

بسمه تعالی

اولین سمپوزیوم بین‌المللی ملاحظات ساخت و ساز در نزدیکی گسل

1st International Symposium on Near Field Construction Considerations

ارزیابی مبتنی بر عملکرد سیستم‌های زیرسازه ساختمان‌ها:
آثار بار-جابجایی، لرزه‌ای و همجوارسازی

Performance-Based Evaluation of Buildings Substructure Systems:
Load-Displacement, Seismic, and Adjacent Construction Effects

توسط:

دکتر ابوالفضل اسلامی

Prof. Abolfazl Eslami

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)،
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست (AUT)

بهمن ۱۴۰۳ - تهران

1. Scope & Objectives

2. Buildings Substructure Systems

3. Foundations Performance; P- Δ

4. Seismic Event & Combined Loading

5. Adjacent Buildings Construction

6. Summary & Prospect

۱- سیمای کار و اهداف

۲- سیستم زیرسازه ساختمان‌ها

۳- عملکرد پی‌ها؛ داده‌های بار-جابجایی

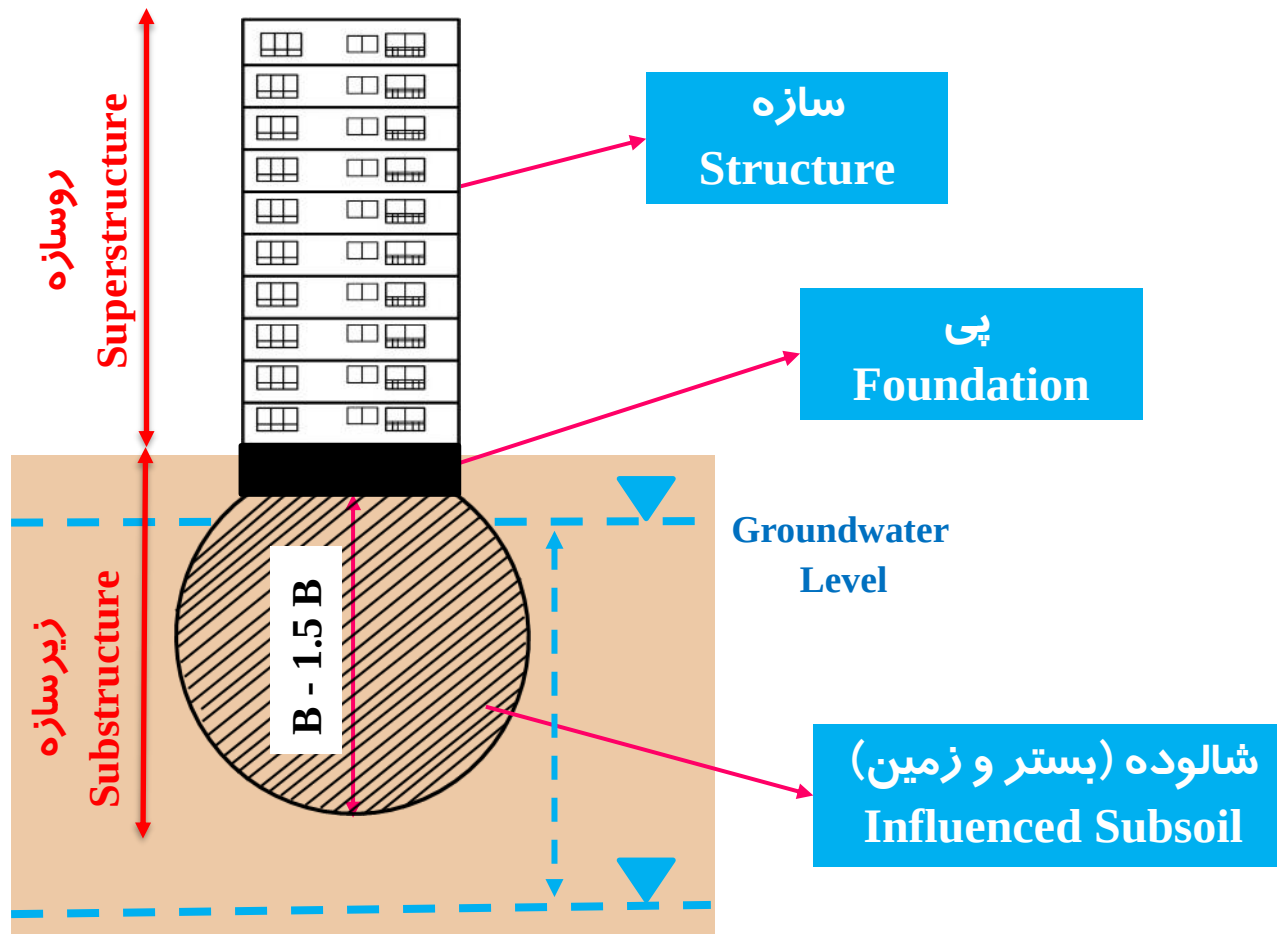
۴- شرایط لرزه‌ای بارگذاری ترکیبی

۵- همجوارسازی ساختمان‌ها

۶- جمع‌بندی و چشم‌انداز

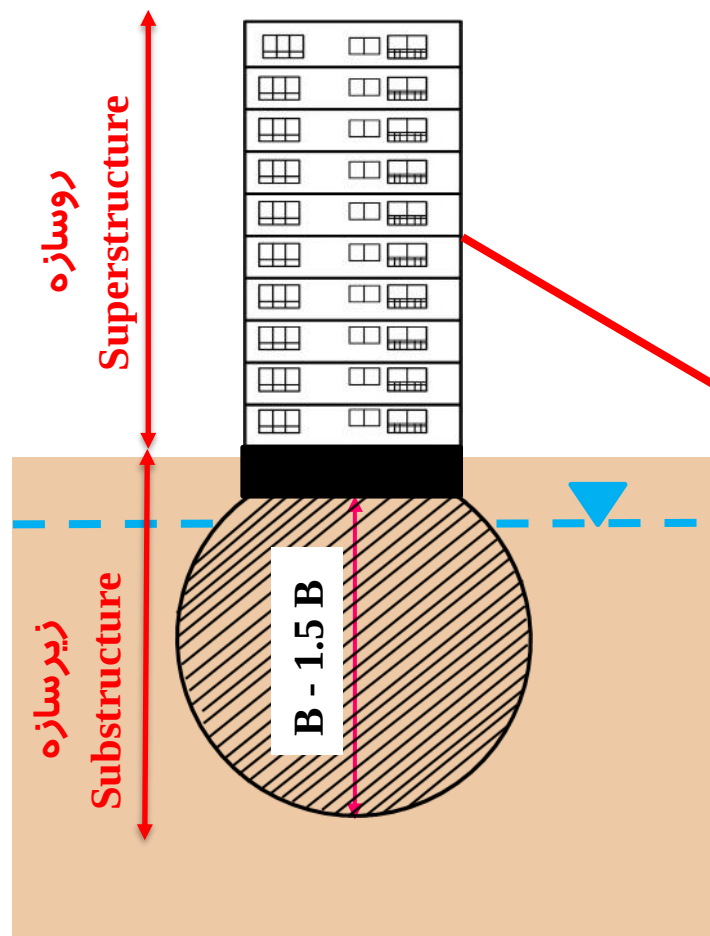
اجزای اندرکنشی روسازه و زیرسازه

Interaction of Superstructure & Substructure



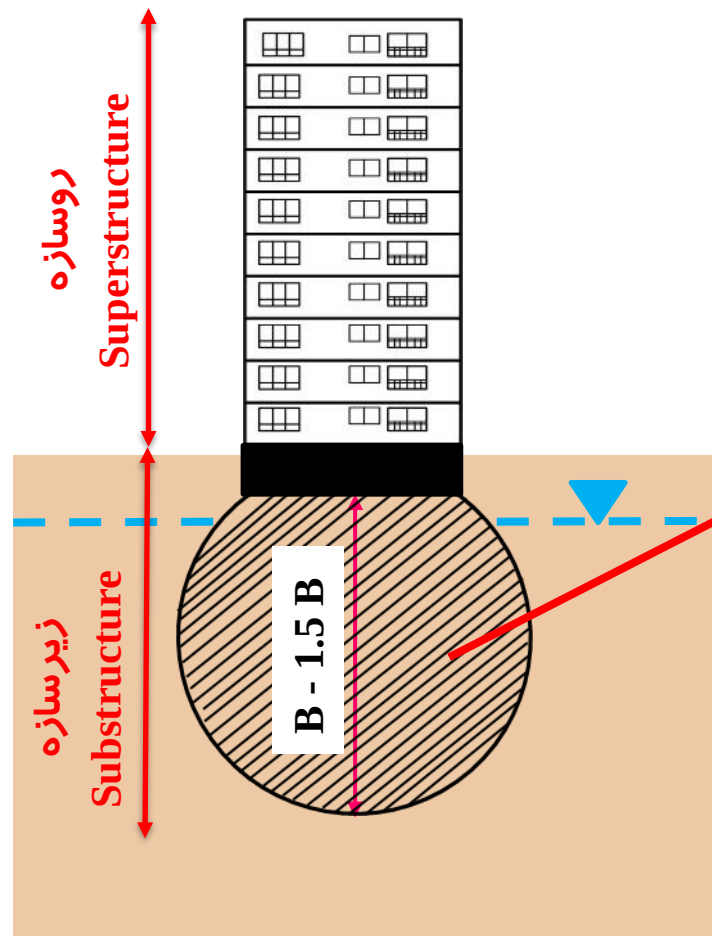
Structures Variety

