

بسمه تعالیٰ

سازمان نظام مهندسی ساختمان استان گیلان
کمیسیون تخصصی عمران

سینیار آموزشی

سیستم پی ساختمان ها؛
الگوهای مهندسی با رویکرد توسعه پایدار

**Buildings Foundation System;
Engineering Patterns Trend Sustainable Development**

توسط:

دکتر ابوالفضل اسلامی A. Eslami
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)،
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست (AUT)

۱۰ اسفند ۱۴۰۲ - رشت، گیلان



سازمان اسناد و اسناد ملی استان گیلان

کمیسیون تخصصی عمران سازمان نظام مهندسی ساختمان استان گیلان برگزار می کند:

سمینار آموزشی سیستم پی ساختمان ها الگوهای مهندسی با رویکرد توسعه پایدار



سخنران: دکترا ابوالفضل اسلامی

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

هیات علمی سابق دانشگاه گیلان

دکتری مهندسی زئوتکنیک از دانشگاه آناها کانادا

سرفصل های سminar :

۱. مبانی زئوتکنیکی
۲. سیستم فونداسیون: فرم و عملکرد
۳. طراحی زئوتکنیکی و سازه ای
۴. خرابی ها و خسارات پی ها
۵. ترمیم و تقویت
۶. مطالعات موردنی

پنج شنبه ۱۰ آسفندماه ۱۴۰۲

ساعت ۱۰ تا ۱۴

سالن اجتماعات سازمان نظام مهندسی ساختمان گیلان

- ❖ Aims & Objectives ❖ برنامه و هدف
- ❖ Geotechnical Engineering ❖ مهندسی ژئوتکنیک
- ❖ Foundation Systems: Forms & Functions ❖ سیستم فونداسیون: فرم و عملکرد
- ❖ Foundations Design Requirements ❖ طراحی ژئوتکنیکی و سازه‌ای پی
- ❖ Foundations Failures & Damages ❖ خرابی‌ها و خسارات پی‌ها
- ❖ Retrofit & Strengthening ❖ ترمیم و تقویت
- ❖ Case Histories & Practical Examples ❖ موارد عملی و کاربردی
- ❖ Summary & Prospect ❖ جمع‌بندی و چشم‌انداز

دنیای ژئوتکنیک

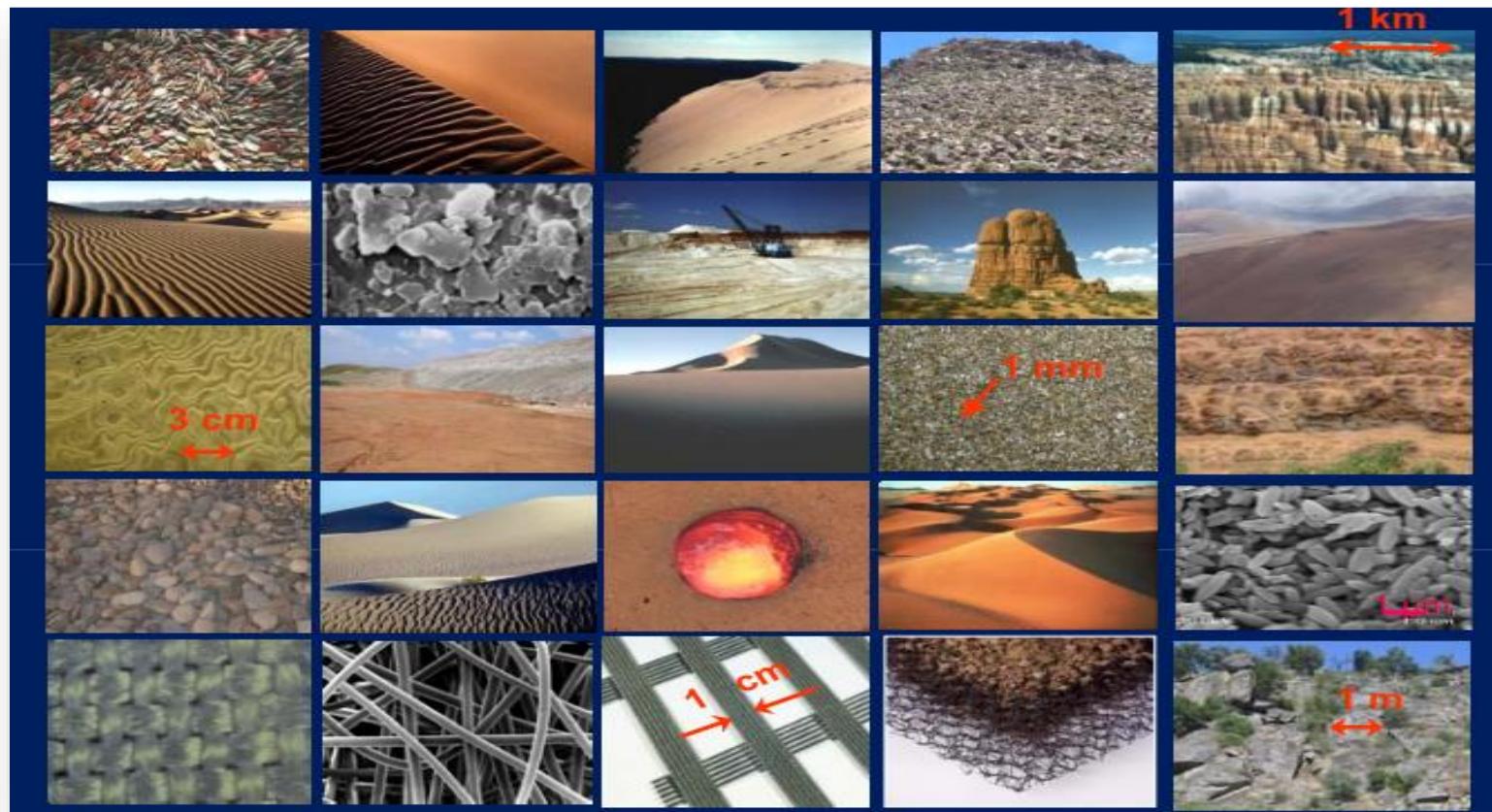
مهندسی ژئوتکنیک، شاخه‌ای از مهندسی عمران

Geomaterials: Soil, Rock, Ground Water

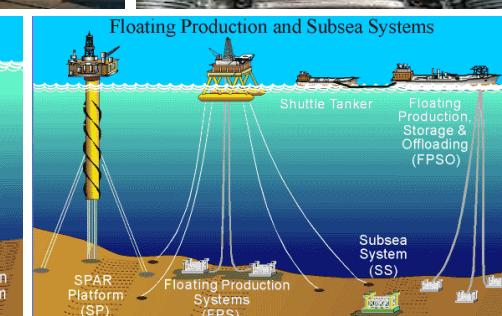
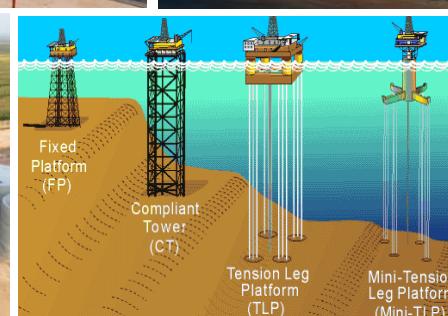
مصالح ژئوتکنیکی

Geosynthetics: Geotextile, Geogrid, Geonet, Geomembrane,...

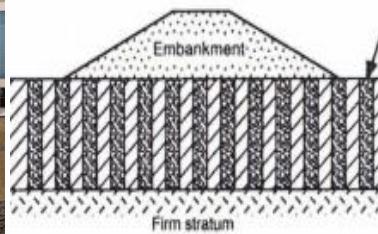
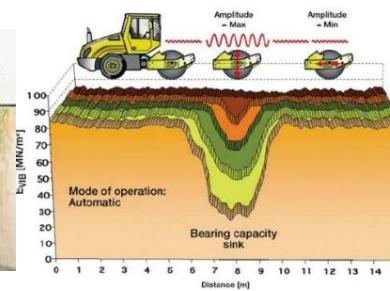
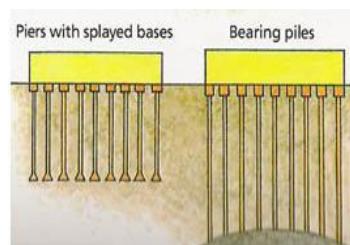
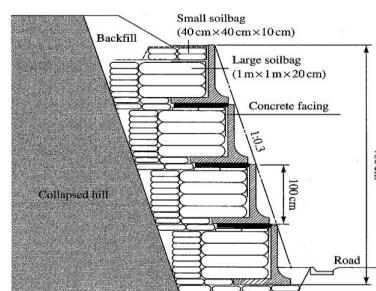
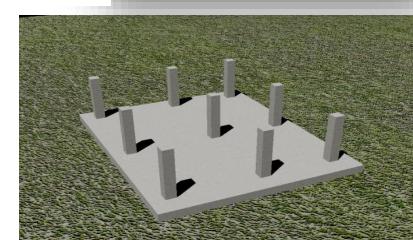
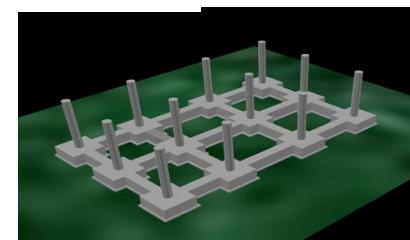
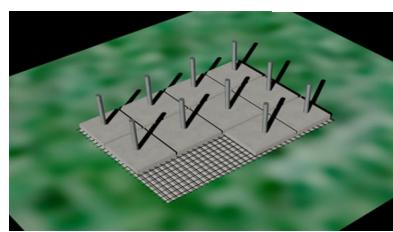
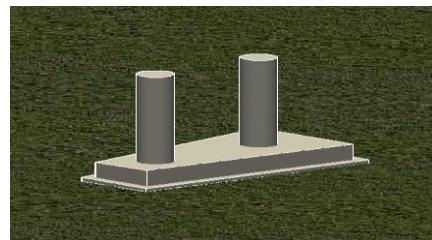
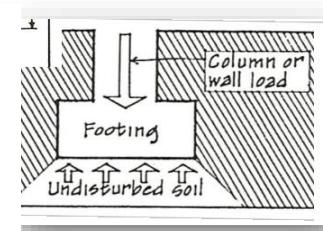
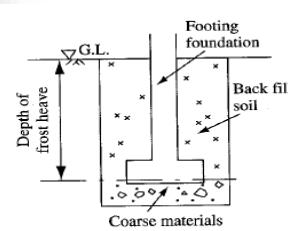
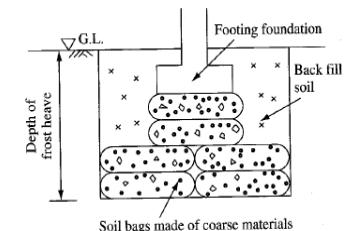
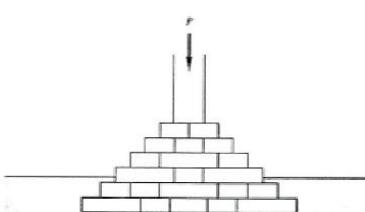
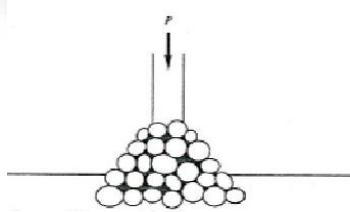
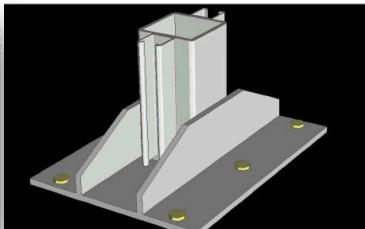
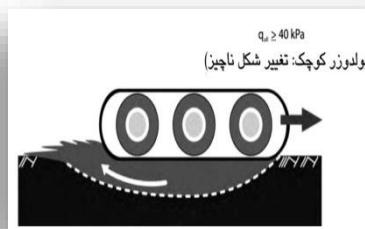
مصالح مصنوعی



سازه‌ها و ابنيه



پی‌های متداول



مهندسی پی: رئوتکنیک، سازه و ساخت

Before you speak,
T H I N K...

T - Is it true?

H - Is it helpful?

I - Is it inspiring?

N - Is it necessary?

K - Is it kind?

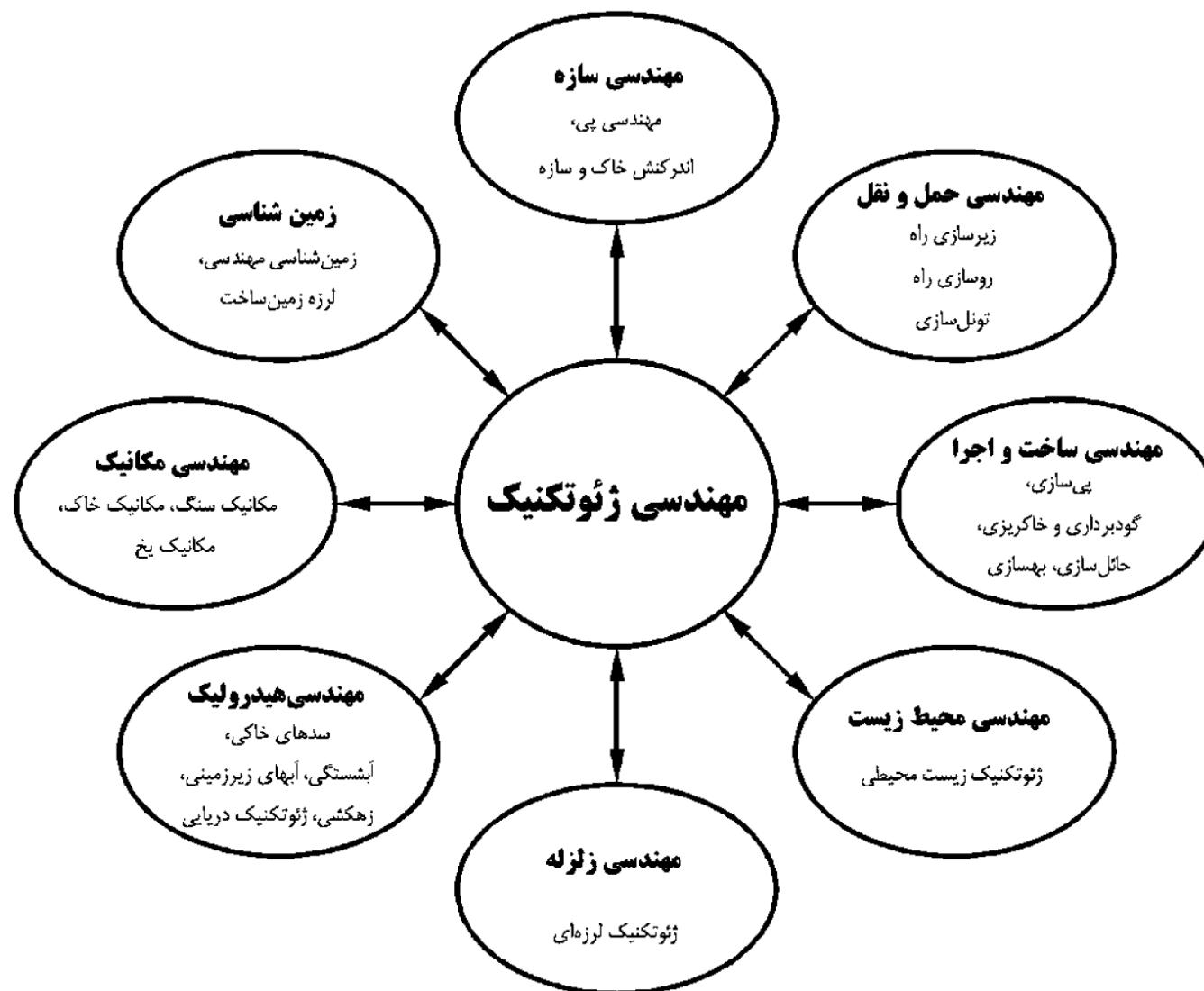
THINKING MINDS



۱. مهندسی زئوتکنیک

1. Geotechnical Engineering

همپوشانی مهندسی ژئوتکنیک و سایر گرایش‌های مهندسی



اهداف و کاربرد مطالعات ژئوتکنیک

- شناسایی مصالح طبیعی به عنوان منابع قرضه
- تعیین مقاومت خاک و سنگ بستر
- تخمین سطح آب زیرزمینی
- تعیین خصوصیات سختی خاک و سنگ محل (ویژگی‌های تراکم‌پذیری و فشردگی)
- تصمیم‌گیری در خصوص نوع پی احداثی (سطحی، نیمه عمیق، عمیق و یا بهسازی)
- بررسی پتانسیل مشکلات زمین از جنبه‌های مختلف ناپایداری و چگونگی مقابله
- شناخت مشکلات ژئوزیست محیطی و ارائه راهکارهای مناسب جهت رفع آن‌ها
- و در نهایت طراحی فنی، اجرایی و اقتصادی (بهینه) بخش‌های مختلف پروژه

گام‌های انجام مطالعات ژئوتکنیک

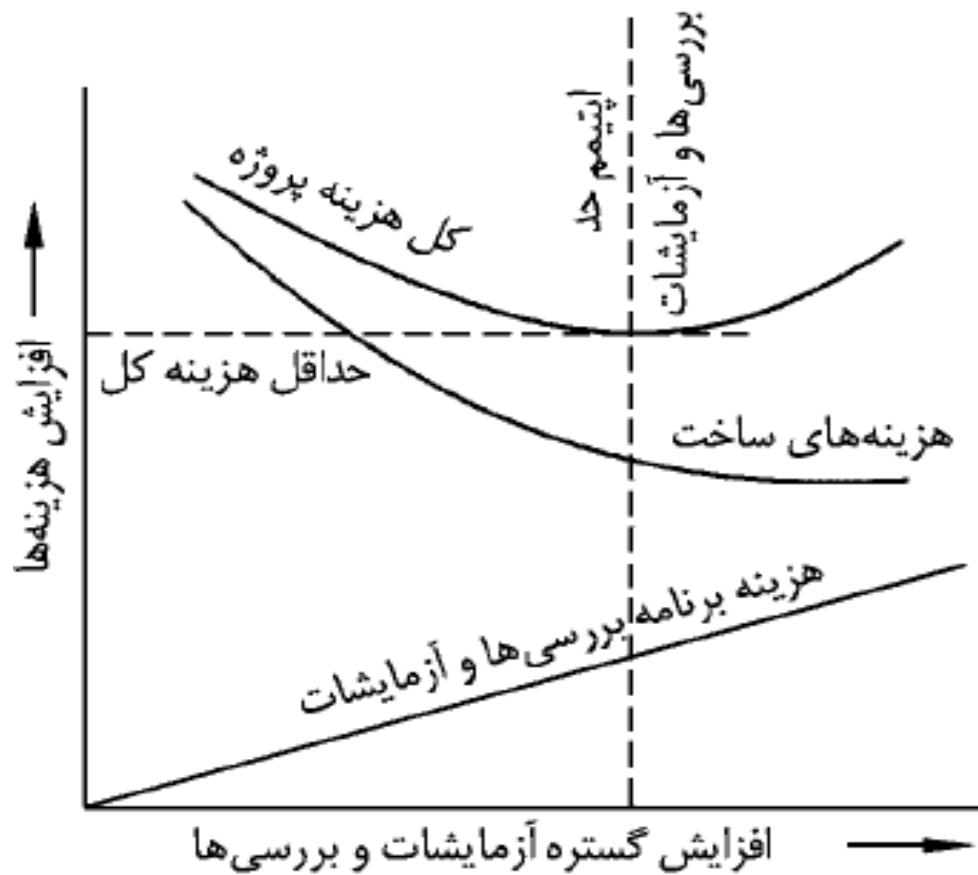
- ۱- جمع‌آوری اطلاعات اولیه (Data Collection)
- ۲- بازدید از سایت و انجام آزمایش‌های غیرمخرب (Site Visit & NDT)
- ۳- عملیات حفاری، نمونه‌گیری و آزمایش‌های درجا (Drilling Operations & In-Situ Testing)
- ۴- تست‌های آزمایشگاهی (Laboratory Tests)
- ۵- سنتز اطلاعات و گزارش ژئوتکنیکی (Information Process & Geotechnical Report)
- ۶- ابزارگذاری و پایش (Instrumentation & Monitoring)

داده‌های ویژه مهندسی پی:

Geomaterial Strength & Stiffness Parameters

پارامترهای مقاومت و سختی

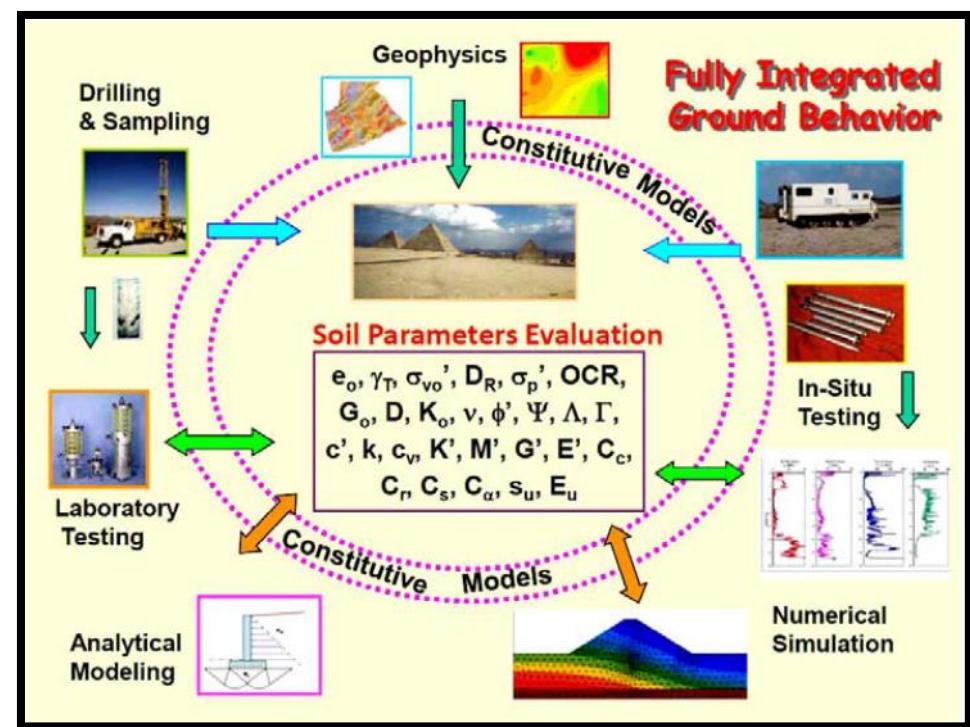
اهمیت مطالعات ژئوتکنیک



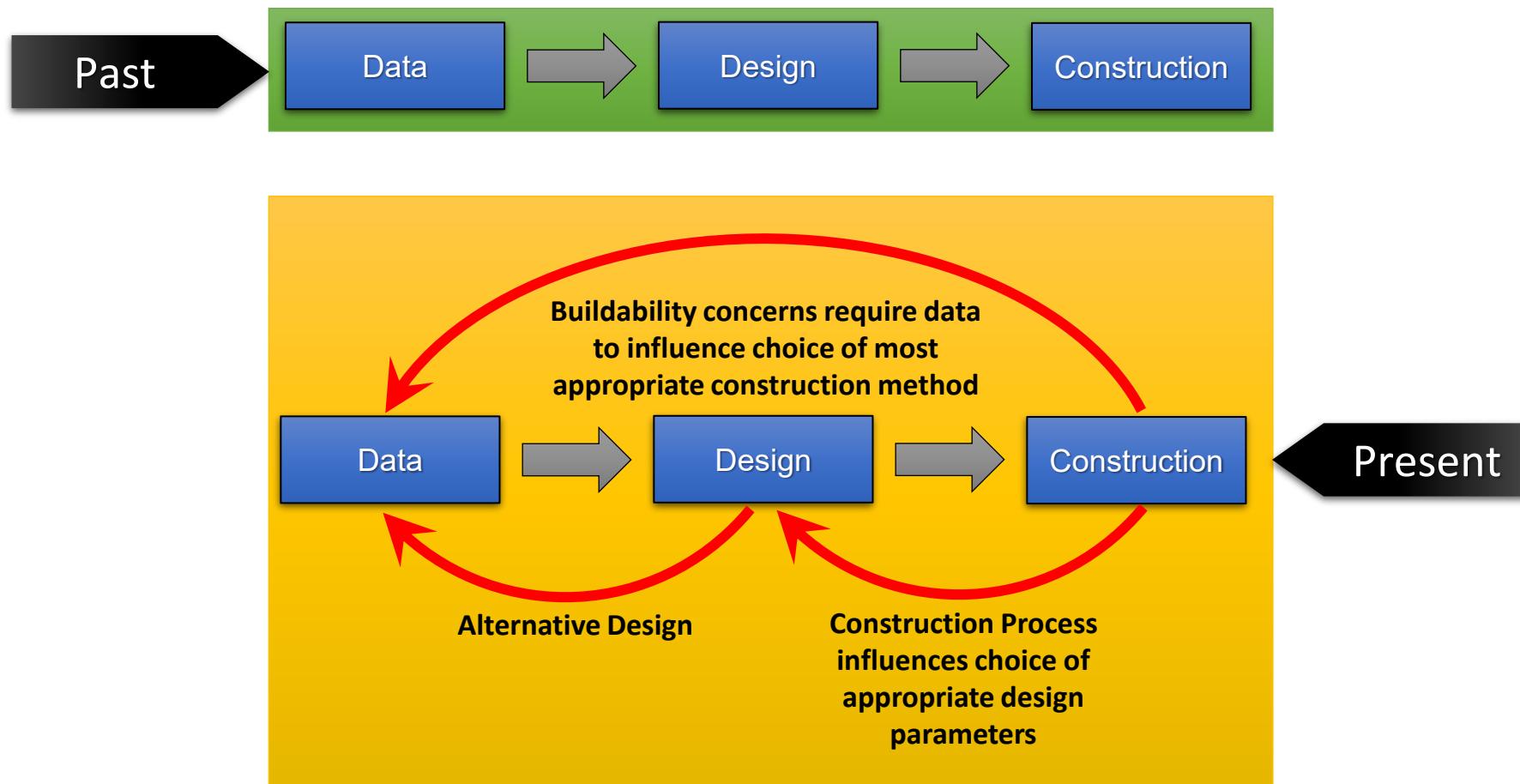
تأثیر هزینه مطالعات ژئوتکنیک بر بهینه‌سازی ساخت و اجرای پروژه

منابع داده در مهندسی ژئوتکنیک

1. Maps
2. Site Visit
3. Drilling, Boring, and Sampling
4. Geophysical Tests (Non-destructive)
5. On-situ Tests
6. In-situ Tests
7. Laboratory Element Testing
8. Laboratory Physical Modeling
9. Full-scale Testing
10. Instrumentation and Monitoring



روند طراحی، اجرا و عملکرد



(ICE, Manual Geotechnics, 2012)

گستره مطالعات ژئوتکنیک

طبق توصیه CFEM, 1992 در ساختمان‌های با پلان بزرگتر از ۲۵۰ مترمربع و کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع، حداقل ۴ گمانه یا چاه لازم است.

اگر زمین مسطح و شرایط خاک عادی باشد و دو گمانه اول شرایط عادی را نشان دهد، ممکن است به سه مورد نیز اکتفا نمود.

عموماً پنج گمانه یا چاه به صورت یک مورد در مرکز و چهار مورد در گوش‌ها ترجیح داده می‌شود، به خصوص هنگامی که سایت مسطح نیست.

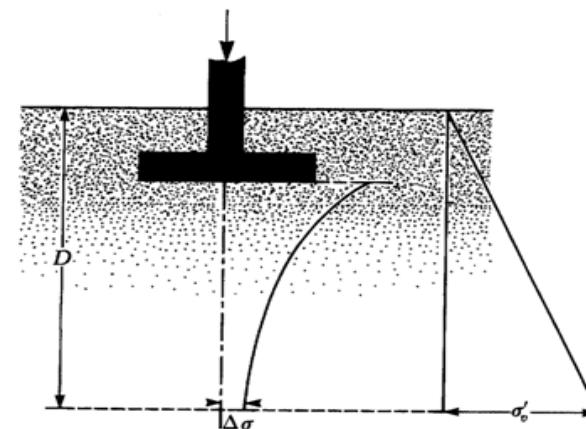
در ساختمان‌های با پلان کمتر از ۲۵۰ مترمربع معمولاً سه چاه یا گمانه لازم می‌باشد.

جدول حداقل تعداد گمانه (مبحث ۷ مقررات ملی ساختمان - ۱۴۰۰)

مساحت	اهمیت ساختمان	تعداد حداقل گمانه
یک ساختمان منفرد با سطح اشغال کمتر از ۳۰۰ مترمربع	خیلی زیاد و زیاد	۳
	متوسط	۲
	کم	۱
یک ساختمان منفرد با سطح اشغال ۳۰۰ الی ۱۰۰۰ مترمربع	خیلی زیاد و زیاد	۴
	متوسط	۳
	کم	۲

عمق مطالعات ژئوتکنیک

- حداقل عمق چاه و یا گمانه مطالعاتی، عمقی است که افزایش تنش خالص حاصل از بار روسازه در خاک به کمتر از یکی از دو معیار، ۱۰٪ مقدار تنش تماسی واردہ از کف پی به زمین و یا ۵٪ میزان تنش مؤثر در خاک، در آن عمق بررسد.
- کاهش در عمق شناسایی حاصل از معیارهای فوق وقتی که به سنگ بستر و یا خاک متراکم و سخت برخورد شود می‌تواند مورد ملاحظه قرار گیرد.



بر پایه معیار ۱۰٪ مقدار تنش

- پی مربعی - ۲ تا ۳ برابر عرض پی
 - پی نواری - ۳ تا ۴ برابر عرض پی
 - پی گستردگی - ۱/۵ برابر عرض پی

عمق مطالعات ژئوتکنیک

- اگر خاک بستر از نوع رس تحکیم عادی و نشست‌پذیر باشد ممکن است تغییر حفاری‌ها و بررسی‌های عمیق‌تر بیش از قواعد مربوط به تقلیل تنش تحمیلی به ۱۰٪ و یا برابر آن با ۵٪ تنش مؤثر مدنظر قرار گیرد.
- چاه‌ها و گمانه‌ها باید تا اعماق پایین‌تر از نهشته‌هایی که نامناسب جهت اهداف پی‌سازی هستند مثل خاکریزها و لایه‌های ضعیف تراکم‌پذیر، ادامه یابند.
- حداقل عمق چاه و یا گمانه در پایین‌ترین قسمت مربوط به سطح پی‌سازی نباید کمتر از ۶ متر باشد، مگر اینکه به سنگ بستر و یا زمین متراکم در اعماق سطحی‌تر برخورد شود. اگر به سنگ بستر برخورد شود بیش از یک چاه و یا گمانه باید حداقل ۳ متر در آن نفوذ نموده تا اطمینان حاصل شود که سنگ حاصل، از نوع تخته‌سنگ و یا پاره‌سنگ نیست.

دستورالعمل کلی جهت تعیین تعداد و عمق گمانه‌ها (Sowers, 1970)

شرایط زیر سطحی	سطح زیر پی جهت حفر یک گمانه m^2	* عمق حداقل حفاری
ضعیف و متعدد	100-300	$6S^{0.7} + D_f$
متوسط	200-400	$5S^{0.7} + D_f$
مناسب و خوب	300-1000	$3S^{0.7} + D_f$

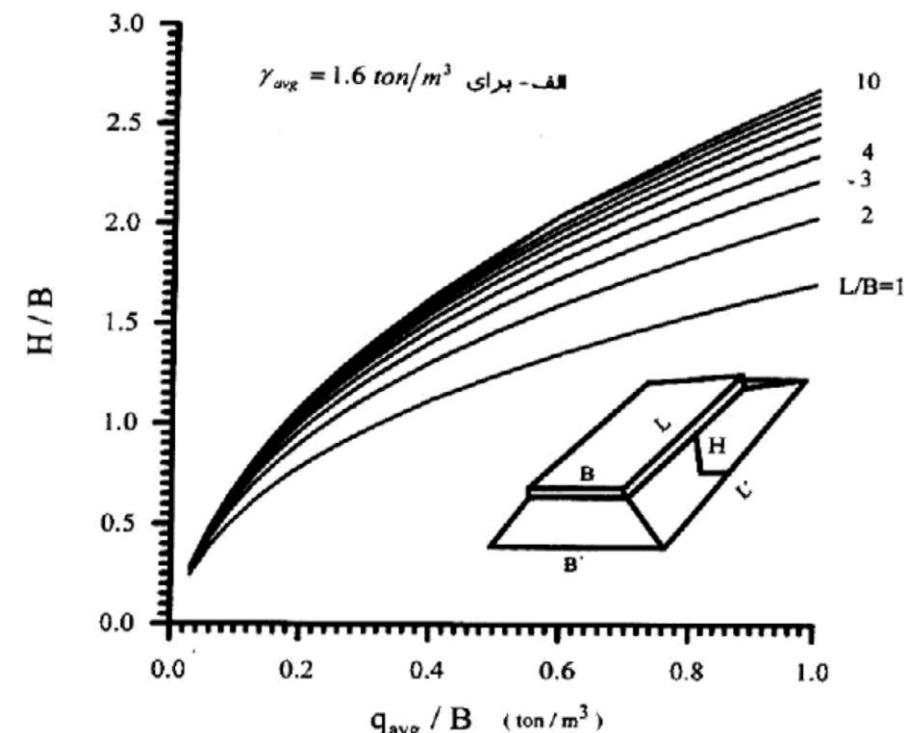
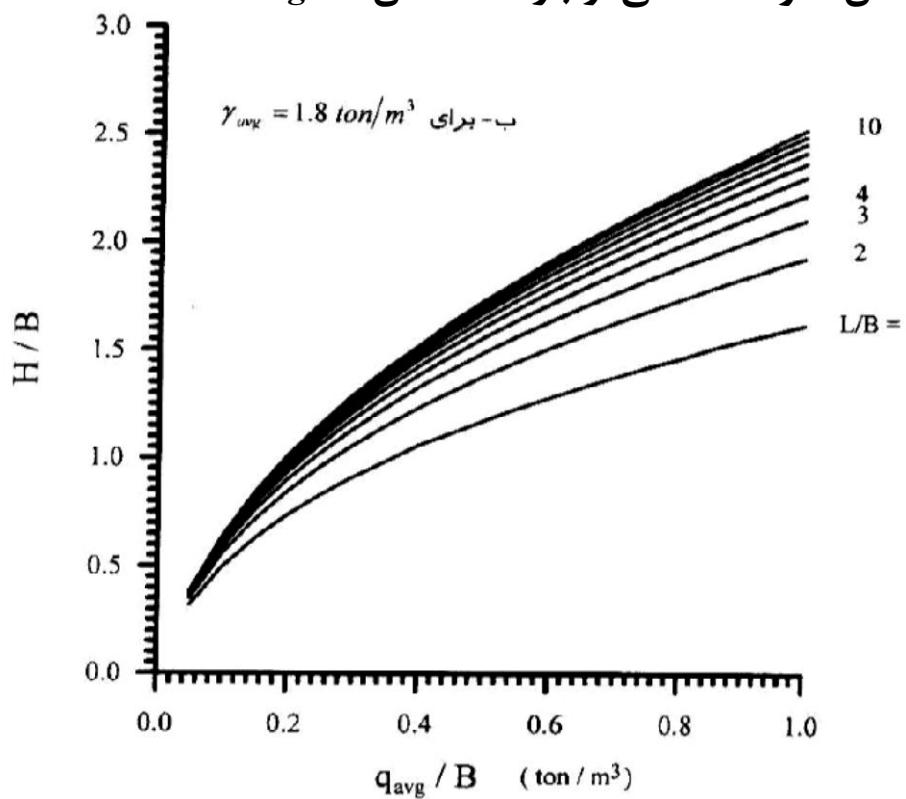
* S تعداد طبقات ساختمان و D_f عمق پیش‌بینی شده استقرار پی

عمق مطالعات ژئوتکنیک

$H =$ عمق گمانه

$B =$ بعد ساختمان

$q_{avg} =$ تنش متوسط ناشی از بار ساختمان



الف - مقادیر عمق اکتشافی (H) بر اساس برابری تنش حاصل از روسازه با ۵٪ تنش مؤثر

اسلامی (۱۳۹۲)

ب - مقادیر عمق اکتشافی (H) بر اساس برابری تنش حاصل از روسازه با ۵٪ تنش مؤثر

طبقه‌بندی کلی خاک‌ها

طبقه‌بندی اخیر:

- رس‌ها (Clays)
 - دانه‌ای (Granular)
 - چسبنده-اصطکاکی (IGM)

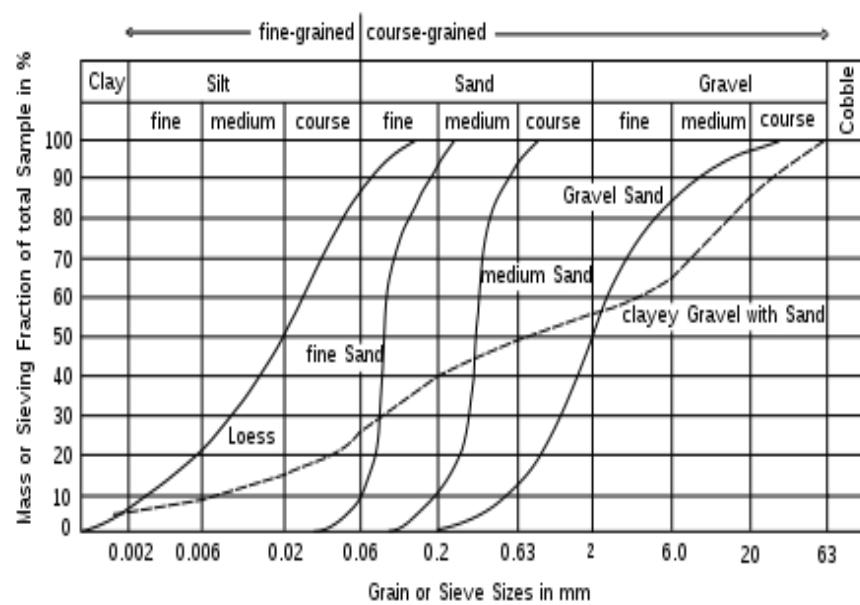
طبقه‌بندی معمول:

- | | | |
|---|---|-----------|
| <ul style="list-style-type: none">• شن (Gravel)• ماسه (Sand) | } | درشت‌دانه |
| <ul style="list-style-type: none">• لای (Silt)• رس (Clay) | } | ریز‌دانه |

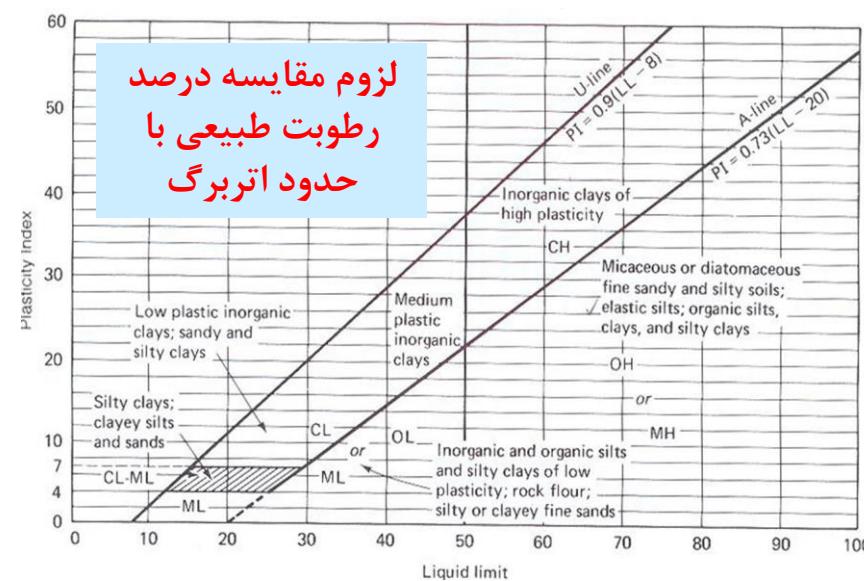
خصوصیات کلی خاک‌های درشت‌دانه و ریز‌دانه

خاک‌های درشت‌دانه: ظرفیت باربری زیاد، تغییر‌شکل‌پذیری کم، نفوذ‌پذیری و در نتیجه زهکشی زیاد، عدم وابستگی شدید مقاومت و تغییر حجم به تغییر رطوبت

خاک‌های ریز‌دانه: ظرفیت باربری کم، تغییر‌شکل‌پذیری زیاد، نفوذ‌پذیری و در نتیجه زهکشی کم، وابستگی مقاومت و تغییر حجم به تغییر رطوبت



منحنی توزیع دانه‌بندی



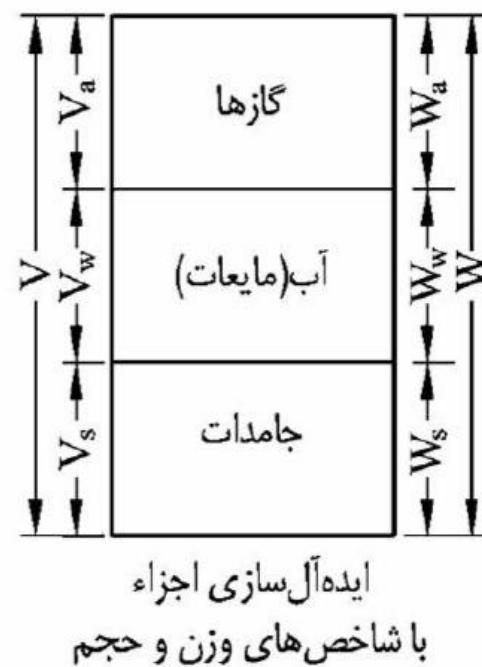
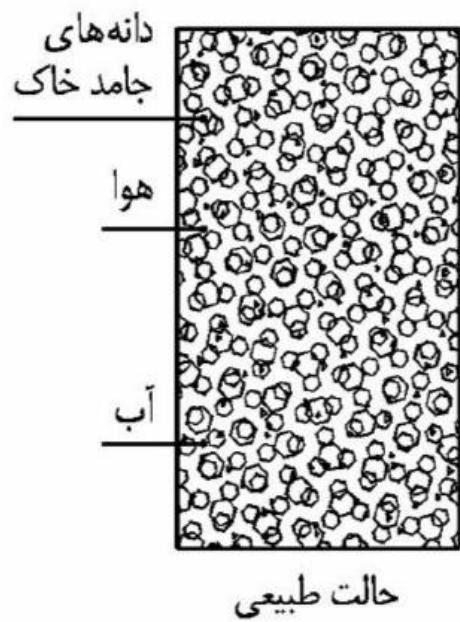
چارت پلاستیسیته کاساگراند مورد استفاده برای طبقه‌بندی انواع خاک

برآورد تراکم و سفتی در محل

طبقه‌بندی خاک‌های درشتدانه و ریزدانه بر اساس تراکم و سفتی در محل (French, 2000)

نوع خاک	شرح چگونگی سفتی و مترارکمی
شن و ماسه	<p>شل: کندن آن با بیل امکان پذیر است و می‌توان یک میخ چوبی به قطر ۵۰ mm را در آن کوبید.</p> <p>مترارکم: برای کندن آن کلنگ لازم و میخ چوبی به قطر ۵۰ mm را به سختی می‌توان در آن کوبید.</p> <p>کمی‌سیمانی شده: با کلنگ به صورت کلوخه‌ایی که می‌توان آن را خراش داد، کنده می‌شود.</p>
لای‌ها (سیلت‌ها)	<p>نرم یا سست: به سادگی با انگشتان فرم داده شده و یا خرد می‌گردد.</p> <p>سفت یا مترارکم: می‌توان آن را با فشار قوی بین انگشتان فرم داد و یا خرد کرد.</p>
رس‌ها	<p>خیلی نرم: چنانچه در دست بسته فشار داده شود از بین انگشتان بیرون می‌زند.</p> <p>نرم: با فشار کم انگشتان فرم می‌گیرد.</p> <p>سفت: با فشار زیاد انگشتان می‌توان آن را فرم داد.</p>
خاکهای آلی، نباتی	<p>سخت: نمی‌توان با انگشتان آن را فرم داد و به وسیله شست می‌توان در آن شیار ایجاد نمود.</p> <p>خیلی سخت: به سختی با ناخن شست می‌توان آن را دندانه‌دار و در آن شیار ایجاد نمود.</p> <p>سفت: فیبرها از قبل درهم فشرده شده اند.</p> <p>اسفنجی: خیلی فشار پذیر و دارای ساختاری باز و متخلخل می‌باشد.</p> <p>پلاستیک: در دست فرم داده شده و آثار آن بر انگشتان می‌ماند.</p>

روابط وزنی - حجمی



فازهای مختلف یک توده خاک با مقادیر وزنی و حجمی

روابط وزنی - حجمی

NO.	Soil Physical Parameters		Definition	Current Range of Variation
1	Void Ratio	تخلخل	$e = V_v/V_s$	0.1 – 1.5
2	Porosity	درجه پوکی	$n = V_v/V = e/1+e$	9-60 %
3	Water Content	درصد رطوبت	$\omega = W_w/W_s \times 100$	3-70 %
4	Degree of Saturation	درجه اشباع	$S_r = V_w/V_v \times 100$	2-100 %
5	Specific Gravity	چگالی ویژه	$G_s = W_s/V_s \cdot \gamma_w$	2.6 – 2.8
6	Wet Density	وزن مخصوص مرطوب	$\gamma_{wet} = \gamma = W/V$	1.1 – 2.1 ton/m ³
7	Dry Density	وزن مخصوص خشک	$\gamma_d = \gamma_{dry}/V$	1 – 1.9 ton/m ³
8	Saturated Density	وزن مخصوص اشباع	$\gamma_{sat} = \gamma_{sat}/V$	1.2 – 2.3
9	Submerged Density	وزن مخصوص غوطه ور	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$	0.4 – 1.1
10	Air Content	درصد هوا	$A = V_a/V \times 100$	5 - 30

شاخص‌های کمی و کیفی انواع خاک‌ها بر اساس تجارت و عملکرد (Holtz et al., 2023)

Major Divisions (1) (2)		Symbol			Name (6)	Value as Subgrade When not Subject to Frost Action (7)	Value as Subbase When not Subject to Frost Action (8)	Value as Base When not Subject to Frost Action (9)
		Letter (3)	Hatching (4)	Color (5)				
COARSE-GRAINED SOILS	GRAVEL AND GRAVELLY SOILS	GW		Red	Well-graded gravels or gravel-sand mixtures, little or no fines	Excellent	Excellent	Good
		GP			Poorly graded gravels or gravel-sand mixtures, little or no fines	Good to excellent	Good	Fair to good
		GM		Yellow	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Good to excellent	Good	Fair to good
		u				Good	Fair	Poor to not Suitable
	SAND AND SANDY SOILS	GC		Red	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Good	Fair	Poor to not Suitable
		SW			Well-graded sands or gravelly sands, little or no fines	Good	Fair to good	Poor
		SP		Yellow	Poorly graded gravels or gravelly sands, little or no fines	Fair to good	Fair	Poor to not Suitable
		d			Silty gravels, sand-silt mixtures	Fair to good	Fair to good	Poor
FINE-GRAINED SOILS	SILTS AND CLAYS LL IS LESS THAN 50	SM		Yellow		Fair	Poor to fair	Not suitable
		u		Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity	Poor to fair	Not suitable	Not suitable	
		OL		Green	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	Poor to fair	Not suitable	Not suitable
	SILTS AND CLAYS LL IS GREATER THAN 50	ML		Green	Organic silts and organic silt-clays of low plasticity	Poor	Not suitable	Not suitable
		CL			Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	Poor	Not suitable	Not suitable
		CH		Blue	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	Poor to fair	Not suitable	Not suitable
		MH		Blue	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts	Poor to very poor	Not suitable	Not suitable
		OH			Peat and other highly organic soils	Not suitable	Not suitable	Not suitable
HIGHLY ORGANIC SOILS		Pt		Orange	Peat and other highly organic soils	Not suitable	Not suitable	Not suitable

شاخص‌های کمی و کیفی انواع خاک‌ها بر اساس تجارب و عملکرد (Holtz et al., 2023)

Potential Frost Action (10)	Compressibility and Expansion (11)	Drainage Characteristics (12)	Compaction Equipment (13)	Unit Dry Densities		Typical Design Values	
				1bf/ft ³ (14)	kg/m ³ (15)	CBR (16)	Subgrade Modulus K (1bf/in. ³) (17)
None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired roller, steel-wheeled roller	125–140	2000–2240	40–80	300–500
None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired roller, steel-wheeled roller	110–140	1760–2240	30–60	300–500
Slight to medium	Very slight	Fair to poor	Rubber-tired roller, sheepfoot roller, close control of moisture	125–145	2000–2320	40–60	300–500
Slight to medium	Slight	Poor to practically impervious	Rubber-tired roller, sheepfoot roller	115–135	1840–2160	20–30	200–500
Slight to medium	Slight	Poor to practically impervious	Rubber-tired roller, sheepfoot roller	130–145	2080–2320	20–40	200–500
None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired roller	110–130	1760–2080	20–40	200–400
None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired roller	105–135	1680–2160	10–40	150–400
Slight to high	Very slight	Fair to poor	Rubber-tired roller, sheepfoot roller, close control of moisture	120–135	1920–2160	15–40	150–400
Slight to high	Slight to medium	Poor to practically impervious	Rubber-tired roller, sheepfoot roller	100–130	1600–2080	10–20	100–300
Slight to high	Slight to medium	Poor to practically impervious	Rubber-tired roller, sheepfoot roller	100–135	1600–2160	5–20	100–300
Medium to very high	Slight to medium	Fair to poor	Rubber-tired roller, sheepfoot roller, close control of moisture	90–130	1440–2080	15 or less	100–200
Medium to high	Medium	Practically impervious	Rubber-tired roller, sheepfoot roller	90–130	1440–2080	15 or less	50–150
Medium to high	Medium to high	Poor	Rubber-tired roller, sheepfoot roller	90–105	1440–1680	5 or less	50–100
Medium to very high	High	Fair to poor	Sheepfoot roller, rubber-tired roller	80–105	1280–1680	10 or less	50–100
Medium	High	Practically impervious	Sheepfoot roller, rubber-tired roller	90–115	1440–1840	15 or less	50–150
Medium	High	Practically impervious	Sheepfoot roller, rubber-tired roller	80–110	1280–1760	5 or less	25–100
Slight	Very high	Fair to poor	Compaction not practical				

تنش در خاک

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^n \gamma \cdot Z_i$$

منشا تنش در خاک

$$u_i = \gamma_0 \cdot Z_0$$

- ژئواستاتیکی

$$\sigma' = \sigma_t - u \begin{cases} u_h \\ u_e \end{cases}$$

- تحمیلی

- تنش‌های ژئواستاتیکی (Geostatic Stresses): در نتیجه نیروی جاذبه ایجاد شده

و متأثر از وزن مخصوص و ضخامت لایه‌ها

- تنش‌های تحمیلی (Induced Stresses): به سبب بارهای خارجی و بارگذاری از

طریق پی‌ها و پایه‌ها

جريان آب در خاک

Darcy (1856):

$$v = ki$$

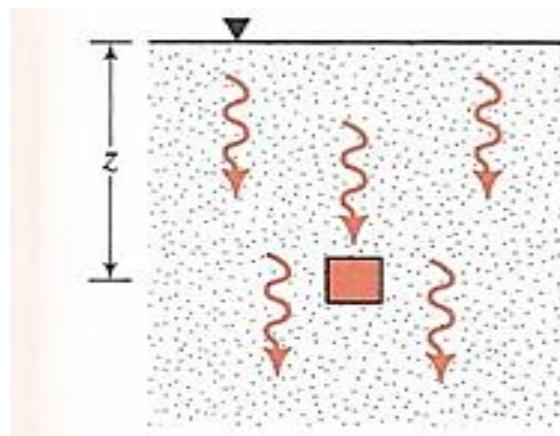
v = Flow Velocity

k = Permeability Coefficient

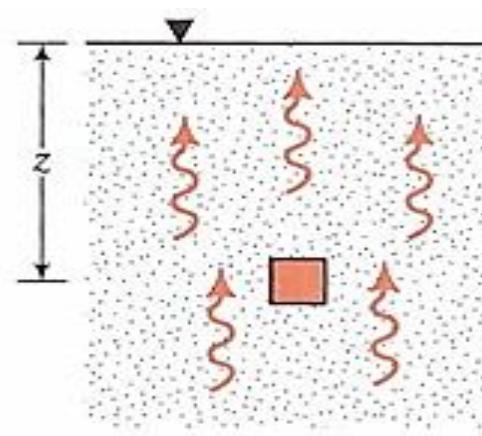
i = Hydraulic Gradient

تأثیر تراوش بر تنش موثر توده خاک

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_{water}} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$



(a) Downward seepage



(b) Upward seepage

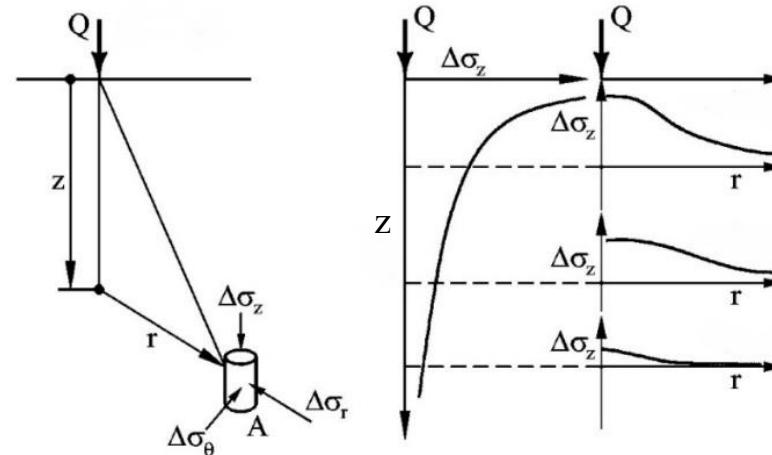
$$\sigma'_z = \gamma'z + iz\gamma_w = \gamma'z + j_s z$$

$$\sigma'_z = \gamma'z - iz\gamma_w = \gamma'z - j_s z$$

توزیع تنش در خاک

- تنش‌های اضافی یا تحمیلی مواردی را در بر می‌گیرند که مربوط به بارهای خارجی از قبیل فونداسیون سازه‌ها و بارگذاری می‌باشند.
- در نتیجه اعمال بار بر روی زمین، لازم است محدوده تأثیر، مقدار و عکس‌العمل زمین در مقابل آن‌ها تعیین گردد.
- تعیین مقدار این پارامترها در محاسبات نشست، تداخل تنش‌ها، حفاری‌های آتی و طراحی دیوارهای حائل نقش مهمی دارد.

$$\sigma_z = \frac{q_o \times B \times L}{(B + Z)(L + Z)}$$



Distribution of stress at different depths

مقاومت برشی

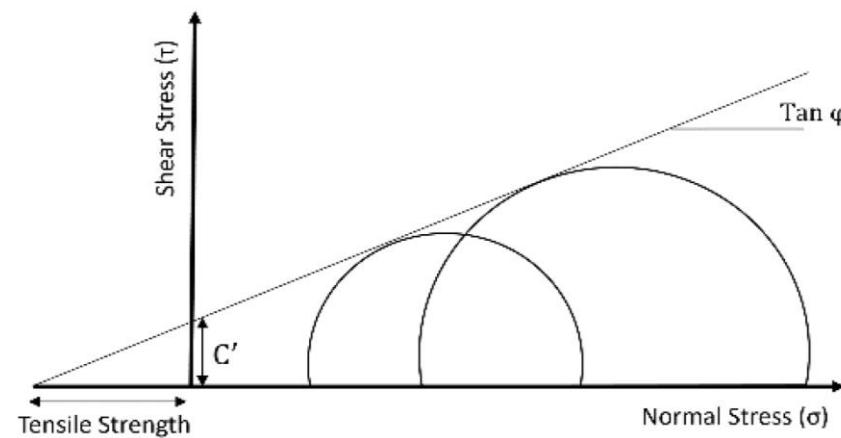
$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

τ = shear strength,

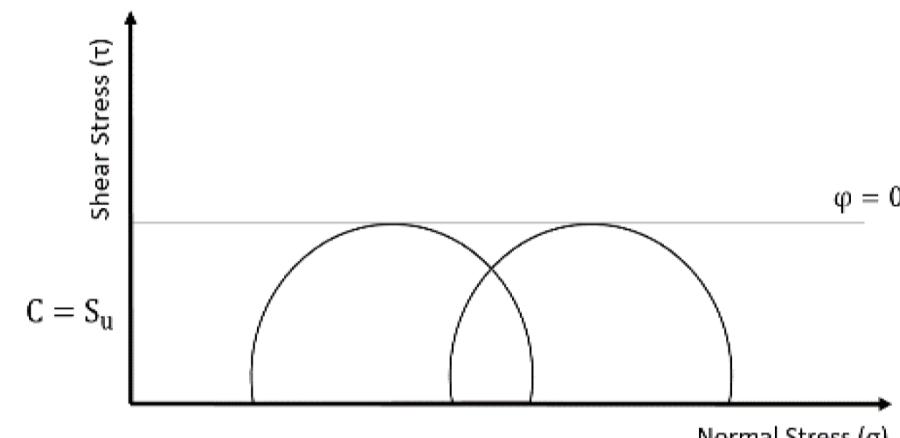
c = effective or total cohesion,

φ = effective or total friction angle,

σ' = effective or mean confining stress acting on the shear surface.



