دانشگاه سمنان

آزمایش برش مستقیم

(Direct Shear)

AASHTO T 236-90

ASTM D 3080-90

دستگاه آزمایش برش مستقیم خاک

هدف از این آزمایش، تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک است.

مقدمه

در آزمایش برش مستقیم مقاومت برشی یک آزمونه از خاک مورد نظر بر روی یک صفحه مشخص گسیختگی تعیین می شود. معمولا در این آزمایش برای تعیین اثر تنش عمودی در صفحه گسیختگی بر مقاومت خاک و تعیین پوش گسیختگی (در حالت خاص تعیین پارامترهای پوش مور-کولمب) سه آزمونه در فشارهای عمودی متفاوت آزمایش می شوند.

در این آزمایش آزمونه تهیه شده در داخل جعبه برش قرار داده شده و تنش عمودی مورد نظر بر روی آزمونه اعمال می شود. جعبه برش از دو قالب مربع شکل یا دو حلقه فلزی تشکیل شده است که روی یکدیگر قرار دارند. پس از پایان تحکیم آزمونه بر اثر تنش عمودی اعمال شده دو قالب جعه برش با نرخ جابجایی ثابت نسبت به هم حرکت داده می شوند و در حین حرکت نیروی لازم برای اعمال این جابجایی اندازه گیری می شود.

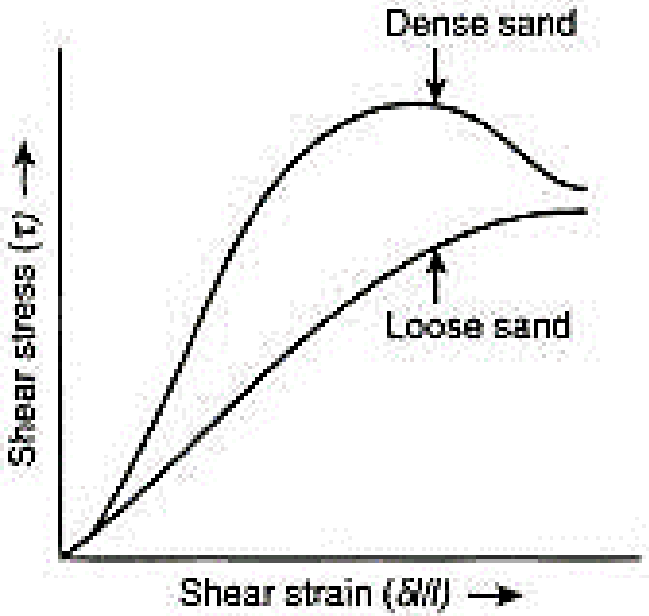
روش اعمال بار

در آزمایش برش مستقیم، برای اعمال بار می توان یکی از دو روش زیر را به کار گرفت:

الف) آزمایش کنترل تنش، که در آن نیروی برشی توسط وزنه وارد می شود و مقدار کرنش اندازه گیری می شود.

ب)آزمایش کنترل کرنش، که در این روش میزان تغییر شکل یا کرنش ثابت و مقدار نیرو به وسیله دینام اندازه گرفته می شود.

روش کنترل کرنش دارای مزیت بیشتری است، چرا که سرعت تغییر شکل ایجاد شده در نمونه خاک ثابت است و می توان به وسیله آن در خاک هایی مانند ماسه متراکم به مقاومت برشی باقی مانده که از مقاومت برشی حداکثر کمتر نیز دسترسی پیدا کرد، در حالی که در حالت کنترل تنش فقط مقاومت حداکثر به دست می آید.



وسایل آزمایش

الف- جعبه برش: جعبه های برش به شکل مربع یا دایره ای برای آزمایش استفاد می شوند. جعبه برش از فولاد زد زنگ، آلومینیوم یا برنز ساخته می شود. جعبه برش روی یک صفحه افقی به دو قسمت با ضخامت مساوی تقسیم شده است برای مطبق کردن دو قسمت جعبه از پیچ های تنظیم استفاده می شود. برای تنظیم فاصله بین دو نیمه جعبه نیز از پیچ های دیگری استفاده می شود. در سقف و کف جعبه نیز سوراخ هایی برای زهکشی تعبیه شده است.