تنوع در سازه: نوع، ابعاد، اهمیت و ترکیب بارگذاری



تنوع در مصالح شالوده‌ها: نوع، تراکم - قوام و زهکشی

Underground Deposits Variety



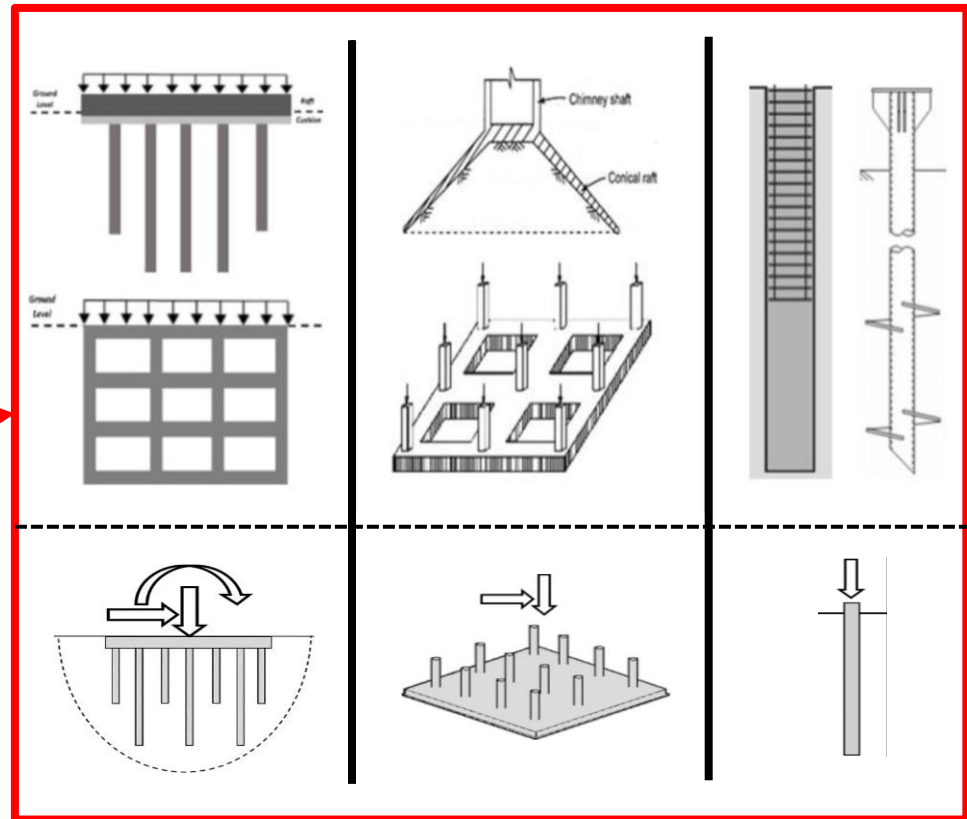
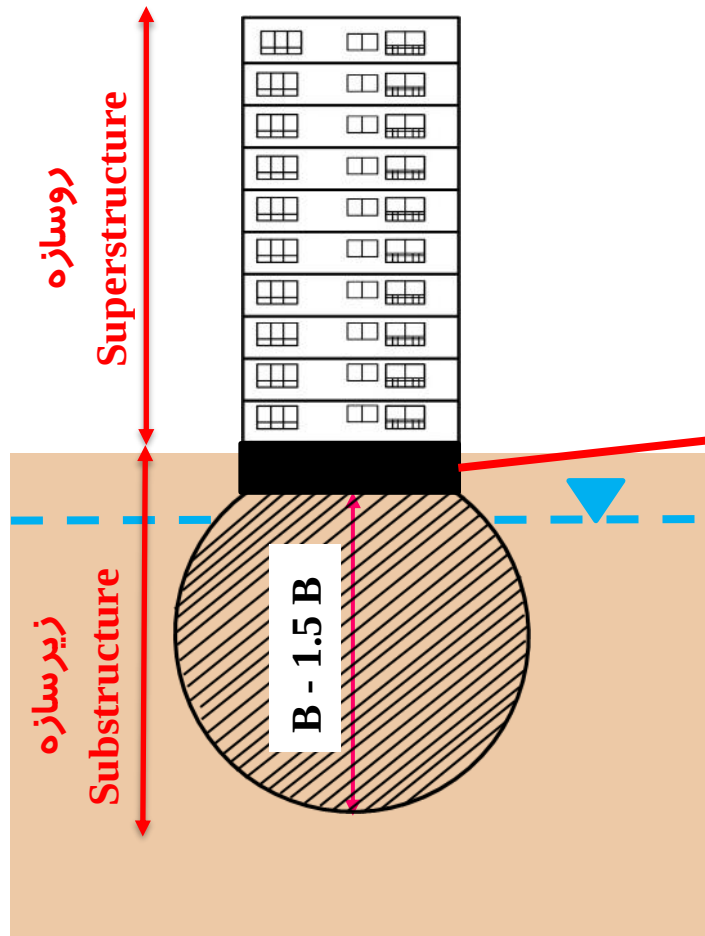
خاک‌های نرم و شل (Soft & Loose Soils)

خاک‌های با قوام و تراکم متوسط (Medium Soils)

خاک‌های سخت و سنگ (Dense & OC Soils, Rocks)

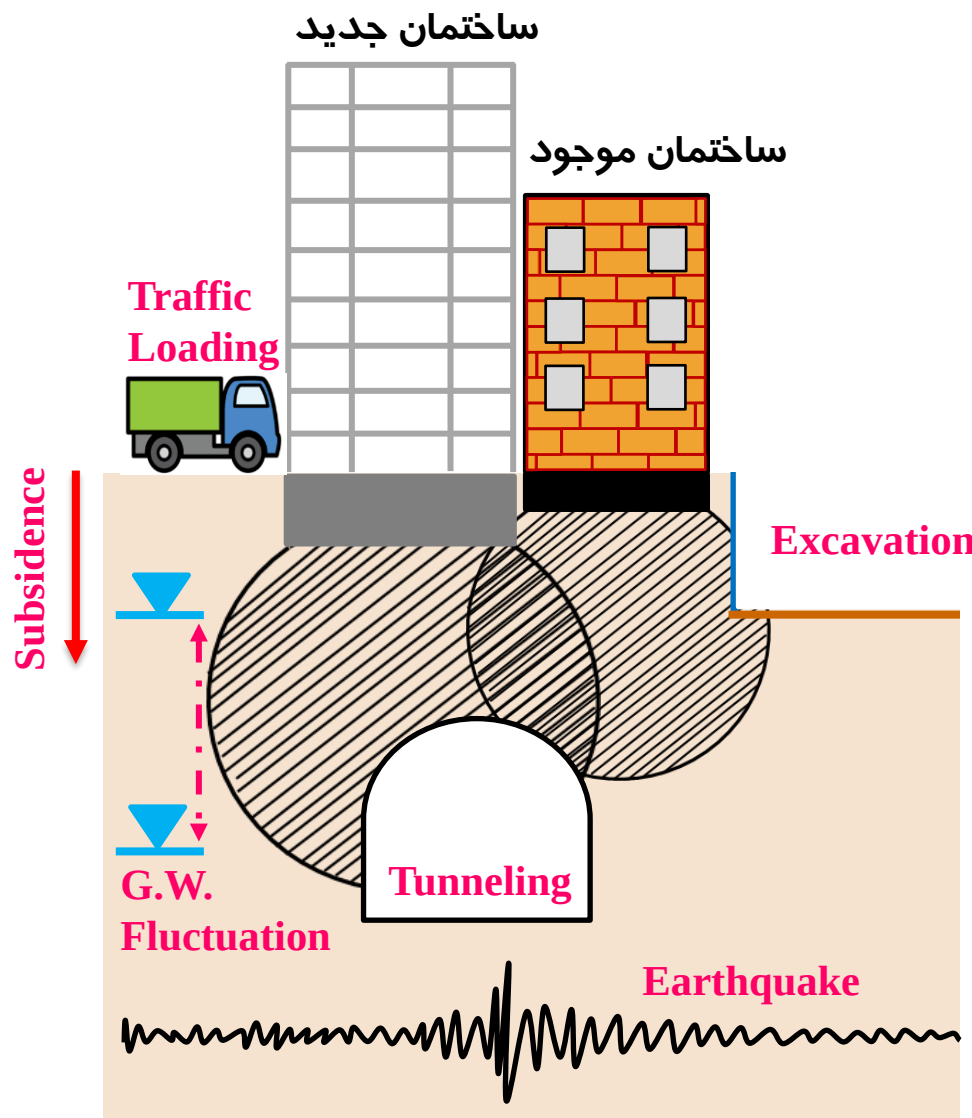
Foundation Systems

تنوع در سیستم فونداسیون: نوع، هندسه و عمق استقرار



Futuristic & Circumferential Efficacies

عوارض آتی و پیرامونی



✓ همجوارسازی

✓ تغییرات آب زیرزمینی

✓ بارهای لرزه‌ای و دینامیکی

✓ حفر تونل در مجاور و یا زیر پی

✓ گودبرداری

✓ زلزله

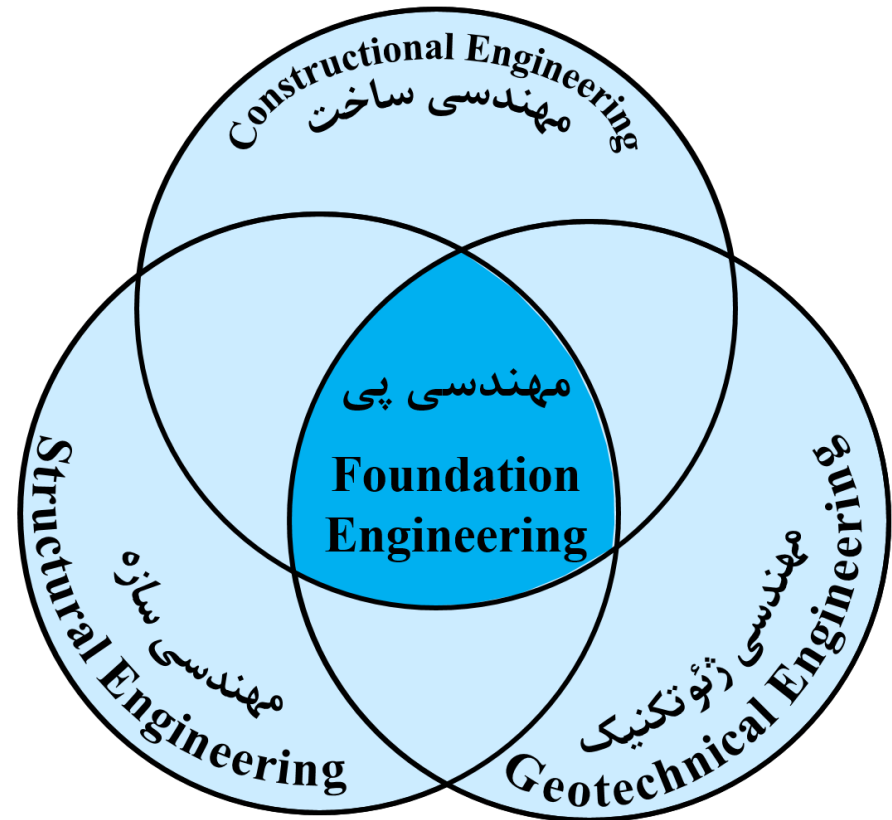
✓ فرونشست

Foundation Engineering

مهندسی پی: همپوشانی ژئوتکنیک، سازه و ساخت

Major Analysis & Design Requirements

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



Fellenius (2015): The analysis and design of foundations are an **iterative** process since the amount of imposed loads, corresponding settlement, and foundation geometry are **interactive**, affected by geotechnical capacity, structural capacity and settlement requirements.