Drained



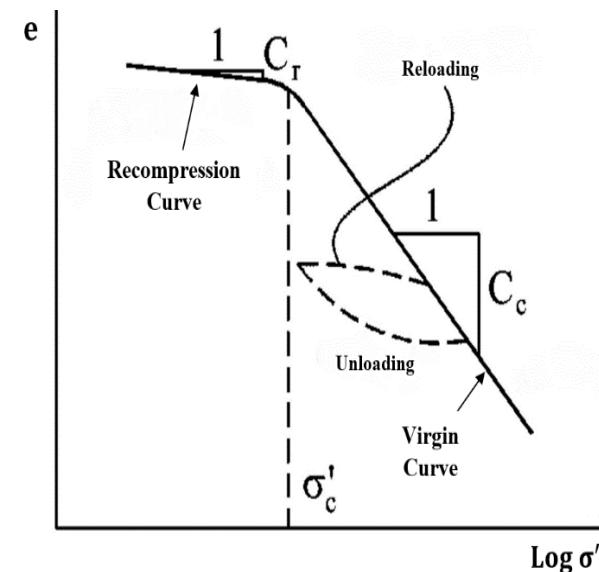
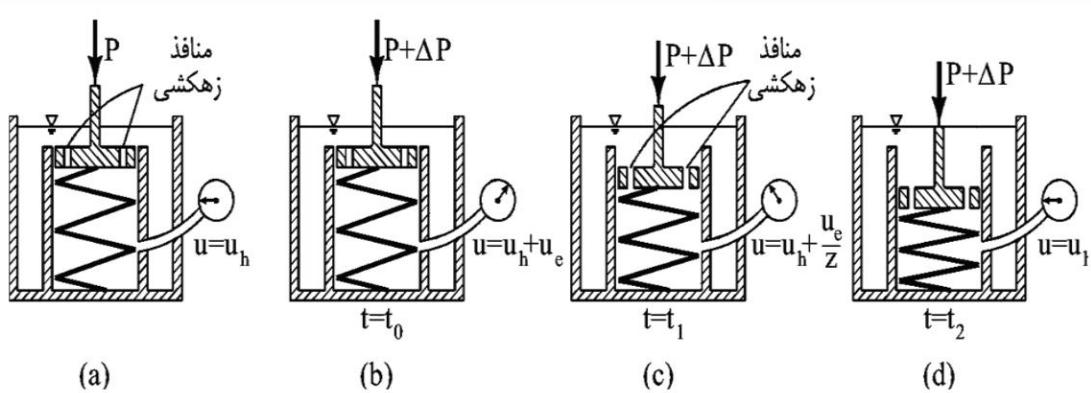
Undrained

تحکیم و فشردگی

خروج آب منفذی و متعاقباً کاهش حجم و نشست

$$t = 0 \Rightarrow u_e = \Delta\sigma_{\text{Load}} \quad , \quad \Delta\sigma' = 0$$

$$t = \infty \Rightarrow u_e = 0 \quad , \quad \Delta\sigma' = \Delta\sigma_{\text{Load}}$$

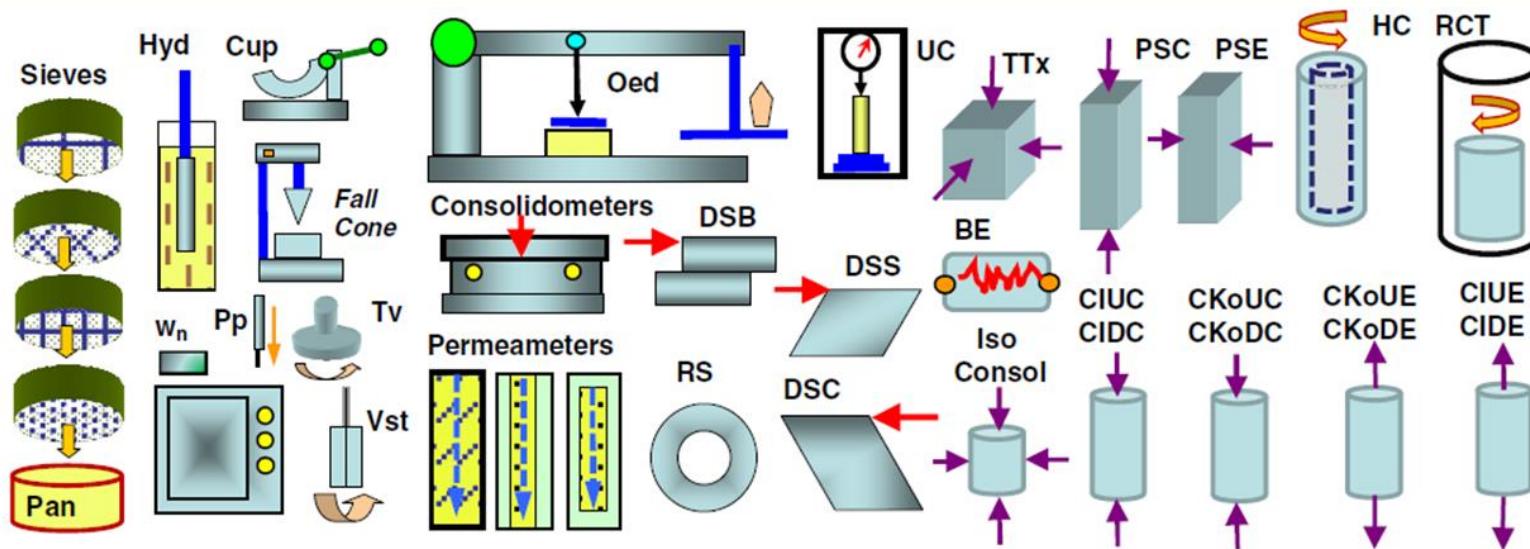


e- log σ' formulation of the soil stress- strain curve

تقسیم‌بندی تست‌های آزمایشگاهی متناسب با کاربرد

- آزمایش‌های شناسایی و اندکس: مثل درصد رطوبت، توزیع دانه‌ها یا دانه‌بندی (آنالیز الک و یا هیدرومتری) حدود اتربرگ، وزن مخصوص
- آزمایش‌های تغییرات حجمی: تراکم، تحکیم، رمبندگی، CBR و تورم
- آزمایش‌های آب در خاک: نفوذپذیری، تحکیم، تورم، جوشش ماسه‌ای
- آزمایش‌های شیمیایی و خوردگی: مثل تعیین یون‌های سولفات، کلراید، pH آب
- آزمایش‌های تعیین پارامترهای مقاومت بر شی: تکمحوری، برش، سهمحوری
- آزمایش‌های دینامیکی: مثل سهمحوری سیکلی، ستون تشدید، برش سیکلی

تست‌های آزمایشگاهی



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

پارامترهای ژئوتکنیکی

CONDUCTIVITY

- Hydraulic: k_v , k_h
- Thermal: k_e
- Electrical: Ω , ζ
- Chemical: D_f
- Transmissivity
- Permittivity

COMPRESSIBILITY

- Recompression, C_r
- Yield Stress, σ_y' (and YSR)
- Preconsolidation, σ_p' (and OCR)
- Coef. of Consolidation, c_v
- Virgin Compression, C_c
- Swelling index, C_s

RHEOLOGICAL

- Creep, $C_{\alpha\epsilon}$
- Strain rate, $\delta\epsilon/\delta t$
- Age (T)
- Creep rate
- Time to creep rupture, t_{cr}

STIFFNESS

- Stiffness: $G_0 = G_{max}$
- Shear Modulus, G' and G_u
- Elastic Modulus, E' and E_u
- Bulk Modulus, K'
- Constrained Modulus, D'
- Tensile Stiffness, K_T
- Poisson's Ratio, ν
- Effects of Anisotropy
- Nonlinearity (G/G_{max} vs γ_s)

STRENGTH

- Drained and Undrained τ_{max}
- Peak (s_u , c' , ϕ')
- Post-peak
- Remolded/Softened/CS
- Residual
- Cyclic Behavior
- Geosynthetics: tensile strength, pullout resistance, interface shear strength.

(Mayne, 2009)

پارامترهای ژئوتکنیکی

اندیس فشردگی (C_c) در خاک‌های مختلف

Soil	C_c
Normally consolidated medium sensitive clays	0.2 to 0.5
Chicago silty clay (CL)	0.15 to 0.3
Boston blue clay (CL)	0.3 to 0.5
Vicksburg buckshot clay (CH)	0.5 to 0.6
Swedish medium sensitive clays (CL-CH)	1 to 3
Canadian Leda clays (CL-CH)	1 to 4
Mexico City clay (MH)	7 to 10
Organic clays (OH)	4 and up
Peats (Pt)	10 to 15
Organic silt and clayey silts (ML-MH)	1.5 to 4.0
San Francisco Bay mud (CL)	0.4 to 1.2
San Francisco Old Bay clays (CH)	0.7 to 0.9
Bangkok clay (CH)	0.4

پارامترهای ژئوتکنیکی

زاویه اصطکاک داخلی خاک و عوامل موثر بر آن

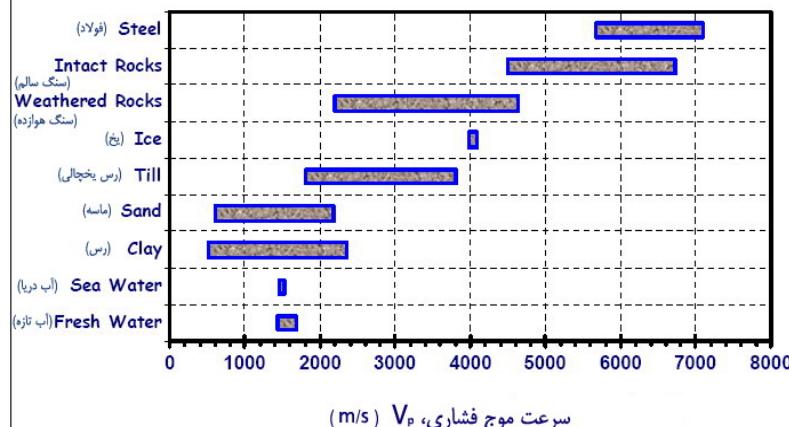
Factor	Effect
Void ratio, e	$e \uparrow, \phi \downarrow$
Angularity, A	$A \uparrow, \phi \uparrow$
Grain-size distribution	$C_u \uparrow, \phi \uparrow$
Surface roughness, R	$R \uparrow, \phi \uparrow$
Water content, w	$w \uparrow, \phi \downarrow$ slightly
Intermediate principal stress	$\phi_{ps} \geq \phi_{tx}$ (see Sec. 13.11)
Particle size, S	No effect (with constant e)
Overconsolidation or prestress	Little effect

تست‌های ژئوفیزیکی

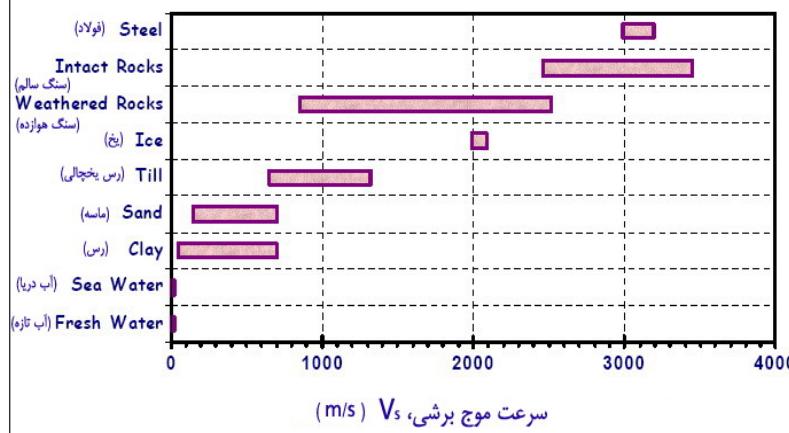
مزایای آزمایش‌های ژئوفیزیکی

- غیرمخرب
- سریع و اقتصادی
- تفسیر نتایج بر پایه تئوری
- قابل انجام در خاک و سنگ

سرعت امواج P



سرعت امواج S

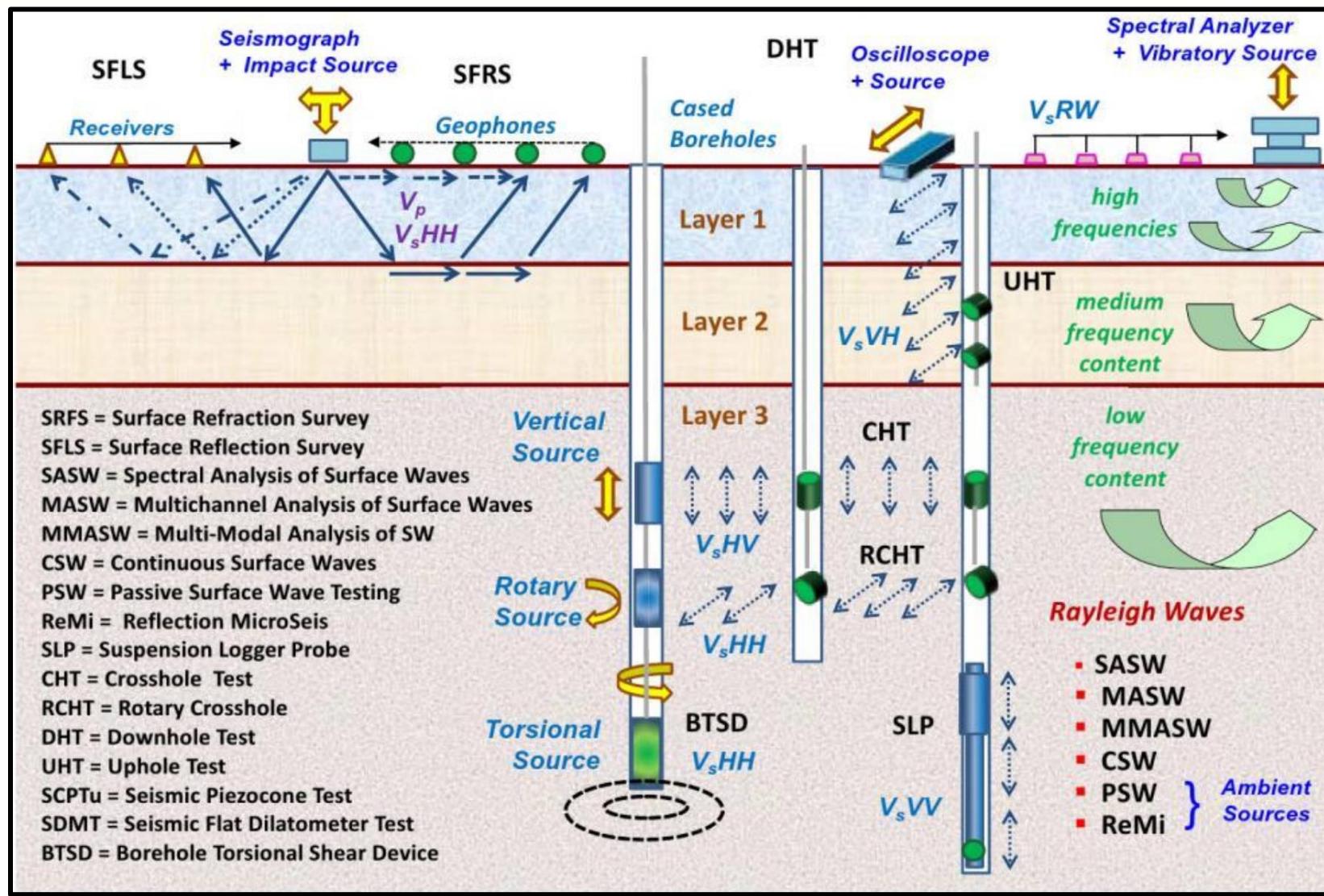


نمونه سرعت‌های موج برشی و
فشاری انواع مصالح خاکی و سنگی

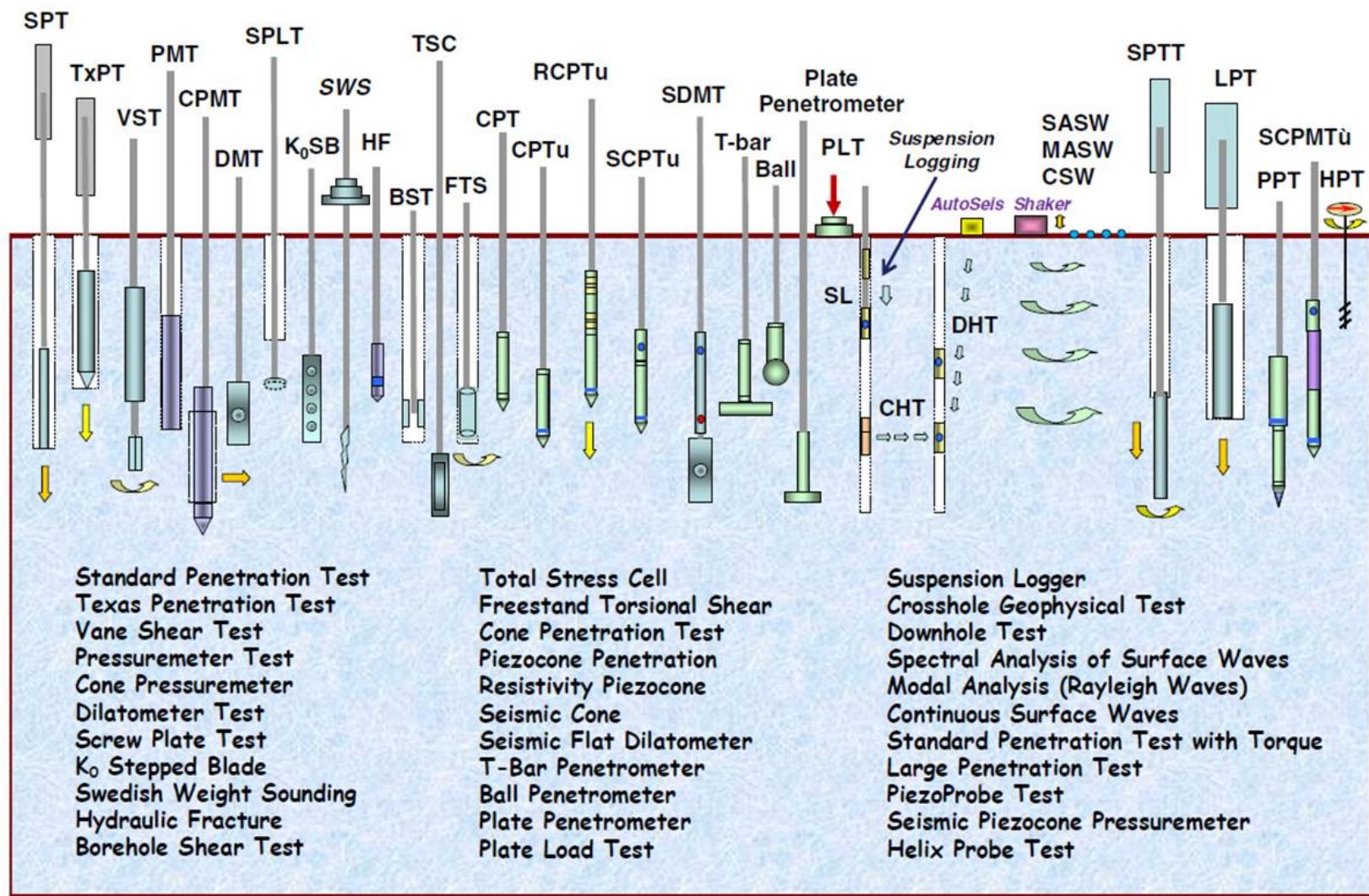
محدودیت‌های آزمایش‌های ژئوفیزیکی

- عدم نمونه‌گیری و یا نفوذ فیزیکی سیستم
- استفاده از مدل در تفسیر
- تحت تاثیر لایه‌های سیمانته
- نتایج تحت تاثیر آب، رس و عمق

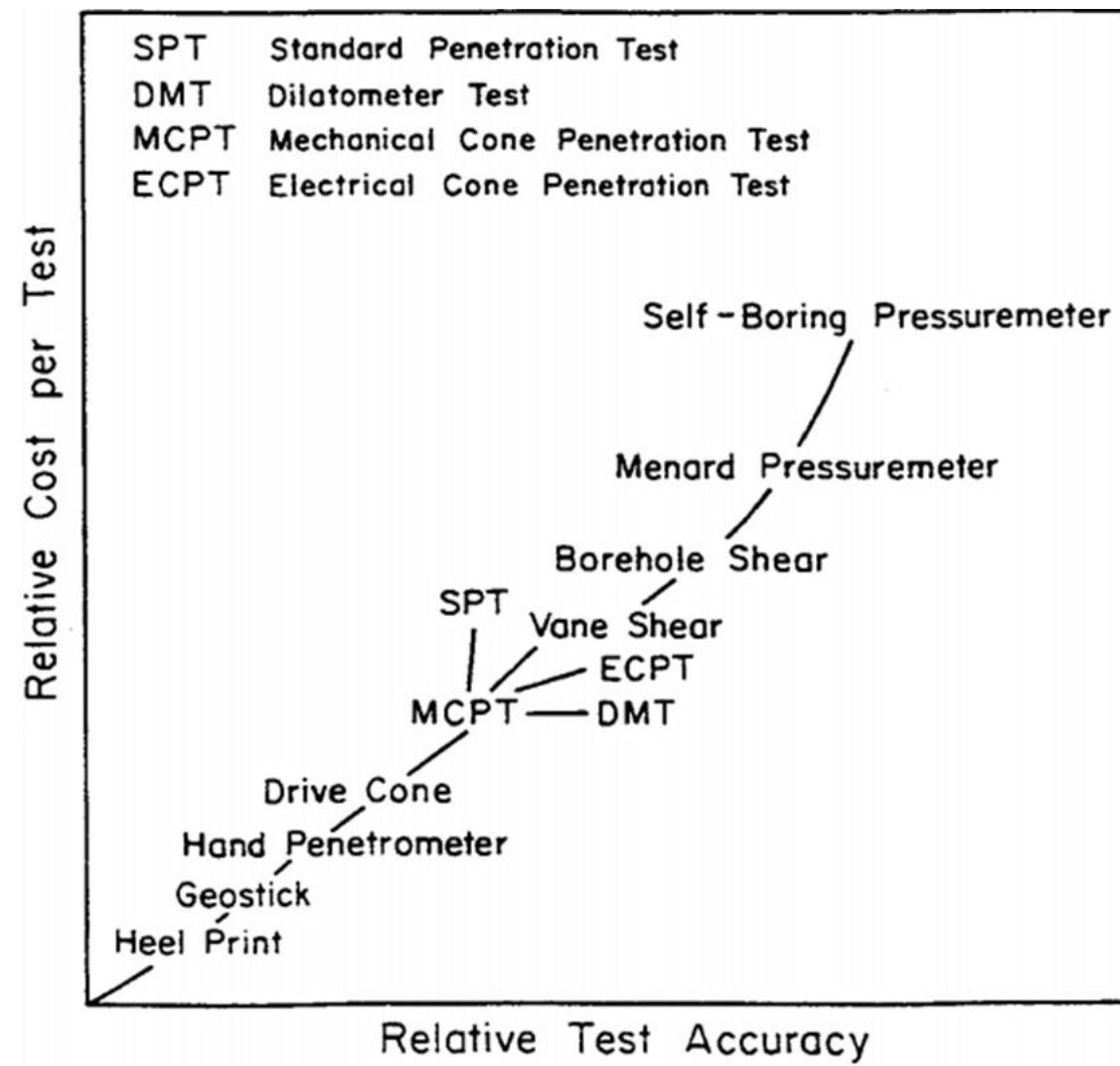
تست‌های ژئوفیزیکی



تست‌های درجا



مقایسه هزینه و دقیقت انواع تست‌های درجا



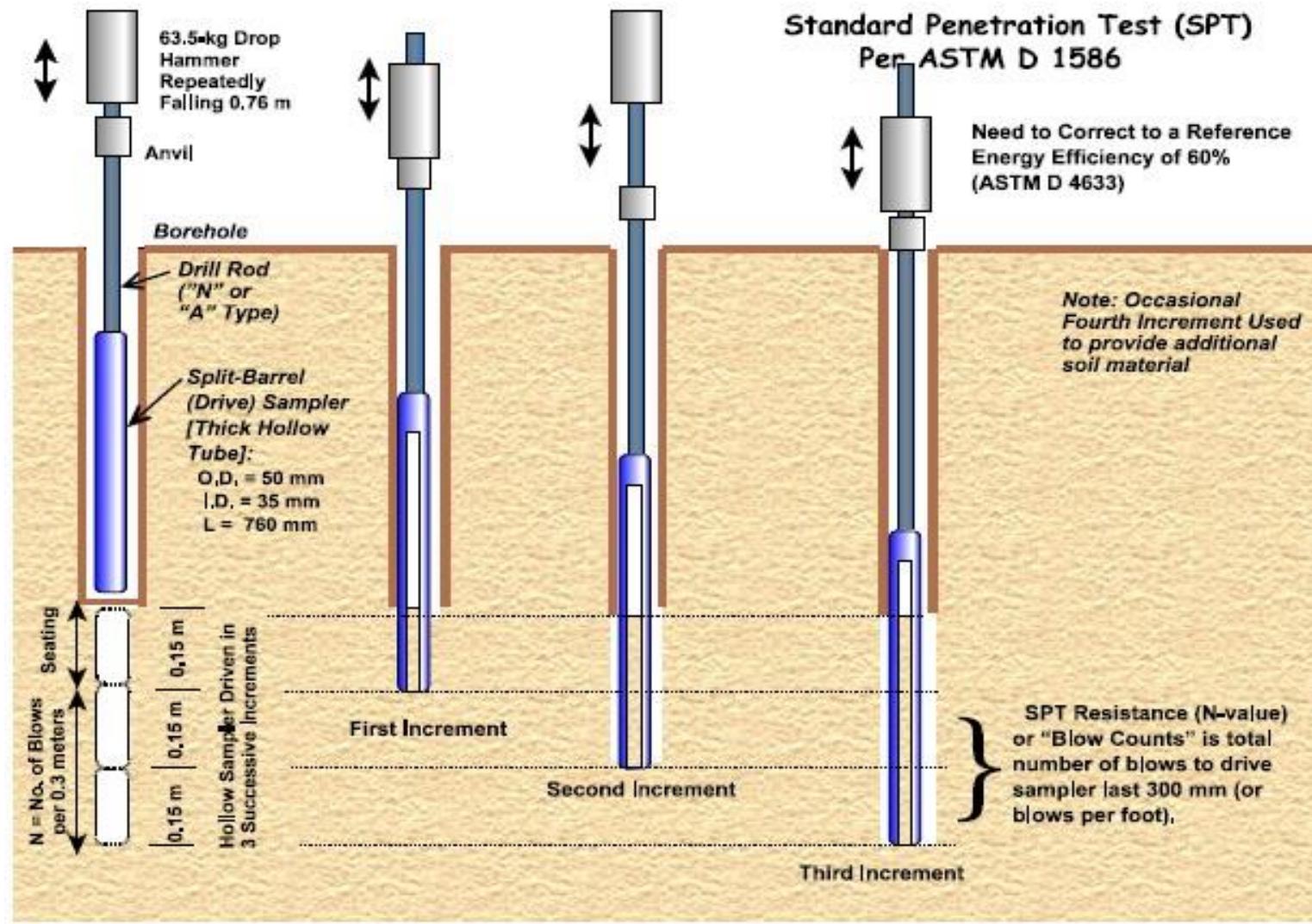
مقایسه و کاربرد انواع تست‌های درجا

Group	Device	Soil Parameters												
		Soil type	Profile	u	*ϕ'	S _u	I _D	m _v	c _v	k	G ₀	δ _h	OCR	δ-ε
Penetrometers	Dynamic	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-
	Mechanical	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-
	Electric(CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-
	Peizocone(CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C
	Seismic(SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B
	Flat dilatometer(DMT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C
	Standard penetration test(SPT)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-
	Resistivity probe	B	B	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-
Pressuremeters	Pre-bored(PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C
	Self boring (SBP)	B	B	A ₍₁₎	B	B	B	B	A ₍₁₎	B	A ₍₂₎	A/B	B	A/B ₍₂₎
	Full displacement(FDP)	B	B	-	C	B	C	C	C	-	A ₍₂₎	C	C	C
Others	Vane	B	C	-	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B
	Plate load	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B
	Screw plate	C	C	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	-
	Borehole permeability	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-
	Hydraulic fracture	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-
	Crosshole/downhole/surface seismic	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-

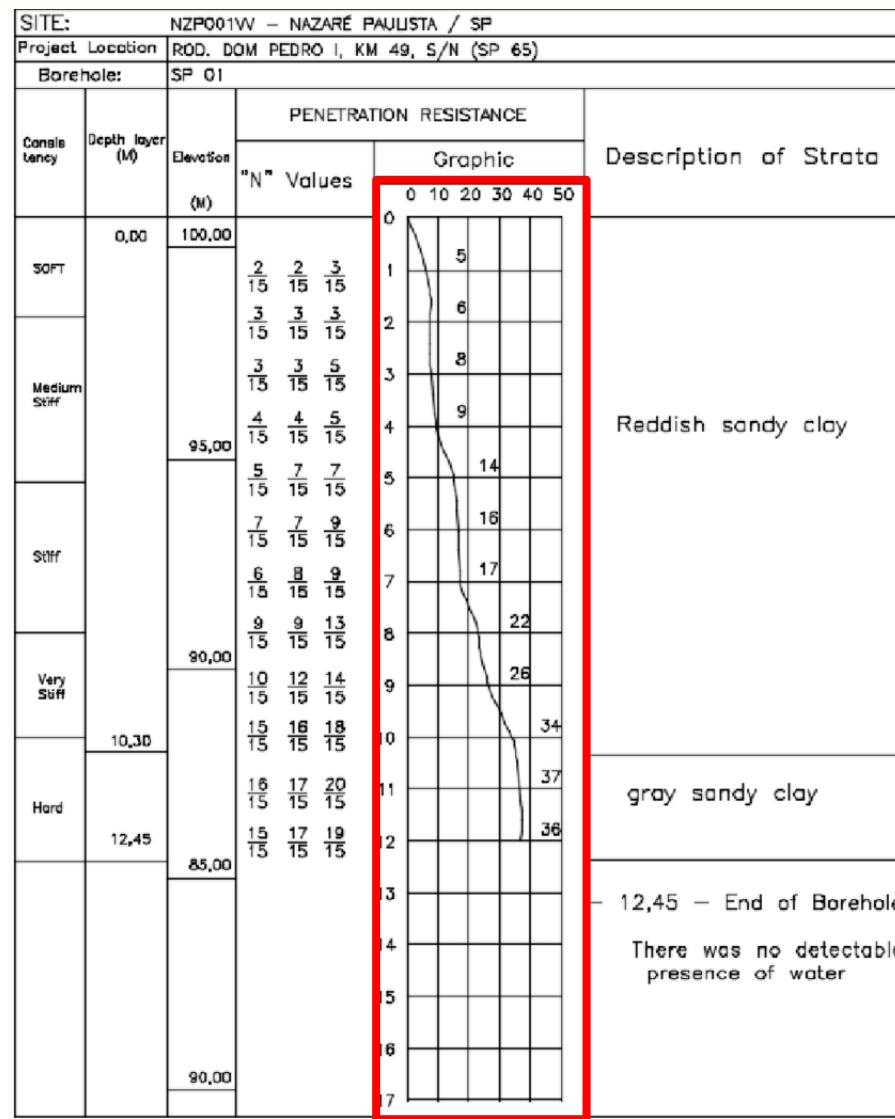
Applicability: A, high; B, moderate; C = low; -, none.

*ϕ, Will depend on soil type; (1), Only when pore pressure sensor fitted; (2), Only when displacement sensor fitted.

آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)



آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)



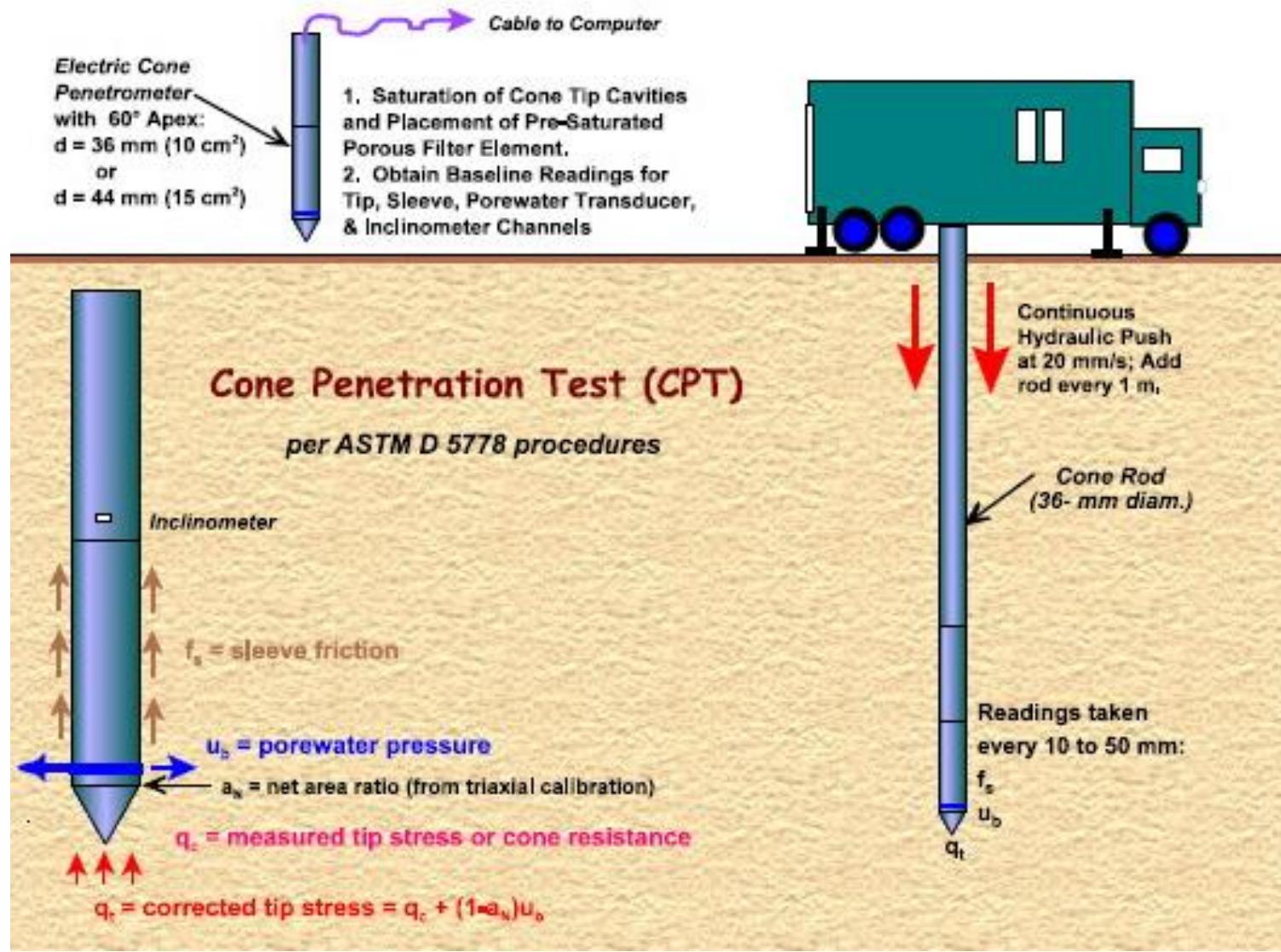
نمونه از نتایج
SPT

محدوده تغییرات نتایج SPT برای خاک‌های مختلف

Material	Description	SPT (N Value)	Corrected SPT ((No)60)
Clay	Very Soft	≤ 2	-
	Soft	2 - 5	-
	Firm	5 - 10	-
	Stiff	10 - 20	-
	Very Stiff	20 - 40	-
	Hard	>40	-
Clean sand	Very Loose	≤ 4	≤ 3
	Loose	4 - 10	3 - 8
	Medium Dense	10 - 30	8 - 25
	Dense	30 - 50	25 - 42
	Very Dense	>50	>42
Fine sand	Very Loose	-	≤ 3
	Loose	-	3 - 7
	Medium Dense	-	7 - 23
	Dense	-	23 - 40
	Very Dense	-	>40
Medium Sand	Very Loose	-	≤ 3
	Loose	-	3 - 8
	Medium Dense	-	8 - 25
	Dense	-	25 - 43
	Very Dense	-	>43
Coarse sand	Very Loose	-	≤ 3
	Loose	-	3 - 8
	Medium Dense	-	8 - 27
	Dense	-	27 - 47
	Very Dense	-	>47

(Look, 2007)

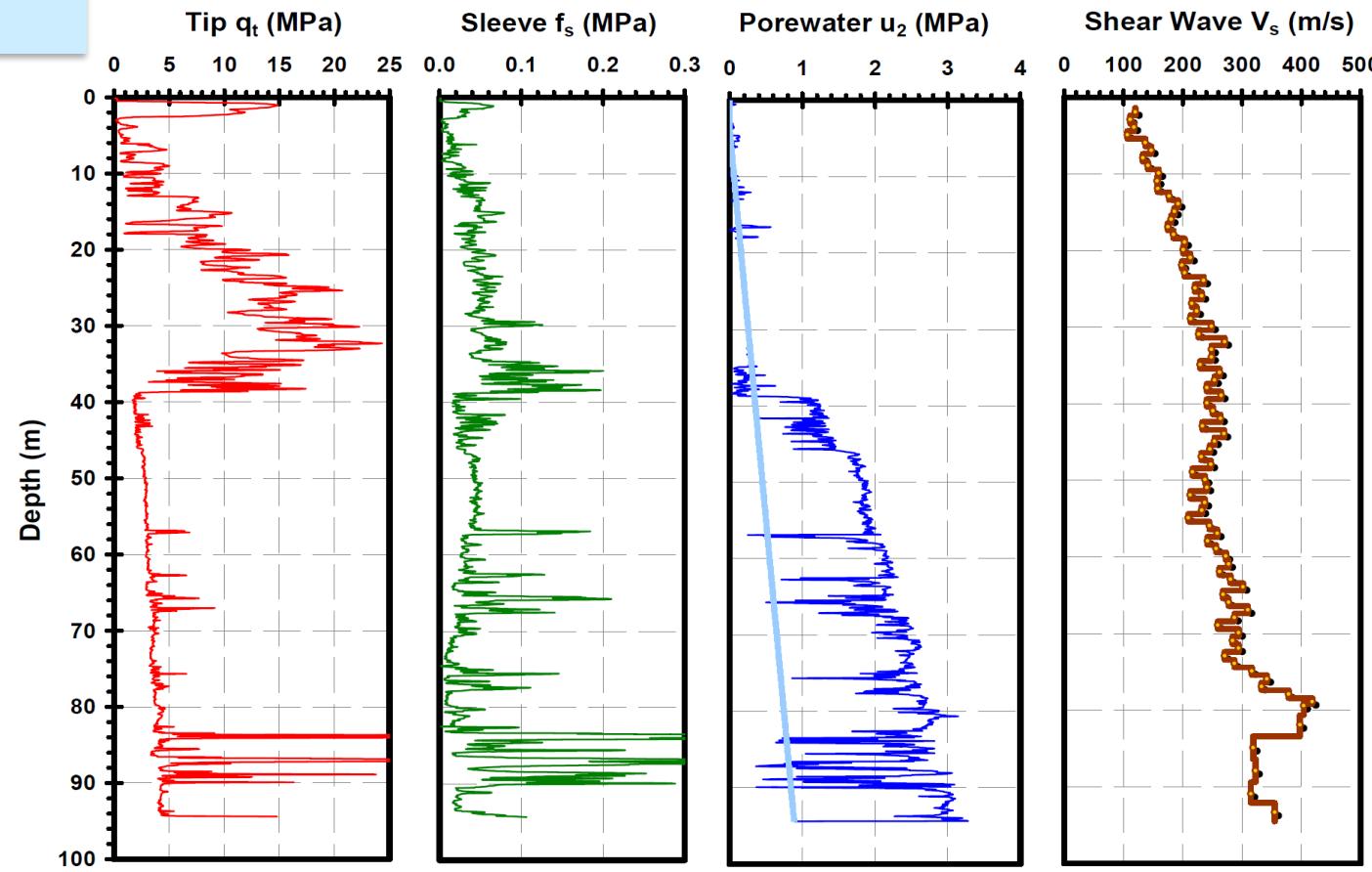
آزمایش نفوذ مخروط (CPT)



آزمایش نفوذ مخروط (CPT) (CPTU)

نمونه از نتایج
CPTu

SCPTU at Golden Ears Bridge ConeTec, Vancouver, BC



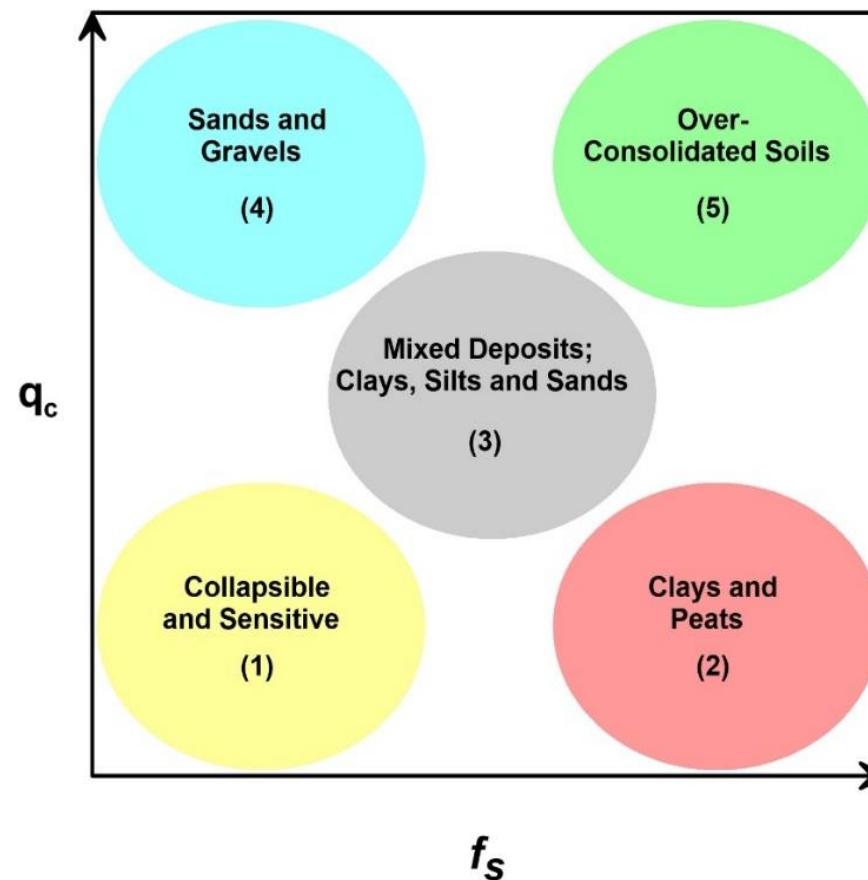
محدوده تغییرات نتایج CPT برای خاک‌های مختلف

	Soil	q_c (MPa)
Sand	Very loose	<2.5
	Loose	2.5-5
	Medium dense	5-10
	Dense	10-20
	Very dense	>20
Clay	Very Soft	<2
	Soft	2-5
	medium	5-10
	Hard	10-20

(Look, 2007)

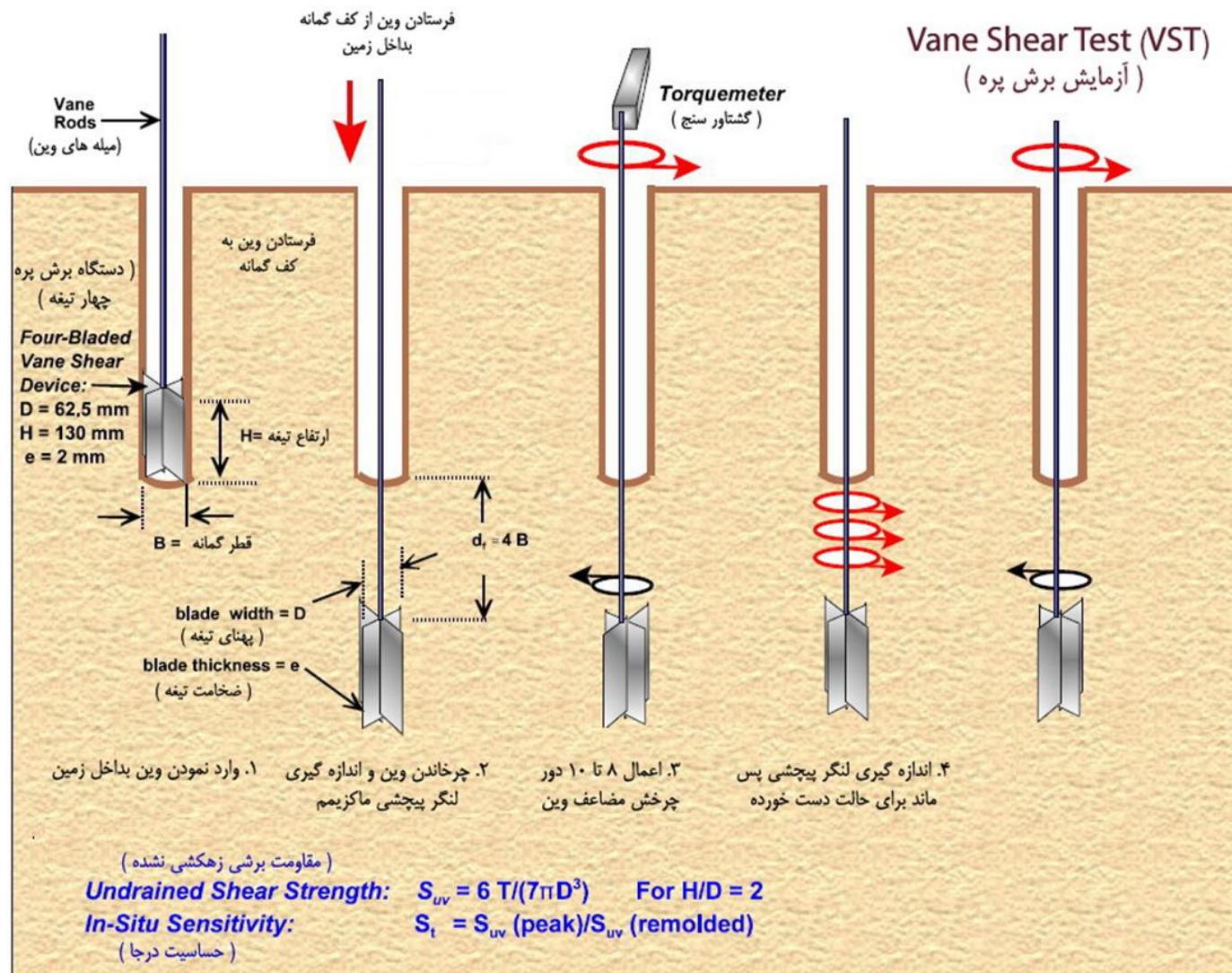
آزمایش نفوذ مخروط (CPT)

طبقه‌بندی رفتاری خاک‌ها براساس نتایج CPTu و CPT



Schematic chart for soil behavior classification (Eslami et al. 2020)

آزمایش برش پره‌ای یا برش وین (VST)



ارزیابی قوام خاک‌های چسبنده

قوام خاک چسبنده بر اساس مقاومت بررشی زهکشی نشده، S_u (Look, 2007)

مقادیر بر روحی زهکشی نشده (kPa)	قدرت شکست دست	ازنیابی در محل	نماد	عنوان
<12	> 25 mm	در صورت فشردن از بین انگشتها بیرون می‌زند.	VS	Very soft
12-25	> 10 mm	با فشار کم انگشتان قابل شکل‌دهی می‌باشد.	S	Soft
25-50	< 10 mm	با فشار زیاد انگشتان قابل شکل‌دهی می‌باشد.	F	Medium
50-100	< 5 mm	با انگشتان قابل شکل‌دهی نمی‌باشد. با فشار شکست می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود.	St	Stiff
100-200	<1 mm	با ناخن شکست می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود.	VSt	Very stiff
>200	≈ 0 mm	با ناخن شکست به سختی می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود.	H	Hard

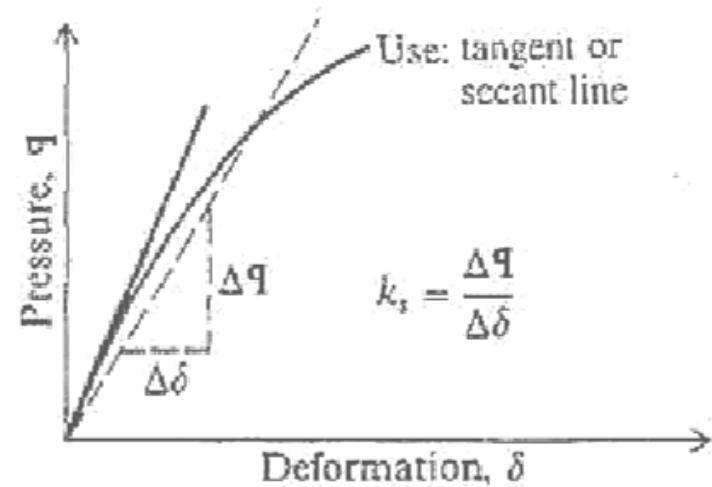
آزمایش بارگذاری صفحه (PLT)

بارگذاری یک صفحه صلب برای تشخیص برخی ویژگی‌ها و پارامترهای خاک از جمله:

- ظرفیت باربری خاک
- پارامترهای نشت‌پذیری
- ضریب عکس‌العمل بستر
- مدول الاستیسته خاک در شرایط طبیعی زمین یا در شرایط بحرانی اشباع شدن خاک
- به طور معمول از صفحه‌های گرد با قطر ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری استفاده می‌شود.



