دانشگاه سمنان

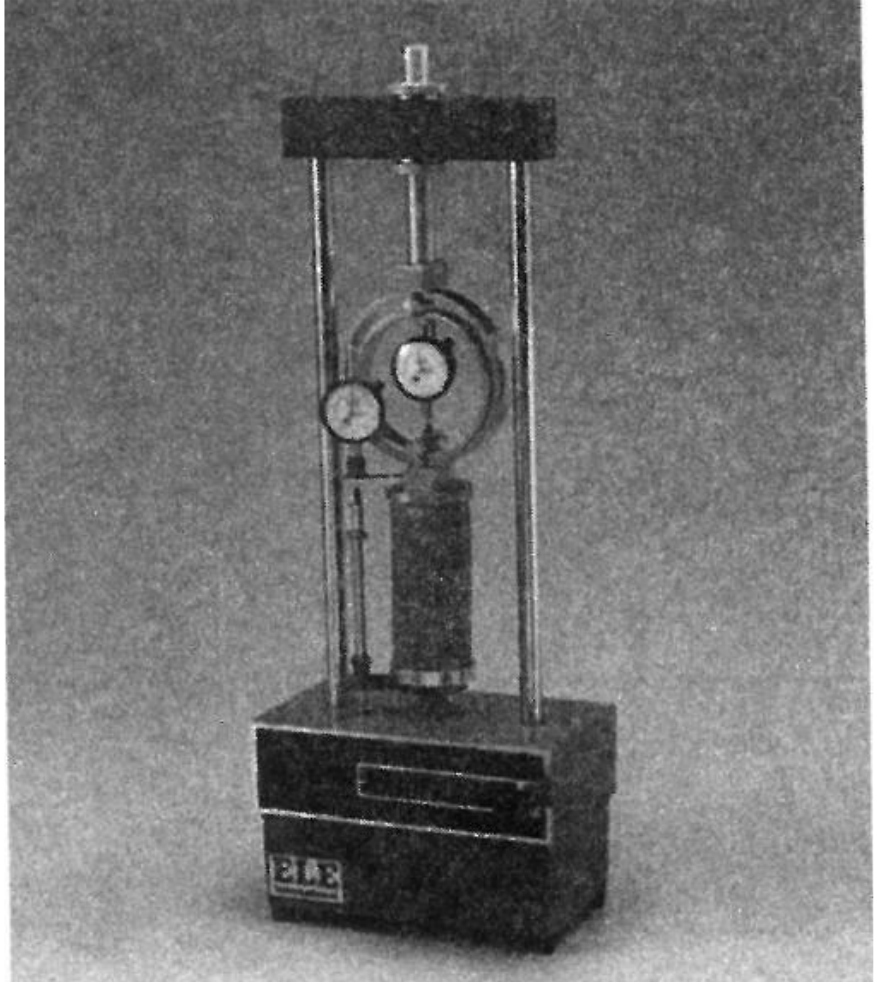
آزمایش فشاری ساده

(تک‌محوری، محصورنشده)

(Unconfined Compression)

AASHTO T 208-90

ASTM D 2166-87



هدف از این آزمایش، اندازه‌گیری تقریبی مقاومت برشی تک‌محوری یک خاک چسبنده است.

برای تعیین مقاومت برشی خاک‌های چسبنده معمولاً از این آزمایش استفاده می‌شود. این آزمایش سریع‌ترین و ساده‌ترین روش برای تعیین مقاومت برشی است و در تعیین مقاومت درجای خاک نیز از آن استفاده می‌شود. این آزمایش را می‌توان آزمایش سه‌محوری UU با فشار همه‌جانبهٔ برابر صفر نامید.

مقاومت برشی خاک‌های چسبنده از دو نوع مقاومت اصطکاکی و مقاومت چسبندگی ناشی می‌شود. مقاومت اصطکاکی تابع نیروهای وزنی است که بیشتر در خاک‌های دانه‌ای به چشم می‌خورد و مقاومت چسبندگی تابع نیروهای سطحی است. البته رفتار دقیق نیروهای سطحی که باعث چسبندگی می‌شود هنوز ناشناخته است. باید توجه داشت که چسبندگی خاک یک پارامتر ثابت نیست، بلکه تابعی از بار منتقل‌شده توسط سازهٔ خاک است، همچنین بستگی به بارهای بین‌دانه‌ای و چگونگی انجام آزمایش دارد. در حالتی که هیچ بار جانبی‌ای بر نمونه وارد نشود، چسبندگی به‌عنوان مقاومت برشی خاک مطرح می‌گردد.