Tall Buildings; General View

ساختمان‌های بلند؛ معرفی کلی

- 200–300 m: **Tall** buildings
- 300–600 m: **Super-Tall** buildings
- >600 m: **Mega-Tall** buildings



Tianjin Goldin
Tower, China



One Shell
Plaza, USA



Al Faisaliah,
KSA



Messeturm,
Germany

Multi-disciplinary

Knowledge-based

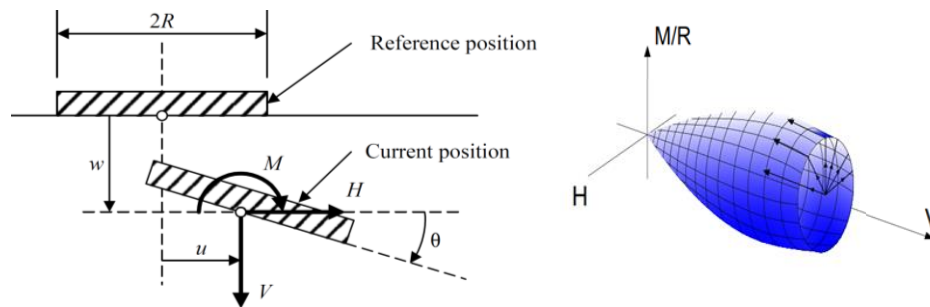
Mega-scale

Inspiring

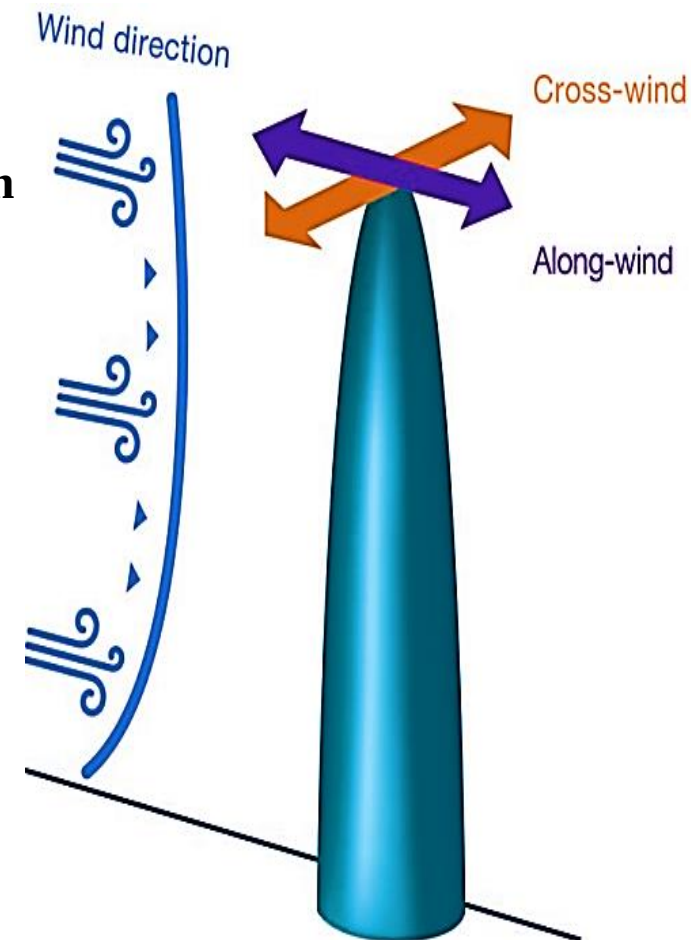
Tall Buildings; Major Characteristics

ساختمان‌های بلند، ویژگی‌های عمده

- High weight & vertical load on foundation
- Non-uniform settlement due to adjacent construction
- Lateral load and overturning moments from wind
- **Extra lateral load from earthquake**
- Potential for resonance by wind & earthquake loads
- Structure under combined (VMH) loading



Combined loading (VMH)



Cross wind and along wind building responses

Foundation Types for Tall Buildings

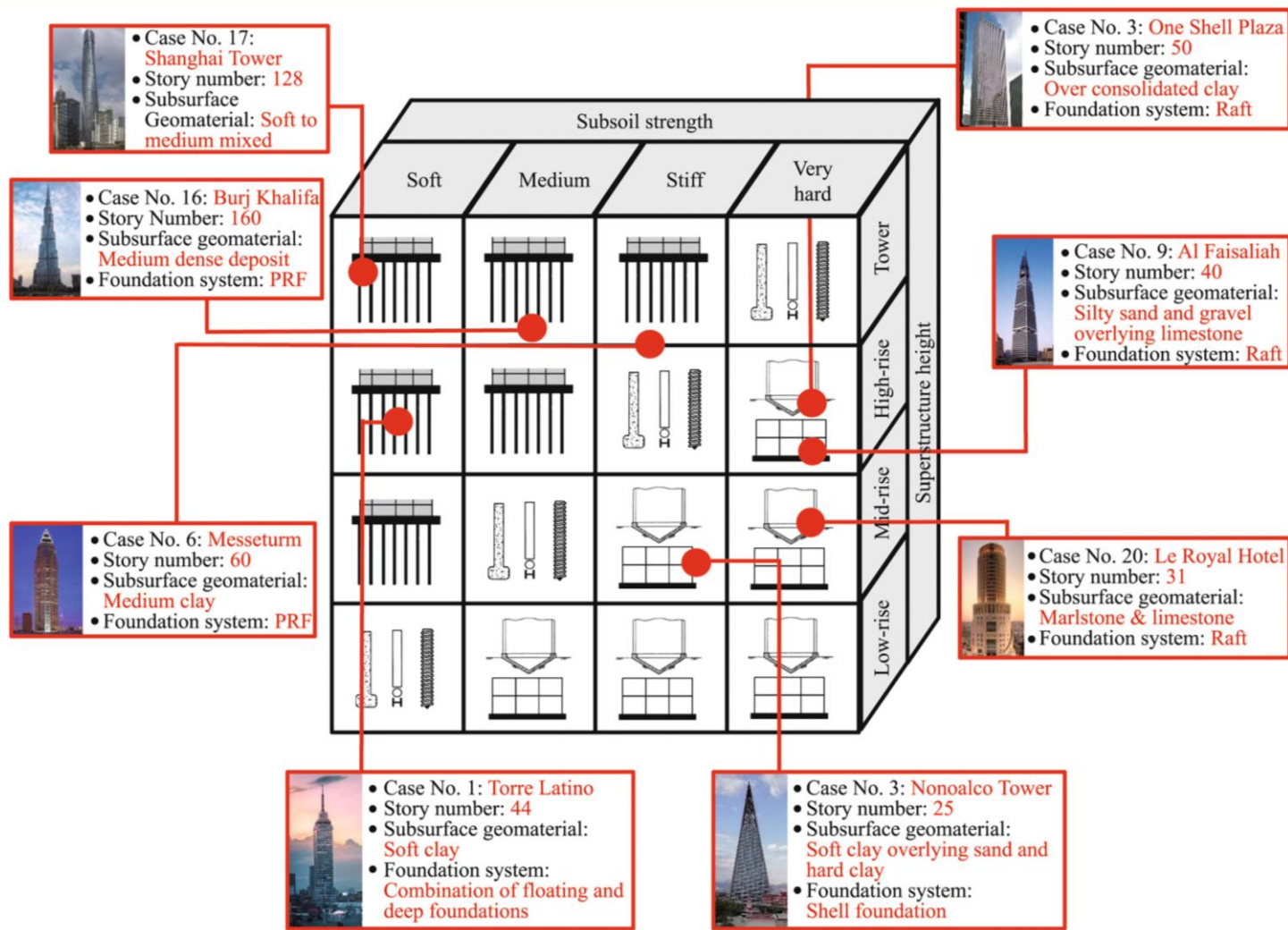
انواع فونداسیون ساختمان‌های بلند

Foundations for Tall Buildings

- ❖ Pile Group
- ❖ Hybrid Foundations
- ❖ Massive Modification
- ❖ Columnar Modification
- ❖ Piled Raft Foundation (PRF)
- ❖ Mat Foundations
- ❖ Shell Foundations
- ❖ Skirted Foundations
- ❖ Floating Foundations
- ❖ Barrette Foundations

انتخاب سیستم فونداسیون برای ساختمان‌ها (Eslami et al., 2025)

Foundation Selection Framework & Adoption



Visual presentation of representative case studies' compliance (Eslami et al., 2025)

Load-Displacement: Dominant Factors

عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی‌ها

Foundation

Geometry & Embedment

Installation Effects

Interface Properties

Structural Material

Geomaterial

Strength & Stiffness

Drainage Condition

Time History & Aging

Sensitivity & Thixotropy

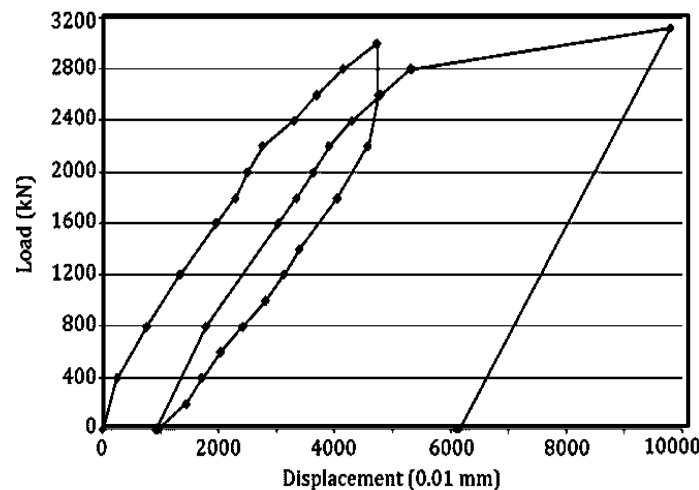
Loading

Pattern:

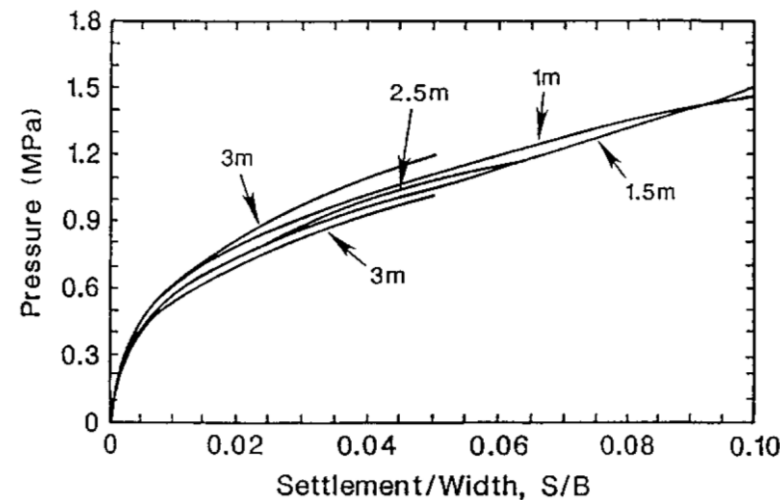
Slow or Rapid

Type:

Compressive, Tensile, Cyclic



Load-displacement of driven pile, pull out test
(Eslami et al., 2011)



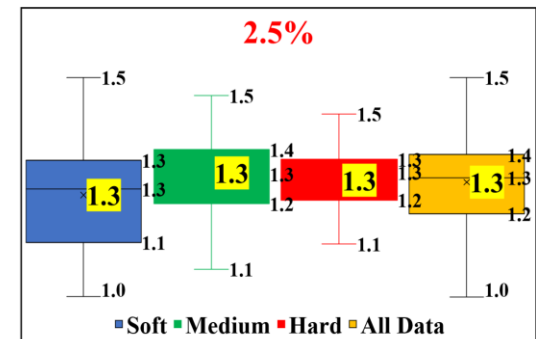
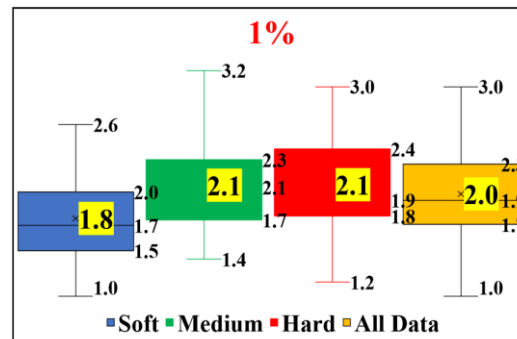
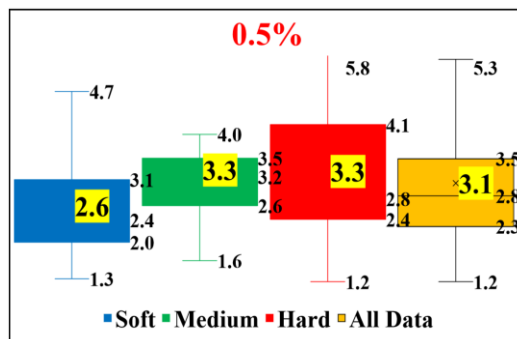
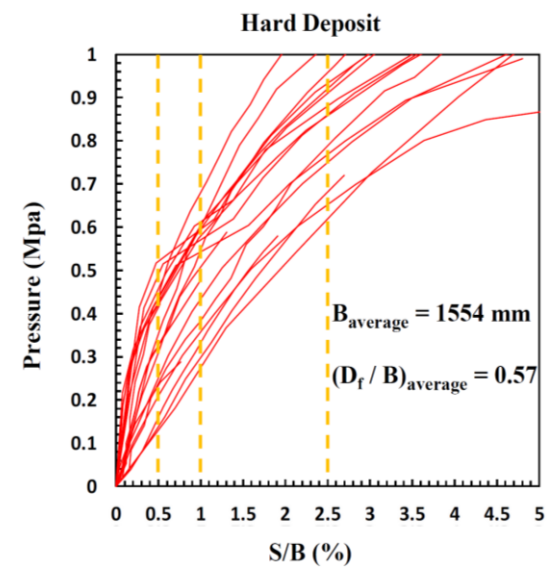
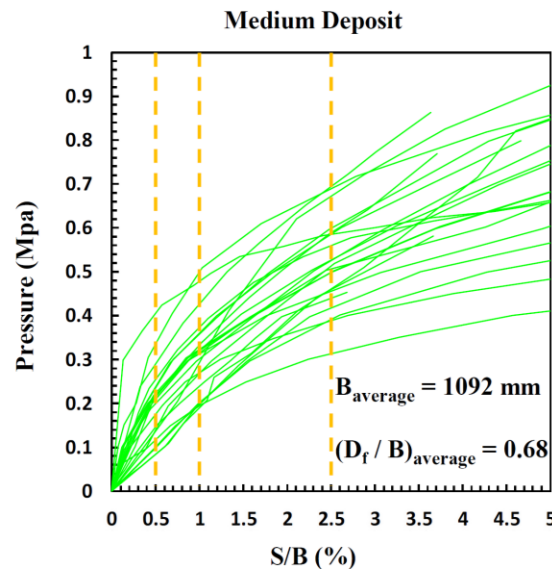
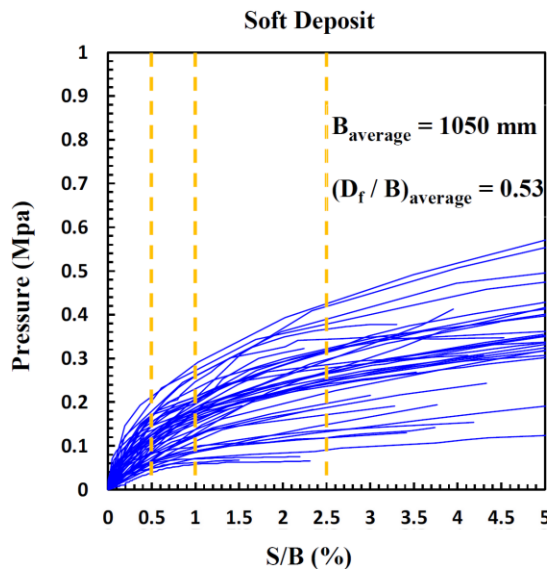
Pressure - relative displacement for spread footings
(Briaud & Gibbens, 1999)

رفتار بار-جابجایی پی‌های سطحی (Eslami et al., 2025)

Load-Displacement: Spread Footings

- 70 Cases of Spread Footings
- Implemented on Sand, Clay and Mixed Deposits
- Embedment Depths between 0 to 3 m
- Breadth between 0.5 to 2.2 m

Assuming Ultimate Load at $S/B = 5\%$



Evaluating factor of safety for spread footings based on displacement ratios

رفتار بار-جابجایی شمع‌های درجا (Eslami et al., 2025)

Load-Displacement: Drilled Shafts

- **67 Cases of Drilled Shafts**

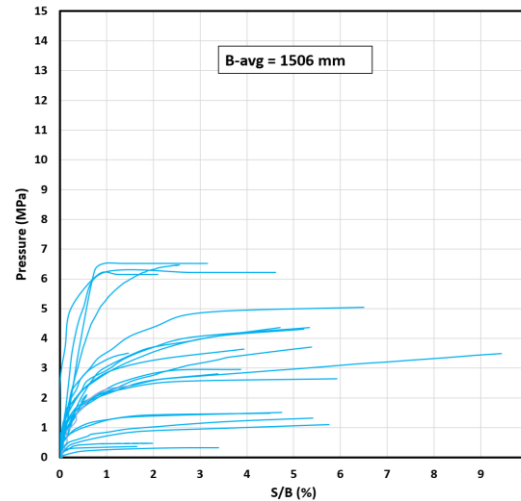
- **Bored in:**

- ✓ Sand,
- ✓ Clay
- ✓ Mixed Deposits

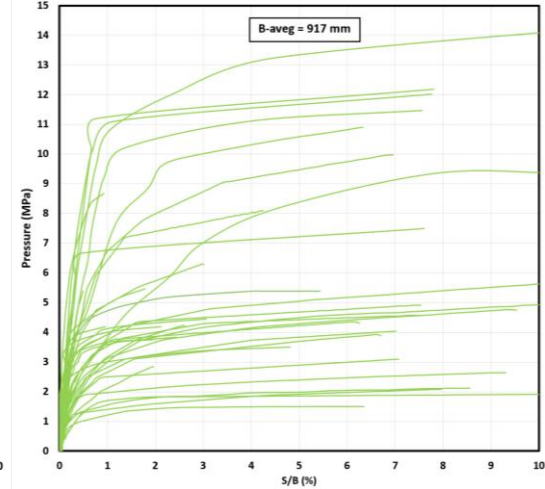
- **Embedment Depths between 6 to 22 m**

- **Diameter between 350 to 2440 mm**

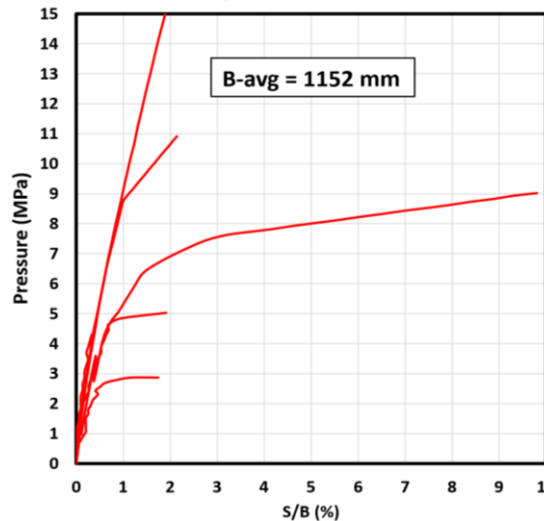
Short to Medium Drilled Shafts < 8 m



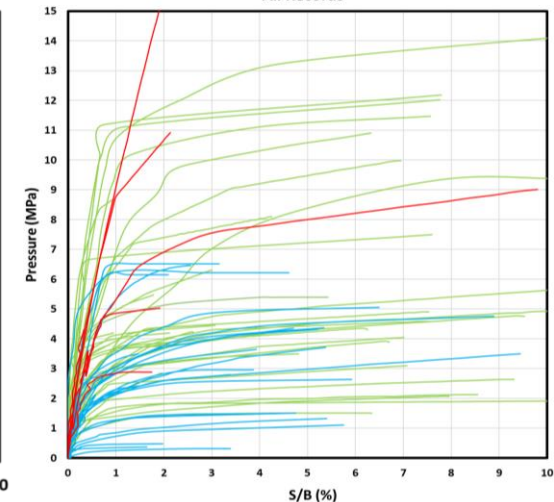
Medium to Long Drilled Shafts : 8 m < Df < 16 m



