱۲kPa, ۲۵, ۵۰, ۱۰۰, ۲۰۰ و...).

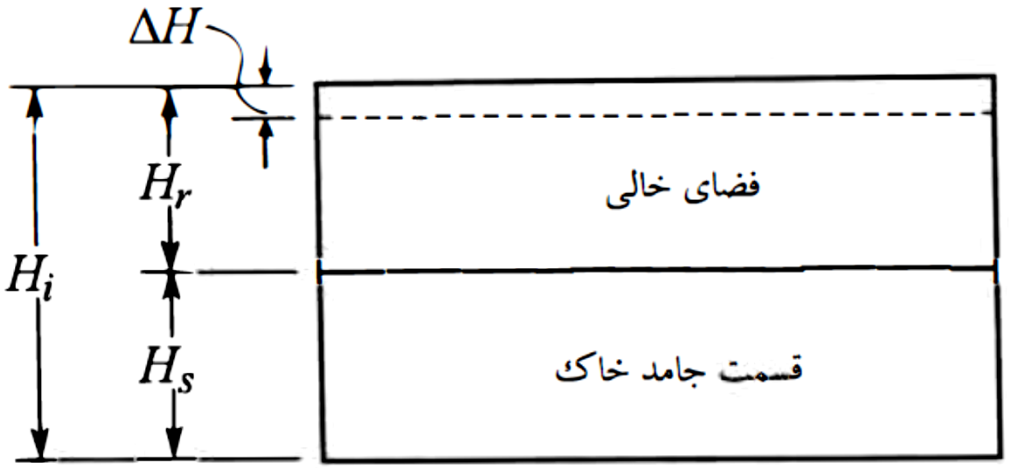
۴ـ۲. درمورد باربرداری نیز باید مورد قبل در جهت معکوس رعایت شود. برای نمونه‌های خیلی نرم یا وقتی هدف به‌دست آوردن فشارپیش‌تحکیمی با دقت بیشتر است، می‌توان افزایش بارگذاری‌ها راکمترکرد [۹].

محاسبات

محاسبات برمبنای شکل ۱۲-۹ انجام می‌شود. حجم کل نمونه که برای مجموع حجم مواد جامد و آب است از حاصل‌ضرب ارتفاع H_i در سطح مقطع نمونه A به‌دست می‌آید

$$A \cdot H_i = V_t = V_s + V_\omega$$

حجم آب در انتهای آزمایش که $V_{\omega f}$ نام‌گذاری می‌شود، از آزمایش درصد رطوبت در انتهای آزمایش به‌دست می‌آید. در این حالت، درصد اشباع ۱۰۰٪ است.



$$e_o = \frac{H_e}{H_s} - \frac{H_i}{H_s}$$

$$\Delta e = \Delta H / H_s$$

$$e = e_o - \Delta e$$

$$H_f = H_i - \Delta H$$

$$V_f = H_f A = H_s A + V_{\omega f}$$

بنابراین ارتفاع معادل خاک عبارت است از:

$$H_s = H_f - \frac{V_{\omega f}}{A}$$

در روابط فوق، A مساحت حلقهٔ فلزی است.

ارتفاع منافذ عبارت خواهد بود از:

$$H_v = H_i - H_S$$

بنابراین نسبت منافذ اولیه عبارت است از:

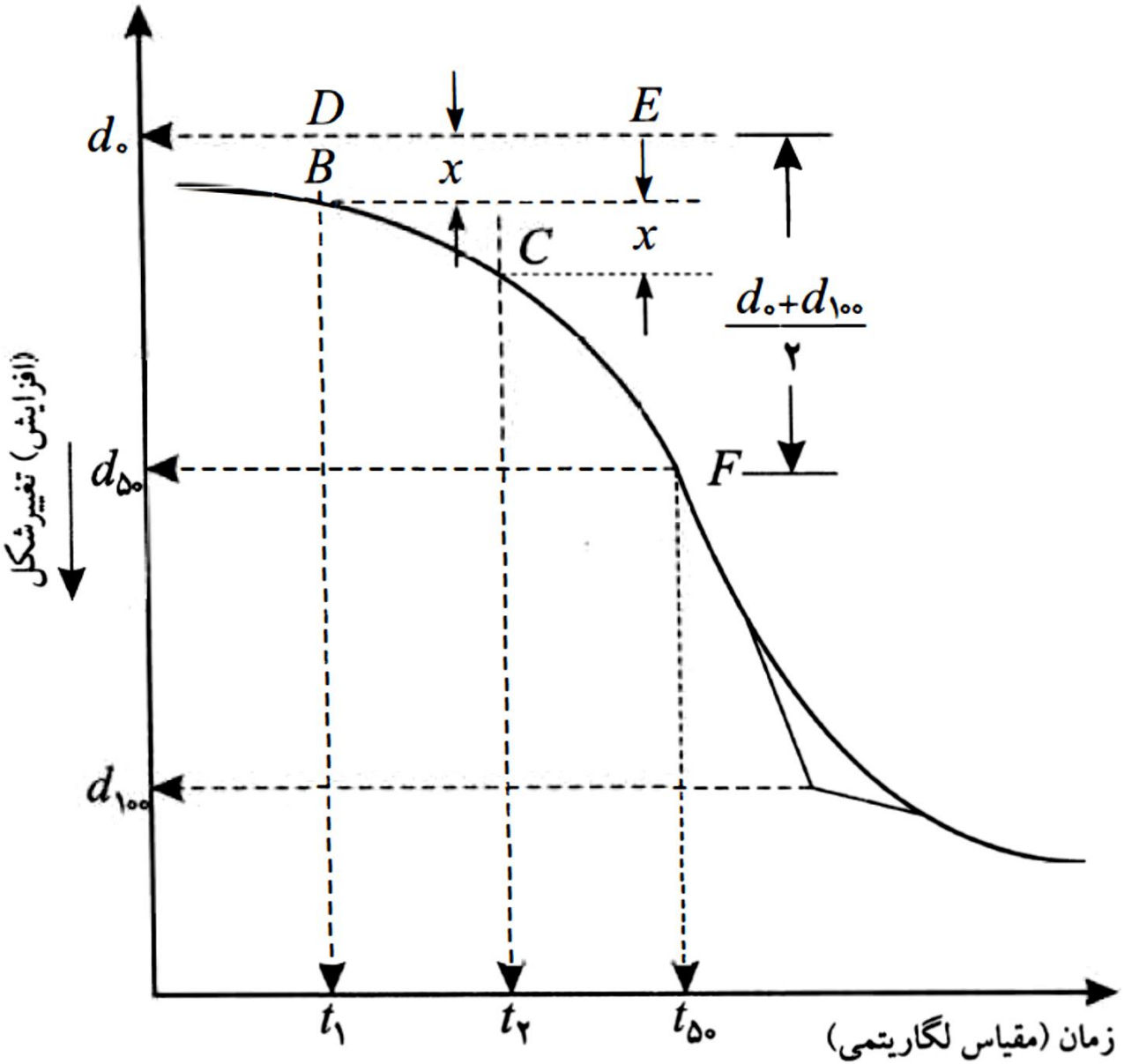
$$e_i = \frac{H_v}{H_s}$$

برای محاسبهٔ زمان تحکیم و مقدار تحکیم (نشست خاک‌ها)، با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها، منحنی نشست نسبت‌به لگاریتم زمان رسم می‌شود. ازروی این منحنی مقدار ۱۰۰٪ تحکیم اولیهٔ نمونه را در هر فشار به‌دست آورید. محل برخورد مماس‌های قسمت با شیب زیاد و شیب کم در انتهای آزمایش را انتهای تحکیم اولیه می‌گویند. زمان مربوط به این نقطه را زمان صددرصد تحکیم یا $t_{۱۰۰}$ می‌نامند.