گفتنی است که نمونهٔ خاک رس دست‌نخورده ابتدا که تحت برش قرار می‌گیرد، چسبندگی زیادی دارد، اما کمی بعد از آن خمیری و دست‌خورده می‌گردد و مقاومت آن کم می‌شود. این کاهش مقاومت به‌دلیل دست‌خوردگی در ساختار خاک، حساسیت (Sensitivity) نامیده می‌شود.

آزمایش فشار تک‌محوری نوع ویژه‌ای از آزمایش برش سه‌محوری است. آزمایش فشار تک‌محوری، تعیین مقاومت فشاری یک استوانهٔ خاک بدون هیچ بار جانبی است. این آزمایش مشابه آزمایش سه‌محوری تحکیم‌نیافتهٔ زهکشی‌نشده است و از آن می‌توان برای تعیین چسبندگی C_u در خاک‌های رُسی استفاده کرد:

$$C_u = \frac{q_u}{۲}$$

(q_u مقاومت فشار تک‌محوری است).

در نمونه‌های رُسی اشباع، مقاومت نهایی با افزایش درصد رطوبت خاک کاهش می‌یابد. در خاک‌های غیراشباع نیز درصورتی‌که وزن مخصوص خشک خاک ثابت بماند، این مقاومت با افزایش درجهٔ اشباع اندکی کاهش می‌یابد.

از نتایج مسیر تنش آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری می‌توان پارامترهای مدل‌های مختلف (ازجمله مدل موهر ـ کولمب) را یافت و بدین‌وسیله مقاومت مصالح را تحت مسیرهای تنش دیگر حدس زد، ضمن آن‌که این آزمایش به‌طور مستقیم در مواردی که مصالح تحت شرایط بارگذاری تک‌محوری واقع می‌شود، قابل‌استفاده است (معمولاً ستون‌های بتنی یا سنگی).

۱۳-۲ وسایل آزمایش

ابزارهای آزمایش عبارتند از:

۱. دستگاه انجام آزمایش مقاومت فشاری ساده (شکل ۱۳-۲).

۲. وسیلهٔ تمیزکردن نمونه با وسایل جانبی شامل سیم‌چین و چاقو.

۳. استوانهٔ نمونه و درپوش.

وسایل عمومی آزمایش عبارتند از :

۱. یک سطح صاف برای مالش نمونه.

۲. ترازو با حساسیت ۰٫۰۱gr و ۰٫۱gr.

۳. گرمخانه.

۴. خشک‌کن (desiccator).

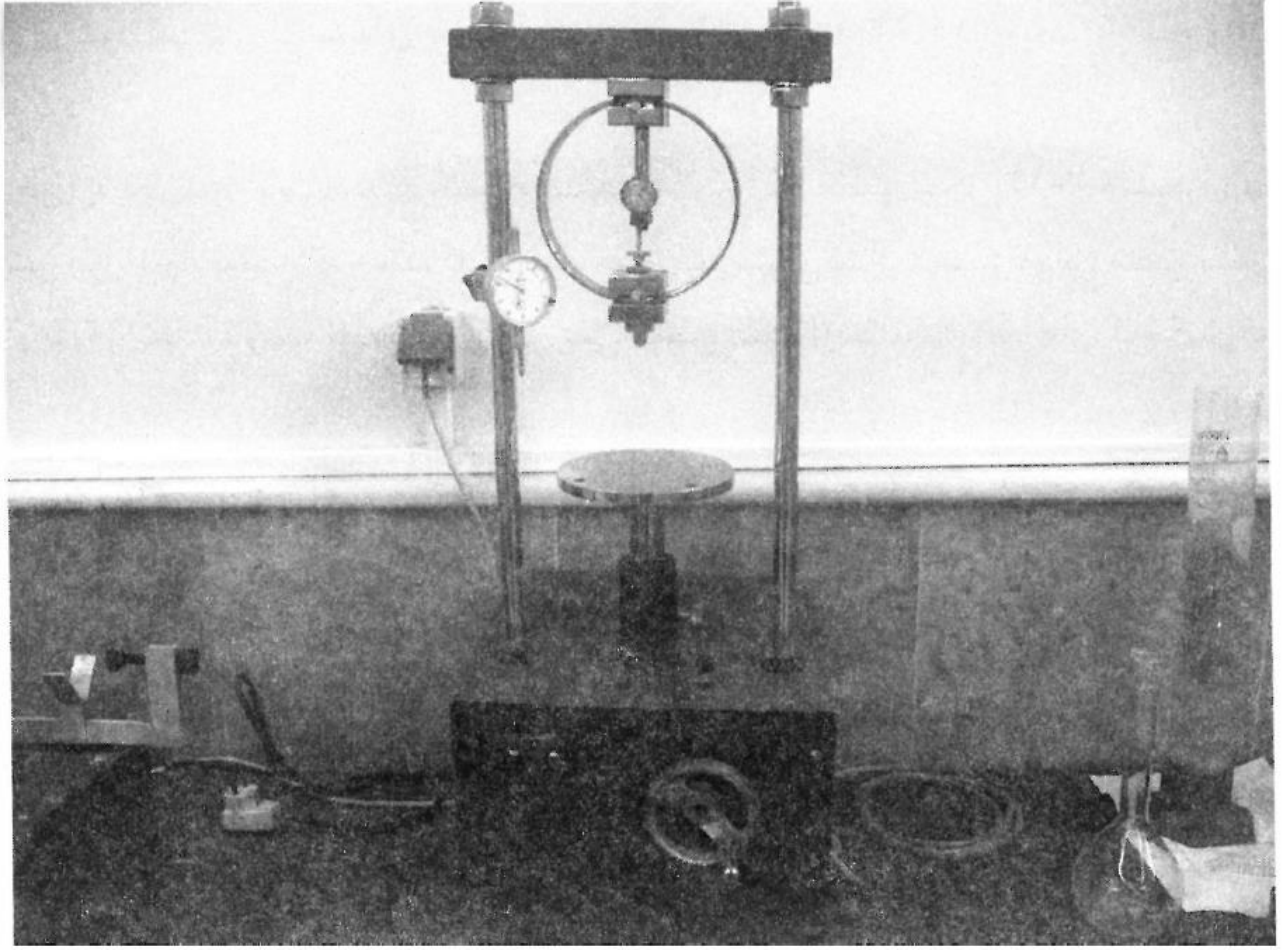
۵. کرنومتر.