Long Shafts: Over 16m



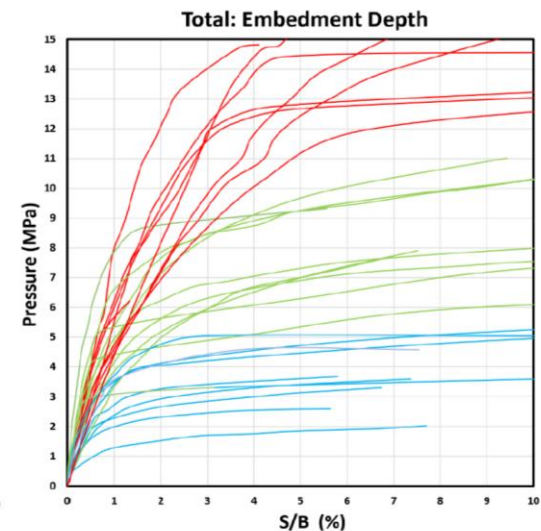
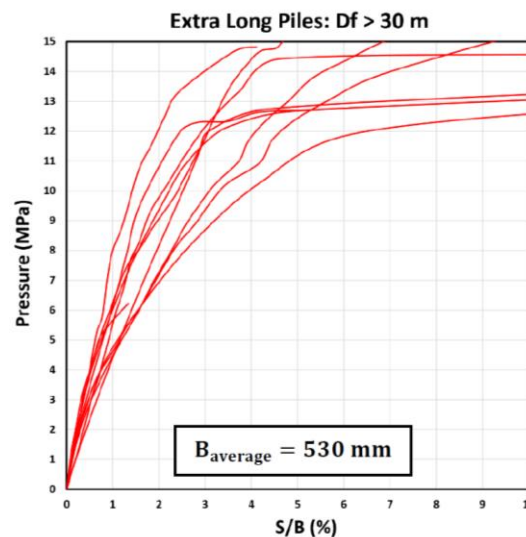
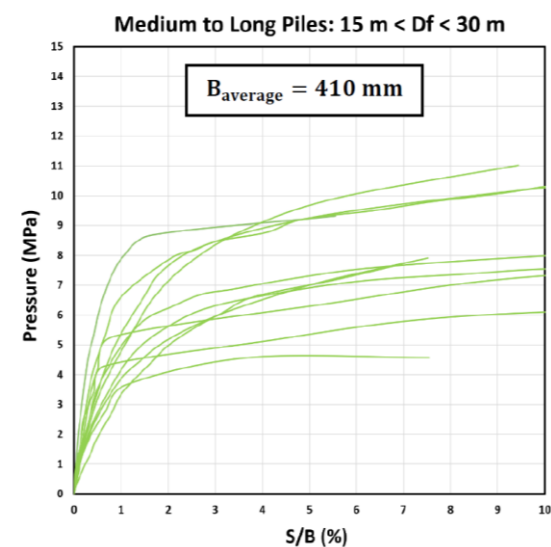
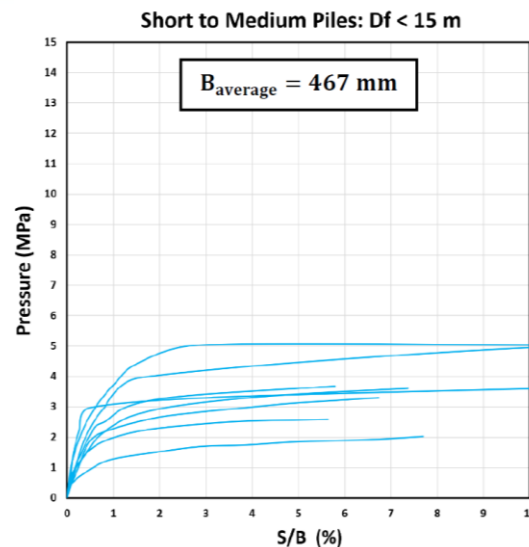
All Records



رفتار بار-جابجایی شمع‌های کویدنی (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

Load-Displacement: Driven Piles

- **71 Cases of Driven Piles**
- **Driven in:**
 - ✓ Sand,
 - ✓ Clay
 - ✓ Mixed Deposits
- **Embedment Depths between 6 to 56 m**
- **Diameter between 235 to 914 mm**



رفتار بار-جابجایی شمع‌های کوئیدی (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

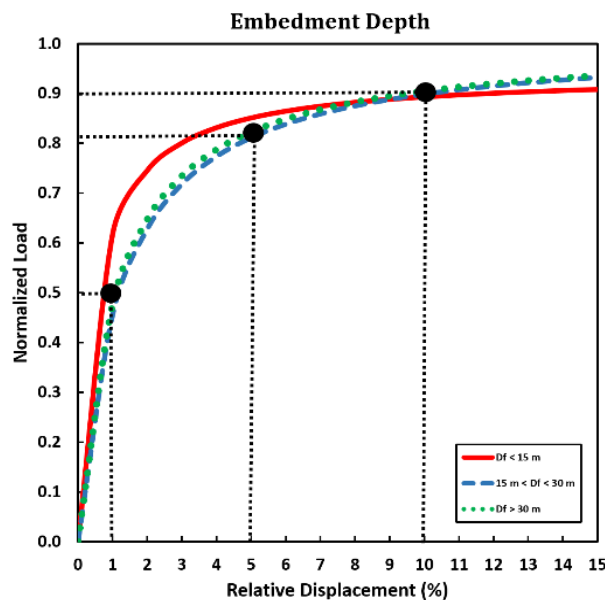
Load-Displacement: Driven Piles

Normalization Approach:

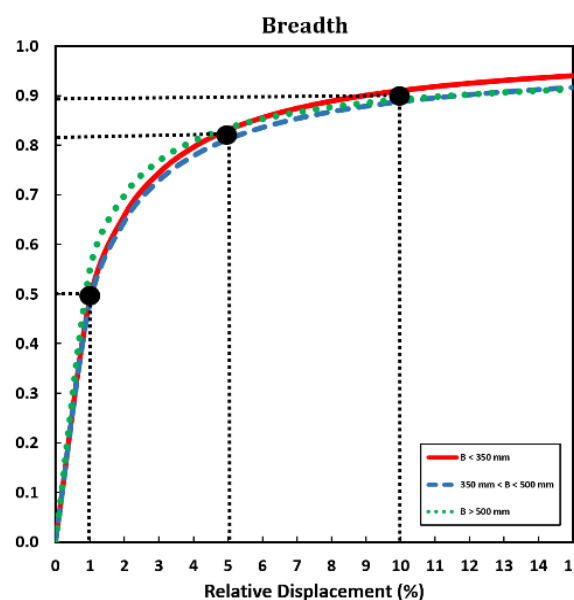
- Load: Brinch-Hansen 80% (1963)
- Displacement: Breadth

Relative Displacement & Normalized Load:

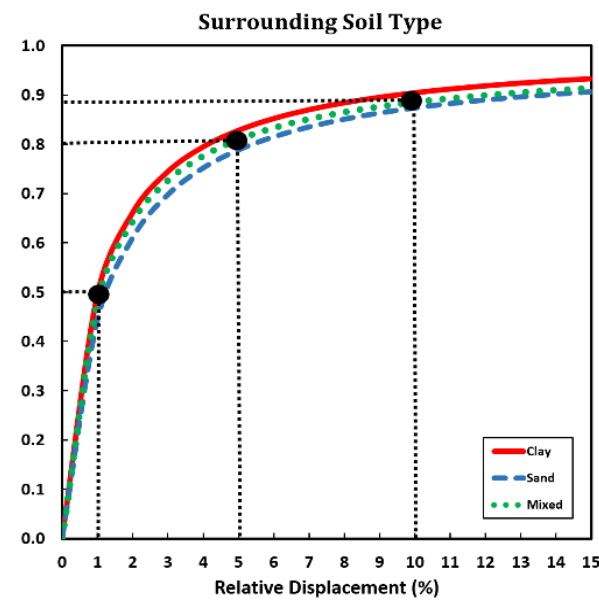
- 1 % $\rightarrow$ 0.5 P_u (FS=2)
- 5 % $\rightarrow$ 0.8 P_u
- 10 % $\rightarrow$ 0.9 P_u



(a)



(b)

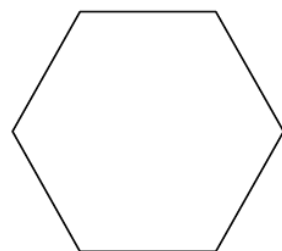
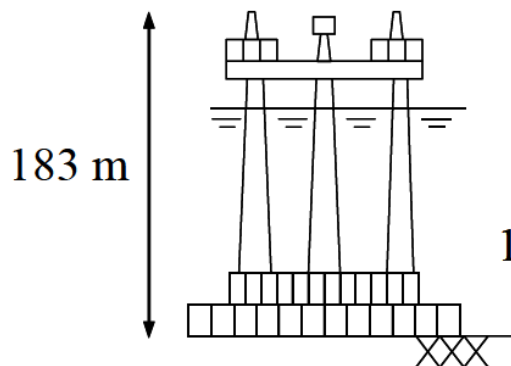


(c)

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

نقش بارهای ناپایدارکننده در هندسه فونداسیون

Effect of Combined Loading on Foundation Geometry



168 m

Taywood Seltrust

maximum storm loads

2006 MN V 1500 MN
 495 MN H 29 MN
 18850 MNm M 3255 MNm

35% extra V

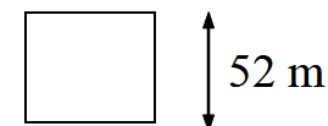
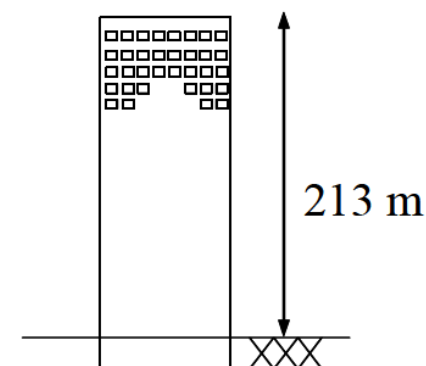
1600% extra H

500% extra M

foundation plan

9173 m² A 3692 m²

150% bigger foundation area



71 m

One Shell Plaza
Houston

مقایسه بارهای طراحی برای یک سازه فراساحل و یک سازه مستقر در خشکی (Poulos, 1988)

سازه‌های با کاربری جدید و بارهای ترکیبی

Super-Tall Structures and Combined VMH Loading



نمایی از برج شانگهای

نمونه ساختمان‌های بلند: برج شانگهای چین

- ۱۲۸ طبقه، ارتفاع ۶۳۲ متر
- ✓ 128 Stories
- ✓ 632 m Height
- از بلندترین ساختمان‌های کشور چین
- بارهای مرده و زنده معادل ۶۷۱۰ MN و ۹۶۳ MN
- نشست بیشینه بین ۱۰۱ تا ۱۰۴ میلیمتر
- ✓ Maximum settlement between 101 and 104 mm

Horizontal Loads and overturning moments at the base level (Zhao et al., 2011)

نوع نیروی افقی وارده	نیروی برشی در تراز مبنا (MN)	لنگر واژگونی متناظر (MN.m)
باد (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله)	95	37226
زلزله (دوره بازگشت ۵۰ ساله)	89	18842

Collapses & Damages

خرابی‌ها و آسیب‌ها



Earthquake, Turkey



Earthquake, Taiwan



Storm & Tornado, Fallen Wind Turbine



Flood, North of Iran

Conventional & Novel Approaches

مقایسه روش‌های تحلیل و طراحی

Rotation limits for some structures

(Charles & Skinner, 2003)

Structure or component	Tilt
Radar system	1/50 000
Satellite antenna tower	1/6000
Machine operation: turbine	1/5000
Warehouse high racking	1/2000
Concrete tanks	1/500
Crane rails	1/333
Chimneys, towers	1/250
Stacking of goods	1/100
Floor drainage	1/100–1/50