برای یافتن قرائت گِیج در صفر درصد تحکیم اولیه (یعنی زمانی که هنوز تغییر ضخامت نمونه شروع نشده است)، از دو زمان انتخابی که معمولاً در ابتدای قسمت سهمی‌شکل منحنی‌اند و نسبت آن‌ها بین ۱ به ۴ است، استفاده می‌شود [۹] (شکل ۱۲-۱۰). به اندازهٔ فاصلهٔ بین دو زمان روی محور قرائت گِیج از $t_{۱}$ به‌طرف بالا جدا کنید و از آن محور تغییرمکان عمود کنید. در محل تقاطع این عمود با محور می‌توان رابطهٔ زیر را برای تغییرمکان در حالت تحکیم اولیه نوشت:

$$\Delta H_v = d_{۱۰۰} - d_{۰}$$

برای یافتن ۵۰٪ تحکیم در هر افزایش بار روی منحنی شکل ۱۲-۱۰، میانگین صفر درصد تحکیم $d_{۰}$ و ۱۰۰٪ تحکیم $d_{۱۰۰}$ را محاسبه و روی نمودار محل آن را پیدا کنید، سپس زمان ۵۰٪ تحکیم یعنی $t_{۵۰}$ را نیز به‌دست آورید.


d_0
D
E
B
x
C
x
$\frac{d_0+d_{100}}{2}$
F
d_{50}
d_{100}
(افزایش) تغییرشکل
t_1
t_2
t_{50}
زمان (مقیاس لگاریتمی)

گزارش کار

در گزارش کار لازم است موارد زیر ارائه شود:

۱. خصوصیات فیزیکی خاک قبل و بعد از آزمایش تعیین شود.

۲. منحنی $e - \log p$ رسم و از آن C_c، C_s و C_r و فشار پیش‌تحکیمی محاسبه شود.

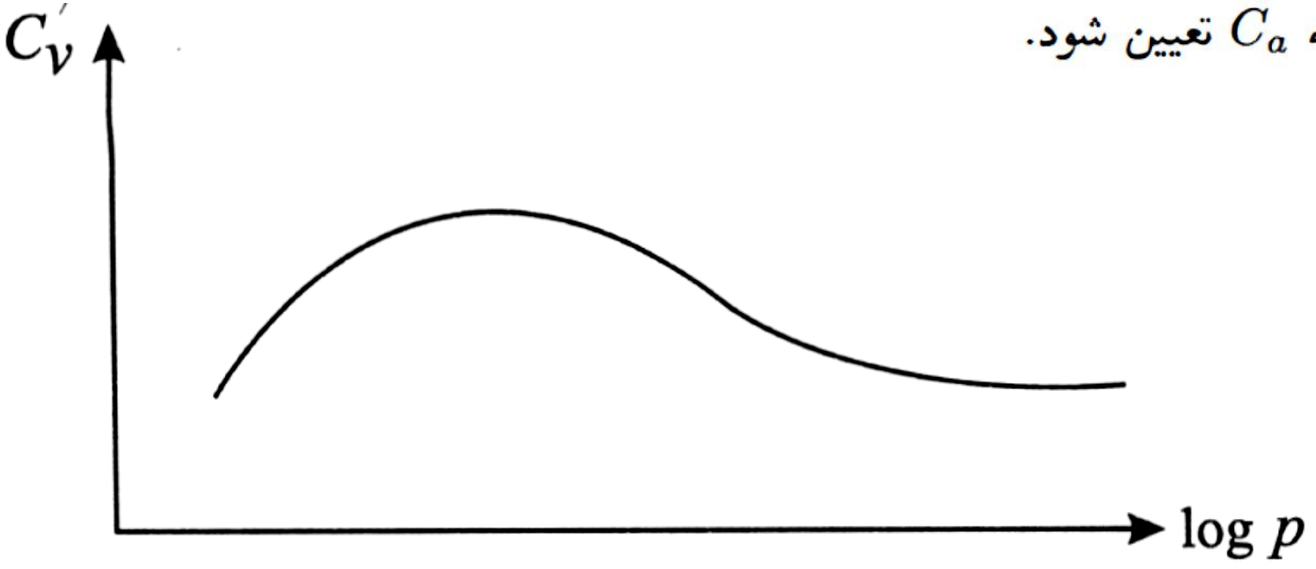
۳. منحنی $\log t$ – نشست و $\sqrt{t}$ – نشست رسم شود.

