

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد خوراسگان

درس: اصول مهندسی پی

۱- آزمایش‌های برجا

توسط: حسین هاشمی فشارکی

# آزمایش‌های برجا

- کلیات
- رده های ژئوتکنیکی
- مطالعات زیرسطحی (مطالعات ژئوتکنیک)
- آزمایش SPT
- آزمایش CPT
- آزمایش VST
- آزمایش PMT
- آزمایش PLT

## مطالعات زیر سطحی

اهداف شناسائی ها به اهداف پروژه بستگی دارد ولی معمولاً شناسائی ها برای بدست آوردن اطلاعات محلی و آزمایشگاهی برای تعیین موارد زیر است:

- تعیین فشار مجاز خاک
- پیش بینی (برآورد) نشست
- تعیین سطح آب زیر زمینی
- تعیین و حل مسائل مربوط به حفاری مانند استفاده از سپر، خشک کردن آب و غیره
- شناخت مسائل ایجاد شده برای ساختمانها و زمین های مجاور مانند ترک، نشست و غیره
- شناخت مسائل محیطی و راه حل آنها مانند مجاورت با مناطق مسکونی، سروصدا، آلودگی و نظایر آن
- تعیین نوع پی مناسب (سطحی، عمیق و غیره)

## مطالعات زیر سطحی

مهمترین مشخصه های خاک عبارتند از:

- وزن مخصوص خاک ( $\gamma$ )
- زاویه اصطکاک داخلی خاک (مقاومت برشی زهکشی شده) ( $\phi$ )
- مقاومت برشی زهکشی نشده خاک ( $C_u$ )
- مدول الاستیسیته خاک ( $E$ )
- سطح آب زیرزمینی

## رده های ژئوتکنیکی (مبحث ۷- پی و پی سازی)

- رده ژئوتکنیکی ۱ (سازه های کوچک و غیر پیچیده و استفاده از تجربیات ژئوتکنیکی مشابه همراه با قضاوت مهندسی)

الف) ساختمانهای تا ۴ طبقه و یا ارتفاع کمتر از ۱۲ متر با شرایط زیر:

- I. اهمیت کم تا متوسط بر اساس مبحث ۶
- II. حداکثر عمق گودبرداری ۲/۵ متر
- III. عدم وجود مسایل خاص از قبیل لغزش، نشست، خاک دستی، وجود خاک مساله دار
- IV. مساحت اشغال کمتر از ۳۰۰ متر مربع

ب) دیوارهای نگهبان در خاکبرداریهایی با حداکثر عمق ۲ متر

تذکر: در انبوه سازی یا شهرک سازی نمی توان از رده ۱ ژئوتکنیکی استفاده نمود. و بایستی از رده های ۲ یا ۳ استفاده شود.

## رده های ژئوتکنیکی (مبحث ۲- پی و پی سازی)

• رده ژئوتکنیکی ۲ (این رده شامل سازه های متداول که در معرض خطر پذیری غیر عادی نبوده و دشواری ویژه ای ندارند و استفاده از آزمونهای صحرایی و آزمایشگاهی)

I. ساختمانهای معمولی تا ۱۵ طبقه که در معرض خطرات احتمالی غیر عادی و شرایط دشوار ژئوتکنیکی قرار ندارند.

I. ساختمانهای با حداکثر دو طبقه زیر زمین یا با عمق گودبرداری کمتر از ۶ متر

II. ساختمانهایی که بر روی خاکریزهای مهندسی ساخته می شود.

III. دیوارها و دیگر سازه های نگهدارنده آب یا خاک تا ارتفاع کمتر از ۶ متر

## رده های ژئوتکنیکی (مبحث ۲- پی و پی سازی)

• رده ژئوتکنیکی ۳ (سازه هایی که در چهارچوب رده های ۱ و ۲ قرار نمی گیرند و

در این رده نیاز به بررسیهای ژئوتکنیکی گسترده تری نسبت به رده ۲ می باشد)

I. کلیه ساختمانها با بیش از ۱۵ طبقه یا ارتفاع بیشتر از ۵۰ متر

II. ساختمانهای با بارهای غیر عادی، برجها و ساختمانهای بلند

III. ساختمانهای با زیرزمینهای بیشتر از ۲ طبقه

IV. سازه های در معرض در شرایط غیر عادی و دشوار از نظر ساختگاه

V. زمینهایی که در آنها به دلیل پایین آمدن سطح آب زیرزمینی و یا زهکشی های موقت و دائم، نشست و جابجایی و حرکات قابل توجه در خاک ایجاد شده که سازه های مجاور در معرض خطر ناپایداری قرار می گیرند.

I. گودبرداریهایی که از نظر عمق و ساختمانهای مجاور به توجه ویژه ای نیاز دارند.

## بررسی های مقدماتی

- تهیه نقشه توپوگرافی (تهیه پروفیل‌های تحت الارضی، مطالعات زمین لغزش) و عکسهای هوایی و هیدرولوژی منطقه
- شناساییهای میدانی و جمع آوری اطلاعات مربوط به بررسیهای پیشین و بررسی ساختمانها و حفاریهای همجوار
- تهیه نقشه زمین شناسی مهندسی (تعیین گونه یا واحد زمین شناسی و اطلاعات مربوطه)
- جمع آوری اطلاعات مربوط به مخاطرات ژئوتکنیکی (نقشه های ریز پهنه بندی)





# عملیات اکتشافی ژئوتکنیک (Site Investigation)

معمولاً در پروژه های مختلف ۰/۵٪ تا ۱٪ از هزینه کل پروژه ، صرف مطالعات ژئوتکنیک می شود. بنابراین حذف مطالعات ژئوتکنیکی به لحاظ اقتصادی، اشتباه می باشد.

## ❖ اکتشافات زیر سطحی

- حفاری (روش مستقیم)
- روشهای ژئوفیزیکی (روش غیر مستقیم)

## • اهداف اصلی حفاری

- شناسایی نوع مصالح زمین و معین کردن گسترش عمودی و افقی آنها
- شناسایی شرایط آبهای زیرزمینی و نفوذ پذیری لایه ها
- نمونه برداری از قسمتهای مختلف زمین جهت انجام آزمایشات مختلف
- انجام آزمونهای درجا

## عمق گمانه های حفاری

$$D_b = 3S^{0.7} \quad (\text{برای سازه‌های فولادی سبک و بتنی کم عرض})$$

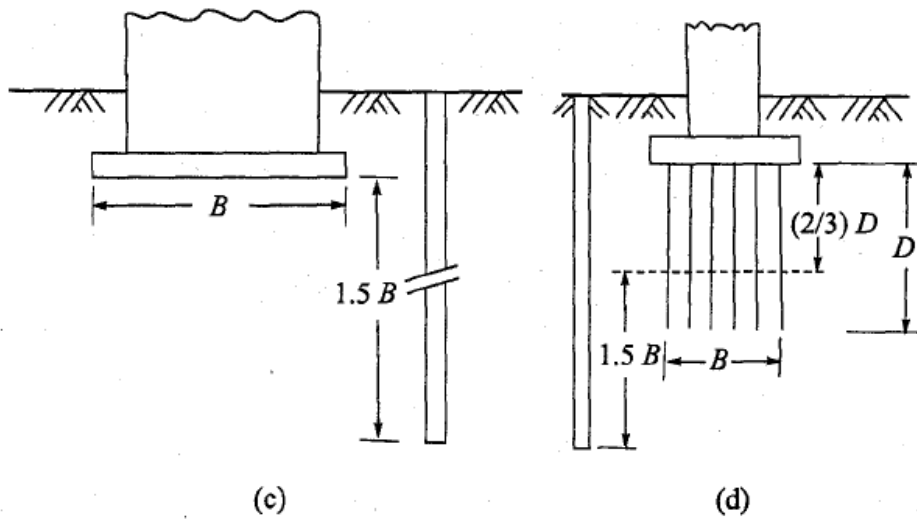
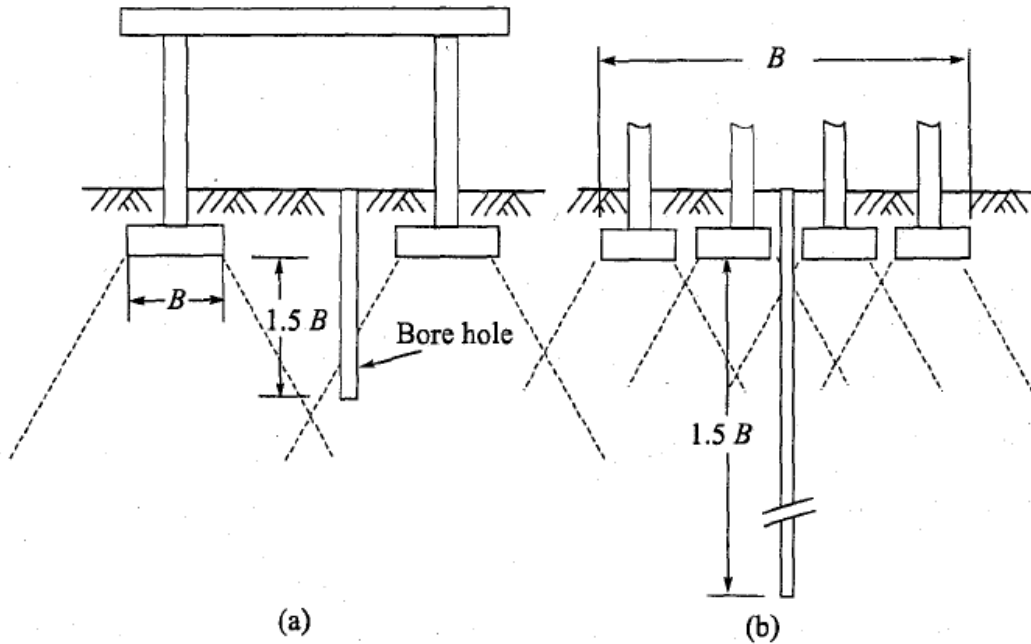
و

$$D_b = 6S^{0.7} \quad (\text{برای سازه‌های فولادی سنگین و بتنی عریض})$$

جدول ۲-۲ - فواصل تقریبی گمانه‌ها

نوع پروژه	فاصله	
	(m)	(ft)
ساختمان چندطبقه	10-30	30-100
ساختمان صنعتی یک طبقه	20-60	60-200
شاهراه	250-500	800-1600
مجموع‌های مسکونی	250-500	800-1600
سدها بندها	40-80	130-260

# عمق گمانه های حفاری



## عمق گمانه های حفاری

- عمق شناسائی ها برای پی های مربع و مستطیل ( $L < 2B$ ) معمولا حدود دو برابر و در پی های نواری ( $L > 5B$ ) حدود چهار برابر عرض پی است ( در این عمق ها تنش اضافی به حدود ۱۰٪ تنش اضافی ناشی از بار پی در سطح خاک می رسد). همچنین:
- در صورتیکه در عمقی کمتر از عمق فوق به سنگ بستر برسیم، می توانیم مقداری در سنگ بستر پیش برویم تا از پیوستگی آن مطمئن شویم و سپس شناسائی را قطع کنیم
  - اگر لایه ای از خاک خیلی تراکم پذیر در عمق بیش از دو برابر عرض پی داشته باشیم ممکن است لازم باشد شناسائی را تا عمق بیشتر ادامه دهیم
  - برای بررسی روانگونی خاکها باید صرفنظر از عرض پی، شناسائی را حداقل تا پانزده متر عمق ادامه دهیم
- برای پی های سطحی معمولا برای هر ۵۰۰۰ فوت مربع یک گمانه لازم است (یعنی گمانه ها حداکثر حدود ۲۰ متر از هم فاصله داشته باشند).

شناسائی‌ها معمولاً شامل انجام کارهای شناسائی در محل (In Situ) و همچنین نمونه برداری برای انجام کارهای آزمایشگاهی است. کارهای شناسائی در محل میتواند شامل:

- حفر چاهک‌های شناسائی (Test pits) و یا ترانشه‌های شناسائی (Test trench)
- حفر گمانه‌های شناسائی (Test holes)
- انجام آزمایشات در محل (In-situ tests) مانند آزمایشات PLT, SPT, CPT, FVT، لرزه نگاری (Seismicity) و مقاومت سنجی (Resistivity)
- نمونه برداری (Sampling) از خاک و سنگ

چاهکها و ترانشه های شناسائی معمولا بیشترین و بهترین اطلاعات را از لایه های زیرین سطح زمین میدهند ولی حفر آنها وقت گیرتر و پرهزینه تر و عمق شناسائی بوسیله آنها محدود است.

● چاهکهای شناسائی ممکن است بوسیله بیل مکانیکی یا مقنی با مقطع دایره، مربع و یا مربع مستطیل حفر شوند. عرض مقطع آنها معمولا ۱/۵ تا ۳ متر و عمق حداکثر آنها معمولا ۸ متر است

● ترانشه های شناسائی معمولا بوسیله بیل مکانیکی حفر شوند. عرض مقطع آنها معمولا ۱ تا ۲ متر، طول آنها دلخواه، و عمق حداکثر آنها معمولا از چاهکهای شناسائی کمتر است. مزیت آنها نسبت به چاهکهای شناسائی اینست که اطلاعات پیوسته از لایه بندی خاک می دهند.

# حفاری چاهک







## حفاری چاهک



گمانه های شناسائی معمولا سوراخ هائی با قطر کم هستند که ممکن است با استفاده از وسائل حفاری یا نیروی انسان در زمین حفر شوند. معمولترین روشهای حفر گمانه های شناسائی عبارتند از:

- حفاری با استفاده از آگرهای حلزونی (Augering)
- حفاری دورانی (Rotary drilling)
- حفاری ضربه ای (Percussion drilling)
- حفاری با استفاده از چکش (Hammer drilling)

## حفاری با ماشین





## نمونه گیری با کوربارل



## نمونه گیری به روش مغزه گیری ممتد

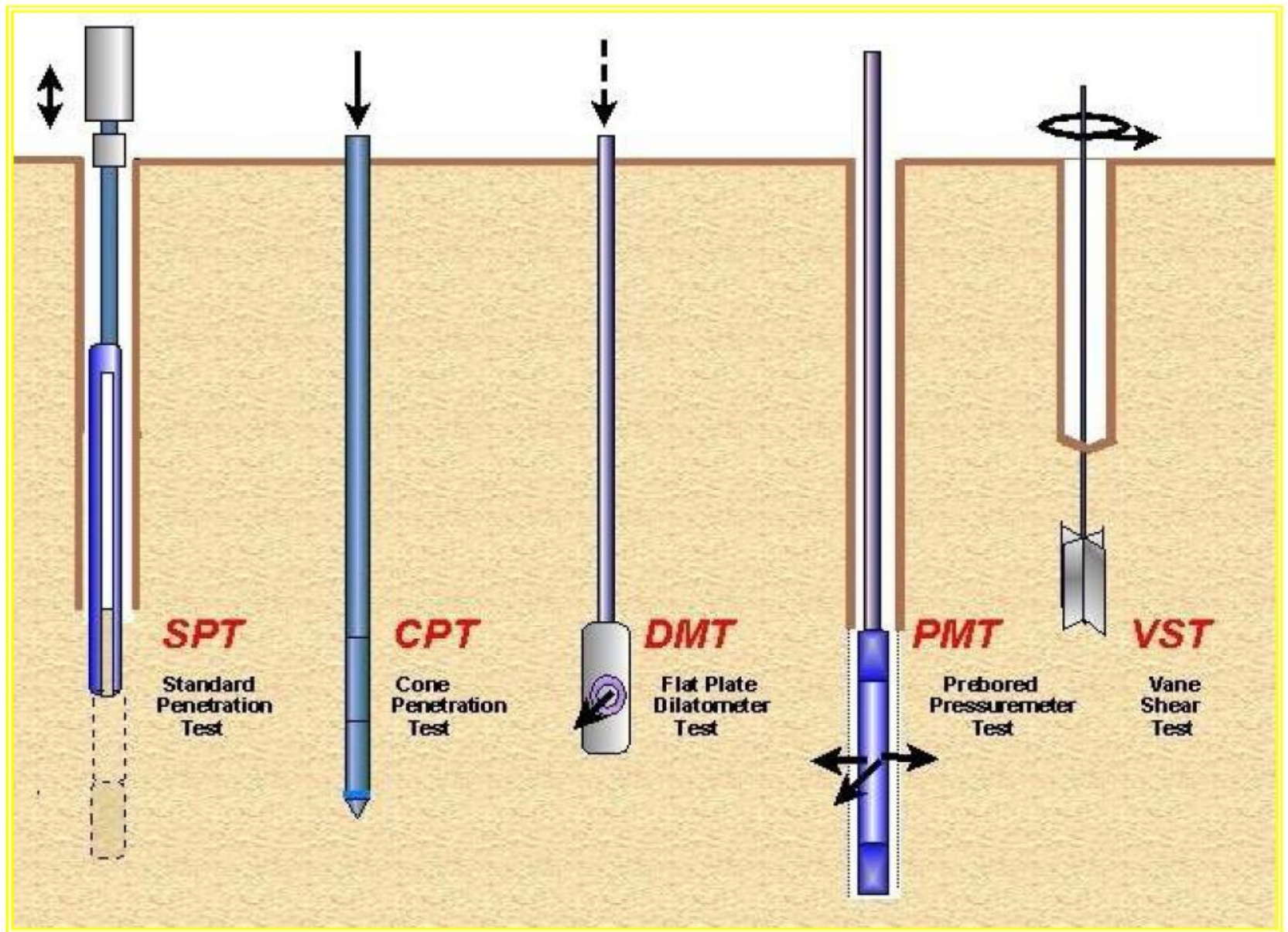
## آزمایشهای درجا (Insitu Tests)

- مقاومت یا تغییر شکل پذیری خاک در شرایط واقعی تری اندازه گیری می شود.
- در موارد زیر اخذ نمونه دست نخورده دشوار است:
  - رسهای حساس
  - خاکهای ماسه ای و شنی
  - رسهای ترکدار
- هدف از انجام آزمایشهای درجا
  - تعیین پارامترهای مقاومتی
  - تعیین پارامترهای تغییر شکل
  - تعیین نفوذ پذیری

# آزمایشهای درجا (Insitu Tests)







آزمایشهای درجا را می‌توان به دو گروه پیوسته<sup>۱</sup> و ویژه<sup>۲</sup> تقسیم نمود. آزمایشهای پیوسته عموماً از نوع نفوذی بوده و غالباً برای مطالعات سریع و اقتصادی می‌باشند. به کمک روابط تجربی می‌توان پارامترهای ژئوتکنیکی خاک را در ابتدا بصورت کیفی و سپس کمی از داده‌های این آزمایشها ارزیابی نمود. آزمایشهای ویژه همانطور که از نامشان پیدا است برای اهداف و اندازه‌گیری پارامتر بخصوصی از خاک و سنگ بکار گرفته شده و اغلب کندتر و پرهزینه‌تر از آزمایشهای پیوسته و نفوذی هستند. این آزمایشها هنگامی انجام می‌شوند که حصول پارامتر خاصی از مقاومت و یا سختی خاک مد نظر باشد. آزمایشهای پیوسته و ویژه عموماً در مطالعات ژئوتکنیک بعنوان مکمل یکدیگر استفاده می‌شوند.

