

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مکانیک خاک II

❖ مقاومت برشی خاکهای دانه ای در حالت خشک و اشباع

❖ تزریق

❖ بررسی نفوذپذیری در محل

❖ تنش در خاک بصورت دو بعدی و سه بعدی

❖ تمکیم سه بعدی

ارزشیابی:

✓ کوپیز

✓ میان تره

✓ پروژه

✓ پایان تره

مقاومت برشی (Shear Strength)

مفاهیم مورد نظر

- ✓ ضرورت اطلاع از مقاومت برشی خاکها
- ✓ معیار گسیختگی موهر کولمب
- ✓ دایره موهر و پوش گسیختگی
- ✓ آزمایش سه محوره
- ✓ آزمایش برش مستقیم
- ✓ مسیر تنش

انواع نیرو و تنش

✓ محوری (کشش، فشار)

✓ برش (برش)

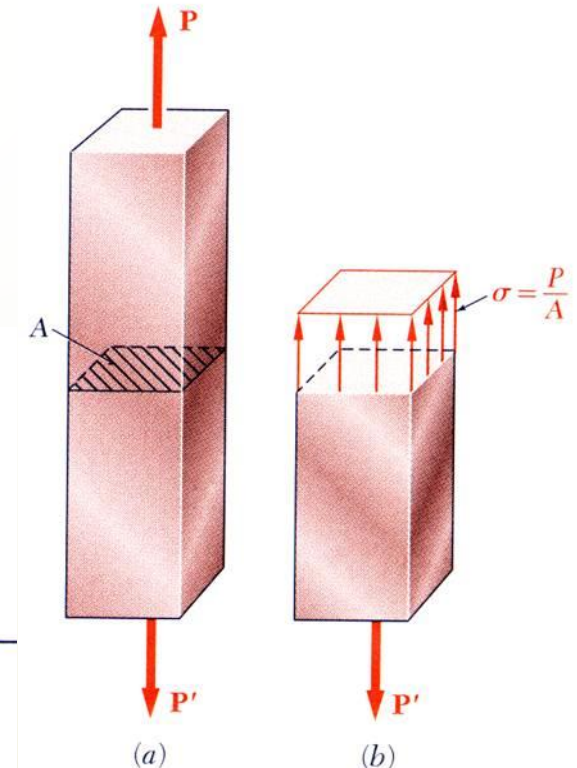
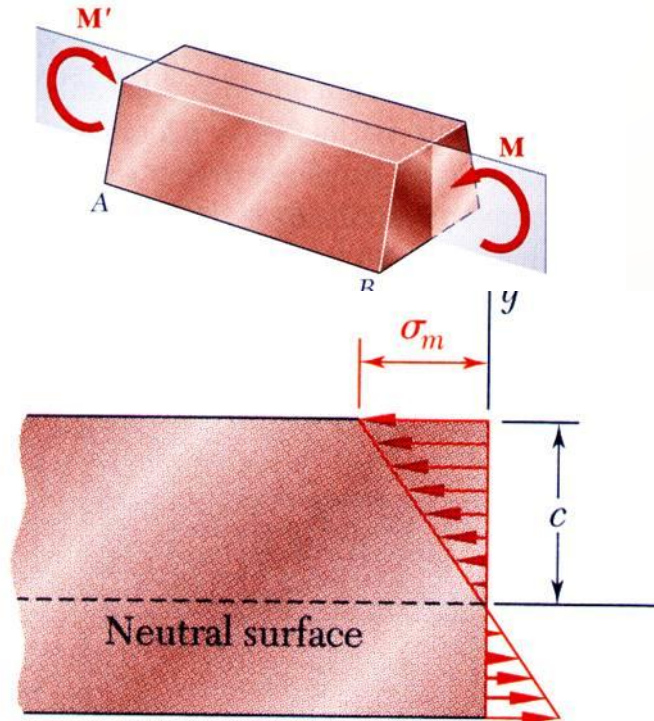
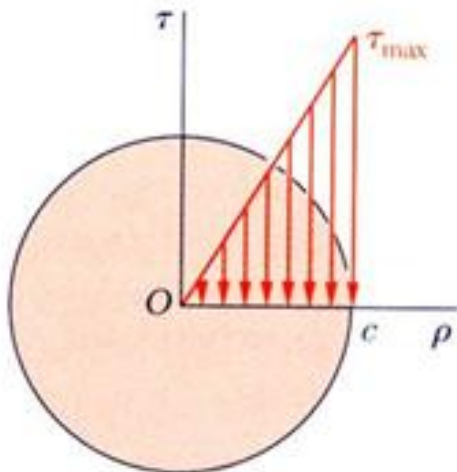
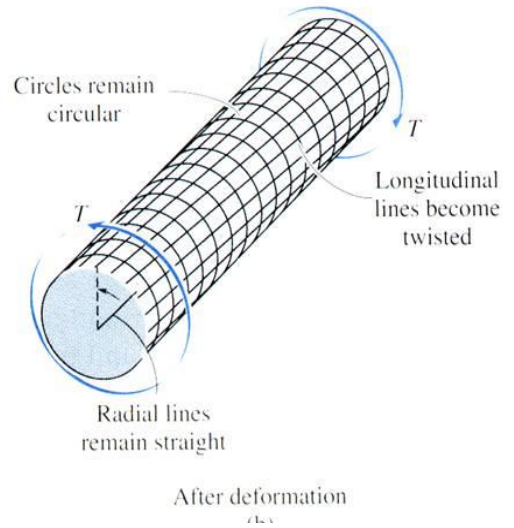
✓ خمشی (برش، کشش و فشار)