۴. C_v به روش $\log t$ و $\sqrt{t}$ تعیین شود.

۵. منحنی $e - p$ رسم شود و a_v، m_v و k تعیین شوند.

۶. منحنی‌های $C_v - \log p$، $k - \log p$ از هر دو روش $\log t$ و $\sqrt{t}$ رسم شود.

۷. ضریب تحکیم ثانویه C_a تعیین شود.



مثال
آزمایش تحکیم

پروژه: شماره:

مکان: شمارهٔ گمانه : شمارهٔ نمونه:

نوع خاک: رس آبی با ماسهٔ نرم $(w_L = ۳۵/۷, w_P = ۱۹)$ عمق نمونه:

آزمایش‌کننده: تاریخ آزمایش:

نوع دستگاه: تحکیم با حلقهٔ شناور شمارهٔ حلقه: ضریب بار دستگاه:

ابعاد حلقه: قطر: ۶۲/۱۴mm مساحت: $۳۰/۳۳\text{cm}^۲$ ارتفاع: ۲۴mm

ارتفاع اولیهٔ خاک H_i: ۲۰mm چگالی خاک خشک (G_s):

وزن حلقه و نمونه در شروع آزمایش: ۲۹۲/۰۲gr

وزن حلقه: ۱۶۴/۹gr

وزن نمونهٔ خاک مرطوب: ۱۲۷/۱۲gr

وزن نمونهٔ خشک (W_s): ۹۹/۷gr

ارتفاع قسمت جامد (H_s):

$$H_s = \frac{[۲(۳۰٫۳۳) - (۰٫۳۶۴ \times ۳۰٫۳۳ + ۱۶٫۷۵)]}{۳۰٫۳۳} = ۱٫۰۸۴\text{cm}$$

ارتفاع اولیهٔ منافذ (H_v):

$$H_v = H_i - H_s = ۲ - ۱٫۰۸۴ = ۰٫۹۱۶\text{cm}$$

درجهٔ اشباع اولیه (S_i):

$$S_i = \frac{(w_t - w_s)}{H_v A} = \frac{۱۲۷٫۱۲ - ۹۹٫۷}{۰٫۹۱۶ \times ۳۰٫۳۳} = ۰٫۹۸۷$$

نسبت منافذ اولیه (e_i):

$$e_i = \frac{H_v}{H_s} = \frac{۰٫۹۱۶}{۱٫۰۸۴} = ۰٫۸۴۵$$

اطلاعات بعد از آزمایش

قرائت اولیه: صفر

قرائت نهایی: $۳۶۴ \times ۰/۰۱ = ۳/۶۴\text{cm}$

تغییر در ارتفاع نمونه: $۰/۳۶۴\text{cm}$

ارتفاع نهایی حفره‌ها (H_{ev}):

درصد رطوبت نهایی (ω_f):

نسبت منافذ نهایی e_f $\quad e_f = \dfrac{H_{vf}}{H_s = ۰/۵۰۹}$

وزن حلقه و نمونهٔ مرطوب: $۲۸۱/۳۵\text{gr}$

وزن حلقه و نمونهٔ خشک: $۲۶۴/۶ + ۱۶۴/۹$

وزن نمونهٔ خشک: $۹۹/۷\text{gr}$

$$H_{ev} = \frac{۱۶/۷۵}{۳۰/۳۳} = ۰/۵۵۲\text{cm}$$

$$\frac{۱۶/۷۵}{۹۹/۷} \times ۱۰ = ۱۶/۸$$

درجهٔ اشباع S: ٪ ۱۰۰ (فرض‌شده)

آزمایش تحکیم (اطلاعات تراکم–زمان)

پروژه: شماره:

مکان: شمارهٔ گمانه: شمارهٔ نمونه:

نوع خاک: رس آبی با کمی ماسهٔ نرم عمق نمونه:

آزمایش‌کننده: تاریخ آزمایش:

جدول ۱۲-۲

بار: ۱۰۰kPa			بار: ۲۰۰kPa		
قرائت گِیج $\times 10^{-2}$mm	طول آزمایش (دقیقه)	زمان	قرائت گِیج $\times 10^{-2}$mm	طول آزمایش (دقیقه)	زمان
۵۹	۰	۸:۲۷	۹۸	۰	۸:۰۴
۶۶	۰٫۱		۱۰۹٫۵	۰٫۱	
۶۷٫۵	۰٫۲۵		۱۱۲	۰٫۲۵	
۶۹٫۵	۰٫۵		۱۱۳٫۵	۰٫۵	
۷۰	۱		۱۱۶	۱	
۷۲	۲		۱۱۷٫۵	۲	
۷۳	۴		۱۲۰	۴	
۷۵	۸		۱۲۳٫۵	۸	
۷۸	۱۵		۱۲۷	۱۵	
۸۰	۳۰		۱۳۲٫۵	۳۰	
۸۳٫۵	۶۰		۱۳۸	۶۰	
۸۸٫۵	۱۲۰	۱۰:۲۷	۱۴۳٫۵	۱۲۰	۱۰:۰۴
۹۴	۲۵۶	۱۲:۴۳	۱۴۸	۲۵۶	۱۲:۰۰
۹۷	۴۲۰	۳:۲۷	۱۵۱	۵۷۹	:۴۳
۹۸	۱۴۱۷	۸:۰۴	۱۵۲	۱۴۱۰	۷:۳۴

محاسبهٔ نمونه

از خط ۲ جدول صفحهٔ بعد (بار = ۲۵kPa)

قرائت اولیه = ۰

قرائت نهایی = ۰٫۰۳۲cm

$$\Delta H = ۰٫۰۳۲\text{cm}$$

$$\Delta e = \frac{H}{H_s} = \frac{۰٫۰۳۲}{۱٫۰۸۴} = ۰٫۰۲۹۶ \approx ۰٫۰۳$$

$$e = e_i - \Delta e = ۰٫۸۴۵ - ۰٫۰۳ = ۰٫۸۱۵$$

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_i} = \frac{۰٫۰۳۲}{۲} = ۱٫۶ \times ۱۰^{-۲}$$

$$\text{ارتفاع متوسط} = H_i - \frac{(\Delta H_{i-۱} + \Delta H_i)}{۲}$$

$$= ۲ - \frac{۰ + ۰٫۰۳۲}{۲} = ۱٫۹۸۴\text{cm}$$

$$C_v = \frac{۰٫۱۹۷H^۲}{t_{۵۰}} = \frac{۰٫۱۹۵(\frac{۱٫۹۸۴}{۲})^۲}{۱۰}$$

$$= ۰/۰۱۹۴\text{cm}^۲/\text{min}$$

(دو طرف زهکشی‌شده)

از خط ۴ (بار = ۱۰۰kPa)

قرائت اولیه = ۰٫۰۵۹

قرائت نهایی = ۰٫۰۹۸cm

$$\Delta H = ۰٫۰۹۸\text{cm}$$

$$\Delta e = \frac{۰٫۰۹۸}{۱٫۰۸۴} = ۰٫۰۹$$

$$e = ۰٫۸۴۵ - ۰٫۰۹ = ۰٫۷۵۵$$

$$\epsilon = \frac{۰٫۰۹۸}{۲} = ۴٫۹ \times ۱۰^{-۲}$$

$$\text{ارتفاع متوسط} = ۲ - \frac{۰٫۰۵۹ + ۰٫۰۹۸}{۲}$$

$$= ۱٫۹۲۲\text{cm}$$

$$C_v = \frac{۰٫۱۹۷(\frac{۱٫۹۲۲}{۲})^۲}{۳۳}$$

$$= ۰٫۰۰۵۵\text{cm}^۲/\text{min}$$

آزمایش تحکیم (محاسبات C_v, e)

پروژه: شماره:

مکان: شمارهٔ گمانه: شمارهٔ نمونه:

نوع خاک: رس آبی با کمی ماسهٔ نرم عمق نمونه:

آزمایش‌کننده: تاریخ آزمایش:

اطلاعات نمونه

حجم اولیه (V_i): ۶۰٫۶۶cm^3 وزن خشک خاک (W_s): ۹۹٫۷gr

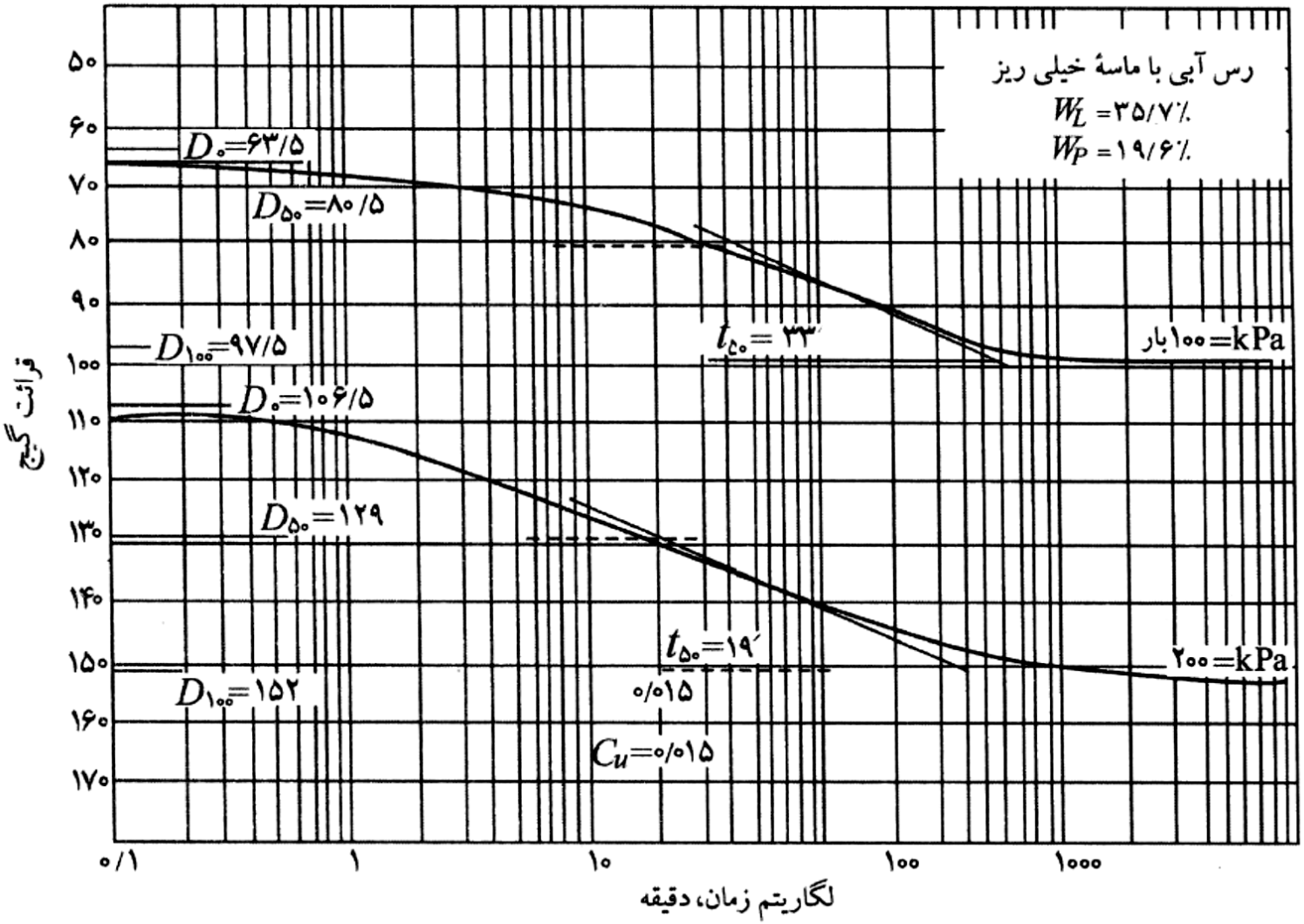
وزن مخصوص خاک خشک (G_s): ۳٫۰۳ ارتفاع قسمت جامد (H_s): ۱٫۰۸۴cm

