



رابطی مقدم

مهندسی پی



## Is One Number Enough???

کافی نبودن یک داده یا یک گمانه

$c_u$  = undrained strength

$\gamma_T$  = unit weight

$I_R$  = rigidity index

$\phi'$  = friction angle

OCR = overconsolidation

$K_0$  = lateral stress state

$e_o$  = void ratio

$V_s$  = shear wave

$E'$  = Young's modulus

$C_c$  = compression index

$q_b$  = pile end bearing

$f_s$  = pile skin friction

$k$  = permeability

$q_a$  = bearing stress

$D_R$  = relative density

$\gamma_T$  = unit weight

LI = liquefaction index

$\phi'$  = friction angle

$c'$  = cohesion intercept

$e_o$  = void ratio

$q_a$  = bearing capacity

$\sigma_p'$  = preconsolidation

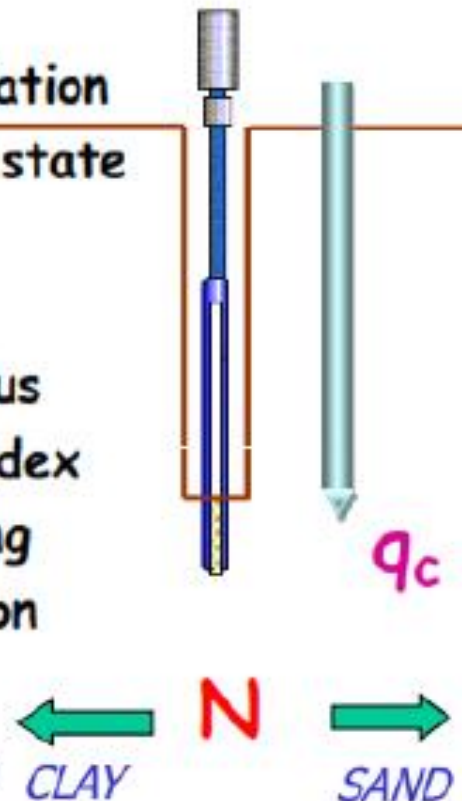
$V_s$  = shear wave

$E'$  = Young's modulus

$\Psi$  = dilatancy angle

$q_b$  = pile end bearing

$f_s$  = pile skin friction



## انواع نمونه:

با نمونه برداری از خاک می توان خصوصیات خاک در نقاط مختلف را ارزیابی نمود.  
انتخاب نوع روش نمونه برداری بستگی به استفاده مورد نظر از نمونه های خاک دارد.  
در هنگام انجام اکتشافات زیرسطحی دو نوع نمونه خاک می توان اخذ نمود:

✓ **نمونه دست خورده (Disturbed Sample)**

✓ **نمونه دست نخورده (Undisturbed Sample):** نمونه ای است که در زمان نمونه برداری، دسته بندی، حمل، نگهداری و آماده کردن آن برای آزمایش هیچ تغییری در ساختار و کیفیت آن داده نشود (رطوبت و ساختار خاک تغییر نکند).

## انواع نمونه:

از **نمونه دست خورده (Disturbed Sample)** می توان به منظور آزمایشات آزمایشگاهی زیر استفاده نمود:



Fig.3. BH-01, Depth : 8-12m

۱. آزمایش دانه بندی
۲. تعیین حدود روانی و خمیری و درصد رطوبت
۳. چگالی دانه ها
۴. تعیین میزان مواد آلی
۵. طبقه بندی خاک

## انواع نمونه:

جهت انجام آزمایشات آزمایشگاهی نظیر آزمایشات زیر حتما باید **نمونه دست نخورده** (**Undisturbed Sample**) تهیه شود:

✓ آزمایش های مقاومت برشی

✓ تحکیم

✓ نفوذپذیری خاک

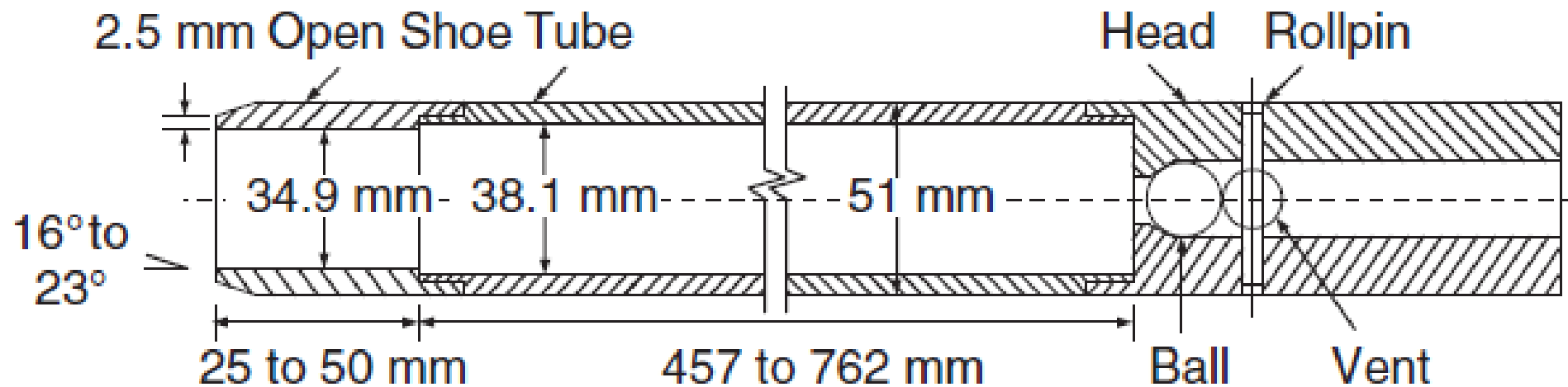


Fig.3. BH-01, Depth : 8-12m

## متداول ترین روش های نمونه گیری:

### نمونه گیر قاشقی دو نیمه (Split Spoon Sampler)

نمونه گیر قاشقی دو نیمه رایج ترین وسیله نمونه گیری از خاک است. نمونه گیری قاشقی دو تکه یک نمونه گیر **جدار ضخیم** است که تنها **نمونه های دست خورده** بدست می دهد.





## متداول ترین روش های نمونه گیری:

### نمونه گیر قاشقی دو نیمه (Split Spoon Sampler)

وقتی گمانه به عمق مطلوبی می رسد نمونه گیر قاشقی به سر میله حفاری متصل و به ته گمانه فرستاده می شود . نمونه گیر با استفاده از ضربات چکش به داخل خاک رانده می شود. ضربات چکش به بالای میله حفاری نواخته می شود. وزن چکش ۶۲.۲ Kg و ارتفاع سقوط آن ۷۵ Cm می باشد. تعداد ضربات لازم برای ۳ مرحله نفوذ ۱۵ سانتی متری نمونه گیر به داخل خاک یادداشت می شود.

مجموع ضربات لازم برای دو مرحله ۱۵ سانتی متری انتهایی عدد نفوذ استاندارد ( Standard penetration Number) نامیده می شود (SPT) N.

بعد از آن نمونه گیر بیرون کشیده شده و نمونه خاک درون آن به آزمایشگاه فرستاده می شود. تعیین عدد نفوذ استاندارد و نمونه گیری توسط نمونه گیری قاشقی معمولاً در فواصل ۱/۵ متری انجام می شود.

## متداول ترین روش های نمونه گیری:

نمونه گیری با استفاده از نمونه گیر جدار نازک شلبی

نمونه گیرهای جدار نازک شلبی معمولاً برای بدست آورده نمونه های با کیفیت یا نسبتاً دست نخورده استفاده می شوند. این نمونه ها جهت انجام آزمایش های برش، تحکیم و نفوذپذیری و همچنین تمام آزمایش هایی که روی نمونه های دستخورده انجام می شوند مناسب هستند.

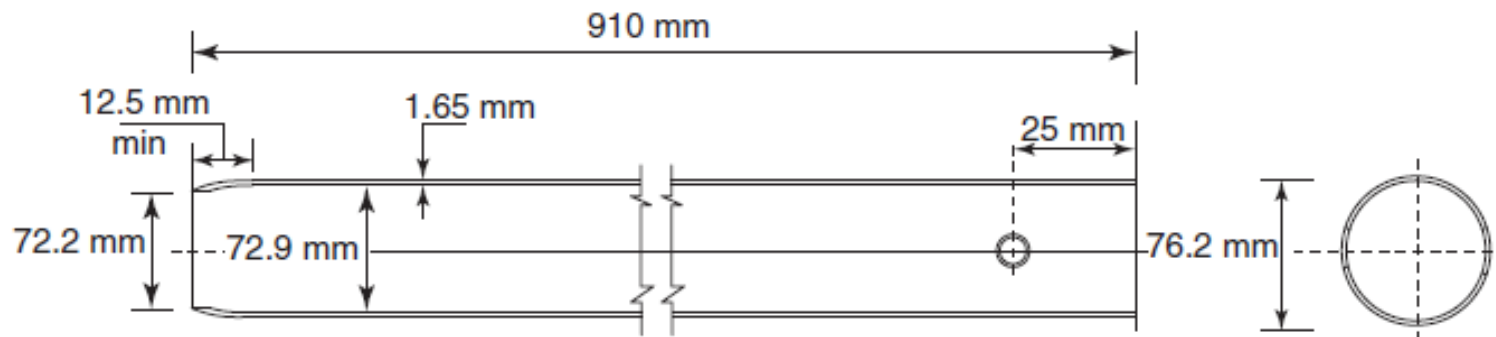


Figure 6.9 Shelby tube sampler cross section.



نمونه گیر شلبی در قطرهای مختلف



## متداول ترین روش های نمونه گیری:

نمونه گیری با استفاده از نمونه گیر جدار نازک شلبی

برای به حداقل رساندن دستخوردگی نمونه، نمونه گیر با یک **سرعت ثابت بالا** به داخل خاک **فشار** داده می شود. برای اینکار نباید از چکش استفاده کرد زیرا باعث افزایش دستخوردگی نمونه می شود.



آب بند کردن نمونه های دستخورده شلبی

# متداول ترین روش های نمونه گیری:

نمونه گیری با استفاده از نمونه گیر جدار نازک شلبی



نمونه گیر جدار نازک شلبی

## متداول ترین روش های نمونه گیری:

- ✓ تهیه نمونه دست نخورده از خاک های چسبنده **مشکل** و از خاک های دانه ای **تقریباً غیر ممکن** است.
- ✓ مشخصات مقاومت، تغییر شکل، فشردگی پذیری و نفوذ پذیری خاک **چسبنده** معمولاً با انجام آزمایش روی نمونه های **دست نخورده** تعیین می شود.
- ✓ مشخصات مقاومت، تغییر شکل، فشردگی پذیری و نفوذ پذیری خاک دانه ای معمولاً با انجام **آزمایش های در محل** تعیین می شود.
- ✓ جهت برخی آزمایشات، برخی از نمونه ها در آزمایشگاه بازسازی می گردند که به آنها نمونه بازسازی شده (**reconstituted/remolded Samples**) می گویند.



