

بسمه تعالیٰ

کانون مهندسین ساختمان نوشهر

سمینار آموزشی

عملکرد و عوارض همچوارسازی ساختمان‌ها

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 مهندسین ساختمان نوشهر برگزار می نماید:

سینار

عملکرد و عوارض همچوارسازی 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



زمان برگزاری:

چهارشنبه ۷ آذر ، ساعت ۱۵ الی ۱۸

مکان برگزاری:

سالن اجتماعات کانون شهید باهنر نوشهر

جهت ثبت نام با کانون به شماره ۰۱۱-۵۲۳۸۶۳۵ تماس حاصل فرمائید.

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Scope & Objectives | ۱- سیمای کار و اهداف |
| 2. Background | ۲- زمینه |
| 3. Adjacent Buildings Construction | ۳- همچوارسازی ساختمان‌ها |
| 4. Case Histories | ۴- موارد عملی |
| 5. Appraisal & Remediation | ۵- ارزیابی و علاج بخشی |
| 6. Summary & Prospect | ۶- جمع‌بندی و چشم‌انداز |

عملکرد و عوارض همچوارسازی

فاکتورهای غالب

۱- سازه احداثی

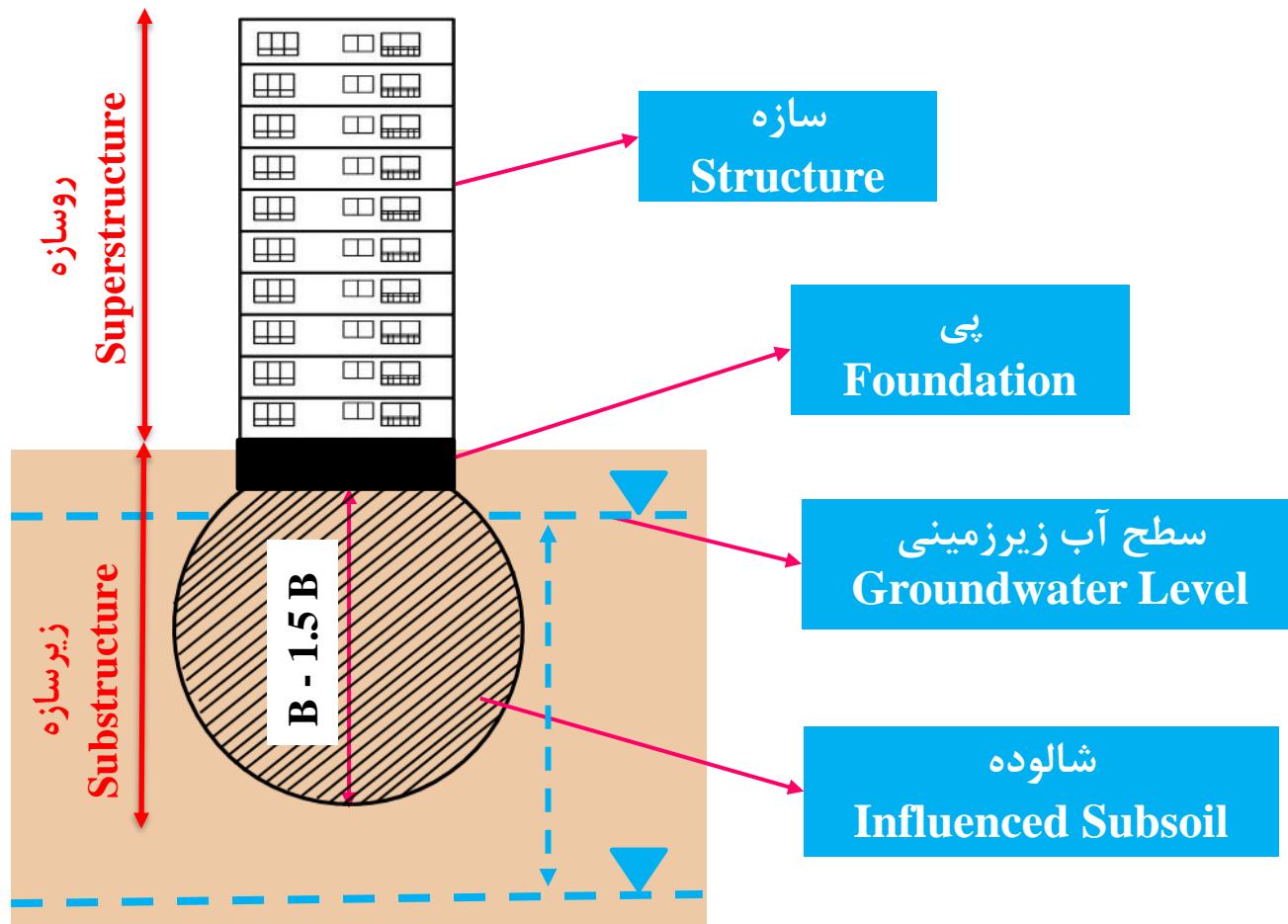
۲- شرایط زیرسطحی (شالوده)

۳- فونداسیون‌ها (جدید و موجود)

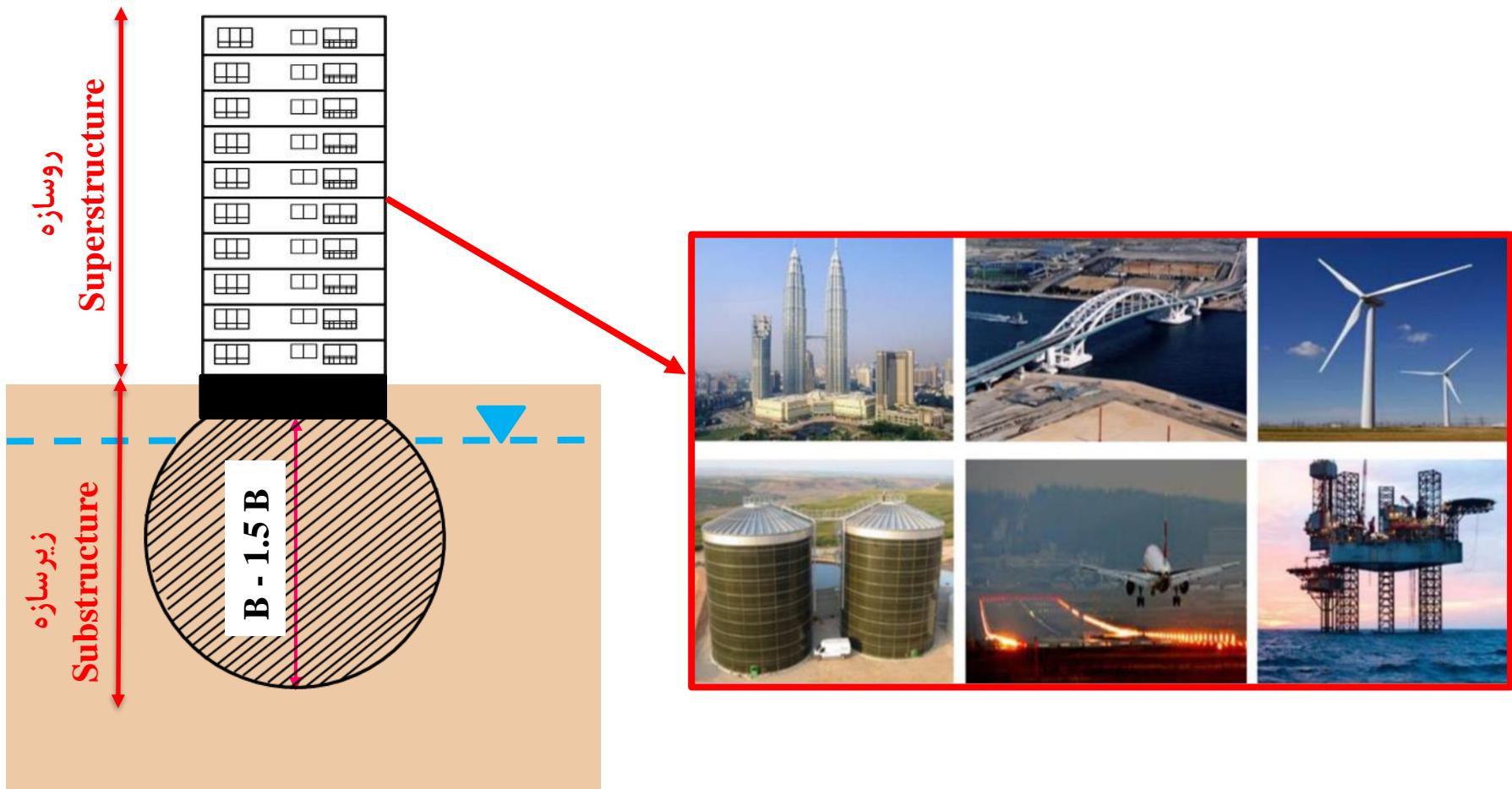
۴- شرایط مجاور و پیرامونی (مستحدثات و سازه‌های همچوار)

۵- شرایط آتی

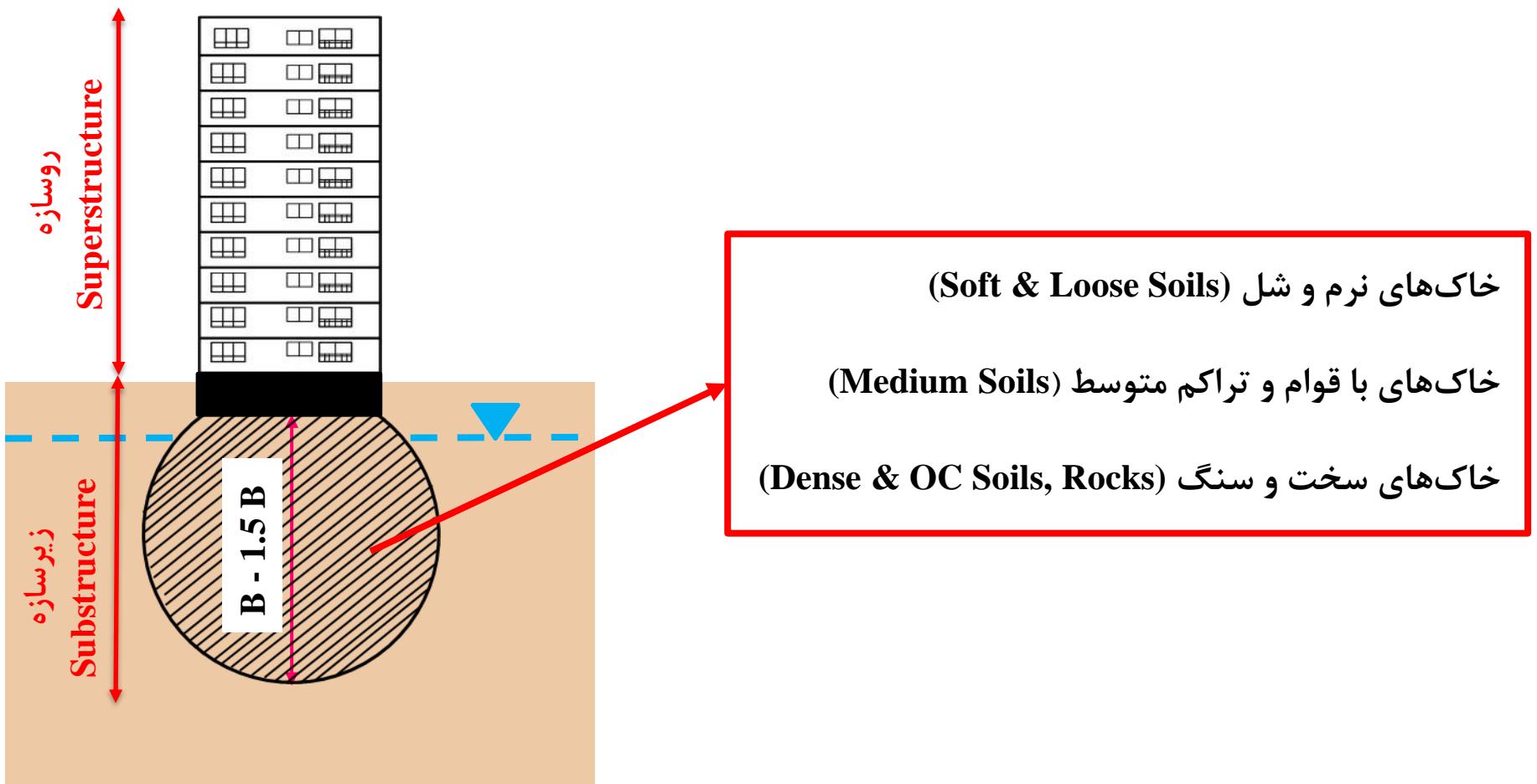
اجزای اندکنشی روسازه و زیرسازه



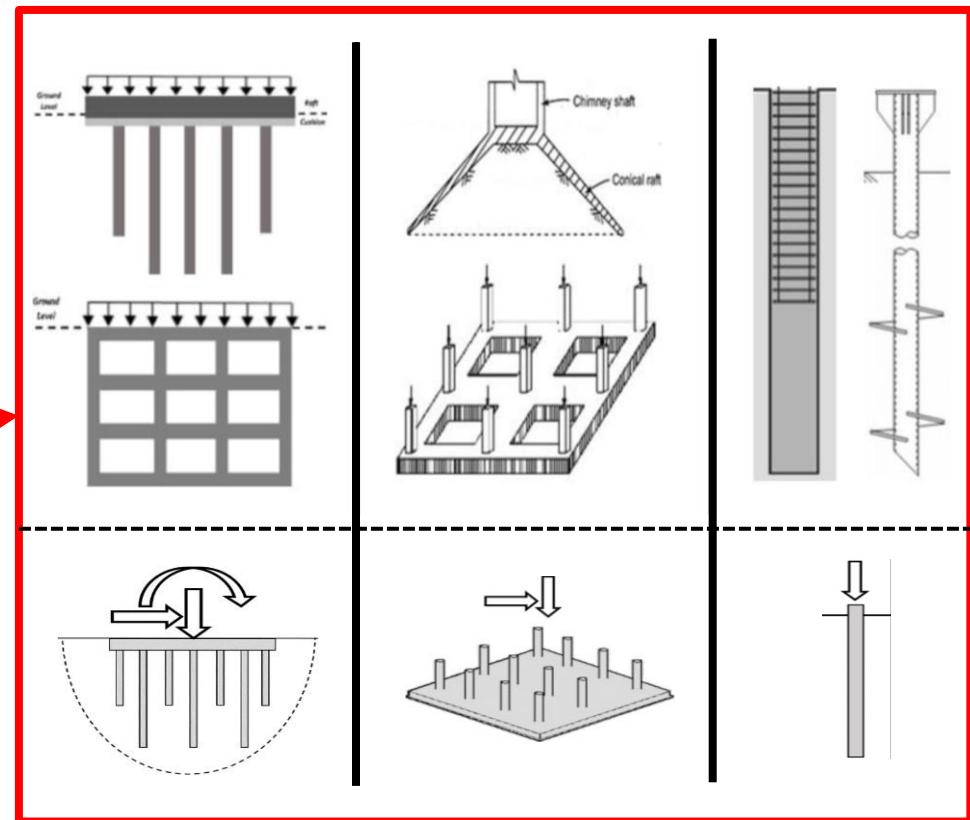
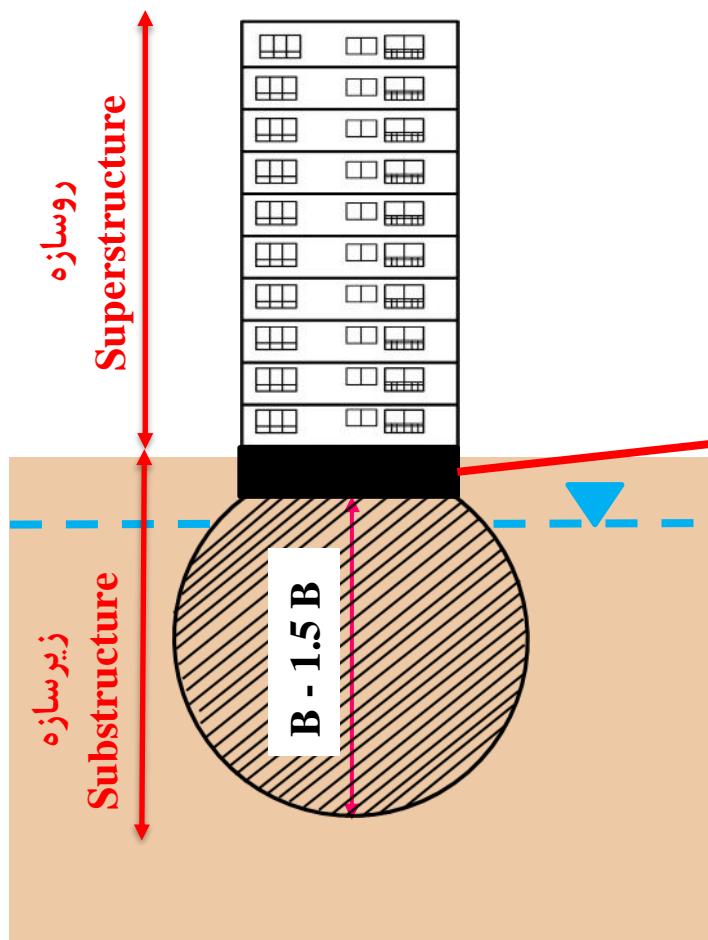
تنوع در سازه: نوع، ابعاد، اهمیت و ترکیب بارگذاری



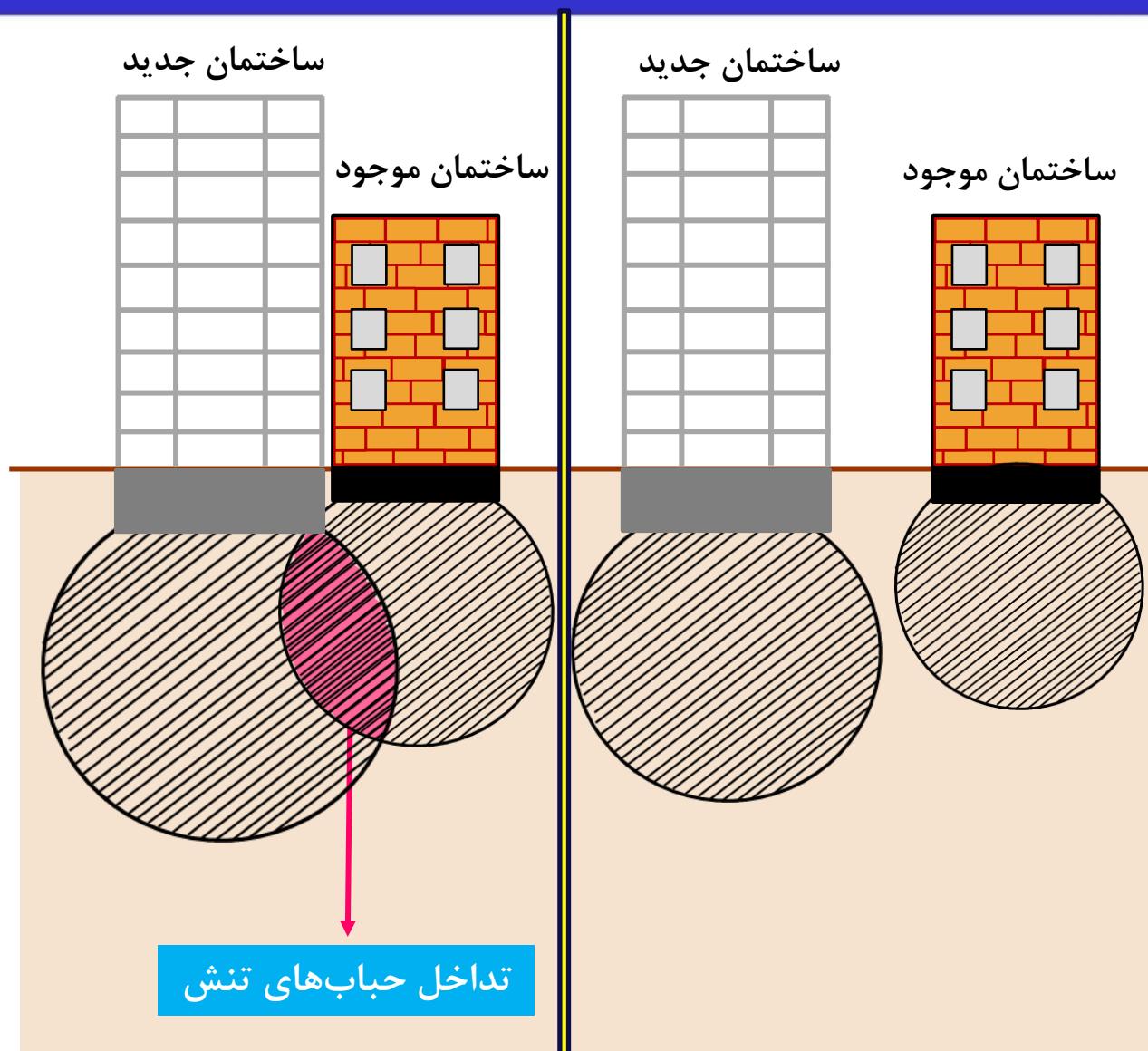
تنوع در شالوده: نوع، تراکم - قوام و زهکشی