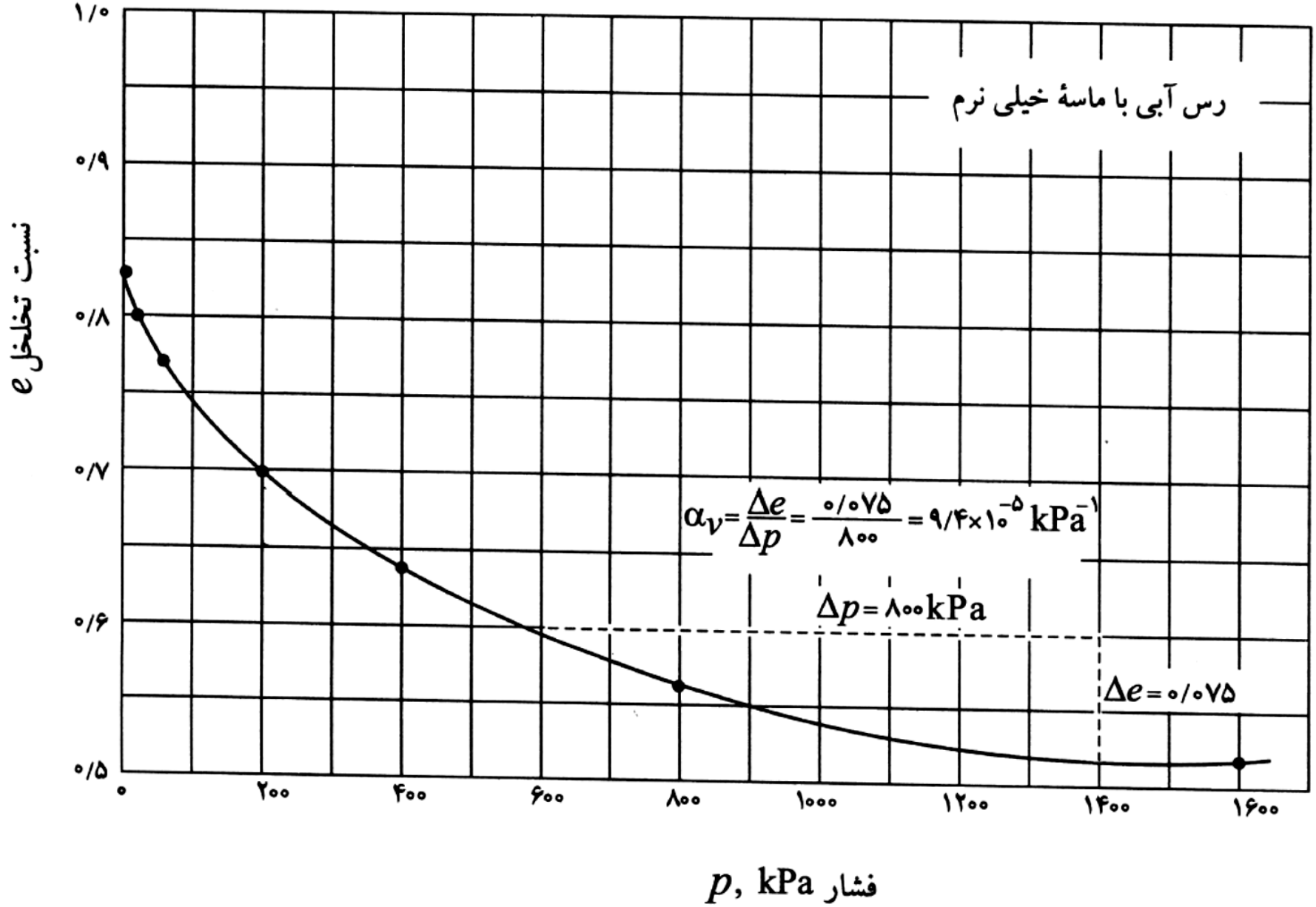
ارتفاع اولیهٔ حفره (H_v): ۰/۹۱۶ نسبت منافذ اولیه (e_i): ۰٫۸۴۵