## آزمایش های صحرایی (آزمون های درجا) (Insitu Tests, Field Tests)

هدف آزمایش های درجای خاک: این است که خصوصیات مهندسی خاک را در حالت طبیعی و درجا ارزیابی نماییم و نه در محیط آزمایشگاهی.

مهمترین مزیت آزمایش های درجا: این است که پارامترهای مهندسی خاک بر خلاف آزمون های آزمایشگاهی **تحت تاثیر دستخوردگی و افت کیفیت خاک قرار نمی گیرند**. بنابراین خصوصیات خاک ها نماینده واقعی تری بر مقاومت و سختی درجای خاک بوده و در نتیجه منجر به طراحی های فونداسیون اقتصادی تری می شود.

## آزمایش های صحرائی (آزمون های درجا) (Insitu Tests, Field Tests)

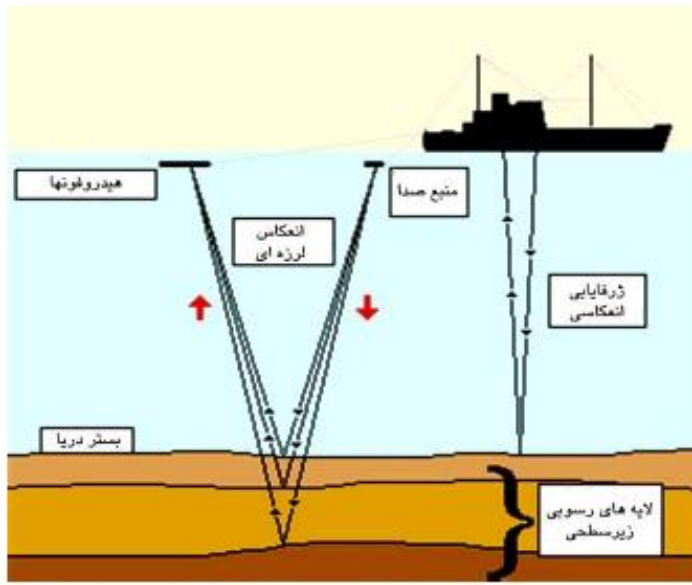
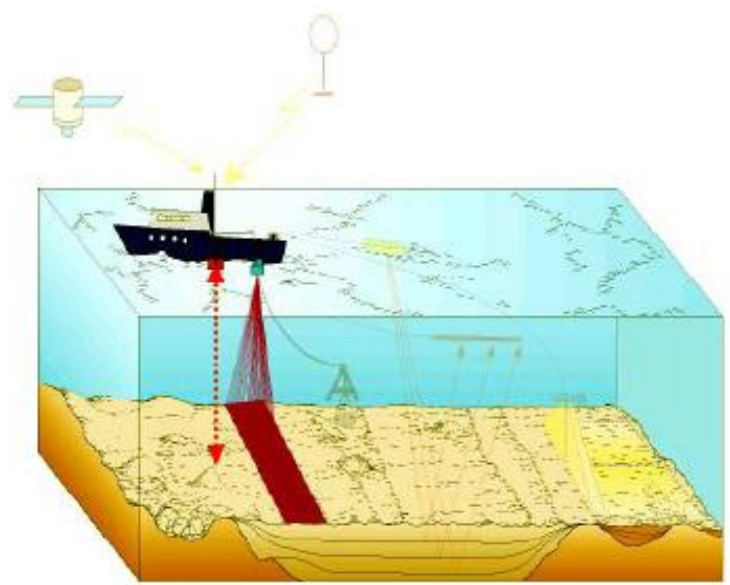
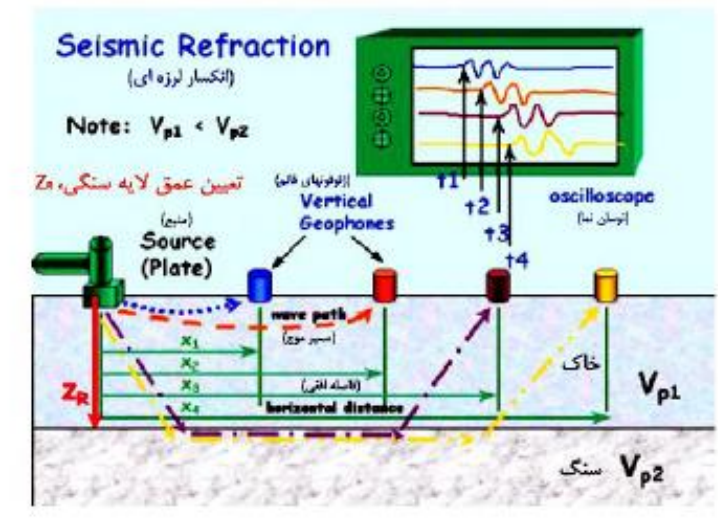
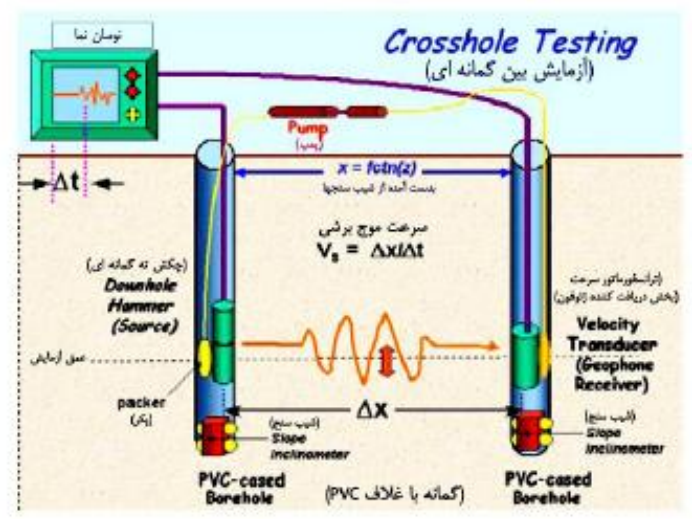
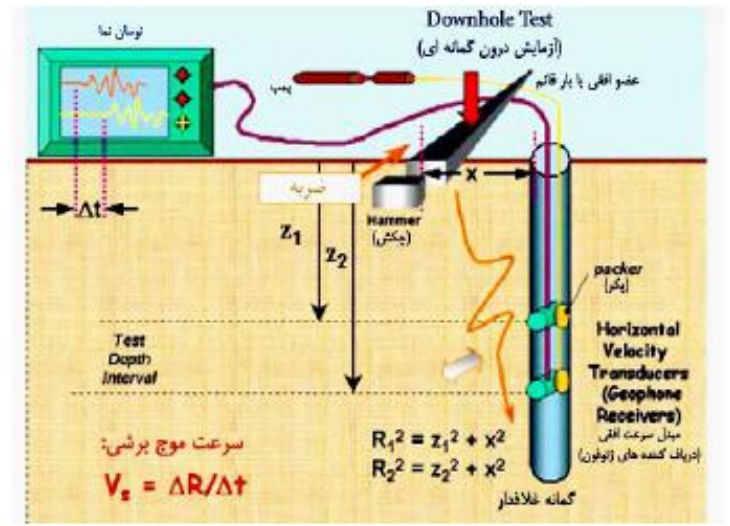
آزمایش های درجا به طور کلی شامل دو دسته عمده می شوند:

۱. شناسایی های ژئوتکنیکی

۲. شناسایی های ژئوفیزیکی

از جمله آزمایش های ژئوفیزیکی می توان به ثبت انکسار امواج لرزه ای، اندازه گیری سرعت موج برشی و اندازه گیری مقاومت را نام برد.