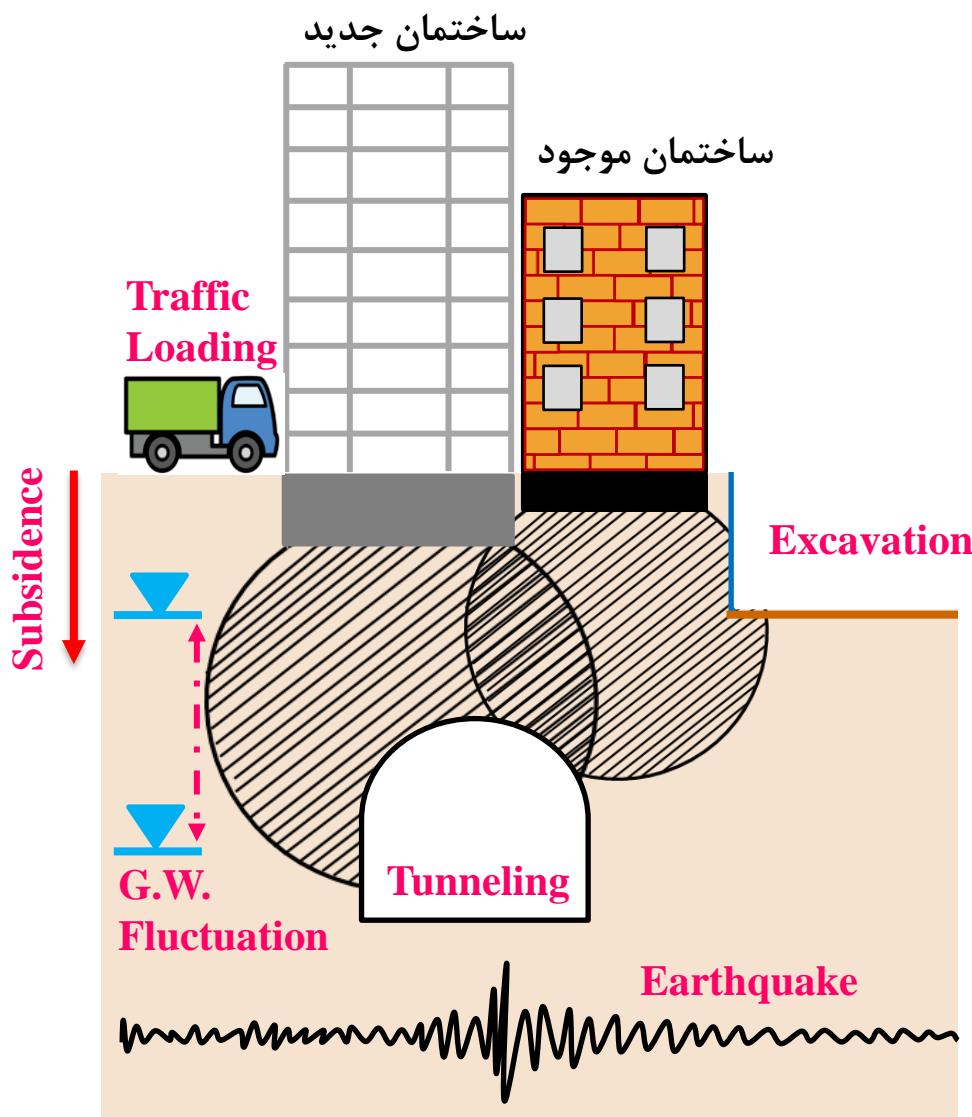
تنوع در فونداسیون: نوع، هندسه و عمق مدفون



همچوارسازی و تداخل حباب‌های تنش



عوارض آتی و پیرامونی



✓ تغییرات آب زیرزمینی

✓ بارهای غیرمنتظره و دینامیکی

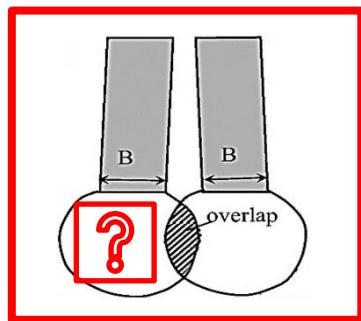
✓ حفر تونل در مجاور و یا زیر پی

✓ گودبرداری

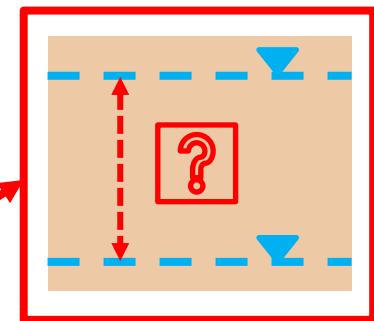
✓ زلزله

✓ فرونشست

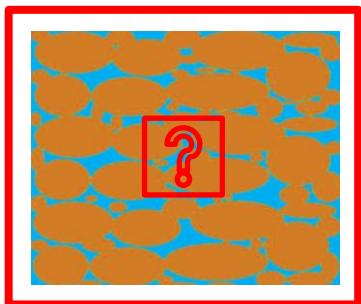
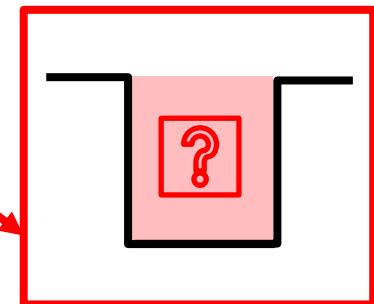
بارهای نامرئی



همپوشانی تنش‌ها



تغییر تراز آب زیرزمینی

بارهای دینامیکی و ضربه‌ای
افزایش فشار آب حفره‌ای

گودبرداری

Invisible Loads

مهندسی پی

□ پروژه‌های عمرانی:

Superstructure

❖ روسازه

Substructure

❖ زیرسازه

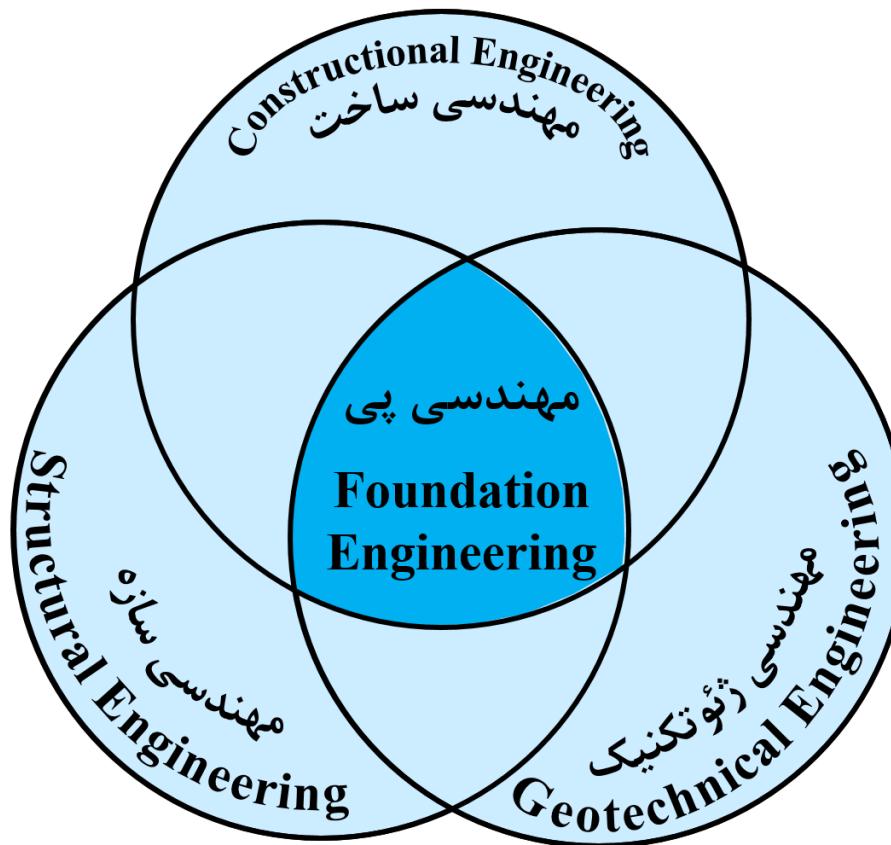
- مشارکت زیرسازه در تماس با خاک و در روند انتقال بار سازه به زمین
- انتقال بار از روسازه به زمین توسط عنصری به نام پی یا فونداسیون

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

ترزاقي: «طراحی هر آنچه که مربوط به زمین می‌شود را نباید صرفاً در دفتر کار انجام داد.»

Knowledge-based, Construction Technology, Optimization

مهندسی پی: ژئوتکنیک، سازه و ساخت



**Multidisciplinary: Structural,
Geotechnical and Constructional**

طبقه‌بندی کلی شالوده‌ها

طبقه‌بندی معمول:

طبقه‌بندی اخیر:

- رس‌ها (Clays)
- دانه‌ای (Granular)
- چسبنده-اصطکاکی (IGM)



أنواع 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 - **Collapsive Soils**
- خاک‌های واگرا - **Dispersive Soils**
- خاک‌های انبساطی - **Expansive Soils**
- خاک‌ریزها - **Fills**
- خاک‌های مخلوط با زباله و ضایعات - **Landfills**

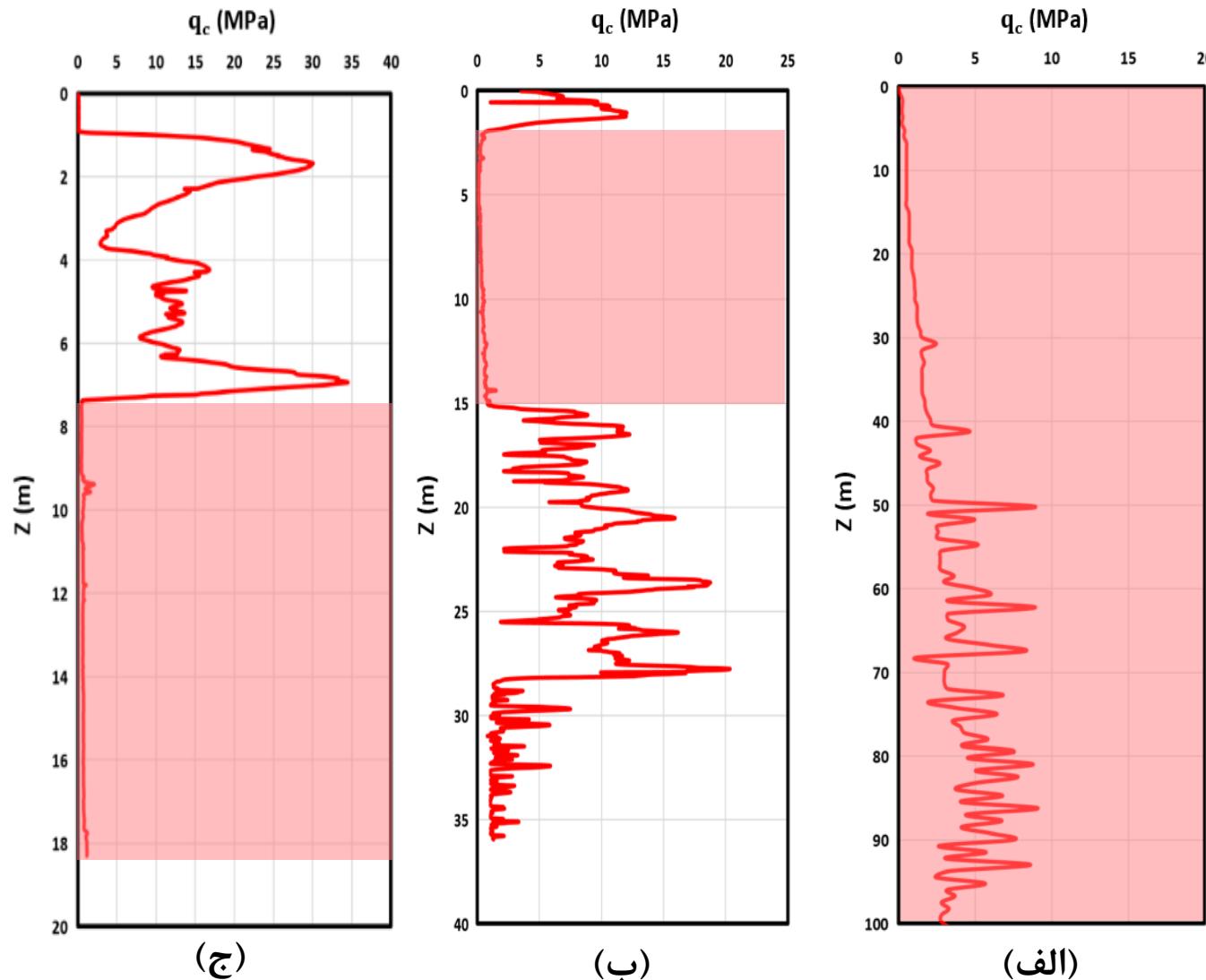
خسارات عمرانی سالیانه در آمریکا در نتیجه عواقب حاصل از خاک‌های مسئله‌دار بیش از موارد مربوط به سیل، طوفان و زلزله می‌باشد.
(Holtz et al., 2023 – Coduto et al., 2016)

ارزیابی قوام خاک‌های چسبنده

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

| عنوان | نماد | ارزیابی در محل | نفوذ شست دست | مقاومت برشی زهکشی نشده (kPa) |
|----------|------|---|--------------|------------------------------|
| خیلی نرم | VS | درصورت 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 |
| soft | St | با انگشتان قابل شکل‌دهی نمی‌باشد. با فشار شست می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود. | < 5 mm | 50-100 |
| خیلی سفت | VSt | با ناخن شست می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود. | <1 mm | 100-200 |
| سخت | H | با ناخن شست به سختی می‌توان در آن فرورفتگی ایجاد نمود. | ≈ 0 mm | >200 |

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



وجود خاک مسئله‌دار

- در سرتاسر لایه
- در لایه سطحی
- در عمق

لوگ مقاومت نوک حاصل از
: CPTu

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

ب) سایت تحقیقاتی
UBC

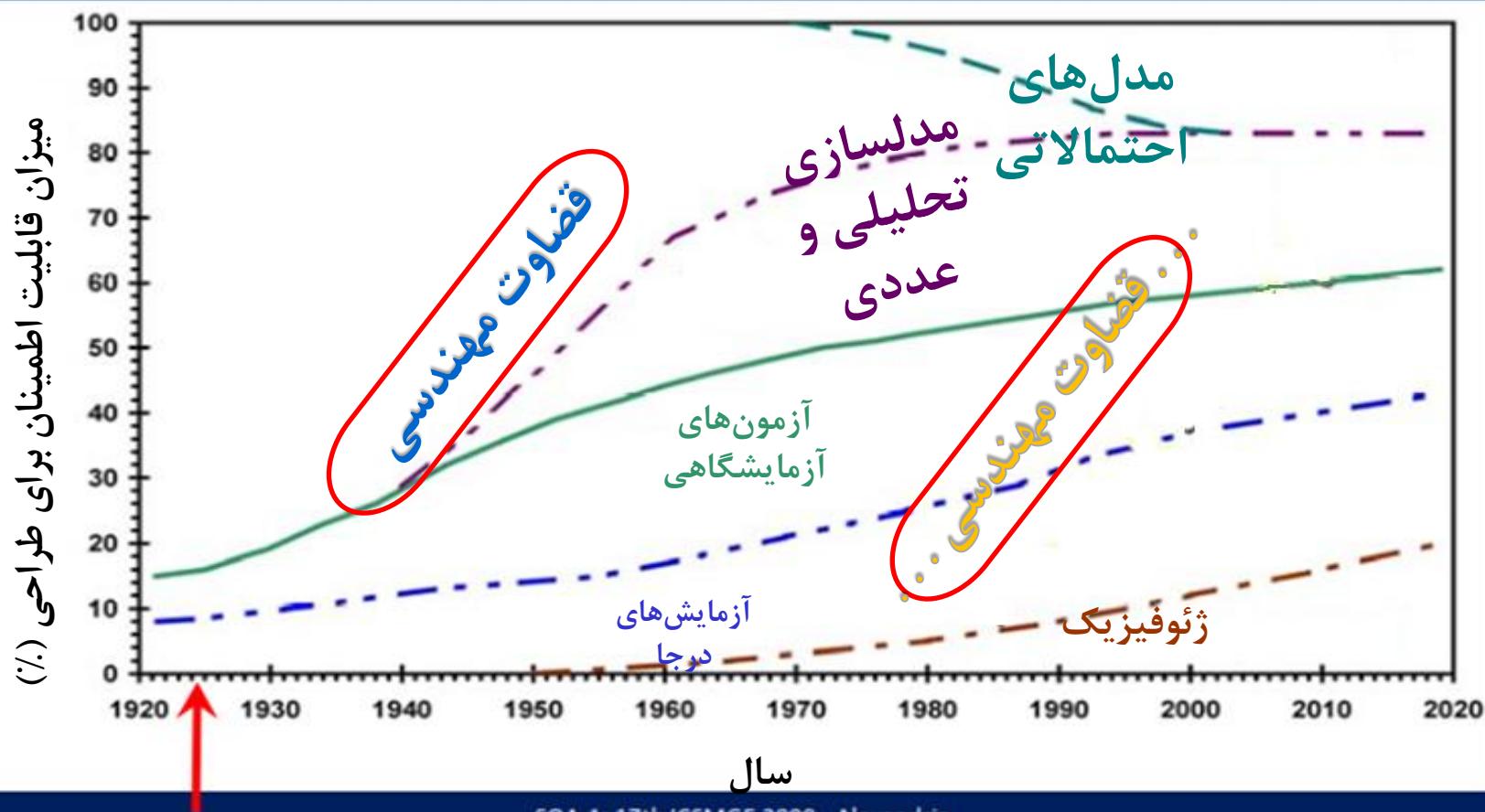
(Campanella & Sy, 1991)

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

قضاؤت مهندسی

تمام روندهای مطالعاتی
مالحظه اندرکنش خاک و سازه با شاخص‌های پی‌سازی

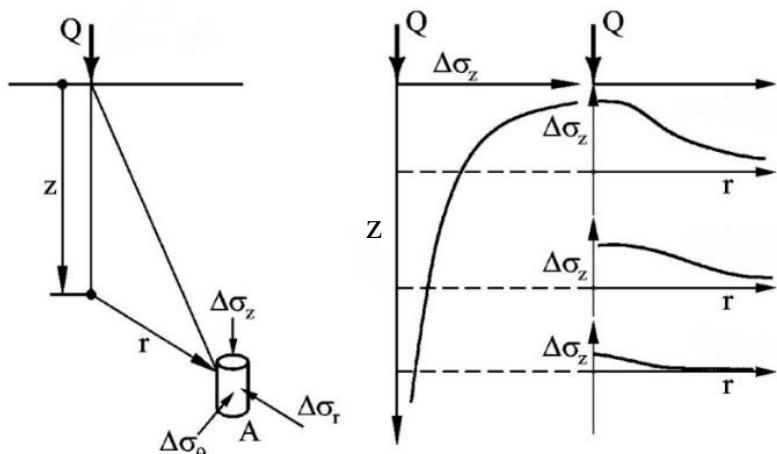
Modified after Lacasse (1985)



پی‌سازی، ساخت و ساز و توزیع تنش در خاک

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^n \gamma \cdot Z_i \quad u_i = \gamma_0 \cdot Z_0$$

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



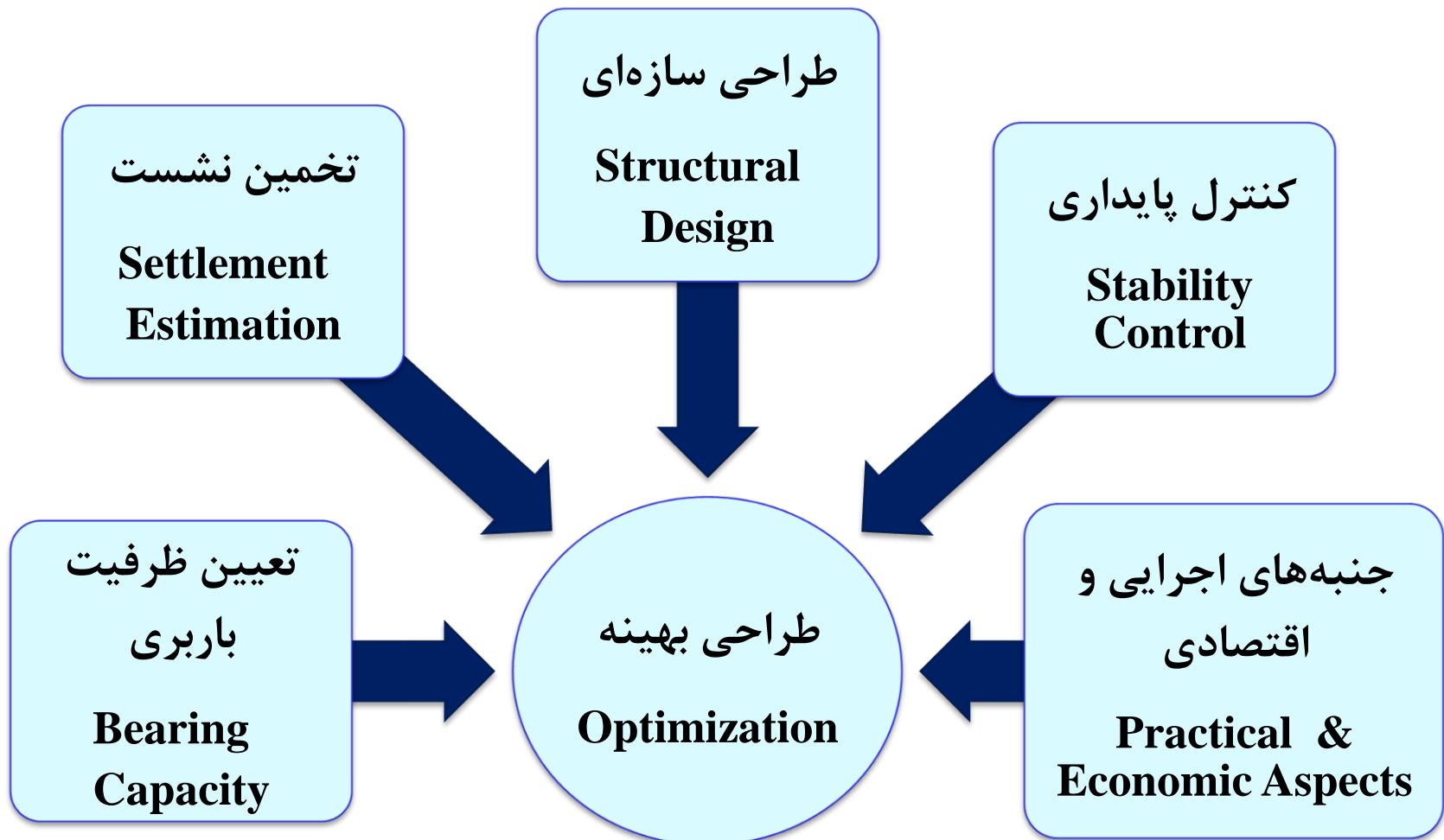
Distribution of stress at different depths

