

بسمه تعالی

اولین همایش ملی مهندسی سازه ایران

رویکردهای بهینه و نوین در مهندسی پی

# Optimum and New Trends in Foundation Engineering

توسط:

دکتر ابوالفضل اسلامی Dr. A. Eslami

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)،

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست (AUT)

## عناوین:

۱- مهندسی ژئوتکنیک

۲- مهندسی پی ( ملاحظات تحلیل و طراحی )

• پی سطحی

• پی عمیق

۳- بهسازی خاک

۴- پی های نیمه عمیق

۵- جمع بندی

۱- مهندسی ژئوتکنیک

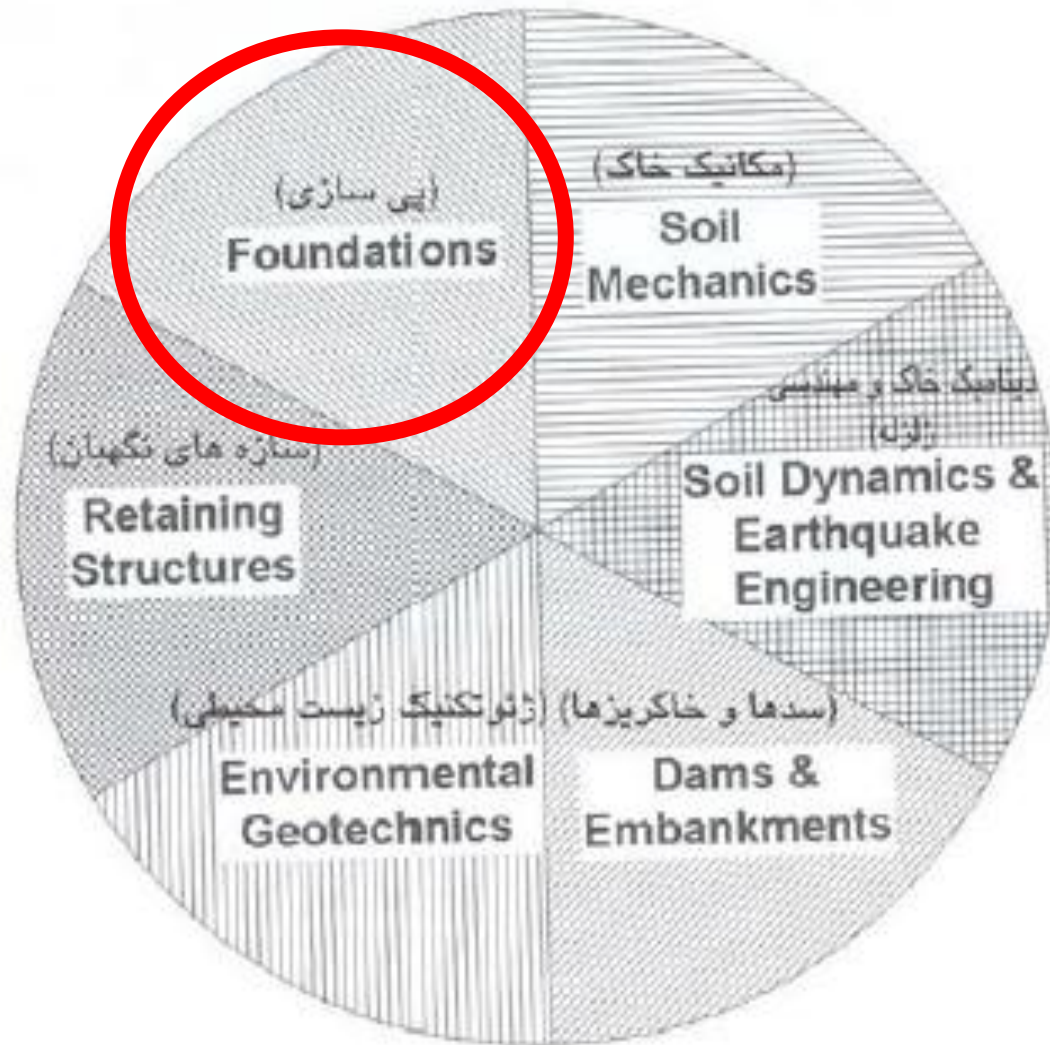
# Geotechnical Engineering

## مهندسی ژئوتکنیک، شاخه ای از مهندسی عمران

**Geometricals:** Soil, Rock, Ground Water

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



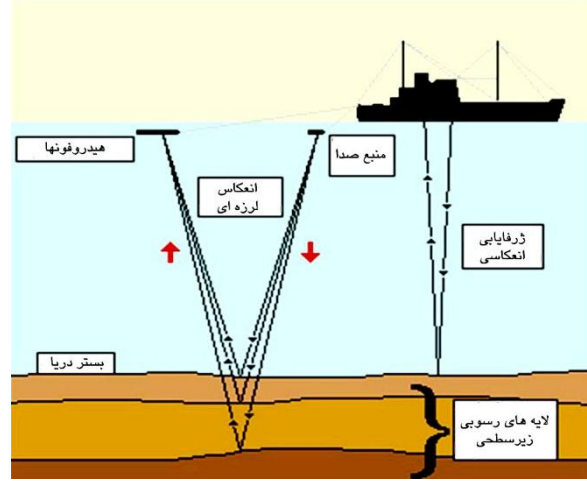
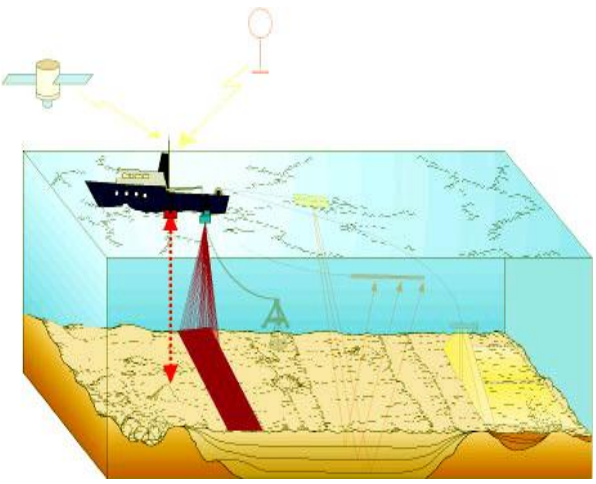
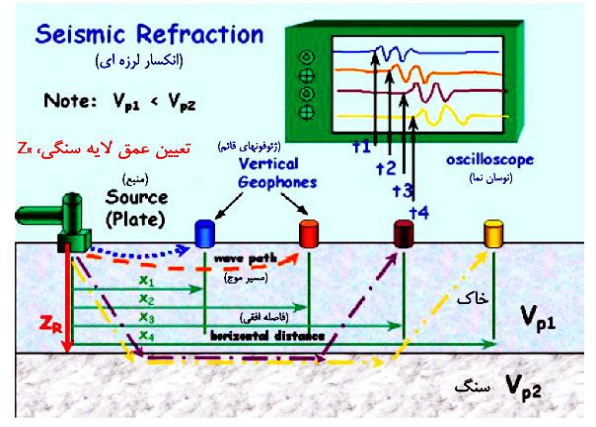
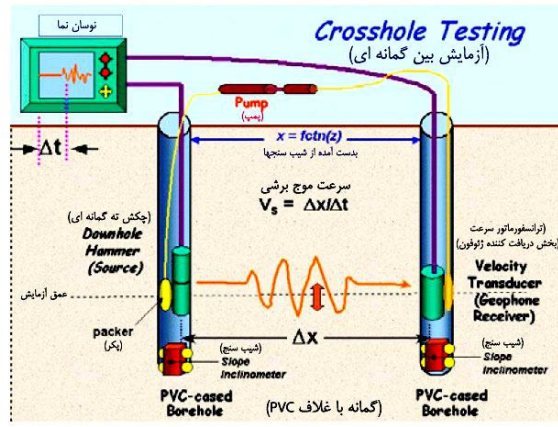
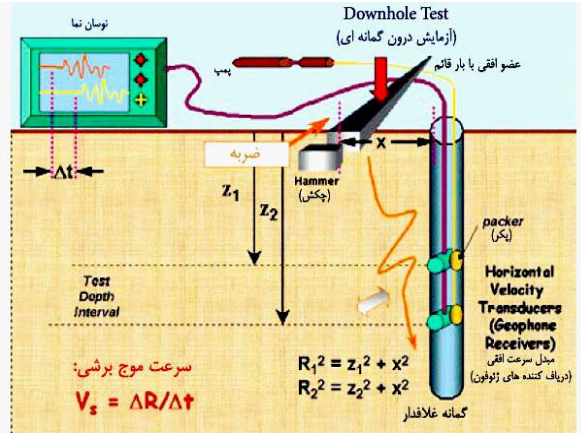


گرایش های مهندسی ژئوتکنیک

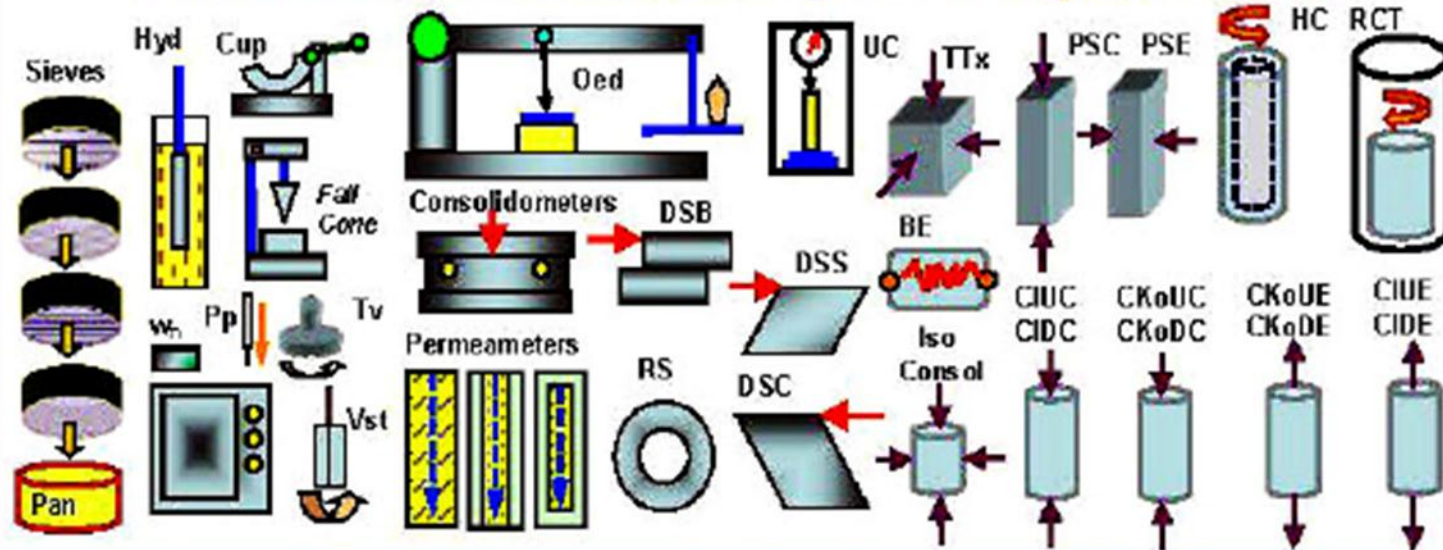
# گامهای انجام مطالعات ژئوتکنیک

- ۱- جمع آوری اطلاعات اولیه (Data Collection)
- ۲- بازدید از سایت و انجام آزمایشات غیر مخرب (Site Visit)
- ۳- عملیات حفاری، نمونه گیری و آزمایشات درجا (Drilling Operations)
- ۴- تستهای آزمایشگاهی (Laboratory Tests)
- ۵- تهیه گزارش ژئوتکنیکی (Geotechnical Report)
- ۶- ابزار گذاری و پایش (Instrumentation and Monitoring)

**قضاوت مهندسی (Engineering Judgment)**



## Mechanical Laboratory Testing Methods



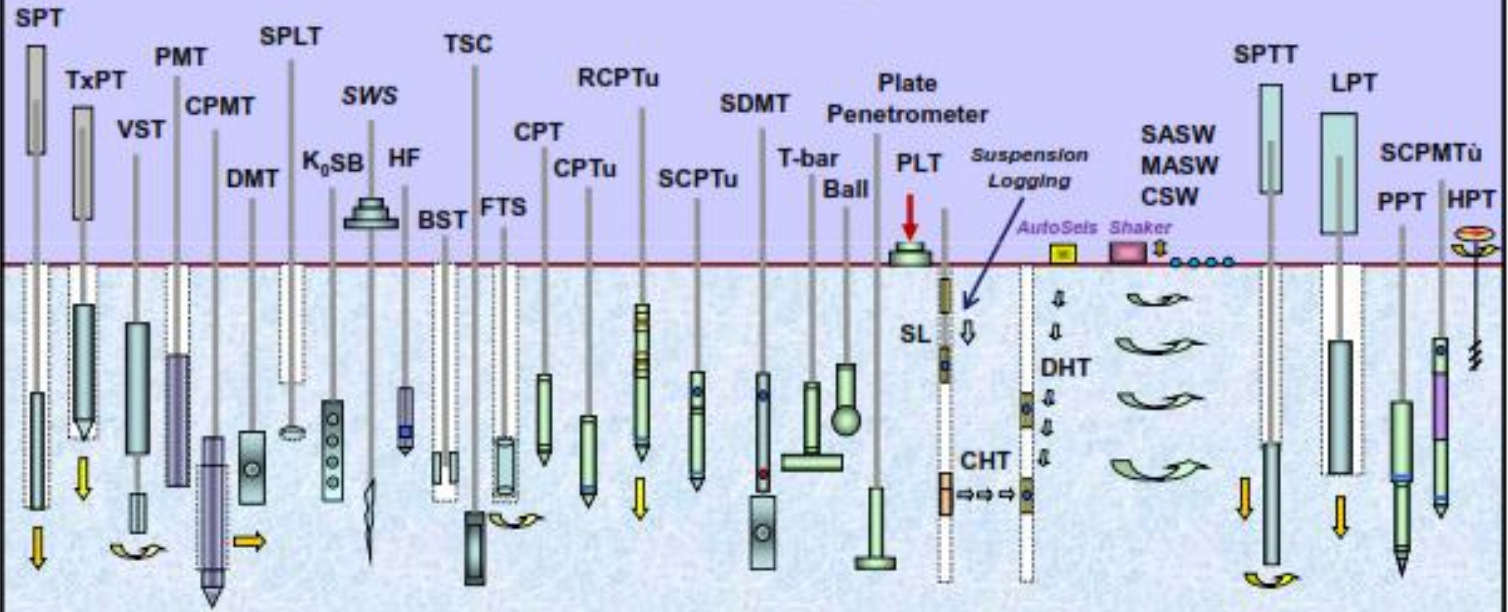
Grain size analyses  
 Hydrometer  
 Water content by oven  
 Liquid limit cup  
 Plastic limit thread  
 Fall cone device  
 Pocket penetrometer  
 Torvane  
 Unconfined compression  
 Miniature vane  
 Digital image analysis

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

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



# In-Situ Testing Methods



Standard Penetration Test  
 Texas Penetration Test  
 Vane Shear Test  
 Pressuremeter Test  
 Cone Pressuremeter  
 Dilatometer Test  
 Screw Plate Test  
 K<sub>0</sub> Stepped Blade  
 Swedish Weight Sounding  
 Hydraulic Fracture  
 Borehole Shear Test

Total Stress Cell  
 Freestand Torsional Shear  
 Cone Penetration Test  
 Piezocone Penetration  
 Resistivity Piezocone  
 Seismic Cone  
 Seismic Flat Dilatometer  
 T-Bar Penetrometer  
 Ball Penetrometer  
 Plate Penetrometer  
 Plate Load Test

Suspension Logger  
 Crosshole Geophysical Test  
 Downhole Test  
 Spectral Analysis of Surface Waves  
 Modal Analysis (Rayleigh Waves)  
 Continuous Surface Waves  
 Standard Penetration Test with Torque  
 Large Penetration Test  
 PiezoProbe Test  
 Seismic Piezocone Pressuremeter  
 Helix Probe Test

ضرورت کاربرد ابزار دقیق و مزایای استفاده از سیستم مانیتورینگ و پایش:

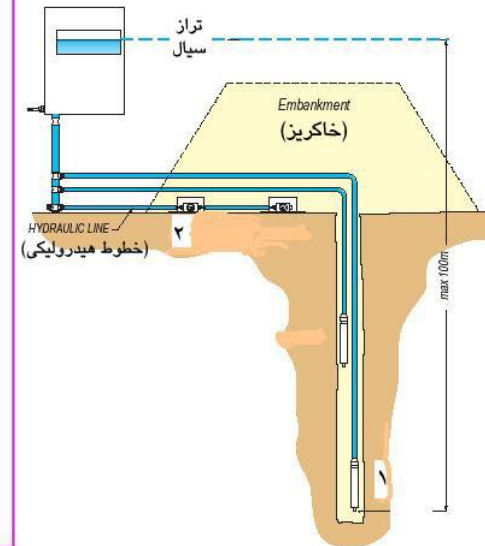
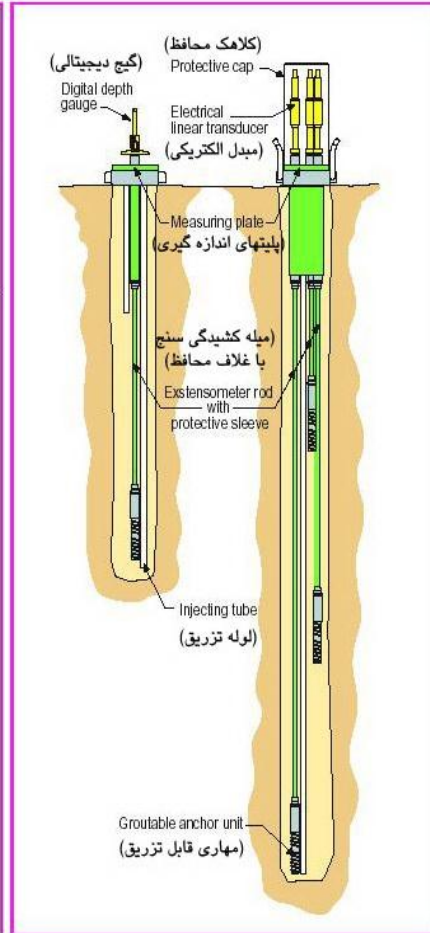
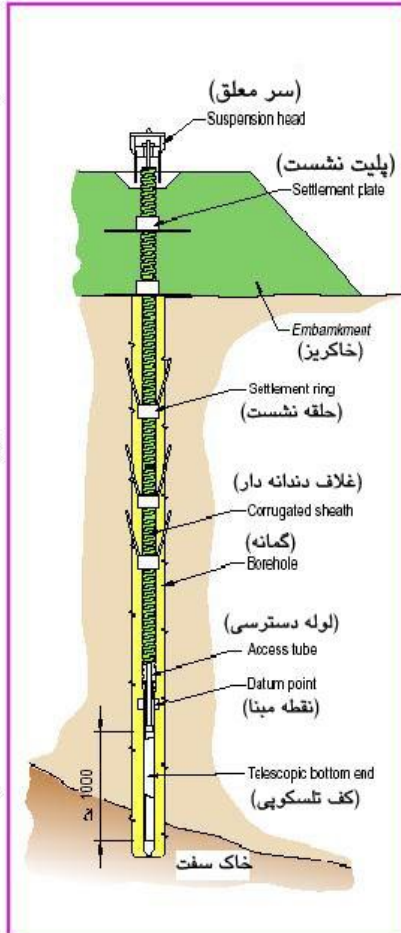
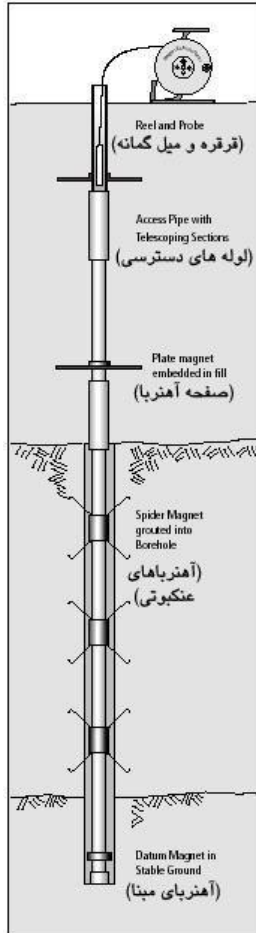
- کاهش هزینه ها

- تقلیل ضریب اطمینان

- تغییر در طرح

- کنترل روند عملیات

- ایمنی



کشش سنج مغناطیسی جهت اندازه گیری نشست

کشیدگی سنج میل‌های

## انواع روش های مدل سازی فیزیکی

مدل سازی با دستگاه  
فشار همه جانبه  
مخروطی



مدل سازی با  
دستگاه  
سانتریفیوژ



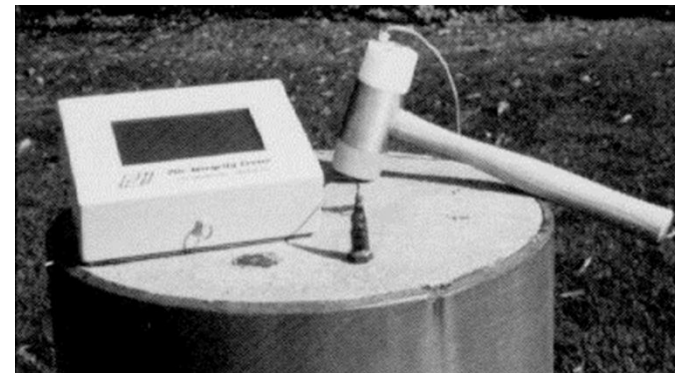
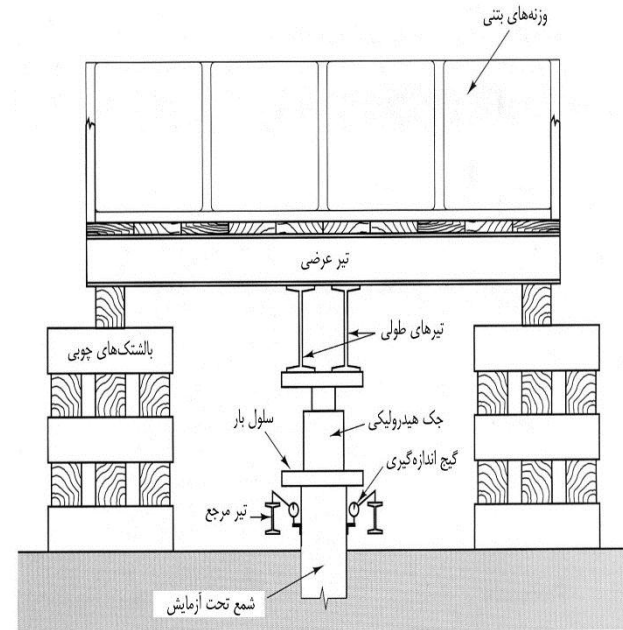
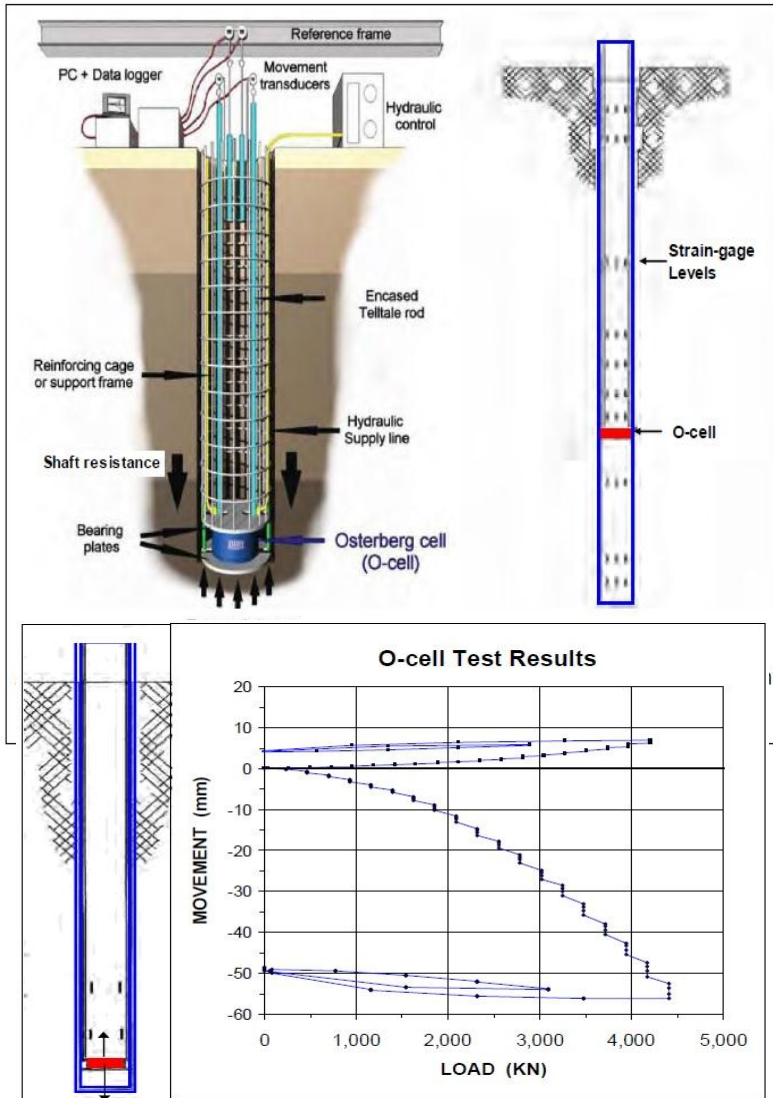
مدل سازی با  
محفظه کالیبره