ب- سنگ های متخلخل: این سنگها برای زهکشی نمونه در بالا و پایین نمونه استفاده می شوند.

پ- دستگاه بارگذاری جهت اعمال نیروی قائم.

ت- دستگاه بارگذاری جهت اعمال نیروی برشی.

ث- حلقه نیرو سنج.

ج- اتاق رطوبت.

چ- کرنش سنج.

ح- گرمخانه.

خ- کرنومتر و وسایل تراکم برای تهیه نمونه دست نخورده.

روش انجام آزمایش

خاک های غیر چسبنده

الف- یک ظرف بزرگ پر از ماسه خشک را وزن کنید. مقدار ماسه باید به اندازه ای باشد که برای انجام حداقل سه آزمایش با چگالی یکسان کافی باشد.

ب- جعبه برش را با دقت سوار و در یک وضعیت مناسب، ثابت کنید. بهتر است ابعاد جعبه برش طوری انتخاب شود که حجم جعبه و در نتیجه چگالی نمونه خاک به راحتی قابل محاسبه باشد و مساحت سطح مقطع نمونه A را بدست آورید. اگر نمونه شما شن مرطوب یا اشباع است، سنگ های متخلخل را تا حد امکان اشباع کنید.

پ- نمونه را داخل جعبه برش بریزید، به طوری که حدود ۵ mm روی جعبه خالی باشد و صفحه اعمال بار را تراز کنید تا در یک سطح افقی قرار گیرد. ظرف محتوی نمونه را وزن کنید تا جرم خشک نمونه تعیین شود. ضخامت مشخصی از خاک را به عنوان مرجع در نظر بگیرید و روی محیط جعبه برش با علامت هایی آن را مشخص کنید. اگر نمونه خاک متراکم شده استفاده شده، می توان خاک را با رطوبت و وزن مخصوص مورد نظر در چند لایه داخل جعبه برش کوبید.

ت- بار قائم مناسبی بر نمونه اعمال کنید و عقربه اندازه گیری تغییر شکل های قائم یا LVDT را روی نمونه نصب کنید. توجه کنید که وزن خود صفحه بارگذاری و نیمه بالایی جعبه برش را هم به عنوان بخشی از P_v در نظر بگیرید.

اگر آزمایش از نوع تحکیم یافته است، پس از اعمال بار قائم تازمانی که نشست کاملاً متوقف نشده، صبر کنید و پس از آن که عقربه متوقف شد، آزمایش را انجام دهید. معمولاً برای خاک های غیر چسبنده، این زمان تقریباً بلافاصله بعد از اعمال بار قائم P_v است.

ث- دو قسمت جعبه ی برش را با باز کردن پیچ های نیمه ی بالایی جعبه از هم جدا کنید. فاصله ی بین دو نیمه باید کمی بیشتر از اندازه ی بزرگ ترین دانه ی موجود در نمونه باشد. صفحه ی بارگذاری را با محکم کردن سه پیچ کناری که به همین منظور در اطراف نیمه ی بالایی جعبه تعبیه شده اند، سر جای خود قرار دهید. سپس پیچ های نیمه ی بالایی جعبه ی برش را برگردانید.

وزن این نیمه (نیمه ی بالایی جعبه) و صفحه ی بارگذاری و بار اعمال شده، توسط سطح نمونه تحمل می شود.

ج- کرنش سنج عقربه ای را برای اندازه گیری تغییر شکل های برشی (افقی) نصب کنید.

چ- در صورتی که آزمایش با نمونه ی اشباع انجام می شود، برای اشباع نمونه، جعبه ی برش را از آب پر کنید و مدت زمان مناسبی برای اشباع نمونه اختصاص دهید.

ح- بارگذاری افقی را شروع کنید و مقدار نیروی نشان داده شده روی نیرو سنج عقربه ای و عقربه ی اندازه گیری تغییر شکل های برشی و در صورت نیاز، تغییر شکل های قائم (تغییر حجم نمونه) را در هر مرحله قرائت کنید. اگر آزمایش از نوع کنترل کرنش است، قرائت ها را برای کرنش های ۵و ۱۰و ازآن به بعد هر ۱۰ یا ۲۰ واحد انجام دهید.

