بسمه تعالی

اولین کنفرانس بین المللی مهندسی ساخت

ژئوسیستم ها:
رویکردهای بهینه و نوین

GeoSystems:
Optimum and New Trends

توسط:

دکتر ابوالفضل اسلامی A. Eslami

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

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست(AUT)

۳ و ۴ اسفند ۹۶

عناوین:

1. Geotechnical Engineering ۱- مهندسی ژئوتکنیک: کلیات
2. GeoSystems ۲-ژئوسیستم‌ها
3. Hybrid Foundations ۳-پی‌های ترکیبی
4. Top-down Construction ۴-ساخت همزمان زیرسازه و روسازه
5. Summary ۵-جمع بندی

۱. مهندسی ژئوتکنیک: کلیات

1. Geotechnical Engineering:

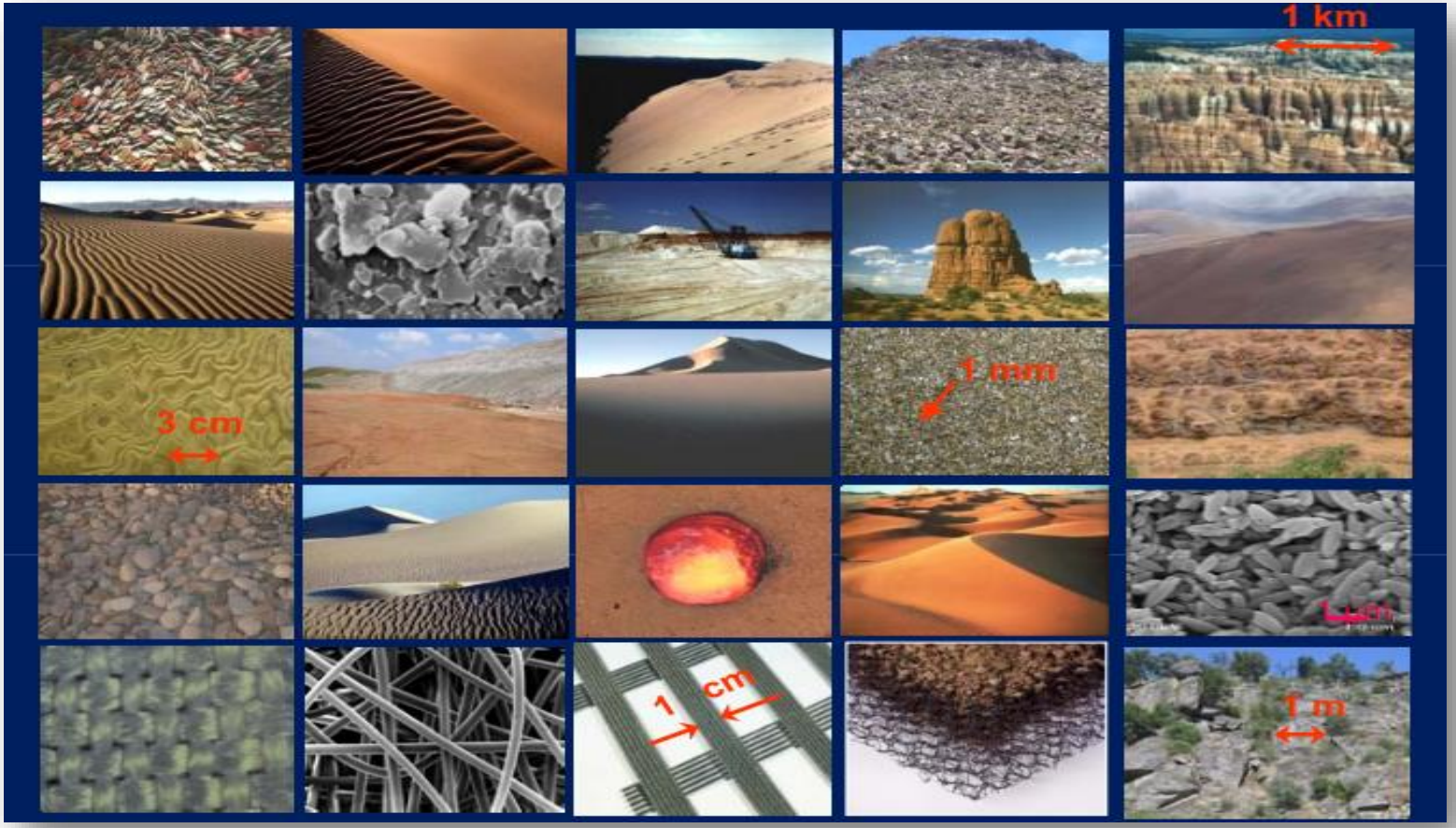
Generals

۱– مهندسی ژئوتکنیک

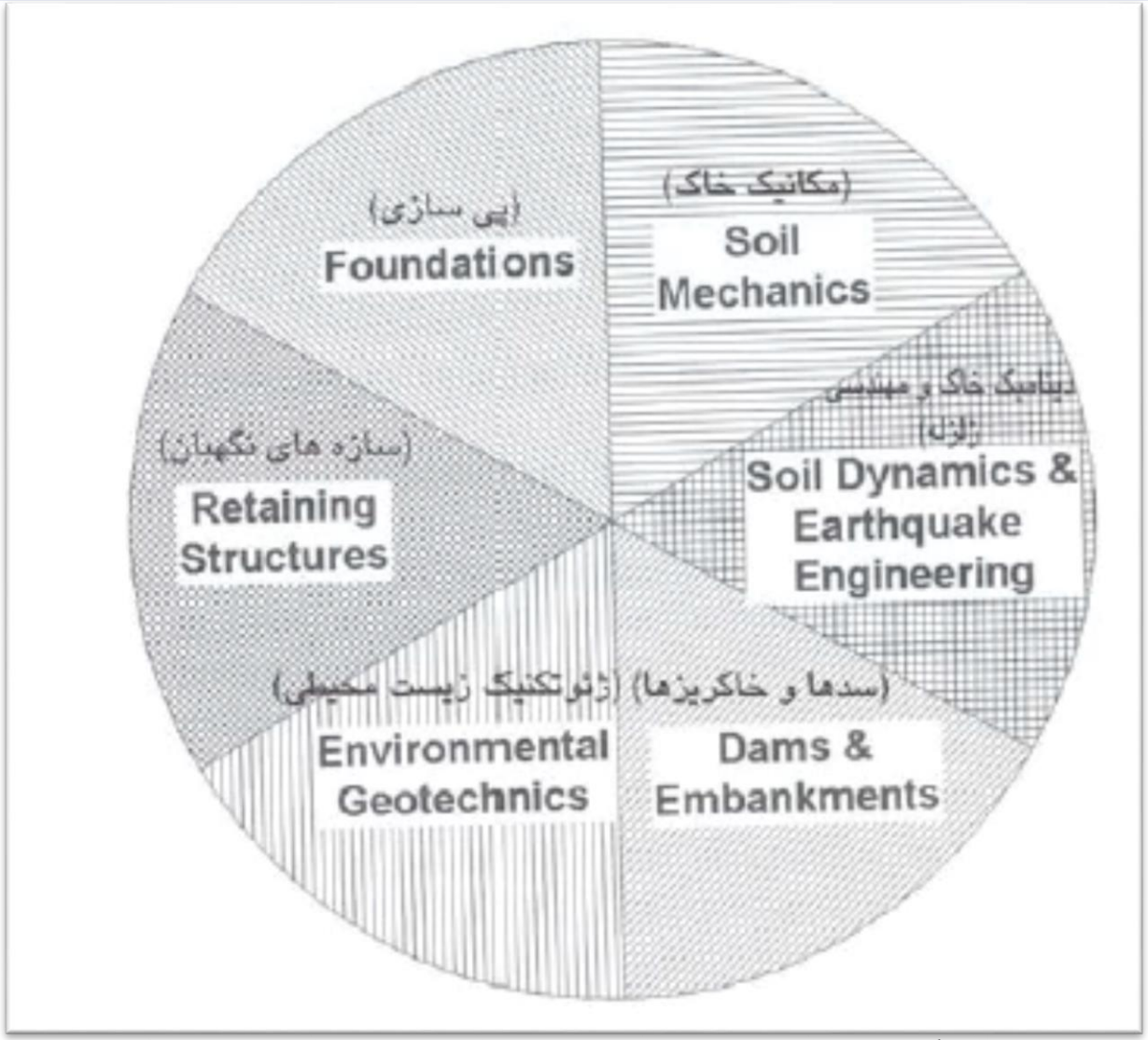
مهندسی ژئوتکنیک، شاخه ای از مهندسی عمران

Geometricals: Soil,Rock,Ground Water

Geosynthetics: Geotextile,Geogrid,Geonet,Geomembrane,…



۱– مهندسی ژئوتکنیک



گرایش‌های 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)

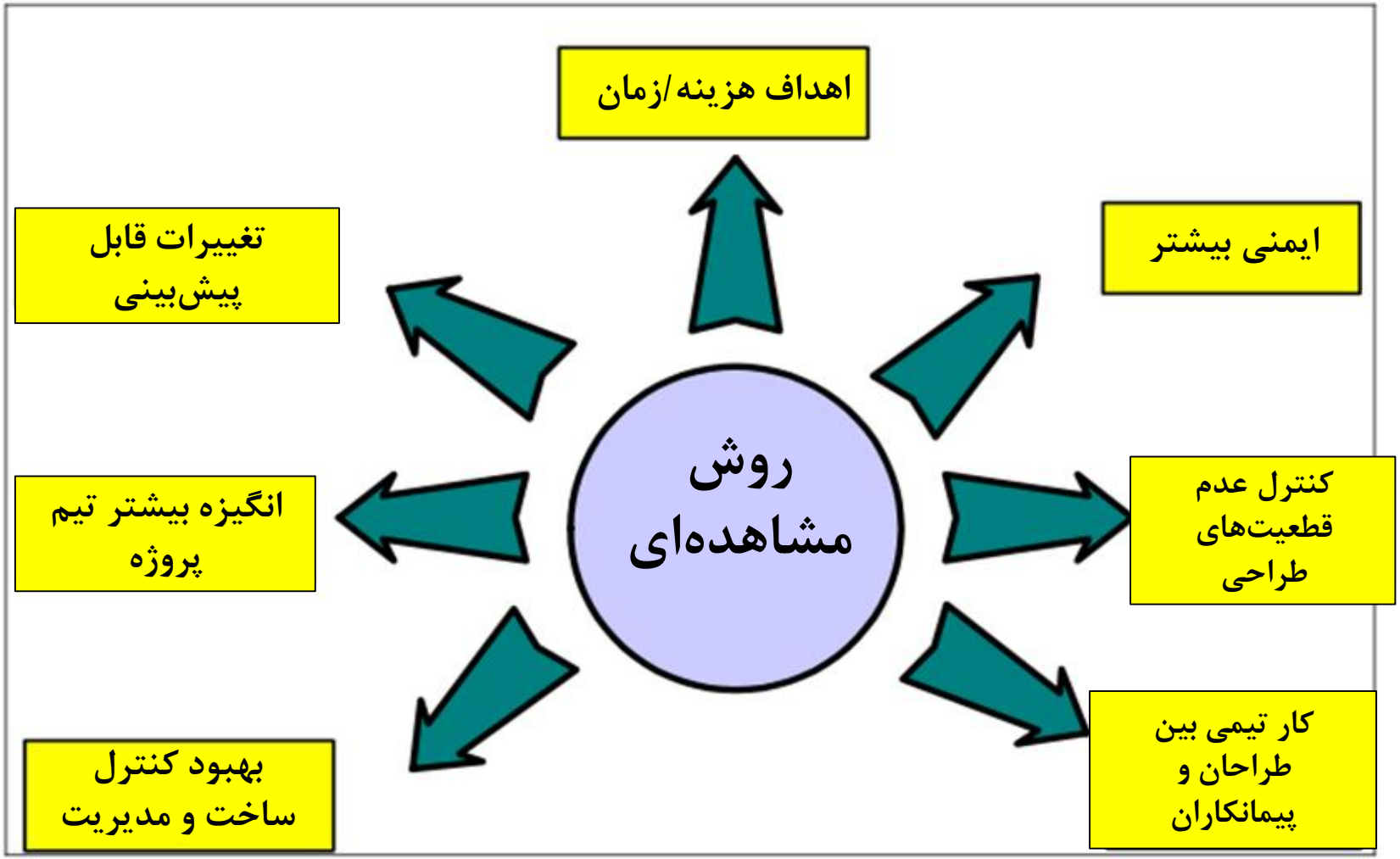
۵- تهیه گزارش ژئوتکنیکی (Geotechnical Report)

۶- ابزار گذاری و پایش (Instrumentation and Monitoring)

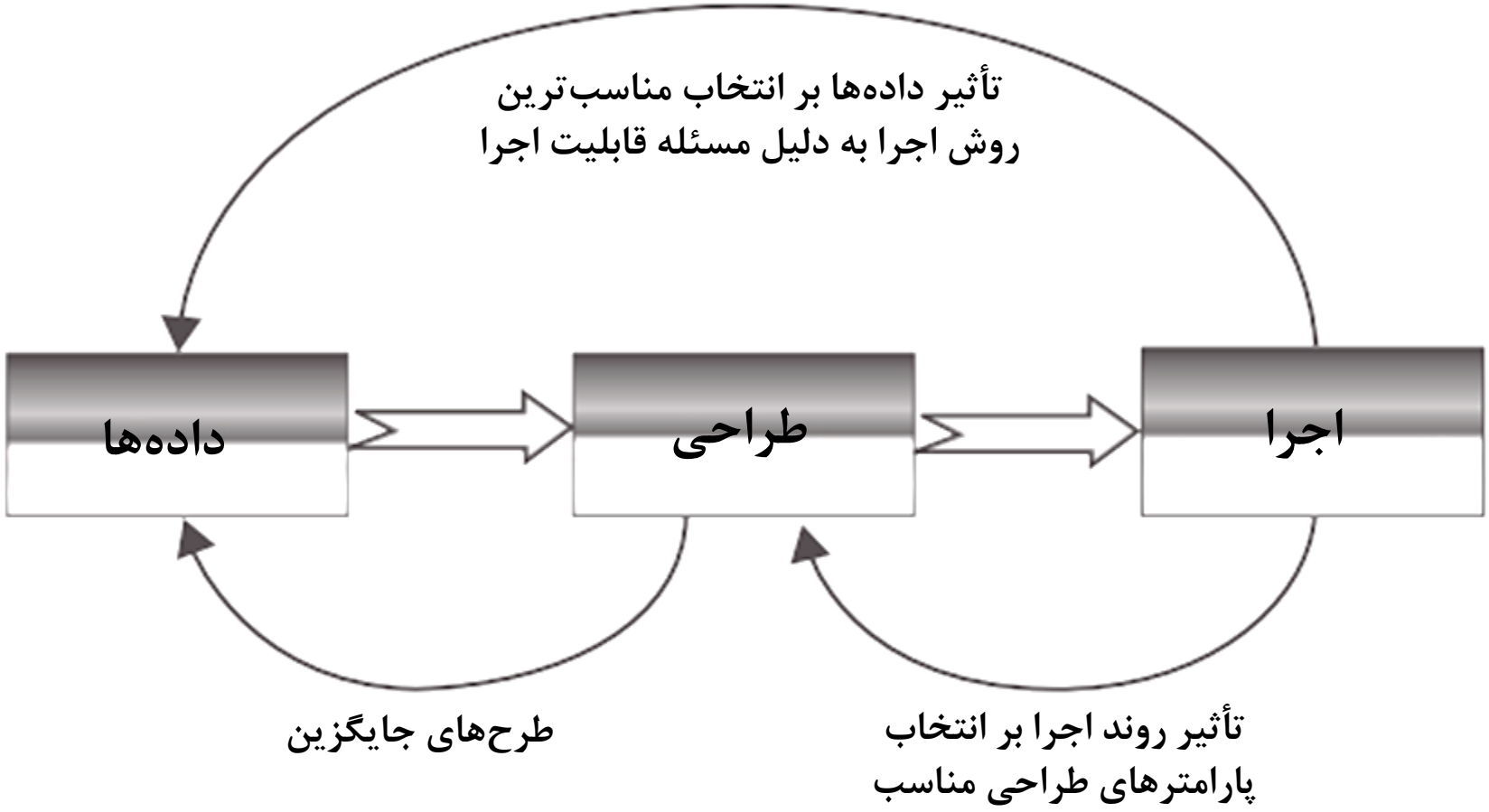
قضاوت مهندسی (Engineering Judgment)

متد مشاهده ای و مدل های رفتاری خودآموز

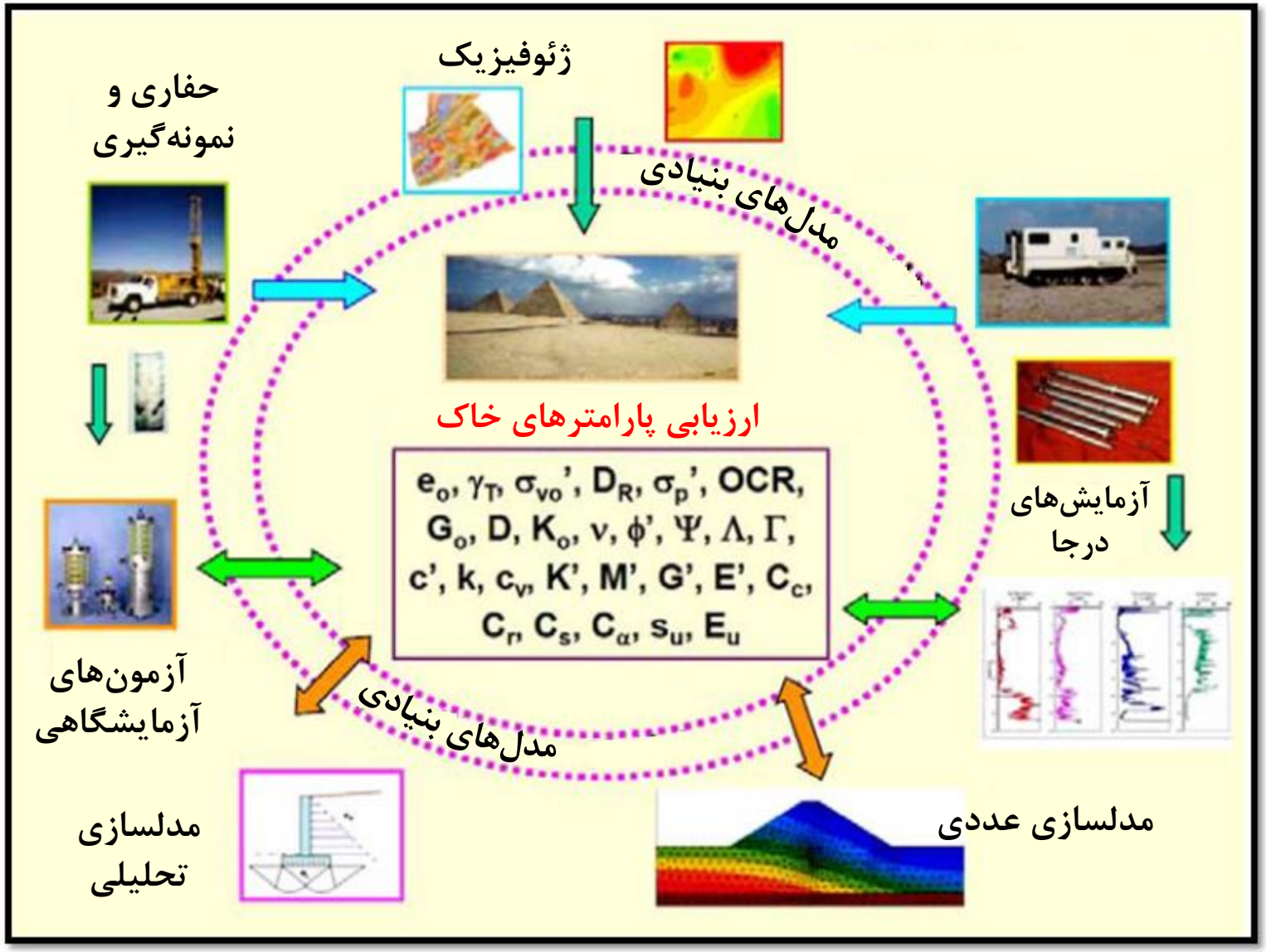
Observational Method & Self-Automated Behavioral Model