✓ پیچش (برش)

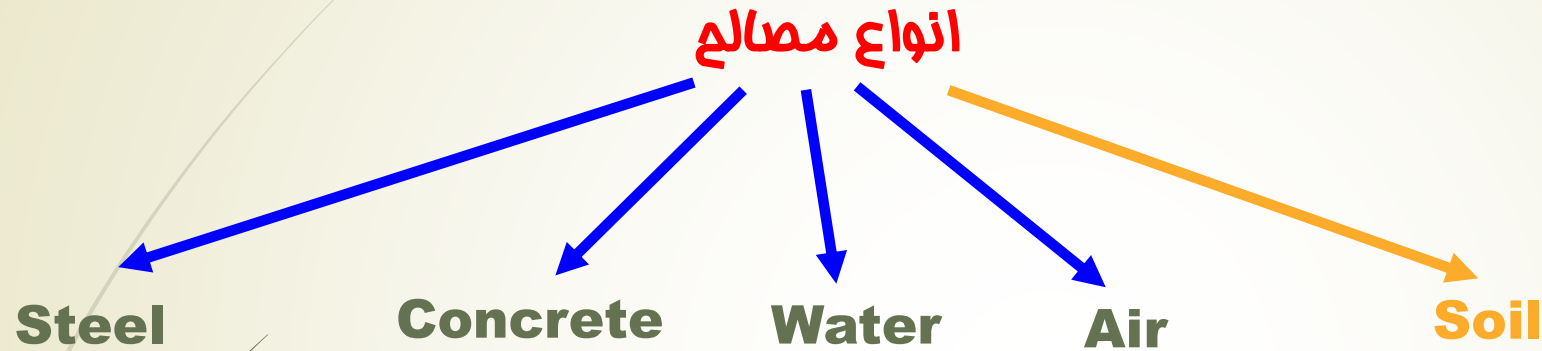
✓ مقاومت برشی

✓ مقاومت کششی

✓ مقاومت فشاری



انواع مصالح



- ✓ جامد (فولاد، بتن، چوب)
- ✓ مایع (آب)
- ✓ گاز (هوا)

فای

- ✓ دانه های جامد (Soil Grain)
- ✓ آب (Water)
- ✓ هوا (Air)



تنش قابل تحمل انواع مصالح

جامد:

✓ تنش کششی

✓ تنش فشاری

✓ تنش برشی

مایع:

× تنش کششی

✓ تنش فشاری

× تنش برشی

گاز:

× تنش کششی

✓ تنش فشاری

× تنش برشی

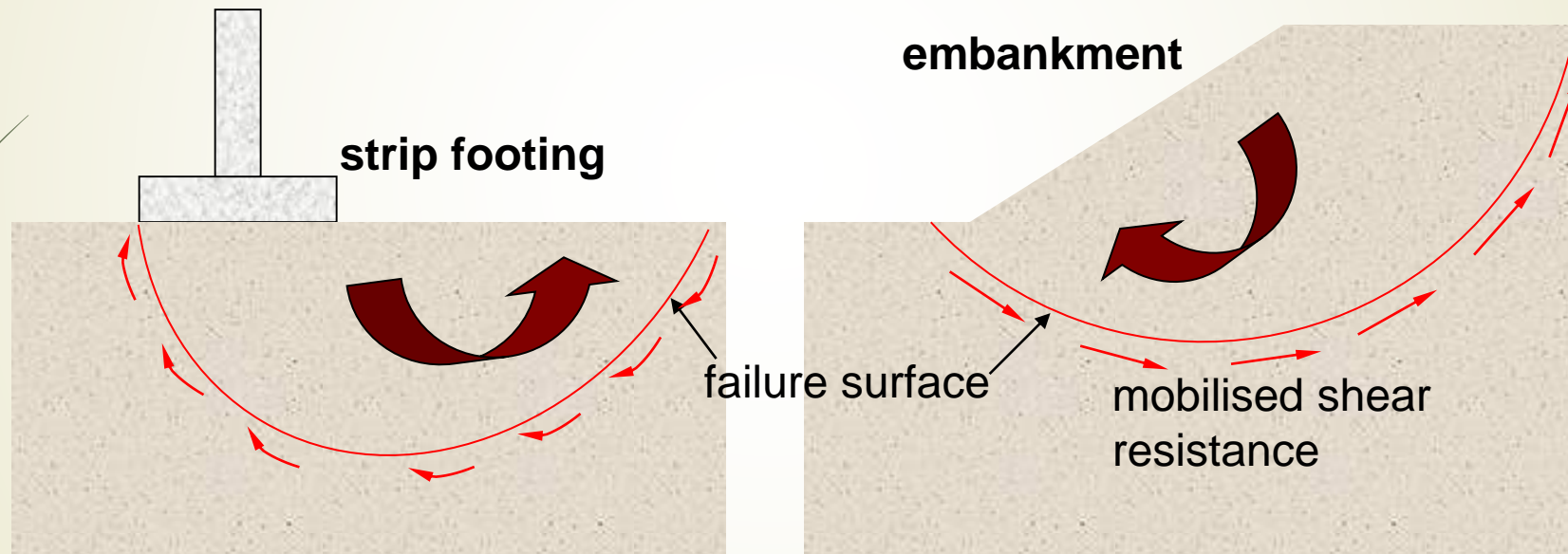
خاک:

× تنش کششی

✓ تنش فشاری

تنش برشی؟

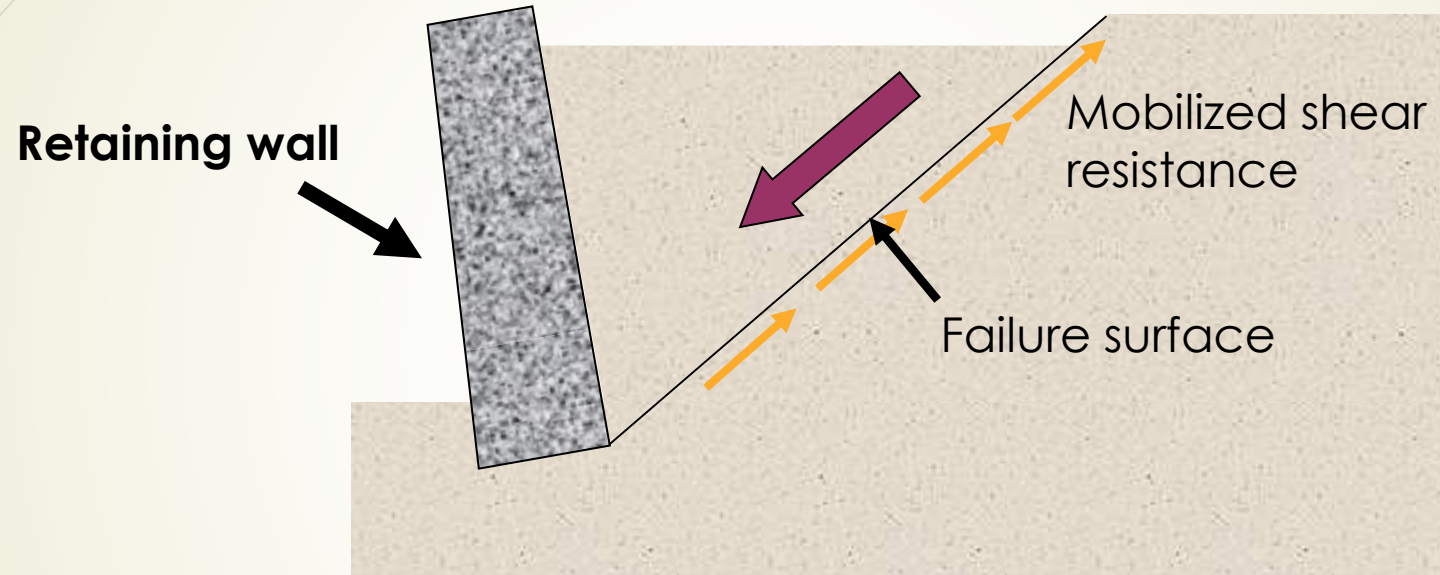
خاکها در اثر برش دچار گسیختگی می شوند.