۶. نقاله.

۷. ماله.

۸. ظرف تبخیر.

۹. کاغذ مومی یا شفاف (cellophane).



شکل ۱۳-۲ وسیلهٔ آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری با کرنش کنترل‌شده.

معمولاً از آزمایش کرنش کنترل‌شده به‌دلیل ساده‌تر بودن نسبت‌به آزمایش تنش کنترل‌شده استفاده می‌شود. کرنش معمولاً بین ۰٫۵ تا ۲ درصد در دقیقه است. آزمایش تنش کنترل‌شده نیازمند تغییرات تدریجی بارگذاری است، زیرا مقاومت حداکثر به‌دلیل قرارگرفتن بین دو تنش متوالی قابل اندازه‌گیری دقیق نیست و این موضوع، کاربرد آزمایش را مشکل می‌سازد.

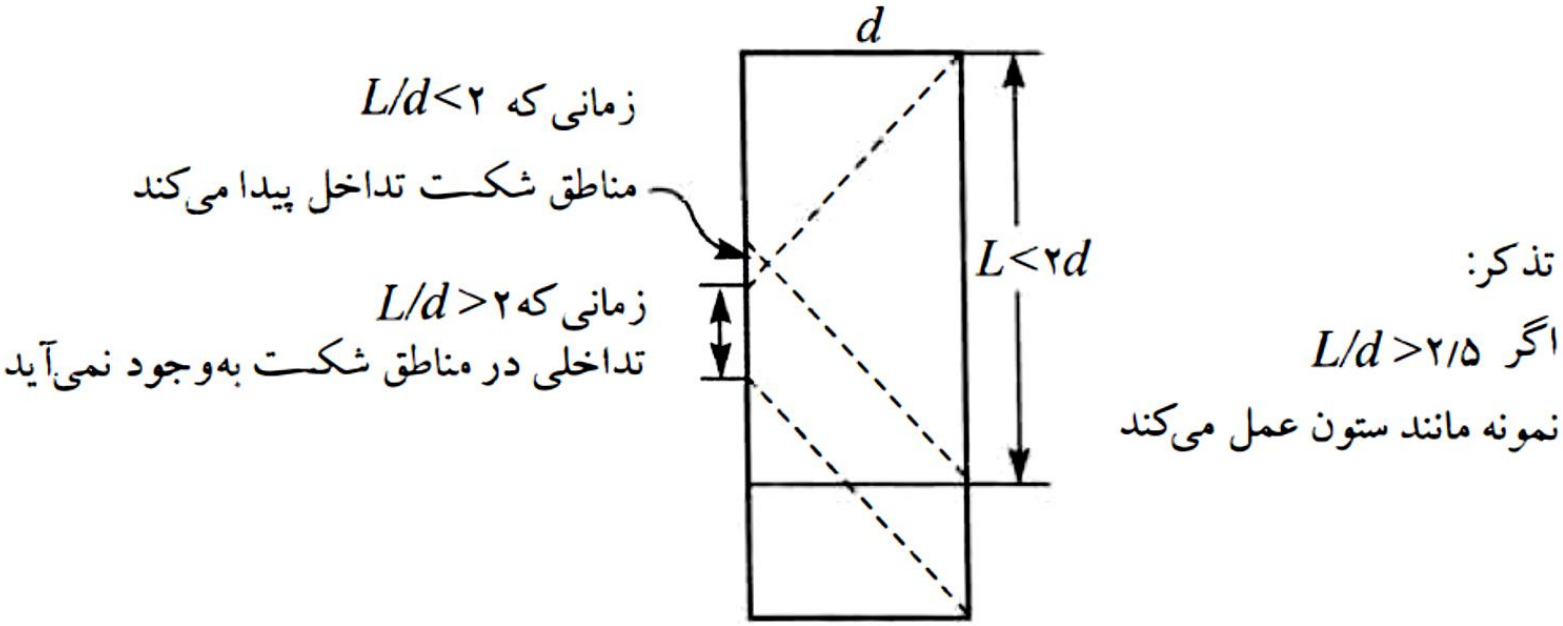
۳-۱۳ تهیهٔ نمونه

شرایط تهیهٔ نمونه باید منطبق بر واقعیت باشد، بدین مفهوم که درصورتی‌که شرایط واقعی اِعمال بار بر نمونهٔ دست‌نخورده موردنظر باشد (نظیر پی یک سازه)، باید حتی‌المقدور نمونهٔ دست‌نخورده به‌کار رود و درصورتی‌که نمونه‌ای از یک خاکریز تحت آزمایش است، باید نمونه‌ای دست‌خورده با همان شرایط رطوبت و تراکم تهیه و تحت آزمایش واقع شود. کاربرد این آزمایش بیشتر درمورد نمونه‌های دست‌نخورده است و محدود به خاک‌های CL-ML، MH، ML، CH و CL می‌شود.

تهیهٔ نمونهٔ دست‌نخورده

