

بسمه تعالی

مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران با همکاری دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اولین سمپوزیوم بین‌المللی ملاحظات ساخت و ساز در نزدیک گسل

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

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

توسط:

دکتر ابوالفضل اسلامی

Dr. Abolfazl Eslami

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

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست (AUT)

بهمن ۱۴۰۳ - تهران

مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران
با همکاری واحد بین المللی دانشگاه صنعتی امیرکبیر برگزار می نماید

اولین سمپوزیوم بین المللی
ملاحظات ساخت و ساز در

نزدیک گسل

بارویکردی به شهرهای داده محور آینده

زمان: یکشنبه ۱۴۰۳/۱۱/۲۸ ساعت: ۸ صبح الی ۱۴

مکان: دانشگاه صنعتی امیرکبیر

سخنرانان

حمیدرضا صارمی: معاون شهرسازی و معماری شهرداری تهران

علیرضا هانی: رئیس دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمد حسن بازاریار: عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت

علی فاخر: عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

ابوالفضل اسلامی: عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حمید زعفرانی: عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین المللی

زلزله شناسی و مهندسی زلزله

Hossein Ebrahimian: University of Naples Federico II

Sadaf Safaai: AEC Consulting, San Jose, California

Ali Shafiee: Cal Poly Pomona University

Milad Kowsari: University of Iceland, Reykjavik

دبیر اجرایی: کولر یزدان لاجاد، رئیس گروه مطالعات فنی و عمرانی

مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران

جهت کسب اطلاعات بیشتر با شماره تلفن ۰۲۹۹۰۵۴۰۴۵ تماس حاصل فرمایید



لینک ثبت نام



معاونت شهرسازی و معماری
شهر 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