Conventional Approach

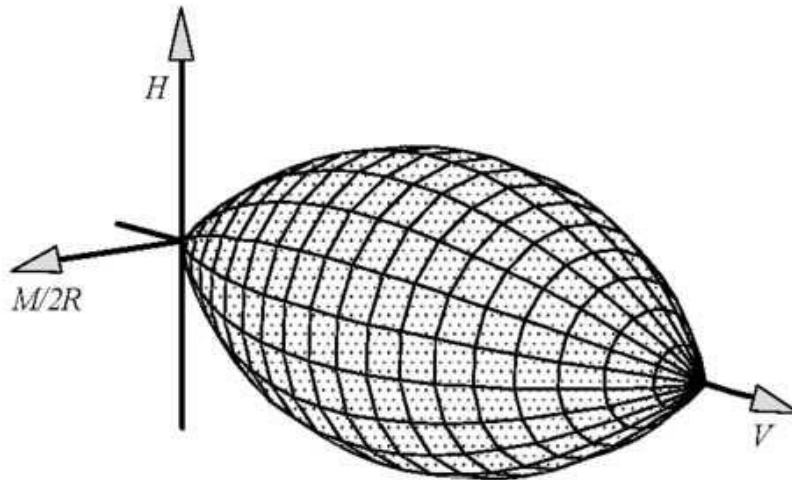
- Conservative
- Modification Factors
- Improper for Uncertainties

Novel Approach

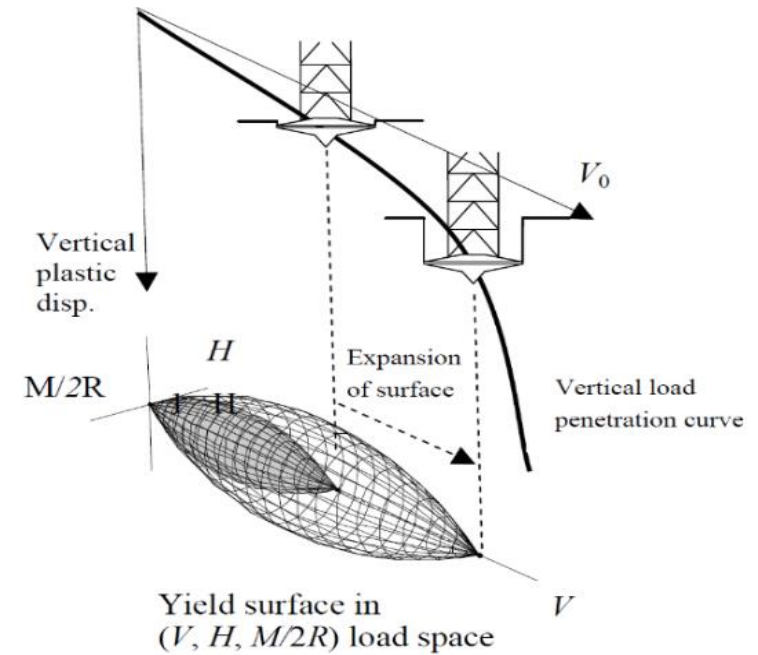
- Different Loading Paths
- Interactive Analysis of Bearing Capacity, Settlement & structural Design
- Presenting a Failure Envelope

VMH Failure Envelopes

روش پوش‌های گسیختگی VMH



(a)

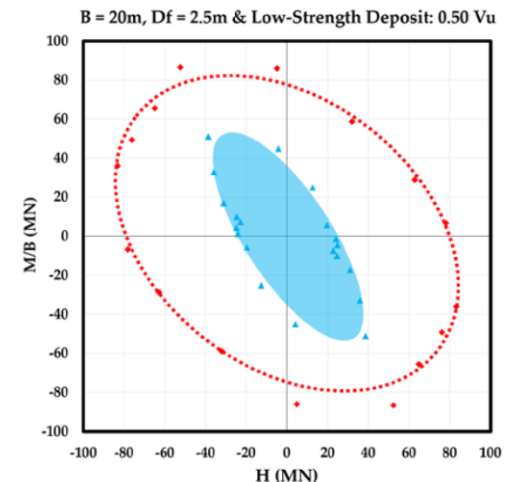
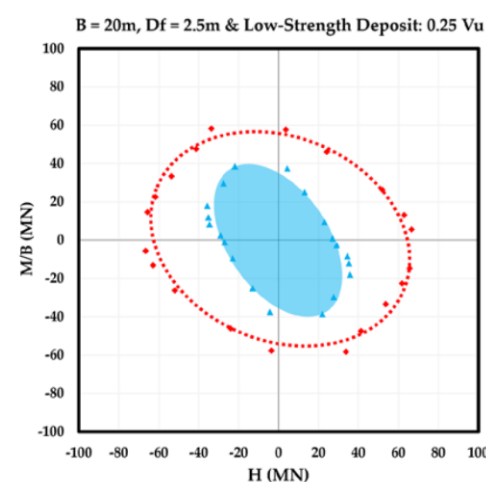
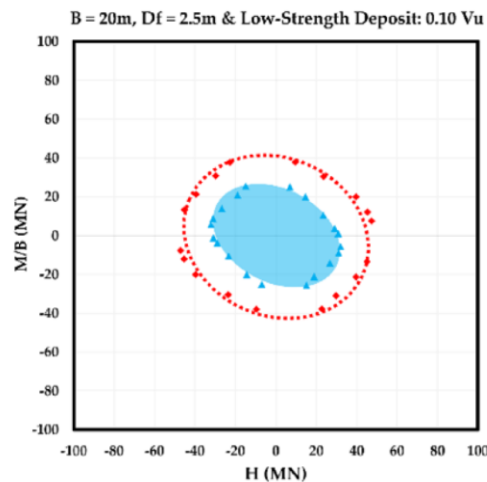
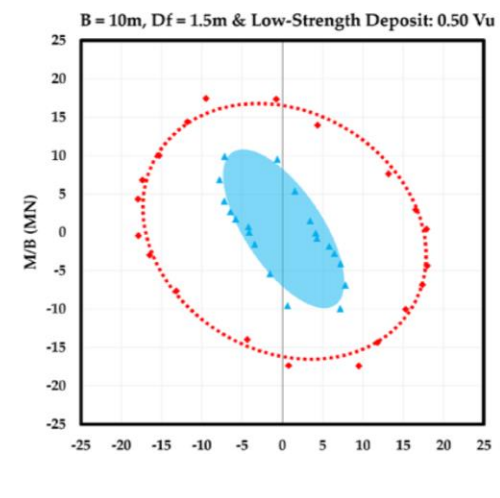
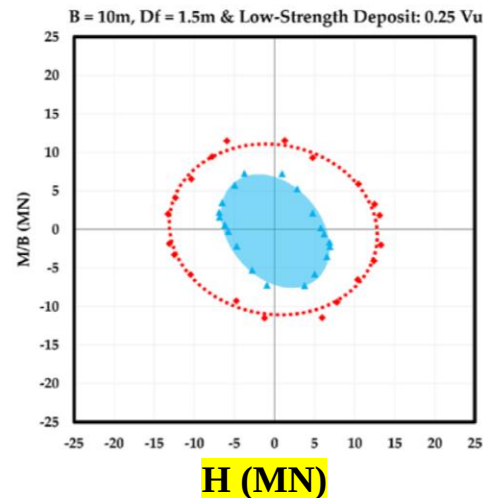
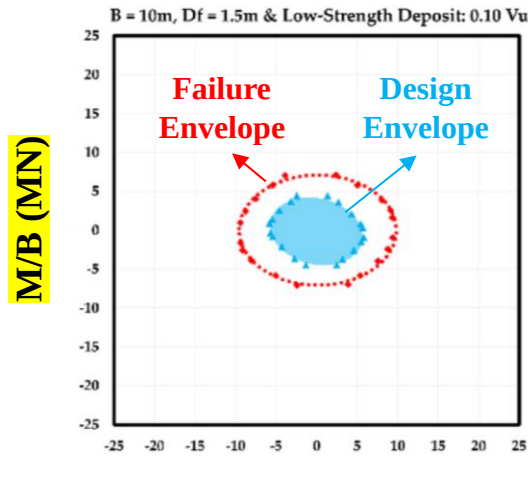


(b)

(a) Typical failure envelope (Houlsby & Cassidy, 2002); (b) Effect of embedment depth increase on failure envelope of spudcan foundation (Randolph et al., 2005)

Failure & Design Envelopes

پوش‌های گسیختگی و طراحی برای پی رادیه



Failure and design envelopes for rafts with breadth of 10 m & 20 m (Ebrahimipour & Eslami, 2025)

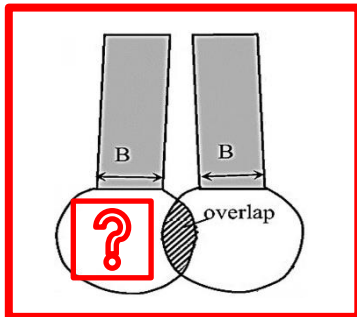
Why Adjacent Construction?

چرا همجوارسازی؟

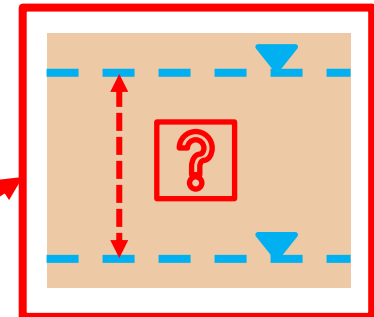
As cities evolve and populations grow, adjacent construction occurs more frequently. And when certain types of construction or excavation are planned, protections must be put into place to maintain the integrity of adjacent properties.