۱. **ابعاد نمونه:** حداقل قطر نمونه ۱٫۳ اینچ (۳٫۳cm) است و حداکثر قطر بزرگ‌ترین دانه باید ۰٫۱ قطر نمونه باشد. برای نمونه‌های با قطر ۲٫۸ اینچ (۷cm) یا بزرگ‌تر حداکثر قطر بزرگ‌ترین دانه باید کمتر از $\frac{۱}{۶}$ قطر نمونه باشد. اگر بعد از انجام آزمایش معلوم شود که قطر بعضی از ذرات بزرگ‌تر از اندازهٔ مجاز بوده، باید در گزارش آزمایش ذکر شود. همچنین نسبت طول به قطر نمونه باید بین ۲ تا ۲٫۵ باشد و با دقت ۰٫۰۱ اینچ اندازه‌گیری شود. می‌توان از نمونه‌ای به طول تقریبی ۴٫۵ اینچ (۱۱٫۴۳cm) و قطر ۲ اینچ (۵٫۰۸cm) استفاده کرد[۴].

نسبت طول به قطر نمونه باید به‌حدی باشد که صفحه با زاویهٔ ۴۵° مطابق شکل ۱۳-۳ همدیگر را قطع نکنند و همچنین طول نمونه نباید آن‌قدر باشد که نمونه از خود رفتار ستونی نشان دهد. برای این منظور نسبت $\frac{L}{d}$ باید بین ۲ و ۲٫۵ باشد. مقاومت قطعه‌های بزرگ رُسی ممکن است از مقاومت قطعه‌های کوچک‌تر کمتر باشد.



شکل ۱۳-۳ نسبت $\frac{L}{d}$ برای آزمایش فشاری تک‌محوری.

۲. با استفاده از دستگاه بیرون‌آورنده، نمونه را از لوله بیرون می‌آوریم، طوری‌که باعث فشردگی و دست‌خوردگی نمونه نشود. لولهٔ نمونه‌گیر را به قطعه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌کنیم تا خارج کردن نمونه آسان باشد و بدون دست‌خوردگی صورت پذیرد. همچنین می‌توان آن را از درازا شکافت و نمونه را خارج کرد.