جدول ۱۲-۳

افزایش بار (kPa)	قرائت گِیج در انتهای بارگذاری	تغییرات ارتفاع نمونه (cm)	$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_i}$ $e = \frac{\Delta H}{H_s}$	e	ارتفاع متوسط در هر بارگذاری (cm)	H_d (cm)	t_{50} (min)	C_v ($\frac{cm^2}{min}$)
۰	۰	۰		۰٫۸۴۵	-	-	-	-
۲۵	۳۲	۰٫۰۳۲	$۱٫۵_{(۰٫۰۳)}$	۰٫۸۱۵	۱٫۹۸۴	۰٫۹۹۲	۱۰	۰٫۰۱۹۴
۵۰	۵۹	۰٫۰۵۹	$۳_{(۰٫۰۵۴)}$	۰٫۷۹۱	۱٫۹۵۴	۰٫۹۷۷	۲۲	۰٫۰۰۸۹
۱۰۰	۹۸	۰٫۰۹۸	$۴٫۹_{(۰٫۰۹)}$	۰٫۷۵۵	۱٫۹۲۲	۰٫۹۶۱	۳۳	۰٫۰۰۵۵
۲۰۰	۱۵۲	۰٫۱۵۲	$۷٫۶_{(۰٫۱۴)}$	۰٫۷۰۵	۱٫۸۷۵	۰٫۹۳۸	۱۹	۰٫۰۰۹۱
۴۰۰	۲۲۳	۰٫۲۲۳	$۱۱٫۲_{(۲٫۰۶)}$	۰٫۶۳۹	۱٫۸۱۲	۰٫۹۰۶	۱۵	۰٫۰۱۰۸
۸۰۰	۲۹۶	۰٫۲۹۶	$۱۴٫۸_{(۰٫۲۹۳)}$	۰٫۵۹۲	۱٫۹۴۱	۰٫۸۷۱	۱۴	۰٫۰۱۰۷
۱۶۰۰	۳۶۴	۰٫۳۶۴	$۱۸٫۲_{(۰٫۳۳۵)}$	۰٫۵۱	۱٫۶۷۰	۰٫۸۸۵	۷٫۴	۰٫۰۱۸۶
		۴×۱۰^{-۲}						

$H_d = \frac{H}{۲}$ است، چون از $T = ۰٫۱۹۷$ برای زهکشی از دو طرف استفاده شده است.


رس آبی با ماسهٔ خیلی ریز
W_L =۳۵/۷٪
W_P =۱۹/۶٪
D_0=۶۳/۵
D_{50}=۸۰/۵
D_{100}=۹۷/۵
t_{50}= ۳۳′
۱۰۰=kPa بار
D_0=۱۰۶/۵
D_{50}=۱۲۹
t_{50}=۱۹′
۲۰۰=kPa
D_{100}=۱۵۲
۰/۰۱۵
C_u=۰/۰۱۵
۵۰
۶۰
۷۰
۸۰
۹۰
۱۰۰
۱۱۰
۱۲۰
۱۳۰
۱۴۰
۱۵۰
۱۶۰
۱۷۰
۰/۱
۱
۱۰
۱۰۰
۱۰۰۰
قرائت گیج
لگاریتم زمان، دقیقه


رس آبی با ماسهٔ خیلی نرم
$\alpha_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{۰/۰۷۵}{۸۰۰} = ۹/۴ \times ۱۰^{-۵}\ \text{kPa}^{-۱}$
$\Delta p = ۸۰۰\ \text{kPa}$
$\Delta e = ۰/۰۷۵$
نسبت تخلخل e
۱/۰
۰/۹
۰/۸
۰/۷
۰/۶
۰/۵
۰
۲۰۰
۴۰۰
۶۰۰
۸۰۰
۱۰۰۰
۱۲۰۰
۱۴۰۰
۱۶۰۰
فشار p, kPa