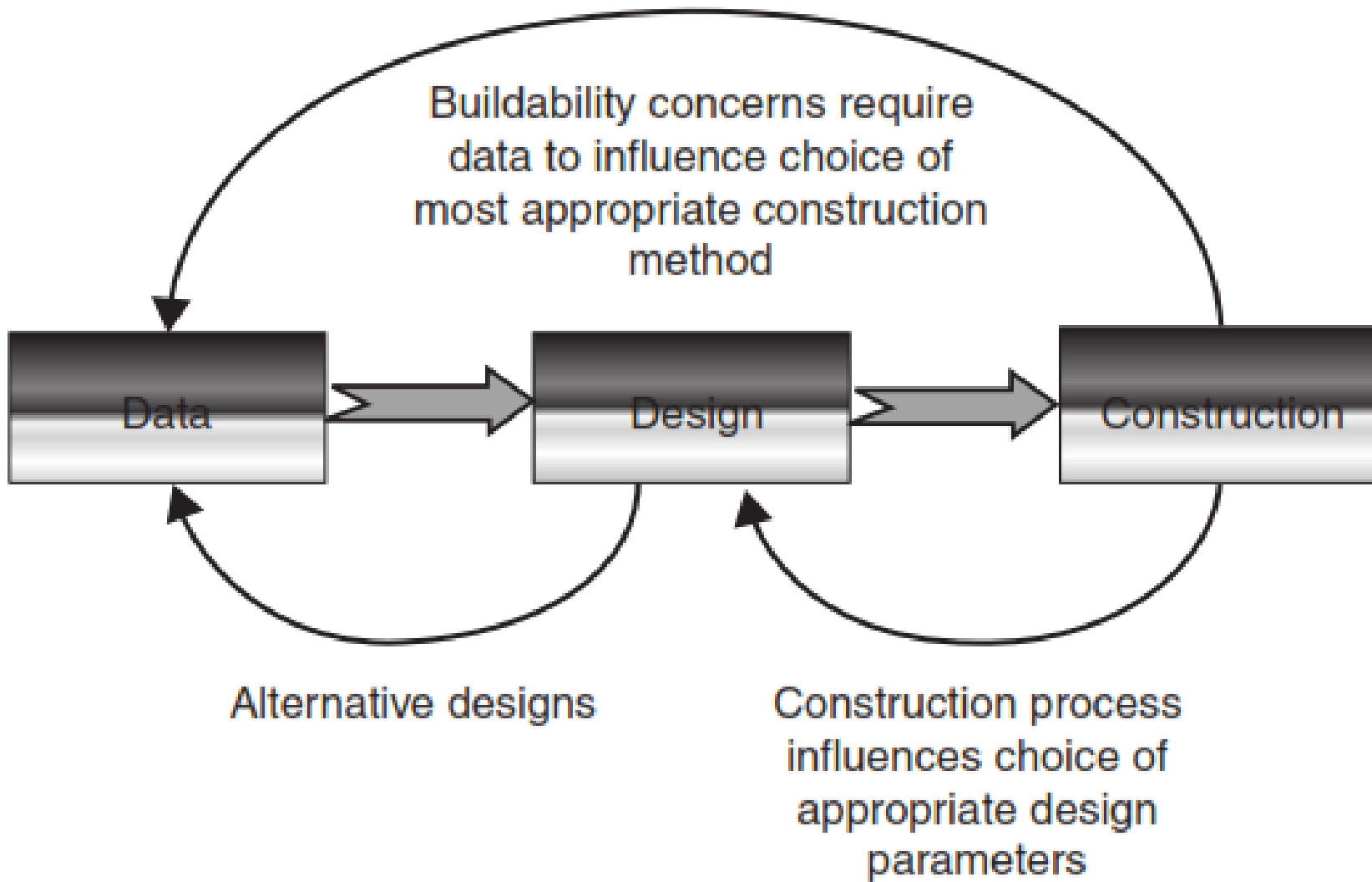
مدل سازی 1g



## بارگذاری مستقیم به صورت استاتیکی و دینامیکی



چرخه داده ها، طراحی و ساخت



## Is One Number Enough???

$c_u$  = undrained strength

$\gamma_T$  = unit weight

$I_R$  = rigidity index

$\phi'$  = friction angle

OCR = overconsolidation

$K_0$  = lateral stress state

$e_o$  = void ratio

$V_s$  = shear wave

$E'$  = Young's modulus

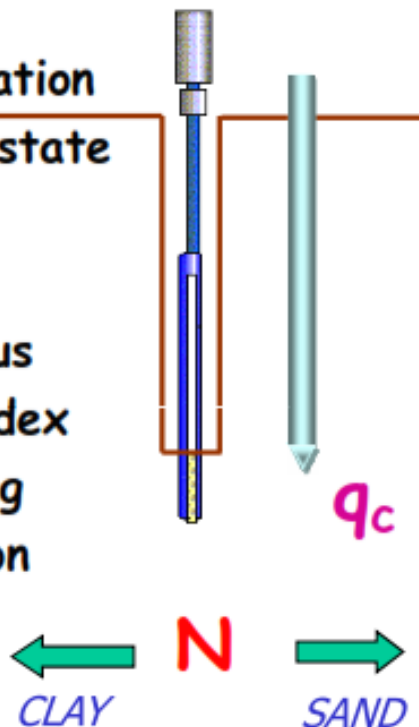
$C_c$  = compression index

$q_b$  = pile end bearing

$f_s$  = pile skin friction

$k$  = permeability

$q_a$  = bearing stress



$D_R$  = relative density

$\gamma_T$  = unit weight

LI = liquefaction index

$\phi'$  = friction angle

$c'$  = cohesion intercept

$e_o$  = void ratio

$q_a$  = bearing capacity

$\sigma_p'$  = preconsolidation

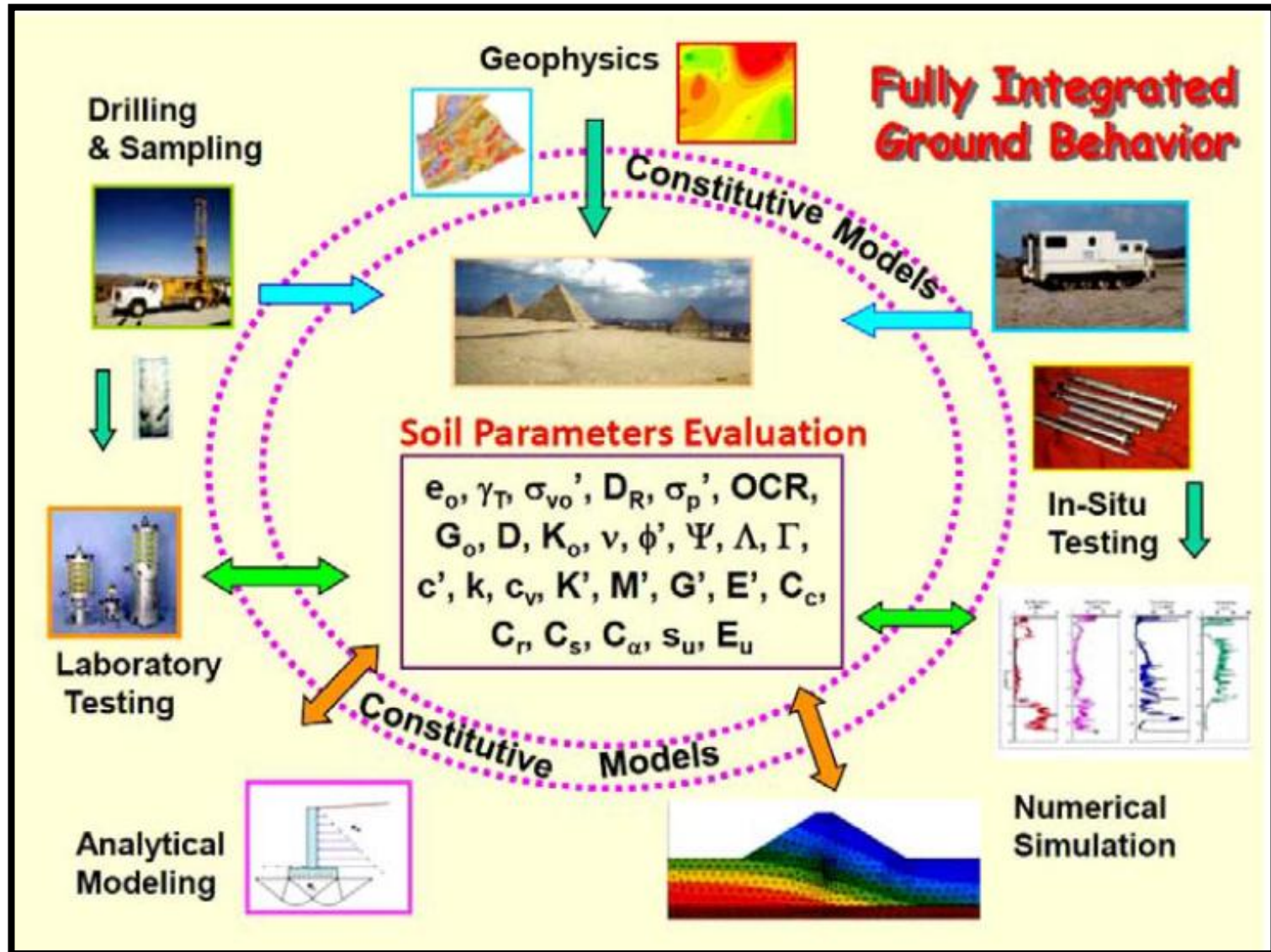
$V_s$  = shear wave

$E'$  = Young's modulus

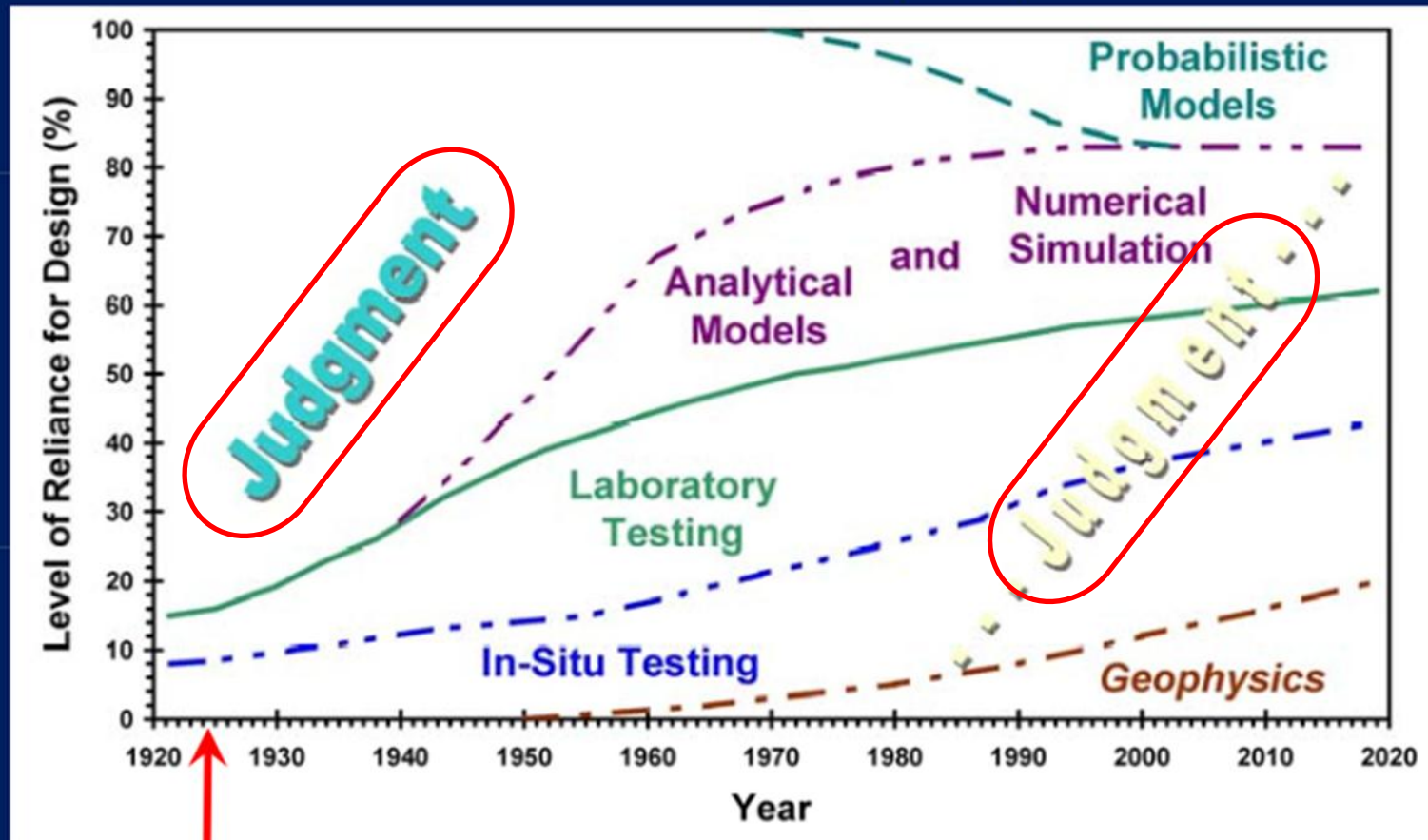
$\Psi$  = dilatancy angle

$q_b$  = pile end bearing

$f_s$  = pile skin friction



## Evolution of Geotechnical Site Characterization Modified after Lacasse (1985)





## مورد عملی شماره ۱۰ – برج - Torre Latino Americana- مکزیک ( Coduto, 2001 )

- ساخت برج ۴۳ طبقه در شهر مکزیکوسیتی
- نمونه ای از کاربرد روشهای نوین در خاکهای مسئله دار

### پروفیل خاک محل برج Torre Latino Americana

عمق (متر)	نوع و شرایط خاک
۰-۵/۵	خاکریزهای قدیمی - سطح آب در ۲ متری
۵/۵-۹/۱	نهشته های becarra - ماسه، لای و رس
۹/۱-۳۳/۵	رس tacubaya و لکانیک نرم $Cc= 4-10$ رطوبت ۱۰۰ تا ۴۰۰ درصد , $Su=35-70$ KPa
۳۳/۵-۷۰	نهشته های ماسه ای متراکم tarango

## مورد عملی شماره ۱۰ – برج - Torre Latino Americana- مکزیک (Coduto, 2001)

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

از جنبه های جالب توجه در این پروژه:

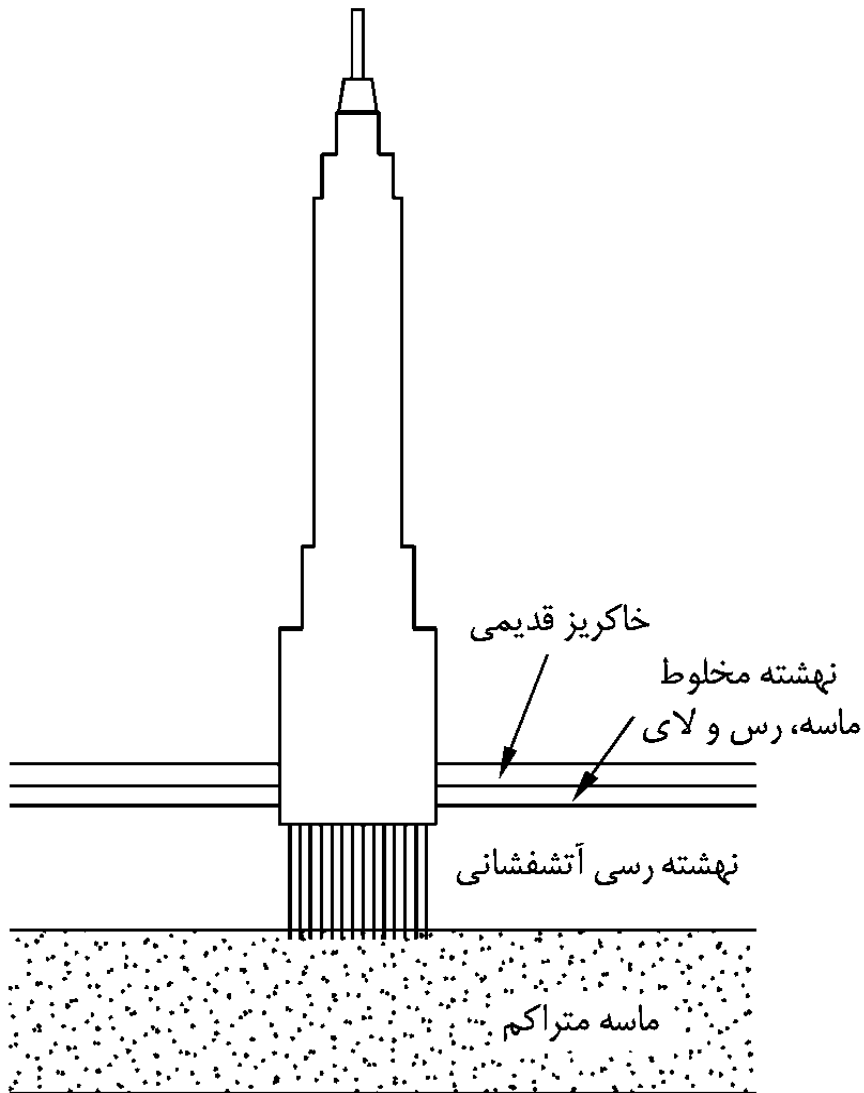
مطالعات ژئوتکنیک در شناخت خاک مساله دار می‌ان لایه

جنبه های بهینه بکارگیری پی های شناور

اهمیت شمعه‌های اتکایی

نشست ها در محدوده مجاز

# مورد عملی شماره ۱ - برج Torre Latino Americana - مکزیک (Coduto, 2001)



۲- مهندسی پی

# Foundation Engineering

□ پروژه های عمرانی:

Super Structure

❖ روسازه

Sub Structure

❖ زیرسازه

□ زیرسازه در تماس با خاک و در روند انتقال بارسازه به زمین مشارکت دارد.  
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 می باشد.

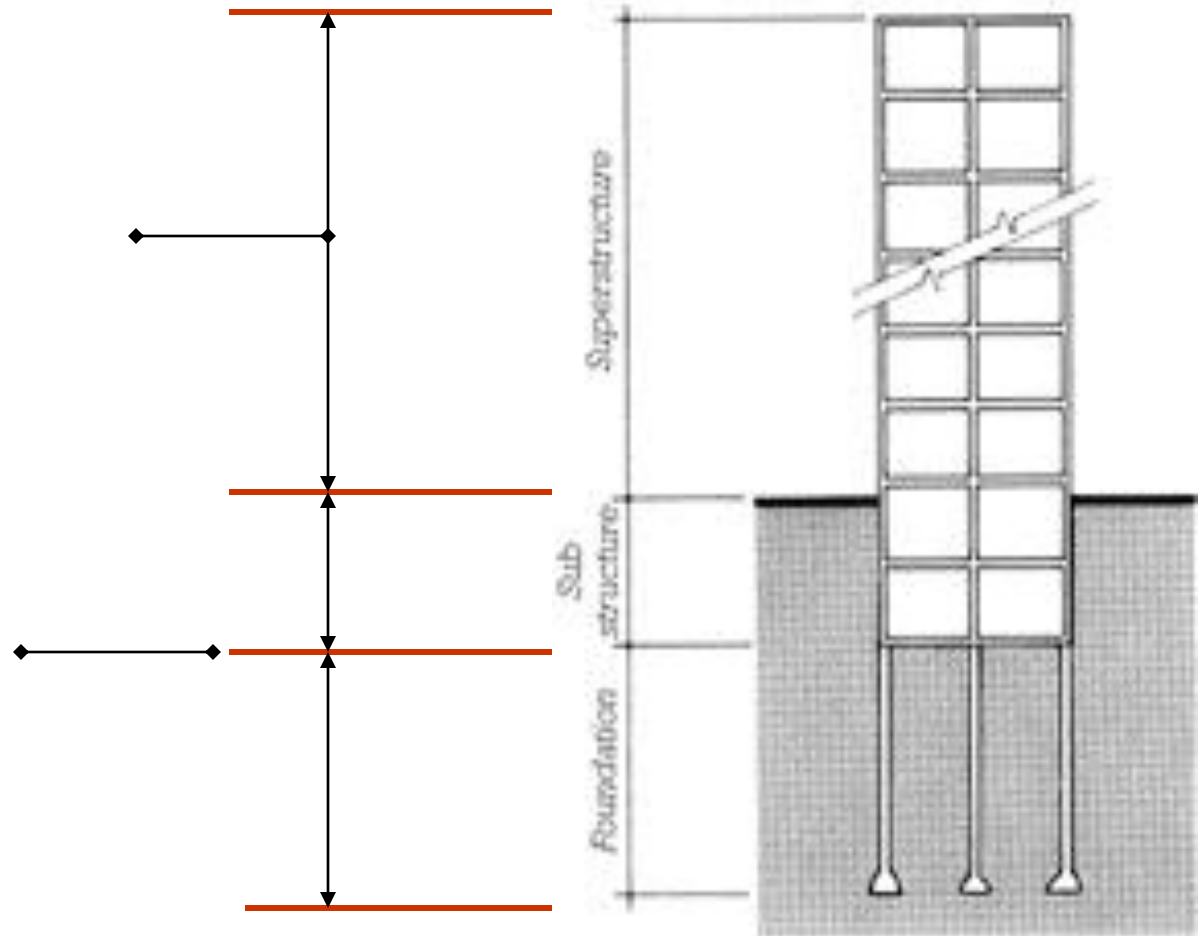
Structural, Geotechnical and Construction

Knowledge Based, Construction Technology, Optimization

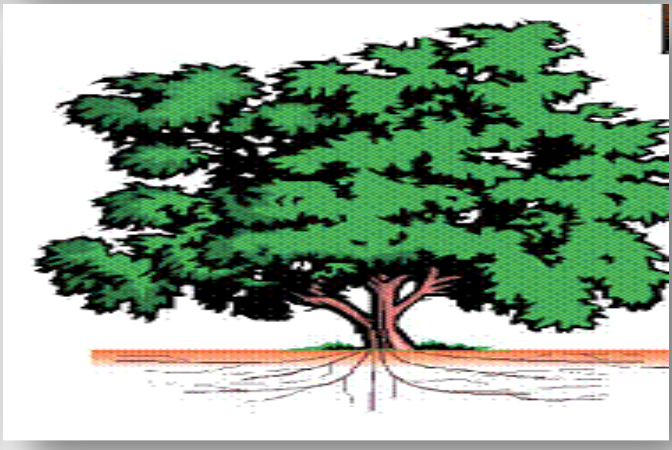
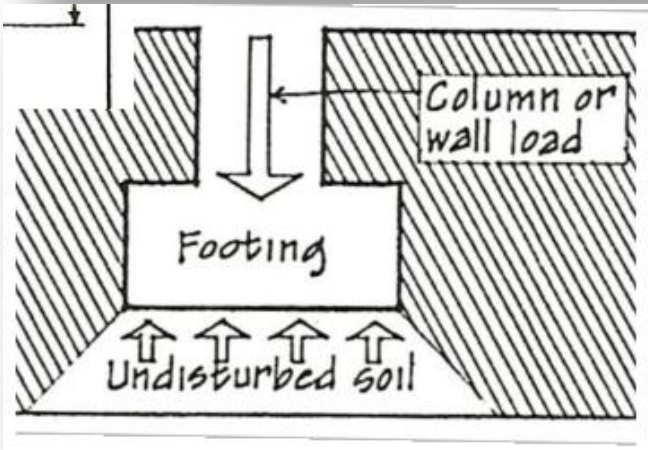
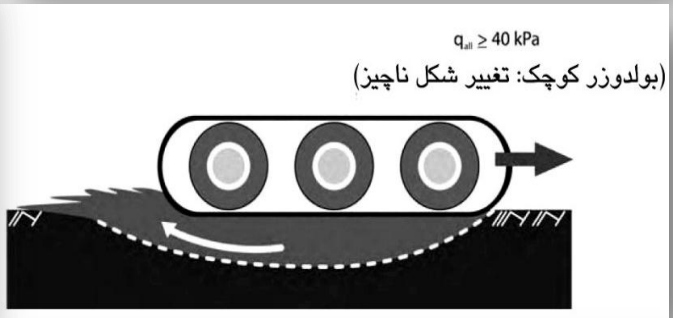
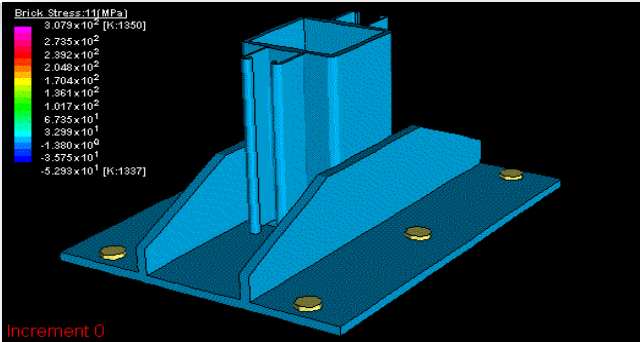
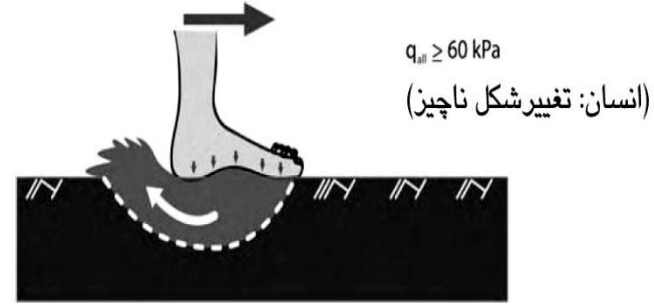
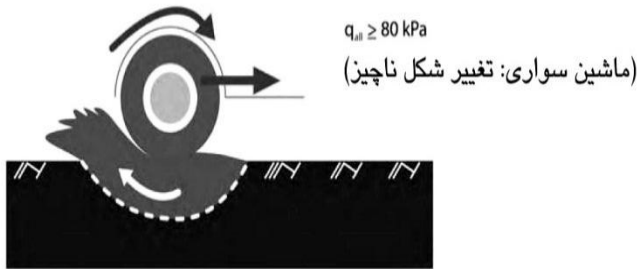
# Major Building Parts

Superstructure

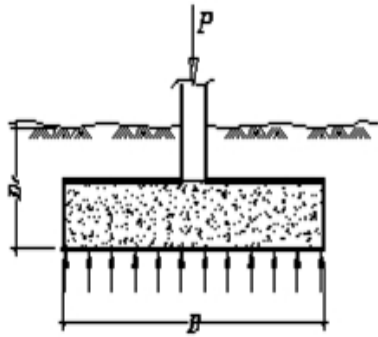
Substructure &  
Foundation



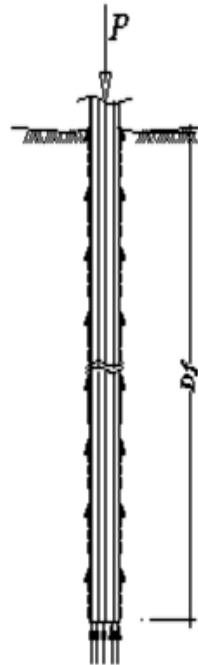
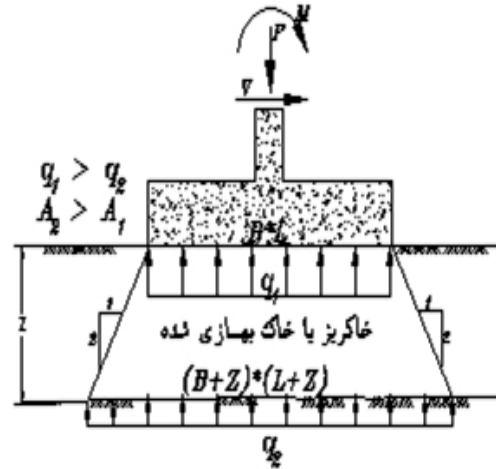
# فونداسیون‌ها در مهندسی عمران



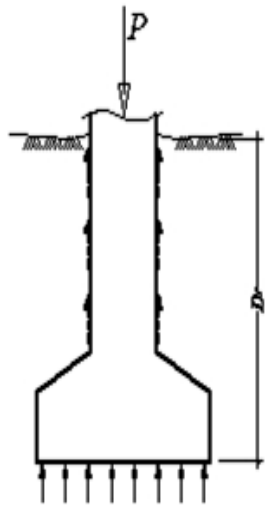
# سیستم‌های پی سازی



پی سطحی  $D < B$



پی عمیق  $D_p > 10B$



پی نیمه عمیق  $4B < D_p < 10B$

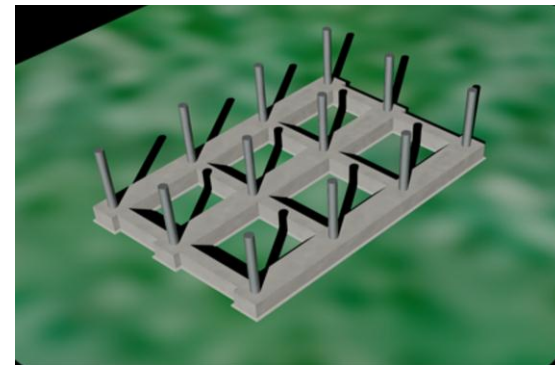
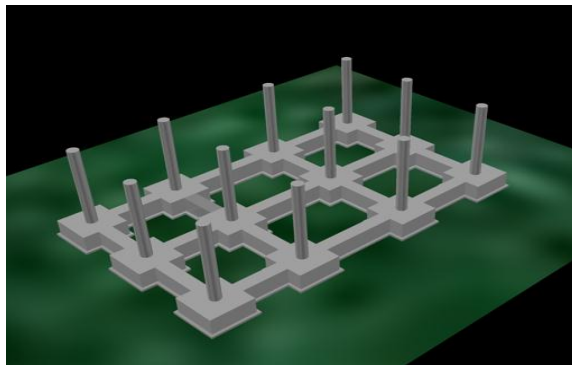
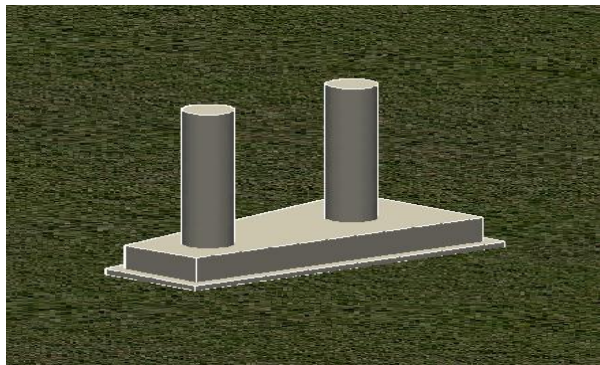
پی های سطحی

بهسازی

پی های نیمه عمیق

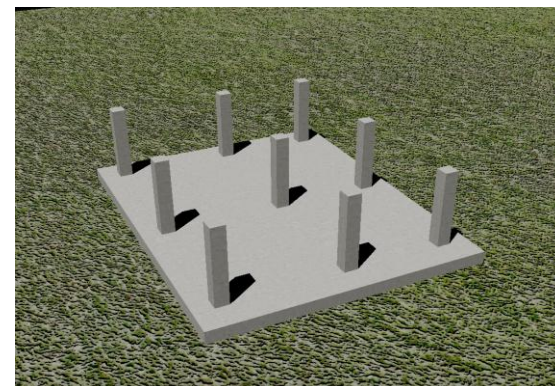
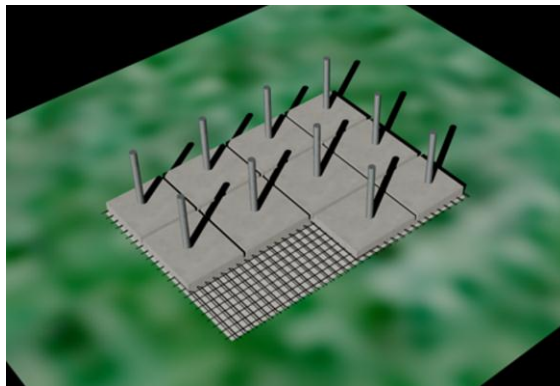
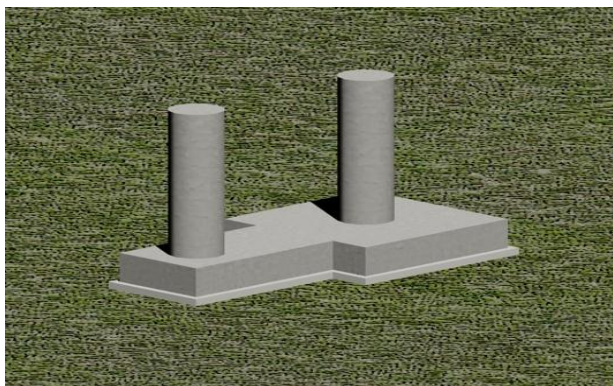
پی های عمیق





پی های منفرد با شناژ

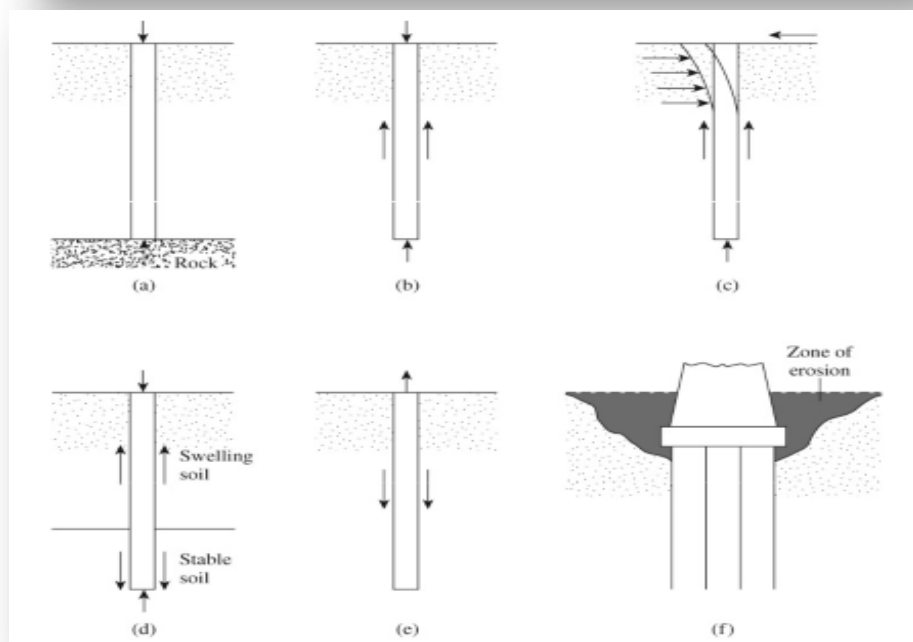
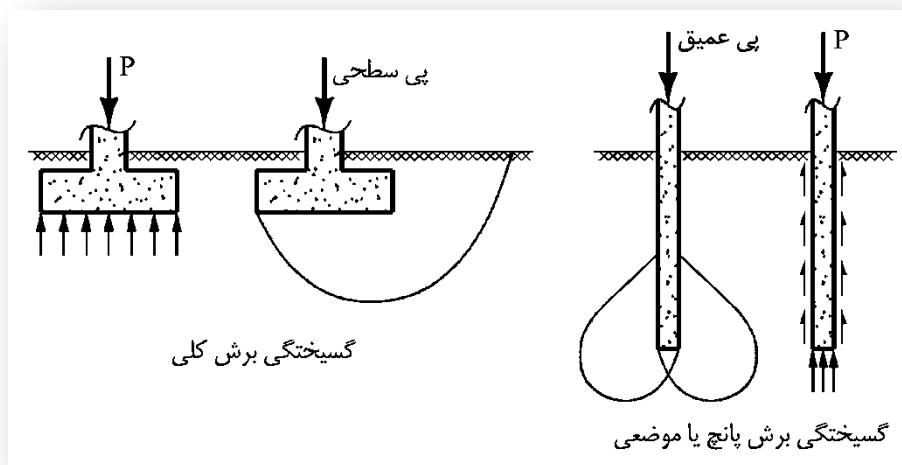
پی های شبکه ای

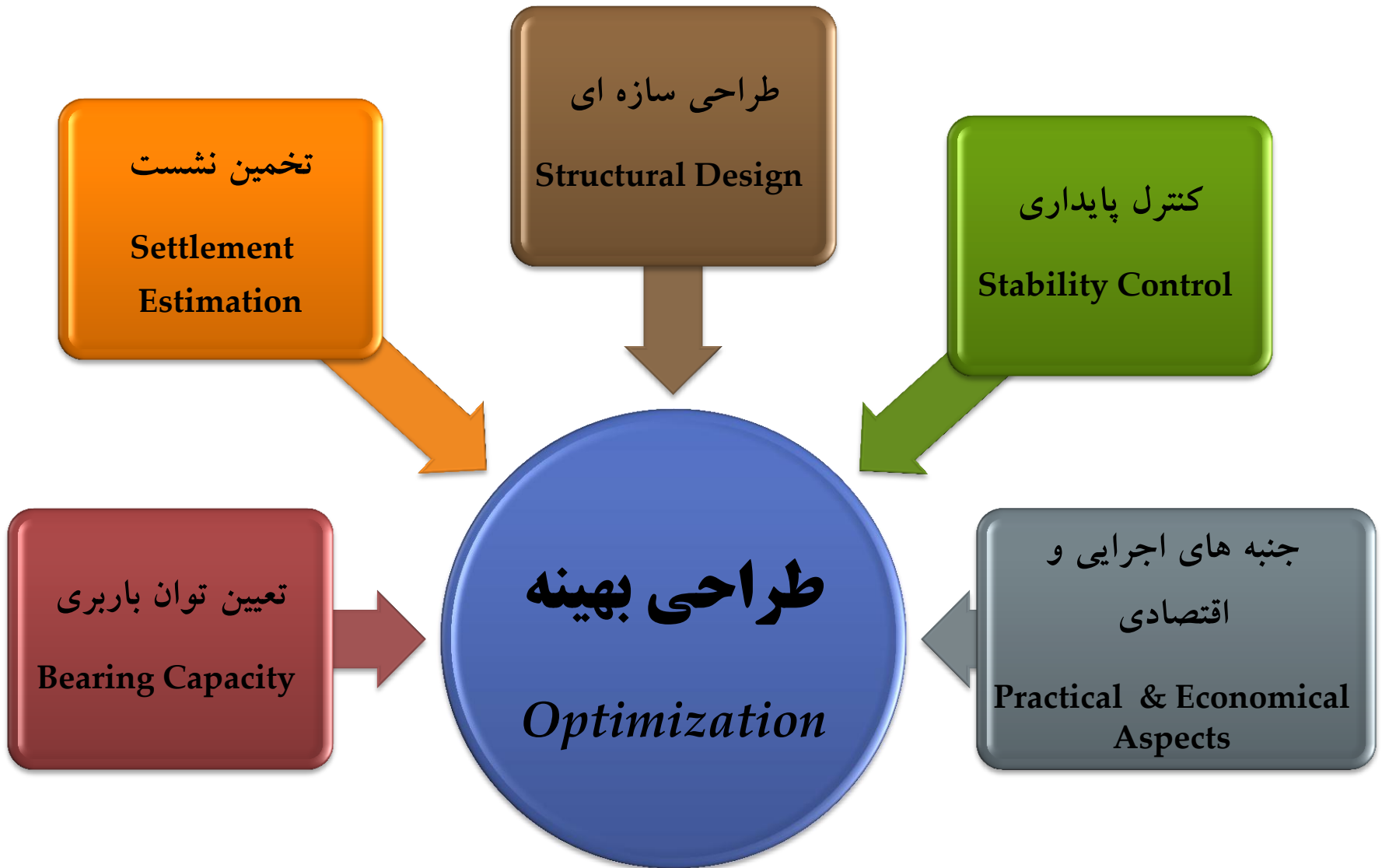


پی های مرکب دو ستونی

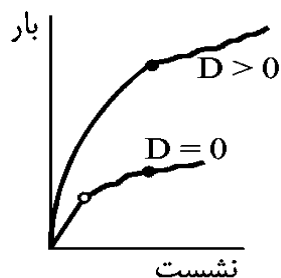
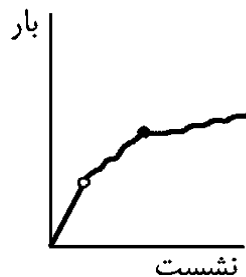
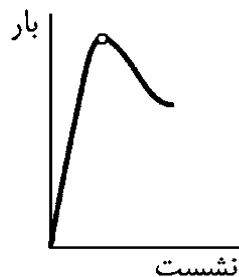
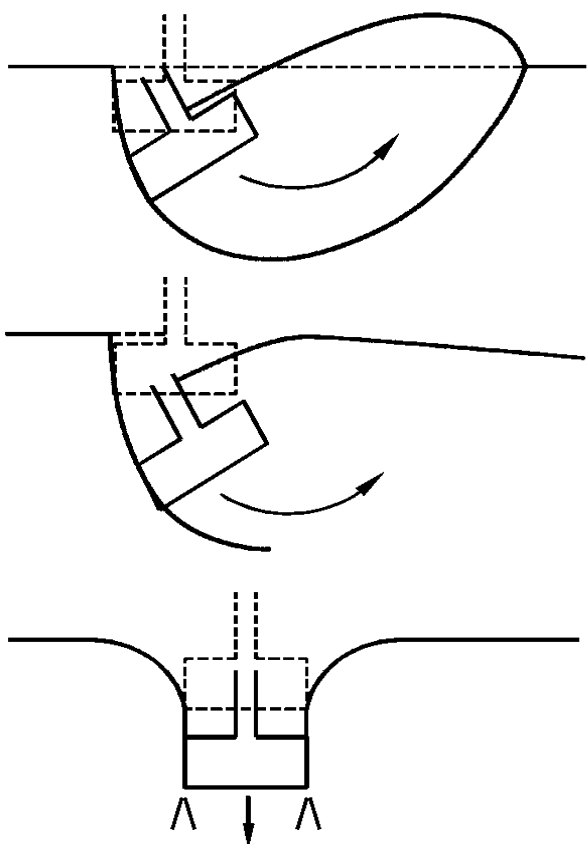
پی منفرد چسبان

پی های رادیه





# ظرفیت باربری پی های سطحی



• آنالیز استاتیکی

• روشهای مکمل

• کدها و آیین نامه های معتبر

• آزمایش های بارگذاری

• روشهای عددی

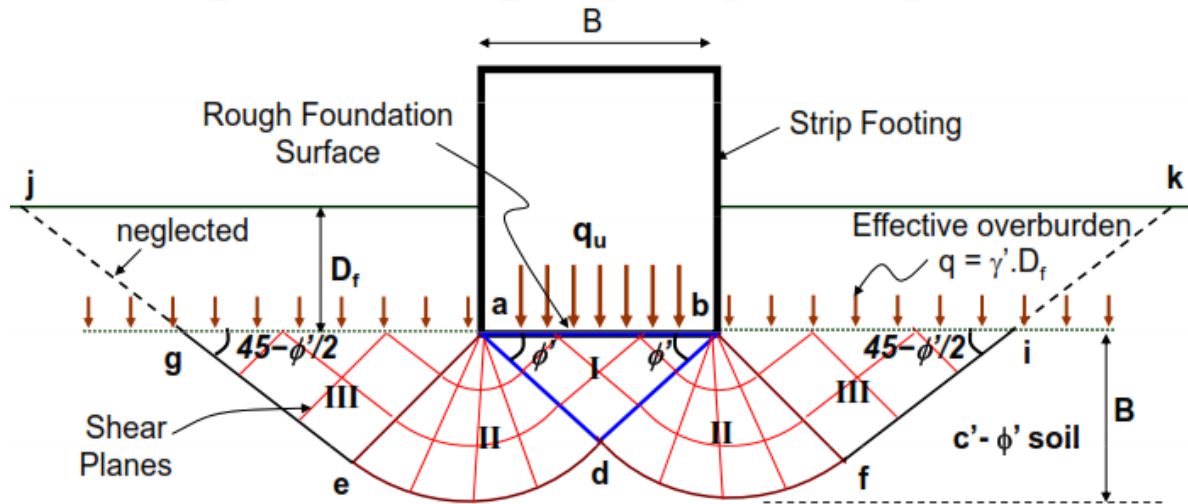
مکانیزم مختلف گسیختگی خاک زیر پی های سطحی به همراه نمودارهای بار - جابجائی، با توجه به نوع خاک زیر پی، عمق استقرار، و شکل پی

# رابطه پایه ظرفیت باربری

در تعیین توان باربری علاوه بر پارامترهای خاک از قبیل چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، و وزن مخصوص، پارامترهای مربوط به هندسه پی شامل عرض پی و عمق استقرار نیز مطرح می باشند. در واقع توان باربری، فشار خاک در اندرکنش با هندسه پی است.