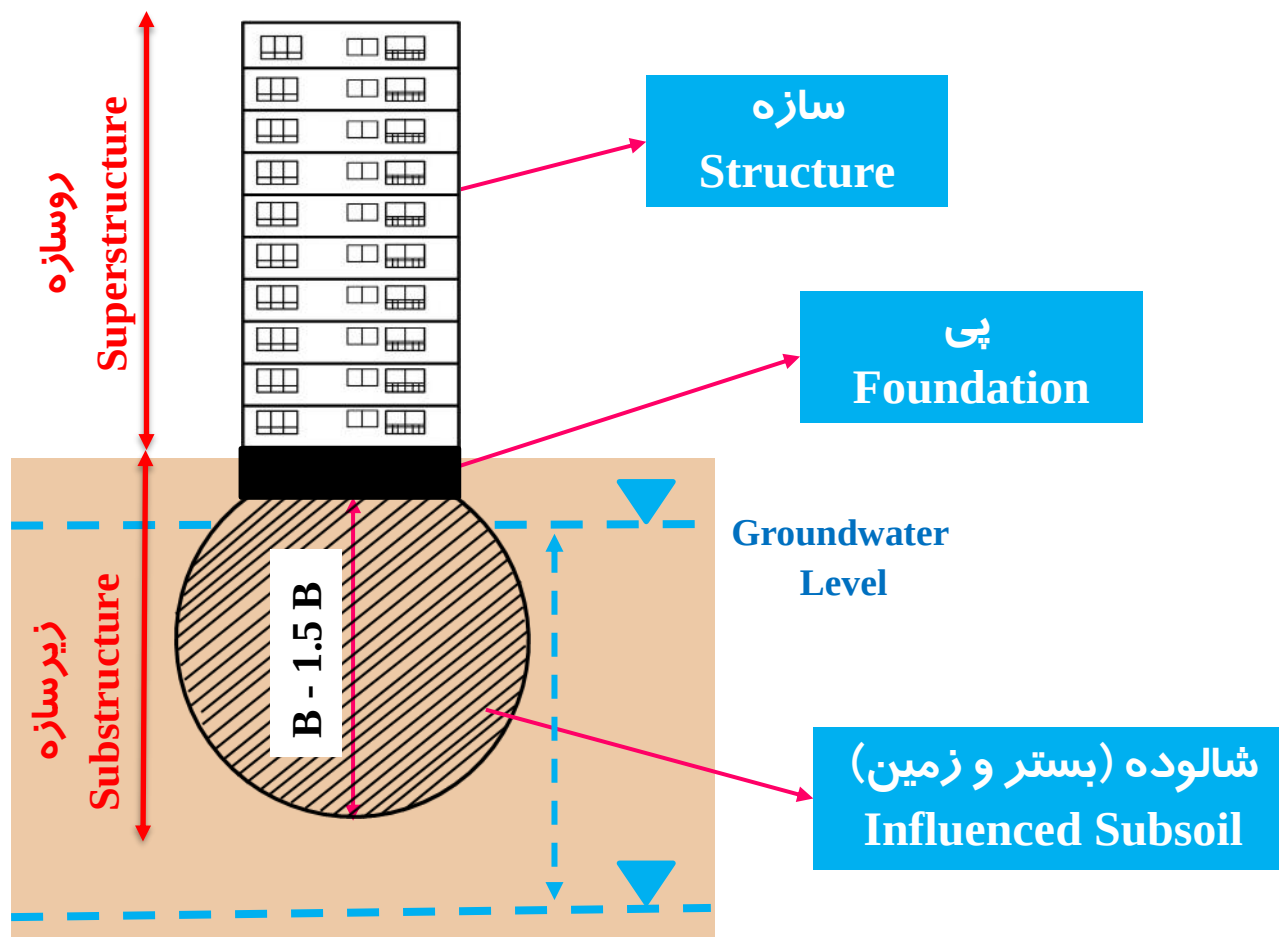
۳- عملکرد پی‌ها؛ داده‌های بار-جابجایی

۴- شرایط لرزه‌ای بارگذاری ترکیبی

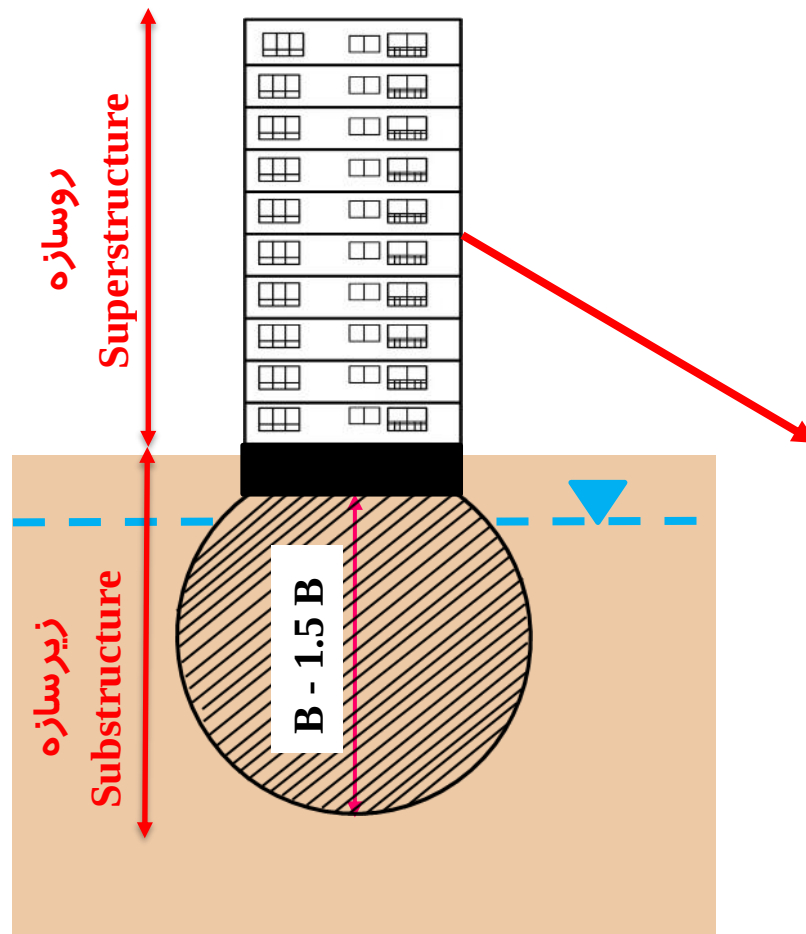
۵- همجوارسازی ساختمان‌ها

۶- جمع‌بندی و چشم‌انداز

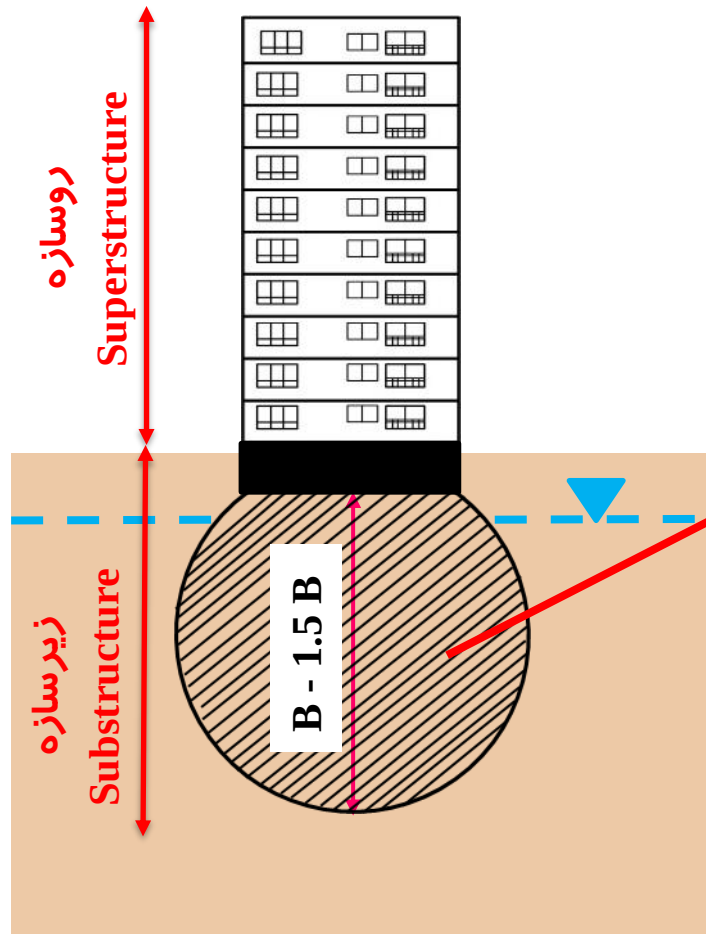
اجزای اندرکنشی روسازه و زیرسازه



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



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

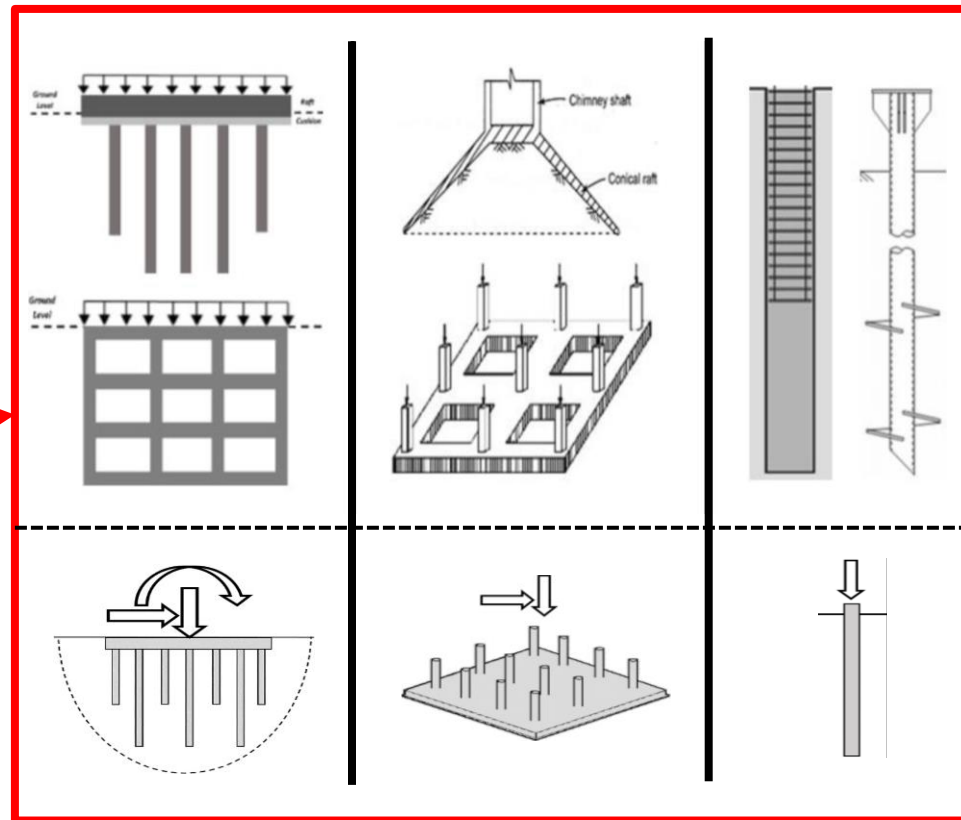
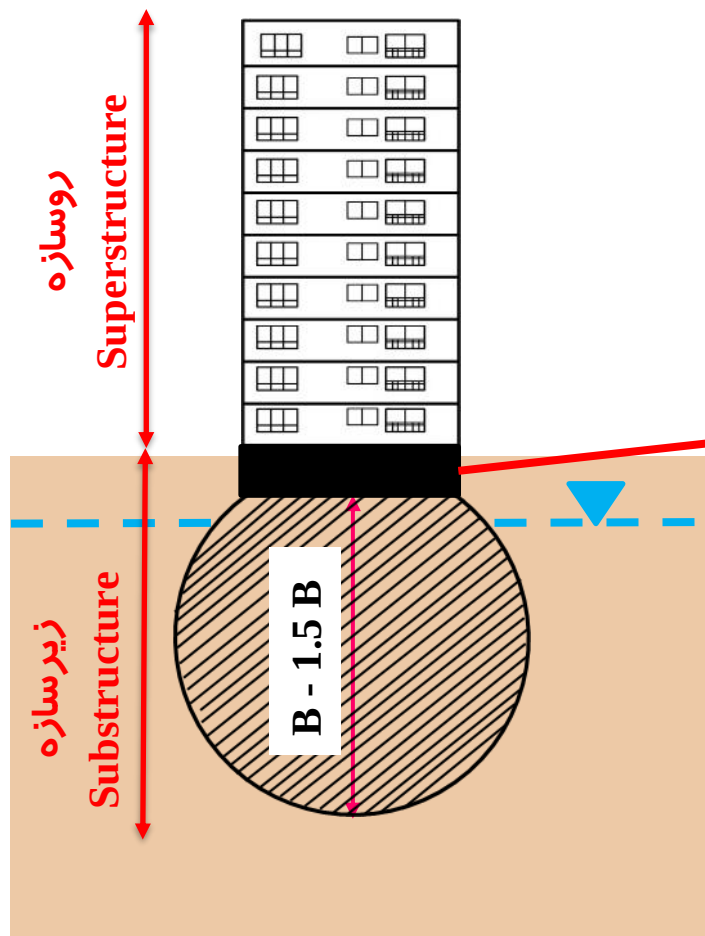


خاک‌های نرم و شل (Soft & Loose Soils)

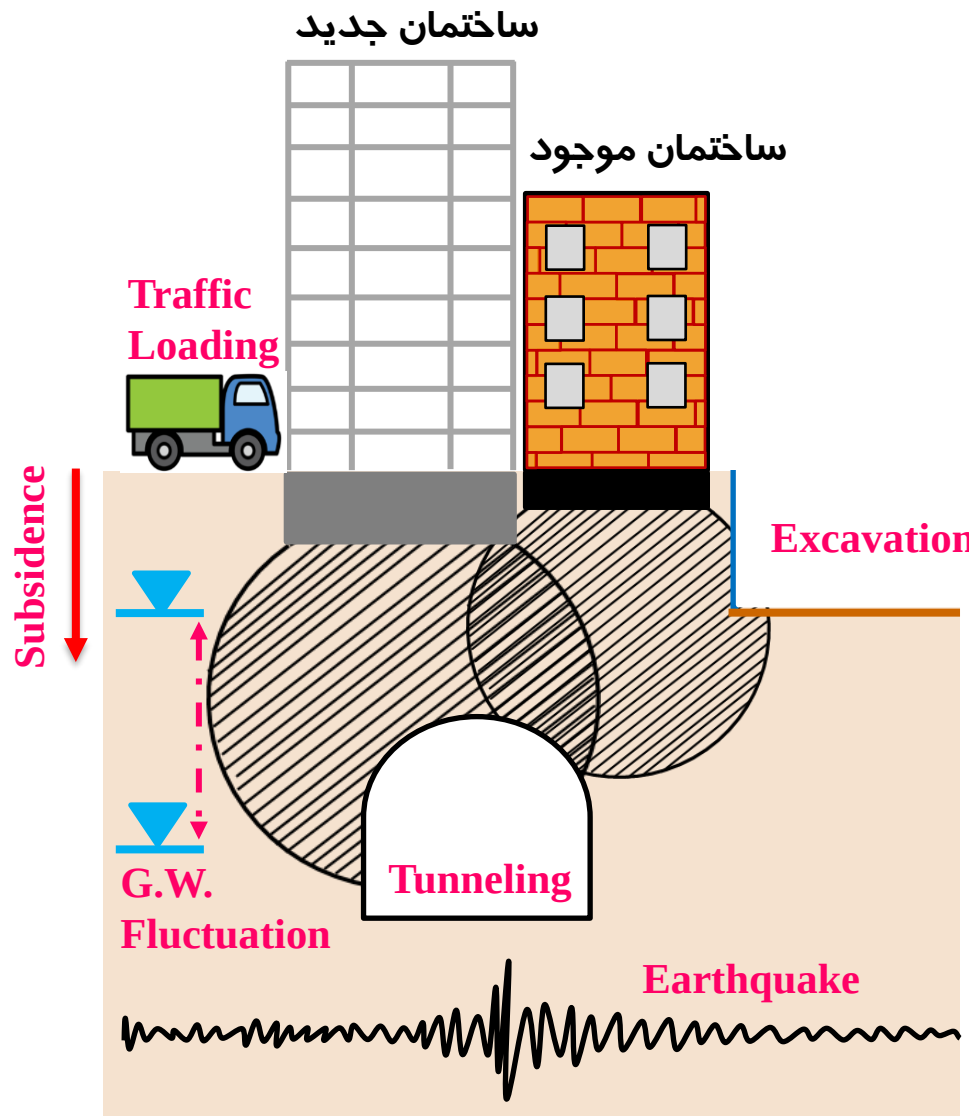
خاک‌های با قوام و تراکم متوسط (Medium Soils)

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

تنوع در سیستم فونداسیون: نوع، هندسه و عمق استقرار



عوارض آتی و پیرامونی



✓ همجوارسازی

✓ تغییرات آب زیرزمینی

✓ بارهای لرزه‌ای و دینامیکی

✓ حفر تونل در مجاور و یا زیر پی

✓ گودبرداری

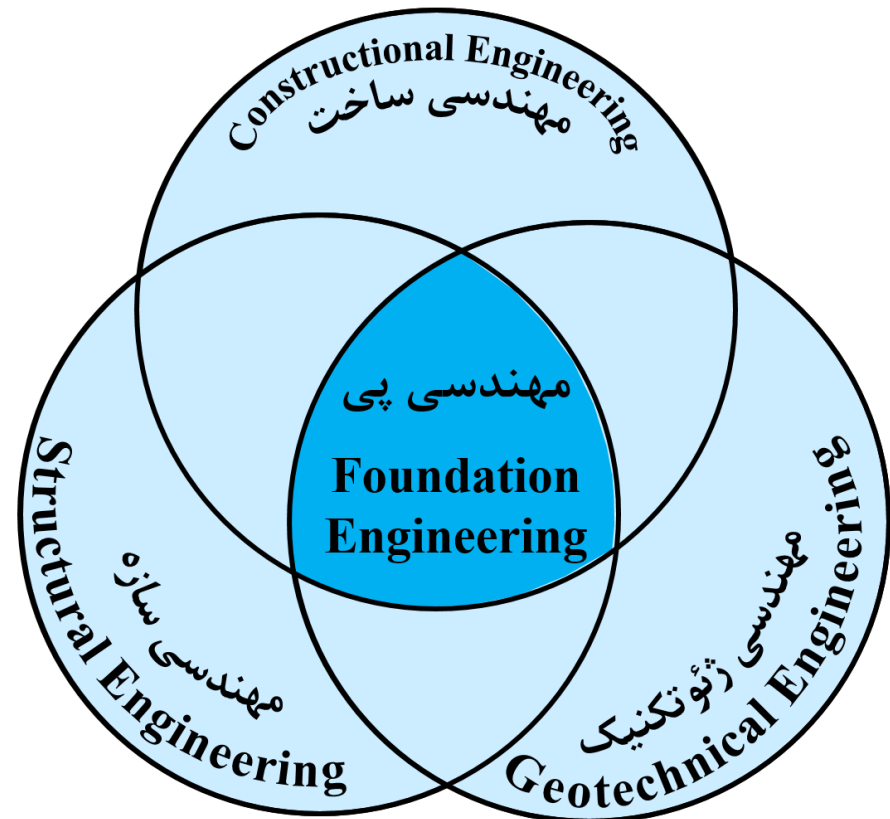
✓ زلزله

✓ فرونشست

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*



تحلیل و طراحی پی‌ها یک فرایند **چرخه‌ای** می‌باشد که در آن، مقدار بارهای وارده، نشست متناظر و هندسی پی به صورت **اندراکنشی** می‌باشند و تحت تاثیر ظرفیت ژئوتکنیکی، سازه‌ای و الزامات سرویس‌دهی (نشست و چرخش) می‌باشند. (Fellenius, 1984;1988 & 2014)