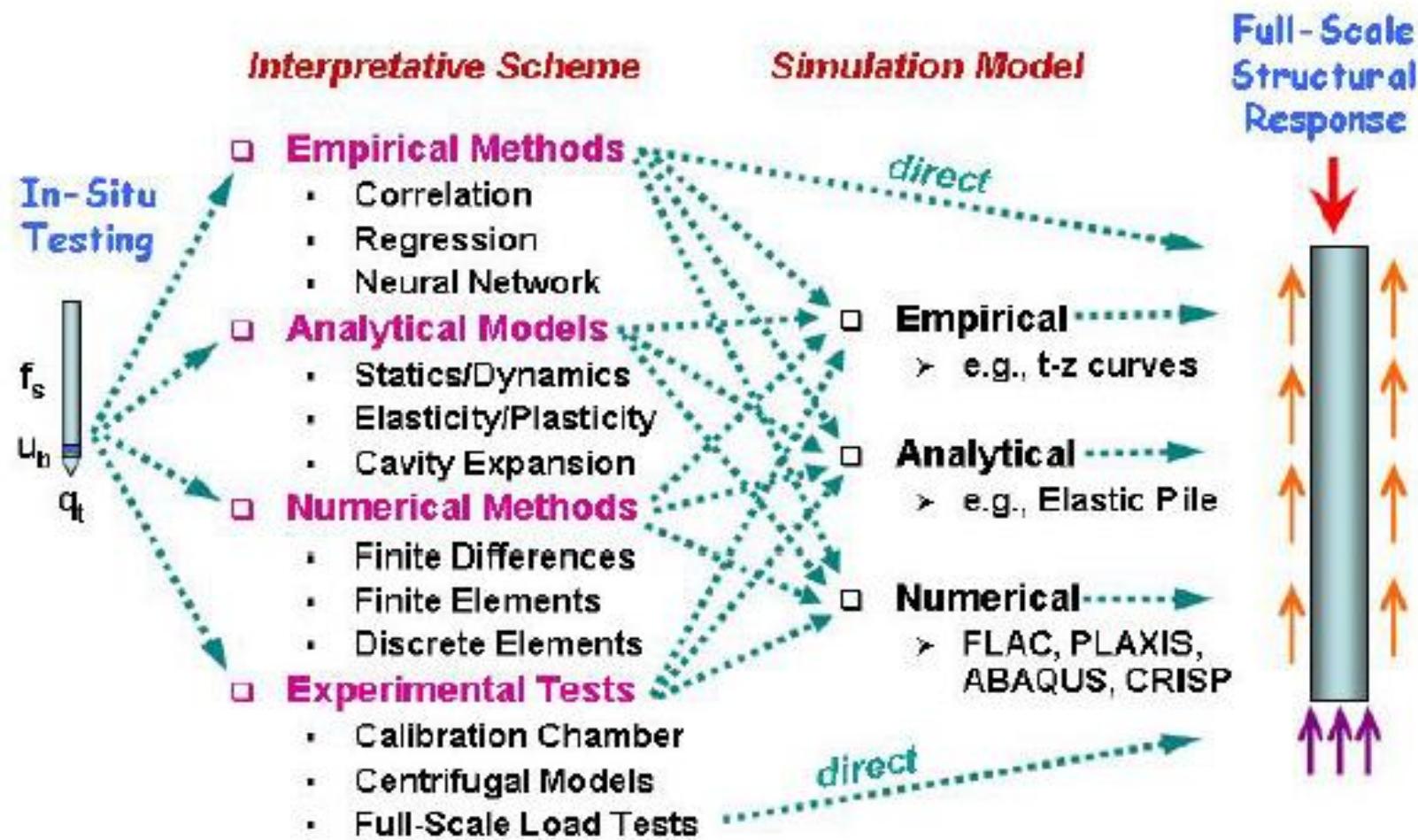
تمامین عکس‌العمل به روش ثقلی با استفاده از وزن ماشین‌آلات



نمودار بار-نشست آزمایش
بارگذاری صفحه

روش‌های استفاده از نتایج تست‌های درجا در طراحی

Methods of Interpreting Ground Behavior from In-Situ Tests



أنواع خاک‌های مسئله‌دار

خاک‌های مسئله‌دار

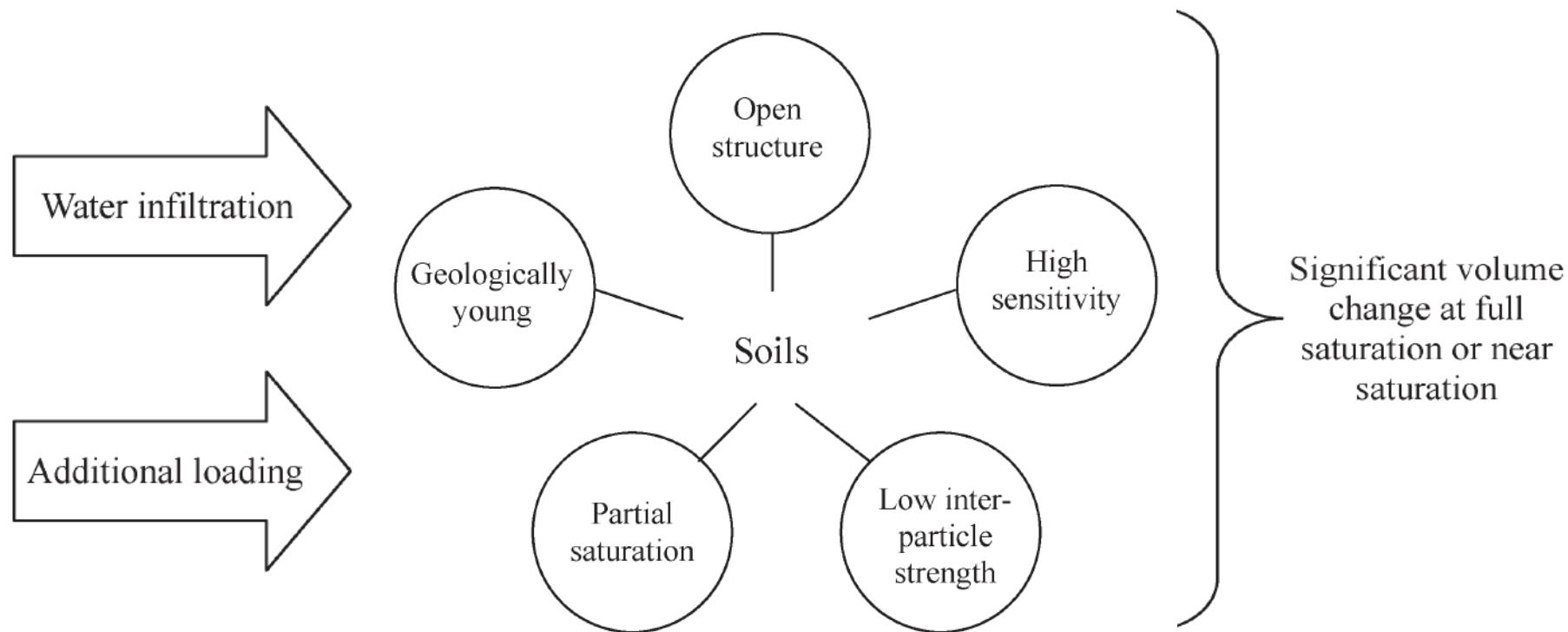
- خاک‌های با منشا آلی و نباتی - **Peat and Organic Soils**
- خاک‌های رس اشباع و نرم - **Soft and Saturated Clays**
- خاک‌های ماسه‌ای و لای شل - **Loose Silts and Sands**
- خاک‌های رمبنده یا فروریزشی - **Collapsive Soils**
- خاک‌های واگرا - **Dispersive Soils**
- خاک‌های انبساطی - **Expansive Soils**
- خاک‌های فیلز - **Fills**
- خاک‌های با منشا زباله و ضایعات - **Landfills**

خسارات عمرانی سالیانه در آمریکا در نتیجه عواقب حاصل از خاک‌های مسئله‌دار بیش از موارد مربوط به سیل، طوفان و زلزله می‌باشد.
(Holtz et al., 2023 – Coduto et al., 2016)

خاک‌های فروریزشی

دارای ساختار باز (لاته زنبوری) و نیمه‌پایدار هستند؛

در اثر افزایش رطوبت و اعمال بار ← فروریزش ساختار و تغییر حجم زیاد



خاک‌های انبساطی

عموماً خاک‌های رسی هستند؛

تغییرات رطوبت در محل خاک

يعنى در اثر افزایش رطوبت خاک
حجم آن افزایش می‌يابد؛

پس از خشک شدن خاک
کاهش مجدد حجم



Image A, initial view; Image B, after a small amount of water has been introduced; Image C, 48hour time

خاک‌های نرم و حساس



Leda clay from Ottawa, Ontario

- ظرفیت باربری پایین
- نشست بالا

$$S_t = \frac{\tau_f \text{ (undisturbed)}}{\tau_f \text{ (remolded)}}$$

Condition	Range of S_t		
	U.S.	Canada	Sweden
Low sensitive	2-4	<2	<10
Medium sensitive	4-8	2-4	10-30
Highly sensitive	8-16	4-8	>30
Extra sensitive	16	8-16	>50
Quick	—	>16	>100
Greased lightning	—	>>16	

خاک‌های آلی و نباتی

تحت شرایط فسیل‌شدگی و هوازدگی
درصد رطوبت بالا

انباشته‌های مواد آلی تجزیه‌شدنی

- خاک با بیش از ۲ درصد مواد آلی
- خاک با بیش از ۵۰ درصد مواد آلی



خاک‌های دستی و خاکریزها



خاک دستی

- خاک حاصل از حفاری
- ضایعات ساختمانی
- پسماندهای صنعتی، معدنی
- زباله‌ها

تغییرات حجمی زیاد
ضعف باربری
ناپایداری داخلی

اگر به درستی خاکریزی و متراکم نشوند

۲/۵ درصد
۵ درصد
۱۰ درصد

خاکریزهای شنی
خاک‌های ماسه‌ای
مصالح رسی و ریزدانه

محدوده نشست

خاک‌های مستعد روانگرایی



سنتز اطلاعات و گزارش ژئوتکنیک

موارد مندرج در گزارش ژئوتکنیک

- ۱- موقعیت محل و خصوصیات کلی پروژه و نحوه قرارداد جهت مطالعات ژئوتکنیک
- ۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه
- ۳- خلاصه‌ای از نوع پیهای و بارهای وارده جنبه‌های مختلف سازه‌ای و معماری
- ۴- خلاصه‌ای از عوارض سایت مربوط به جنبه‌های هیدرولوژی، توپوگرافی و زمین‌شناسی
- ۵- روش‌های حفاری و نمونه‌گیری
- ۶- لیست و چگونگی آزمایش‌های درجا و آزمایشگاهی به همراه نمودارهای مربوط
- ۷- تغییرات رقوم آب زیرزمینی، حرکت آب در خاک
- ۸- پروفیل زمین بر اساس لوگ گمانه
- ۹- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک
- ۱۰- مقاومت مجاز، نشت پی‌ها
- ۱۱- بررسی پتانسیل مخاطرات ژئوتکنیکی مانند رانش، آب‌شستگی، تورم، روانگرایی و ...
- ۱۲- ضرایب فشار جانبی خاک در حالات مختلف و نیز ضریب عکس‌العمل بستر

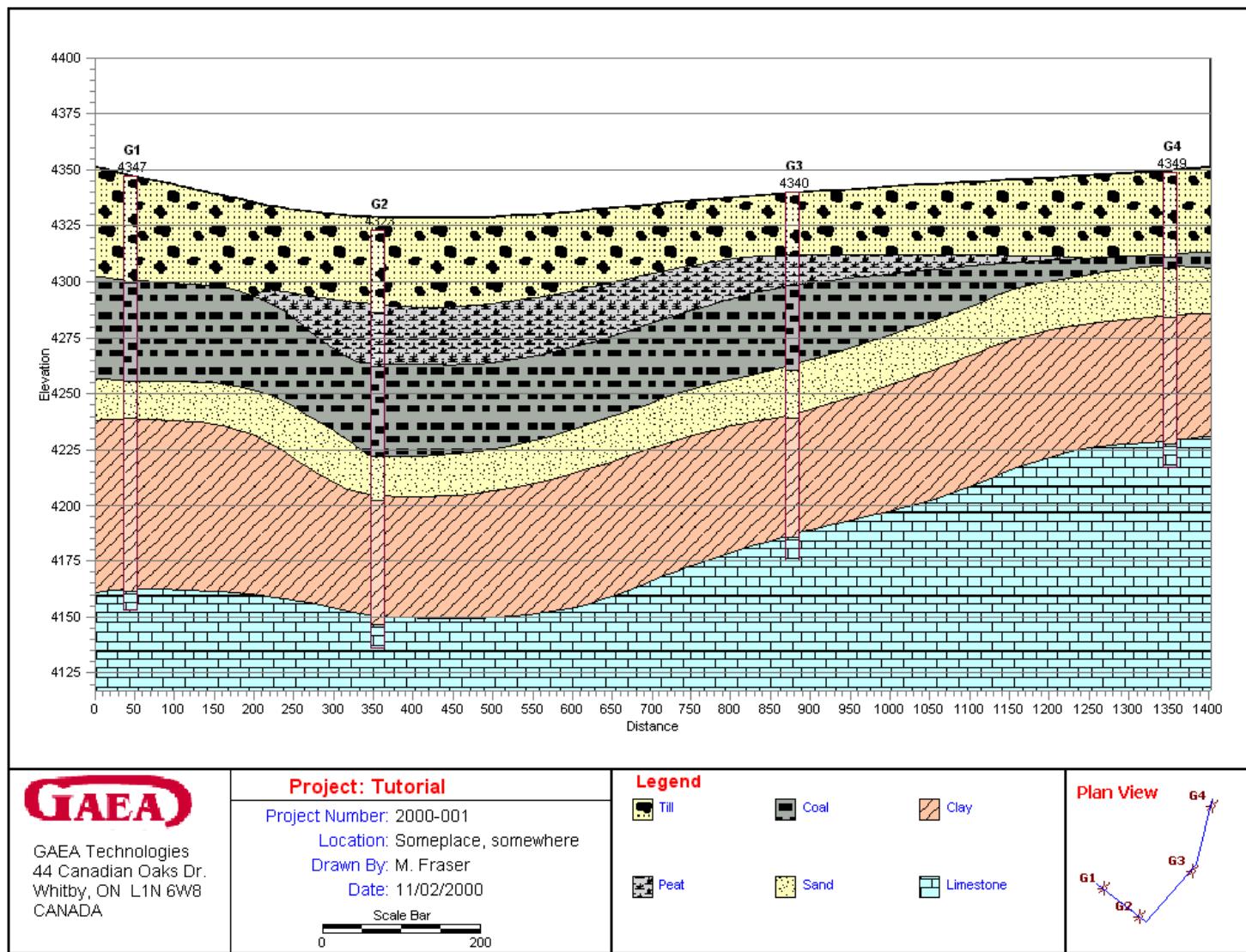
سنتر اطلاعات و گزارش ژئوتکنیک

موارد مندرج در گزارش ژئوتکنیک

- ۱۳- ضرایب فشار جانبی خاک در حالات مختلف و نیز ضریب عکس العمل بستر
- ۱۴- مشخصات شیمیایی آب و خاک محل مورد مطالعه
- ۱۵- پارامترهای ژئوتکنیکی مربوط به زلزله و مبانی لرزه زمین ساخت
- ۱۶- توصیه‌ها و پیشنهادها در خصوص طراحی و اجرای زیرسازه
- ۱۷- توصیه جهت نگهداری و مقابله با عوامل مهاجم و خورنده حاصل از املاح مضر در آب و خاک
- ۱۸- تعیین وضعیت منابع قرضه و چگونگی استحصال آن‌ها
- ۱۹- چگونگی گودبرداری، حفاری و شیوه‌های پایدارسازی آن‌ها
- ۲۰- محدودیت‌های مطالعات، آزمایش‌ها، روابط و پارامترهای پیشنهادی
- ۲۱- منابع و مراجع

گزارش ژئوتکنیک: اطلاعات حاصله از مطالعات ژئوتکنیک، تجرب، تفسیر و قضاؤت مهندسی نقش مکمل آزمایش‌های درجا و تست‌های آزمایشگاهی در مهندسی پی پارامترهای مقاومتی و سختی مهم خاک در مهندسی پی: N , K_s , qc , و PL نقش پرنگ آزمایش‌های درجا در تعیین پارامترهای طراحی پی

سنتر اطلاعات و گزارش ژئوتکنیک





ACME Consulting Limited
44 Canadian Oaks Drive
Whitby, Ontario

Project No.:

Project: Port Sidney Oil Terminal

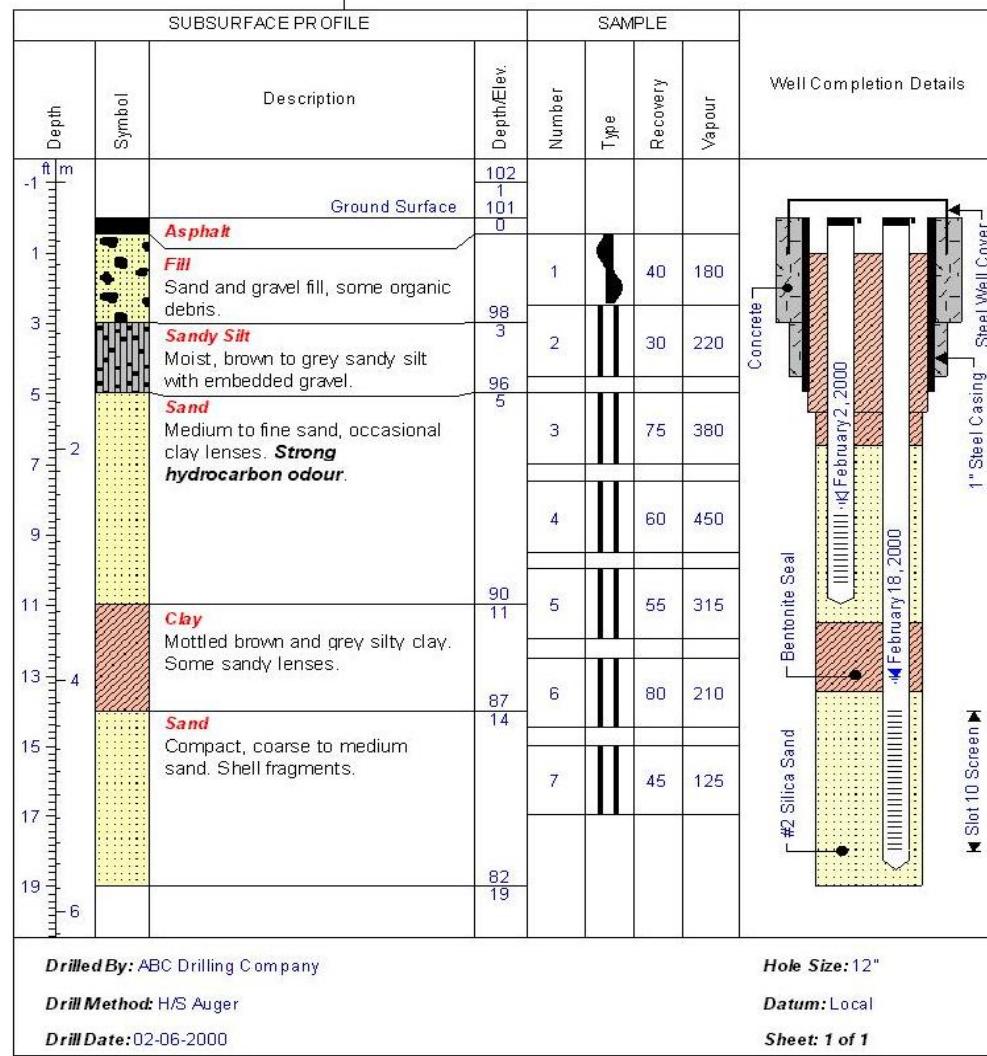
Client: Inter-Island Gas

Location: Port Sidney

Log of Borehole:

Enclosure: 1

Project Manager: M. Fraser



و محدودیت‌های آن SPT

Is One Number Enough ?

c_u = undrained strength

OCR = overconsolidation

γ_{sat} = total unit weight

I_R = rigidity index

e_o = void ratio

ϕ' = friction angle

K_0 = lateral stress

V_s = shear wave

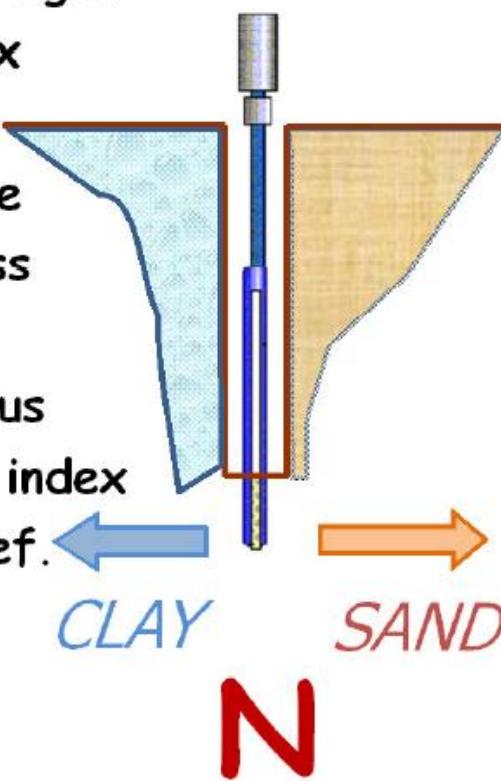
G' = shear modulus

C_c = compression index

k_s = subgrade coef.

c_a = adhesion

k = permeability



D_R = relative density

γ_d = dry unit weight

LI = liquefaction index

ϕ' = friction angle

c' = cohesion intercept

n = porosity

q_{ult} = bearing capacity

σ_p' = preconsolidation

V_p = compression wave

E' = Young's modulus

Ψ = dilatancy angle

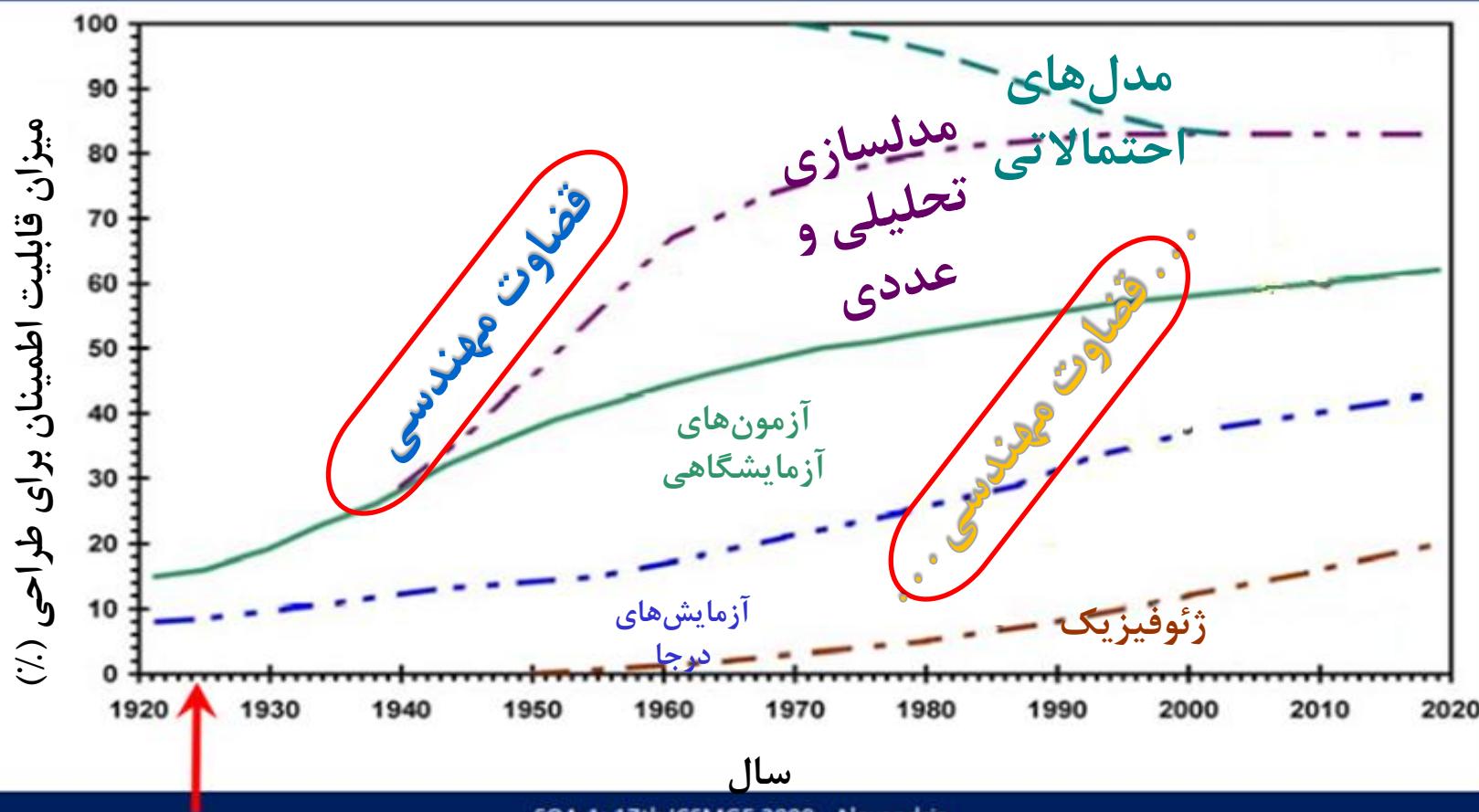
q_b = pile end bearing

f_s = pile skin friction

قضایت مهندسی

تمامی روندهای مطالعاتی
مالحظه اندکنش خاک و سازه با شاخص‌های پی‌سازی

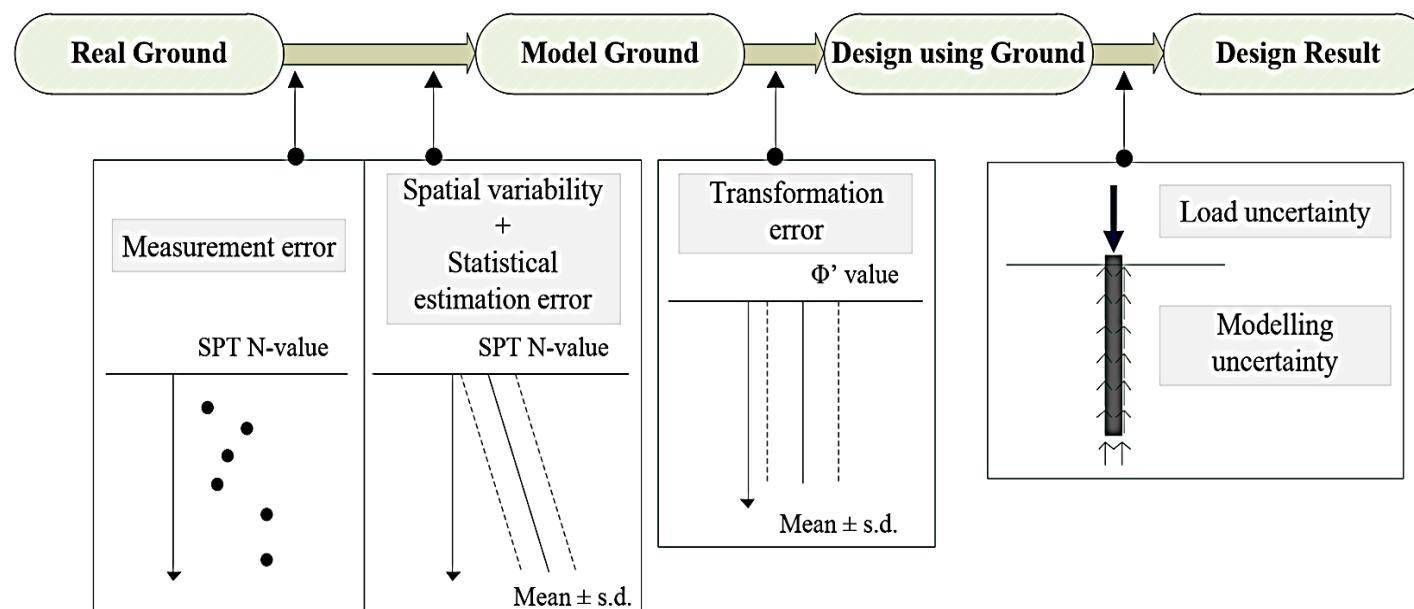
Modified after Lacasse (1985)



عدم قطعیت در مهندسی ژئوتکنیک

منابع اصلی ایجاد‌کننده عدم قطعیت در مهندسی ژئوتکنیک:

- تغییرپذیری ذاتی،
- خطاهای اندازه‌گیری و عدم قطعیت‌های آماری
- عدم قطعیت در مدل و خطاهای ناشی از تبدیل
- عدم قطعیت در بارگذاری



A procedure for geotechnical RBD (Honjo, 2011)

عدم قطعیت در مهندسی ژئوتکنیک

Variability from laboratory testing (Phoon and Kulhawy, 1999)

Test	Property	Soil type	Coefficient of variation (%)	
			Range	Mean
Atterberg tests	Plasticity index	Fine grained	5–51	24
Triaxial compression	Effective angle of friction	Clay, silt	7–56	24
Direct shear	Shear strength, C_u	Clay, silt	19–20	20
Triaxial compression	Shear strength, C_u	Clay, silt	8–38	19
Direct shear	Effective angle of friction	Sand	13–	—
Direct shear	Effective angle of friction	Clay	6–	—
Direct shear	Effective angle of friction	Clay, silt	3–	—
Atterberg tests	Plastic limit	Fine grained	7–	—
Triaxial compression	Effective angle of friction	Sand, silt	2–	—
Atterberg tests	Liquid limit	Fine grained	3–	—
Unit weight	Density	Fine grained	1–	—

Variability from in-situ testing (Phoon and Kulhawy, 1999)

Test	Equipment	Oper./proc.	Random	Total ^a	Range ^b
Standard penetration test (SPT)	0.05 ^c –0.75 ^d	0.05 ^c –0.75 ^d	0.12–0.15	0.14 ^c –1.00 ^d	0.15–0.45
Mechanical cone penetration test (CPT)	0.05	0.10 ^e –0.15 ^f	0.10 ^e –0.15 ^f	0.15 ^e –0.22 ^f	0.15–0.25
Electric cone penetration test (ECPT)	0.03	0.05	0.05 ^e –0.10 ^f	0.07 ^e –0.12 ^f	0.05–0.15
Vane shear test (VST)	0.05	0.08	0.10	0.14	0.10–0.20
Dilatometer test (DMT)	0.05	0.05	0.08	0.11	0.05–0.15
Pressuremeter test, pre-bored (PMT)	0.05	0.12	0.10	0.16	0.10–0.20 ^g
Self-boring pressuremeter test (SBPMT)	0.08	0.15	0.08	0.19	0.15–0.25 ^g

^a $\text{COV}(\text{total})^2 = \text{COV}(\text{equipment})^2 + \text{COV}(\text{operator/procedure})^2 + \text{COV}(\text{random})^2$.

^b Because of statistical estimation uncertainty and subjective judgment involved in estimating COVs, ranges represent plausible magnitudes of measurement uncertainty for field tests.

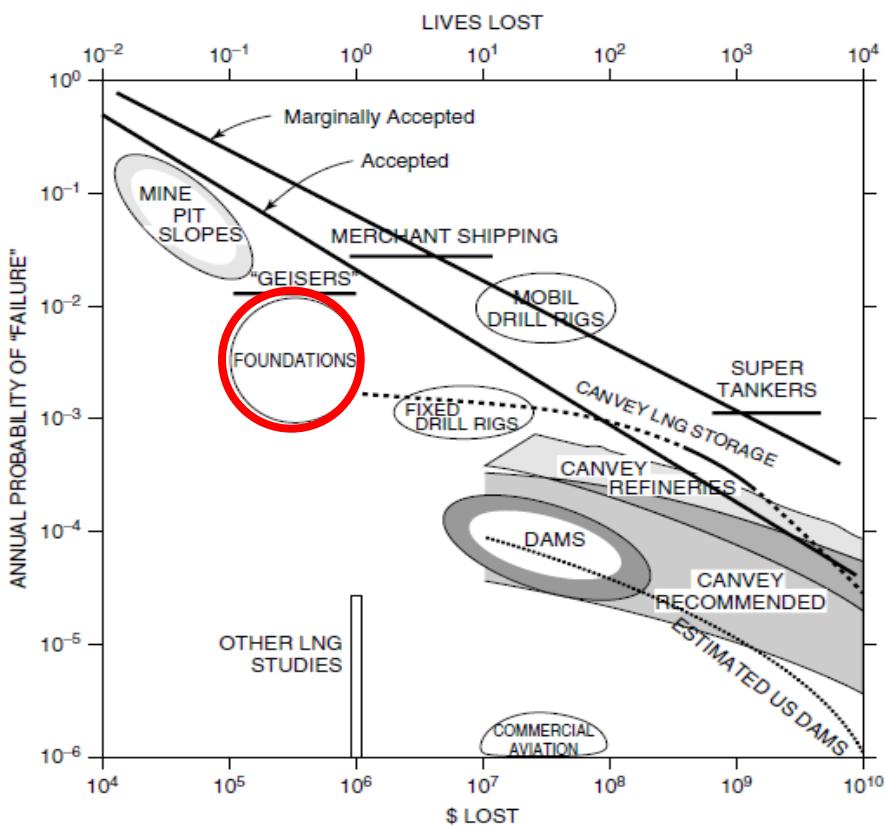
^{c,d} Best- to worst-case scenarios, respectively, for SPT.

^{e,f} Tip and side resistances, respectively.

^g It is likely that results may differ for p_0 , p_f and p_L , but data are insufficient to clarify this issue.

عدم قطعیت در مهندسی ژئوتکنیک

مقادیر ضریب تغییرات خصوصیات ژئوتکنیکی
(Duncan, 2000)



Risks for engineering projects
(Withman, 1984)

(%) COV	مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده یا تفسیر شده
3 – 7	وزن مخصوص، γ
0 – 10	وزن مخصوص غوطه‌وری، γ'
2 – 13	زاویه اصطکاک تنش مؤثر، φ'
13 – 40	مقاومت برشی زهکشی نشده، S_u
5 – 15	نسبت مقاومت زهکشی نشده، S_u/σ'_{v0}
10 – 37	شاخص فشردگی، C_c
10 – 35	تنش پیش‌تحکیم یافته‌گی، σ'_p
68 – 90	رسانایی هیدرولیکی رس اشباع، k
130 – 240	رسانایی هیدرولیکی رس نیمه اشباع، k
33 – 68	ضریب تحکیم، C_V

مورد عملی شماره ۱ - شهر مکزیکو سیتی (وجود خاک مسئله‌دار)

(Coduto et al., 2016) Torre Latino Americana برج

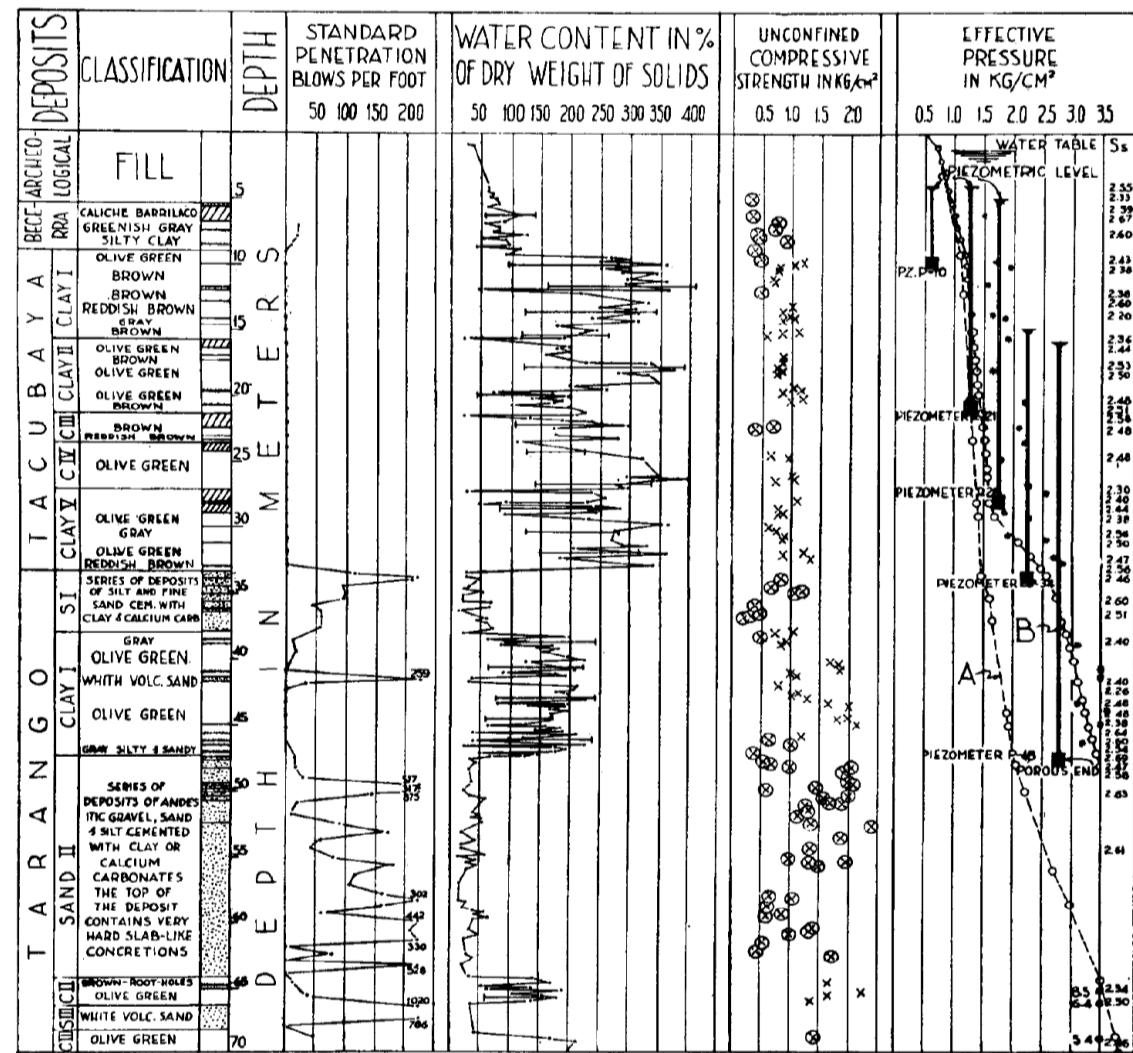


- ساخت برج ۴۳ طبقه در شهر مکزیکو سیتی
- نمونه‌ای از کاربرد روش‌های نوین در خاک‌های مسئله‌دار

پروفیل خاک محل برج Torre Latino Americana

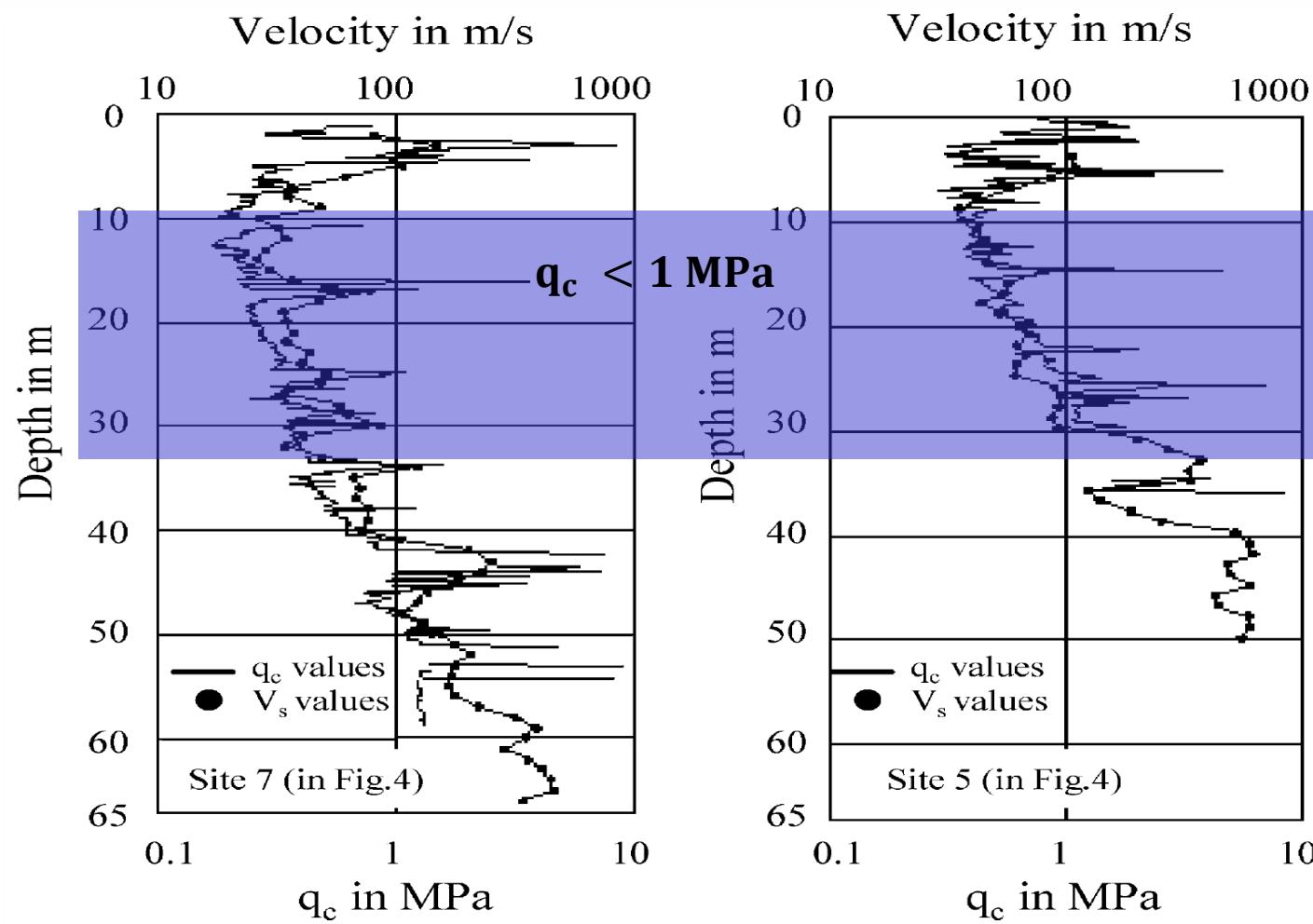
نوع و شرایط خاک	عمق(متر)
خاکریزهای قدیمی - سطح آب در ۲ متری	۵/۵-۰
نهشته‌های Becarra - ماسه، لای و رس	۹/۱-۵/۵
رس $C_c = 4-10$ Tacubaya ولکانیک نرم $S_u = 35-70$ kPa ، رطوبت ۱۰۰ تا ۴۰۰ درصد ،	۳۳/۵ - ۹/۱
نهشته‌های ماسه‌ای متراکم Tarango	۷۰-۳۳/۵

مورد عملی شماره ۱ - شهر مکزیکو سیتی (وجود خاک مسئله‌دار)



Classic log & SPT result (Zeevaert, 1957)

مورد عملی شماره ۱ - شهر مکزیکو سیتی (وجود خاک مسئله‌دار)

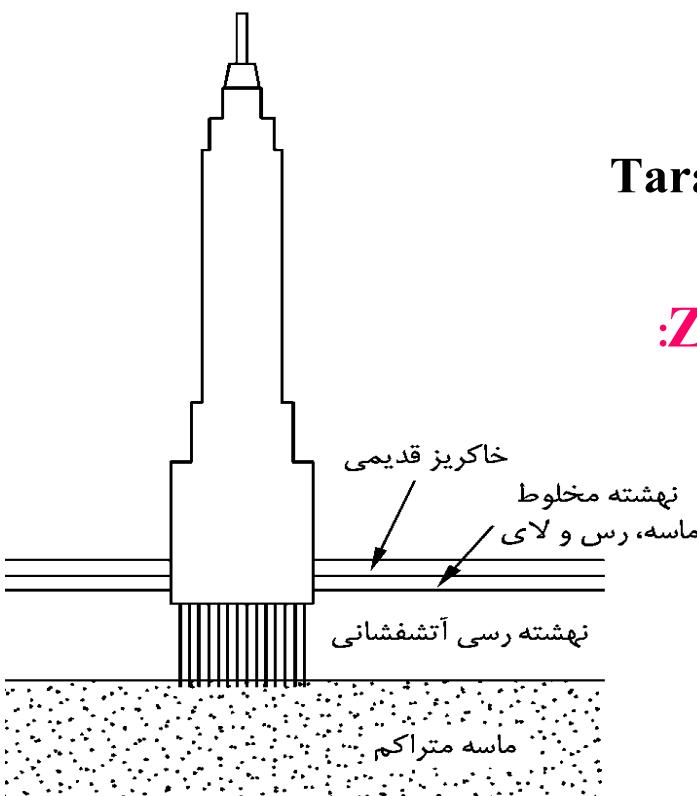


Stratigraphic characteristics of Mexico City soil deposits
(Romo & Garcia, 2003)

مورد عملی شماره ۱ – شهر مکزیکو سیتی (وجود خاک مسئله‌دار)

(Coduto et al., 2016) Torre Latino Americana برج

- لایه بسیار نشست‌پذیر در عمق ۹/۱ تا ۳۳/۵ متری،
- نشست‌های بسیار بزرگ در ساختمان‌های متوسط اطراف این بنا حدود ۳ متر، از سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۶۲ و ادامه با نرخ ۱۲ میلیمتر در سال استفاده از پی رادیه-مرکب شناور در عمق ۱۳ متری
- سمعهای کوبیدنی در زیر رادیه تا لایه ماسه‌ای متراکم Tarango



از جنبه‌های جالب توجه در این پروژه به نقل از Zeevart:

- مطالعات ژئوتکنیک در شناخت خاک مسئله‌دار میان لایه
- اهمیت شمعهای اتکایی
- جهندهای بهینه بکارگیری پی‌های شناور
- نشست‌ها در محدوده مجاز

۲. سیستم فونداسیون: فرم و عملکرد

2. Foundation Systems: Form & Function

مهندسی پی

□ پروژه‌های عمرانی:

Superstructure

❖ روسازه

Substructure

❖ زیرسازه

- مشارکت زیرسازه در تماس با خاک و در روند انتقال بار سازه به زمین
- انتقال بار از روسازه به زمین توسط عنصری به نام پی یا فونداسیون

مهندسی پی هنر بکارگیری علوم ژئوتکنیک، سازه و قضاوت مهندسی برای طراحی و انتخاب فونداسیون مناسب می‌باشد.

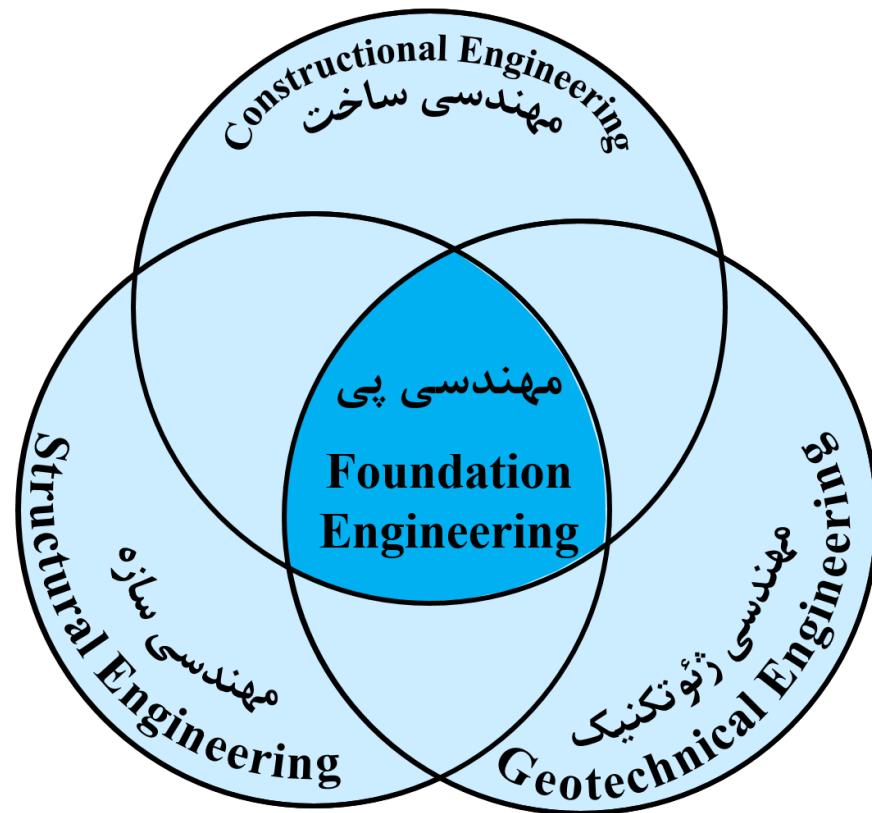
ترزاقي: «طراحی هر آنچه که مربوط به زمین می‌شود را نباید صرفاً در دفتر کار انجام داد.»