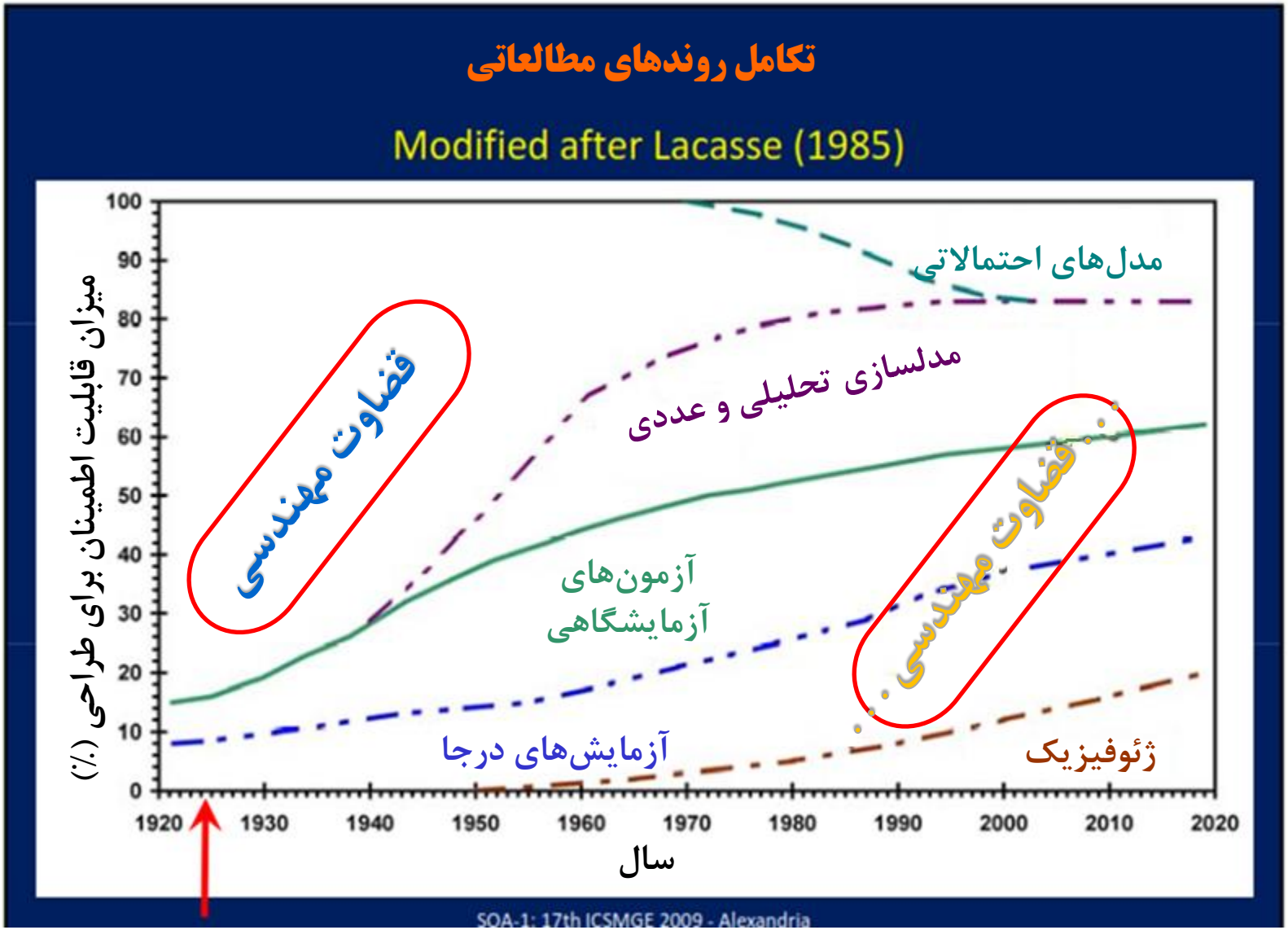


چرخه داده‌ها، طراحی و ساخت



تحلیل و طراحی جامع متناسب با رفتار ساختگاه، سازه و نحوه اجرا




تکامل روندهای مطالعاتی
Modified after Lacasse (1985)
میزان قابلیت اطمینان برای طراحی (٪)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
سال
مدل‌های احتمالاتی
مدلسازی تحلیلی و عددی
آزمون‌های آزمایشگاهی
آزمایش‌های درجا
ژئوفیزیک
قضاوت مهندسی
قضاوت مهندسی
SOA-1: 17th ICSMGE 2009 - Alexandria

۲. ژئوسیستم‌ها

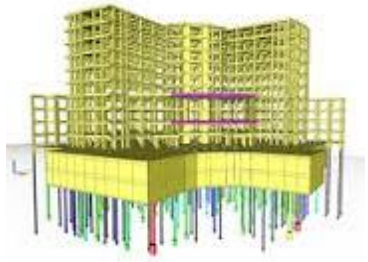
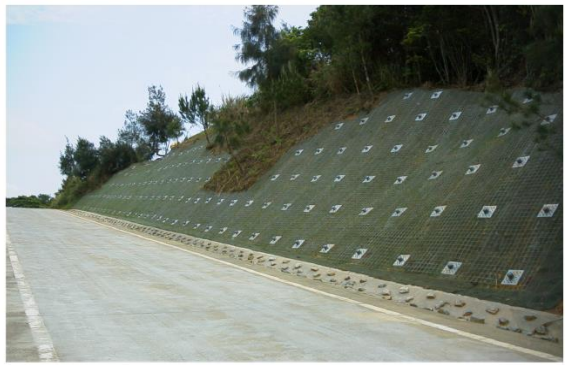
2. GeoSystems

Composite systems including:

- Soil and rock
- Wood and plants
- Groundwater
- Structural elements

سیستم مرکب متشکل از:

- خاک و سنگ
- چوب و گیاه
- آب زیرزمینی
- المان‌های سازه‌ای

GeoSystems:

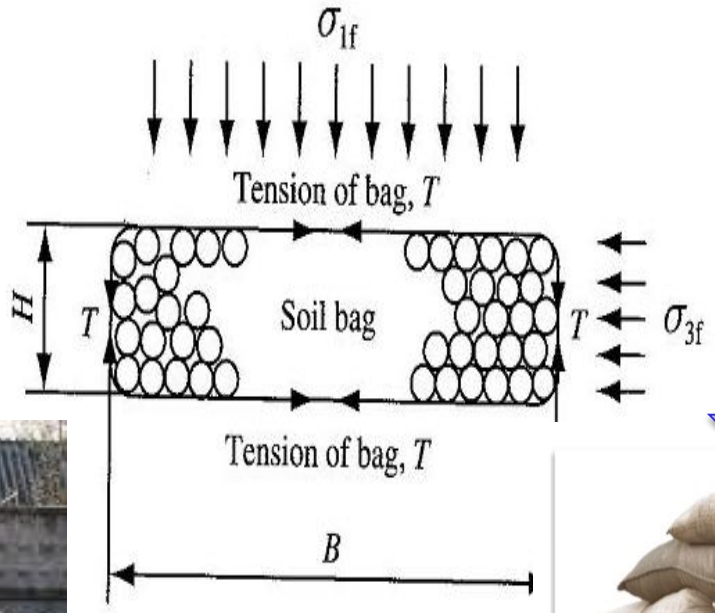
- Geomaterials
- Geoslope
- Geogrid
- Geo-environmental
- Geo-structure
- Geowall
- Geosynthesis

۲- ژئوسیستم‌ها

- **بکارگیری روش‌های محصورشدگی**
- **عملکرد یکپارچه و هماهنگ خاک و مسلح‌کننده مصنوعی**
- **مصالح ژئوسنتتیکی، مانند:**
  - کیسه‌های خاک
  - ژئوتیوب
  - ژئوسل

محصورسازی با کیسه

- فلسفه عملکرد : تبدیل نیروهای دشمن به دوست
- کنترل جابجایی خاک درون کیسه خاک← افزایش ظرفیت باربری خاک
- کاربرد در کنترل پایداری شیب و جلوگیری از لغزش‌های سطحی



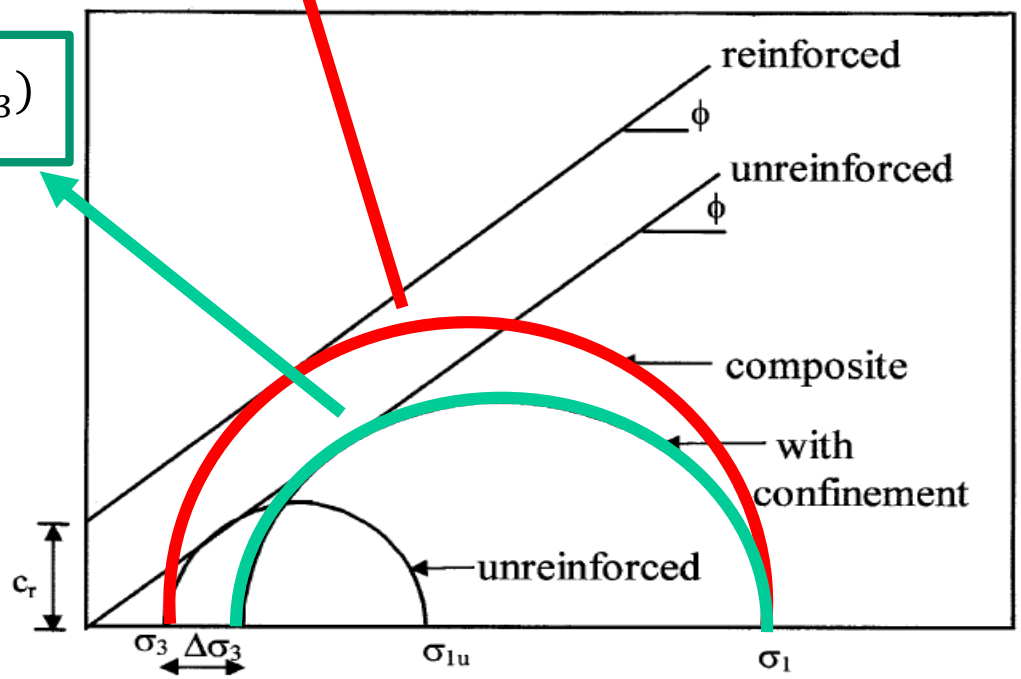
ایجاد چسبندگی ظاهری با استفاده از کیسه‌های خاک

- تعیین چسبندگی ظاهری ناشی از محصورشدگی

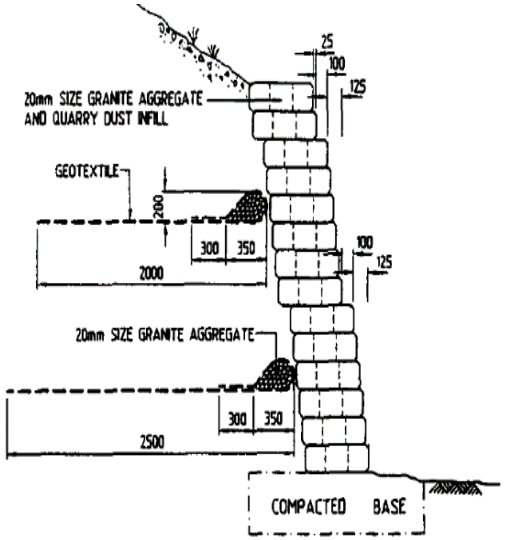
$$\sigma_r = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\sigma_3 + 2c_r\sqrt{\frac{1+sin\varphi}{1-sin\varphi}} = K_p\sigma_3 + 2c_r\sqrt{K_p}$$

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

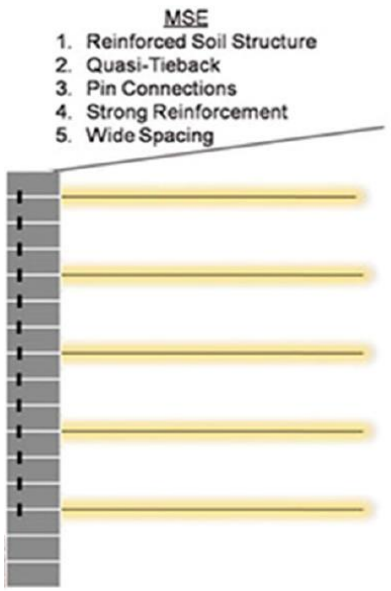
$$c_r = \frac{\Delta\sigma_3}{2}\sqrt{K_p}$$



ژئوسیستم در پایدارسازی

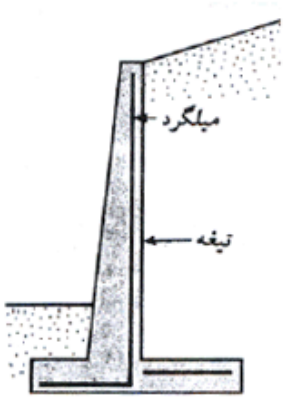


- شمع نگهبان و حائل (Soldier piles and lagging)
- استفاده از تایرهای لاستیکی کهنه (Rubber Tiers)
- گابیون (Gabion)
- خـاک مسلح به‌روش مکانیکی یا با ژئوسینتتیک

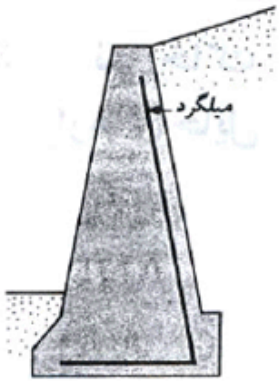


ژئوسیستم در پایدارسازی

- دیوارهای حائل سنتی

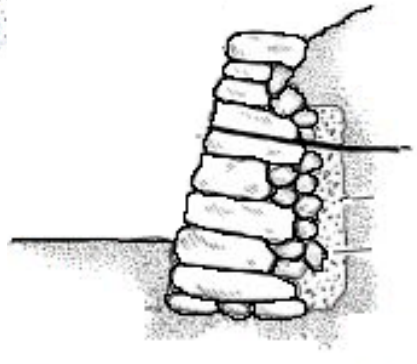


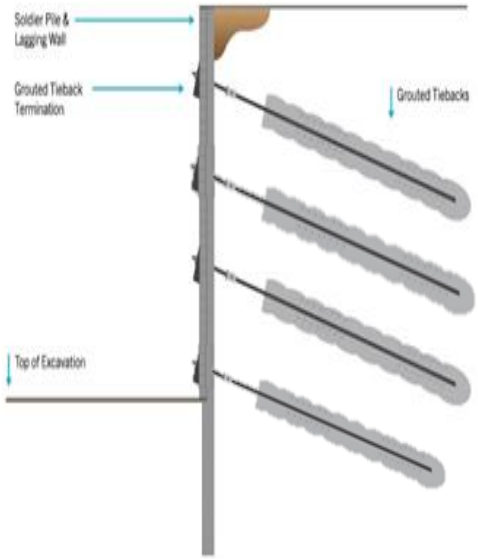
دیوار حائل طره ای



دیوار حائل نیمه وزنی

دیوار حائل وزنی


دیوار سنگی



پایدارسازی با استفاده از المان‌های مسلح کننده

حجم کار کمتر
سرعت ساخت بالاتر

Crib walls

دیوار صندوقچه‌ای

مزایای crib wall به شرح زیر است:

- انعطاف‌پذیری بالا (در مقابل نشست نامتقارن زیاد و جابجایی شیب)
- ساخت المان به المان (حمل‌ونقل آسان و مهارت مورد نیاز کم)
- ظاهر مناسب از نظر زیبایی
- نفوذپذیری (عدم تشکیل فشار آب حفره‌ای پشت دیوار و کاهش خطر یخ‌زدگی)

Gabion

گابیون

- **گابیون (سبدهای سیمی پرشده با سنگ):**
  - سازه وزنی نگه‌دارنده خاک یا شیب‌ها
  - هموار کردن و محافظت در برابر خوردگی در داخل کانال‌های آب
  - کنترل فرسایش در سیل یا سواحل رودخانه

Geocell

ژئوسل

- صفحات سه‌بعدی از پلی‌اتیلن با چگالی بالا
- سلول‌های متصل به‌هم پرشده از خاک متراکم
- محصوریت سلولی:ظرفیت برشی قابل توجه
- دیوار خودپایدار با شیب تند
- ظاهر طبیعی گیاهی

Mechanically Stabilized Earth

خاک مسلح

- استفاده از نوارهای فولادی یا ژئوتکسایل و پشت‌بند برای تأمین نیروی مقاوم جانبی

- خاک مسلح: ترکیبی از خاک و تسمه‌های فولادی گالوانیزه

- اهداف اولیه مسلح‌سازی خاک:
  - افزایش پایداری
  - افزایش ظرفیت برشی
  - کاهش نشست
  - کاهش تغییر شکل جانبی خاک

۳. پی‌های ترکیبی

3. Hybrid Foundations

- پروژه های عمرانی:
  - روسازه Superstructure
  - زیرسازه Substructure
- 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

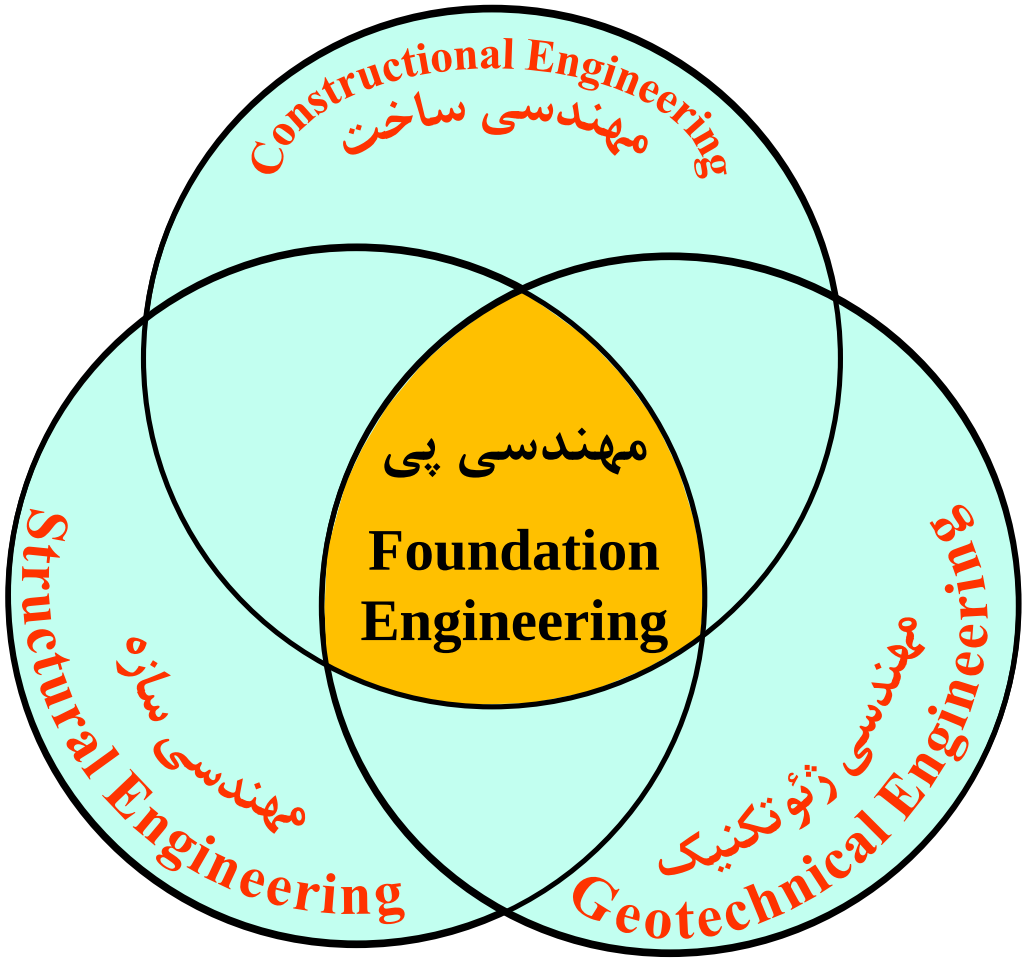
مهندسی پی هنر بکارگیری علوم ژئوتکنیک، سازه و قضاوت مهندسی برای طراحی و انتخاب فونداسیون مناسب می باشد.