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

## Terzaghi's Bearing Capacity Theory



$$q_{ult} = CN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q}N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

# عوامل موثر در توان باربری فونداسیون

- شرایط خاک :

نوع خاک  
شرایط تراکم  
پارامترهای مقاومت برشی

- هندسه پی:

## عمق استقرار

طول  
عرض  
ضخامت

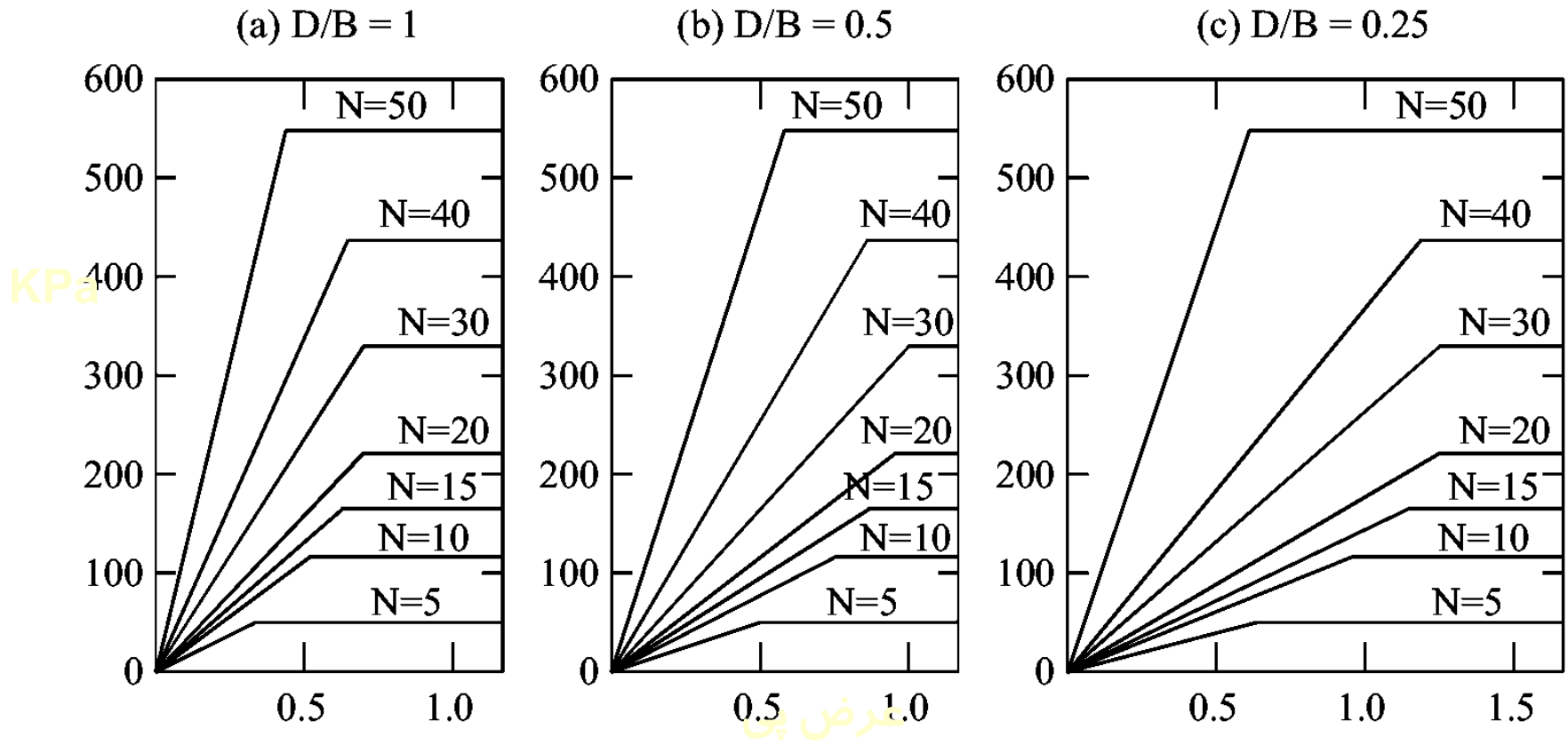
- شرایط محیطی :

## محصورشدگی

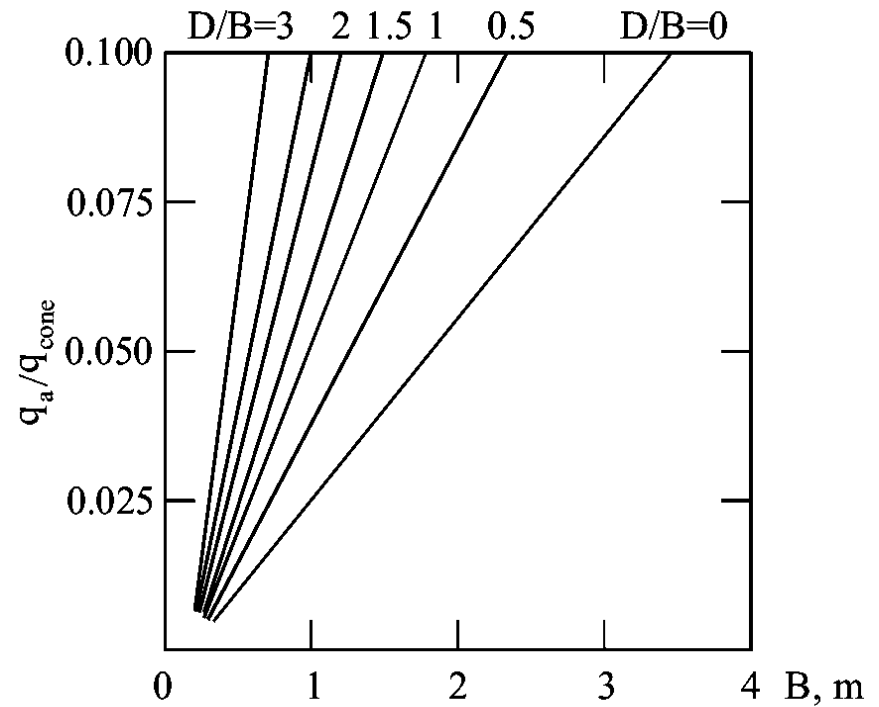
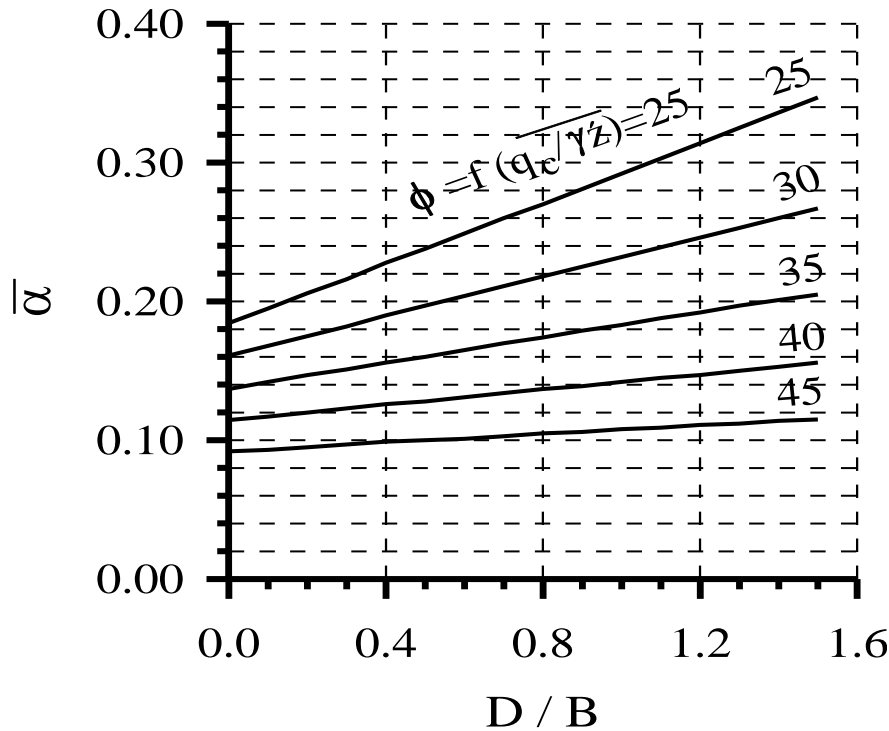
آب زیرزمینی  
بارگذاری  
هندسه زمین

# تعیین ظرفیت باربری خاکها توسط آزمایشات درجا

## استفاده از نتایج SPT



تعیین ظرفیت باربری خاکها با استفاده از نتایج SPT



تعیین ظرفیت باربری پی های سطحی به  
کمک نتایج CPT  
(اسلامی و غلامی، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۵)

تعیین ظرفیت باربری پی های سطحی  
به کمک نتایج CPT (CFEM, 1992)



# تعیین توان باربری با استفاده از توصیه های منابع

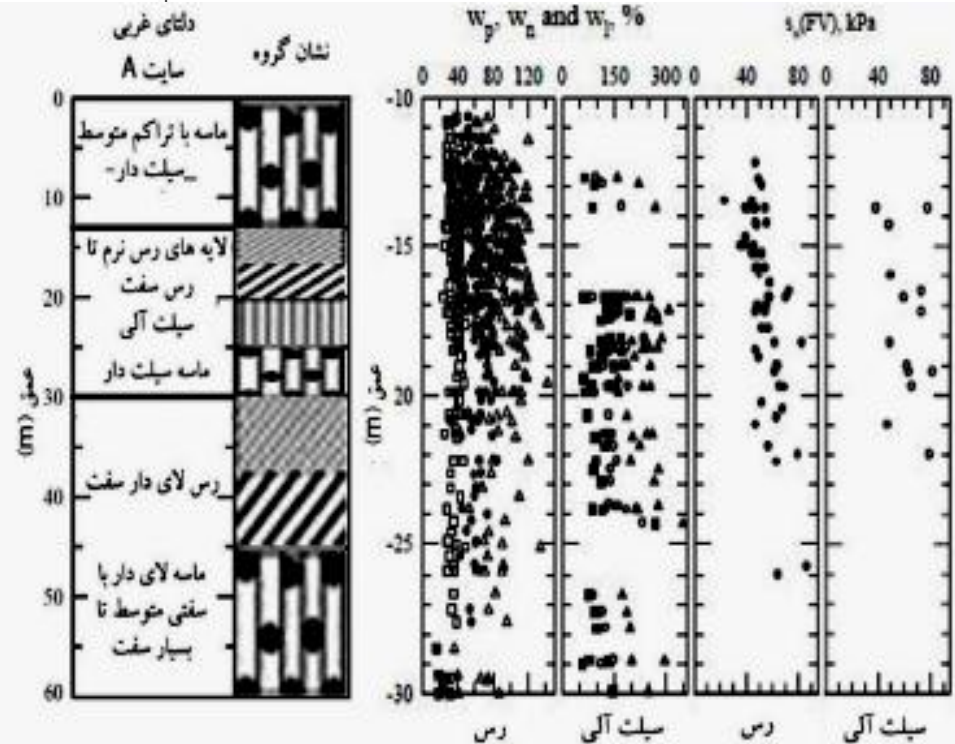
نوع سنگ یا خاک	$q_a$ ( kg /cm <sup>2</sup> )
*الف - سنگها :	
- سنگهای آذرین سخت و بدون هوازدگی	۱۰۰
- ماسه سنگ و آهک سنگهای سخت	۴۰
- شیستها	۳۰
- شیلهای سخت و سنگهای نرم	۲۰
- شیلهای نرم	۱۰ - ۶
- سنگهای آهکی نرم	۶
*ب - خاکهای غیر چسبنده :	
- شن متراکم یا شن و ماسه متراکم	بزرگتر از ۶
- شن و ماسه با تراکم متوسط	۶ - ۲
- شن و ماسه شل	کوچکتر از ۲
- ماسه متراکم	بزرگتر از ۳
- ماسه با تراکم متوسط	۳ - ۱
- ماسه شل $N < ۱۰$	کوچکتر از ۱
*ج - خاکهای چسبنده : (در مقابل نشستهای تکریزی حساسند)	
- رسهای خیلی سفت و سخت	۳ - ۶
- رسهای سفت	۱/۵ - ۳
- رسهای متوسط	۱/۵ - ۱/۷۵
- رسهای نرم	کوچکتر از ۱/۷۵
- رسهای خیلی نرم	قابل استفاده
- خاکی آلی	غیر قابل اعتماد
- خاک دستی	باید اندازه گیری شود

$$q_s = \frac{q_{ult}}{SF}$$

فاکتور	محدوده تغییرات
نوع خاک	ریز دانه ← درشت دانه
اطلاعات مطالعات ژئوتکنیک	مفصل ← محدود
تغییرات خاک (بلان و پروفیل)	پگنولخت ← متنوع
اهمیت سازه و عواقب انهدام پی	کم ← زیاد
احتمال اعمال بارهای غیر عادی	کم ← زیاد
تغییرات ضریب اطمینان	2 ←

## (الف)

(الف) محدوده تغییرات ضریب اطمینان در مهندسی پی برای شرایط مختلف، (ب) نمونه ای از لوگ گمانه



## (ب)

$$S = KqB/E$$

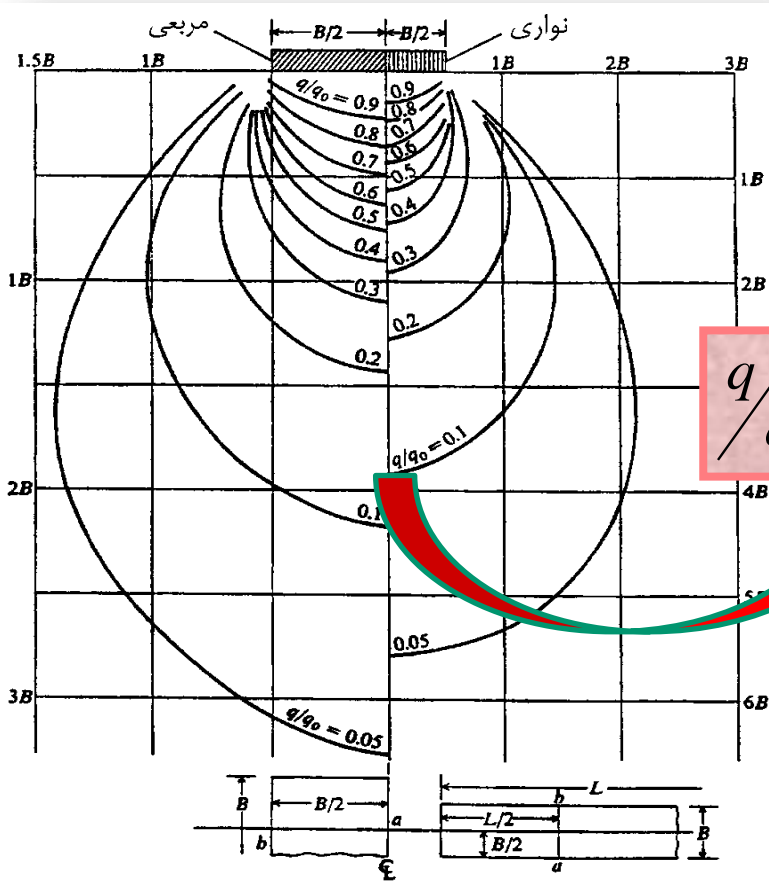
## عوامل موثر در بروز نشست

❖ عرض پی

❖ پارامتر سختی و مشخصات تراکم پذیری

❖ شدت بار

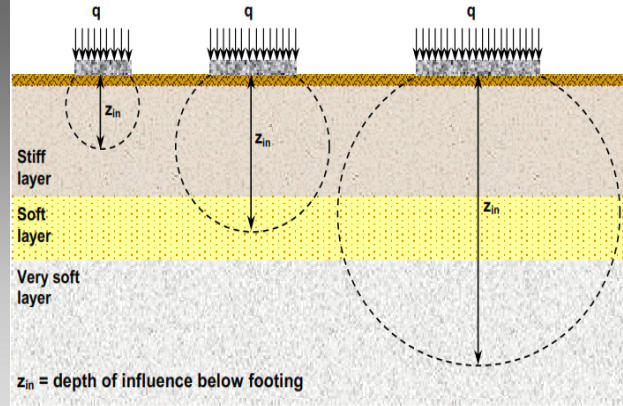
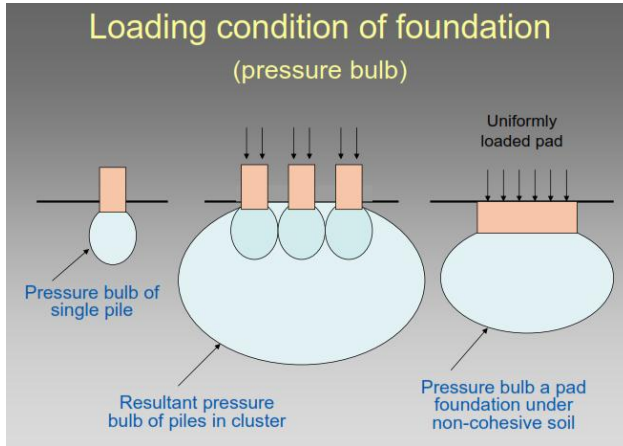
❖ عمق استقرار



$$q/q_0 = 10\%$$

نقاط هم تنش در عمق و در زیر پی های  
مربعی و نواری بر اساس روابط بوسینسک

# نشست پی های سطحی

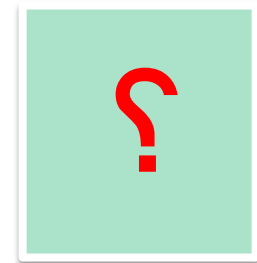
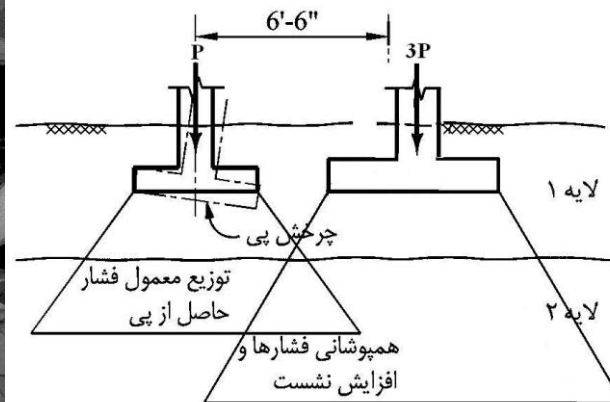


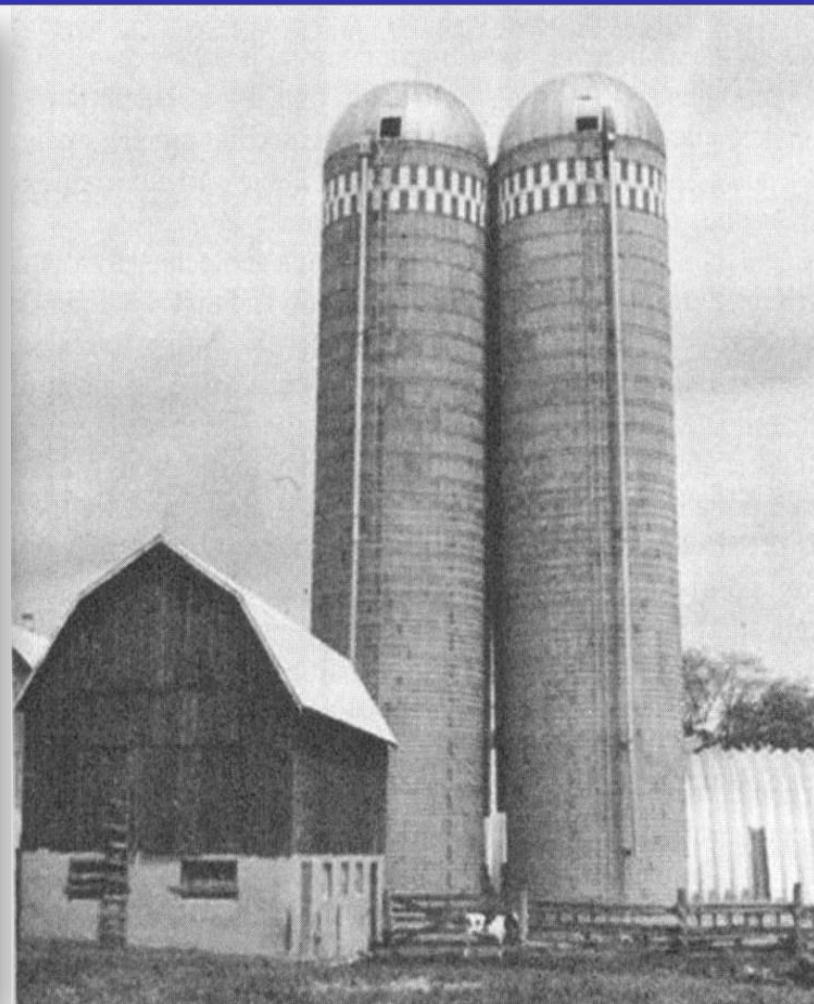
همجواری سازی

نشست های القایی

گودبرداری در مجاورت پروژه

بارهای دینامیکی





نمونه ای از نشست غیر یکنواخت در زیر سازه ها

## طراحی سازه ای – عوامل موثر در صلبیت و انعطاف پذیری پی

- مدول عکس العمل بستر
- اثر فاصله بین دو ستون
- مدول الاستیسیته خاک
- ضخامت پی
- مدول الاستیسیته بتن
- طول نوار پی
- اختلاف بار ستونها
- اثر رو سازه
- ممان اینرسی پی

# طراحی سازه ای - عوامل موثر در صلبیت و انعطاف پذیری پی

## • روش اول :

۱- میانگین طول دو دهانه مجاور کمتر از  $1.75/\lambda$  باشد که :

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s B}{4EI}}$$

۲- طول دو دهانه مجاور و نیز بار ستونهای مجاور بیش از ۲۰ درصد مقدار بزرگتر تفاوت نداشته باشند.

## • روش دوم:

•  $\lambda L$  بعنوان شاخصی که بتوان از روی آن صلبیت و انعطاف پذیری پی را تعیین تکلیف نمود بقسمی که اگر :

$\lambda L < \pi/4$  پی صلب

$\lambda L > \pi$  پی انعطاف پذیر

## طراحی سازه ای – عوامل موثر در صلبیت و انعطاف پذیری پی

• روش سوم:

$$\bar{K} = \frac{1}{12} \left( \frac{E_c}{E_s} \right) \left( \frac{t}{L} \right)^3$$

$$\bar{K} > 0.5 \Rightarrow$$

پی صلب

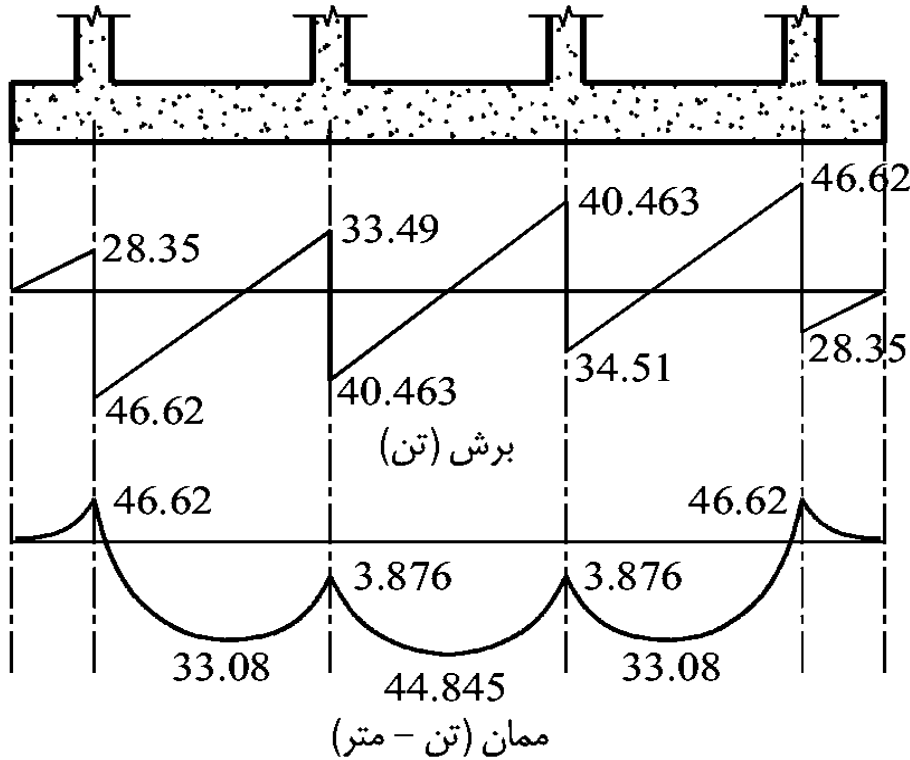
$$\bar{K} < 0.5 \Rightarrow$$

پی انعطاف پذیر

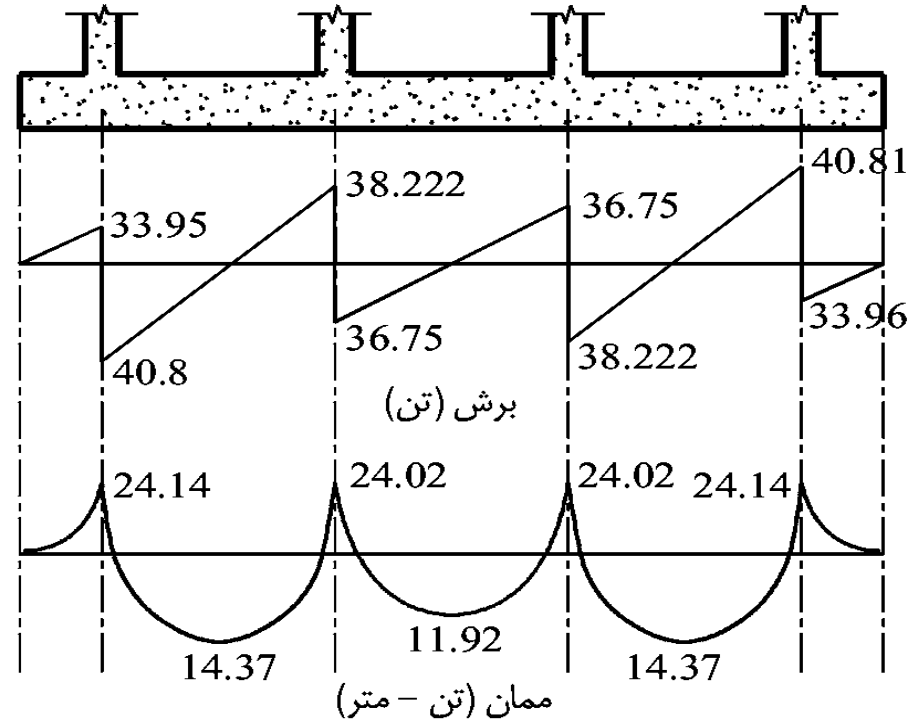


# آنالیزی نواری با استفاده از برنامه SAFE

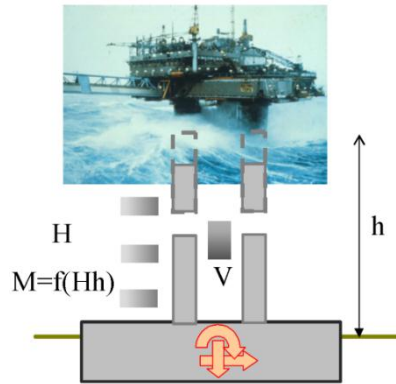
## حالت صلب



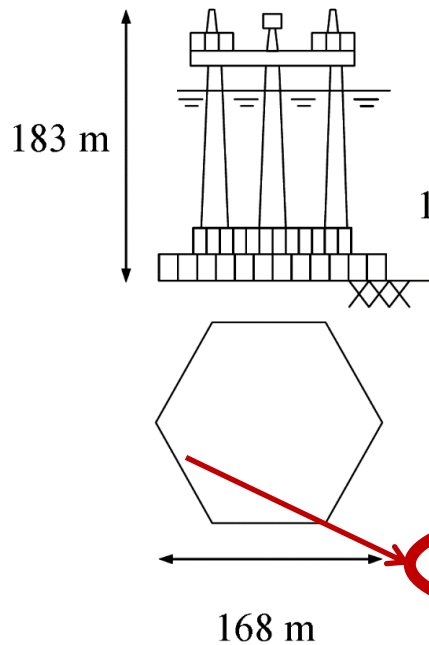
## حالت انعطاف پذیر



Self-weight of superstructure and foundation system + (V)  
 Wind & wave & current forces acting on legs (H, M)  
 = VMH foundation loads



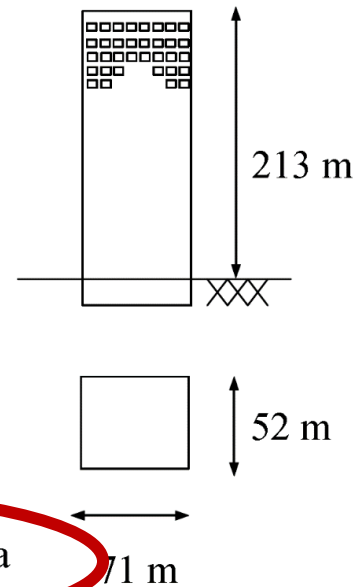
ضعف پی های سطحی در مقابل بارهای جانبی، لنگر و برکنش



maximum storm loads  
 2006 MN V 1500 MN  
 495 MN H 29 MN  
 18850 MNm M 3255 MNm  
 35% extra V  
 1600% extra H  
 500% extra M

foundation plan  
 9173 m<sup>2</sup> A 3692 m<sup>2</sup>

150% bigger foundation area



Taywood Seltrust

One Shell Plaza  
Houston

## Predicted and Measured Behavior of Five Spread Footings On Sand

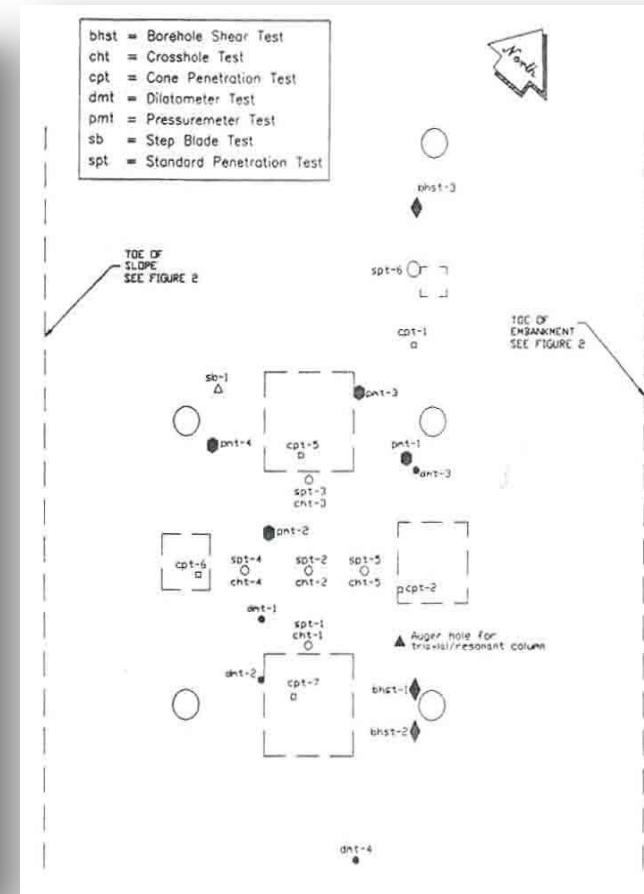
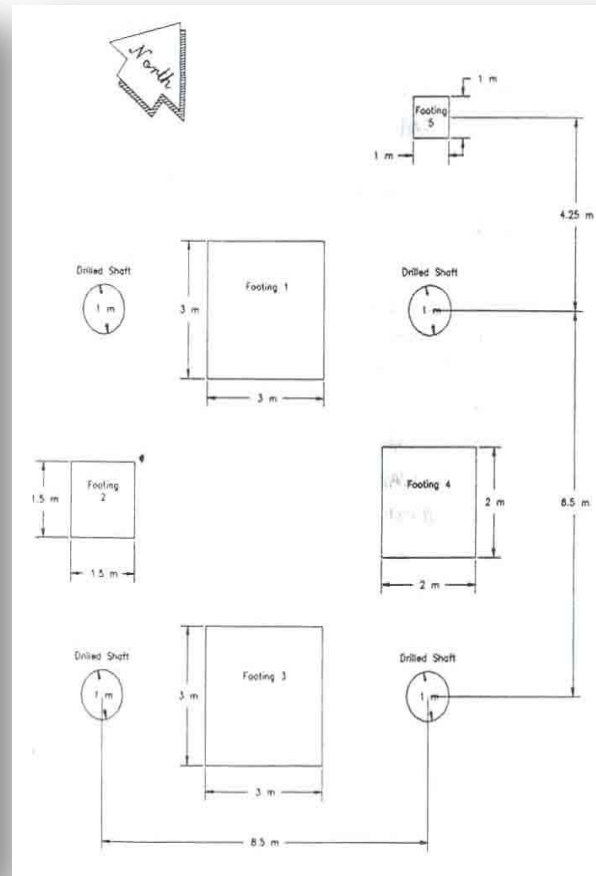
Proceedings of a Prediction Symposium Sponsored by the Federal Highway Administration at the occasion of the Settlement '94 ASCE Conference at Texas A&M University, June 16-18, 1994.