از بین آزمایشهای درجای رایج در مهندسی عمران می توان موارد زیر را نام برد:

Standard Penetration Test, SPT

• آزمایش نفوذ استاندارد

Cone Penetration Test, CPT

• آزمایش نفوذ مخروط

Vane Shear Test , VST

• برش پره ای وین

Pressuremeter Test, PMT

• آزمایش فشارسنجی یا پرسیومتری

Dilatometer Test, DMT

• آزمایش اتساع سنجی

Plate Load Test, PLT

• آزمایش بارگذاری صفحه ای

California Bearing Ratio, CBR

• آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا

in-situ Permeability Test

• آزمایشهای نفوذپذیری در محل

Geophysics & Seismic Tests

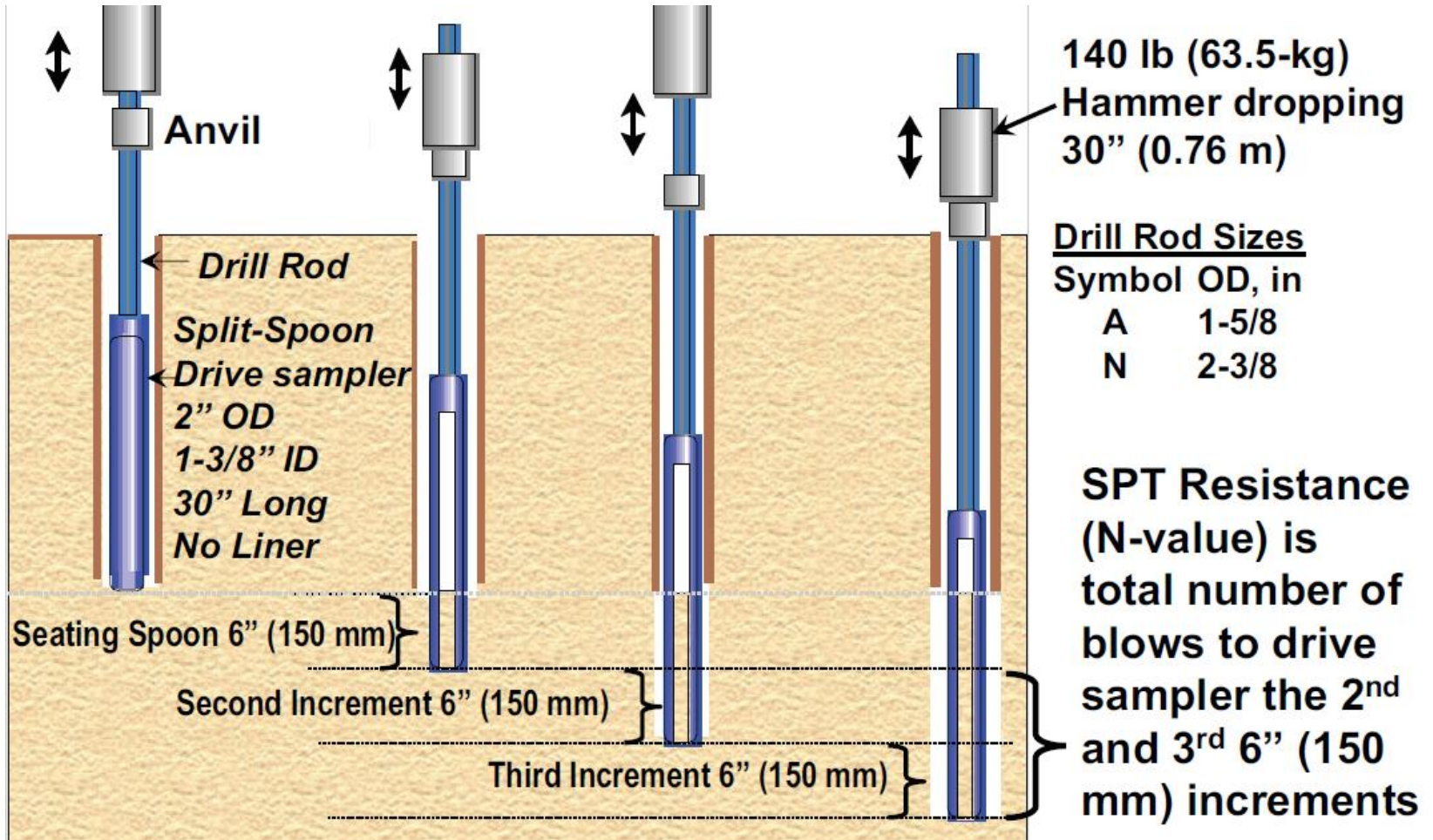
• آزمایشهای ژئوفیزیک و لرزه نگاری



## آزمایش SPT



# انجام آزمایش SPT





## انجام آزمایش SPT

● در این آزمایش با استفاده از سقوط مکرر وزنه ای 140 پوندی (63.5 kg) از ارتفاع 30 اینچ (0.76 m)، نمونه گیر استاندارد (با قطر خارجی 2 اینچ) را به مقدار 18 اینچ (45 سانتیمتر) بدرون خاک فرو می برند.

● تعداد ضربات لازم برای نفوذ هر 6 اینچ (15 سانتیمتر) جداگانه معین می شود و مجموع تعداد ضربات لازم برای 12 اینچ (30 سانتیمتر) آخر را با عدد نفوذ استاندارد (N) نشان میدهند.

● از نظر تئوریک، انرژی منتقل شده به نمونه گیر با هر ضربه عبارتست از:

$$E = 63.5kg \times 9.807m / s^2 \times 0.762m = 474.5(N - m)$$

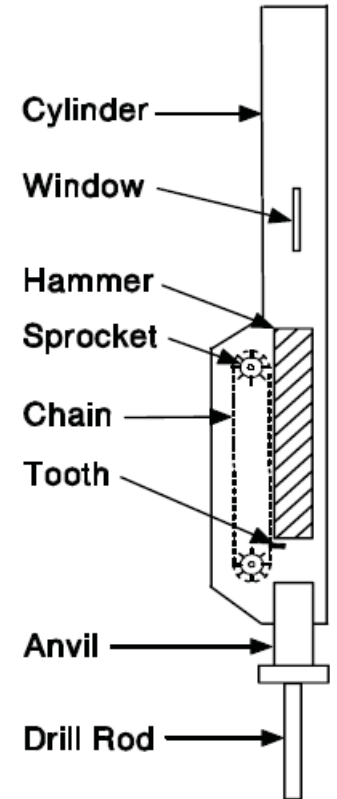
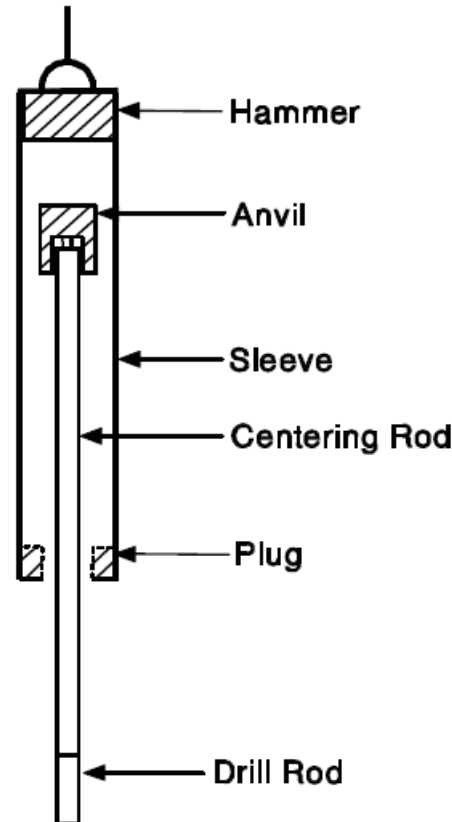
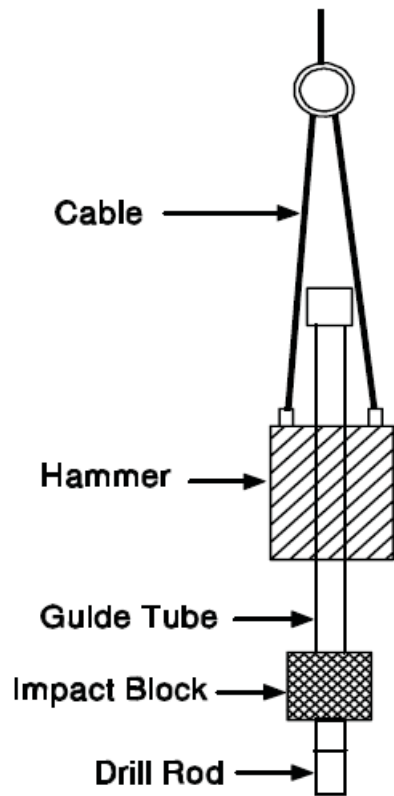
ولی در عمل، انرژی واقعی منتقل شده بطور متوسط حدود 60% انرژی تئوریک است

● آزمایش در کف گمانه ای که معمولا با استفاده از آگر حفر شده است انجام می شود

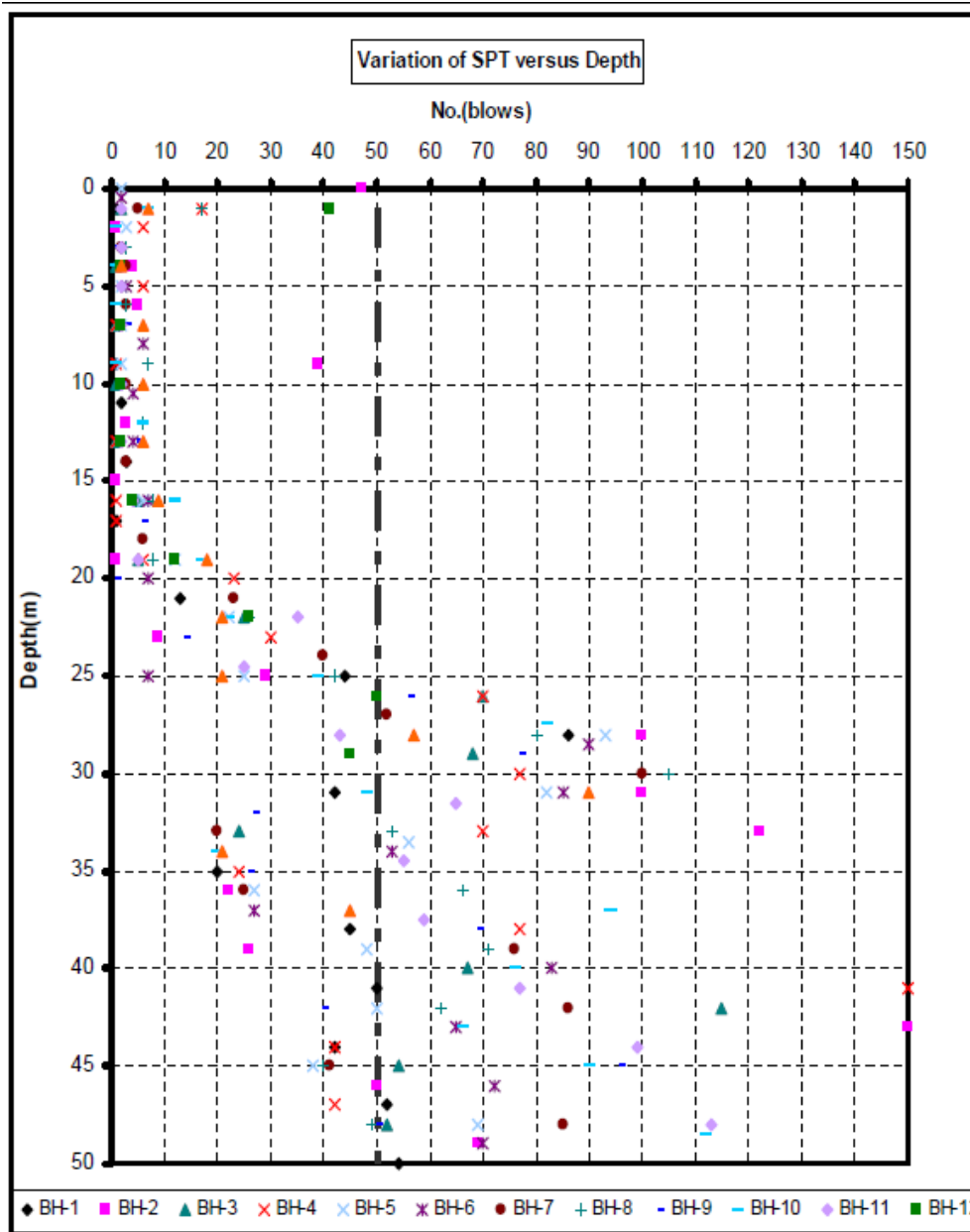
# Donut

# Safety

# Automatic



# نمونه نتایج SPT



## ارتباط مشخصات خاک با نتایج

CPT

Meyerhoff (1956)

State of Packing	Relative Density	Standard Penetration Resistance (N)	Static Cone Resistance ( $q_c$ )	Angle of Internal Friction ( $\phi'$ )
	Percent	Blows / ft	Tsf or kgf/cm <sup>2</sup>	Degrees
Very Loose Loose Compact Dense Very Dense	< 20	< 4	< 20	< 30
	20 – 40	4 – 10	20 – 40	30 – 35
	40 – 60	10 – 30	40 – 120	35 – 40
	60 – 80	30 – 50	120 – 200	40 – 45
	> 80	> 50	> 200	> 45

## ارتباط مشخصات خاک با نتایج

SPT

# Correlations Based on N-values

Sands (Reliable)		Silts and Clays (Unreliable)	
$N_{60}$	Relative Density	$N_{60}$	Consistency
0-4	Very loose	0-2	Very soft
5-10	Loose	2-4	Soft
11-30	Medium Dense	5-8	Medium
31-50	Dense	9-15	Stiff
> 50	Very dense	16-30	Very stiff
		Over 30	Hard

## مزایا و معایب آزمایش SPT

### مزایا:

- انجام آن آسان بوده و تکنولوژی بالائی نمی خواهد
- در ضمن آزمایش نمونه هم از خاک تهیه می شود
- در بسیاری خاکها و حتی در سنگ نرم قابل انجام است.
- وسایل انجام آن در بسیاری نقاط جهان در دسترس است
- تعداد زیادی جدول، نمودار و غیره برای تفسیر نتایج آن وجود دارد

### معایب:

- در رسهای نرم، لای و خاکهای شنی و قلوه سنگی نتایج آن مناسب نیست
- نتیجه آزمایش معیاری خیلی تقریبی از خصوصیات خاک است
- تکرار پذیری آن خوب نیست و خطاهای مختلفی در انجام آن پیش می آید



## معمولترین خطاها در انجام آزمایش SPT

- تغییرات میزان سقوط وزنه
- قرار گرفتن سنگ یا قلوه سنگ در جلو پیشرو
- قرار ندادن نمونه گیر در تماس مناسب با کف گمانه
- استفاده از پیشروهای صدمه دیده
- تمیز نکردن مواد سست کف گمانه
- روانگونی ناحیه اطراف محل آزمایش و اثر آب
- تداخل سقوط وزنه با طناب ها یا شیلنگهای اطراف

## تصحیحات آزمایش SPT

برای استاندارد کردن آزمایش SPT، ضرایب تصحیحی را در عدد  $N_m$  که از آزمایش بدست می آید ضرب می کنند. این ضرایب اثرات زیر را در نظر میگیرند:

● سربار ناشی از لایه های فوقانی خاک ( $C_N$ )

● انرژی منتقل شده به نمونه گیر ( $C_E$ )

● قطر گمانه ( $C_B$ )

● طول میله متصل به گمانه ( $C_R$ )

● نوع نمونه گیر ( $C_S$ )

تصحیح برای اثر سربار و انرژی معمولا بیشتر از بقیه اعمال می شود.