سرعت تغییرات کرنش افقی را بین ۰/۵ mm/min تا حداکثر ۲ mm/min در نظر بگیرید. توجه کنید که از سرعت های خیلی بالا در این آزمایش استفاده نشود؛ سرعت آزمایش (سرعت تغییر کرنش) در این آزمایش باید طوری باشد که شکست نمونه در ۳ تا ۵ دقیقه صورت پذیرد.

قرائت ها را ادامه دهید تا جایی که بار برشی به حداکثر مقدار خود برسد. بعد از این مرحله از مقدار بار برشی کاسته می شود. بعد از قرائت بار برشی حداکثر، دو قرائت دیگر کافی است.

خ-اکنون نمونه ی داخل جعبه ی برش را بیرون آورید و مراحل ۱تا ۸ را حداقل برای دو نمونه ی دیگر تکرار کنید. جرم این نمونه ها باید تقریبا برابر جرم نمونه ی اولیه باشد (حداکثر اختلاف جرم قابل قبول،بین ۵ gr تا ۱۰ gr است) و نیز حجم مشابهی اشغال کنند.

در مرحله ی (٤) برای هر آزمایش، بارهای قائم متفاوتی اعمال کنید. پیشنهاد می شود بار قائم را در هر مرحله دو برابر کنید، یعنی از بارهای ٤ kg و ٨ kg و ١٦ kg استفاده کنید. اگر دریافتید که وقتی بار قائم بزرگ تری وارد کرده اید، بار برشی کمتری نسبت به قبل قرائت شده، باید آزمایش را تکرار کنید. زیرا به احتمال زیاد اشتباهی رخ داده است.

محاسبات

الف- تنش برشی اسمی را برای هر گام بارگذاری به صورت زیر محاسبه کنید.

$$\tau = \frac{F}{A} \qquad (۴-۱۱)$$

τ: تنش برشی اسمی.

F: نیروی برشی اندازه گیری شده.

A: سطح اولیه نمونه.

ب- تنش قائم بر روی نمونه محاسبه گردد.

$$\sigma = \frac{N}{A} \qquad (۵-۱۱)$$

σ: تنش قائم وارد بر نمونه.

N: نیروی قائم اعمالی بر روی نمونه.

پ- نرخ واقعی اعمال تغییر شکل به نمونه محاسبه گردد.

$$d_r = \frac{d_n}{t_e} \qquad (۶-۱۱)$$

d_r: نرخ اعمال تغییر شکل

d_n: تغییر شکل نسبی نمونه.

t_e: زمان آزمایش.

ت- مشخصات زیر محاسبه گردد.

تخلخل اولیه نمونه-درصد رطوبت نمونه-دانسیته خشک نمونه.

ث- نمودار تغییر مکان نسبی-تنش برشی اسمی را برای نمونه رسم کنید.

ج- مقادیر تنش برشی اسمی بیشینه یا تنش برشی اسمی گسیختگی را برای هر کدام از نمونه پیدا گردد.

چ- مقادیر تنش برشی گسیختگی در مقابل تنش قائم را برای همه نمونه ها روی نمودار مشخص کرده و بهترین خط را به این نقاط برازش دهید. پارامترهای مدل گسیختگی مورکولمب را با استفاده از خط برازش داده شده بدست آورید.

ح- نمودار تغییر شکل قائم نمونه در مقابل تغییر مکان نسبی افقی را برای نمونه ها رسم کنید. این منحنی تغییرات حجم نمونه را در ازای تغییر شکل های برشی نشان می دهد.

بحث در خطا و دقت آزمایش

این آزمایش به‌رغم سادگی و کاربرد زیاد، نقایصی دارد که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود:

۱. در این آزمایش، خاک این فرصت و امکان را که در امتداد ضعیف‌ترین صفحهٔ خود گسیخته شود، نمی‌یابد و بالاجبار در امتداد صفحه بین دو نیمهٔ جعبهٔ برش گسیخته می‌شود [۱۶].