۳. از زائده‌های برش حاصل سه نمونهٔ مشخص برای تعیین درصد رطوبت استفاده می‌شود (یکی نزدیک قسمت میانی و دو نمونهٔ دیگر از ابتدا و انتهای نمونه). نمونه‌های تراشیده‌شده باید در اتاق مرطوب یا جایی باشند که هیچ‌گونه تغییری در میزان رطوبت آن‌ها داده نشود. نمونه‌ها باید دارای مقطع عرضی مربع یا دایره باشند و انتهای آن‌ها بر محور تقارن عمود باشد. درصورتی‌که سنگریزه‌ها یا قلوه‌سنگ‌ها باعث ناهمواری در قاعدهٔ نمونه شوند،با ید با لایهٔ نازکی از پلاستر یا ماده‌ای مشابه، آن را صاف کرد. اگر نمونه مناسب باشد، می‌توان تمام آن را در ماشین تراش قرار داد تا نمونهٔ آزمایشگاهی با قطر و طول لازم تهیه شود. گاهی لازم می‌شود برای جلوگیری از خارج شدن رطوبت از خاک، بلافاصله نمونه را با غشای پلاستیکی، گریس یا انواع محافظ‌های دیگر پوشاند.

۱۳-۴ روش آزمایش

همانند سایر آزمایش‌های مقاومت برشی، در این‌جا نیز هر دو روش کرنش کنترل‌شده و تنش کنترل‌شده به‌کار می‌روند.[۵] در شکل ۱۳-۲ وسیلهٔ آزمایش فشاری تک‌محوری با کرنش کنترل‌شده نشان داده شده است. روش ارائه‌شده در این قسمت برای حالت کرنش کنترل‌شده است.

۱. نمونه را در جایگاه مخصوص خود در دستگاه آزمایش قرار می‌دهیم، به‌طوری‌که محور عمودی آن نزدیک مرکز بارگذاری در صفحهٔ بارگذاری باشد. اگر راستای نمونه بر صفحه‌های دستگاه عمود نباشد، خیلی زود منحنی تنش-کرنش به حالت افقی خود نزدیک می‌شود. برای تماس مطمئن‌تر می‌توان بار ۰٫۵kg بر نمونه وارد کرد. این بار اولیه در نمونه یک تغییرمکان اولیه ایجاد می‌کند که در ابتدای آزمایش باید تصحیح شود.

۲. گِیجِ اندازه‌گیری بار و تغییرمکان را روی صفر تنظیم می‌کنیم. سپس بارگذاری را با نرخ کرنش ۰٫۵ تا ۲ درصد در دقیقه اِعمال می‌کنیم.

۳. قرائت‌های بارگذاری را در کرنش‌های ۰، ۰٫۱، ۰٫۲، ۰٫۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد اندازه‌گیری می‌کنیم.

۴. فشار همچنان بر نمونه اِعمال می‌شود تا آن‌که ترک در نمونه ظاهر شود یا آن‌که منحنی تنش-کرنش از مقدار ماکزیمم خود عبور کند. درواقع قرائت‌ها تا جایی که یکی از سه حالت زیر اتفاق بیفتد، ادامه می‌یابد:

الف) بار در نمونه کاهش یابد.

ب) بار برای ۴ قرائت یکسان شود.

ج) تغییرمکان تا ۱۵ درصد (یا ۲۰ تا ۲۵ درصد) ادامه پیدا کرده باشد.

۵. نمونهٔ گسیخته‌شده را در اتاق مرطوب می‌بریم و زاویهٔ ترک را با افق اندازه می‌گیریم (باید توجه داشت که این زاویه بلافاصله پس از ایجاد ترک خوانده شود). نمونهٔ گسیخته‌شده را به‌دقت بررسی می‌کنیم. این مشاهده در تهیهٔ اطلاعات و ارائهٔ بهتر نتایج به ما کمک می‌کند. نمونه را وزن می‌کنیم و بعد از خشک کردن کامل در گرمخانه، درصد رطوبت آن را به‌دست می‌آوریم.

۵-۱۳ محاسبات

محاسبات را براساس کرنش و تنش‌های محوری انجام می‌دهیم و مقدار تنش نهایی (q_u) ازروی منحنی‌های تنش-کرنش به‌دست می‌آید.

کرنش محوری ϵ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_\circ}$$

ΔL: تغییر طول نمونهٔ خوانده‌شده ازکرنش‌سنج،

$L_\circ$: طول اولیهٔ نمونه.

تنش لحظه‌ای را می‌توان از رابطهٔ زیر به‌دست آورد:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

P: بار روی نمونه در لحظهٔ قرائت ΔL،

A: سطح مقطع نمونه در لحظهٔ قرائت P.