Knowledge Based, Construction Technology, Optimization

Salgado (2008):

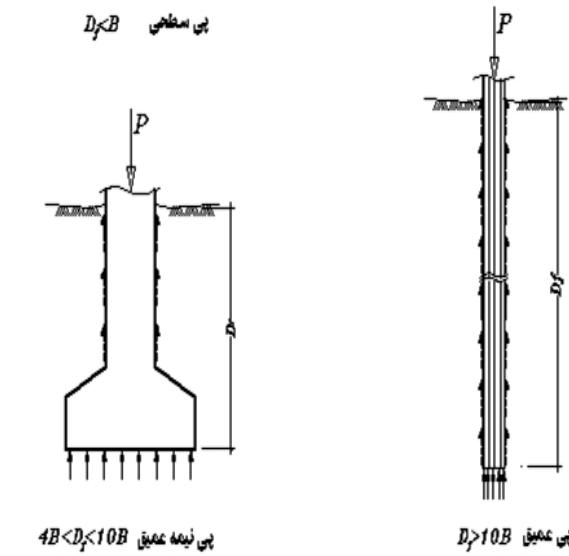
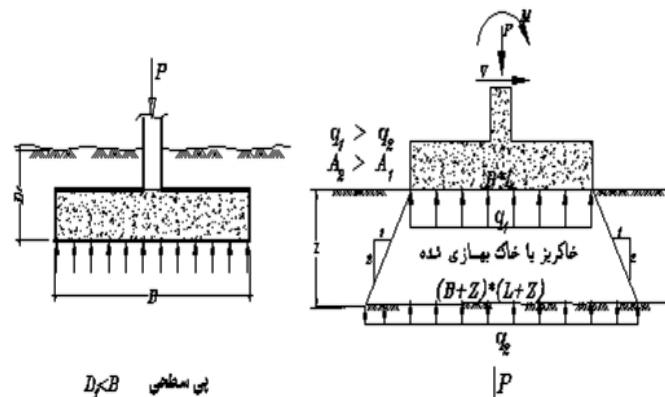
Foundation engineering tools are:

- Soil & Rock Mechanics
- Codes & Standards
- Experience & Empiricism
- Publications: Where to Go for Help
- Conferences & Short Courses
- Computers



Multidisciplinary: Structural,
Geotechnical and Constructional

سیستم‌های پی‌سازی



پی‌های سطحی

پی سطحی +
بهسازی

پی‌های نیمه عمیق

پی‌های عمیق

أنواع سیستم‌های
پی‌سازی

معضلات فونداسیون‌های سطحی و عمیق

- ضعف ظرفیت باربری برای تحمل سازه‌های سنگین و بلند
- معضل نشستهای کلی و غیریکنواخت
- ناپایداری در برابر بارهای جانبی، لنگرها و نیروهای برکنش
- ارائه حداقل اندرکنش با خاک بستر (عدم بسیج اصطکاک جداری و پدیده محصورشده)
- هزینه‌های نسبتاً بالای ساخت و اجرا
- مشکلات اجرایی و طولانی بودن زمان اجرا به ویژه برای شمع‌های درجا
- تحمل نیروهای کشانه، اصطکاک منفی و ایجاد فاصله بین سازه و بستر
- ضریب اطمینان بالا و غیربهینه در طراحی و بهره‌برداری

پی سطحی

پی عمیق

راه حل میانه: بهسازی، پی‌های نیمه‌عمیق

مقایسه پی‌های سطحی و عمیق

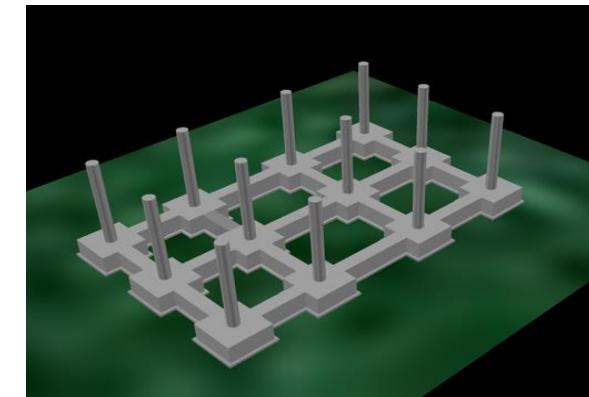
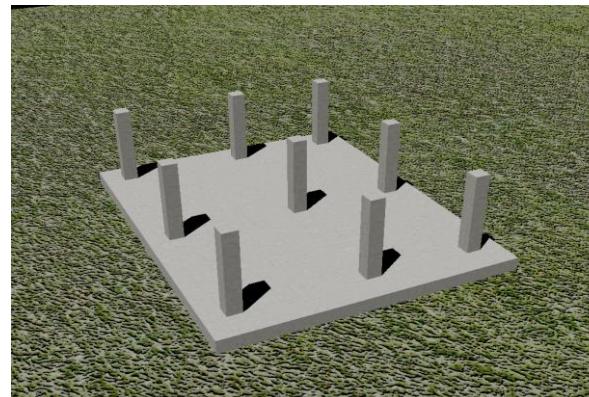
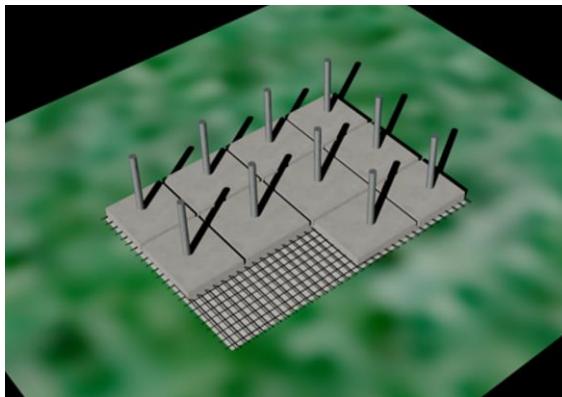
پی عمیق
زیاد مقاومت کف تا $120\text{kg}/\text{cm}^2$ مقاومت جدار $0.2-2\text{kg}/\text{cm}^2$
محدود
معمول
کنترل شده
نسبتاً دشوار
نسبتاً پرهزینه

فونداسیون‌های زیرزمینی، نسبتاً بارگذار و میزانهای

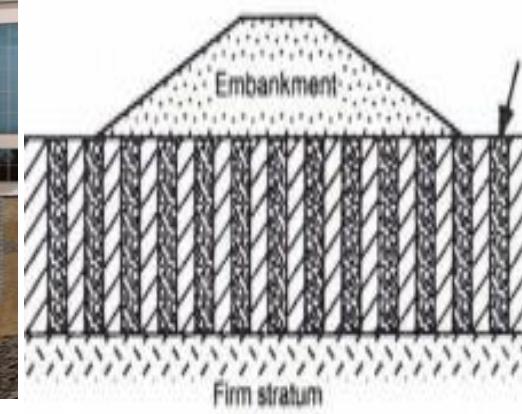
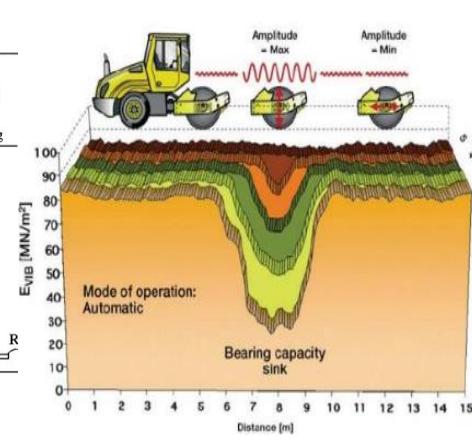
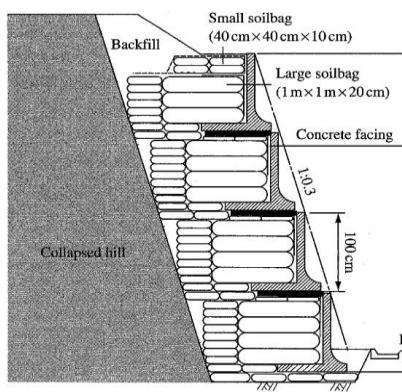
پی سطحی	نوع فونداسیون
کم تا متوسط $0.5-5 \text{ kg}/\text{cm}^2$	ملاحظات طراحی
زیاد	ظرفیت باربری
ساده تا پیچیده	نشست
مشکل دار	طراحی سازه‌ای
نسبتاً عملی	پایداری
تا حدودی مطلوب	ملاحظات اجرایی
	جنبهای اقتصادی

انواع فونداسیون‌ها: سطحی-بهسازی

$D/B < 1$

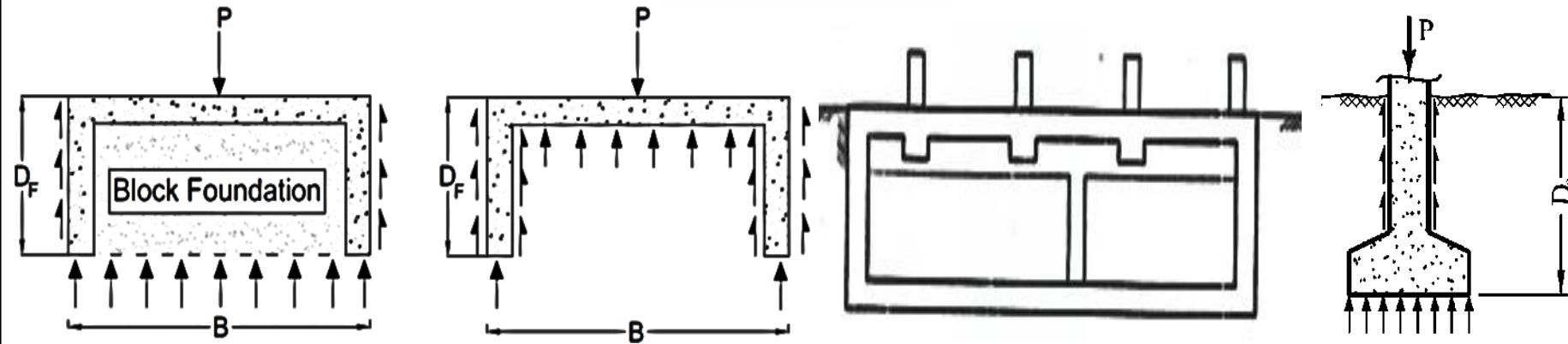


بهسازی

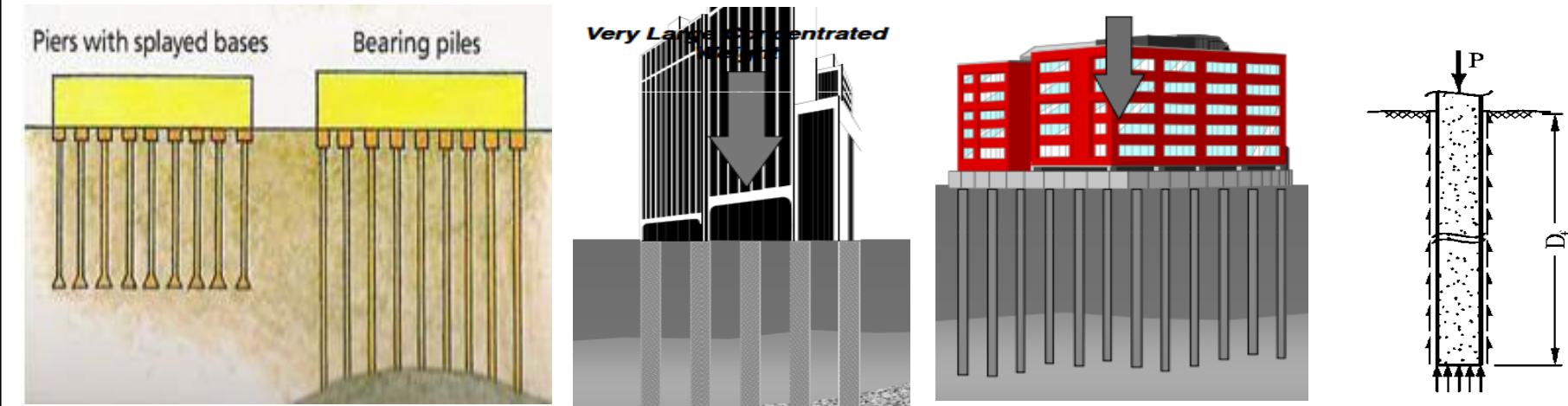


أنواع فونداسيون‌ها: نیمه عمیق – عمیق

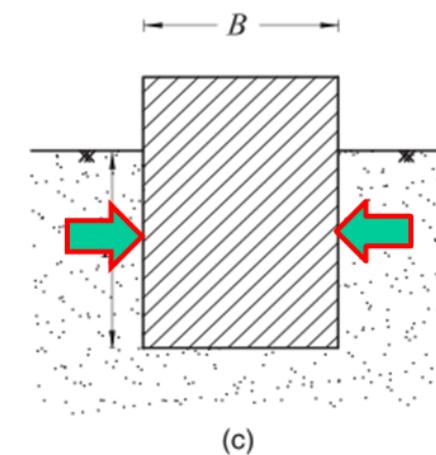
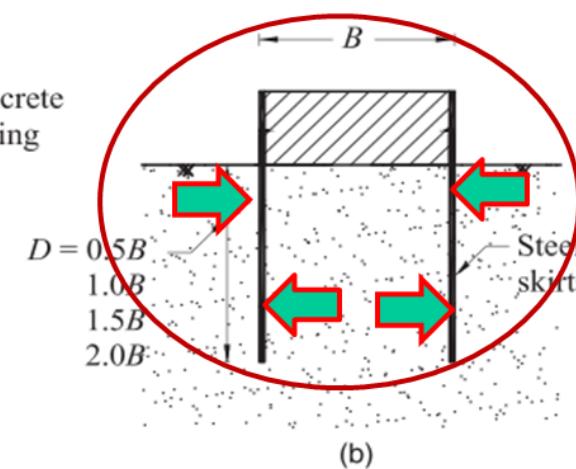
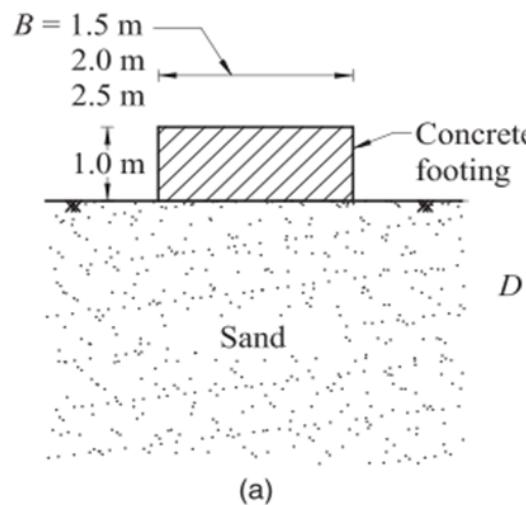
پی نیمه عمیق



پی عمیق $D/B > 10$



اثرات افزایش عمق استقرار

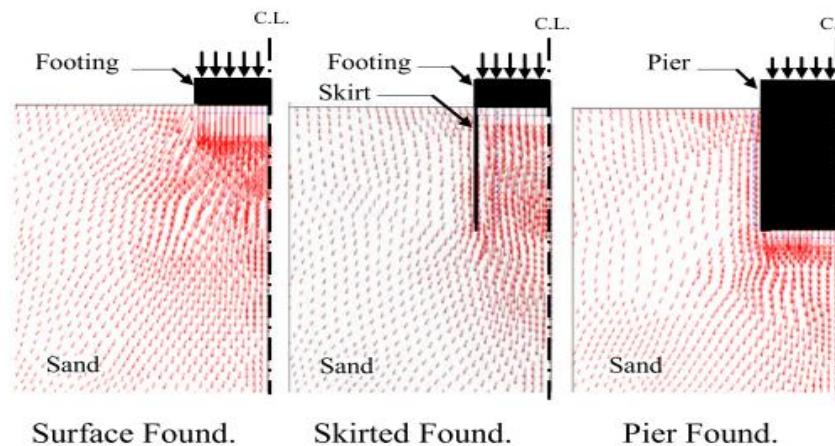


(a)

(b)

(c)

محصور شدگی خاک توسط پی و پی توسط خاک



أنواع پی‌های (ترکیبی) نیمه عمیق

Well Foundations

Floating Foundations

Box Foundations

Top-Down Construction

Piled Raft Foundations

Buckets and Suction Caissons

Skirted Foundations

Shell Foundations

Micropile, Helical and DD Piles

- پی‌های چاهی

- پی‌های شناور

- پی‌های باکسی یا جعبه

- ساخت همزمان روسازه و زیرسازه

- پی رادیه-مرکب

- باکت‌ها و کیسون‌های مکشی

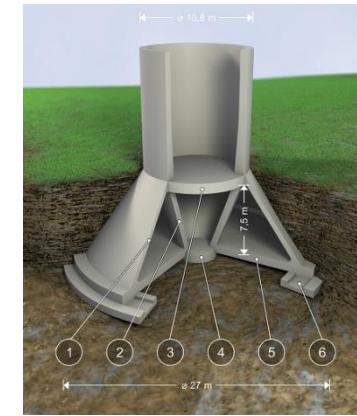
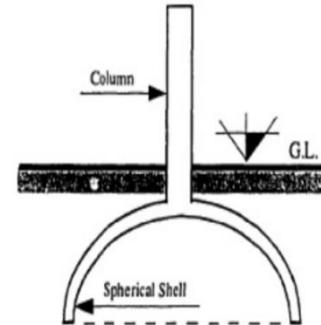
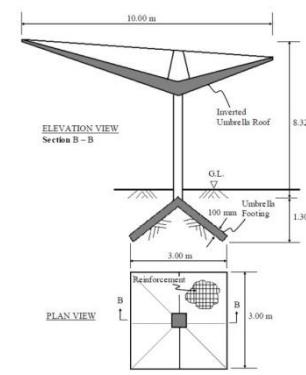
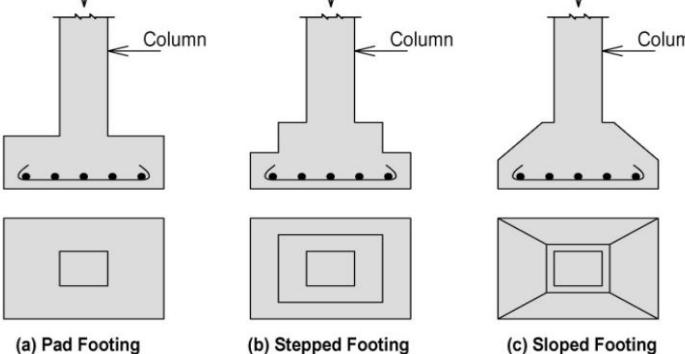
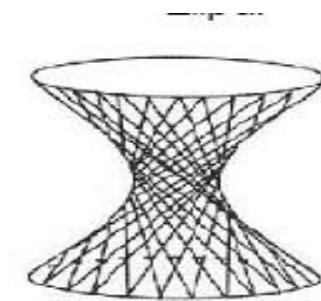
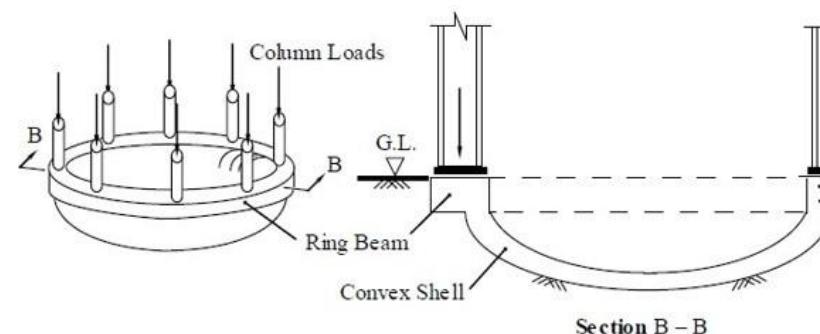
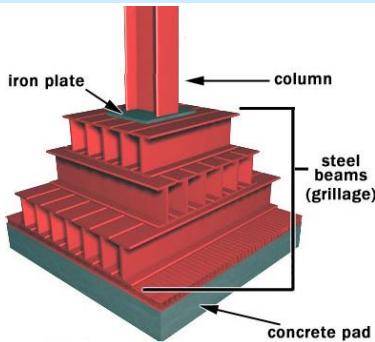
- پی‌های لبه‌دار

- پی‌های پوسته‌ای

- ریزشمع و شمع‌های پره‌ای - پیچشی

فونداسیون‌های غیرمعارف

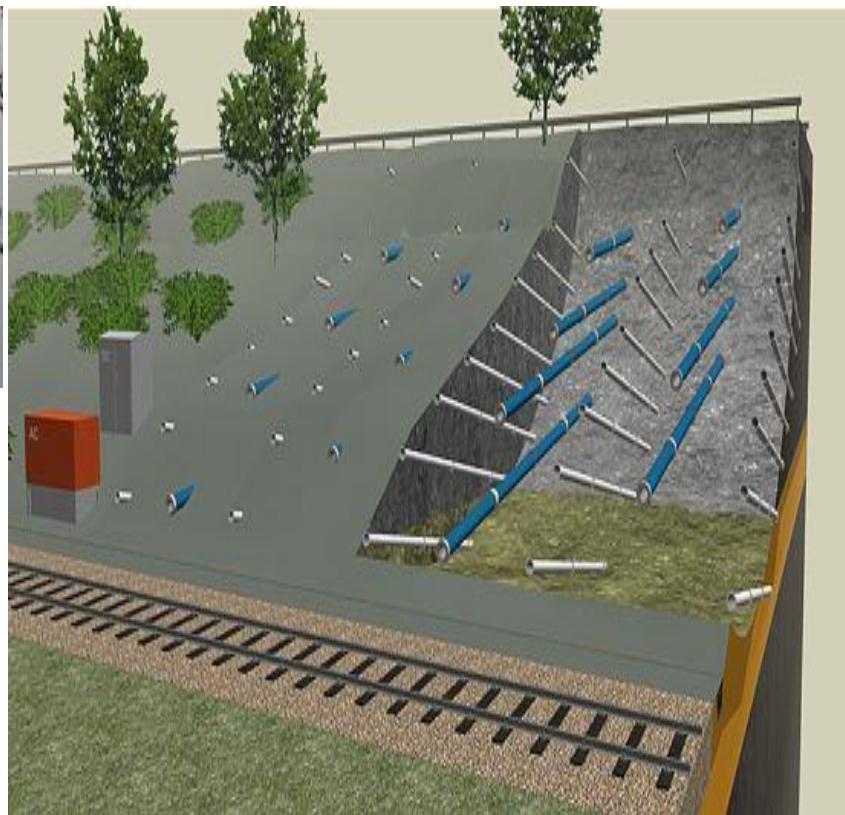
- Pad Foundation
- Grillage Foundation
- Root Foundation
- Shell Foundation
- Spherical Dome
- Ring Foundation
- Hyperbolic Foundation
- Stepped Foundation
- Attached Single Foundation
- Cantilever (Strap) Foundation
- Conical Foundation
- Isolated Foundation
- Sloped Foundation
- Jacking Foundation
- Drilled Displacement Pile



ژئو سیستم‌ها

یک سیستم مركب متشكل از خاک، المان‌های سازه‌ای و آب

GeoSystems encompasses a broad area in geotechnical and geological engineering, environmental geotechnics, geohydrology and applied geophysics.



عملکرد یکپارچه خاک و مسلح کننده



SANDBAGS

مصالح ژئوستنتیکی:

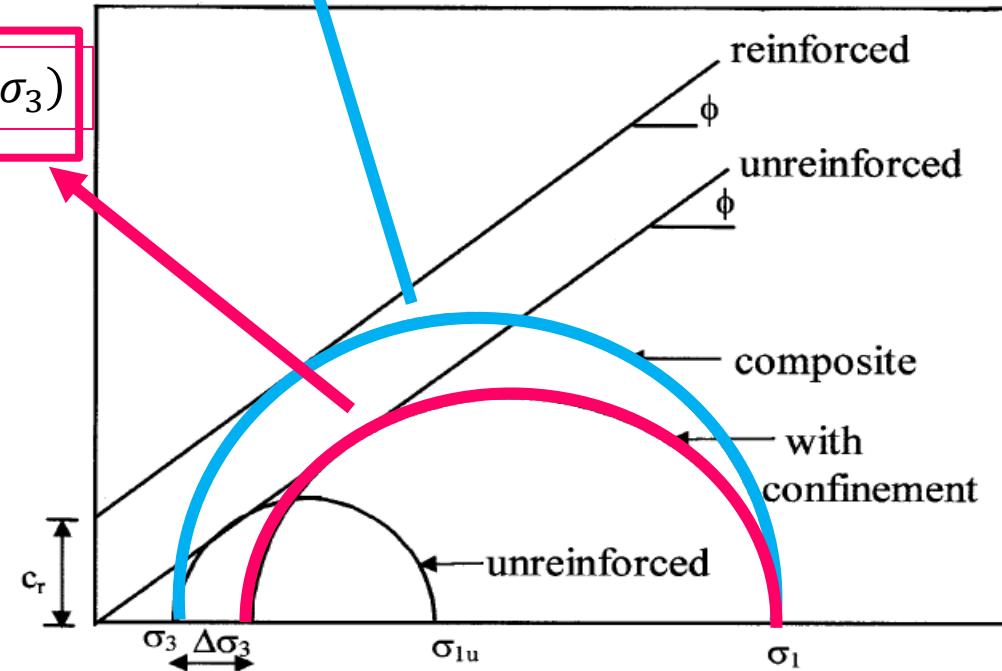
- کیسه‌های خاک
- ژئوتبوب
- ژئوسل

ایجاد چسبندگی ناشی از محصور شدگی در خاک دانه‌ای

$$\sigma_r = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3 + 2c_r \sqrt{\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} = K_p \sigma_3 + 2c_r \sqrt{K_p}$$

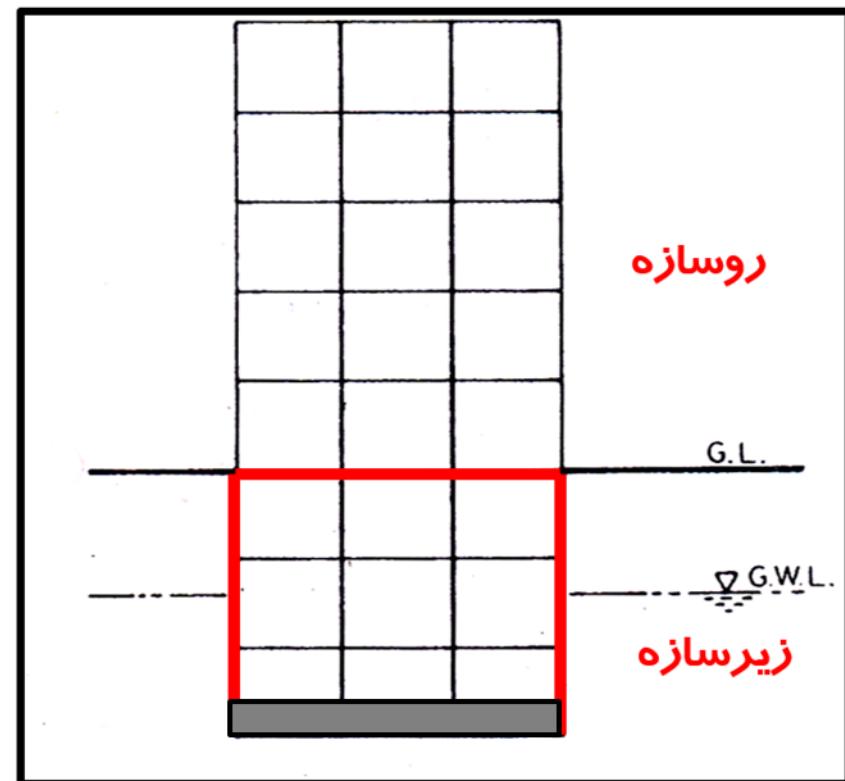
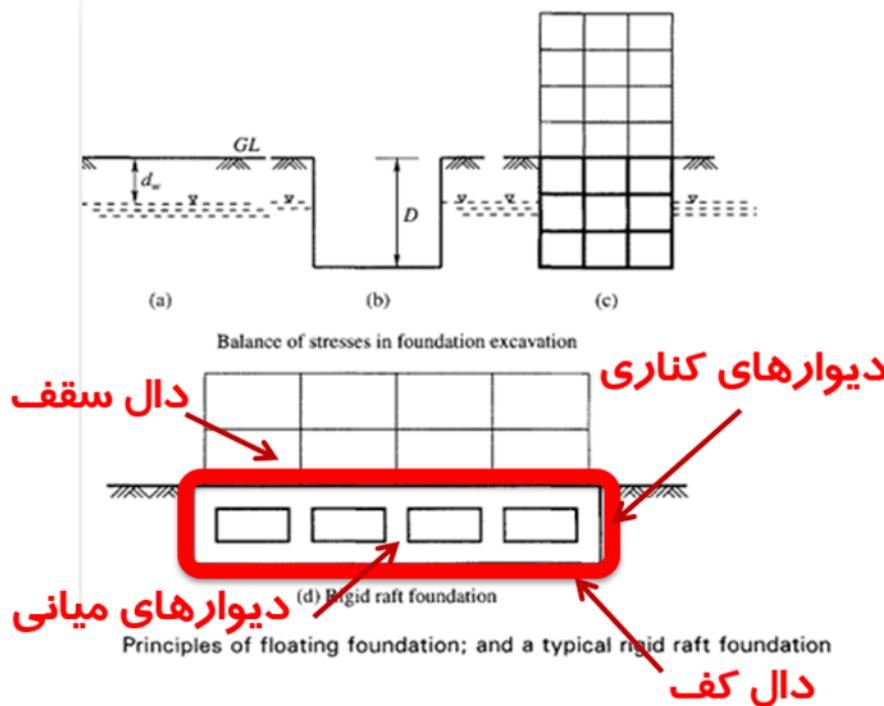
$$\sigma_1 = K_p(\sigma_3 + \Delta\sigma_3)$$

$$c_r = \frac{\Delta\sigma_3}{2} \sqrt{K_p}$$



سیستم‌های پی

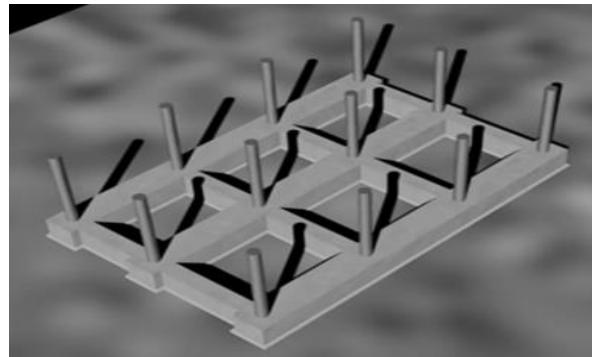
اجزای اصلی یک پروژه ساختمانی



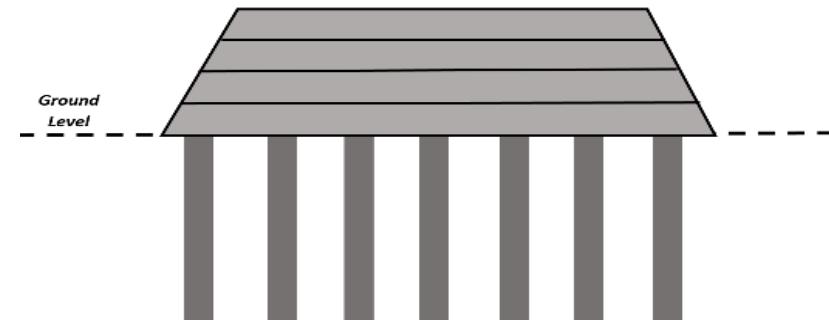
سیستم فونداسیون

پی رادیه

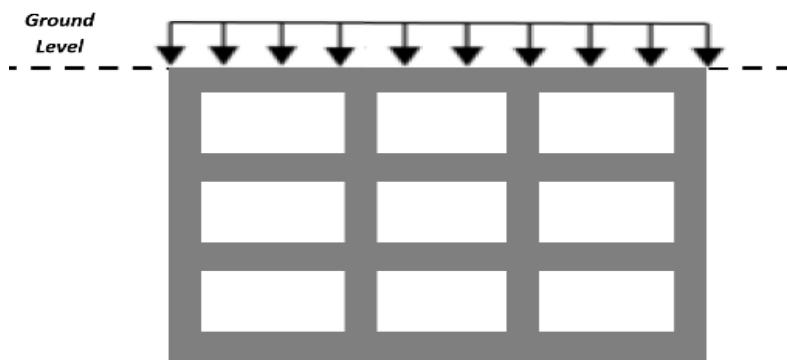
سیستم‌های پی



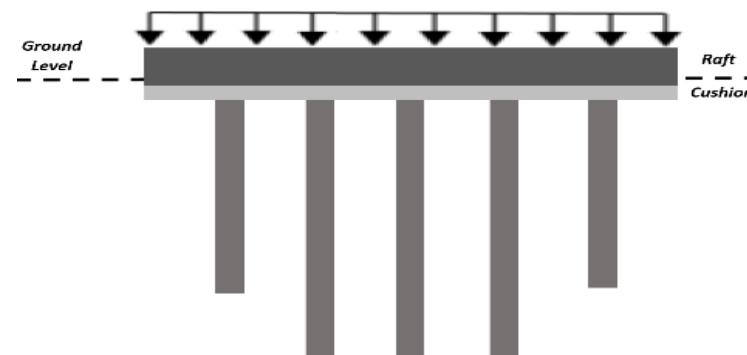
(a)



(b)



(c)



(d)

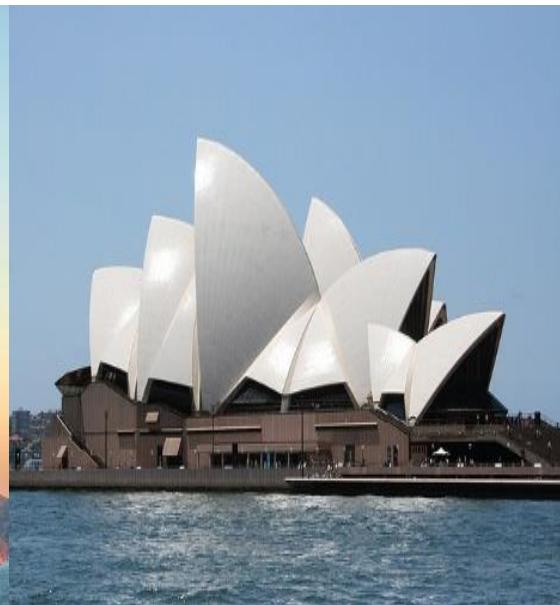
Various foundation systems; a) grid shallow foundation, b) embankment on rigid intrusion stabilized soil, c) semi-deep box foundation, d) piled raft foundation (PRF)

نگرش نوین؛ فرم هندسی و انتقال بار

فرم‌های هندسی سازه‌ای



(a)



(b)

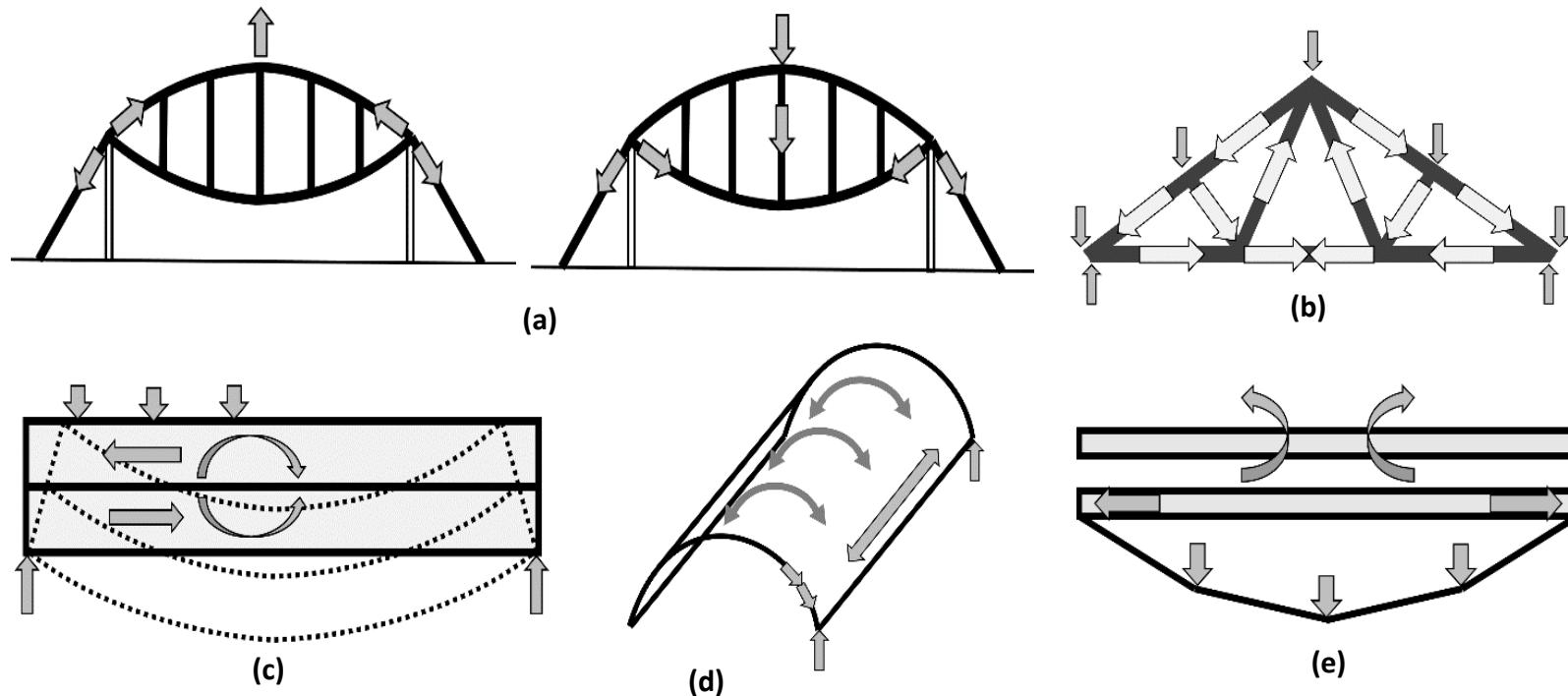


(c)

Examples of three primary type of structures based on the form a) the cables of the Golden gate bridge, (one-dimensional), b) the shell roof of the opera house of Sydney, (two-dimensional), c) ancient pyramids of Cairo (three-dimensional)

نگرش نوین؛ فرم هندسی و انتقال بار

mekanizm-e-anttal-bar-dar-sazeha



Different structural systems load transfer mechanisms: a) form-act structure; b) vector-act structure; c) section-act structure; d) surface-act structure; e) hybrid structure (adapted from Engel, 2013)

نگرش نوین؛ فرم هندسی و انتقال بار

سیستمی مهندسی که پی‌ها را
بر اساس

فرم هندسی

۱- پی‌های خطی: انواع شمع‌های تک

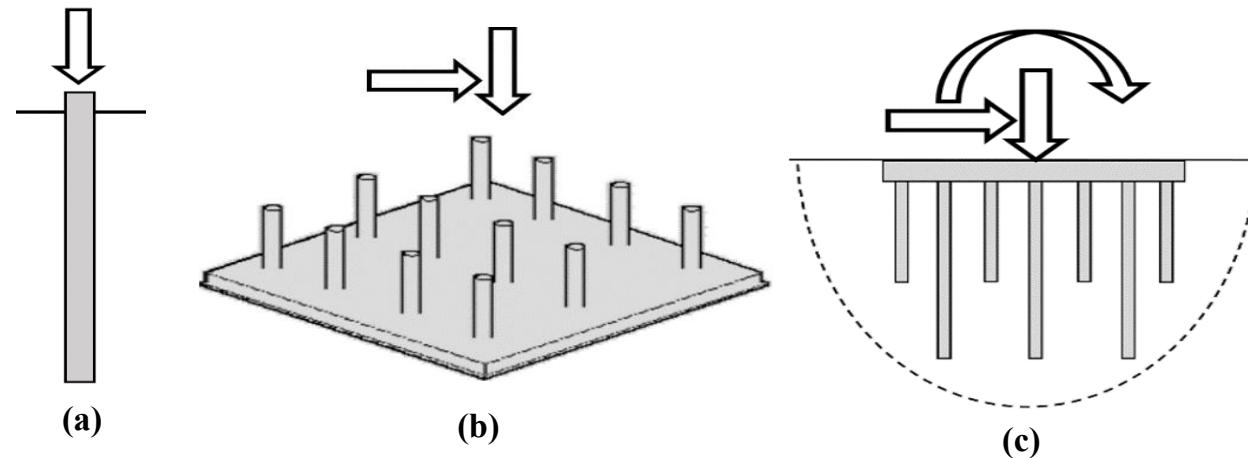
1. One-Dimensional (Linear) Foundations: Piles & Drilled Shafts

۲- پی‌های صفحه‌ای: انواع پی‌های سطحی و پوسته‌ای

2. Two-Dimensional (Planar) Foundations: Footings, Mats & Shells

۳- پی‌های حجمی: گروه شمع، رادیه مرکب و ...

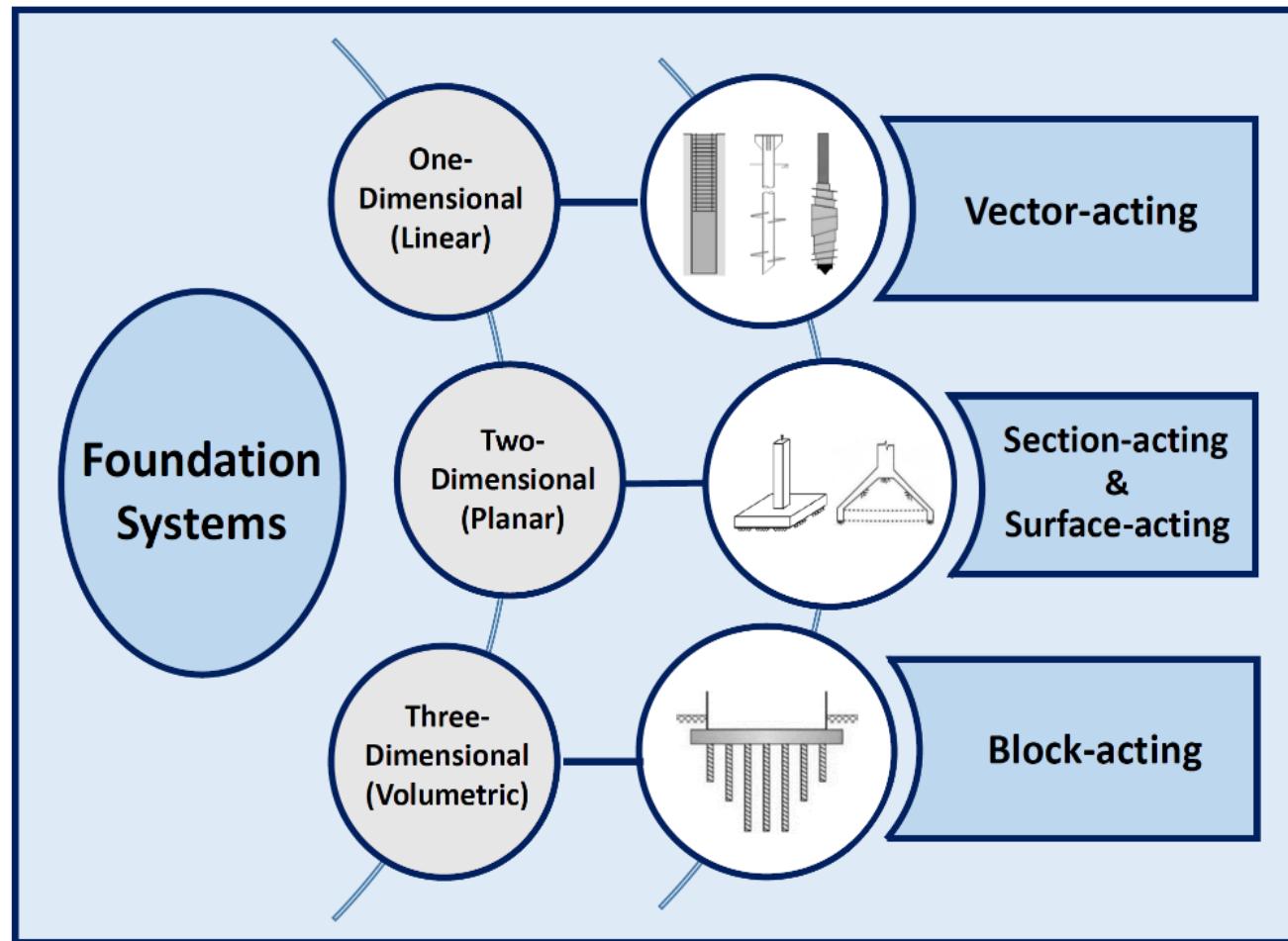
3. Three-Dimensional (Volumetric) Foundations: PRF & Massive Treatment



Typical categories of foundations based on form and prevalent applied loads a) one dimensional, b) two dimensional, c) three dimensional (Ebrahimipour & Eslami, 2024)

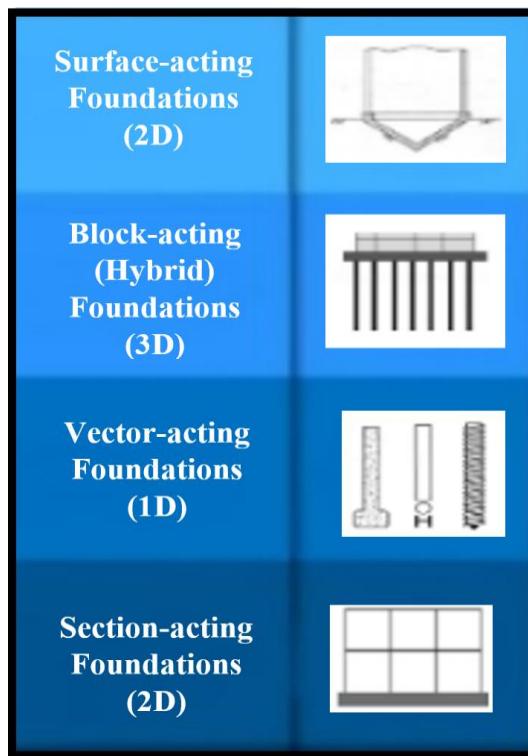
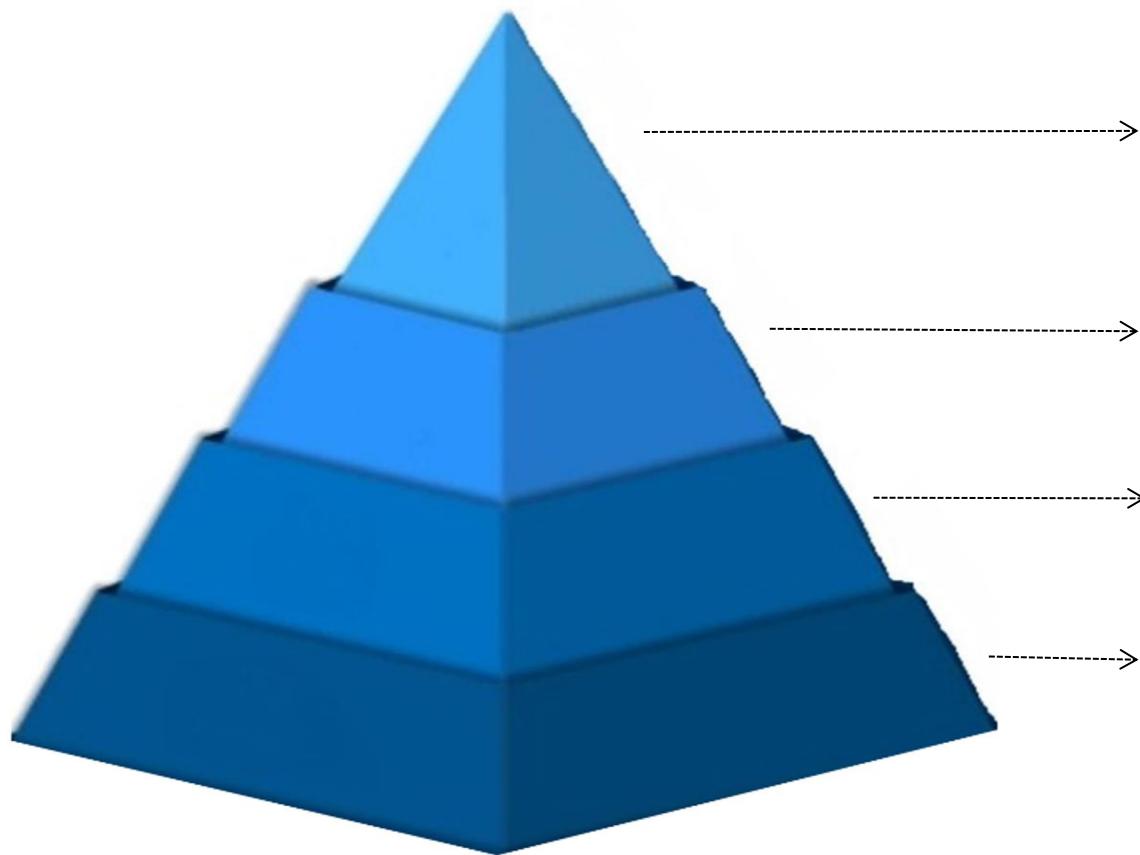
نگرش نوین؛ فرم هندسی و انتقال بار

رده‌بندی پی‌ها

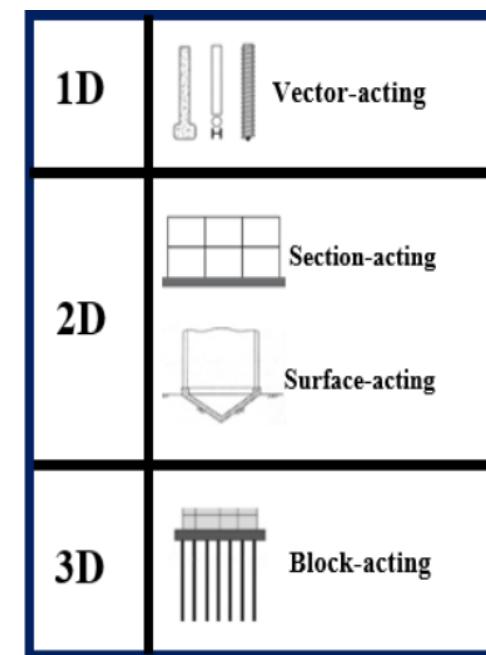
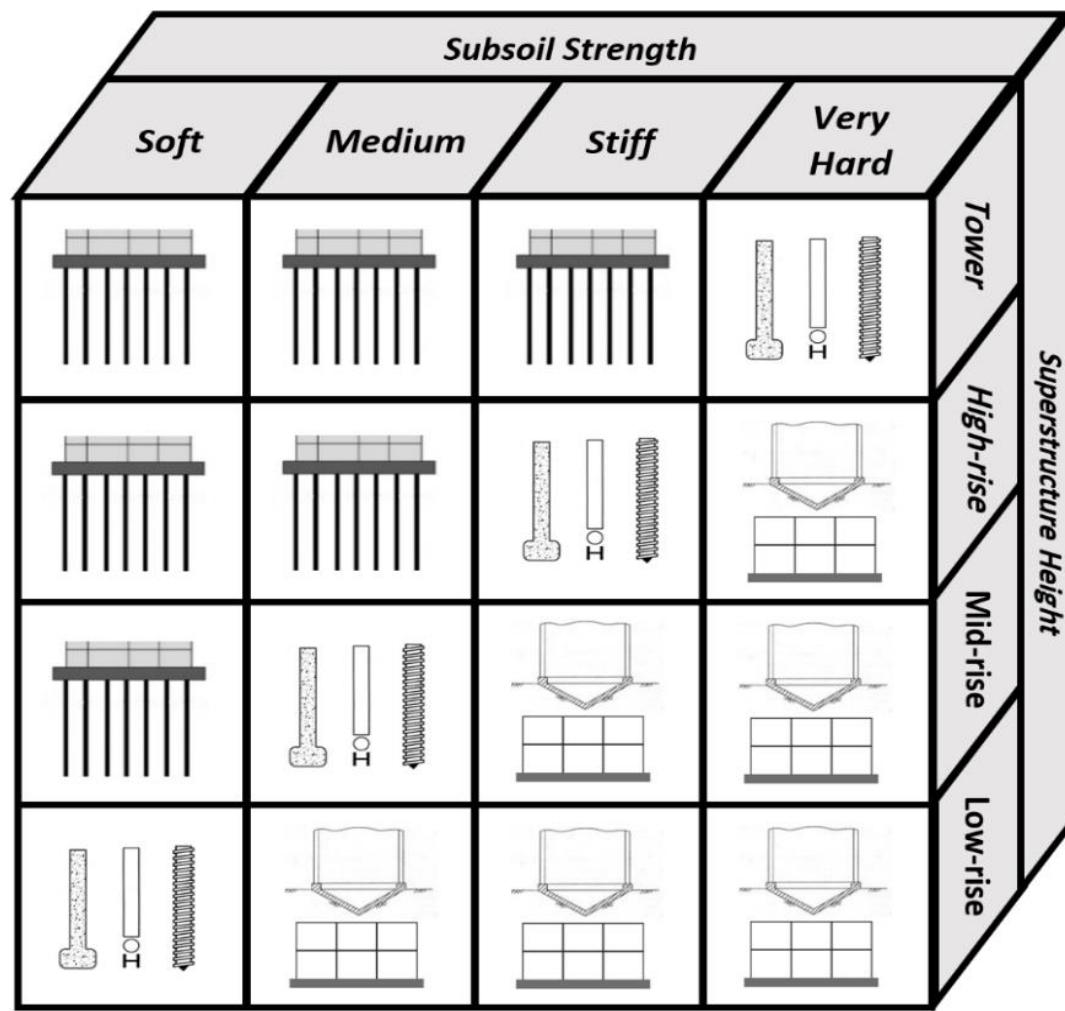


(Ebrahimipour & Eslami, 2024)

فراوانی کاربرد پی‌ها



انتخاب سیستم پی بر مبنای قوام نهشته و ارتفاع ساختمان



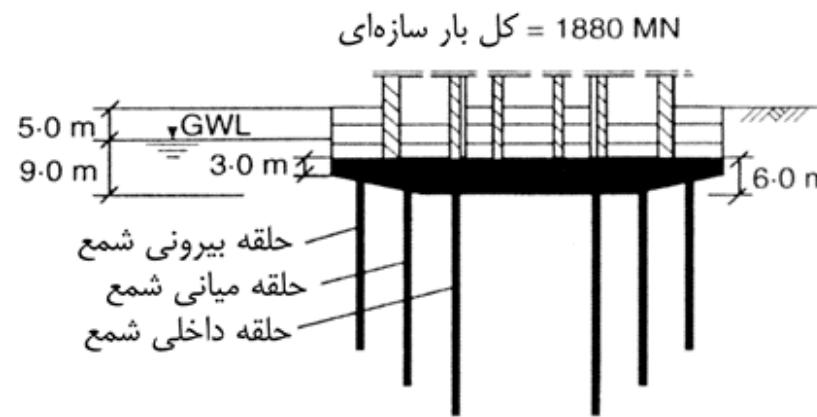
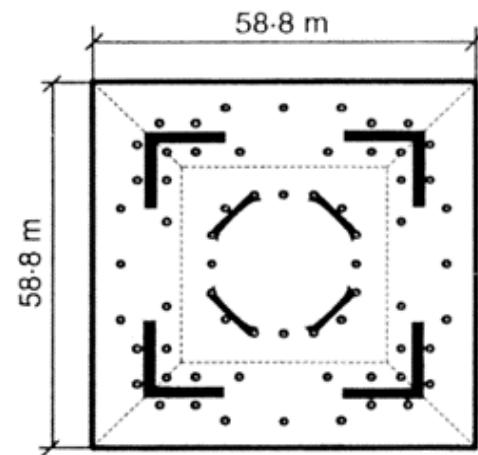
مورد عملی شماره ۲ – ساختمان Messeturm فرانکفورت – آلمان