منشا تنش در خاک

- ژئوستاتیکی
- تحمیلی
- تنش‌های ژئوستاتیکی (Geostatic Stresses): حاصل نیروی جاذبه، وزن مخصوص و ضخامت لایه‌ها
- تنش‌های تحمیلی (Induced Stresses): به سبب بارهای خارجی و بارگذاری از طریق فونداسیون

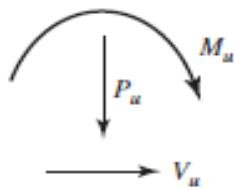
$$\sigma_z = \frac{q_o \times B \times L}{(B + Z)(L + Z)}$$

ملاحظات عمده تحلیل و طراحی فونداسیون



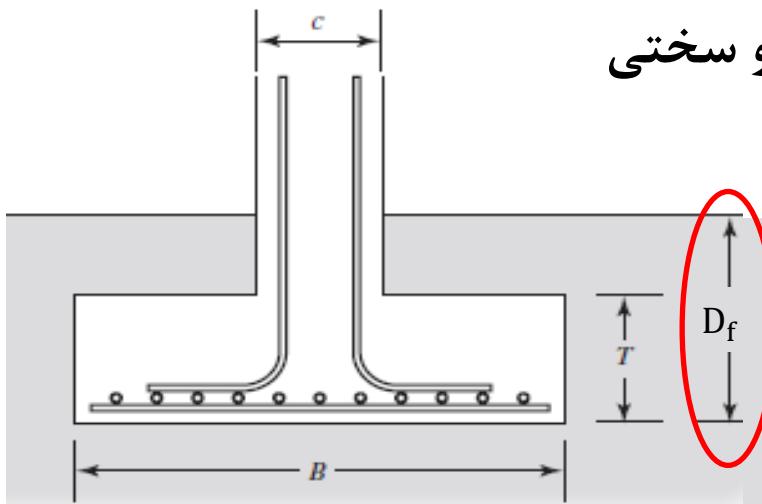
فاکتورهای مهم در ظرفیت باربری

- **شرایط خاک:**



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

- **هندسه پی:**



- ✓ طول
- ✓ عرض
- ✓ عمق استقرار

- **شرایط محصورشدنگی:**

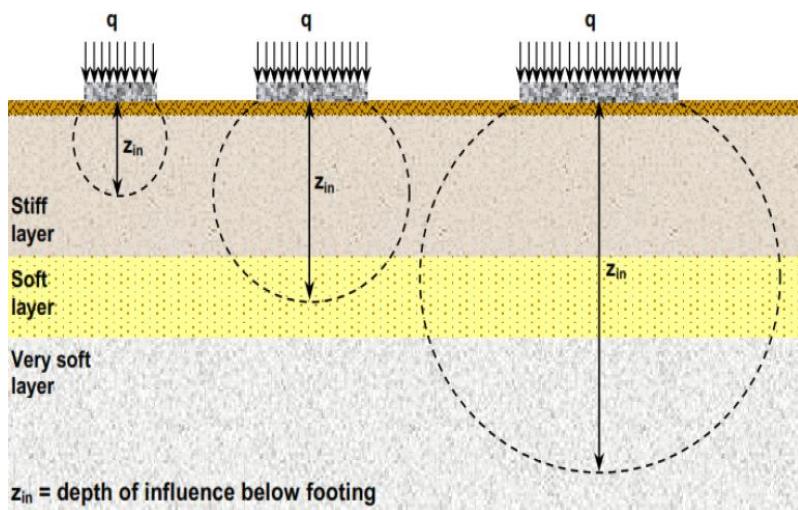
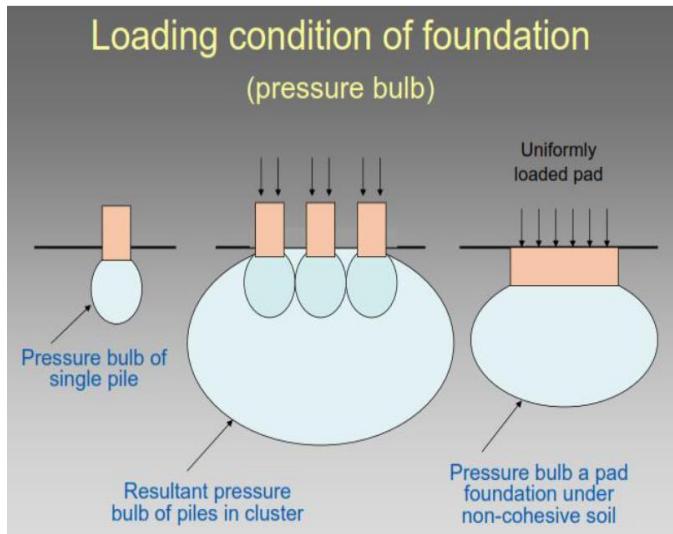
- ✓ آب زیرزمینی
- ✓ بارگذاری و باربرداری اطراف پی
- ✓ توپوگرافی زمین

استفاده از مقادیر توصیه شده در آئین نامه ها و کدها

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

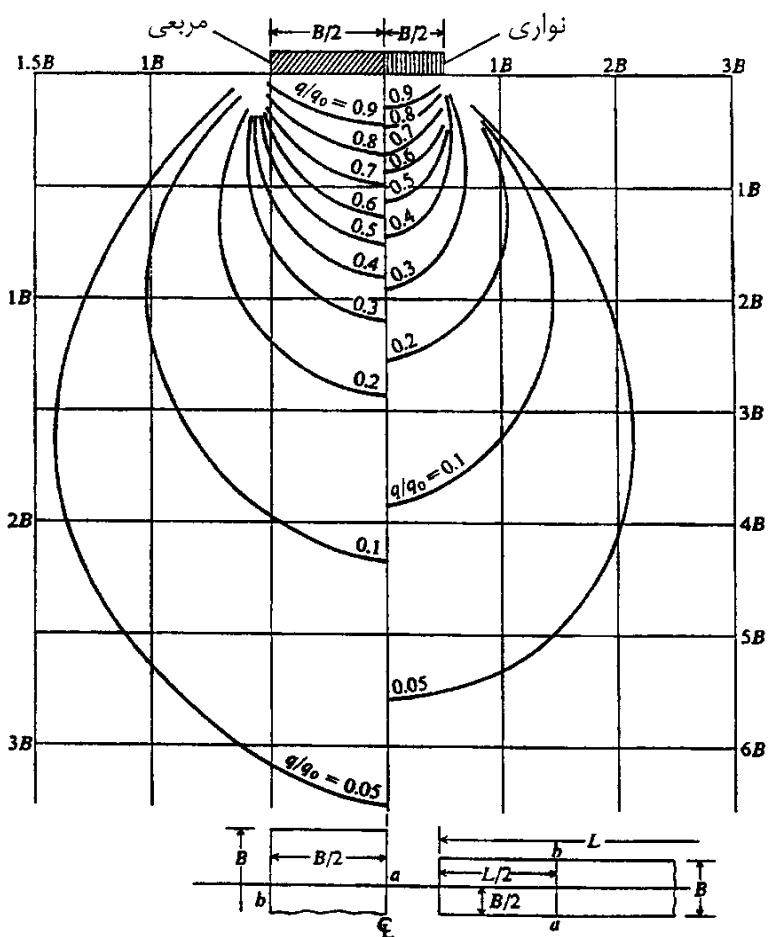
مندرجات جدول، بدون
ملاحظه هندسه پی، عمق
استقرار پی، محصور شدگی
و شرایط آب زیرزمینی

نشست پی‌های سطحی



- بارگذاری
- باربرداری
- آب زیرزمینی
- فرونشست منطقه
- تحکیم لایه‌ها
- تنش‌های القایی
- بار دینامیکی
- شرایط اندرکنشی با سازه‌های مجاور
- مشخصات و سختی خاک
- مشخصات پی

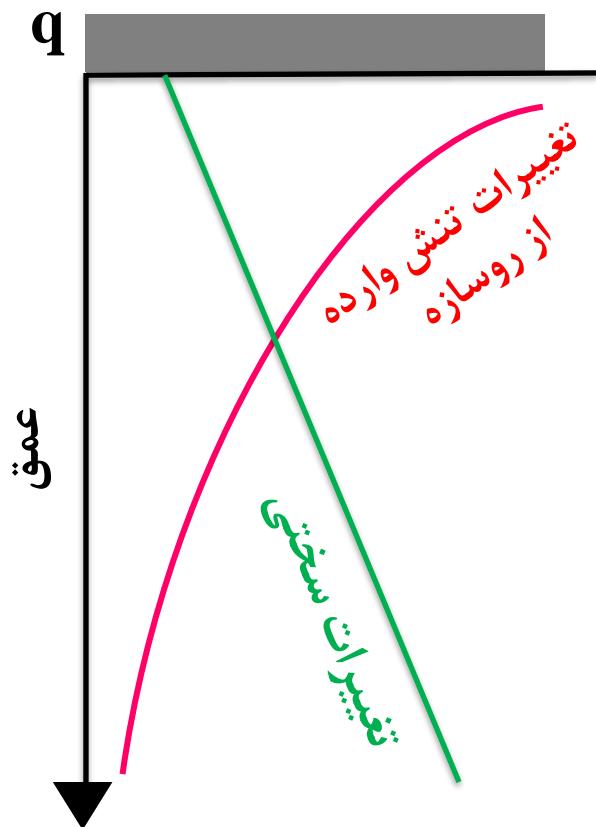
پارامترهای موثر در نشت آنی و تحکیمی



- عرض پی (B)
- پارامتر سختی و مشخصات تراکم‌پذیری (E)
- شدت بار (q)

نقاط هم‌تنش در عمق و در زیر پی‌های
مربعی و نواری بر اساس روابط بوسینسک

مشکل عمده پی رادیه



مشکل عمده پی رادیه:

۱- بعد قابل توجه

۲- اعمال بیشترین تنفس در ضعیف‌ترین حالت خاک زیرین

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

q : تنفس 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 ۲-۴-۷ مقادیر اولیه نشست مجاز تحت بارگذاری استاتیکی

| نشست مجاز (میلی‌متر) | | 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 ۳-۴-۷ مقادیر مجاز چرخش

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

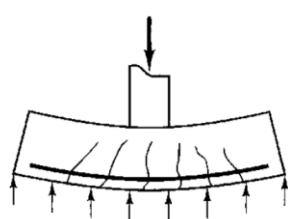
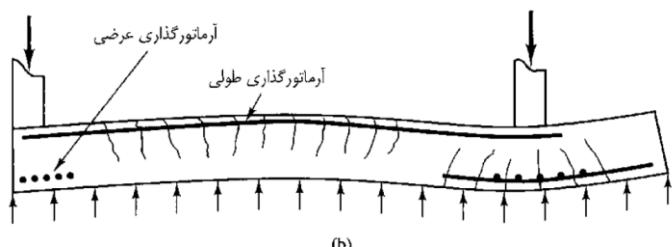
مبحث ۷ مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)

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

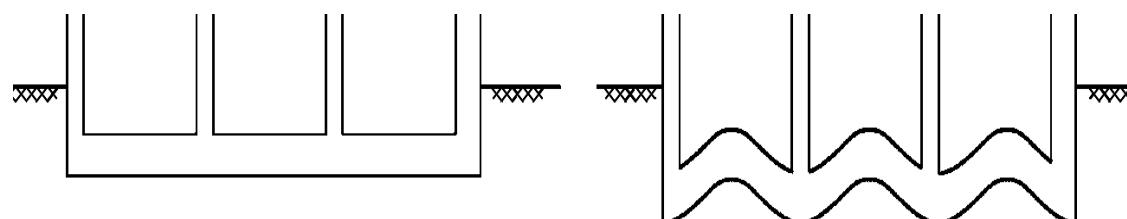
حدود کجی برای تعدادی از سازه‌ها
(Charles & Skinner, 2003)

طراحی سازه‌ای

- ❖ تعیین نیروهای داخلی
- ❖ خرابی‌های خمشی، برشی و لهیدگی
- ❖ عوامل موثر بر صلبیت و انعطاف‌پذیری

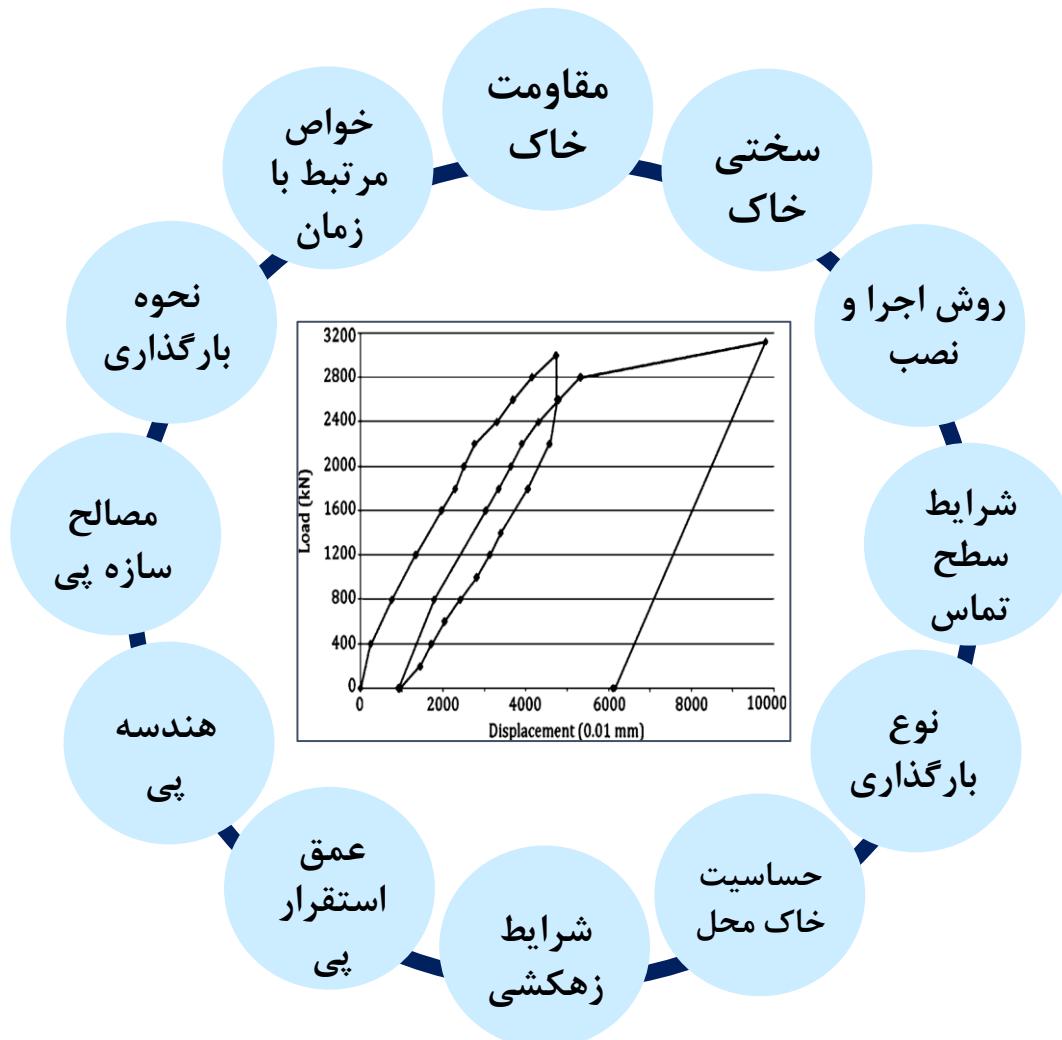


- مشخصات هندسی و مقاومتی پی •
- شرایط و پارامترهای خاک •
- سختی و نحوه اتصال المان‌های سازه‌ای به پی •



توزيع تنش در زیر پی گسترده در حالات صلب و انعطاف‌پذیر

عوامل موثر بر رفتار بار-جابجایی پی‌ها

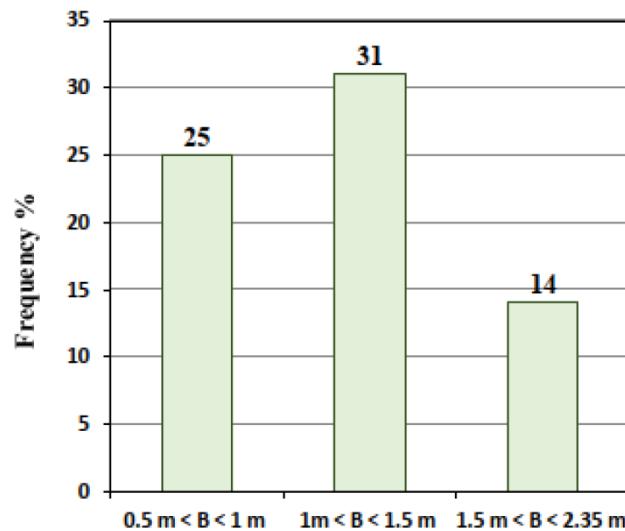
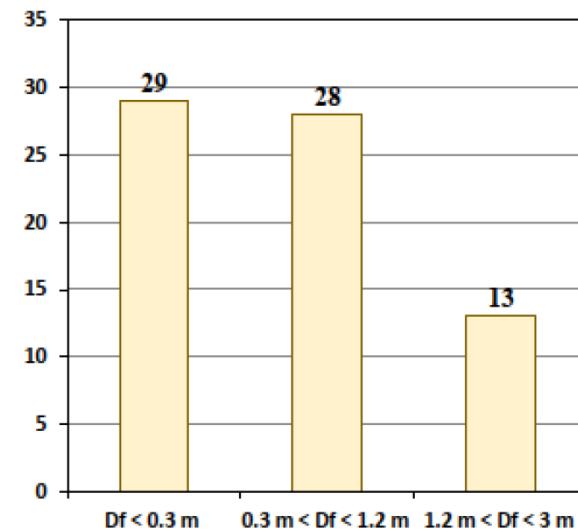


رفتار بار-جادجایی پی‌های سطحی (Eslami et al., 2024)

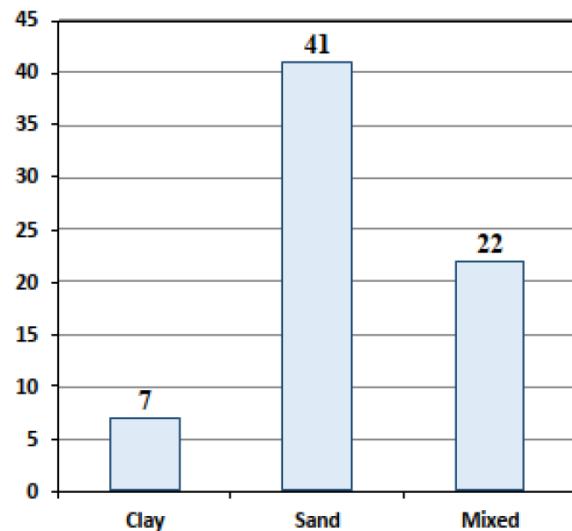


- بانک داده شامل ۷۰ مورد پی سطحی
- اجراسده در رس، ماسه و خاک مخلوط
- عمق مدفون بین صفر تا ۳ متر
- بعد ۰/۵ تا ۲/۲ متر

