

بسمه تعالی

کانون مهندسين ساختمان نوشهر

سمینار آموزشی

عملکرد و عوارض همجوار سازی ساختمان ها

Performance and Complications of Adjacent Buildings Construction

توسط:

دکتر ابوالفضل اسلامی

A. Eslami

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

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست (AUT)

آذر ۱۴۰۳ - نوشهر، مازندران



کانون مهندسين ساختمان نوشهر برگزار می نماید:

سمینار

عملکرد و عوارض همجوار سازی ساختمان ها و بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی موثر در آن

مدرسین:

پروفسور ابوالفضل اسلامی



- عضو هیات علمی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر



دکتر سید فرهاد نبی زاده

- عضو هیات علمی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

چهارشنبه ۷ آذر ، ساعت ۱۵ الی ۱۸

زمان برگزاری :

سالن اجتماعات کانون شهید باهنر نوشهر

مکان برگزاری :

جهت ثبت نام با کانون به شماره ۰۱۱-۵۲۳۳۸۶۳۵ داخلی ۴ تماس حاصل فرمائید.

1. Scope & Objectives

۱- سیمای کار و اهداف

2. Background

۲- زمینه

3. Adjacent Buildings Construction

۳- همجوار سازی ساختمان ها

4. Case Histories

۴- موارد عملی

5. Appraisal & Remediation

۵- ارزیابی و علاج بخشی

6. Summary & Prospect

۶- جمع بندی و چشم انداز

عملکرد و عوارض همجوارسازی

فاکتورهای غالب

۱- سازه احداثی

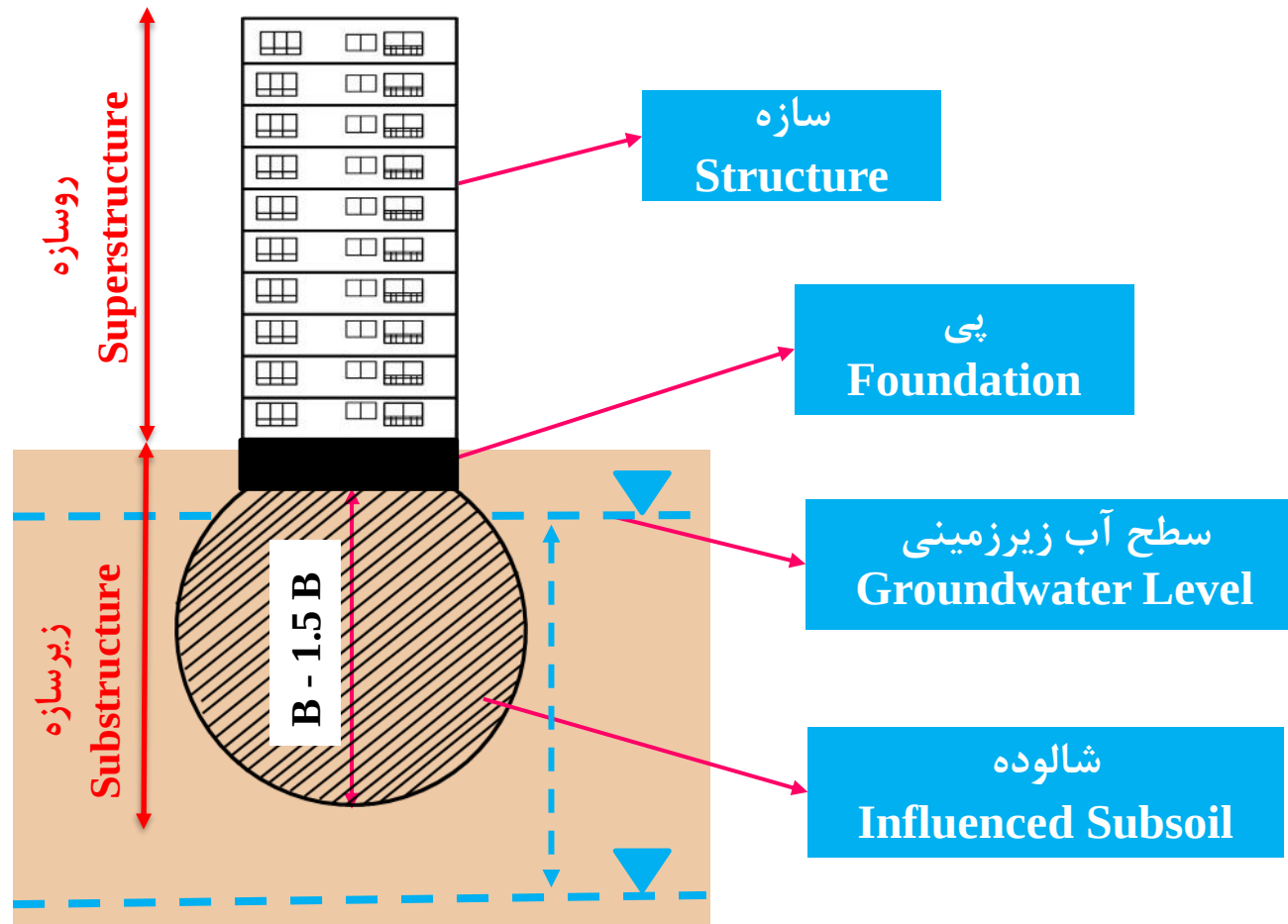
۲- شرایط زیرسطحی (شالوده)

۳- فونداسیون ها (جدید و موجود)

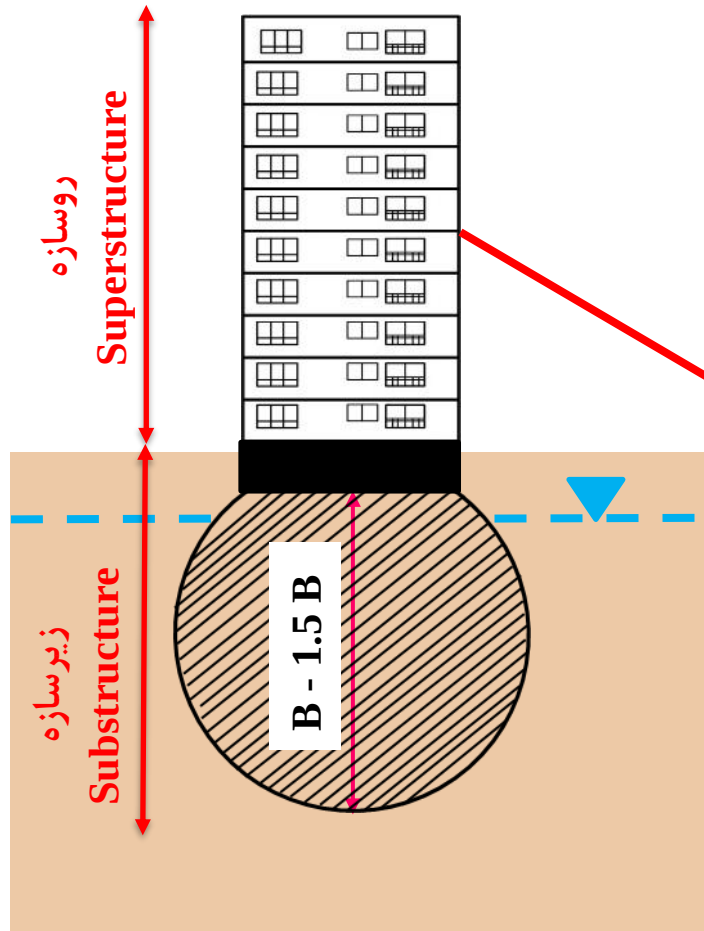
۴- شرایط مجاور و پیرامونی (مستحادثات و سازه های همجوار)

۵- شرایط آتی

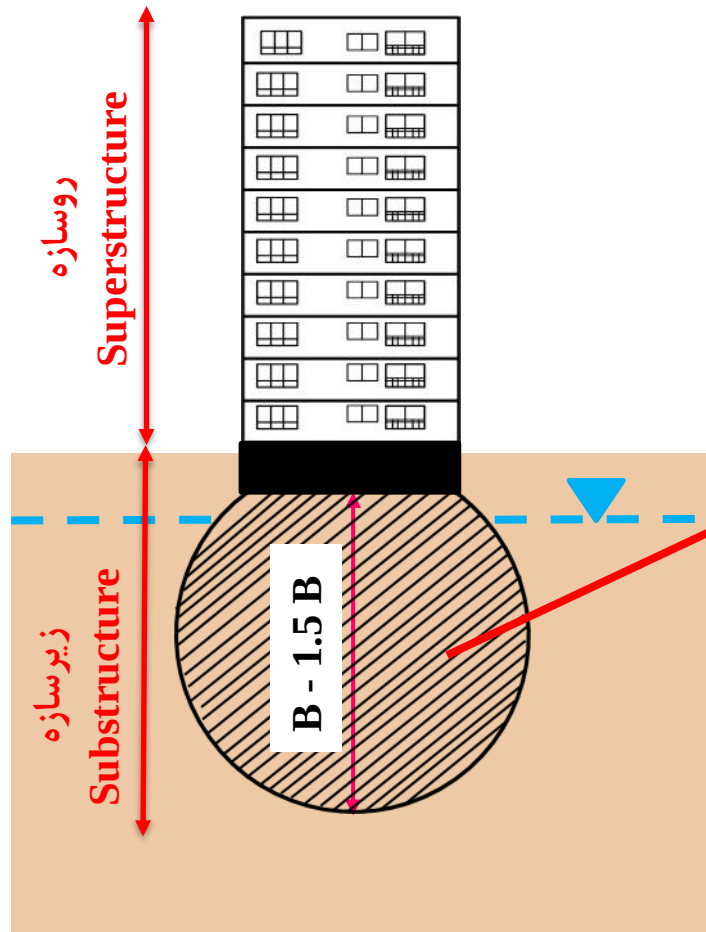
اجزای اندرکنشی روسازه و زیرسازه



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



تنوع در شالوده: نوع، تراکم - قوام و زهکشی

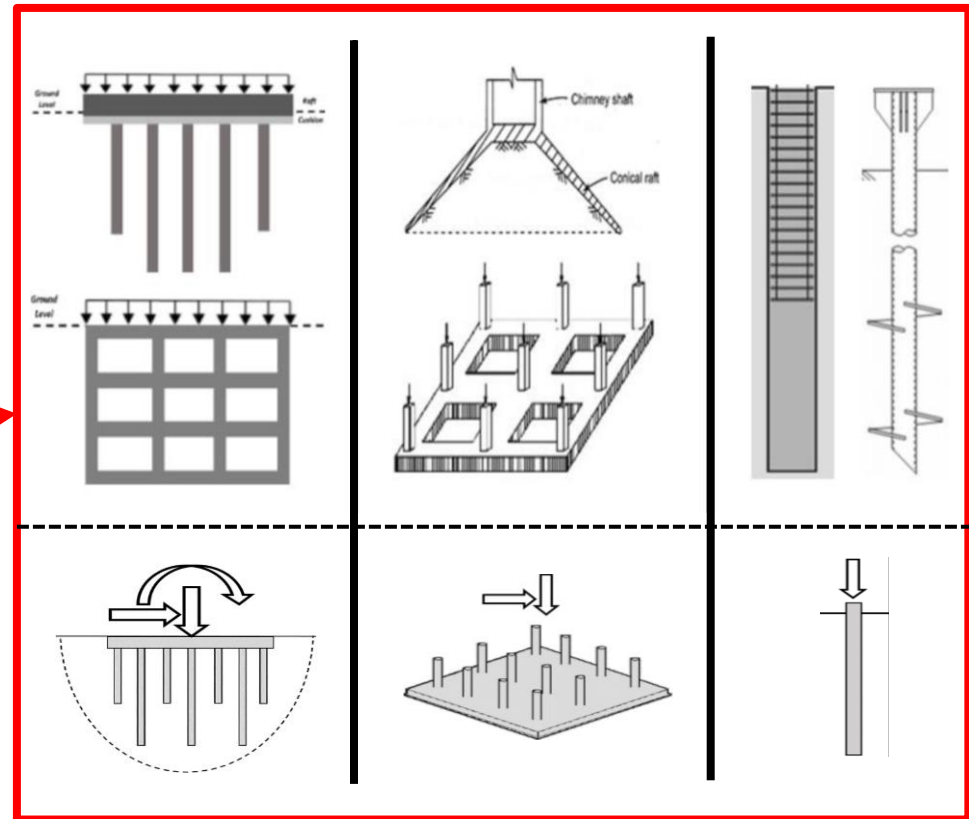
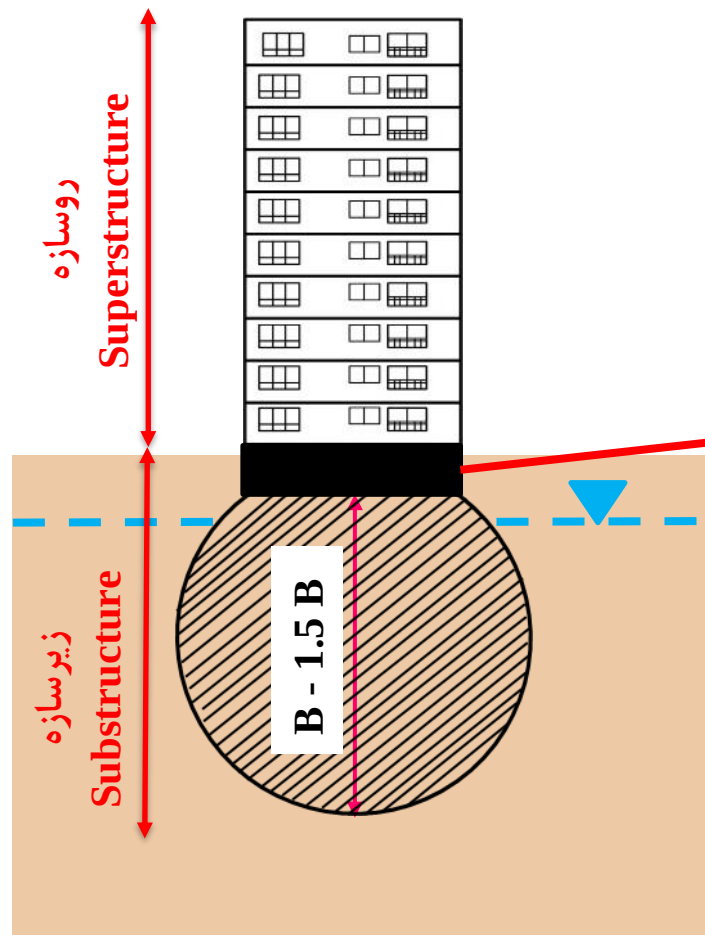


خاک های نرم و شل (Soft & Loose Soils)

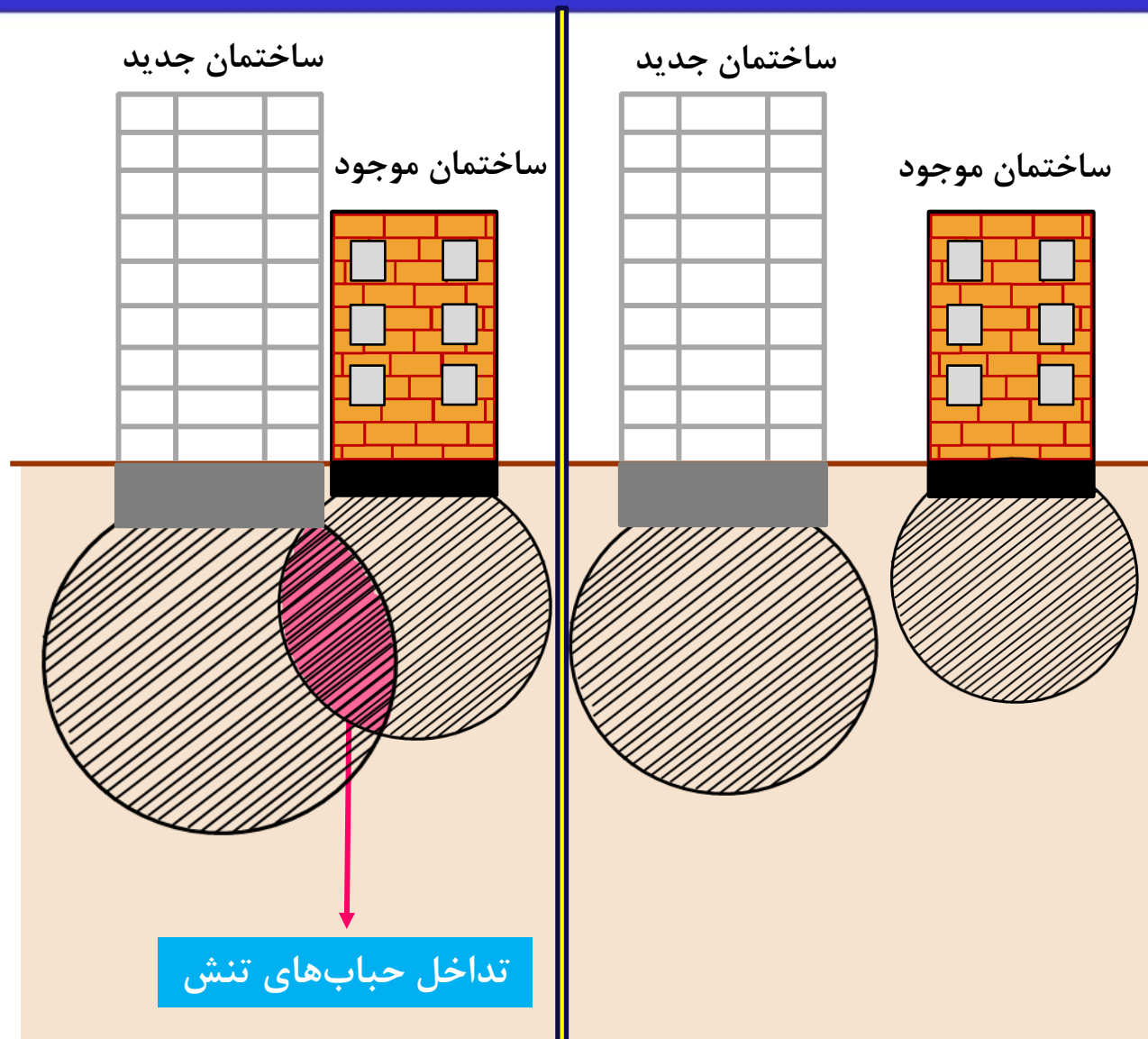
خاک های با قوام و تراکم متوسط (Medium Soils)

خاک های سخت و سنگ (Dense & OC Soils, Rocks)

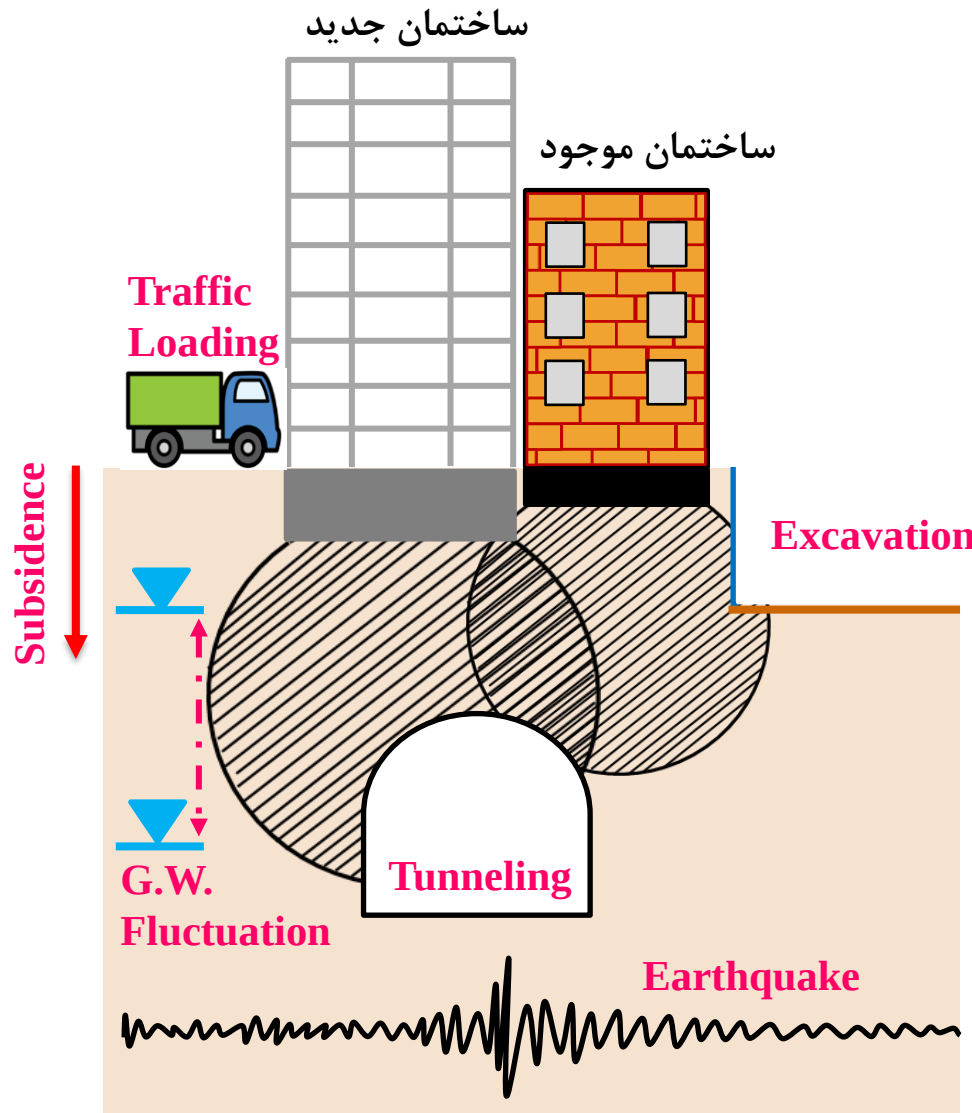
تنوع در فونداسیون: نوع، هندسه و عمق مدفون



همجواری سازی و تداخل حباب های تنش



عوارض آتی و پیرامونی



✓ تغییرات آب زیرزمینی

✓ بارهای غیرمنتظره و دینامیکی

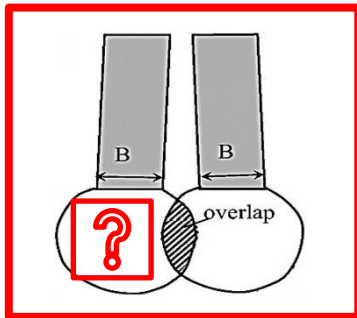
✓ حفر تونل در مجاور و یا زیر پی

✓ گودبرداری

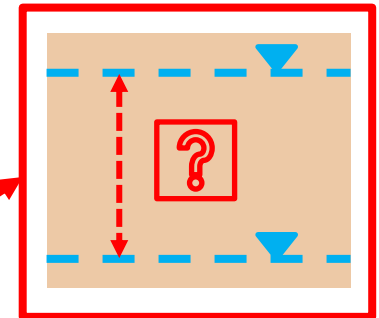
✓ زلزله

✓ فرونشست

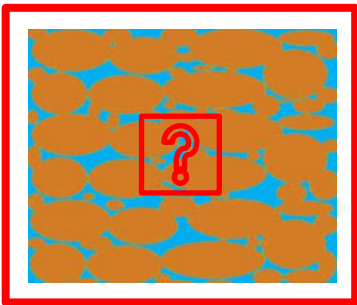
بارهای نامرئی



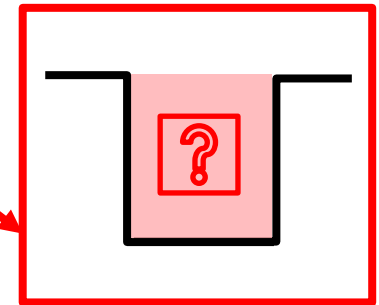
همپوشانی تنش‌ها



تغییر تراز آب زیرزمینی



بارهای دینامیکی و ضربه‌ای
افزایش فشار آب حفره‌ای



گودبرداری

Invisible Loads

مهندسی پی

❑ پروژه های عمرانی:

❖ روسازه Superstructure

❖ زیرسازه Substructure

❑ مشارکت زیرسازه در تماس با خاک و در روند انتقال بار سازه به زمین

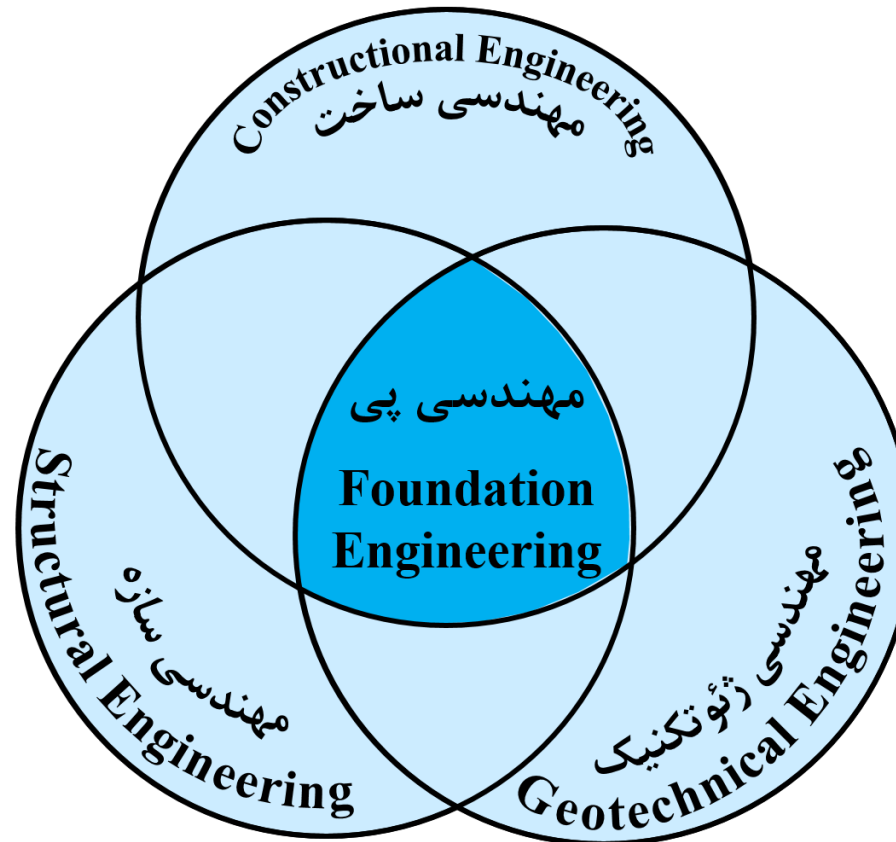
❑ انتقال بار از روسازه به زمین توسط عنصری به نام پی یا فونداسیون

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

مهندسی پی: ژئوتکنیک، سازه و ساخت



**Multidisciplinary: Structural,
Geotechnical and Constructional**

طبقه بندی کلی شالوده ها

طبقه بندی معمول:



انواع خاک‌های مسئله‌دار

خاک‌های مسئله‌دار

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

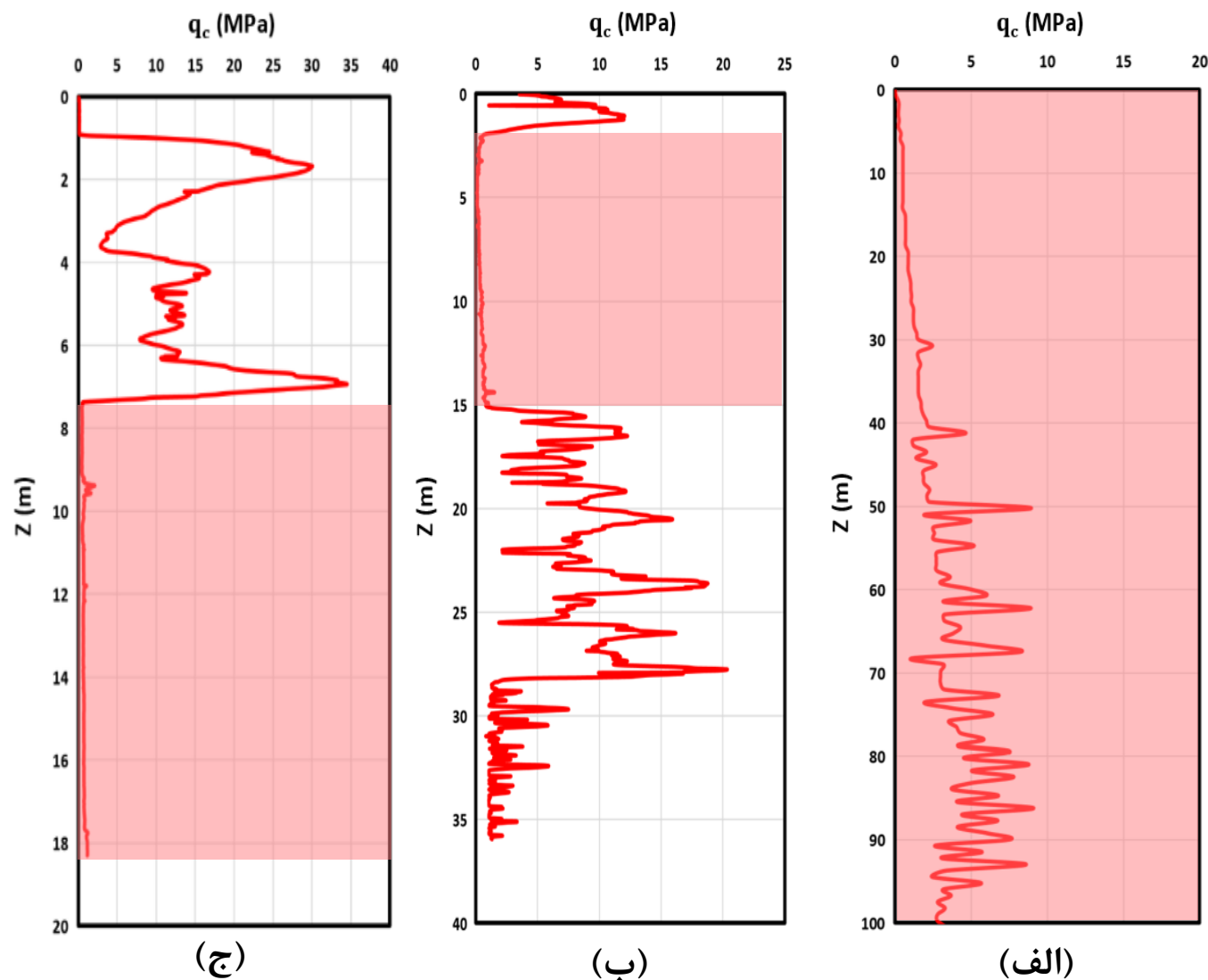
خسارات عمرانی سالیانه در آمریکا در نتیجه عواقب حاصل از خاک‌های مسئله‌دار بیش از موارد مربوط به سیل، طوفان و زلزله می‌باشد.
(Holtz et al., 2023 – Coduto et al., 2016)

ارزیابی قوام خاک‌های چسبنده

قوام خاک چسبنده براساس مقاومت برشی زهکشی نشده (Su) (Look, 2007)

عنوان	نماد	ارزیابی در محل	نفوذ شصت دست	مقاومت برشی زهکشی نشده (kPa)
خیلی نرم	VS	در صورت فشردن از بین انگشتها بیرون می‌زند.	> 25 mm	<12
نرم	S	با فشار کم انگشتان قابل شکل‌دهی می‌باشد.	> 10 mm	12-25
متوسط	F	با فشار زیاد انگشتان قابل شکل‌دهی می‌باشد.	< 10 mm	25-50
سفت	St	با انگشتان قابل شکل‌دهی نمی‌باشد. با فشار شصت می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود.	< 5 mm	50-100
خیلی سفت	VSt	با ناخن شصت می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود.	<1 mm	100-200
سخت	H	با ناخن شصت به سختی می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود.	≈ 0 mm	>200

سناریوهای مختلف ژئوتکنیکی توالی لایه‌ها (Ebrahimipour & Eslami, 2024)



وجود خاک مسئله دار

- در سرتاسر لایه
- در لایه سطحی
- در عمق

لوگ مقاومت نوک حاصل از
CPTu :

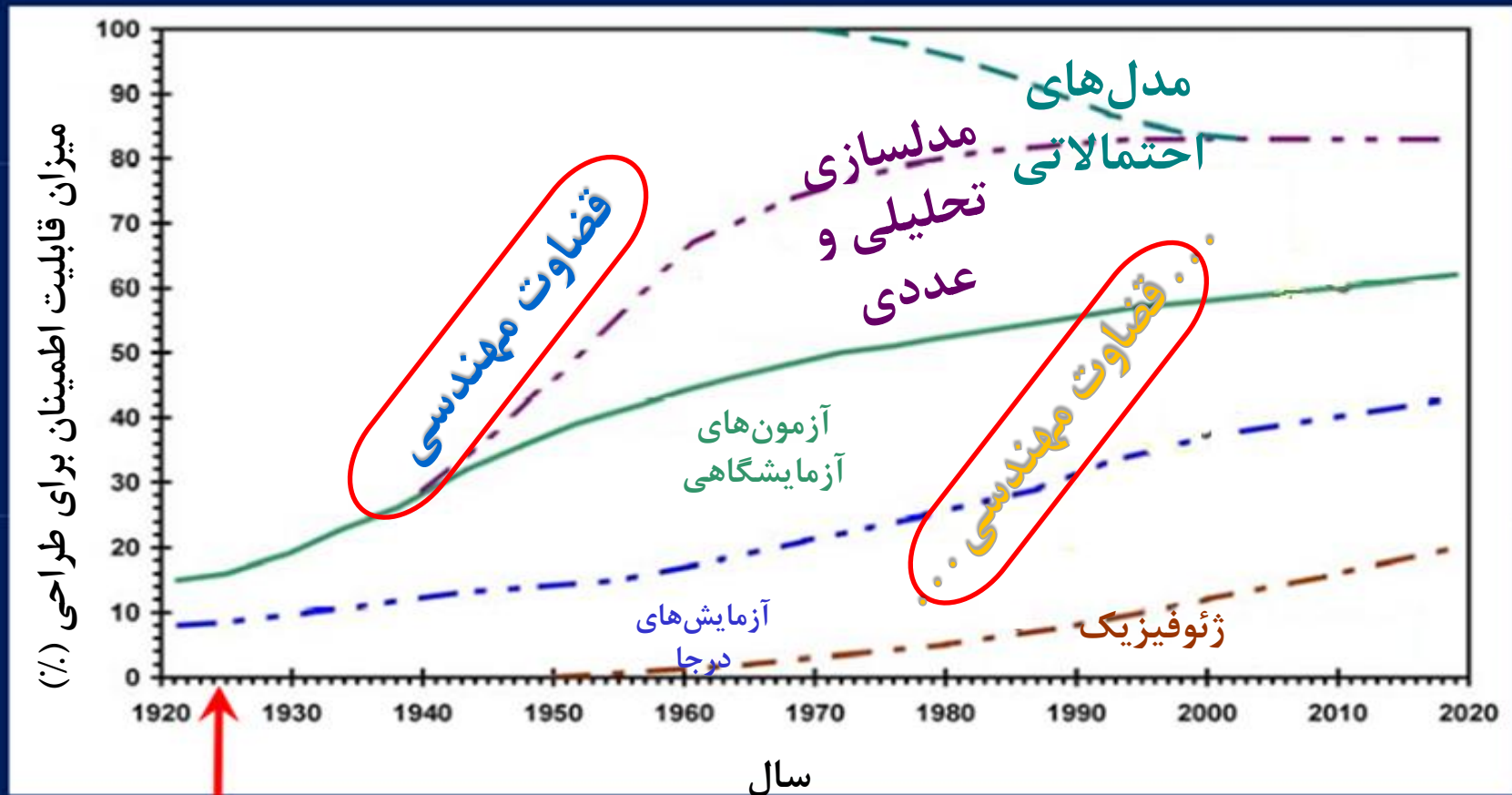
الف) پروژه پل میان گذر
دریاچه ارومیه
(Eslami et al., 2019)

ب) سایت تحقیقاتی
UBC

ج) سایت تحقیقاتی
Evanstone
(Finno et al., 1989)

قضاوت مهندسی

تکامل روندهای مطالعاتی
ملاحظه اندرکنش خاک و سازه با شاخص های پی سازی
Modified after Lacasse (1985)



SOA-1: 17th ICSMGE 2009 - Alexandria

پی سازی، ساخت و ساز و توزیع تنش در خاک

منشا تنش در خاک

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot z_i \quad u_i = \gamma_w \cdot z_w$$

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

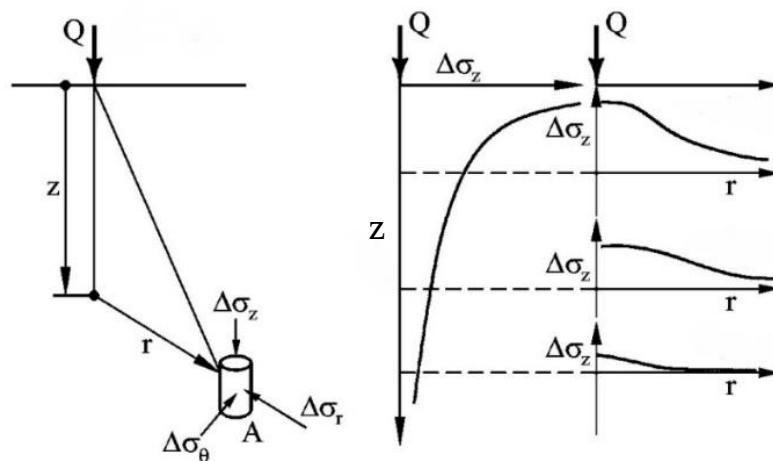
- ژئواستاتیکی
- تحمیلی

• تنش های ژئواستاتیکی (Geostatic Stresses):

حاصل نیروی جاذبه، وزن مخصوص و ضخامت لایه ها

• تنش های تحمیلی (Induced Stresses): به سبب

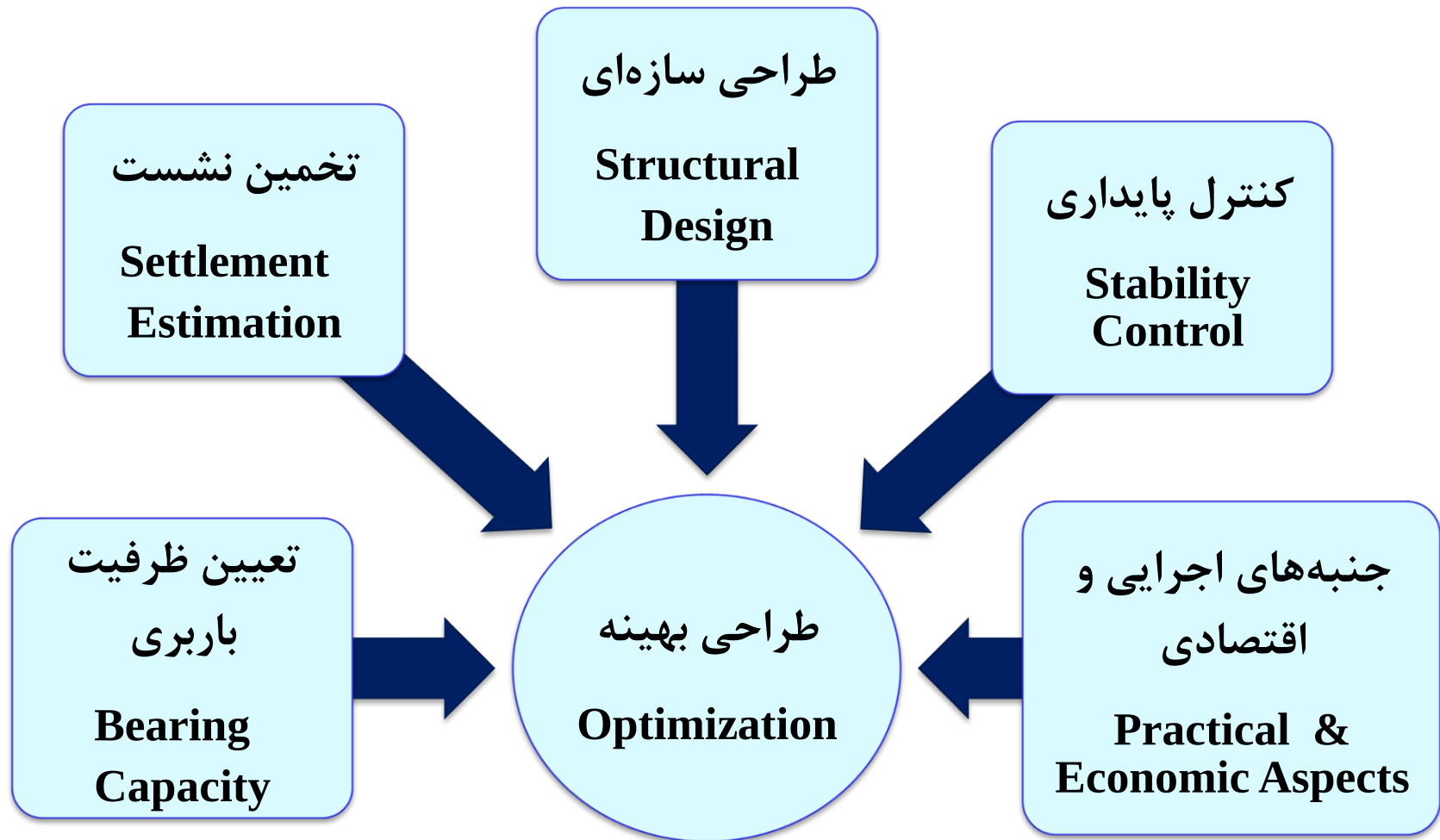
بارهای خارجی و بارگذاری از طریق فونداسیون



Distribution of stress at different depths

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

ملاحظات عمده تحلیل و طراحی فونداسیون



فاکتورهای مهم در ظرفیت باربری

• شرایط خاک:

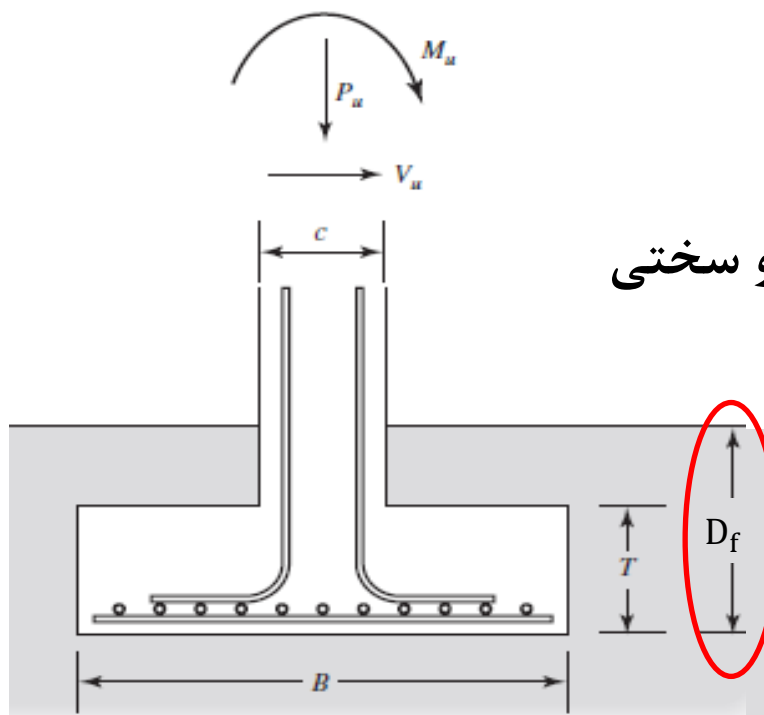
- ✓ نوع خاک
- ✓ شرایط تراکم
- ✓ پارامترهای مقاومتی و سختی

• هندسه پی:

- ✓ طول
- ✓ عرض
- ✓ عمق استقرار

• شرایط محصورشدگی:

- ✓ آب زیرزمینی
- ✓ بارگذاری و باربرداری اطراف پی
- ✓ توپوگرافی زمین

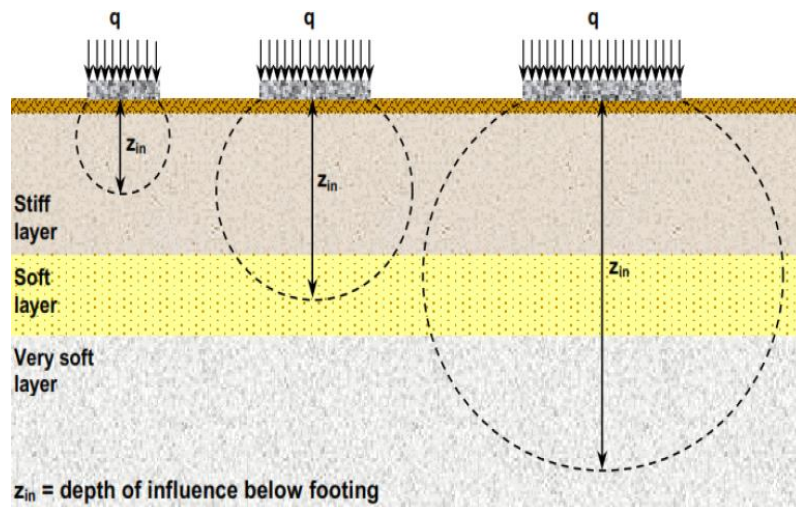
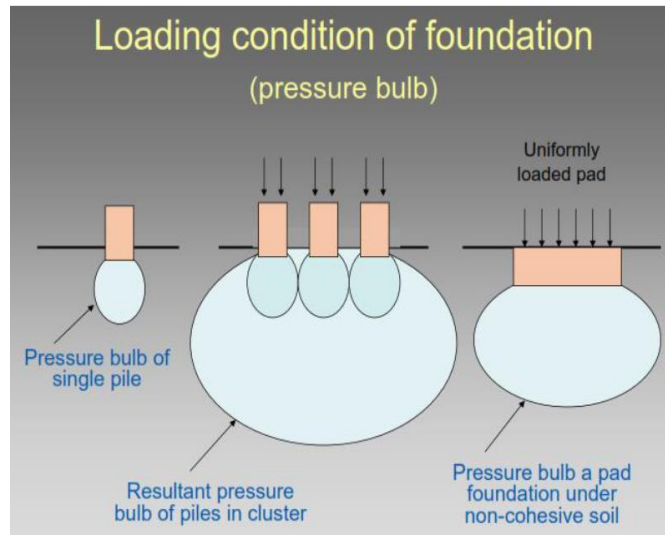