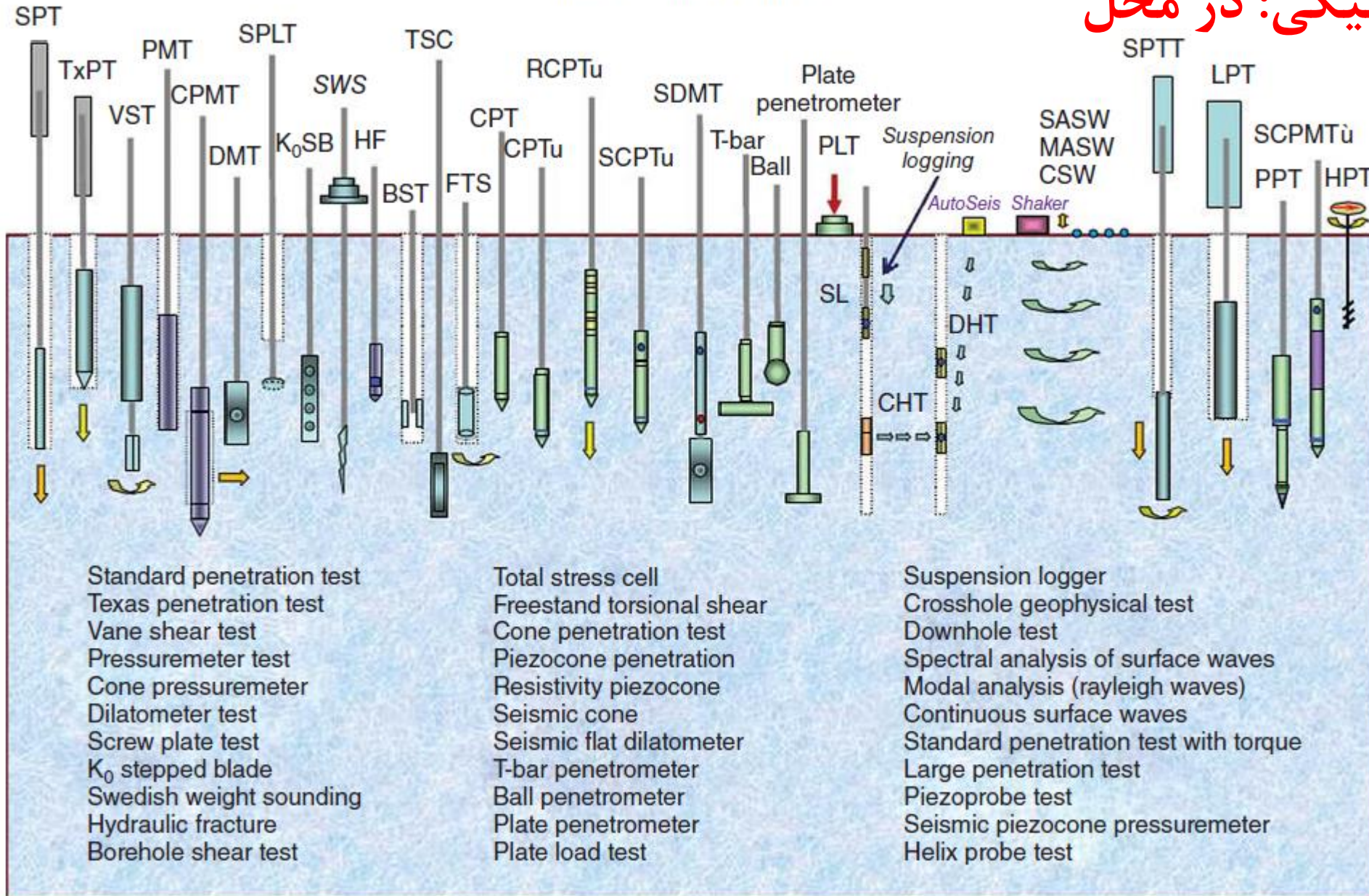
# شناسایی های ژئوفیزیکی





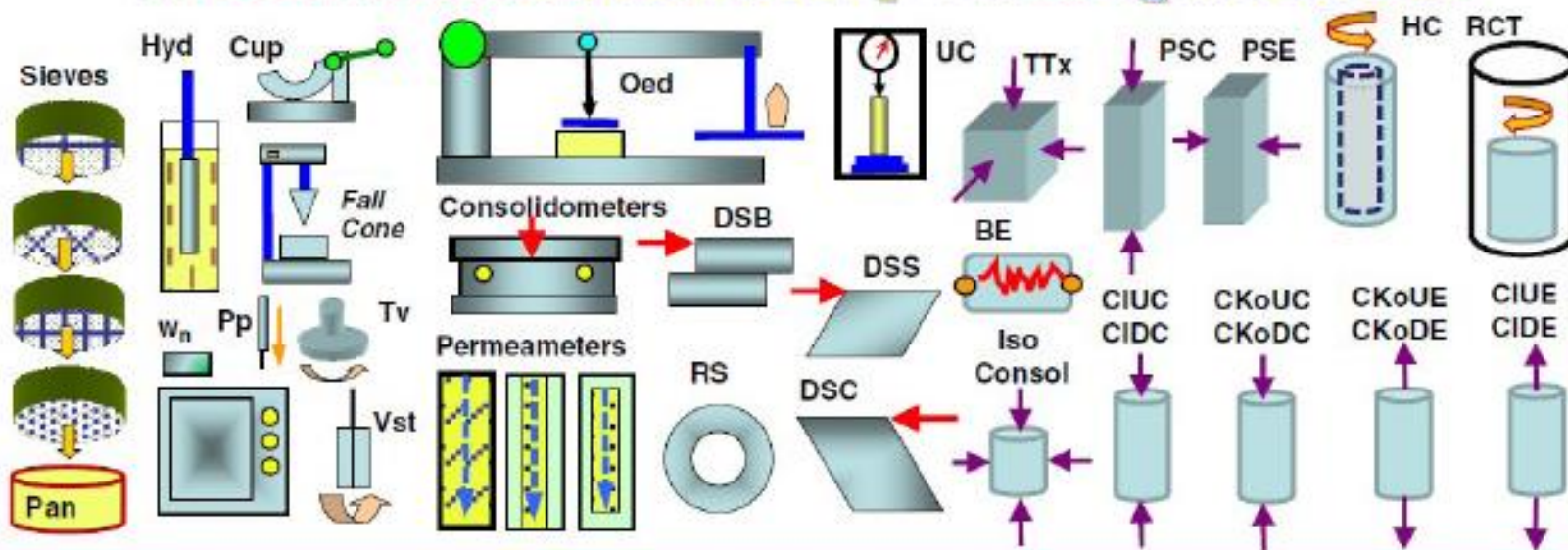
## شناسایی های ژئوتکنیکی: در محل

In-situ testing methods





## Mechanical Laboratory Testing Methods



Grain size analyses  
Hydrometer  
Water content by oven  
Liquid limit cup  
Plastic limit thread  
Fall cone device  
Pocket penetrometer  
Torvane  
Unconfined compression  
Miniature vane  
Digital image analysis

Mechanical oedometer  
Consolidometer  
Constant rate of shear (CRS)  
Falling-head permeameter  
Constant-head permeameter  
Flow permeameter  
Direct shear box  
Ring shear  
Unconsolidated undrained Tx  
Simple shear  
Directional shear cell

Triaxial apparatus (iso-consols, CIUC, CKoUC, CAUC, CIUE, CAUE, CKoUE, stress path, CIDC, CKoDC, CIDE, CKoDE, constant P')  
Plane strain apparatus (PSC, PSE)  
True triaxial (cuboidal)  
Hollow cylinder  
Torsional Shear  
Resonant Column Test device  
Non-resonant column  
Bender elements

## آزمایش های صحرائی (آزمون های درجا) (Insitu Tests, Field Tests)

نماد	آزمایش	مبنای اندازه گیری
SPT	آزمایش نفوذ استاندارد	تعداد ضربات در هر ۳۰۰ میلی متر
CPT <sub>u</sub>	آزمایش نفوذ مخروط به همراه اندازه گیری فشار منفذی	مقاومت مخروط $q_c$ ، نسبت اصطکاک (%)، فشار منفذی kPa، زمان محو فشار منفذی Sec
CPT	آزمایش نفوذ مخروط	مقاومت مخروط $q_c$ ، نسبت اصطکاک (%)
VST	آزمایش برش پره	Nm, kPa
PLT	آزمایش بارگذاری صفحه	بار (kN)، تغییر شکل (mm)
DCP	نفوذسنج مخروطی دینامیکی	تعداد ضربات در هر ۱۰۰ میلی متر
DMT	آزمایش دیلاتومتری	فشار خروج و اتساع (kPa)
PP	آزمایش پنترومتر جیبی	kPa
PT	آزمایش پرسیومتری	فشار حدی (kPa)، تغییرات حجمی ( $cm^3$ )
WPT	آزمایش فشار آب (پکر)	لوژان

آزمایشهای  
ژئوتکنیکی در محل

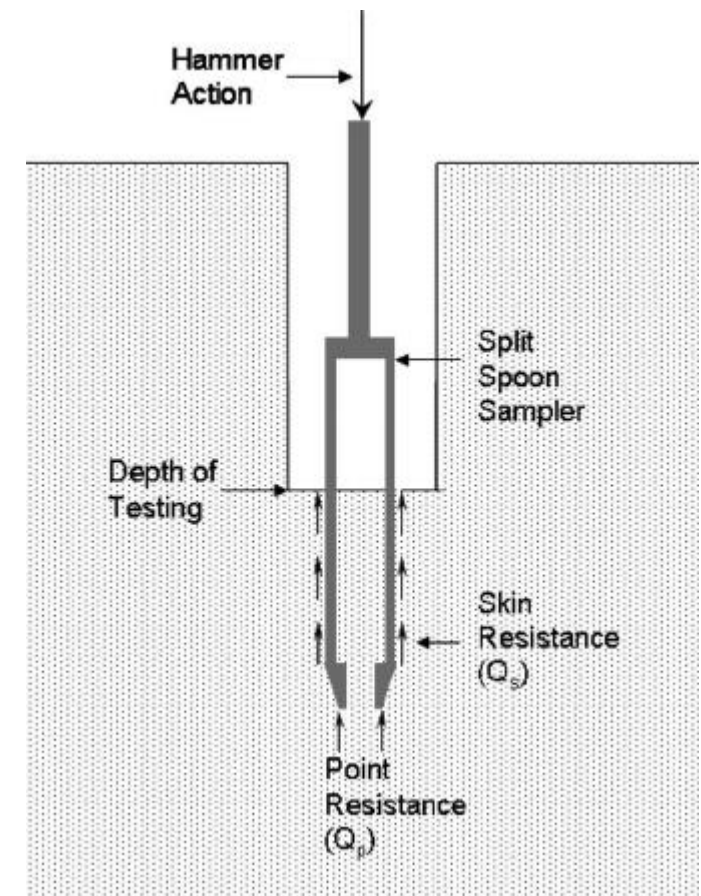
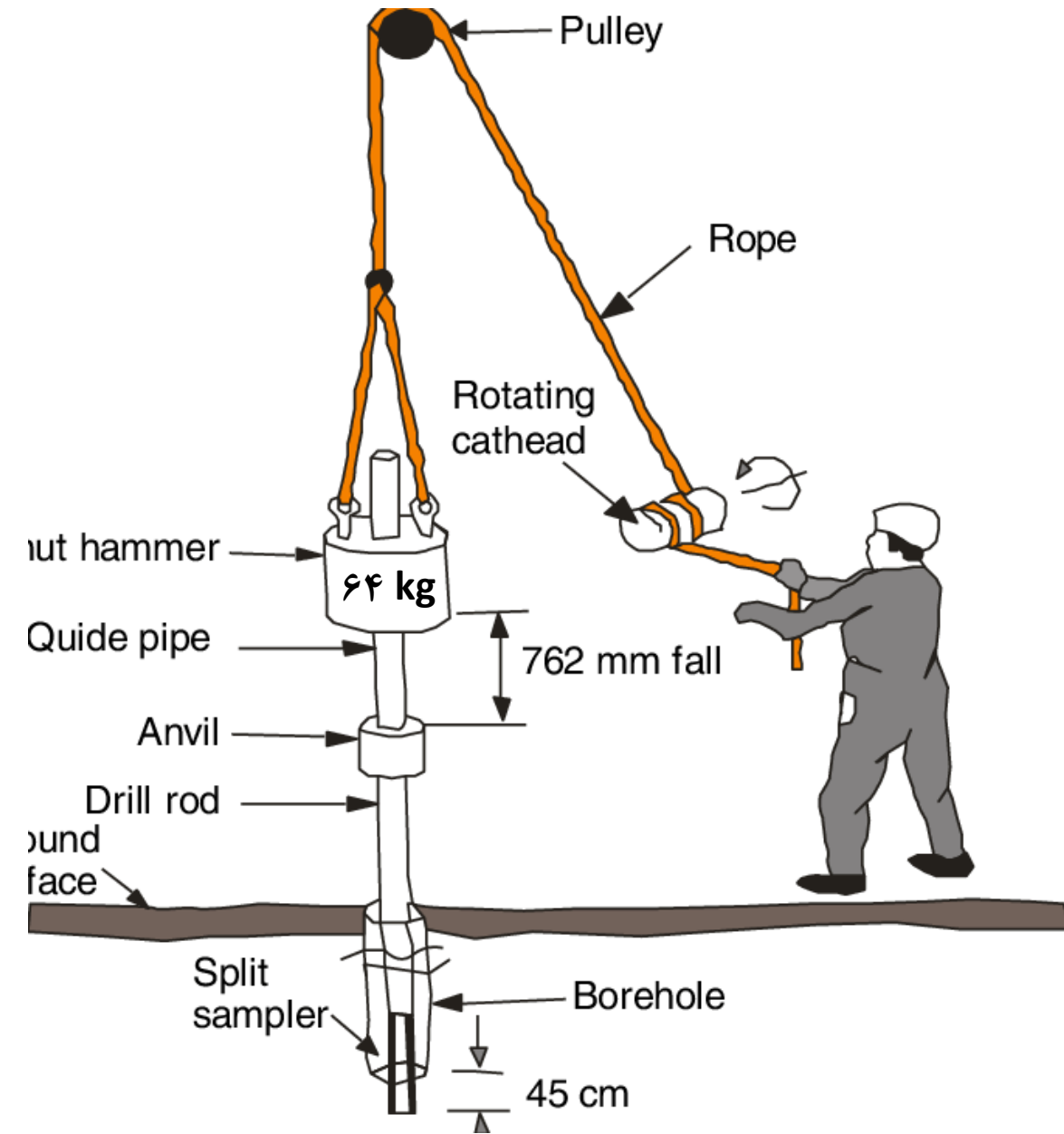