ترزاقی: «طراحی هر آنچه که مربوط به زمین می شود را نباید صرفاً در دفتر کار انجام داد.»

Knowledge Based, Construction Technology, Optimization

Foundation Engineering

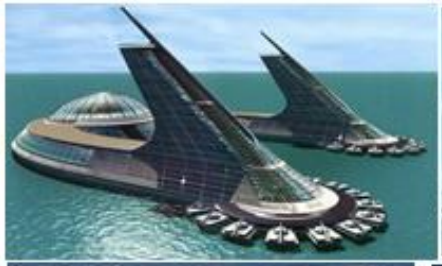
مهندسی پی

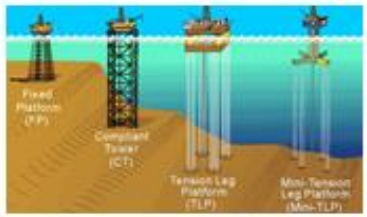


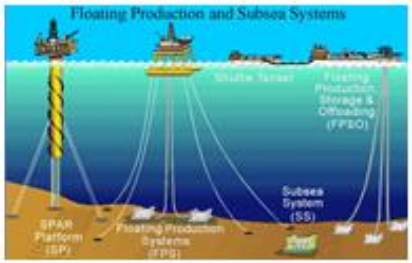
Multidisciplinary: Structural, Geotechnical and Construction

Structures

سازه ها

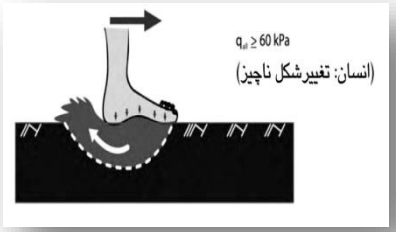


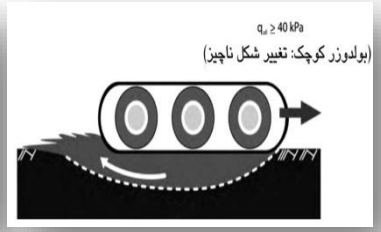


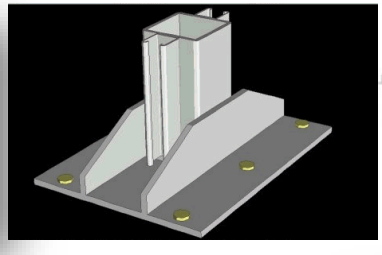


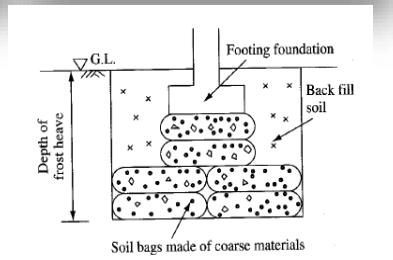
Common Foundations

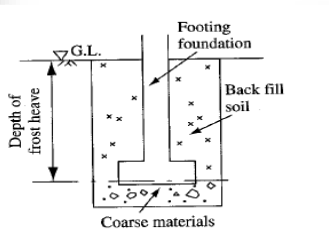
پی‌های متداول

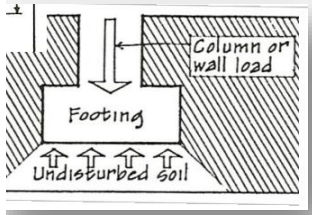


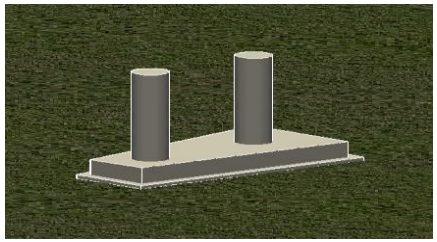


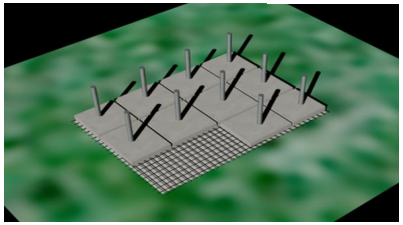


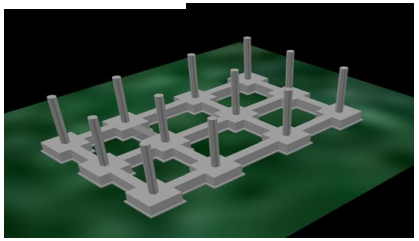


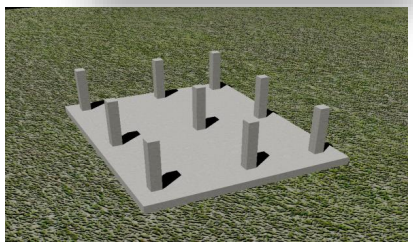


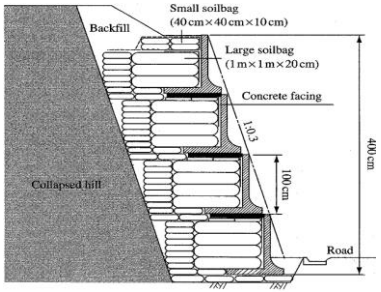


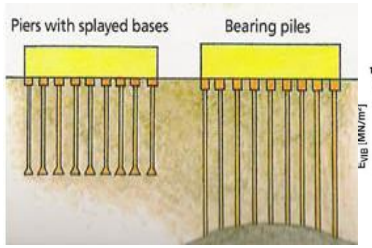


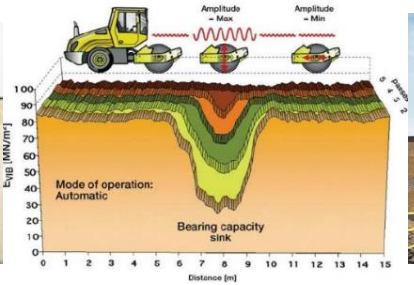


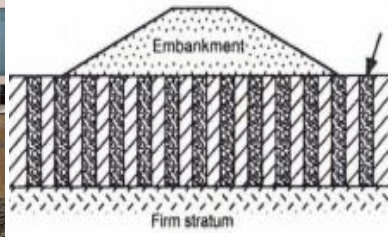








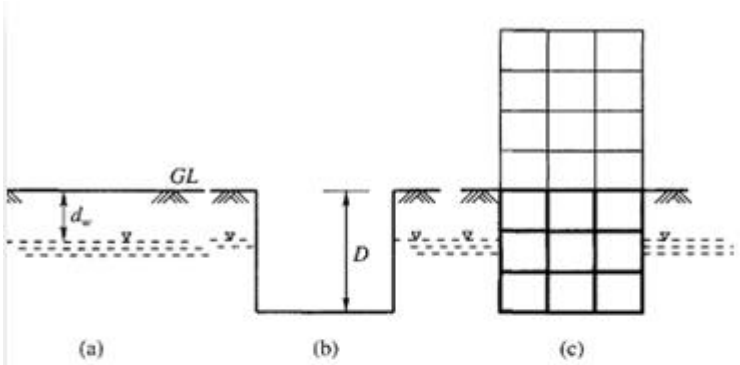




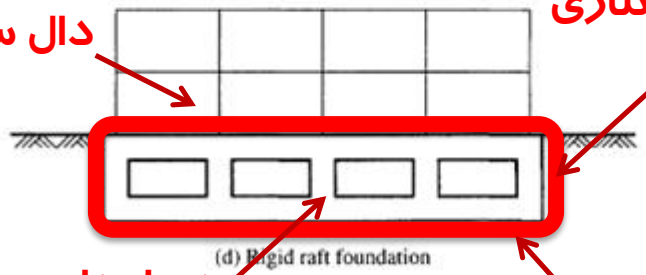
پی عنصر انتقالی بین سازه و زمین

Major Building Parts

اجزای اصلی یک پروژه ساختمانی



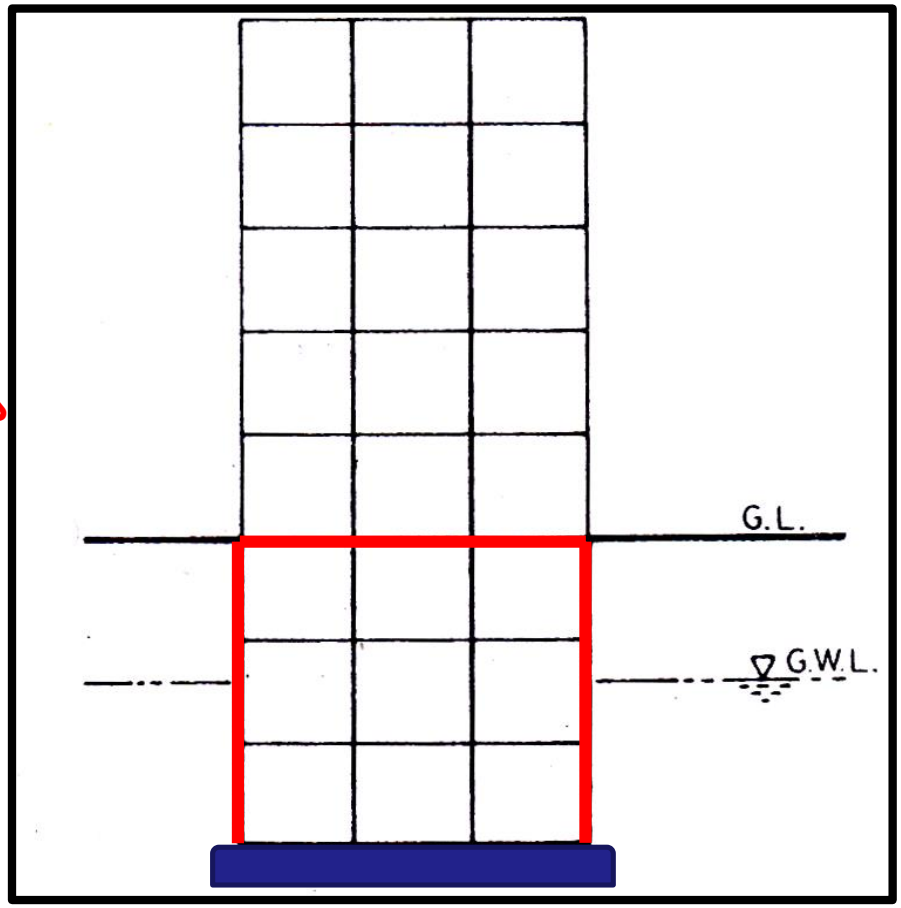
Balance of stresses in foundation excavation



(d) Rigid raft foundation

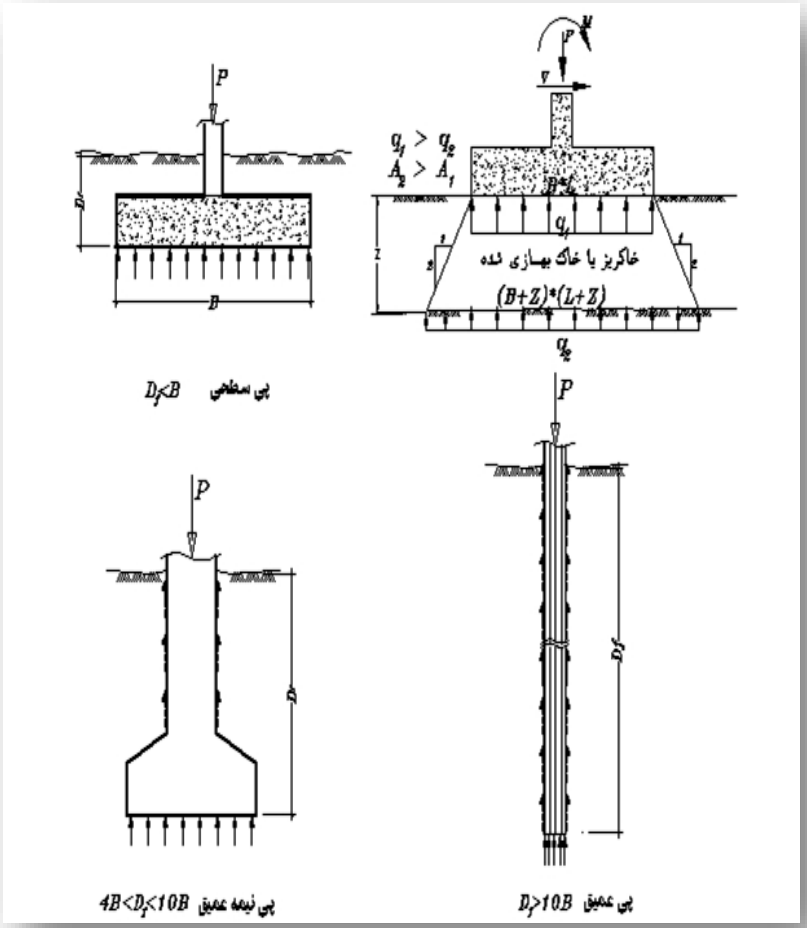
سیستم فونداسیون

Foundation System



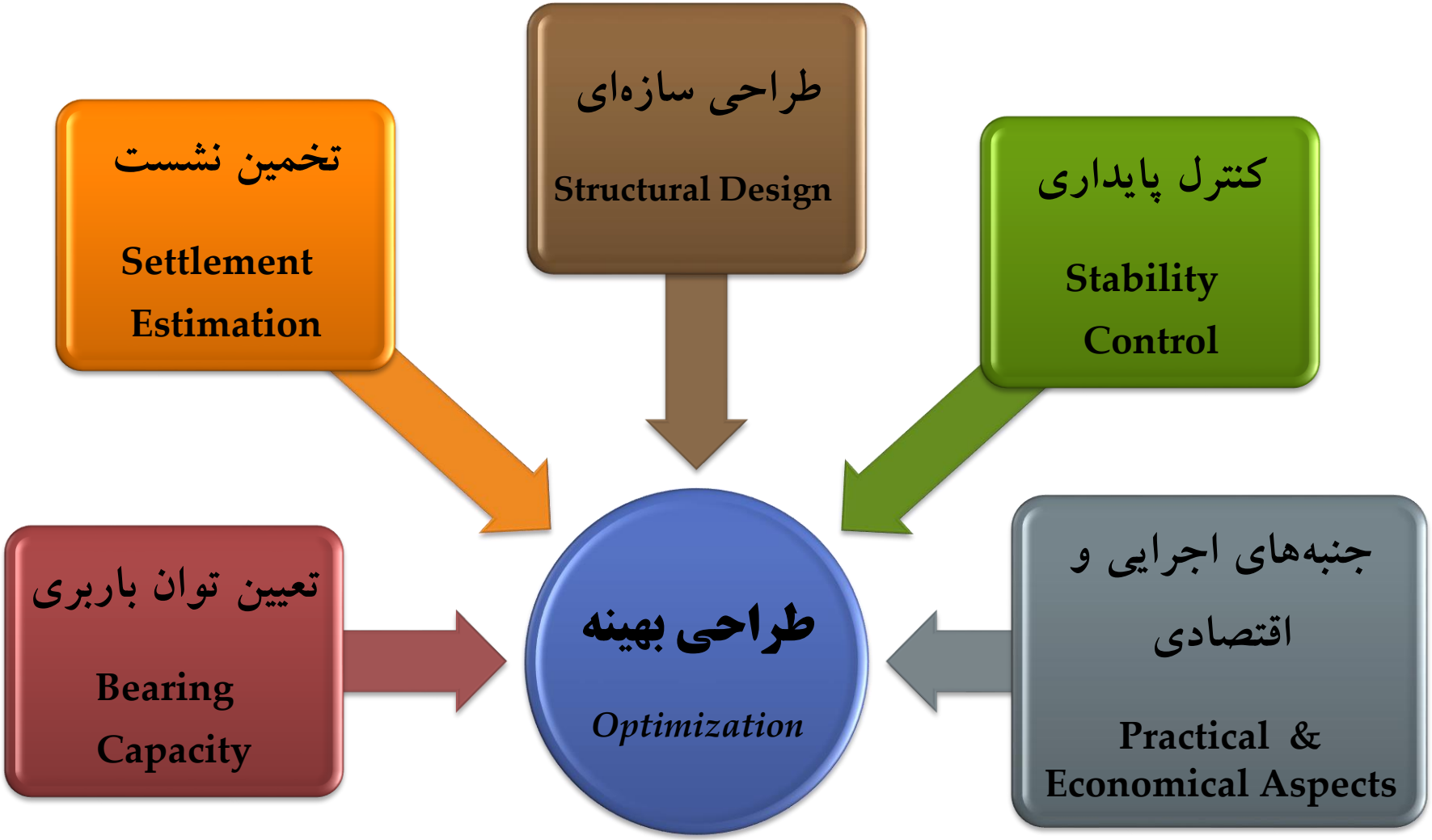
پی رادیه

سیستمهای پی سازی

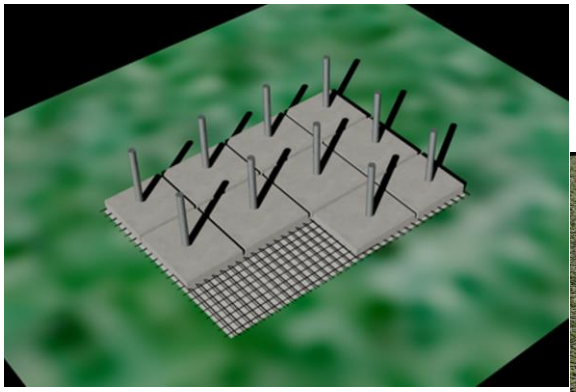


- انواع سیستمهای پی‌سازی
  - پی‌های سطحی
  - پی سطحی + بهسازی
  - پی‌های نیمه عمیق
  - پی‌های عمیق