استفاده از مقادیر توصیه شده در آیین نامه ها و کدها

مندرجات جدول، بدون
ملاحظه هندسه پی، عمق
استقرار پی، محصورشدگی
و شرایط آب زیرزمینی

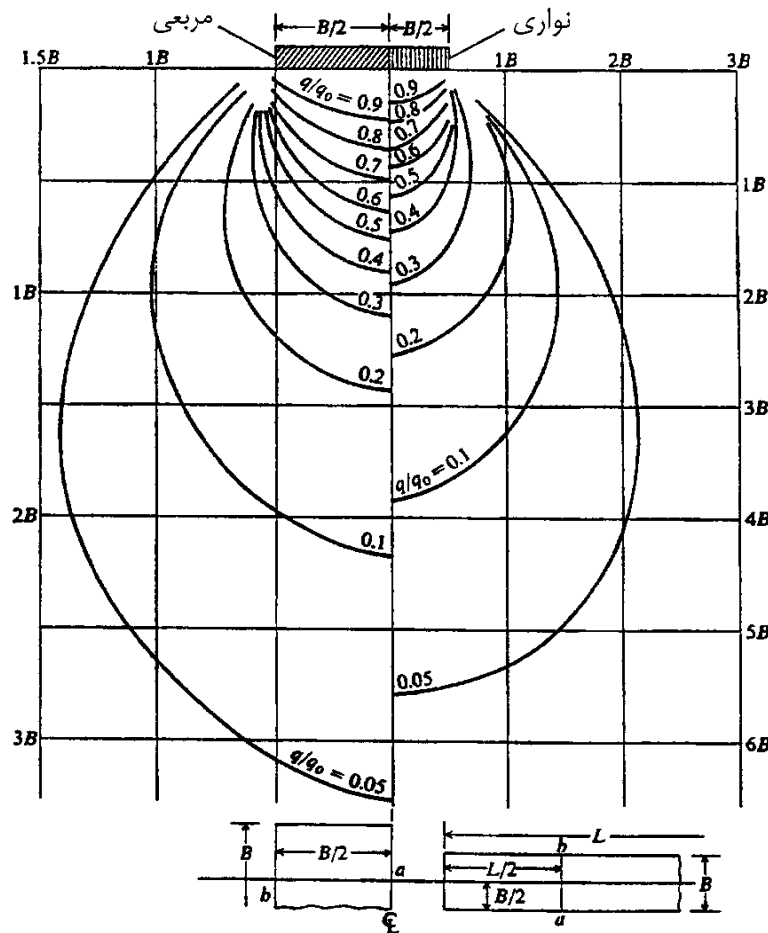
نوع سنگ یا خاک	$q_a (kg / cm^2)$
الف - سنگها: سنگهای آذرین سخت و بدون هوازدگی	۱۰۰
- ماسه سنگ و آهک سنگهای سخت	۴۰
- شیستها	۳۰
* - شیلهای سخت و ماسه سنگهای نرم	۲۰
* - شیلهای نرم	۱۰-۶
* - سنگهای آهکی نرم	۶
**ب- خاکهای غیرچسبنده: - شن متراکم یا شن و ماسه متراکم	بزرگتر از ۶
- شن و ماسه با تراکم متوسط	۶-۲
- شن و ماسه شل	کوچکتر از ۲
- ماسه متراکم	بزرگتر از ۳
ماسه با تراکم متوسط	۳-۱
ماسه شل $N < 10$	کوچکتر از ۱
***ج- خاکهای چسبنده: در مقابل نشستهای تحکیمی حساسند	
- رسهای خیلی سفت و سخت	۶-۳
- رسهای سفت	۳-۱/۵
- رسهای متوسط	۱/۵-۰/۷۵
- رسهای نرم	کوچکتر از ۰/۷۵
- رسهای خیلی نرم	غیرقابل استفاده
- خاکهای آلی	غیرقابل استفاده
- خاک دستی	باید اندازه گیری شود.

نشست پی های سطحی



- بارگذاری
- باربرداری
- آب زیرزمینی
- فرونشست منطقه
- تحکیم لایه ها
- تنش های القایی
- بار دینامیکی
- شرایط اندرکنشی با سازه های مجاور
- مشخصات و سختی خاک
- مشخصات پی

پارامترهای موثر در نشست آنی و تحکیمی

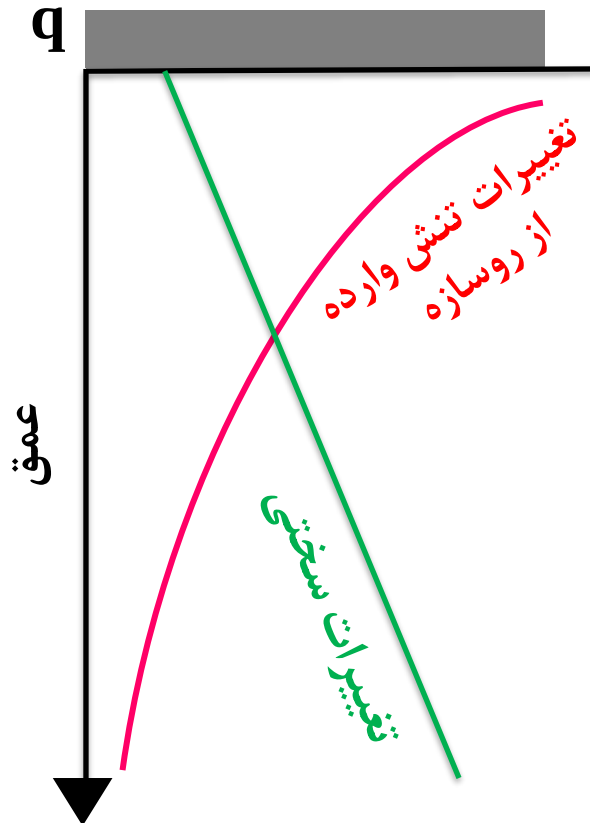


- عرض پی (B) ↑
- پارامتر سختی و مشخصات تراکم پذیری (E) ↓
- شدت بار (q) ↑

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

مشکل عمده پی رادیه

- مشکل عمده پی رادیه:
- ۱- بعد قابل توجه
 - ۲- اعمال بیشترین تنش در ضعیف ترین حالت خاک زیرین



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

q : تنش خالص وارد بر خاک زیر پی

B : بعد پی

K : ضریب شکل و صلبیت پی (0.1 – 0.4)

E_s : مدول خاک

S : مقدار نشست

الزامات نشست و چرخش

جدول ۷-۴-۲ مقادیر اولیه نشست مجاز تحت بارگذاری استاتیکی

نشست مجاز (میلی متر)		نوع پی	خاک
یکنواخت	غیر یکنواخت		
۲۵	۲۰	منفرد و نواری	ماسه
۵۰	۲۰	شبکه‌ای و گسترده	
۶۵	۲۵	منفرد و نواری	رس
۶۵-۱۰۰	۲۵	شبکه‌ای و گسترده	

جدول ۷-۴-۳ مقادیر مجاز چرخش

نوع ساختمان	مقدار ماکزیمم چرخش β (رادیان)
حد خرابی سازه‌های ساختمان‌های دارای اسکلت	$\left(\frac{1}{250}\right) ۰/۰۰۴$ تا $\left(\frac{1}{150}\right) ۰/۰۰۶۷$
حد ایجاد ترک در ساختمان	$\left(\frac{1}{500}\right) ۰/۰۰۲$ تا $\left(\frac{1}{300}\right) ۰/۰۰۳۳$

مبحث ۷ مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)

کجی مجاز	سازه
۱/۵۰،۰۰۰	سیستم رادار
۱/۶،۰۰۰	برج آنتن ماهواره‌ای
۱/۵،۰۰۰	توربین
۱/۵۰۰	مخازن بتنی
۱/۳۳۳	ریل جرثقیل
۱/۲۵۰	دودکش‌ها
۱/۱۰۰	انبار ذخیره کالا

حدود کجی برای تعدادی از سازه‌ها
(Charles & Skinner, 2003)

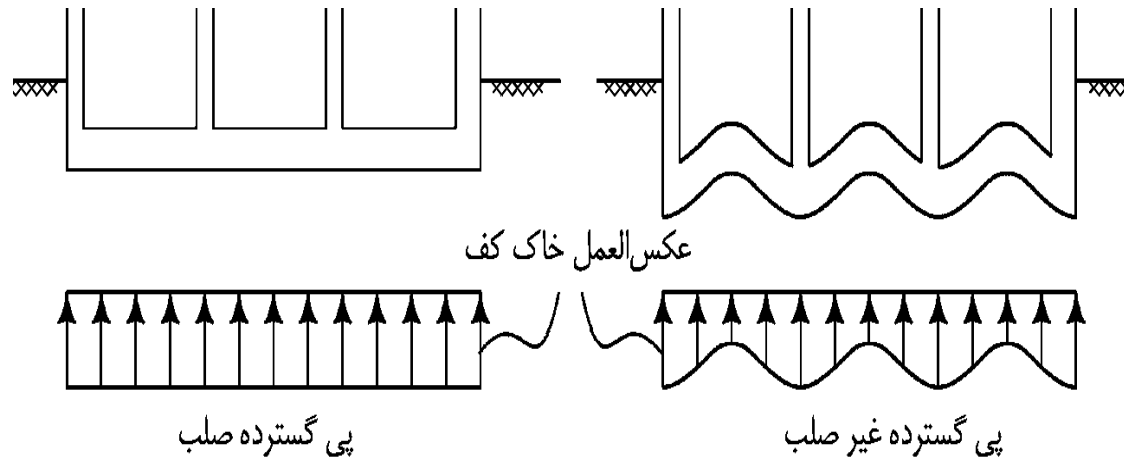
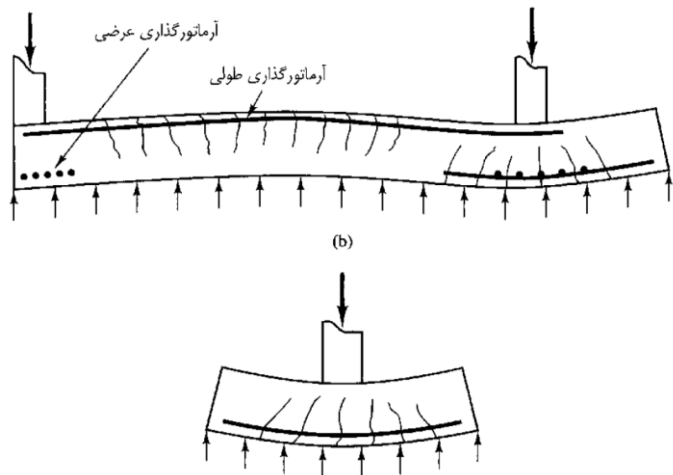
طراحی سازه‌ای

❖ تعیین نیروهای داخلی

❖ خرابی‌های خمشی، برشی و لهیدگی

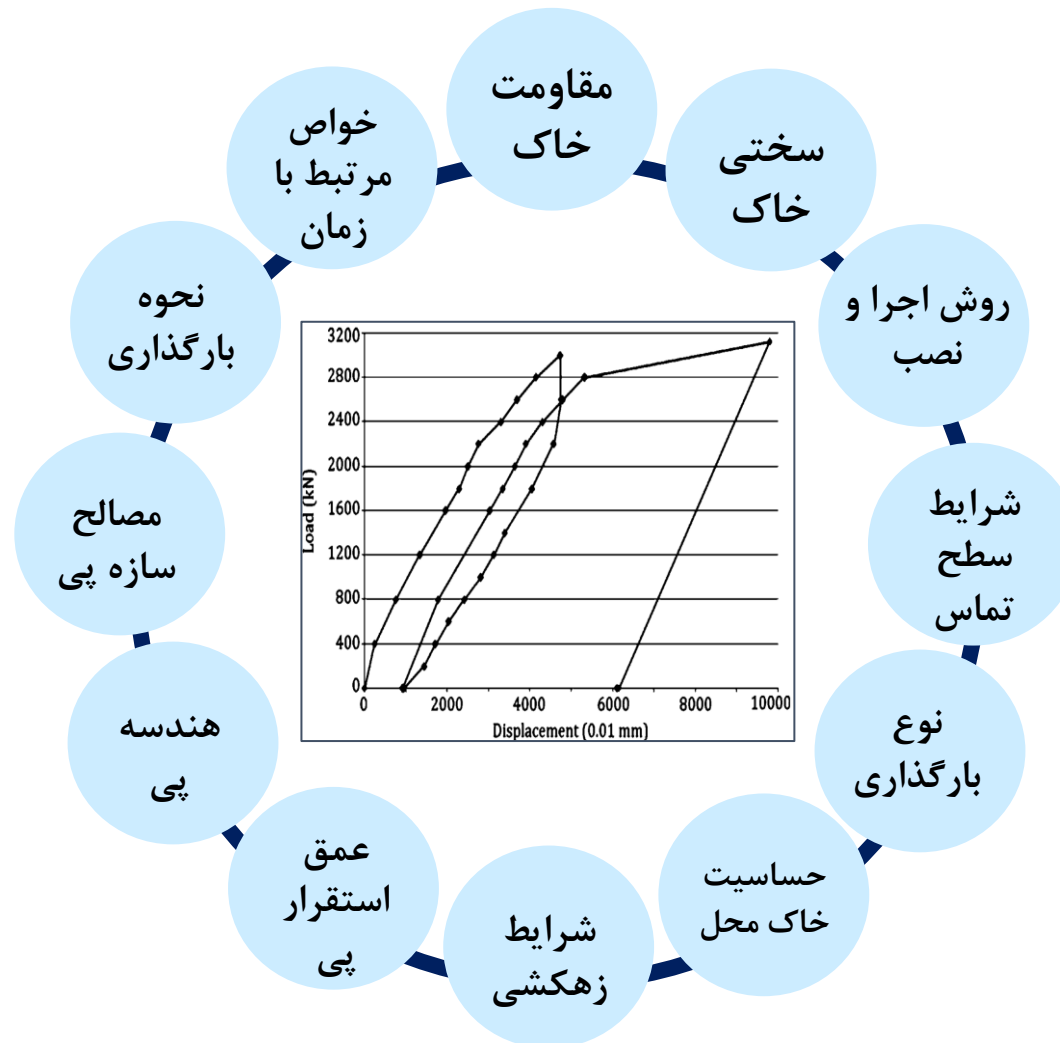
❖ عوامل موثر بر صلبیت و انعطاف پذیری

- مشخصات هندسی و مقاومتی پی
- شرایط و پارامترهای خاک
- سختی و نحوه اتصال المان‌های سازه‌ای به پی

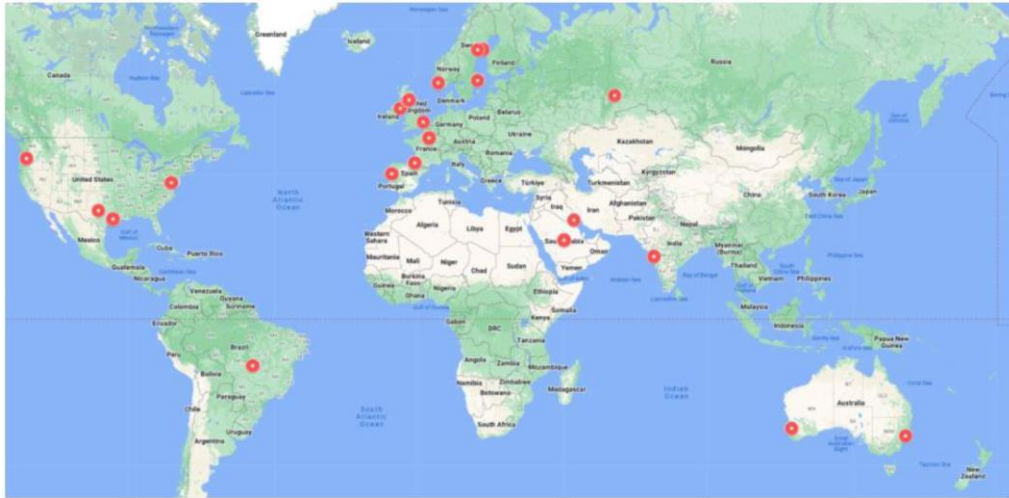


توزیع تنش در زیر پی گسترده در حالات صلب و انعطاف پذیر

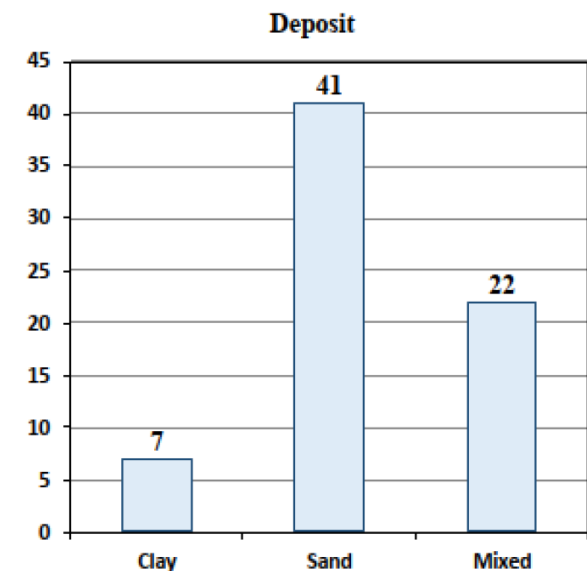
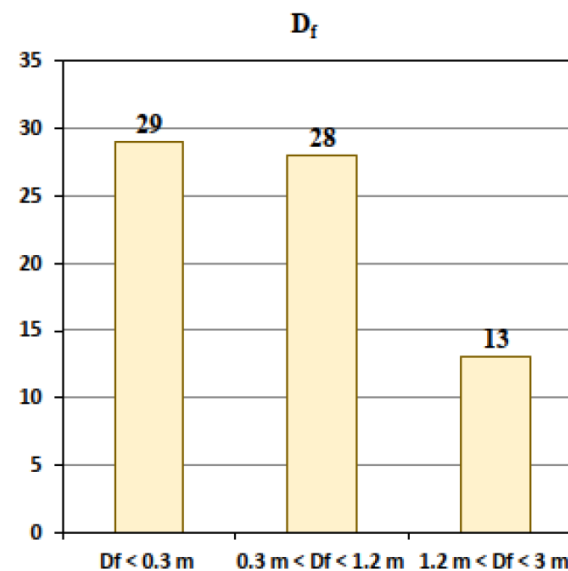
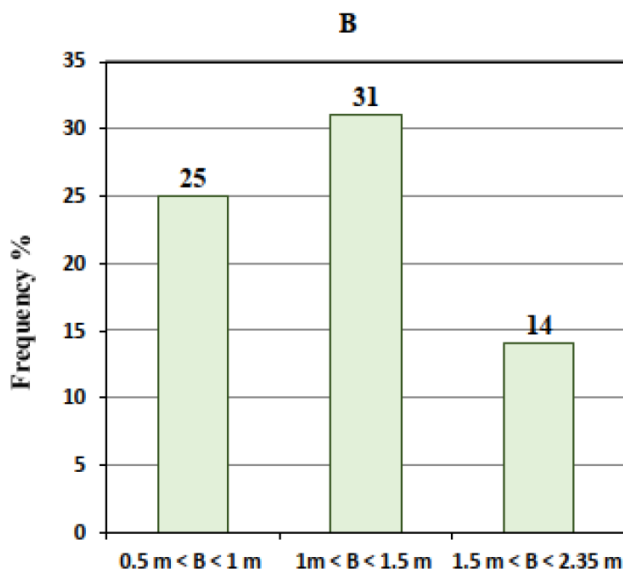
عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی پی‌ها



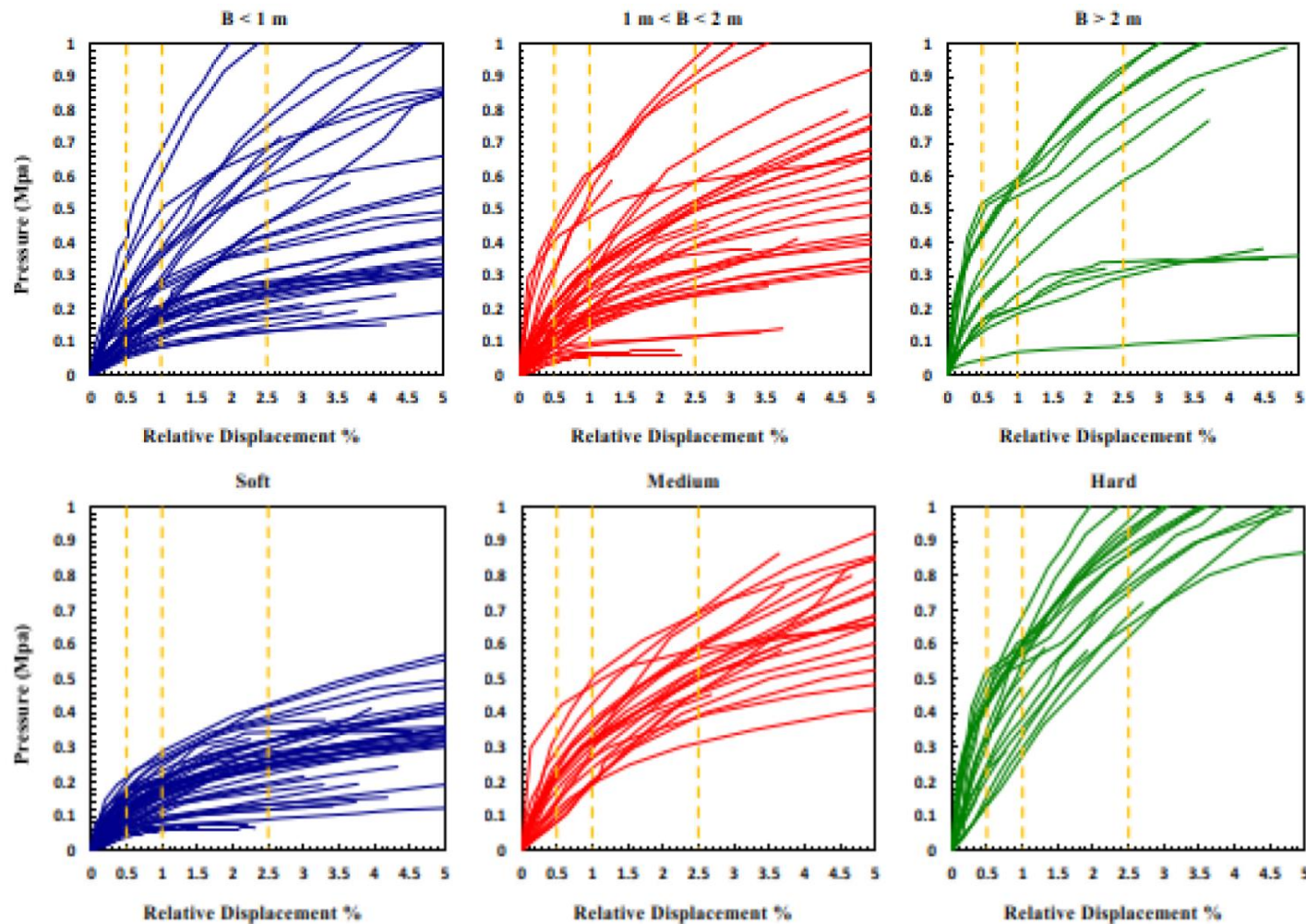
رفتار بار-جابجایی پی‌های سطحی (Eslami et al., 2024)