## تصحیحات آزمایش SPT

$$C_N = (P_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$$

● تصحیح برای سربار:

که در آن  $P_a$  فشار اتمسفریک (100 kPa) و  $\sigma'_{v0}$  تنش موثر عمودی در محل آزمایش است

● انرژی منتقل شده به نمونه گیر را می توان با استفاده از نسبت انرژی  $E_r$

(Energy ratio) که نسبت انرژی واقعی منتقل شده به نمونه گیر به انرژی

تئوریک است (بصورت درصد) نشان داد. در صورتیکه  $N_1$  و  $E_{r1}$  مربوط به یک آزمایش و  $N_2$  و  $E_{r2}$  مربوط به آزمایش دیگری در همان محل باشد باید داریم:

$$E_{r1} \times N_1 = E_{r2} \times N_2$$

$$N_2 = \frac{E_{r1}}{E_{r2}} \times N_1$$

بنابراین:

**TABLE 2.** Corrections to SPT (Modified from Skempton 1986) as Listed by Robertson and Wride (1998)

Factor	Equipment variable	Term	Correction
Overburden pressure	—	$C_N$	$(P_a/\sigma'_{vo})^{0.5}$
Overburden pressure	—	$C_N$	$C_N \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	$C_E$	0.5–1.0
Energy ratio	Safety hammer	$C_E$	0.7–1.2
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hammer	$C_E$	0.8–1.3
Borehole diameter	65–115 mm	$C_B$	1.0
Borehole diameter	150 mm	$C_B$	1.05
Borehole diameter	200 mm	$C_B$	1.15
Rod length	<3 m	$C_R$	0.75
Rod length	3–4 m	$C_R$	0.8
Rod length	4–6 m	$C_R$	0.85
Rod length	6–10 m	$C_R$	0.95
Rod length	10–30 m	$C_R$	1.0
Sampling method	Standard sampler	$C_S$	1.0
Sampling method	Sampler without liners	$C_S$	1.1–1.3

## تصحیحات SPT

$$:(N_1)_{60}$$

$N$  اصلاح شده برای  
سربار یک آتمسفر و  
انرژی 60% تئوریک

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \quad (8)$$

## کاربرد و اهمیت آزمایش SPT

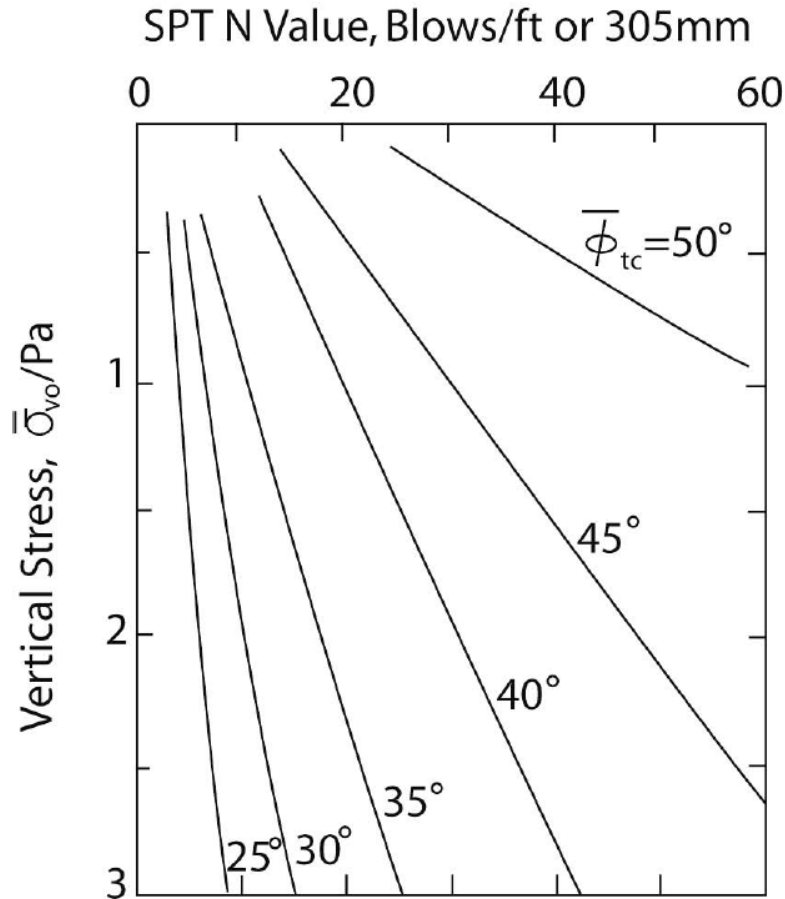
Soil Type	$D_r$	$\Psi$	$K_o$	OCR	$S_t$	$s_u$	$\phi$	E,G	M	$G_0$	k	$c_h$
Sand	3-4	4		5			3-4	4-5		4-5		
Clay		5	5	4	5	3-4	5	4-5	5	4-5	5	5

1 = high; 2 = high to moderate; 3 = moderate; 4 = moderate to low; 5 = low;  
Blank = no applicability

Type of Soil	Pile Design	Bearing Capacity	Settlement	Compaction Control	Liquefaction
Sand	2 – 3	1 – 2	2 – 3	2 – 3	1 – 2
Clay	3 – 4	3 – 4	4 – 5	4 – 5	1 – 2
Intermediate Soils	3 – 4	2 – 3	3 – 4	4 – 5	1 – 2

Reliability rating: 1 = High; 2 = High to moderate; 3 = Moderate; 4 = Moderate to low;  
5 = low

## کاربرد نتایج آزمایش SPT در تعیین مشخصات خاک



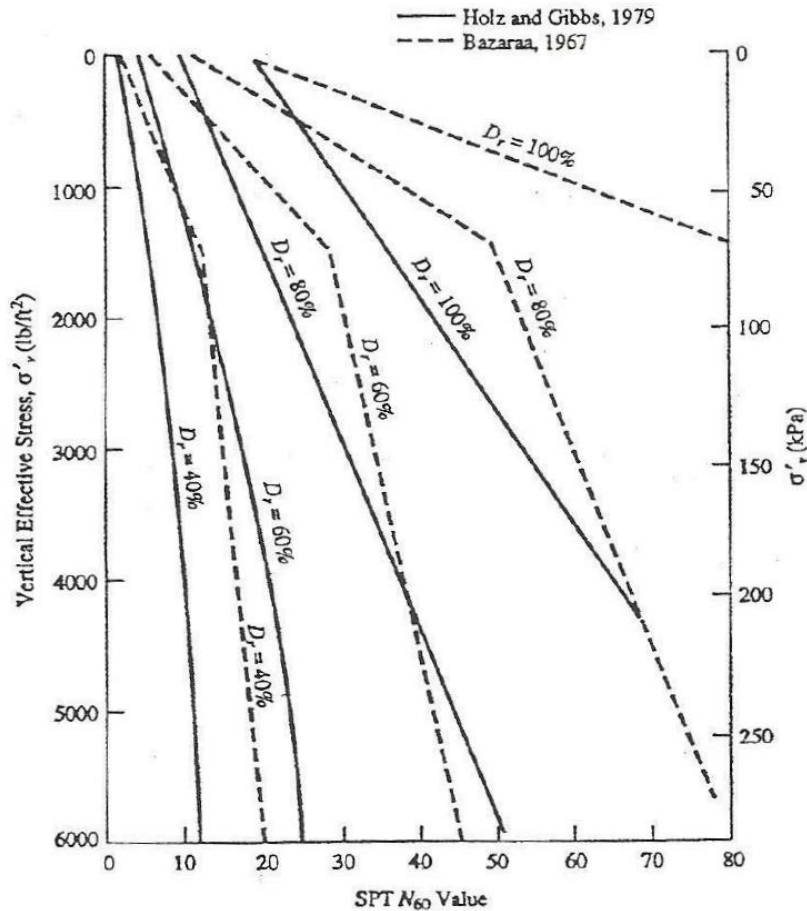
Hatanaka and Uchida (1996);  $\phi' = \sqrt{20N} + 20^\circ$

$$\phi' = \sqrt{12N_{45}} + 20^\circ$$

A lower bound for the above equation is given as;

$$\phi' = \sqrt{12N_{45}} + 15^\circ$$

# کاربرد نتایج آزمایش SPT در تعیین مشخصات خاک



$$D_r^2 = (N_1)_{60} / C_P C_A C_{OCR}$$

Where the factors for particle size ( $C_P$ ), age ( $C_A$ ) and overconsolidation ratio ( $C_{OCR}$ ) are given by the following:

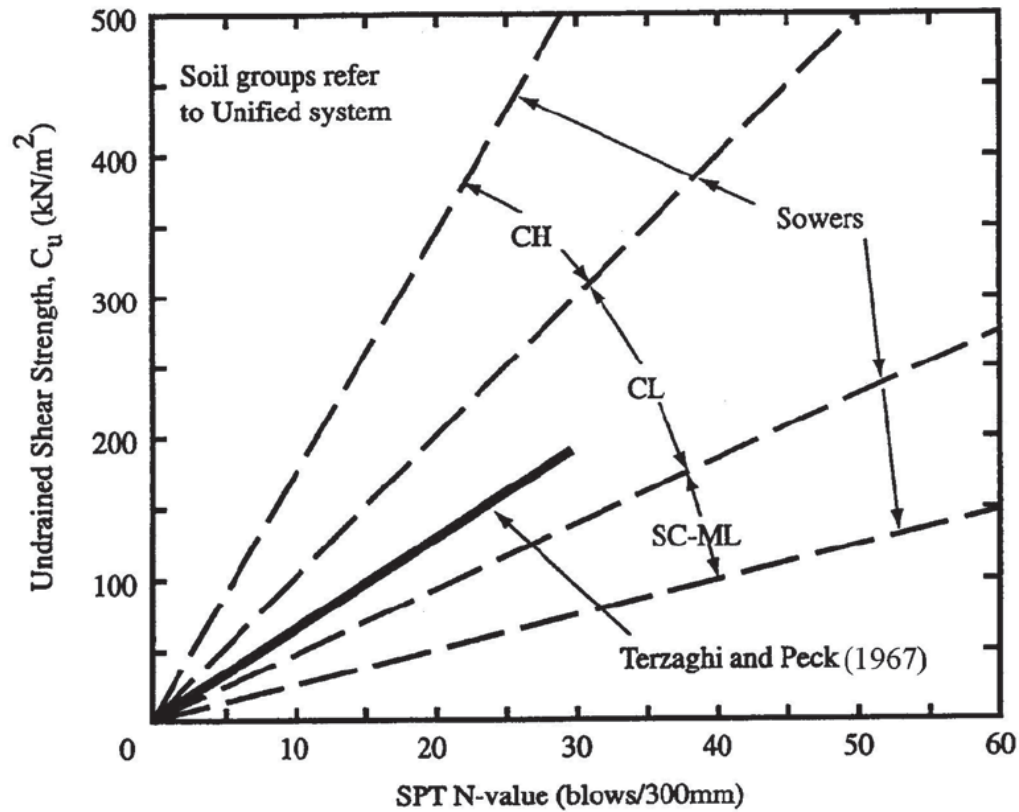
$$C_P = 60 + 25 \log D_{50} \quad (D_{50} \text{ in mm})$$

$$C_A = 1.2 + 0.05 \log (t/100) \quad (t \text{ in years})$$

$$C_{OCR} = OCR^{0.18} \quad (OCR = \sigma'_p / \sigma'_{vo})$$

Relative Density,  $D_r$ , determined from SPT  $N_{60}$  and the vertical effective stress,  $\sigma'_v$ , at the test location (Adapted from USBR, 1974; Bazaraa, 1967)

*Approximate Correlation between Undrained Shear Strength and SPT-N values (After Sowers, 1979)*

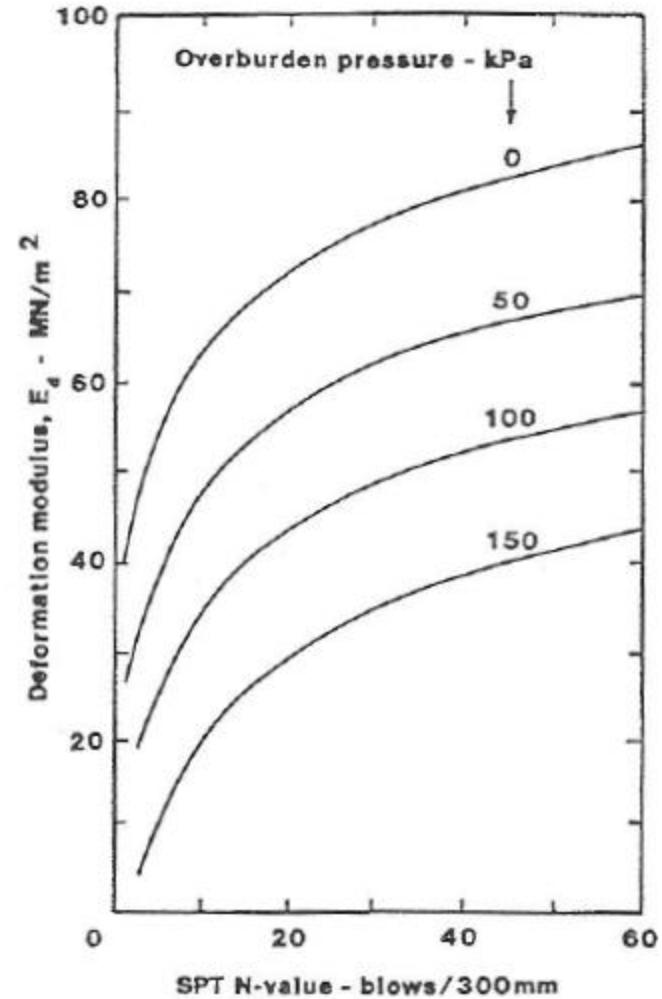
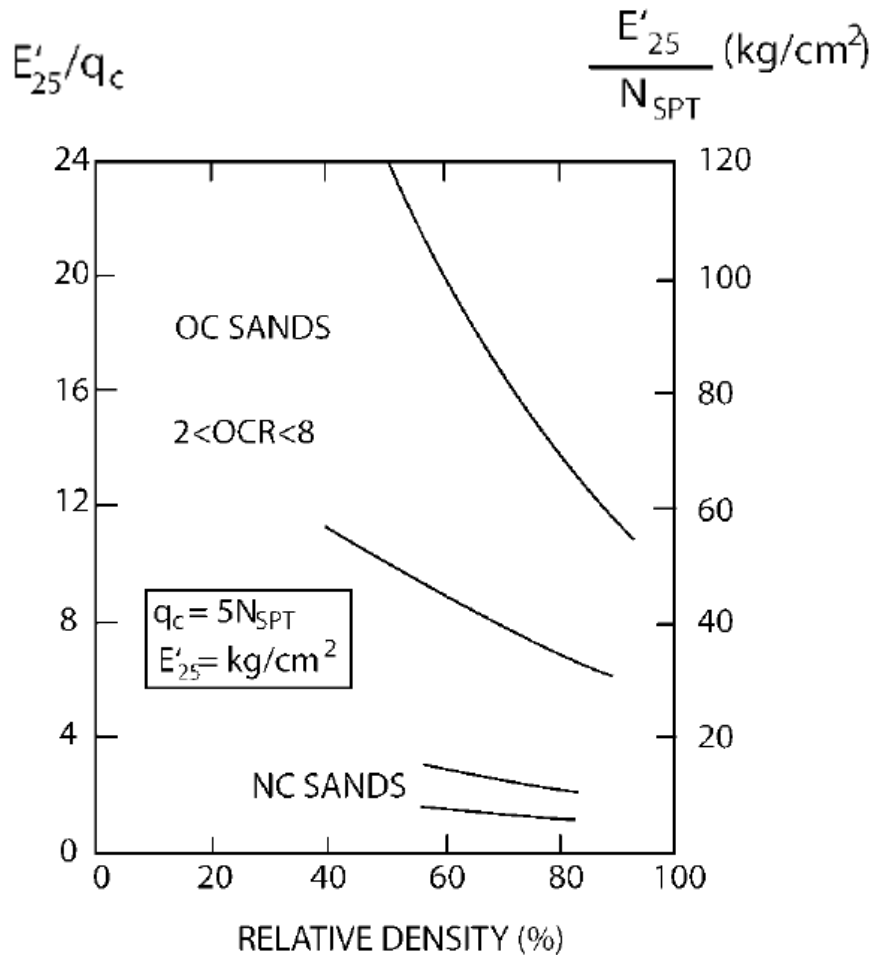


*Table 4. Stroud (1989) recommendation for  $c_u$  ( $c_u = f_1 * N_{60}$ )*

Soil Type	$f_1$ (kN/m <sup>2</sup> )
Overconsolidated clays IP = 50%	4.5
IP = 15%	5.5
Insensitive weak rocks $N_{60} < 200$	5.0



# کاربرد نتایج آزمایش SPT در تعیین مشخصات خاک



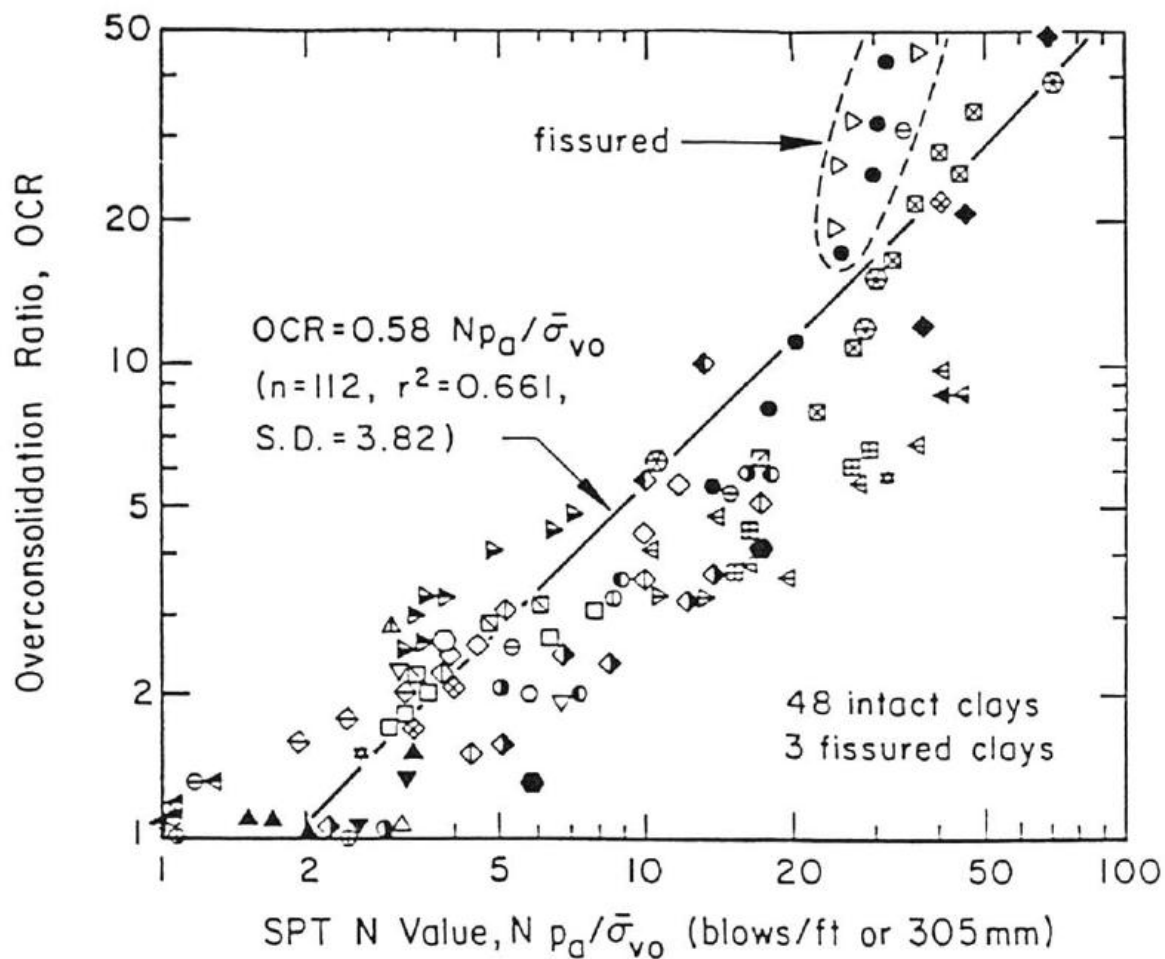
Correlation between deformation modulus,  $E_d$  and SPT N-value for granular soils (after Menzenbach, 1967)

### Equations for stress-strain modulus $E_s$ by several test methods

$E_s$  in kPa for SPT and units of  $q_c$  for CPT; divide kPa by 50 to obtain ksf. The  $N$  values should be estimated as  $N_{55}$  and not  $N_{70}$ . Refer also to Tables 2-7 and 2-8.