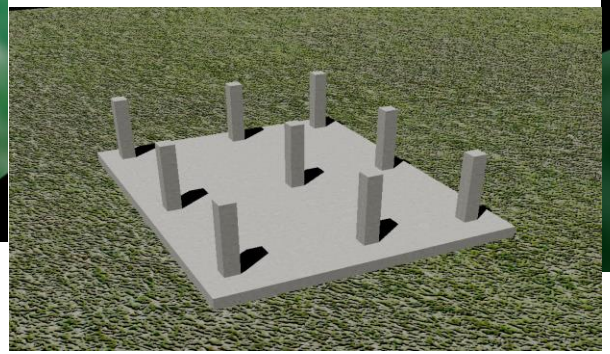
مبانی تحلیل و طراحی فونداسیون ها

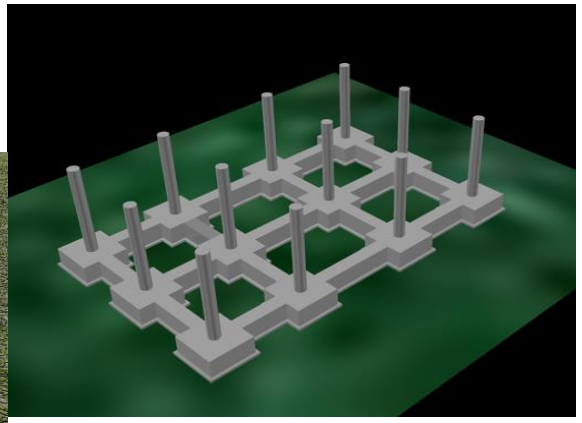


انواع فونداسیونها: سطحی–بهسازی

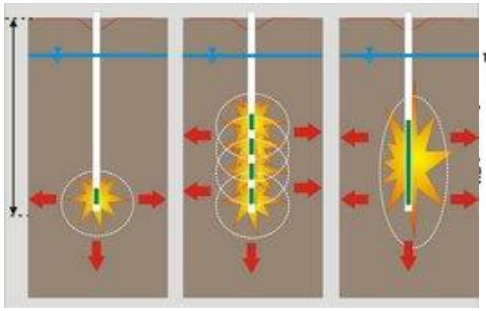


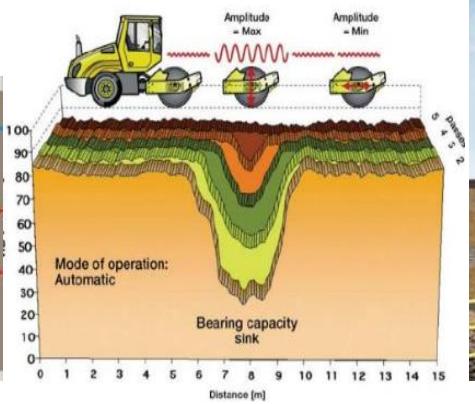
پی سطحی D/B<1

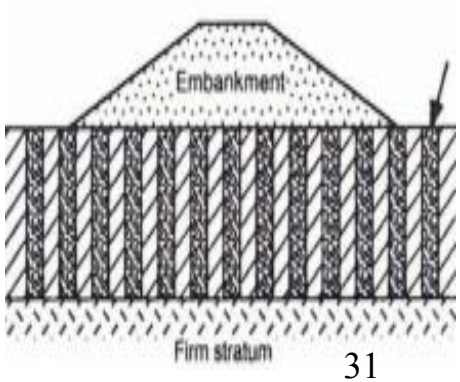




بهسازی

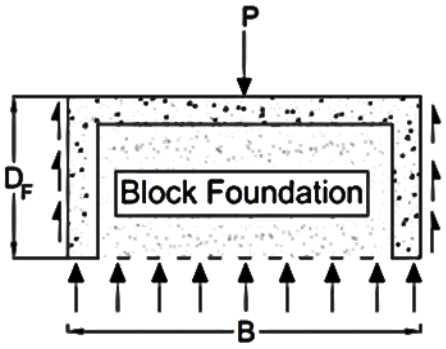


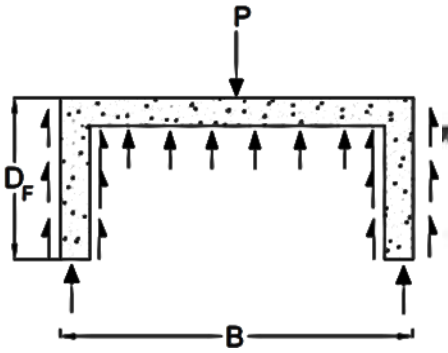


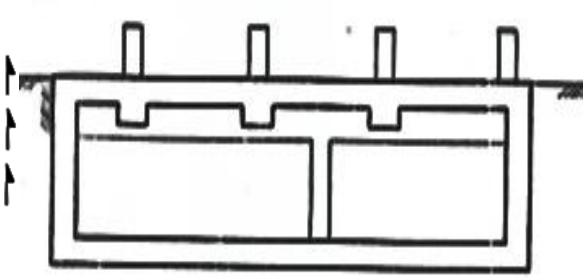


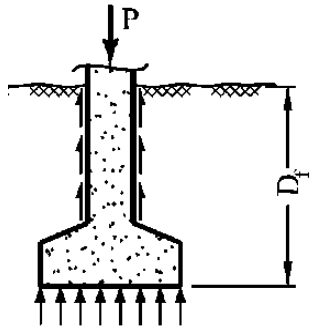
انواع فونداسیونها: نیمه عمیق – عمیق

پی نیمه عمیق

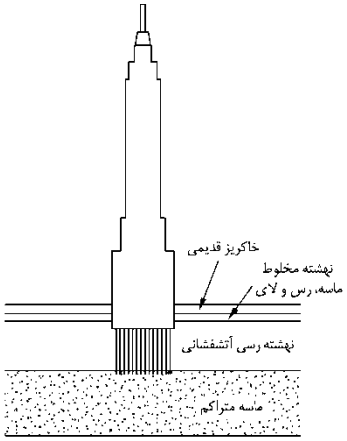


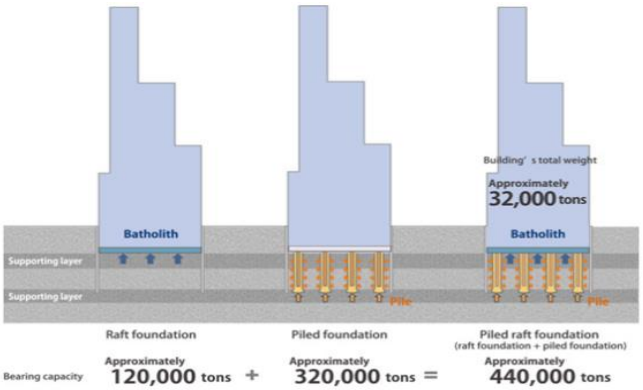


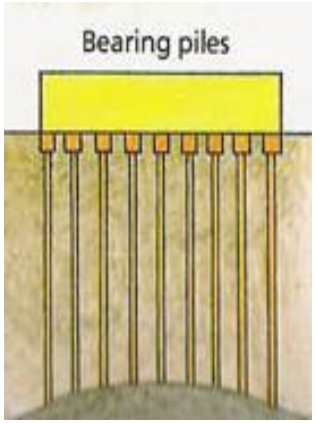


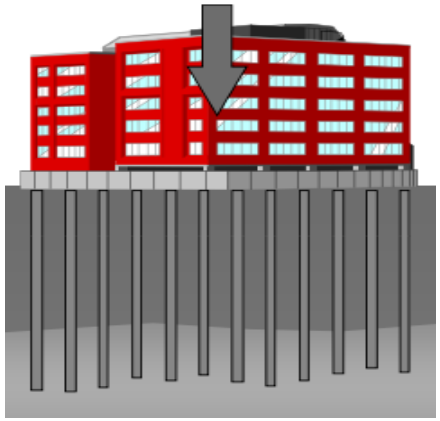


پی عمیق D/B>10



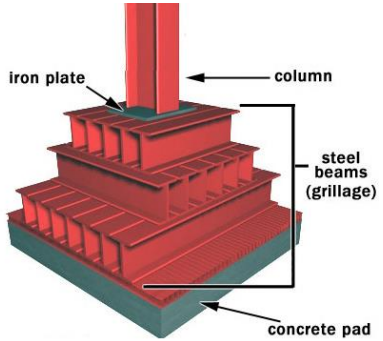


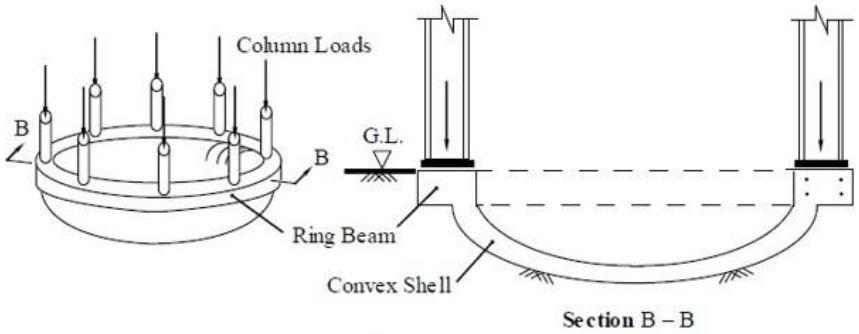


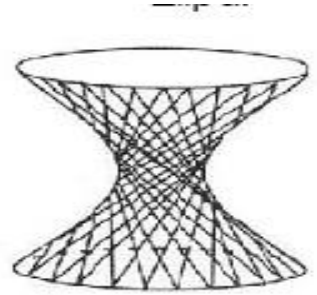


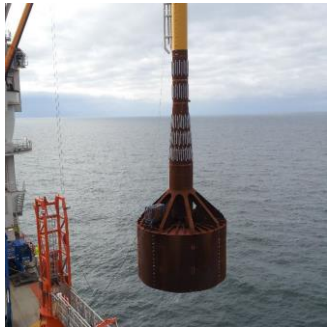
فونداسیون‌های غیرمتعارف

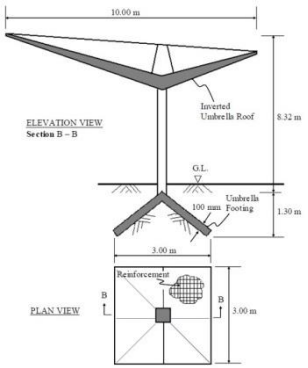
- Pad Foundation
- Grillage Foundation
- Root Foundation
- Shell Foundation
- Spherical Dome
- Ring Foundation
- Hyperbolic Foundation
- Stepped Foundation
- Attached Single Foundation
- Cantilever (Strap) Foundation
- Conical Foundation
- Isolated Foundation
- Sloped Foundation
- Jacking Foundation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

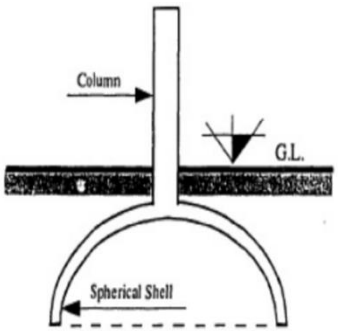


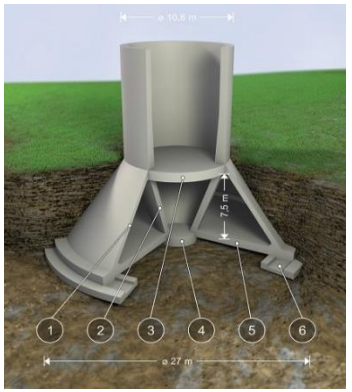








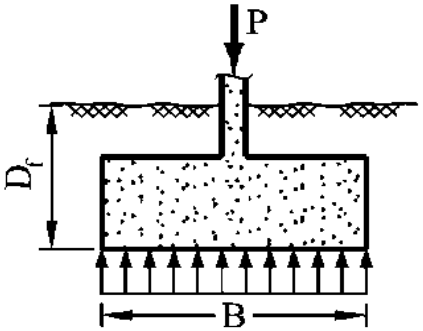




ویژگی ساخت و سازهای نوین

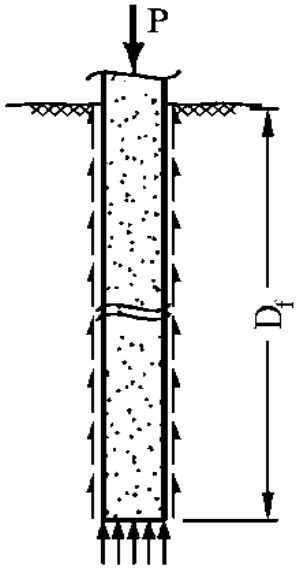
- خاکهای مساله دار
- سازه‌های بلند و برج‌ها
- ساخت همزمان روسازه-زیرسازه
- سازه های دریایی
- توسعه ساخت وساز در نهشته های غیرطبیعی
- استحصال زمین و جزایر مصنوعی
- بارهای غیرعادی (سیکلی، لرزه ای، انفجار)
- پی سازی مرحله‌ای واستفاده از فونداسیون‌های قدیمی موجود

معضلات فونداسیون ها ی سطحی و عمیق



پی سطحی

- ضعف ظرفیت باربری برای تحمل سازه های سنگین و بلند
- معضل نشست های کلی و غیر یکنواخت
- ناپایداری در برابر بارهای جانبی، لنگرها و نیروهای برکنش
- ارائه حداقل اندرکنش با خاک بستر (عدم بسیج اصطکاک جداری و پدیده محصور شدگی)



پی عمیق

- هزینه های نسبتاً بالای ساخت و اجرا
- مشکلات اجرایی و طولانی بودن زمان اجرا به ویژه برای شمع های درجا
- تحمیل نیروهای کشانه ، اصطکاک منفی و ایجاد فاصله بین سازه و بستر
- ضریب اطمینان بالا و غیر بهینه در طراحی و بهره برداری

راه حل میانه: بهسازی، پی های نیمه عمیق، ساخت همزمان روسازه-زیرسازه

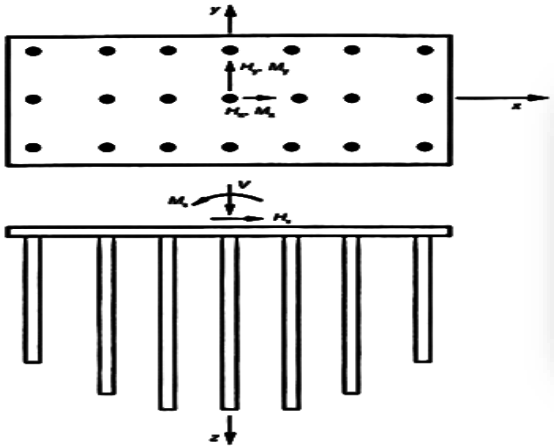
مقایسه پی های سطحی و عمیق

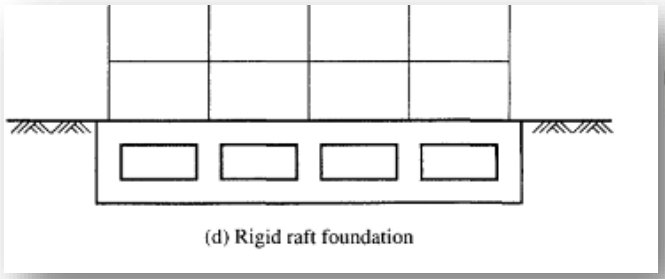
نوع فونداسیون / ملاحظات طراحی	پی سطحی	پی عمیق
ظرفیت باربری	کم تا متوسط 0.5-5 kg/cm^2	زیاد مقاومت کف تا 120kg/cm^2 مقاومت جدار 0.2-2kg/cm^2
نشست	زیاد	محدود
طراحی سازه‌ای	ساده تا پیچیده	معمول
پایداری	مشکل دار	کنترل شده
ملاحظات اجرایی	نسبتاً عملی	غالباً دشوار
جنبه های اقتصادی	تا حدودی مطلوب	پر هزینه

راه حل میانه:
فوند/سیونهای نیمه عمیق، بهسازی

Hybrid Foundations

پی‌های هیبرید و ترکیبی

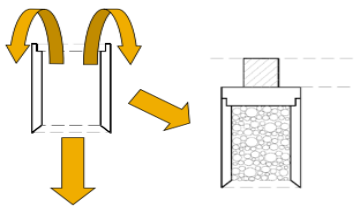


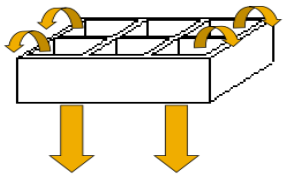


Transitional (semi-deep) foundations

well foundation caisson

foundation framework
cofferdam





Semi-Deep Foundations

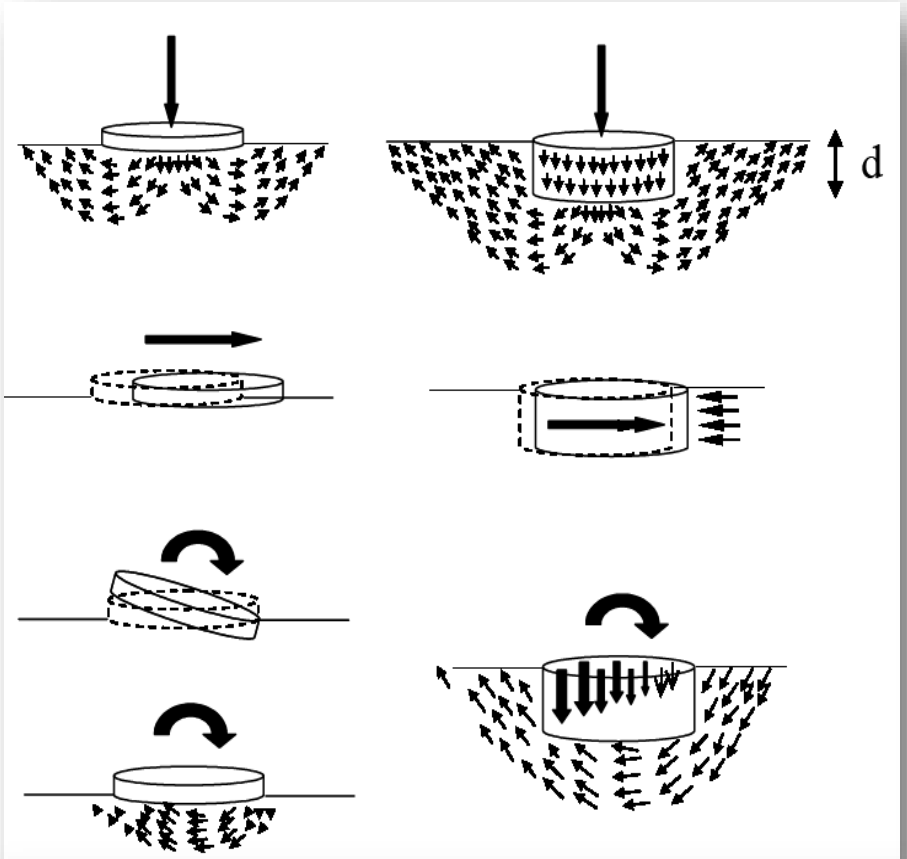
فونداسیون‌های نیمه عمیق

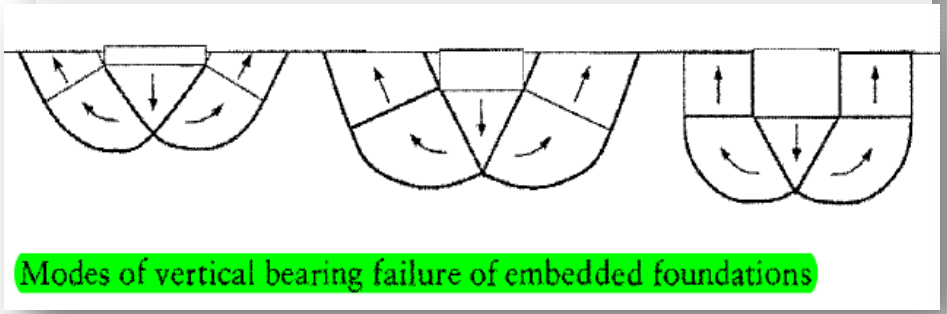
پی‌های نیمه عمیق جهت انتقال بهتر بار و عبور از لایه‌های نرم وشل سطحی