تعیین مقدار دقیق سطح مقطع در هر لحظه مهم است. سطح مقطع در هر لحظه را می‌توان با ثابت درنظر گرفتن حجم نمونه به‌دست آورد. در لحظهٔ شروع آزمایش، حجم نمونه عبارت است از:

$$V_T = A_\circ \times L_\circ$$

بعد از تغییر طول نمونه، حجم نمونه عبارت است از:

$$V_T = A(L_\circ - \Delta L)$$

با تساوی این دو رابطه، مساحت سطح مقطع واقعی در هر لحظه عبارت است از:

$$A = \frac{A_\circ}{1 - \epsilon}$$

تنش برشی حداکثر C_u نصف تنش فشاری q_u است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$C_u = \frac{q_u}{2} = \frac{P}{2A}$$

(P) نیروی فشاری = فاکتور کالیبراسیون نیروسنج × (قرائت اولیهٔ نیروسنج − قرائت فعلی نیروسنج.)

درصورتی‌که مقاومت حداکثر وجود نداشته باشد، مقاومت درکرنش حدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ به‌عنوان مقاومت حداکثر فرض می‌شود و شیب قسمت اول منحنی تنش-کرنش به‌عنوان مدول الاستیسیتهٔ اولیهٔ تغییرشکل محاسبه می‌گردد. می‌توان از مدول سکانت که شیب خط راستی است که از مبدأ به هر نقطه از منحنی وصل می‌شود، استفاده کرد.

مثال

پروژه: شماره:

مکان: آزمایشگاه مکانیک خاک

توصیف خاک: رس سیلتی قهوه‌ای، $w_L = ۳۷/۳٪$ ، $w_p = ۱۹/۸٪$

آزمایش‌کننده: تاریخ آزمایش:

اطلاعات نمونه

قطر:	۴۵/۵mm	طول اولیه:	۱۰۸mm
سطح مقطع اولیه:	۱۶/۲۴cm^۲	حجم اولیه:	۱۷۵/۶۱cm^۳
وزن مخصوص مرطوب:	۲/۱۶gr/cm^۳	وزن نمونه:	۳۷۹/۵gr
وزن مخصوص خشک:	۱/۸۹gr/cm^۳	درصد رطوبت:	۱۴/۵٪
ضریب دستگاه:	۰/۳۴kg/div		

با توجه به جدول ۱۳-۳ می‌توان نوشت:

$$A_۰ = ۰/۷۸۵۴ \times (\frac{۴۵/۵}{۱۰})^۲ = ۱۶/۲۶\text{cm}^۲$$ (مساحت اولیهٔ نمونه)

جدول ۱۳-۳

شماره ردیف	قرائت گِیج تغییرمکان ($\times ۱۰^{-۲}(mm)$)	قرائت گِیج نیروسنج a	تغییر طول نمونه Δl (mm)	تغییرشکل نسبی $\epsilon = \frac{\Delta l}{L_۰}$ $(\times ۱۰^{-۲})$	$۱ - \epsilon$	سطح مقطع اصلاح‌شده $(cm^۲)$	نیرو $F = a \times LRC$ (kg)	تنش FIA (kPa)
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۵۰	۸	۰٫۵	۰٫۴۶	۰٫۹۹۵۴	۱۶٫۳۴	۲٫۷۲	۱۶٫۳
۳	۱۰۰	۱۵	۱	۰٫۹۳	۰٫۹۹۰۷	۱۶٫۴۱	۵٫۱	۳۰٫۵
۴	۲۰۰	۲۰	۲	۱٫۸۵	۰٫۹۸۱۵	۱۶٫۵۷	۶٫۸	۴۰٫۲
۵	۴۰۰	۲۷	۴	۳٫۷	۰٫۹۶۳۰	۱۶٫۸۸	۹٫۱۸	۵۳٫۳
۶	۵۰۰	۳۰	۵	۴٫۶۳	۰٫۹۵۳۷	۱۷٫۰۵	۱۰٫۲	۵۸٫۷
۷	۶۰۰	۳۳	۶	۵٫۵۶	۰٫۹۴۴۴	۱۷٫۲۲	۱۱٫۲۲	۶۳٫۹
۸	۷۵۰	۳۸	۷٫۵	۶٫۹۴	۰٫۹۳۰۶	۱۷٫۴۷	۱۲٫۹۲	۷۲٫۵
۹	۱۰۰۰	۴۴	۱۰	۹٫۲۶	۰٫۹۰۷۴	۱۸٫۹۲	۱۴٫۹۶	۸۱٫۹
۱۰	۱۲۰۰	۴۹	۱۲	۱۱٫۱۱	۰٫۸۸۸۹	۱۸٫۲۹	۱۶٫۶۶	۸۹٫۳
۱۱	۱۴۰۰	۵۴	۱۴	۱۲٫۹۶	۰٫۸۷۰۴	۱۸٫۶۸	۱۸٫۳۶	۹۶٫۴
۱۲	۱۵۰۰	۵۶	۱۵	۱۳٫۸۹	۰٫۸۶۱۱	۱۸٫۸۸	۱۹٫۰۴	۹۸٫۹
۱۳	۱۶۰۰	۵۸	۱۶	۱۴٫۸۱	۰٫۸۵۱۹	۱۹٫۰۹	۱۹٫۷۲	۱۰۱٫۳
۱۴	۱۷۰۰	۵۷	۱۷	۱۵٫۷۴	۰٫۸۴۲۶	۱۹٫۳۰	۱۹٫۳۸	۹۸٫۵