## آزمایش های صحرایی

### آزمایش نفوذ استاندارد یا SPT (Standard Penetration Test)

یک روش نسبتاً ساده و استاندارد برای تخمین تراکم یا سفتی خاک های درجا آزمایش نفوذ استاندارد یا SPT است. در این روش تعداد ضربات چکش جهت نفوذ نمونه گیر قاشقی تا یک عمق مشخص به داخل زمین شمرده می شود. ویژگی اساسی آزمایش SPT عبارت است از یک چکش با وزن ۶۴ کیلوگرم (۱۴۰ پوند) که از ارتفاع ۷۵ سانتی متر (۳۰ اینچ) بر روی سندان در بالای میله های حفار سقوط می کند و یک نمونه گیر قاشقی دوتکه با قطر خارجی ۵ سانتی متر (۲ اینچ) و قطر داخلی ۳/۵ سانتی متر و طولی بین ۴۵ تا ۷۵ سانتی متر (۱۸ تا ۳۰ اینچ)

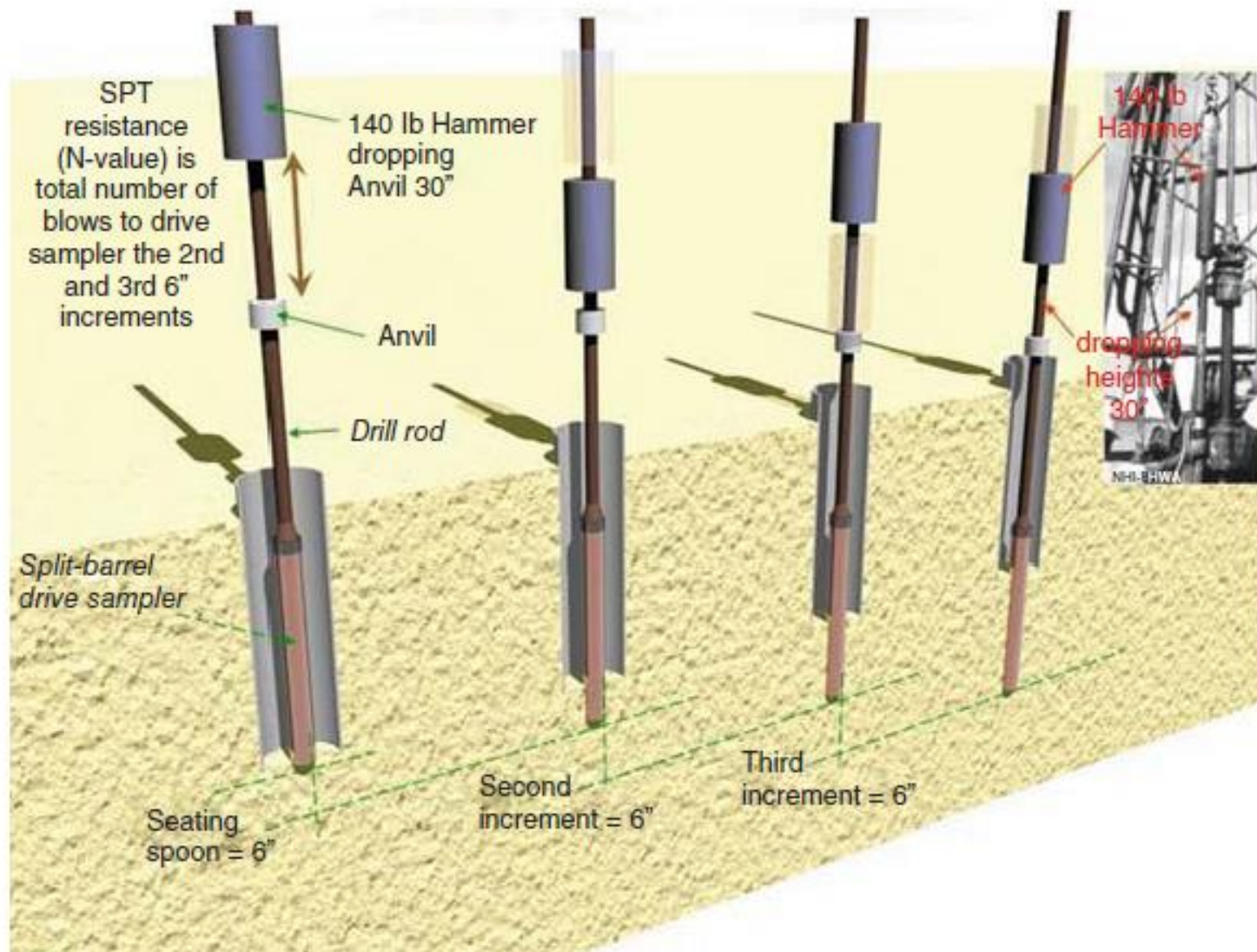
## آزمایش های صحرائی

آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**

## آزمایش های صحرائی

## آزمایش نفوذ استاندارد یا SPT

Standard penetration test (SPT)





## آزمایش های صحرائی

### آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**

پس از اینکه نمونه گیر در کف گمانه قرار داده شد، تعداد ضربات چکش مورد نیاز برای ۳ نفوذ متوالی هر یک به طول ۱۵ سانتی متر (۶ اینچ) شمارش می شود. تعداد ضربات برای دومین و سومین نفوذ ۱۵ سانتی با یکدیگر جمع می شوند تا مقاومت نفوذ استاندارد یا **عدد N** بدست آید. تعداد ضربات برای اولین 15cm در **عدد N** در نظر گرفته نمی شود زیرا این مقدار ممکن است تحت تاثیر خاک دست خورده در کف گمانه قرار گیرد. اما همچنان ثبت می شود زیرا می تواند کنترل کننده خوبی برای تغییرات نهشته خاک و یکپارچگی نتایج کلی باشد.

آزمایش های صحرائی

آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**



## آزمایش های صحرایی

### آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**

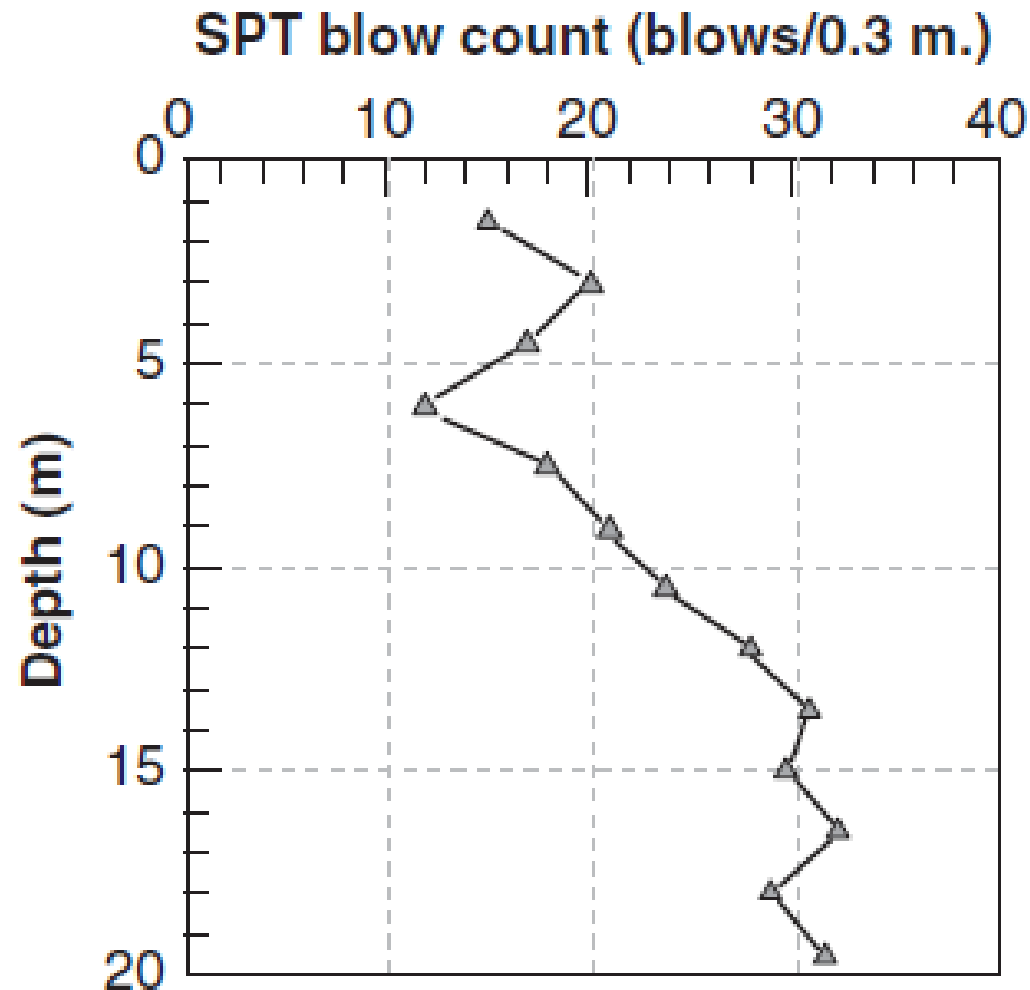
علاوه بر اخذ نمونه، آزمایش نفوذ استاندارد معیار خوبی برای تخمین خواص مقاومتی خاک ها می باشد. برای مثال سفتی خاک های رسی را می توان به عدد نفوذ استاندارد ربط داد. این رابطه در جدول ۲-۳ نشان داده شده است. در جدول ۲-۴ یک ارتباط تقریبی بین عدد نفوذ استاندارد و تراکم نسبی ماسه ارائه شده است. باید تاکید شود که در خاک های درشت دانه شنی و خاک های رسی، همبستگی نتایج **SPT** با تراکم نسبی و قوام خاک به طور کلی غیر قابل اطمینان بوده و تنها باید به عنوان یک تخمین اولیه مورد استفاده قرار گیرد.