۲. بزرگ‌ترین اشکال این آزمایش، غیرقابل‌کنترل بودن شرایط زهکشی نمونه است. چون فشار آب منفذی قابل‌اندازه‌گیری نیست، فقط می‌توان تنش کل قائم را تعیین کرد. این مقدار درصورتی‌که فشار آب منفذی برابر صفر باشد، با تنش مؤثر قائم برابر خواهد بود [۱۱].

۳. توزیع تنش برشی روی صفحهٔ گسیختگی، یکنواخت نیست و گسیختگی از کناره‌ها به‌طرف مرکز نمونه به‌وجود می‌آید، لذا در نمونه فقط یک حالت تقریبی از تنش برشی خالص پدید می‌آید [۱۱].

۴. سطح نمونه دائماً درحال تغییر است و درعین‌حال ما از این تغییرات اطلاعاتی در دست نداریم [۱].

۵. نمونهٔ مورداستفاده کوچک است و خطای ایجادشده به‌علت کوچکی ابعاد نمونه حائز اهمیت بیشتری است [۱].

۶. ابعاد نمونه مانع از آن است که در خلال آزمایش بتوان تحقیقات بیشتری روی شرایط آب حفره‌ای انجام داد.

۷. مقادیر ضریب پواسون و مدول الاستیسیته قابل محاسبه و اندازه‌گیری نیست [۱].

۸. دایرهٔ موهر در آزمایش برش مستقیم دائماً درحال تغییر است، بنابراین طبق رابطهٔ زیر جهت تنش‌ها درحال تغییر است:

$$\tan ۲\theta = \frac{۲\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}$$

۹. اصطکاک نمونه با جعبهٔ برش، خود در ایجاد برش‌های ناهمسان مؤثر است.

۱۰. چون صفحهٔ برش تحمیلی است، خاک باید همگن باشد؛ در غیر این صورت خطا بیشتر می‌شود. اگر شرایط زیر محقق شود، دقت نتایج افزایش می‌یابد:

- سطح تنش σ، متناسب با واقعیت باشد. بدیهی است قبل از انجام آزمایش باید تخمینی از مقدار واقعی σ زده شود. درصورت متنوع بودن سطح تنش، آزمایش باید برای مقادیر مختلف انجام شود.
- حتی‌الامکان مسیر تنش آزمایشگاهی با مسیر تنش در محل انطباق داشته باشد.
- صفحهٔ برش در آزمایش با صفحهٔ برش در محل همخوانی داشته باشد.

نکات مهم

۱. ضخامت نمونه از ۰٫۲۵ برابر قطر نمونه (عرض) باید کمتر باشد تا اولاً نمونه سریع زهکشی شود و فشار آب حفره‌ای را بتوان صفر درنظر گرفت، ثانیاً دقت آزمایش بیشتر شود.

۲. حداقل بُعد نمونه ۵۰mm، حداقل ضخامت نمونه ۱۲٫۵mm باید باشد؛ ضخامت نمونه نباید از ۶ برابر قطر بزرگ‌ترین دانهٔ خاک کمتر باشد.

۳. بین دو جعبه حداقل باید به اندازهٔ حداکثر اندازهٔ درشت‌دانه فاصله باشد تا نمونه امکان تغییر حجم دادن را داشته باشد.

۴. براثر تغییرات برشی در خاک‌های متراکم، افزایش حجم و در خاک‌های غیرمتراکم، کاهش حجم ملاحظه می‌شود.

۵. در خاک‌های دانه‌ای به‌خصوص مسئلهٔ قفل‌وبست بین دانه‌ها علاوه بر مقاومت لغزشی و غلتشی، در ایجاد نقطهٔ پیک (peak) یا حداکثر تنش مهم است.

۶. تغییر حجم الاستیک مصالح صفر فرض شده است.

۷. آزمایش برش مستقیم را می‌توان روی ماسهٔ خشک یا اشباع انجام داد و در این دو حالت تغییرات زاویهٔ اصطکاک داخلی یک یا دو درجه است و این اختلاف به‌دلیل اثر کشش سطح است.