- بانک داده شامل ۷۰ مورد پی سطحی
- اجراشده در رس، ماسه و خاک مخلوط
- عمق مدفون بین صفر تا ۳ متر
- بعد ۰/۵ تا ۲/۲ متر



رفتار بار-جابجایی پی‌های سطحی (Eslami et al., 2024)



Pressure versus relative displacement based on breadth and deposit strength (Eslami et al., 2024)

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

FELADD: Foundation Engineering Load And Displacement Database

- بانک داده بزرگ مشتمل بر ۱۲ رده پی
- داده‌های بار-جابجایی + آزمایش‌های درجا

- بانک داده شامل ۷۱ مورد شمع کوبیدنی
- اجراشده در رس، ماسه و خاک‌های مخلوط
- عمق مدفون بین ۶ تا ۵۶ متر
- بعد ۲۳۵ تا ۹۱۴ میلیمتر
- شمع فولادی و بتنی
- مقاطع دایره، مربع، لوله‌ای و H

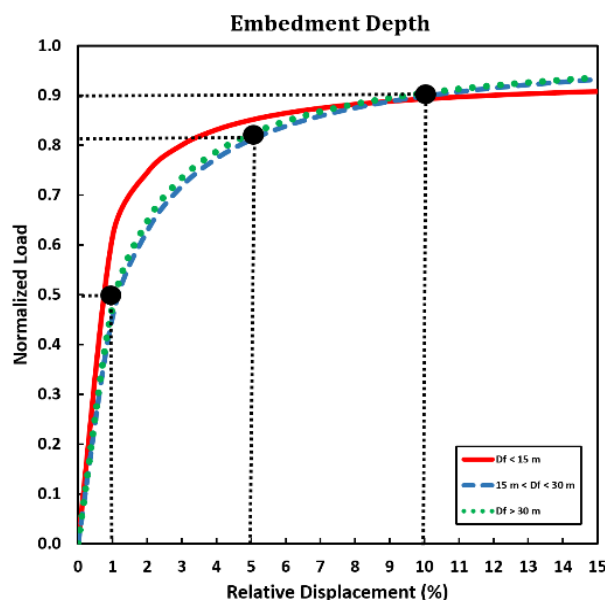
رفتار بار-جابجایی پی‌های عمیق (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

Normalization Approach:

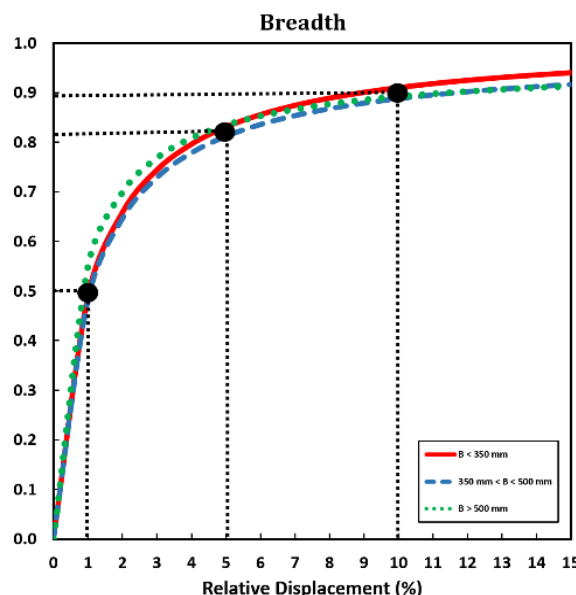
- Load: Brinch-Hansen 80% (1963)
- Displacement: Breadth

Relative Displacement & Normalized Load:

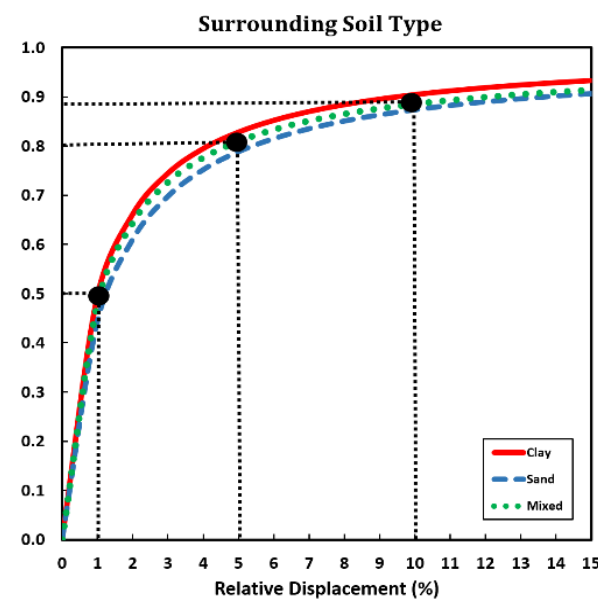
- 1 % → 0.5 Pu (FS=2)
- 5 % → 0.8 Pu
- 10 % → 0.9 Pu



(a)



(b)



(c)

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

بانک داده FELADD و فاکتورهای غالب در بار-جابجایی پی عمیق

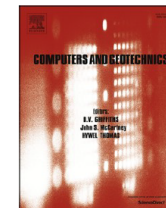


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Computers and Geotechnics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compgeo



Research Paper

Load-displacement appraisal and analysis for driven piles; a data-centric approach

Abolfazl Eslami^{*}, Amirhossein Ebrahimipour

Dept. of Civil and Environmental Eng., Amirkabir Univ. of Tech., Tehran, Iran

ARTICLE INFO

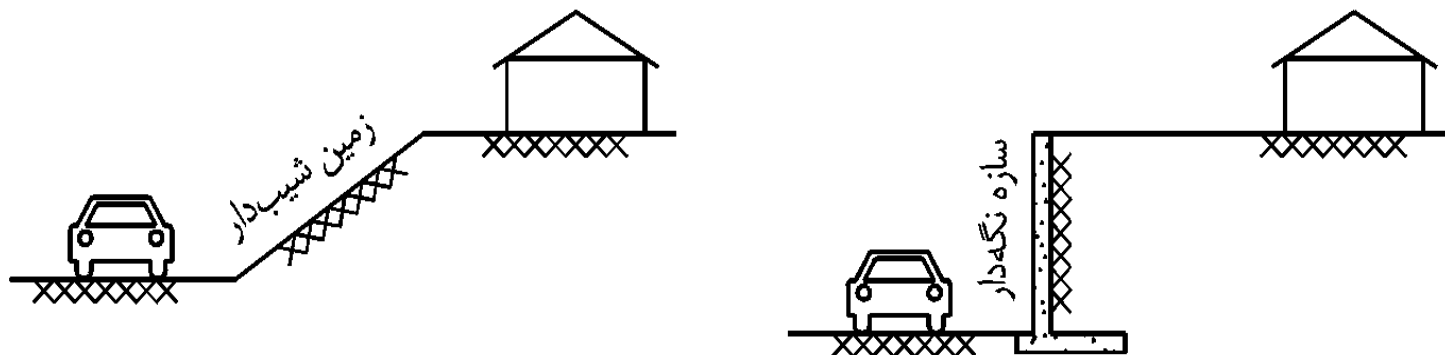
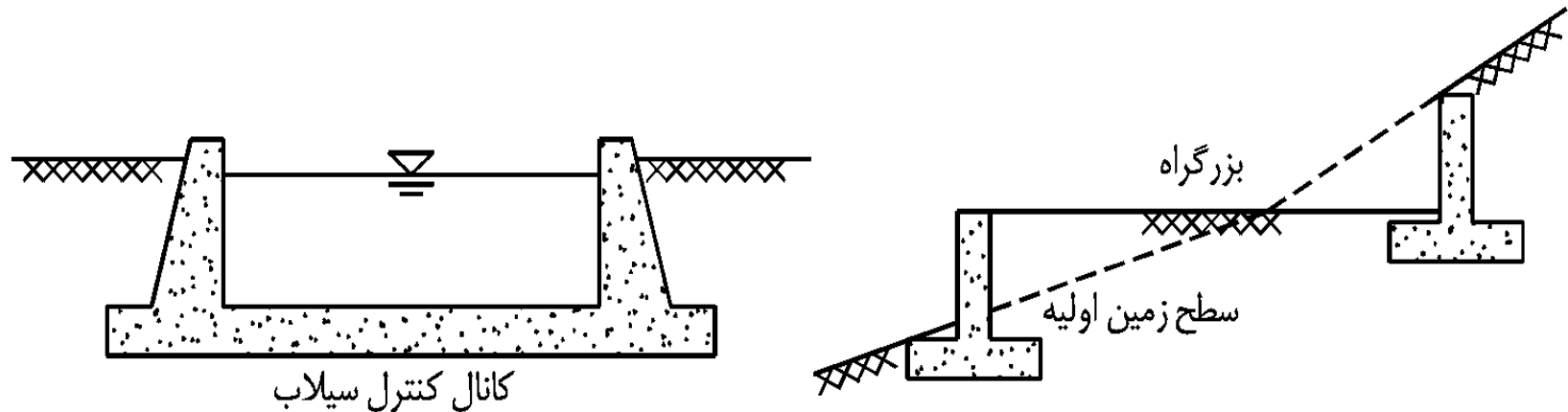
Keywords:

Data-centric
Load-displacement
Database
Driven piles
Normalization
Ultimate load
Linear stiffness

ABSTRACT

Data-centric geotechnics is an ever-evolving field for facilitating digital transformation. The major issues for foundation design, bearing capacity, settlement and interactions of super and substructure are inherently emanated in load-displacement records. Considering the pivotal role of load-displacement behavior, it is believed to be a data center in foundation engineering. In this study, from the compiled FELADD database, including twelve foundation types load-displacement records, 71 driven piles have been gained. Aiming toward the data-centric approach, records have been processed, organized and filtered. For computing ultimate and limit load, three criteria of 10%B, Brinch-Hansen 80% and hyperbolic function are engaged. Through adopting promising criteria for normalizing load-displacement, dominant factors including embedment depth, breadth and surrounding soil type were appraised. The results indicated that higher stiffness and ultimate load are achieved for piles with higher embedment depth and larger breadth, in competent layers. Load-displacement normalization has revealed significant points. The relative displacement of 1% is recognized as the appropriate point in elastic stiffness calculation, somehow compatible with safety factor of 2. Moreover, the yielding trend is mobilized for relative displacement in the range of 5 to 10%. Overall, the load-displacement records and processing, as a data center proceeds value engineering in foundation design.

پایداری سیستم زیرسازه



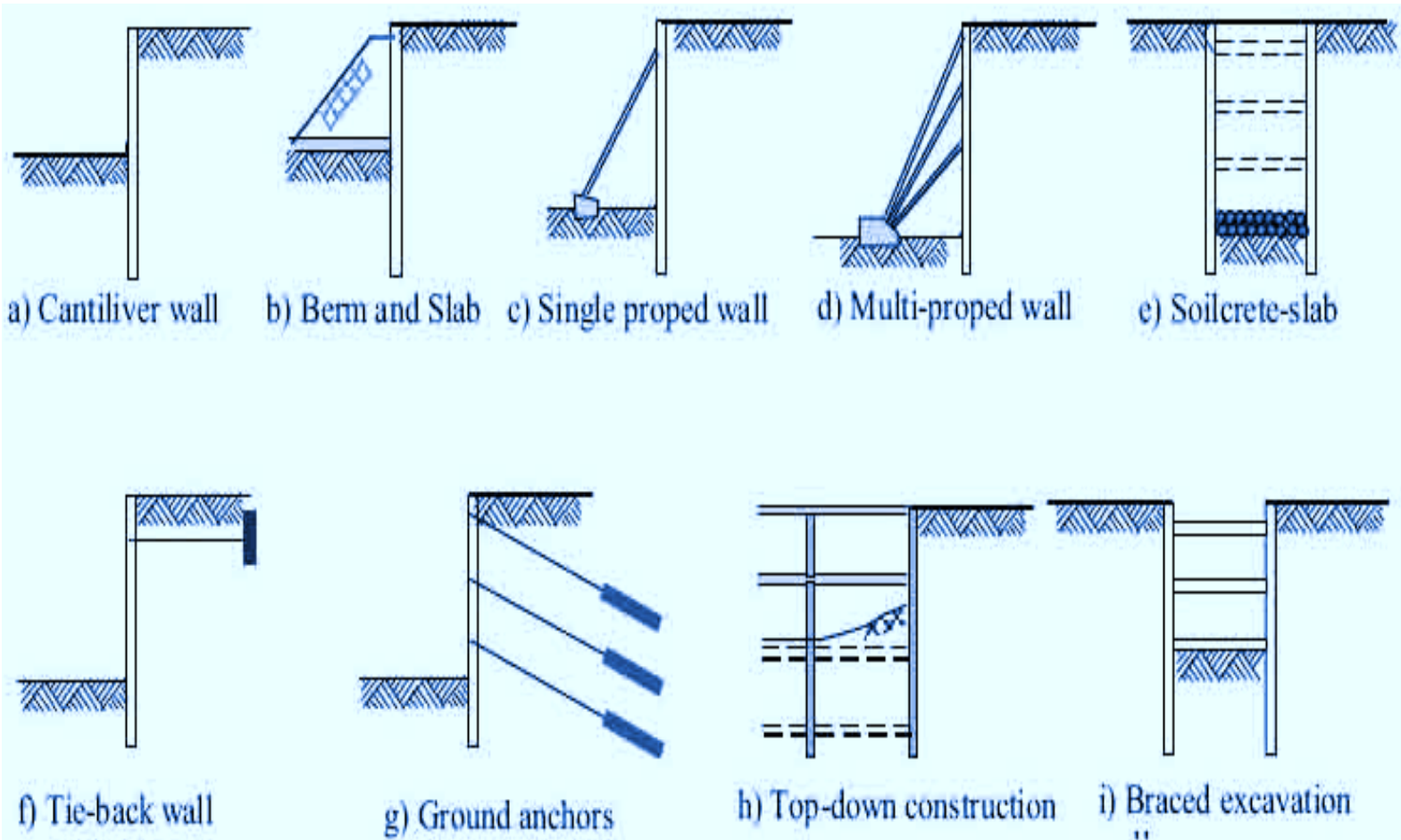
نمونه‌هایی از سطوح شیب‌دار در ساخت و سازهای عمرانی

پایداری سیستم زیرسازه

فاکتورهای مهم در پایداری

- ❖ بار جانبی
- ❖ ارتفاع سازه
- ❖ ترکیب بار جانبی، برکنش و لنگر
- ❖ **عمق استقرار پی**
- ❖ ارتباط پی با سازه
- ❖ ملاحظات زمین لغزش
- ❖ شرایط پیش بینی نشده

سیستم‌های پایدارسازی ترانشه‌های قائم



روش‌های متداول پایدارسازی گودها

نشست سطحی حاصله در اثر گودبرداری



بزرگی و گستره نشست سطحی حاصله در اثر گودبرداری (CFEM, 2006)

محدودیت‌های فونداسیون‌های سطحی و عمیق

پی سطحی

- ضعف ظرفیت باربری برای تحمل سازه‌های سنگین و بلند
- معضل نشست‌های کلی و غیریکنواخت
- ناپایداری در برابر بارهای جانبی، لنگرها و نیروهای برکنش
- ارائه حداقل اندرکنش با خاک بستر (عدم بسیج اصطکاک جداری و پدیده محصورشدگی)

پی عمیق

- هزینه‌های نسبتاً بالای ساخت و اجرا
- مشکلات اجرایی و طولانی بودن زمان اجرا به ویژه برای شمع‌های درجا
- تحمیل نیروهای کشانه، اصطکاک منفی و ایجاد فاصله بین سازه و بستر
- ضریب اطمینان بالا و غیربهینه در طراحی و بهره‌برداری

راه حل میانه: بهسازی، پی‌های نیمه عمیق

مقایسه پی‌های سطحی و عمیق

پی عمیق	پی سطحی	نوع فونداسیون	ملاحظات طراحی
		ظرفیت باربری	نشست
زیاد	کم تا متوسط	طراحی سازه‌ای	پایداری
مقاومت کف تا 120kg/cm^2	$0.5-5\text{ kg/cm}^2$	ملاحظات اجرایی	جنبه‌های اقتصادی
مقاومت جدار $0.2-2\text{kg/cm}^2$	زیاد	سادگی تا پیچیده	مشکل دار
محدود	نسبتاً عملی	تا حدودی مطلوب	
معمول			
کنترل شده			
نسبتاً دشوار			
نسبتاً پرهزینه			

فونداسیون‌های نیمه عمیق، بهسازی
راه حل میانه:

مورد عملی شماره ۱- برج Torre Latino Americana

شهر مکزیکوسیتی (وجود خاک مسئله دار)

- ساخت برج ۴۳ طبقه در شهر مکزیکوسیتی
- نمونه ای از کاربرد روش های نوین در خاک های مسئله دار

پروفیل خاک محل برج Torre Latino Americana



عمق (متر)	نوع و شرایط خاک
۵/۵-۰	خاکریزهای قدیمی - سطح آب در ۲ متری
۹/۱-۵/۵	نهشته های Becarra - ماسه، لای و رس
۳۳/۵ - ۹/۱	رس Tacubaya و لکانیک نرم، $Cc = 4-10$ رطوبت ۱۰۰ تا ۴۰۰ درصد، $Su = 35-70 \text{ kPa}$
۷۰-۳۳/۵	نهشته های ماسه ای متراکم Tarango

مورد عملی شماره ۱- برج Latino Americana

Aniversario de altura

La emblemática Torre Latinoamericana celebra con un año renovado sus 50 años de vida, pero mantiene su sello arquitectónico.

La torre fue inaugurada en 1955. Como sede de las oficinas centrales de la aseguradora la Latinoamericana.



El edificio puede soportar vientos de hasta 96.6 kilómetros por hora, considerados como huracanes.

La torre tiene 915 escalones del primero al último piso.

La estructura soporta timbales superiores a 8 grados en la escala de Richter.

La cimentación cuenta con 361 pilotes de concreto, que resisten hasta 66 toneladas de peso cada uno.



El nuevo proyecto

En el mirador del histórico rascacielos han sido colocados 8 nuevos telescopios de 20 aumentos y 2 binoculares de 25 aumentos.

Los miradores



En la fachada nueva, las ventanas giratorias serán selladas debido a que el edificio cuenta con aire acondicionado en todos sus pisos.



Sistema de losas móviles

La torre está provista de un sistema que permite a la losa de la planta baja descender hasta el nivel de la calle. Se hizo para prevenir el hundimiento, que ya es de 30 centímetros, aunque a la fecha no se la usó.



2 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



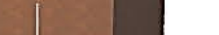
3 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



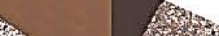
4 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



5 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



6 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



7 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



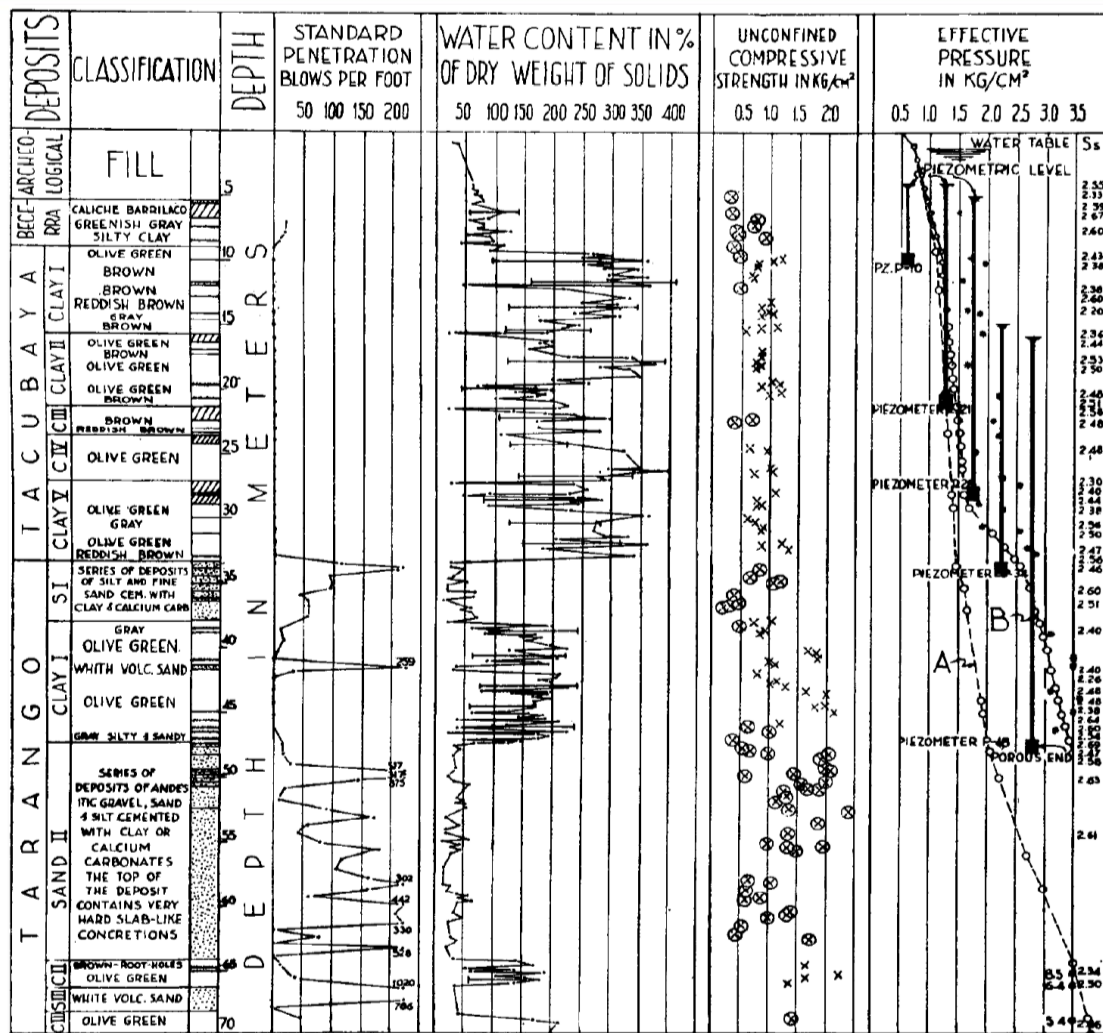
8 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



9 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



10 Se podrán retirar los cubos de concreto para nivelar el edificio.



مورد عملی شماره ۱- برج Torre Latino Americana

شهر مکزیکوسیتی (وجود خاک مسئله دار)

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

از جنبه های جالب توجه در این پروژه به نقل از Zeevart (1957):



- مطالعات ژئوتکنیک در شناخت خاک مسئله دار میان لایه
- اهمیت شمع های اتکایی
- جنبه های بهینه بکارگیری پی های شناور
- نشست ها در محدوده مجاز

چرا همجوارسازی؟

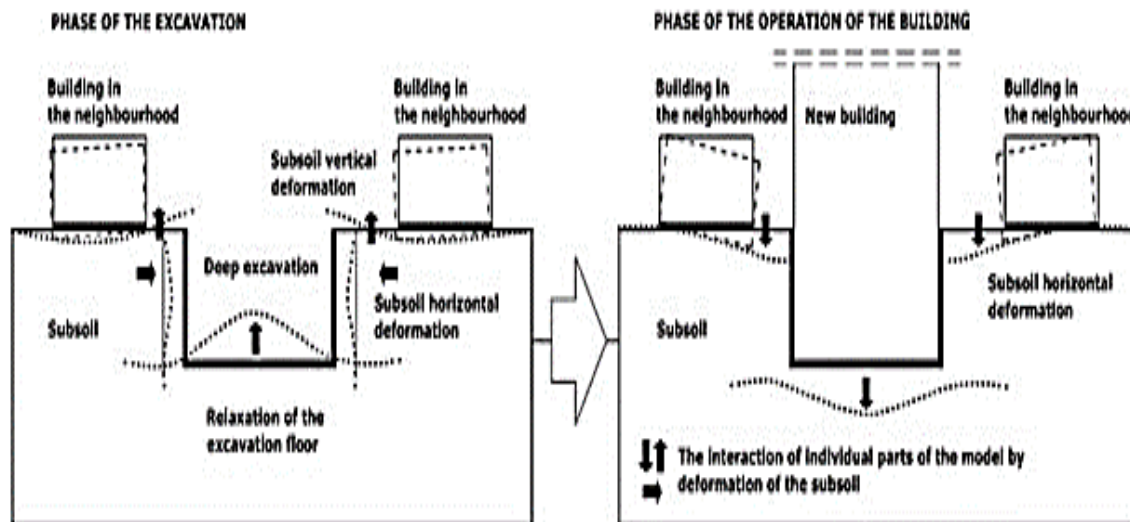
با رشد شهرنشینی و کمبود زمین‌های مناسب، سازه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند که این امر منجر به خساراتی به برخی سازه‌ها از منظر پایداری و سرویس‌دهی می‌گردد.