از عدد  $N$ ، اغلب برای تخمین مقاومت و تراکم پذیری خاک های دانه ای مخصوصاً **ماسه ها** استفاده می شود.



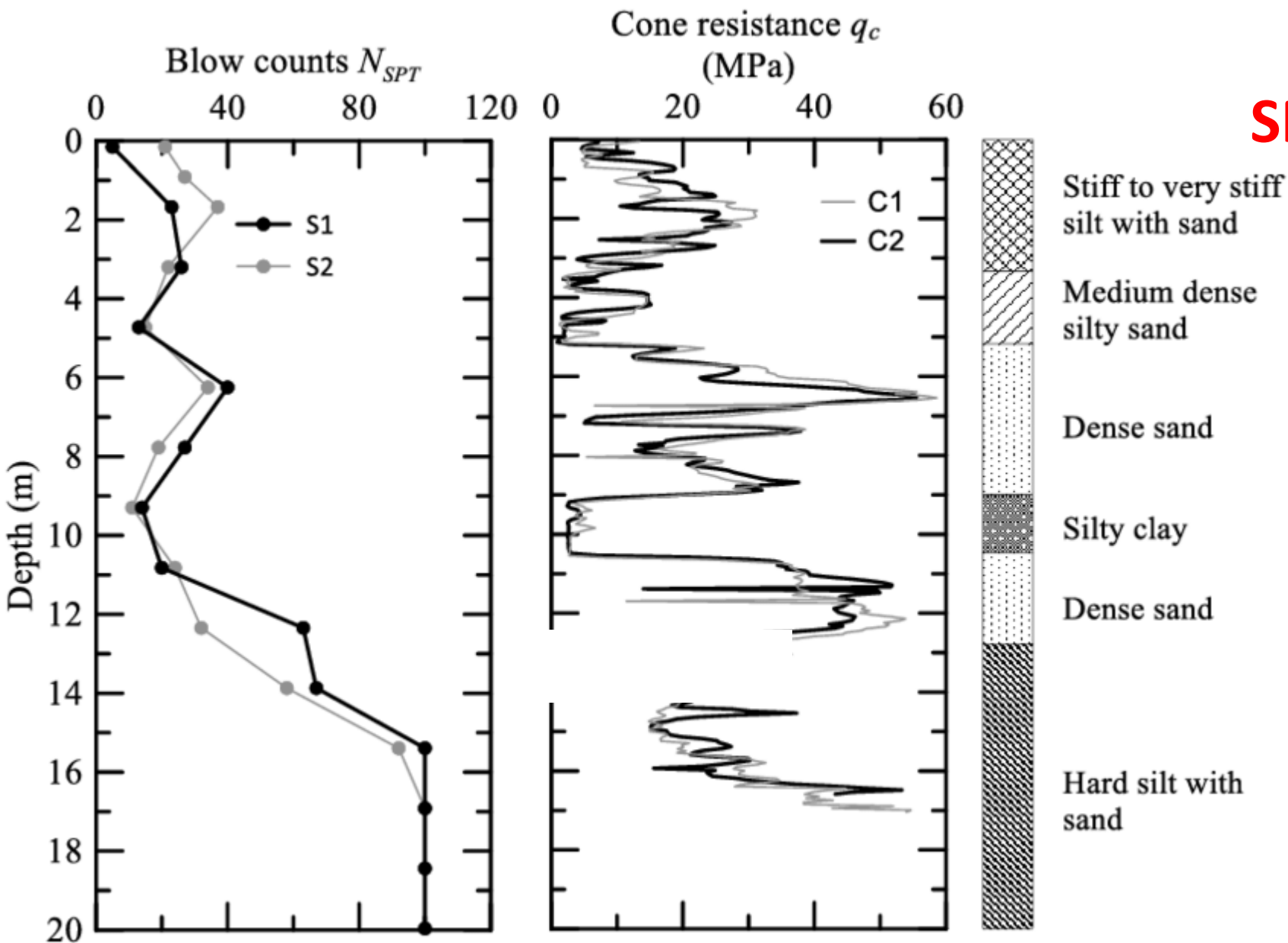
آزمایش های صحرائی

آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**



## آزمایش های صحرایی

## آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**



## آزمایش های صحرائی

### آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**

در تخمین پارامترهای خاک از روی عدد نفوذ استاندارد با استفاده از روابط موجود دقت کنید که:

۱- روابط تقریبی هستند.

۲- خاک همگن نیست و اعداد نفوذ استاندارد به دست آمده از یک گمانه دارای دامنه وسیعی خواهند بود.

۳- اگر در نهشته های خاک قلوه سنگ و شن وجود داشته باشد اعداد نفوذ استاندارد به دست آمده ممکن است گمراه کننده و غیر قابل اعتماد باشند.

۴- در موارد زیر آزمایش فاقد اعتبار است:

الف) برای هر مرحله ۱۵ سانتی متری ۵۰ ضربه مورد نیاز باشد.

ب) تعداد ضربات به ۱۰۰ برسد. (۱۰۰ ضربه برای ۳۰ سانتی متر)

ج) با ۱۰ ضربه هیچ نفوذی نداشته باشیم.



آزمایش های صحرایی

آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**

جدول ۲-۴ ارتباط بین مقدار N و تراکم نسبی و زاویه اصطکاک ماسه

زاویه اصطکاک تقریبی خاک، $\phi$	تراکم نسبی تقریبی $D_r$ (%)	عدد نفوذ استاندارد، N
26 - 30	0 - 5	0 - 5
28 - 35	5 - 30	5 - 10
35 - 42	30 - 60	10 - 30
38 - 46	60 - 95	30 - 50

آزمایش های صحرائی

آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT**

جدول ۲-۳ ارتباط بین سفتی خاک های رسی و عدد نفوذ استاندارد

عدد نفوذ استاندارد، N	سفتی	مقاومت فشار محدود نشده $q_c$ (kN / m <sup>2</sup> )
0 - 2	خیلی نرم	0 - 25
2 - 5	نرم	25 - 50
5 - 10	متوسط	50 - 100
10 - 20	سفت	100 - 200
20 - 30	خیلی سفت	200 - 400
>30	سخت	>400

## آزمایش های صحرائی

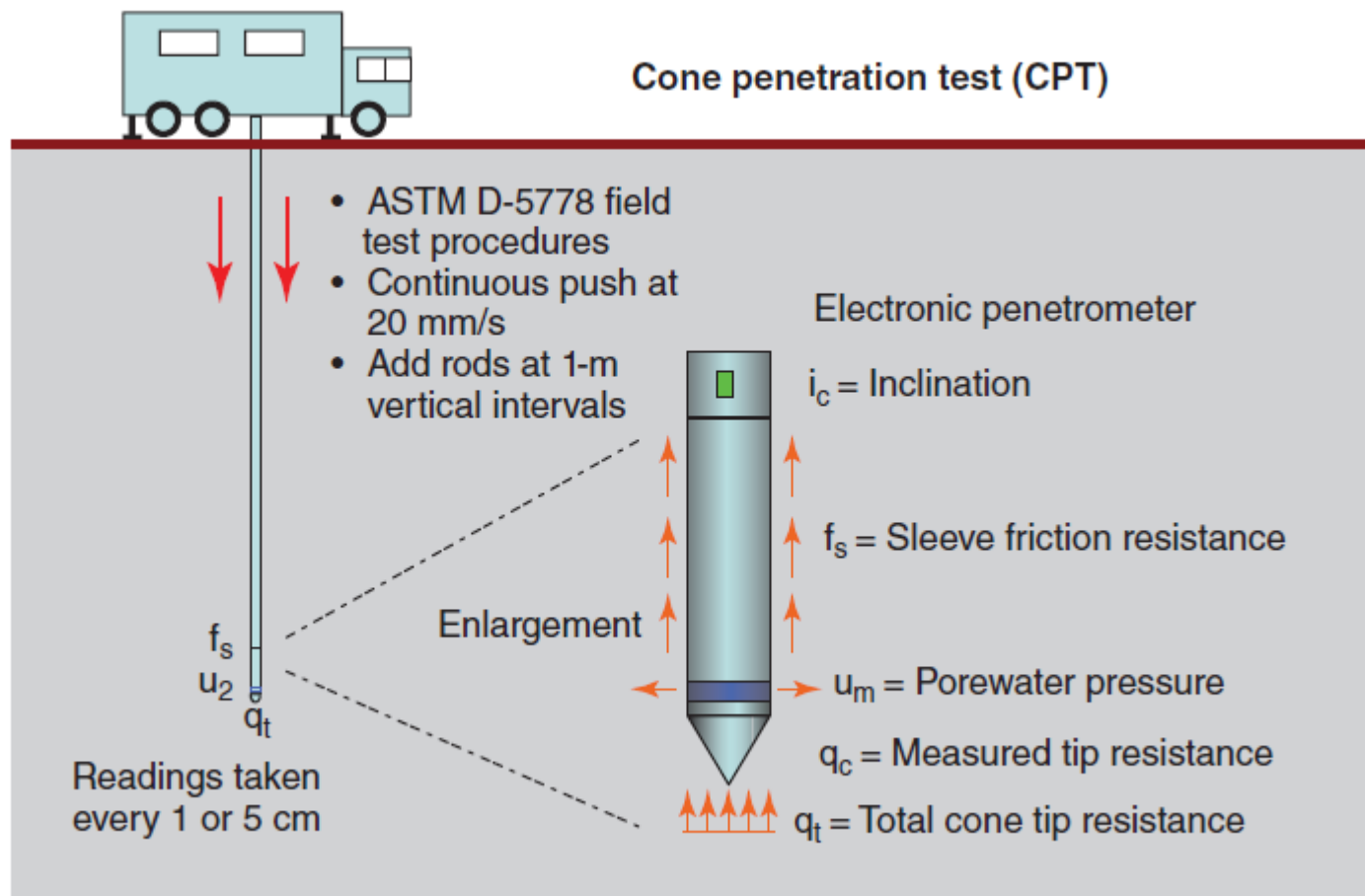
### آزمایش نفوذ مخروط یا **CPT** (**Cone Penetration Test**)

اساس کار تست نفوذ مخروط (پنترومتر) این است که یک مخروط با قاعده انتهایی به مساحت  $10\text{cm}^2$  و زاویه راس  $60^\circ$  با سرعت یکنواخت  $2\text{cm/s}$  در خاک فرو برده می شود. در حین فرو رفتن مخروط مقاومت نوک مخروط ( $q_c$ ) و اصطکاک جدار غلاف ( $f_s$ ) در هر  $2.5\text{cm}$  اندازه گیری می شود. در نوع پیزوپنترومتر ( $\text{CPTu}$ ) فشار آب منفذی اضافی حین فرورفتن نیز اندازه گیری می شود.