Soil	SPT	CPT
Sand (normally consolidated)	$E_s = 500(N + 15)$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_u$
	$= 7000\sqrt{N}$	$= 8000\sqrt{q_c}$
	$= 6000N$	— — —
	— — —	$E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$
	$\ddagger E_s = (15\,000 \text{ to } 22\,000) \cdot \ln N$	$*E_s = (1 + D_r^2)q_c$
Sand (saturated)	$E_s = 250(N + 15)$	$E_s = Fq_c$
		$e = 1.0 \quad F = 3.5$
		$e = 0.6 \quad F = 7.0$
Sands, all (norm. consol.)	$\S E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Sand (overconsolidated)	$\dagger E_s = 40\,000 + 1050N$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
	$E_{s(\text{OCR})} \approx E_{s,\text{nc}}\sqrt{\text{OCR}}$	
Gravelly sand	$E_s = 1200(N + 6)$	
	$= 600(N + 6) \quad N \leq 15$	
	$= 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Clayey sand	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Silts, sandy silt, or clayey silt	$E_s = 300(N + 6)$	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$
	If $q_c < 2500$ kPa use	${}^{\S}E'_s = 2.5q_c$
	$2500 < q_c < 5000$ use	$E'_s = 4q_c + 5000$
	where	
	$E'_s = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} = \frac{1}{m_v}$	
Soft clay or clayey silt		$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

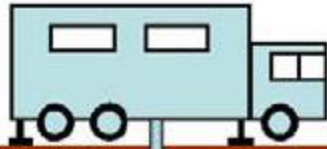
## کاربرد نتایج آزمایش SPT در تعیین مشخصات خاک



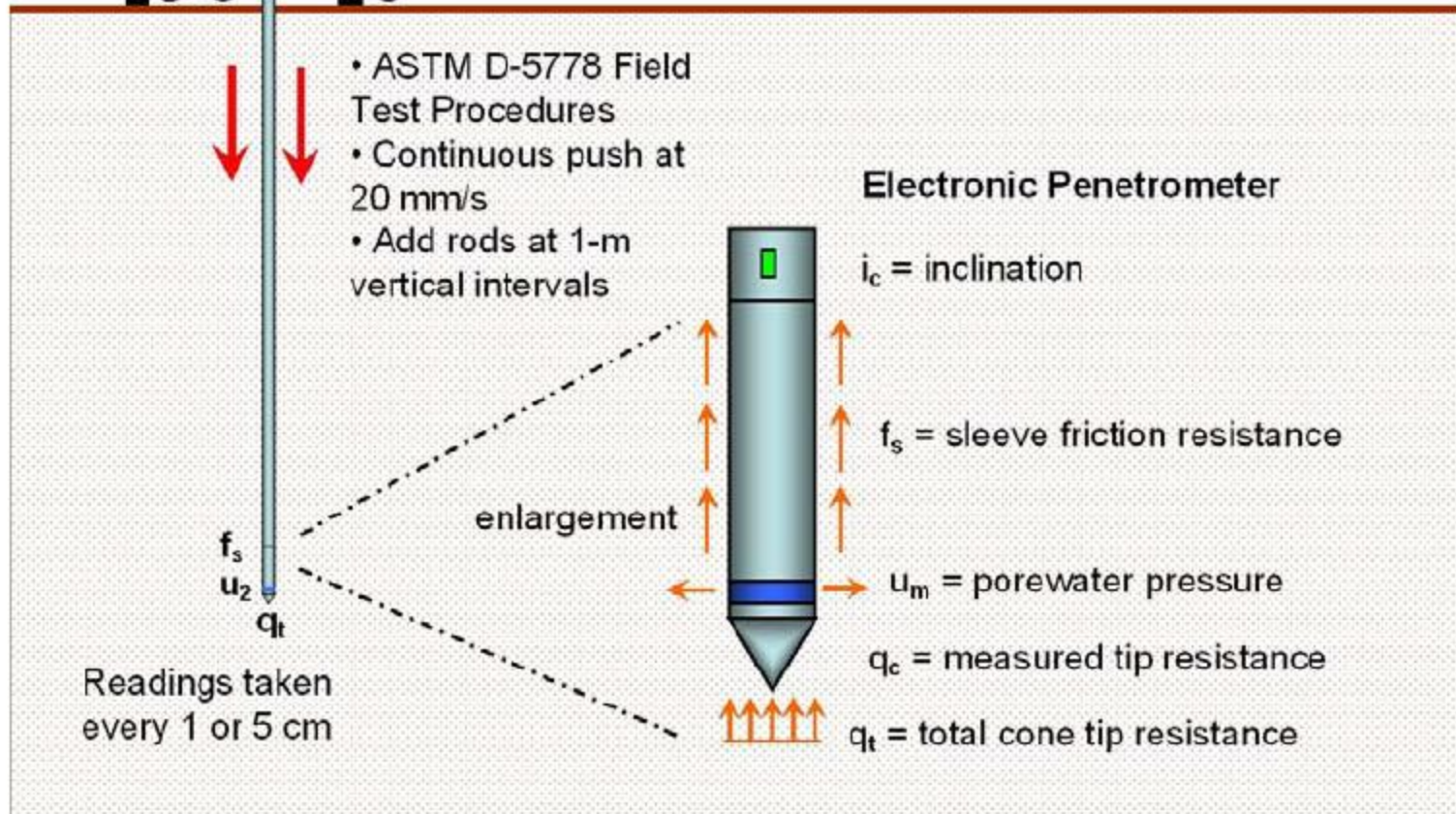
OCR in clays using SPT

# آزمایش CPT

Cone rig with hydraulic pushing system



## Cone Penetration Test (CPT)





# CPT investigations



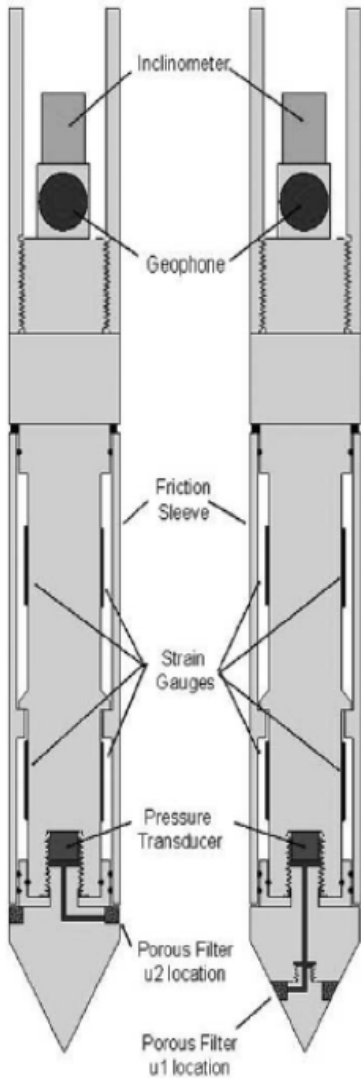










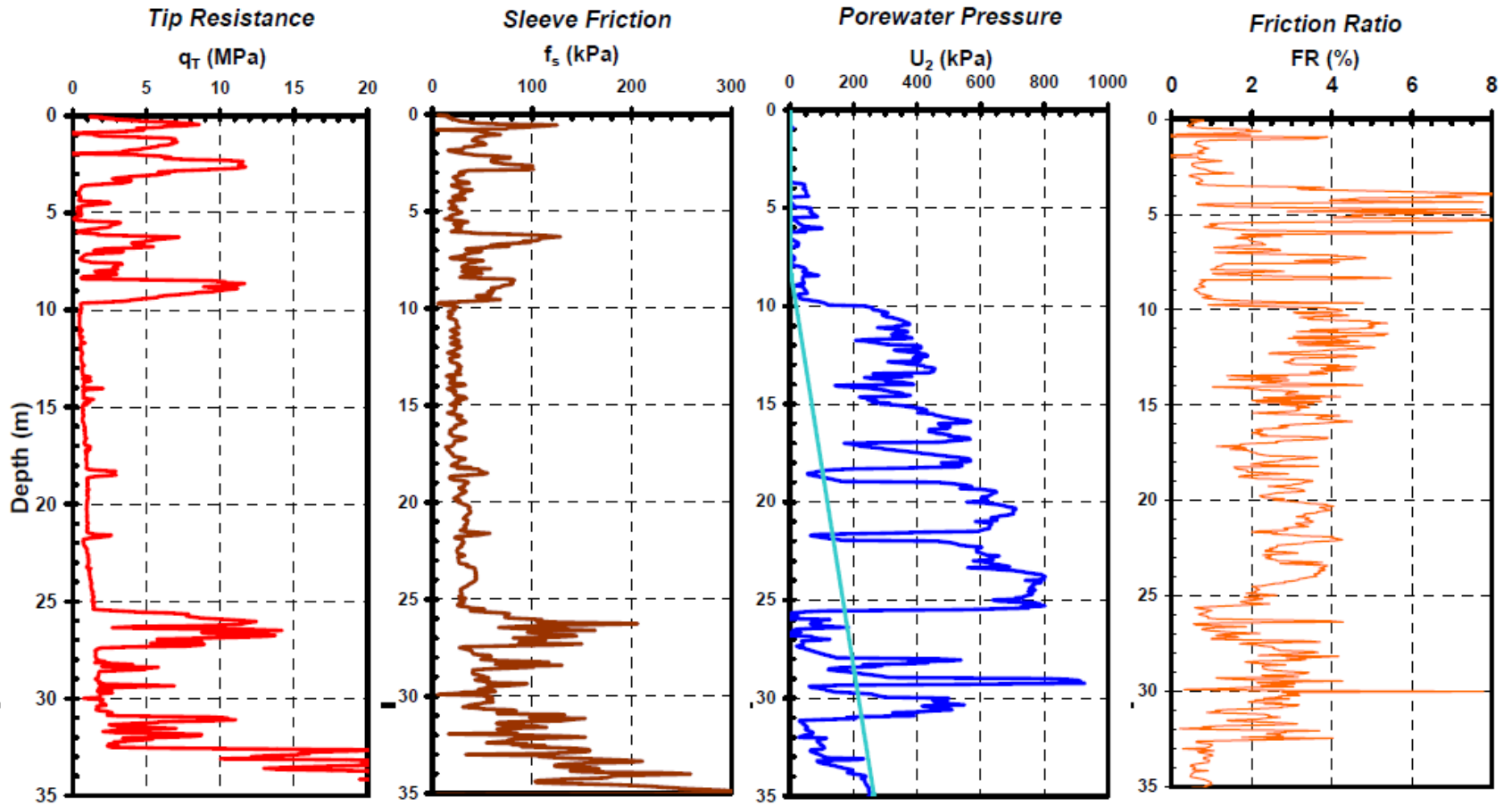


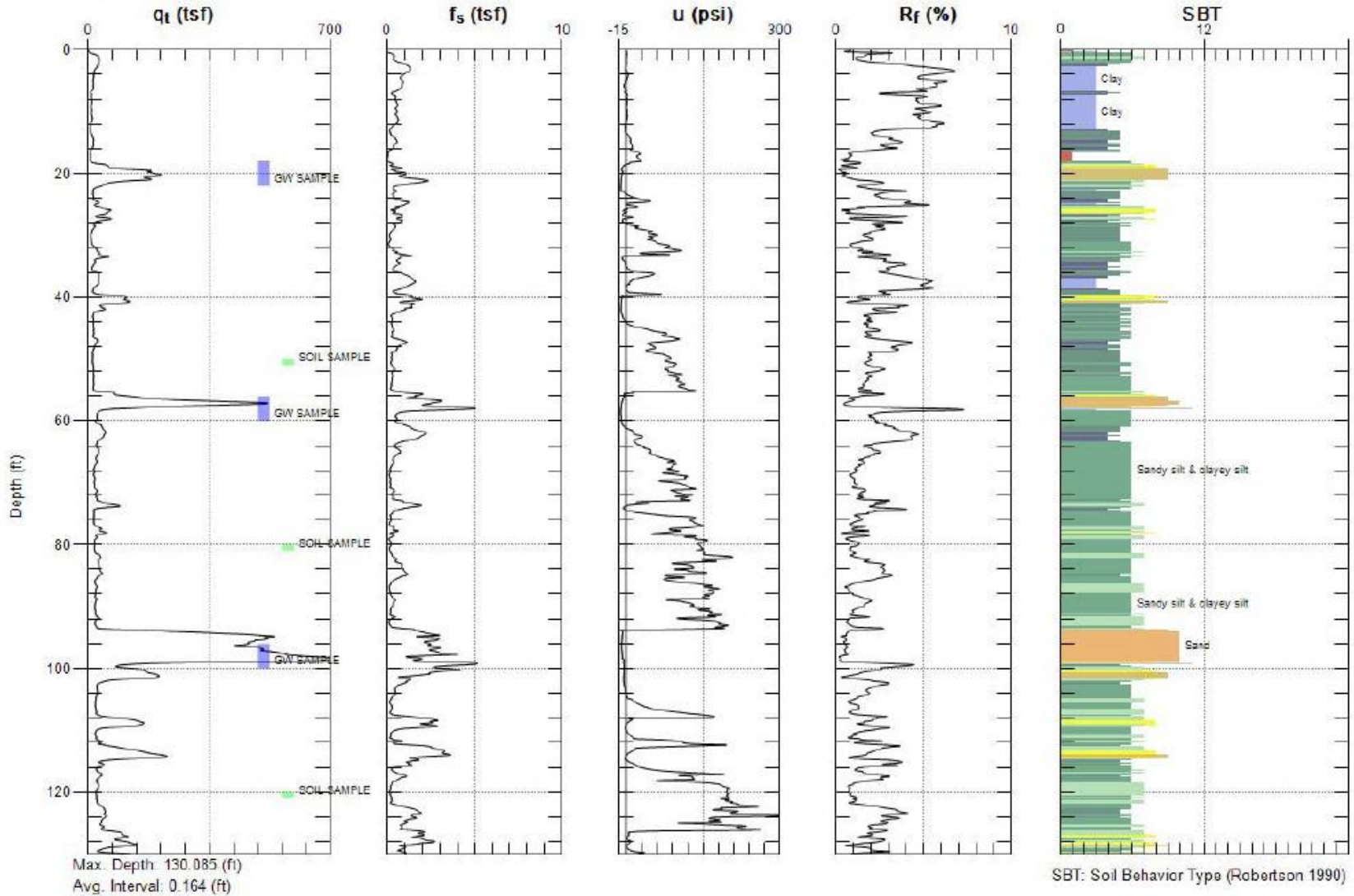
- Standard cone dimensions: tip 10 cm<sup>2</sup>, sleeve 150 cm<sup>2</sup>, 1.44-inch diameter
- Another common configuration: tip 15 cm<sup>2</sup>, sleeve 225 cm<sup>2</sup>, 1.75-inch diameter
- 5, 10, 15-ton load capacity cones most common
- Tip resistance ( $q_c$ )
- Sleeve friction ( $f_s$ )
- Induced pore pressure and pore pressure dissipation ( $U_{1,2,3}$ )
- Shear wave velocity
- Soil resistivity
- Inclination
- Temperature



Source: NCHRP Synthesis 368

# نمونه نتایج CPT





# Interpreting results

- When pore pressure is collected, referred to as piezocone or CPTu sounding. Three basic measurements  $q_c$ ,  $f_s$ ,  $u_2$ .
- $q_c$  is typically corrected for pore pressure effects ( $q_t$ ).
- $q_t = q_c + u_2(1-a)$ , where  $a$  is net area ratio of tip, ranges from 0.6 to 0.8 depending on probe design.