برای ردیف ۲ :

۸ = قرائت گِیجِ نیروسنج

۵۰ = قرائت گِیجِ تغییرمکان

تغییرمکان کل: $\Delta l = ۵۰ \times ۰/۰۱ = ۰/۵\text{mm}$

نیرو $p = ۸ \times ۰/۳۴ = ۲/۷۲\text{kg}$

کرنش: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_۰} = \frac{۰/۵}{۱۰۸} = ۰/۰۰۴۶ \approx ۰/۰۰۵$

مساحت تصحیح‌شده: $A' = \frac{۱۶/۲۶}{۱ - ۰/۰۰۵} = ۱۶/۳۲\text{cm}^۲$

تنش در نمونه:

$$\sigma = \frac{P}{A'} = \frac{۲/۷۲ \times ۹۸/۰۷}{۱۶/۳۲} = ۱۶/۳\text{kPa}$$

برای ردیف ۱۰:

۴۹ = قرائت گِیجِ نیروسنج

۱۲۰۰ = قرائت گِیجِ تغییرمکان

تغییرمکان کل: $\Delta l = ۱۲۰۰ \times ۰/۰۱ = ۱۲\text{mm}$

نیرو: $\rho = ۴۹ \times ۰/۳۴ = ۱۶/۶۶\text{kg}$

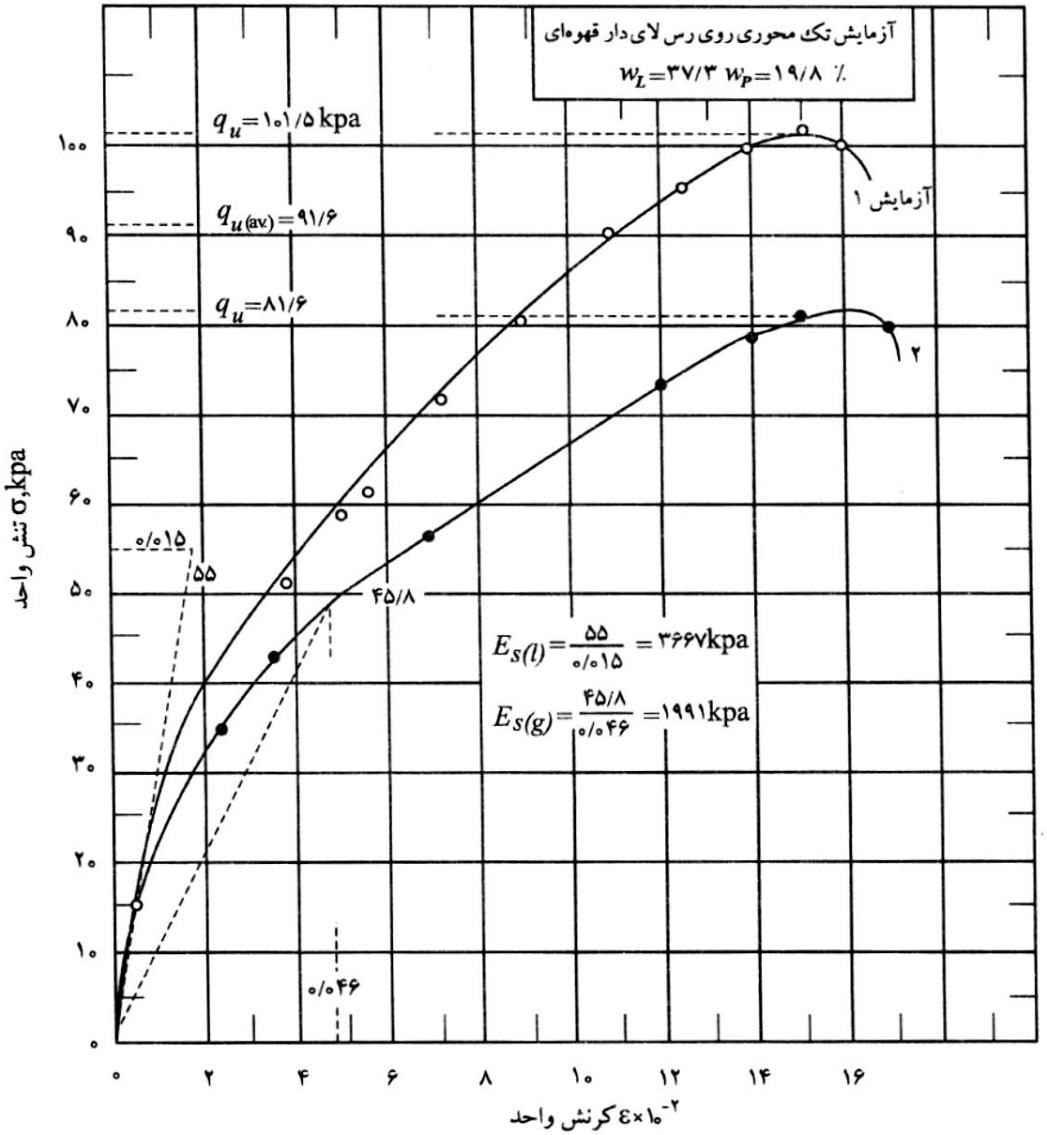
کرنش: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_۰} = \frac{۱۲}{۱۰۸} = ۰/۱۱۱۱$