در زمان گسیختگی، تنش برشی ایجاد شده در سطح برشی به مقاومت برشی میرسد

Retaining wall





در زمان گسیختگی، تنش برشی ایجاد شده در سطح برشی به مقاومت برشی میرسد





Shanghai, China – 2007
13 story



Niigata -Japan (1964)



Izmit- Turkey (1999)



سطح گسیختگی

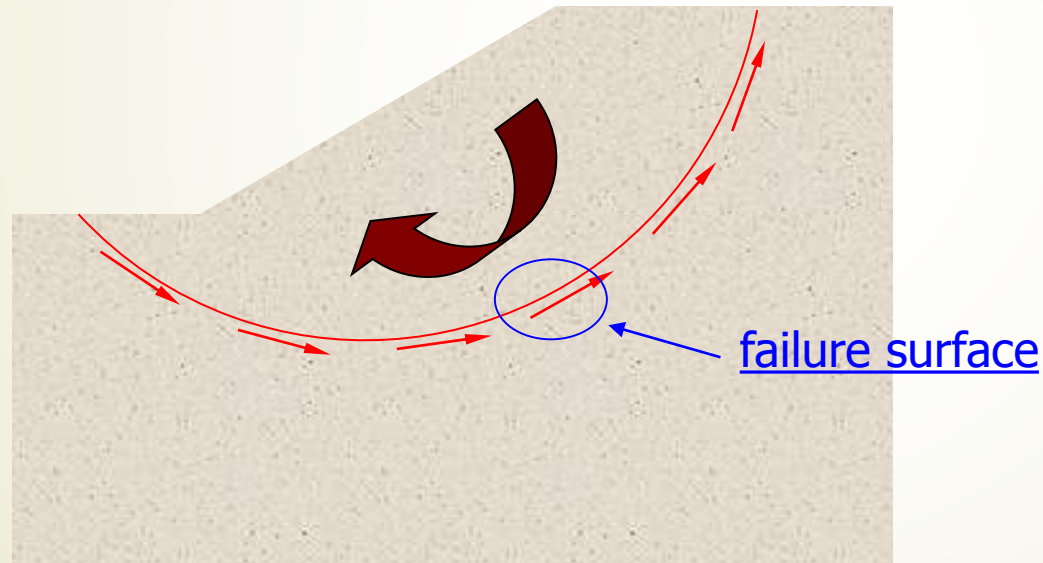
دانه های خاک نسبت به یکدیگر دچار

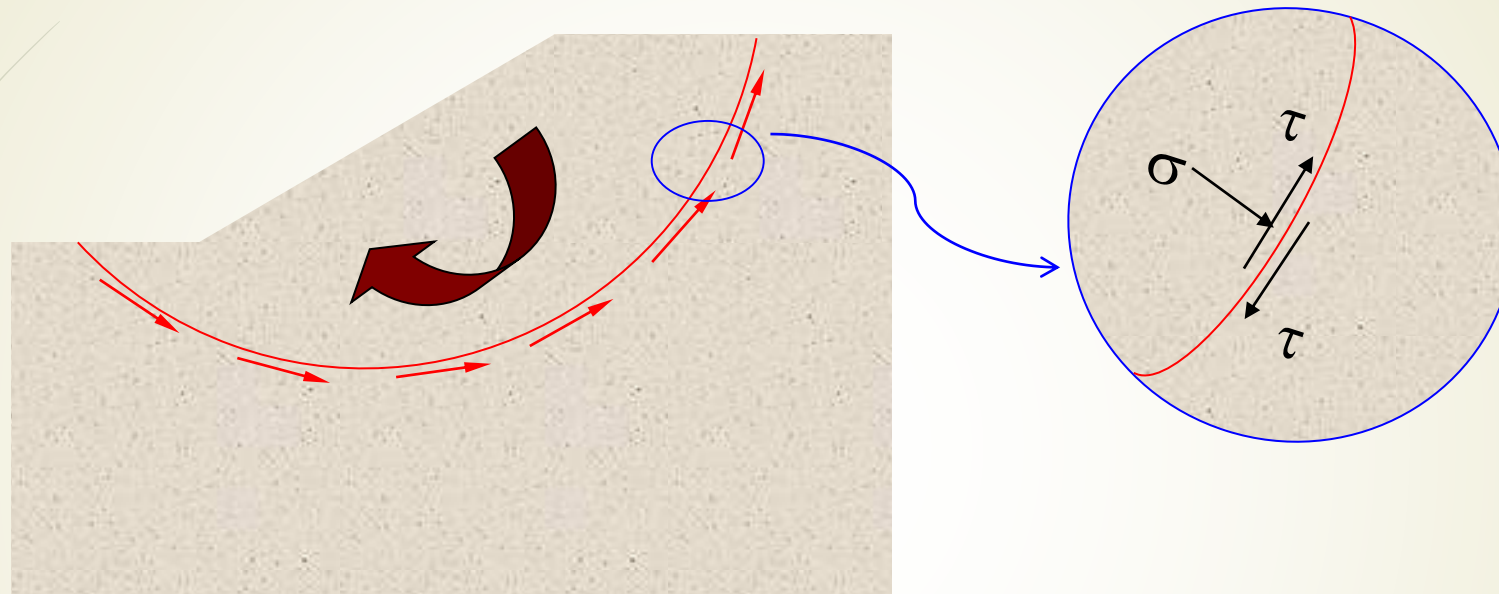
✓ چرخش

✓ جابجایی

✓ خردشدگی (در برخی خاکها)

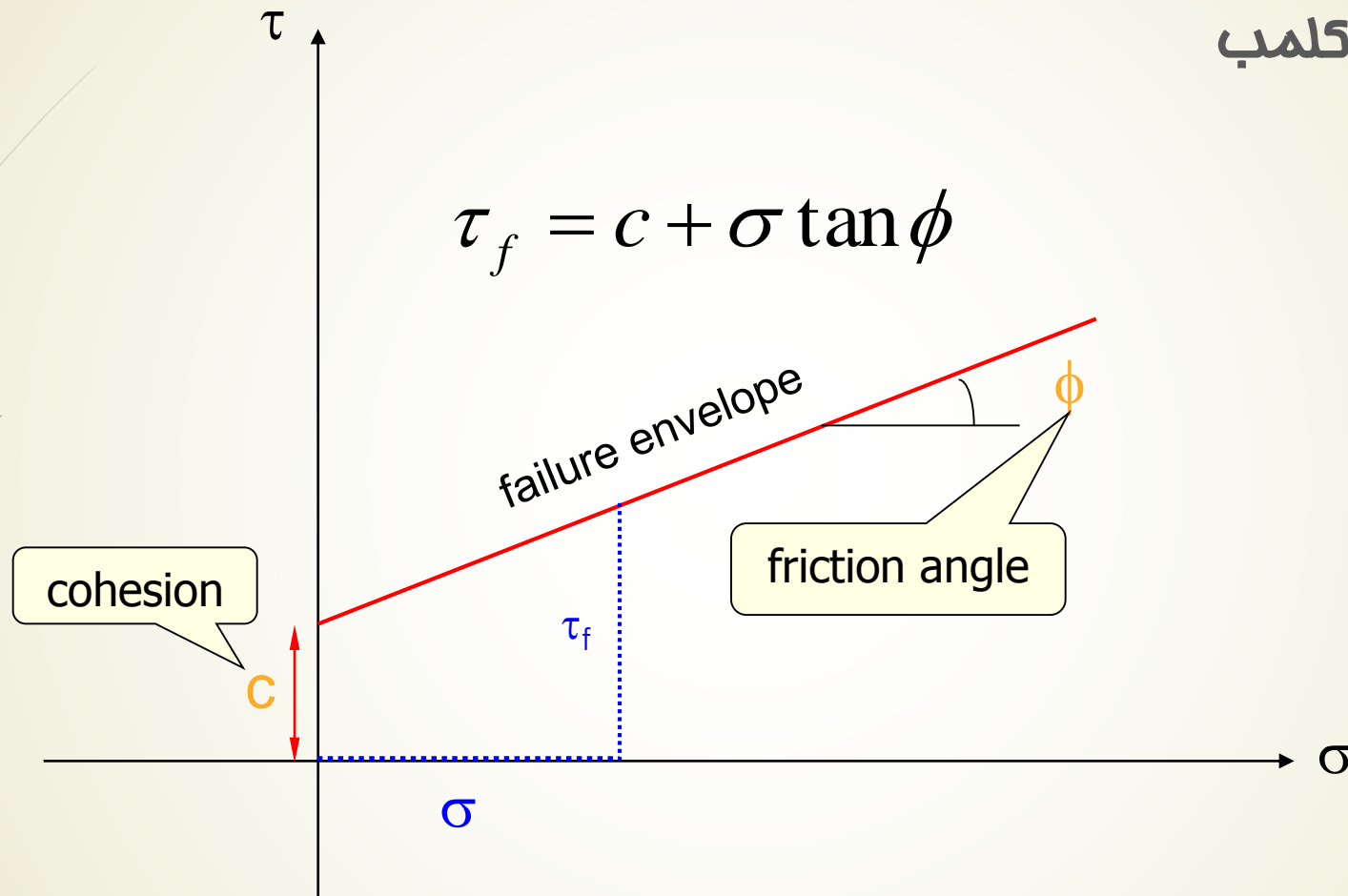
می شوند.