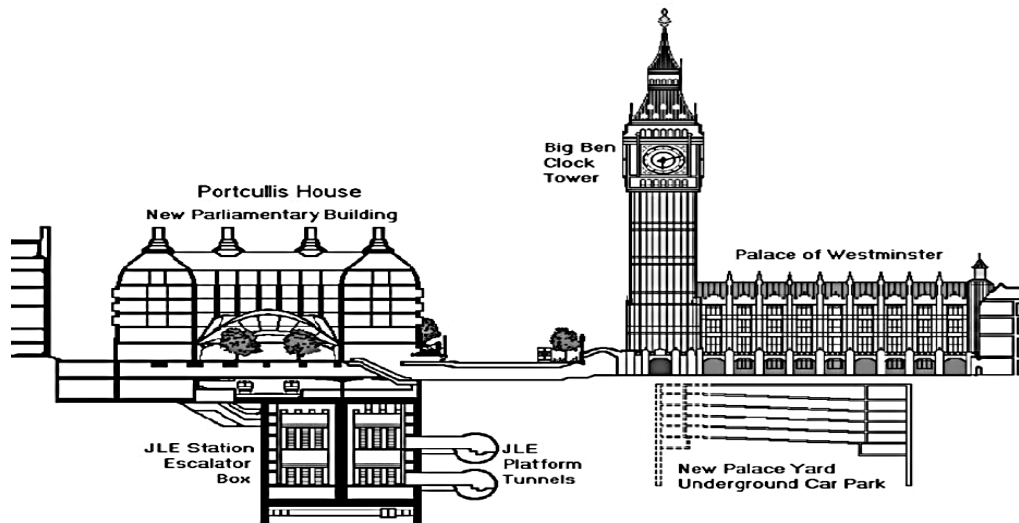
مصادیق همجواری سازی

در صورت وجود یک بنا یا ساختمان، حالات زیر محتمل است:

- اضافه شدن ساختمانی در مجاورت سازه موجود
- اجرای تونل در زیر یا مجاور سطح سازه موجود
- تاثیر نیروی دینامیکی یا ترافیکی در مجاورت سازه موجود
- گودبرداری در کنار سازه موجود
- تغییرات تراز آب زیرزمینی

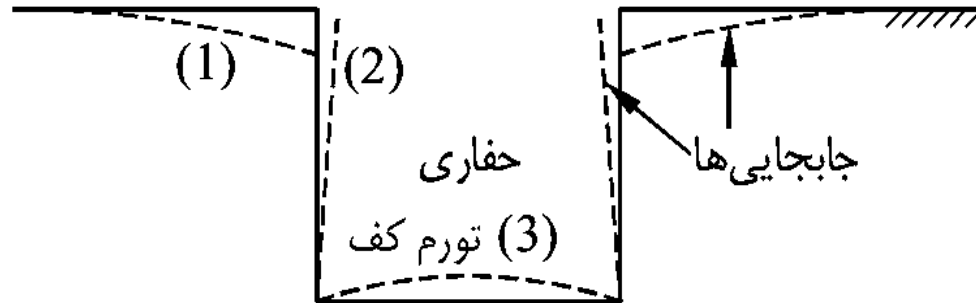


عوارض ساخت سازه های همجوار



Cross-section of the platform tunnels and the Westminster Station box next to the **Big Ben** clock tower. **Tilting** of the clock tower was monitored during excavation of the station box and platform tunnels (after Burland et al., 2001).

عوارض و جابجایی در اثر گودبرداری



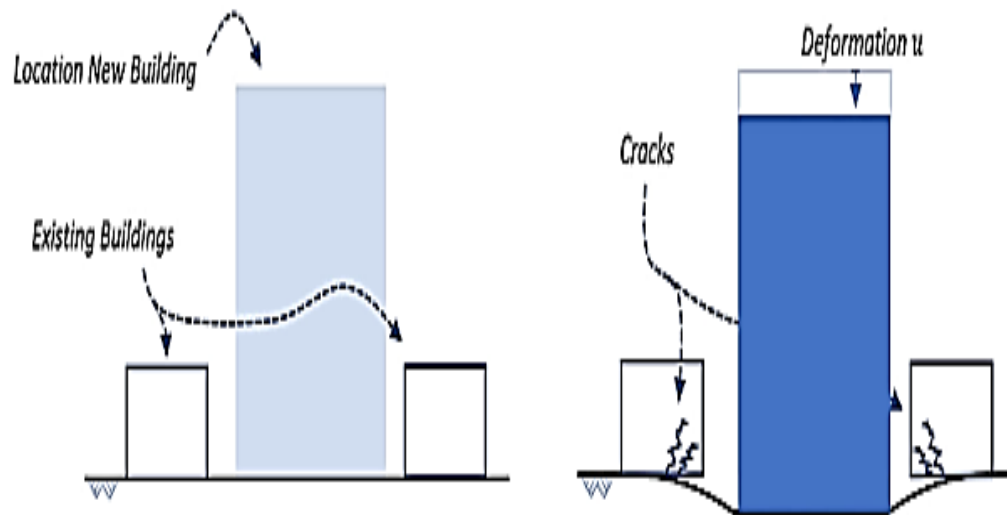
- تورم کف گود
- نشست اطراف گود
- تغییر مکان جانبی دیواره گودبرداری



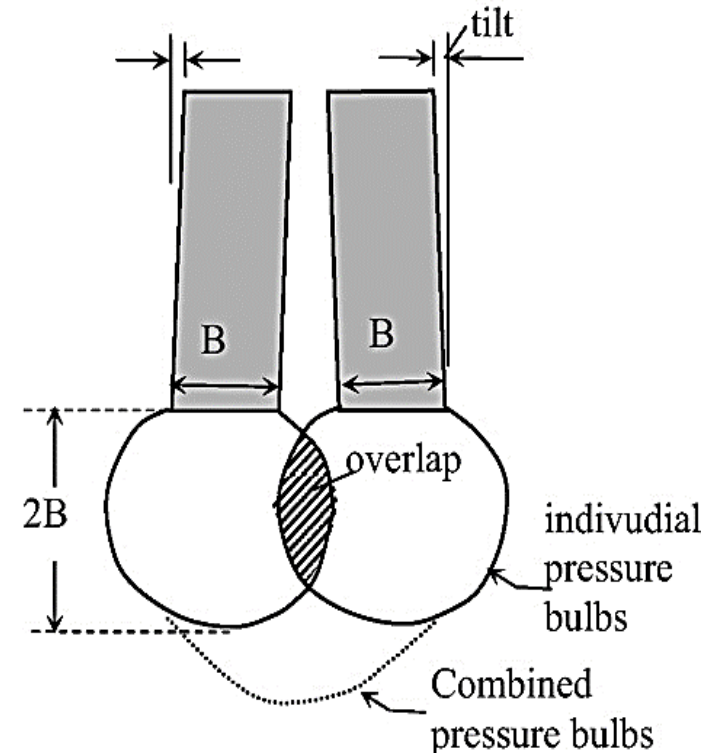
عوارض ساخت پی‌های سطحی نزدیک به هم و تداخل تنش‌ها

کجی و چرخش

ترک‌ها

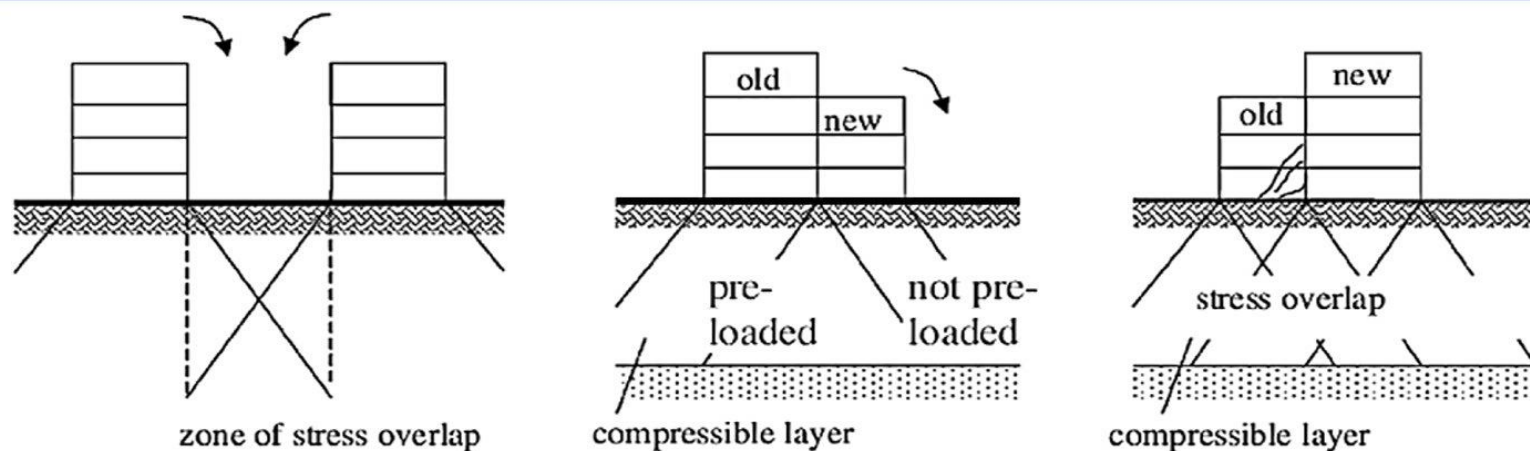


Schematic diagram demonstrating the issue with adjacent buildings (Woestenburg, 2020)

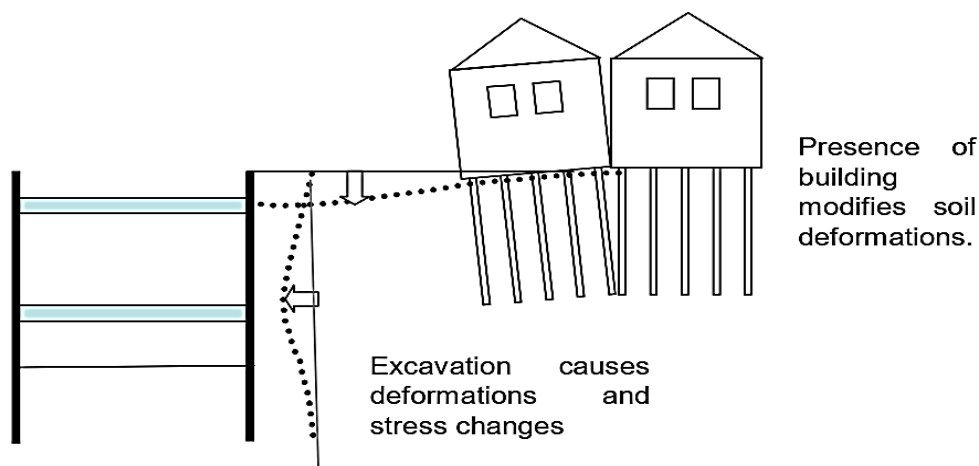


کج‌شدگی و تداخل حباب‌های تنش سیلوهای همجوار

عوارض ساخت پی های سطحی نزدیک به هم و تداخل تنش ها

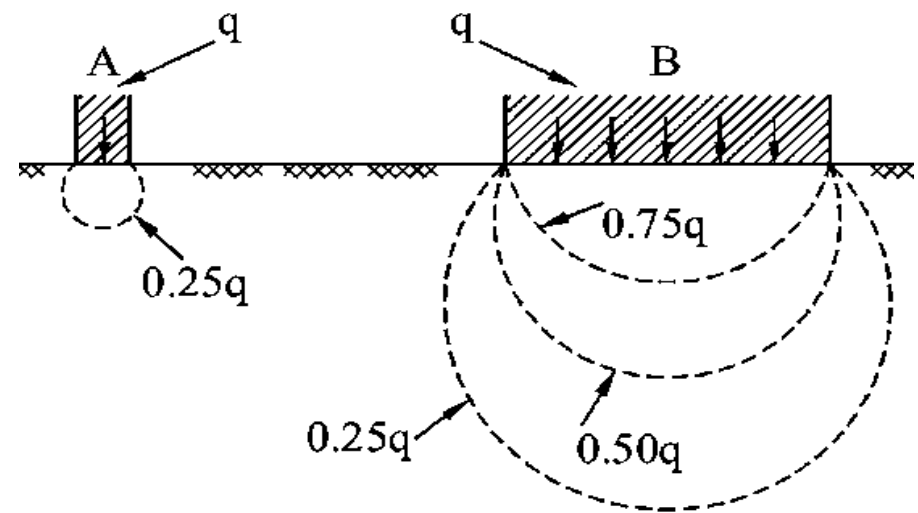
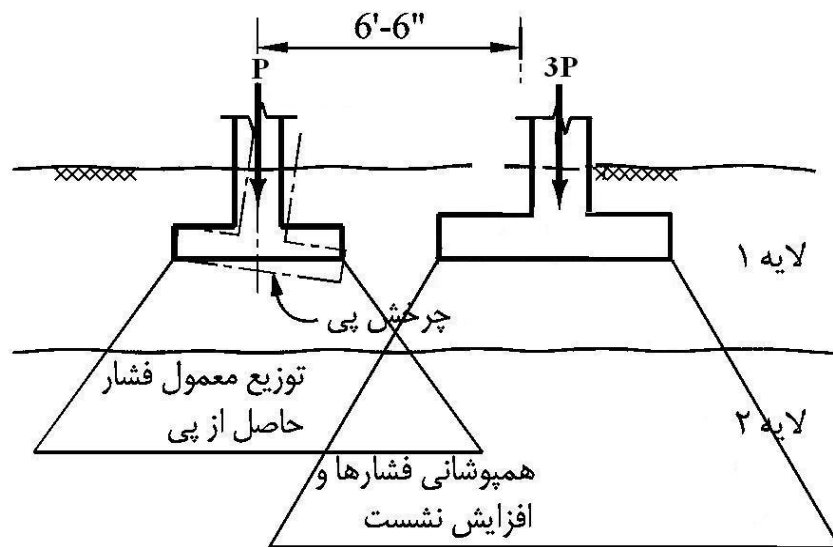


Interaction between adjacent buildings (Kempfert and Gebreselassie, 2006)



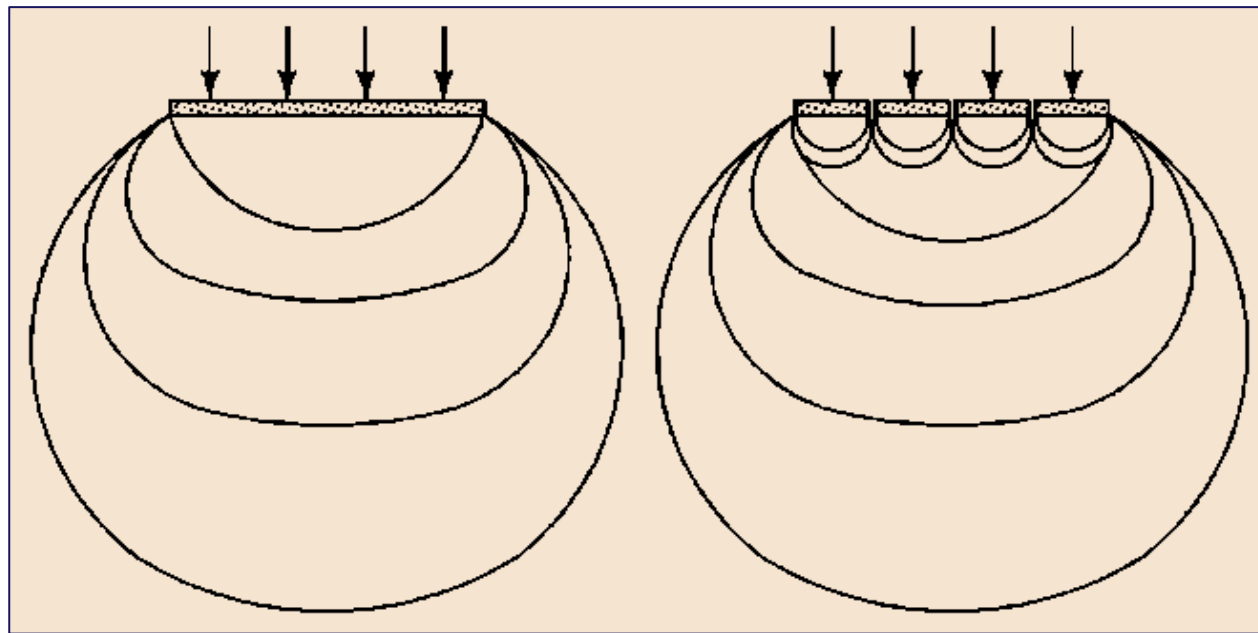
Interaction between excavation and adjacent buildings
(Korff, 2009)

نزدیکی دو پی و تداخل تنش‌ها



تجميع و تداخل پي‌هاى تک: راديه معادل

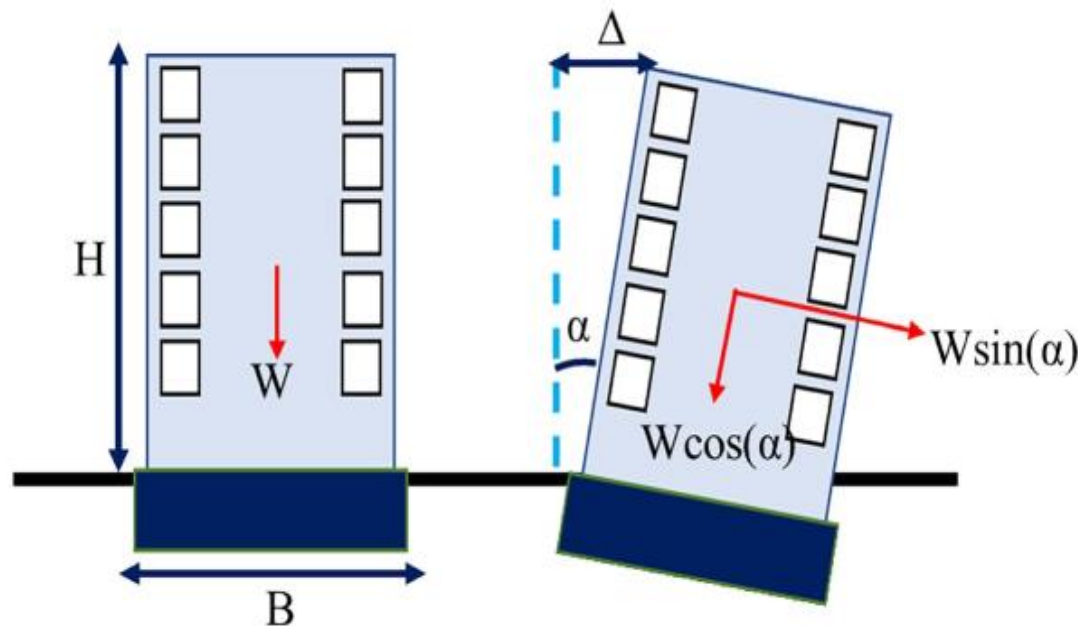
مجاورت و نزديكى پي‌هاى منفرد مجاور هم مى‌تواند همانند يك پي گسترده عمل نمايد.