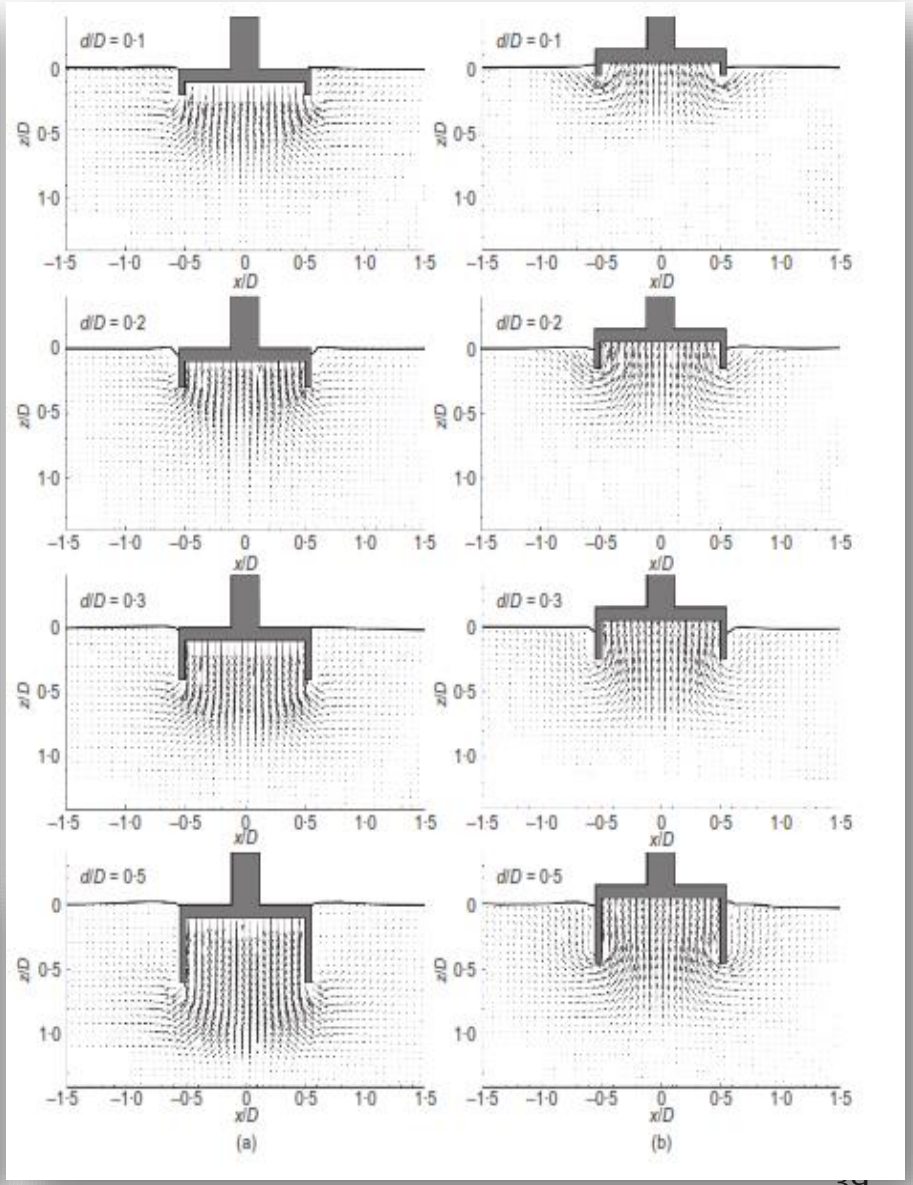
عمق استقرار اغلب در محدوده B تا 4B

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

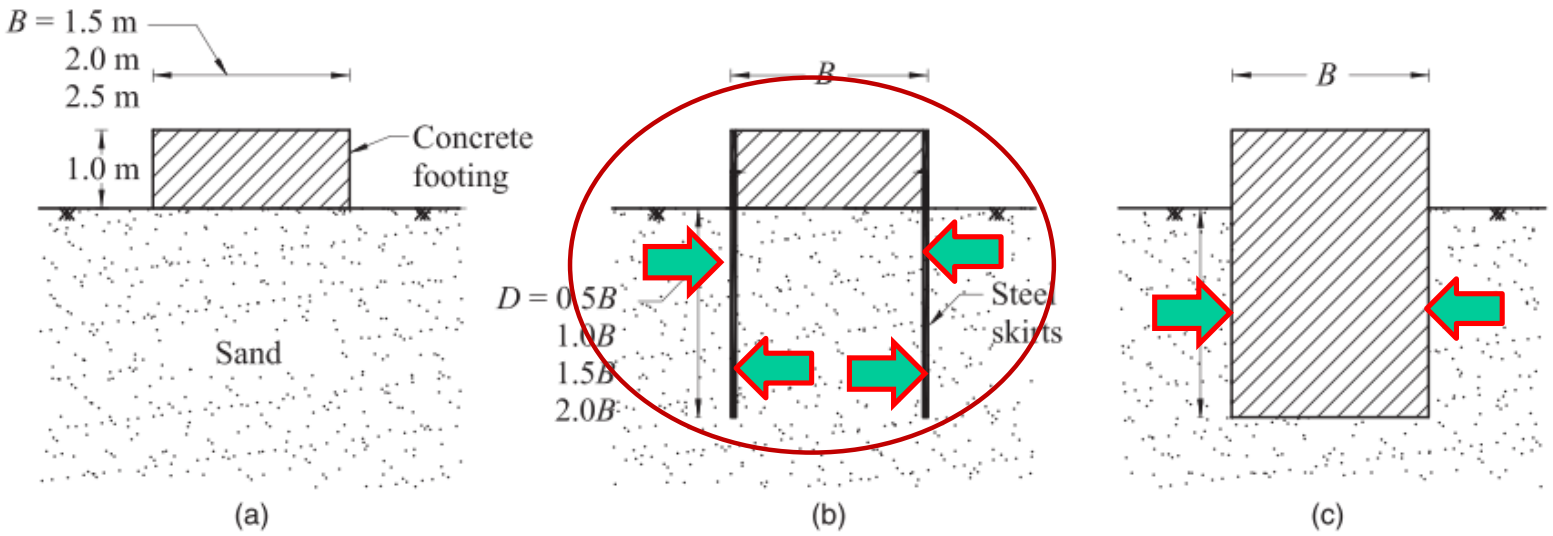
اثرات افزایش عمق استقرار در توان باربری و پایداری کلی



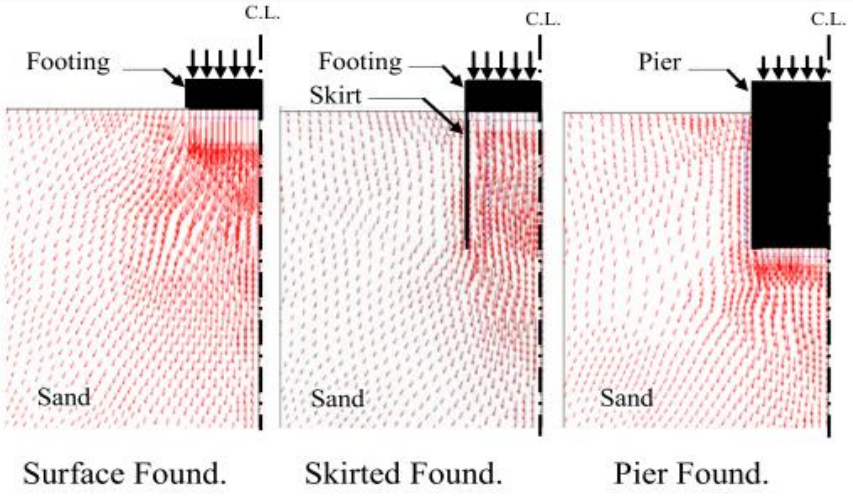




اثرات افزایش عمق استقرار



محصورشدگی خاک توسط پی و پی توسط خاک



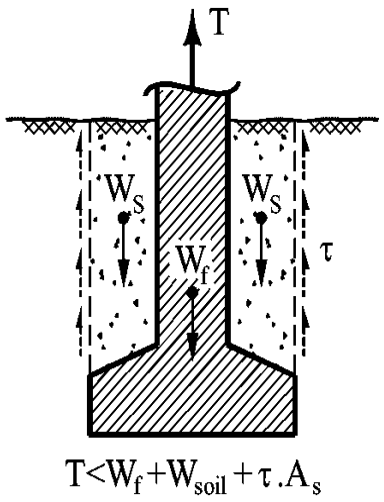
انواع پی های (ترکیبی) نیمه عمیق

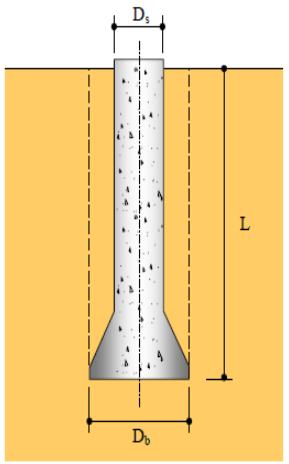
- پی‌های چاهی و پایه‌ای — **Pier and Well Foundations**
- پی‌های شناور — **Floating Foundations**
- پی‌های باکسی یا جعبه — **Box Foundations**
- ساخت همزمان روسازه زیرسازه — **Top-Down Construction**
- پی رادیه مرکب — **Piled Raft Foundations**
- باکت ها و کیسونهای مکشی — **Buckets & Suction Caissons**
- پی‌های لبه دار — **Skirted Foundations**
- پی‌های پوسته‌ای — **Shell Foundations**

در مواردی که نمی‌توان از روشهای بهسازی جهت بهبود شرایط خاک محل استفاده نمود و همچنین مواقعی که احداث پی‌های عمیق از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد، معمولاً از پی‌های چاهی یا پایه‌ای استفاده می‌گردد.

مصالح مورد استفاده در پی‌های چاهی یا پایه‌ای:

- چاه‌های بتنی مسلح
- چاه‌های سنگی همراه ملات ⇦ ستون سنگی
- شمع‌های تراکمی ماسه‌ای ⇦ Sand Compaction Piles
- چاه‌های خاک - آهکی ⇦ ستون آهکی



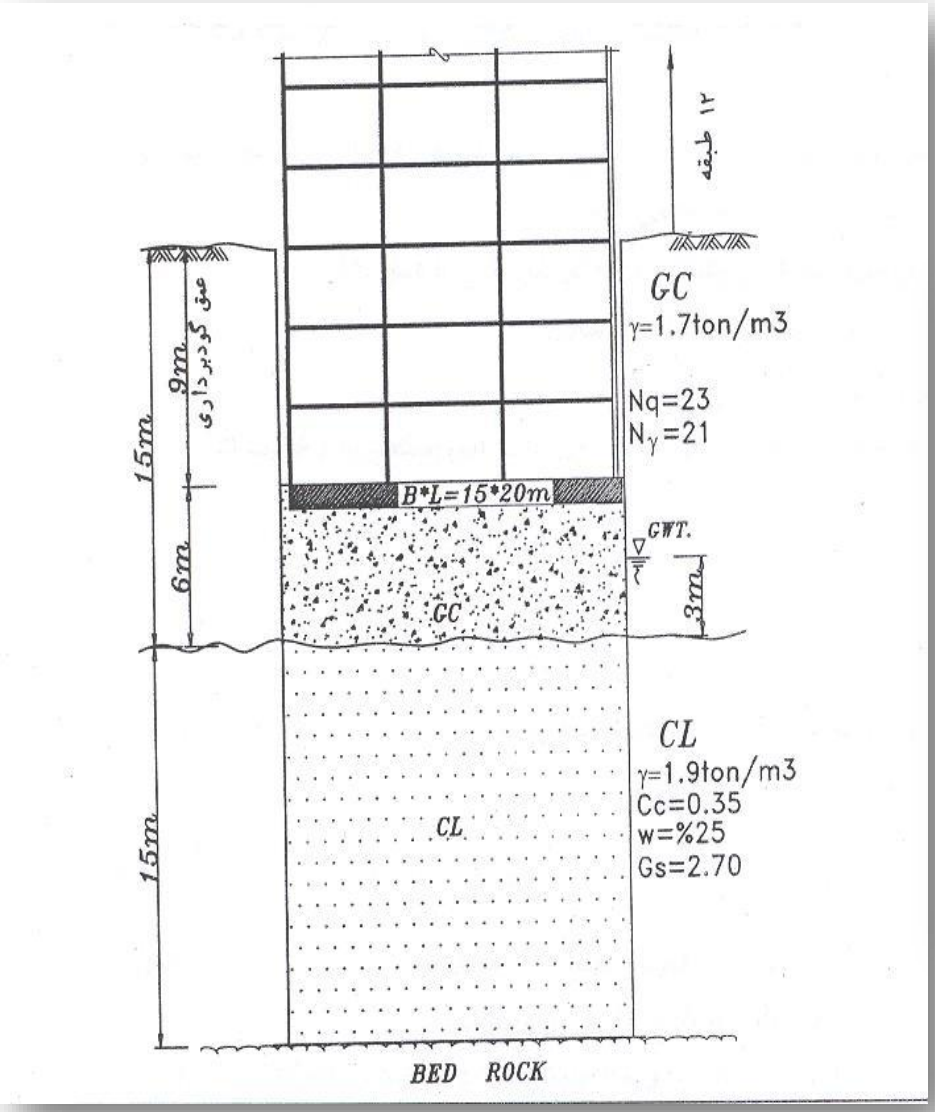


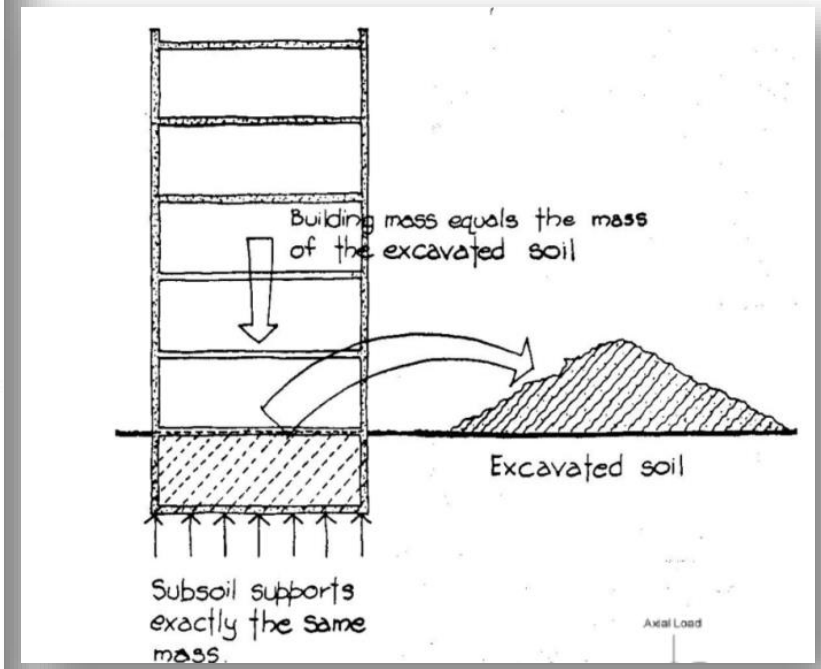
Floating Foundations

پی های شناور

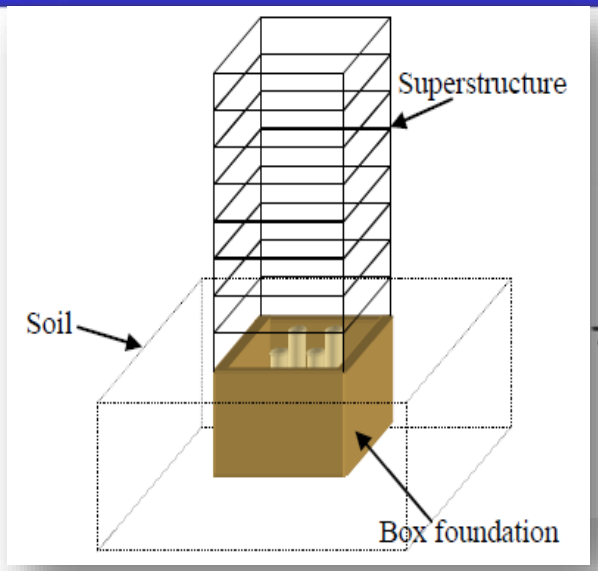
کاهش نشست

افزایش توان باربری

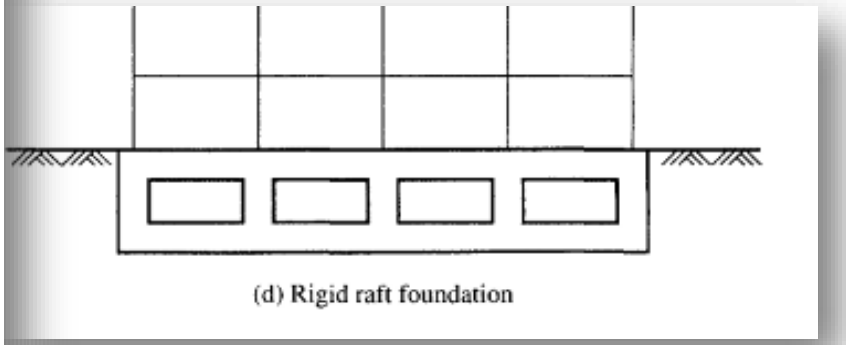


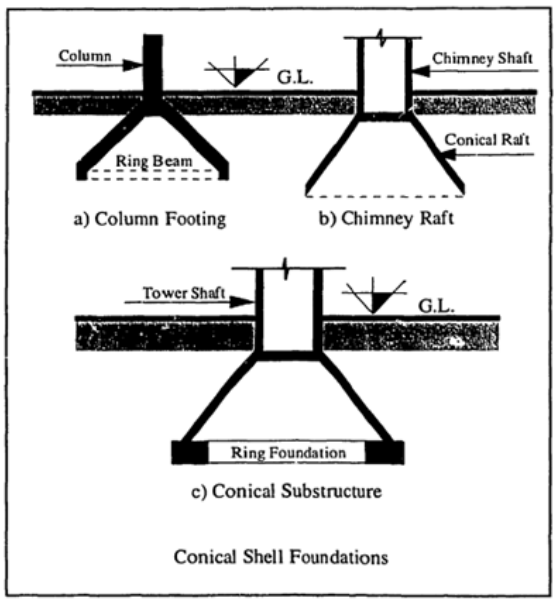


انواع پی های (ترکیبی) نیمه عمیق

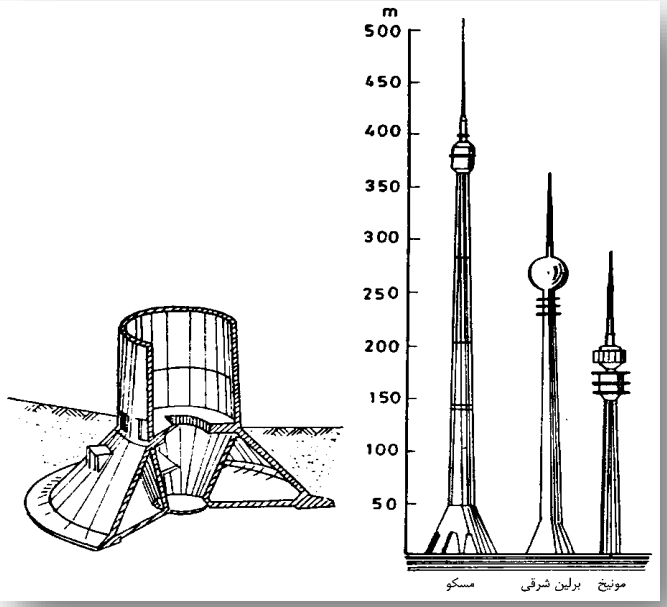


پی‌های باکسی و جعبه‌ای



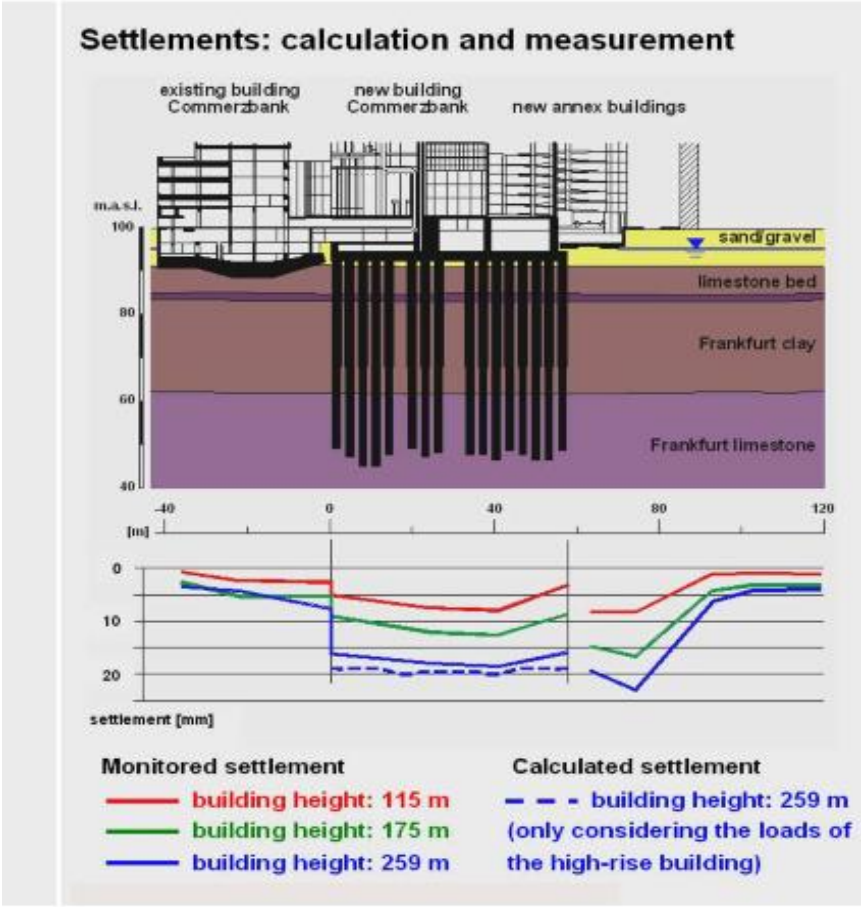


پی‌های پوسته ای



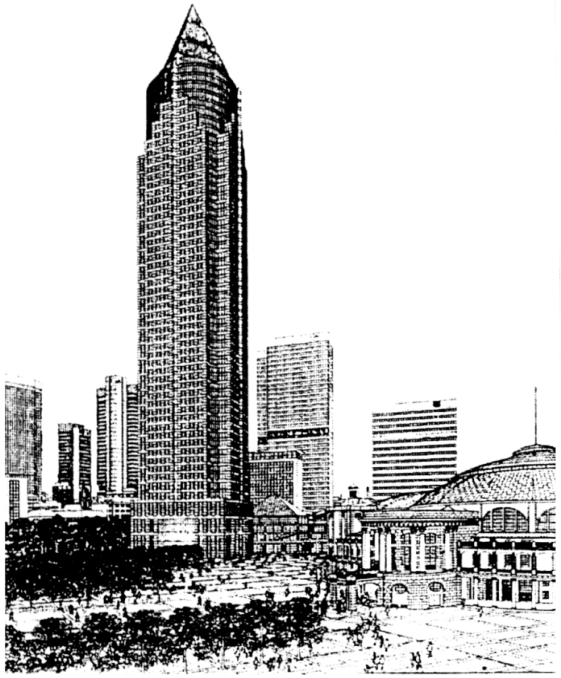
Piled Raft Foundations

پی رادیه مرکب

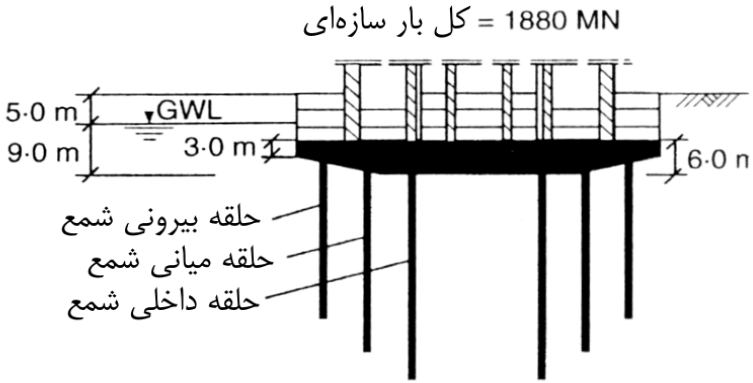


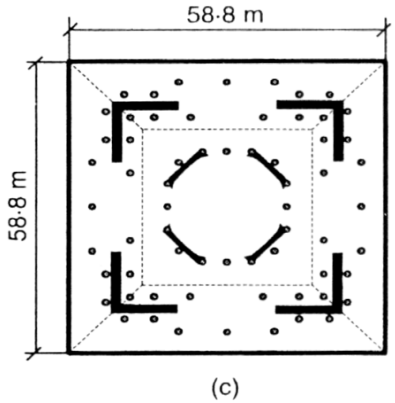
موردعملی– ساختمان Messeturm فرانکفورت–آلمان (Hemsley, 2000)