در زمان گسیختگی، تنش برشی ایجاد شده در طول سطح گسیختگی (τ) به مقاومت برشی (τ_f) میرسد.

معیار گسیختگی موهر کولمب



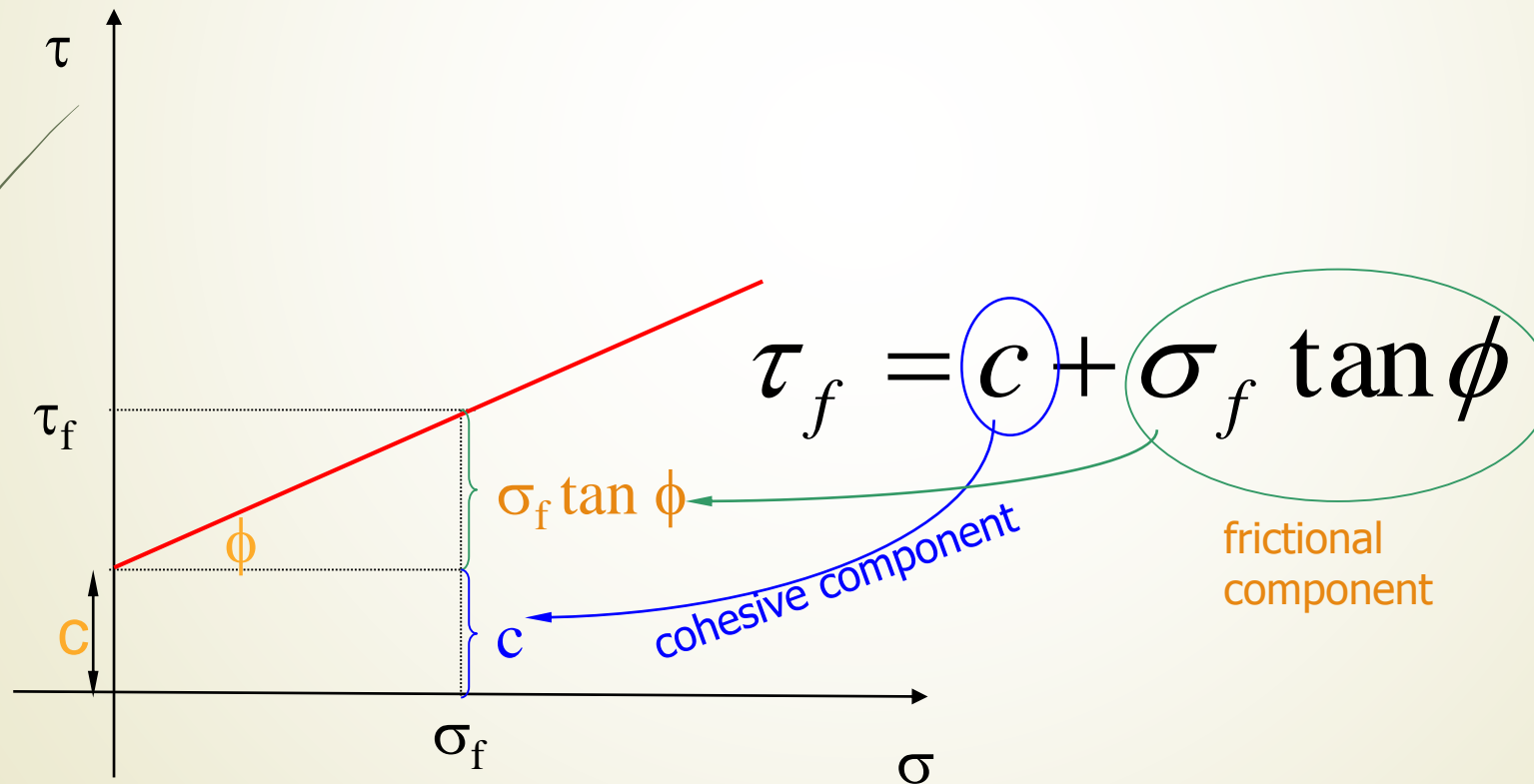
τ_f حداکثر تنش قابل تحمل خاک با تنش عمودی σ می باشد، بطوریکه گسیختگی در خاک ایجاد نشود.