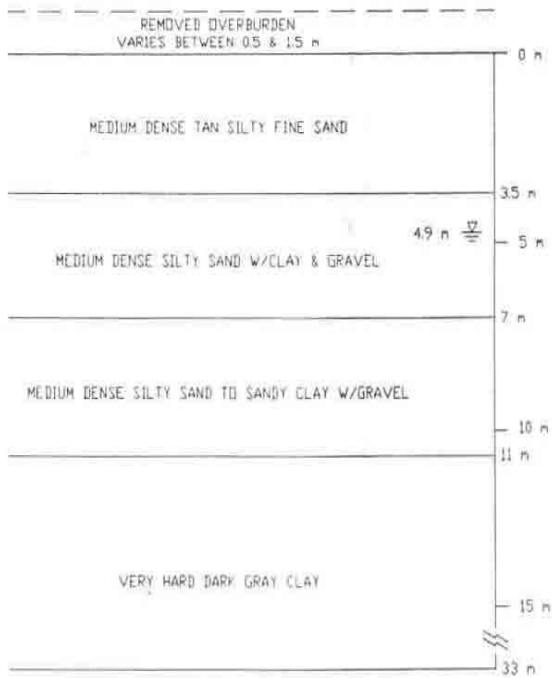
Edited by Jean-Louis Briaud and Robert M. Gibbens

Geotechnical Special Publication No. 41

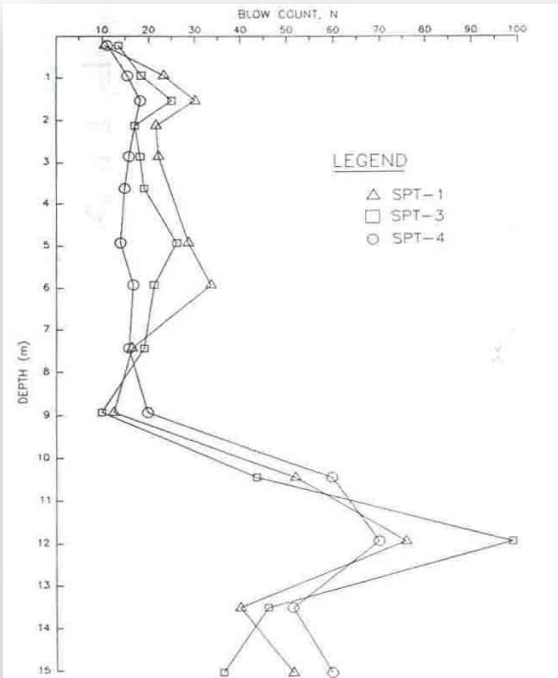


Published by the  
American Society of Civil Engineers  
345 East 47th Street  
New York, New York 10017-2398

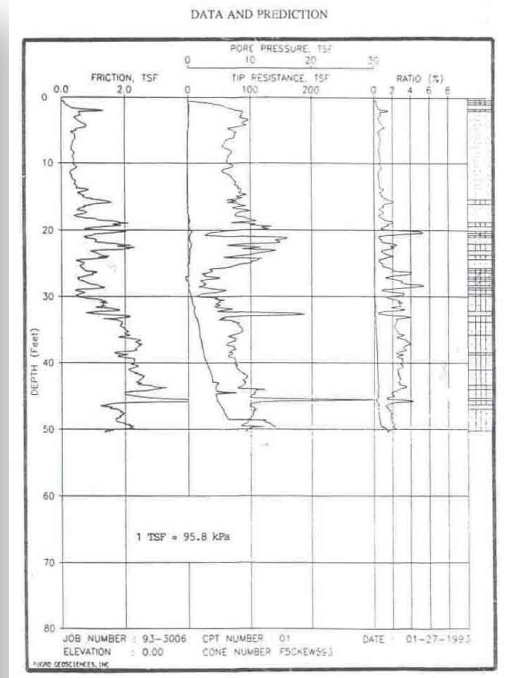




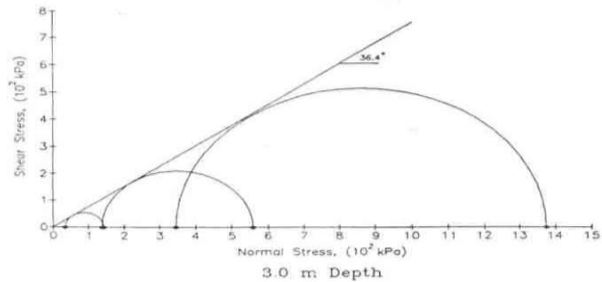
**FIGURE 4**  
General Soil Layering



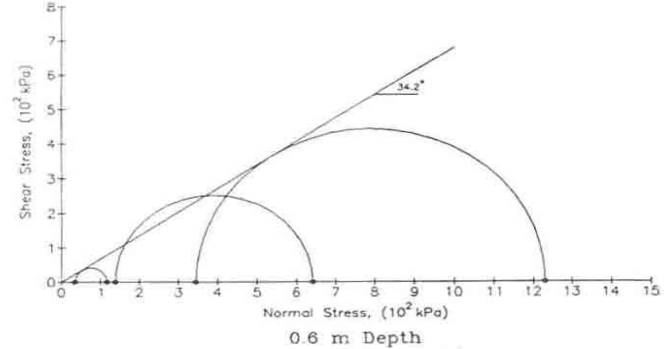
**FIGURE 21**  
Graph of Blow Counts N Versus Depth



**FIGURE 33**  
Cone Penetrometer Test Results



**FIGURE 16**  
Mohr's Circles from Triaxial Tests



# نمونه‌ای از نتایج آزمایشات بارگذاری (فونداسیون ۳ متری)

Load Settlement Curve (Total History)  
3.0 m Footing - North

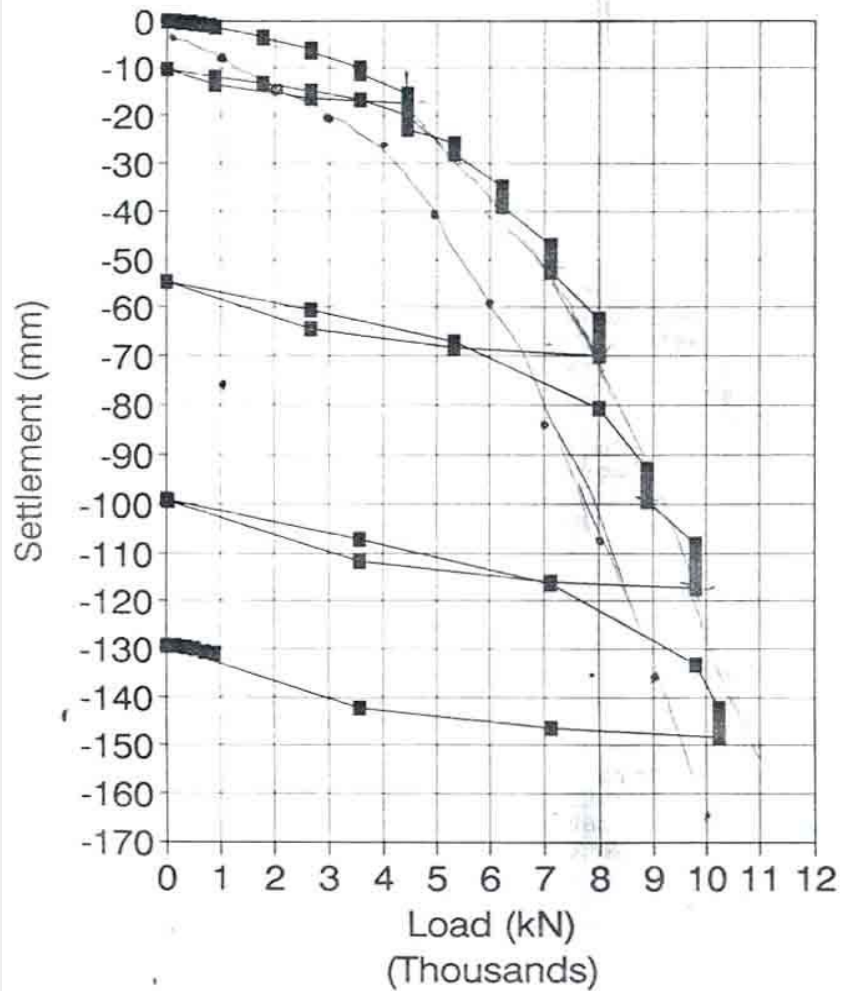


FIG. 2. Load Settlement Curve for 3 m North Footing: Total History.

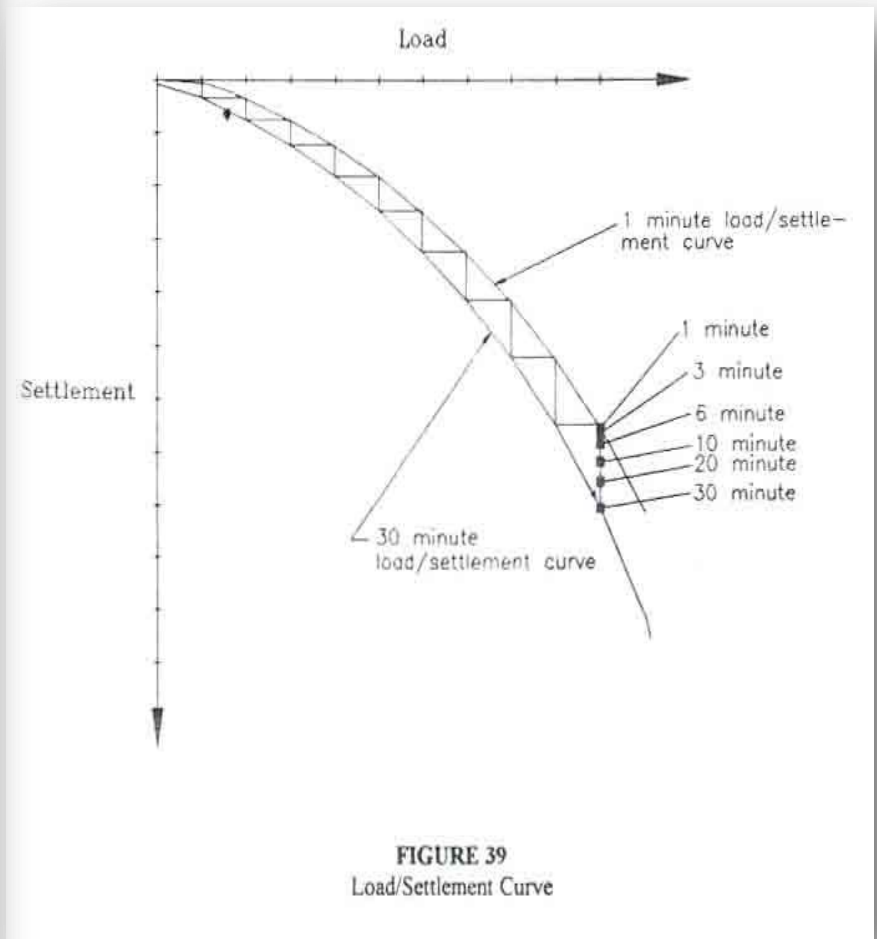
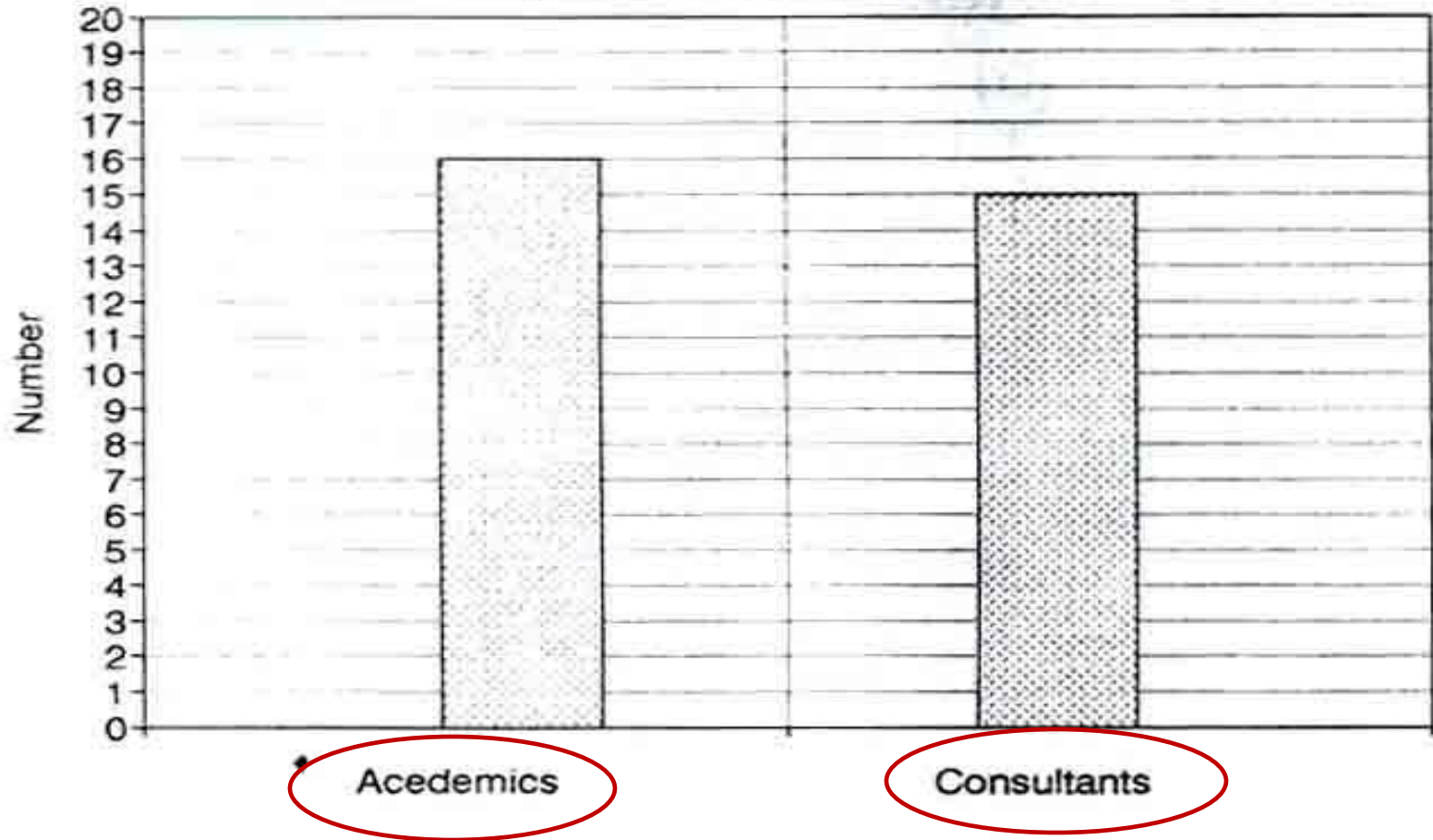


FIGURE 39  
Load/Settlement Curve

پیش بینی نشست توسط ۳۱ نفر از محققین دانشگاهی و مهندسين مشاور

SPREAD FOOTINGS ON SAND

Settlement 94 - FHWA - TAMU



# متهای تحلیلی و تجربی جهت پیش بینی عملکرد فونداسیون‌ها

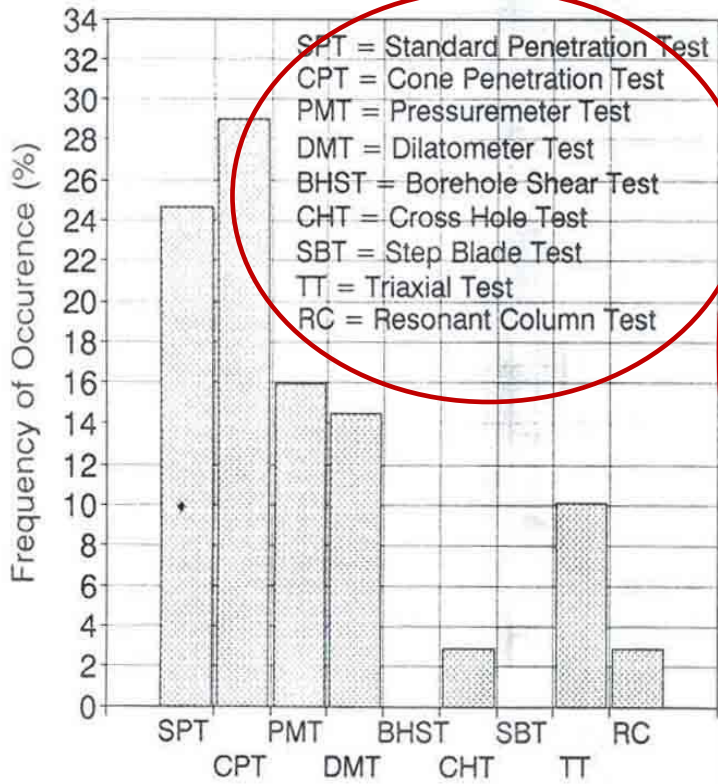


FIG. 10. Soil Tests Used.

- Aipan
- Bowles
- Buisman, DeBeer
- Burland & Burbidge
- Canada Found. Manual
- D'Appolonia
- DeBeer
- Decourt
- FEM
- Hansen
- Leonard & Frost
- Menard/Briaud
- Meyerhof
- NAVFAC
- Oweis
- Parry
- Peck
- Robertson & Campanella
- Schmertmann
- Schulze & Sherif
- Terzaghi & Peck
- Vesic

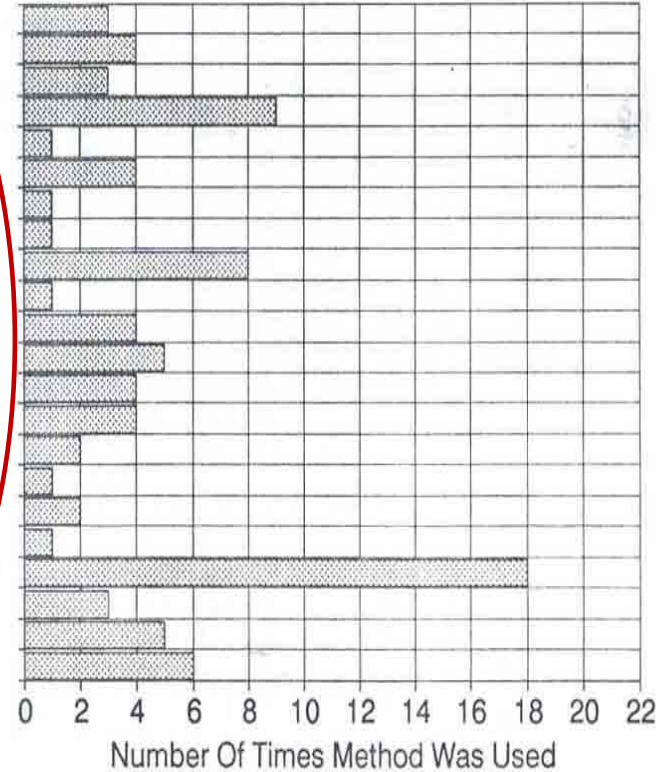


FIG. 9. Methods Used.

# محدوده ضرایب اطمینان (ظرفیت باربری)

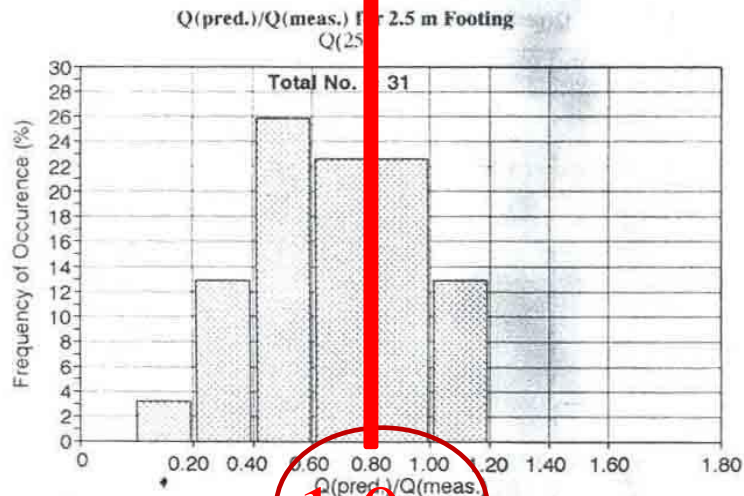


FIG. 13. Distribution of  $Q_{PRED.}/Q_{MEAS.}$  for 25 mm Settlement: 2.5 m Footing.

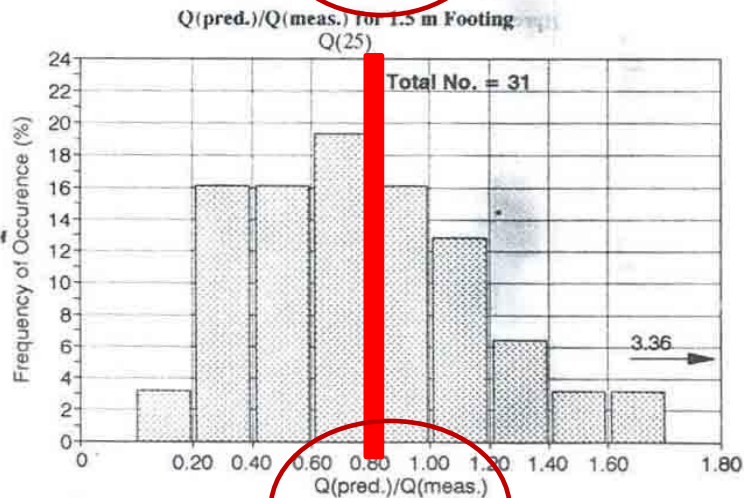


FIG. 14. Distribution of  $Q_{PRED.}/Q_{MEAS.}$  for 25 mm Settlement: 1.5 m Footing.

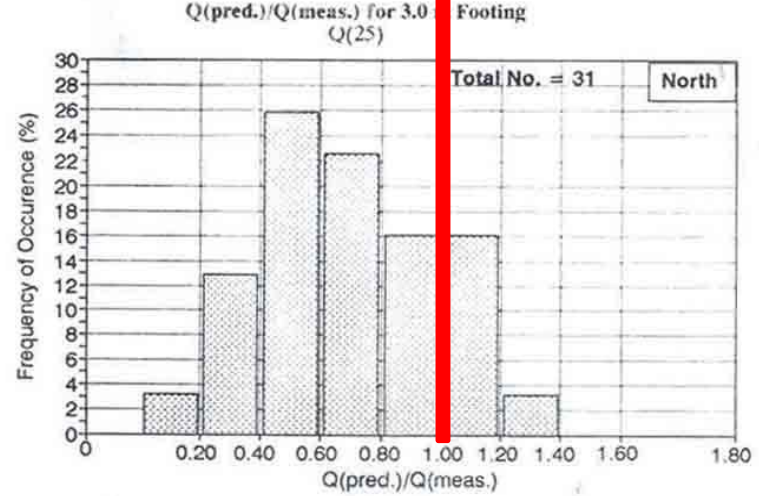


FIG. 11. Distribution of  $Q_{PRED.}/Q_{MEAS.}$  for 25 mm Settlement: 3 m North Footing.

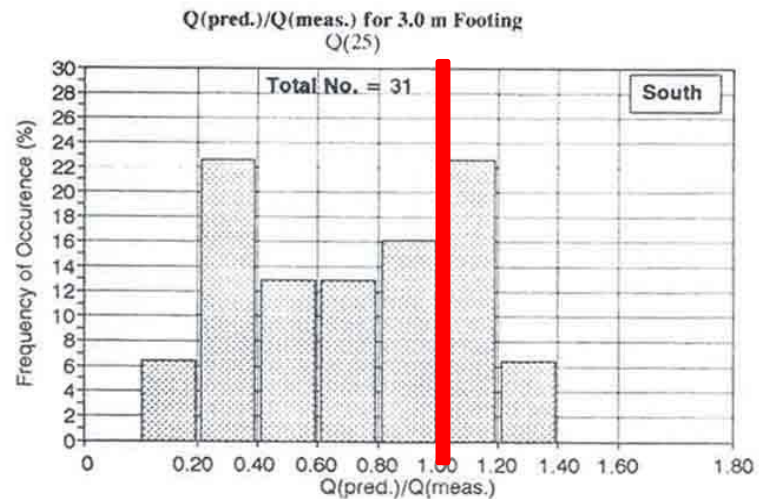


FIG. 12. Distribution of  $Q_{PRED.}/Q_{MEAS.}$  for 25 mm Settlement: 3 m South Footing.



# محدوده ضرایب اطمینان (نشست)

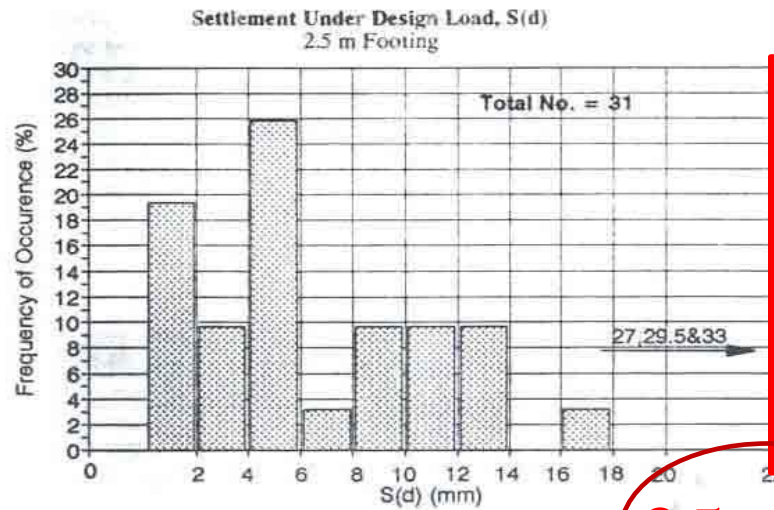


FIG. 32. Distribution of Measured Settlement under Predicted Design Load: 2.5 m Footing.

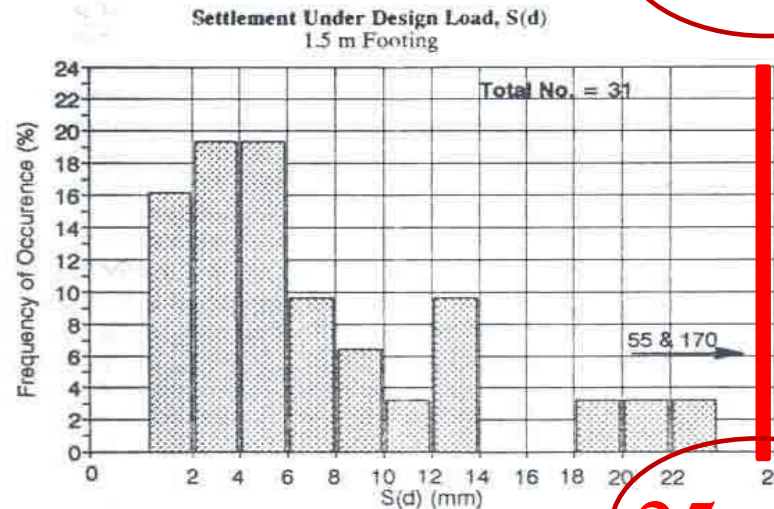


FIG. 33. Distribution of Measured Settlement under Predicted Design Load: 1.5 m Footing.

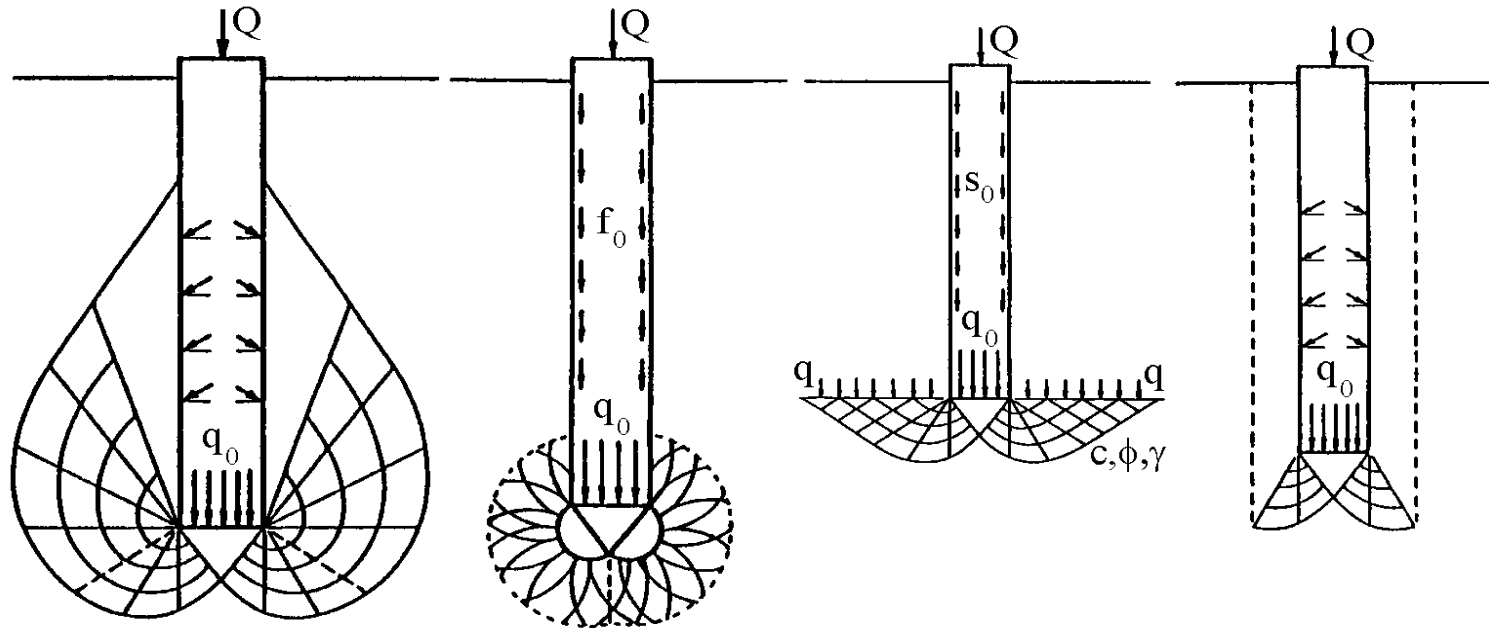
پنج پی سطحی 1×1 و 5×5 متر

۳۱ مورد پیش بینی نشست

۱۵۵ ضریب اطمینان

6. The design load  $Q_d$  for each footing and each participant was defined as  $\text{MIN}(Q_{25(\text{predicted})}, Q_{150(\text{predicted})}/3)$ . The factor of safety  $F$  was defined as the ratio of the measured  $Q_{150}$  over  $Q_d$ . Since 31 participants predicted the behavior of 5 footings, there was a total 155 values of the factor of safety  $F$ . Only once out of 155 was  $F$  less than 1, the next worse case was 1.6; the average was 5.4. Therefore it appears that our profession knows how to design spread footings very safely.
7. The settlement  $S_d$  under the design load  $Q_d$  was read on the measured curves at the value of the predicted design load for each footing and for each participant. The overall average was 10.3 mm which is much smaller than 25 mm. Considering the high factors of safety and the low settlement values, the design load could have been significantly higher. Therefore it appears that our profession could design spread footings more economically.