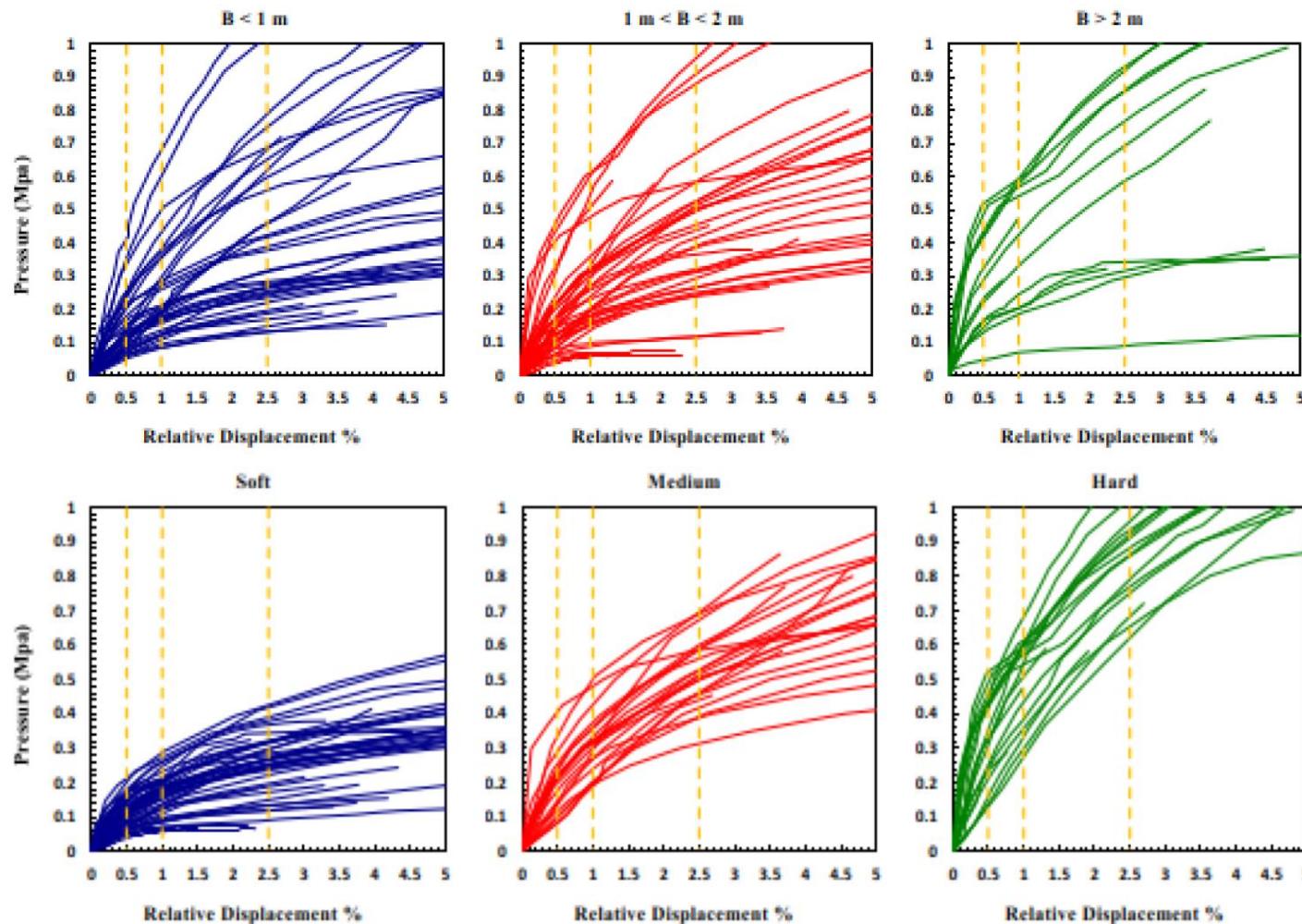
B

D_f

Deposit



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

- اجراسده در رس، ماسه و خاک‌های مخلوط

- عمق مدفون بین ۶ تا ۵۶ متر

- بعد ۲۳۵ تا ۹۱۴ میلیمتر

- شمع فولادی و بتنه

- مقاطع دایره، مربع، لوله‌ای و H

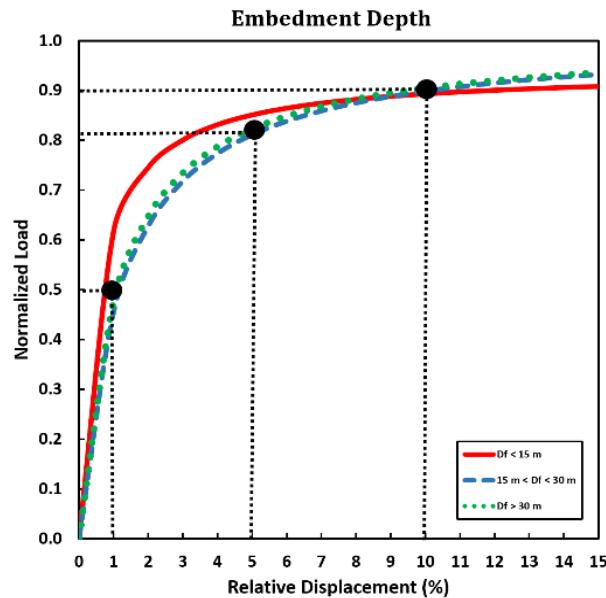
رفتار بار-جابجایی پی‌های عمیق (Eslami & Ebrahimipour, 2024)

Normalization Approach:

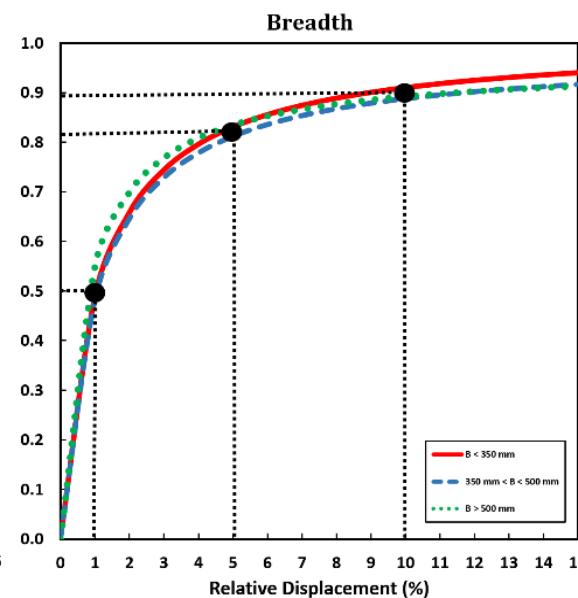
- Load: Brinch-Hansen 80% (1963)
- Displacement: Breadth

Relative Displacement & Normalized Load:

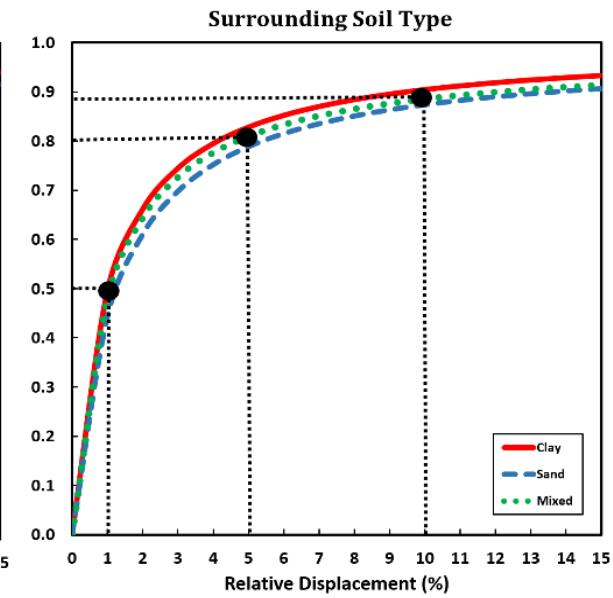
- 1 % → 0.5 Pu (FS=2)
- 5 % → 0.8 Pu
- 10 % → 0.9 Pu



(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



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

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 Ebrahimiipour

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

ARTICLE INFO

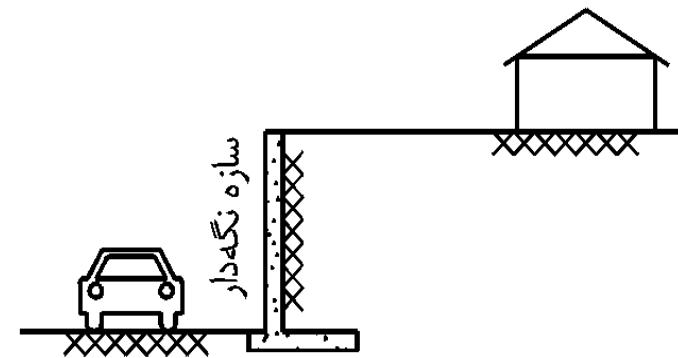
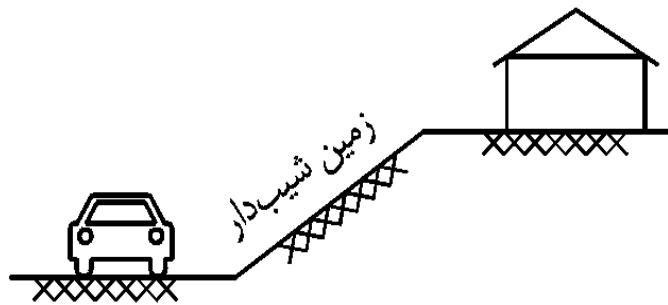
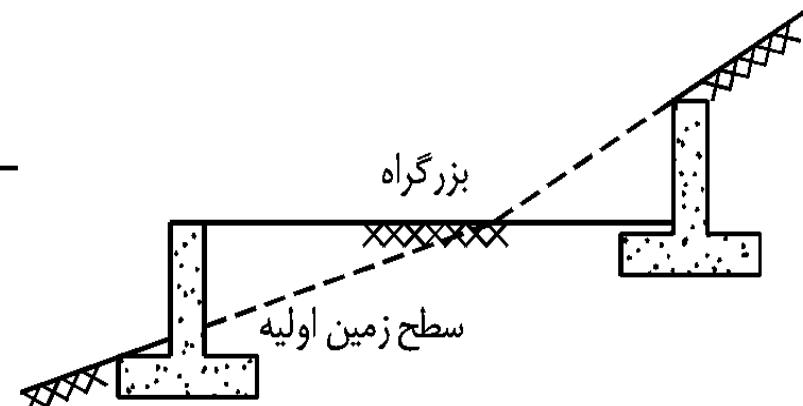
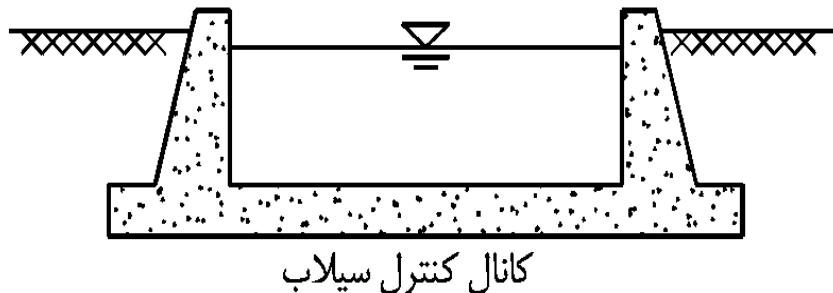
Keywords:

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



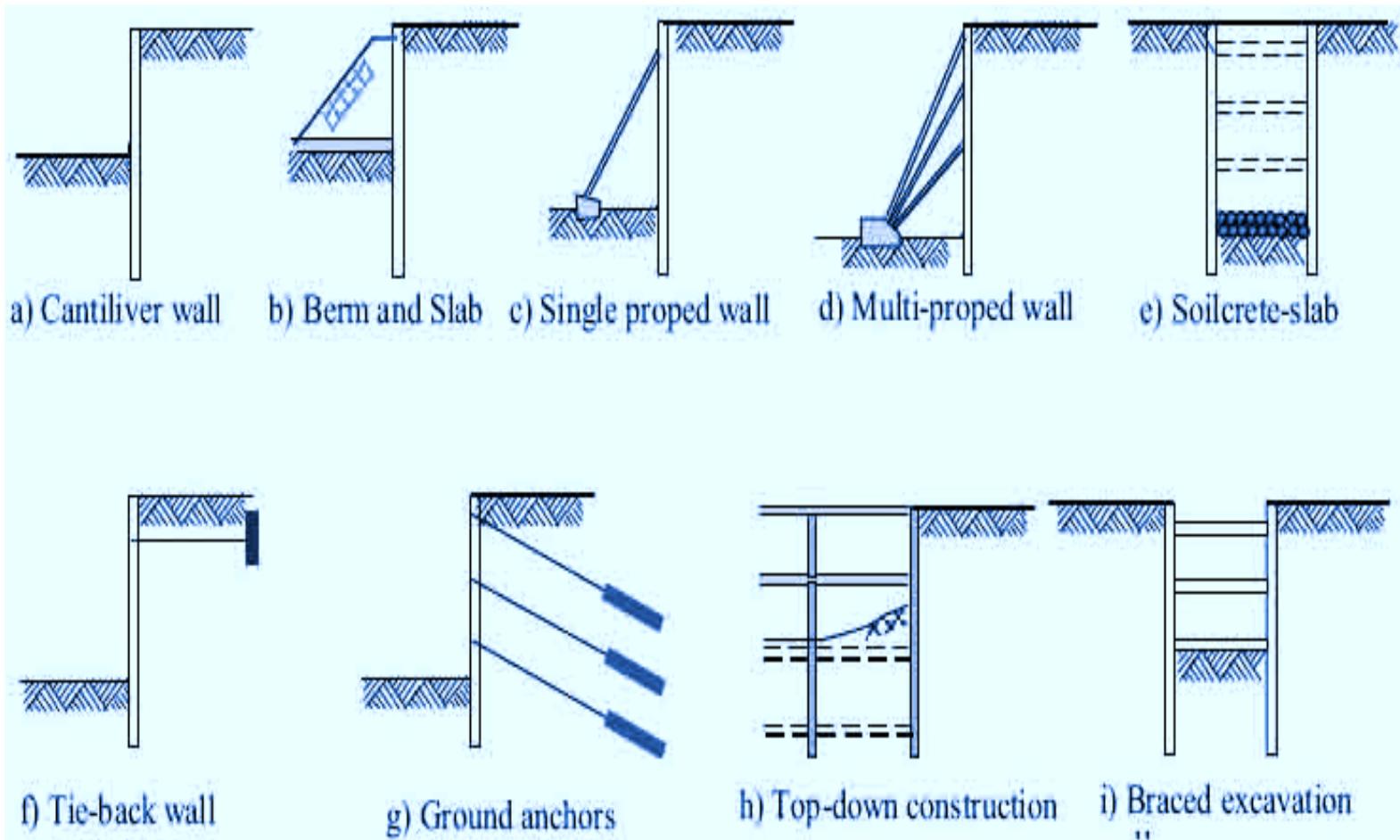
نمونه‌هایی از سطوح شیبدار در ساخت و سازهای عمرانی

پایداری سیستم زیرسازه

فاکتورهای مهم در پایداری

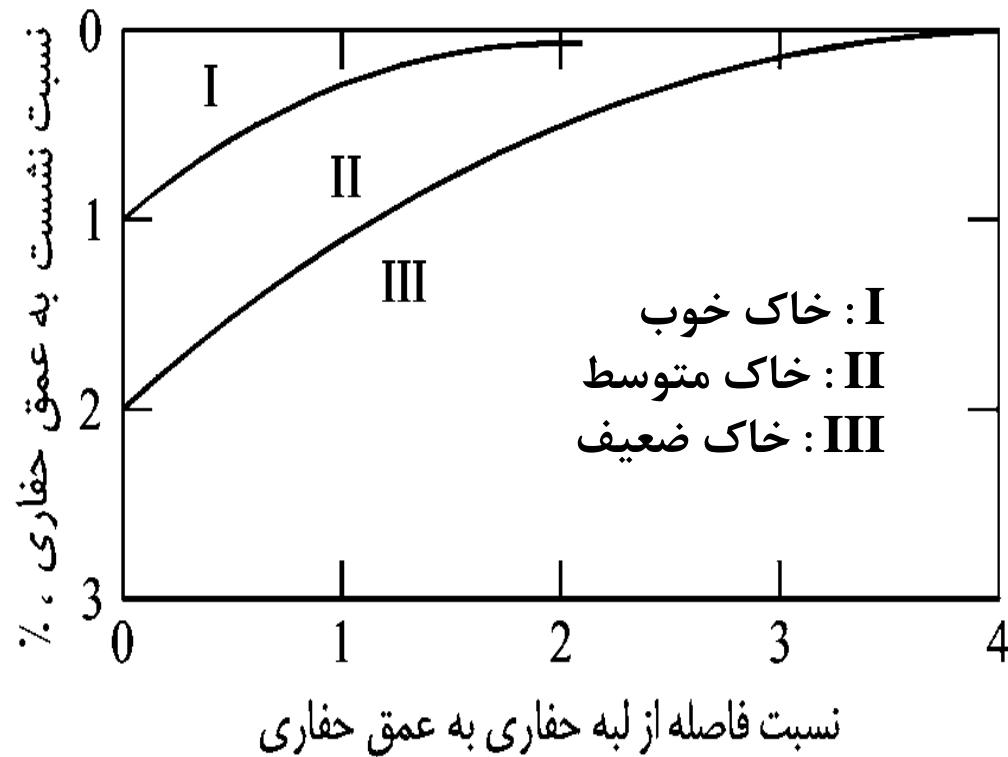
- ❖ بار جانبی
- ❖ ارتفاع سازه
- ❖ ترکیب بار جانبی، برکنش و لنگر
- ❖ عمق استقرار پی
- ❖ ارتباط پی با سازه
- ❖ ملاحظات زمین لغزش
- ❖ شرایط پیش‌بینی نشده

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

- 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 محصورشدنگی)

- 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

پی سطحی

پی عمیق

راه حل میانه: بهسازی، پی‌های نیمه‌عمیق

مقایسه پی‌های سطحی و عمیق

| پی عمیق |
|--|
| زیاد مقاومت کف تا $120\text{kg}/\text{cm}^2$ مقاومت جدار $0.2\text{-}2\text{kg}/\text{cm}^2$ |
| محدود |
| معمول |
| کنترل شده |
| نسبتاً دشوار |
| نسبتاً پرهزینه |

فونداسیون‌های نیمه عمیق، نیمه سازی (آه دل میانه)

| پی سطحی | نوع فونداسیون |
|---|-------------------------------|
| کم تا متوسط $0.5\text{-}5\text{ kg}/\text{cm}^2$ | ملاحظات طراحی ظرفیت باربری |
| زیاد | نشست |
| ساده تا پیچیده | طراحی سازه‌ای |
| مشکل دار | پایداری |
| نسبتاً عملی | ملاحظات اجرایی |
| تا حدودی مطلوب | جنبه‌های اقتصادی |

مورد عملی شماره ۱- برج Torre Latino Americana

شهر مکزیکوستی (وجود خاک مسئله‌دار)



- ساخت برج ۴۳ طبقه در شهر مکزیکوستی
- نمونه‌ای از کاربرد روش‌های نوین در خاک‌های مسئله‌دار

پروفیل خاک محل برج Torre Latino Americana

| نوع و شرایط خاک | عمق(متر) |
|--|------------|
| خاکریزهای قدیمی - سطح آب در ۲ متری | ۵/۵-۰ |
| نهشته‌های Becarra - ماسه، لای و رس | ۹/۱-۵/۵ |
| رس Cc= 4-10 Tacubaya ولکانیک نرم، Su=35-70 kPa رطوبت ۱۰۰ تا ۴۰۰ درصد ، | ۳۳/۵ - ۹/۱ |
| نهشته‌های ماسه‌ای متراکم Tarango | ۷۰-۳۳/۵ |

مورد عملی شماره ۱ - برج Torre Latino Americana

Aniversario de altura

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

La torre fue inaugurada en 1956. Como sede de las más centrales de la arquitectura de la Latinoamérica.

El edificio puede soportar vientos de hasta 95.6 kilómetros por hora, considerados como huracanos.

La torre tiene 915 escaleras del primer al último piso.

La estructura sopora temblores superiores a 8 grados en la escala de Richter.

La cimentación consta con 891 pilotes de concreto, que resisten hasta 66 toneladas de peso cada uno.

Entre nubes

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.

Ventanas giratorias



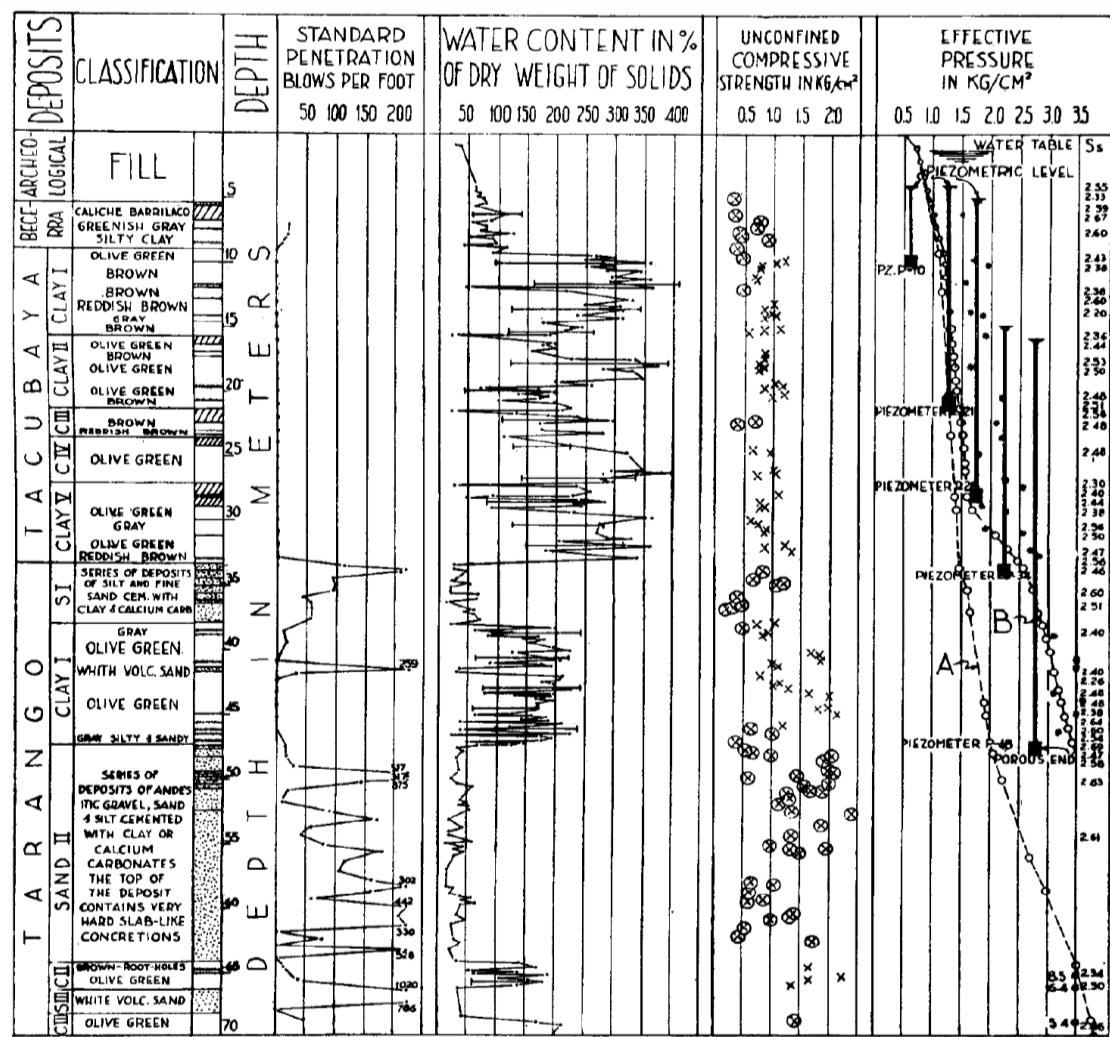
Sistema de losas móviles

La torre está provista de un sistema que permite a la planta baja deslizarse hacia el nivel de la calle. Se hizo para prever el hundimiento, que ya es de 30 centímetros, aunque la fecha no se ha usado.