مقاومت برشی شامل دو جزء می شود:

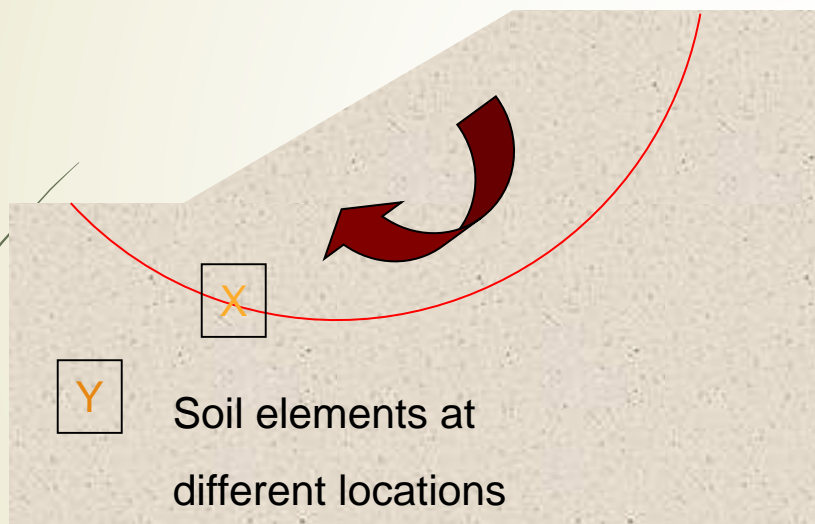
✓ چسبندگی

✓ اصطکاک

با افزایش این مقادیر مقاومت برشی افزایش می یابد.