# ظرفیت باربری پی های عمیق



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

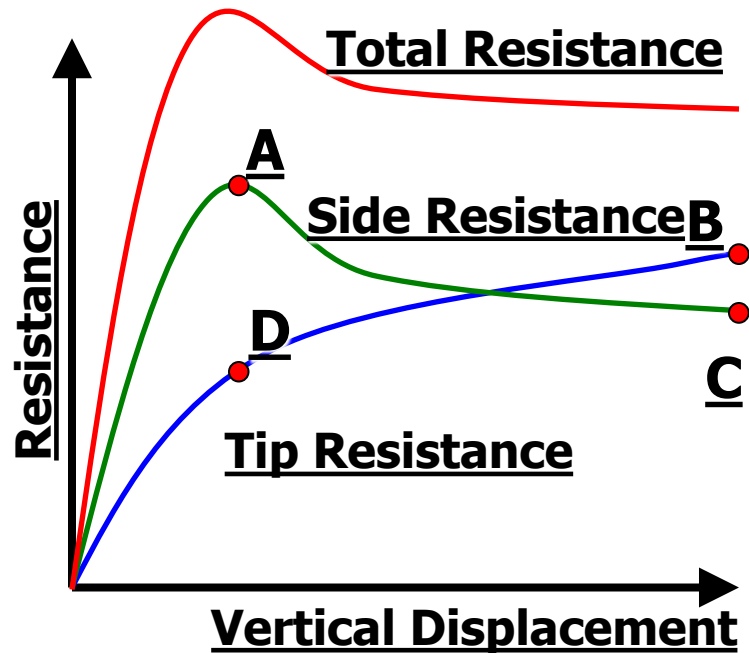
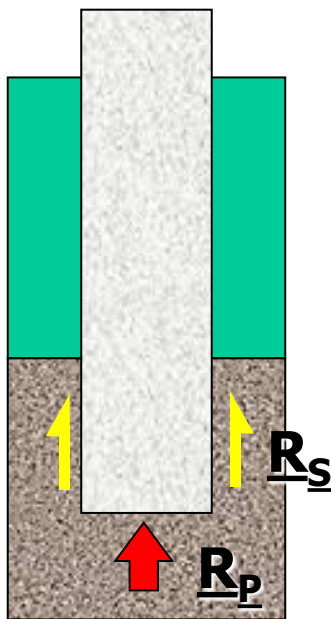
# ظرفیت باربری پی های عمیق

یک شمع توانائی تحمل بارهای قائم را علاوه بر عکس العمل کف توأم با عکس العمل جانبی (مقاومت جداری) دارا می باشد.

$$R_u = R_t + R_s$$

$$R_t = r_t \cdot A_t$$

$$R_s = r_s A D_s f$$



# تعیین مقاومت واحد کف

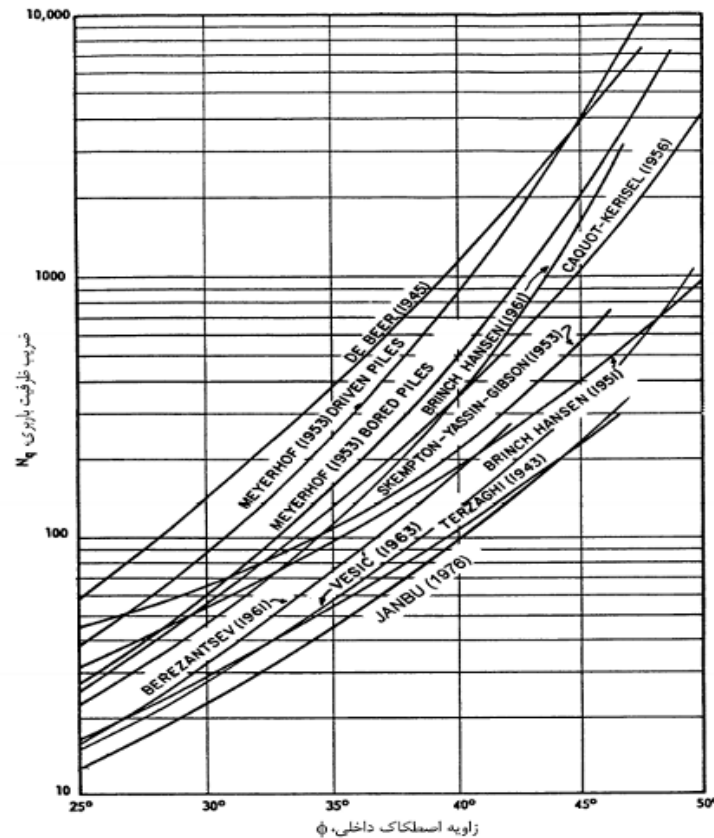
$$r_t = CN_C + \gamma D_F \cdot N_q$$

- در خاکهای چسبنده اشباع و در شرایط کوتاه مدت و زهکشی نشده

- برای خاکهای درشت دانه و ریزدانه و با ملاحظات باربری در دراز مدت و شرایط زهکشی شده  
و با آنالیز تنش موثر

$$r_t = CN_C$$

$$r_t = \bar{q} \cdot N_q$$



# روشهای تعیین مقاومت اصطکاکی

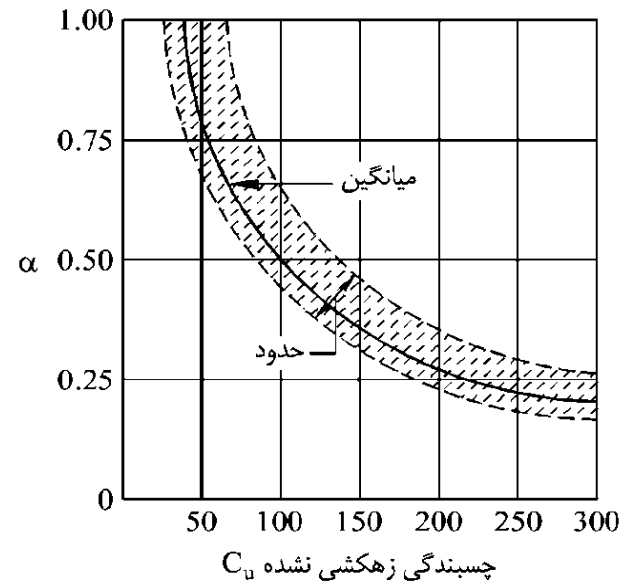
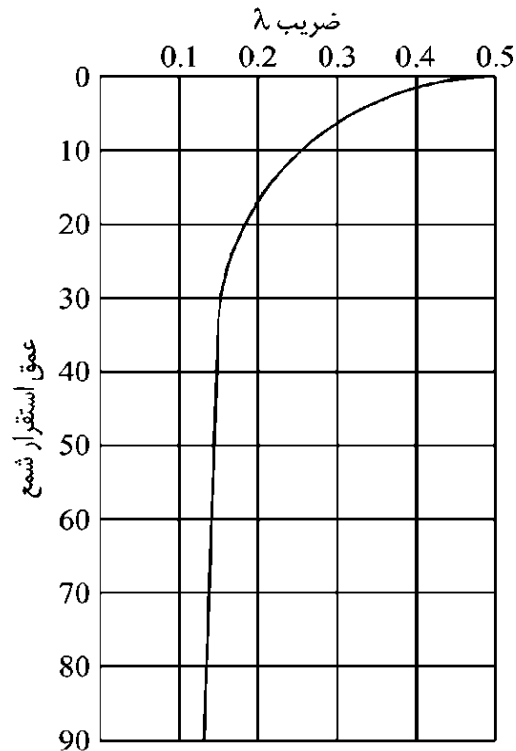
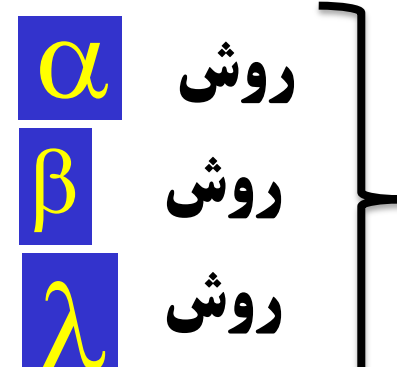
$$r_s = \beta \sigma'_v$$

$$\beta = K \cdot \tan \delta = K.M. \tan \phi$$

$$M = \tan \delta / \tan \phi$$

$$r_s = \alpha C_u$$

$$f_s = \lambda (\sigma'_v + 2C_u)$$



# روش یونیفاید در تعیین توان باربری شمعا

$$r_t = N_t \cdot \sigma'_z = D$$

$$r_s = \beta \cdot \sigma'_z$$

$\sigma'_z = D$  تنش موثر در کف شمعا

$\sigma'_z$  تنش موثر در جداره در عمق  $Z$

$\beta, N_t$  از جدول برای خاکهای مختلف - شمعا های درجا و کوبیدنی

نوع خاک	زاویه $\phi$	شمعا های درجا		شمعا های کوبیدنی	
		$\beta$	$N_t$	$\beta$	$N_t$
رس	۲۵-۳۰	۰/۲۵-۰/۳۲	۳-۱۰	۰/۲۵-۰/۳۲	۳-۱۰
لاي	۲۸-۳۴	۰/۲-۰/۳	۱۰-۳۰	۰/۳-۰/۵	۲۰-۴۰
ماسه شل		۰/۲-۰/۴	۲۰-۳۰	۰/۳-۰/۸	۳۰-۸۰
ماسه متوسط	۳۲-۴۲	۰/۳-۰/۵	۳۰-۶۰	۰/۶-۱	۵۰-۱۲۰
ماسه متراکم		۰/۴-۰/۶	۵۰-۱۰۰	۰/۸-۱/۲	۱۰۰-۱۲۰
شن	۳۵-۴۵	۰/۴-۰/۷	۸۰-۱۵۰	۰/۸-۱/۵	۱۵۰-۳۵۰

# روش API در تعیین توان باربری شمعا

## خاکهای ریزدانه

$$r_s = \alpha C$$

$$\alpha = 0.5\psi^{-0.5}$$

$$\psi \leq 1, \alpha = 0.5\psi^{-0.5}$$

$$\psi > 1 \quad \psi = C/p'_o$$

$$r_t = 9C$$

## خاکهای درشت دانه

$$r_s = Kp'_o \tan \delta$$

$$r_t = N_q \sigma'_z$$



# روش API در تعیین توان باربری شمعا

جدول ۵-۷ پارامترهای طراحی برای خاکهای اصطکاکی سیلیسی (API)

تراکم خاک	نوع خاک	$\delta$ (درجه)	حد بالای $f_s$ (KPa)	$N_q$	حد بالای $f_t$ (MPa)
خیلی سست سست	ماسه ماسه-لای	۱۵	۴۷/۸	۸	۱/۹
سست متوسط متراکم	ماسه ماسه-لای لای	۲۰	۶۷/۰	۱۲	۲/۹
متوسط متراکم	ماسه ماسه - لای	۲۵	۸۱/۳	۲۰	۴/۸
متراکم خیلی متراکم	ماسه ماسه لای	۳۰	۹۵/۷	۴۰	۹/۶
متراکم خیلی متراکم	شن ماسه	۳۵	۱۱۴/۸	۵۰	۱۲/۰

# روش SPT در تعیین توان باربری شمعا

جدول ۷-۶ تعیین مقاومت واحد کف و جداری برای شمعا با استفاده از نتایج SPT (اسلامی و همکاران، ۱۳۸۳)

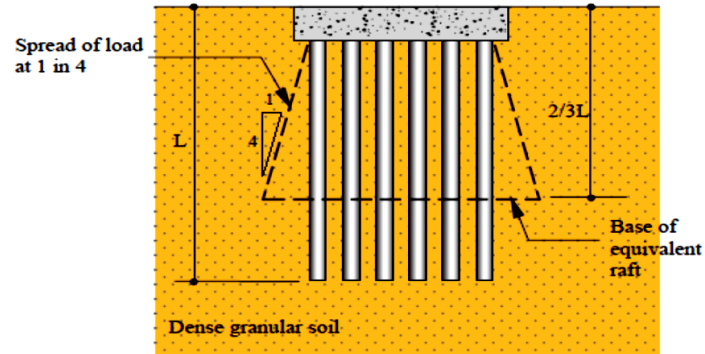
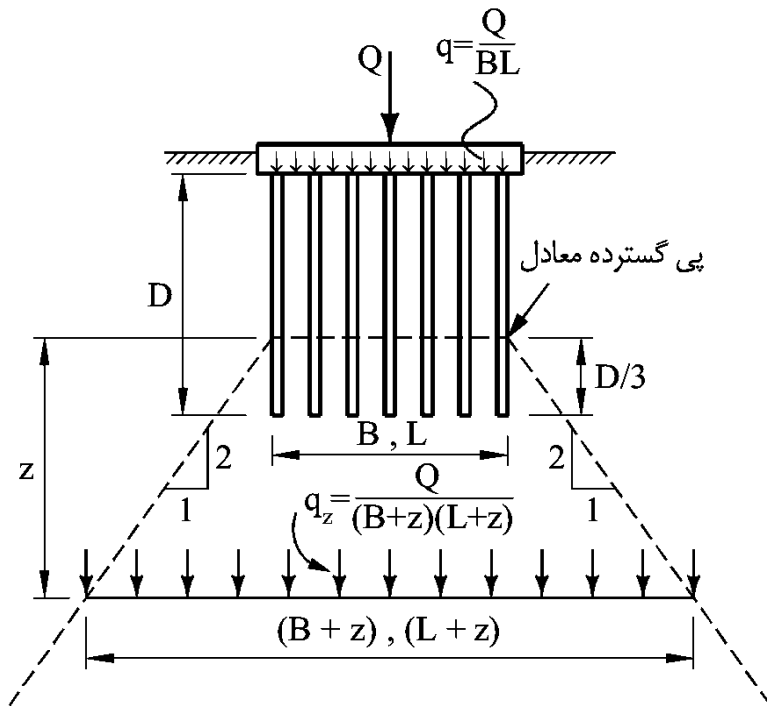
نوع خاک	نوع شمعا	A $r_t = AN$ MPa	B $r_s = BN$ KPa	مراجع
	ریختنی	0.15 0.15	5 3.3	Shioi and Fukui, 1982 Decourt, 1982
	ریزدانه	رس 0.12 لای 0.2 ماسه 0.25	مخلوط درشت و ریز 3.3	Decourt, 1982
کوبیدنی		0.1-0.3 ماسه	10	Shiori and Fukui, 1982
درشتدانه	ریختنی	0.1-0.15 $r_t < 3MPa$	5 $r_s \leq 150KPa$	Shiori and Fukui, 1982 Yamashita et al, 1987
		0.15 $r_t \leq 7.5MPa$	3.3 $r_s \leq 170 KPa$	Decourt, 1982
	0.12	1	Meyerhof	
	کوبیدنی	0.45	2	Meyerhof, 1956,1976
		0.4	3.3	Decourt, 1982
0.3	10	Shiori and Fukui		
		0.385	3.65	اسلامی و همکاران، ۱۳۸۳

# روش CPT در تعیین توان باربری شمعها

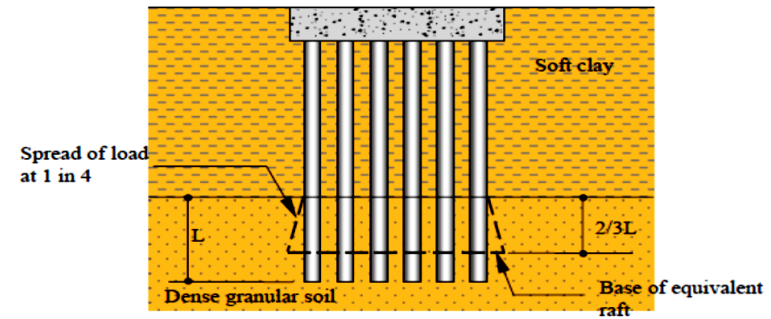
## Summary of Currently Used CPT and CPTu Methods

Current CPT & CPTu Methods	Unit Toe Resistance $r_t$	Unit Shaft Resistance $r_s$	Note
<i>Schmertmann &amp; Nottingham (1978)</i>	$r_t = C_t q_{ca}$	$r_s = C_s q_c$ $r_s = K f_s$	$C_s = 0.8 \sim 1.8\%$ Clay & Sand $K = 0.8 \sim 2$ Sand, $K = 0.2 \sim 1.25$ Clay
<i>Beringen &amp; De Ruiter (1979)</i>	$r_t = N_c S_u$	$r_s = C_s q_c$ & $r_s = K f_s$ $r_s = \alpha S_u$	$K = 1$ , $C = 0.3\%$ sand $\alpha = 1$ for NC, $\alpha = 0.5$ for OC Clay
<i>Bustamante &amp; Gianeselli (1982)</i>	$r_t = C_t q_{ca}$	$r_s = C_s q_c$	$C_t = 0.4 \sim 0.55$ $C_s = 0.3\%$
<i>Tumay &amp; Fakhroo (1982)</i>	$r_t = C_t q_{ca}$	$r_s = k f_s$	$C_s = 0.8 \sim 1.8\%$ Clay & Sand $k = 0.5 + 9.5e^{(-0.009 f_s)}$
<i>Eslami &amp; Fellenius (1997)</i>	$r_t = C_t q_{Eg}$	$r_s = C_s q_{Eg}$	$C_t = 1$ $C_s = (0.3 \sim 8)\%$

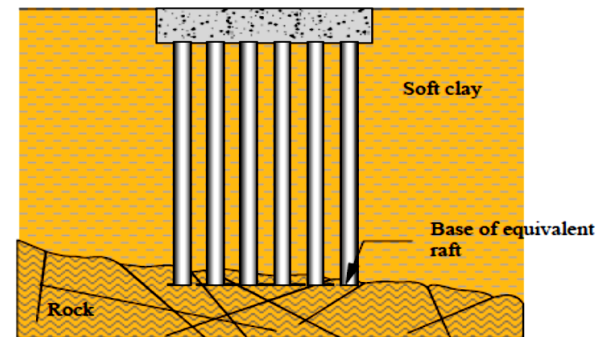
# بر آورد نشست شمع ها و تعیین صفحه خنثی



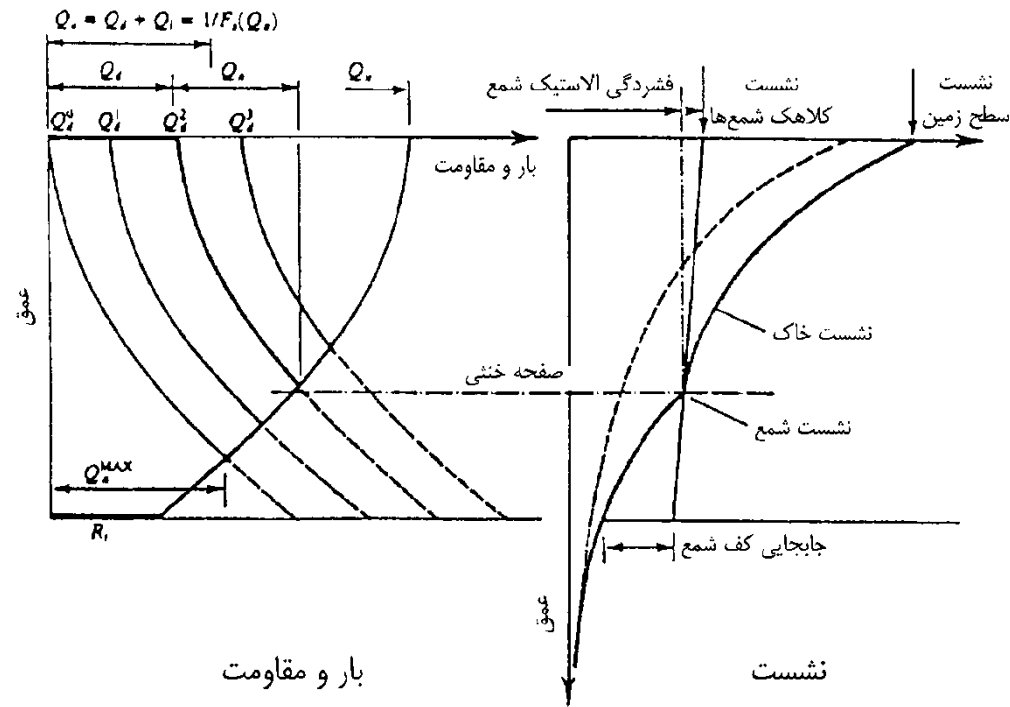
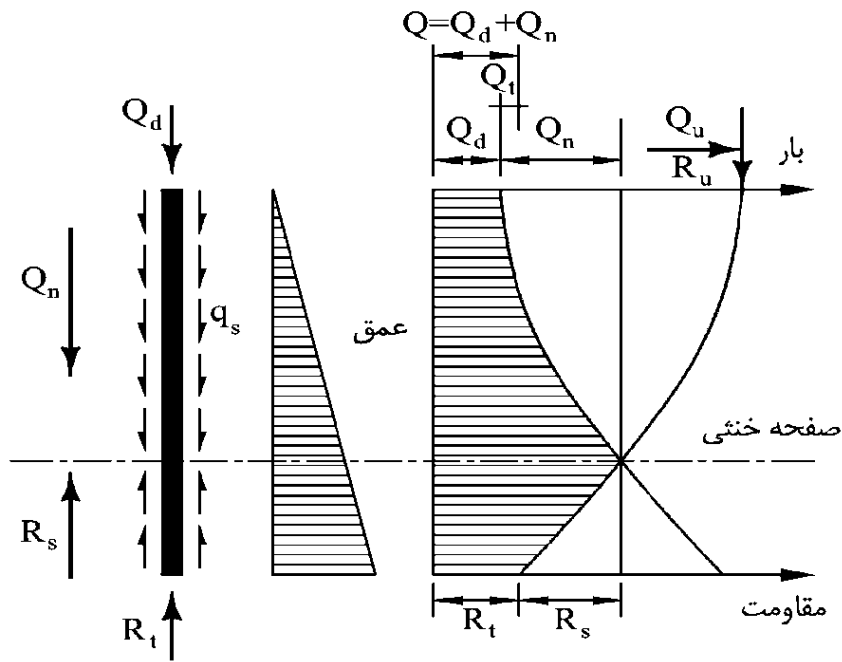
(a) Group of Piles Supporting Predominately by Shaft Resistance



(b) Group of Piles Driven through Soft Clay to Combined Shaft and End-bearing Resistance in Dense Granular Soil



(c) Group of Piles Supported by End-bearing on Hard Rock Stratum



اصطکاک منفی در اطراف شمع و چگونگی تعیین صفحه خنثی

ارزیابی نشست شمع و خاک اطراف آن و عوامل موثر در عمق قرارگیری صفحه خنثی

## مقایسه پی های سطحی و عمیق

پی عمیق	پی سطحی	نوع فونداسیون
مقاومت کف تا $120\text{kg/cm}^2$ زیاد	کم تا متوسط $0.5-5\text{ kg/cm}^2$	ملاحظات طراحی
محدود	زیاد	ظرفیت باربری
معمول	ساده تا پیچیده	نشست
کنترل شده	مشکل دار	طراحی سازه ای
تا حدودی دشوار	ساده یا توام با معضلات	پایداری
احتمالاً پر هزینه	احتمالاً مطلوب	ملاحظات اجرایی
		جنبه های اقتصادی

فونداسیونهای نیمه عمیق  
بهبودی

# ویژگی ساخت و سازهای نوین

Difficult Soils خاکهای مساله دار

High Rise Structures and Towers سازه های بلند و برج ها

Top-Down Construction ساخت همزمان روسازه-زیرسازه

Bridge and Marin Structures پل‌های بزرگ و سازه های دریایی

Landfills توسعه ساخت و ساز در نهشته های غیرطبیعی

Land Reclamation&Artificial Islands استحصال زمین و جزایر مصنوعی

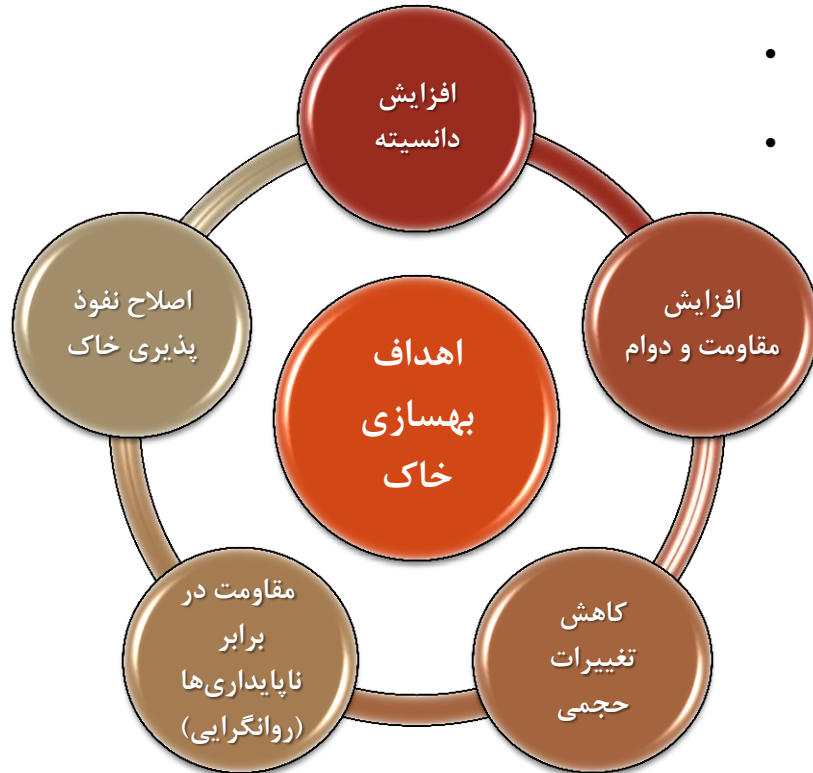
Extreme Loads بارهای غیرعادی (سیکلی، لرزه ای، انفجار)

۳- بهسازی خاک

## Soil Improvement



# بهبودی بعنوان مکمل پی سازی



بهبودی سطحی

بهبودی نیمه عمیق

بهبودی عمیق

دسته بندی روش های بهسازی خاک از نظر عمق عملکرد

- Ground Improvement, Moseley, M. P. and Kirsch, K., 2004, 2nd edition
- Ground Improvement Technical Summaries, 2001, Vol. 1&2, FHWA-SA-98-086R

## خاکهای مسئله دار

- خاکهای با منشأ آلی و نباتی
- خاکهای رس اشباع و نرم
- خاکهای حساس
- خاکهای ماسه ای و لای شل
- خاکهای رمبنده
- خاکهای واگرا
- خاکهای با منشأ زباله و ضایعات
- خاکریزها و خاکهای دستی

# دسته بندی کلی روش های بهسازی خاک

۱- عملیات خاکی (Earth works)

۲- متراکم سازی (Densification)

۳- بهسازی فیزیکی - شیمیایی

(Physical and chemical modification)

۴- بهسازی هیدرولیکی (Hydraulics modification)

۵- مسلح سازی (Reinforcement)

دسته بندی کلی روش های بهسازی خاک

# Shallow Stabilization

# بهسازی سطحی

• عملیات خاکی

• خاکریزی با استفاده از مصالح سبک

• تراکم مکانیکی

• تثبیت فیزیکی - شیمیایی



**Preloading + Vertical Drains**

• پیش بارگذاری و زهکشی قائم

**Deep Dynamic Compaction**

• تراکم دینامیکی

**Blast Densification**

• تراکم انفجاری

**Stone Columns**

• ستون‌های سنگی

**Vibro Compaction**

• تراکم ویبره‌ای خاک

**Deep Grouting**

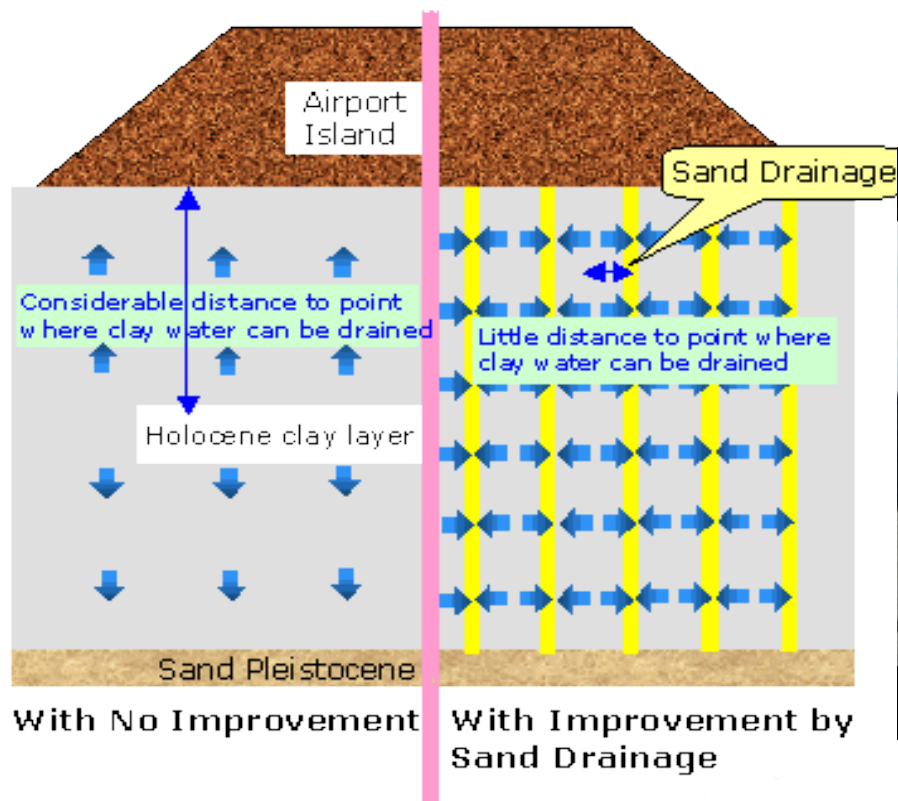
• تزریق عمیق

**Deep Soil Mixing**

• اختلاط عمیق

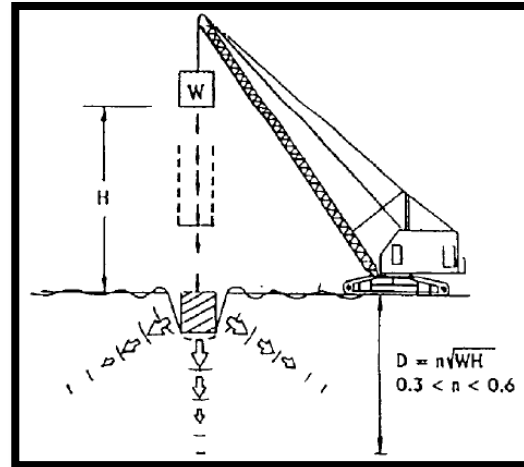
- افزایش سرعت تحکیم - پایدارسازی خاکهای رسی اشباع

- زهکش‌های قائم از نوع Sand drain و P.V.D یا Wick drain



- وزنه های سنگین بین ۱۰ تا ۴۰ تن - ارتفاع سقوط بین ۱۰ تا ۳۰ متر
- کاربرد در انواع خاک ها تا عمق ۲۰ متر

Tamper mass	Up to 170 t
Fall	Up to 22 m
Compaction effect	TO 40 m depth
Spacing	To 14 m

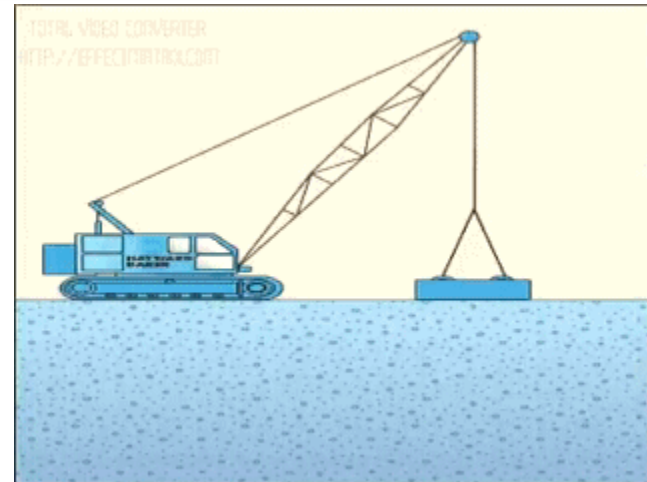


تعیین عمق  
تاثیر

$$D = n\sqrt{WH}$$

$$0.3 < n < 0.6$$

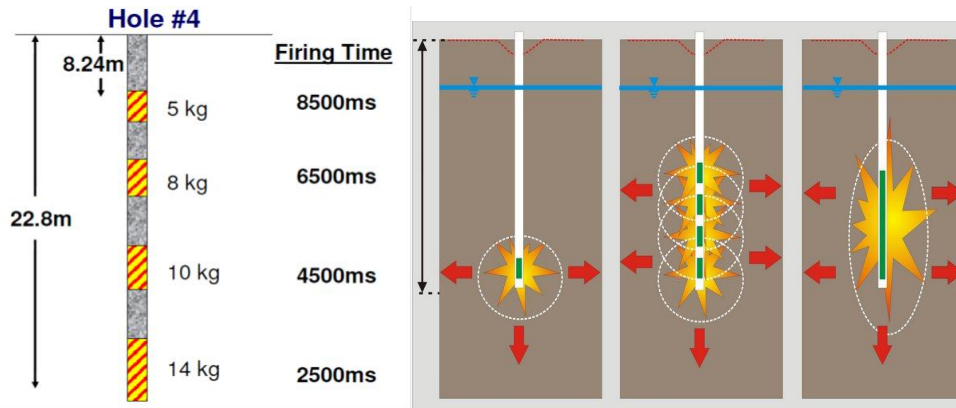
NEXT



# تراکم انفجاری Blast Densification or Explosive Compaction (BD or EC)

- انفجار میتواند به طور موثر جهت تراکم خاک‌های غیر چسبنده و اشباع مورد استفاده قرار گیرد.