ساختمان‌های بلند

- 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

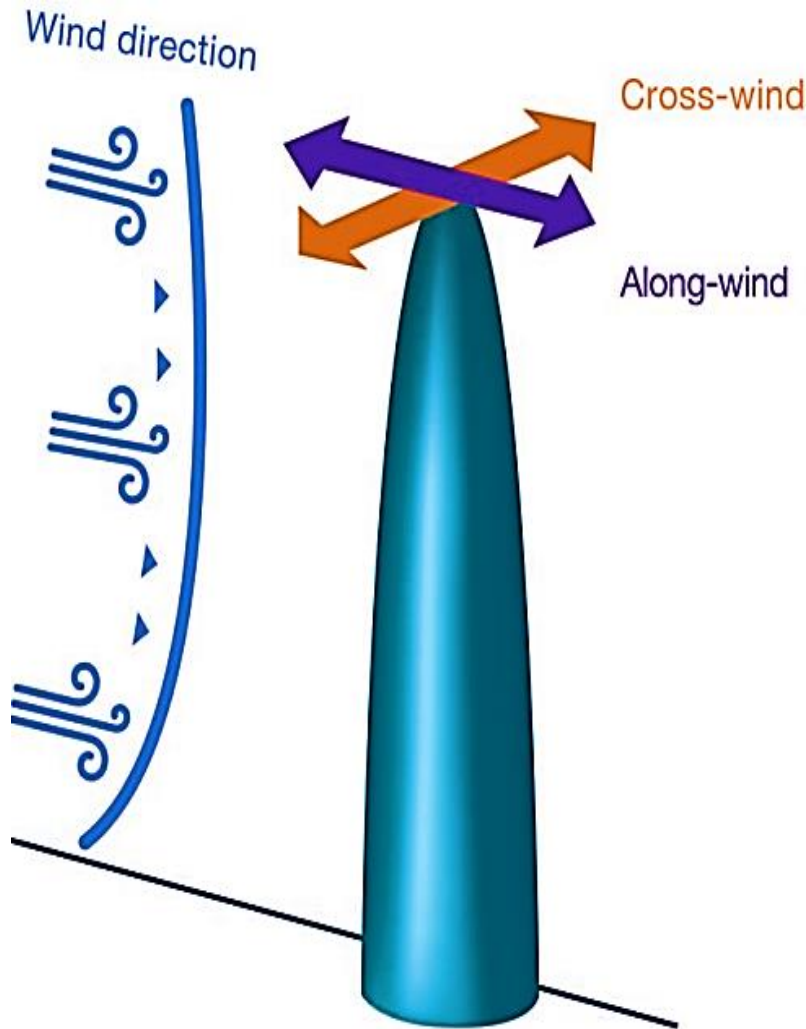
Mega-scale

Inspiring

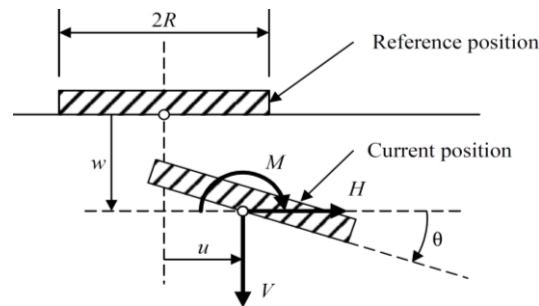
ساختمان‌های بلند

ویژگی‌های ساختمان‌های بلند

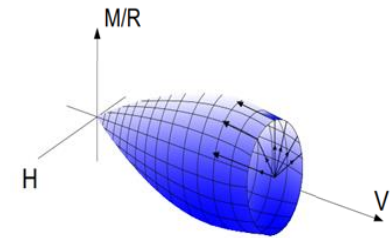
- وزن بالا و بار عمودی وارد بر فونداسیون
- نشست غیریکنواخت ناشی از همجوارسازی
- نیروی جانبی و گشتاورهای ناشی از باد
- **نیروی جانبی مضاعف زلزله**
- پتانسیل ایجاد تشدید توسط بار باد و زلزله
- سازه تحت بارهای ترکیبی (VMH)



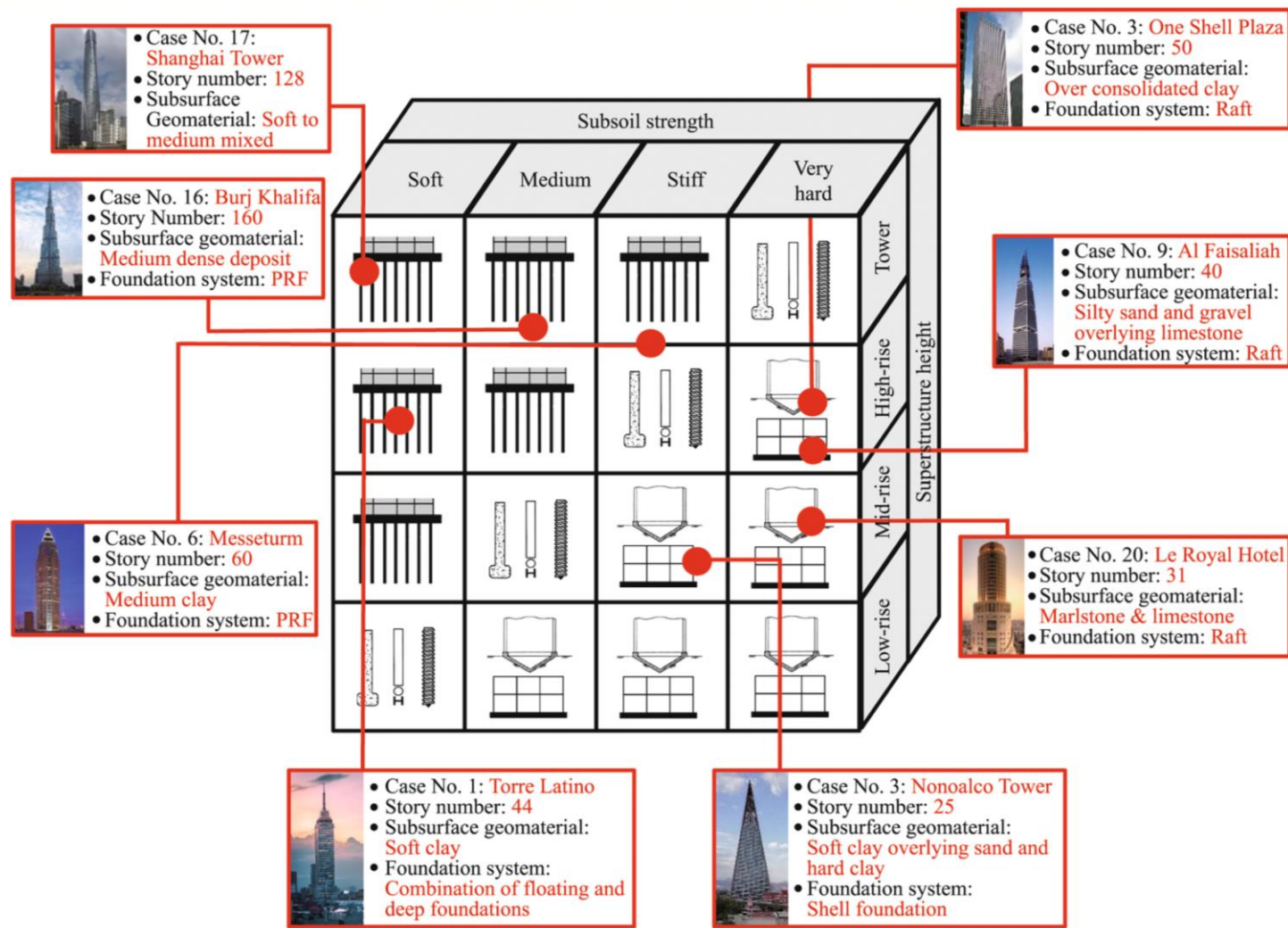
Cross wind and along wind building responses



Combined loading (VMH)



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



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

عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی‌ها

Dominant Factors on P- Δ Records

Foundation

Geometry & Embedment

Installation Effects

Interface Properties

Structural Material

Geomaterial

Strength & Stiffness

Drainage Condition

Time History & Aging

Sensitivity & Thixotropy

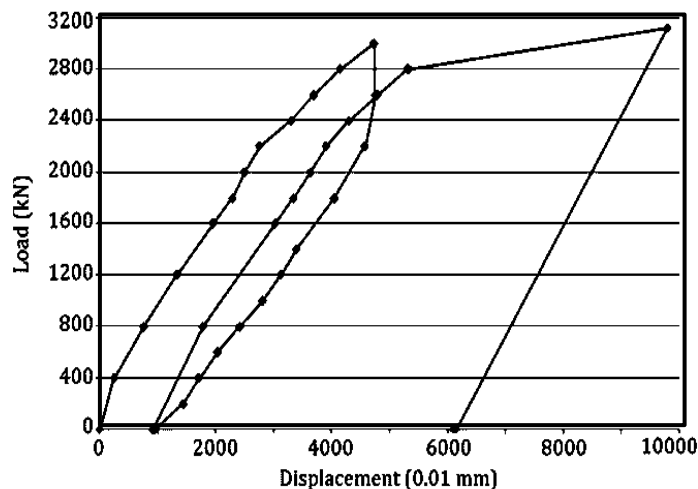
Loading

Pattern:

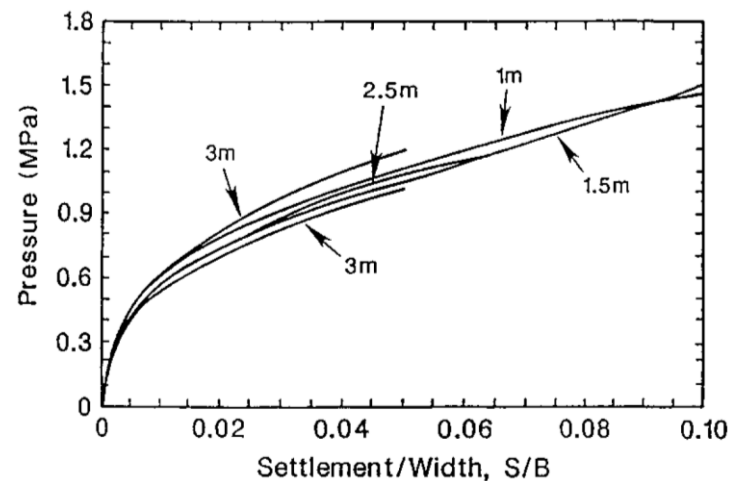
Slow or Rapid

Type:

Compressive, Tensile, Cyclic



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

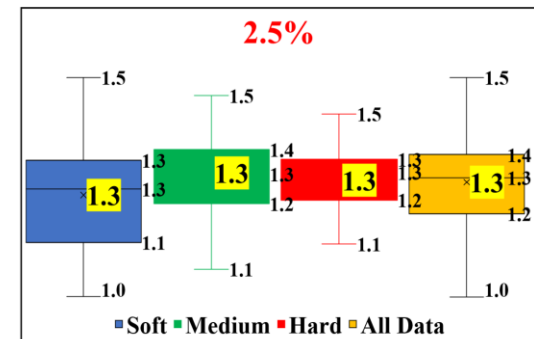
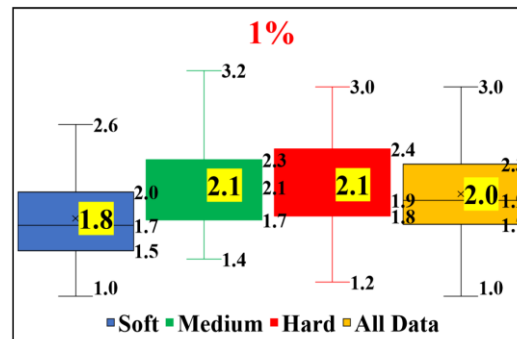
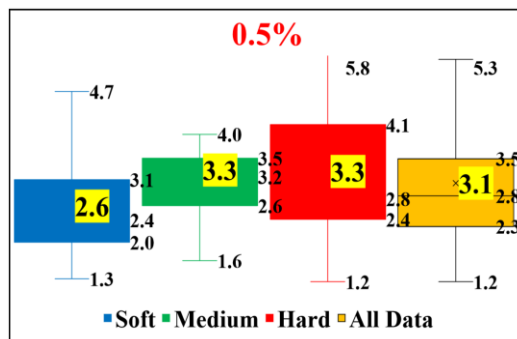
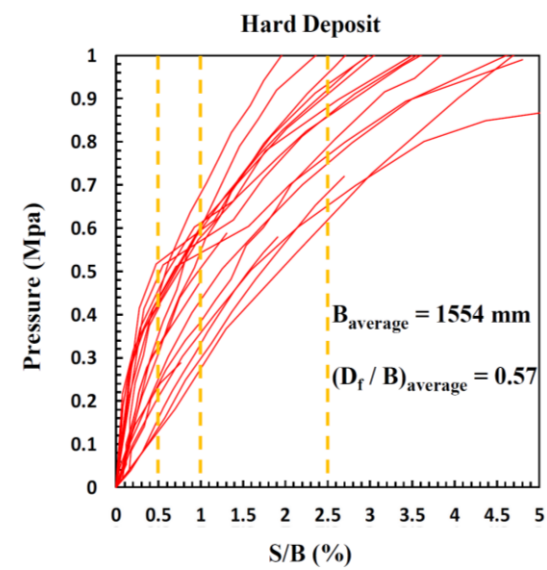
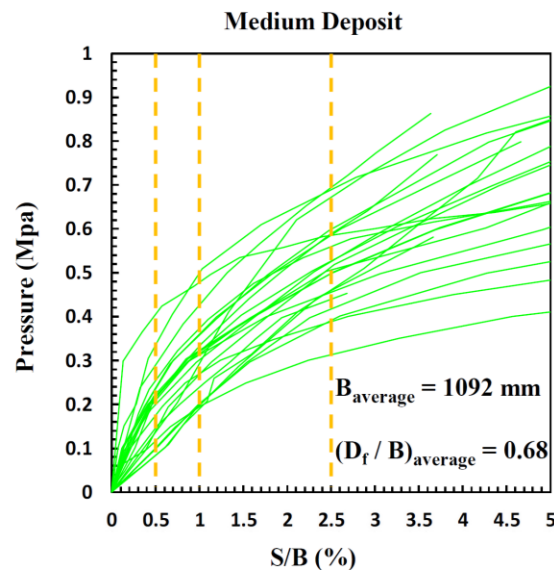
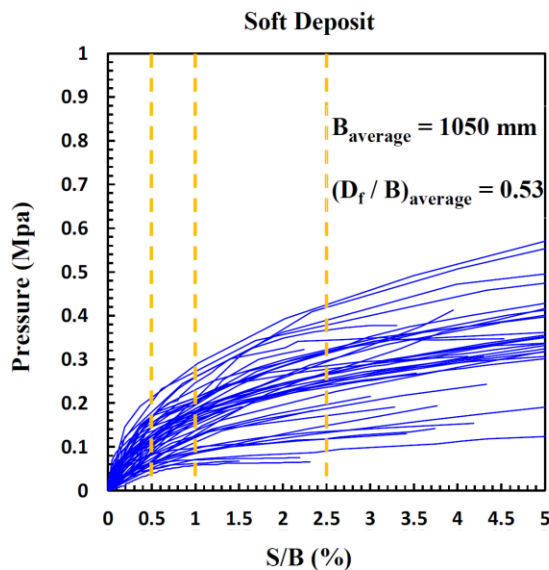


Pressure - relative displacement for spread footings (Briaud & Gibbens, 1999)

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

- 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)

- **67 Cases of Drilled Shafts**

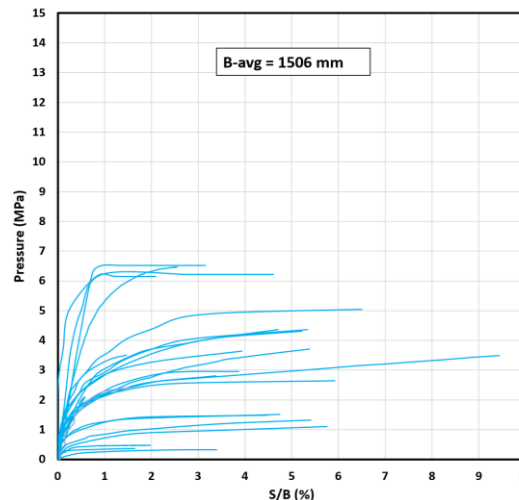
- Bored in:

- ✓ Sand,
- ✓ Clay
- ✓ Mixed Deposits

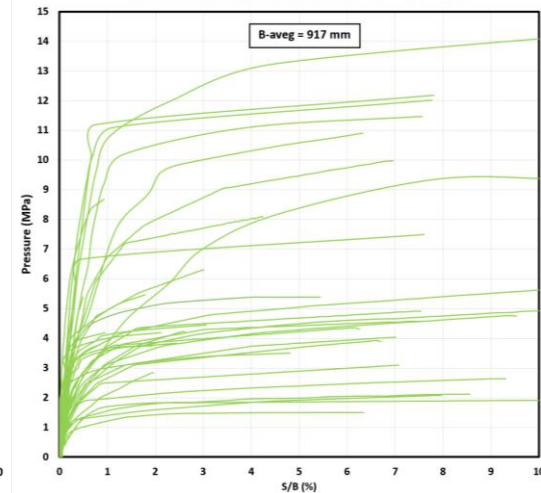
- Embedment Depths between **6 to 22 m**

- Diameter between **350 to 2440 mm**

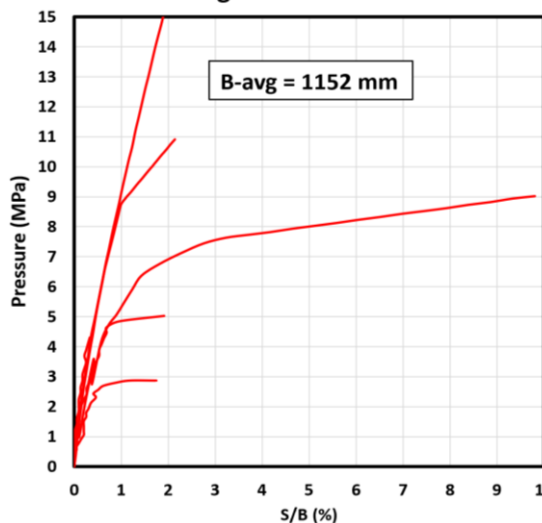
Short to Medium Drilled Shafts < 8 m



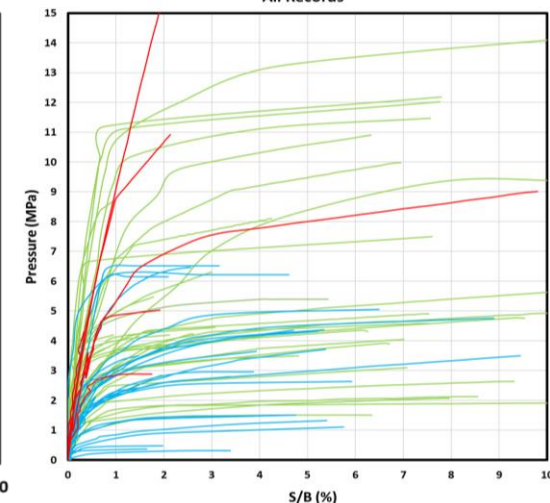
Medium to Long Drilled Shafts : 8 m < Df < 16 m