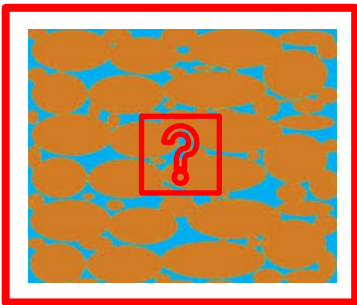
بارهای نامرئی



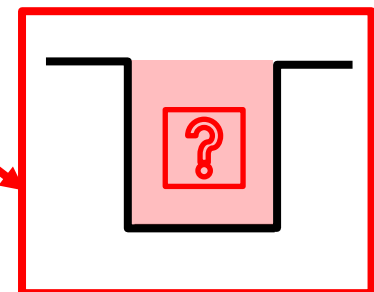
همپوشانی تنش‌ها
Stresses Overlap



تغییر تراز آب زیرزمینی
Groundwater Level Variation



بارهای دینامیکی و ضربه‌ای
افزایش فشار آب حفره‌ای
Excess Porewater Pressure



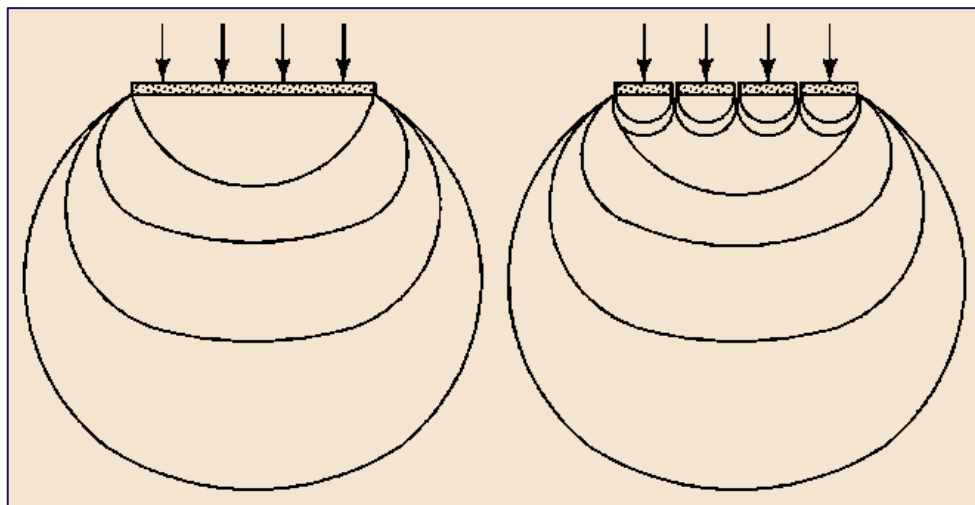
گودبرداری
Excavation

Invisible Loads

عوارض ساخت پی‌های سطحی نزدیک به هم و تداخل تنش‌ها

Adjacent Construction: Stress Overlap

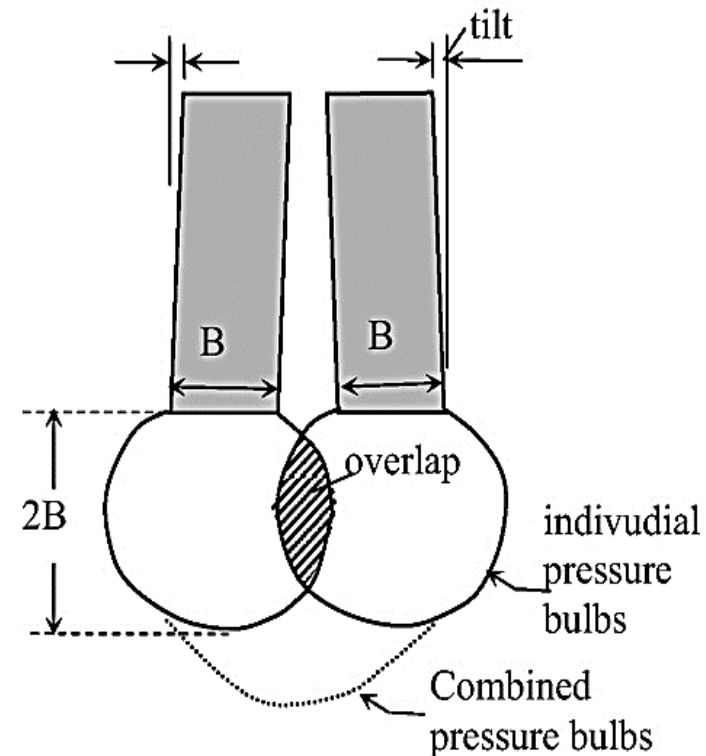
Adjacent and near foundations can perform similar to a raft foundation



Raft Foundation

Single Footings

Tilt & Rotation



Tilting & interference of adjacent silos stress bulbs overlapping

Case Studies & Complications

موارد و معضلات همجوار سازی پروژه‌ها

ساختمان‌های مسکونی همجوار: گلستان

موقعیت:

Golestan, Iran

استان گلستان، ایران

خاک:

طبقه‌بندی خاک CL و در برخی لایه‌ها CL-ML و ML

CL Soil

خسارت:

- کج شدن ساختمان
- اندرکنش دو ساختمان به دلیل کجی و تماس با یکدیگر
- ریزش نمای ساختمان به دلیل فشار دو ساختمان بر هم
- ترک‌های ایجادشده ناشی از نشست نامتقارن ساختمان

جزئیات:

4-Story Buildings

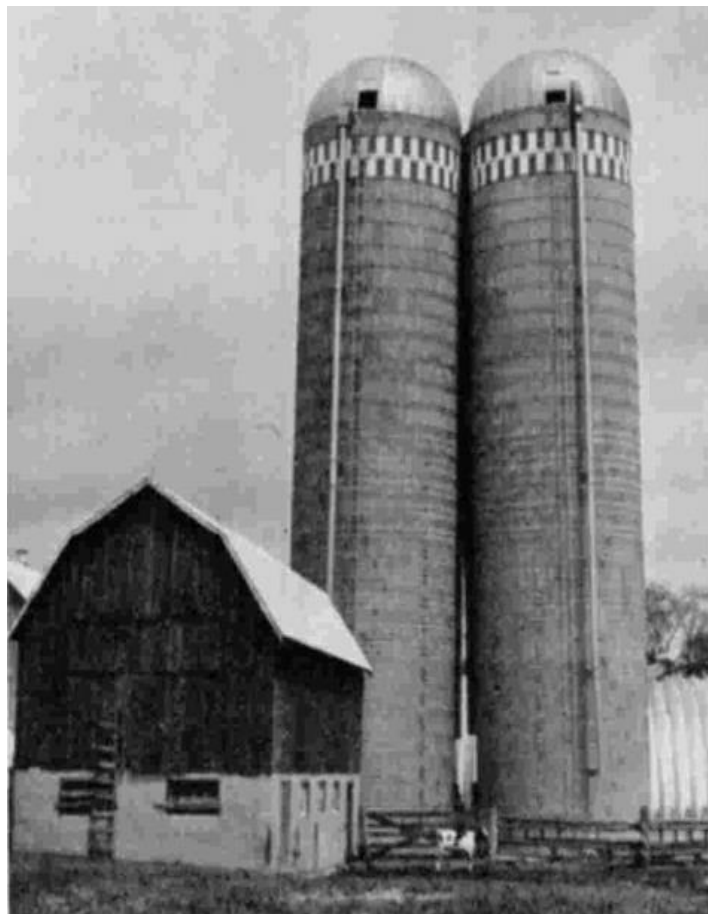
ساختمان‌ها ۴ طبقه



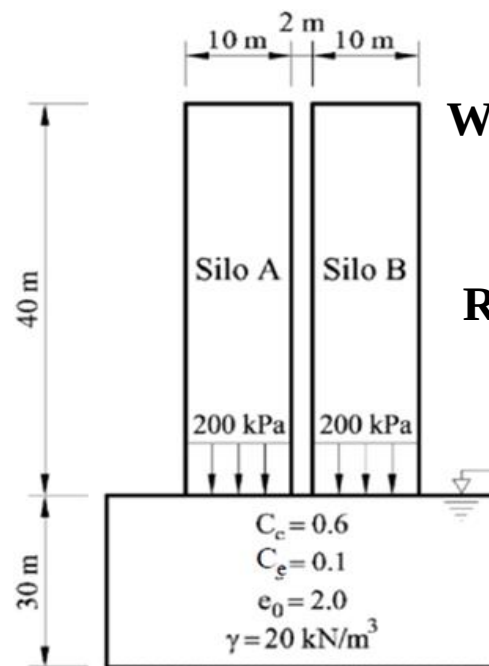
Case Studies & Complications

موارد و معضلات همجوارسازی پروژه‌ها

سیلوهای مجاور



کج شدگی سیلوها (Bozozuk, 1976)



موقعیت: وینیپگ، کانادا

Winnipeg, Canada

خاک: رس رودخانه‌ای

Agassiz

Riverine Clay

خسارت:

- چرخش سیلوها

- تخریب

جزئیات:

- ارتفاع سازه ۴۰ متر

- پی دایروی به قطر ۱۰ متر

Height: 40 m

Foundation: Circular with $D = 10$ m

Case Studies & Complications

موارد و معضلات همجوار سازی پروژه‌ها

Santos Buildings

موقعیت: Santos، برزیل

Santos, Brazil

خاک: ماسه و رس دریایی

Marine Sand & Clay

خسارت:

- چرخش (۲/۲ درجه)
- نشست غیریکنواخت (۲ متر)
- ترک‌خوردگی

Tilt: 2.2 Degrees

Non-uniform Settlement: 2 m

Cracks

جزئیات:

- ساختمان ۱۷ طبقه

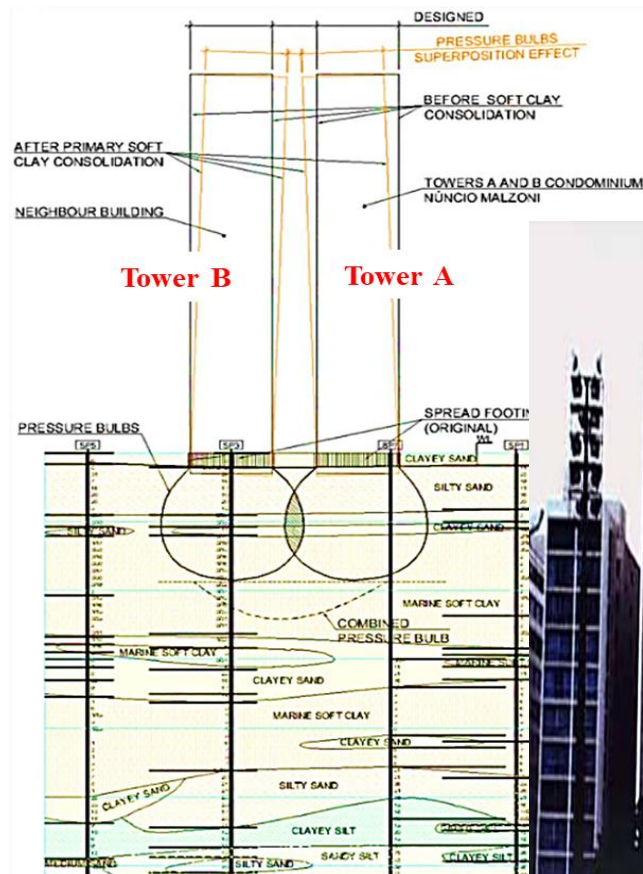
- پی سطحی

- ارتفاع ساختمان ۵۷ متر

Height: 57 m

17-Story Building

Shallow Foundation



Subsoil profile
(Pimenta et al., 1998)