- 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 H/B>4



(a)

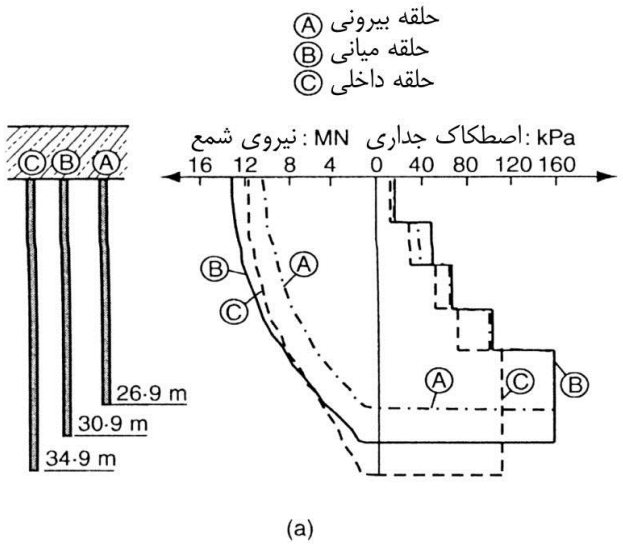


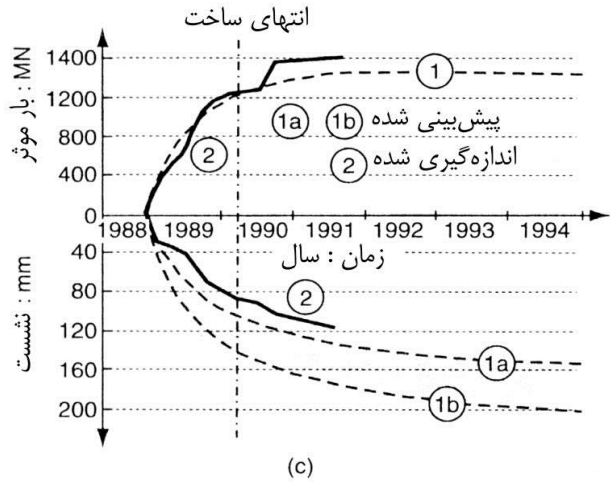


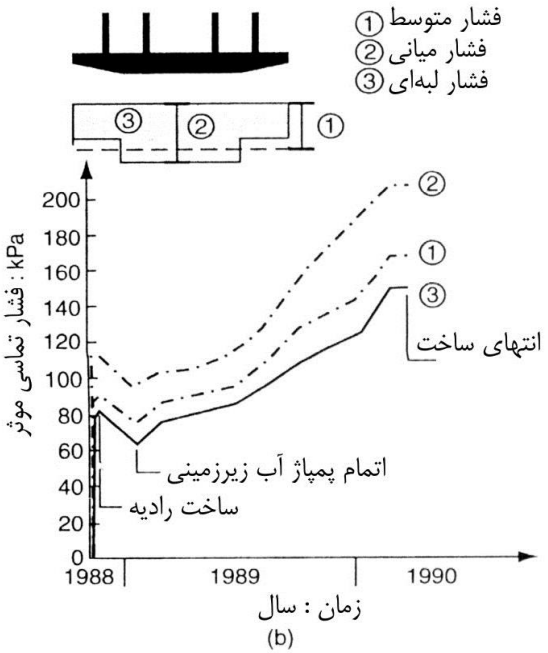
(c)

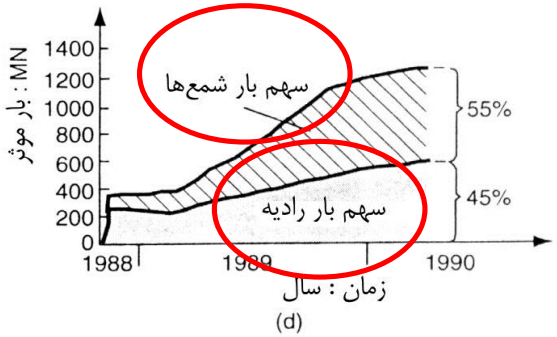
موردعملی– ساختمان Messeturm فرانکفورت–آلمان (Hemsley, 2000)

رفتار اندازه گیری شده سیستم زیرسازه







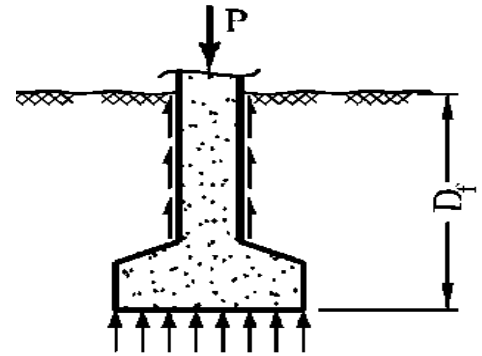


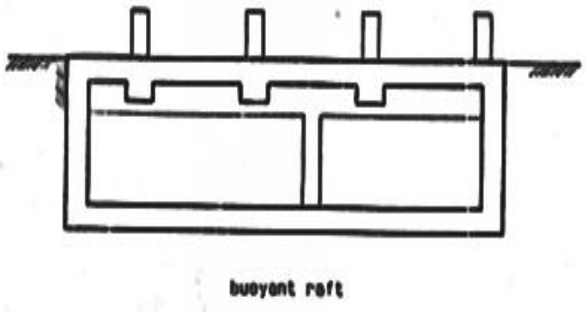
مقایسه عملکردی و هندسی پی های مختلف: پی های ترکیبی و نیمه عمیق

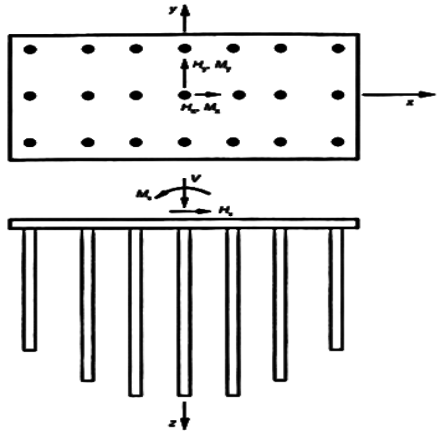
پی نیمه عمیق 4>D/B> 0.5
باربری کف و جدار

محصورشدگی و بهبود باربری
کاهش نشست

افزایش پایداری





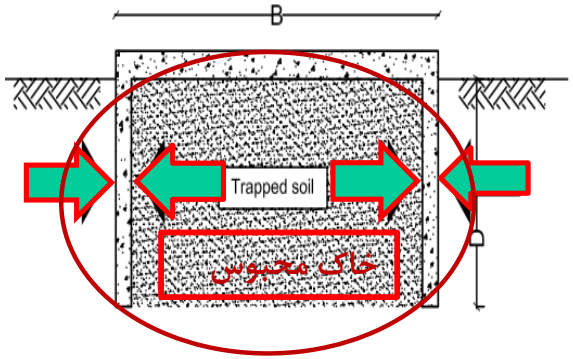


پی چاهی 6>D/B> 3

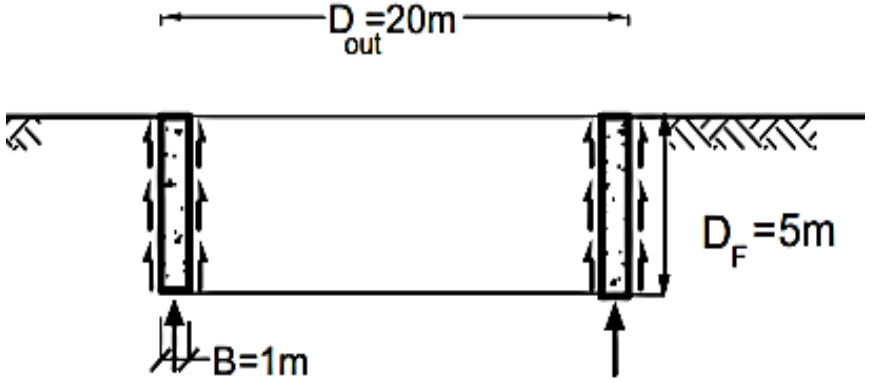
پی شناور

پی رادیه مرکب

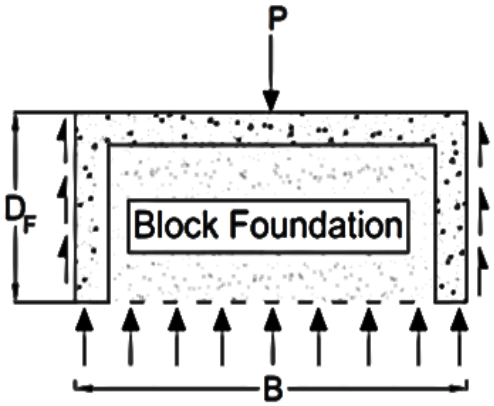
مقایسه عملکردی و هندسی پی های مختلف: پی های ترکیبی و نیمه عمیق



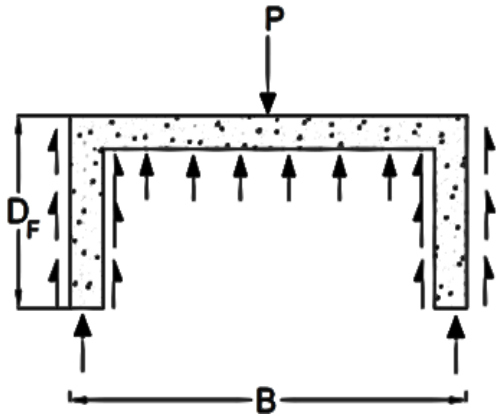
پی بلوکی



پی پوسته‌ای

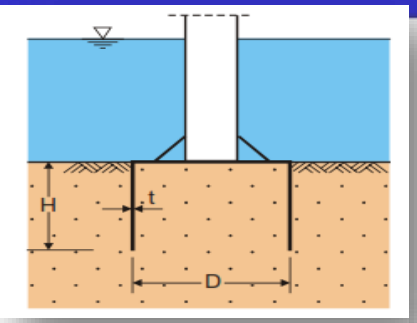


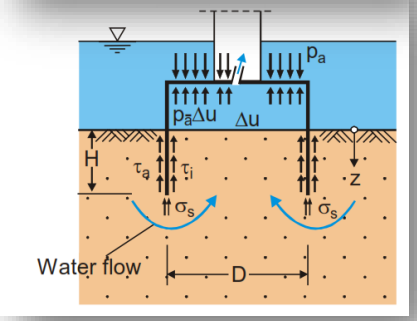
پی دامنه دار



0.5 <D/B<2

مزایای پی های (ترکیبی) نیمه عمیق



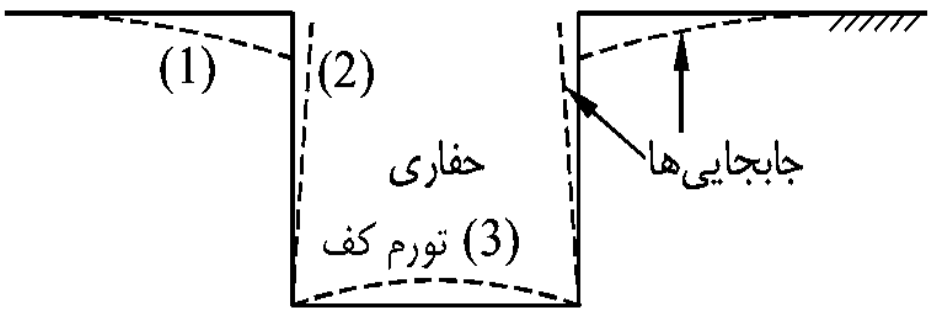


- عملکرد توام بخشهای مختلف به عنوان سیستم فونداسیون
- مساحت جداری (و توان باربری جدار) بزرگ ، علاوه بر باربری کف
- افزایش سختی و صلبیت با عملکرد بلوکی
- استفاده از فضاهای زیرزمینی
- کاهش بار خالص وارده و در نتیجه کاهش نشستها
- محصورشدگی دوجانبه خاک و پی (درونی و بیرونی)
- ساخت مرحله‌ای و همزمان روسازه-زیرسازه
- تبدیل پی گسترده سطحی به نیمه عمیق از جوانب

۴. ساخت همزمان روسازه و زیرسازه

4. Top-Down Construction

مشکلات گودبرداری های شهری (ژئوتکنیکی، سازه ای و سرویس دهی)



- تورم کف گود
- نشست اطراف گود
- تغییر مکان جانبی دیوار گودبرداری
- نشت آب و ریزش گود
- خرابیهای نیل و تعرض به حریم خصوصی همسایه

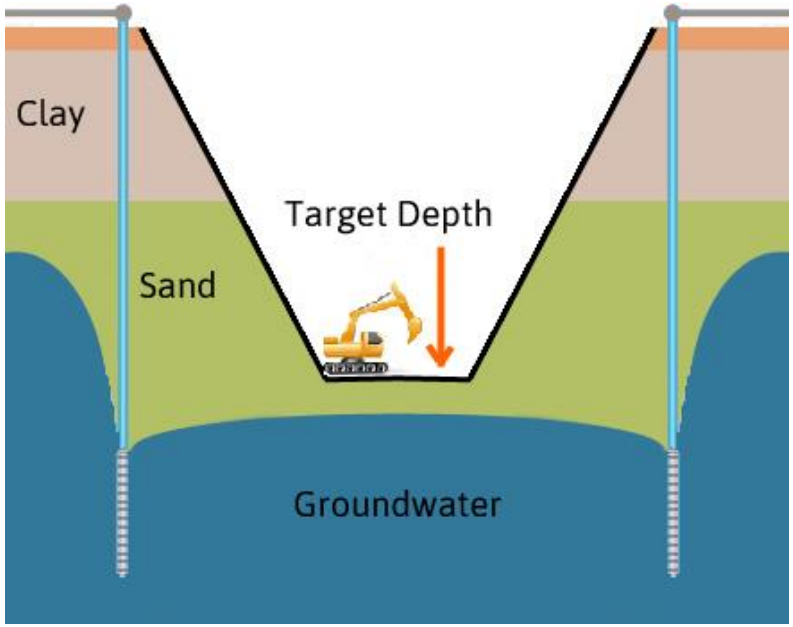
مشکلات گودبرداری های شهری (ژئوتکنیکی، سازه ای و سرویس دهی)

- معضلات ناشی از تغییر مکان جانبی گودبرداری
- تخریب فونداسیون ناشی از ریزش گود
- مشکلات ناشی از اثر گودبرداری بر ساختمانهای مجاور
- ریزش گود ناشی از حرکت بیش از حد سازه نگهبان

مشکلات گودبرداری های شهری

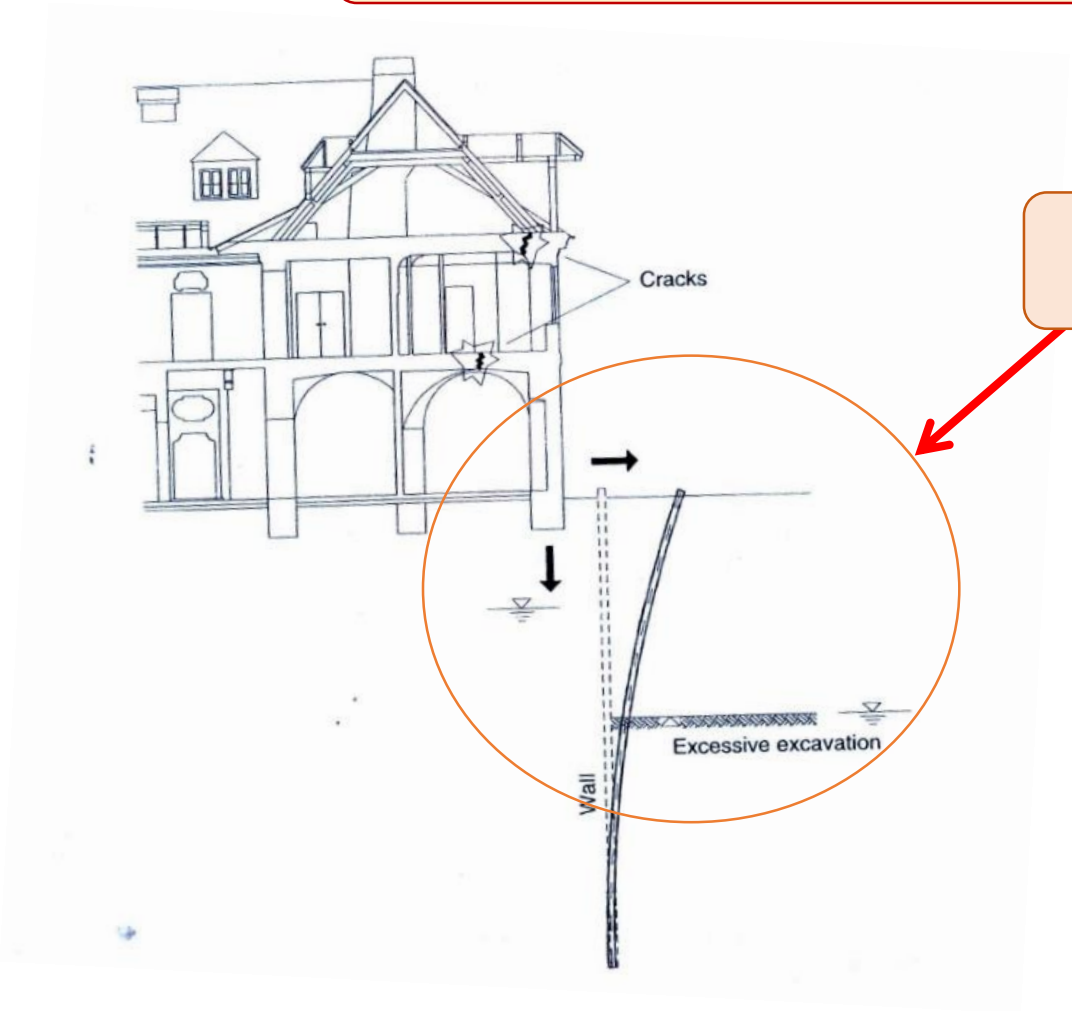
❖ ویژگی های گودبرداری در مناطق شهری

- نیاز به گودبرداری و ایجاد ترانشه های قائم
- محدودیت هندسه زمین ها جهت ساخت و ساز
- استفاده از سیستم حائل مناسب برای پایداری گود
- تامین پایداری ابنیه مجاور پس از گودبرداری و سرویس دهی سازه‌ها
- آب بندی و زهکشی