مساحت تصحیح‌شده: $A' = \frac{۱۶/۲۶}{۱ - ۰/۱۱۱۱}$

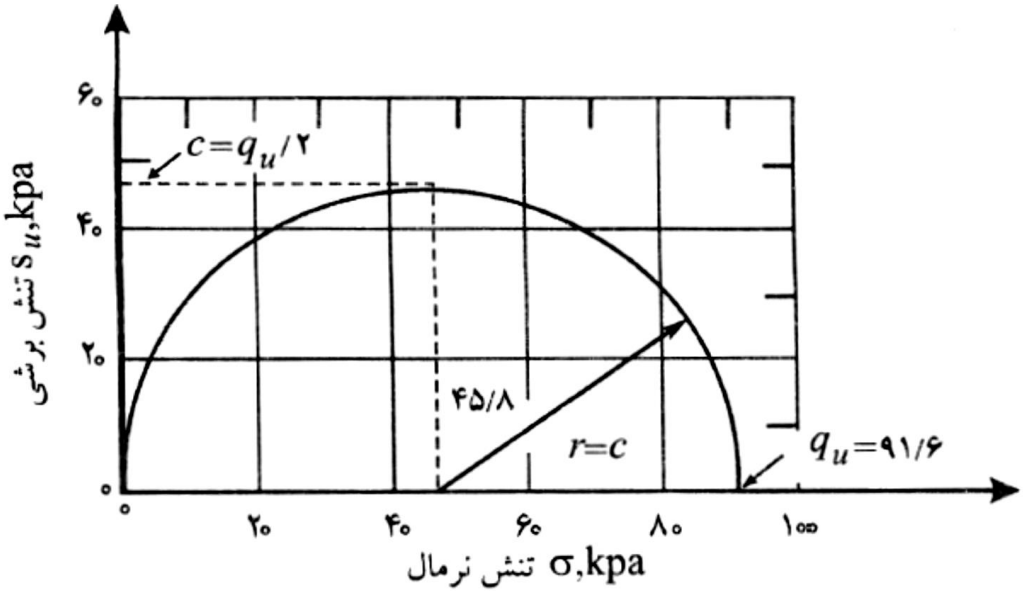
تنش در نمونه:

$$\sigma = \frac{P}{A'} = \frac{۱۶٫۶۶ \times ۹۸٫۰۷}{۱۸٫۲۹} = ۸۹٫۳\text{kPa}$$

این محاسبات و نتایج جدول ۱۳-۳، در شکل ۱۳-۵ برای تعیین q_u فشار تک‌محوری و S_u چسبندگی آمده است.



شکل ۱۳-۵ منحنی $\varepsilon - \sigma$ برای تعیین مدول E_s و مقاومت فشاری q_u.



شکل ۱۳-۶ دایرهٔ موهر برای تعیین چسبندگی خاک.