مثال

آزمایش برای بارهای قائم 5kg، ۱۰kg و ۲۰kg انجام گرفته است. اما در این مثال فقط اطلاعات مربوط به $P_v = 5kg$ آورده شده است.

پروژه: آزمایش برش مستقیم	مکان: آزمایشگاه مکانیک خاک
نوع خاک: ماسه با زبری متوسط	عمق نمونه‌برداری:
آزمایش‌کننده:	تاریخ آزمایش:

اطلاعات لازم برای به‌دست آوردن وزن واحد حجم نمونه درصورت دست‌نخورده بودن	اطلاعات مربوط به جعبهٔ برش
وزن اولیهٔ خاک + ظرف = ۱۳۷۶٫۷gr	ابعاد نمونه:
	طول و عرض جعبه = ۵٫۰۸ × ۵٫۰۸
وزن نهایی خاک + ظرف = ۱۲۳۶٫۰gr	عمق = ۲٫۴۲
	مساحت = ۲۵٫۸۱
وزن خاک استفاده‌شده = ۱۴۰٫۷gr	حجم = ۸۸٫۲۶

وزن واحد حجم: $\gamma_{dry} = \frac{۱۴۰٫۷}{۸۸٫۲۶} = ۱٫۵۹۴ \text{gr/cm}^۳$

بار قائم: $P_v = ۵\text{kg}(۴۹\text{N})\quad \sigma_n = \frac{۴۹ \times ۱۰}{۲۵٫۸۱} = ۱۹\text{kPa}$