Long Shafts: Over 16m

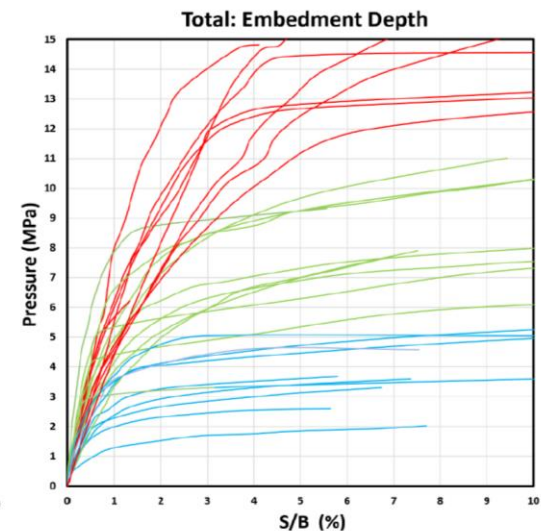
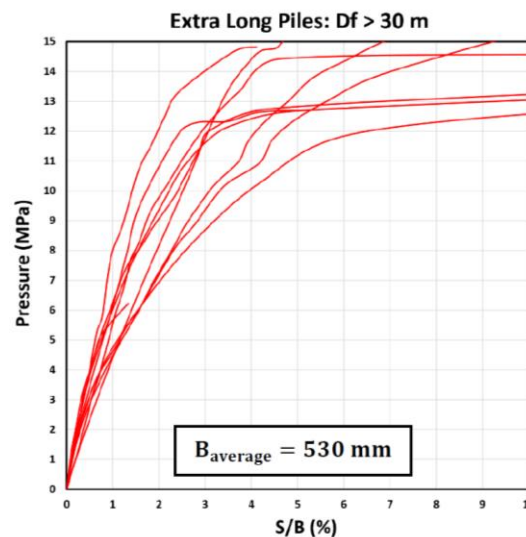
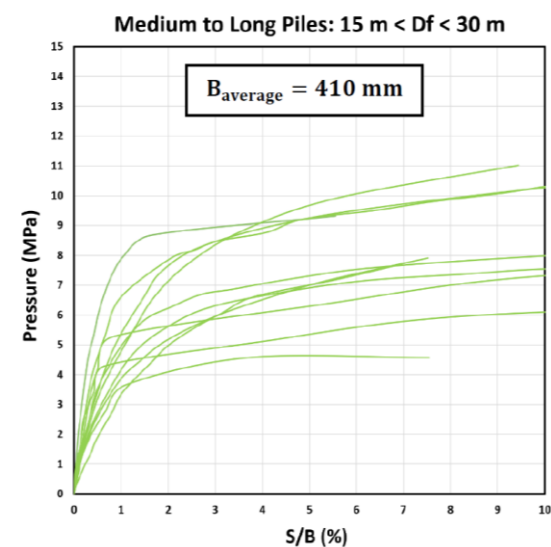
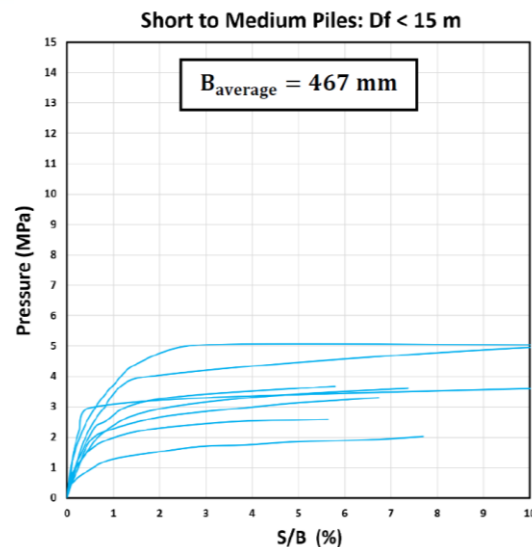


All Records



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

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



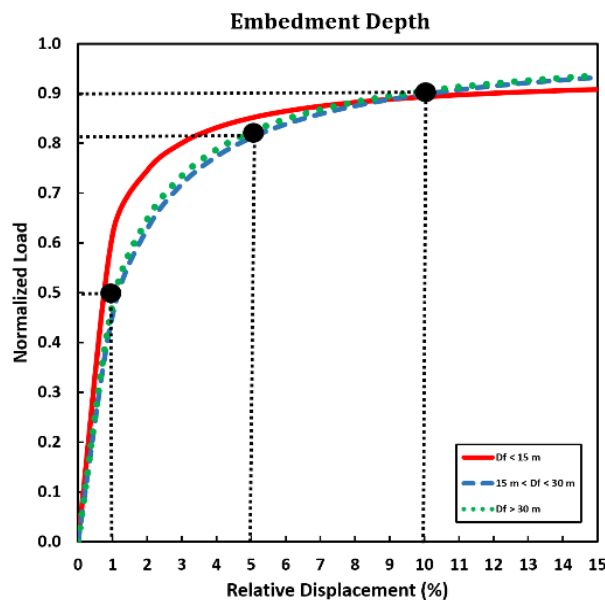
رفتار بار-جابجایی شمع‌های کویدنی (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

Normalization Approach:

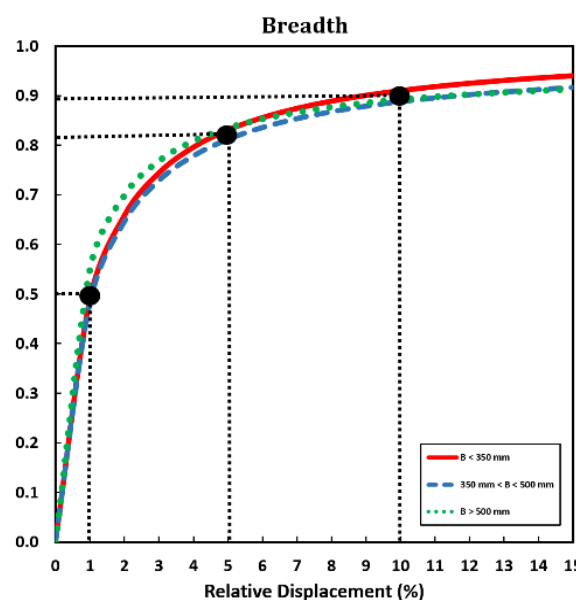
- Load: Brinch-Hansen 80% (1963)
- Displacement: Breadth

Relative Displacement & Normalized Load:

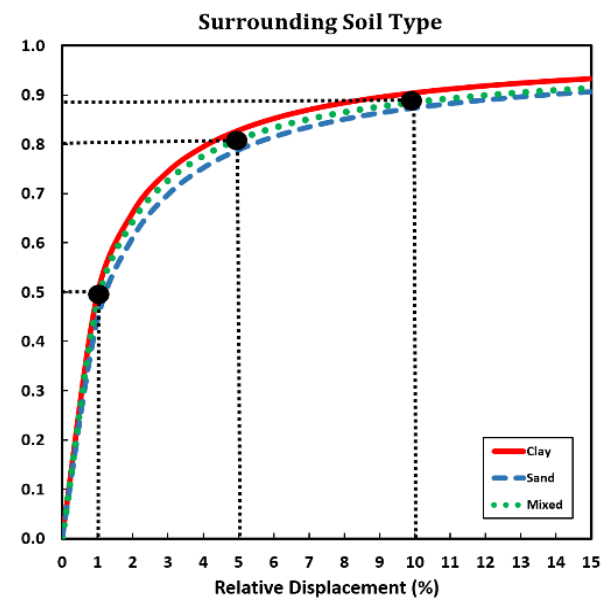
- 1 % $\rightarrow$ 0.5 Pu (FS=2)
- 5 % $\rightarrow$ 0.8 Pu
- 10 % $\rightarrow$ 0.9 Pu



(a)



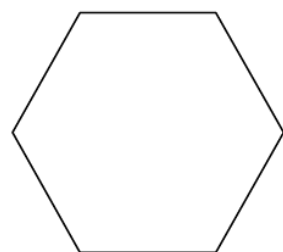
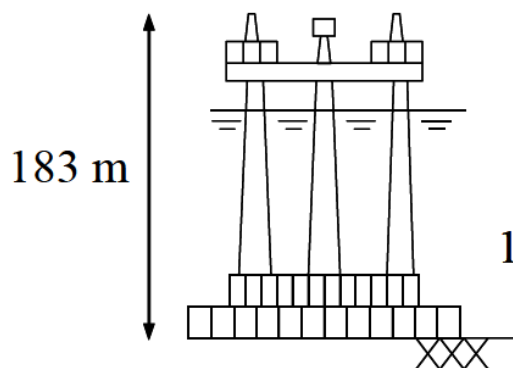
(b)



(c)

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

نقش بارهای ناپایدارکننده در هندسه فونداسیون



168 m

Taywood Seltrust

maximum storm loads

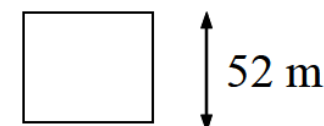
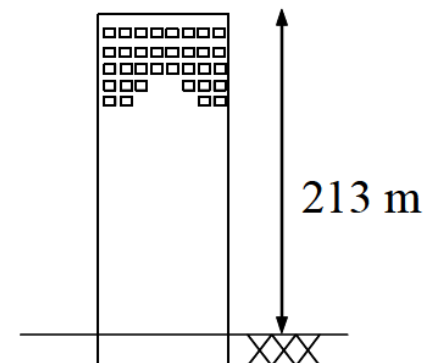
2006 MN V 1500 MN
 495 MN H 29 MN
 18850 MNm M 3255 MNm
 35% extra V

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 تنوع بارهای ترکیبی

نمونه ساختمان‌های بلند: برج شانگهای چین



نمایی از برج شانگهای

- ۱۲۸ طبقه، ارتفاع ۶۳۲ متر
- ✓ 128 Stories
- 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