- Normalization for overburden stress.

$$Q_t = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$$

$$Fr = 100\% [f_s / (q_t - \sigma_{vo})]$$

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{vo}) = \text{pore pressure parameter}$$



## حدود کاربرد و قابلیت نتایج آزمایش CPT

Soil Type	$D_r$	$\Psi$	$K_0$	OCR	$S_t$	$s_u$	$\phi'$	$E, G^*$	M	$G_0^*$	k	$c_h$
Sand	2-3	2-3	5	5			2-3	2-3	2-3	2-3	3	3-4
Clay			2	1	2	1-2	4	2-4	2-3	2-4	2-3	2-3

- $D_r$  Relative density
- $\Psi$  State Parameter
- $E, G$  Young's and Shear moduli
- OCR Over consolidation ratio
- $s_u$  Undrained shear strength
- $c_h$  Coefficient of consolidation
- $\phi'$  Friction angle
- $K_0$  In-situ stress ratio
- $G_0$  Small strain shear moduli
- M Compressibility
- $S_t$  Sensitivity
- k Permeability

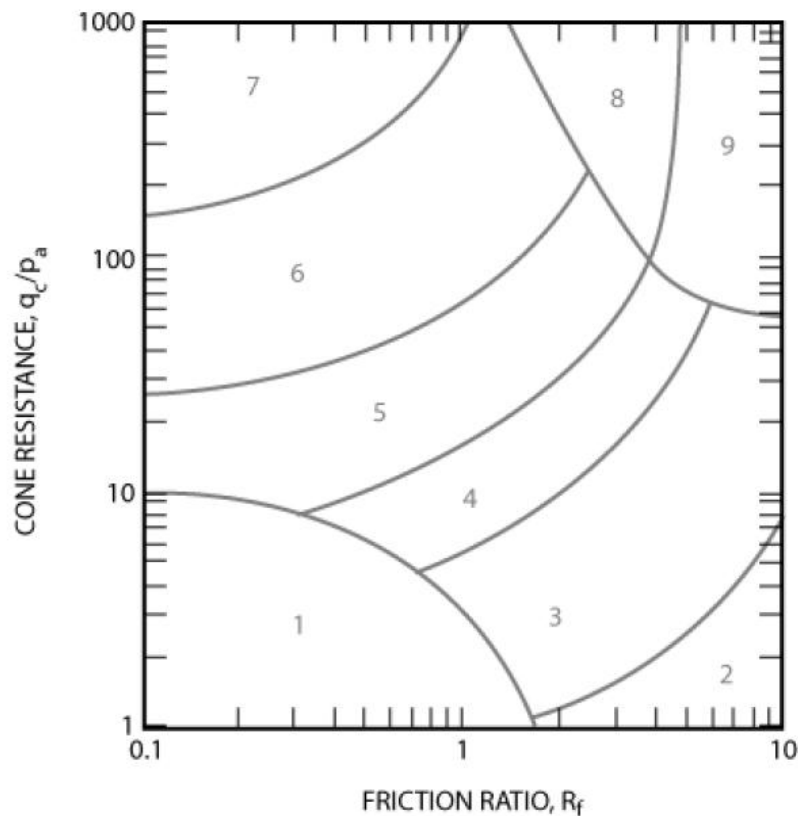
1=high, 2=high to moderate, 3=moderate, 4=moderate to low, 5=low reliability, Blank=no applicability, \* improved with SCPT

Type of soil	Pile design	Bearing capacity	Settlement*	Compaction control	Liquefaction
Sand	1 – 2	1 – 2	2 – 3	1 – 2	1 – 2
Clay	1 – 2	1 – 2	2 – 3	3 – 4	1 – 2
Intermediate soils	1 – 2	2 – 3	2 – 4	2 – 3	1 – 2

Reliability rating: 1=High; 2=High to moderate; 3=Moderate; 4=Moderate to low; 5=low

\* improves with SCPT data

## کاربرد نتایج آزمایش CPT



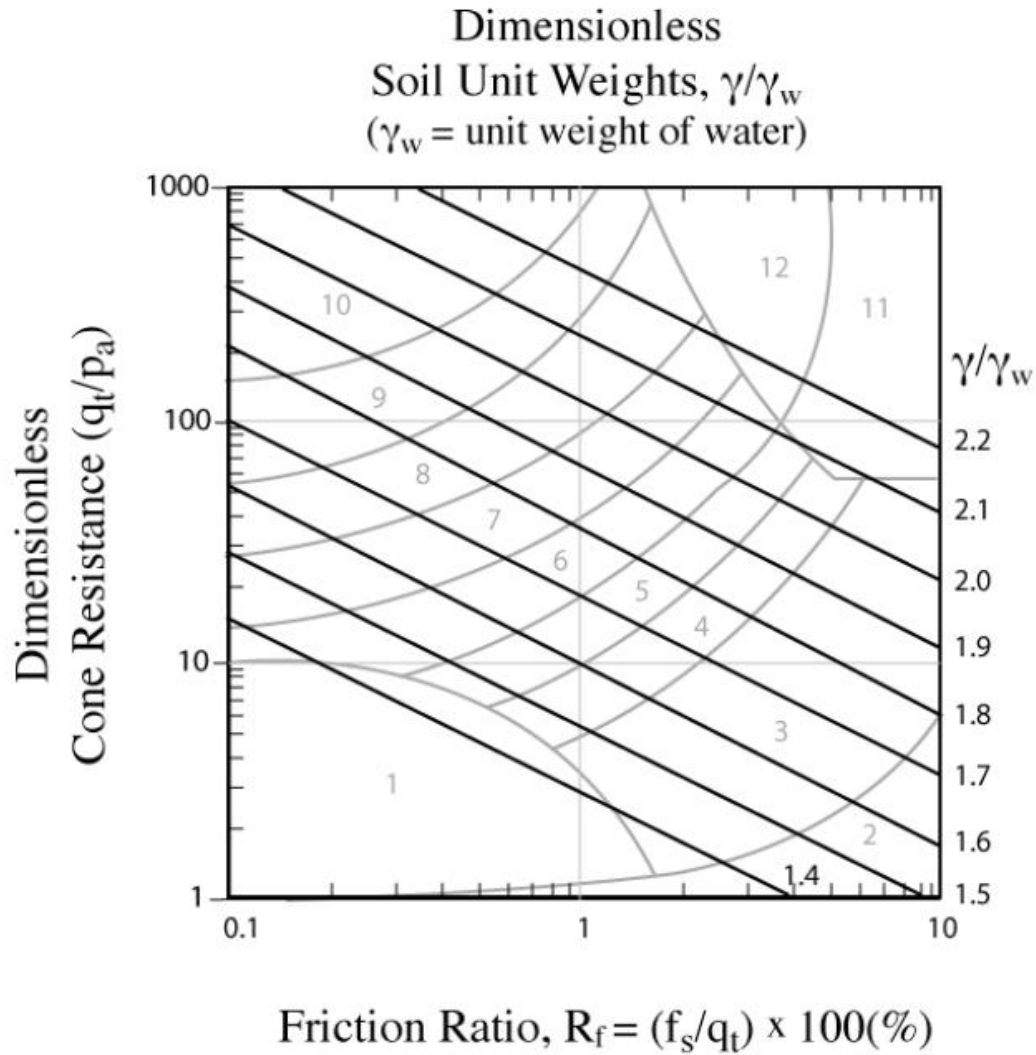
Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive, fine grained
2	Organic soils - clay
3	Clay – silty clay to clay
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt
6	Sands – clean sand to silty sand
7	Gravelly sand to dense sand
8	Very stiff sand to clayey sand*
9	Very stiff fine grained*

\* Heavily overconsolidated or cemented

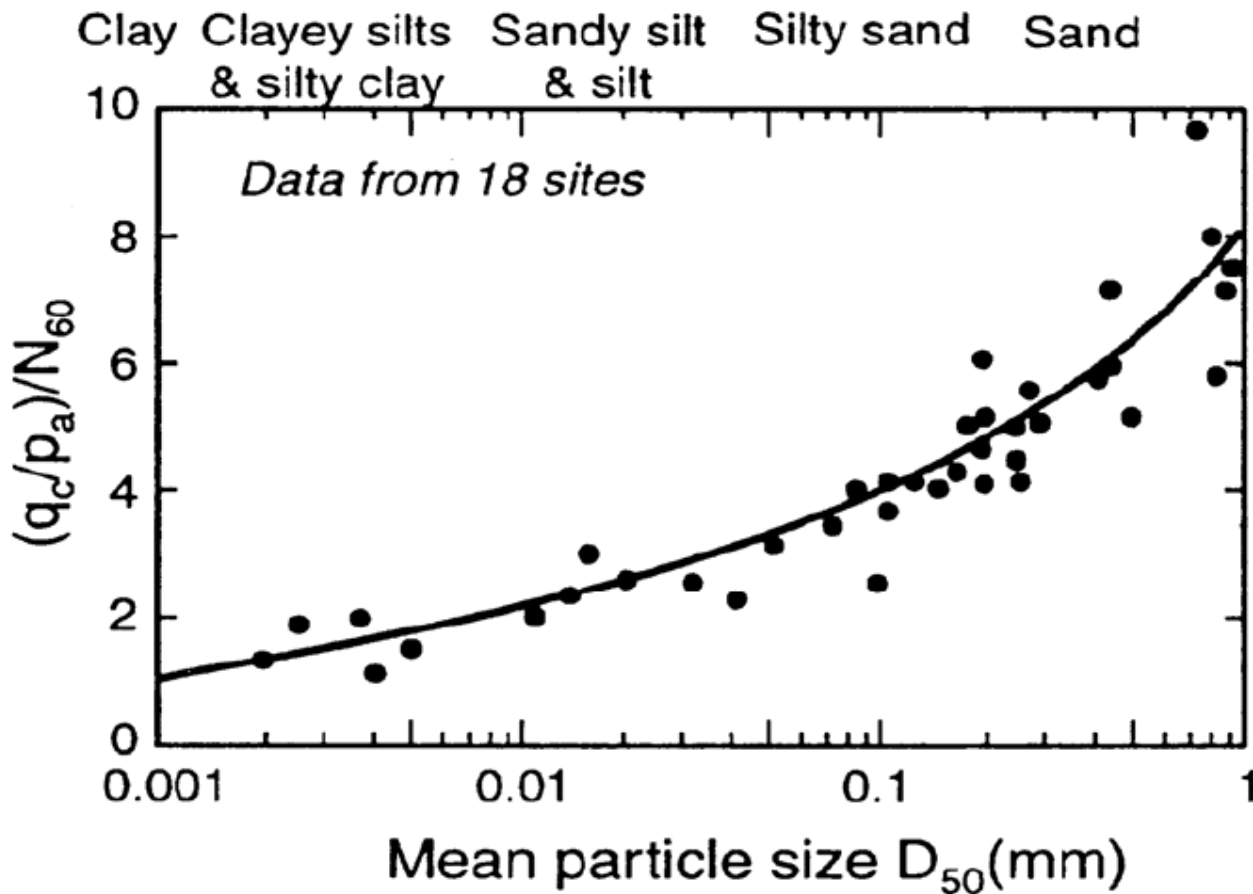
$P_a$  = atmospheric pressure = 100 kPa = 1 tsf

CPT Soil Behavior Type (SBT) chart  
(Robertson et al., 1986, updated by Robertson, 2010).

# کاربرد نتایج آزمایش CPT

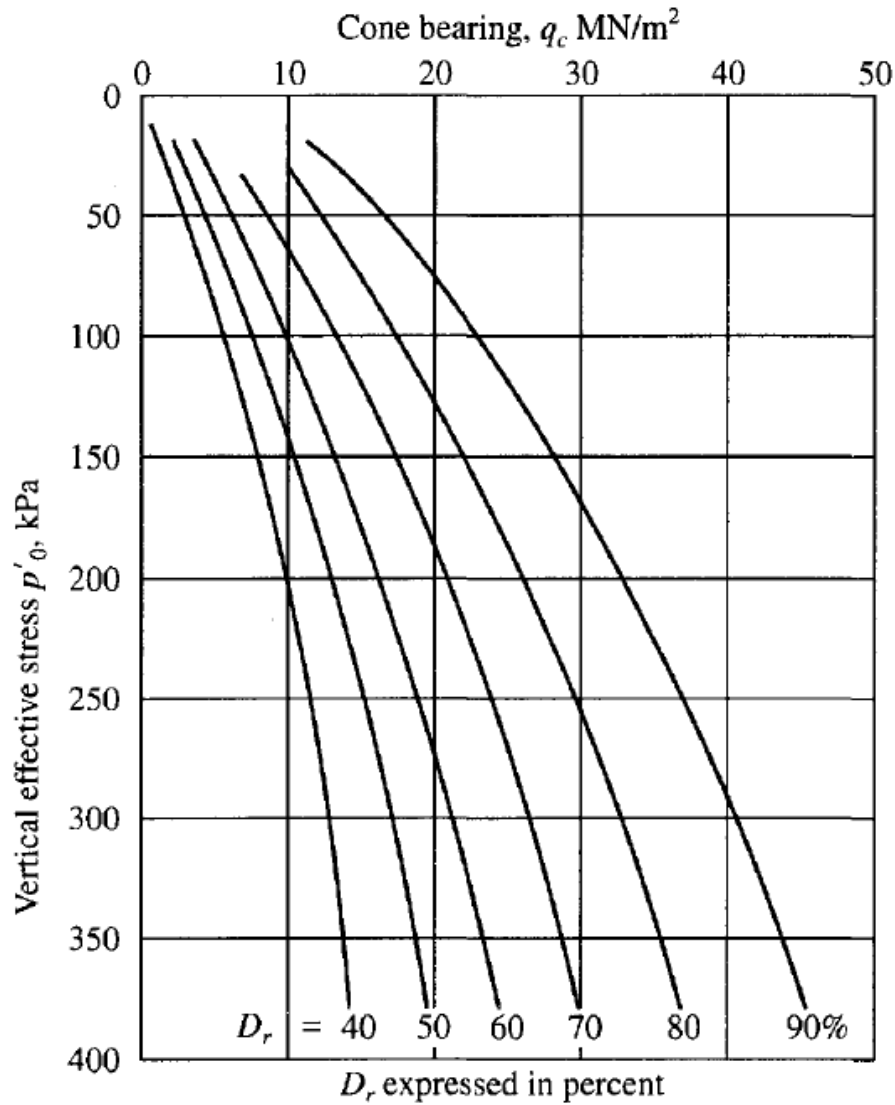


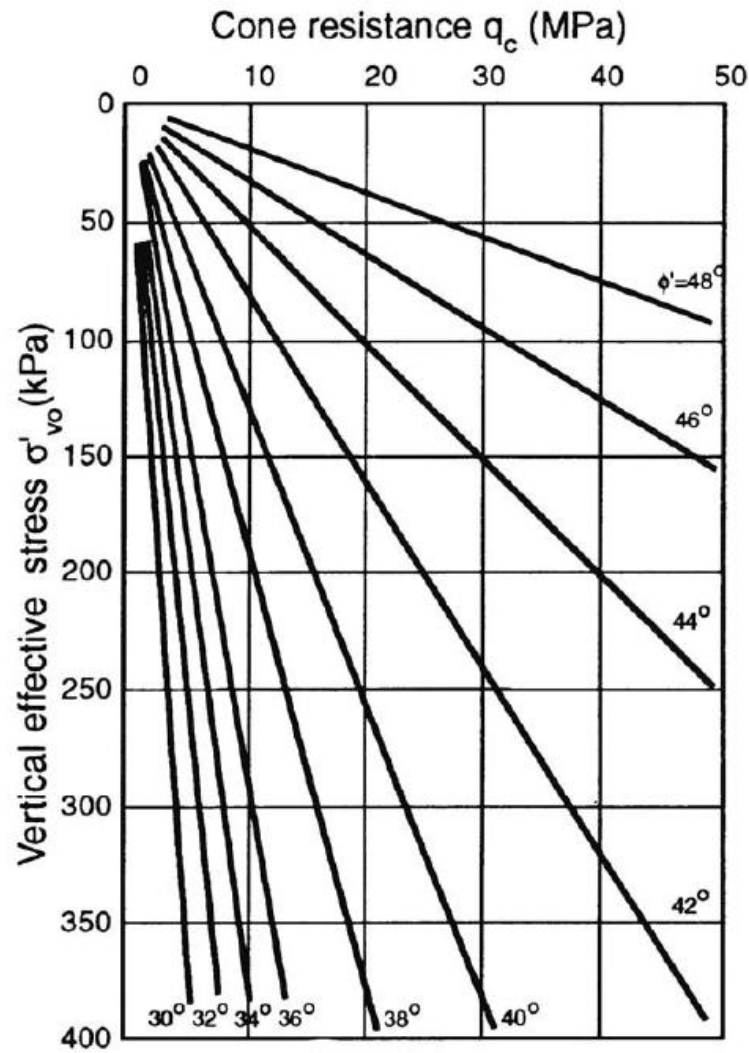
## کاربرد نتایج آزمایش CPT



CPT-SPT correlations with mean grain size  
(Robertson et al., 1983)

محاسبه تراکم نسبی  
براساس نتایج آزمایش CPT





Note:  $0.1\text{MPa} = 100\text{ kPa} = 1\text{ bar} \approx 1\text{ tsf} \approx 1\text{ kg/cm}^2$

$$\tan \phi' = \frac{1}{2.68} \left[ \log \left( \frac{q_c}{\sigma'_{vo}} \right) + 0.29 \right]$$

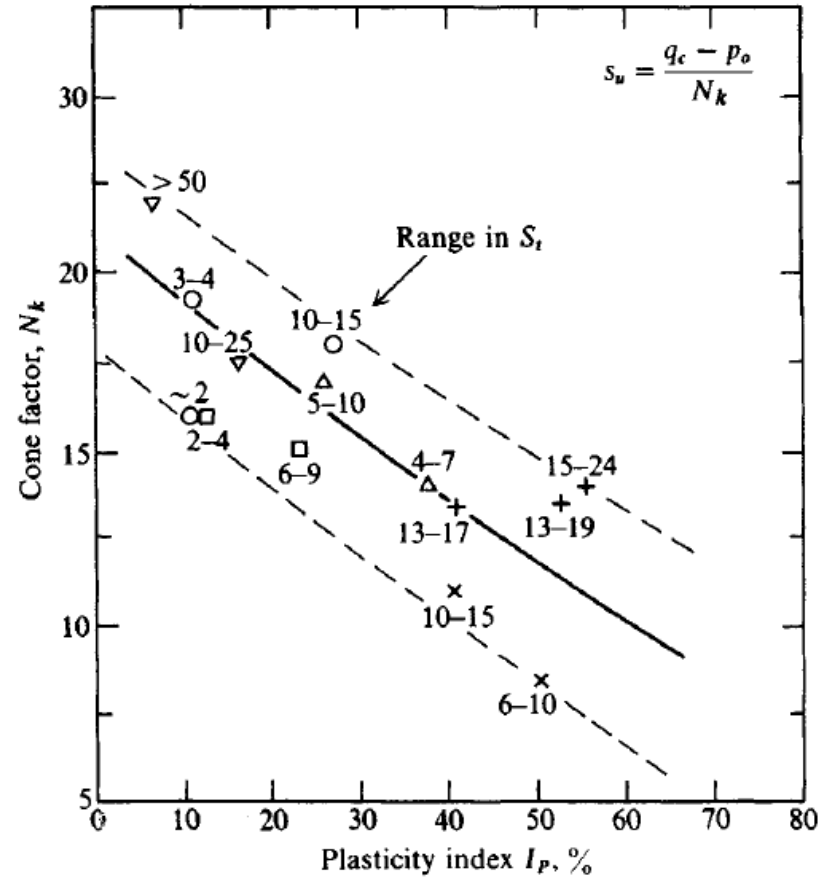
محاسبه زاویه اصطکاک  
براساس نتایج آزمایش CPT