(Hall,1962; Prugh,1963; Ivanov,1967; Mitchell,1986; Narin van Court,2003)

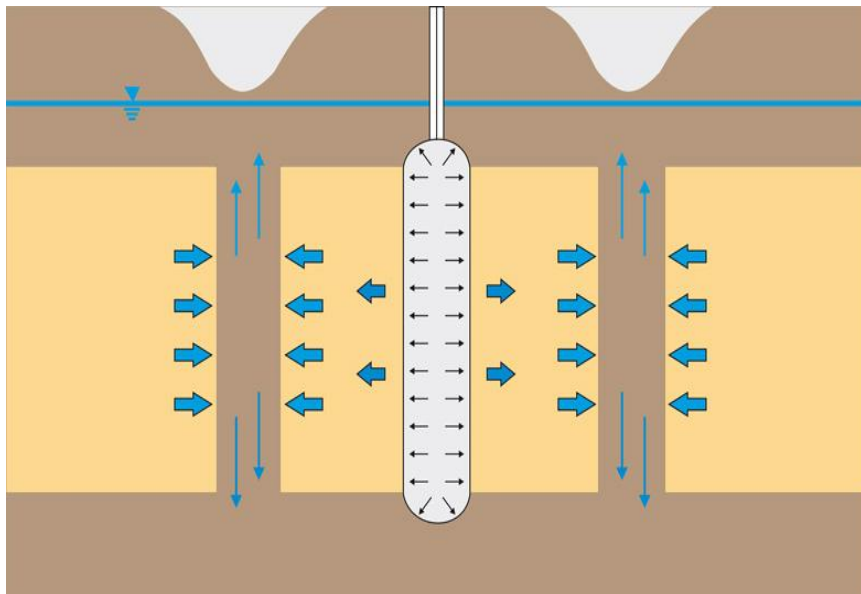


متلاشی ساختن خاک یا سنگ

حذف توده‌ای خاک از بالادست و انتقال به پایین دست

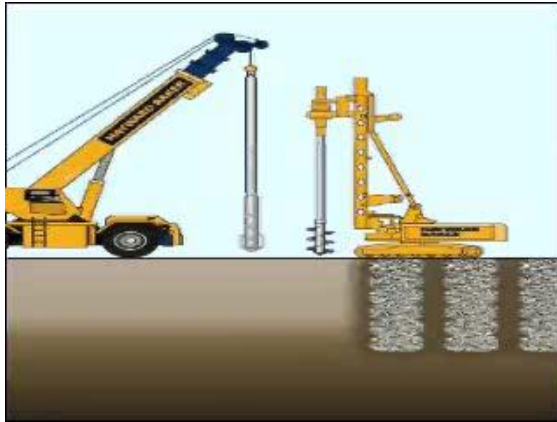
تراکم خاک دانه‌ای و بیرون راندن آب از خاک

استفاده از انفجار در مهندسی ژئوتکنیک

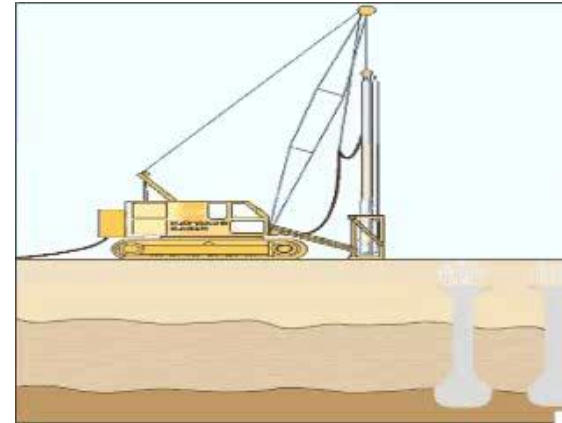


- این روش برای خاک های چسبنده بکار می رود

پایه های سنگی



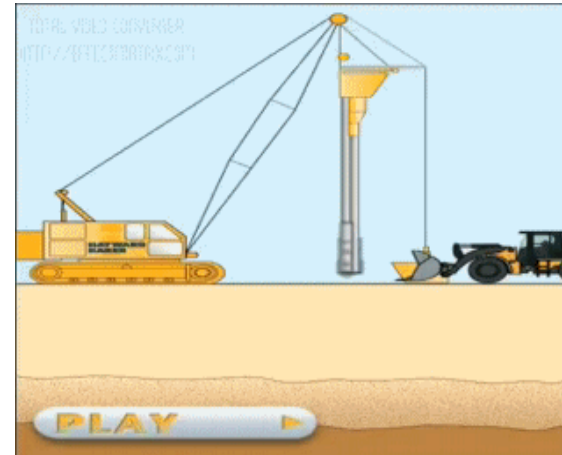
ستون های بتنی



تغذیه از بالا



تغذیه از پایین

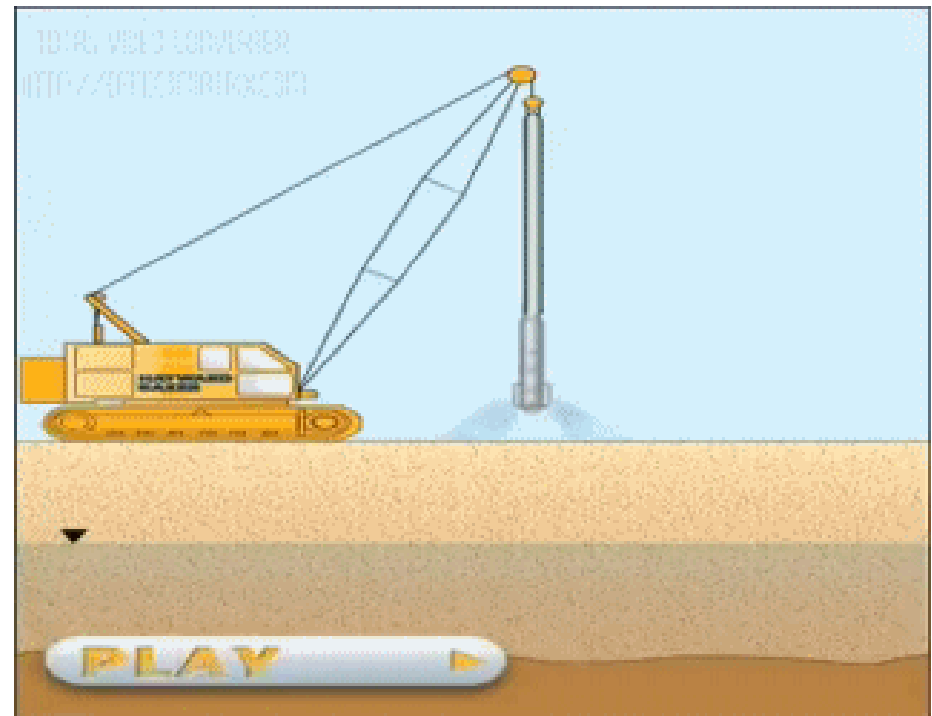
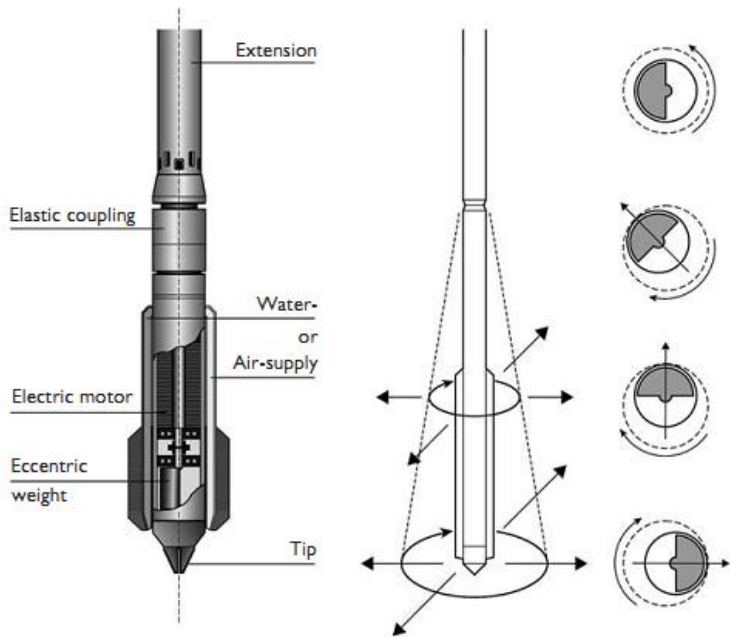




# Vibro Flotation (Replacement and Displacement) تراکم ویرهای خاک

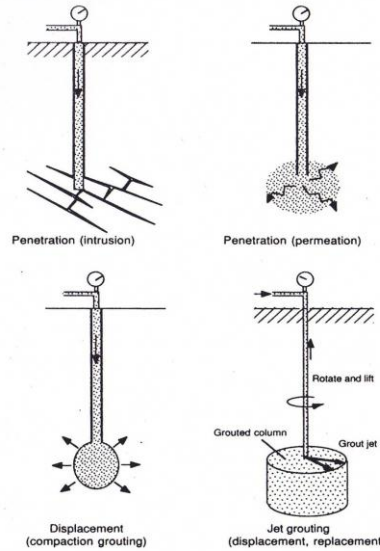
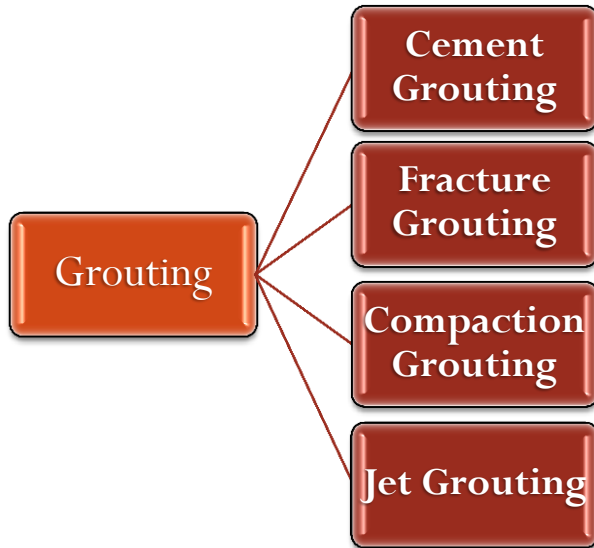


- تراکم خاک‌های دانه‌ای
- کاهش اصطکاک بین دانه‌ها و آرایش متراکم‌تر دانه‌ها
- بهسازی شعاعی از ۱.۵ تا ۴ متر

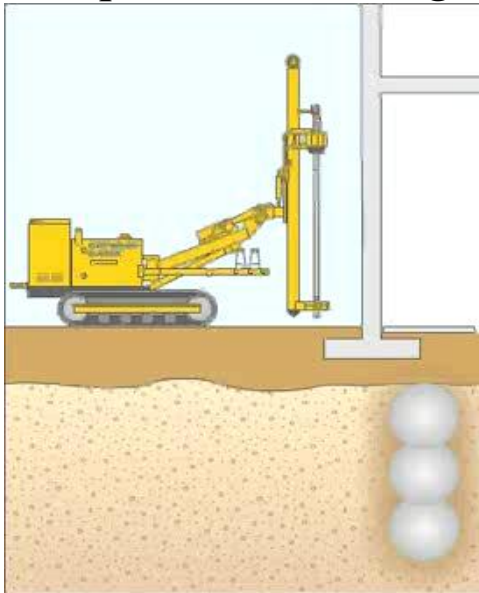


# Deep Grouting

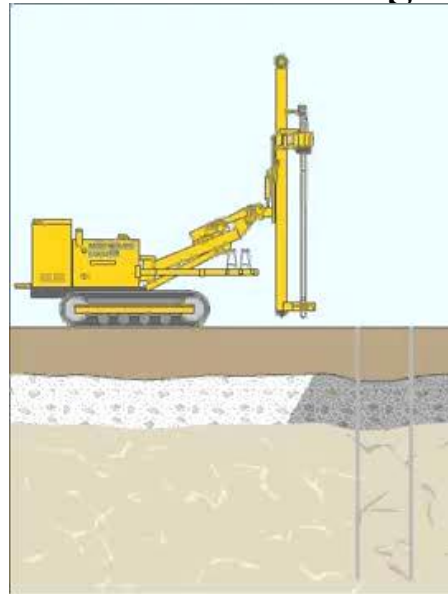
# تزریق در عمیق



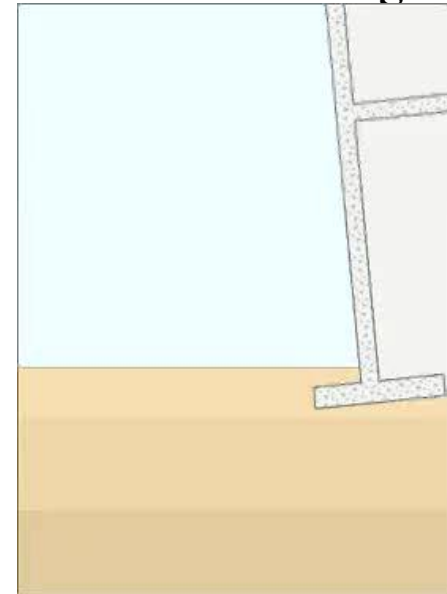
## Compaction Grouting



## Cement Grouting



## Fracture Grouting

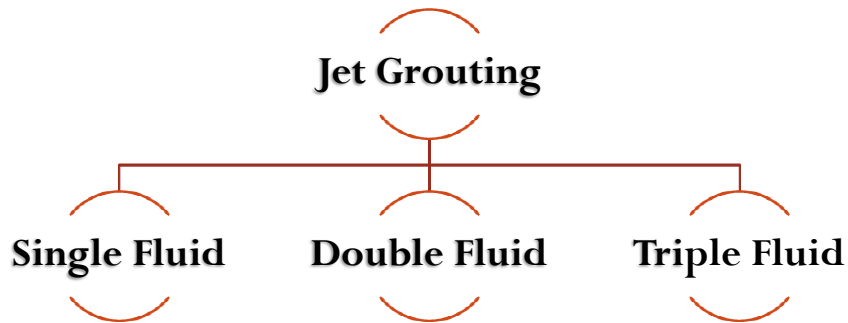


# Jet Grouting

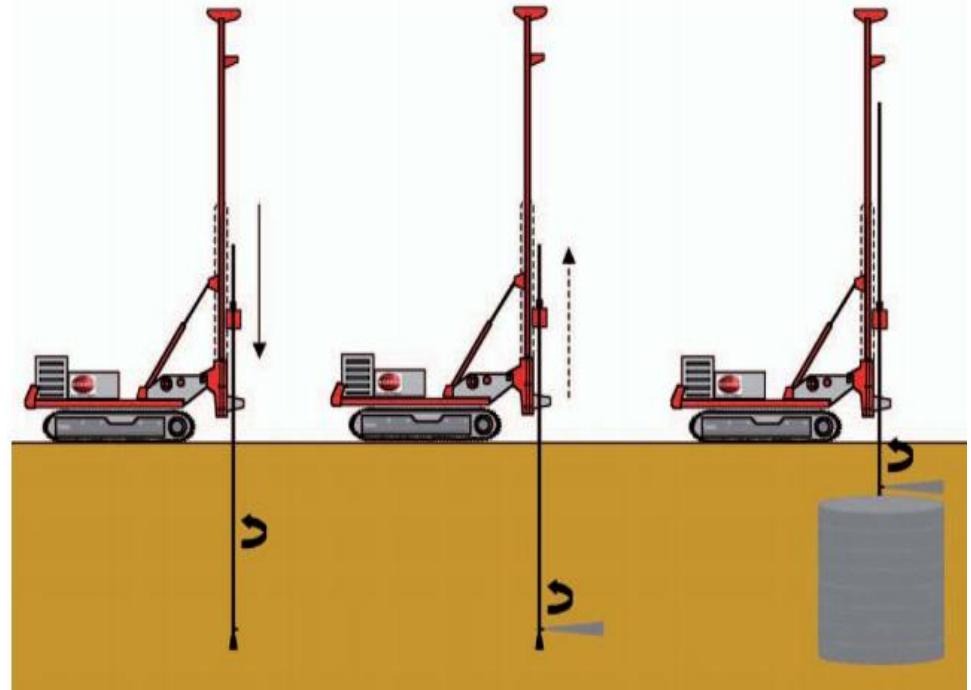
# تزریق در خاک با فشار بالا



- استفاده از جت آب ، هوا و یا ترکیب آن دو برای ساییدن و تخریب خاک
- اختلاط و یا جایگزینی خاک با ماده پایدار کننده مانند سیمان
- کاربرد موثر در اکثر دانه بندی های خاکی - بهترین اثر در خاک های دانه ای
- ایجاد ستون هایی با مقاومت ۲ تا ۲۵ مگاپاسکال به فواصل تقریباً ۲/۵ متر



شیوه های اجرای  
Jet Grouting



# Deep Soil Mixing (DSM)

# اختلاط خاک در عمق

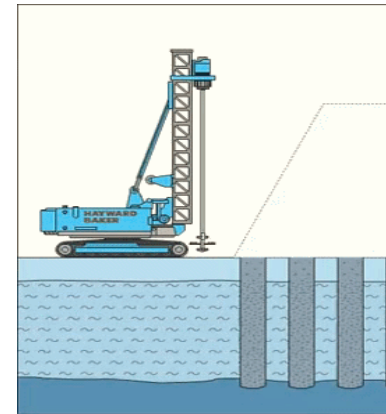


- واکنش پوزولانی سیمان و دانه‌های خاک
- تولید ستون‌های منفرد و یا گروهی با الگوهای مختلف اجرا

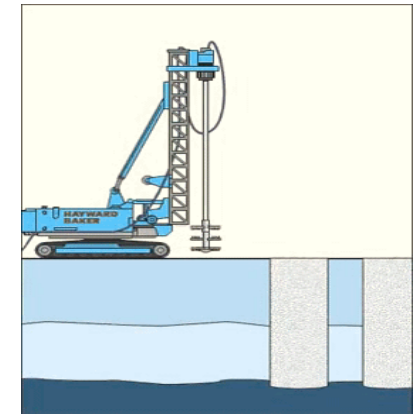
روش‌های اختلاط خاک در عمق

اختلاط تر

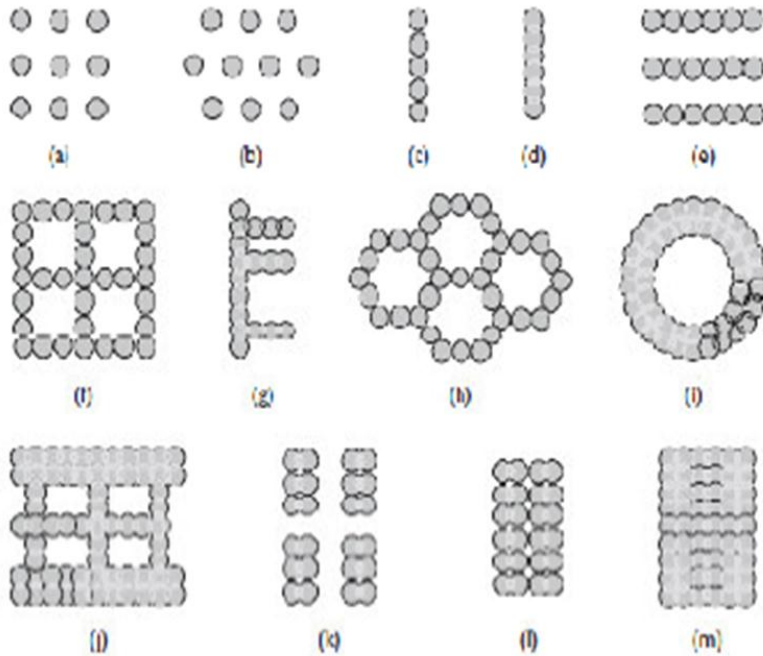
اختلاط خشک



Wet DSM



Dry DSM



الگوهای مختلف اجرای

۴- پی های نیمه عمیق

## Semi-Deep Foundations

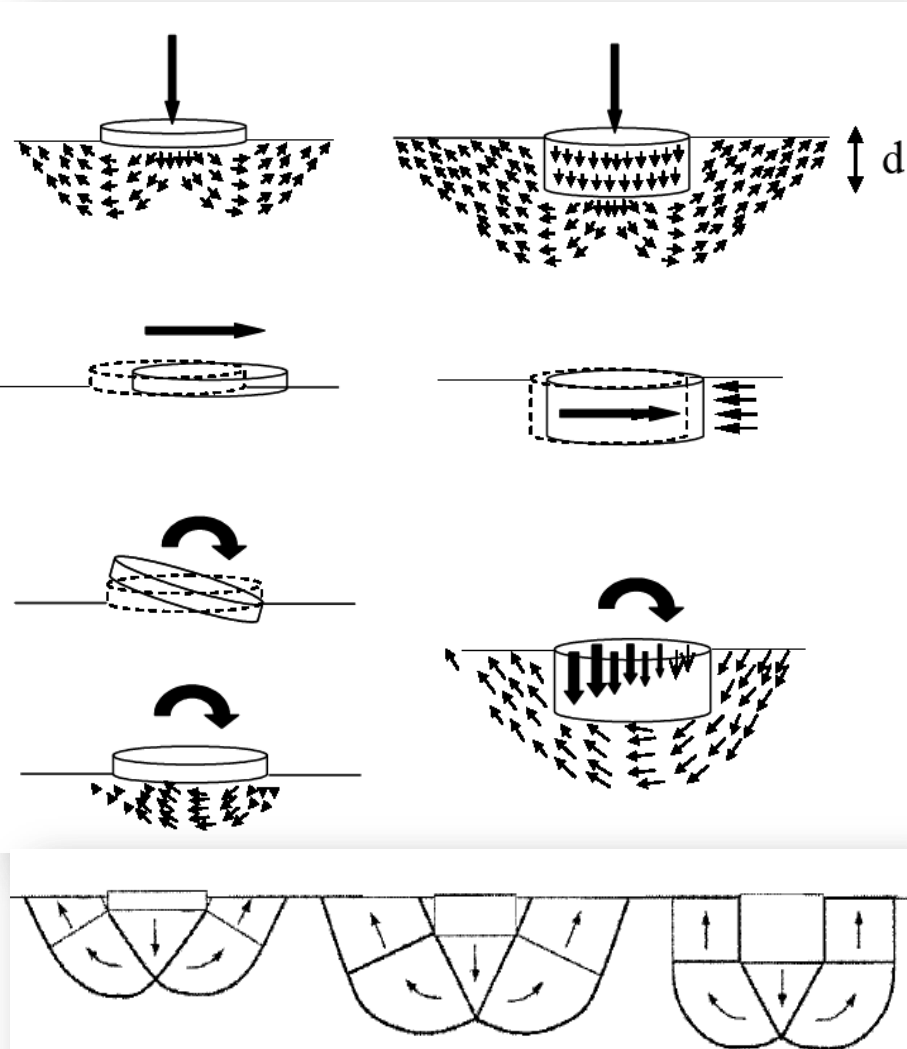
پی‌های نیمه عمیق جهت انتقال بهتر بار و عبور از لایه‌های نرم و شل سطحی

عمق استقرار اغلب در محدوده B تا 10B (متوسط 4-5B)

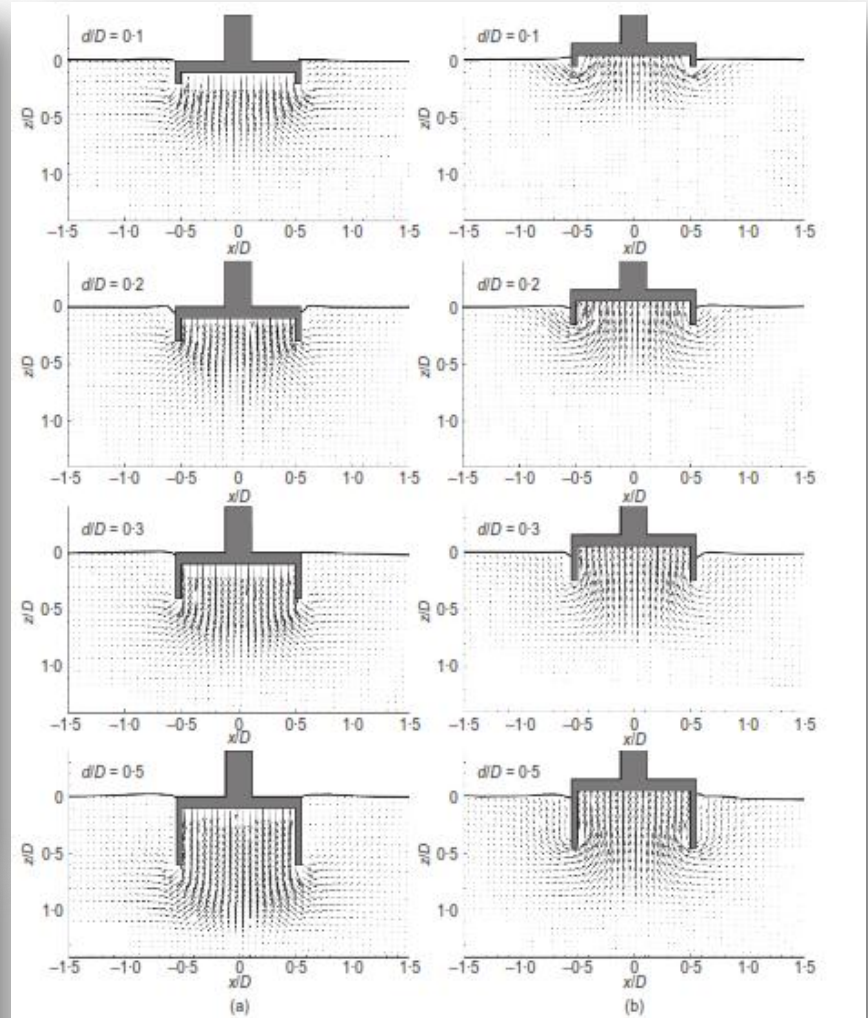


استفاده از پی‌های نیمه عمیق به عنوان راه حل میانه سازه ای و ژئوتکنیکی در گذار از پی سطحی به عمیق

# اثرات افزایش عمق استقرار در توان باربری و پایداری کلی

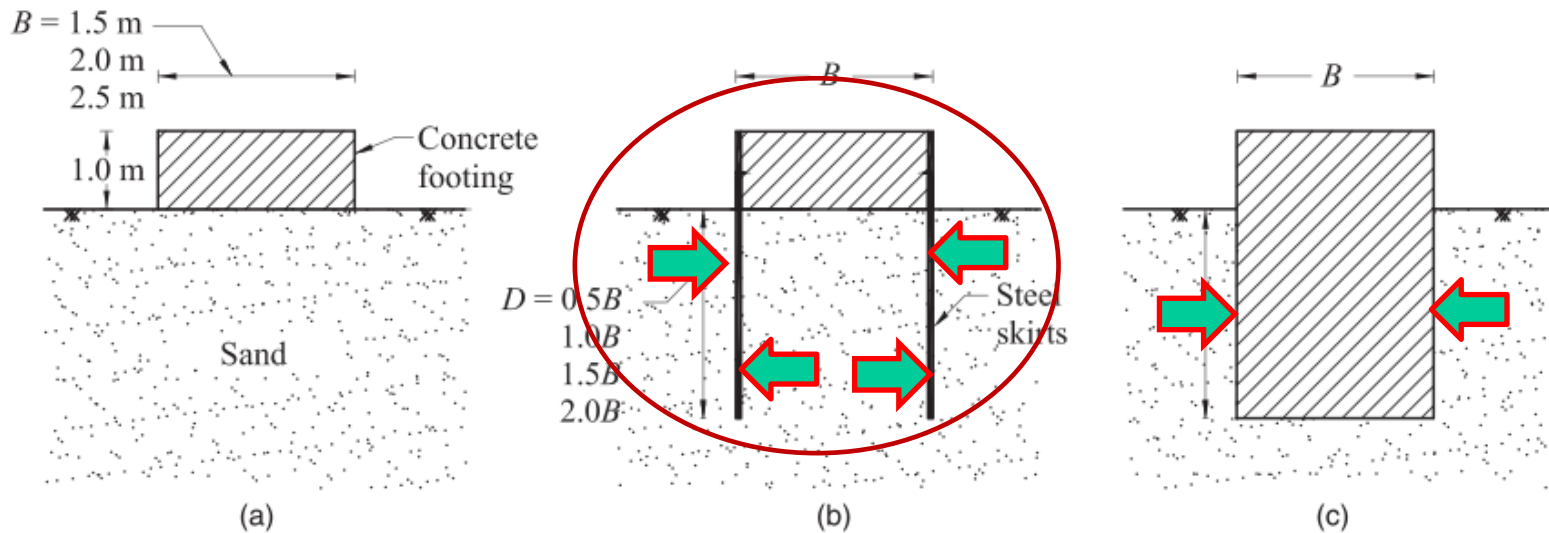


Modes of vertical bearing failure of embedded foundations

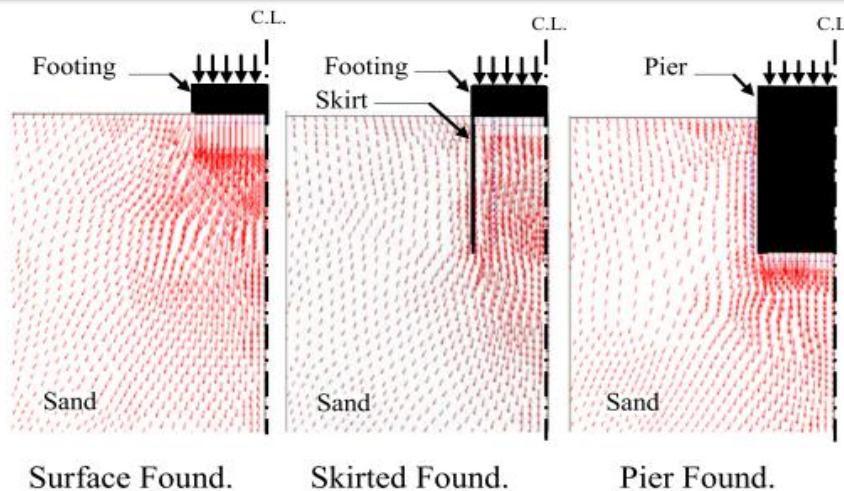


محصولیت توامان خاک و پی

# اثرات افزایش عمق استقرار



محصورشدگی خاک توسط پی و پی توسط خاک





# اثرات افزایش عمق استقرار در کاهش نشست (Gazetaz 1991)

سختی خاک

$$S_i = \frac{q_o B}{E_s} (1 - \nu^2) \mu_s \cdot \mu_{emb} \cdot \mu_{wall}$$

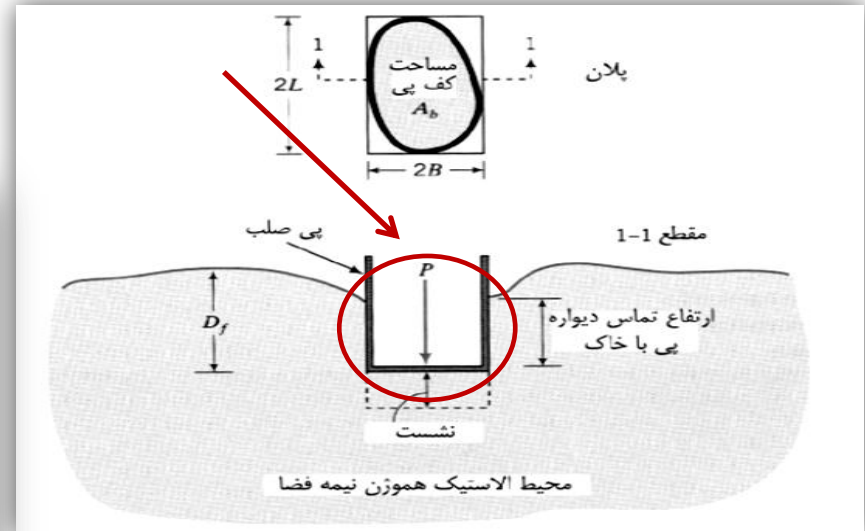
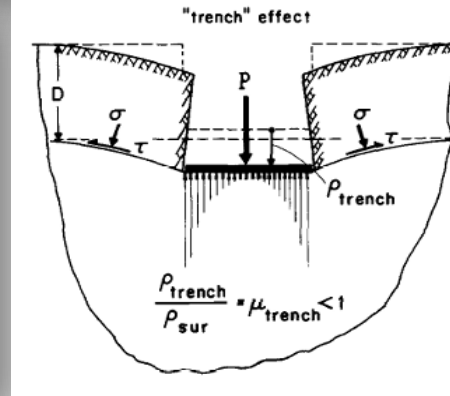
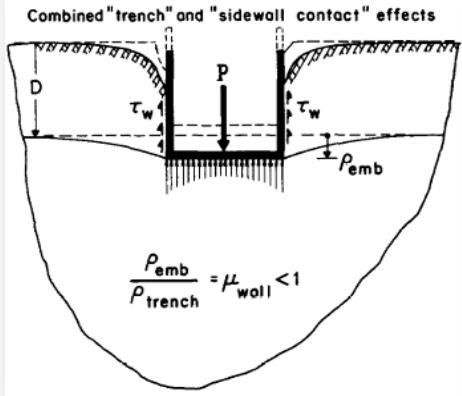
$$\mu_s = 0.45 \left( \frac{A_b}{4L^2} \right)^{-0.38}$$

$$\mu_{emb} = 1 - 0.04 \frac{D_f}{B} \left[ 1 + \frac{4}{3} \left( \frac{A_b}{4L^2} \right) \right]$$

$$\mu_{wall} = 1 - 0.16 \left( \frac{A_w}{A_b} \right)^{0.54}$$

آثار ترانشه‌ای و یا آثار عمق استقرار

آثار تماس جانبی دیوار



**Floating Foundations**

پی های شناور

**Box Foundations**

پی های باکسی یا جعبه ای

**Top-Down Construction**

ساخت همزمان روسازه زیرسازه

**Piled Raft Foundations**

پی رادیه مرکب

**Caissons**

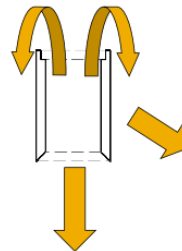
کیسونها

**Buckets**

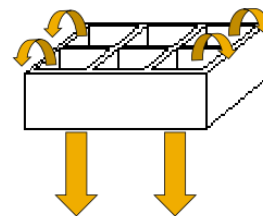
باکت ها

## Transitional (semi-deep) foundations

well foundation caisson



foundation framework  
cofferdam



## مزایای پی های نیمه عمیق

- عملکرد توام بخشهای مختلف به عنوان سیستم فونداسیون نیمه عمیق
- مساحت جداری (و توان باربری جدار) بزرگ ، علاوه بر باربری کف
- سختی و صلبیت زیاد
- استفاده از فضاهای زیرزمینی
- کاهش بار خالص وارده و در نتیجه کاهش نشستها
- محصورشدگی پی توسط خاک اطراف (بیرونی)
- محصورشدگی خاک داخلی توسط پی (درونی)