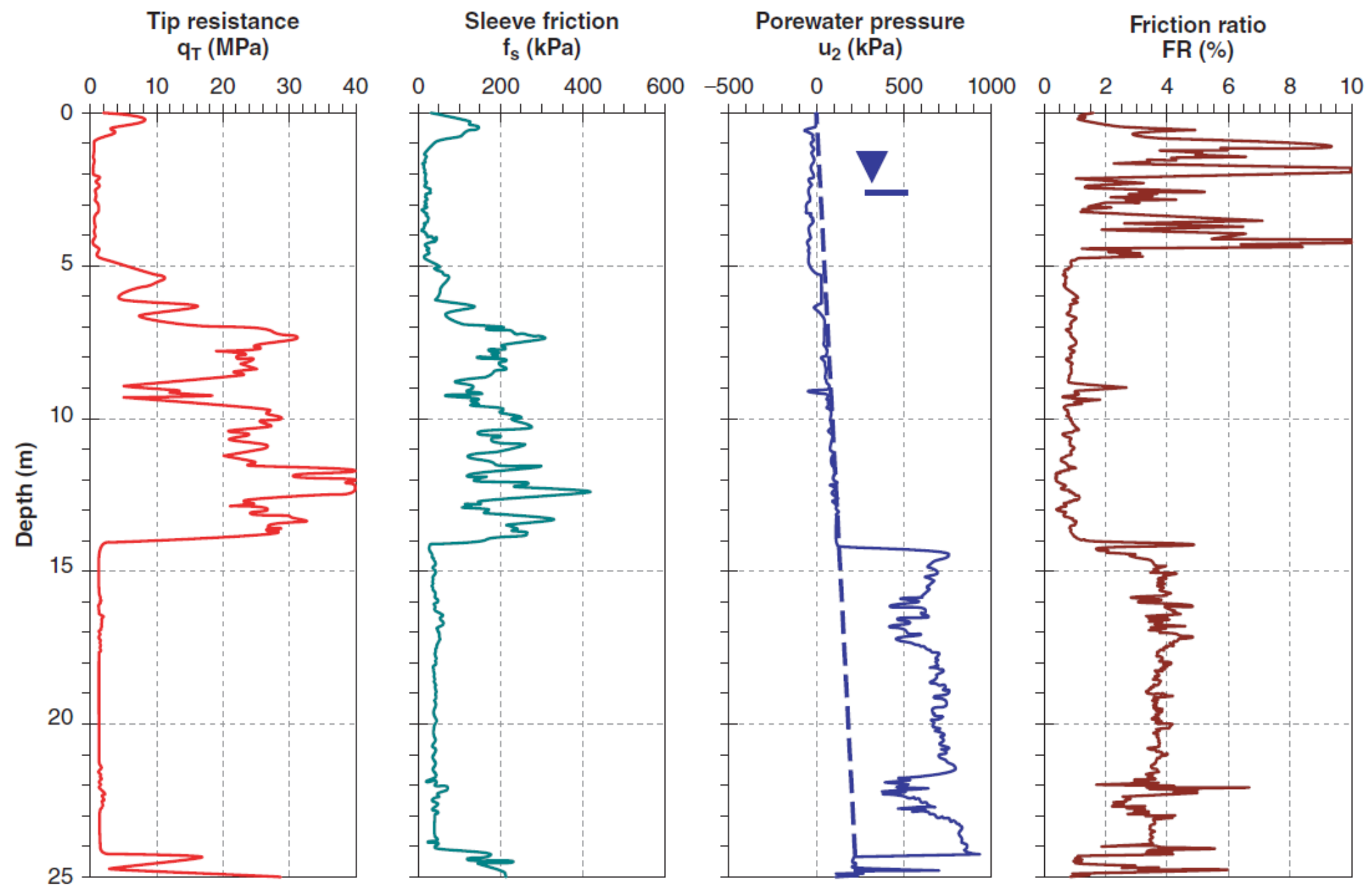
## آزمایش های صحرائی

آزمایش نفوذ مخروط یا **CPT (Cone Penetration Test)**

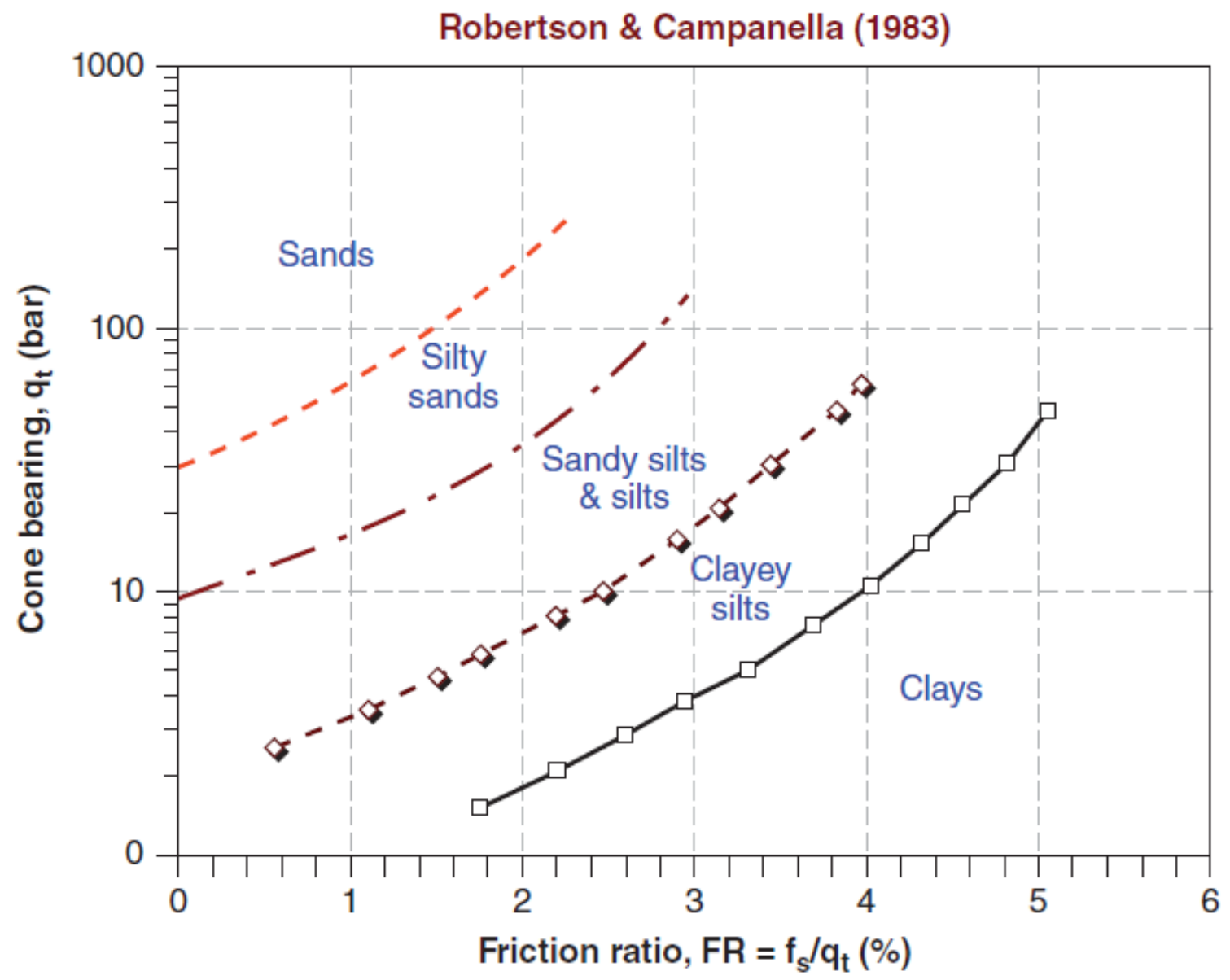
آزمایش های صحرائی

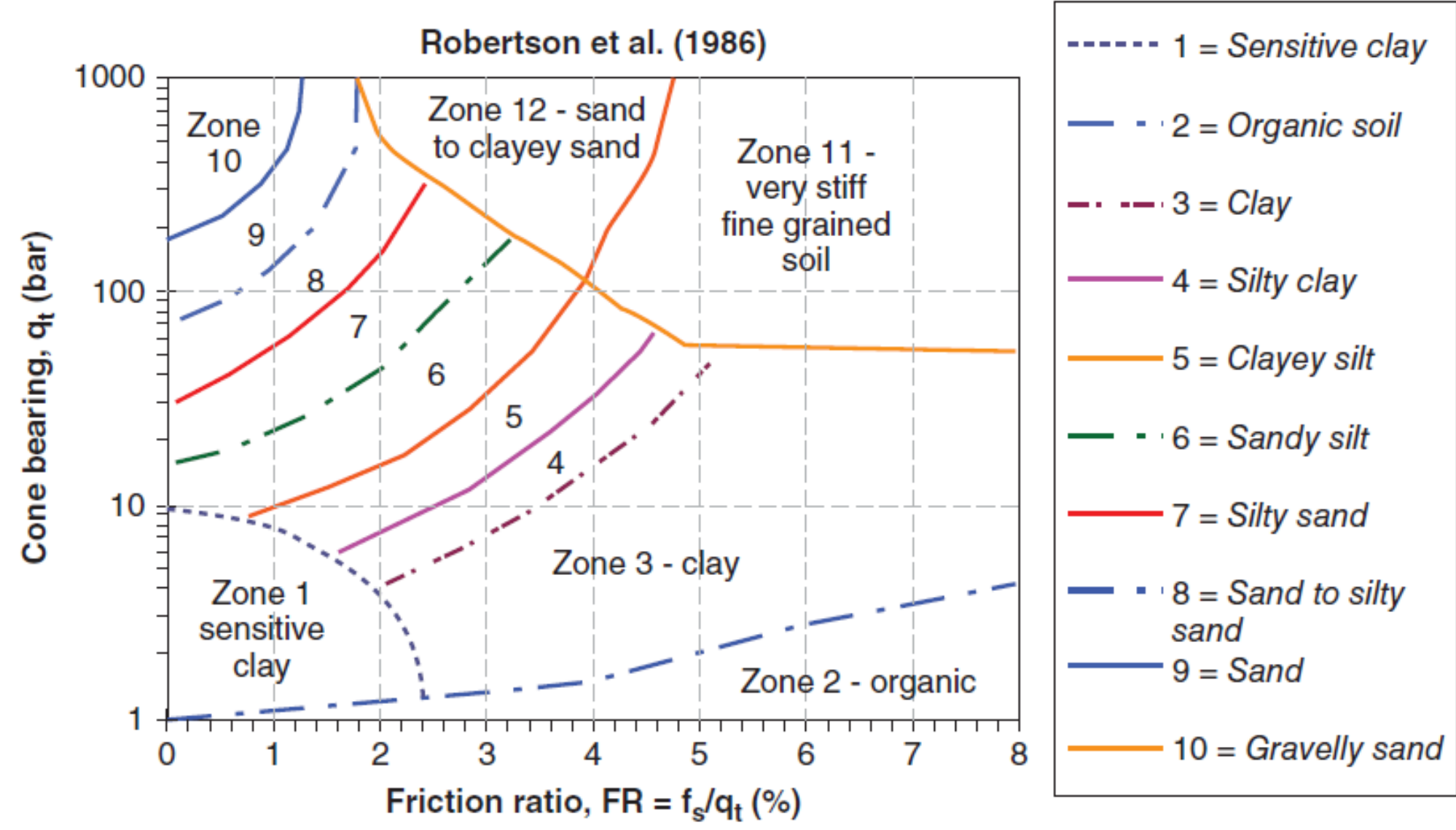
آزمایش نفوذ مخروط یا **CPT** (**C**one **P**enetration **T**est)











## آزمایش های صحرایی

### آزمایش برش پره ای یا برش وین (VST) یا **Vane Shear Test**

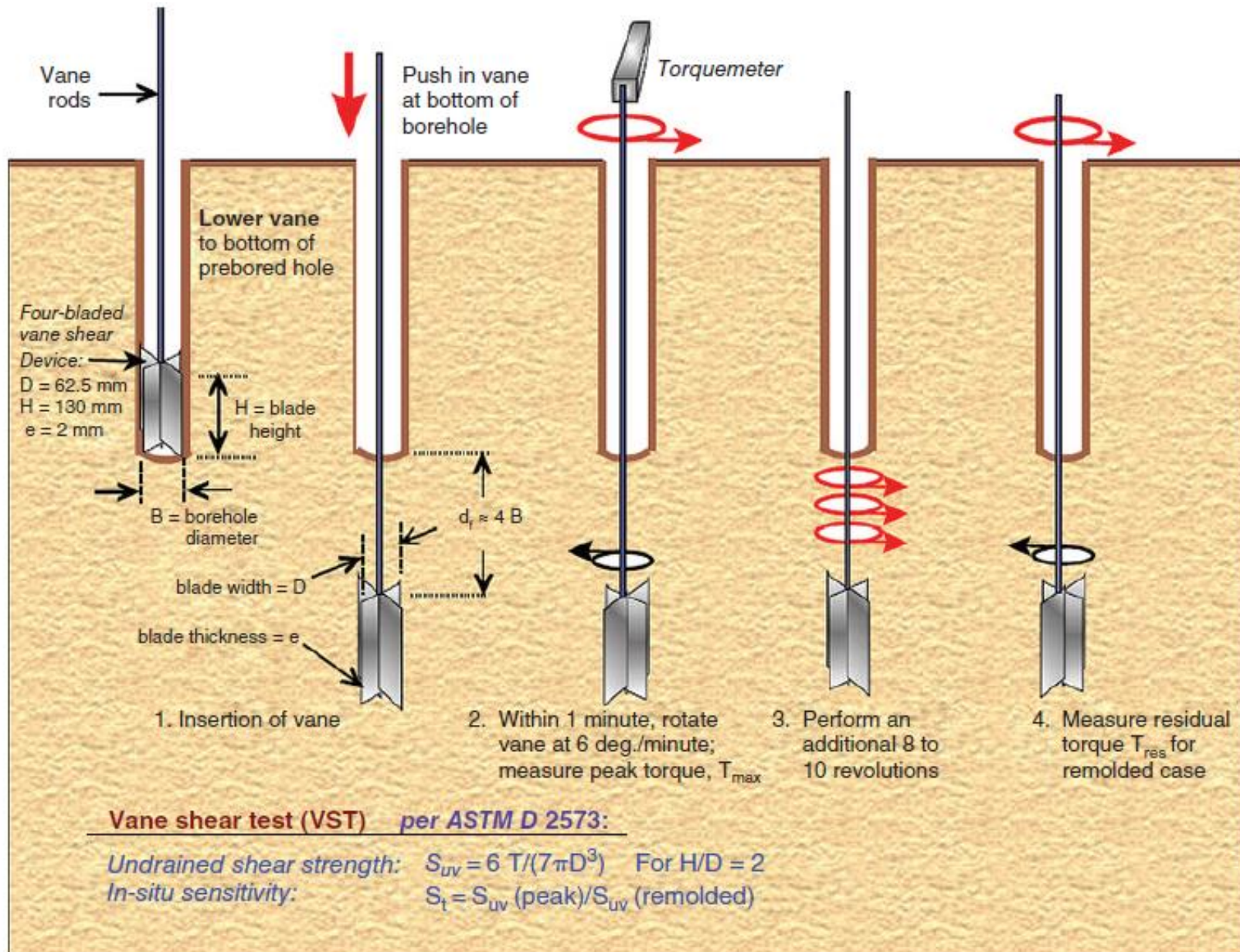
در این آزمایش، یک تیغه برش چهار پره با هندسه ای مشخص و استاندارد در خاک مورد نظر با اعمال یک لنگر چرخشی فرو برده می شود. با اندازه گیری لنگر پیچشی جهت برش و گسیختگی خاک و همچنین هندسه پره می توان مقاومت برشی خاک رسی را اندازه گیری نمود.

✓ این آزمایش هم به صورت صحرایی و هم به صورت آزمایشگاهی انجام می شود.

✓ از آنجا که انجام شدن آزمایش سریع بوده (حدود یک دقیقه تا وقوع گسیختگی) بنابراین جهت اندازه گیری مقاومت برشی زهکشی نشده کاربرد دارد.



## آزمایش های صحرائی آزمایش برش پره (VST)



## آزمایش های صحرائی

### آزمایش برش پره ای یا برش وین (VST) یا **Vane Shear Test**

- بر اساس روابط تعادلی بین لنگر اعمال شده و مقاومت برشی خاک در اطراف پره، پس از گسیختگی مقاومت برشی زهکش نشده خاک ( $S_u$ )، به صورت زیر به دست می آید:

$$S_u = \frac{2T}{\pi D^3 \left( \frac{H}{D} + \frac{\alpha}{2} \right)}$$

$S_u$  = مقاومت برشی زهکش نشده

$T$  = حداکثر لنگر اعمال شده جهت گسیختگی خاک

$H$  = ارتفاع پره

$D$  = قطر پره

$\alpha$  = ضریبی که به توزیع مقاومت برشی وابسته و بر حسب عمق از ۰/۵ تا ۰/۶۶ متغیر است.