معیارهای ویژه سرویس‌دهی



Earthquake, Turkey



Earthquake, Taiwan



Storm & Tornado, Fallen Wind Turbine



Flood, North of Iran

مقایسه روش‌های تحلیل و طراحی

روش‌های سنتی

روش‌های نوین

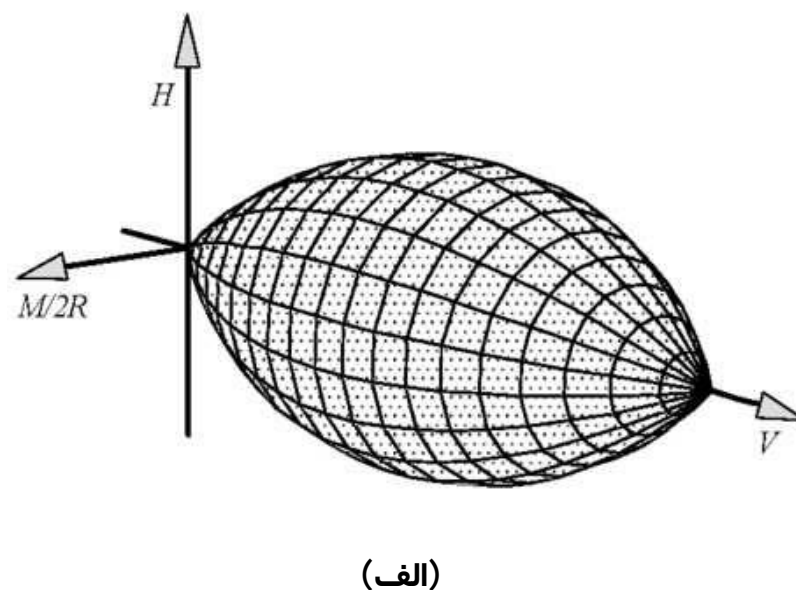
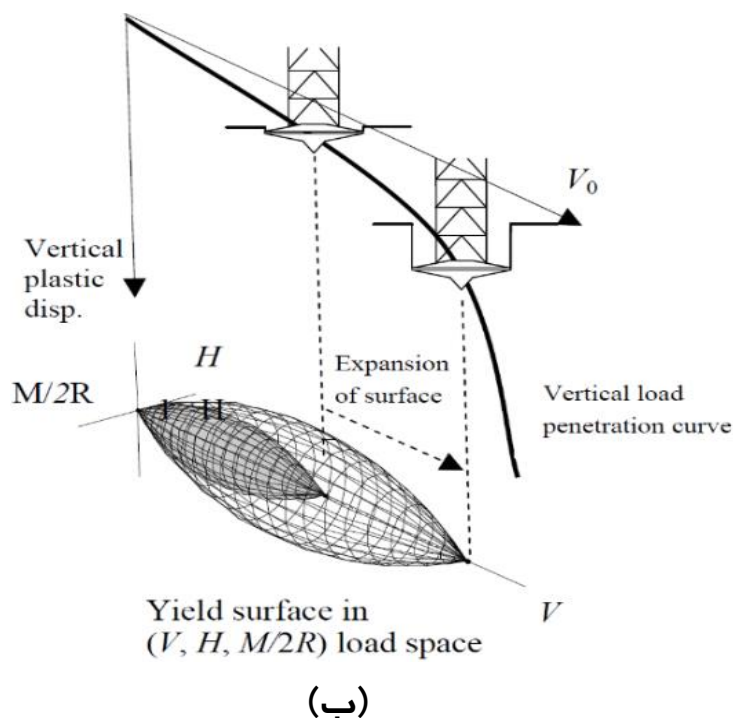
Rotation limits for some structures

(Charles & Skinner, 2003)

سازه	کجی مجاز
سیستم رادار	1/50,000
برج آنتن ماهواره‌ای	1/6,000
توربین	1/5,000
مخازن بتنی	1/500
ریل جرثقیل	1/333
دودکش‌ها	1/250
انبار ذخیره کالا	1/100

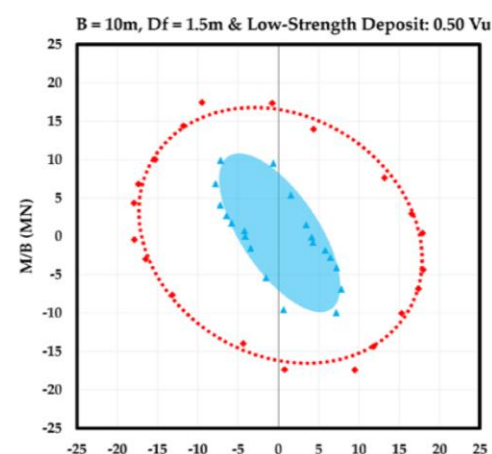
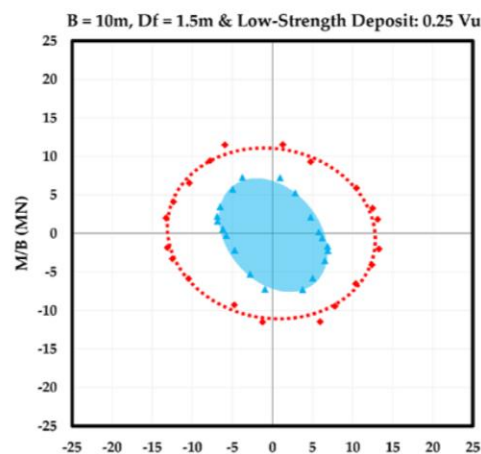
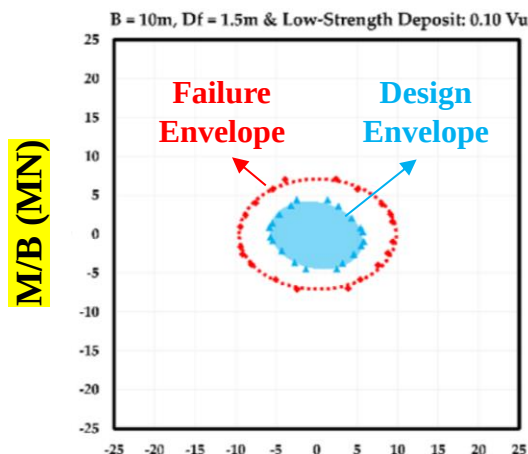
- جواب‌های محافظه‌کارانه
- اعمال ضرایب اصلاحی
- مناسب نبودن جهت لحاظ عدم قطعیت‌ها
- عدم وجود رابطه مستقیم بین ضریب اطمینان و احتمال گسیختگی
- بررسی انواع حالات بارگذاری منجر به گسیختگی
- ملاحظه اندرکنشی باربری، نشست و مشخصات هندسی-سازه‌ای
- استفاده از حاشیه اطمینان کلی به روش سیستماتیک
- تعریف یک سطح مرزی برای گسیختگی

روش پوش‌های گسیختگی VMH

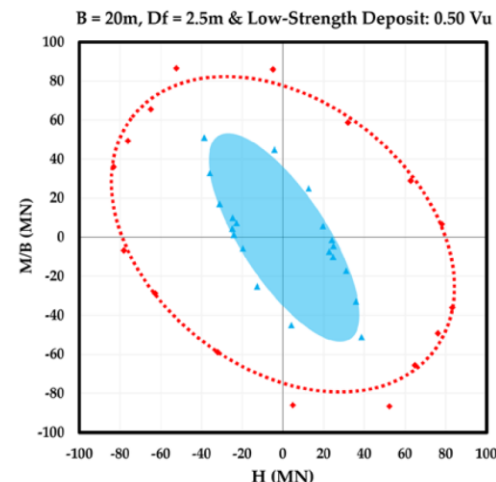
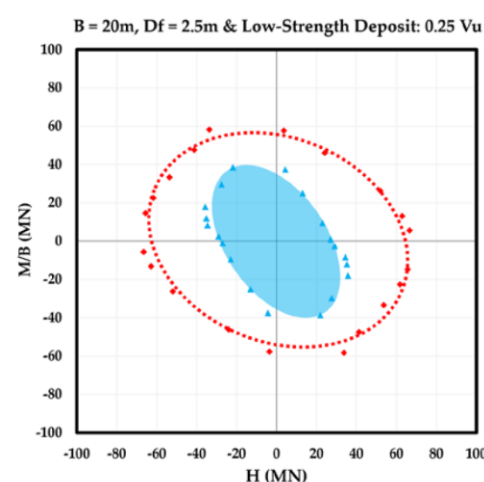
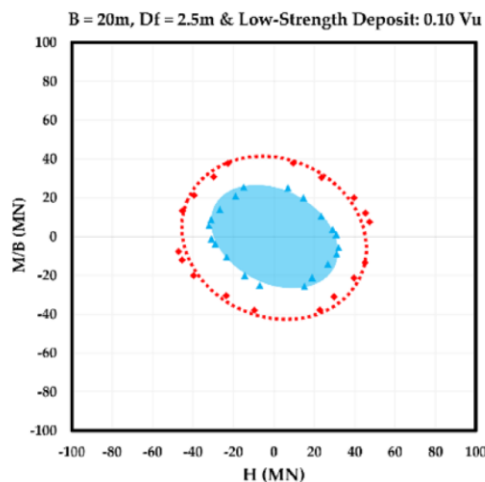


(الف) نمونه پوش گسیختگی (Houlsby & Cassidy, 2002)، (ب) اثر افزایش عمق مدفون بر پوش گسیختگی پی اسپادکن (Randolph et al., 2005)

پوش‌های گسیختگی و طراحی برای پی رادیه



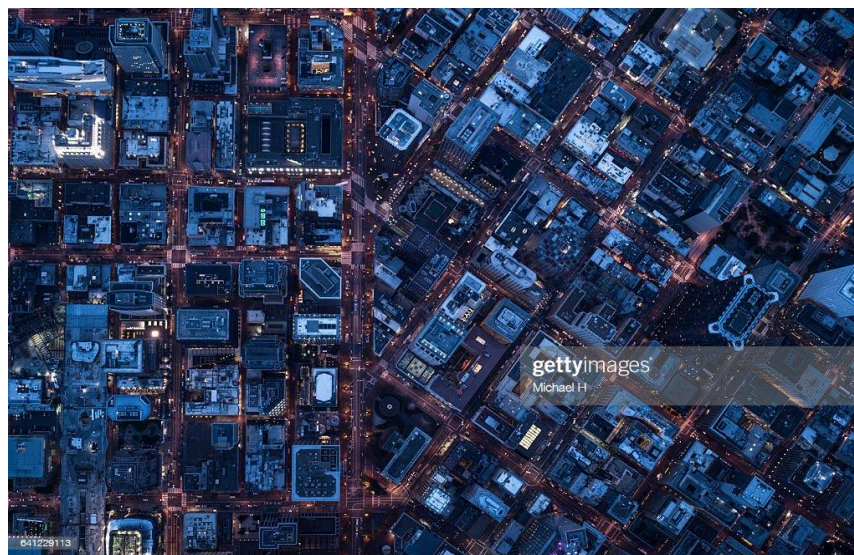
H (MN)



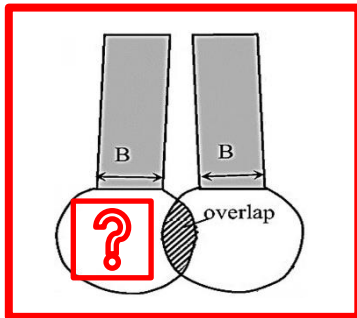
Failure and design envelopes for rafts with breadth of 10 m & 20 m (Ebrahimipour & Eslami, 2025)

چرا همجوارسازی؟

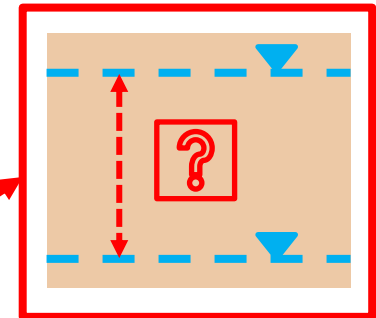
با رشد شهرنشینی و کمبود زمین‌های مناسب، سازه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند که این امر منجر به خساراتی به برخی سازه‌ها از منظر پایداری و سرویس‌دهی می‌گردد.