مشکلات گودبرداری های شهری

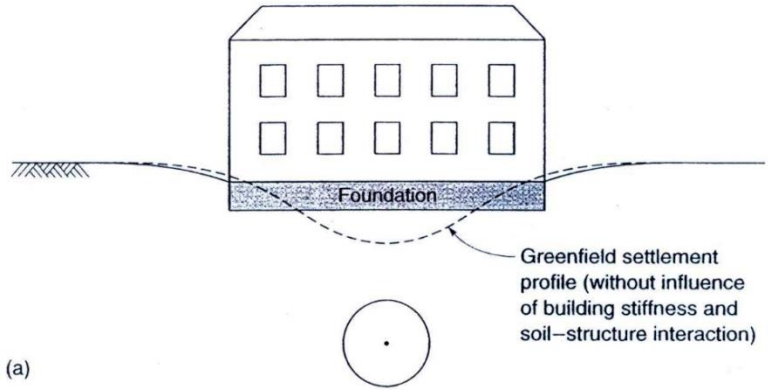
حفاری و گودبرداری در مجاورت پروژه (یا باربرداری، Unloading)

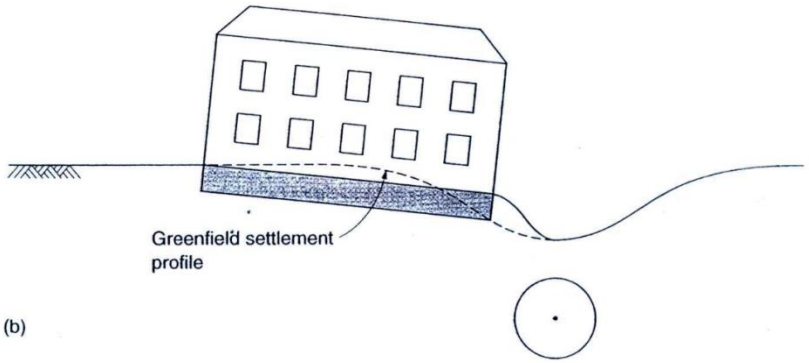


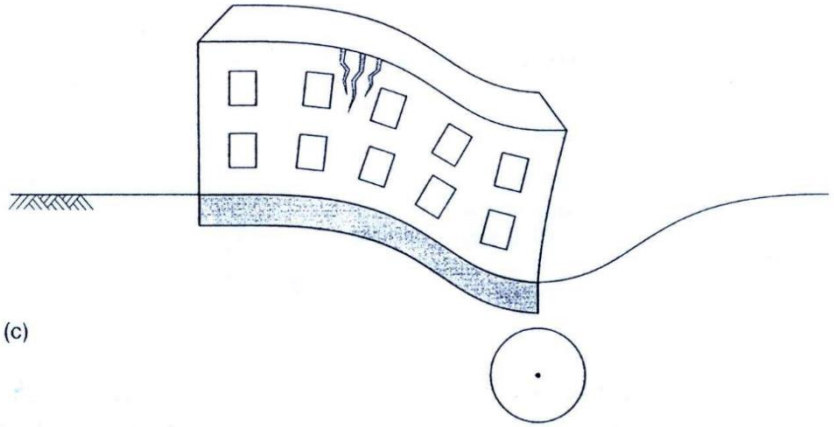
Unloading

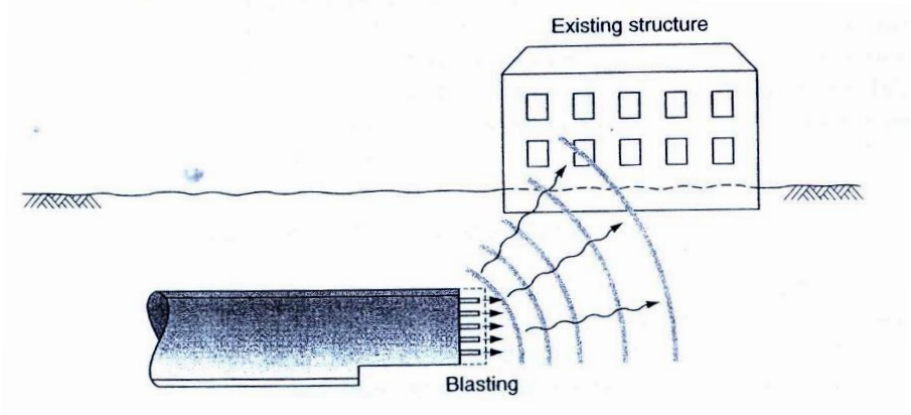
مشکلات گودبرداری های شهری

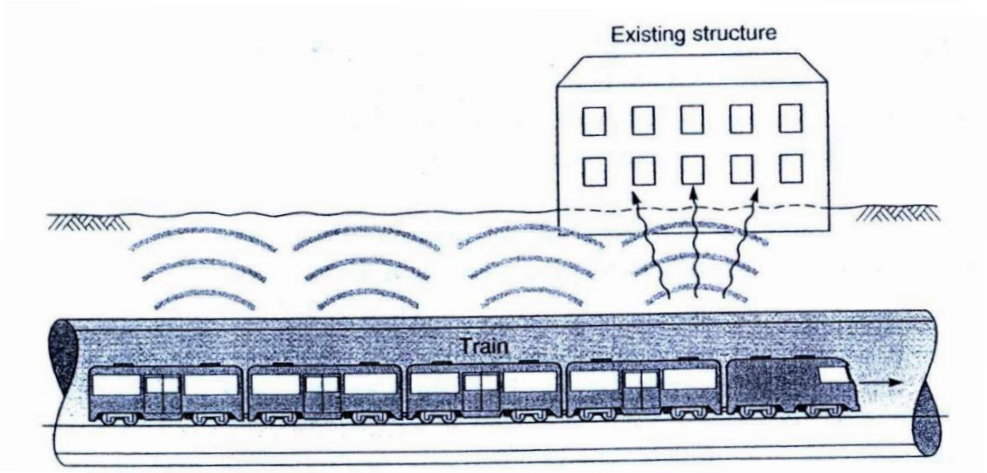
تونل‌زنی و حفاری افقی در زیر پروژه





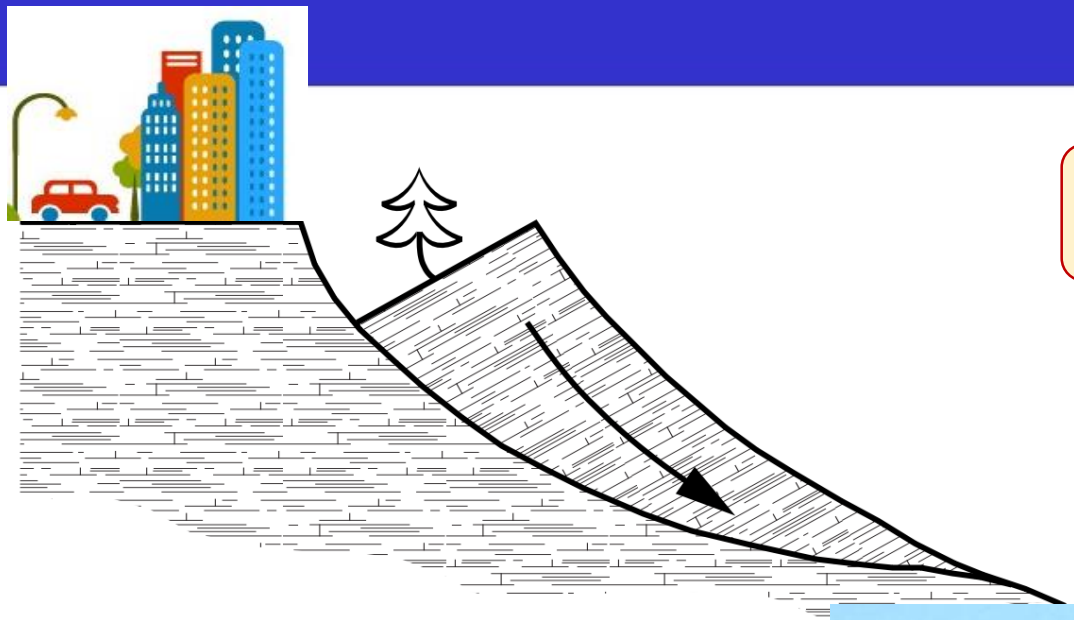




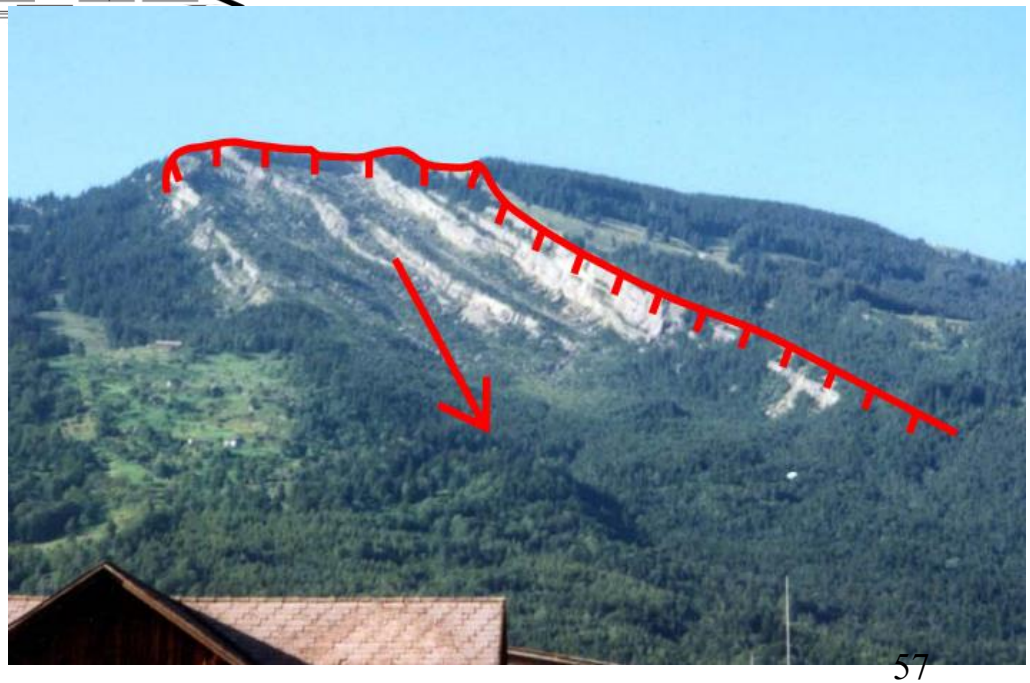


مشکلات گودبرداری های شهری

ساخت و ساز در مجاورت شیب



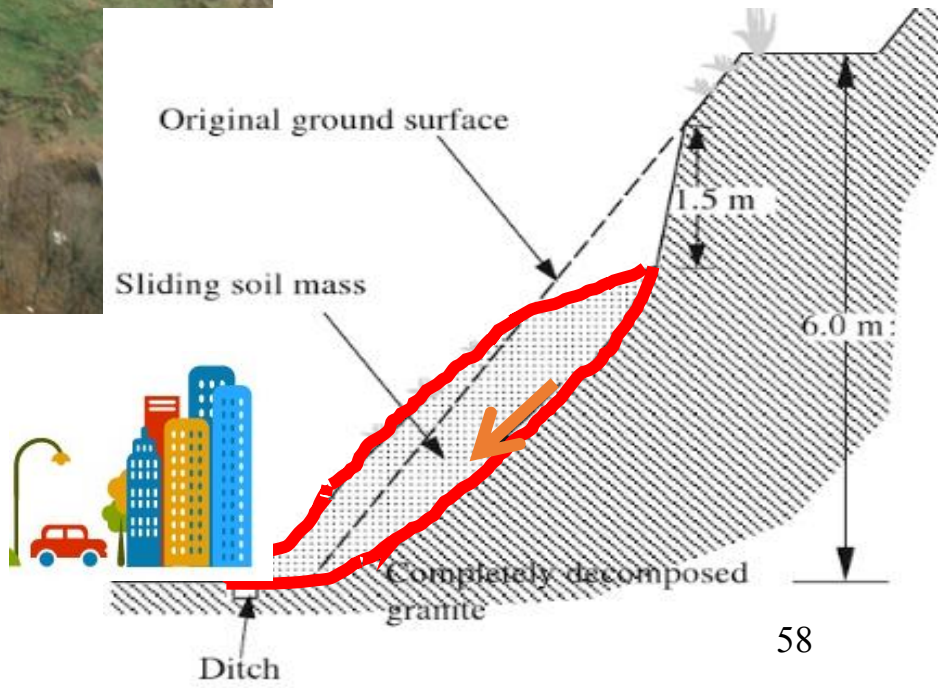
Arth-Goldau in Schwytz Canton, Swiss



مشکلات گودبرداری های شهری

احداث بنا در پای شیب

Landslide at Ecaravez in Belmont near Lausanne, Switzerland



مشکلات گودبرداری های شهری

تغییرات سطح آب زیرزمینی و آب کشی

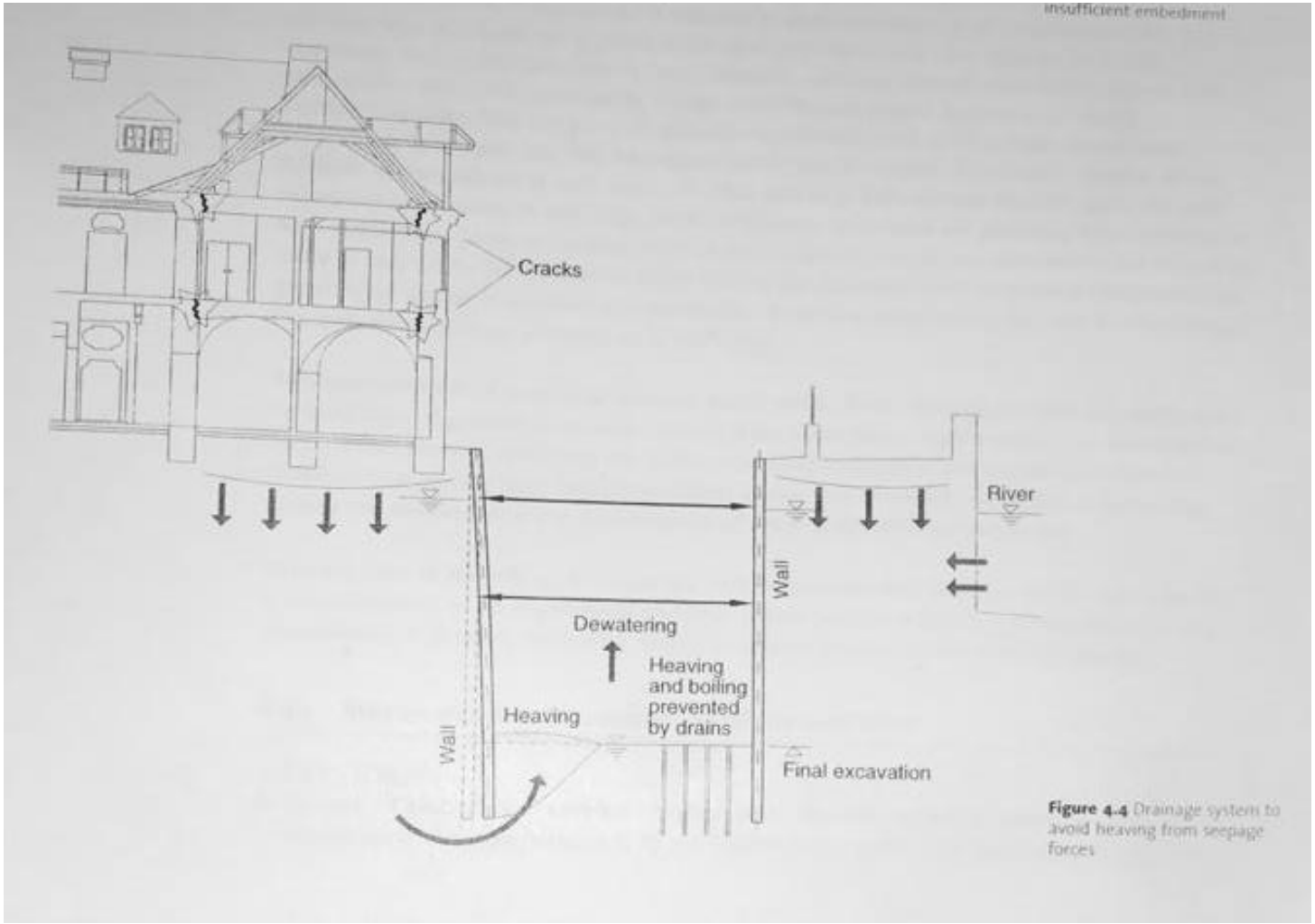


Figure 4.4 Drainage system to avoid heaving from seepage forces

مشکلات گودبرداری های شهری

❖ ملاحظات ویژه گودبرداری

- ضریب اطمینان بالاتر گود در کوتاه مدت
- احتمال ناپایداری و لغزش در دراز مدت
- نیاز به مهار و حایل در حفاری‌های بلند مدت
- تمهیدات ویژه برای کنترل آب و استفاده از سیستم زهکشی مناسب
- حفظ شرایط سرویس‌دهی مطلوب پروژه های مجاور

گودبرداری و حائل سازی

الف) گودبرداری مهار نشده

ب) حائل سازی پس از گودبرداری

ج) حائل سازی به موازات گودبرداری

د) حائل سازی پیش از گودبرداری

ه) روش ساخت همزمان روسازه-زیرسازه

روش ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top Down Construction)