سیستم پی رادیه – مرکب

Hemsley (2000)



- بلندترین ساختمان اروپا در دهه ۹۰ در شهر فرانکفورت به ارتفاع $256/5$ متر
- برج ۶۰ طبقه دارای ۲ طبقه زیرزمین و با ابعاد 41×41 متر و وزن کل ۱۸۸۰ مگا نیوتن
- خاک محل شامل ۸ متر شن و ماسه و متعاقباً لایه رسی ۱۰۰ متر
- استفاده از پی عمیق، به تنها یی غیراقتصادی و دشوار
- $H/B > 4$



مورد عملی شماره ۲ – ساختمان Messeturm فرانکفورت – آلمان

سیستم پی رادیه – مرکب

Hemsley (2000)

- هدف اصلی، کاهش نشست‌ها و خصوصاً احتمال چرخش‌های اضافی رادیه بر لایه رسی غیرهموژن و انتقال بخشی از بار روسازه به اعماق سخت‌تر و پایین‌تر
- برآورده نشست پی گسترده بدون شمع، حدود ۴۰۰ mm
- تقلیل میزان نشست با انتخاب سیستم پی رادیه با شمع به ۱۵۰ میلیمتر
- پی گسترده مربعی به ضلع ۶۰ متر و در عمق ۱۴ متری زمین بر روی رس فرانکفورت و در تراز ۹ متر زیر سطح آب زیرزمینی اجرا شد که ضخامت آن از ۶ متر در مرکز به ۳ متر در کناره‌ها رسیده است.
- شمع‌های درجای بتنی به قطر $1/3$ متر و در ۳ حلقه دایره‌ای زیر رادیه

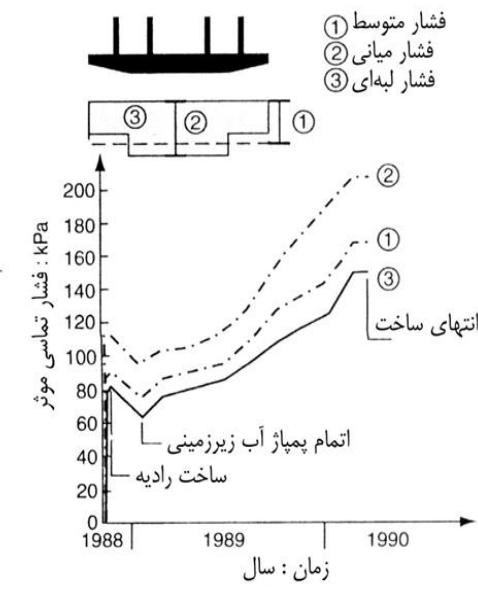
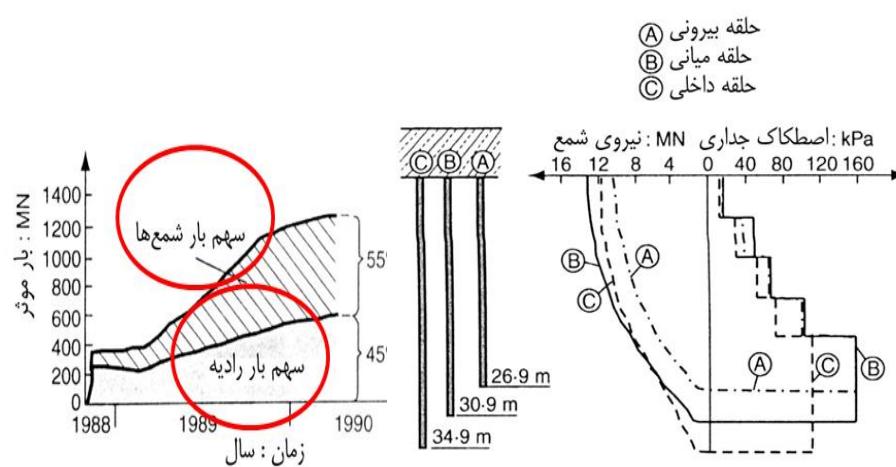
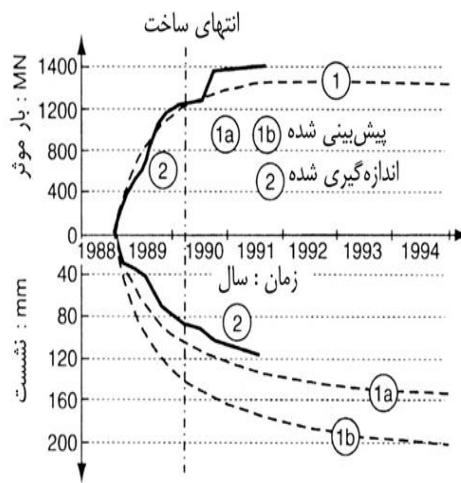
مورد عملی شماره ۲ - ساختمان Messeturm فرانکفورت - آلمان

سیستم پی رادیه - مرکب

Hemsley (2000)

- طول شمع‌های حلقه بیرونی $26/9$ متر (۲۸ شمع)، در حلقه میانی $30/9$ متر (۳۰ شمع) و در حلقه میانی $34/9$ متر (۱۶ شمع)
- به دلیل اجتناب از عملکرد گروه شمع فاصله بین شمع‌ها متغیر از $3/5B$ تا 5

رفتار اندازه‌گیری شده سیستم زیرسازه



مورد عملی شماره ۳ – ساختمان Al-Faisaliah ریاض – عربستان سعودی

سیستم پی رادیه

Hemsley (2000)



- تکمیل شده در سال ۲۰۰۰ میلادی

- برج ۴۴ طبقه تجاری و ارتفاع کل ۲۶۷ متر

- مساحت کل زیربنا برابر ۲۴۰ هزار مترمربع

- سیستم فونداسیون رادیه با ضخامت متغیر

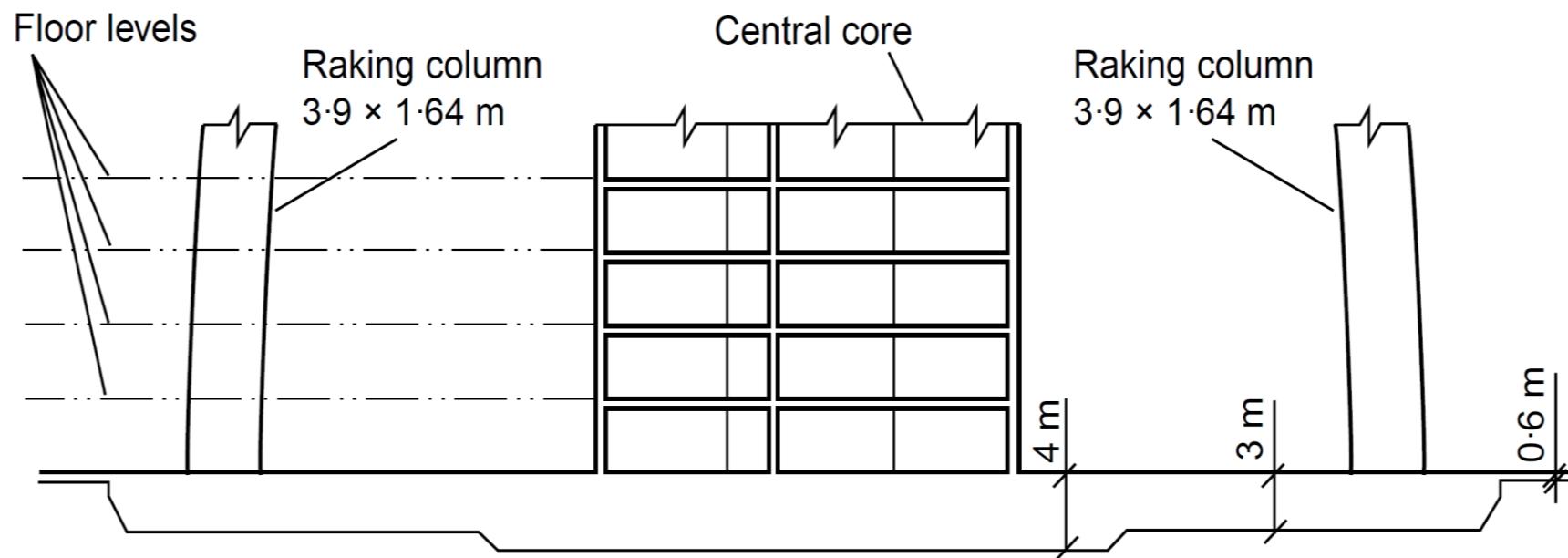
- چالش اجرایی جهت بتون ریزی

- خاک سخت و ظرفیت ژئوتکنیکی بالا

مورد عملی شماره ۳ - ساختمان Al-Faisaliah ریاض - عربستان سعودی

سیستم پی رادیه

Hemsley (2000)

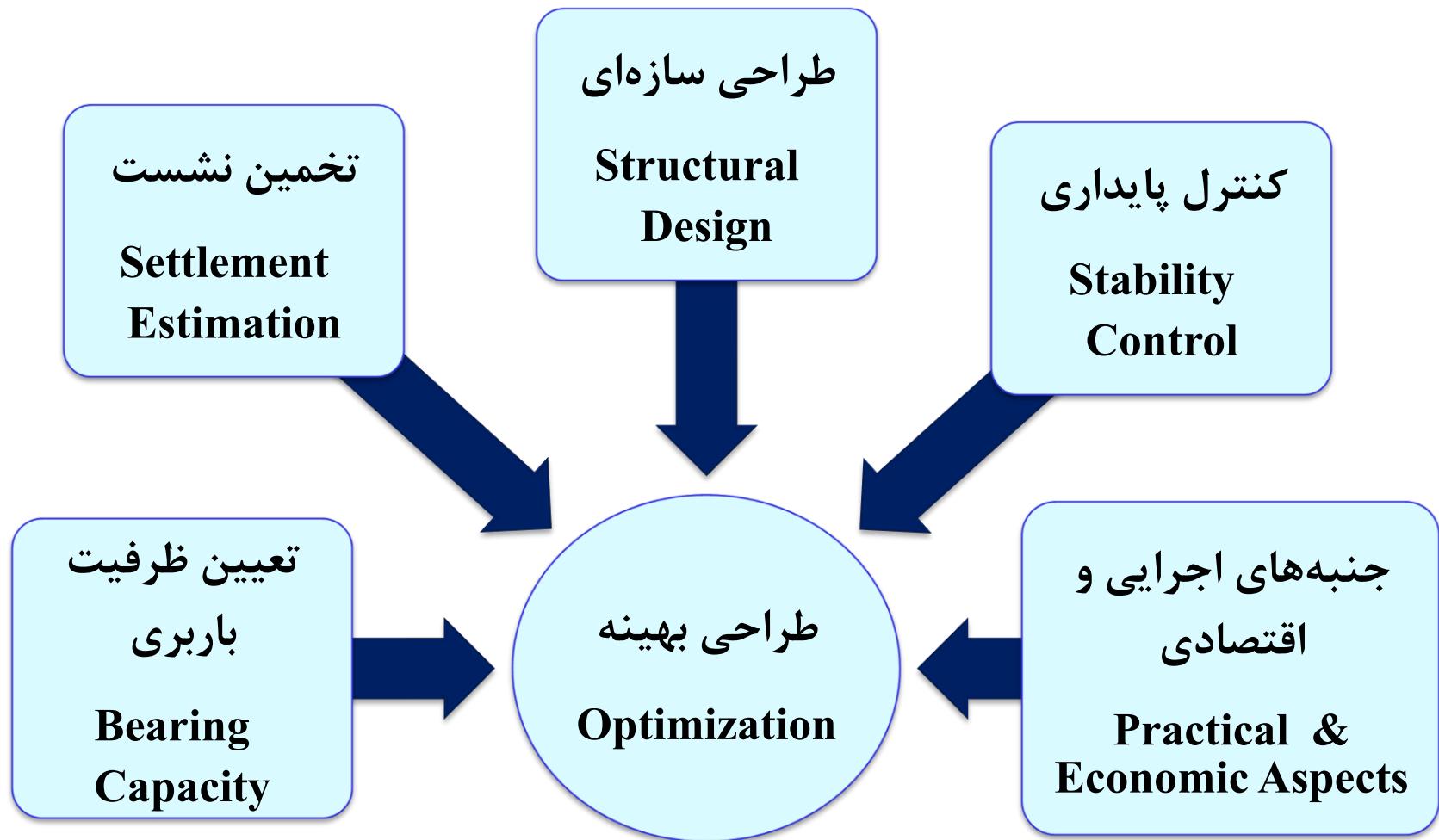


(Hemsley, 2000) Al Faisaliah

۳. طراحی زئوتکنیکی و سازه‌ای

3. Geotechnical & Structural Design

ملاحظات عمده تحلیل و طراحی فونداسیون



ملاحظات عمده تحلیل و طراحی فونداسیون

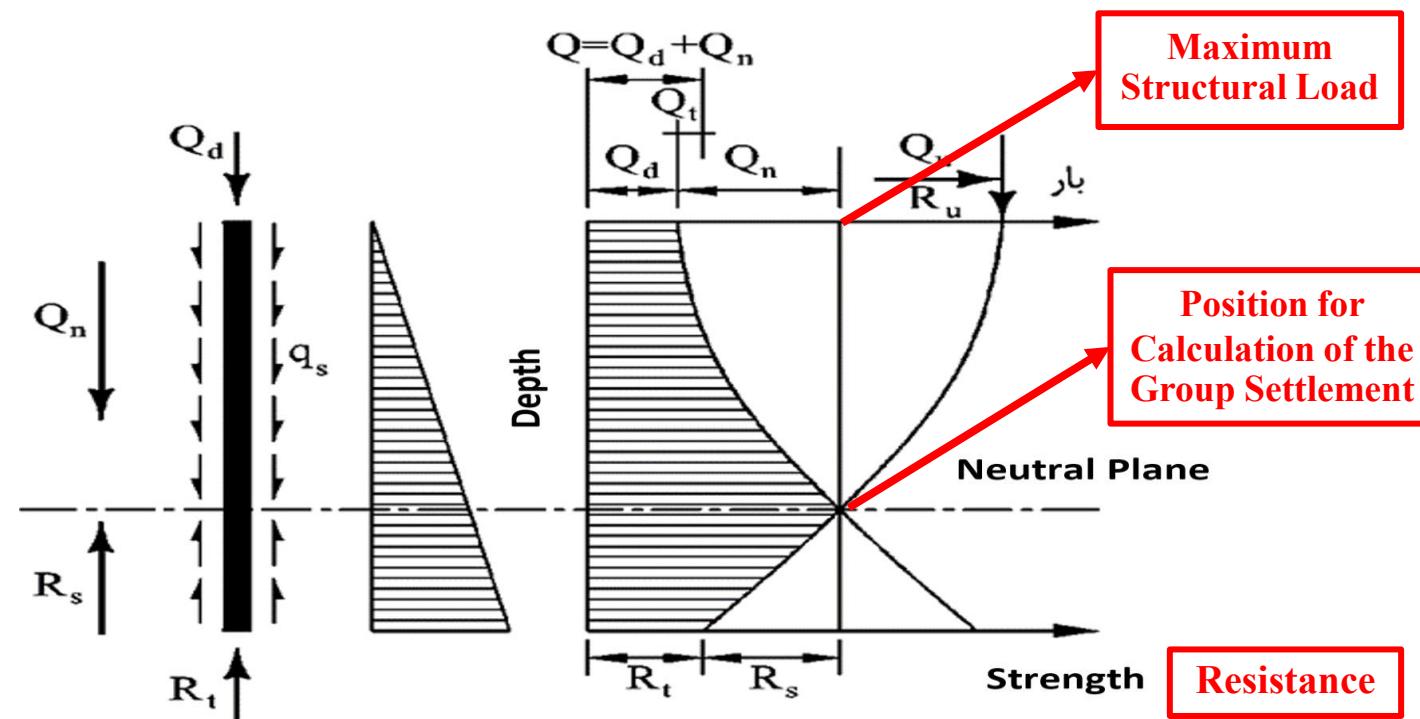
Following issues are realized in efficient foundation engineering practice including **technical**, **practical** and **economical** aspects; mainly focusing on **performance-based design**:

1. Bearing Capacity
2. Serviceability (Settlement and Torsion)
3. Structural Design
4. Stability Control
5. Full or Model Scale Testing
6. Constructional Aspects
7. Durability
8. Economic Requirements

ملاحظات عمده تحلیل و طراحی فونداسیون

Fellenius (2015):

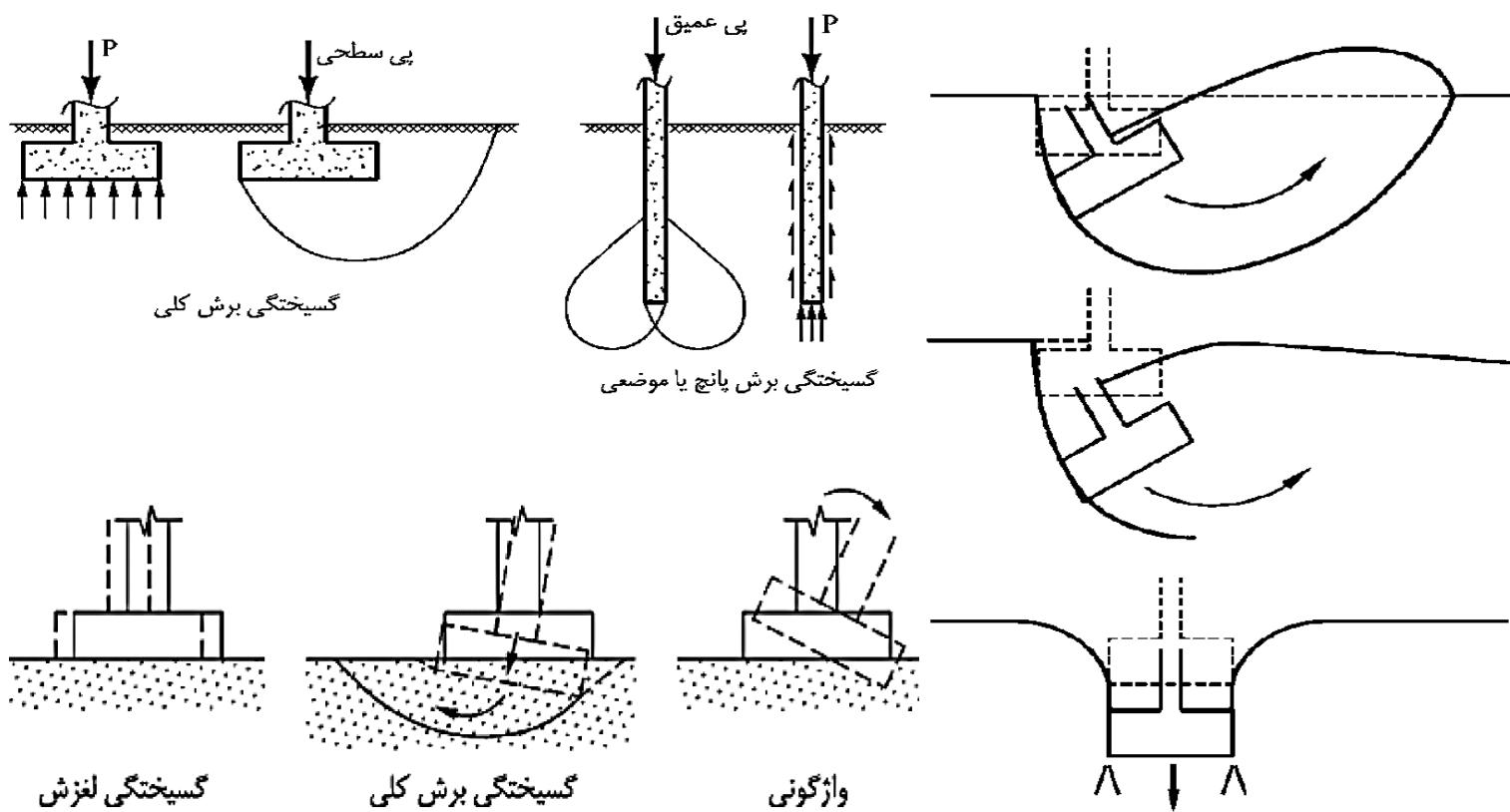
تحلیل و طراحی پی‌ها یک فرایند تکرارشونده می‌باشد که در آن، مقدار بارهای وارد، نشست متناظر و هندسی پی به صورت اندراکنشی می‌باشند و تحت تاثیر ظرفیت ژئوتکنیکی، سازه‌ای و الزامات سرویس‌دهی (نشست و چرخش) می‌باشند.



عوامل موثر در طراحی ژئوتکنیکی

- شرایط خاک: پارامترهای مقاومتی و سختی
 - نوع خاک
 - شرایط تراکم
- هندسه پی: عمق استقرار
 - طول
 - عرض
 - ضخامت
- شرایط محیطی: محصور شدگی
 - آب زیرزمینی
 - بارگذاری
 - هندسه زمین

mekanizmeha-gesikhagi



رابطه پایه ظرفیت باربری پی‌های سطحی

Terzaghi (1943)

$$q_{ult} = CN_c + \bar{q}N_q + 0.5\gamma BN_\gamma$$

C = cohesion parameter

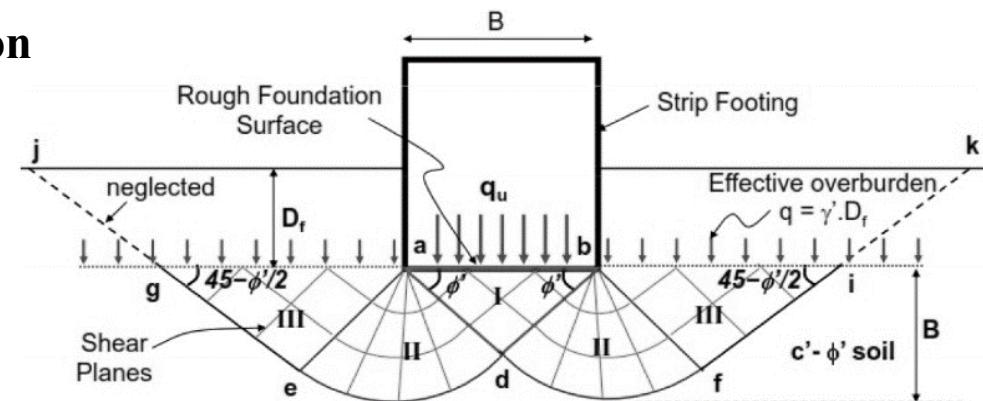
\bar{q} = surcharge around the foundation equals to γD_f

γ = average effective unit weight of the soil below and around the foundation

B = foundation width

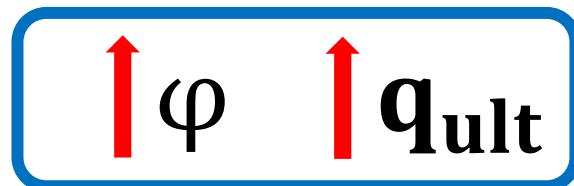
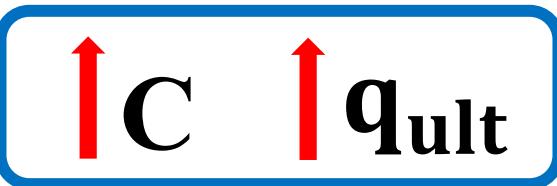
D_f = embedment depth of the foundation

N_c, N_q, N_γ = non-dimensional factors



فاکتورهای مهم در ظرفیت باربری

پارامترهای مقاومت بر شی خاک اطراف و زیر پی



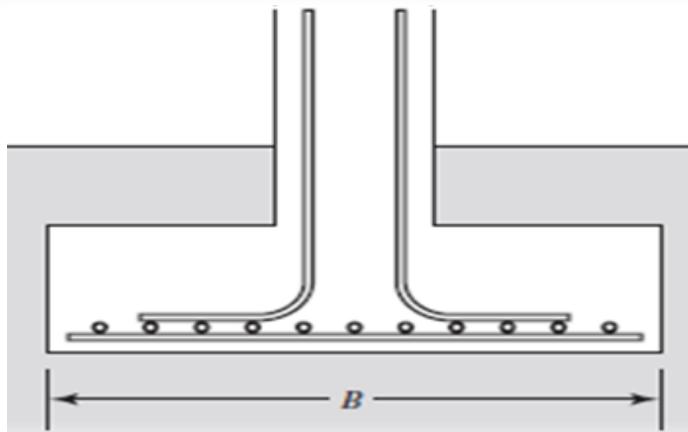
- چسبندگی (C)
- زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)

- سطح آب زیرزمینی

کاهش وزن مخصوص موثر لایه‌های خاک به علت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و اثر مستقیم بر کاهش ظرفیت باربری

$$\gamma' = \gamma - \gamma_\omega$$

فاکتورهای مهم در ظرفیت باربری



$\uparrow B \quad \uparrow q_{ult}$

- هندسه پی
- بعد پی (B)

• بارگذاری :
وجود بارهای ترکیبی شامل نیروی محوری و لنگر بارهای مایل

اعمال ضرایب کمتر از واحد

$\downarrow q_{ult}$

أنواع تنش در ظرفیت باربری

$$q = \frac{P + W_F}{A} - u_D$$

فشار تماسی یا لهیدگی

P بار قائم روی پی

W_F وزن پی و خاک روی آن

A سطح کف پی

u_D فشار آب در کف پی (در عمق D از سطح زمین)

روابط پایه در طراحی پی

- ظرفیت باربری ←

- شرایط خاک

- هندسه پی

- شرایط پیرامونی و بارگذاری

$q_{allowable}$ ملاحظات جابجایی: ظرفیت باربری مجاز

$q < q_{allowable}$

استفاده از مقادیر توصیه شده در آیین‌نامه‌ها و کدها

q_a (kg /cm ²)	نوع سنگ یا خاک
الف - سنگها :	
۱۰۰	- سنگ‌های آذرین سخت و بدون هوازدگی
۴۰	- ماسه سنگ و آهک سنگ‌های سخت
۳۰	- شیستهای
۲۰	- شیلیهای سخت و سنگ‌های نرم
۶ - ۱۰	- شیلیهای نرم
۶	- سنگ‌های آهکی نرم
ب - خاکهای غیرچسبنده :	
بزرگتر از ۶	- شین متراکم یا شن و ماسه متراکم
۶ - ۴	- شن و ماسه با تراکم متوسط
کوچکتر از ۲	- شن و ماسه شل
بزرگتر از ۳	- ماسه متراکم
۱ - ۳	- ماسه با تراکم متوسط
کوچکتر از ۱	- ماسه شل $10 < N$
ج - خاکهای چسبنده : (در مقابل شیستهای تک‌کیمی خواسته شده)	
۳ - ۶	- رسنای خیلی سفت و سخت
۱/۵ - ۳	- رسنای سفت
۰/۷۵ - ۱/۵	- رسنای متوسط
کوچکتر از ۰/۷۵	- رسنای نرم
قابل استفاده	- رسنای خیلی نرم
غیرقابل اعتماد	- خاک‌ای آلی
باید اندازه گیری شود.	- خاک دستی

ظرفیت باربری پی‌های عمیق

متدهای متداول جهت تعیین توان باربری شمع‌ها

۱- آنالیز استاتیکی

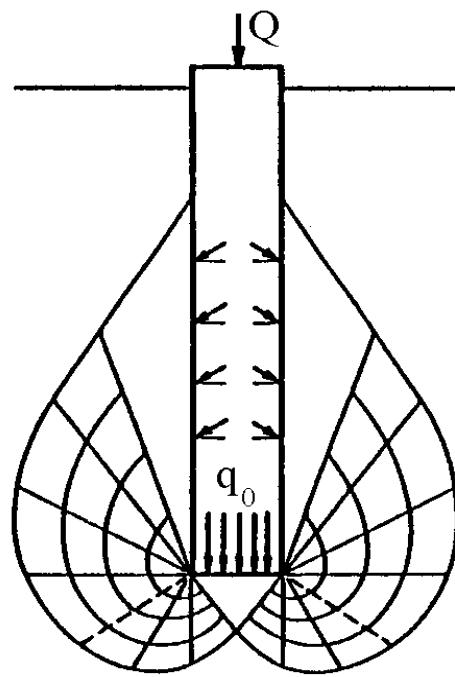
۲- تحلیل استاتیکی با استفاده از نتایج تست‌های درجا

۳- آزمایش بارگذاری استاتیکی

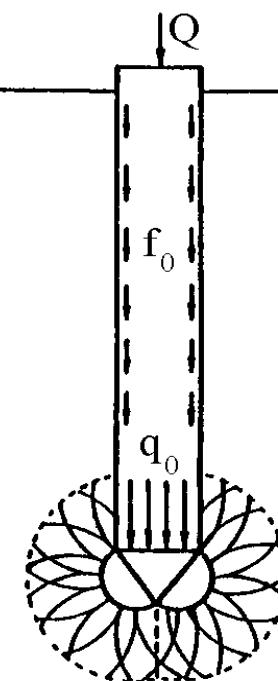
۴- تحلیل دینامیکی و تست‌های دینامیکی

۵- مدل‌های رفتاری و تحلیل‌های عددی

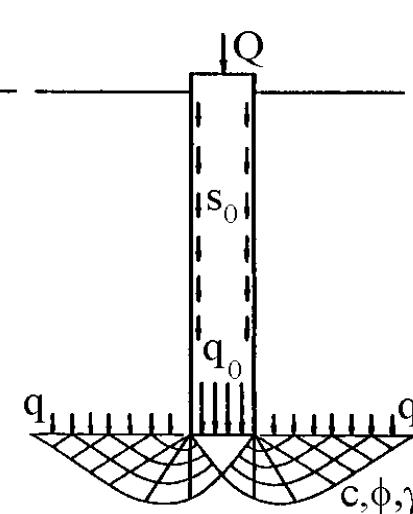
ظرفیت باربری شمع‌ها



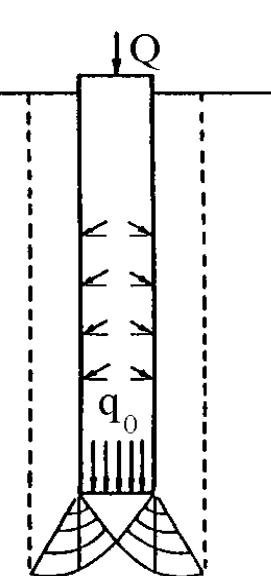
De Beer (1945)
Jaky (1948)
Meyerhof (1951)



Berezantsev and
Yaroshenko (1962)
Vesic (1963)



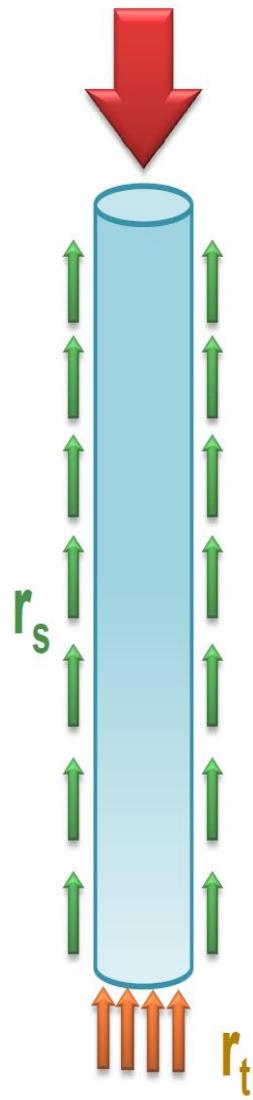
Prandtl (1921)
Reissner (1924)
Caquot (1934)
Buisman (1935)
Terzaghi (1943)



Bishop, Hill,
and Mott (1945)
Skempton, Yassin,
and Gibson (1953)

الگوهای متفاوت گسیختگی توسط مؤلفین مختلف

ظرفیت باربری پی‌های عمیق



- مشخصات خاک
- عمق استقرار
- مشخصات شمع

$$R_t = r_t \cdot A_t$$

$$R_s = r_s \cdot A_s \cdot D_f$$

$$R_u = R_t + R_s$$

$$P_a = \frac{R_u}{FS}$$

r_t مقاومت واحد (تنش) در کف

r_s مقاومت واحد (تنش) در جدار شمع

R_t توان باربری نهایی کف

R_t توان باربری نهایی جداری

A_t سطح مقطع کف شمع

A_s سطح جانبی شمع در طول ۱ متر

D_f عمق استقرار شمع در زمین

R_u مقاومت نهایی و یا توان باربری شمع

P_a بار مجاز محوری قابل تحمل توسط شمع

ظرفیت باربری‌پی‌های عمیق بر اساس SPT

$$r_{t/s} = n \cdot N$$

مقاومت خاک

نوع خاک
 جنس شمع
 نحوه اجرا

- استفاده از ضرایب اصلاحی وابسته به جنس شمع، قطر شمع و یا نسبت L_b/B در برخی روش‌ها
- محدوده میانگین‌گیری از N_{SPT} جهت محاسبه مقاومت نوک شمع در روش‌های مختلف، متغیر است.

$$Q_{ult} = r_t \cdot A_t + r_s \cdot A_s$$

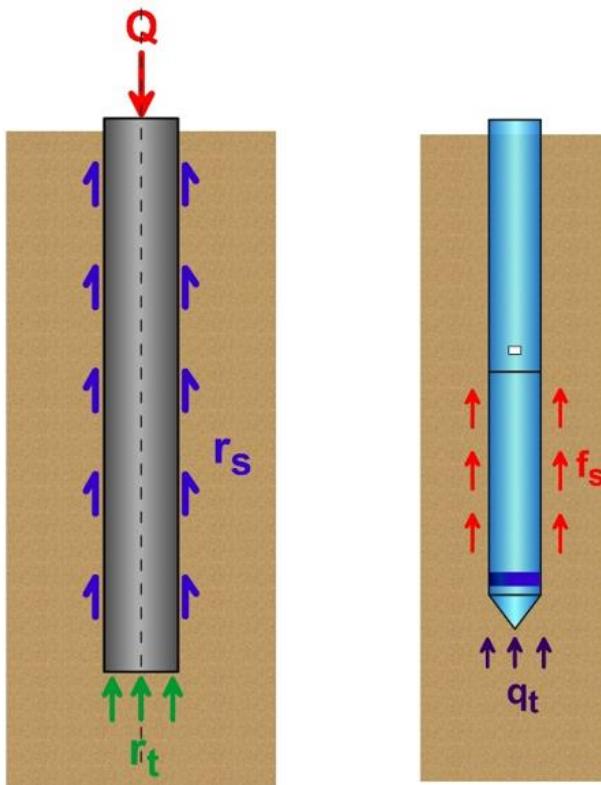
هندسه شمع

r : مقاومت واحد نوک یا جدار
 n : ضریب تعیین مقاومت واحد نوک یا جدار
 N : میانگین اعداد نفوذ در محدوده نوک یا جدار شمع

ظرفیت باربری پی‌های عمیق بر اساس SPT

نوع خاک	نوع شمع	A $r_t = AN$ MPa	B $r_s = BN$ KPa	مراجع
ریزدانه	ریختنی	۰,۱۵	۵	Shioi and Fukui, ۱۹۸۲
		۰,۱۵	۳,۳	Decourt, ۱۹۸۲
	کوبیدنی	۰,۱۲ رس	مخلوط درشت و ریز	Decourt, ۱۹۸۲
		۰,۲ لای	۳,۳	"
		۰,۲۵ ماسه	"	"
	کوبیدنی	۰,۱۰-۰,۳ ماسه	۱۰	Shiori and Fukui, ۱۹۸۲
درشتدانه	ریختنی	۰,۱۰-۰,۱۵	۵	Shiori and Fukui, ۱۹۸۲
		$r_t < 3MPa$	$r_s \leq 150KPa$	Yamashita et al, ۱۹۸۷
		۰,۱۵	۳,۳	Decourt, ۱۹۸۲
		$r_t \leq 7.5MPa$	$r_s \leq 170KPa$	Meyerhof
	کوبیدنی	۰,۱۲	۱	
		۰,۴۵	۲	Meyerhof, ۱۹۵۶, ۱۹۷۶
		۰,۴	۳,۳	Decourt, ۱۹۸۲
		۰,۳	۱۰	Shiori and Fukui
		۰,۳۸۵	۳,۶۵	اسلامی و همکاران, ۱۳۸۳

ظرفیت باربری پی‌های عمیق بر اساس CPT & CPTu



روش‌های مستقیم

$$r_t \leftarrow q_c$$

$$r_s \leftarrow q_c, f_s$$

روش‌های غیرمستقیم

$$r_t, \leftarrow C, \phi \leftarrow q_c, f_s$$

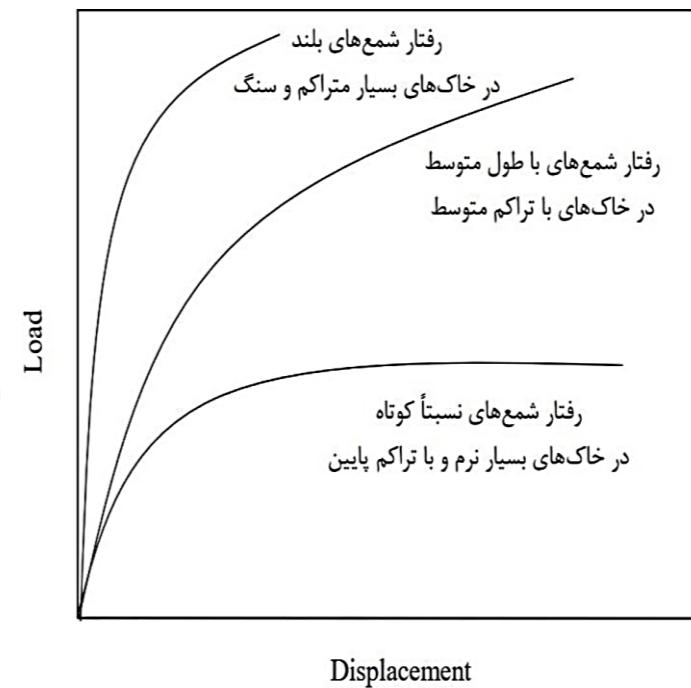
similarities between the cone penetrometer and piles

Penetrometer can be realized as a model pile.

ظرفیت باربری پی‌های عمیق بر اساس CPT & CPTu

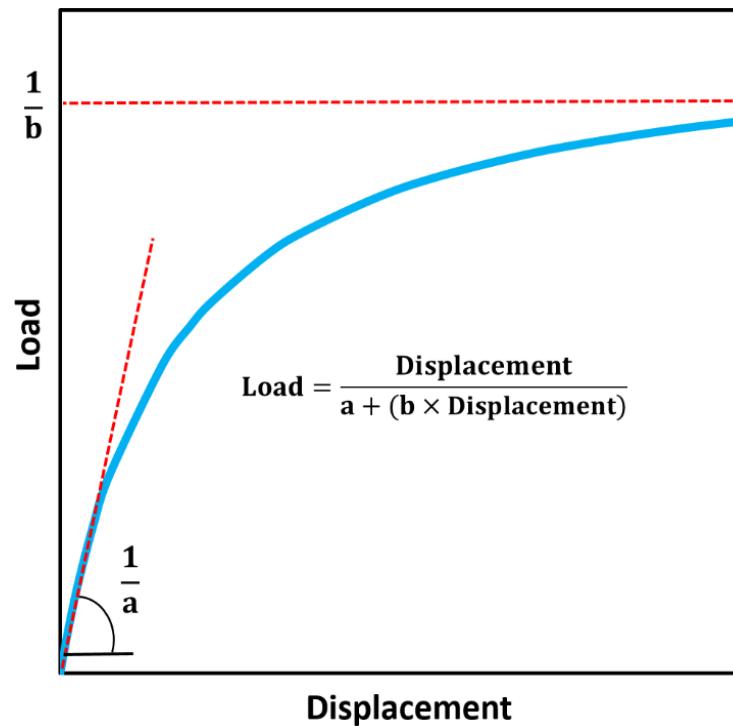
No.	Method	No.	Method
1	Begemann (1963, 1965, 1969)	14	TCD-03 (Gavin and Lehane, 2003)
2	Meyerhof (1956, 1976, 1983)	15	Fugro-05 (Kolk et al., 2005)
3	Aoki and Velloso (1975)	16	UCD-05 (Gavin and Lehane, 2005)
4	Nottingham (1975), Schmertmann (1978)	17	ICP-05 (Jardine et al., 2005)
5	Penpile (Clisby et al.1978)	18	UWA-05 (Lehane et al., 2005)
6	Dutch (de Ruiter & Beringen, 1979)	19	NGI-05 (Clausen et al., 2005)
7	Philipponnat (1980)	20	Cambridge-05 (White & Bolton, 2005)
8	LCPC (Bustamante & GIANESELLI, 1982)	21	German (Kempfert and Becker, 2010)
9	Cone-m (Tumay & Fakhroo, 1982)	22	UCD-11 (Igoe et al. 2010, 2011)
10	Price and Wardle (1982)	23	V-K (Van Dijk and Kolk 2011)
11	Gwizdala (1984)	24	SEU (Cai et al. 2011, 2012)
12	Unicone (Eslami & Fellenius, 1997)	25	HKU (Yu and Yang, 2012)
13	KTRI (Takesue et al., 1998)	26	UWA-13 (Lehane et al., 2013)
		27	Enhanced UniCone (Niazi and Mayne, 2016)

عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی پی‌های عمیق

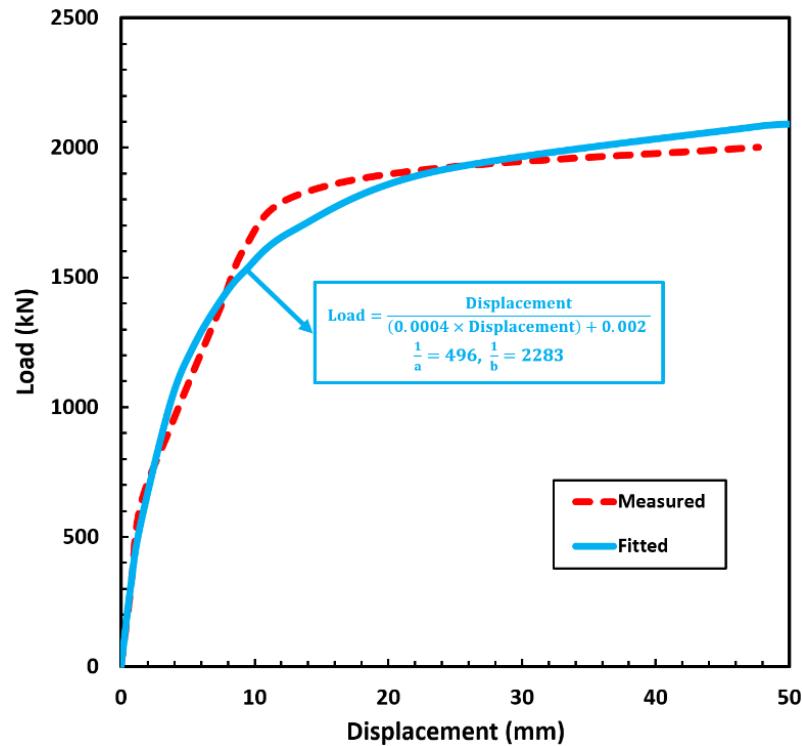


Effect of Pile depth and Soil density (Look, 2007)

تابع ریاضی هایپربولیک جهت تعیین بار حدی



(a)

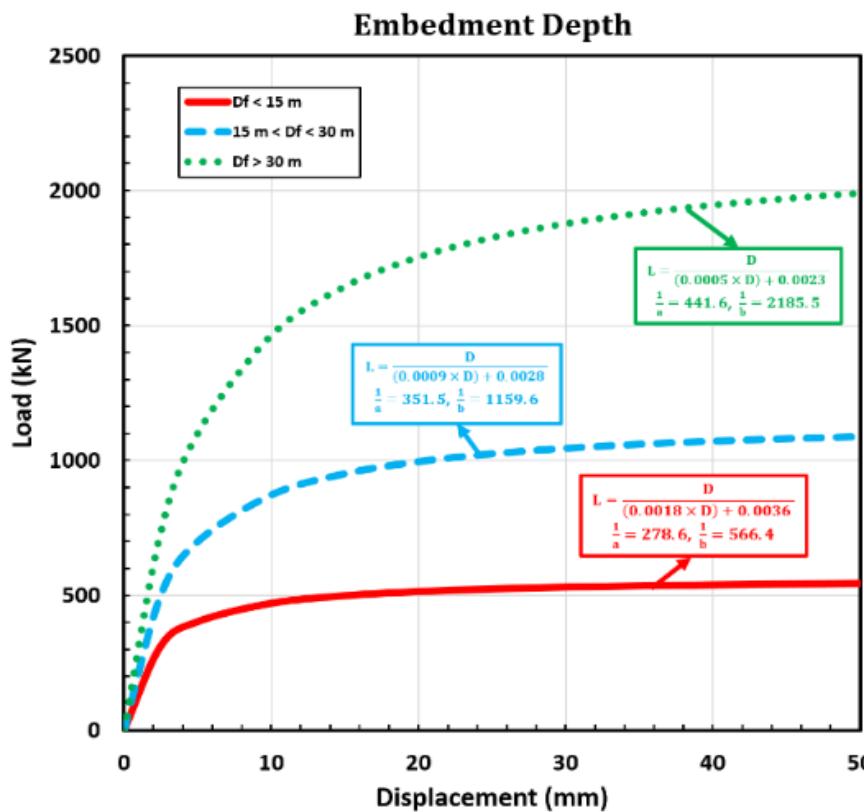


(b)

Hyperbolic function and relevant parameters: a) illustrative concept, b) typical case (Eslami & Ebrahimpour, 2024)

عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی پی‌های عمیق (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

FELADD: Foundation Engineering Load And Displacement Database



Effect of pile embedment depth

- بانک داده بزرگ مشتمل بر ۱۲ رده پی

- داده‌های بار-جابجایی + آزمایش‌های درجا

- بانک داده شامل ۷۱ مورد شمع کوبیدنی

- اجراسده در رس، ماسه و خاک‌های مخلوط

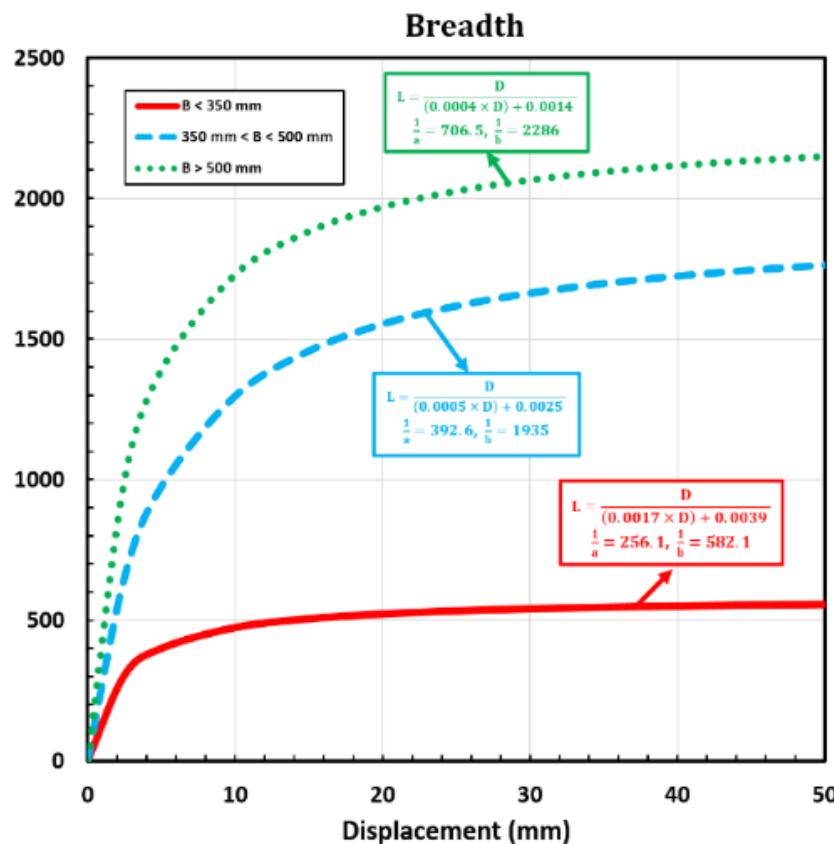
- عمق مدفون بین ۶ تا ۵۶ متر

- بعد ۹۱۴ تا ۲۳۵ میلیمتر

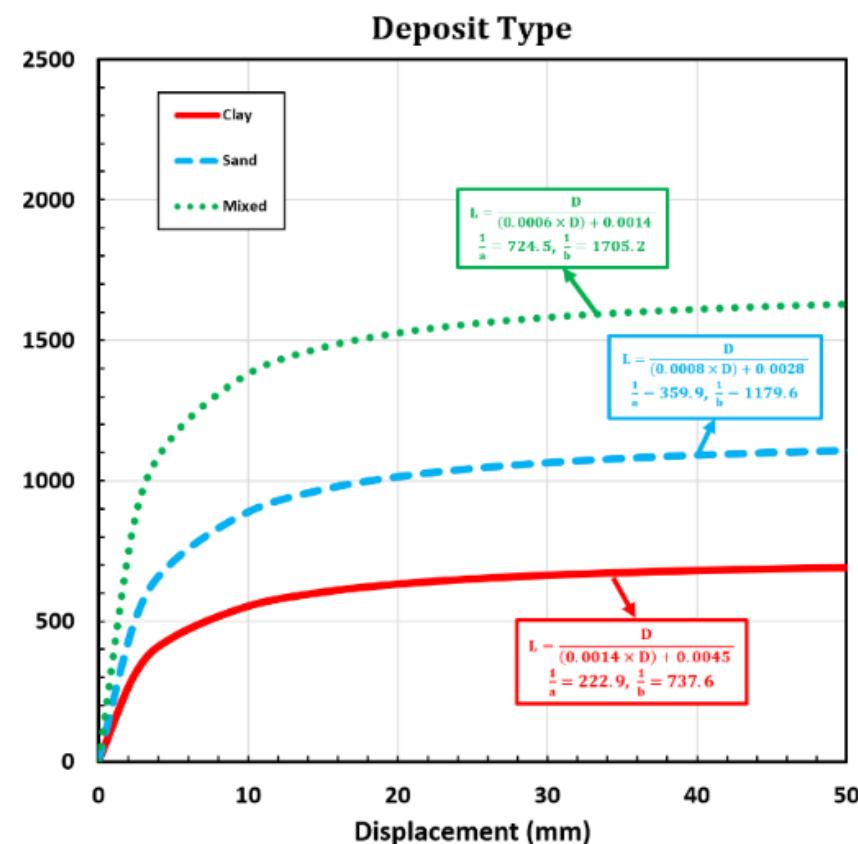
- شمع فولادی و بتونی

- مقاطع دایره، مربع، لوله‌ای و H

عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی پی‌های عمیق (Eslami & Ebrahimipour, 2024)



Effect of pile breadth



Effect of deposit type

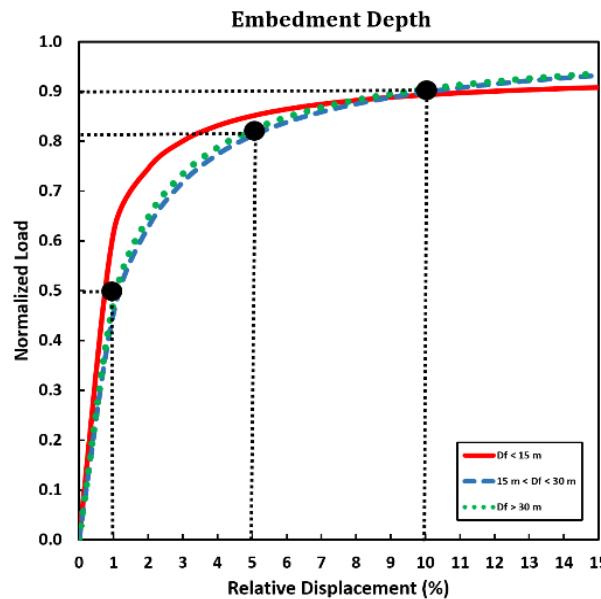
عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی پی‌های عمیق (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

Normalization Approach:

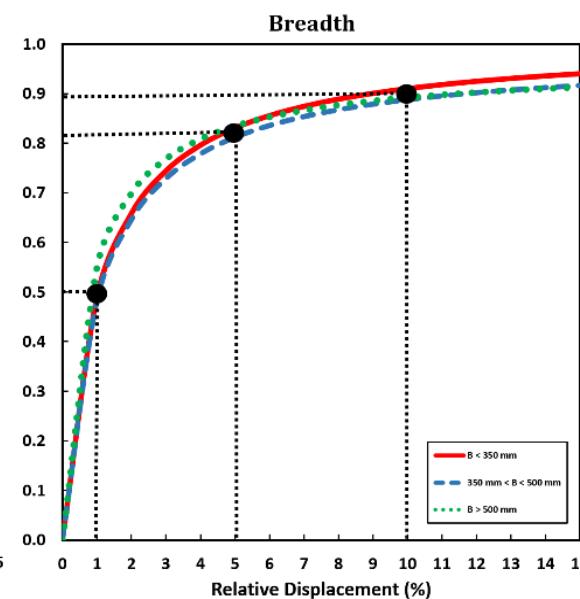
- Load: Brinch-Hansen 80% (1963)
- Displacement: Breadth