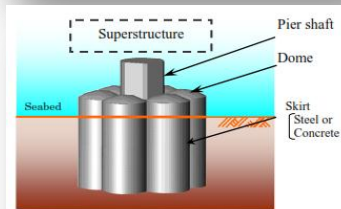
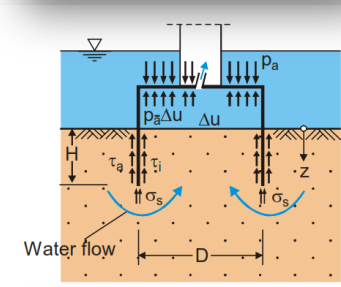
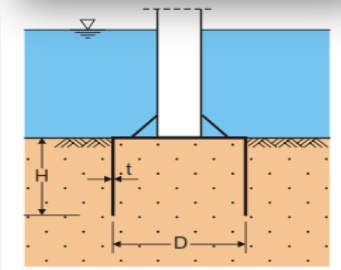
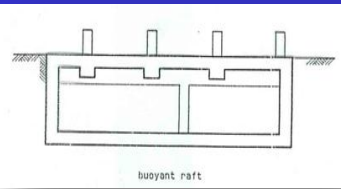
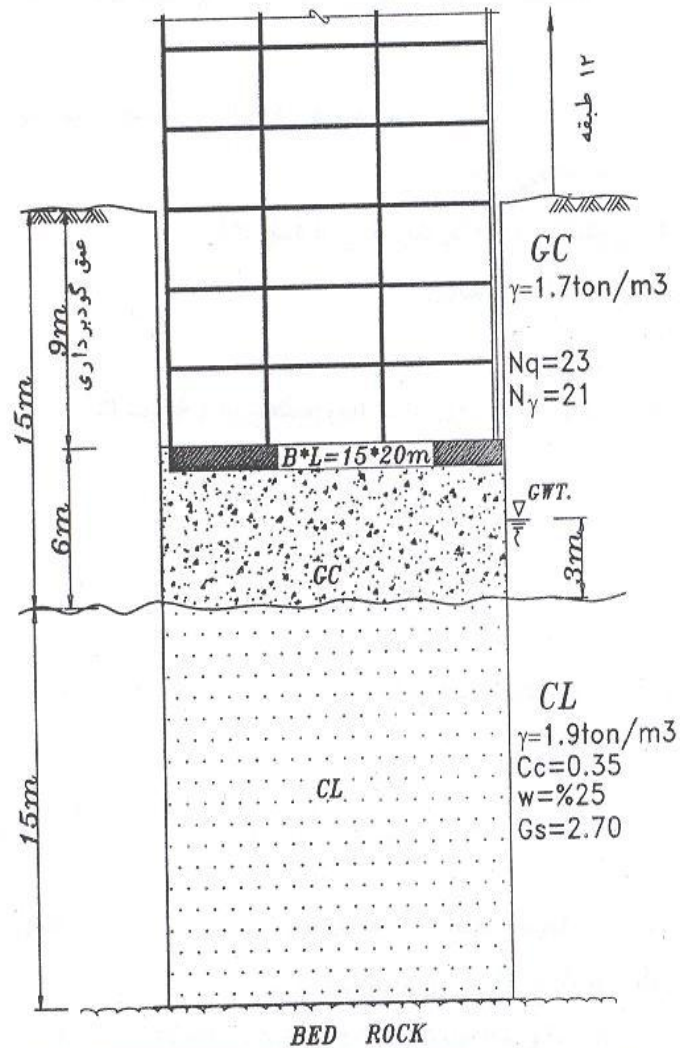


Fig.-1 Skirt Suction Foundation



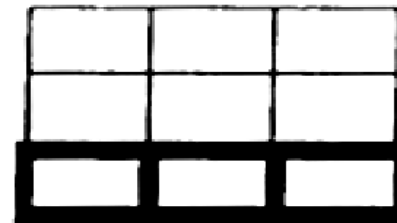
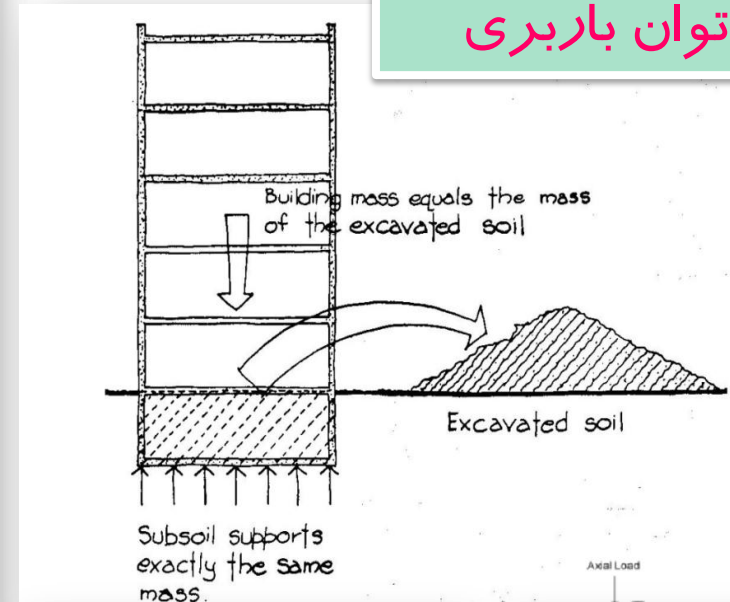
# Floating Foundations

## پی های شناور

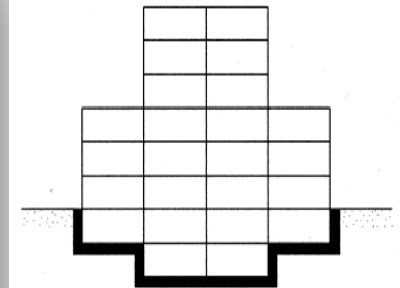


کاهش نشست

افزایش توان باربری

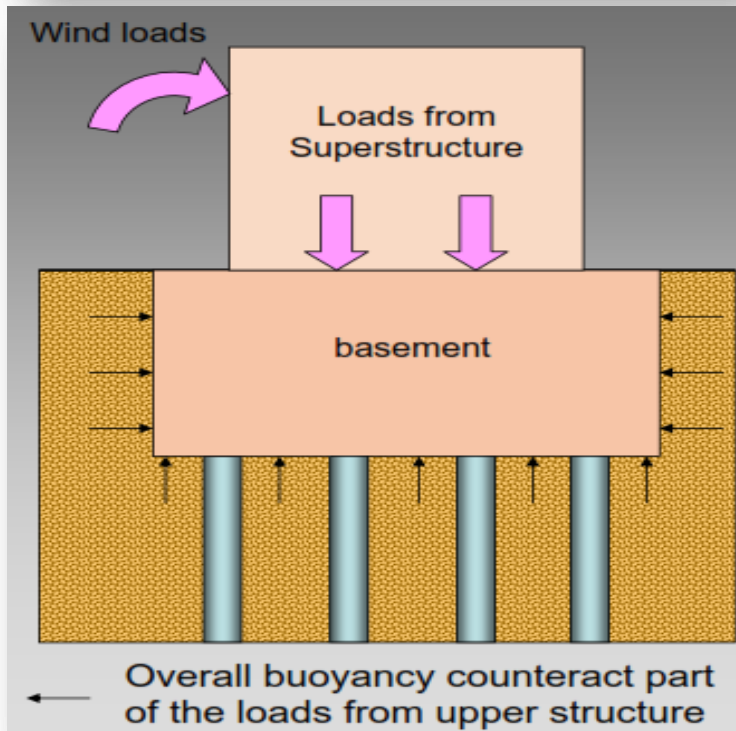
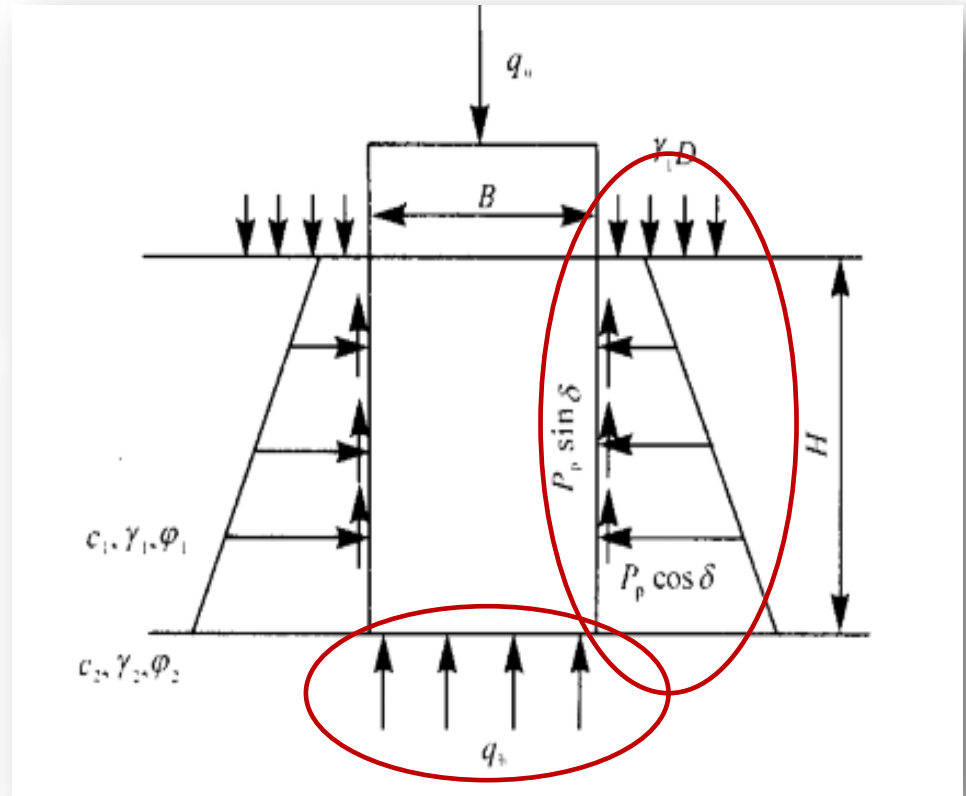
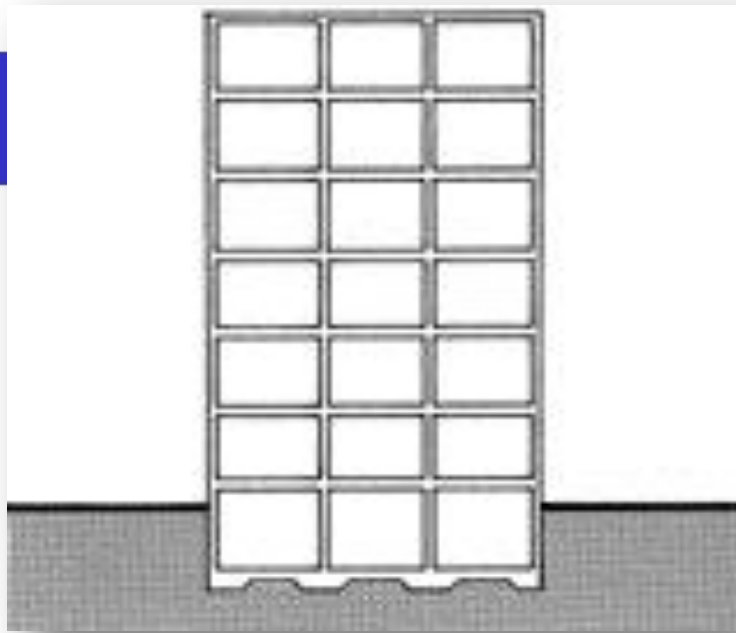


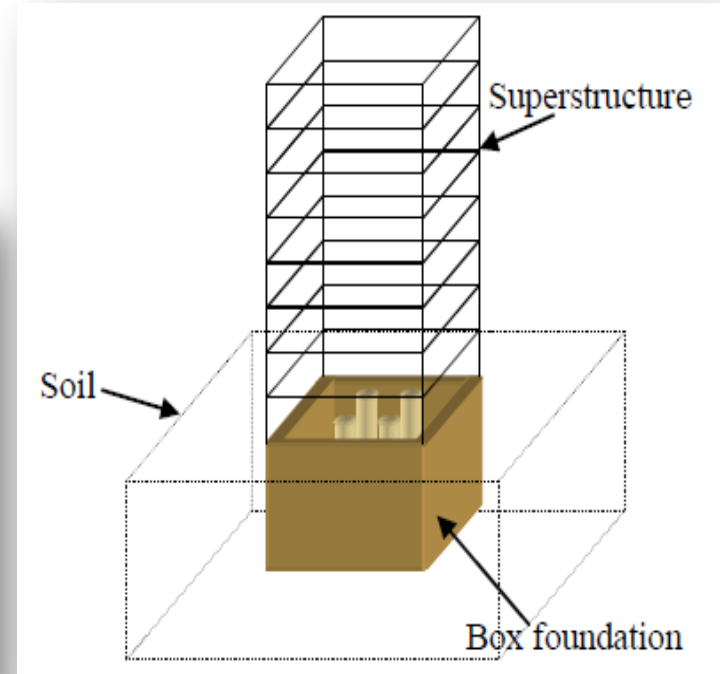
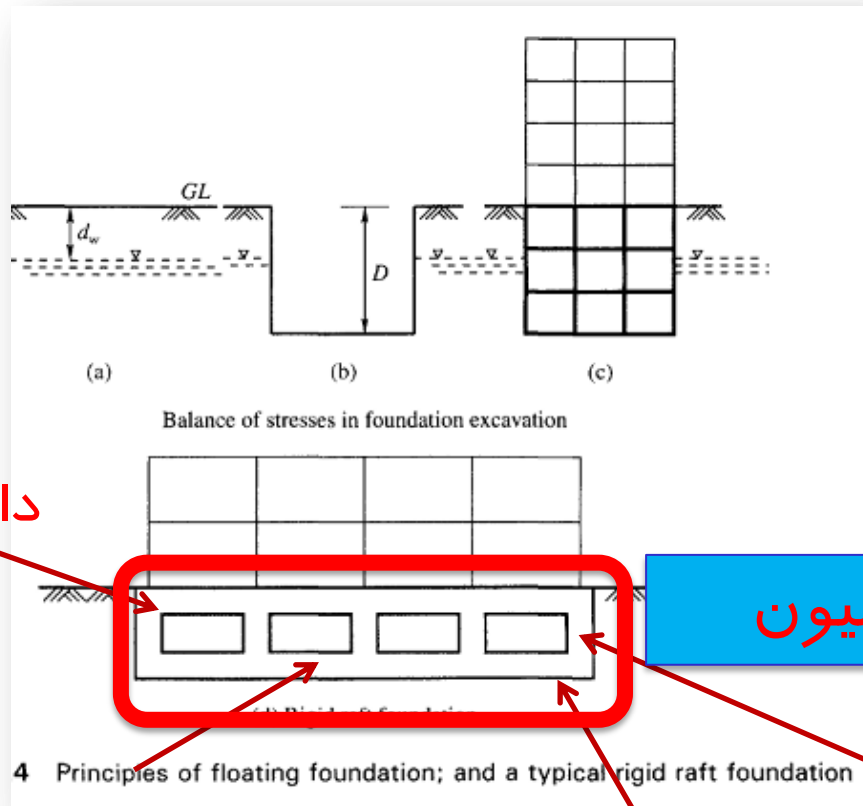
(b)



(a)

# مکانیزم انتقال بار پی های شناور





دال سقف

سیستم فونداسیون

دیوارهای میانی

دال کف

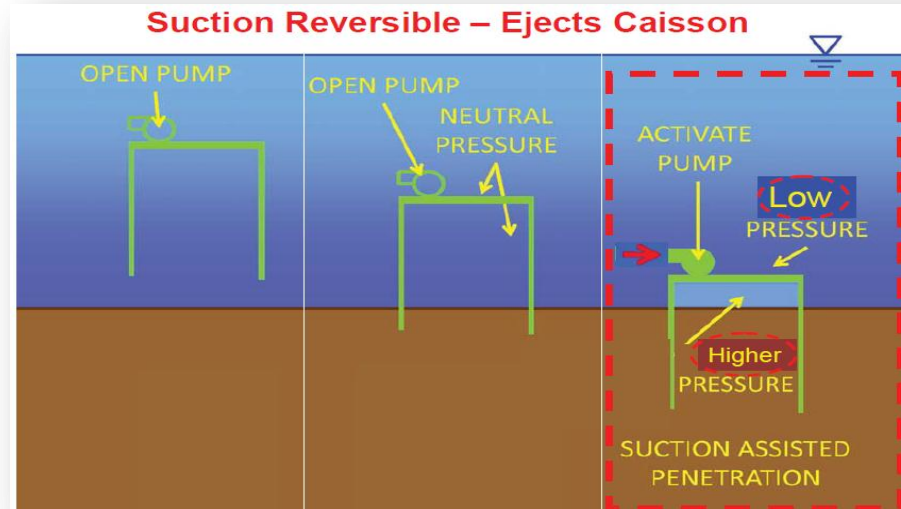
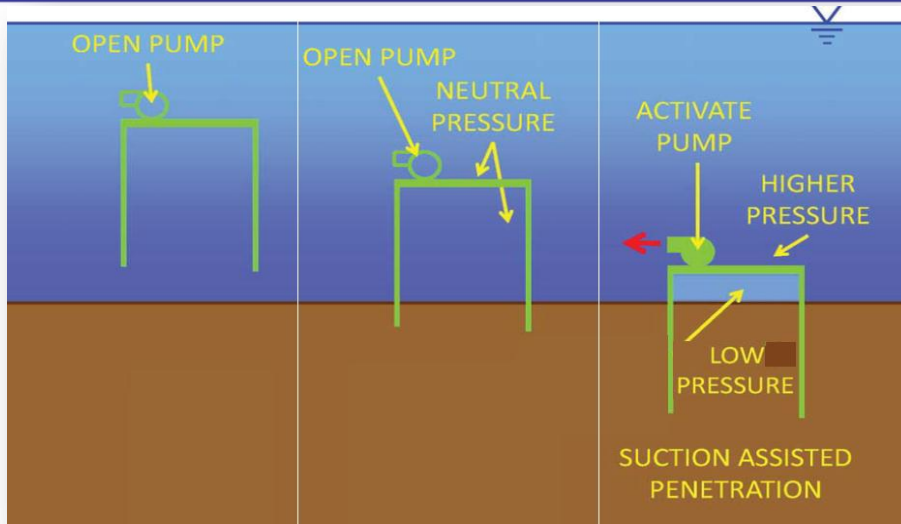
دیوارهای کناری

## مزایای استفاده از پی های باکسی

- استفاده از ستون، دیوارهای برشی و حائل پیرامونی به عنوان بخشی از سیستم فونداسیون نیمه عمیق
- توان باربری جدار حائل پیرامونی با مساحت بزرگ، علاوه بر باربری کف
- عملکرد توام و تشکیل فونداسیون باکسی با سختی و صلبیت زیاد
- کاهش بار خالص وارده و در نتیجه کاهش نشستها
- استفاده از فضاهای زیرزمینی

# Suction Caissons

# کیسونهای مکشی





# مکانیزم انتقال بار پی های نیمه عمیق مکشی

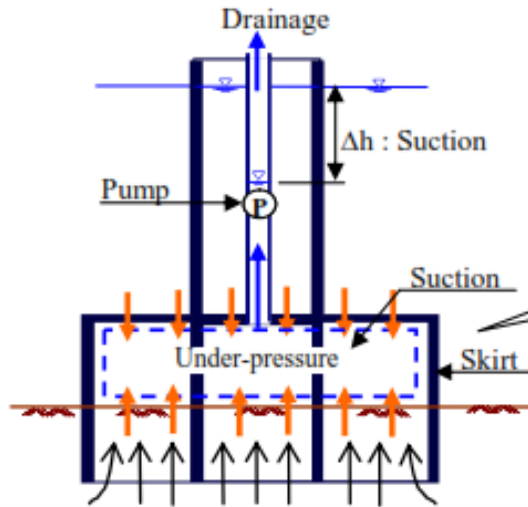


Fig.4 Seepage during suction installation

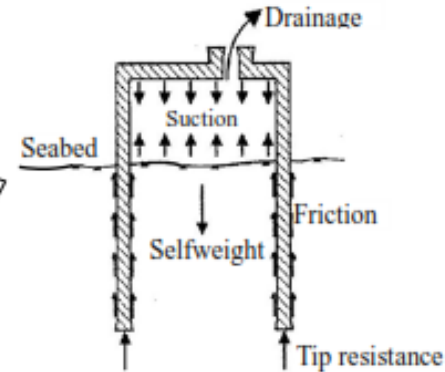
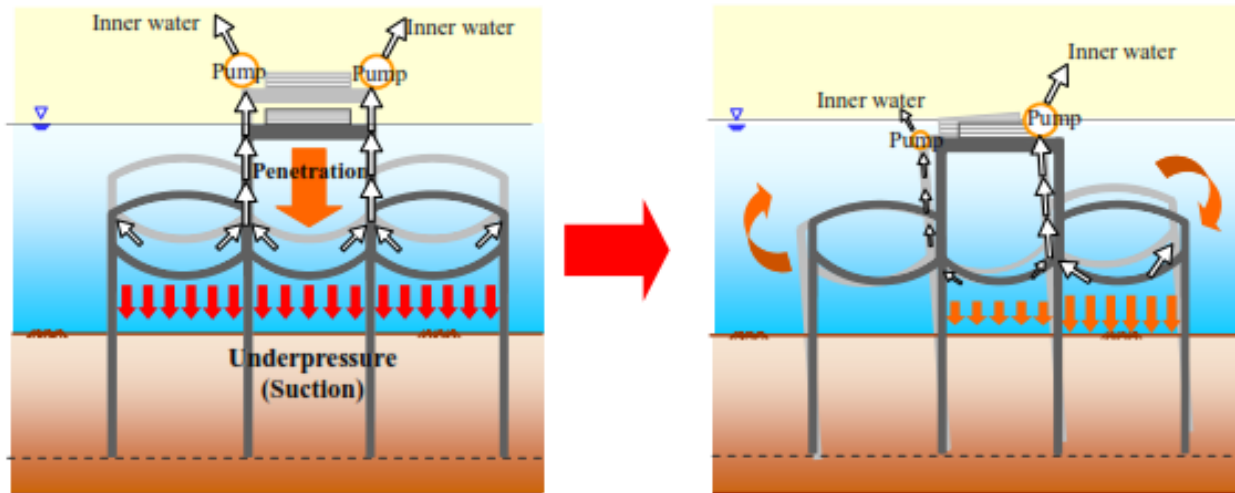


Fig.5 Force equilibrium during suction installation



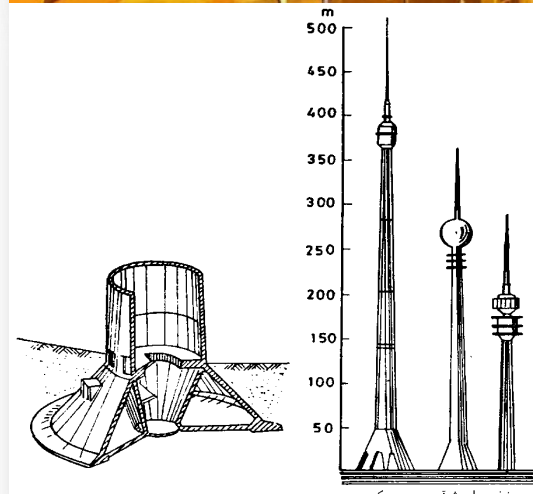
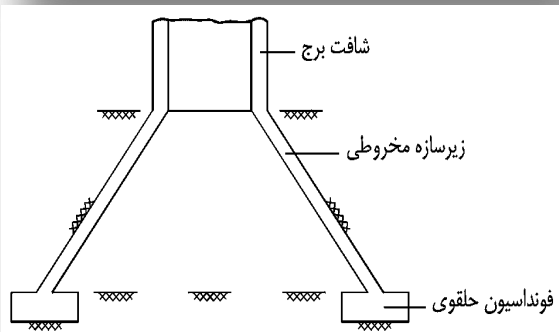
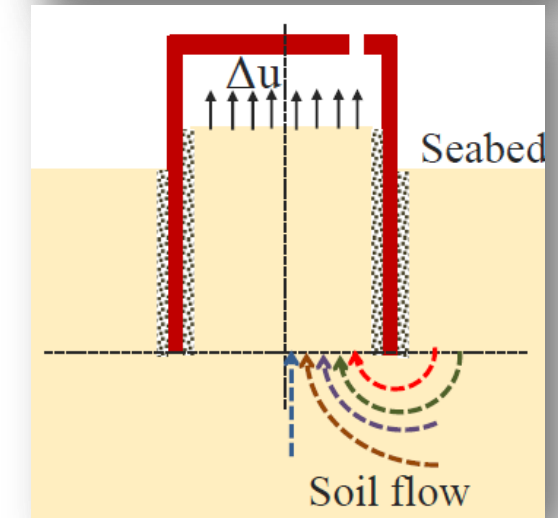
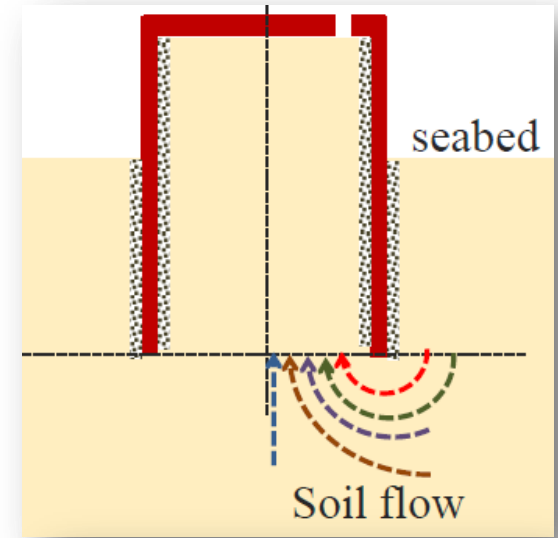
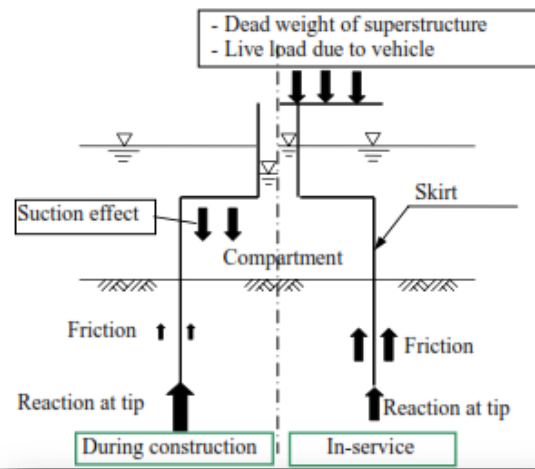
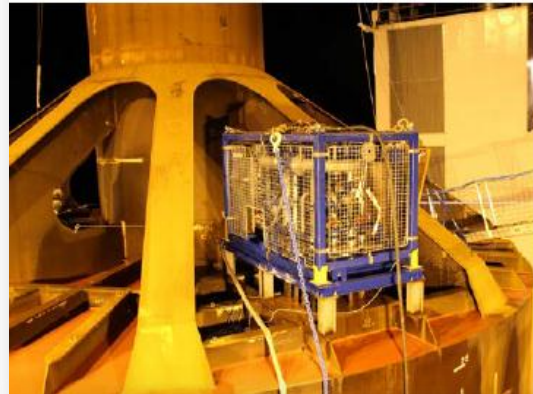
[Penetration]

[Leveling]

Fig.6 Penetration and leveling of foundation due to suction

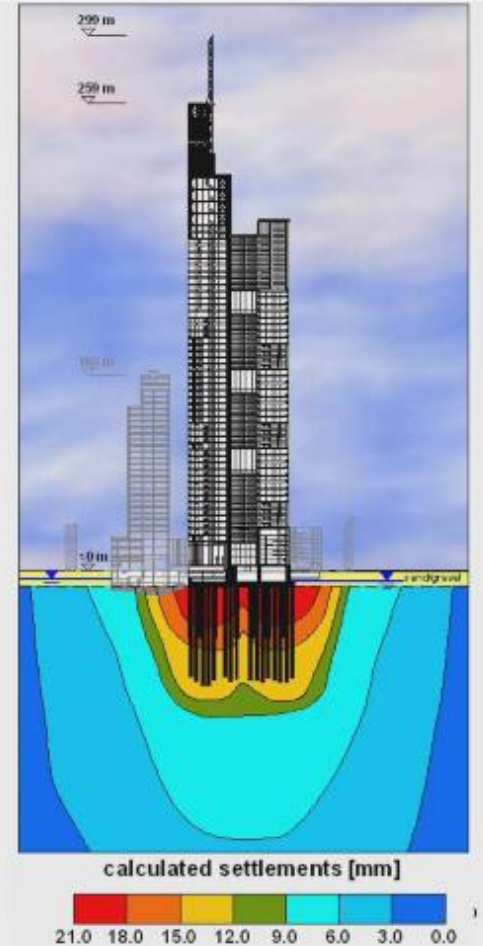
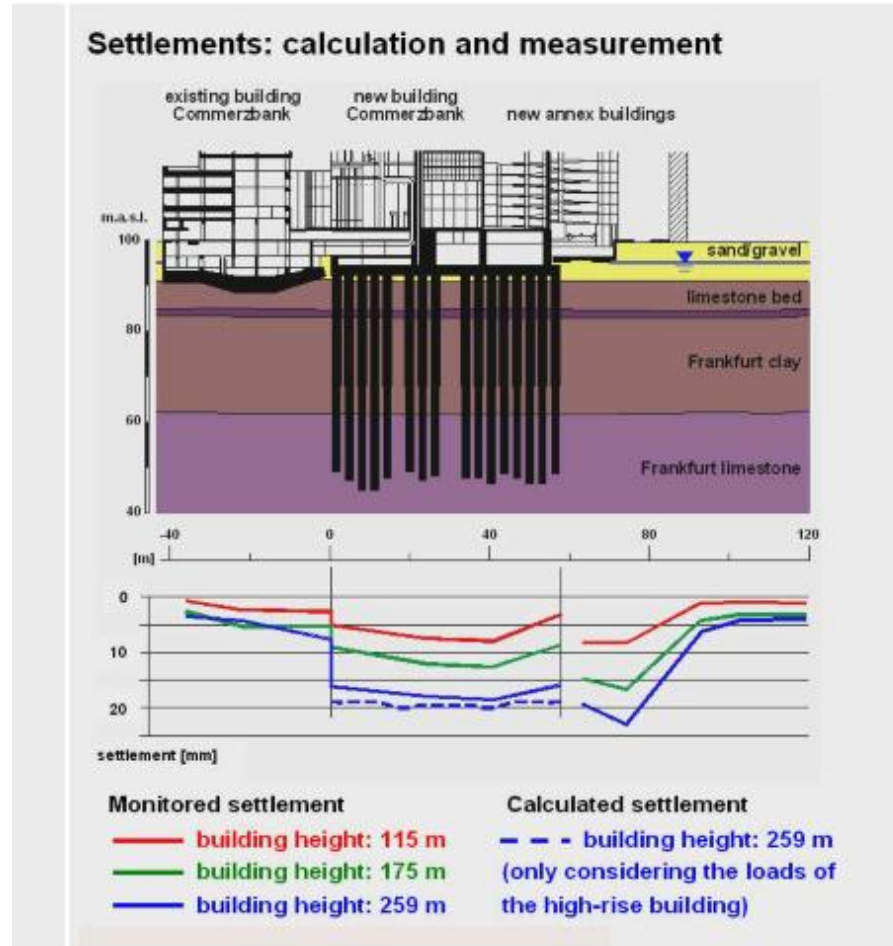
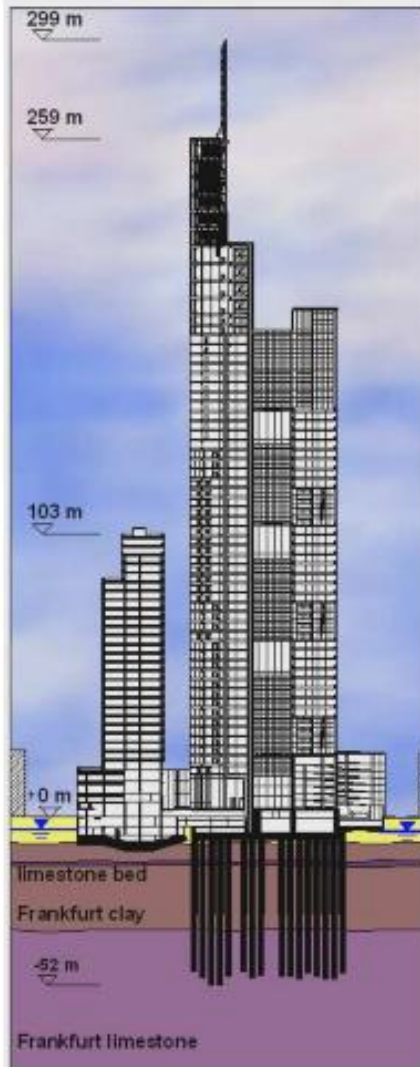
# Buckets