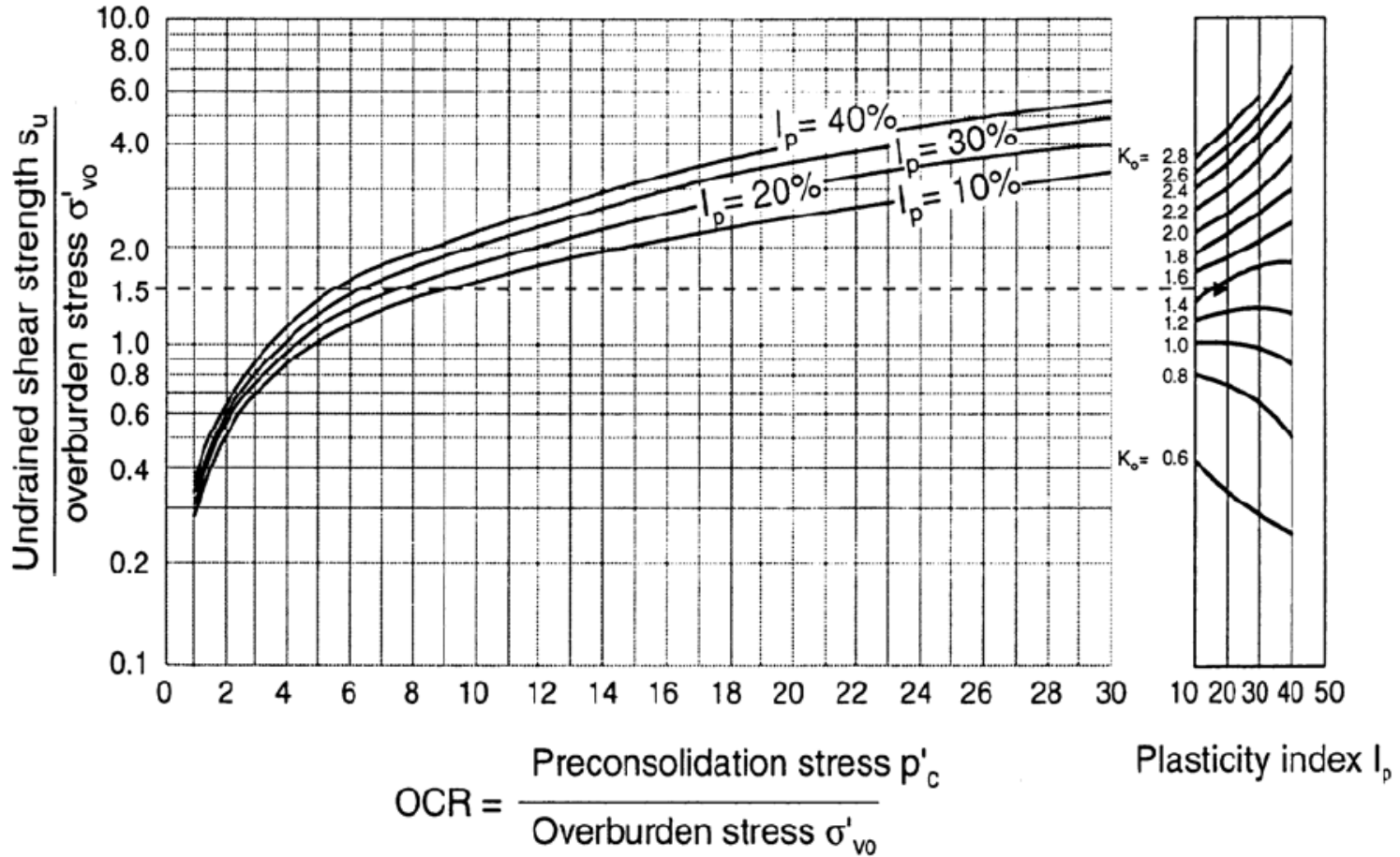
# محاسبه چسبندگی زهکشی نشده براساس نتایج آزمایش CPT

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_v}{N_{kt}}$$

$$N_{kT} = 13 + \frac{5.5}{50} I_P$$



## تاریخچه بارگذاری براساس نتایج CPT



## تاریخچه بارگذاری براساس نتایج CPT

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}}$$

$$S_t = \frac{S_u}{S_{u(Rem)}} = \frac{q_t - \sigma_v}{N_{kt}} (1 / f_s) = 7 / F_r$$

For overconsolidated clays:

$$(S_u / \sigma'_{vo})_{oc} = (S_u / \sigma'_{vo})_{nc} (\text{OCR})^{0.8}$$

Based on this, Robertson (2009) suggested:

$$\text{OCR} = 0.25 (Q_t)^{1.25}$$

Kulhawy and Mayne (1990) suggested a simpler method:

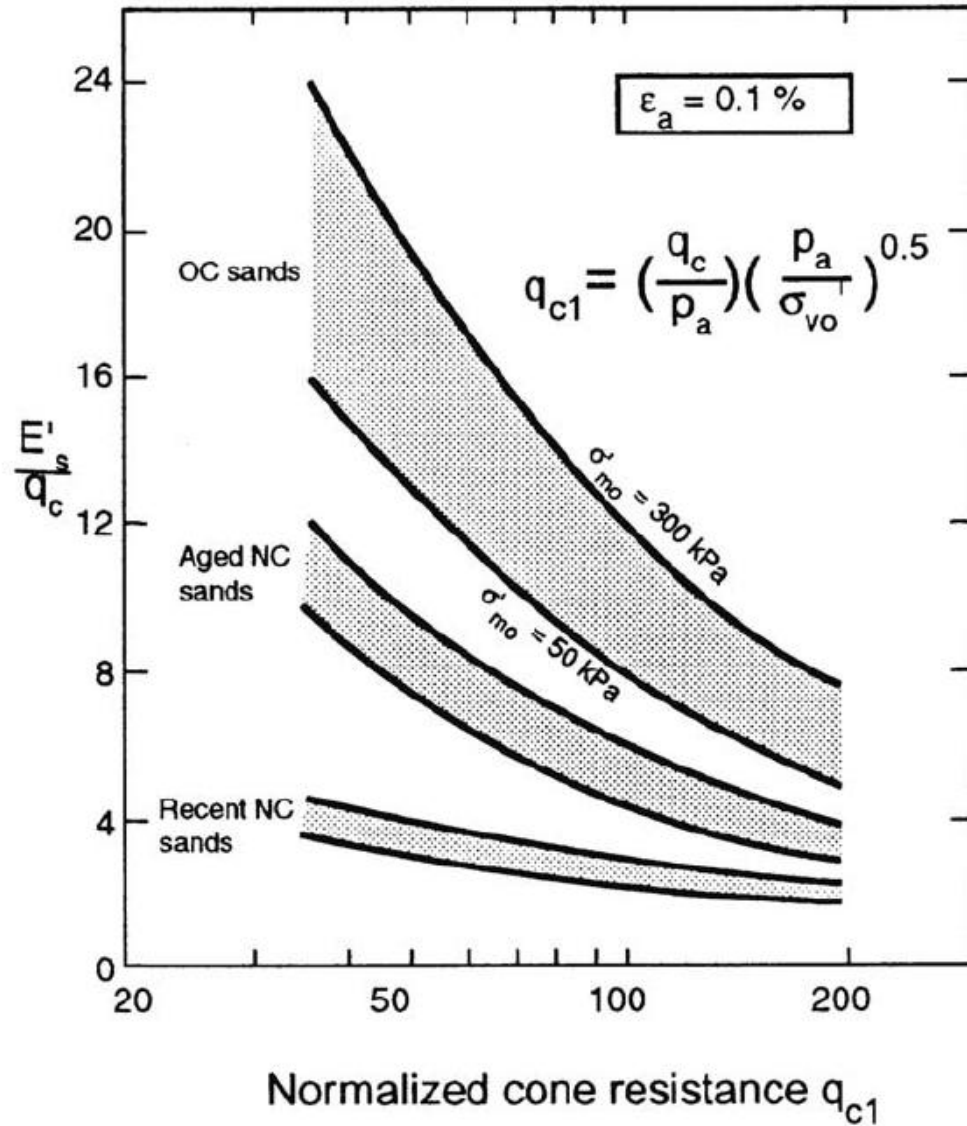
$$\text{OCR} = k \left( \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) = k Q_t$$

$$\text{or } \sigma'_p = k (q_t - \sigma_{vo})$$

$$k=0.33$$

$$K_o = 0.1 \left( \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right)$$

محاسبه مدول الاستیسیته  
براساس نتایج آزمایش CPT



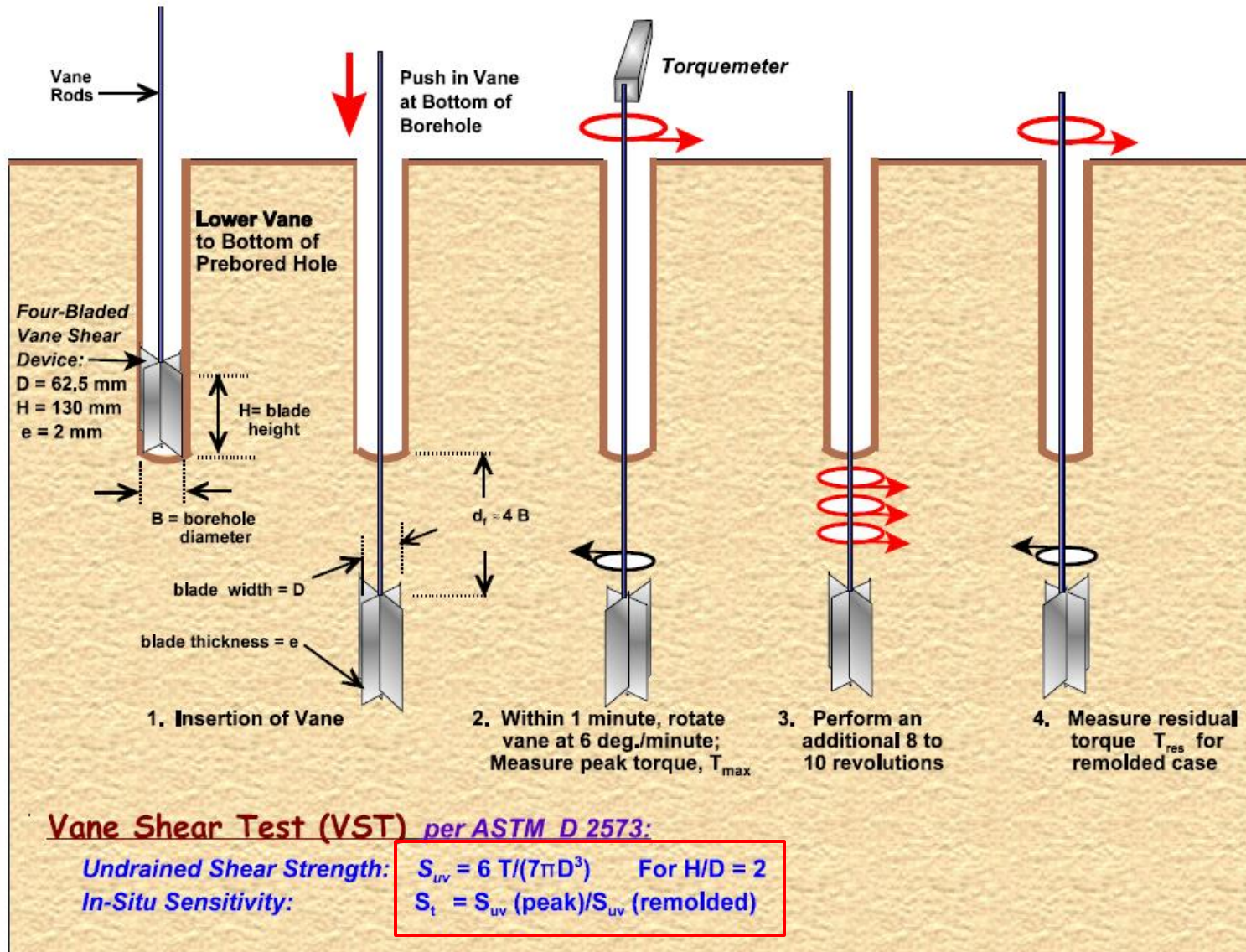


## آزمایش برش پره VST





# آزمایش برش پره VST





# آزمایش برش پره VST

## ADVANTAGES of VST

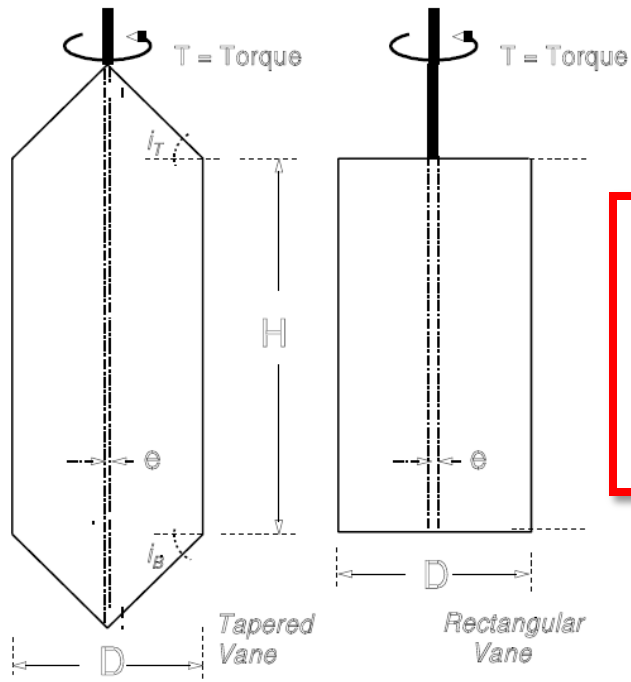
- Assessment of undrained strength,  $s_{uv}$
- Simple test and equipment
- Measure in-situ clay sensitivity ( $S_t$ )
- Long history of use in practice

## DISADVANTAGES of VST

- Limited application to soft to stiff clays
- Slow and time-consuming
- Raw  $s_{uv}$  needs (empirical ) correction
- Can be affected by sand lenses and seams

$$s_{uv} = \frac{6T_{\max}}{7\pi D^3}$$

# آزمایش برش پره VST

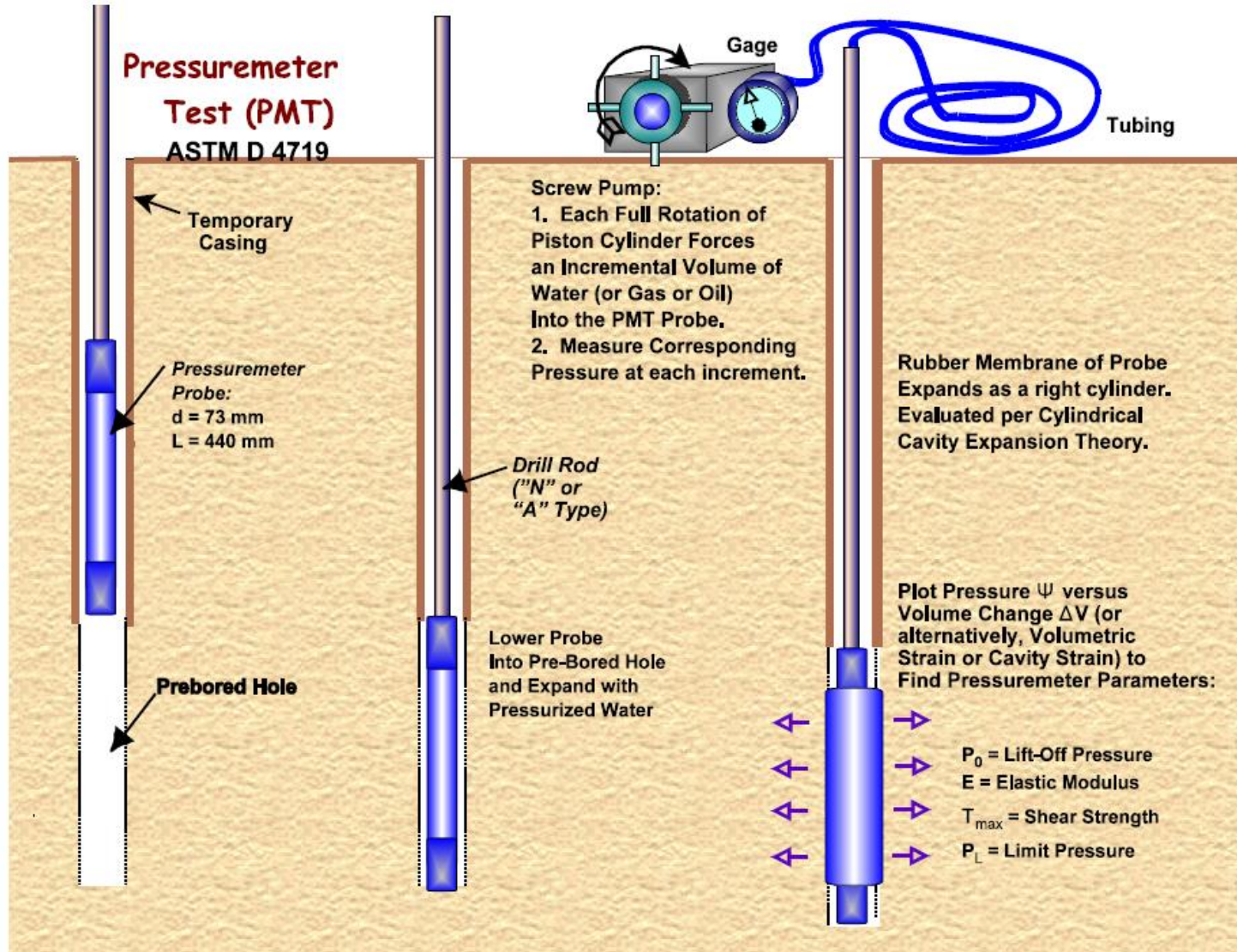


$$\text{Rectangular } (i_T = 0^\circ \text{ and } i_B = 0^\circ): \quad s_{uv} = 0.273 T_{\max}/D^3$$