Physical Modeling Study in AUT

مطالعات تجربی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر

1g Device

- Diameter: 1 m
- Height: 1 m
- Wall Thickness: 1 cm

Studied Model Foundations



$150 \times 150 \times 20 \text{ mm}$



$100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$



1g physical modeling
(Moghadasli et al., 2024)

Physical Modeling Study in AUT

مطالعه تجربی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Results

Effect of Soil Type

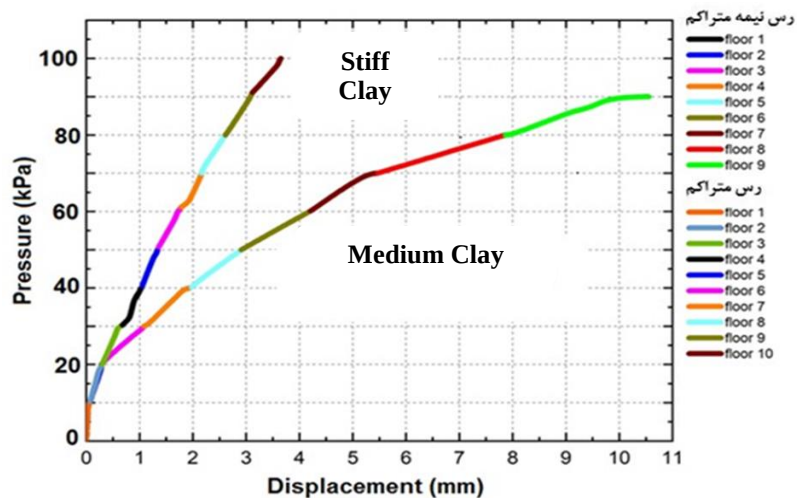
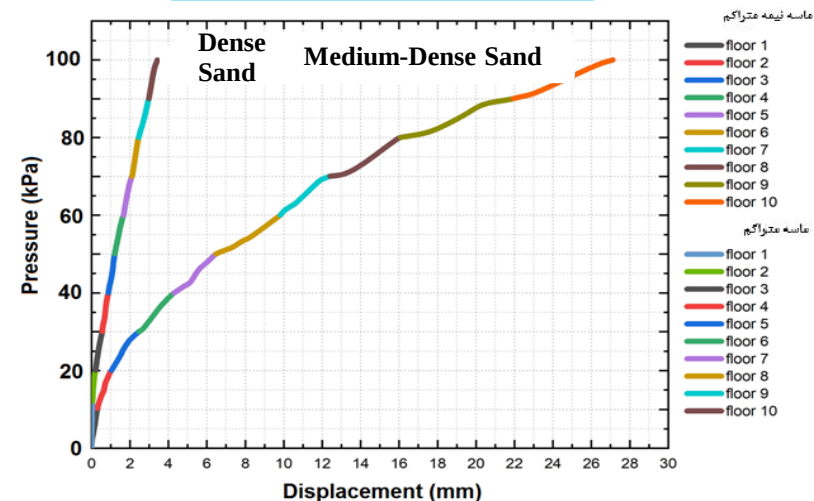


Image Processing Outputs



Sand



Fill

Physical Modeling Study in AUT

مطالعه تجربی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Scale Up Effect

For Cohesive Soils:

$$\frac{S_F}{S_P} = \frac{B_F}{B_P}$$

 S_P = Plate Settlement S_F = Foundation Settlement B_P = Plate Breadth B_F = Foundation Breadth

For Granular Soils:

$$\frac{S_F}{S_P} = \left(\frac{2}{1 + (B_P / B_F)} \right)^2$$

Settlement for small foundation with model dimension of 10 cm & actual dimension 10 m

Soil Type	Density	Settlement from Physical Modeling (mm)	Settlement for Actual Foundation (mm)
Sand	Medium-dense	4	7.2
	Dense	1	9.3
Clay	Medium-dense	2	200
	Dense	1	100

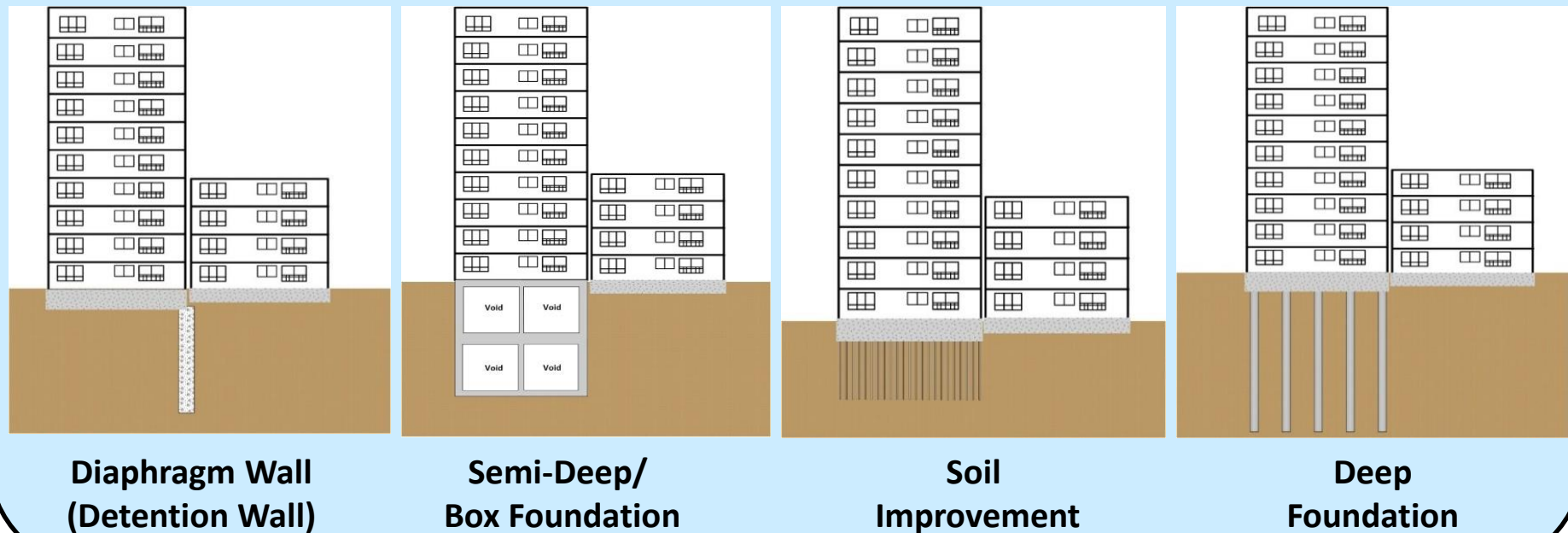
Dry Soil
Settlement

Settlement for big foundation with model dimension of 15 cm & actual dimension 15 m

Soil Type	Density	Settlement from Physical Modeling (mm)	Settlement for Actual Foundation (mm)
Sand	Medium-dense	27	8.1
	Dense	4.3	3.1
Clay	Medium-dense	5.1	1050
	Dense	6.3	360

Prevention and Remediation Solutions

روش‌های جلوگیری و علاج بخشی



Conclusions & Prospect

جمع‌بندی

- ❖ **سیستم فونداسیون در اندرکنش با سازه و شالوده:**
 - ❖ **Substructure System**
 - **Data-Centric Geotechnics**
 - ✓ ژئوتکنیک داده‌محور: مدلسازی بیشتر و تقلیل آزمایش‌ها
 - ✓ حائز اهمیت در بارهای استاتیکی، دینامیکی و خاص
- ❖ **عملکرد بار-جابجایی پی‌ها:**
 - ❖ **Performance-Based Design**
 - **Load-Displacement Records**
 - ✓ عملکرد فونداسیون در شرایط بارگذاری واقعی
 - ✓ انتخاب فونداسیون بهینه با رویکرد ظرفیت به حجم
- ❖ **بارگذاری ترکیبی، شرایط حاد و لرزه‌ای:**
 - ❖ **Combined Loading (VMH)**
 - **Failure vs. Design Envelopes**
 - ✓ تحلیل و طراحی، شرایط نهایی و سرویس‌دهی
 - ✓ بارهای غالب افقی، لنگر، برکنش؛ کنترل پایداری
- ❖ **معضلات همجوارسازی ساختمان‌ها:**
 - ❖ **Buildings Adjacent Construction**
 - **Complications & Preventions**
 - ✓ عوامل اندرکنشی؛ سازه‌ای، ژئوتکنیکی و اجرایی
 - ✓ تشدید عوارض در شرایط لرزه‌ای و گسلش
- ❖ **چشم‌انداز:**
 - ❖ **Prospect**
 - **Complications & Preventions**

New Frontiers, Adaptive Solutions

• اسلامی، ا.، مهندسی پی، طراحی و اجرا، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران، چاپ پنجم ۱۳۹۲

- Ebrahimipour, A., & Eslami, A. (2024). Analytical study of piles behavior for marine challenging substructures. *Journal of Ocean Engineering*, 292
- Ebrahimipour, A. & Eslami, A. (2025). Raft Foundations Under Combined Vertical-Moment-Horizontal Loading: A Numerical Study on Design-Adaptive Serviceability. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 12(1).
- Eslami, A., Moshfeghi, S., Heidari, S., & Valikhah, F. (2019). AUT: Geo-CPT&Pile Database Updates and Implementations for Pile Geotechnical Design. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*
- Eslami, A., Afshar, D., Moghadasi, H., & Akbarimehr, D. (2023). Numerical and Experimental Investigations of Interference Effect of Adjacent Buildings on Sand and Fill Deposits. *International Journal of Civil Engineering*
- Eslami, A., & Ebrahimipour, A. (2024). Load-displacement appraisal and analysis for driven piles; a data-centric approach. *Journal of Computers and Geotechnics*, 171, 106377
- Eslami, A., & Mo, P.Q. (2024). Role of databases in the evaluation of soil properties. Chapter of Databases for Data-Centric Geotechnics, Edited By Kok-Kwang Phoon & Chong Tang, CRC Press EBooks, 152–209.
- Eslami, A., Ebrahimipour, A., Imani, M., Imam, R. & Mo, P.Q. (2025). Form and Load Transfer Aspects of Foundation Systems; Case-Based Implementation and Adaptation for Buildings. *Journal of Deep Underground Science and Engineering*
- Karakouzian, M. & Eslami, A. (2025). *Advanced Foundation Engineering, Principles, Performance and Prospect*, Wiley.
- Moghadasi, H., Eslami, A., Akbarimehr, D., & Asgari, S. (2024). Assessment of adjacent foundations consequences and solutions for remediation via physical modeling. *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*

با تقدیر از همکاران:

Dr. H.
Moghadasi



Dr. D.
Akbarimehr



Dr. Sara
H. Golafzani



Dr. S.M.
Imani



Dr. S.M.R.
Imam



Engr. A. Ebrahimipour



با تشکر ویژه از:

با سپاس از التفات شما
Thanks for Your Attention

abolfazleslami.com / Link