1 Ante el eventual hundimiento de la calle (30 cm).

2 Se podrían retirar los cubos de concreto para mover el edificio.

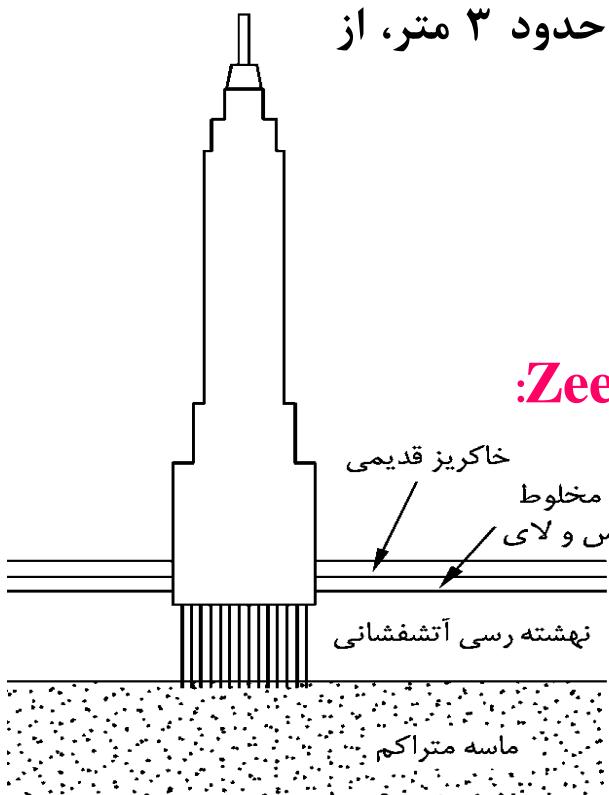


Conventional log & SPT records (Zeevaert, 1957)

Torre Latino Americana - برج شماره ۱

شهر مکزیکو سیتی (وجود خاک مسئله‌دار)

- لایه بسیار نشست پذیر در عمق ۹/۱ تا ۳۳/۵ متری،
- نشستهای بسیار بزرگ در ساختمان‌های 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
- شمع‌های کوبیدنی در زیر رادیه تا لایه ماسه‌ای متراکم Tarango



از جنبه‌های جالب توجه در این پروژه به نقل از Zeevart (1957)

- مطالعات ژئوتکنیک در شناخت خاک مسئله‌دار میان لایه
- اهمیت شمع‌های اتکایی
- جنبه‌های بهینه بکارگیری پی‌های شناور
- نشستهای در محدوده مجاز

چرا همچوارسازی؟

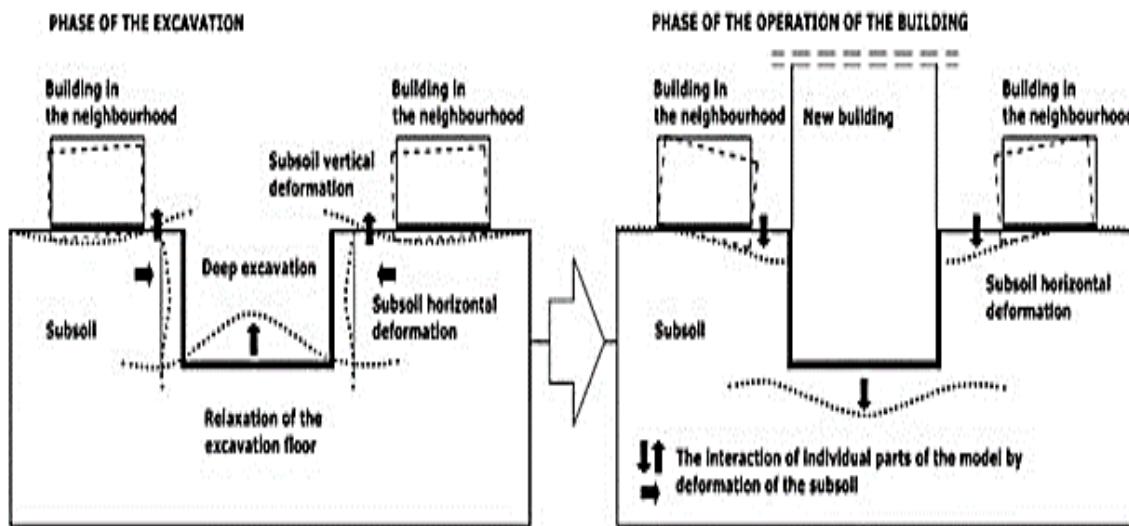
با رشد شهرنشینی و کمبود زمین‌های مناسب، سازه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند که این امر منجر به خساراتی به برخی سازه‌ها از منظر پایداری و سرویس‌دهی می‌گردد.



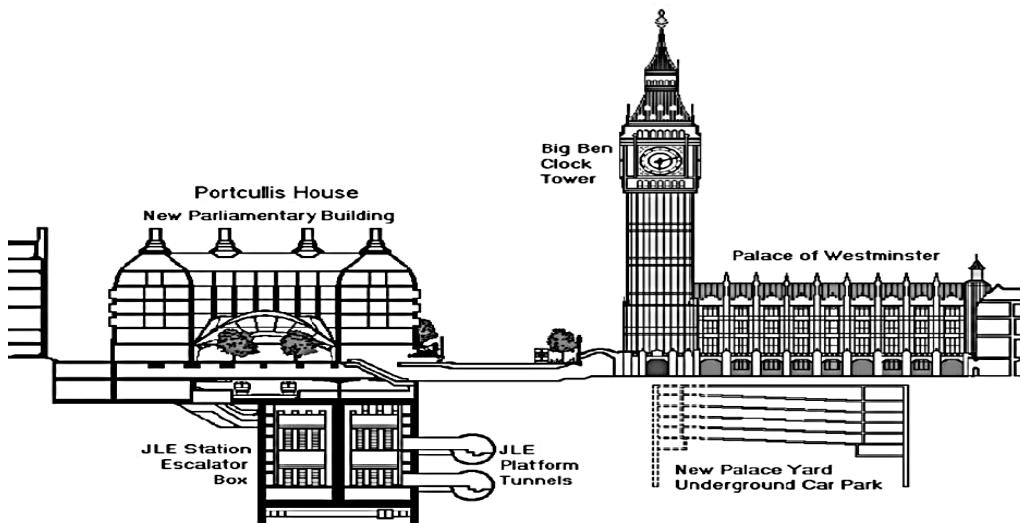
مصادیق همچوارسازی

در صورت وجود یک بنا یا ساختمان، حالات زیر متحمل 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

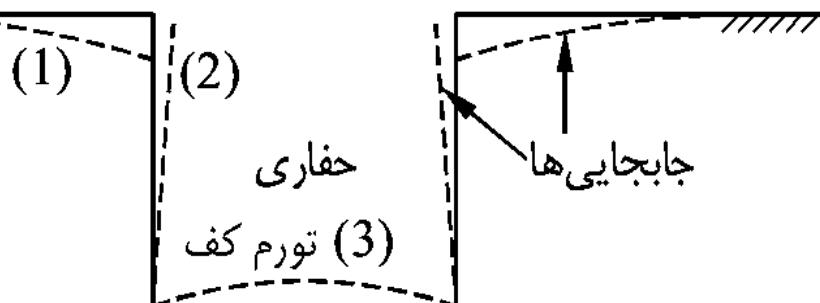


عوارض ساخت سازه‌های همچوار



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).

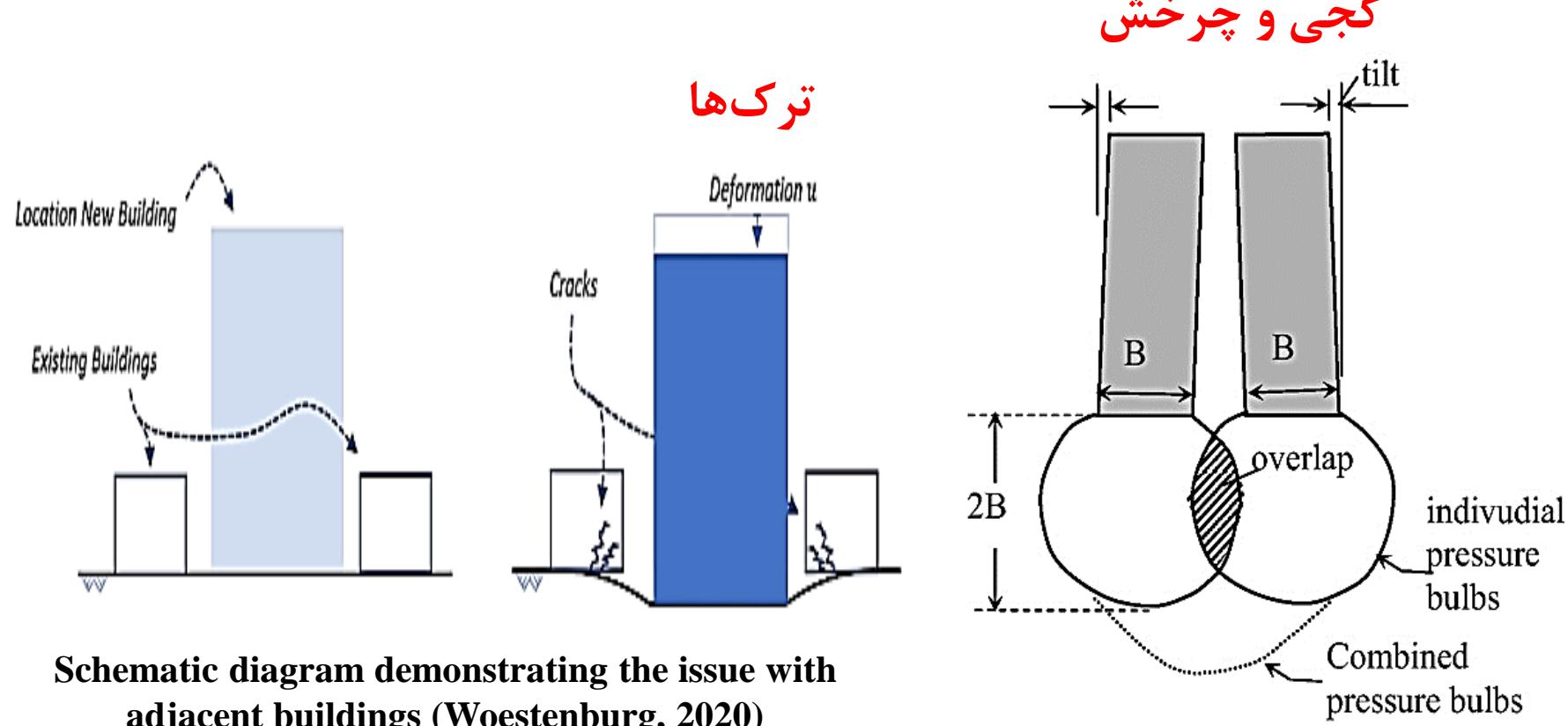
عوارض و جابجایی در اثر گودبرداری



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

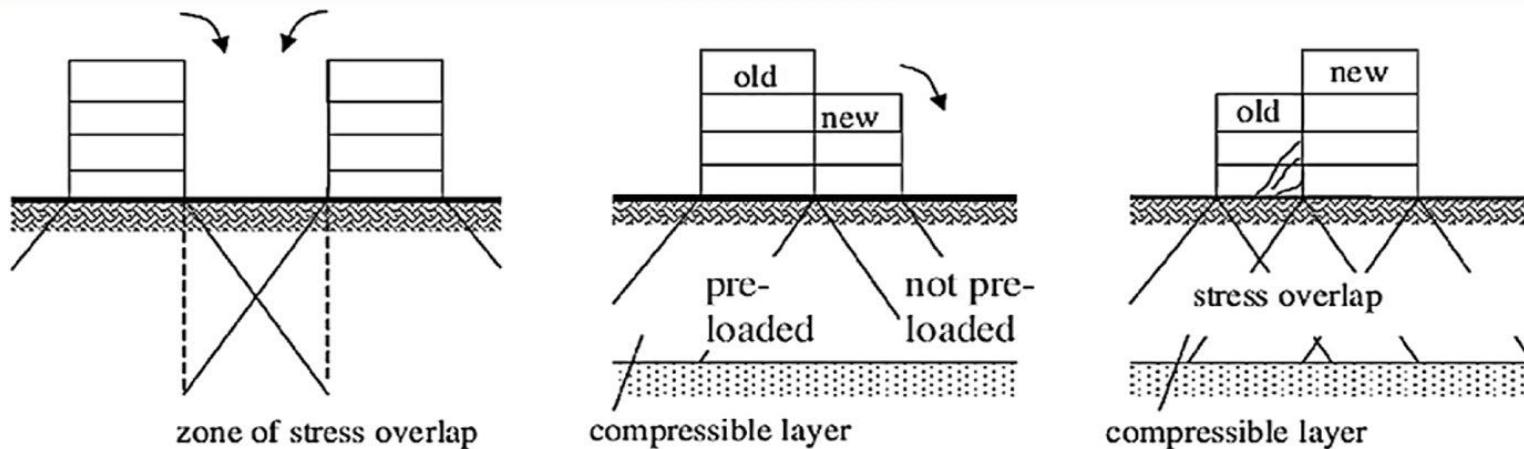


عوارض ساخت پی‌های سطحی نزدیک به هم و تداخل تنش‌ها

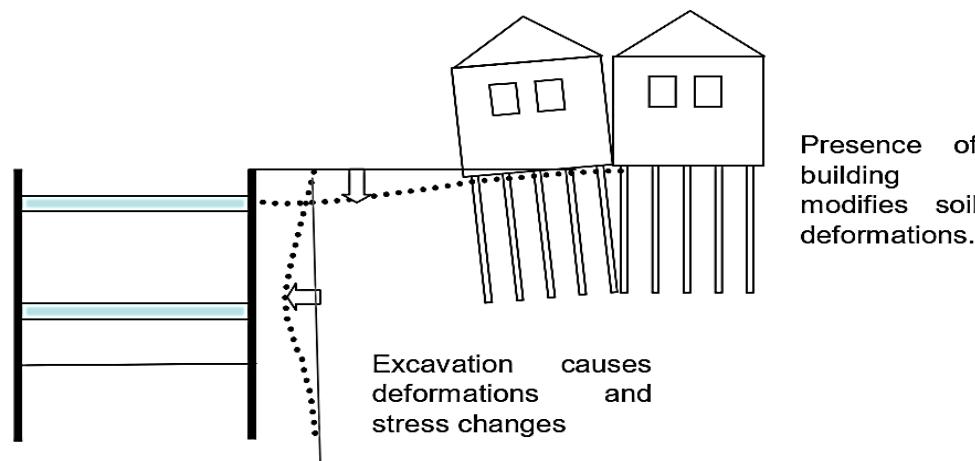


کجشیدگی و تداخل حباب‌های تنش سیلوهای هم‌جوار

عوارض ساخت پی‌های سطحی نزدیک به هم و تداخل تنش‌ها

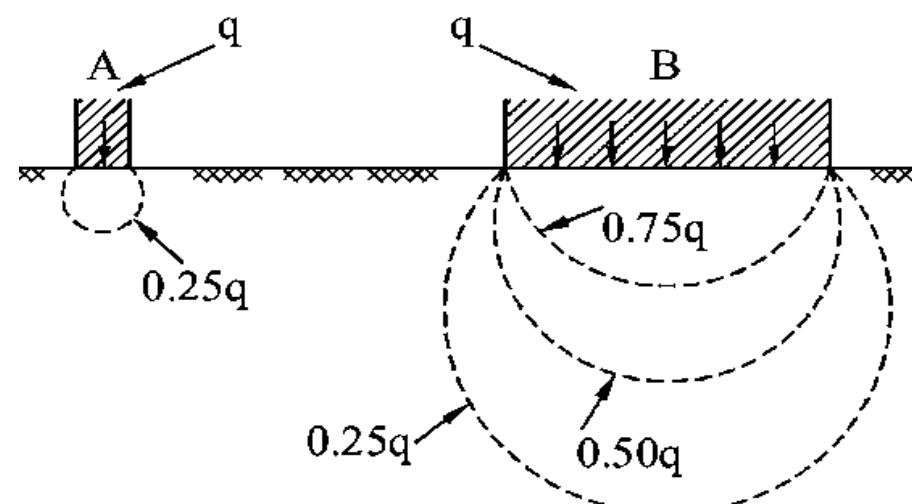
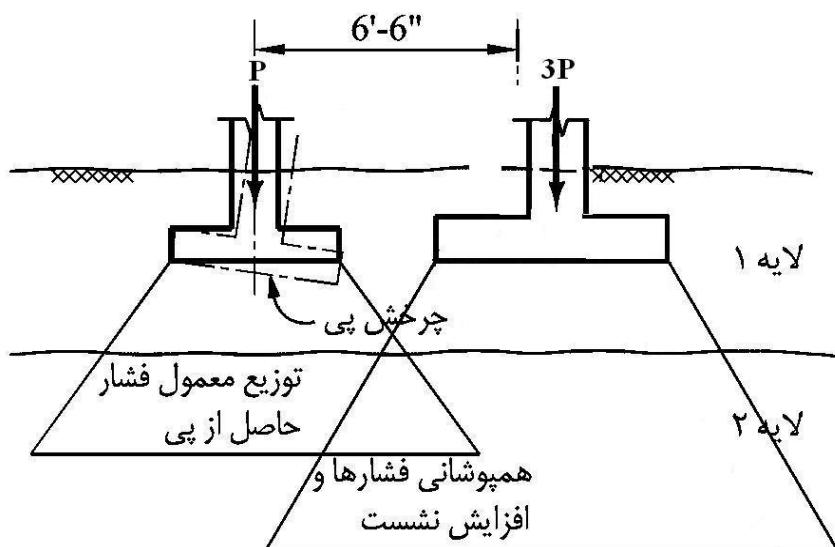


Interaction between adjacent buildings (Kempfert and Gebreselassie, 2006)



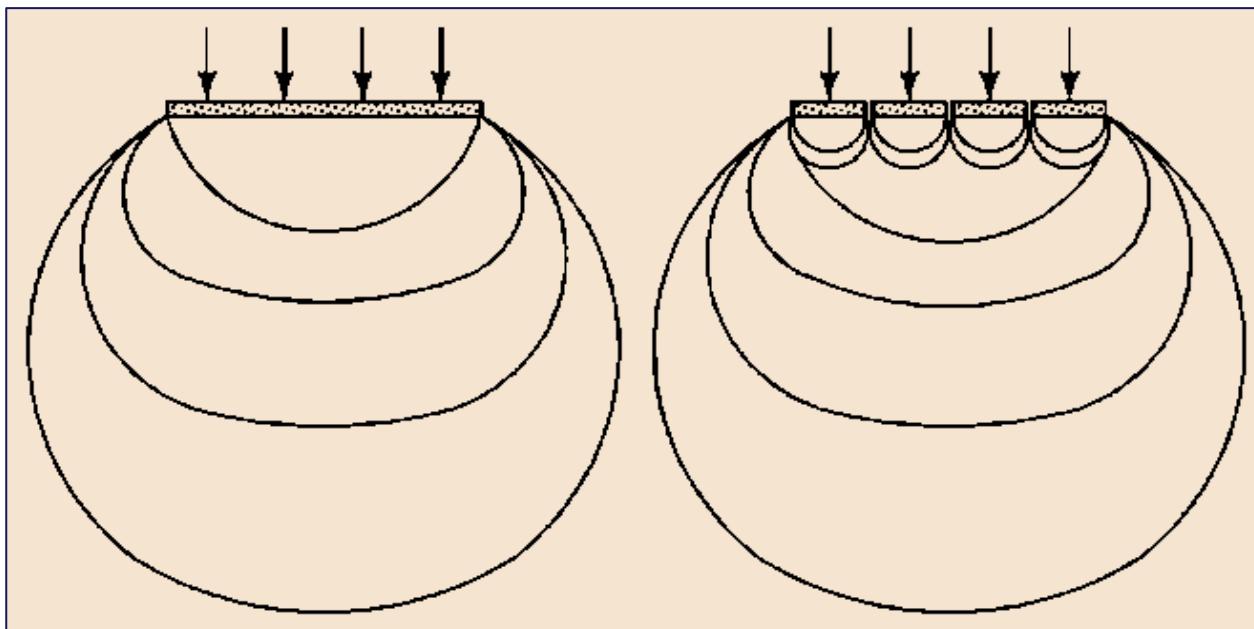
Interaction between excavation and adjacent buildings
(Korff, 2009)

نرديکي دو پي و تداخل تنشها



تجمیع و تداخل پی‌های تک: رادیه معادل

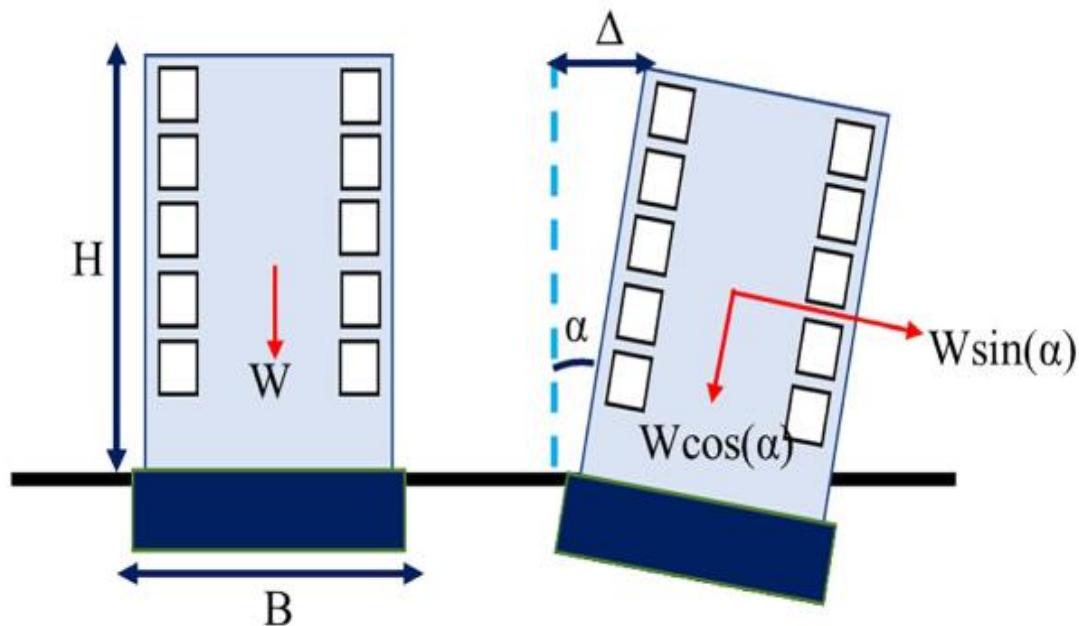
مجاورت و نزدیکی پی‌های منفرد مجاور هم می‌تواند همانند یک پی گسترده عمل نماید.