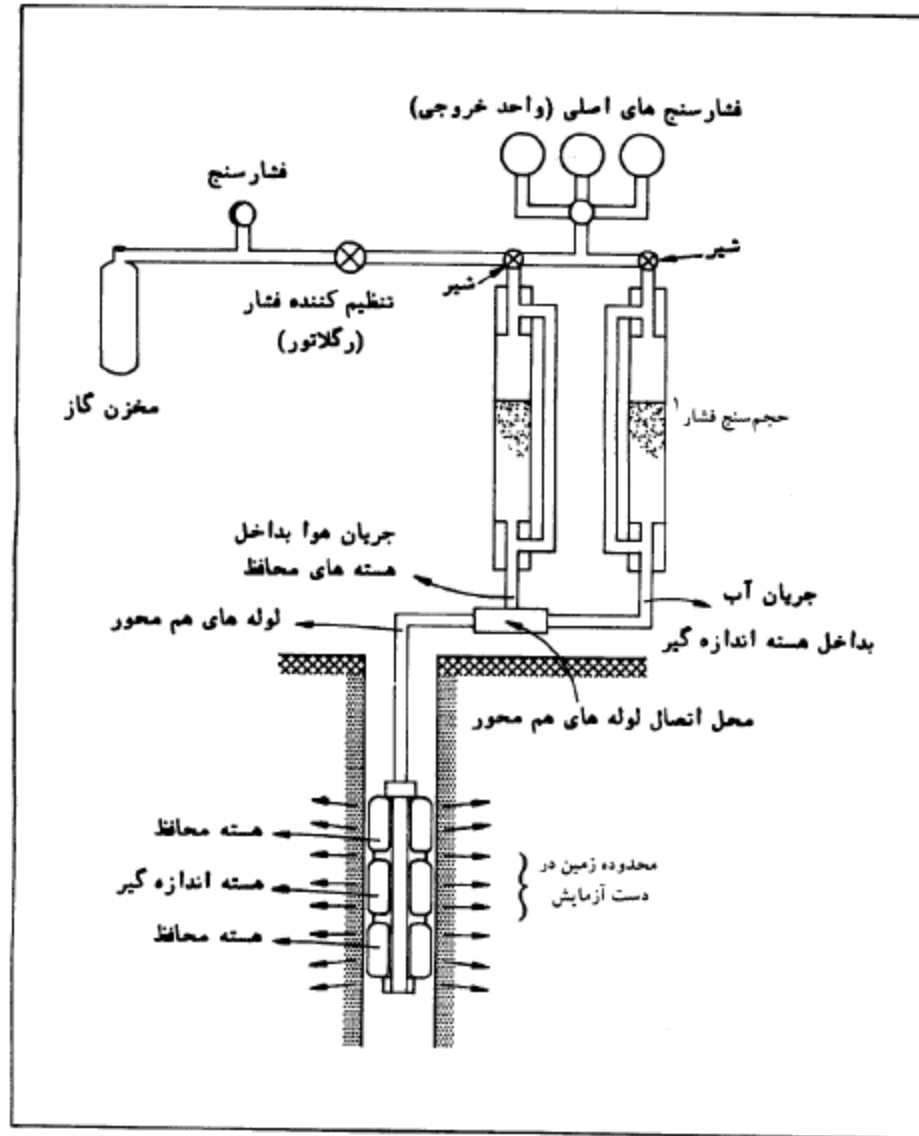
$$\text{Nilcon } (i_T = 0^\circ \text{ and } i_B = 45^\circ): \quad s_{uv} = 0.265 T_{\max}/D^3$$

$$\text{Geonor } (i_T = 45^\circ \text{ and } i_B = 45^\circ): \quad s_{uv} = 0.257 T_{\max}/D^3$$

# آزمایش فشارسنجی Pressure Meter Test (PMT)



# آزمایش PMT

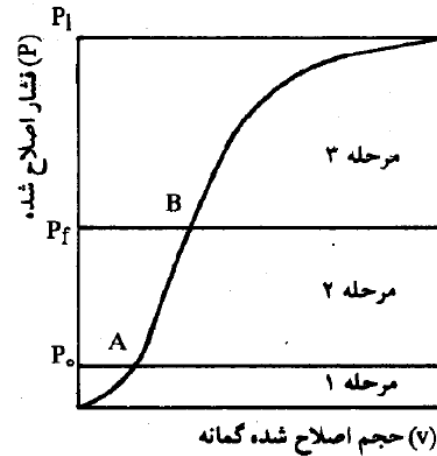




# آزمایش PMT





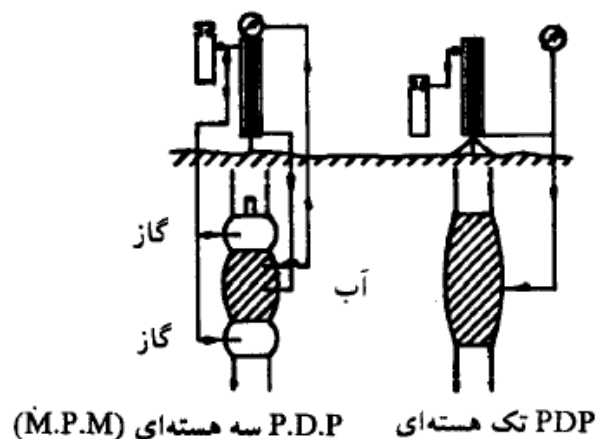


- شکل جدید ارائه منحنی حجم بر حسب فشار (اصلاح شده)

در مرحله ۱ (تا نقطه A) تعادل بین مجموعه دستگانه، محفظه و زمین برقرار می‌شود، به طوری که غشای محفظه به طور کامل به دیواره گمانه چسبیده و مقدار فشار به حالت قبل از حفاری ( $P_0$ ) در زمین طبیعی می‌رسد. در مرحله ۲ (تا نقطه B) رفتار کشسان و تقریباً خطی بوده و می‌توان «ضریب تغییر شکل» یا «ضریب پرسیمتری» را تعریف کرد. مقدار فشار در نقطه B، «فشار خزش» ( $P_f$ ) خوانده می‌شود. مرحله ۳ شروع رفتار خمیری بوده و در این مرحله تغییر شکلها افزایش یافته و به مقدار قابل توجهی می‌رسند که سرانجام مرحله «تعادل حدی» حاصل می‌شود. مقدار مجانب در این نقطه «فشار حدی» ( $P_1$ ) نامیده می‌شود. در شرایطی که منحنی رسم شده دارای یک خط مجانب قابل پذیرش نباشد، به طور قراردادی مقدار فشار حدی، معادل فشاری که منجر به دو برابر شدن حجم حفره گردد، انتخاب می‌شود [۵-۱].

## پرسیومترهای پیش حفاری شده (P.D.P)

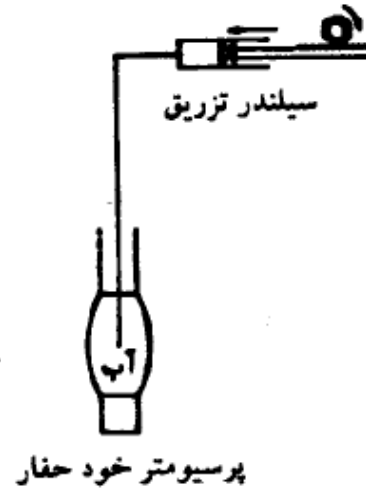
پرسیومترهای پیش حفاری شده آنهایی هستند که در گمانه‌های آماده شده قرار می‌گیرند. متداول‌ترین نوع این پرسیومتر، پرسیومترهای منارد (M.P.M)<sup>۱</sup> است. این پرسیومترها در تمام خاکها و سنگهای ضعیف قابل استفاده می‌باشند. با قراردادن محفظه (سوند) آن در درون یک غلاف شیاردار، می‌توان از آنها در درون سازندها<sup>۲</sup> استفاده نمود. شکل (۱-۲) دو نوع پرسیومتر پیش حفاری شده با محفظه تک هسته‌ای و سه هسته‌ای را نشان می‌دهد.



پرسیومترهای پیش حفاری شده (P.D.P) برای آزمایش با کنترل تنش

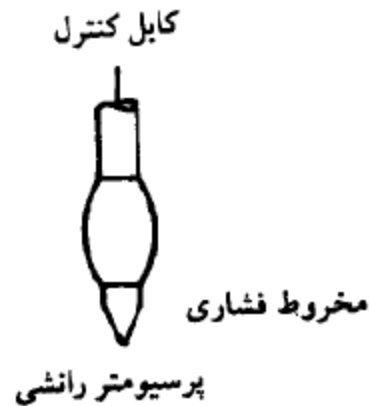
## پرسیومترهای خود حفار (S.B.P)

پرسیومترهای خود حفار آنهایی هستند که خود دستگاه، گمانه را نیز حفر می‌کند. نوعی از این دستگاه که برای سنگهای ضعیف کاربرد دارد به R.S.B.P<sup>۱</sup>، معروف است (شکل ۲-۲).



## پرسیومترهای رانشی (P.I.P)

پرسیومترهای رانشی به پرسیمترهایی گفته می‌شود که با فشار به داخل زمین رانده می‌شوند. در بعضی موارد پرسیمتر منارد با فشار به داخل زمین رانده می‌شود، ولی در این گروه قرار نمی‌گیرد. این دستگاهها دارای انواع: قیفی، جابجایی<sup>۱</sup> کامل و محفظه تنشی<sup>۲</sup> هستند. به‌طور کلی از این دستگاهها در زمینهای نرم و سست استفاده می‌شود [شکل شماره (۲-۳)].

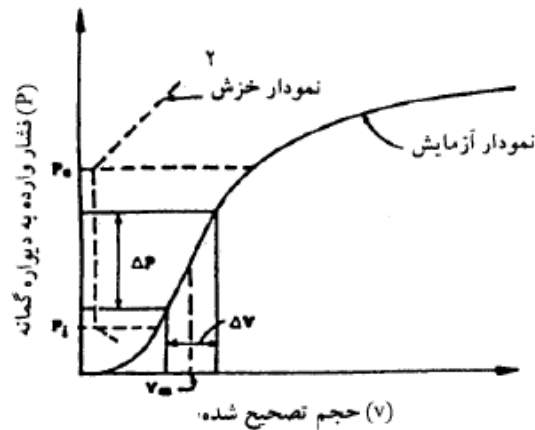


گمانه آزمایش را می‌توان هم از طریق حفاری و هم به وسیله برخی از نمونه‌گیرها ایجاد کرد. در شرایط خاصی، محفظه پرسیومتر در داخل یک لوله جدار به درون زمین کوبیده می‌شود. ابزار مختلف و روشهای گوناگون که برای ایجاد حفره آزمایش به کار می‌رود، سبب دستخوردگی‌های متفاوت می‌شود. روشهای توصیه شده در یک محل، بستگی به نوع خاک و شرایط محلی دارد. انتخاب مناسب وسایل و روش، در ادامه این دستور کار ذکر خواهد شد.

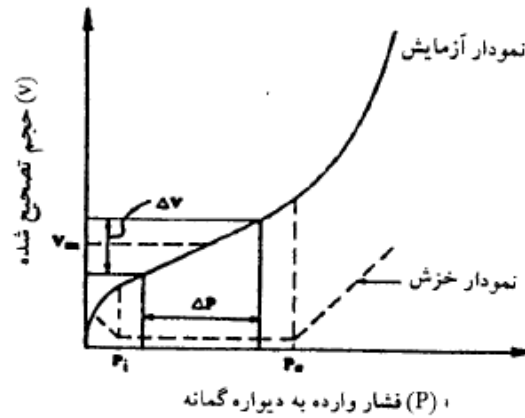
توضیح شماره ۱: توصیه می‌شود که چندین تکنیک حفاری در محل به کار گرفته شود تا مناسبترین روش حفر محفظه آزمایش به دست آید.

آزمایش پرسیومتری براساس قراردادن یک محفظه استوانه‌ای شکل درون یک گمانه آماده استوار است که حین افزایش حجم آن (منبسط شدن)، تغییرات حجم و فشار اندازه‌گیری می‌شود. محفظه (سوند) در روش (الف) با افزایش گامهای یکسان فشار و در روش (ب) با افزایش گامهای یکسان حجم، قرار گرفته و آزمایش با رسیدن خاک به حد تسلیم و تغییرشکلهای بزرگ، پایان می‌پذیرد. حد نهایی فشار از روی آخرین قرائت‌ها تخمین زده می‌شود و ضریب پرسیومتری از قرائت تغییرات فشار - حجم در حین آزمایش محاسبه خواهد شد. یکی از مهمترین مسائلی که باید به آن توجه شود این است که قطر حفره ایجاد شده باید بسیار نزدیک به قطر محفظه باشد، زیرا در این صورت می‌توان مطمئن شد که تغییرات حجم گمانه به‌طور مناسبی صورت می‌گیرد. سیستم اندازه‌گیری دستگاه یا از نوعی است که تغییرات حجمی را که به وسیله یک مایع تراکم‌ناپذیر ایجاد شده اندازه‌گیری می‌کند و یا از نوعی است که تغییرات قطر استوانه را ابزار حساسی اندازه می‌گیرد. سیستم اندازه‌گیری حجم باید به خوبی محافظت شده و هم‌سنجی گردد تا از عدم دقت در اندازه‌گیری حجم جلوگیری به عمل آید. همین‌طور در سیستم اندازه‌گیری قطر، اجزای حساس درون محفظه، باید به اندازه‌کافی به کوچکترین تغییر مکانها حساس باشند.





شکل شماره (۴-۱-ب) - نمودار پرسیمتری  
به روش (ب) V-P



شکل شماره (۴-۱-الف) - نمودار پرسیمتری  
به روش (الف) P-V

$E_p =$  ضریب پرسیمتری بر حسب کیلو پاسکال

$v =$  نسبت پواسون

$V_0 =$  حجم قسمت اندازه گیر محفظه هنگامی که هنوز افزایش حجم پیدا نکرده (قبل از آزمایش در سطح زمین اندازه گیری می شود)،

$\Delta V =$  اختلاف حجم اصلاحی در قسمت خطی نمودار V:P متناظر با  $\Delta P$  [شکلهای (۴-۱-الف) و (۴-۱-ب)]،

$\Delta P =$  اختلاف فشار اصلاحی در قسمت خطی نمودار V:P متناظر با  $\Delta V$  [شکلهای (۴-۱-الف) و (۴-۱-ب)]،

$V_m =$  حجم اصلاحی در وسط محدوده افزایش حجم  $\Delta V$  [شکلهای (۴-۱-الف) و (۴-۱-ب)].

$$E_p = \nu(1+\nu)(V_0 + V_m) \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

فشار حدی (مگاپاسکال)	نوع خاک	گروه خاک
صفر تا ۱/۲ صفر تا ۰/۷	رس لای	I
۱/۸ تا ۴ ۱/۲ تا ۳ ۰/۴ تا ۰/۸ ۱ تا ۳	رس سخت و مارن لای متراکم ماسه غیر متراکم سنگ نرم	II
۱ تا ۲ ۴ تا ۱۰	ماسه و شن سنگ	III
۳ تا ۶	ماسه و شن بسیار متراکم	III'

جدول شماره (۱-۴) - نسبت  $\frac{E_p}{P_1}$  در خاکهای گوناگون [۵-۱]

ماده و شن	ماسه	لای <sup>۱</sup>	رس	نوع خاک شرایط تراکم
> ۱۰	> ۱۲	> ۱۴	> ۱۵	بیش تحکیم یافته
۱۰ تا ۶	۱۲ تا ۷	۱۴ تا ۸	۱۵ تا ۸	تحکیم عادی یافته
۶ تا ۳	۷ تا ۴	۸ تا ۵	۸ تا ۵	کم تحکیم یافته
< ۳	< ۴	< ۵	< ۵	دگرگون شده (دستخورده)

$$E_p = \nu(1 + \nu)G$$

$$E_{oed} = E_p/\alpha$$

نوع خاک	رس	لای	ماسه	قلوه سنگ (شن)
$\alpha$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$

نوع خاک	رس	لای	ماسه	ماسه فشرده و شن
$\frac{[5-6]qc}{P_1}$	۳	۶	۹	۱۲
$\frac{[5-۱]qc}{P_1}$	۲/۵ - ۴	۵ - ۶	۷ - ۹	-

Cu (کیلو پاسکال)	$P_1 - \sigma_{ho}$ (کیلو پاسکال)
$\frac{P_1 - \sigma_{ho}}{5/5}$	$< 300$
$\frac{P_1 - \sigma_{ho}}{10} + 25$	$> 300$

$$P_1 - P_o = 250 \times (2)^{\left[\frac{Q-24}{4}\right]} \text{ کیلو پاسکال}$$

Table 2.8 Correlations of *PMT* data with *SPT*, *CPT* and Laboratory data

Data type	Parameter	Soil type	Correlation
PMT~SPT	$p_L, N$	Sandy silty clay	$p_L = 29.45 N_{Cor} + 219.7$ where $p_L$ is in units of kPa.
PMT~CPT	$p_L, q_c$	Clay	$q_c = 3p_L$ where $q_c$ and $p_L$ are in units of kPa.
	$p_L, q_c, \phi'$	Sand	$q_c = 15(\tan \phi')^{1.75} p_L$ where $q_c$ and $p_L$ are in units of kPa and $\phi'$ in degrees.
	$p_L, q_c$	Dense sand	$q_c / p_L = 10$
		Loose sand	$q_c / p_L = 5$
		Silt	$q_c / p_L = 6$
		Insensitve clay	$q_c / p_L = 3$
Very sensitive clay	$q_c / p_L = 1.5$		
PMT	$G_{ur}, s_u$	Clay	$G_{ur} = 40s_u$ where $G_{ur}$ and $s_u$ are in units of MPa.
SPT	$N, D_r$	Sand	$D_r = 25(\sigma'_{vo})^{-0.12} (N)^{0.42}$ where $D_r$ is in % and $\sigma'_{vo}$ in kPa.
	$N, \phi'$	Sand	$\phi' = 3.5(N)^{0.5} + 20$ where $\phi'$ is in units of degrees.
	$N, s_u$	Very soft to very stiff clays	$s_u = 6.64 N$
Very soft to stiff clays		$s_u = 7.86 N$ where $s_u$ is in units of kPa.	
CPT	$q_c, D_r$	Sand	$D_r = -74 + 66 \log \left[ q_c / (\sigma'_{vo})^{0.5} \right]$ where $q_c$ and $\sigma'_{vo}$ are in units of ksf.
	$q_c, \phi'$	Sand	$\phi' = 29 + 2.5(q_c)^{0.5}$ where $q_c$ is in units of MPa.