Relative Displacement & Normalized Load:

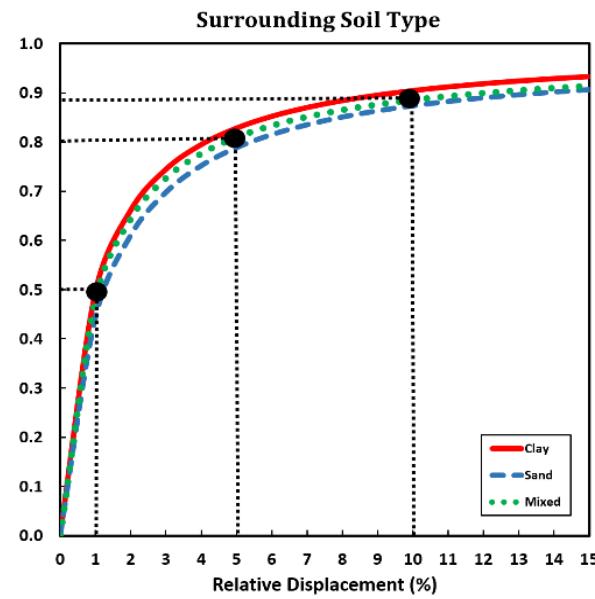
- 1 % → 0.5 Pu (FS=2)
- 5 % → 0.8 Pu
- 10 % → 0.9 Pu



(a)



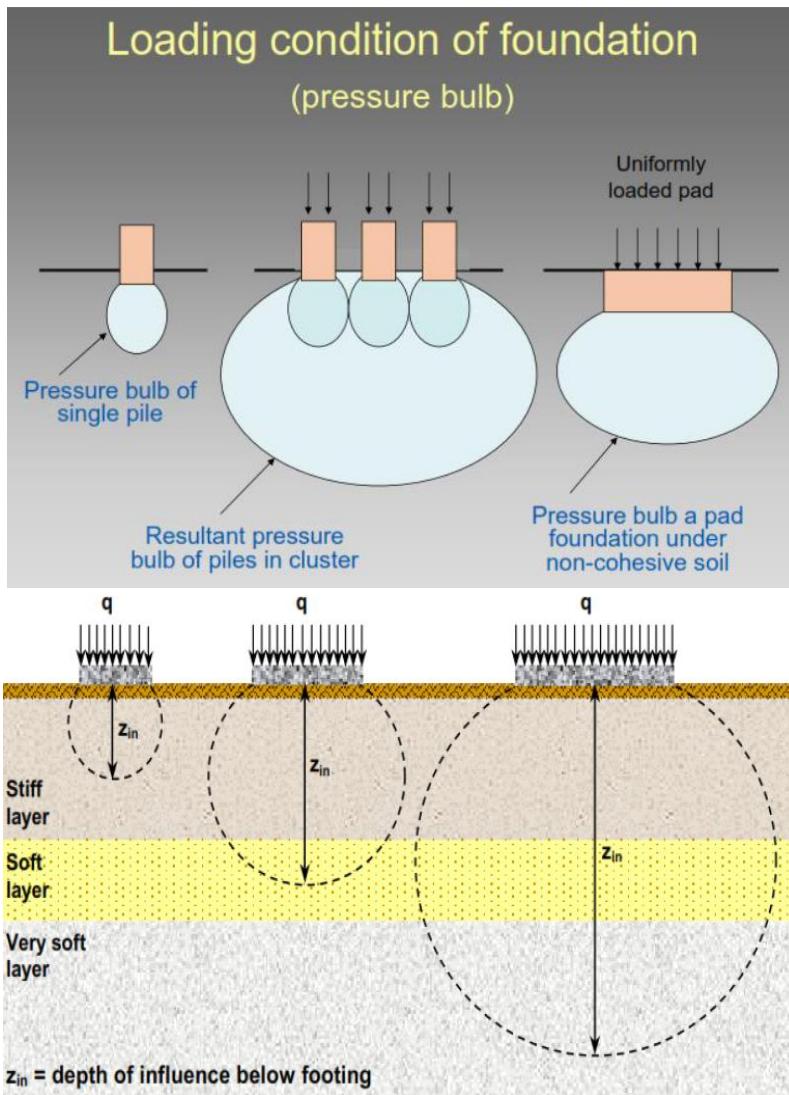
(b)



(c)

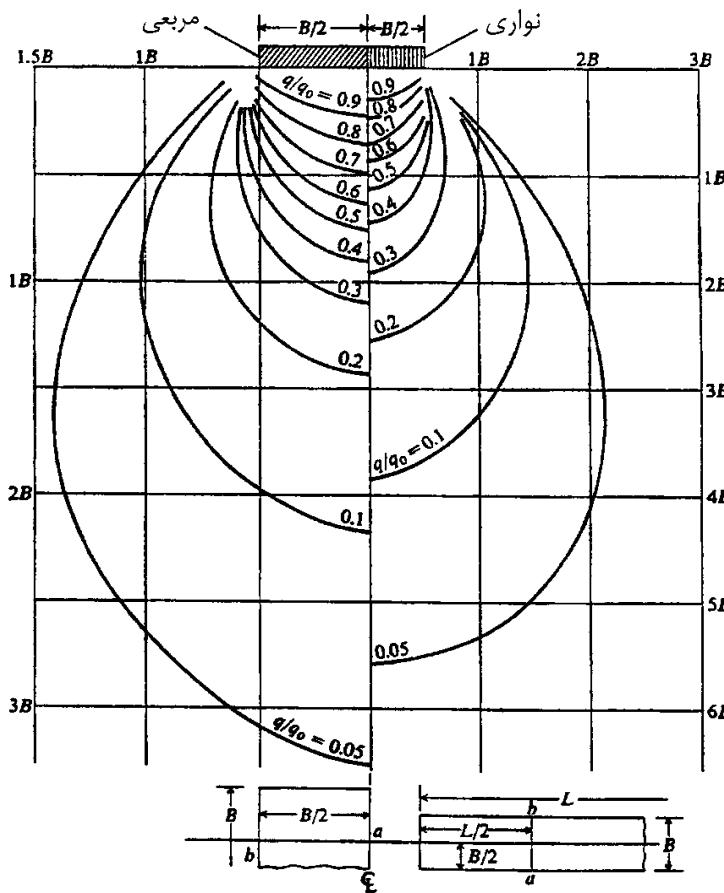
Normalized hyperbolic trending of load-displacement for dominant factors: a) embedment depth, b) breadth, c) surrounding soil type (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

نشست پی‌های سطحی



- بارگذاری
- باربرداری
- آب زیرزمینی
- فرونشست منطقه
- تحکیم لایه‌ها
- تنش‌های القایی
- بار دینامیکی
- شرایط اندکنی با سازه‌های مجاور
- مشخصات و سختی خاک
- مشخصات پی

پارامترهای موثر در نشست آنی و تحکیمی



نقاط هم‌تنش در عمق و در زیر پی‌های
مربعی و نواری بر اساس روابط
بوسینسک

$$S = K \frac{qB}{E_s}$$

q : تنش خالص وارد بر خاک زیر پی

B : بعد پی

K : ضریب شکل و صلبیت پی ($0.1 - 0.4$)

E_s : مدول خاک

S : مقدار نشست



عرض پی (B)

پارامتر سختی و مشخصات تراکم‌پذیری (E)



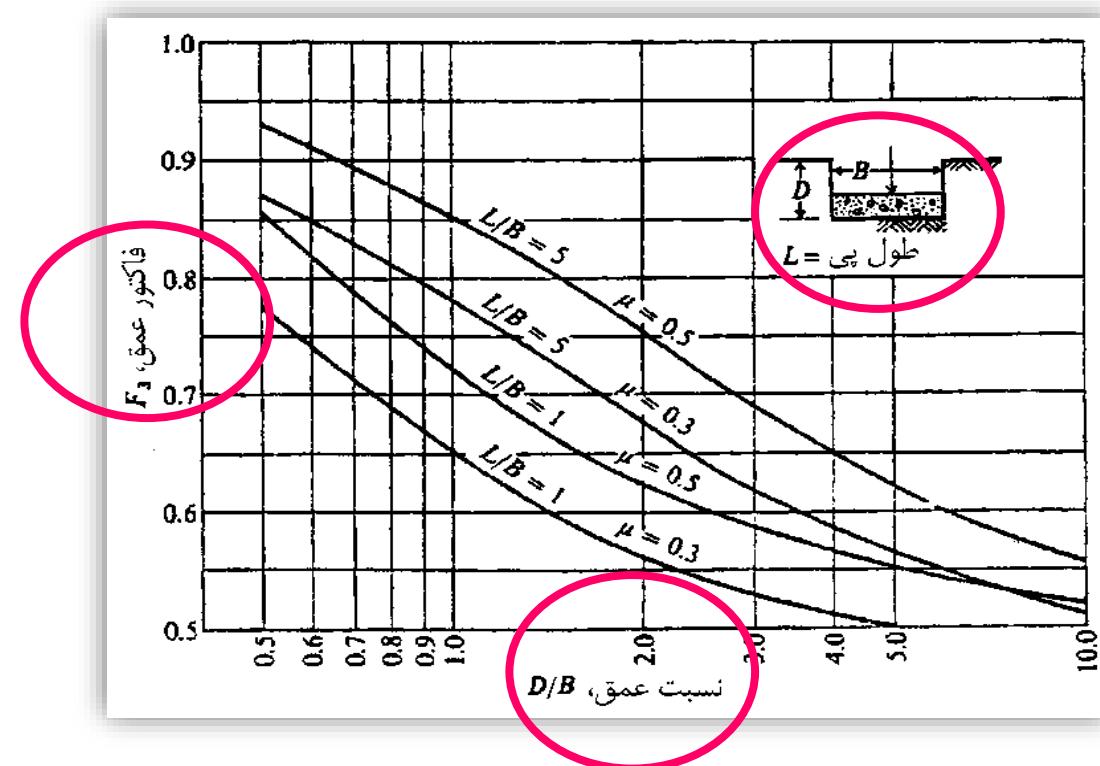
شدت بار (q)

نشست آنی

ملاحظه فاکتورها: عمق استقرار، محدودیت عمق لایه نشست‌پذیر، عمق گستره تنش، میانگین‌گیری منطقی مقدار سختی خاک زیر پی، اصطکاک جداری پی

$$S_i = \frac{qB(1-\nu^2)}{E_s} I_o \cdot I_F$$

$$I_o = I_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} I_2$$



ضریب تصحیح برای عمق استقرار پی

نشست تحکیمی

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_o} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_o}$$

$$Cc \cong 0.009 (LL - 10)$$

$$C_C = 0.4(e_o - 0.25)$$

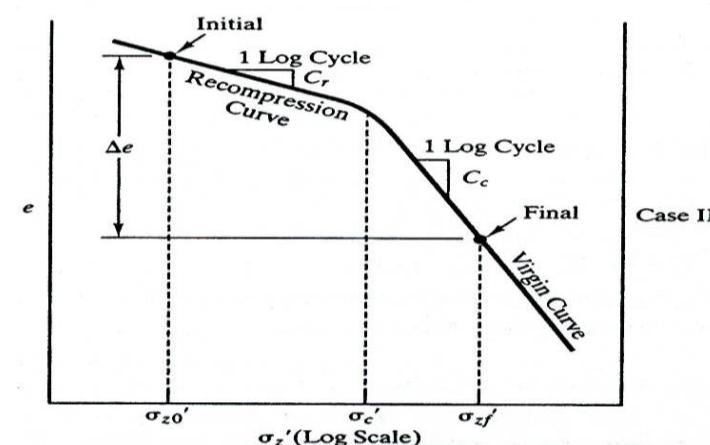
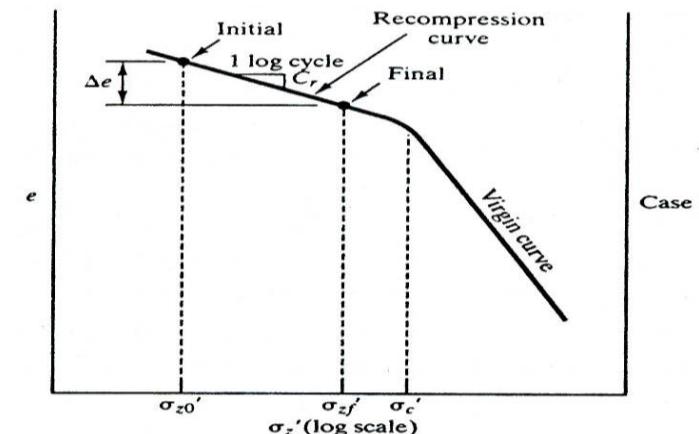
$$C_C = 0.01(\omega - 5)$$

$$C_C = 0.002G_s$$

$$\sigma'_o \langle \sigma'_c \rangle \sigma'_1 \rightarrow S_c = \frac{C_r}{1+e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H}{1+e_o} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_c}$$

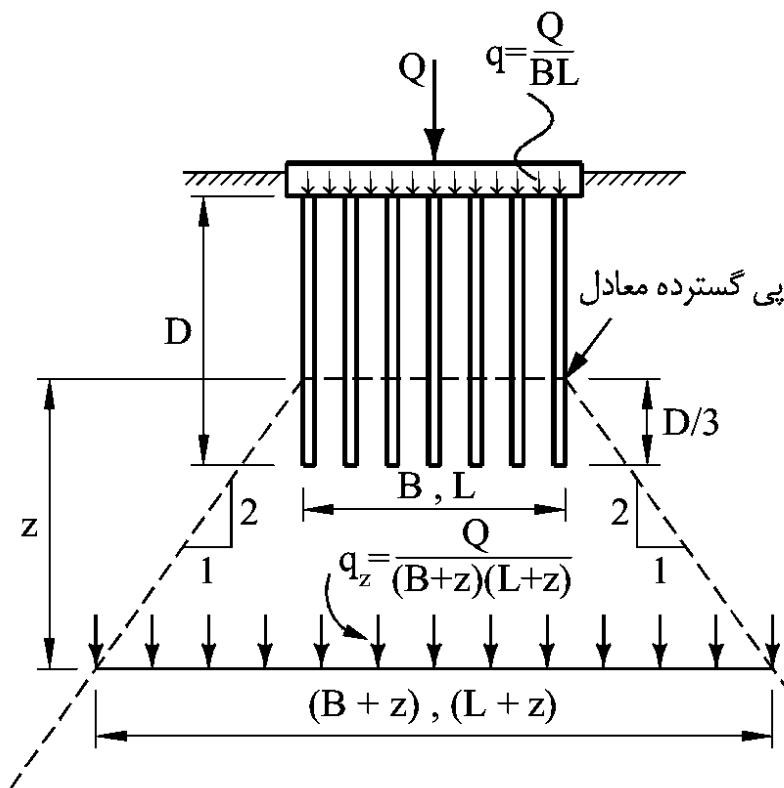
$$C_r \cong \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{5} \right) C_c$$

$$S_c = \Delta H = H \cdot m_v \cdot \Delta \sigma'$$



نمونه‌هایی از منحنی تحکیم با شرایط مختلف
تنش‌های موثر اولیه، پیش‌تحکیمی، اضافه تنش
حاصله از بارگذاری

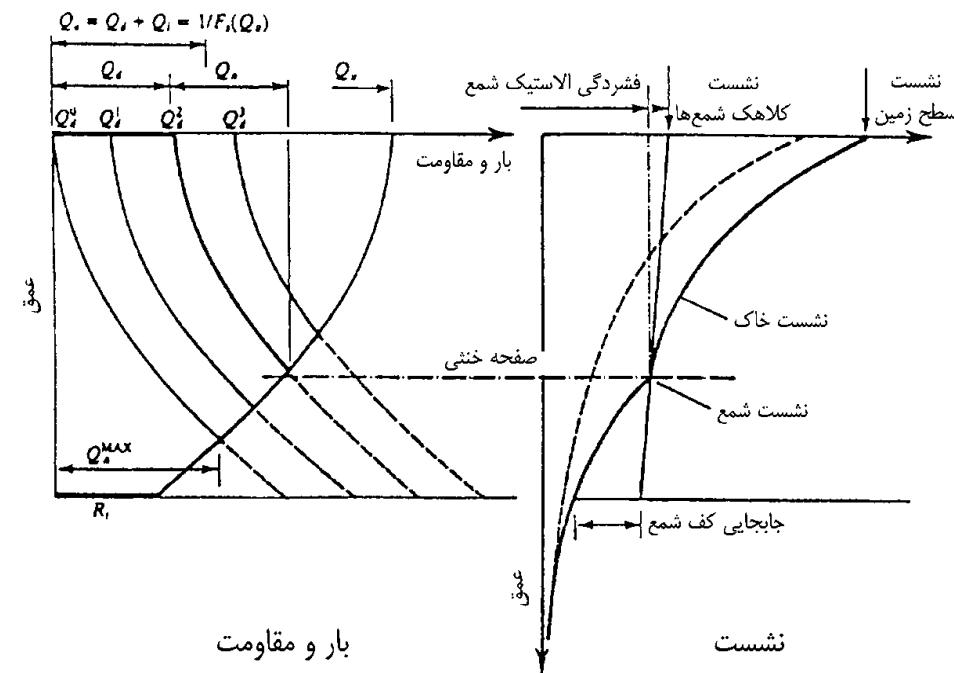
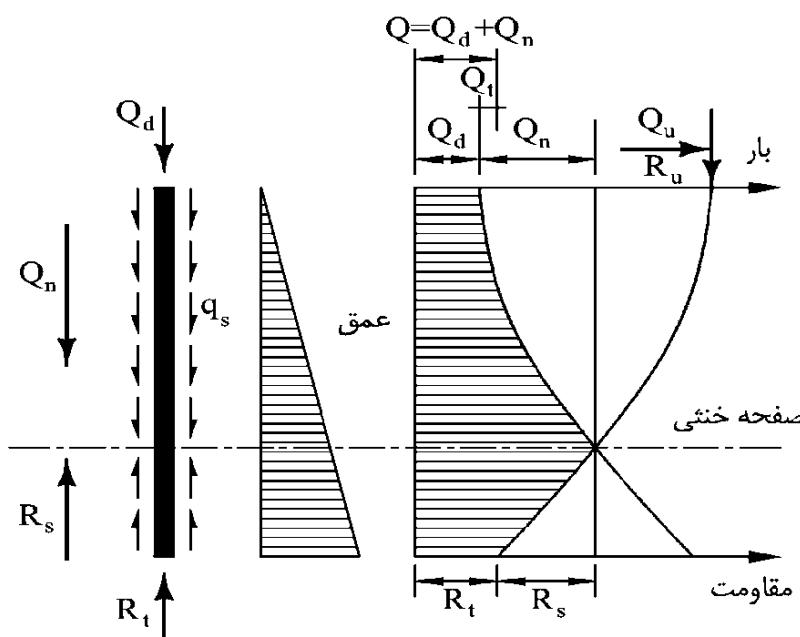
تئوری صفحه خنثی: نشست شمع و گروه شمع



مدل ساده ارائه شده توسط ترزاقی و پک
جهت تعیین نشست گروه شمع

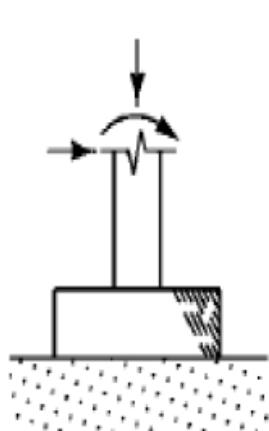
در هر شمع بارهای مرده وارد شده به سر شمع و اصطکاک منفی از یک سو و مقاومت اصطکاکی مثبت و مقاومت نوک از سوی دیگر در تعادل با یکدیگرند. محل تعادل این نیروها در طول شمع صفحه خنثی نامیده شده و عمقی از شمع است که تنش برشی جدار شمع از منفی به مثبت تغییر علامت می‌دهد. در این عمق تغییر مکان نسبی بین شمع و خاک برابر صفر است. این نکته بسیار حائز اهمیت است و در تحلیل نشست گروه شمع از آن استفاده می‌شود.

تئوری صفحه خنثی: نشست شمع و گروه شمع

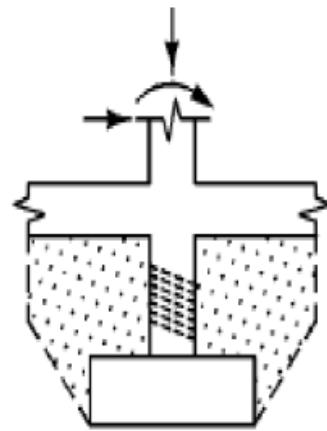


اندرکنش و محاسبات مکرر جهت همگرایی نشست،
ظرفیت برابری و طراحی سازه‌ای در طراحی پی

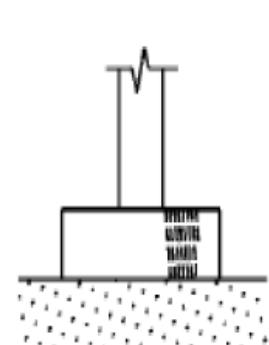
طراحی سازه‌ای



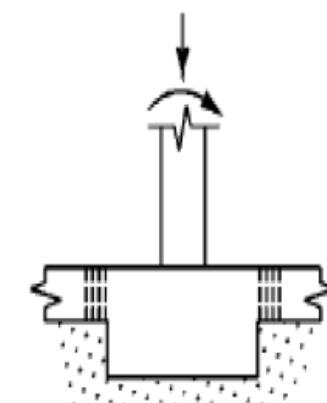
گسیختگی برشی در پای ستون
گسیختگی برشی در پی



تعیین نیروهای داخلی
خرابی‌های خمشی، برشی و لهیدگی



گسیختگی خمشی در تیرهای رابط پی
گسیختگی خمشی در پی

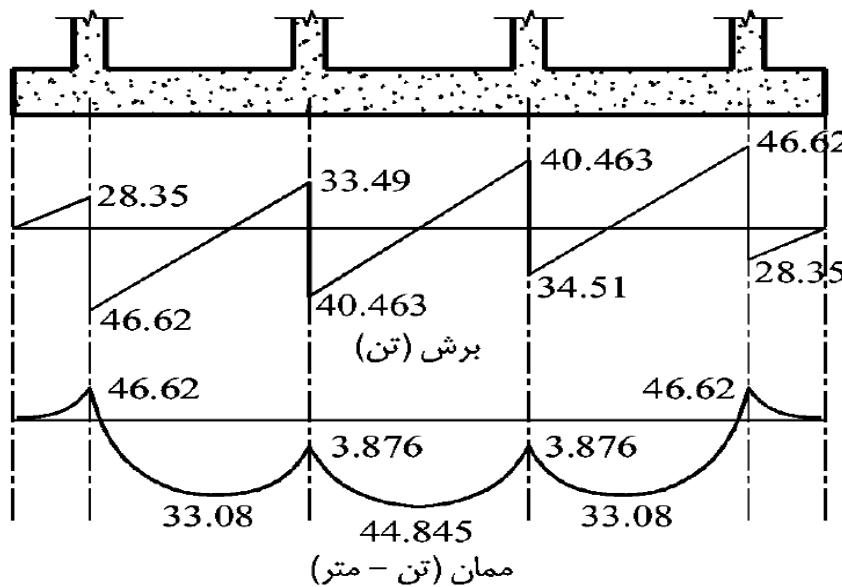


عوامل موثر بر صلابت و انعطاف‌پذیری

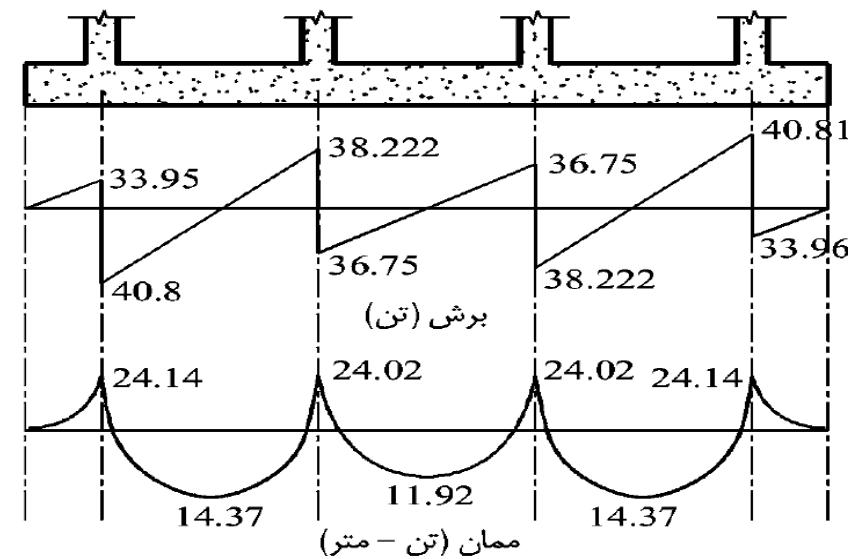
- مدول عکس‌العمل بستر
- اختلاف بار ستون‌ها
- مدول الاستیسیته خاک
- اثر روسازه
- ضخامت پی
- ممان اینرسی پی
- مدول الاستیسیته بتن

آنالیز پی نواری با فرض حالت‌های صلب و انعطاف‌پذیر

صلب



انعطاف‌پذیر



متدهای جدولی در تعیین ضخامت و آرماتور مورد نیاز (اسلامی، ۱۳۹۲)

جداول آماده شده برای طراحی پی‌ها را می‌توان برای طراحی پی‌های منفرد تحت اثر بار محوری به کار برد که برای سه حالت مختلف به شرح زیر تنظیم گردیده است:

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

جدول ۱-۵ برای

جدول ۲-۵ برای

برای هر کدام از حالت‌های فوق سه جدول داریم :

الف: جدول A مربوط به محاسبه d_{min} بر اساس برش دو طرفه

ب: جدول B مربوط به محاسبه d_{min} بر اساس برش یک طرفه

ج: جدول C مربوط به محاسبه میلگردهای خمشی، A_s

در جداول، حداقل عمق مؤثر بقرار 15cm ، اعداد صفر مبین نیاز به میلگرد فشاری $\rho > \rho_{max}$ و مکانهای خالی بیانگر عمق مؤثر خیلی کوچک است. برای نمونه، مثال ۱-۵ را به کمک جداول طراحی مجدداً حل می‌شود.

متدهای جدولی در تعیین ضخامت و آرماتور مورد نیاز (اسلامی، ۱۳۹۲)

جدول A-1-۵: تعیین عمق مؤثر d_{min} بر اساس برش دو طرفه $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ & $f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$ $A_f/A_c = 1$

$q_u(\text{kg/cm}^2)$	$d/b=0.5$	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
1	41.4	52.7	65	78.4	92.9	109	125	143	161	181	202	224	247
1.5	28.4	36	44.3	53.4	63.1	73.6	84.8	96.8	109	123	137	152	167
2	21.8	27.6	34	40.8									
2.5	17.9	22.6	27.7	33.3									
3	15.3	19.3	23.6	28.3									
3.5	13.4	16.9	20.6	24.7									
4	12	15.1	18.4	22									
4.5	11	13.7	16.7	20									
5	10.1	12.6	15.3	18.3									
5.5	9.4	11.7	14.2	16.9									
6	8.8	10.9	13.2	15.8									
6.5	8.3	10.3	12.5	14.8									
7	7.8	9.7	11.8	14									
7.5	7.5	9.2	11.2	13.3									
8	7.1	8.8	10.7	12.6									
8.5	6.9	8.5	10.2	12.1									
9	6.6	8.1	9.8	11.6									
9.5	6.4	7.8	9.4	11.2									
10	6.2	7.6	9.1	10.8									
10.5	6	7.3	8.8	10.4									
11	5.8	7.1	8.5	10.1									
11.5	5.7	6.9	8.3	9.8									
12	5.5	6.7	8.1	9.5									
12.5	5.4	6.6	7.9	9.3									
13	5.3	6.4	7.7	9									
13.5	5.2	6.3	7.5	8.8									
14	5	6.1	7.3	8.6									
14.5	5	6	7.2	8.4									
15	4.9	5.9	7	8.3									

جدول A-1-۵: تعیین عمق مؤثر d_{min} بر اساس برش دو طرفهمقادیر نسبت مساحت پی به سطون A_f/A_c

$q_u(\text{kg/cm}^2)$	$a_b = 20(\text{cm})$	جدول B-1-۵: تعیین عمق مؤثر d_{min} بر اساس برش یک طرفه											
		40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
1	15	15	15	15	15	15.9	18.6	21.3	23.9	26.6	29.2	31.9	34.5
1.5	15	15	15	15	15	18.7	22.4	26.2	29.9	33.6	37.4	41.1	44.8
2	15	15	15	15	18.8	23.5							
2.5	15	15	15	16.6	22.2	27.7							
3	15	15	18.9	25.2	31.5								
3.5	15	15	20.9	27.9	34.9								
4	15	15.2	22.8	30.4	38								
4.5	15	16.3	24.5	32.6	40.8								
5	15	17.3	26	34.7	43.4								
5.5	15	18.3	27.4	36.6	45.7								
6	15	19.2	28.7	38.3	47.9								
6.5	15	20	29.9	39.9	49.9								
7	15	20.7	31	41.4	51.7								
7.5	15	21.4	32.1	42.8	53.5								
8	15	22	33	44.1	55.1								
8.5	15	22.6	33.9	45.2	56.6								
9	15	23.2	34.8	46.4	58								
9.5	15	23.7	35.6	47.4	59.3								
10	15	24.2	36.3	48.4	60.9								
10.5	15	24.7	37	49.3	61.7								
11	15	25.1	37.7	50.2	62.8								
11.5	15	25.5	38.3	51	63.8								
12	15	25.9	38.9	51.8	64.8								
12.5	15	26.3	39.4	52.6	65.7								
13	15	26.6	39.9	53.3	66.6								
13.5	15	27	40.4	53.9	67.4								
14	15	27.3	40.9	54.6	68.2								
14.5	15	27.6	41.4	55.2	69								
15	15	27.9	41.8	55.7	69.7								

جدول C-1-۵: تعیین مقادیر As بر حسب ساخته متر مریع مورد نیاز برای عرض یک متر $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ & $f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$

$q_u * a_b^2 (\text{ton})$	$d=15\text{cm}$	20	25	30	35	40	45	50	55cm	60	65	70	75	80	85
5	6.4	4.7	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6	7.7	5.7	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	9.1	6.7	5.3	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8	10.5	7.7	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	11.9	8.6	6.8	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	13.3	9.7	7.6	6.3	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12	16.3	11.7	9.2	7.6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
14	19.4	13.8	10.8	8.9	7.5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	22.6	15.9	12.4	10.2	8.6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	26	18	14	11.5	9.8	8.5	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20	29.6	20.2	15.6	12.8	10.9	9.4	9	10	11	12	13	14	15	16	17
30	0	32.1	24.2	19.6	16.5	14.3	12.6	11.3	11	12	13	14	15	16	17
40		45.9	33.4	26.7	22.4	19.3	17	15.2	13.8	12.7	13	14	15	16	17
50		0	43.4	34.1	28.4	24.4	21.4	19.1	17.3	15.8	14.5	14	15	16	17
60		0	54.4	42	34.6	29.6	25.9	23.1	20.9	19	17.5	16.2	15.1	16	17
70			0	50.3	41.1	35	30.5	27.2	24.5	22.3	20.5	18.9	17.6	16.5	17
80				0	59.2	47.8	40.5	35.2	31.3	28.1	25.6	23.5	21.7	20.2	18.9
90					0	68.8	54.8	46.5	40	35.4	31.9	29	26.6	24.5	22.8
100						0	0	62.2	52	44.9	39.7	35.6	32.3	29.6	27.4
120								0	78.2	64.2	55	48.4	43.3	39.2	35.8
140									0	0	77.4	65.7	57.4	51.1	46.2
160										0	91.8	76.9	66.7	59.2	53.4
180											0	88.8	76.5	67.6	60.7
200												0	102	86.7	76.2
220													0	97.4	85.2

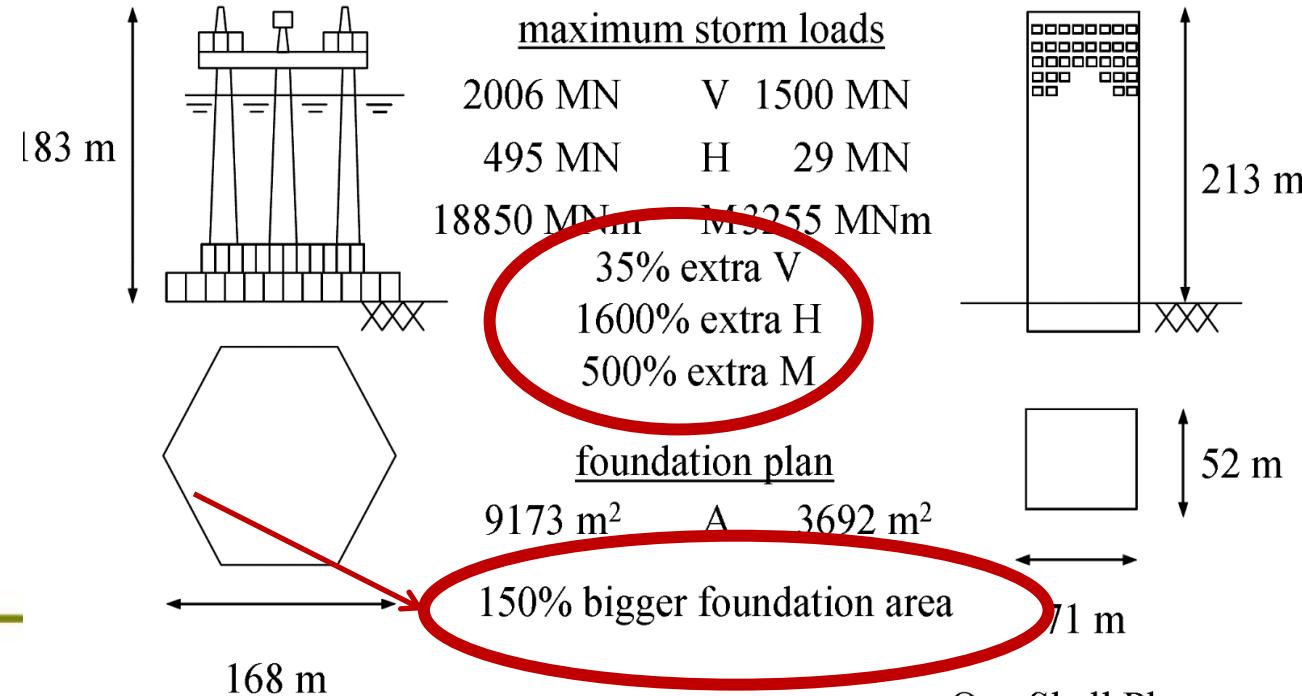
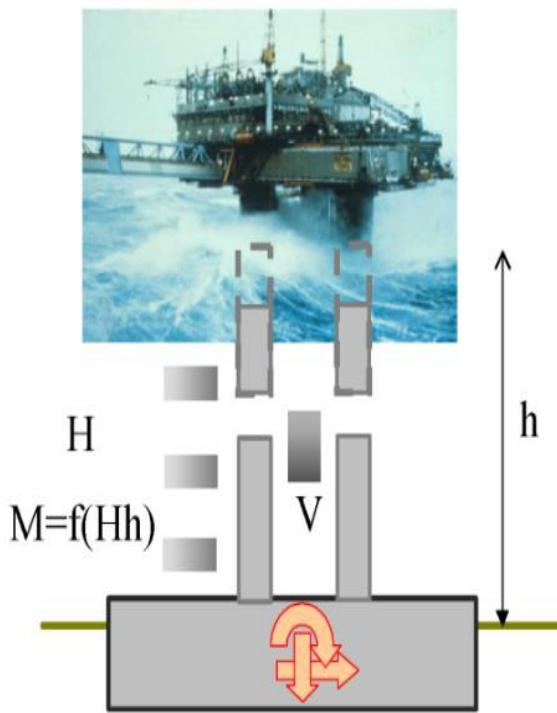
معضلات ناپایداری

ضعف پی‌های سطحی در مقابل بارهای جانبی، لنگر و برکنش

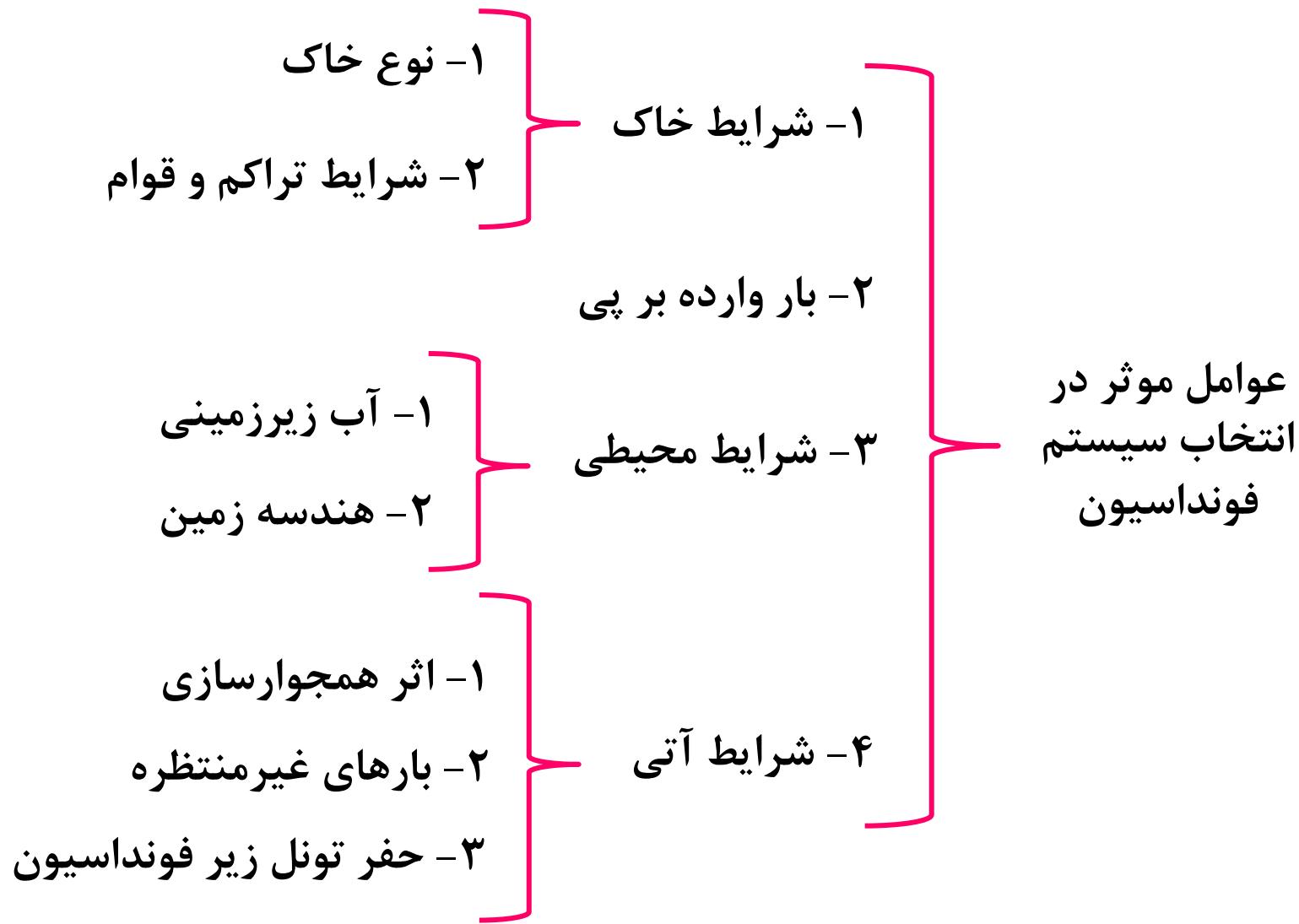
وزن سازه و فونداسیون (V) + نیروهای باد و امواج و جریان‌ها (M, H)

=

بار VMH فونداسیون



عوامل موثر در انتخاب سیستم فونداسیون



مثال کاربردی شماره ۱

برای یک ساختمان هفت‌طبقه در زمینی به شکل مستطیل به ابعاد پلان 15×25 اگر از پی منفرد استفاده شود و دانسیته متوسط خاک محل برابر ۱۸ تن بر مترمکعب و تراز آب زیرزمینی پایین‌تر از ۲۵ متر باشد. با فرض فشار معادل هر طبقه مت Shank از بارهای مرده یا زنده و دیوارها به قرار ۱ تن بر مترمربع، عمق و گستره مطالعات ژئوتکنیک چه محدوده‌ای را در بر می‌گیرد؟

(وزن پی با خاک گودبرداری شده معادل فرض شده و در محاسبات اضافه تنش منظور نشده است).

مثال کاربردی شماره ۱

$$q_{avg} = 7 \times 1 = 7 \text{ ton/m}^2$$

گام اول: محاسبه q_{avg}

گام دوم: محاسبه H عمق مناسب شناسایی با استفاده از شکل ۲-۳-۲-۳-ب یا جدول ۲-۳-۲-۳-ب

$$q_{avg} = 7 \text{ ton/m}^2$$

$$\frac{L}{B} = \frac{25}{15} = 1.7 \quad , \quad \frac{q_{avg}}{B} = \frac{7}{15} = 0.47 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \Rightarrow \frac{H}{B} = 1.3$$

$$H = 1.3 \times 15 = 19.5 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

گام سوم: تعیین گستره حفاری در پلان با فرض توزیع ۲ به ۱ تنش در عمق

$$\frac{B'}{B} = 1 + \frac{H}{B} \quad , \quad \frac{B'}{B} = 1 + \frac{20}{15} = 2.33 \quad , \quad B' = 35 \text{ m}$$

$$\frac{L'}{L} = 1 + \frac{H}{L} = 1 + \frac{20}{25} = 1.8 \quad , \quad L' = 1.8 \times 25 = 45 \text{ m}$$

ساورز و ساورز (Sowers & Sowers 1972) رابطه کلی زیر را در تعیین عمق مناسب شناسایی ها پیشنهاد نمودند (شکل کلی روابط مندرج در جدول ۲-۲):

$$d = AS^{0.7} + D_f \quad (2-8)$$

که در رابطه فوق S تعداد طبقات و A ضریبی است که بر حسب نوع خاک مقدار آن بین ۳ تا ۶ پیشنهاد شده است و D_f عمق پیش‌بینی شده استقرار پی می‌باشد. برای مثال فوق، با فرض مقادیر متوسط A و فرض ۱ متر برای عمق استقرار پی عمق مناسب اکتشافی به قرار $18/5$ متر به دست می‌آید که همخوانی مناسبی با پاسخ به دست آمده در فوق دارد.

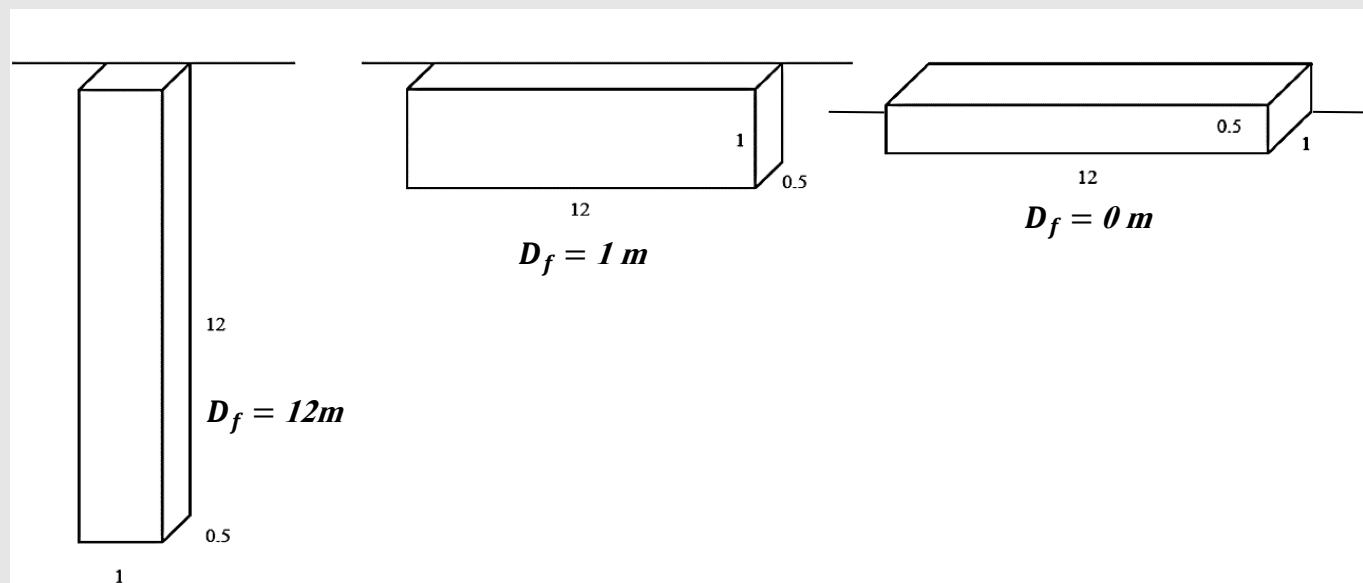
راه حل

مثال کاربردی شماره ۲

ظرفیت باربری یک المان پی به ابعاد $0.5 \times 2 \times 12 \text{ m}$ در سه حالت اجرایی مختلف مطابق شکل را تعیین نمایید.

$$\gamma = 18 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}, \quad S_u = z + 4 \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \right), \quad \alpha = 1,$$

$N_c = 5, 9 \text{ and } 12$ (from shallow to deep condition)



مثال کاربردی شماره ۲

a) Shallow foundation

$$q_{ult} = S_u N_c + \bar{q}$$

$$z = 0.5\text{m} \rightarrow S_u = 0.5 + 4$$

$$= 4.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_{ult} = 4.5 \times 5 + 0$$

$$= 22.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{ult} = 22.5 \times 12 \times 1 \\ = 270 \text{ ton}$$

پایداری و نشست؟

b) Semi-deep foundation

$$q_{ult} = S_u N_c$$

$$z = 1\text{m}$$

$$q_{ult} = 5 \times 9 = 45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{base} = 45 \times 12 \times 0.5 \\ = 270 \text{ ton}$$

$$q_s = \alpha \cdot s_u$$

$$z = 0.5 \text{ m}$$

$$q_s = \alpha \cdot s_u = 1$$

$$Q_{shaft} \\ = 4.5 \times 2 \times (12 + 0.5) \times 1 \\ = 112.5 \text{ ton}$$

$$Q_{total} = Q_{base} + Q_{shaft} \\ = 270 + 112.5 = 382.5 \text{ ton}$$

c) Deep foundation

$$q_{ult} = S_u N_c$$

$$z = 12\text{m} \rightarrow S_u = 12 + 4 = 16 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$N_c = 12$$

$$q_{ult} = 16 \times 12 = 192 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{base} = 192 \times 1 \times 0.5 = 96 \text{ ton}$$

$$q_s = \alpha \cdot s_u$$

$$z = 6 \text{ m} \rightarrow S_u = 6 + 4 = 10 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_s = \alpha \cdot s_u = 1 \times 10 = 10 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{shaft} = 10 \times 2 \times (1 + 0.5) \times 12 \\ = 360 \text{ ton}$$

$$Q_{total} = Q_{base} + Q_{shaft} \\ = 96 + 360 = 456 \text{ ton}$$

راه حل

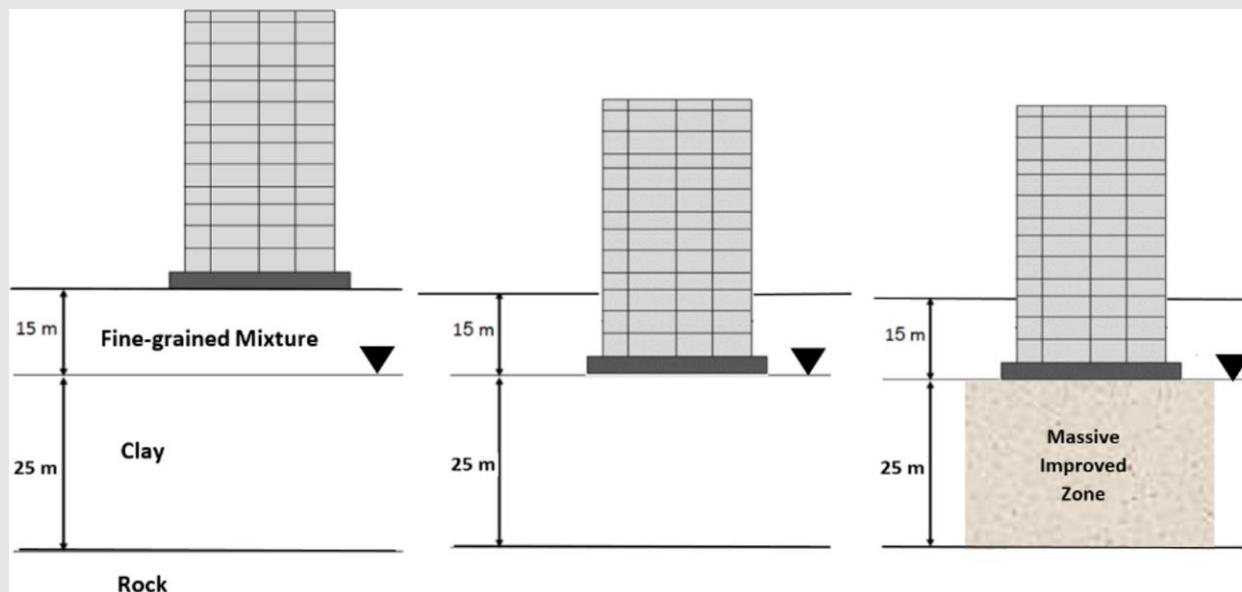
مثال کاربردی شماره ۳

ظرفیت باربری و نشست یک ساختمان ۴۰-طبقه در سه حالت زیر را محاسبه نمایید:

الف) رادیه مربعی به بعد ۲۵ متر و مستقر روی زمین

ب) رادیه مربعی به بعد ۲۵ متر و به صورت پی شناور با عمق مدفون ۱۵ متر

ج) رادیه مربعی به بعد ۲۵ متر، عمق مدفون ۱۵ متر و در ترکیب با بهسازی انبوهی



Soil Layer	γ (ton/m ³)	e_0	C_c	K	$S_{u,\text{avg}}$ (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
Fine-grained Mixture	2	-	-	0.4	0.5	200
Clay (Pre Improvement)	1.2	2	0.7	-	0.25	-
Clay (Post Improvement)	1.5	2	0.22		0.4	

مثال کاربردی شماره ۳

a) $q_{ult} = N_c S_u + \sigma'_0$, The average of S_u between the ground surface to Z=40 m should be used.

$$S_{u_{avg}} = \frac{15 \times 0.5 + 10 \times 0.25}{25} = 0.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_{ult} = 5.14 \times 4 + 0 = 20.6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 40 \times 1 = 40 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Fine-grained mixture:

$$S_{\text{Fine-grained mixture}} = \frac{K \times q \times B}{E} = \frac{0.4 \times 40 \times 25}{200 \times 10} = 0.2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

Clay:

$$\sigma'_0 = 15 \times 2 + 12.5 \times (1.2 - 1) = 32.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta q = \frac{q \times B^2}{(B + Z)^2} = \frac{40 \times 25^2}{(25 + 27.5)^2} = 9.1 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta q = 32.5 + 9.1 = 41.6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$S_{\text{Clay}} = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} = \frac{0.7 \times 25}{1 + 2} \log \frac{41.6}{32.5} = 0.625 \text{ m} = 625 \text{ mm}$$

$$S_{\text{total}} = 200 + 625 = 825 \text{ mm}$$

راه حل

مثال کاربردی شماره ۳

راه حل

b) $q_{ult} = N_c S_u + \sigma'_0$, The S_u of the clay layer should be used.

$$q_{ult} = 5.14 \times 2.5 + 15 \times 2 = 42.9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_{net} = 40 \times 1 - 15 \times 2 = 10 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Clay:

$$\sigma'_0 = 15 \times 2 + 12.5 \times (1.2 - 1) = 32.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta q = \frac{q \times B^2}{(B + Z)^2} = \frac{10 \times 25^2}{(25 + 12.5)^2} = 4.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta q = 32.5 + 4.4 = 36.9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$S_{\text{Clay}} = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} = \frac{0.7 \times 25}{1 + 2} \log \frac{36.9}{32.5} = 0.322 \text{ m} = 322 \text{ mm}$$

$$S_{\text{total}} = 322 \text{ mm}$$

مثال کاربردی شماره ۳

راه حل

c) $q_{ult} = N_c S_u + \sigma'_0$, The S_u of clay layer after improvement should be used.

$$q_{ult} = 5.14 \times 4 + 15 \times 2 = 50.6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_{net} = 40 \times 1 - 15 \times 2 = 10 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Clay:

$$\sigma'_0 = 15 \times 2 + 12.5 \times (1.5 - 1) = 36.3 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta q = \frac{q \times B^2}{(B + Z)^2} = \frac{10 \times 25^2}{(25 + 12.5)^2} = 4.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta q = 36.3 + 4.4 = 40.7 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

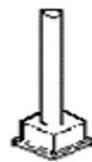
$$S_{\text{Clay}} = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} = \frac{0.22 \times 25}{1 + 2} \log \frac{40.7}{36.3} = 0.091 \text{ m} = 91 \text{ mm}$$

$$S_{\text{total}} = 91 \text{ mm}$$

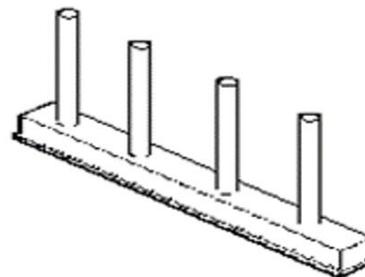
مثال کاربردی شماره ۴

صلبیت و انعطاف‌پذیری پی‌های زیر را ارزیابی نمایید.