# باکت‌ها

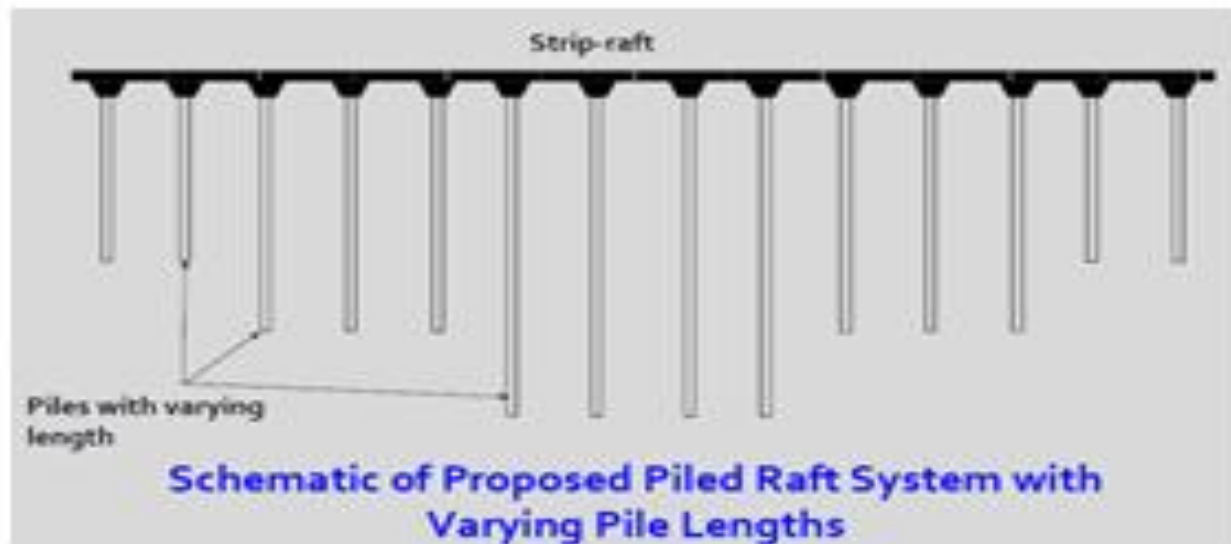


# Piled Raft Foundations

# پی رادیه مرکب



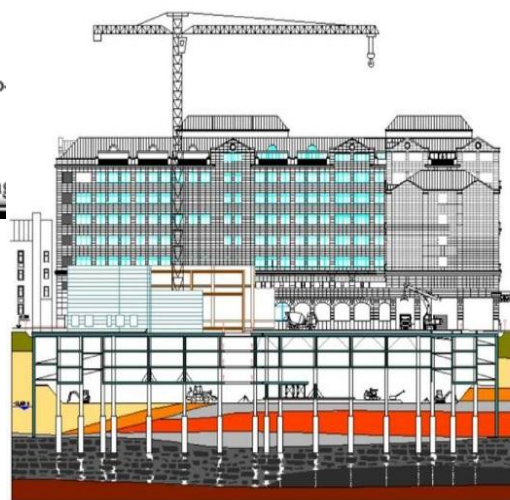
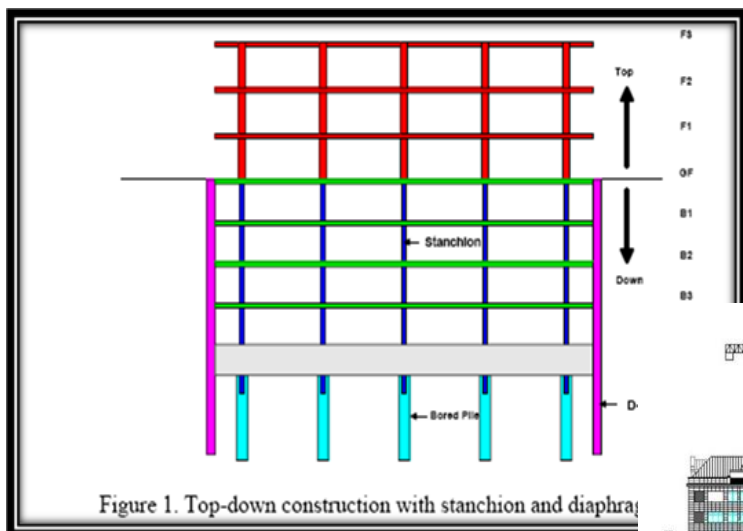
نمونه هایی از سیستم فونداسیونهای مرکب



## انواع فونداسیونهای رادیه مرکب (Poulos, 1998, Randolph, 2009)

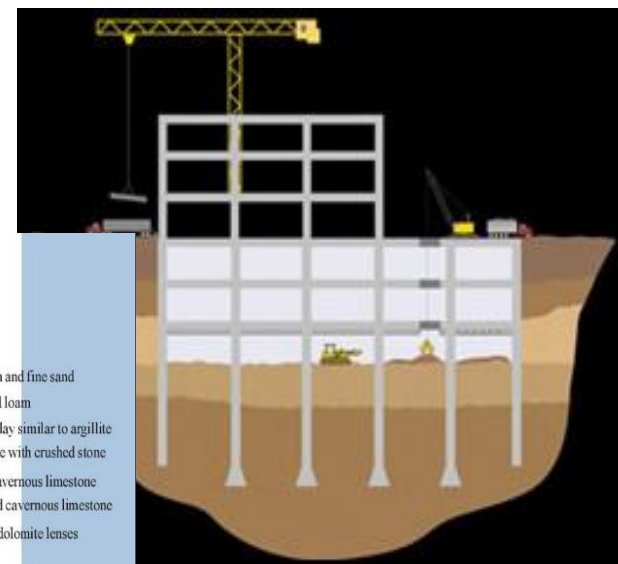
- رادیه مرکب با شمع های به طول یکسان
- رادیه مرکب با شمع های با طول متفاوت
- رادیه مرکب با بالشکک (Cushion)
- رادیه مرکب با شمع های کوتاه و بلند (Composite)
- رادیه مرکب با شمع های غیر متصل (Disconnected Piled Raft)

- عملکرد سیستم باکسی صلب به عنوان فونداسیون نیمه عمیق
- طراحی بهینه با تلفیق روسازه و زیرسازه (حائل زیرزمین و دیواربرشی، شمع و ستون)
- 70% سرعت بیشتر در اجرا، 30% هزینه کمتر



Legend:

- fill-up soil
- coarse, medium and fine sand
- sandy loam and loam
- hard clay and clay similar to argillite
- ground dolomite with crushed stone and grass
- disintegrated cavernous limestone
- badly fissured cavernous limestone
- hard clay with dolomite lenses

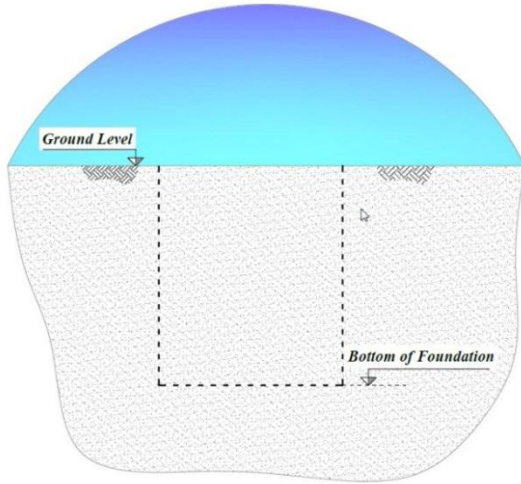


# انواع روش های گودبرداری

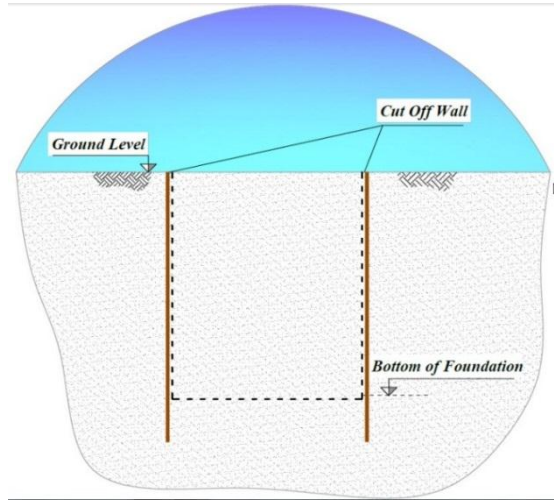


- گودبرداری مهار نشده
- حائل سازی پس از گودبرداری
- حائل سازی به موازات گودبرداری
- حائل سازی پیش از گودبرداری

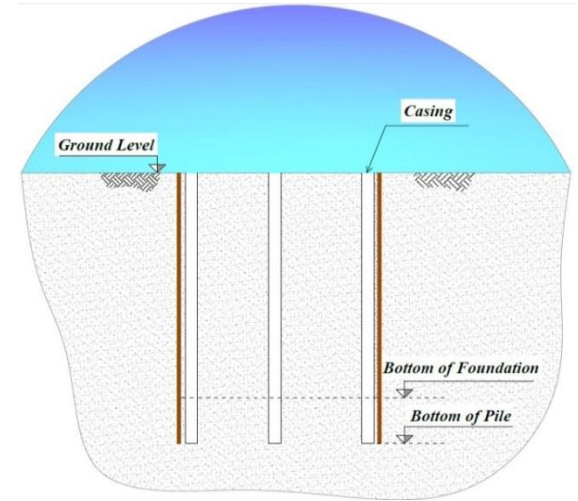
# مراحل اجرا



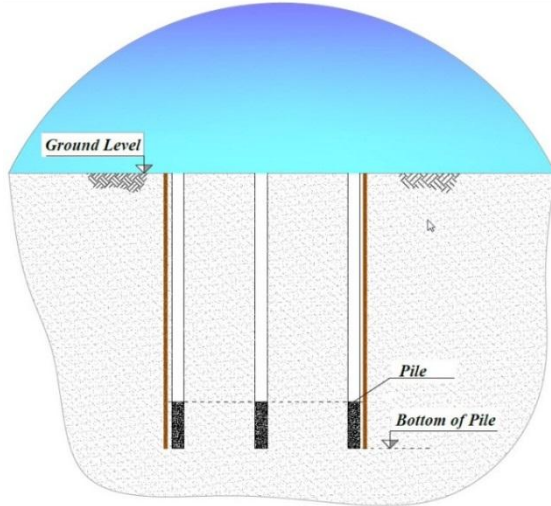
مرحله ۱



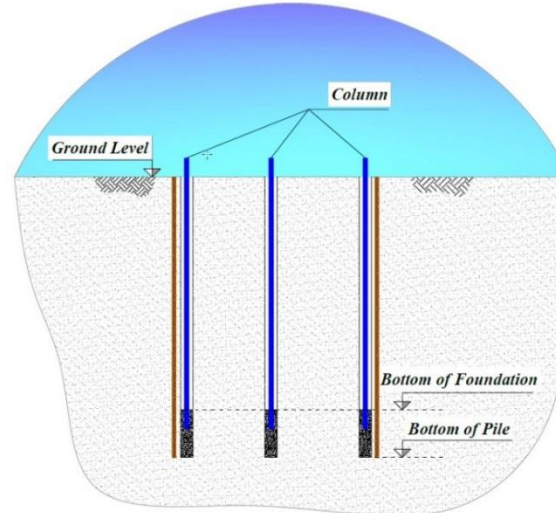
مرحله ۲



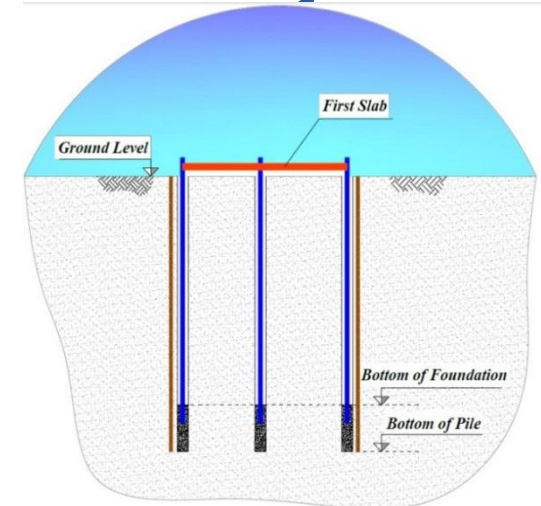
مرحله ۳



مرحله ۴

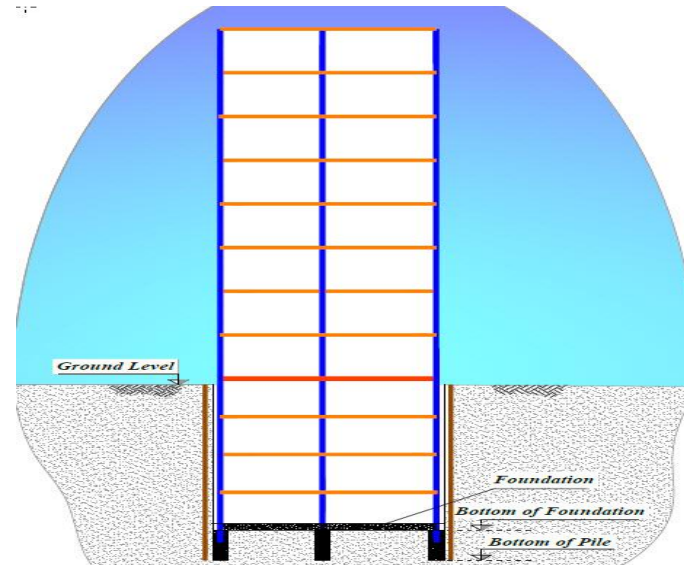
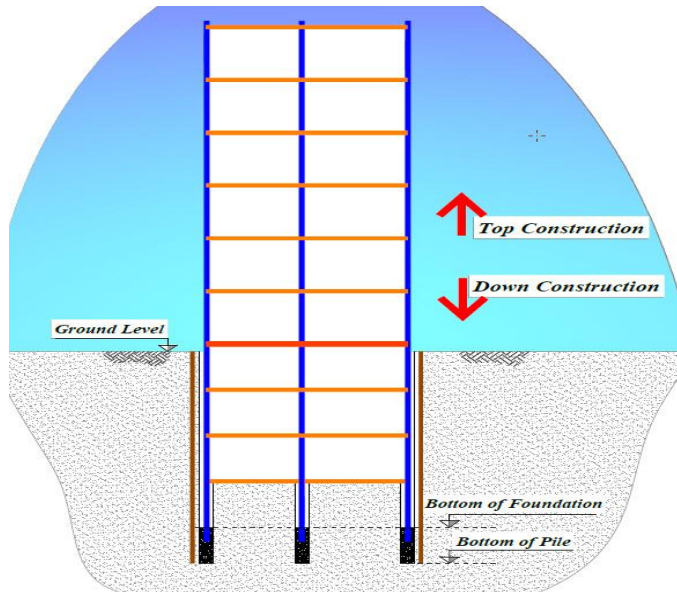
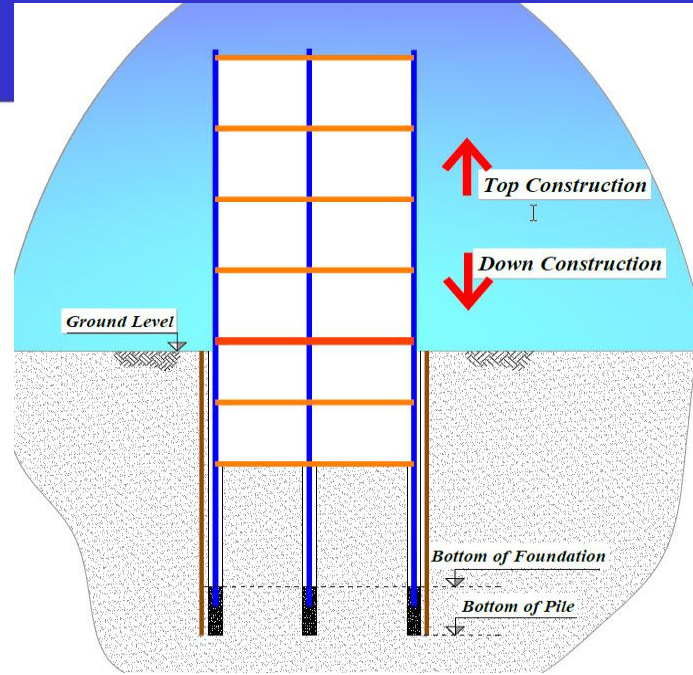
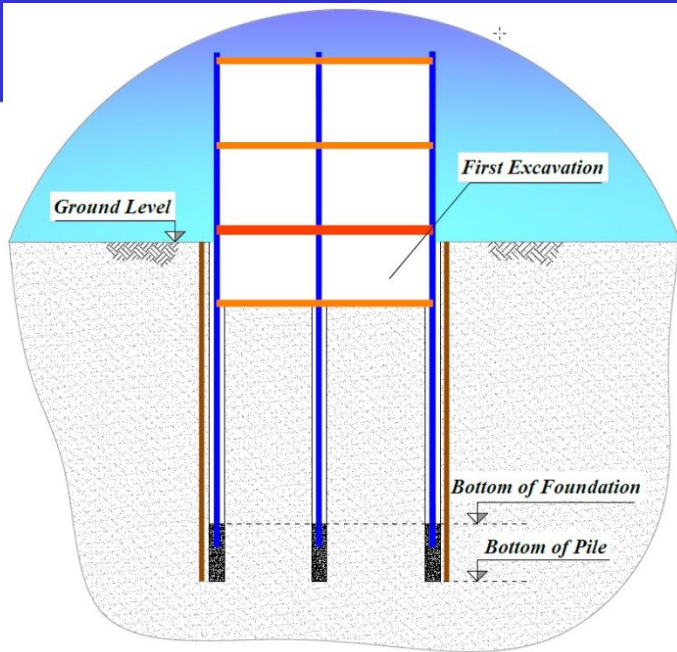


مرحله ۵

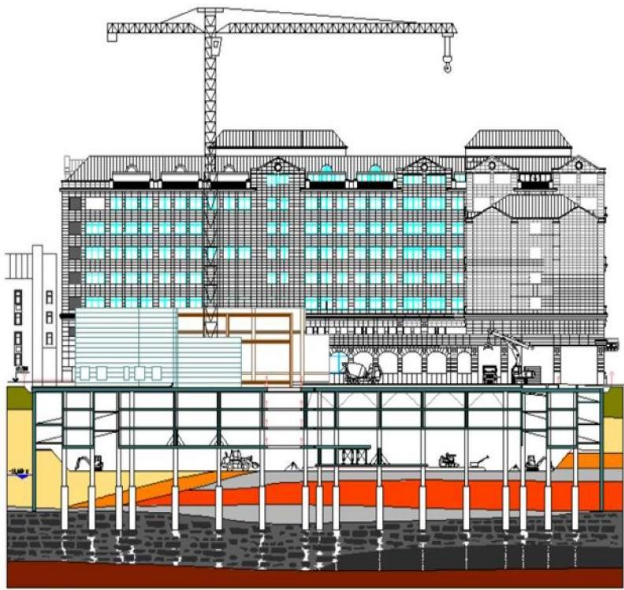


مرحله ۶



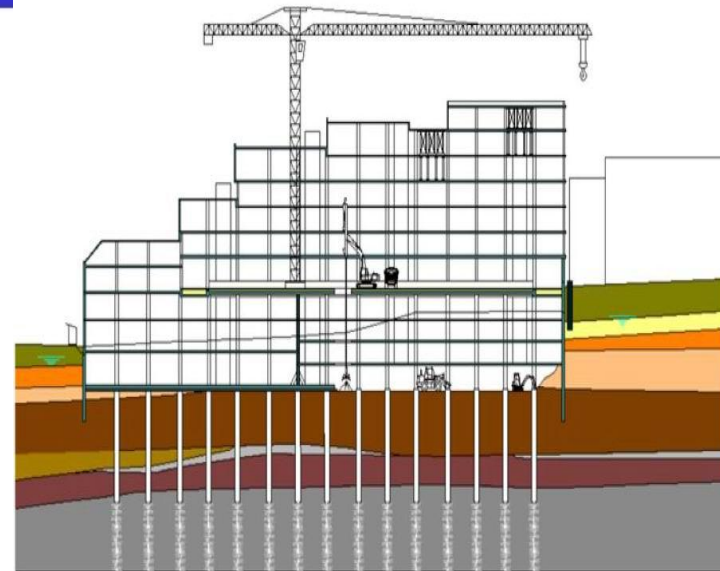


# Top-down construction Cases



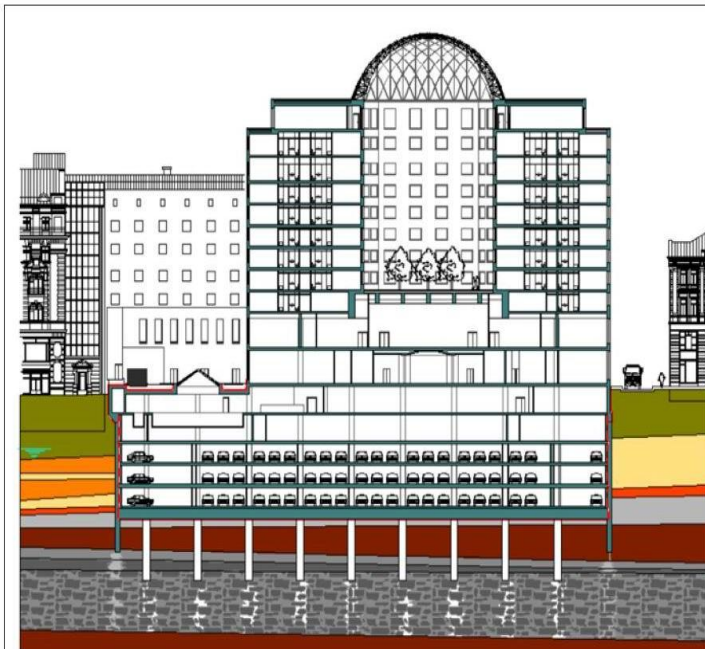
Legend:

- fill-up soil
- coarse, medium and fine sand
- sandy loam and loam
- hard clay and clay similar to argillite
- ground dolomite with crushed stone and gruss
- disintegrated cavernous limestone
- badly fissurated cavernous limestone
- hard clay with dolomite lenses



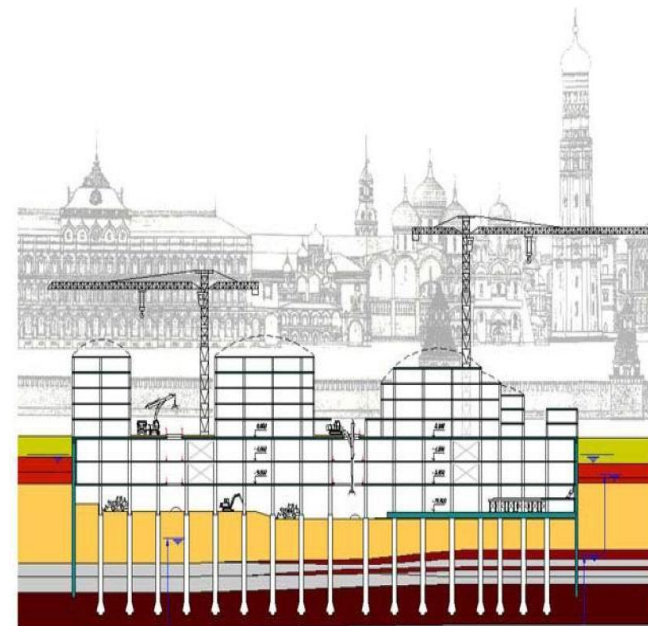
Legend:

- fill-up soil
- water-saturated sand
- plastic and fluid sandy loam
- semi-hard and tough plastic loam
- hard clay
- limestone clay
- disintegrated limestone
- hard clay
- medium-hard and hard limestone and dolomite



Legend:

- fill-up soil
- coarse, medium and fine sand
- sandy loam and loam
- hard clay and clay similar to argillite
- ground dolomite with crushed stone and gruss
- disintegrated cavernous limestone
- badly fissurated cavernous limestone
- hard clay with dolomite lenses



Legend:

- fill-up soil
- plastic clayey soil
- sand with sandy loam and loam lenses and interlayers
- Never clay
- Ratmir limestone
- Voskresensk clay
- Myachkov limestone

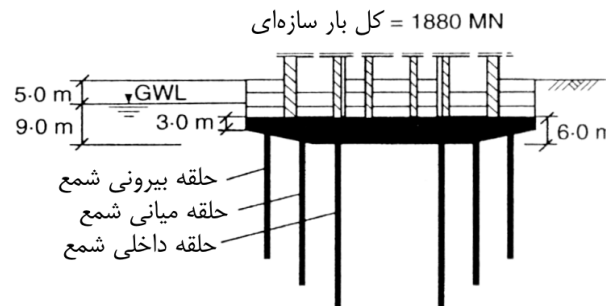
## از مزایای این روش می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- اجرای همزمان روسازه و زیرسازه
- کنترل جابجایی ها و حذف معضلات ناپایداری حین گودبرداری
- رفع معضلات پایداری در ارتباط با تجاوز به زمین همسایه
- حداقل نمودن مشکلات ترافیکی و تردد ناشی از تجهیزات و ماشین آلات موجود
- کاهش گرد و غبار ناشی از ساخت و حذف مشکلات زیست محیطی
- طراحی بهینه با تلفیق روسازه و زیرسازه (حائل زیرزمین و دیواربرشی، شمع و ستون)
- 70% سرعت بیشتر در اجرا، 30% هزینه کمتر

# مورد عملی شماره ۳ – ساختمان Messeturm فرانکفورت – آلمان (Hemsley, 2000)

- بلندترین ساختمان اروپا در دهه ۹۰ در شهر فرانکفورت به ارتفاع ۲۵۶/۵ متر
- برج ۶۰ طبقه دارای ۲ طبقه زیرزمین و با ابعاد ۴۱\*۴۱ متر و وزن کل ۱۸۸۰ مگا نیوتن
- خاک محل شامل ۸ متر شن و ماسه و متعاقب آن لایه رسی ۱۰۰ متر
- استفاده از پی عمیق، به تنهایی غیر اقتصادی و دشوار

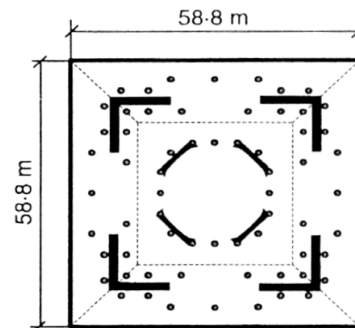
معضلات ناپایداری  $B/4 > 1$



(b)



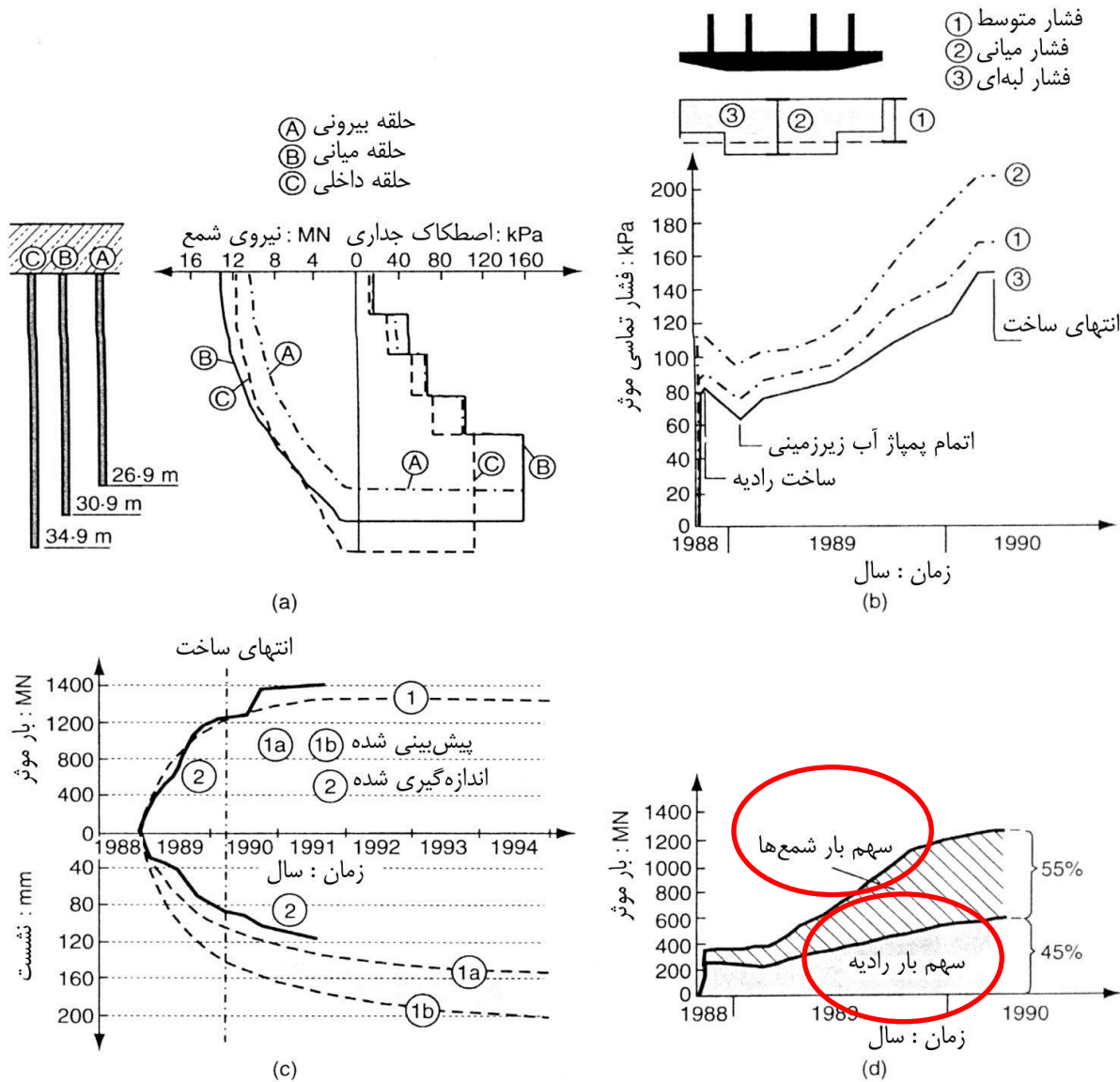
(a)



(c)

- هدف اصلی، کاهش نشست ها و خصوصاً احتمال چرخش های اضافی رادیه بر لایه رسی غیرهموژن و انتقال بخشی از بار روسازه به اعماق سخت تر و پایین تر
- برآورد 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 کناره ها رسیده است.
- شمع ها در جای بتنی به قطر ۱/۳ متر و در ۳ حلقه دایره ای زیر رادیه
- طول شمع های حلقه بیرونی ۲۶/۹ متر (۲۸ شمع)، در حلقه میانی ۳۰/۹ متر (۲۰ شمع) و در حلقه میانی ۳۴/۹ متر (۱۶ شمع)
- بدلیل اجتناب از عملکرد گروه شمع فاصله بین شمع ها متغیر از ۵B تا ۳/۵B

# مورد عملی شماره ۳ - ساختمان Messeturm فرانکفورت - آلمان (Hemsley, 2000)



رفتار اندازه‌گیری شده  
سیستم زیرسازه

۵- جمع بندی

**Final Remarks**

## ۱- مهندسی ژئوتکنیک – منابع:

آزمایشات ژئوفیزیکی، تستهای آزمایشگاهی و درجا، مدل سازی، ابزار گذاری و پایش، قضاوت مهندسی

## 1. Geotechnical Engineering- Sources

Geophysical ,Lab & In-situ Tests, Modeling, Instrumentation, Monitoring, Engineering Judgment.

## ۲- کاوش های ژئوتکنیکی مرتبط با مهندسی پی:

آزمایشات درجا، کاربرد قابل ملاحظه در مهندسی پی

## 2. Site investigations

In-situ Tests: Remarkable and Relevant



## ۳- پی:

عنصر انتقالی بین سازه های طبیعی یا مصنوعی و زمین

### **3. Foundation:**

A Transition System btw. Natural & Artificial Structures and Ground

## ۴- مهندسی پی:

دانش بنیان، کار تیمی و چند جانبه بین مهندسین سازه، ژئوتکنیک و مجریان

### **4. Foundation Engineering:**

Knowledge based, Team working & Multidisciplinary:  
Structural, Geotechnical and Constructional Engineers

## ۵- مبانی تحلیل و طراحی:

توان باربری، تخمین نشست، طراحی سازه ای، کنترل پایداری، جنبه های اجرایی و اقتصادی

## 5. Analysis & Design Principles:

Bearing Capacity, Settlement Estimation, Structural Design, Stability Control, Practical & Economical Aspects

## ۶- قضاوت مهندسی و روش مشاهده ای:

چرخه داده ها، طراحی و اجرا

## 6. Engineering Judgment & Observational Method:

Data, Design & Performance Cycle

## ۷- ملاحظات ایتیم:

### 7. Optimum Considerations:

▪ سبک و بهینه: اصلاح ضرایب اطمینان از ۳ تا ۴ ← ۱/۵ تا ۲

- Lean/Optimization: FS from 3-4 → 1.5-2

## ۸- رویکردهای نوین جهانی:

### 8. Global New Trends:

- Intermediate Foundations:
  - Soil Improvement,
  - Semi-Deep Foundations
  - Top-Down Construction

▪ پی های حد فاصل:

▪ نیمه عمیق

▪ بهسازی

▪ ساخت همزمان روسازه و زیرسازه

- Sustainable Development

▪ توسعه پایدار



با تشکر از

همراهی، حضور و توجه شما

**Thanks**