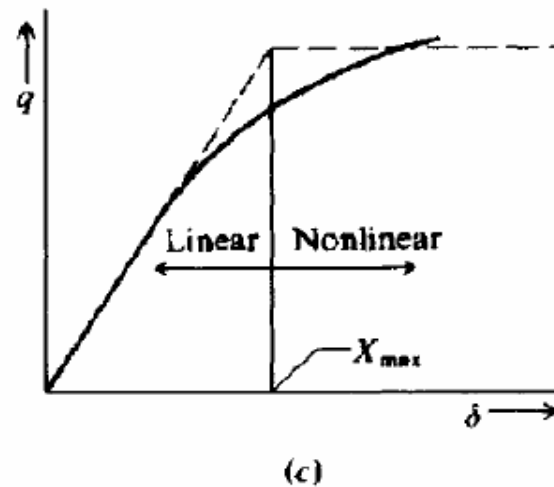
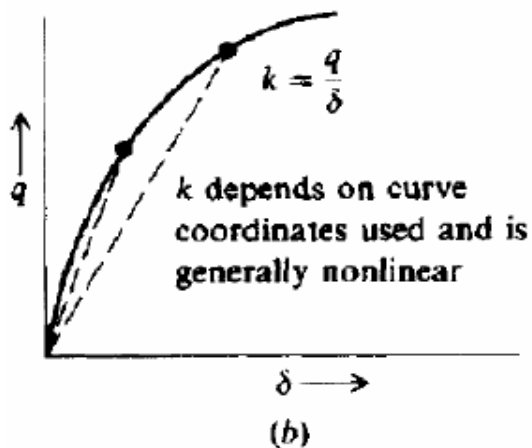
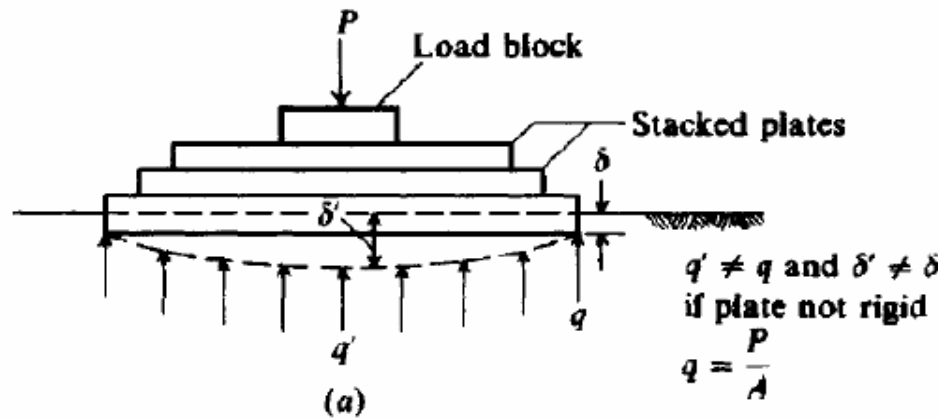
For definition of symbols, refer to the list of symbols.



# آزمایش بارگذاری صفحه Plate Load Test (PLT)



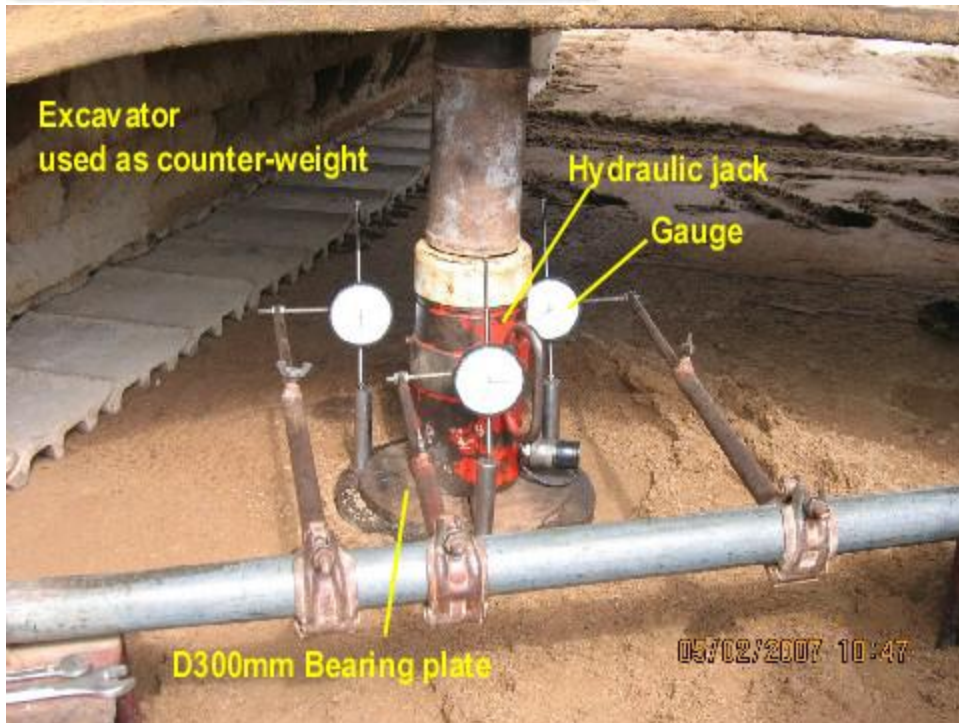
# آزمایش بارگذاری صفحه ای: PLT (Plate Load Test) - نحوه انجام آزمایش

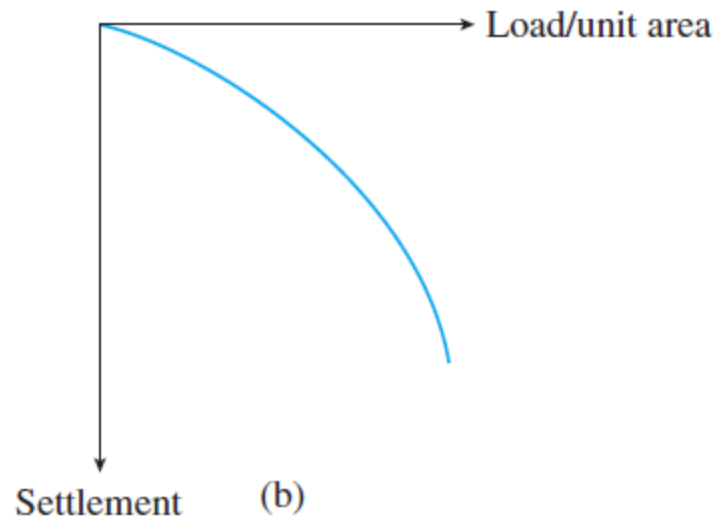
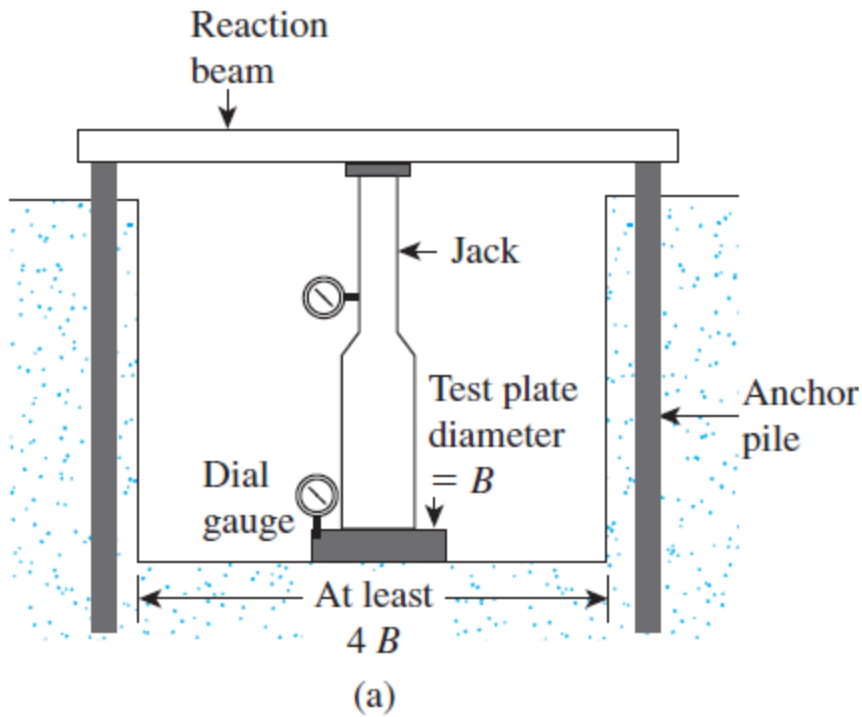
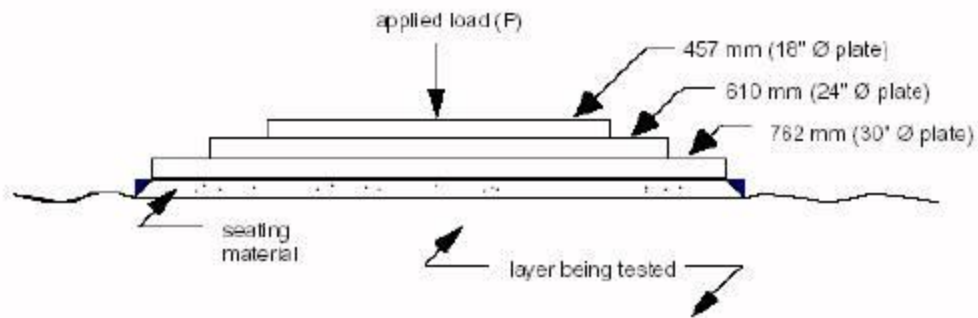


- در این آزمایش صفحه ای معمولاً بقطر یک فوت (30 cm) را بارگذاری کرده و تغییرات تنش را برحسب نشست صفحه اندازه گیری و رسم می کنند.

- یکی از نتایج مهم این آزمایش تعیین مدول عکس العمل خاک (Modulus of subgrade reaction,  $k_s$ ) می باشد.

# آزمایش بارگذاری صفحه Plate Load Test (PLT)









# آزمایش بارگذاری صفحه افقی

## ASTM D 1194 & 1195

مهندسان مشاور دریا خاک پی

### مشخصات آزمایش بارگذاری

سانتیمتر	۲۸	قطر صفحه :
میلیمتر	۳۰	ضخامت صفحه :
متر	۱.۲	عمق استقرار صفحه :
تنی	۲۰	نوع جک :

مطالعات ژئوتکنیک پروژه گندله سازی گل گهر

مشارکت کیسون-فرا تحقیق

۹۱/۴

PL1

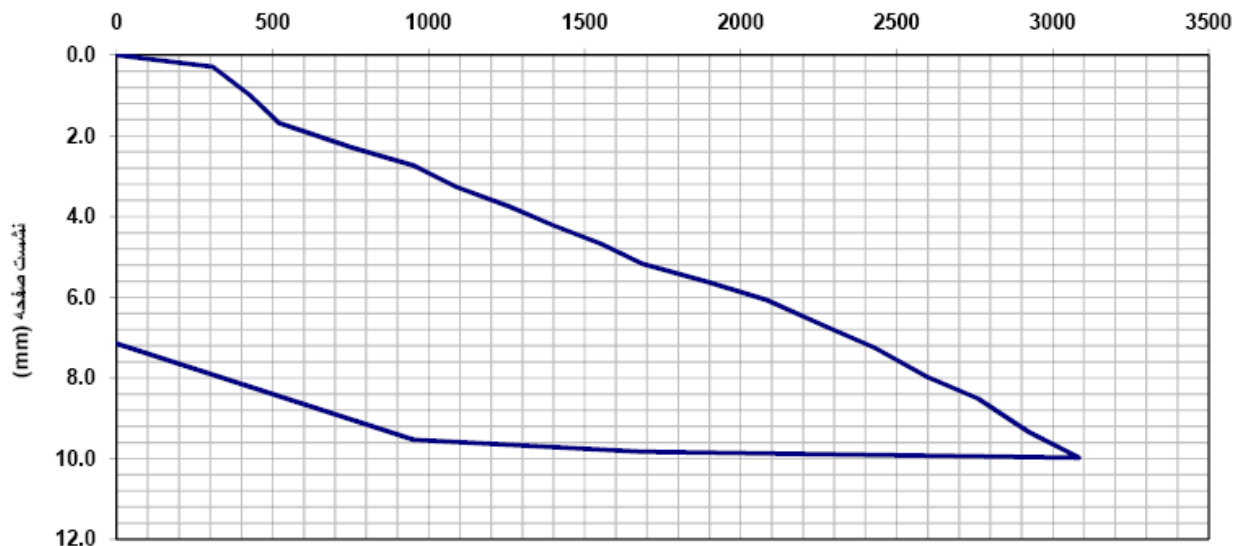
پروژه:

کارفرما:

شماره پروژه:

موقعیت:

تنش وارد بر خاک (kPa)



متر	۱.۲	عمق استقرار صفحه:
سانتیمتر	۲۸	قطر صفحه:
تنی	۲۰	نوع جک:



For footings on clay<sup>3</sup>

$$k_s = k_1 \frac{B_1}{B}$$

For footings on sand (and including size effects)

$$k_s = k_1 \left( \frac{B + B_1}{2B} \right)^2$$

$$k_s = k_1 \frac{m + 0.5}{1.5m}$$

$$m = L/B,$$

Vesic (1961a, 1961b)

$$k'_s = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s B^4}{E_f I_f}} \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad (\text{units of } E_s)$$

$$\text{SI: } k_s = 40(\text{SF})q_a \quad \text{kN/m}^3$$

## مدول واکنش بستر

### Range of modulus of subgrade reaction $k_s$

Use values as guide and for comparison when using approximate equations

Soil	$k_s$ , kN/m <sup>3</sup>
Loose sand	4800–16 000
Medium dense sand	9600–80 000
Dense sand	64 000–128 000
Clayey medium dense sand	32 000–80 000
Silty medium dense sand	24 000–48 000
Clayey soil:	
$q_a \leq 200$ kPa	12 000–24 000
$200 < q_a \leq 800$ kPa	24 000–48 000
$q_a > 800$ kPa	> 48 000

## آزمون های آزمایشگاهی

ملاحظات	شماره استاندارد	نام آزمایش
برای ذرات کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلیمتر متمایز ساختن دانه‌ها بوسیله هیدرومتری است .	ASTM D2488	طبقه بندی خاک
	ASTM D421-422	دانه بندی
	ASTM D4318-87	حدود اتربرگ
	ASTM D2216-90	درصد رطوبت
	ASTM D854	وزن مخصوص
	ASTM D2435-96	تحکیم
	ASTM D2166	تک محوری
	ASTM D2850	سه محوری
	ASTM D698	تراکم استاندارد
	ASTM D1883-99	نسبت باربری کالیفرنیا
	ASTM D2434	نفوذپذیری
	ASTM D512	درصد کلر خاک
	ASTM D1293	PH خاک
	ASTM D516	سولفات خاک
	BS-1377	درصد گچ

**Project:** Geotechnical investigations report for the pelletizing project of Golgohar  
**Borehole No.:** BH-03  
**X=** 338387.90  
**Client:** Kayson-Faratahghigh joint venture  
**Borehole Depth:** 30(m)  
**Y=** 3223868.85  
**Date Started:** 20/07/2012  
**Date Completed:** 21/07/2012  
**Z=**

نمونه لوگ گمانه

Depth (m)	Sam. No.	Type	Water Table	N <sub>SPT</sub>	Symbol	w %	LL %	PL %	C <sub>u</sub> kPa	Φ <sub>u</sub> Deg	Y <sub>u</sub> KN/m <sup>2</sup>	Test	Description
0.0													
1.0	3-1	⊗		50 14cm		6	34	19					Clayey sand with gravel (SC), Very dense, Moist, Brown
2.0	3-2	⊗		50 6cm		10	29	17					Clayey sand (SC), Very dense, Moist, Brown
3.0	3-3	⊗		36		20	43	22					Lean clay with sand (CL), Hard, Moist, Brown
4.0	3-4	⊗		50 12cm		16	32	18					Same as above
5.0	3-5	▨				16	42	24					Lean clay (CL), Hard, Moist, Brown
6.0	3-6	⊗		82 28cm		15	37	18					Sandy lean clay (CL), Hard, Moist, Brown
7.0	3-7	⊗		86 27cm		15							Silty clayey sand (SC-SM), Very dense, Moist, Olive brown
8.0	3-8	⊗		94 24cm		7	24	17					
9.0		⊗		50 5cm									Clayey sand with gravel (SC), Very dense, Moist, Olive brown
10.0	3-9	▨				10 14	40	20	28	26	18.0	DST	

**LEGEND:** SPT: ⊗ Shelby: U4: Double Corebarrel: Single Corebarrel:

dhp-S120-2