سرعت بارگذاری: ۰٫۵mm/min

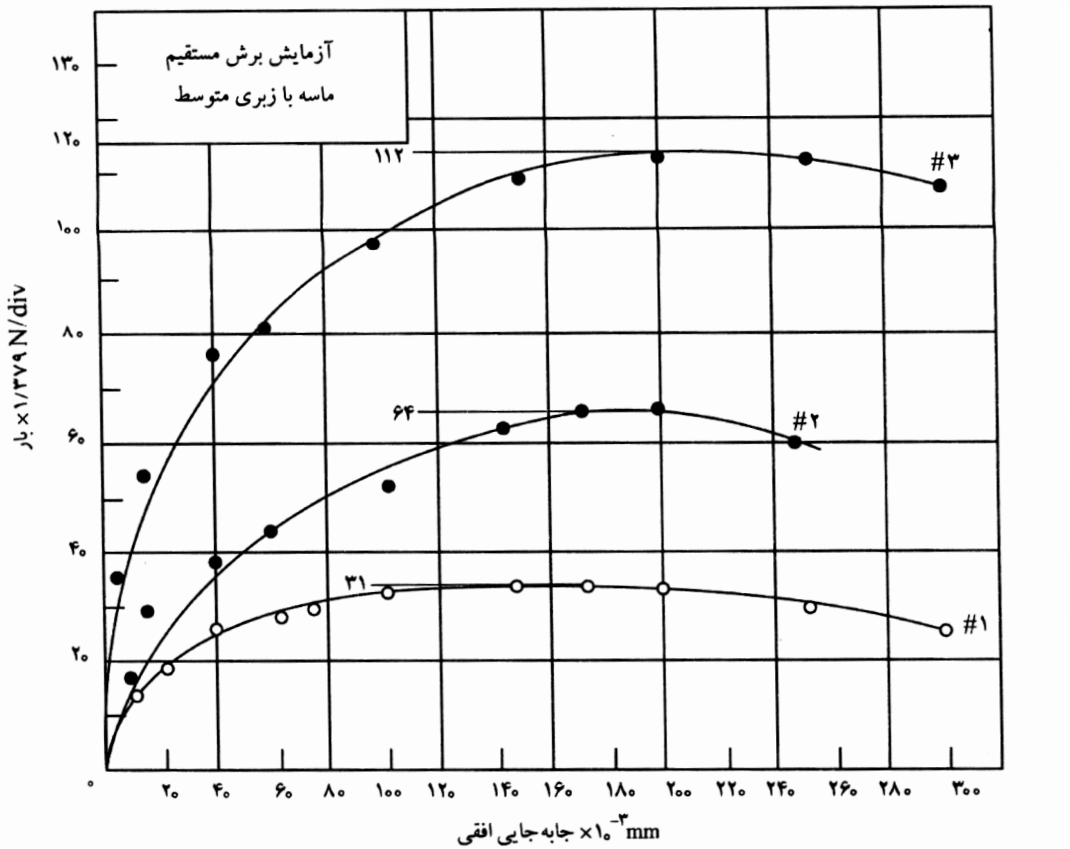
ضریب ثابت حلقهٔ نیروسنج (LRC): ۱٫۳۷۹

جدول ۱۵-۲

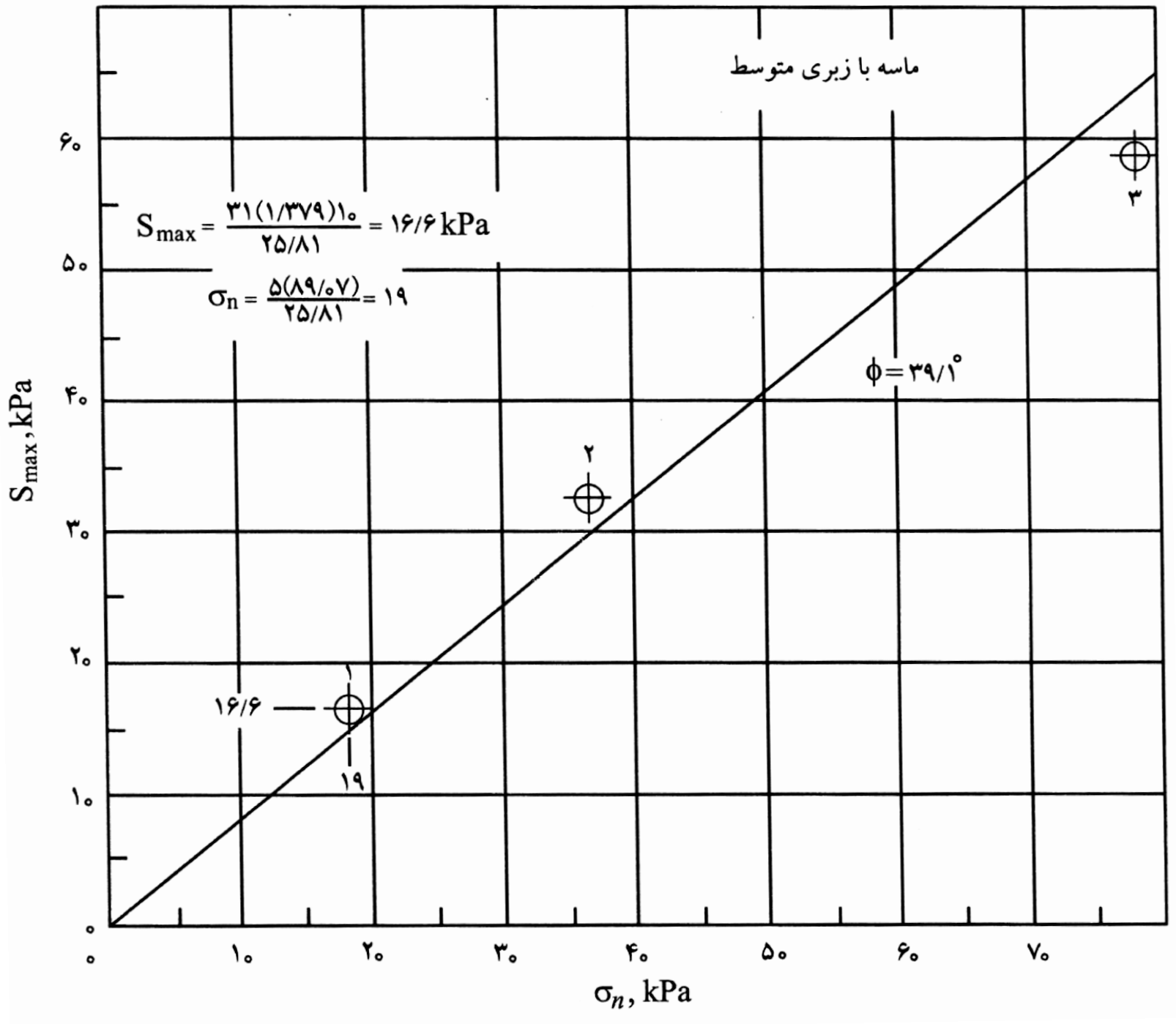
تغییرشکل قائم قرائت‌شده (۰٫۰۱mm)	تغییرشکل قائم δ_v (mm)	تغییرشکل افقی قرائت‌شده (۰٫۰۱mm)	تغییرشکل افقی δ_h (mm)	مساحت اصلاح‌شده A'	بار قرائت‌شده (N/div)	نیروی برشی افقی (N)	تنش برشی S (kPa)
۰	۰	۰	۰	۸۸٫۲۶	۰	۰	
+۰٫۵	۰٫۰۰۵	۱۰	۰٫۱	۸۸٫۲۶	۱۴	۱۹٫۳۱	۷٫۵
+۲٫۵	۰٫۰۲۵	۲۰	۰٫۲	۸۸٫۲۶	۱۹	۲۶٫۲۰	۱۰٫۲
+۳٫۰	۰٫۰۳۰	۴۰	۰٫۴	۸۸٫۲۶	۲۴	۳۳٫۱۰	۱۲٫۸
+۲٫۰	۰٫۰۲۰	۶۰	۰٫۶	۸۸٫۲۶	۲۵		
+۲٫۰	۰٫۰۲۰	۷۵	۰٫۷۵	۸۸٫۲۶	۲۶		
+۱٫۵	۰٫۰۱۵	۱۰۰	۱٫۰	۸۸٫۲۶	۲۹		
+۱٫۵	۰٫۰۱۵	۱۵۰	۱٫۵	۸۸٫۲۶	۳۰		
+۱٫۵	۰٫۰۱۵	۱۷۵	۱٫۷۵	۸۸٫۲۶	۳۱		
+۱٫۵	۰٫۰۱۵	۲۰۰	۲٫۰	۸۸٫۲۶	۳۱		
+۱٫۵	۰٫۰۱۵	۲۵۰	۲٫۵	۸۸٫۲۶	۲۹٫۵		
+۱٫۵	۰٫۰۱۵	۳۰۰	۳٫۰	۸۸٫۲۶	۲۶		