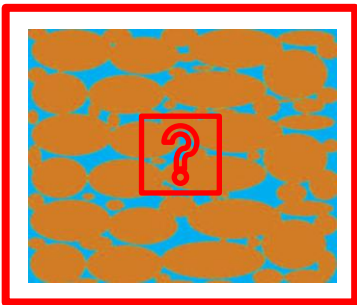
بارهای نامرئی



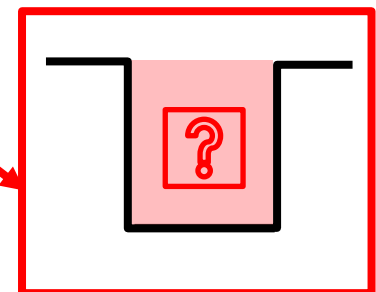
همپوشانی تنش‌ها
Stresses Overlap



تغییر تراز آب زیرزمینی
Groundwater Level Variation



بارهای دینامیکی و ضربه‌ای
افزایش فشار آب حفره‌ای
Excess Porewater Pressure

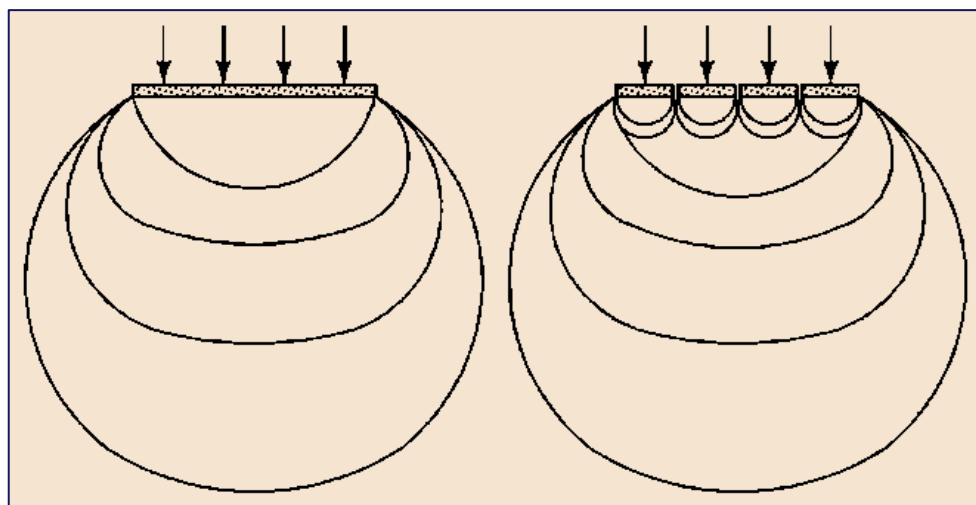


گودبرداری
Excavation

Invisible Loads

عوارض ساخت پی‌های سطحی نزدیک به هم و تداخل تنش‌ها

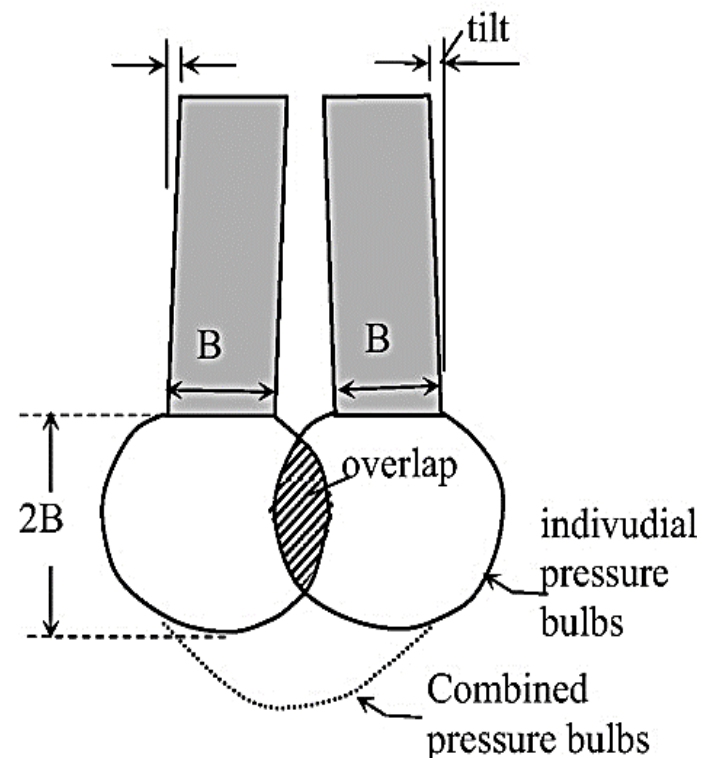
مجاورت و نزدیکی پی‌های منفرد مجاور هم می‌تواند همانند یک پی گسترده عمل نماید.



(پی گسترده)

(چند پی منفرد)

کجی و چرخش



کج شدگی و تداخل حباب‌های تنش سیلوهای همجوار

موارد و معضلات همجوارسازی پروژه‌ها

ساختمان‌های مسکونی همجوار: گلستان

موقعیت:

استان گلستان، ایران

خاک:

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

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:

ساختمان‌ها ۴ طبقه



موارد و معضلات همجوارسازی پروژه‌ها

سیلوهای مجاور

موقعیت: وینیپگ، کانادا

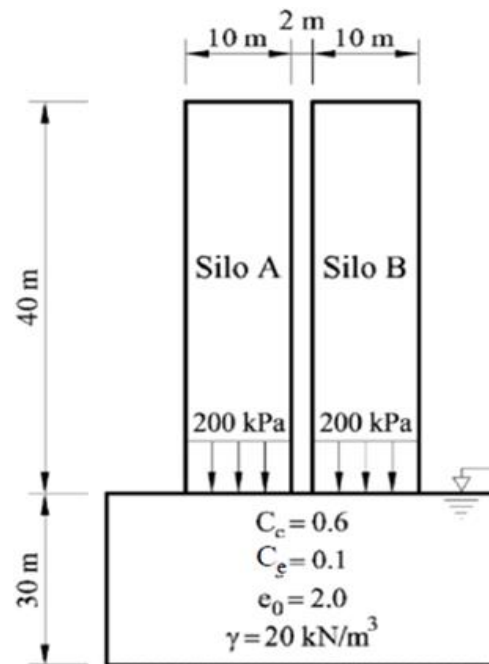
خاک: رس رودخانه‌ای
Agassiz

خسارت:

- چرخش سیلوها
- تخریب

جزئیات:

- ارتفاع سازه ۴۰ متر
- پی دایروی به قطر ۱۰ متر



کج شدگی سیلوها (Bozozuk, 1976)

موارد و معضلات همجوار سازی پروژه ها

Santos Buildings

موقعیت: Santos، برزیل

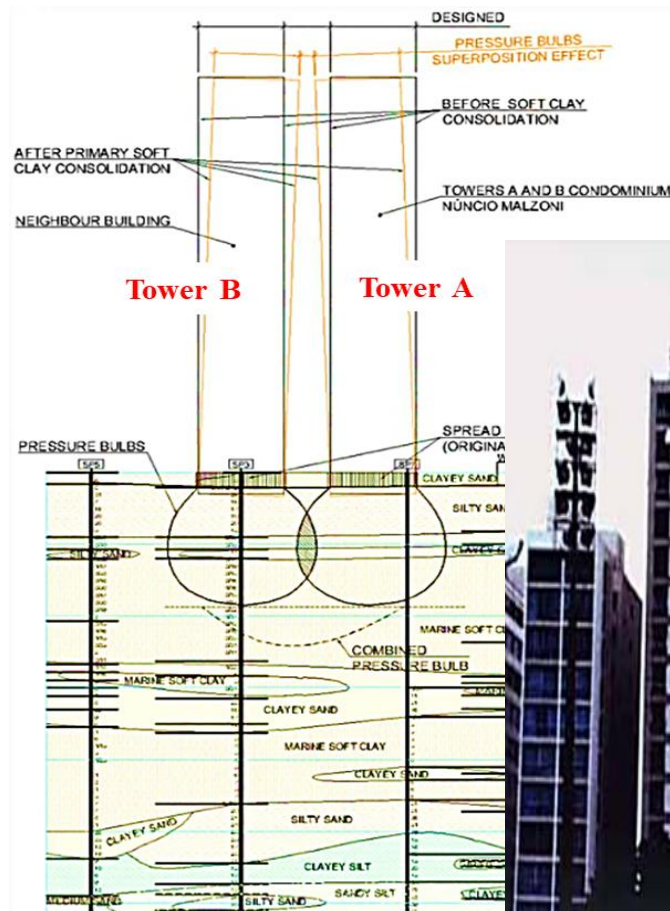
خاک: ماسه و رس دریایی

خسارت:

- چرخش (۲/۲ درجه)
- نشست غیریکنواخت (۲ متر)
- ترک خوردگی

جزئیات:

- ساختمان ۱۷ طبقه
- پی سطحی
- ارتفاع ساختمان ۵۷ متر



Subsoil profile
(Pimenta et al., 1998)



مطالعات تجربی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دستگاه 1g ساخته شده