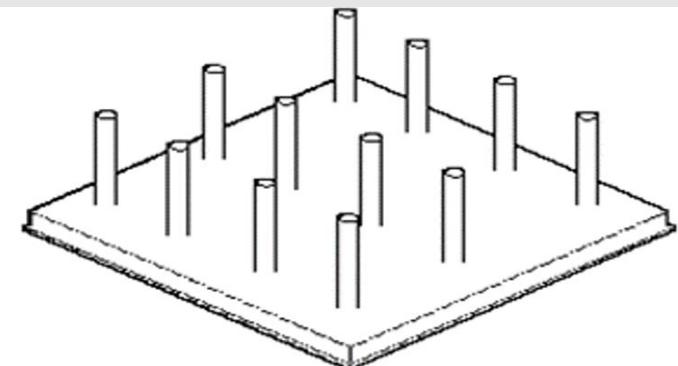
$$K_s = 30 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}, \quad E_s = 60 \text{ MPa}, \quad f'_c = 25 \text{ MPa}, \quad E_c = 23 \text{ GPa}$$



$B \times L = 2 \times 2 \text{ m}$, $t = 0.8 \text{ m}$



$B \times L = 2 \times 15 \text{ m}$, $t = 0.8 \text{ m}$



$B \times L = 15 \times 15 \text{ m}$, $t = 1 \text{ m}$

مثال کاربردی شماره ۴

راه حل

λL method

Single: $\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s B}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{30 \times 2}{4 \times 23 \times 10^3 \times \frac{1}{12} \times 2 \times 0.8^3}} = 0.3 \rightarrow \lambda L = 0.6 < \frac{\pi}{4} \rightarrow Rigid$

Strip: $\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s B}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{30 \times 2}{4 \times 23 \times 10^3 \times \frac{1}{12} \times 2 \times 0.8^3}} = 0.3 \rightarrow \lambda L = 4.5 > \pi \rightarrow Flexible$

Mat: $\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s B}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{30 \times 15}{4 \times 23 \times 10^3 \times \frac{1}{12} \times 15 \times 1^3}} = 0.25 \rightarrow \lambda L = 3.75 > \pi \rightarrow Flexible$

\bar{k} method

Single: $\bar{K} = \frac{1}{12} \left(\frac{E_c}{E_s} \right) \left(\frac{t}{L} \right)^3 = \frac{1}{12} \left(\frac{23 \times 10^3}{60} \right) \left(\frac{0.8}{2} \right)^3 = 2.04 > 0.5 \rightarrow Rigid$

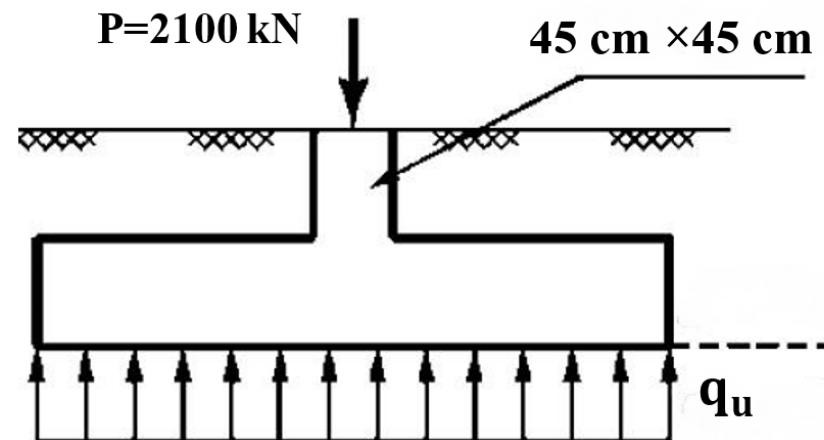
Strip: $\bar{K} = \frac{1}{12} \left(\frac{E_c}{E_s} \right) \left(\frac{t}{L} \right)^3 = \frac{1}{12} \left(\frac{23 \times 10^3}{60} \right) \left(\frac{0.8}{15} \right)^3 = 0.005 < 0.5 \rightarrow Flexible$

Strip: $\bar{K} = \frac{1}{12} \left(\frac{E_c}{E_s} \right) \left(\frac{t}{L} \right)^3 = \frac{1}{12} \left(\frac{23 \times 10^3}{60} \right) \left(\frac{1}{15} \right)^3 = 0.0095 < 0.5 \rightarrow Flexible$

مثال کاربردی شماره ۵

برای یک پی تک با توجه به داده‌های موجود، بر اساس متد جدولی ضخامت و فولاد مورد نیاز را تعیین نمایید.

Live load = 900 kN	Dead load = 1200 kN
Column dimensions: 45 × 45 cm	$f'_c = 21 \text{ MPa}$
Foundation dimensions: 280 × 280 cm	$f_y = 300 \text{ MPa}$



Determining the effective depth based on two-way shear:

$$\frac{A_F}{A_C} = \frac{280 \times 280}{45 \times 45} = 38.7, q_u = \frac{1.7 \times D + 1.4 \times D}{A_f} = \frac{1.7 \times 1200 + 1.4 \times 900}{2.8^2} = 0.41 \text{ MPa}$$

Based on Table A and using $\frac{A_F}{A_C} = 39.3, q_u = 0.4 \text{ MPa}$

$$\frac{d}{b} = 1.2 \rightarrow d = 1.2 \times 45 = 54 \text{ cm}$$

Determining the effective depth based on one-way shear:

$$a_b = \frac{(280 - 45)}{2} = \frac{235}{2} = 117.5 \text{ cm}$$

Based on Table B and using $q_u = 0.4 \text{ MPa}$

Δa_b	Δd
120-100	45.6-38
117.5-100	X=?

$$d = 38 + X = 38 + 6.5 = 44.65 \text{ cm}$$

Determining the required reinforcement:

$$q_u \times a_b^2 = 4.09 \times 117.5^2 = 56467.6 \text{ kg} = 565 \text{ kN}$$

Based on Table C and using $q_u \times a_b^2 = 565 \text{ kN}, d = 55 \text{ cm}$

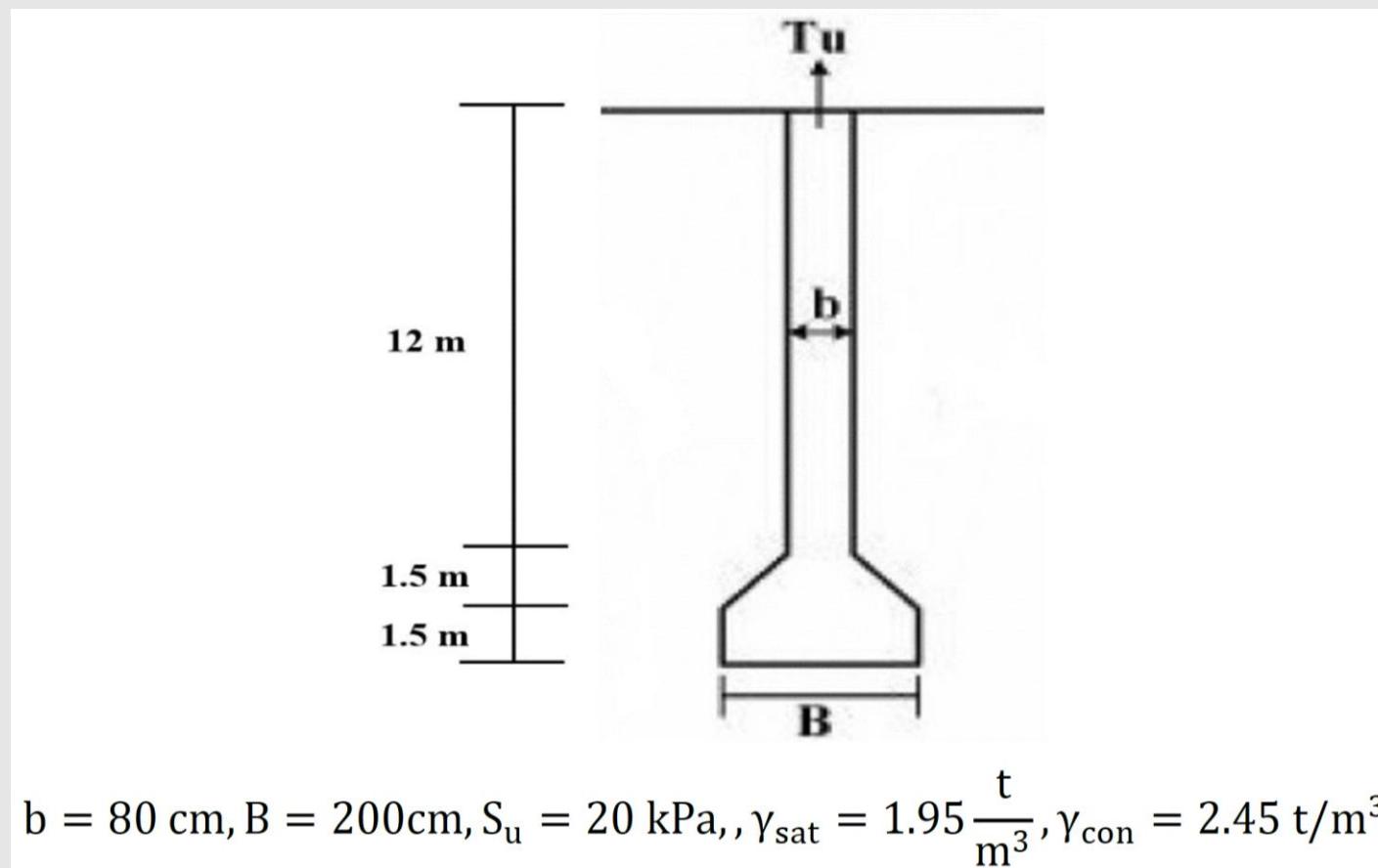
$q_u \times a_b^2$	A_s
60-50	20.9-17.3
56.5-50	X=?

$$A_s = 17.3 + X = 17.3 + 2.34 = 19.64 \text{ cm}^2$$

مثال کاربردی شماره ۵**راه حل**

مثال کاربردی شماره ۶

ظرفیت پی عمیق در جا ریز پافیلی با مشخصات زیر در برابر بارهای کششی را تعیین نمایید.



مثال کاربردی شماره ۶

Foundation's weight (W_f):

$$V_f = \left[\frac{\pi}{4} \times 0.8^2 \times 12 \right] + \left[\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{0.8 + 2}{2} \right)^2 \times 1.5 \right] + \left[\frac{\pi}{4} \times 2^2 \times 1.5 \right] = 13.053 \text{ m}^3$$

$$W_f = V_f \times \gamma' = 13.053 \times (2.45 - 1) = 18.927 \text{ ton}$$

Soil's weight (W_s):

$$V_s = \left[\frac{\pi}{4} \times (2^2 - 0.8^2) \times 12 \right] + \left[\frac{\pi}{4} \times \left(2^2 - \left(\frac{0.8 + 2}{2} \right)^2 \right) \times 1.5 \right] = 34.071 \text{ m}^3$$

$$W_s = V_s \times \gamma' = 34.071 \times (1.95 - 1) = 32.367 \text{ ton}$$

Shear resistance (τA_s):

$$S_u = 20 \text{ kPa} \leq 25 \text{ kPa} \rightarrow \alpha = 1$$

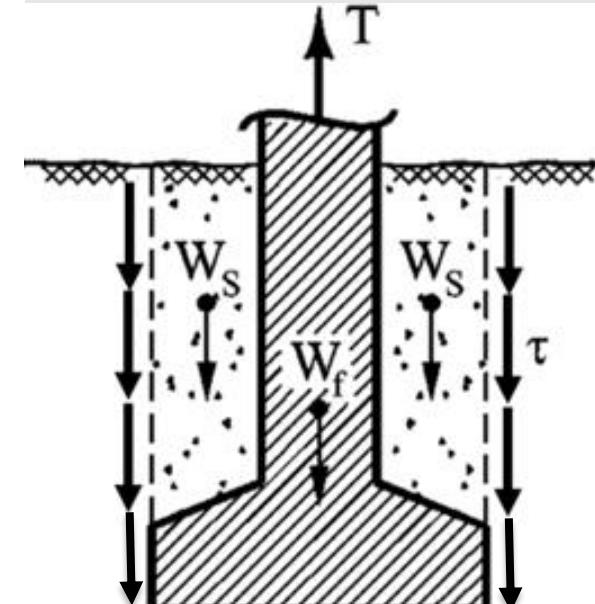
$$\tau = \alpha \times S_u = 1 \times 2 = 2 \text{ t/m}^2$$

$$A_s = \pi \times 2 \times 15 = 94.248 \text{ m}^2$$

$$\tau \times A_s = 2 \times 94.248 = 188.496 \text{ ton}$$

$$T_u = W_f + W_s + \tau A_s = 13.053 + 34.071 + 188.496 = 235.62 \text{ ton}$$

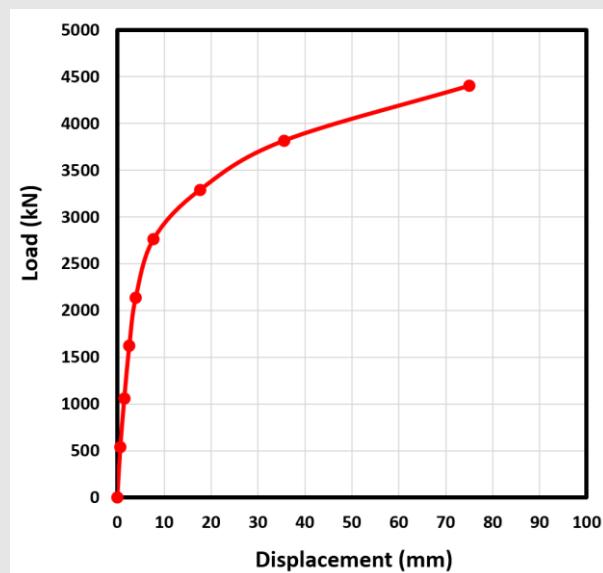
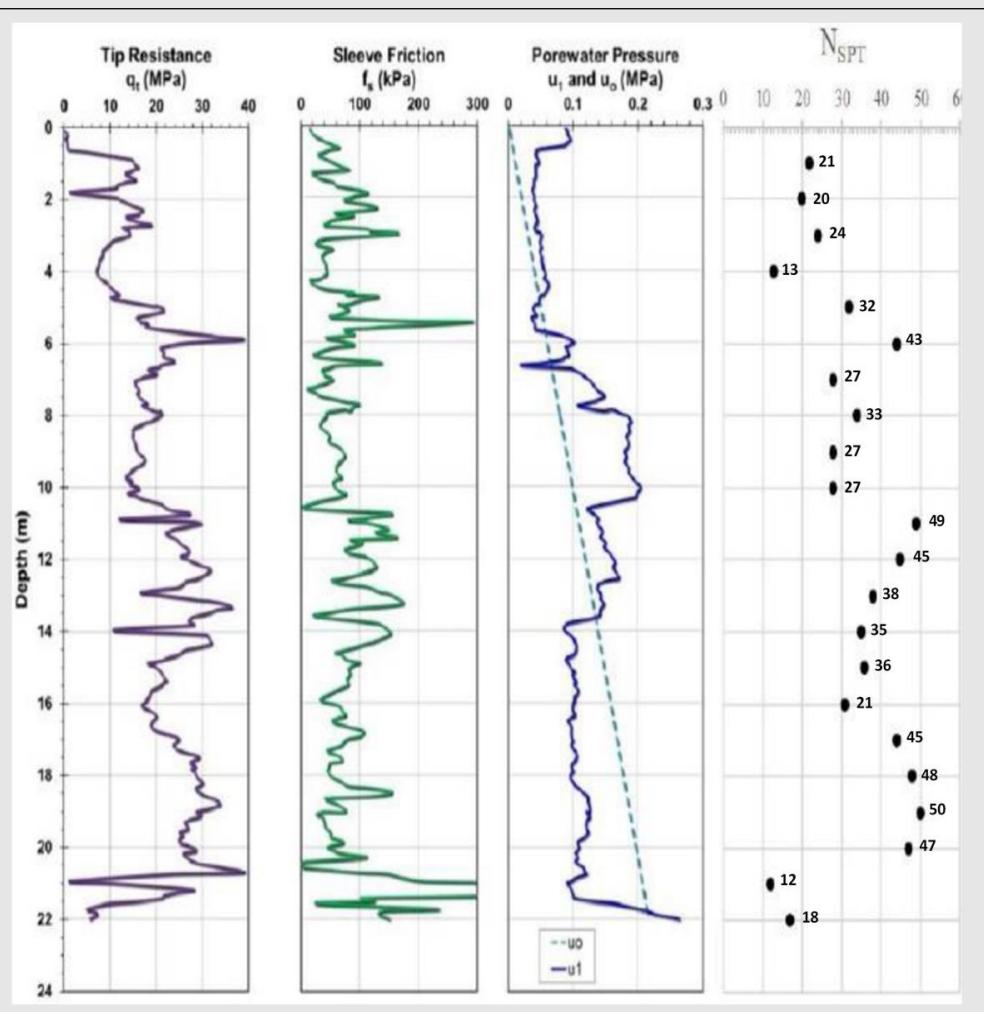
راه حل



$$T < W_f + W_{soil} + \tau \cdot A_s$$

مثال کاربردی شماره ۷

نتایج حاصل از تست‌های درجای SPT و CPT و تست بارگذاری استاتیکی در یک سایت اجرای شمع به صورت زیر گزارش شده‌است. شمع مورد استفاده از نوع لوله‌ای ته‌بسته فولادی به قطر ۴۱۰ میلی‌متر و طول مدفون ۱۴/۵ متر می‌باشد. با توجه به نمونه‌های اخذشده و نتایج سایر تست‌ها، نهشته به صورت کلی از نوع ماسه سیلت‌دار (Silty Sand) گزارش شده‌است.



مثال کاربردی شماره ۷

راه حل

Meyerhof (1983)

Shaft Resistance:

$$N_{ave-shaft} = \frac{21 + 20 + 24 + 13 + 32 + 43 + 27 + 33 + 27 + 27 + 49 + 45 + 38 + 35}{14} = 31$$

$$r_s = 2N_{ave} = 2 \times 31 = 62 \text{ kPa}$$

$$A_s = \pi D L = \pi(0.41)(14.5) = 18.677 \text{ m}^2$$

$$R_s = r_s A_s = 62 \times 18.677 = 1157.974 \text{ kN} = 115.8 \text{ ton}$$

Tip Resistance:

$$\text{Effect Zone} = [D - 8B, D + 3B] = [11.22 \text{ m}, 15.7 \text{ m}]$$

$$N_{ave-base} = \frac{45 + 38 + 35 + 36}{4} = 38.5$$

$$C_1 = C_2 = 1$$

$$r_t = 400 C_1 C_2 N_{ave-base} = 400 \times 38.5 = 15400 \text{ kPa}$$

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.41^2}{4} = 0.132 \text{ m}^2$$

$$R_t = r_t A_t = 15400 \times 0.132 = 2032.8 \text{ kN} = 203.3 \text{ ton}$$

Total Bearing Capacity:

$$R_u = R_s + R_t = 203.3 + 115.8 = 319.1 \text{ ton}$$

مثال کاربردی شماره ۷

راه حل

Eslami & Fellenius (1997)

Shaft Resistance:

$$q_{E\text{-geomean}} = 16.25 \text{ MPa}$$

$$\text{Silty Sand: } C_s = 0.01$$

$$r_s = C_s q_{E\text{-geomean}} = 0.01 \times 16.25 = 162.5 \text{ kPa}$$

$$A_s = \pi D L = \pi(0.41)(14.5) = 18.677 \text{ m}^2$$

$$R_s = r_s A_s = 162.5 \times 18.677 = 3035.013 \text{ kN} = 303.5 \text{ ton}$$

Toe Resistance:

$$\text{Effect Zone} = [D - 4B, D + 4B] = [12.86 \text{ m}, 16.14 \text{ m}]$$

$$q_{E\text{-geomean}} = \sqrt[3]{27.88 + 24.9 + 19.9} = 24 \text{ MPa}$$

$$r_t = q_{E\text{-geomean}} = 24000 \text{ kPa}$$

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.41^2}{4} = 0.132 \text{ m}^2$$

$$R_t = r_t A_t = 24000 \times 0.132 = 3168 \text{ kN} = 316.8 \text{ ton}$$

Total Bearing Capacity:

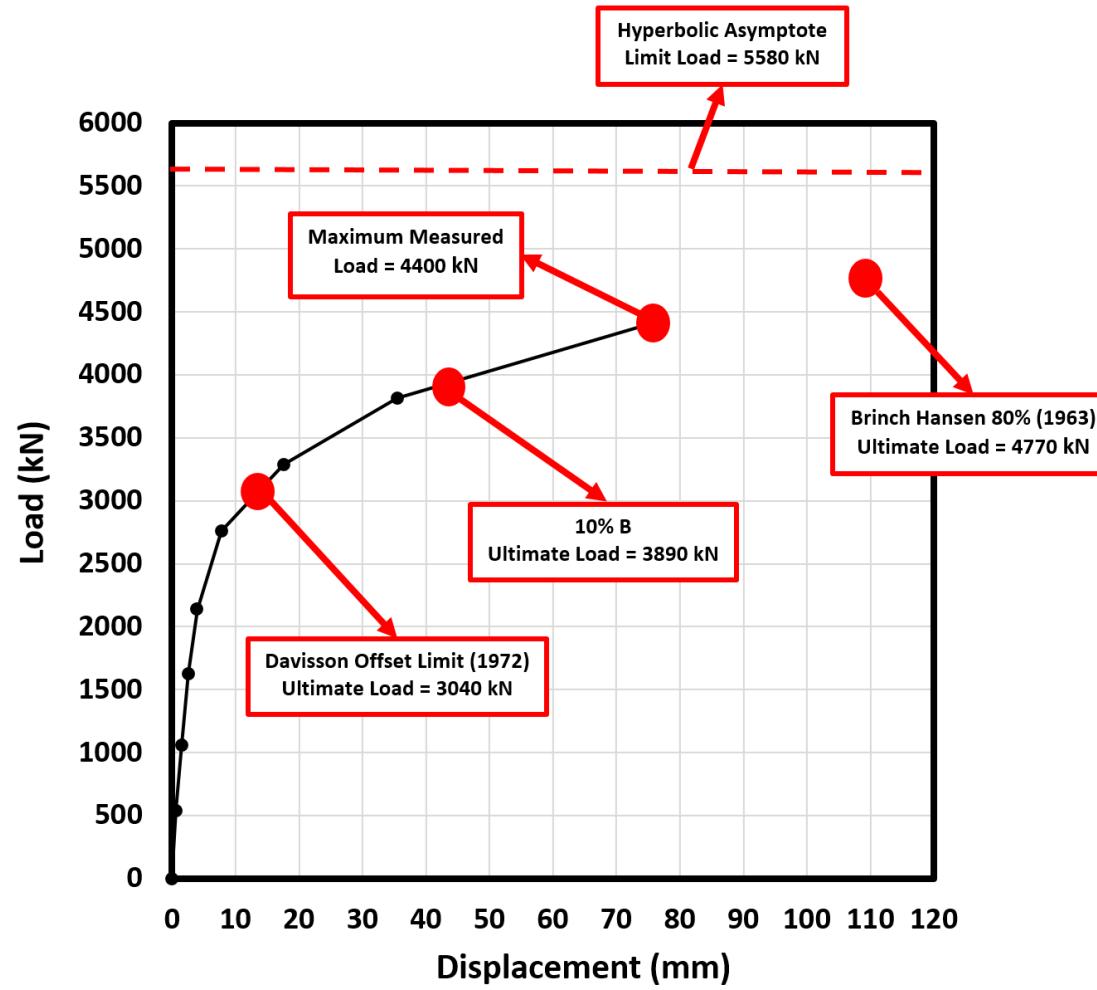
$$R_u = R_t + R_s = 316.8 + 303.5 = 620.3 \text{ ton}$$

Z (m)	q _t (MPa)	u ₂ (MPa)	q _E (MPa)
0 - 1	5	0.07	4.93
1 - 2	12	0.04	11.96
2 - 3	15	0.04	14.96
3 - 4	8	0.05	7.95
4 - 5	9	0.05	8.95
5 - 6	24	0.05	23.95
6 - 7	21	0.09	20.91
7 - 8	17	0.125	16.875
8 - 9	16	0.18	15.82
9 - 10	16	0.18	15.82
10 - 11	20	0.16	19.84
11 - 12	25	0.15	24.85
12 - 13	26	0.15	25.85
13 - 14	29	0.125	28.875
14 - 14.5	30	0.1	29.9

Z (m)	q _t (MPa)	u ₂ (MPa)	q _E (MPa)
13 - 14	28	0.12	27.88
14 - 15	25	0.1	24.9
15 - 16	20	0.1	19.9

مثال کاربردی شماره ۷

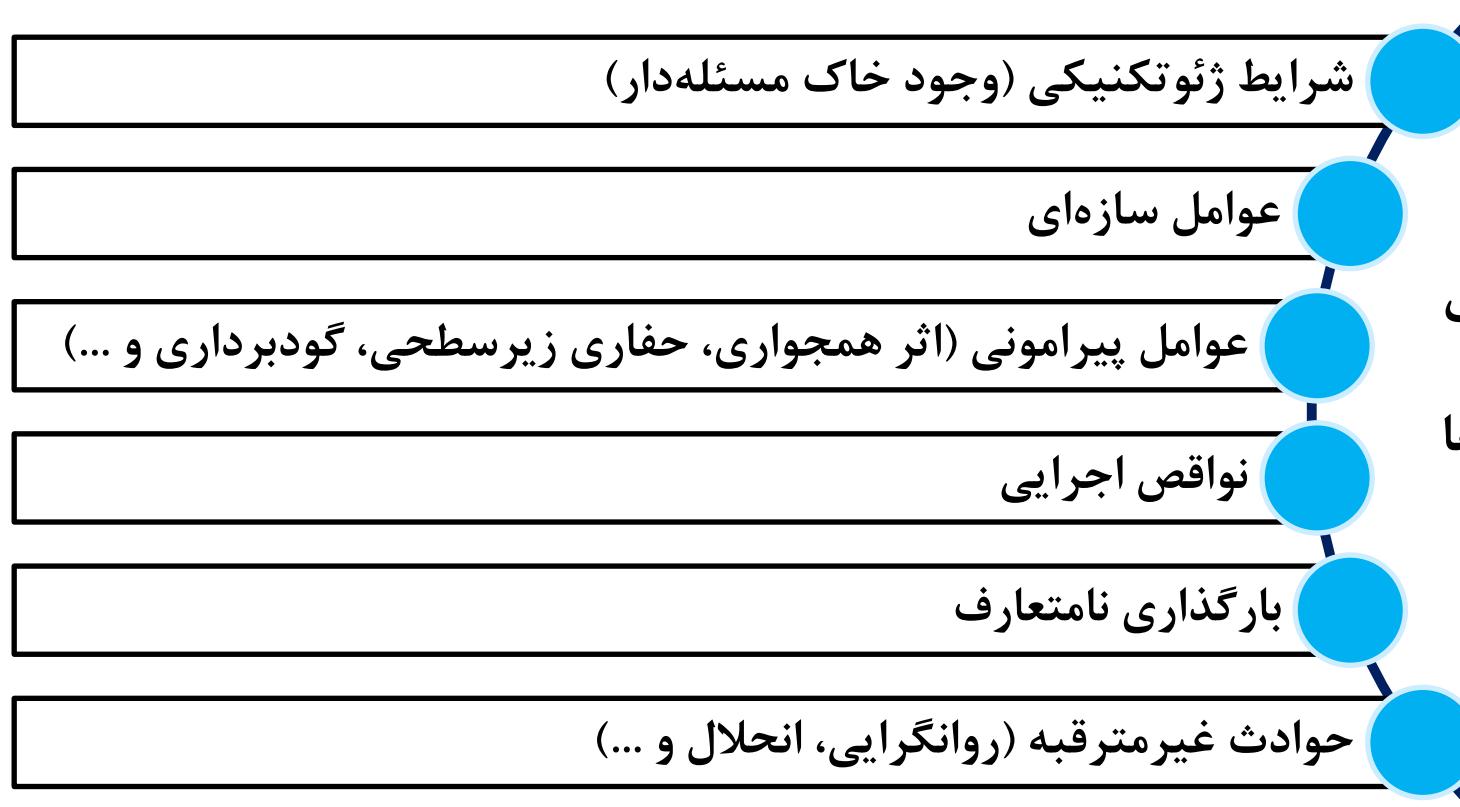
راه حل



۴. خرابی‌ها و خسارات پی‌ها

4. Failures & Damages of Foundations

عوامل خرابی



R. Peck (1967) - The Man of Judgment:
پروژه‌های عمرانی تنها به یک دلیل دچار خرابی نمی‌شوند!

خرابی ژئوتکنیکی: ضعف ظرفیت باربری

انواع گسیختگی برشی

- کلی
- موضعی
- سوراخ‌کننده (پانچ)



(a)



(b)

Bearing capacity failure of a) silo foundation (Kimmerling, 2002) and b) shallow foundation (Prakash, 2007)

مورد عملی شماره ۴ - سیلوی گندم Fargo (Nordlund and Deere, 1970)

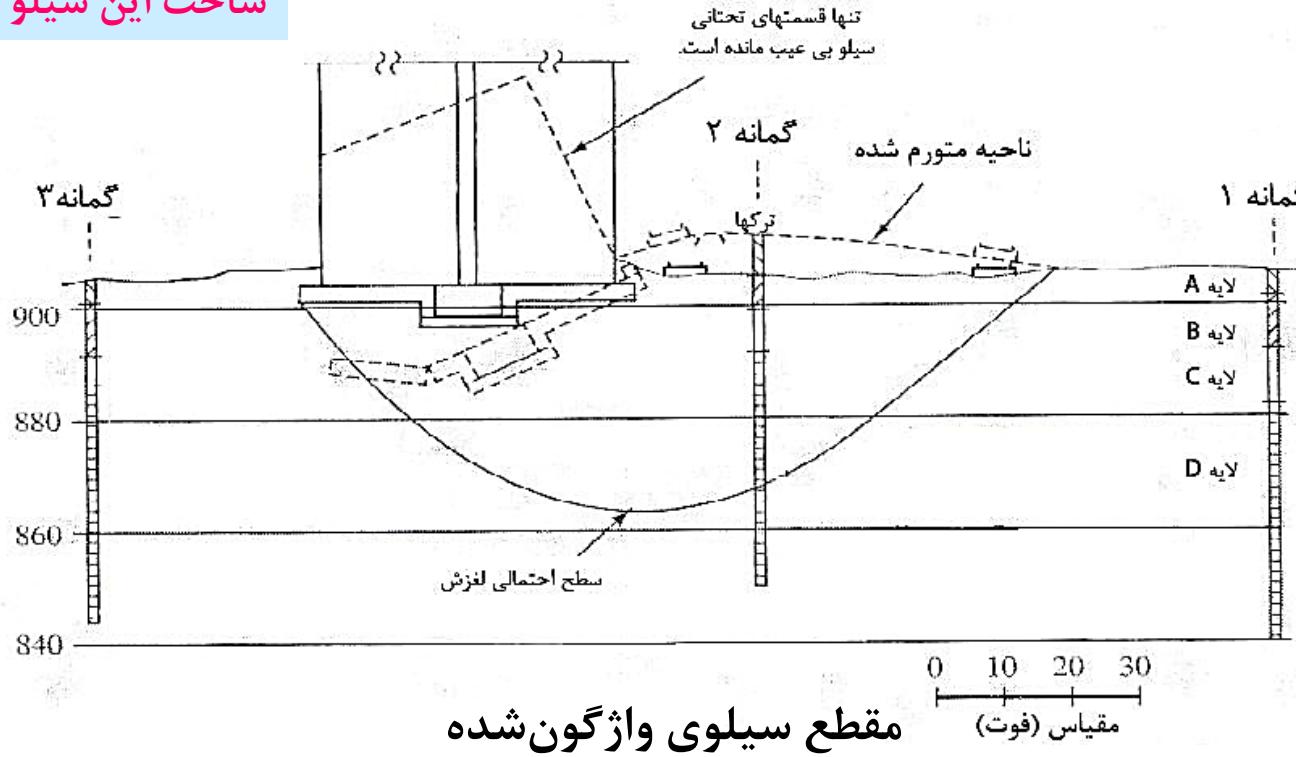
سیلوی گندم فارگو در سال ۱۹۵۴ ساخته و در سال ۱۹۵۵ واژگون شد.

سازه از نوع بتن مسلح با ۲۰ کندوی استوانه‌ای و سایر تاسیسات الحاقی بوده است.

پی گسترده با پهنای $15/8$ متر، طول $66/4$ متر و ضخامت $71/0$ متر

مقاومت برشی زهکشی نشده: ۳۰ تا ۵۰ کیلوپاسکال

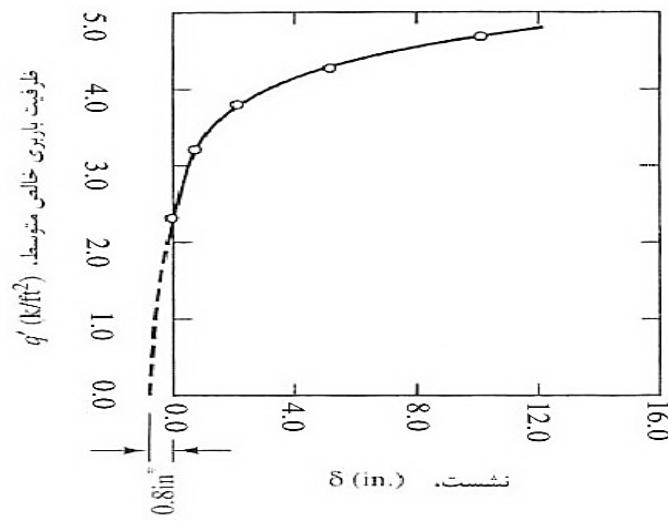
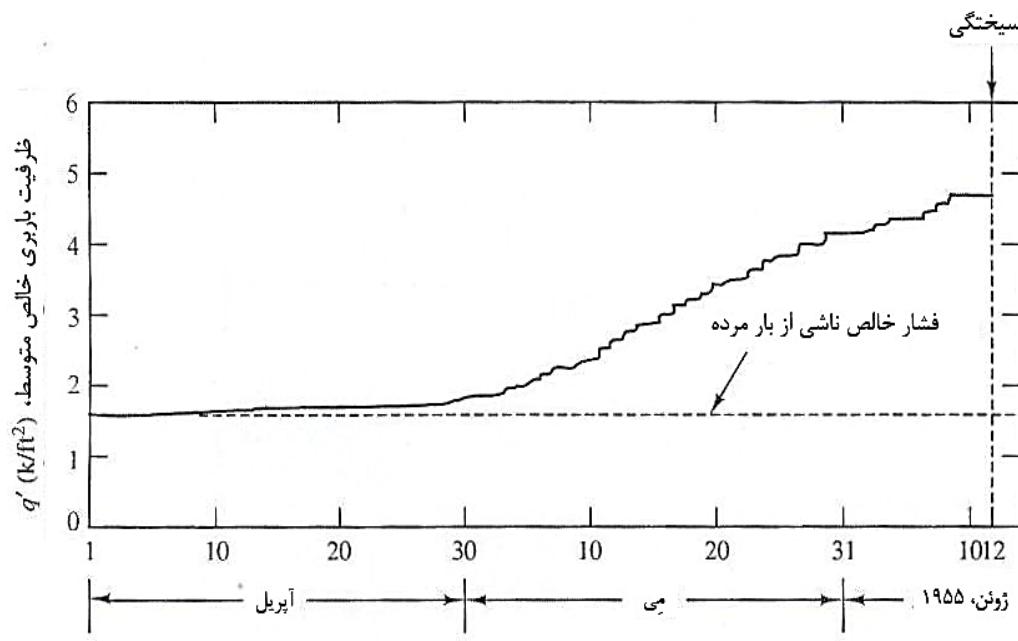
**نکته قابل توجه: هیچگونه
مطالعات ژئوتکنیکی قبل از
ساخت این سیلو انجام نشده بود.**



مورد عملی شماره ۴ - سیلوی گندم Fargo (Nordlund and Deere, 1970)

- با شروع بارگیری انبار گندم در سال ۱۹۵۵، q' (ظرفیت باربری خالص متوسط) افزایش یافته است.
- مقدار بار زنده در این پروژه به 227 kPa رسید.
- به دلیل افزایش متوسط فشار اعمالی خالص حاصل از بارگیری سیلو، این سازه با سرعتی بالا آغاز به نشست نمود.

$$S_{u-\text{avg}} = 40 \text{ kPa} \rightarrow q_{ult} = 5.14 \times 40 = 205.6 \text{ kPa} < q_{live} = 227 \text{ kPa} \text{ Failure!!!}$$

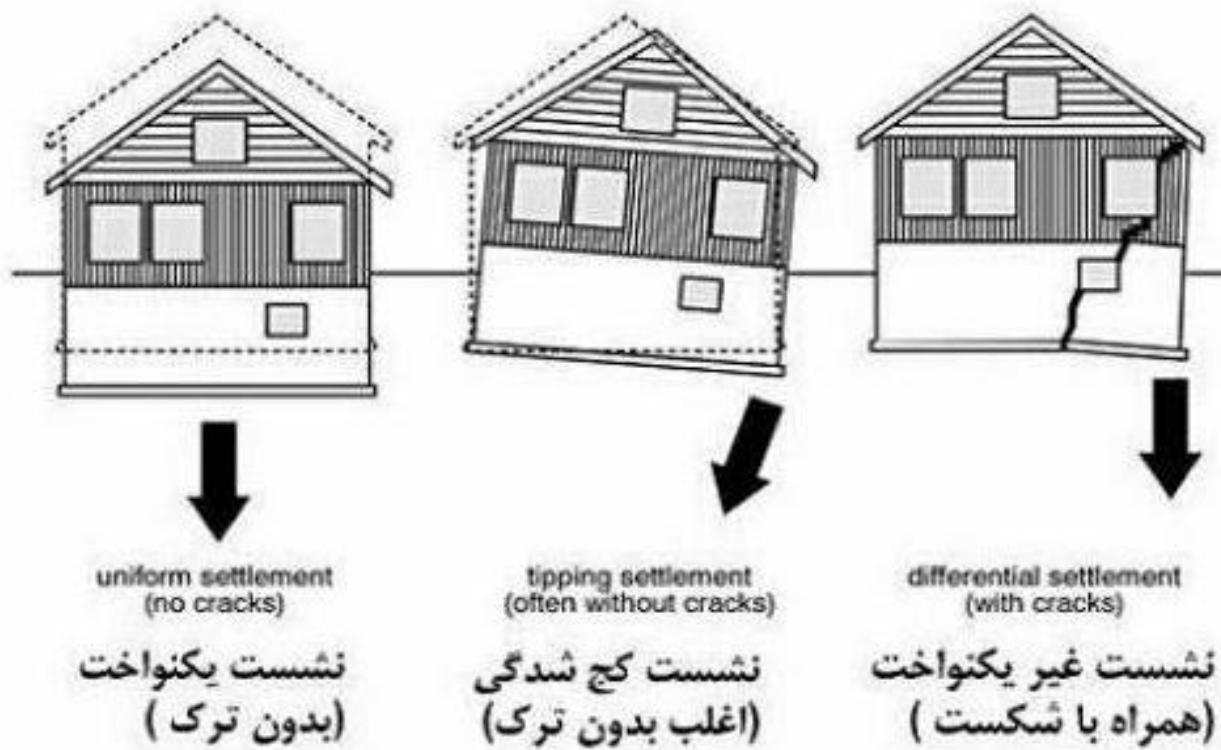


افزایش متوسط فشار اعمالی خالص
حاصل از بارگیری سیلو

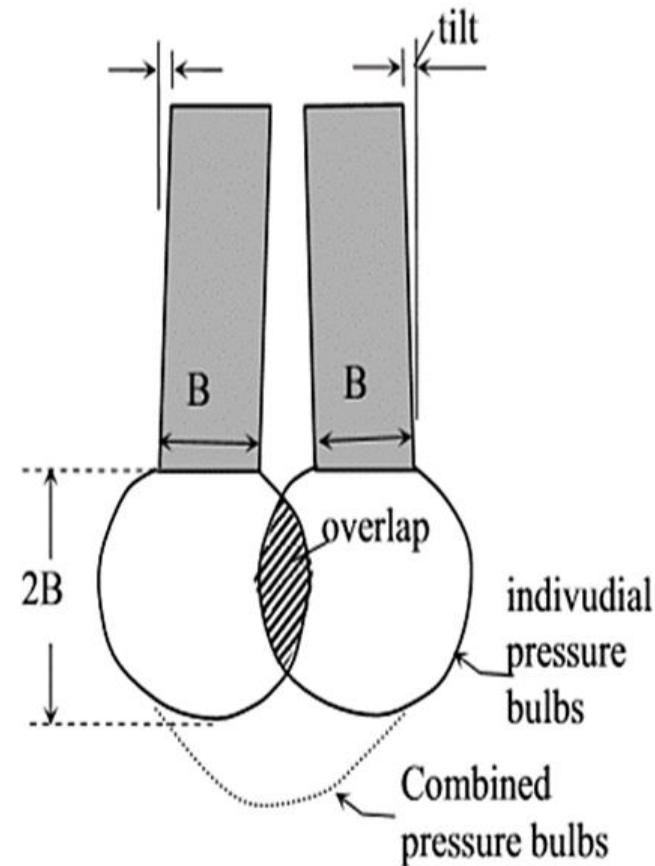
خرابی ژئوتکنیکی: نشست

أنواع خرابي ناشي از نشست

- يكتواخت
- كج شدگى
- نامتقارن (غير يكتواخت)

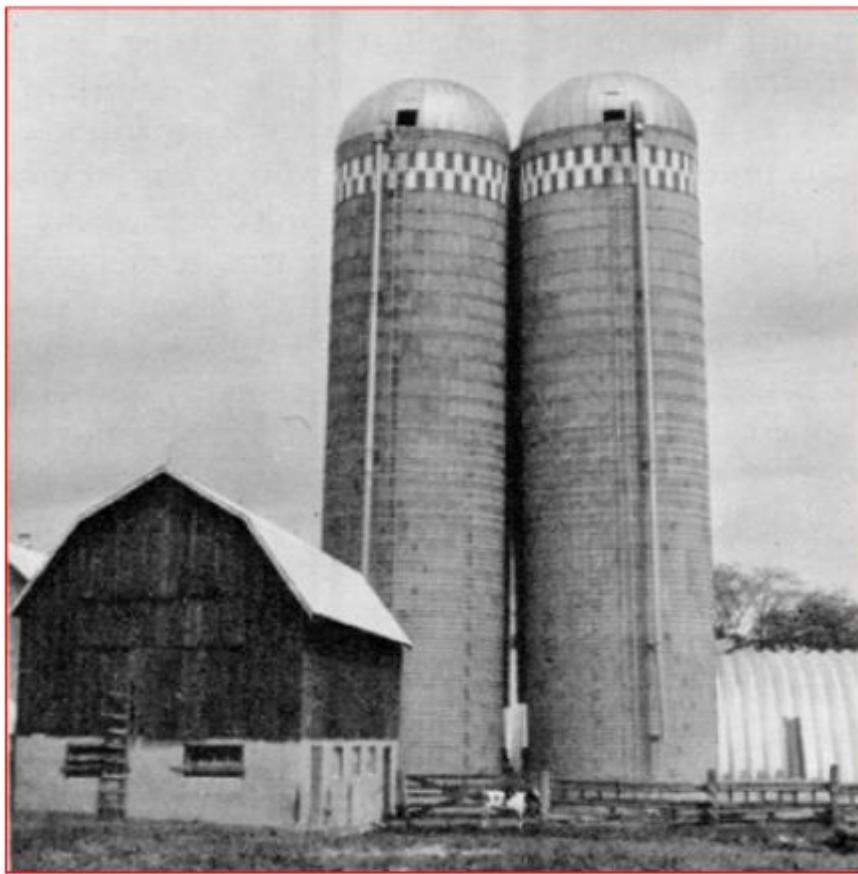


مورد عملی شماره ۵ – سیلوهای مجاور (عوارض هم‌جوارسازی)

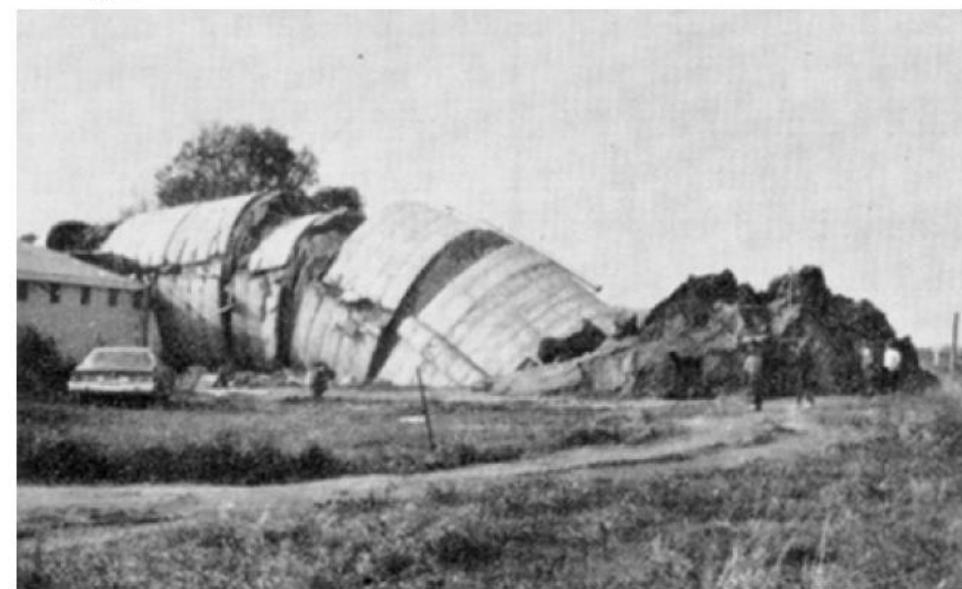


حباب‌های تنش در زیر فونداسیون گسترده
بزرگ و کوچک

مورد عملی شماره ۵ – سیلوهای مجاور (عوارض هم‌جوارسازی)

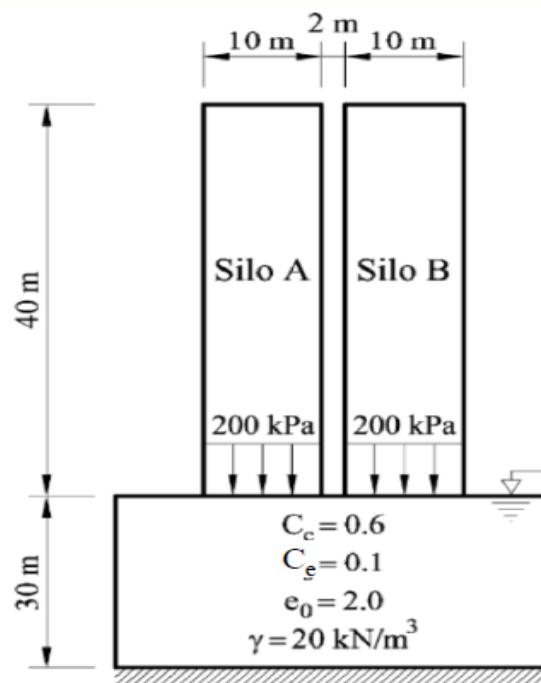


Leaned twin silos caused by non uniform settlement in zone of overlapping pressure bulbs.