(پی گسترده)

(چند پی منفرد)

لنگرهای محرک القایی بر اثر کجی

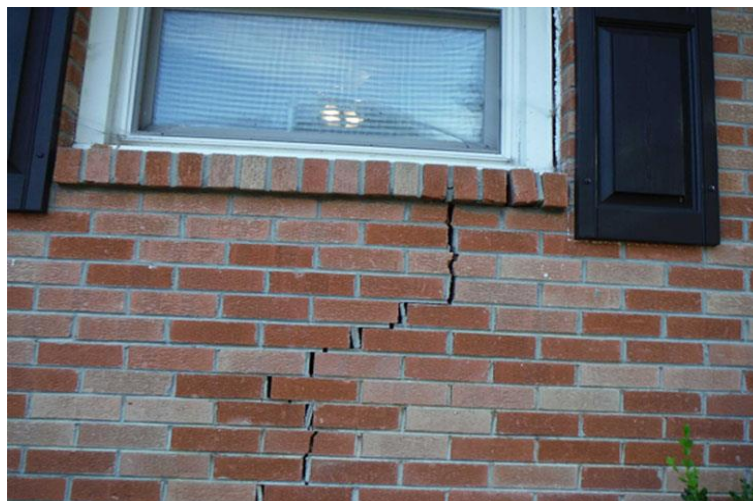


$$\Delta_{\max} = H \cdot \sin(\alpha)$$

$$M_o = W \cdot \sin(\alpha) \cdot \frac{H}{2}$$

Schematic building rotation with resistance and overturning forces due to weight (Eslami et al., 2022)

عوارض سازه‌ای و معماری ساختمان‌های هم‌جوار



موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۱- سیلوهای مجاور

موقعیت: وینیپگ، کانادا

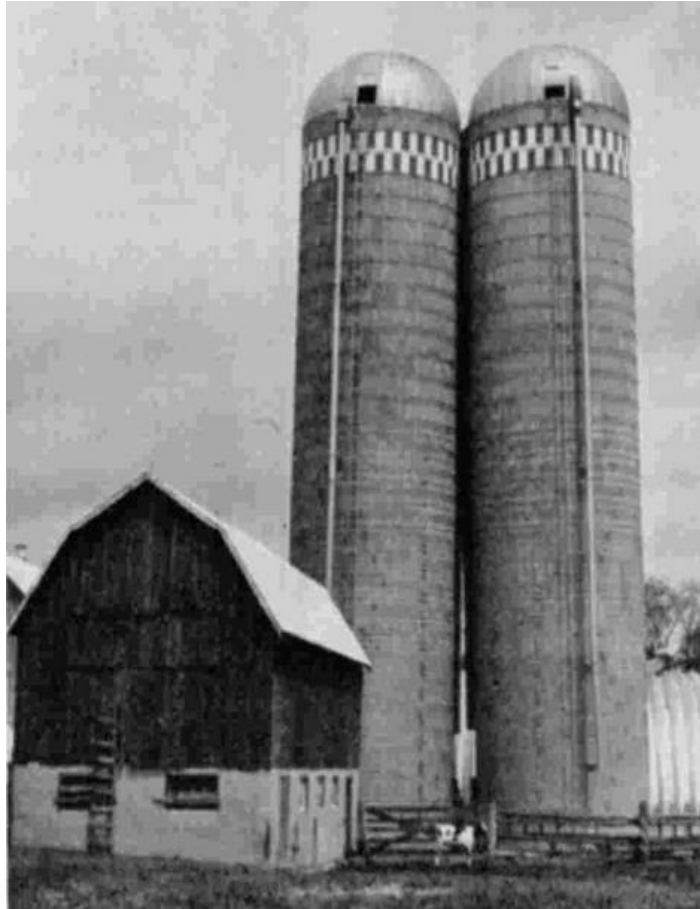
خاک: رس رودخانه‌ای Agassiz

خسارت:

- چرخش سیلوها
- تخریب

جزئیات:

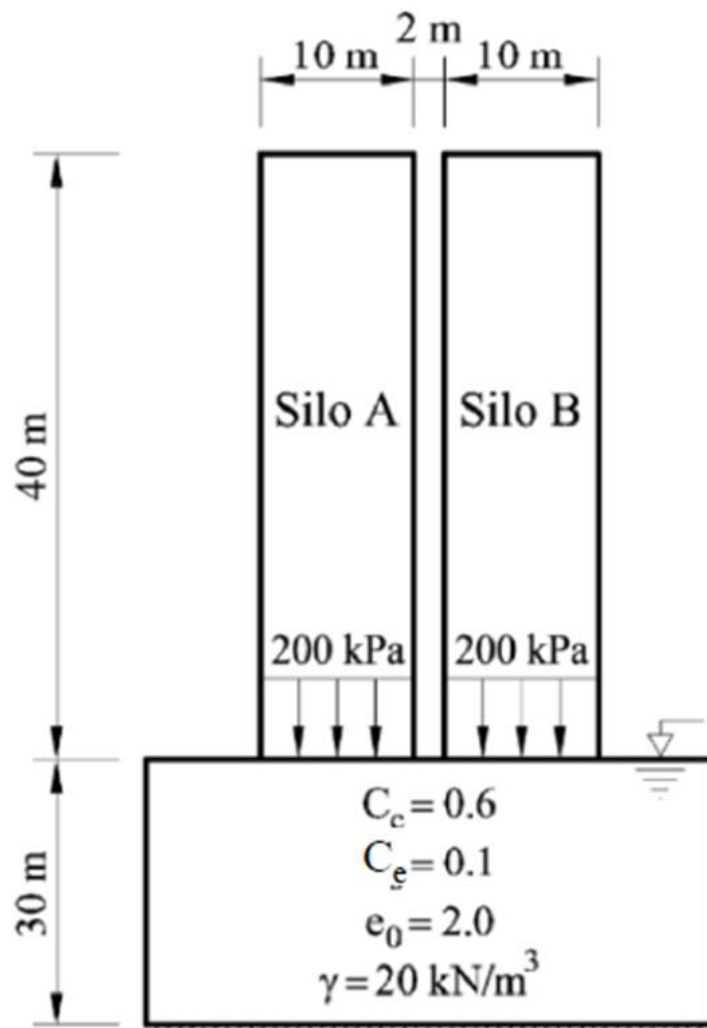
- ارتفاع سازه ۴۰ متر
- پی دایروی به قطر ۱۰ متر



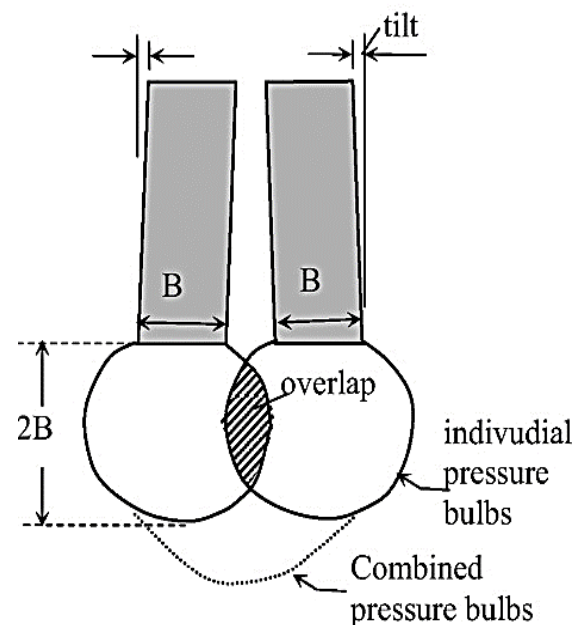
کج شدگی سیلوها (Bozozuk, 1976)

موارد همجوار سازی پروژه ها

۱- سیلوهای مجاور



- عدم مطالعات اولیه و بررسی های ژئوتکنیکی
- وجود لایه نشست پذیر سطحی
- عدم لحاظ محاسبات بارگذاری نامتقارن غلات
- عدم لحاظ محاسبات همپوشانی تنش ها

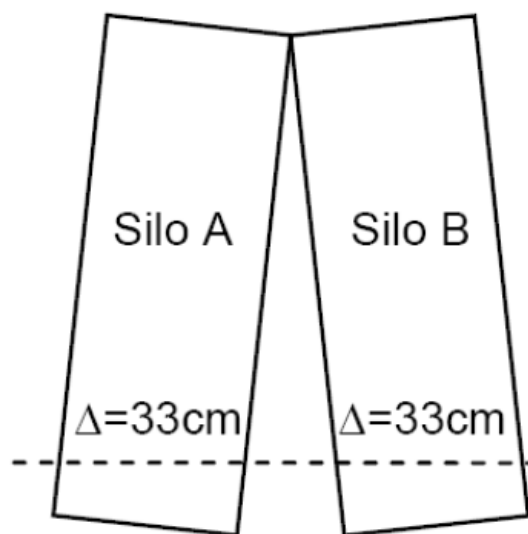


موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۱- سیلوهای مجاور

ساخت همزمان سیلوها

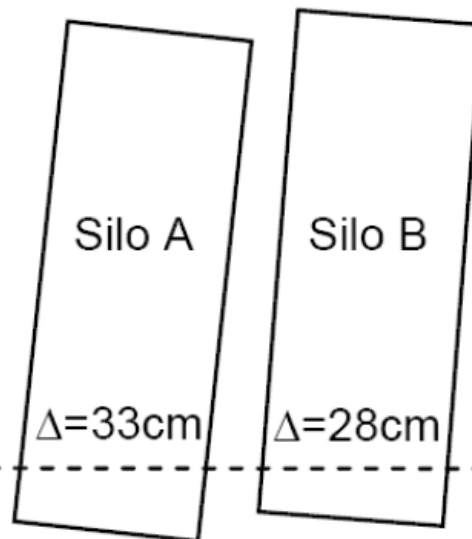
Scenario 1



Differential settlement:
33.1 cm

ساخت سیلوی B پس از
سیلو A

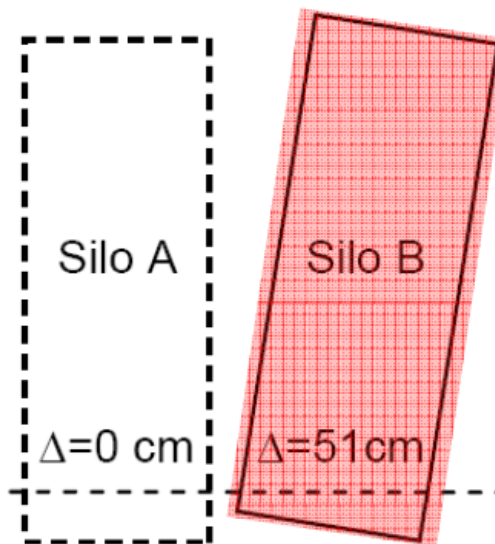
Scenario 2



Differential settlement:
28.5 cm

ساخت سیلوی B پس از
برداشتن سیلو A

Scenario 3



Differential settlement:
51.4 cm

موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۲- Millennium Tower

موقعیت: سانفرانسیسکو، آمریکا

خاک: رس نرم

خسارت:

- چرخش

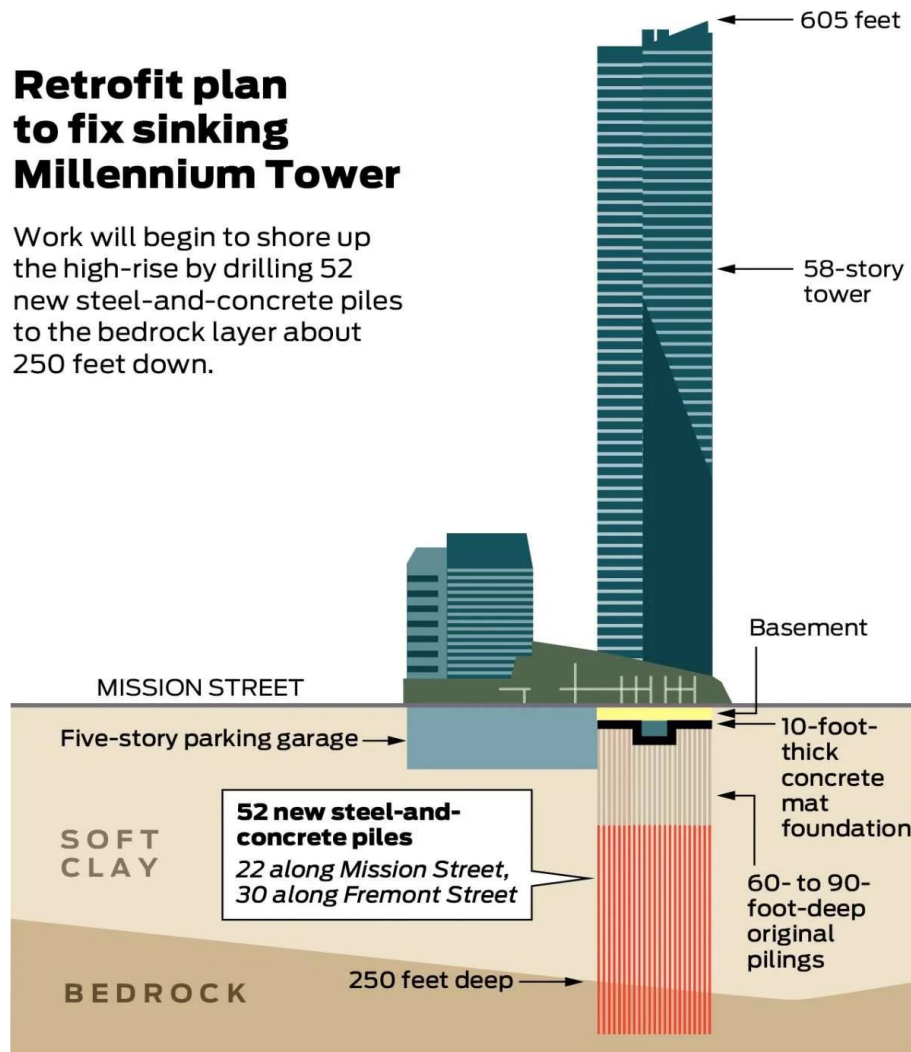
- ترک خوردگی

جزئیات:

دال بتنی ساخته شده بر روی شمع‌های
اصطکاکی به طول ۱۸ تا ۲۷ متر

راهکار تقویت:

نصب ۵۲ شمع در امتداد ضلع شمالی و غربی
برج به طول ۷۶/۲ متر



موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۲- Millennium Tower

Sink (cm)	Tilt (cm)	سال
41	15	2016
46	36	2018
*	71	2022

رخ دادن ترک در فونداسیون و سنگ فرش اطراف برج:

- کج شدن (Tilting)
- غرق شدن (Sinking)



موارد همجوارسازی پروژه‌ها

Case Study



ASCE

Millennium Tower – ۲

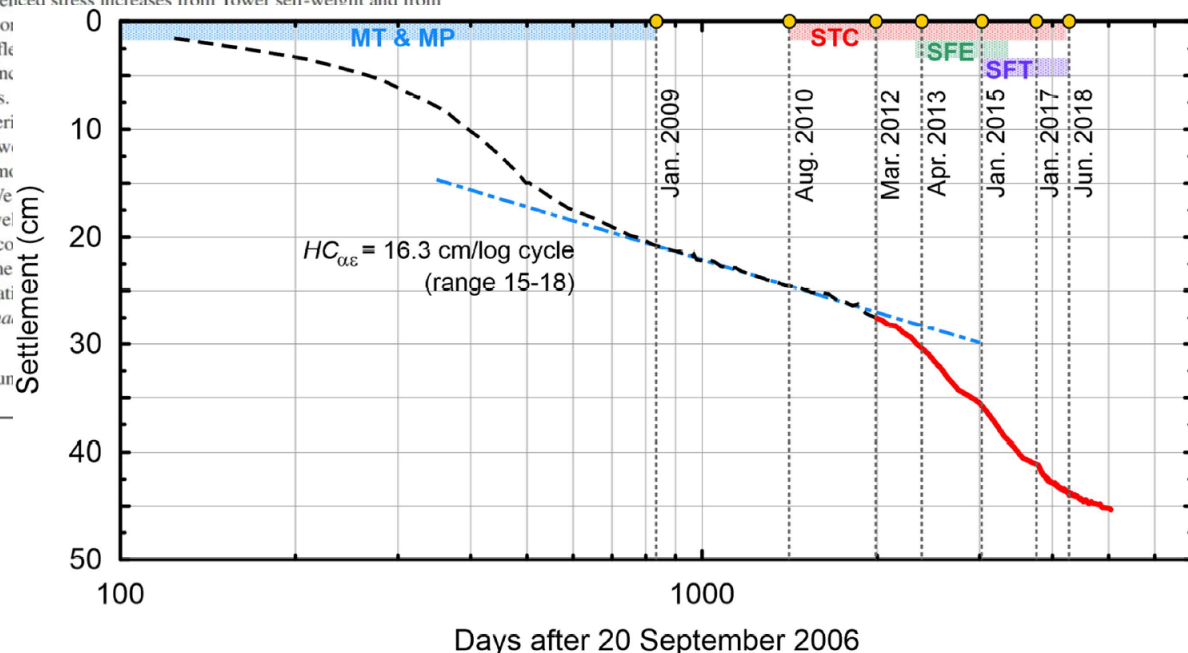
Foundation Settlement and Tilt of Millennium Tower in San Francisco, California

Jonathan P. Stewart, F.ASCE¹; Nathaniel Wagner, M.ASCE²;
Debra Murphy, M.ASCE³; Jeremy Butkovich, M.ASCE⁴;
Micaela Largent, M.ASCE⁵; Hamid Nouri, M.ASCE⁶;
Hannah Curran, M.ASCE⁷; Darcie Maffioli, M.ASCE⁸;
and John A. Egan, M.ASCE⁹

Abstract: The Millennium Tower is a 58-story reinforced concrete building that was constructed in San Francisco, California, between 2005 and 2009. The Tower is founded on an embedded pile-supported mat with pile tips bearing in dense marine deposits that overlie an over-consolidated marine clay layer known locally as Old Bay clay. This clay layer experienced stress increases from Tower self-weight and from multiple episodes of dewatering between 2006 and 2018 at the Tower site and neighbor settlements of the Tower foundation have been measured since 2006, and lateral deflection since 2009. The data show that during multiple episodes of “loading” (from stress increase and then gradually slowed over time, as expected from consolidation principles. (1) accelerated following foundation construction activities at adjacent sites (dewatering excavations, which at various times occurred to the project south, north, east, and west) we describe this case history, including the geotechnical site conditions and results of a mat Tower tilt, groundwater levels at the Tower site, and ground inclinations over time. We produced the movements. We find that settlement amounts and time variations are well accounted for by analyses of volume change in Old Bay clay and other foundation soils from primary and secondary time variations of stress increase and groundwater level are accounted for. Three-dimensional deflections, which were caused by volume change and shear deformations in foundation from adjacent excavations. DOI: [10.1061/JGGEFK.GTENG-10244](https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-10244). This work is made available under a CC BY 4.0 International license, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Author keywords: Millennium Tower, San Francisco, CA; Field monitoring; Foundation settlement; Consolidation; Secondary compression.

Foundation settlement with respect to log time (Stewart et al., 2023)



موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۳- ساختمان‌های Santos

موقعیت: Santos، برزیل

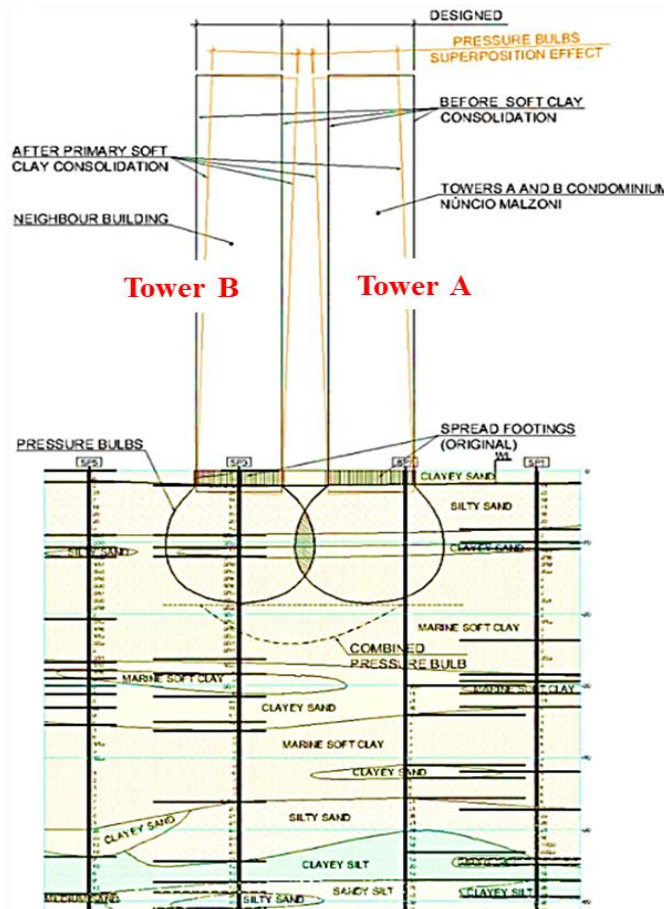
خاک: ماسه و رس دریایی

خسارت:

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

جزئیات:

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

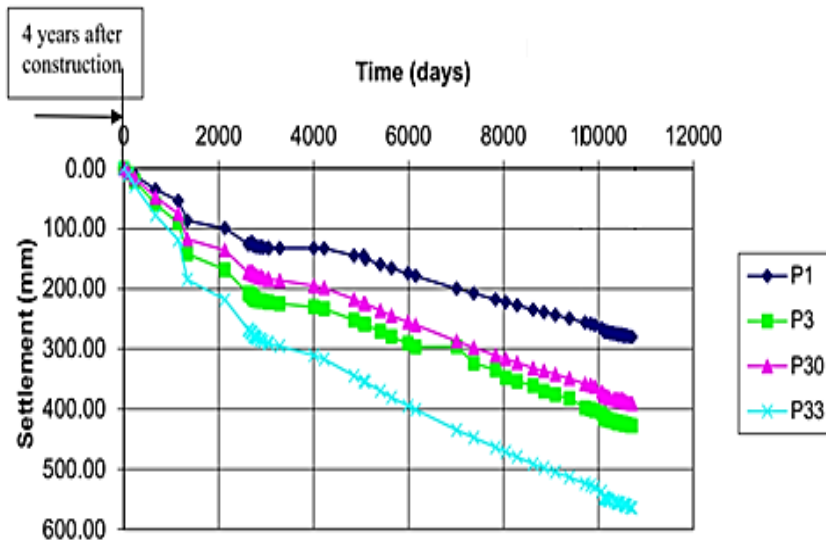


Subsoil profile
(Pimenta et al., 1998)

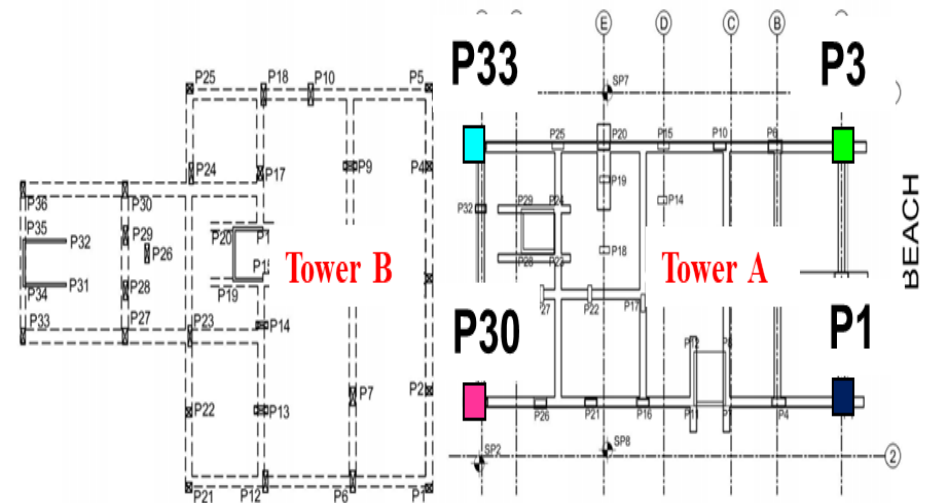


موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۳- ساختمان‌های Santos



Evolution of settlement along the time—
Tower A



The plan of Nuncio Malzoni Condominium
and pillars
(Pimenta et al., 1998)

موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۴- ساختمان‌های مسکونی همجوار: استان مازندران

موقعیت: استان مازندران، ایران

خاک:

لایه رس غرقابی با ضخامت متوسط ۳ متر
ماسه رسوبی رودخانه‌ای در عمق ۴-۶ متر

خسارت:

- ترک خوردگی نما و دیوارها
- کاهش سرویس دهی

جزئیات:

ساختمان ۳ و ۴ طبقه



موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۵- ساختمان‌های مسکونی همجوار: استان گیلان

موقعیت: استان گیلان، ایران

خاک: رس

خسارت:

- ترک خوردگی نما و دیوارها

- کاهش سرویس دهی

- کجی و چرخش قابل ملاحظه

جزئیات:

ساختمان ۴ طبقه موجود در مجاورت ساختمان ۶ طبقه جدید



Elevation of two adjacent buildings
(Marseh et al., 2013)



Adjacency damages (Marseh et al., 2013)

موارد همجوارسازی پروژه‌ها

۶- ساختمان‌های مسکونی همجوار: استان 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