$$۱۹٫۳۱ \div ۲۵٫۸۱ = ۷٫۵\text{kPa}$$

با استفاده از جدول ۱۵-۲ نمودار تغییرات بار- تغییرشکل افقی در شکل ۱۵-۹(الف) رسم شده است. برای بارهای قائم ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم نیز عملیات فوق انجام گرفته و منحنی‌های مربوطه رسم شده‌اند. از هر نمودار حداکثر بار به‌دست می‌آید و پس از محاسبهٔ حداکثر تنش برشی، نمودار تنش برشی ماکزیمم برحسب تنش قائم رسم می‌گردد (شکل ۱۵-۱۰). زاویهٔ شیب خط حاصل ϕ و محل تلاقی آن با محور قائم C خواهد بود. برای نمونهٔ موردآزمایش $\phi = ۳۹/۱^\circ$ به‌دست آمده است و چسبندگی نیز به‌دلیل دانه‌ای بودن خاک صفر شده است.



الف)


ماسه با زبری متوسط
$S_{max} = \frac{۳۱(۱/۳۷۹)۱۰}{۲۵/۸۱} = ۱۶/۶\,kPa$
$\sigma_n = \frac{۵(۸۹/۰۷)}{۲۵/۸۱} = ۱۹$
$\phi = ۳۹/۱^\circ$
۱
۲
۳
۱۶/۶
۱۹
۰
۱۰
۲۰
۳۰
۴۰
۵۰
۶۰
۷۰
S_{max}, kPa
σ_n, kPa