Failure of a 2500-ton capacity silo
damaging adjacent barns

مورد عملی شماره ۵ – سیلوهای مجاور (عوارض همجوارسازی)



- when $p_1 > \sigma_p$

$$S = \frac{H}{1+e_1} C_e \lg\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

- when $p_1 < \sigma_p$ and $p_2 > \sigma_p$

$$S = \frac{H}{1+e_1} \left(C_e \lg\left(\frac{\sigma_p}{p_1}\right) + C_e \lg\left(\frac{p_2}{\sigma_p}\right) \right)$$

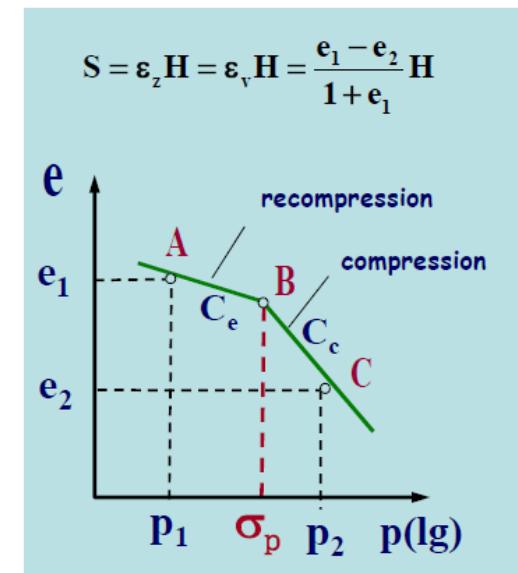


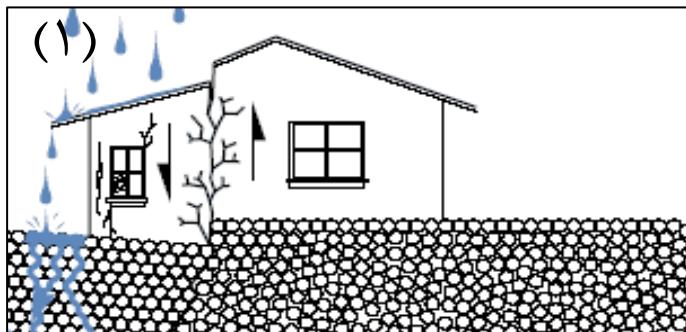
Table 1.1 Calculated settlements under Point E₁.

i (-)	z_i (m)	ΔH_i (m)	γ' (kN/m ³)	σ'_0 (kN/m ²)	$\Delta\sigma_{A1}$ (kN/m ²)	$\Delta\sigma_{B1}$ (kN/m ²)	$\Delta\sigma_{tot}$ (kN/m ²)	$\Delta\rho$ (cm)
1	5	10	10	50	80	1	81	83.6
2	15	10	10	150	29	6	35	18.2
3	25	10	10	250	13	6	19	6.4
Total settlement								108.2

خرابی ژئوتکنیکی: ناپایداری - وجود خاک مسئله‌دار ماسه شل اشباع - وقوع روانگرایی



خرابی ژئوتکنیکی: وجود خاک مسئله‌دار – خاک‌های فروریزشی (لس)



مشکلات ناشی از لس‌ها عبارتند از:

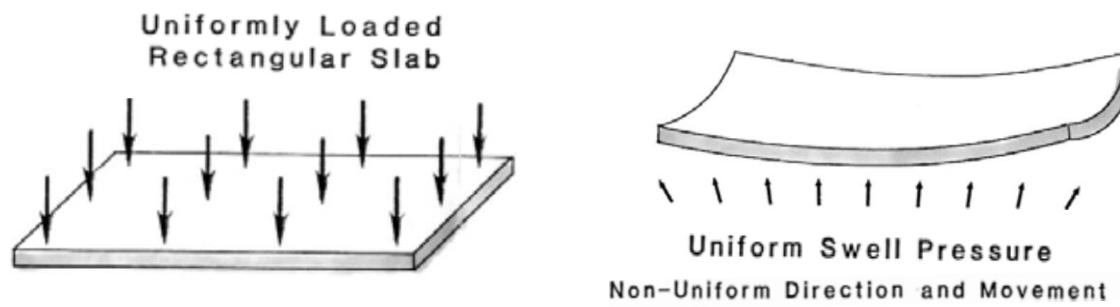
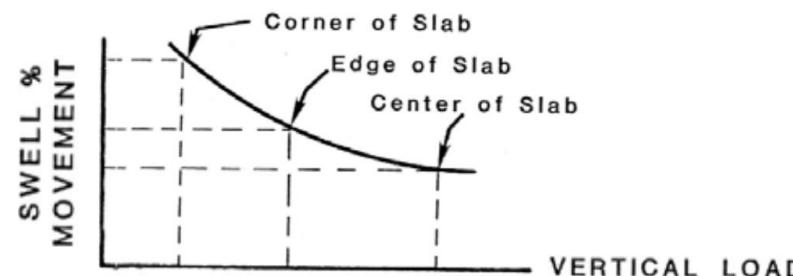
- کاهش ظرفیت باربری پی‌های سطحی (عکس ۱ و ۲)
- نشست و خرابی در کانال‌ها، جاده‌ها و ... (عکس ۳ و ۴)



خرابی ژئوتکنیکی: وجود خاک مسئله‌دار – خاک‌های انبساطی

مشکلات ناشی از خاک‌های انبساطی

پی‌هایی که بر روی این خاک‌ها قرار دارند، به علت تورم خاک تحت نیروهای برکنش قابل توجهی قرار دارند؛ این نیروها باعث مشکلاتی از **قبيل بالآمدگي، ترک، شکست اجزاي فونداسيون و دال كف مي گردد.**



خرابی ژئوتکنیکی: وجود خاک مسئله‌دار – خاک‌های مستعد یخ‌زدگی



This damaged building in Dawson City, Canada, shows what can happen when the warm interior of a building causes the permafrost underneath to thaw.
Credit: Andrew Slater

۱) سست شدن خاک

Uneven thawing damaged this road in Tibet. *Credit: Tingjun Zhang*

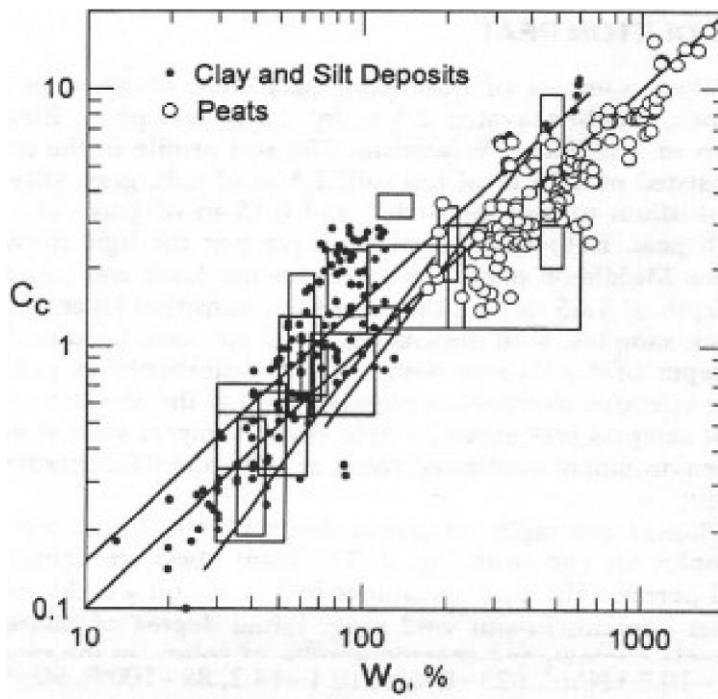


۲) ایجاد فرورفتگی

خرابی ژئوتکنیکی: وجود خاک مسئله‌دار – خاک‌های آلی و نباتی

مشکلات ناشی از خاک‌های آلی

رس‌ها و سیلت‌های آلی ← مقاومت برشی زهکشی نشده کم و تراکم‌پذیری بالا
بیشترین شاخص فشردگی را در بین مصالح ژئوتکنیکی و بخش اعظم نشست در دراز مدت



خرابی به دلیل اشکالات اجرایی

- روش اجرا نادرست
- طراحی پیچیده پی و صعوبت اجرا
- عدم مقاومت کافی در مصالح اجرایی (تنش تسليیم فولاد و مقاومت مشخصه بتن)

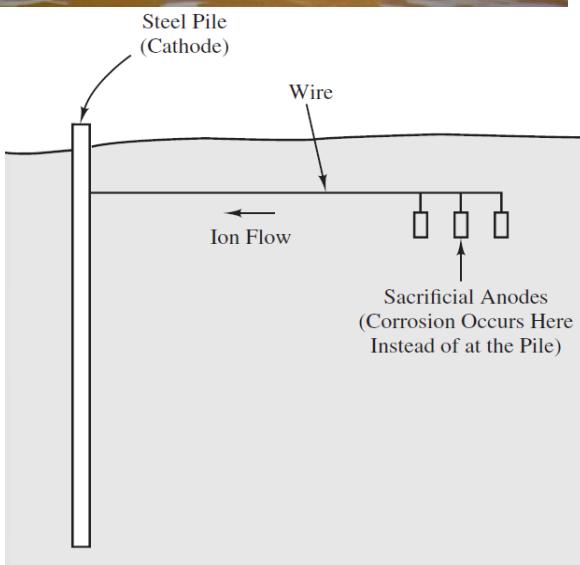


خرابی به سبب خوردگی پی‌های فولادی



وقوع خوردگی در پی‌های از جنس فولاد

- هم برای پی‌های واقع در خشکی و هم در مجاورت آب
- لزوم توجه بیشتر به پی‌های واقع در محیط آبی به ویژه آب شور - نرخ خوردگی: ۰/۰۷۵ تا ۱/۰۷۵ میلی‌متر بر سال



روش‌های مقابله

- افزایش ضخامت برابر با مقدار خوردگی پیش‌بینی شده
- استفاده از پوشش محافظت برای فولاد
- تعبیه سیستم حفاظت کاتدی

خرابی به سبب خوردگی پی‌های بتنی



وقوع حمله سولفاتی در پی‌های از جنس بتن

- وقوع در پی‌های در مجاورت با خاک یا آب زیرزمینی حاوی غلظت بالایی از سولفات (SO_4^{2-})
- واکنش سیمان درون بتن با سولفات و متعاقباً افزایش حجم، وقوع ترک و تخریب پی



روش‌های مقابله

- کاهش نفوذپذیری بتن:
 - کاهش نسبت آب به سیمان
 - افزایش مقدار سیمان
- استفاده از سیمان ضدسولفات
- پوشش بتن با لایه محافظ

خرابی به دلیل آب‌شستگی در اثر وقوع سیلاب

- از بین رفتن عمق مدفون پی
- کاهش پارامترهای مقاومتی خاک موجود
- اعمال بارهای پیش‌بینی‌نشده و خارج از مرکز
- کاهش ظرفیت باربری و پایداری فونداسیون
- کاهش ضریب اطمینان در برابر بارهای واژگون‌کننده



مورد عملی شماره ۶- پل بتنی عابر پیاده بابلسر

مشخصات پل

- پل بتنی عابر پیاده بر روی بابلرود در سال ۱۹۵۹ و به منظور تسريع در رفت و آمد مردم و اتصال نیمه شرقی شهر به نیمه غربی آن ساخته شد.
- این پل از بتن مسلح ساخته شده است و شامل اجزای زیر می‌باشد:
 - چهار پایه در رودخانه
 - پنج دهانه با تکیه‌گاه‌های مفصلی و طول‌های تقریباً مساوی
- طول پل بابلسر ۱۰۱ متر و عرض آن ۲ متر و یک پی سطحی زیر هر یک از پایه‌ها



مورد عملی شماره ۶- پل بتنی عابر پیاده بابلسر

عوامل موثر در خرابی پل: سیالاب ۱۹۶۴ میلادی

عوامل ژئوتکنیکی

- نهشته‌های نرم و با تلاقی ته‌نشین شده در بستر رودخانه
- شسته شدن خاک اطراف پایه‌های پل در حین سیالاب
- تداوم نشست پایه‌های پل

عوامل هیدرولیکی

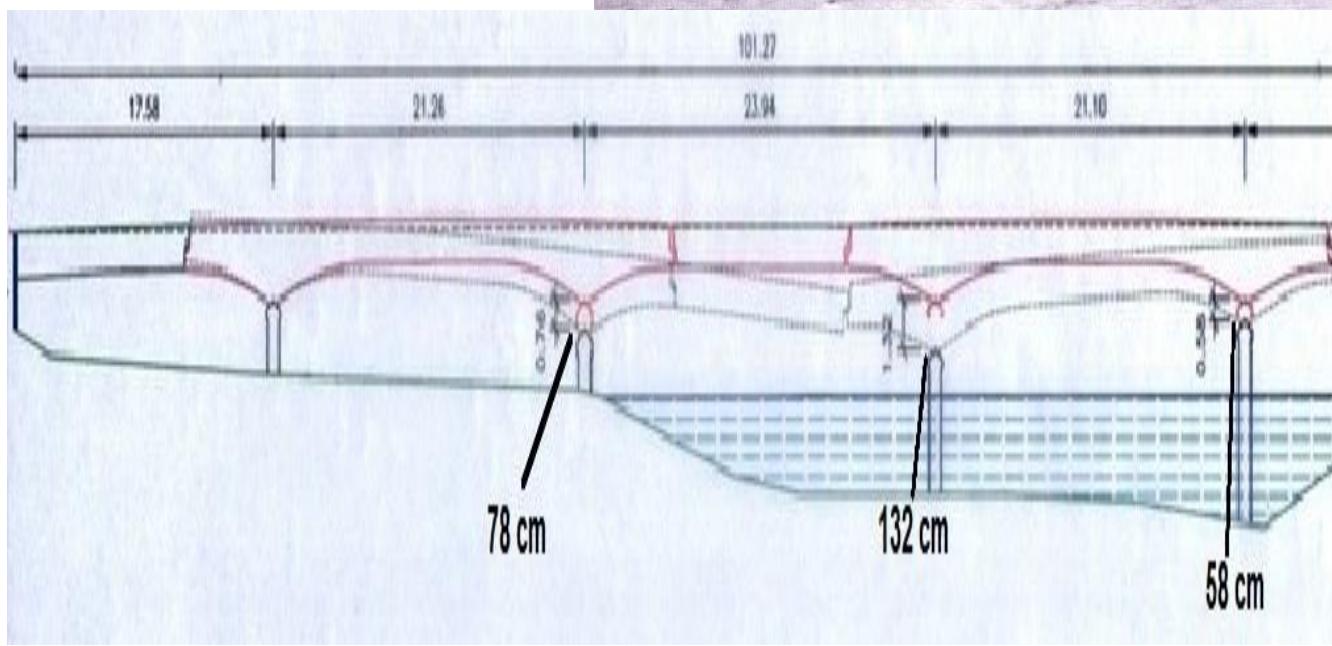
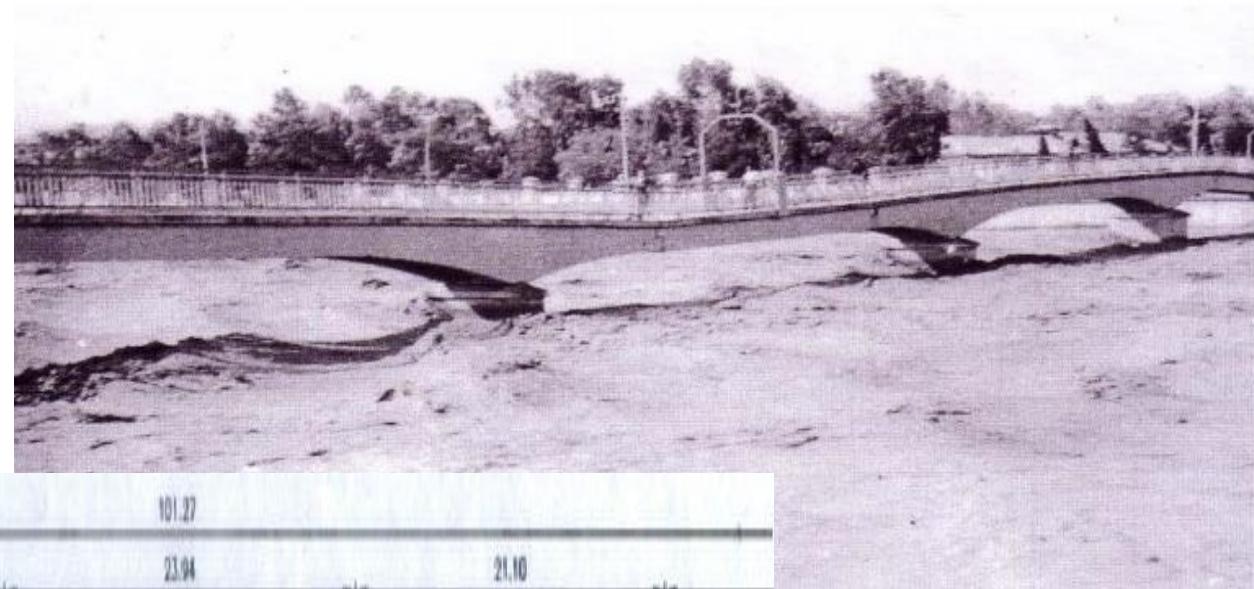
- هدایت آب‌های ناشی از سیالاب به سمت پایه‌های میانی پل
- تغییر وضعیت بارگذاری بر روی پل به علت سیالاب

عوامل سازه‌ای

- خارج شدن عرشه پل از حالت تعادل
- نشست نامتقارن پایه‌های کناری

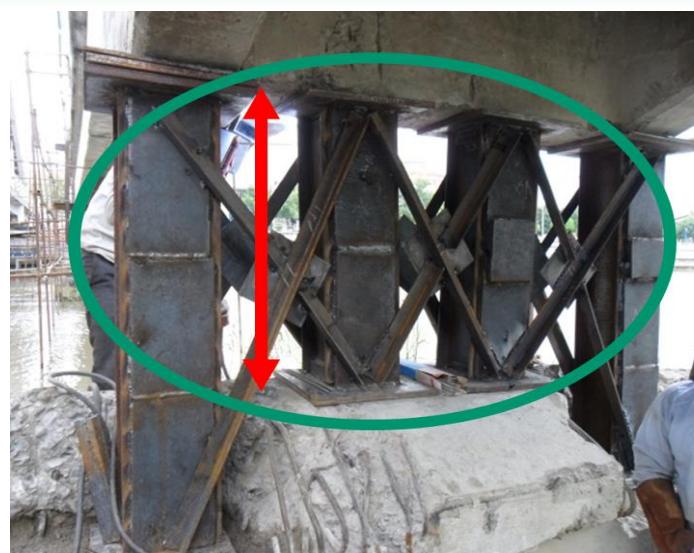
مورد عملی شماره ۶- پل بتنی عابر پیاده بابلسر

تصویر پل شکسته عابر
پیاده بابلسر بعد از
سیلاب ۱۹۶۴



میزان نشست نامتقارن در
هر یک از پایه‌های پل بعد
از سیلاب ۱۹۶۴

مورد عملی شماره ۶- پل بتنی عابر پیاده با بلسر



۵. ترمیم و تقویت

5. Retrofit & Strengthening

روش‌های کلی تعمیر و تقویت

راهکارهای اجرایی جهت بهسازی و ترمیم زیرسازه

- اصلاح خاک کف و اطراف پی
- اصلاح هندسه پی
- اصلاح پیوستگی پی با روسازه
- ارتباط پی با پی‌های مجاور
- ارتباط پی با زمین
- ارتباط پی با روسازه

بهسازی خاک

راهکارهای پیش رو در مواجهه با خاک‌های مسئله‌دار در پروژه‌ها:

- اجتناب از محل مورد نظر برای پروژه
- طراحی سازه مورد نظر متناسب با شرایط موجود
- برداشت و جایگزینی خاک مسئله‌دار
- تلاش برای تغییر خصوصیات خاک موجود
- Soil Improvement
- Soil Treatment
- Soil Stabilization
- Ground Modification

بهسازی خاک

بیش از ۵۰ روش بهسازی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به ۵ کلاس عمدۀ زیر تقسیم نمود:

۱- عملیات خاکی (Earth work)

۲- متراکم‌سازی (Densification)

۳- بهسازی فیزیکی- شیمیایی (Physical & chemical modification)

۴- بهسازی هیدرولیکی (Hydraulic modification)

۵- مسلح‌سازی (Reinforcement)

دسته‌بندی کلی روشهای بهسازی خاک

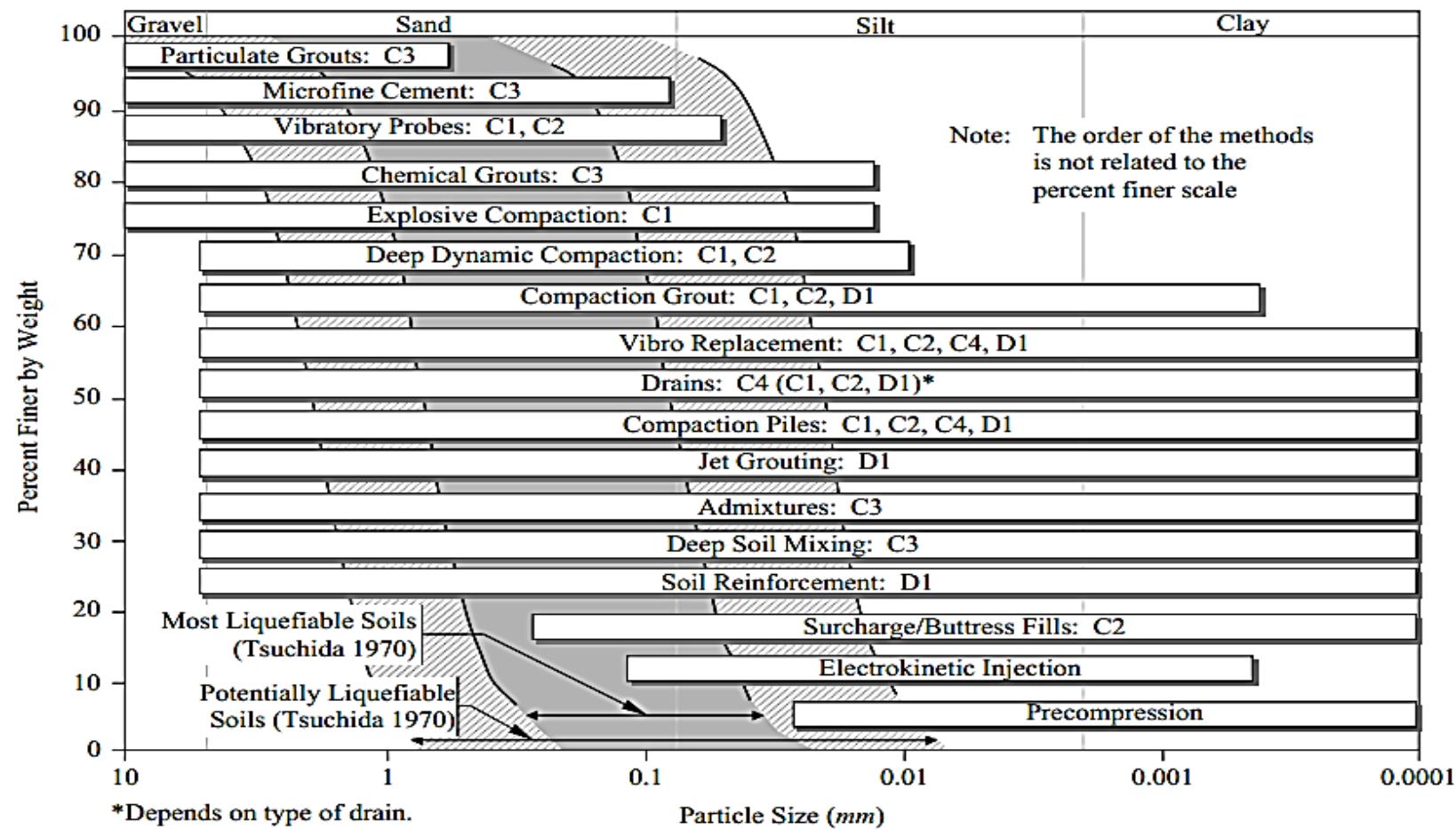
بهسازی خاک

روش‌های معمول

General Soil Treatment Methods

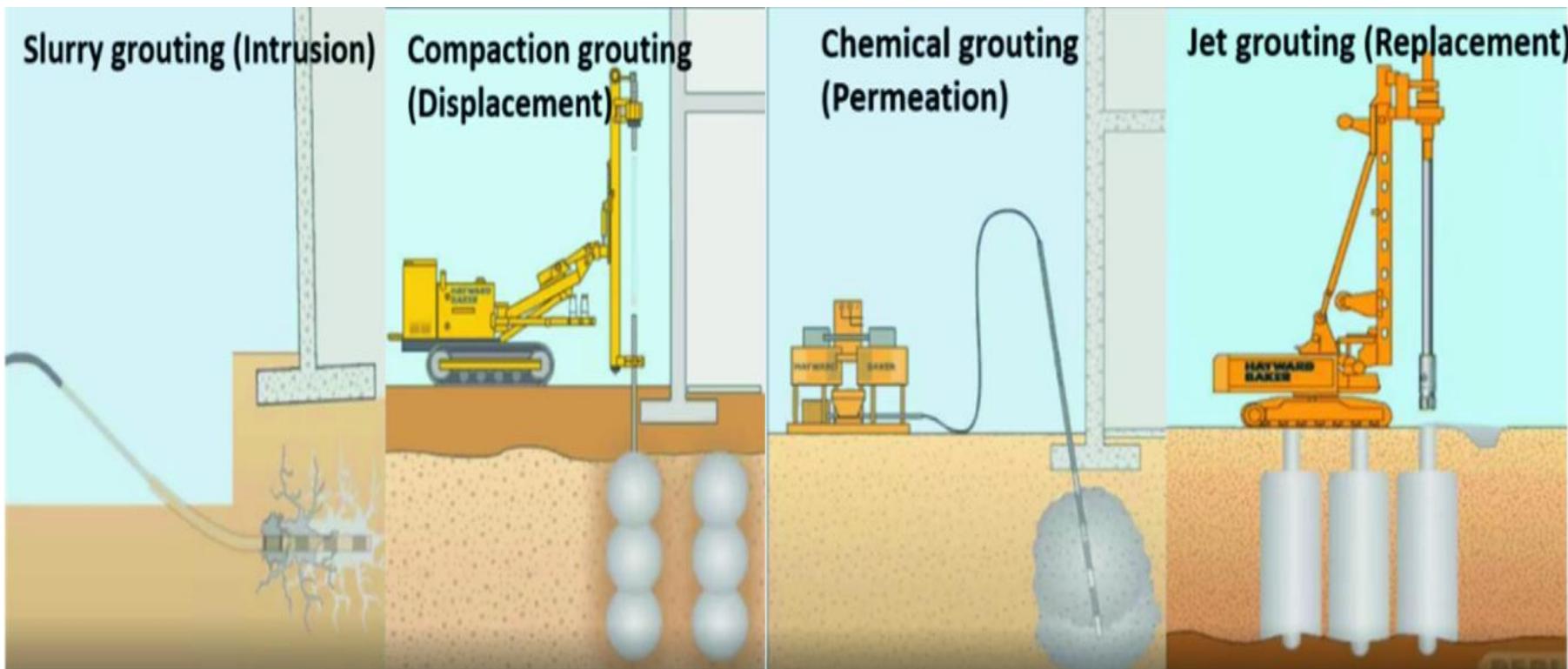
1	Sheet piling	11	Sump pumping	21	Surcharge fills	31	Soil nailing
2	Slurry trenches	12	Wellpoint systems	22	Pre-wetting	32	Cement-clay grouts
3	Diaphragm walls	13	Bored shallow wells	23	Hydrocompaction	33	Silicate grouts
4	Bored pile walls and secant piles	14	Deep-bored filter wells	24	Vibrocompaction	34	Resin grouts
5	Thin, grouted membranes	15	Jet eductor systems	25	Dynamic compaction	35	Compaction grouting
6	Freezing	16	Vacuum dewatering	26	Compaction piles	36	Jet grouting
7	Filter drains	17	Dynamic static or Rollers	27	Particulate grouting	37	Cement & lime stabilization
8	Drainage galleries	18	Electrical stabilization	28	Blasting	38	Mix-in-place piles
9	Sand and band drains	19	Preloading	29	Mechanical compaction	39	Heating
10	Lime columns	20	Vibro replacement stone columns	30	Reinforced earth	40	Remove and replace

بهسازی خاک



Applicable grain-size ranges for liquefiable soil improvement methods
(Mitchell and Gallagher, 1998)

تزریق جهت بهسازی خاک و اصلاح کجی‌پی



افزایش ابعاد پی موجود

مراحل اجرای راهکار افزایش ابعاد فونداسیون به شرح زیر می‌باشد:

۱. خالی کردن اطراف پی از تراز روی آن تا تراز زیر بتن مگر به اندازه عرضی بیشتر از عرض مورد نیاز مقاومسازی
۲. مضرس کردن سطح بتن در بالا و وجوده عمودی شالوده
۳. ایجاد سوراخ‌های افقی در اطراف شالوده برای کاشت شاخص (میخچه) در صورت لزوم
۴. اجرای بتن مگر اضافی در ناحیه افزایش ابعاد
۵. تمیز و مضرس کردن سطوح تماس اجرای چسب پلیمری بر روی سطوح نمایان پی
۶. اجرای آرماتورهای اضافی به روش کاشت میلگرد و آرماتور برای بتن مسلح جدید مطابق نقشه‌های اجرایی
۷. اجرای بتن جدید
۸. جدا کردن قالب‌ها و مراقبت از پی با پوشاندن سطح بتن با گونه‌های خیس (هرگز نباید پی را مستقیماً با آب خیس نمود، زیرا منجر به شستن لایه‌های زیر آن می‌شود)
۹. مقاومسازی ستون با ژاکت (در صورت لزوم)
۱۰. پرکردن مجدد پی ترجیحاً با خاک‌های درشت‌دانه در لایه‌های مختلفی که کاملاً مترافق شده باشند.
۱۱. کامل کردن کف و سنگ فرش روی پی

مراحل افزایش ابعاد پی موجود



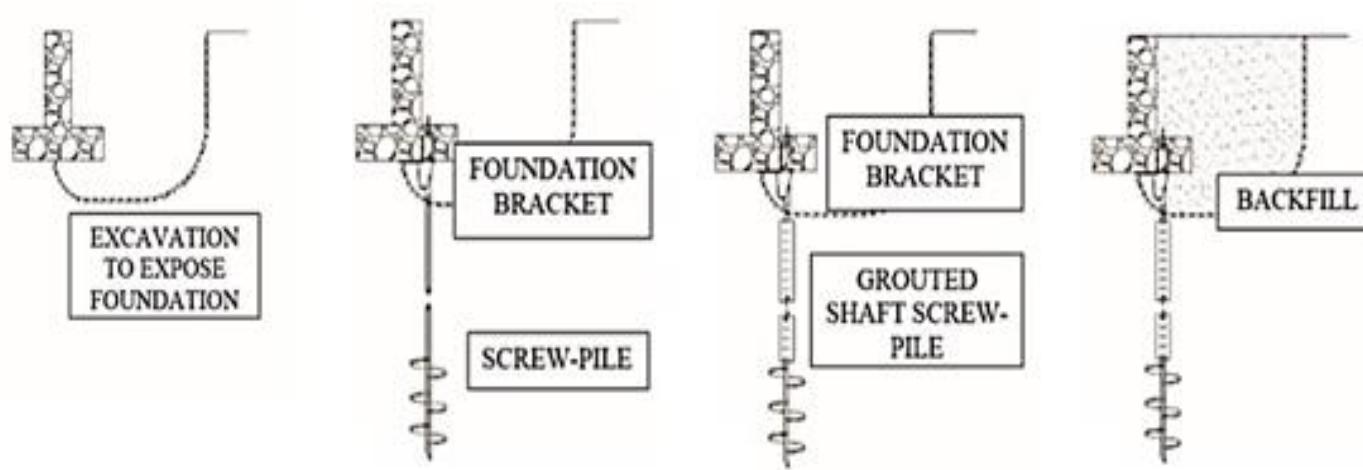
Foundation sectional enlargement: a) excavation around the footing, b) drilled holes, c) inserted dowel bars, d) plain concrete in the extended area, e) reinforcement bars arranged surrounding the footing, and f) fresh concrete cast in the enlarged area of the footing (Zumrawi & Aldawi, 2019)

افزایش ابعاد پی موجود

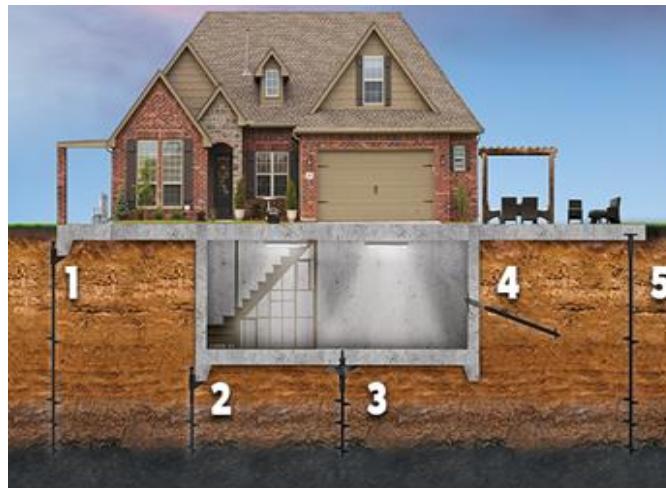
نمونه‌هایی از افزایش ابعاد پی موجود



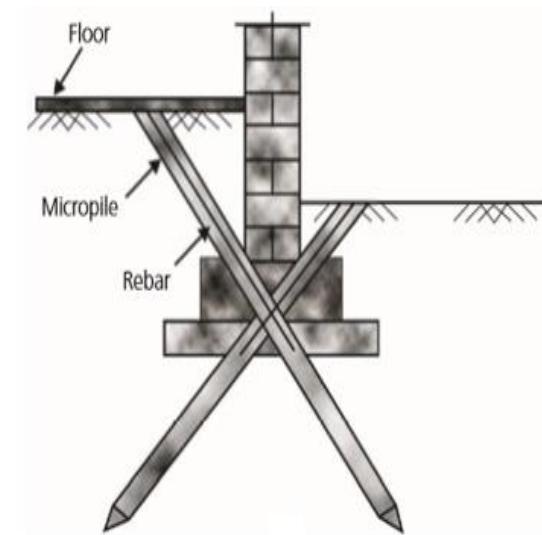
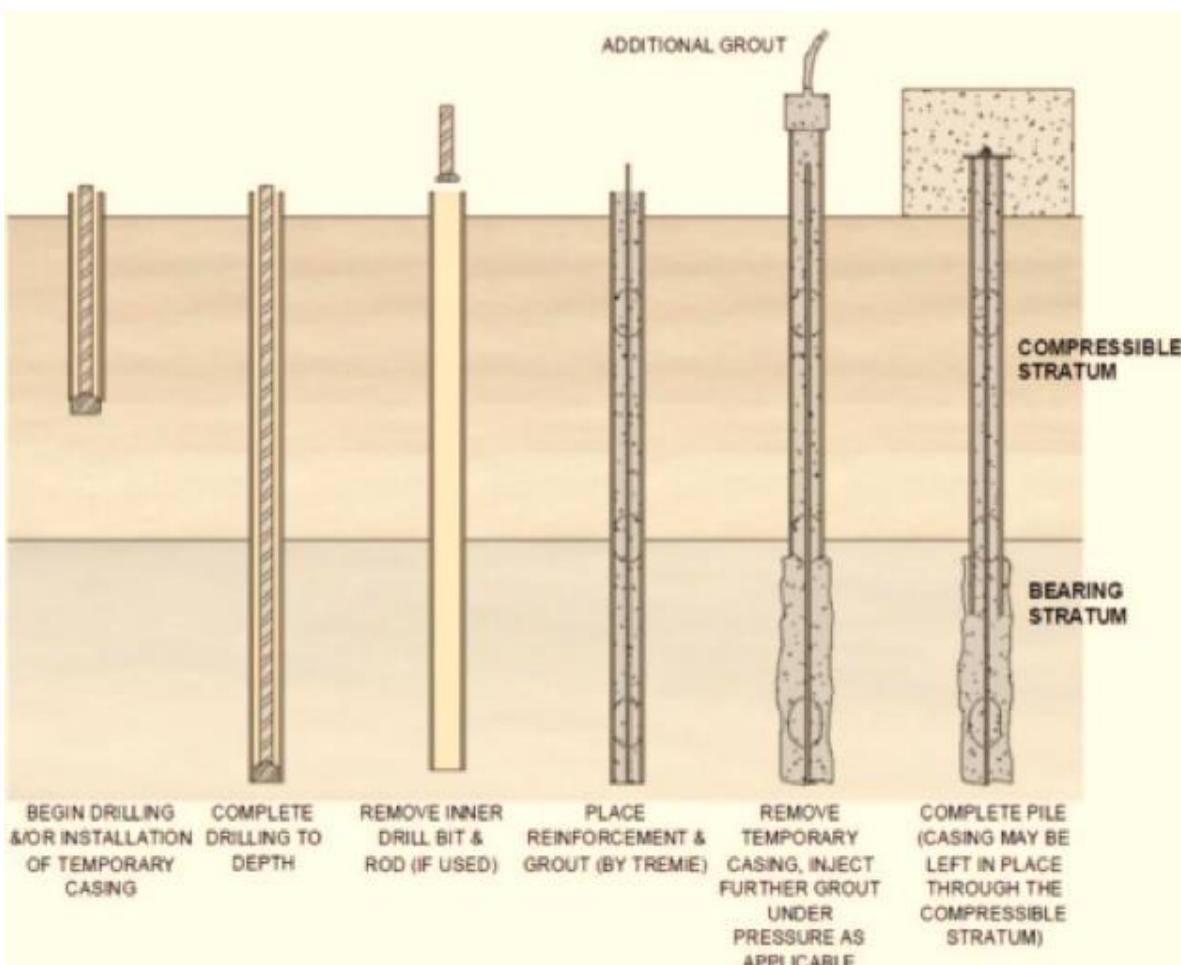
استفاده از شمع‌های پیچشی-پره‌ای (هلیکال)



**Sequence of the helical pile underpinning of existing foundations
(Lutenegger & Kemper, 2008) and performing helical piles**



استفاده از ریزشمع (میکروپایل)



مورد عملی شماره ۷ - شمال ایران (استفاده از شمع در جا)

کج‌شدگی و پانچ ستون ساختمان ۵ طبقه

❖ عوامل موثر در وقوع پانچ و کج‌شدگی:

- وجود لایه ضعیف در بستر فونداسیون
- ضخامت کم فونداسیون
- ناهمگونی خاک
- کمبود فاصله مناسب بین لبه ستون تا لبه پی
- انباشت بار حاصل از مصالح ساختمانی در قسمت جلویی طبقات ساختمان

❖ راه کار اجرایی:

- اجرای ستون‌های موقت و ژاکت فولادی تقویت ستون‌ها
- اجرای شمع و اتصال به فونداسیون
- اجرای شاسی‌کشی و جکینگ جهت شاقولی نمودن ستون‌ها
- اجرای مش تقویتی با اتصال به فونداسیون رادیه

مورد عملی شماره ۷ - شمال ایران (استفاده از شمع در جا)

کج شدگی و پانچ ستون ساختمان ۵ طبقه



مورد عملی شماره ۸- شهر مکزیکو سیتی (عوارض همجوارسازی و وجود خاک مسئله‌دار)

Shelly et al. (1997)

کلیساي Metropolitan و El Sagrario



مورد عملی شماره ۸- شهر مکزیکو سیتی (عوارض همجوارسازی و وجود خاک مسئله‌دار)

کلیساي Metropolitan و El Sagrario

دلایل محتمل نشست:

- لوله‌های زهکش عمیق و تونل مترو
- تحکیم لایه رسی

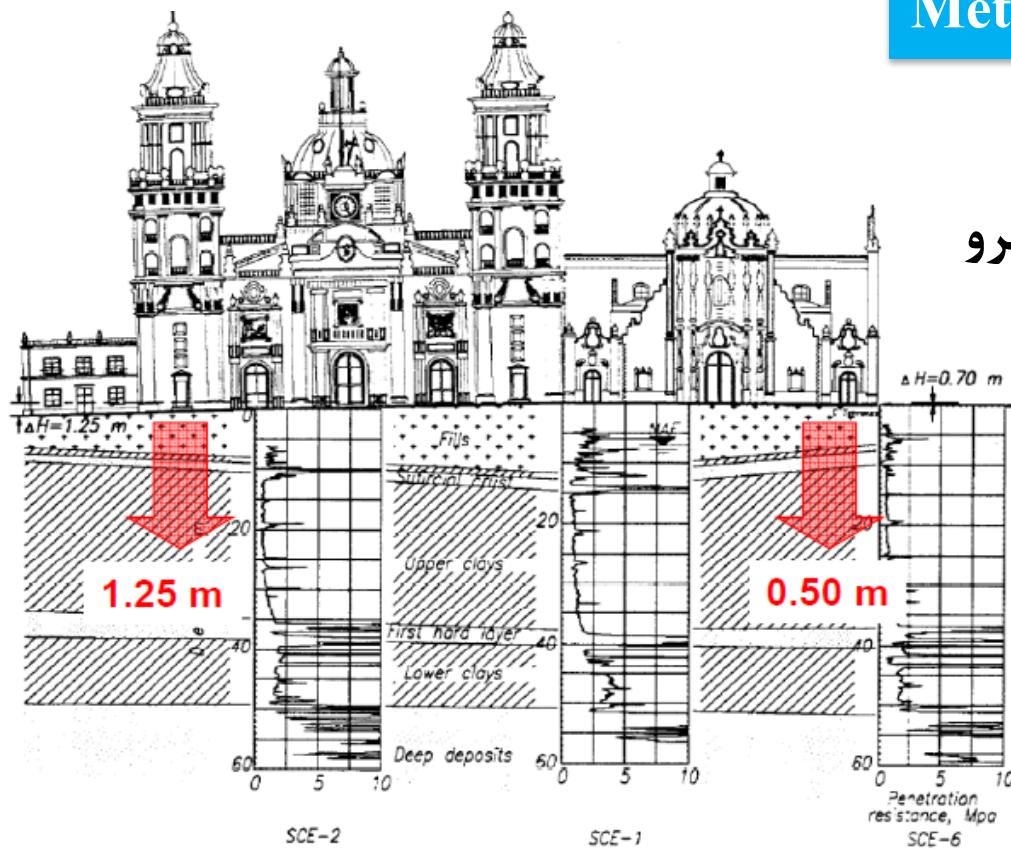
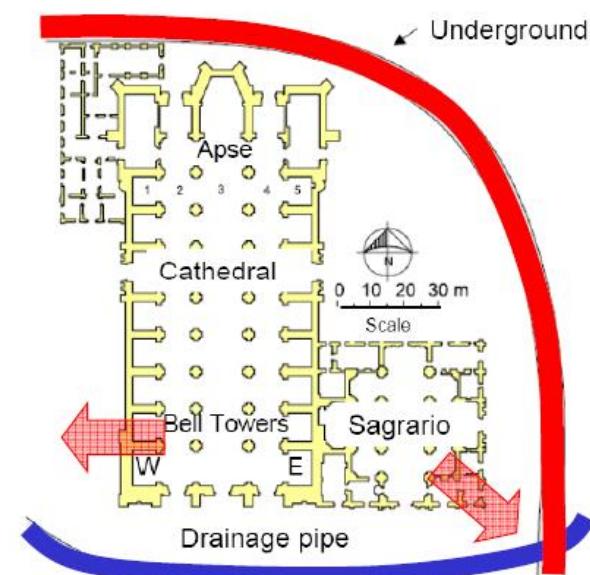


FIG. 2. Results of CPT Borings and Stratigraphical Cross Section along Cathedral's and Sagrario's Southern Atrium



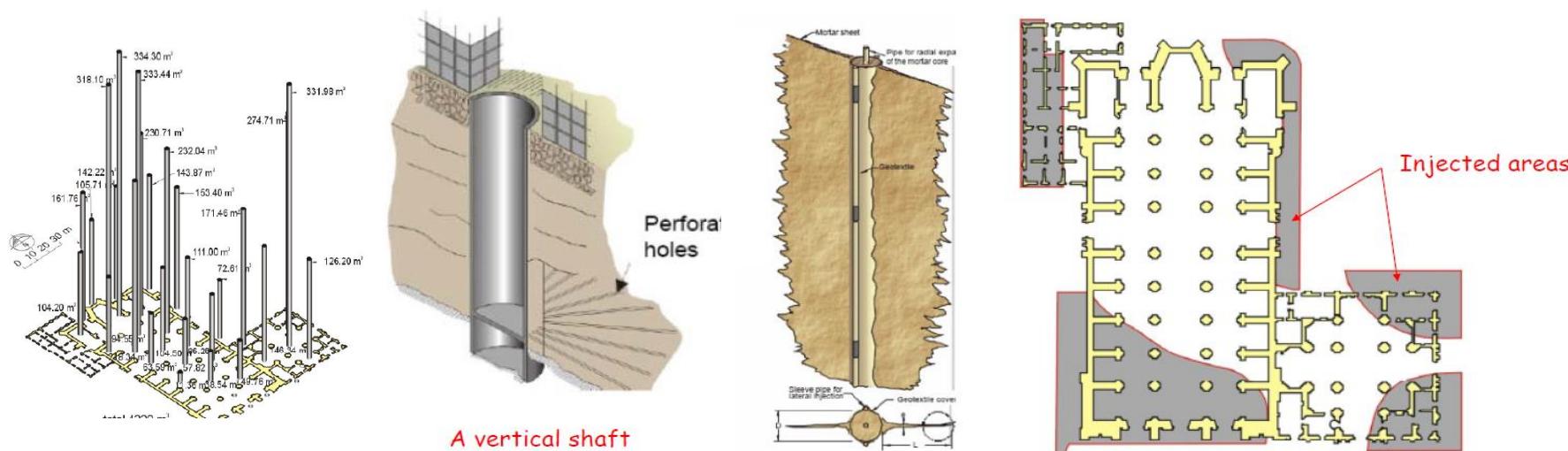
مورد عملی شماره ۸ - شهر مکزیکو سیتی (عوارض هم‌جوارسازی و وجود خاک مسئله‌دار)

Shelly et al. (1997)

کلیساي El Sagrario و Metropolitan

- **Addition of 1500 piles**
 - **Construction of 240 shafts some 60 m deep and 2.4 m in diameter**
 - **Construction of an impervious barrier along with water injection walls**
 - **Underexcavation (2200 m³ of soil)**

راهکارها:



۶. جمع‌بندی و چشم‌انداز

6. Summary & Prospect

جمع‌بندی

❖ Geotechnical Engineering:

❖ مهندسی ژئوتکنیک:

- مشتمل بر مصالح طبیعی و مصنوعی
- داده‌محور و دانش‌بنیان
- از ارکان مهندسی پی
- لزوم بهره‌بردن از ژئوسیستم‌ها
- میدانی و عملیاتی

❖ Foundation System:

❖ سیستم فونداسیون:

- اجزای سازه‌ای
- عنصر پی
- مصالح خاکی و سنگی پیرامون

جمع‌بندی

❖ Conventional Classification: طبقه‌بندی متدالوں پی‌ها:

- پی‌های اصلی: سطحی و عمیق
- پی‌های حد واسط: بهسازی و نیمه‌عمیق

❖ Novel Categorization:

مکانیزم انتقال بار:

نگرش نوین:

فرم هندسی:

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| • برداری (Vector-acting) | • خطی (Linear) |
| • مقطعی (Section-acting) | • صفحه‌ای (Planar) |
| • پوسته‌ای (Surface-acting) | • حجمی (Volumetric) |
| • بلوکی (Block-acting) | |

❖ Optimum Design: ملاحظات طراحی بهینه:

- نوع، ابعاد و ترکیب بارهای روسازه
- سنتز داده‌ها و اطلاعات ژئوتکنیکی شالوده
- شرایط پیرامونی و آتی
- کنترل عملکرد با آزمایش‌های بارگذاری در مراحل مختلف
- بازنگری ضریب اطمینان از حدود ۳ به ۲

❖ Challenges : چالش‌ها:

- توسعه ساخت و ساز در زمین‌های متروکه
- ساختمان‌های بلند و سازه‌های خاص
- ملاحظه شرایط محیطی غیرعادی و همچوارسازی
- ملاحظات زیستمحیطی و توسعه پایدار
 - People
 - Planet
 - Profit

جمع‌بندی

❖ عوامل خرابی‌ها و آسیب‌های پی:

❖ Causes of Failures & Damages:

- ژئوتکنیکی
- سازه‌ای
- اجرایی
- محیطی

❖ Repair & Retrofit:

❖ تعمیر و تقویت پی:

- اصلاح خاک بستر (بهسازی خاک)
- اصلاح هندسه پی یا افزودن المان‌ها
- تقویت اتصال پی به روسازه

TOPICS		SECTIONS		CHAPTERS	
A	Background	I	Context	1	An Introduction to Foundation Engineering
				2	Performance Based Design and Sustainability
		II	Geotechnical Engineering	3	Geotechnical Site Investigation
				4	Soil and Rock Parameters for Foundations
B	Shallow Foundations	III	Spread Footings and Mats	5	Types and Construction Methods
				6	Geotechnical Design Aspects
				7	Structural Analysis and Design
		IV	Ground Modifications	8	Difficult Soils and Improvements
				9	Foundations on Stabilized Soils
C	Semi-Deep Foundations	V	Hybrid, Floating and Shell Foundations	10	Types and Construction Approach
				11	Hybrid and Skirted Foundations
				12	Floating (Balanced) Foundations
				13	Shell Foundations
D	Deep Foundations	VI	Single Piles and Drilled Shafts	14	Types and Installation
				15	Geotechnical Design
				16	In-Situ Penetration Testing Applications
				17	Lateral Loading and Structural Aspects
		VII	Group Actions & Extreme Conditions	18	Combined Loading and Pile Group
				19	Piled Raft Foundations
				20	Performance under Extreme Conditions
E	Complementary Issues	VIII	Testing & Numerical Approaches	21	Full Scale Load Testings and Inspections
				22	Numerical Analysis
F	Recent Advances and Developments	IX	Trends and Prospects	23	Uncertainty and Reliability
				24	LRFD Approach and Codes Review
				25	Data Mining-Based Design
		X	Sustainable Development	26	Foundation Damages; Preventions and Repair
				27	Foundation Selection & Value Engineering

Advanced Foundation Engineering;

Principles, Performance & Prospect

By:

Dr. Moses Karakouzian

Dr. Abolfazl Eslami

چشم‌انداز

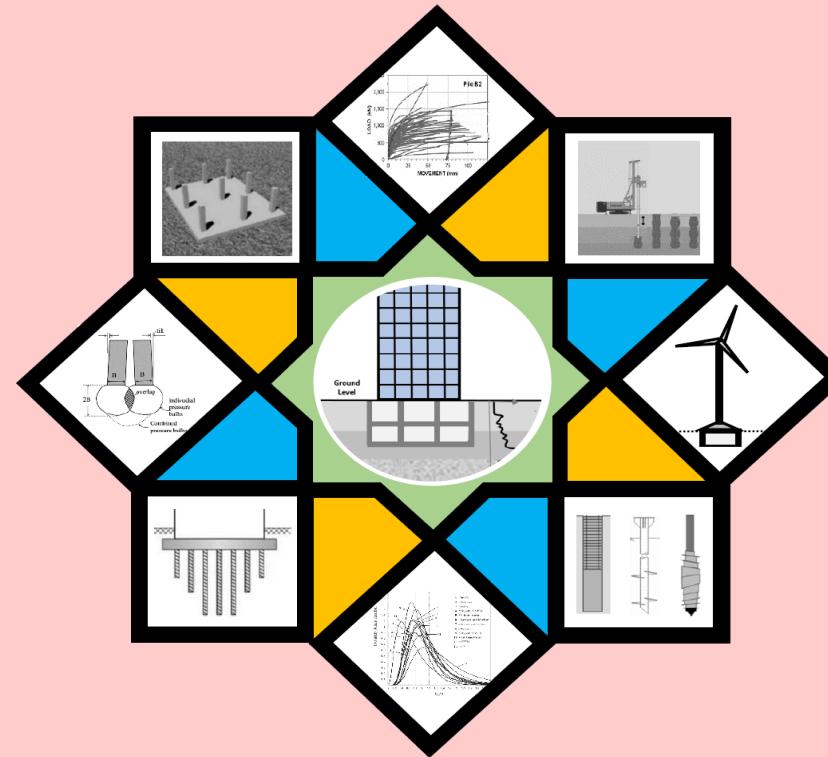
Issues & Novel Points

- New Insight of Foundations Classification
- Special Semi-Deep Foundation
- Foundations on Stabilized Soils
- In-Situ Tests Application in Design
- Deep Foundations under Extreme Conditions
- Performance of Piled Raft Foundations
- Uncertainties and Probabilistic Approach
- Failures & Damages of Foundations
- Foundation Repair, Retrofit & Reuse
- Foundation Selection Criteria

ژئوتکنیکی

- نگرش نوین در طبقه‌بندی پی
- پی‌های خاص نیمه عمیق
- فونداسیون بر بسترها بهسازی شده
- کاربرد آزمایش‌های درجا در طراحی ژئوتکنیکی
- رفتار پی‌های عمیق در شرایط خاص
- عملکرد سیستم پی رادیه – مرکب
- عدم قطعیت و مباحث احتمالاتی
- خرابی و آسیب‌های پی‌ها
- تعمیر، تقویت و استفاده مجدد از پی موجود
- معیارهای انتخاب سیستم بهینه

Advanced Foundation Engineering; Principles, Performance and Prospect

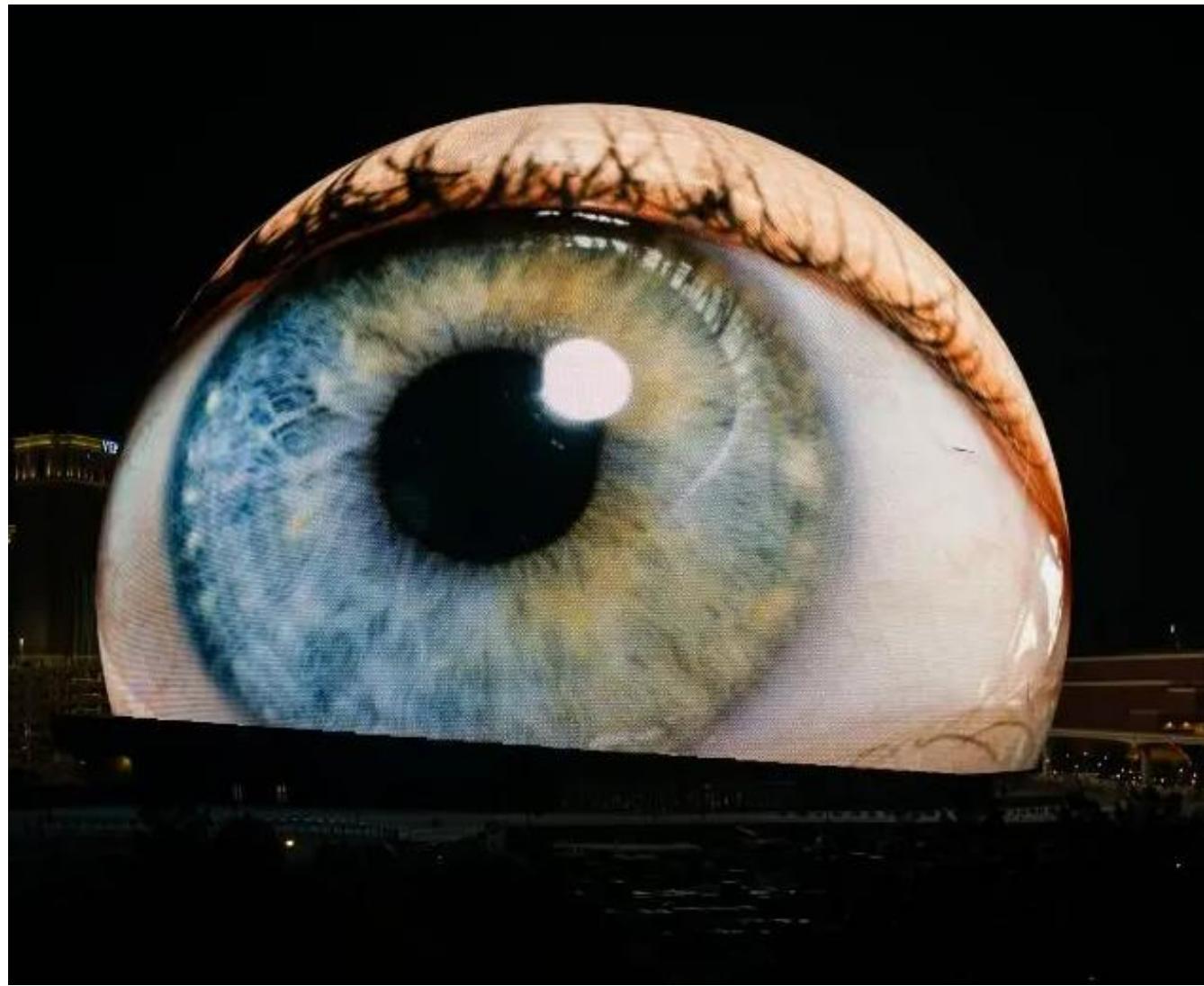


Dr. Moses Karakouzian

Dr. Abolfazl Eslami

WILEY 2024

چشم‌انداز ...



با تشکر ویژه از:

مهندس امیرحسین ابراهیمی پور



با تقدیر از:

دکتر سارا حیدری گلفزانی



مهندس دنیا افشار



مهندس مهدی غلامی آهنگران



با سپاس از همراهی و التفات شما
Thanks for Your Attention

abolfazleslami.com / Link