(پی گسترده)

(چند پی منفرد)

لنگرهای محرك القاچی بر اثر کجی



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

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

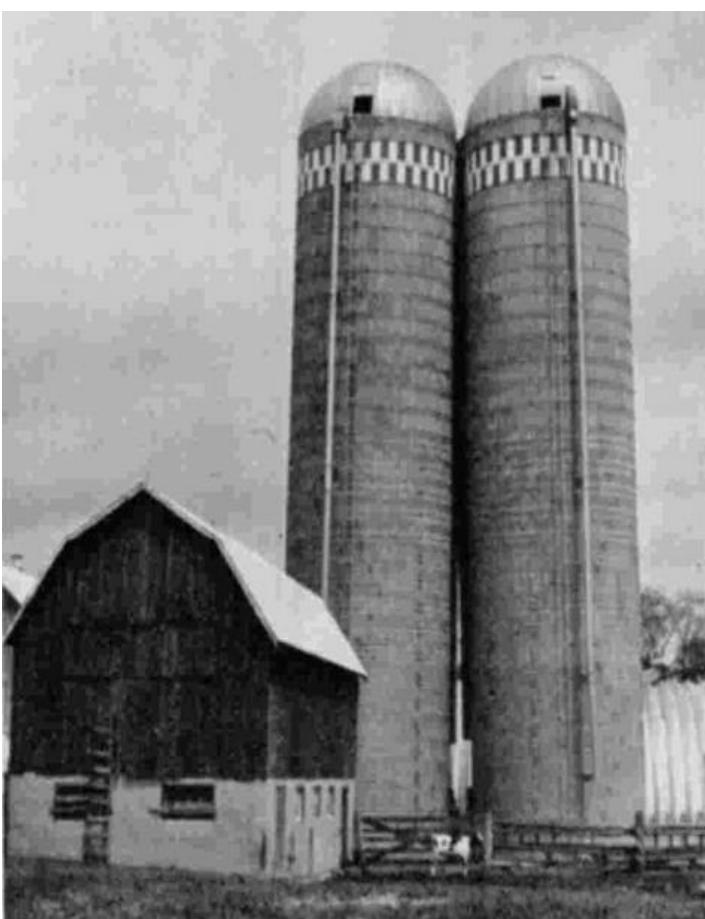
Schematic building rotation with resistance and overturning forces due to weight (Eslami et al., 2022)

عوارض سازه‌ای و معماری ساختمان‌های همچوار



موارد همچوارسازی پروژه‌ها

۱- سیلوهای مجاور



کج شدگی سیلوها (Bozozuk, 1976)

موقعیت: وینیپگ، کانادا

خاک: رس رودخانه‌ای Agassiz

خسارت:

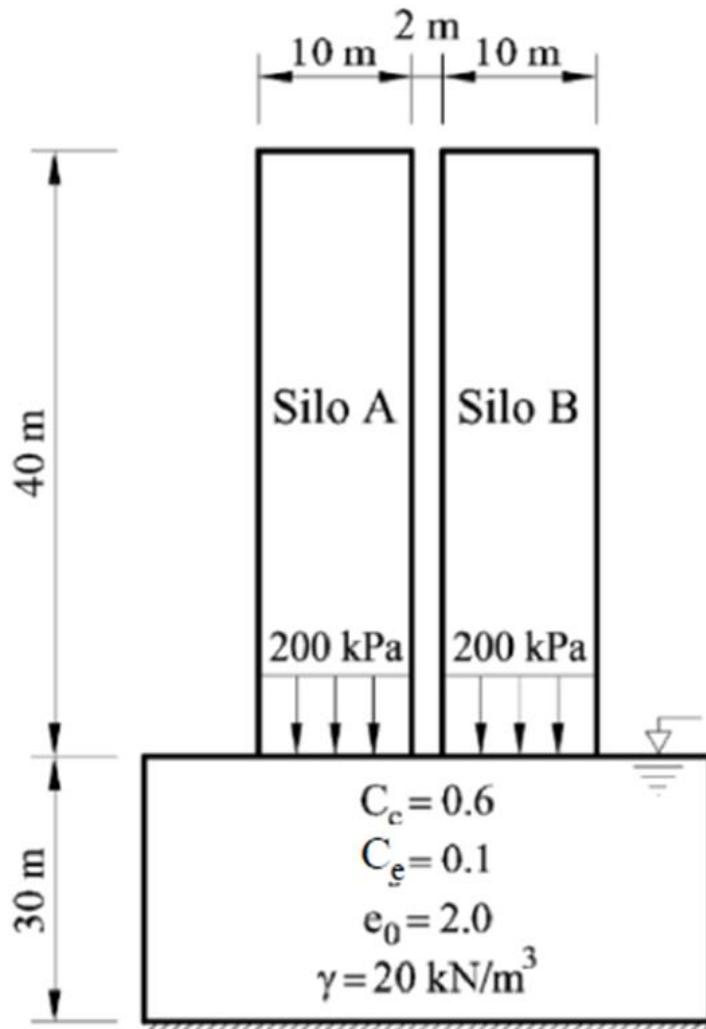
- چرخش سیلوها
- تخریب

جزئیات:

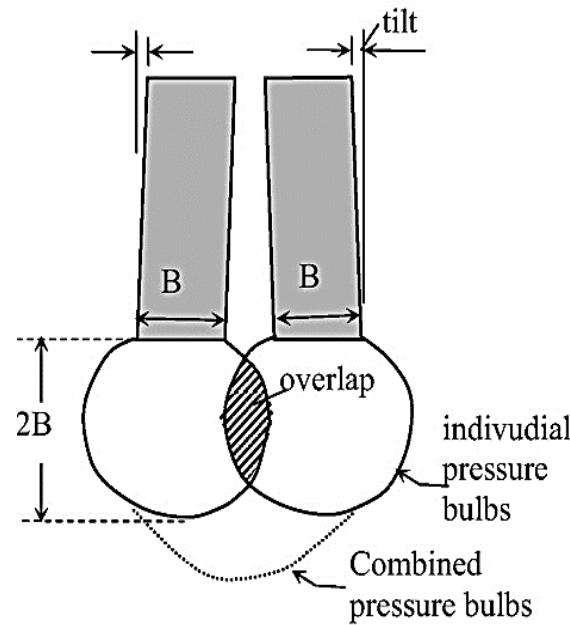
- ارتفاع سازه ۴۰ متر
- پی دایروی به قطر ۱۰ متر

موارد هم‌جوارسازی پروژه‌ها

۱- سیلوهای مجاور



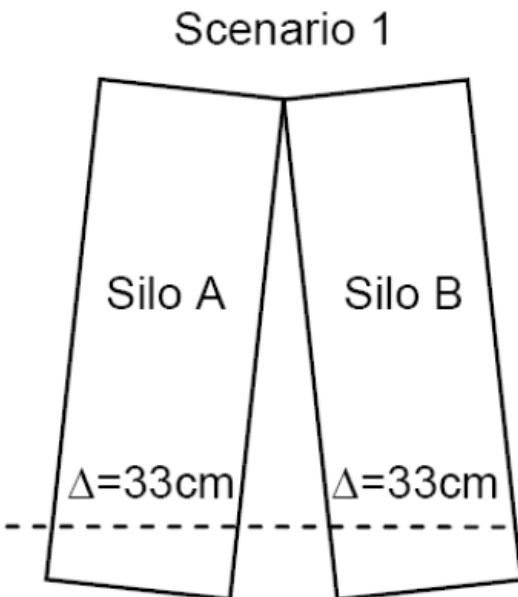
- عدم مطالعات اولیه و بررسی‌های ژئوتکنیکی
- وجود لایه نشست‌پذیر سطحی
- عدم لحاظ محاسبات بارگذاری نامتقارن غلات
- عدم لحاظ محاسبات همپوشانی تنش‌ها



موارد هم‌جوارسازی پروژه‌ها

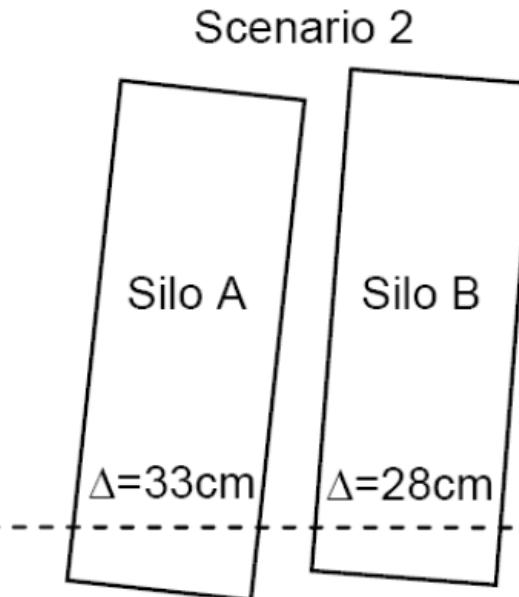
۱- سیلوهای مجاور

ساخت همزمان سیلوها



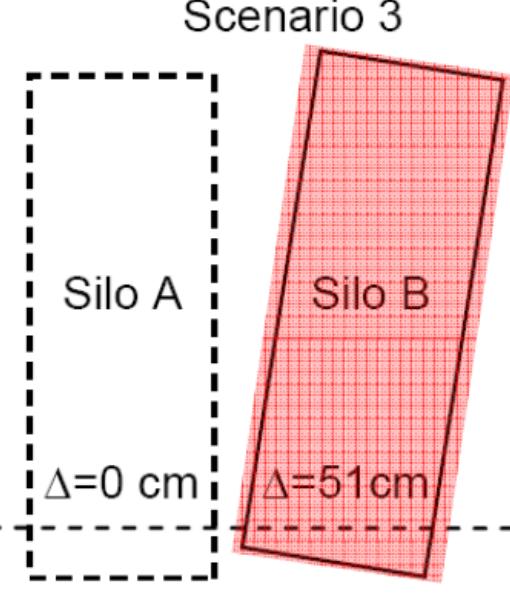
Differential settlement:
33.1 cm

ساخت سیلوی B پس از سیلو A



Differential settlement:
28.5 cm

ساخت سیلوی B پس از برداشتن سیلو A



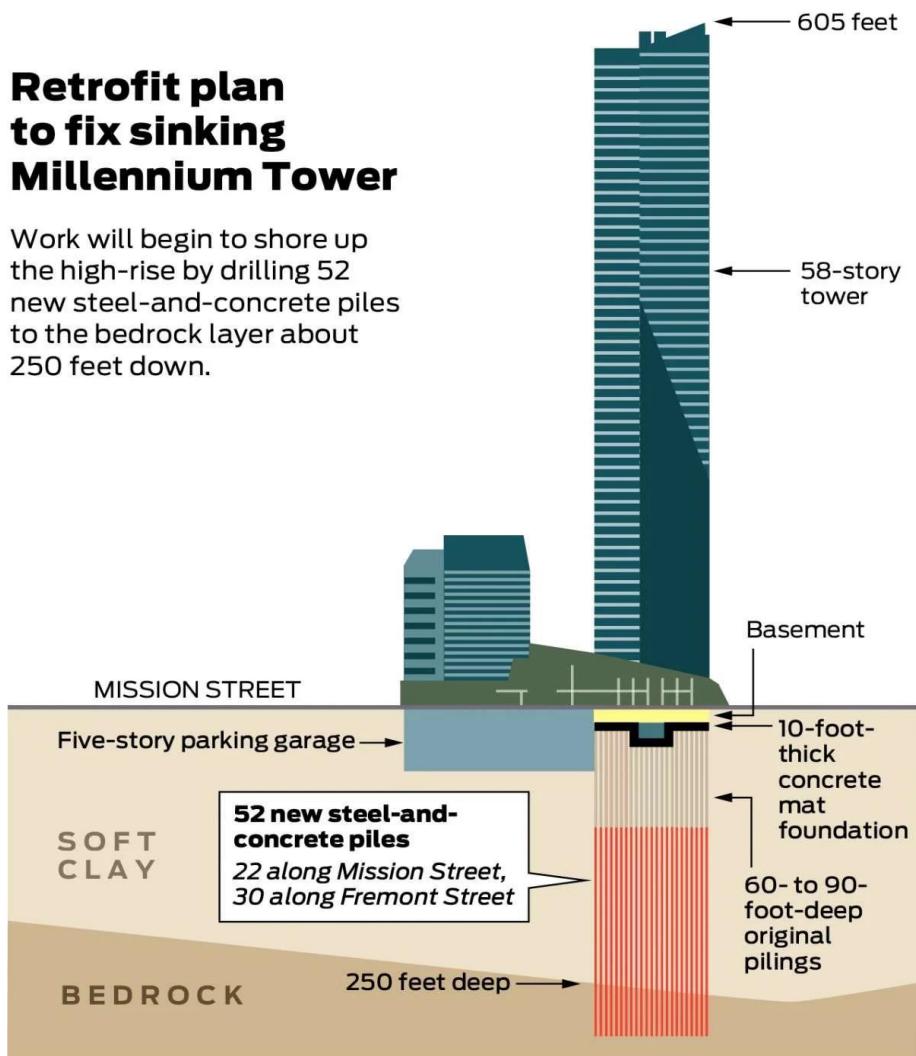
Differential settlement:
51.4 cm

موارد هم‌جوارسازی پروژه‌ها

Millennium Tower - ۲

Retrofit plan to fix sinking Millennium Tower

Work will begin to shore up the high-rise by drilling 52 new steel-and-concrete piles to the bedrock layer about 250 feet down.



موقعیت: سانفرانسیسکو، آمریکا

خاک: رس نرم

خسارت:

- چرخش

- ترک خوردنگی

جزئیات:

دال بتنی ساخته شده بر روی شمعه‌های 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 همچوارسازی پروژه‌ها

Millennium Tower - ۲

| 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**

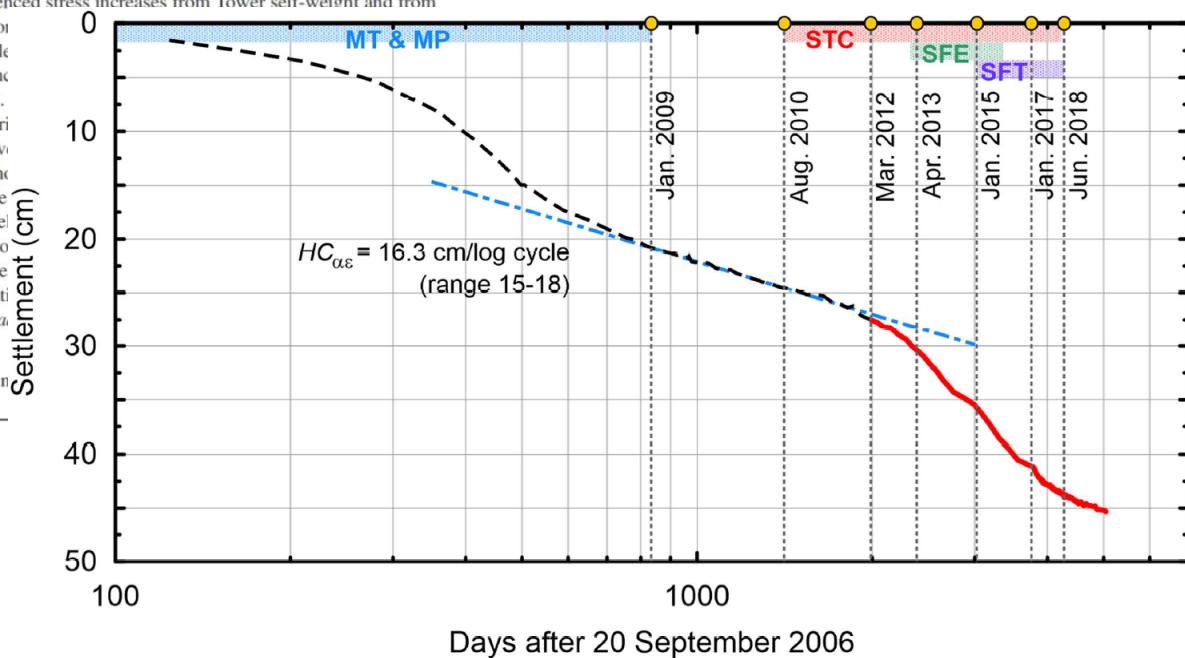
Foundation Settlement and Tilt of Millennium Tower in San Francisco, California

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 drift 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, which at various times occurred to the project south, north, east, and west); (2) describe this case history, including the geotechnical site conditions and results of a multi-year study of the 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 explained by analyses of volume change in Old Bay clay and other foundation soils from primary consolidation theory. Time variations of stress increase and groundwater level are accounted for. Three-dimensional deflections, which were caused by volume change and shear deformations in foundations from adjacent excavations. DOI: [10.1061/\(JGEGK.GTENG-10244\)](https://doi.org/10.1061/(JGEGK.GTENG-10244)). This work is made available under a Creative Commons Attribution 4.0 International license, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

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

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



موارد همچوارسازی پروژه‌ها

۳- ساختمان‌های Santos

موقعیت: Santos، برزیل

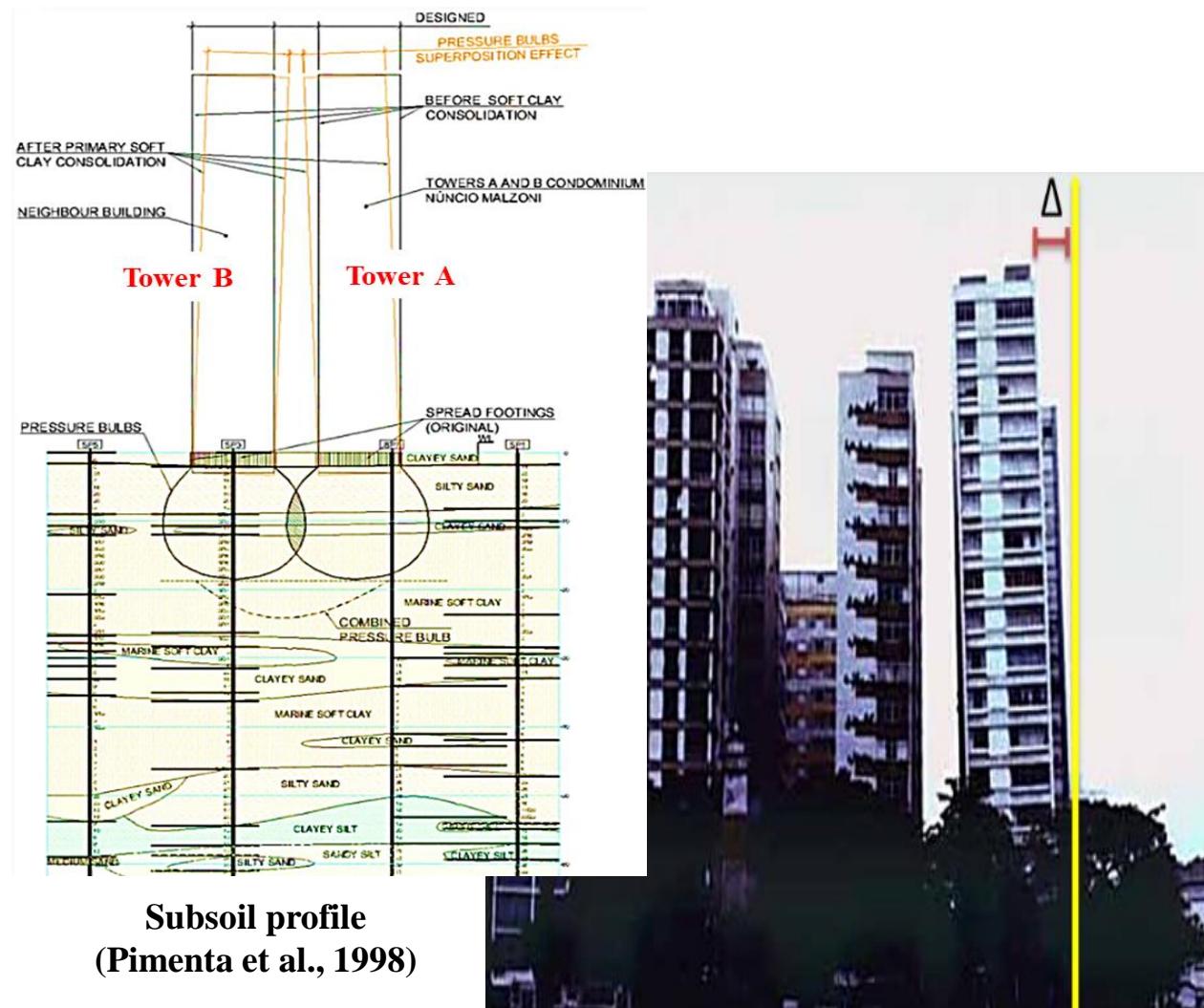
خاک: ماسه و رس دریایی

خصارت:

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

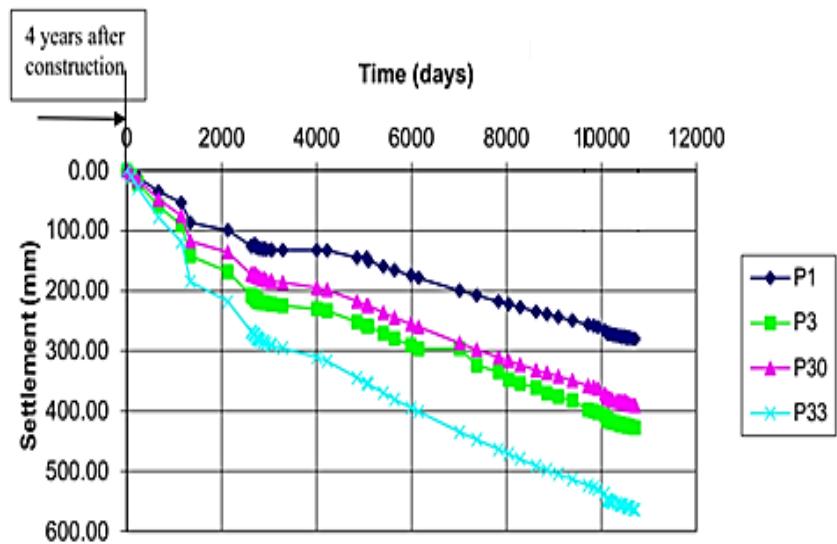
جزئیات:

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

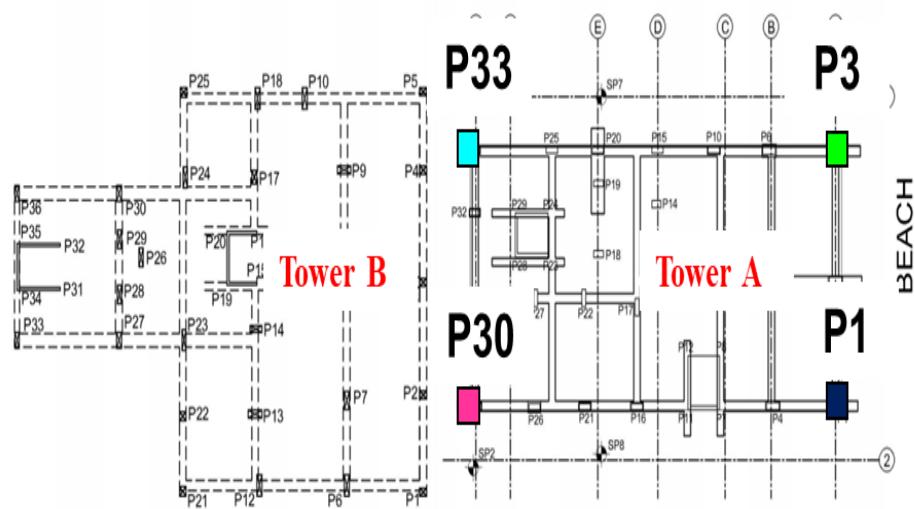


موارد هم‌جوارسازی پروژه‌ها

۳- ساختمان‌های Santos



Evolution of settlement along the time—
Tower A



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

موارد همچوارسازی پروژه‌ها

۴- ساختمان‌های مسکونی همچوار: استان مازندران

موقعیت: استان مازندران، ایران

خاک:

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

خسارت:

- ترک خوردگی نما و دیوارها
- کاهش سرویس‌دهی

جزئیات:

ساختمان ۳ و ۴ طبقه



موارد همچوارسازی پروژه‌ها

۵- ساختمان‌های مسکونی همچوار: استان گیلان



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

موقعیت: استان گیلان، ایران

خاک: رس

خسارت:

- ترک خوردگی نما و دیوارها

- کاهش سرویس‌دهی

- کجی و چرخش قابل ملاحظه

جزئیات:

ساختمان ۴ طبقه موجود در مجاورت ساختمان ۶ طبقه جدید



Adjacency damages (Marseh et al., 2013)

موارد همچوارسازی پروژه‌ها

۶- ساختمان‌های مسکونی همچوار: 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 ایجاد شده ناشی از نشست نامتقارن ساختمان

جزئیات:

ساختمان‌ها ۴ طبقه

موارد عملی

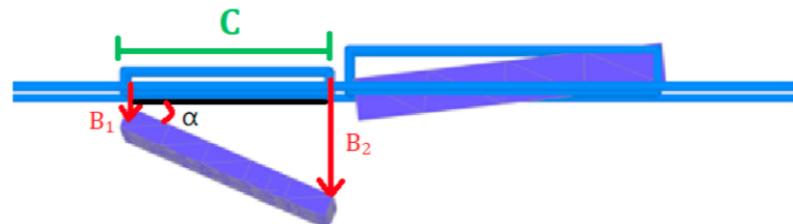
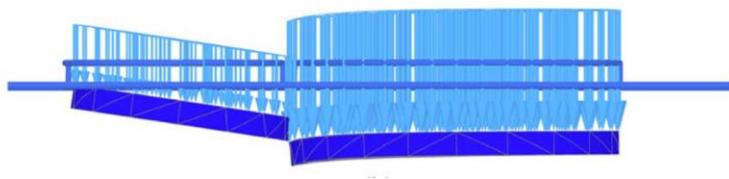
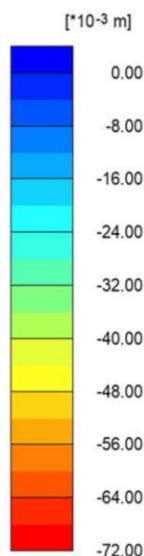
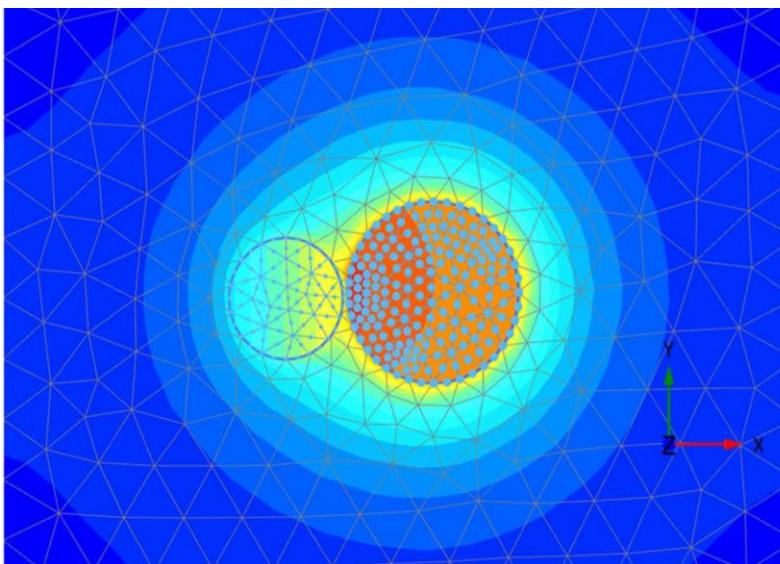
| ردیف | نام پروژه | مشخصات | علت عوارض | راه حل پیشنهادی |
|------|----------------------------------|---|--|--|
| ۱ | سیلوهای مجاور کانادا | سال ساخت ۱۹۱۳، مترا نشست پس از بارگذاری | بارهای سنگین سیلو و قرار گرفتن آنها بر روی خاک رس اشباع | استفاده از ستون سنگی، برداشت و جایگزینی خاک، شمع یا بهسازی 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 شبیه | 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 دائمًا اشباع و وجود رس‌های خیلی نرم | اجرای ستون سنگی و ریزشمع یا شمع پیچشی پرهای، پی‌چاهی |
| ۴ | Santos برج‌های | 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 درجارتیز 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، پی‌چاهی نیمه‌عمیق، ریزشمع یا شمع پیچشی پرهای به منظور عبور از لایه نرم |
| ۶ | برج Millenium در سانفرانسیسکو | ۵۸ طبقه، حدود نیم مترا نشست | احداث بر روی خاک رس نرم | استفاده از پی عمیق (در عمل مهندسان با نصب ۵۲ شمع در امتداد صلع 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 بنای سنگین و نهشته آتش‌فشاری 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 همچوارسازی

مطالعات تحلیلی و نظری

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



$$\alpha = \operatorname{Arctan}\left(\frac{B_2 - B_1}{C}\right)$$

مطالعات تجربی

Physical Modeling

An Intermediate Solution Between Element Testing & Full Scale

Physical Modeling Approaches

نمونه مدل فیزیکی

High Stress



Geotechnical Centrifuge



Calibration Chamber (CC)



Frustum Confining Vessel
(FCV)

1g



1g (diameter of 0.6 m)



1g (diameter of 1 m)

مطالعات تجربی



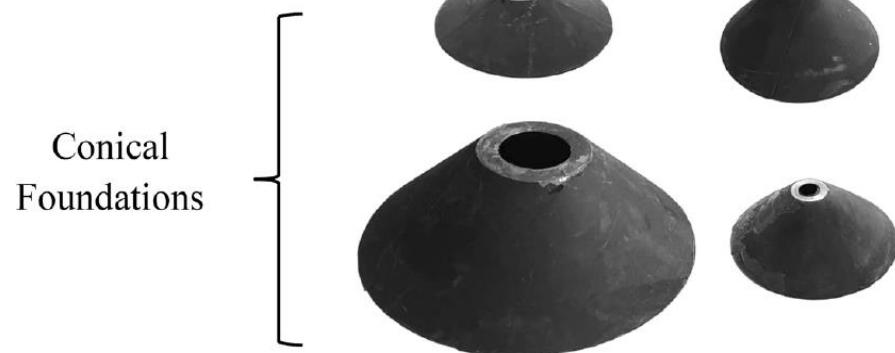
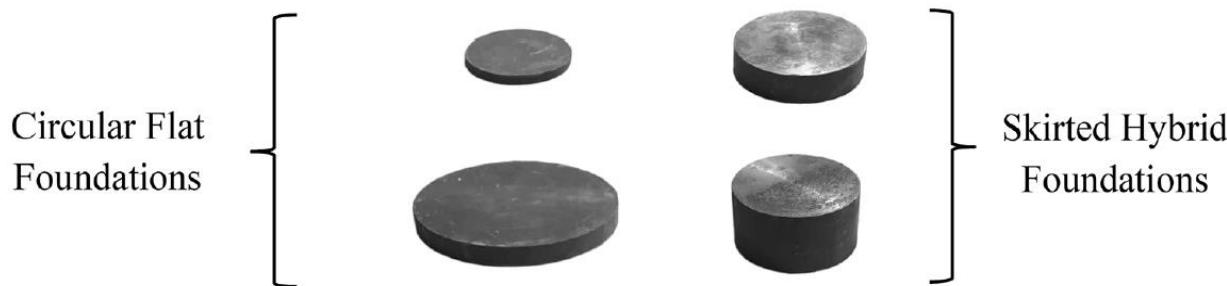
دستگاه 1g ساخته شده

- 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
(Moghadasi et al., 2024)**

مطالعات تجربی

پی‌های مورد مطالعه



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

مطالعات تجربی

خاک‌های مطالعه شده



۱- خاک دستی

۲- لس گلستان

۳- رس

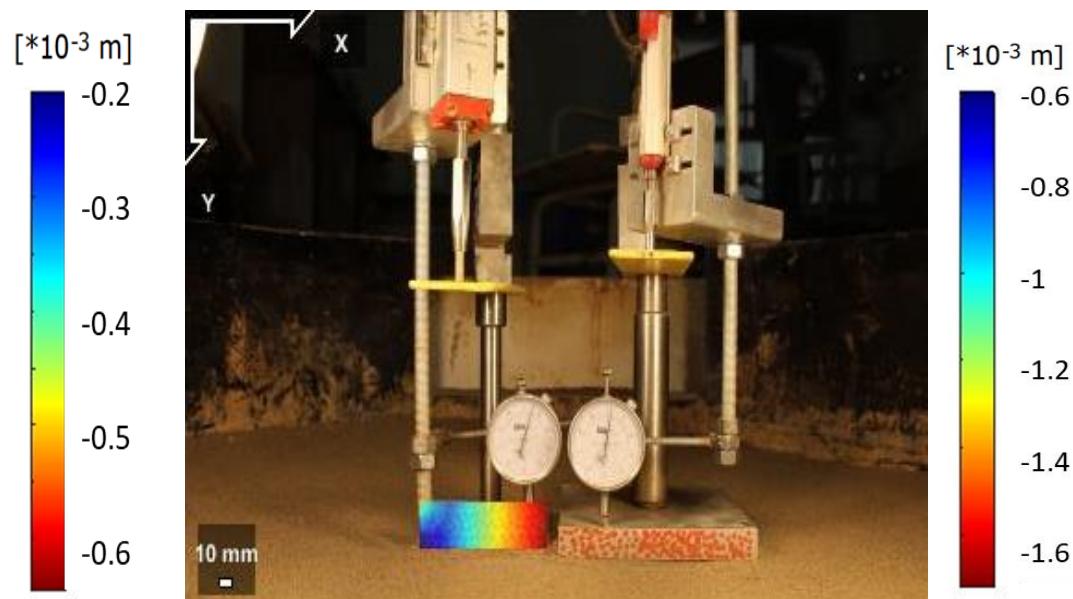
۴- ماسه (بابلسر)

مطالعات تجربی

نمونه خروجی پردازش تصویر: جابجایی کل پی موجود



Fill

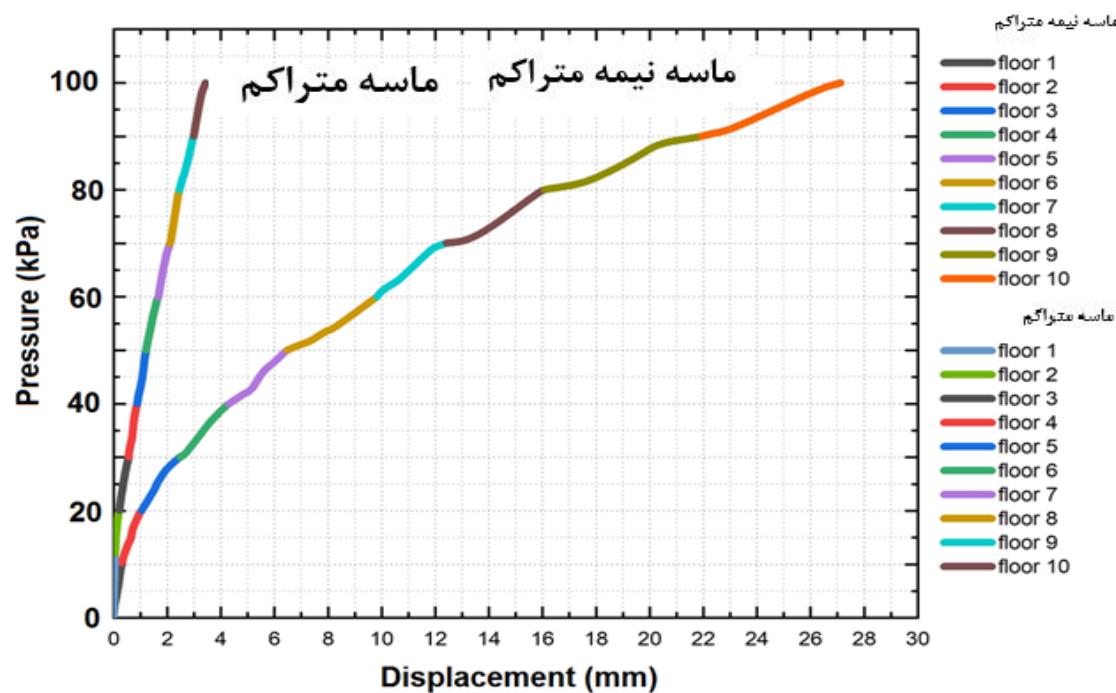


Sand

مطالعات تجربی

تأثیر تراکم ماسه بر میزان نشست

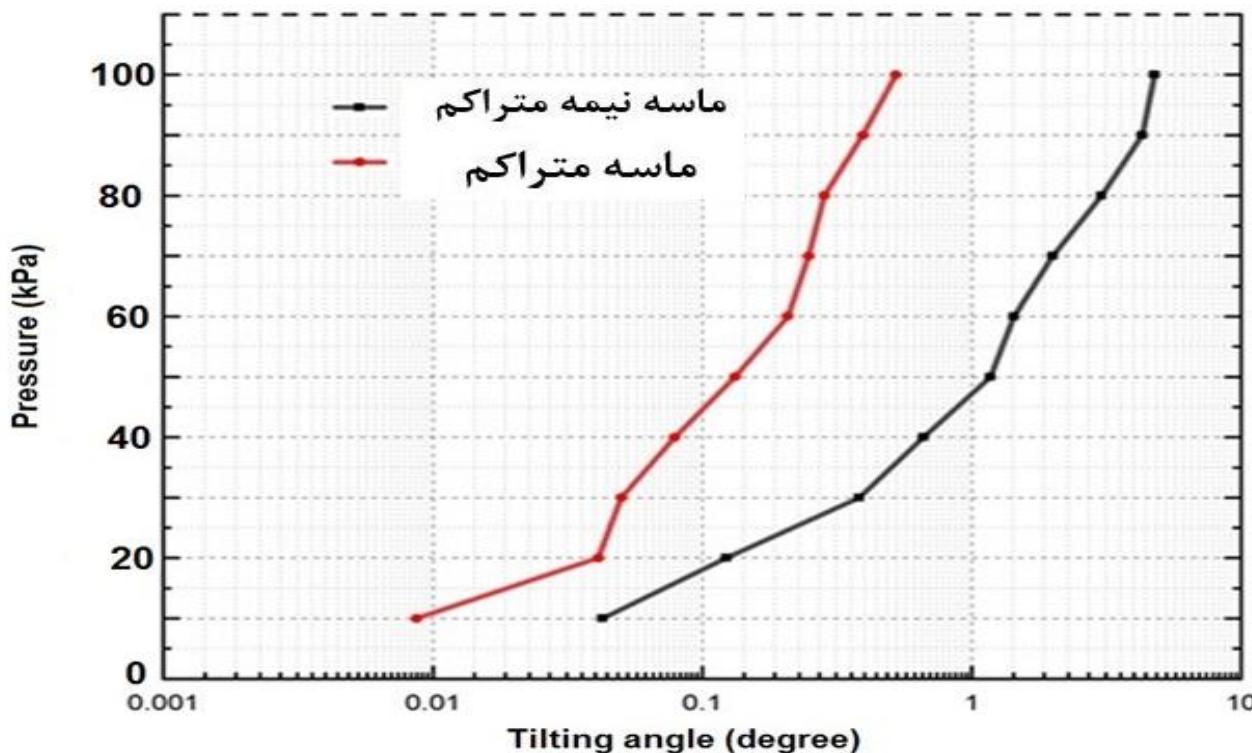
- نشست در خاک با تراکم متوسط: حدود ۲۷ میلی‌متر
- نشست در خاک متراکم: حدود $\frac{3}{5}$ میلی‌متر
- نشست در خاک با تراکم کم در حدود $\frac{7}{7}$ برابر نشست در خاک متراکم