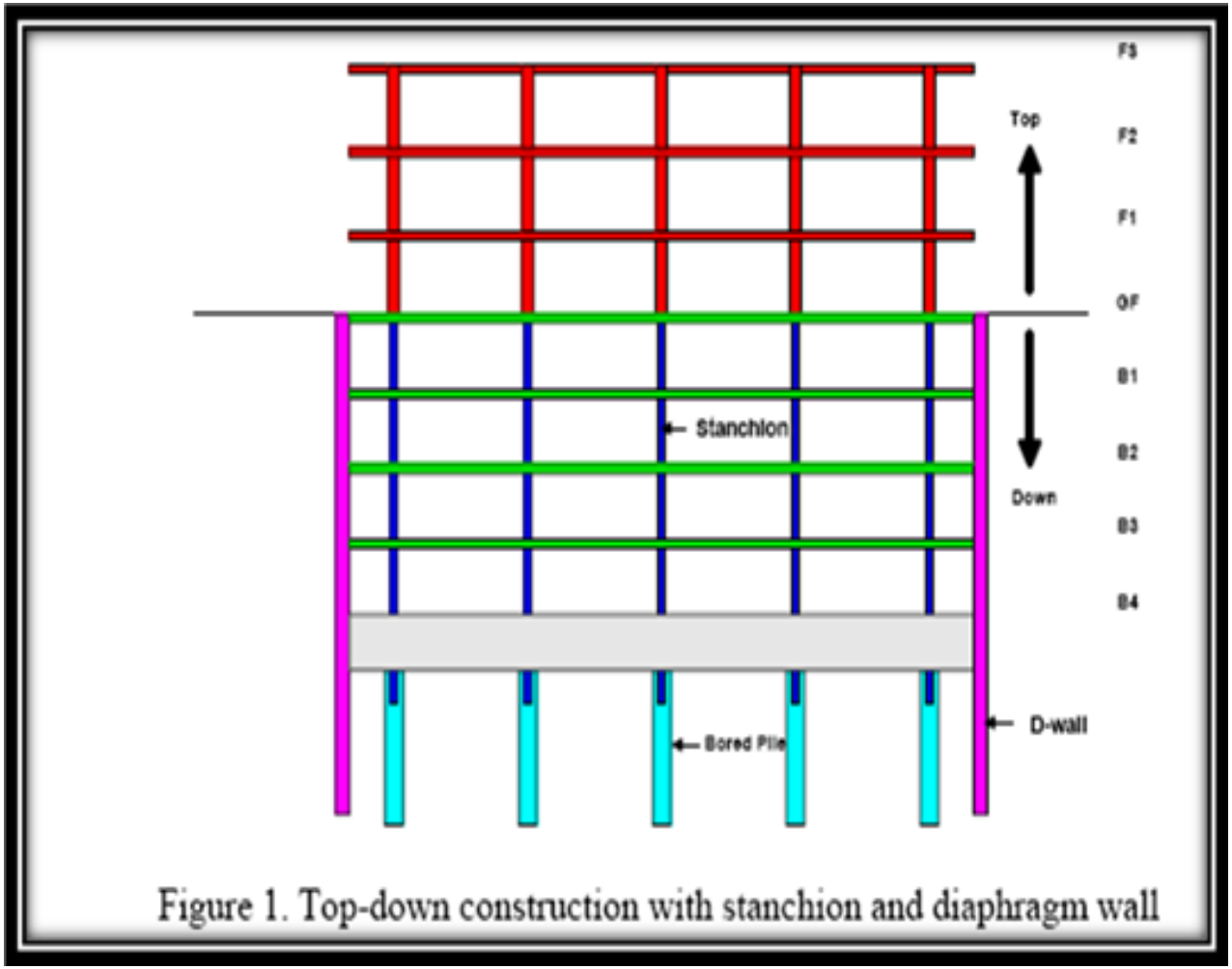
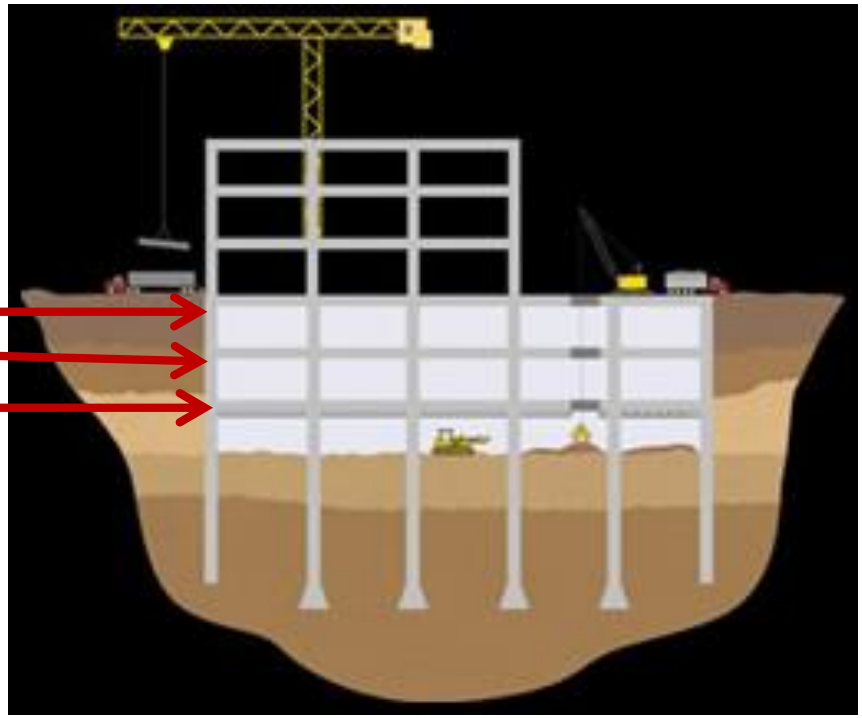


Figure 1. Top-down construction with stanchion and diaphragm wall

پروژه های کاربردی (ساخت همزمان روسازه و زیرسازه)

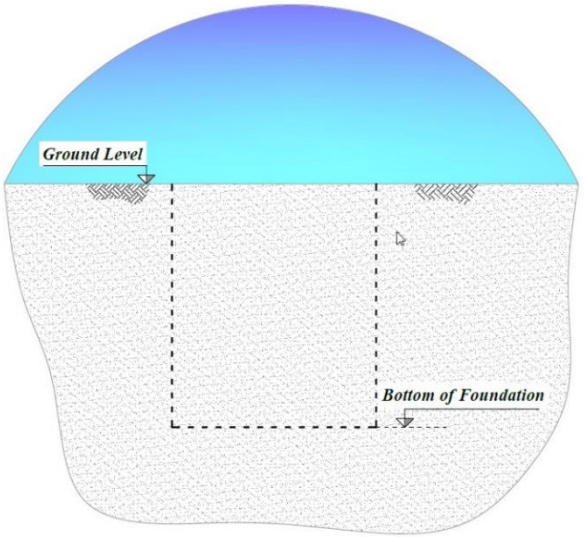
- پلهای زیرگذر
- ساخت فضاهای زیرزمینی
- ساخت مخازن
- احداث تونلها
- ساختمانها در مناطق شهری با طبقات زیرزمین

دیافراگم سقف: عامل مقاوم فشارو پایداری

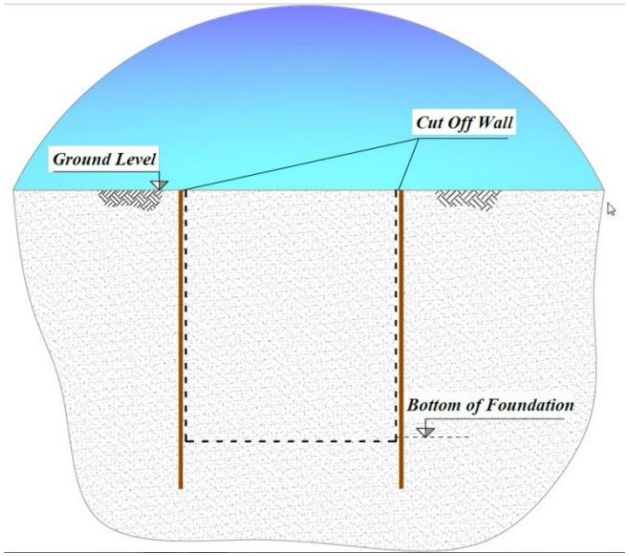


روش Top-Down Structure

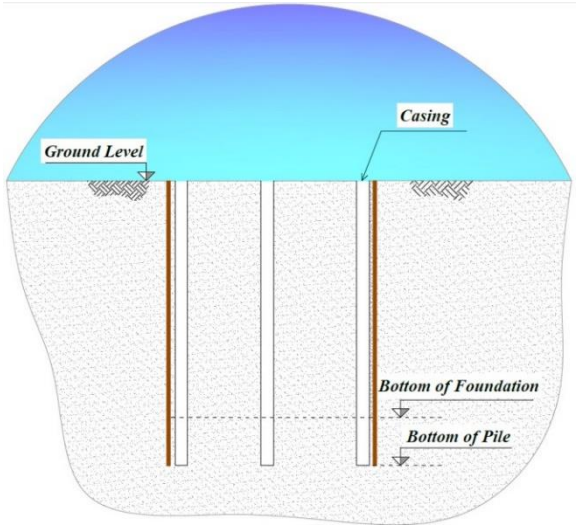
❖ مراحل اجرا



مرحله ۱

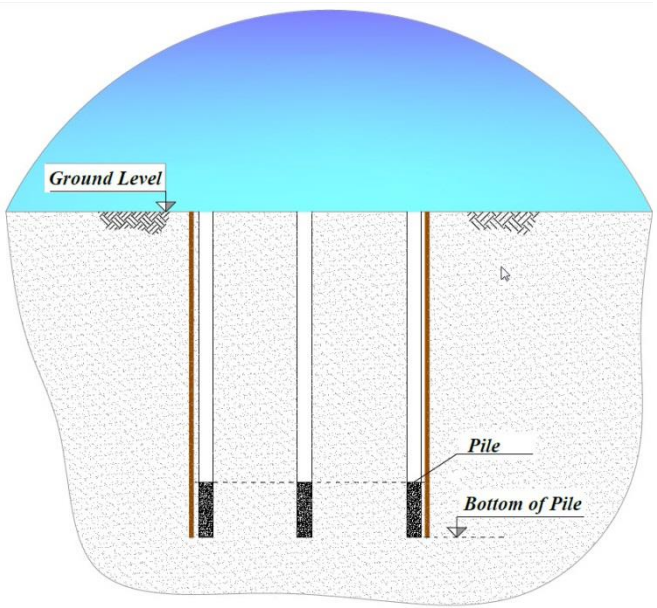


مرحله ۲

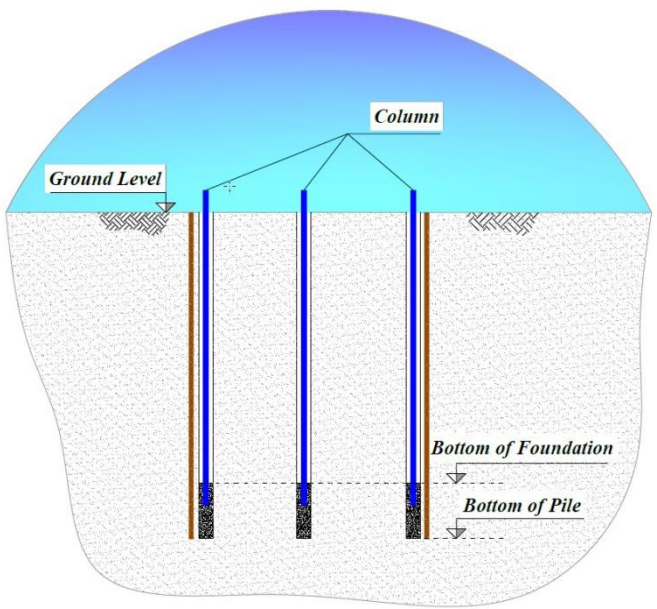


مرحله ۳

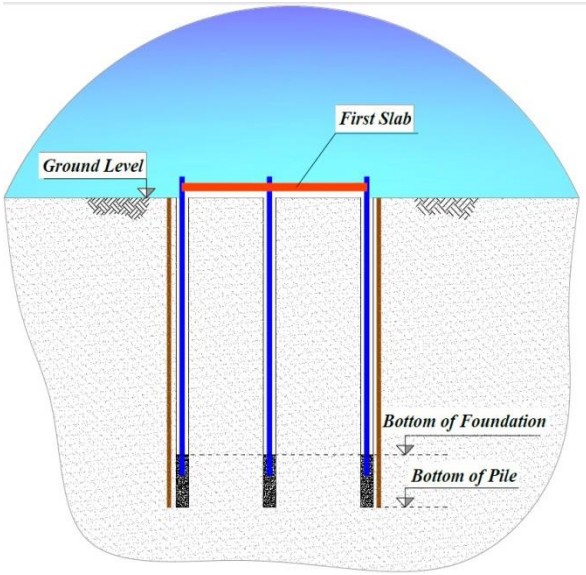
روش Top-Down Structure



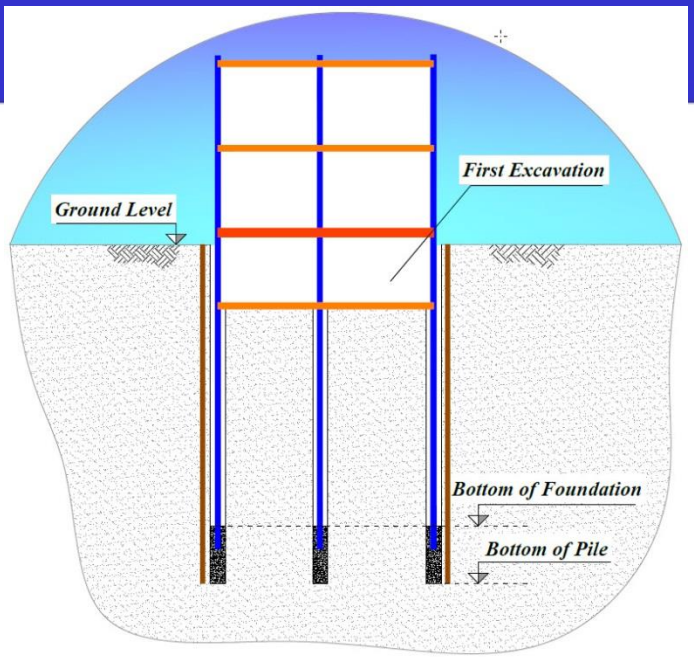
مرحله ۴

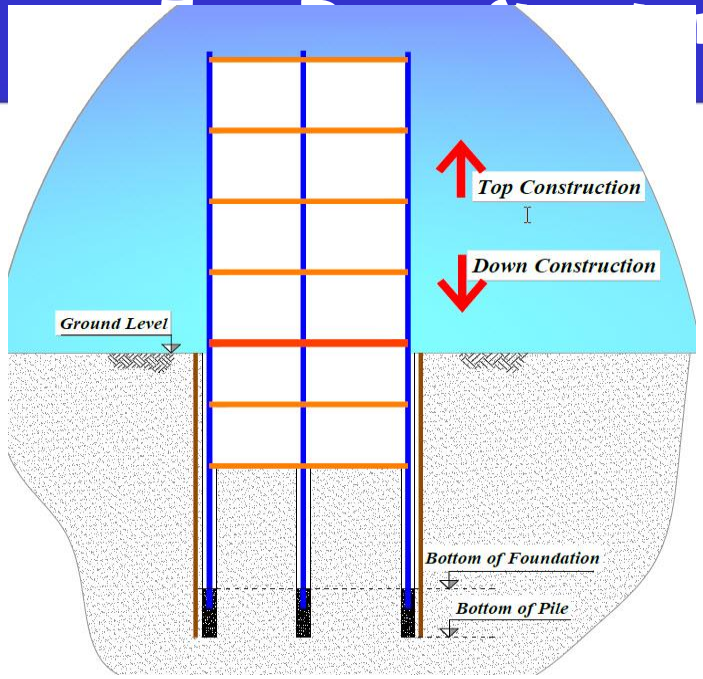


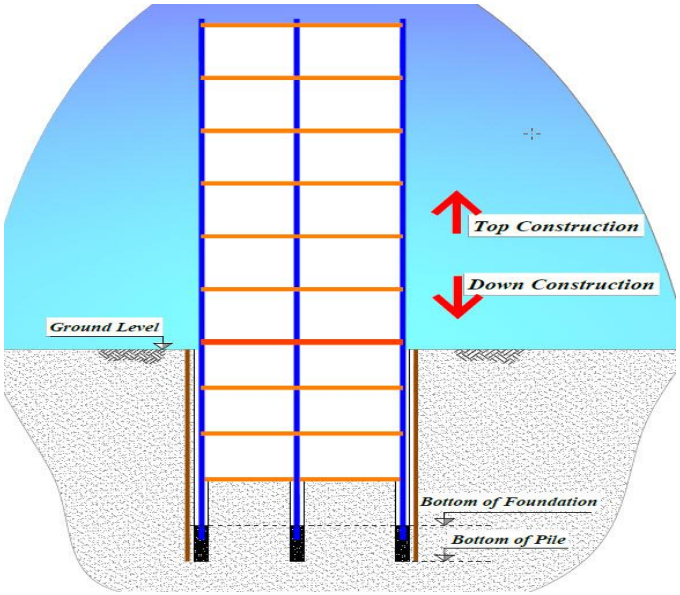
مرحله ۵

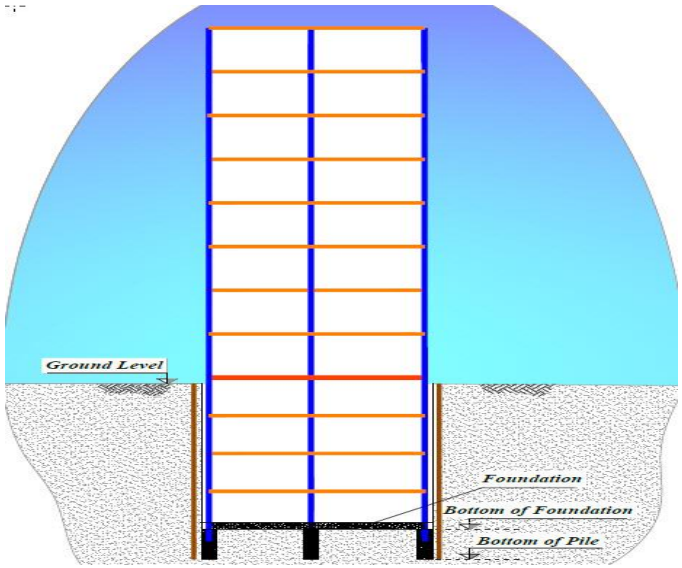


مرحله ۶


First Excavation
Ground Level
Bottom of Foundation
Bottom of Pile


Top Construction
Down Construction
Ground Level
Bottom of Foundation
Bottom of Pile


Top Construction
Down Construction
Ground Level
Bottom of Foundation
Bottom of Pile


Ground Level
Foundation
Bottom of Foundation
Bottom of Pile

۵. جمع بندی

5. Summary

جمع‌بندی

۱– مهندسی ژئوتکنیک (Geotechical Engineering):

- ❖ دانش بنیان و کار تیمی (مهندسین روسازه، زیرسازه و مجریان)
- ❖ روش های مشاهده ای
- ❖ قضاوت مهندسی

۲– ژئوسیستم ها (GeoSystems):

- ❖ سیستم زیرساخت متشکل از:
  - ژئومتریال (خاک و سنگ)
  - چوب و گیاه
  - آب زیرزمینی
  - المان‌های سازه‌ای
- ❖ حداکثر استفاده از مصالح طبیعی موجود و یا بازیافت شده
- ❖ حداقل بکارگیری عناصر مصنوعی

جمع‌بندی

۳– مهندسی پی (Foundation Engineering):

- عمق استقرار (D_f): عنصر کلیدی در افزایش ظرفیت باربری، کنترل نشست و تأمین پایداری
- پی‌های سطحی: معضلات نشست، پایداری، ظرفیت باربری محدود، حداقل اندرکنش با زمین
- پی‌های عمیق: معضلات اجرایی، پرهزینه و زمان‌بر، در معرض نیروهای کشانه

راه حل میانه؛ پی های ترکیبی (نیمه عمیق) (Hybrid Foundations)

- مزایا:
  - عملکرد توأم بخش‌های مختلف فونداسیون
  - مساحت جداری بزرگ و عملکرد بلوکی
  - شناورسازی و استفاده حداکثر از مصالح طبیعی و فضاهای زیرزمینی
  - محصور شدگی بیرونی و درونی

جمع‌بندی

۴– روش ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top-Down Construction):

- کنترل جابجایی ها و حذف معضلات ناپایداری حین گودبرداری به کمک اجزای زیرسازه
- رفع معضلات رایج در گودبرداریهای عمیق
- رفع معضلات پایدارسازی در ارتباط با تجاوز به زمین همسایه
- کاهش گرد و غبار ناشی از ساخت و حداقل نمودن مشکلات زیست محیطی
- عملکرد سیستم باکسی به عنوان فونداسیون نیمه عمیق
- طرح و اجرای بهینه، ۷۰٪ سرعت بیشتر در اجرا، ۳۰–۴۰٪ کاهش هزینه های اجرایی

۵– رویکردهای بهینه و توسعه پایدار (Optimum & Sustainable Development):

- چرخه: داده‌ها، طراحی و اجرا مبتنی بر متدهای مشاهده‌ای
- سامانه‌های ترکیبی در زیرسازه
- بازیافت سازه‌ای و محصور نمودن مصالح طبیعی زیرزمینی
- رویکردهای مهندسی ارزش در طرح و ساخت
- تقلیل چالش های زیست محیطی

با تشکر از:

همراهی، حضور و توجه شما

Thanks for

Your Attention