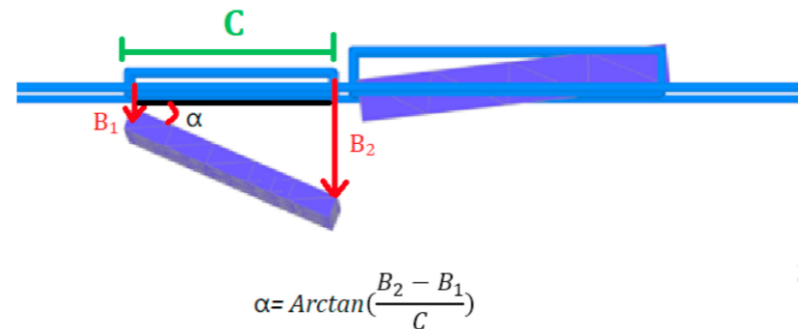
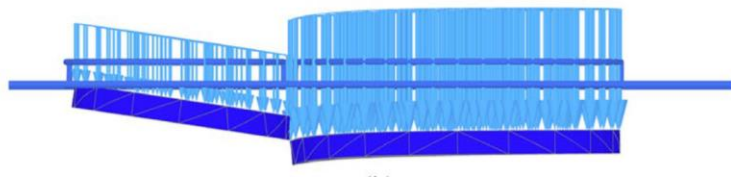
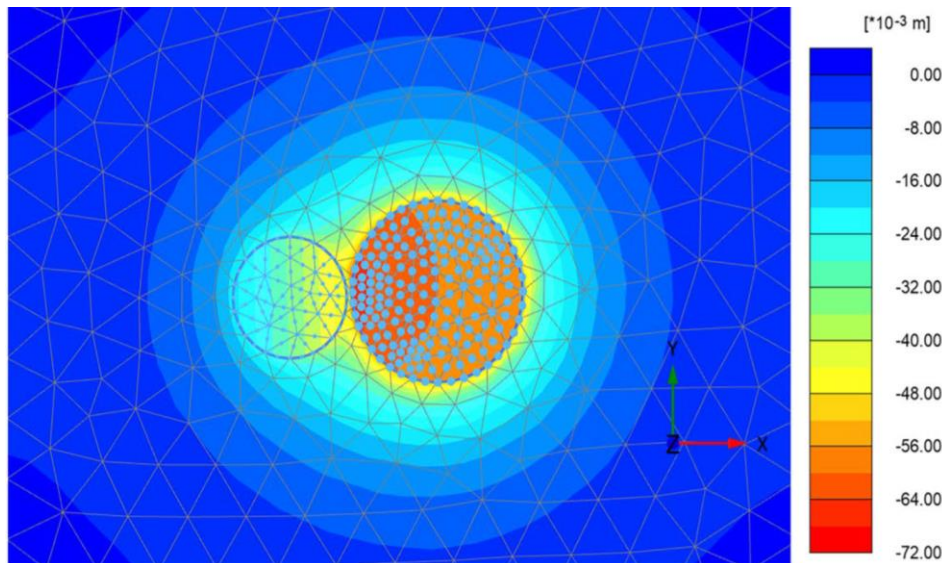
موارد عملی

ردیف	نام پروژه	مشخصات	علت عوارض	راه حل پیشنهادی
۱	سیلوهای مجاور کانادا	سال ساخت ۱۹۱۳، متر نشست پس از بارگذاری	بارهای سنگین سیلو و قرار گرفتن آن‌ها بر روی خاک رس اشباع	استفاده از ستون سنگی، برداشت و جایگزینی خاک، شمع یا بهسازی عمیق برای دستیابی به لایه‌ای مقاوم‌تر برای انتقال بار به خاک و اجرای زهکش
۲	موسسه آموزشی اطراف تهران	۴ طبقه	احداث بر روی خاکریز غیرمتقارن و مجاورت شیب	متراکم‌سازی و تثبیت خاک دستی و در عمق زیاد خاکریز با استفاده از روش‌های اصلاحی مانند جت تزریق باعث افزایش مقاومت خاک به انضمام حائل‌سازی
۳	ساختمان‌های مسکونی مازندران	سه تا ۴ طبقه	مجاورت زمین‌های کشاورزی و دائماً اشباع و وجود رس‌های خیلی نرم	اجرای ستون سنگی و ریزشمع یا شمع پیچشی پره‌ای، پی چاهی
۴	برج‌های Santos	۱۷ طبقه	ساختمان‌های نسبتاً سنگین (بالای ۱۵ طبقه) استقرار بر روی نهشته ساحلی	به جای پی کم عمق از یک پی عمیق مانند جت، DSM، استفاده کرد. (در عمل مهندسان از شمع‌های درجاریز برای کاهش چرخش استفاده کردند).
۵	ساختمان مسکونی گیلان	۶ تا ۸ طبقه	لایه رس محدود و نشست تحکیمی، بارگذاری نامتقارن راه پله و دیوار برشی	اجرای زهکش، پی چاهی نیمه‌عمیق، ریزشمع یا شمع پیچشی پره‌ای به منظور عبور از لایه نرم
۶	برج Millenium در سانفرانسیسکو	۵۸ طبقه، حدود نیم متر نشست	احداث بر روی خاک رس نرم	استفاده از پی عمیق (در عمل مهندسان با نصب ۵۲ شمع در امتداد ضلع شمالی و غربی از نشست غیریکنواخت بیشتر جلوگیری کردند).
۷	ساختمان‌های مسکونی گلستان	۴ طبقه	احداث بر روی خاک رس و لای	استفاده از پی عمیق و بهسازی
۸	کلیساهای مکزیکوسیتی	نشست حدود ۲/۴ متر	وجود بناهای سنگین و نهشته آتش‌فشانی آبدار و نرم	تلفیق شناورسازی و پی عمیق؛ در عمل ۱۵۰۰ شمع به فونداسیون اضافه نمودند.

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

انواع روش‌های مطالعه در زمینه همجوارسازی

- مطالعات تحلیلی و نظری
- مشاهدات میدانی و تحلیل برگشتی
- مدلسازی فیزیکی و آزمایشگاهی
- مدلسازی عددی
- تحقیقات آماری و محاسبات نرم



مطالعات تجربی

Physical Modeling An Intermediate Solution Between Element Testing & Full Scale

Physical Modeling Approaches

نمونه مدل فیزیکی

High Stress

1g



Geotechnical Centrifuge



Calibration Chamber (CC)



Frustum Confining Vessel
(FCV)



1g (diameter of 1 m)



1g (diameter of 0.6 m)

مطالعات تجربی

دستگاه 1g ساخته شده

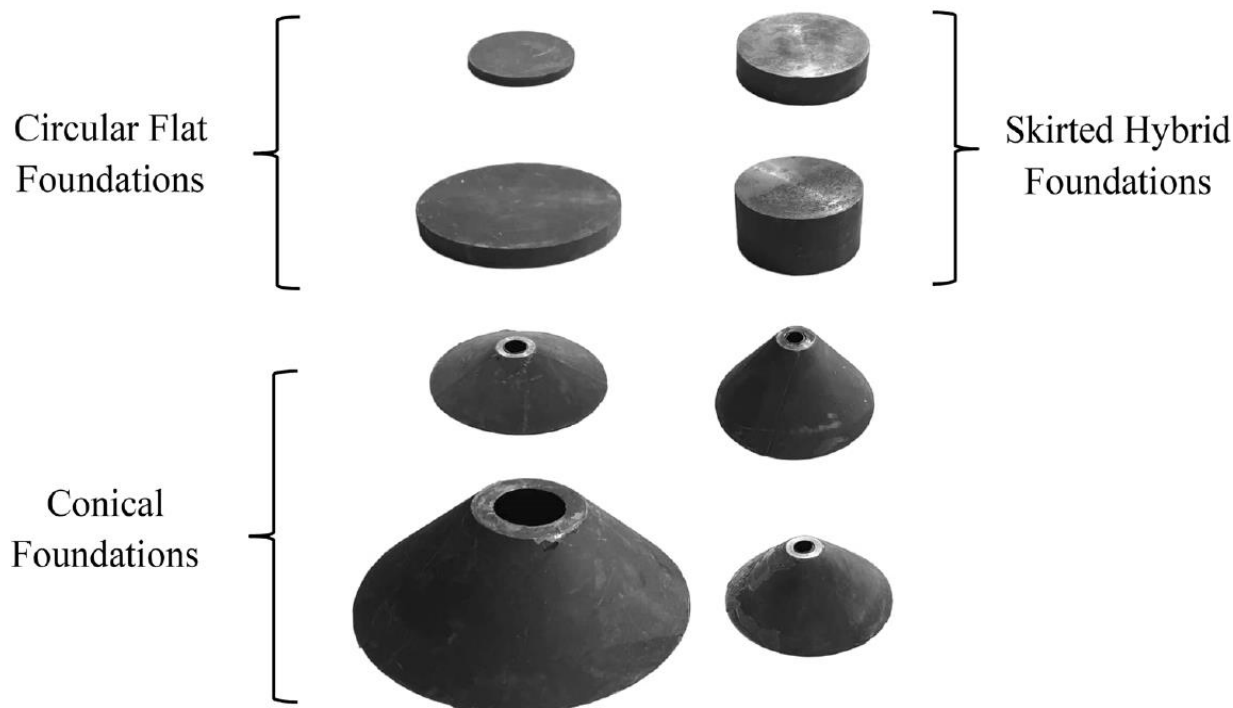
- قطر برابر ۱ متر
- ارتفاع برابر ۱ متر
- ضخامت بدنه برابر ۱ سانتیمتر
- بدنه دارای مقاومت کافی از نظر تغییر شکل در برابر بارگذاری



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

مطالعات تجربی

پی‌های مورد مطالعه



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



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

**Model shell and skirted foundations
(Tadayon et al., 2022)**

مطالعات تجربی

خاک‌های مطالعه شده



۱- خاک دستی

۲- لس گلستان

۳- رس

۴- ماسه (بابلسر)



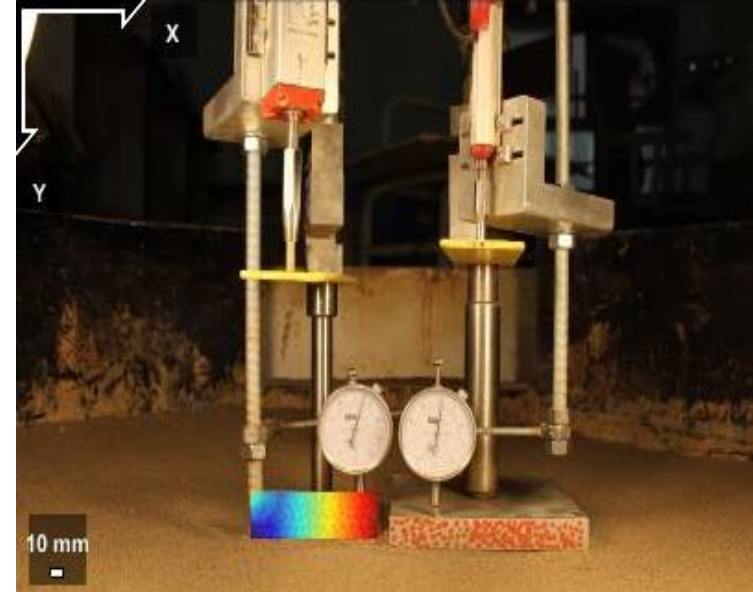
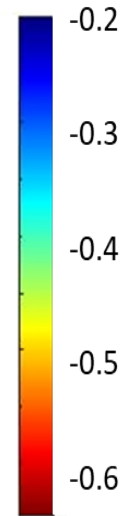
مطالعات تجربی

نمونه خروجی پردازش تصویر: جابجایی کل پی موجود



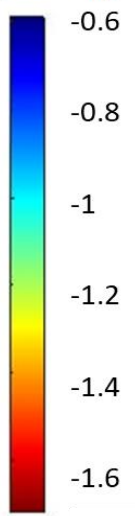
Fill

[*10⁻³ m]



Sand

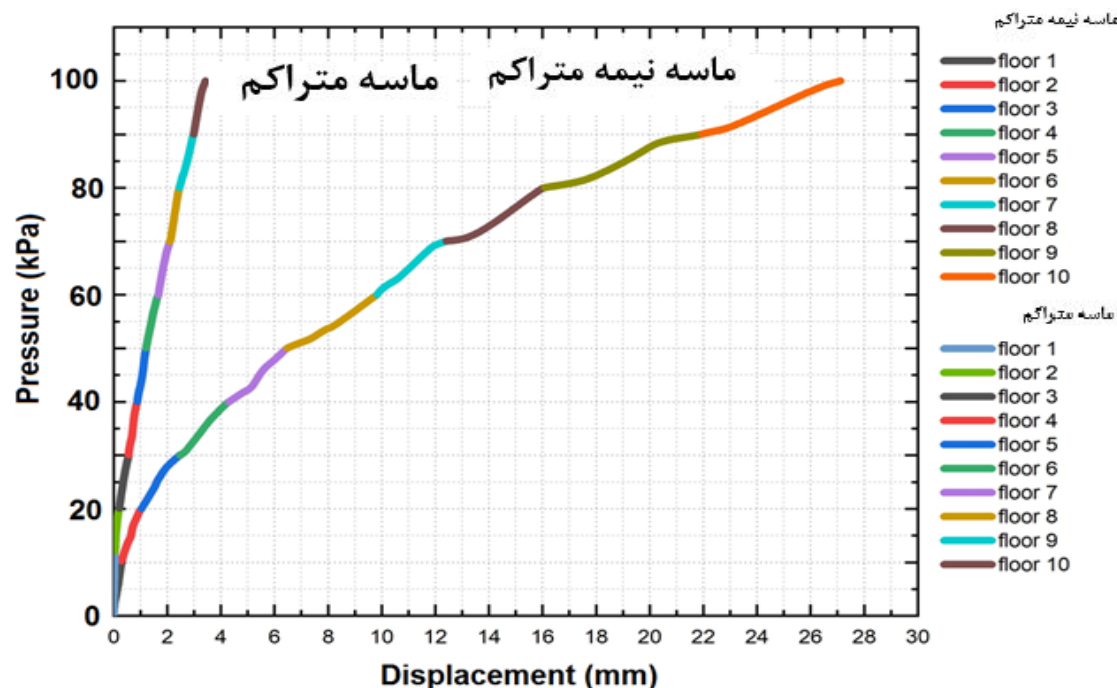
[*10⁻³ m]



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم ماسه بر میزان نشست

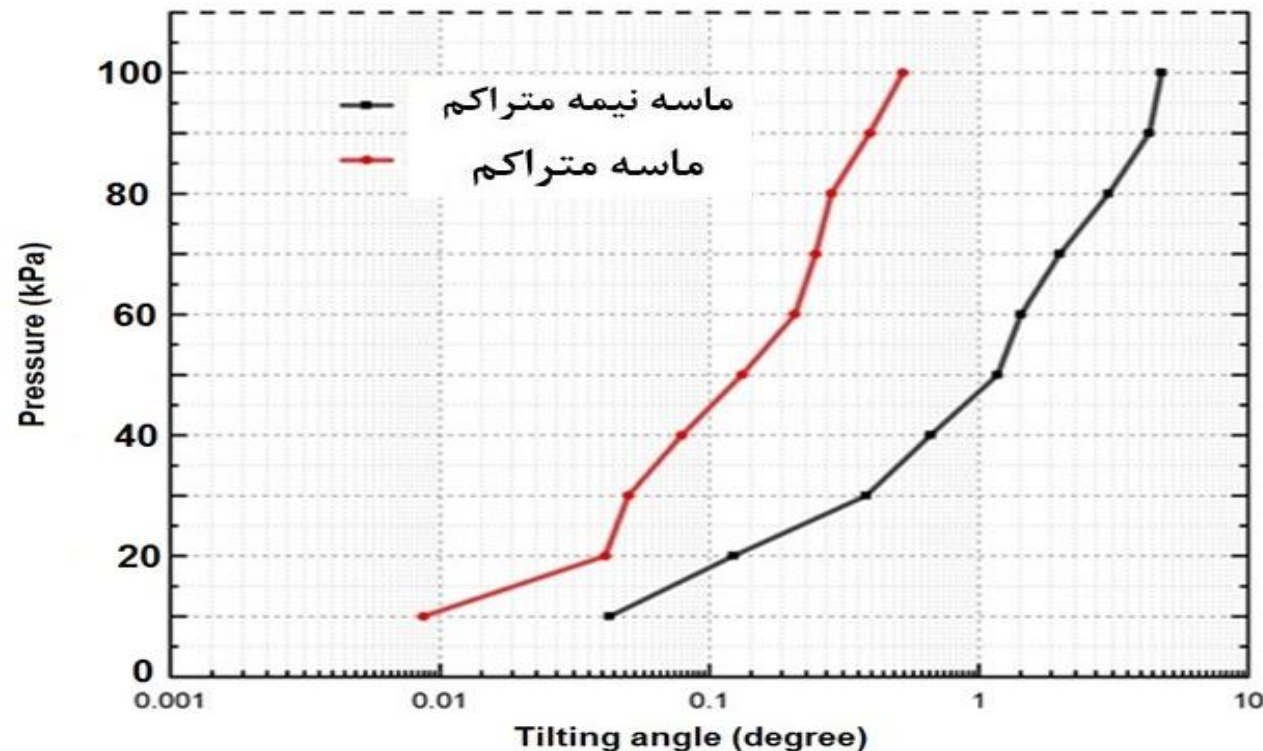
- نشست در خاک با تراکم متوسط: حدود ۲۷ میلی متر
- نشست در خاک متراکم: حدود ۳/۵ میلی متر
- نشست در خاک با تراکم کم در حدود ۷/۷ برابر نشست در خاک متراکم



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم ماسه بر میزان کج شدگی

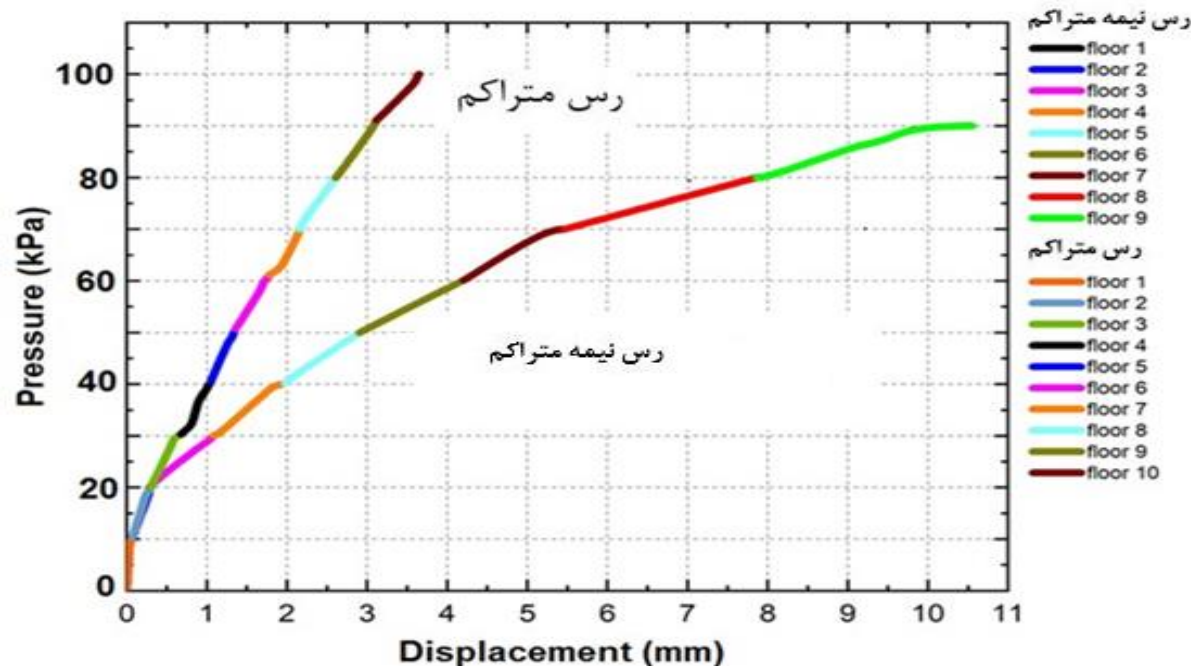
- کج شدگی در خاک ماسه‌ای نیمه متراکم: 8°
- کج شدگی در خاک ماسه‌ای متراکم: حدود $9^\circ/0$



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم رس بر میزان نشست

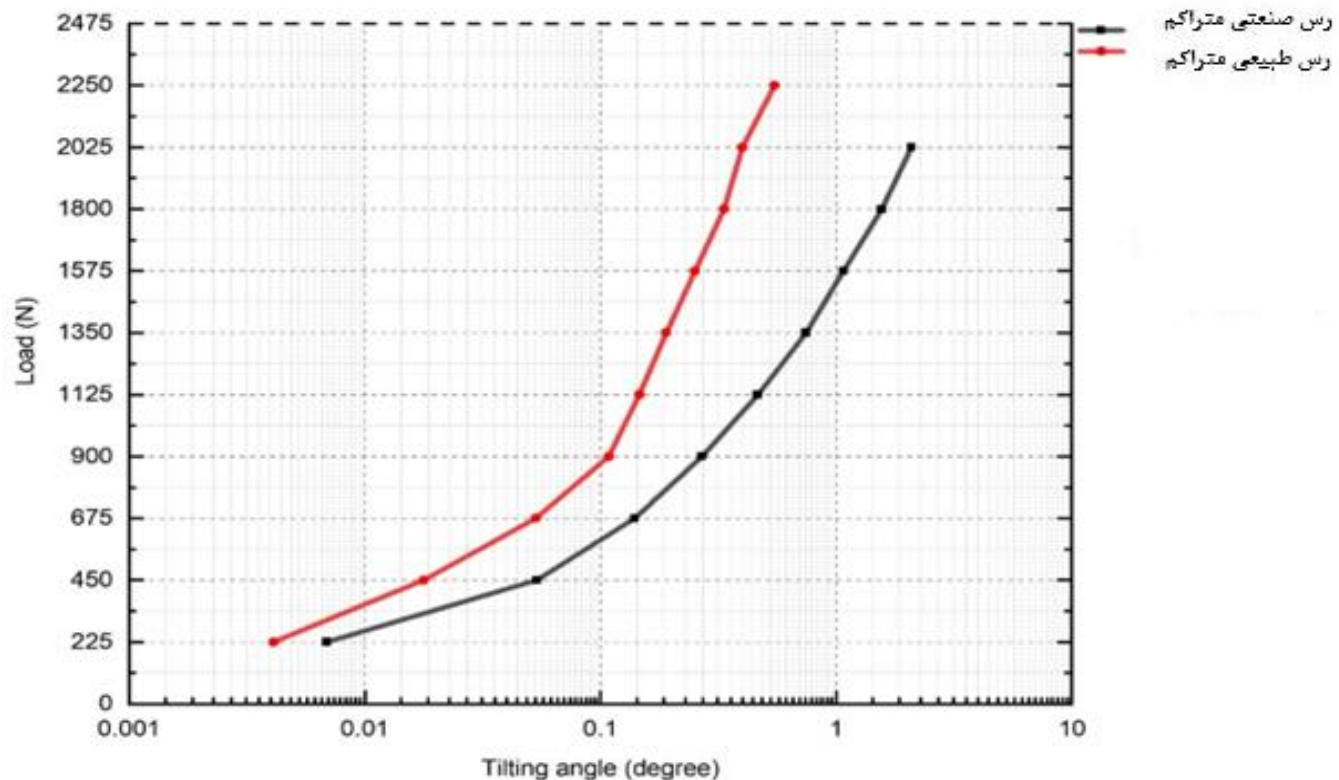
- نشست در خاک با تراکم کم: حدود ۱۱ میلی متر
- نشست در خاک متراکم: حدود ۴ میلی متر
- نشست در خاک با تراکم کم در حدود ۲/۸ برابر نشست در خاک متراکم



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم و نوع رس بر میزان کج شدگی

- کج شدگی در خاک با تراکم بالا: $0/8^\circ$
- کج شدگی در خاک با تراکم کم تر: حدود $2/5^\circ$



مطالعات تجربی

بررسی اثر مقیاس (Scale Up)

برای خاک صرفاً چسبنده:

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

 S_P = نشست صفحه S_F = نشست فونداسیون B_P = بعد صفحه B_F = بعد فونداسیون

برای خاک ماسه‌ای:

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

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	نیمه متراکم	۴	۷/۲
	متراکم	۱	۹/۳
ریزدانه	نیمه متراکم	۲	۲۰۰
	متراکم	۱	۱۰۰

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

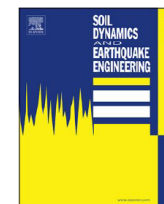
نوع خاک	تراکم	مقدار نشست مدلسازی فیزیکی (mm)	مقدار نشست پی به ابعاد واقعی (mm)
ماسه	نیمه متراکم	۲۷	۸/۱
	متراکم	۴/۳	۳/۱
ریزدانه	نیمه متراکم	۵/۱	۱۰۵۰
	متراکم	۶/۳	۳۶۰



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Soil Dynamics and Earthquake Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soildyn

Assessment of adjacent foundations consequences and solutions for remediation via physical modeling

Hassan Moghadasi, Abolfazl Eslami*, Davood Akbarimehr, Sajjad Asgari

Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, 15916, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Adjacent foundations
Physical modeling
Problematic soils
Ground modification
Image processing

ABSTRACT

In modern construction projects, a significant challenge arises from the consequential impacts of developing adjacent structures. The interplay of stresses within neighboring foundations can lead to a range of issues, such as deformation, leaning, cracking, instability, and various other damages. Among the numerous factors affecting foundation interaction, this research uniquely focuses on the impact of soil type, utilizing precise physical modeling through a 1 g testing apparatus. To enhance measurement accuracy, image processing techniques are employed in conjunction with LVDT and displacement gauges. The study systematically investigated the roles of five distinct deposit types—soft clay, loose sand, silty sand, loess, and low-compacted Tehran clay—in the manifestation of settlement and tilt arising from foundation adjacency. Subsequent to this evaluation, a comprehensive examination of strategic measures aimed at preventing and mitigating damages resulting from foundation interaction is undertaken. For silty sand, a detailed comparison of five remediation techniques is conducted, while in other soil types, only densification method is applied to address settlement and tilt. The comparison is based on the reduction in settlement and tilt, after the implementation of remediation methods under new foundation. Results highlight the crucial role of soil properties in determining damages from foundation adjacency. Notably, Tehran soil with low density exhibits maximum settlement in its loose state, while loess soil shows the highest settlement in the dense state. The exploration of soil improvement methods reveals that diaphragm walls and pile groups are influential in minimizing tilt and settlement of existing foundations, while pile groups proved to be the best remediation method in controlling displacements of new foundation.