## آزمایش های صحرائی آزمایش برش پره (VST)





## آزمایش های صحرایی آزمایش برش پره (VST)



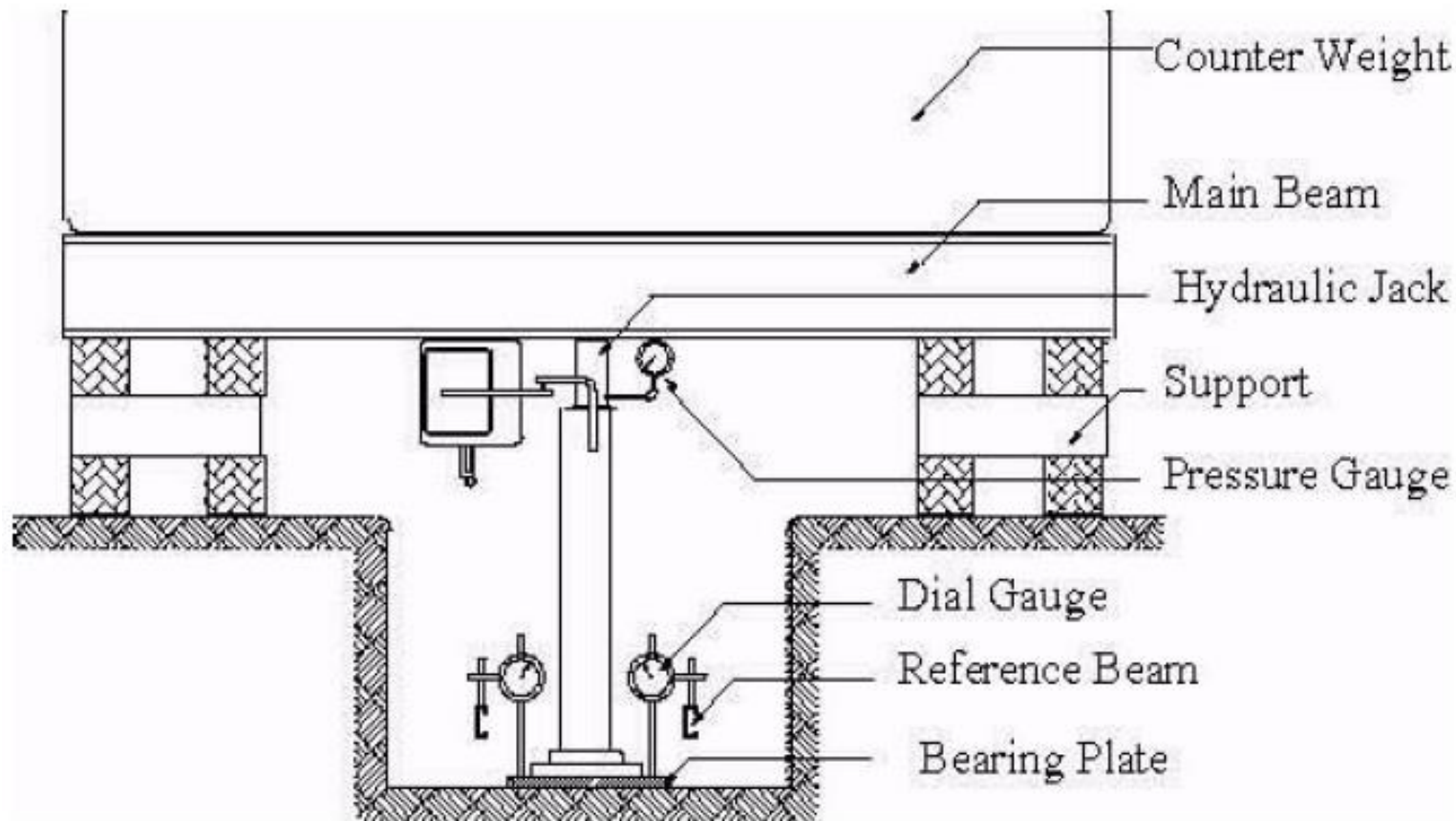
## آزمایش های صحرائی

### آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) (Plate Load Test)

با استفاده از آزمایش بارگذاری صفحه می توان به نحو موثری ظرفیت باربری نهایی و ظرفیت باربری مجاز بر مبنای ملاحظات نشست را تعیین کرد. برای انجام آزمایش بارگذاری صفحه، گودالی به قطر حداقل  $4B$  ( $B =$  قطر صفحه آزمایش) تا عمق  $D_f$  ( $D_f =$  عمق مورد نظر برای شالوده) حفر شده و صفحه در مرکز سوراخ قرار داده می شود. سپس بار توسط جک با افزایش پله ای بر صفحه اعمال می گردد. گام بارگذاری مساوی یک چهارم تا یک پنجم بار نهایی تخمین زده می شود. در شکل ۲-۳۳ طرح شماتیک تمهیدات لازم برای آزمایش ارائه شده است. در هر گام بارگذاری، نشست شالوده توسط گیج اندازه گیری می شود. بار هر گام حداقل به مقدار ۱ ساعت حفظ می گردد. آزمایش بارگذاری صفحه تا لحظه گسیختگی و یا وقوع نشست ۲۵ میلیمتر ادامه پیدا می کند.

## آزمایش های صحرائی

## (Plate Load Test) (PLT) آزمایش بارگذاری صفحه



شکل ۲-۳۲ تجهیزات مورد نیاز آزمایش بارگذاری صفحه



## آزمایش های صحرائی آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) (Plate Load Test)

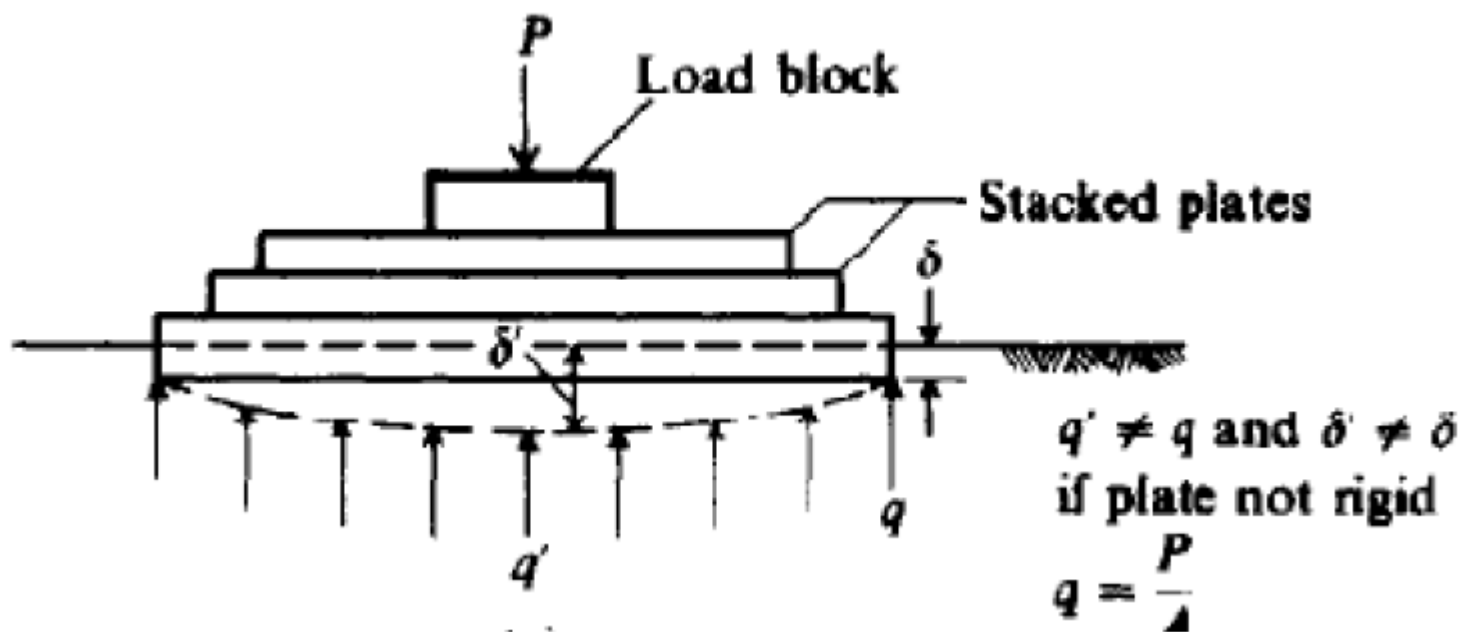




## آزمایش های صحرائی

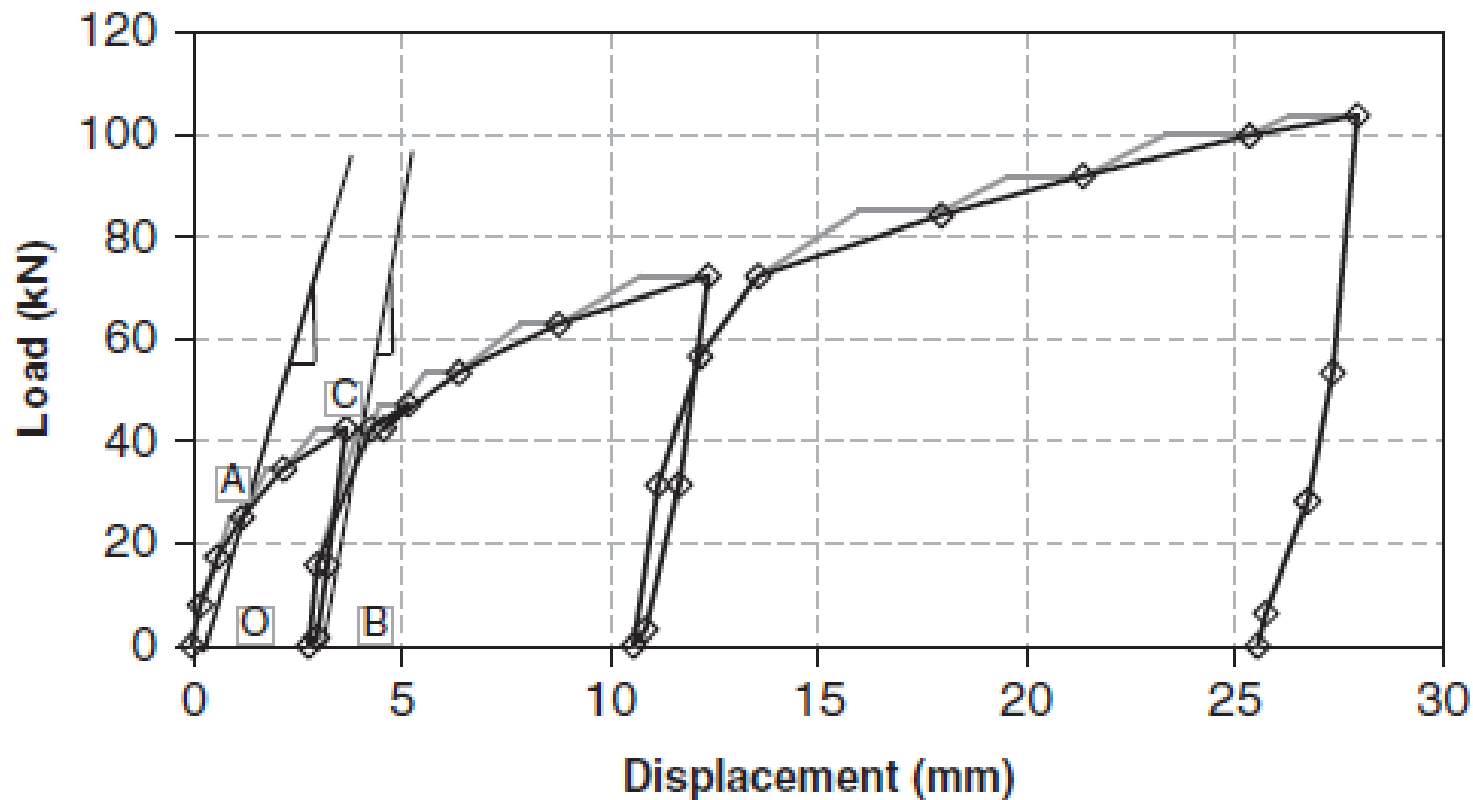
### آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) (Plate Load Test)

آزمایش های صحرائی جهت تعیین ضریب عکس العمل بستر عموماً با صفحات نسبتاً صلبی که دارای قطری در محدوده ۱۲ الی ۳۰ اینچ هستند انجام می شود. با بزرگتر شدن ابعاد صفحه، رسیدن به صلبیت کافی، بعلت لزوم افزایش ضخامت صفحه بارگذاری، مشکل تر خواهد شد.



## آزمایش های صحرائی

## آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) (Plate Load Test)



ضریب عکس العمل بستر

$$K_s = P/\Delta \quad \text{kg/cm}^3$$

modulus of subgrade reaction

## آزمایش های صحرائی

### آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) (Plate Load Test)

از آنجا که ضریب عکس العمل بستر تابع ابعاد ناحیه بارگذاری شده است، بنابراین جهت تخمین مقدار ضریب عکس العمل بستر براساس نتایج تست بارگذاری صفحه، لازم است که مقدار این ضریب برای یک صفحه مربع ای یا دایره ای به قطر ۱ فوت (۰/۳ متر) تعیین شود. سپس با استفاده از روابط مقایسی، نتایج برای پی های با اندازه واقعی تعمیم داده شود (Terzaghi, 1955).

## آزمایش های صحرائی

روش های حفاری و نمونه گیری در مهندسی ژئوتکنیک