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم ماسه بر میزان کجشدنگی

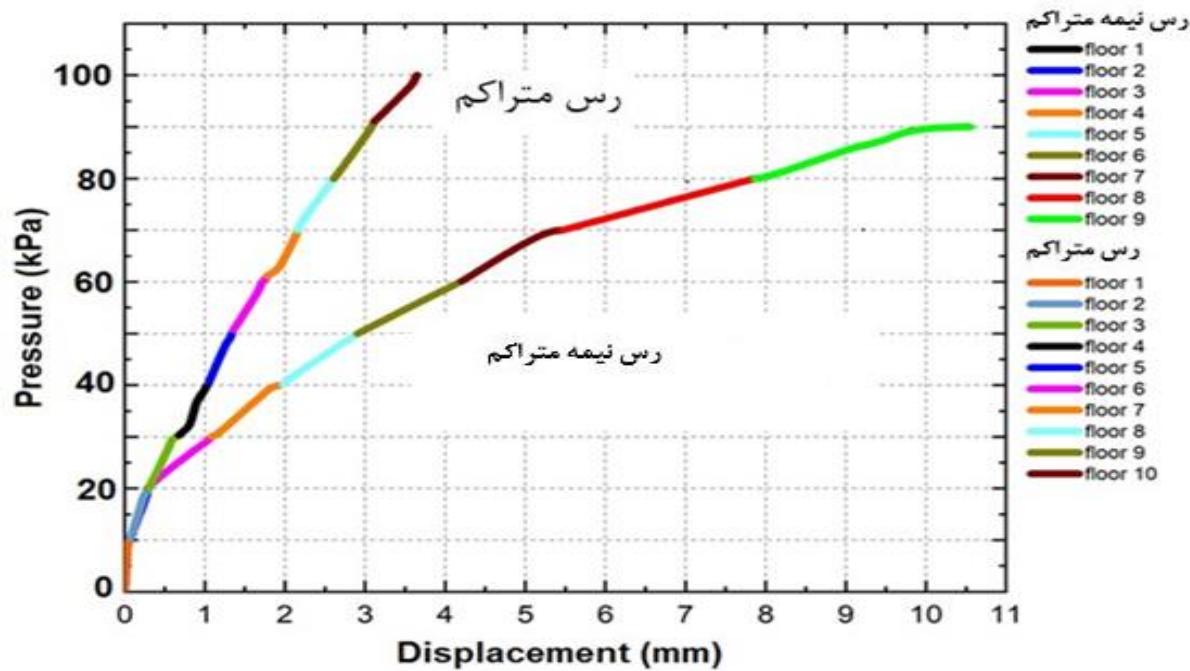
- کجشدنگی در خاک ماسه‌ای نیمه‌متراکم: 8°
- کجشدنگی در خاک ماسه‌ای متراکم: حدود $0/9^\circ$



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم رس بر میزان نشست

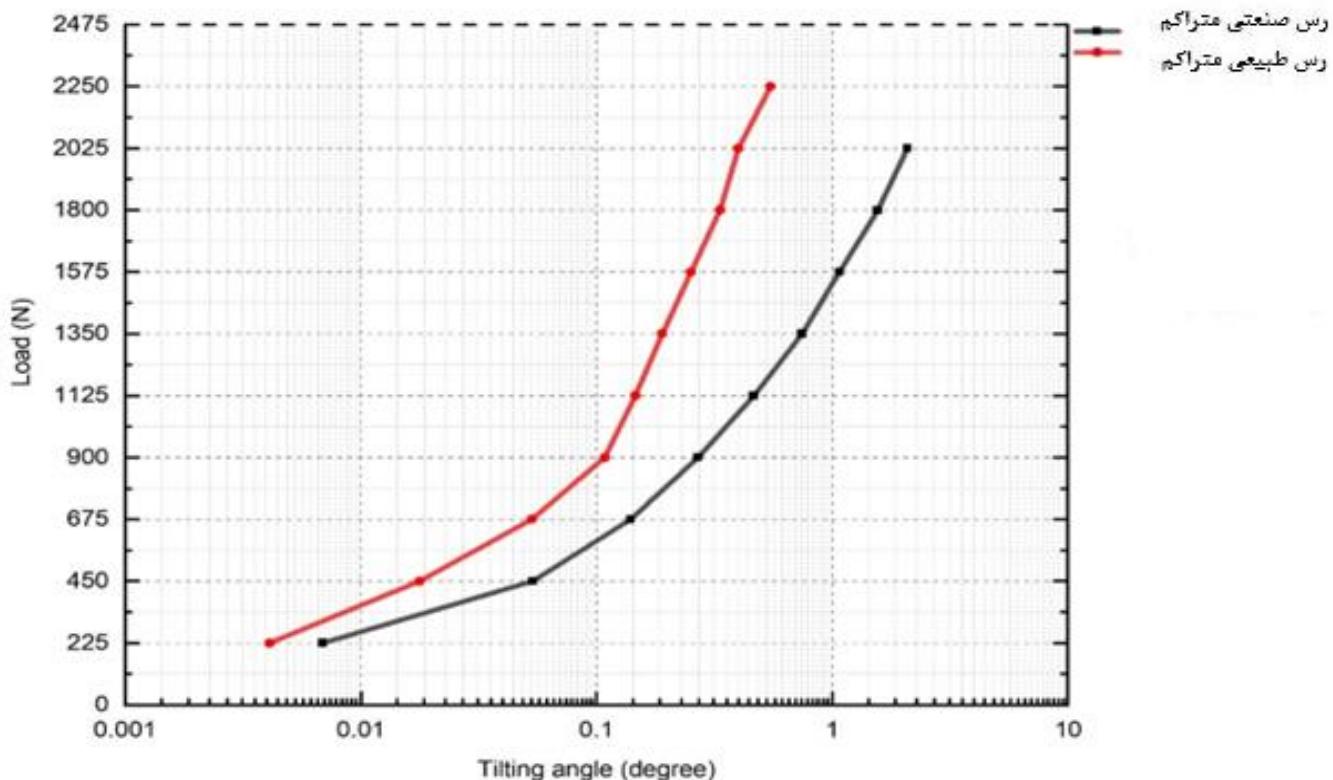
- نشست در خاک با تراکم کم: حدود ۱۱ میلی‌متر
- نشست در خاک متراکم: حدود ۴ میلی‌متر
- نشست در خاک با تراکم کم در حدود $\frac{2}{8}$ برابر نشست در خاک متراکم



مطالعات تجربی

تأثیر تراکم و نوع رس بر میزان کجشدنگی

- کجشدنگی در خاک با تراکم بالا: 80°
- کجشدنگی در خاک با تراکم کمتر: حدود 52°



مطالعات تجربی

بررسی اثر مقیاس (Scale Up)

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

برای خاک صرفاً چسبنده:

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

برای خاک ماسه‌ای:

S_F = نشست صفحه

S_F = نشست فونداسیون

B_P = بعد صفحه

B_F = بعد فونداسیون

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 | ۴ | ۷/۲ |
| | متراکم | ۱ | ۹/۳ |
| ریزدانه | نیمه‌متراکم | 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 | نیمه‌متراکم | ۲۷ | ۸/۱ |
| | متراکم | ۴/۳ | ۳/۱ |
| ریزدانه | نیمه‌متراکم | ۵/۱ | ۱۰۵۰ |
| | متراکم | ۶/۳ | ۳۶۰ |

مطالعات تجربی



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.

روش‌های 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
 - ✓ متراکم‌سازی
 - ✓ تثیت فیزیکی و شیمیایی
 - ✓ زهکشی
 - ✓ خاکبرداری و عملکرد پی شناور
 - ✓ مسلح‌سازی
- روش پی‌سازی
 - ✓ پی عمیق
 - ✓ پی نیمه‌عمیق: جعبه‌ای
 - ✓ ایجاد اختلاف رقوم در پی قدیم و جدید
- روش جداسازی ←
 - ✓ دیوار دیافراگمی و یا ساخت بالا به پایین (Top-Down)

روش‌های جلوگیری و علاج بخشی

بهسازی خاک

بیش از ۵۰ روش بهسازی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به ۵ کلاس عمده زیر تقسیم نمود:

۱- عملیات خاکی (Earth Work)

۲- متراکم‌سازی (Densification)

۳- بهسازی فیزیکی- شیمیایی
Modification)

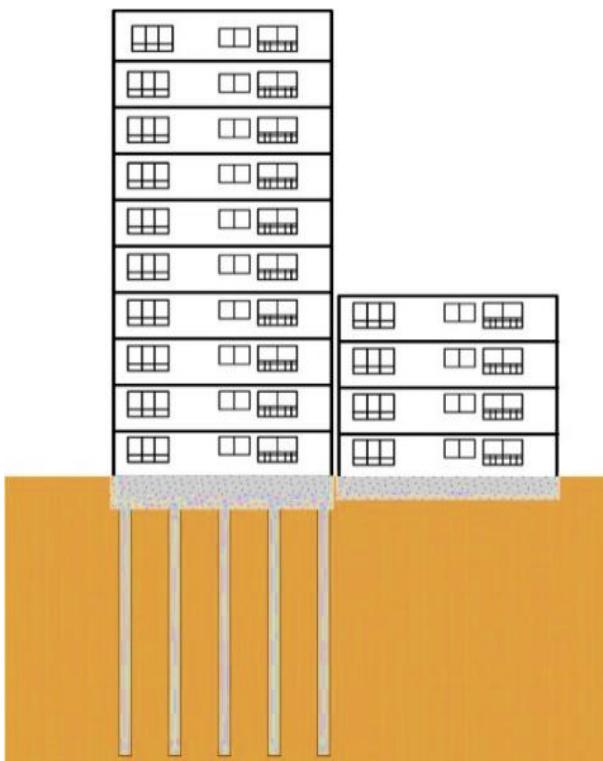
(Hydraulic Modification) ۴- بهسازی هیدرولیکی

(Reinforcement) ۵- مسلح‌سازی

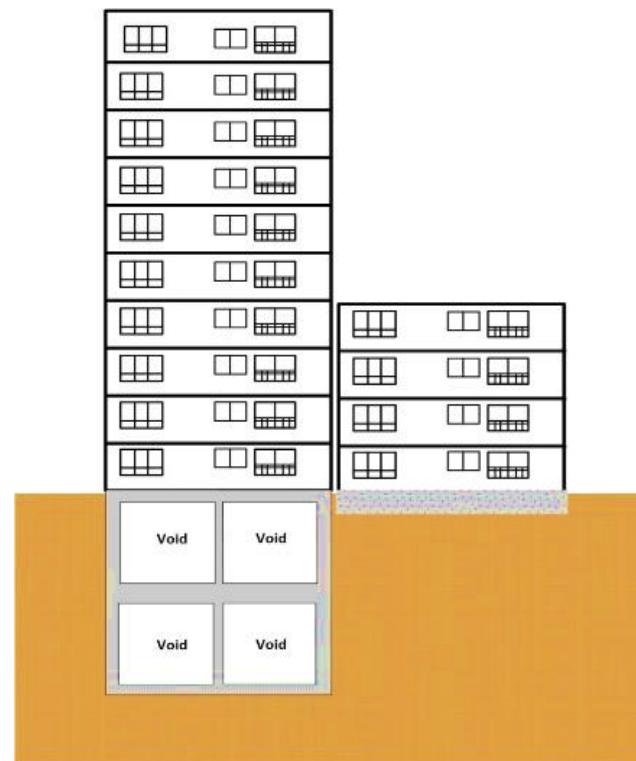
دسته‌بندی کلی روش‌های بهسازی خاک

روش‌های جلوگیری و علاج بخشی

پی‌سازی: نیمه عمیق و عمیق



Deep Foundation



**Semi-Deep/
Box Foundation**

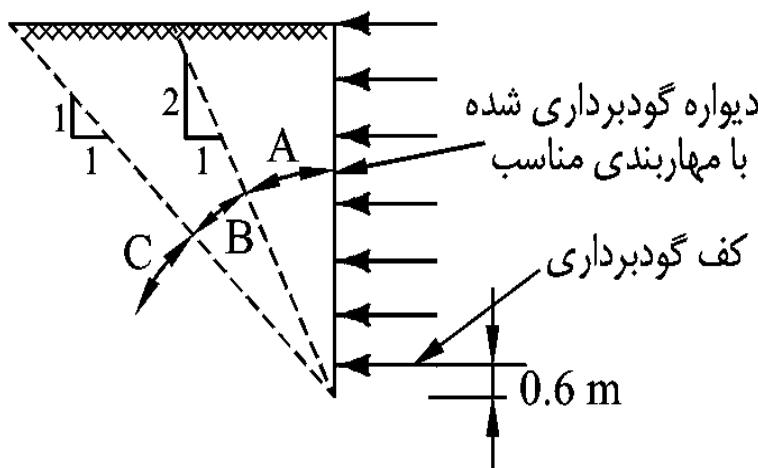
روش‌های جلوگیری و علاج بخشی

جداسازی

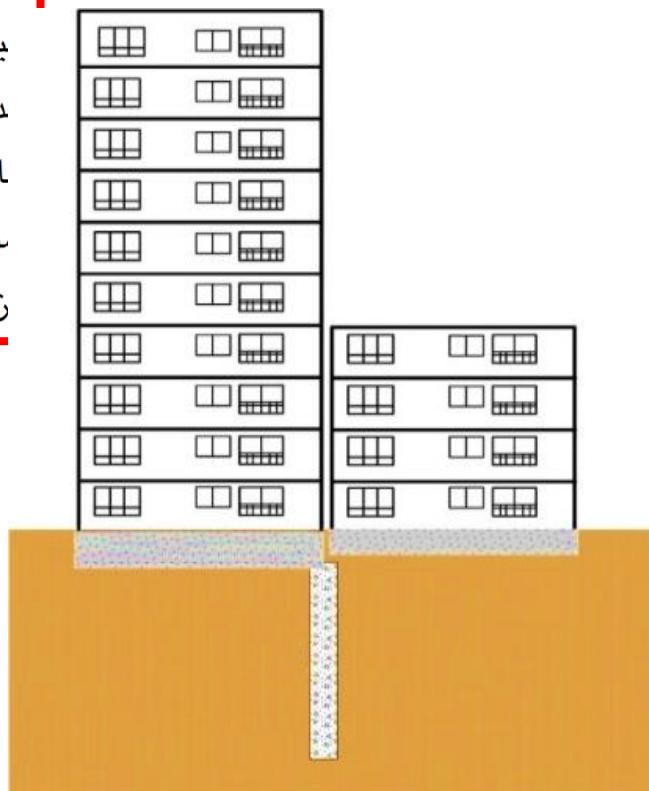
ناحیه A: فونداسیونها در این ناحیه معمولاً نیاز به تقویت از زیر دارند.

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

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



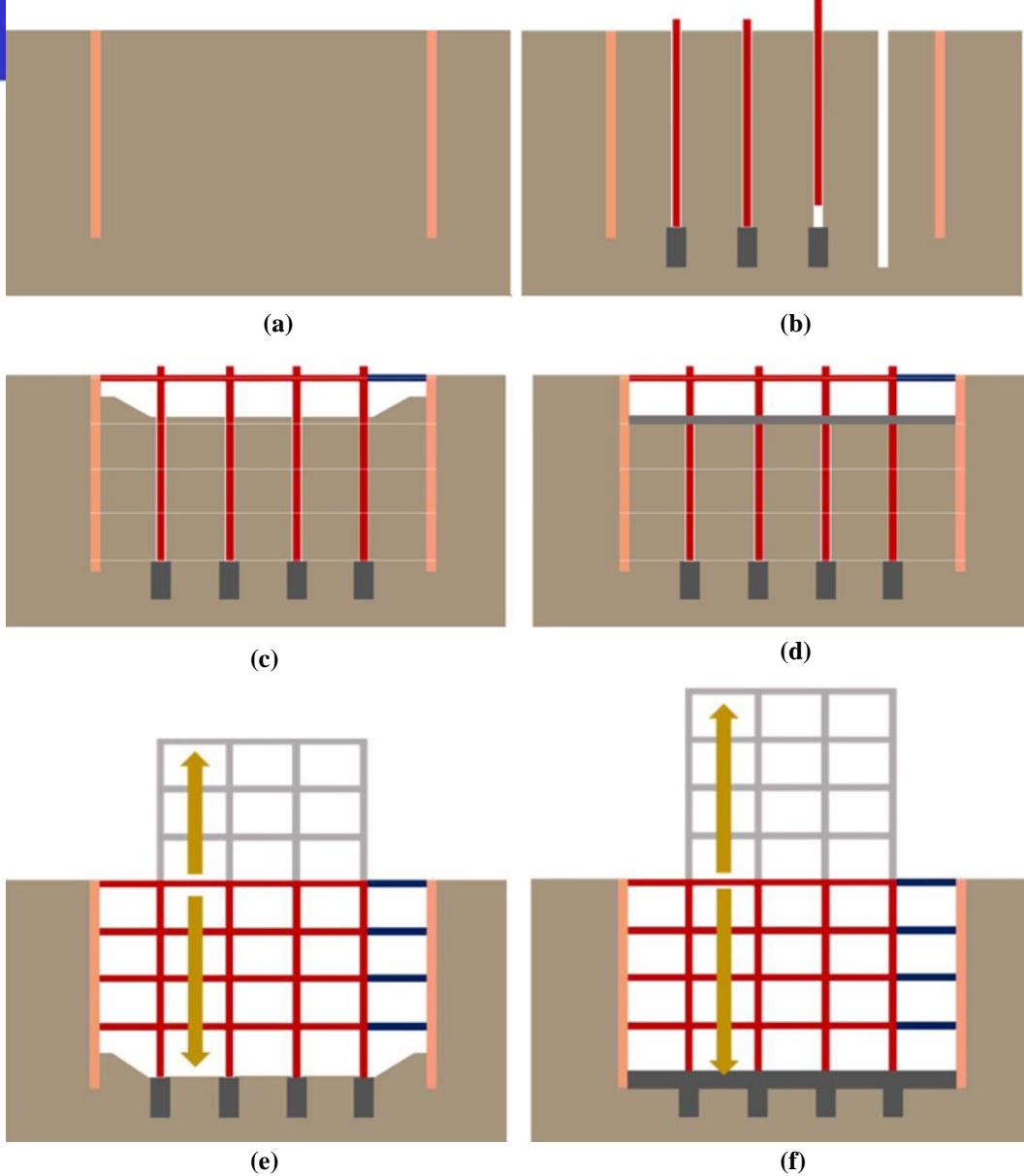
تقسیم‌بندی بستر ابنيه مجاور نواحی گودبرداری شده جهت مقاومسازی در زیر فونداسیون‌های مجاور (CFEM, 2006)



**Diaphragm Wall
(Detention Wall)**

روش‌های جلوگیری و علاج بخشی

ساخت همزمان روپاژه 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)

روش‌های جلوگیری و علاج بخشی

ساخت همزمان روپاژه و زیرسازه (Top-Down Construction)

مزایا:

- اجرای همزمان روپاژه و زیرسازه
- کنترل جابجایی‌ها 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 ماشین‌آلات
- کاهش گرد و غبار ناشی از ساخت و حذف مشکلات زیست محیطی
- عملکرد سیستم پی جعبه‌ای به عنوان فونداسیون نیمه عمیق
- طراحی بهینه با تلفیق روپاژه 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
- **فونداسیون‌های موجود و جدید**
- شرایط مجاور و پیرامونی: سازه‌های هم‌جوار و مستحدثات
- شرایط آتی:
- تغییرات آب زیرزمینی، بارهای غیرمنتظره، حفر تونل، گودبرداری و فرونشست

❖ ملزمات اصلی طراحی پی:

❖ Major Design Requirements:

- تعیین ظرفیت باربری
 - تخمین نشست
 - طراحی سازه‌ای
 - بار-جابجایی
 - کنترل پایداری
 - شاخص‌های اجرایی و اقتصادی
- ← ✓ عمق استقرار

جمع‌بندی

❖ 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 روپاژه و زیرسازه

- ساختمان جدید:

- ✓ بهسازی: لحاظ روش بهینه بهسازی خاک مسئله‌دار
- ✓ پی‌سازی: انتخاب بهینه سیستم فونداسیون عمیق یا نیمه‌عمیق
- ✓ 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 Karakouzian

Dr. Abolfazl Eslami

[Link](#)

چشم‌انداز

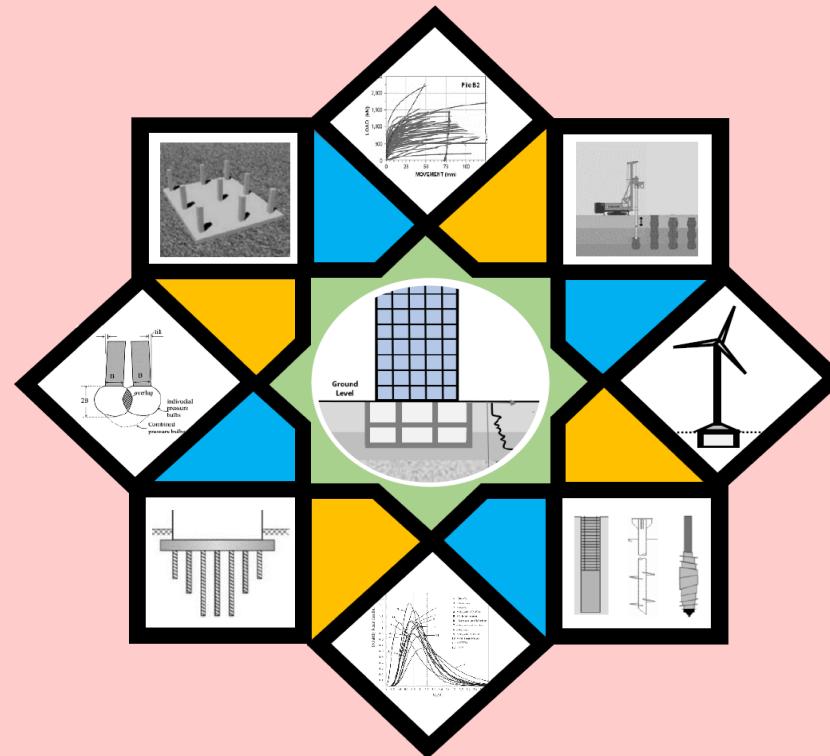
Issues & Novel Points

- 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

مباحث شاخص و بارز

- نگرش نوین در طبقه‌بندی پی
- پی‌های خاص
- فونداسیون بر بسترها بهسازی شده
- کاربرد آزمایش‌های درجا
- پی‌های عمیق در شرایط خاص
- سیستم پی رادیه - مرکب
- عدم قطعیت و LRFD
- خرابی و آسیب‌های پی‌ها
- تعمیر، تقویت و استفاده مجدد
- انتخاب سیستم بهینه

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، کاوش‌ها 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 امیرحسین ابراهیمی‌پور



با سپاس از حضور و التفات شما
Thanks for Your Attention

abolfazleslami.com / Link