روش های جلوگیری و علاج بخشی

الف) ساختمان موجود

- لزوم ارزیابی وضع موجود و لحاظ در برنامه مطالعات
- بررسی نوع اسکلت و شرایط ساخت
- شناسایی نوع پی و شالوده
- ملاحظات ترمیم و نگهداری در راستای اجرای ساختمان جدید

ب) ساختمان جدید

- روش بهسازی
 - ✓ متراکم سازی
 - ✓ تثبیت فیزیکی و شیمیایی
 - ✓ زهکشی
 - ✓ خاکبرداری و عملکرد پی شناور
 - ✓ مسلح سازی

- روش پی سازی
 - ✓ پی عمیق
 - ✓ پی نیمه عمیق: جعبه ای
 - ✓ ایجاد اختلاف رقوم در پی قدیم و جدید

- روش جداسازی ← ✓ دیوار دیافراگمی و یا ساخت بالا به پایین (Top-Down)

روش های جلوگیری و علاج بخشی

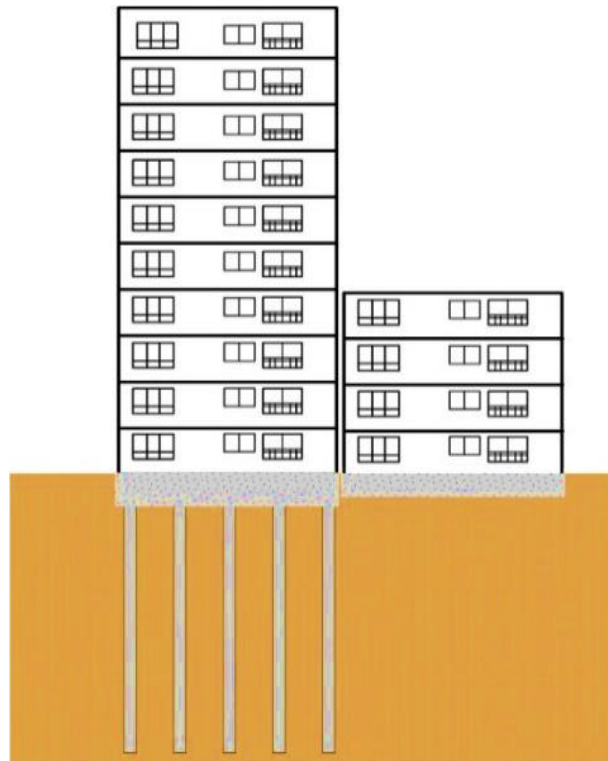
بهسازی خاک

بیش از ۵۰ روش بهسازی وجود دارد که می توان آن ها را به ۵ کلاس عمده زیر تقسیم نمود:

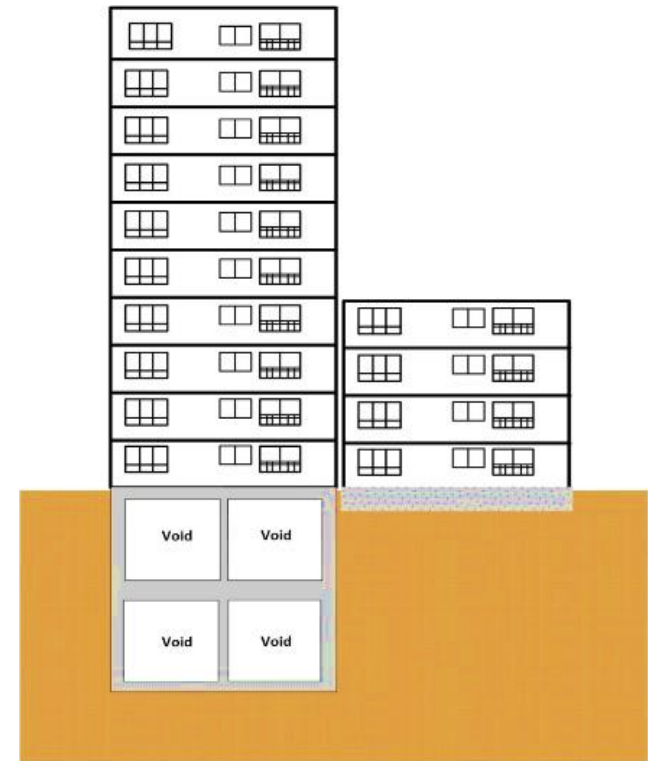


روش های جلوگیری و علاج بخشی

پی سازی: نیمه عمیق و عمیق



Deep Foundation



**Semi-Deep/
Box Foundation**

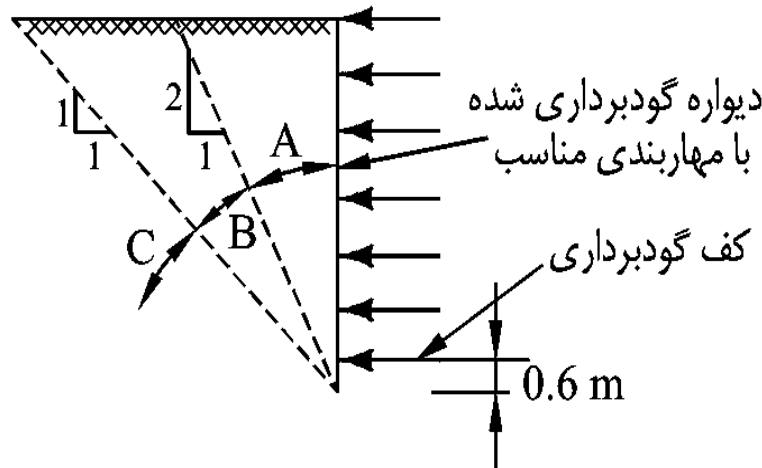
روش های جلوگیری و علاج بخشی

جداسازی

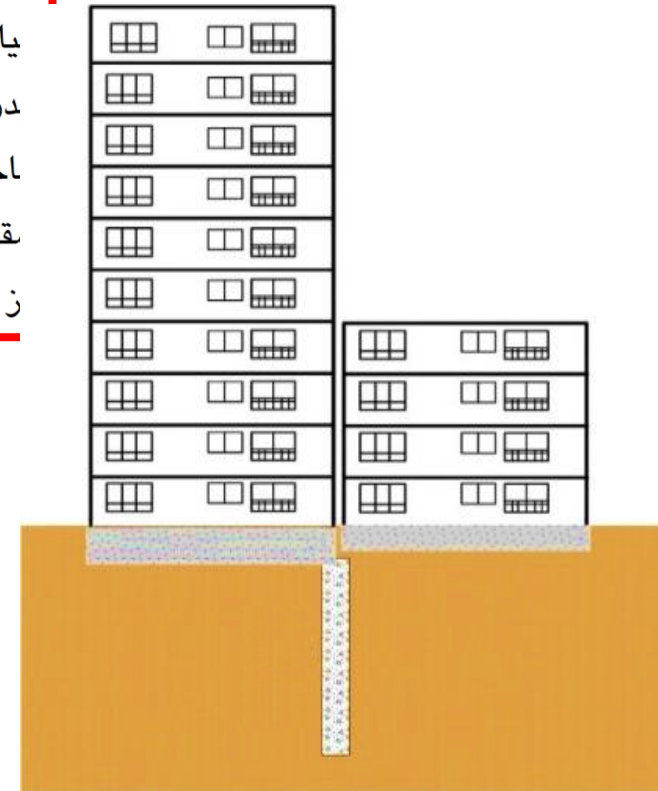
ناحیه A: فونداسیونها در این ناحیه معمولاً نیاز به تقویت از زیر دارند.

ناحیه B: فونداسیونهای متکی در این ناحیه بسته به نوع سازه، شرایط بارگذاری ممکن است نیاز به تقویت از زیر داشته باشند. فشارهای افقی و قائم بر دیواره گود ناشی از پی های دون تقویت از زیر باید ملاحظه شوند.

ناحیه C: فونداسیونهای متکی بر این ناحیه نیازی به مقاوم سازی از زیر نداشته، ولی مقاوم سازی فونداسیونهای دیگر نواحی غالباً باید به این ناحیه منتهی شود. فشارهای افقی از عناصر مقاوم کننده پی ها معمولاً ملاحظه نمی شود.



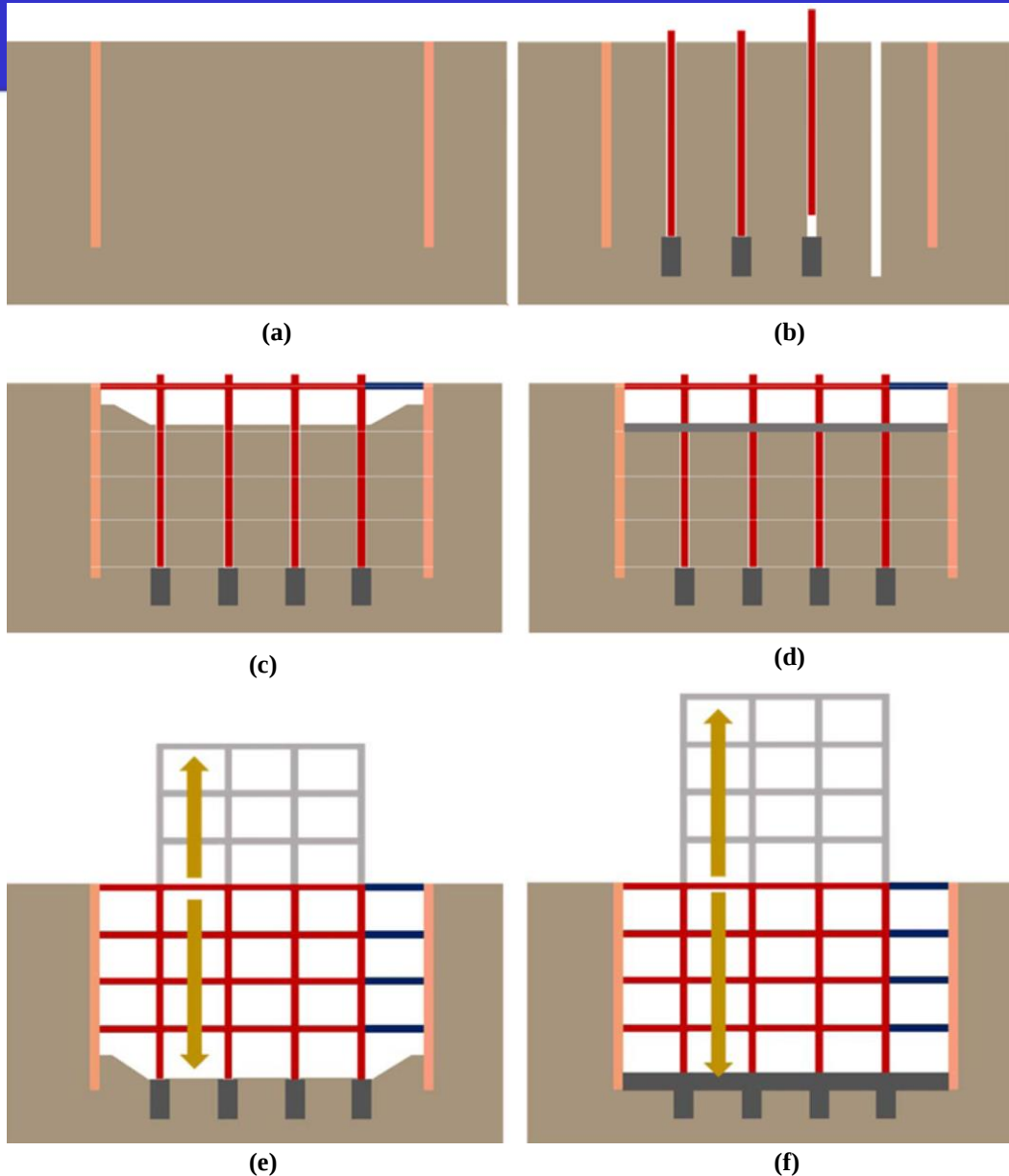
تقسیم بندی بستر ابنیه مجاور نواحی گودبرداری شده جهت مقاوم سازی در زیر فونداسیون های مجاور (CFEM, 2006)



**Diaphragm Wall
(Detention Wall)**

روش های جلوگیری و علاج بخشی

ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top-Down Construction)



Schematic of top-down construction process: a) Installation of retaining walls, b) Installation of columns, c) Excavation of 1st basement level, d) Construction of 1st basement level slab, e) Simultaneous construction, f) Construction of base footing (Jeong & Kim, 2018)

روش های جلوگیری و علاج بخشی

ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top-Down Construction)

مزایا:

- اجرای همزمان روسازه و زیرسازه
- کنترل جابجایی ها و حذف معضلات ناپایداری حین گودبرداری
- رفع معضلات پایدارسازی در ارتباط با حریم زمین همسایه
- حداقل نمودن مشکلات ترافیکی و تردد ناشی از تجهیزات و ماشین آلات
- کاهش گرد و غبار ناشی از ساخت و حذف مشکلات زیست محیطی
- عملکرد سیستم پی جعبه ای به عنوان فونداسیون نیمه عمیق
- طراحی بهینه با تلفیق روسازه و زیرسازه (حائل زیرزمین و دیواربرشی، شمع و ستون)
- ۷۰٪ سرعت بیشتر در اجرا، ۳۰٪ هزینه کمتر

❖ فاکتورهای دخیل در عوارض همجوارسازی:

❖ Dominant Factors in Adjacency Complications:

- سازه و شرایط بارگذاری
- شرایط شالوده: نوع خاک، شرایط تراکم و قوام
- **فونداسیون های موجود و جدید**
- شرایط مجاور و پیرامونی: سازه های همجوار و مستحدثات
- شرایط آبی:
- تغییرات آب زیرزمینی، بارهای غیرمنتظره، حفر تونل، گودبرداری و فرونشست

❖ ملزومات اصلی طراحی پی:

❖ Major Design Requirements:

- تعیین ظرفیت باربری
- تخمین نشست
- طراحی سازه ای
- بار-جابجایی
- کنترل پایداری ← **✓ عمق استقرار**
- شاخص های اجرایی و اقتصادی

❖ جلوگیری و علاج بخشی:

• ساختمان موجود:

- ✓ اهمیت مطالعات ژئوتکنیک در سطح
- ✓ بررسی نوع ساخت و اسکلت
- ✓ در نظر گرفتن اهمیت و عمر سازه
- ✓ ملاحظات ترمیم و تقویت روسازه و زیرسازه

• ساختمان جدید:

- ✓ بهسازی: لحاظ روش بهینه بهسازی خاک مسئله دار
- ✓ پی سازی: انتخاب بهینه سیستم فونداسیون عمیق یا نیمه عمیق
- ✓ جداسازی: سیستم جداکننده زیرسازه (دیافراگم و یا Top-Down)

New Realities, New Rules.

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

Advanced Foundation Engineering;

Principles, Performance & Prospect

By:

Dr. Moses Karakouzan

Dr. Abolfazl Eslami

[Link](#)

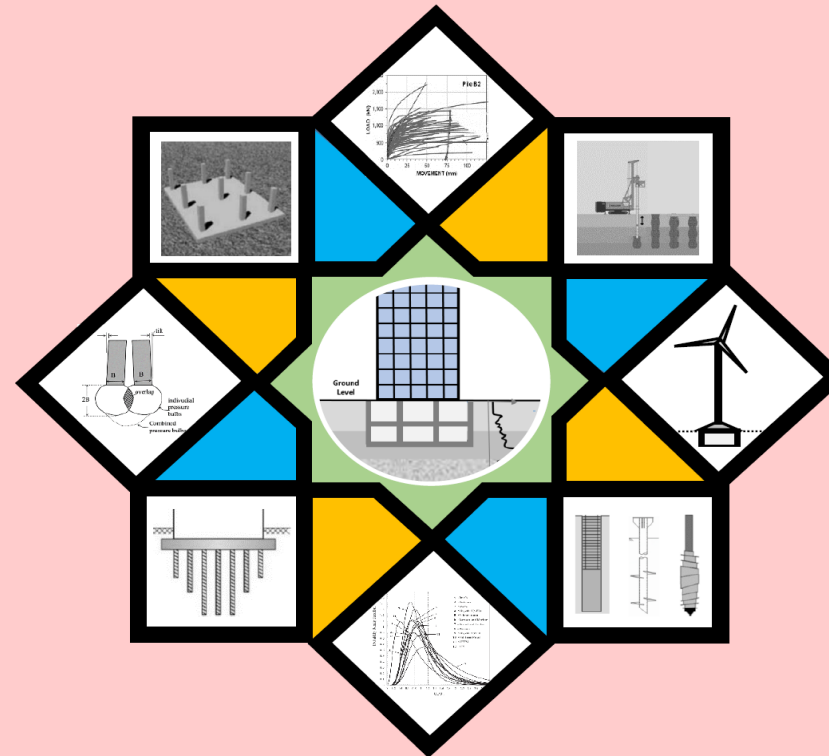
چشم انداز

مباحث شاخص و بارز

Issues & Novel Points

- نگرش نوین در طبقه بندی پی
- پی های خاص
- فونداسیون بر بسترهای بهسازی شده
- کاربرد آزمایش های درجا
- پی های عمیق در شرایط خاص
- سیستم پی رادیه - مرکب
- عدم قطعیت و LRFD
- خرابی و آسیب های پی ها
- تعمیر، تقویت و استفاده مجدد
- انتخاب سیستم بهینه
- New Insight of Foundations Classification
- Special Foundations
- Foundations on Stabilized Soils
- In-Situ Tests Application
- Deep Foundations under Extreme Conditions
- Piled Raft Foundations
- Uncertainties and LRFD
- Failures & Damages of Foundations
- Foundation Repair, Retrofit & Reuse
- Optimum Foundation Selection

Advanced Foundation Engineering; Principles, Performance and Prospect



Dr. Moses Karakouzian

Dr. Abolfazl Eslami

WILEY 2024

مراجع اصلی

- اسلامی، ا.، مهندسی پی، طراحی و اجرا، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران، چاپ پنجم ۱۳۹۲
- اسلامی، ا. و سخاوتیان، ا.، مهندسی ژئوتکنیک: ج ۱: طراحی، کاربردها و مخاطرات و ج ۲: مبانی، کاوش ها و تفسیرها، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲
- Bowles, J.E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). Edited by Clark, B. J., Kimbell, K. V., & Morriss J. M.. McGraw-Hill, Singapore. doi:10.1016/0013 7952(84)90010-3.
- Budho, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3rd ed.). United States of America, John Wiley and Sons.
- Coduto, D.P., Kitch, W.A., & Yeung, M.R. (2016). *Foundation design principles and practices* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Inc.
- Das, B.M., & Sivakugan, N. (2019). *Principles of foundation engineering* (9th ed.). Boston, Cengage Learning.
- Ebrahimipour, A., & Eslami, A. (2024). Analytical study of piles behavior for marine challenging substructures. *Journal of Ocean Engineering*, 292
- Eslami, A., Moshfeghi, S., Molaabasi, H., & Eslami, M. (2020). *Piezocone and Cone Penetration Test (CPTu and CPT) Applications in Foundation Engineering* (1st ed.). Elsevier.
- 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., Imani, M., Imam, R. & Mo, P.Q. (2024). Form and Load Transfer Aspects of Foundation Systems; Case-Based Implementation and Adaptation for Buildings. *Journal of Deep Underground Science and 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

مراجع اصلی

- Fellenius, B.H. (2024). Basics of Foundation Design, Electronic Edition. www.Fellenius.net
- Hemsley, J.A. (2000). Design Applications of Raft Foundations (1st ed.). Thomas Telford.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D. & Sheahan, T.C. (2023) An Introduction to Geotechnical Engineering (3rd ed.). Pearson
- Karakouzian, M. & Eslami, A. (2025). Advanced Foundation Engineering, Principles, Performance and Prospect, Wiley. [Link](#)
- Katzenbach, R., Leppla, S., & Choudhury, D. (2017). Foundation Systems for High-Rise Structures (1st ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group
- Katzenbach, R., Leppla, S., & Alzaylaie, M. (2020). Sustainable foundation systems of high-rise buildings. Research Bulletin of Center for Excellence in Smart Construction. 2, 14-16
- Kurian, N.P. (2006). Shell Foundations: Geometry, Analysis, Design, and Construction, Alpha Science International Limited
- Korff, M. (2009). Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soils. Delft Cluster
- 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
- Poulos, H.G. (2017). Tall building foundation design. CRC Press- Taylor & Francis Group.
- Randolph, M.F. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. State-of-the-Art Report, 13th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, New Delhi, 5, 61-82.
- Stewart, J.P., Wagner, N., Murphy, D., Butkovich, J., Largent, M., Nouri, H., Curran, H., Maffioli, D., & Egan, J.A. (2023). Foundation settlement and tilt of Millennium Tower in San Francisco, California. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149(6).
- Zeevaert, L. (1957). Foundation Design and Behavior of Tower Latino Americana in Mexico City. Journal of Géotechnique, 7, 115–133.

با امتنان ویژه از همراهی و همکاری:

مهندس امیر حسین ابراهیمی پور



با سپاس از حضور و التفات شما
Thanks for Your Attention

abolfazleslami.com / Link