- قطر برابر ۱ متر
- ارتفاع برابر ۱ متر
- ضخامت بدنه برابر ۱ سانتیمتر
- بدنه دارای مقاومت کافی از نظر تغییر شکل در برابر بارگذاری



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



150 × 150 × 20 mm

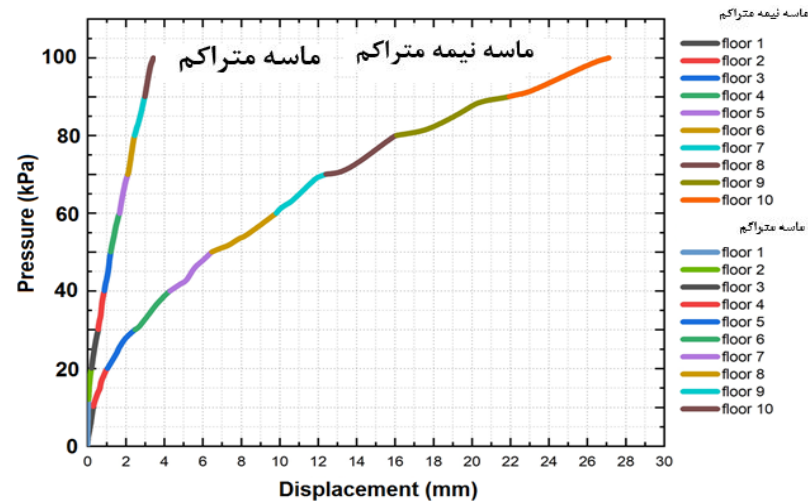


100 × 100 × 10 mm

پی‌های مورد
مطالعه

مطالعه تجربی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر

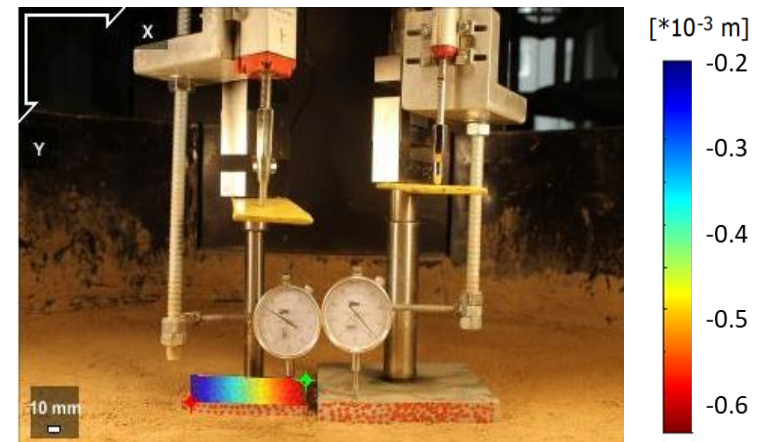
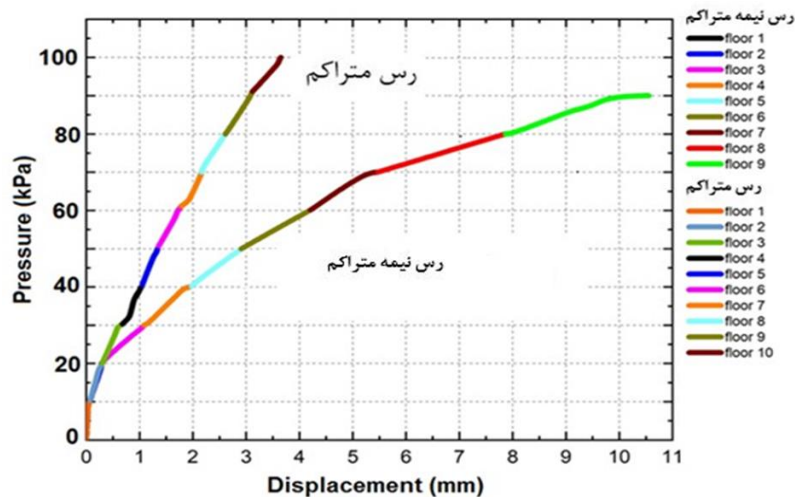
تأثیر نوع خاک بر میزان نشست



نمونه خروجی پردازش تصویر



Sand



Fill

مطالعه تجربی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بررسی اثر مقیاس (Scale Up)

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

برای خاک صرفاً چسبنده:

S_P = نشست صفحه

S_F = نشست فونداسیون

B_P = بعد صفحه

B_F = بعد فونداسیون

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

برای خاک ماسه‌ای:

مقادیر نشست برای پی کوچک در ابعاد مدل فیزیکی (10 cm) و واقعی (10 m)

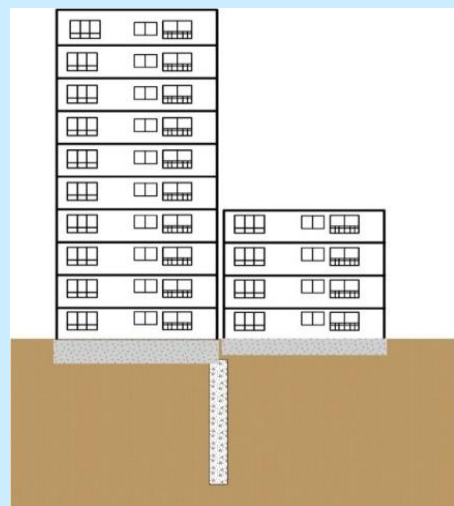
نوع خاک	تراکم	مقدار نشست مدلسازی فیزیکی (mm)	مقدار نشست پی به ابعاد واقعی (mm)
ماسه	نیمه‌متراکم	4	7.2
	متراکم	1	9.3
رس	نیمه‌متراکم	2	200
	متراکم	1	100

**Dry Soil
Settlement**

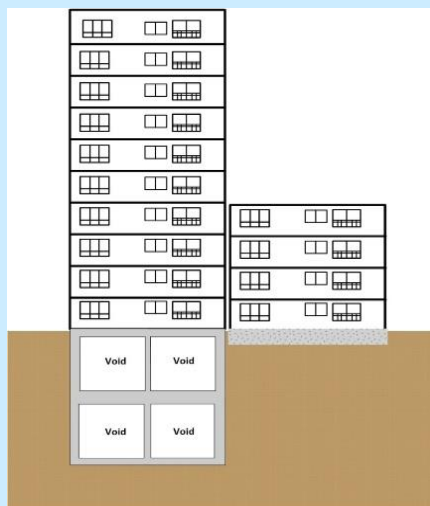
مقادیر نشست برای پی کوچک در ابعاد مدل فیزیکی (15 cm) و واقعی (15 m)

نوع خاک	تراکم	مقدار نشست مدلسازی فیزیکی (mm)	مقدار نشست پی به ابعاد واقعی (mm)
ماسه	نیمه‌متراکم	27	8.1
	متراکم	4.3	3.1
رس	نیمه‌متراکم	5.1	1050
	متراکم	6.3	360

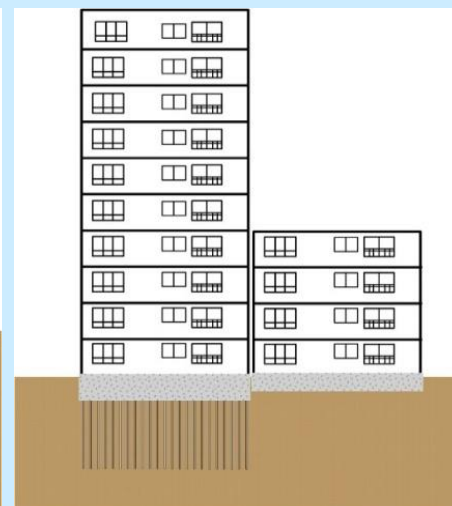
روش‌های جلوگیری و علاج بخشی



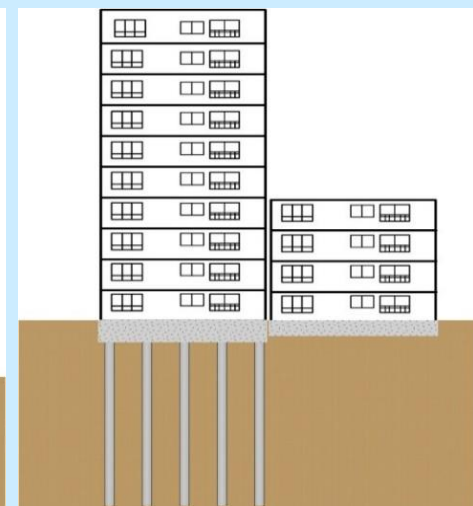
**Diaphragm Wall
(Detention Wall)**



**Semi-Deep/
Box Foundation**



**Soil
Improvement**



**Deep
Foundation**

جمع‌بندی

❖ سیستم زیرسازه در اندرکنش با سازه و شالوده:

- ✓ ژئوتکنیک داده‌محور: مدلسازی بیشتر و تقلیل آزمایش‌ها
- ✓ حائز اهمیت در بارهای استاتیکی، دینامیکی و خاص

❖ Substructure System

- Data-Centric Geotechnics

❖ Performance-Based Design

- Load-Displacement Records

❖ عملکرد بار-جابجایی پی‌ها:

- ✓ عملکرد فونداسیون در شرایط بارگذاری واقعی
- ✓ انتخاب فونداسیون بهینه با رویکرد ظرفیت به حجم

❖ Combined Loading (VMH)

- Failure vs. Design Envelopes

❖ بارگذاری ترکیبی، شرایط حاد و لرزه‌ای:

- ✓ تحلیل و طراحی، شرایط نهایی و سرویس‌دهی
- ✓ بارهای غالب افقی، لنگر، برکنش؛ کنترل پایداری

❖ Adjacent Construction

- Complications & Preventions

❖ معضلات همجوارسازی:

- ✓ عوامل اندرکنشی؛ سازه‌ای، ژئوتکنیکی و اجرایی
- ✓ تشدید عوارض در شرایط لرزه‌ای و گسلش

❖ Prospect

❖ چشم‌انداز:

New Frontiers, Adaptive Solutions

مراجع اصلی

• 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:

دکتر حسن
مقدسی



دکتر داوود
اکبری مهر



دکتر سارا
حیدری گلفزانی



دکتر سید میثم
ایمانی



دکتر سید
محمدرضا امام



مهندس امیر حسین ابراهیمی پور



با تشکر ویژه از:

با سپاس از التفات شما
Thanks for Your Attention

abolfazleslami.com / Link