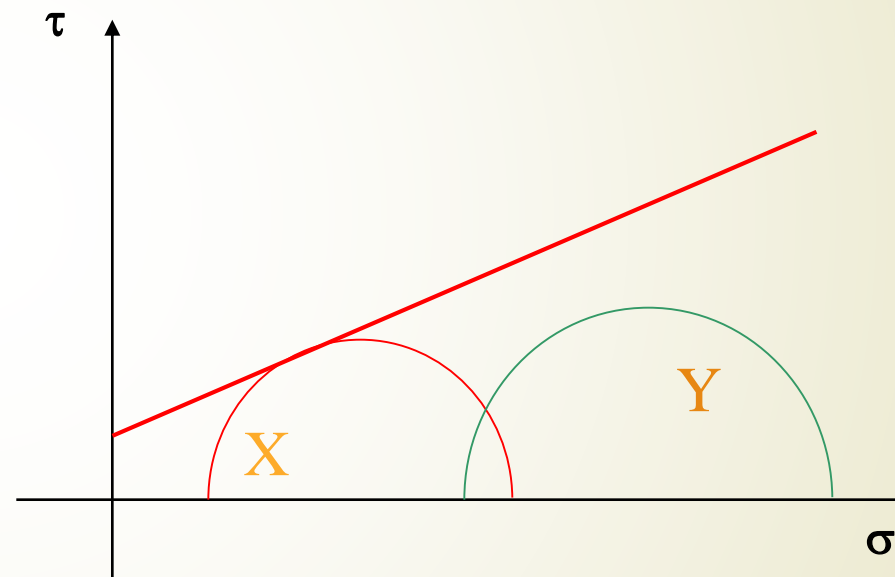


دایره موهر و پوش گسیختگی



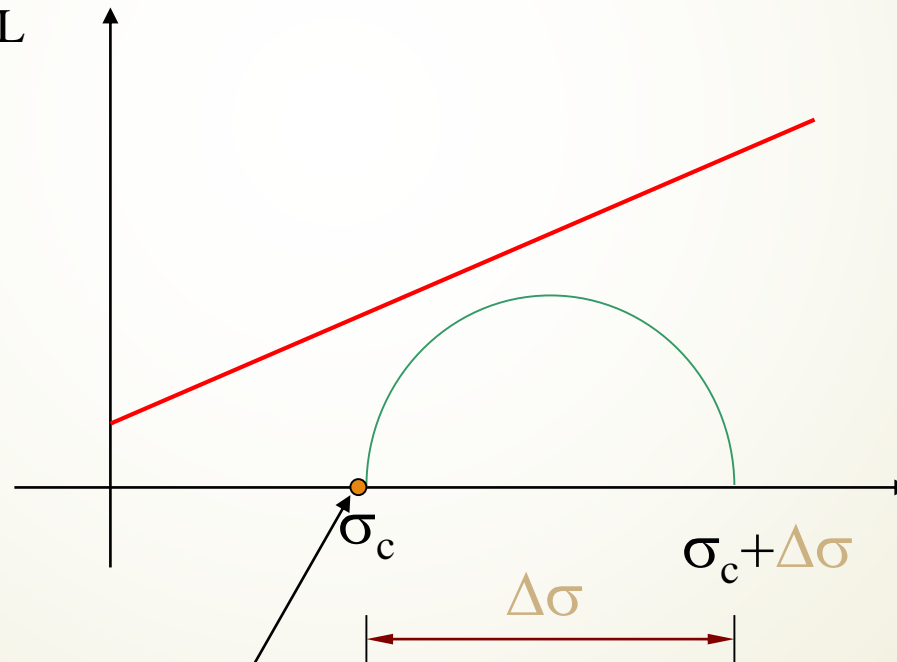
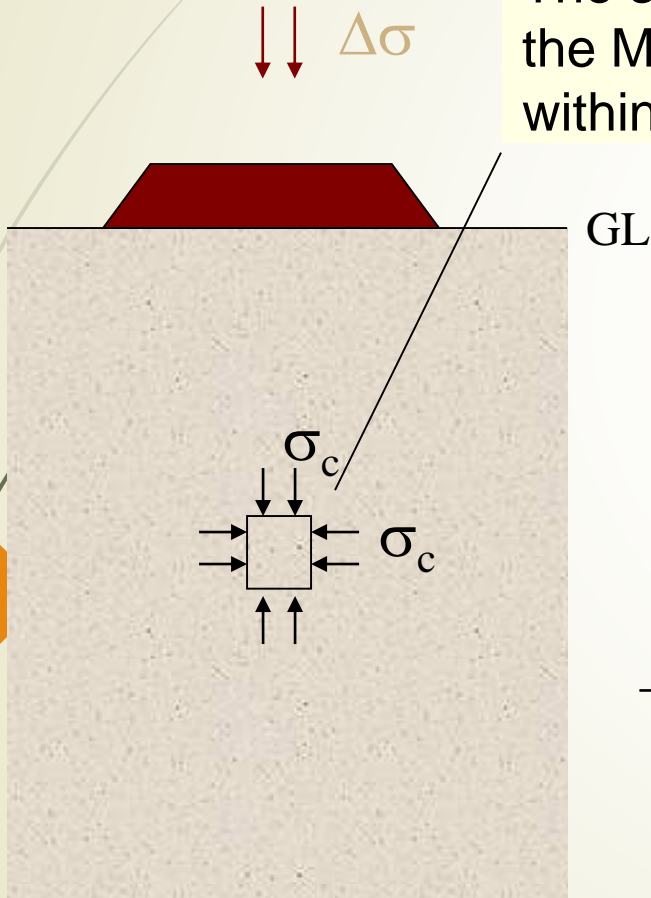
X ~ failure

Y ~ stable



دایره موهر و پوش گسیختگی

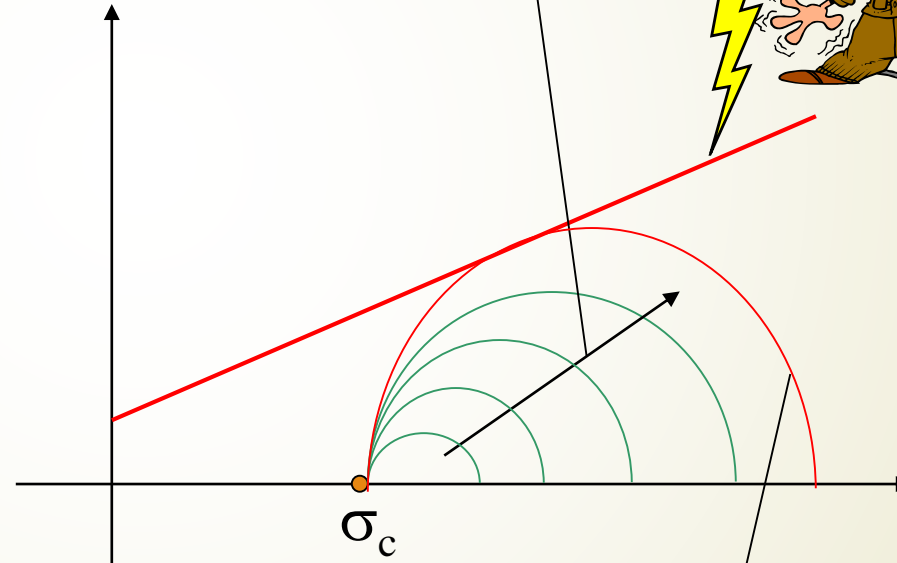
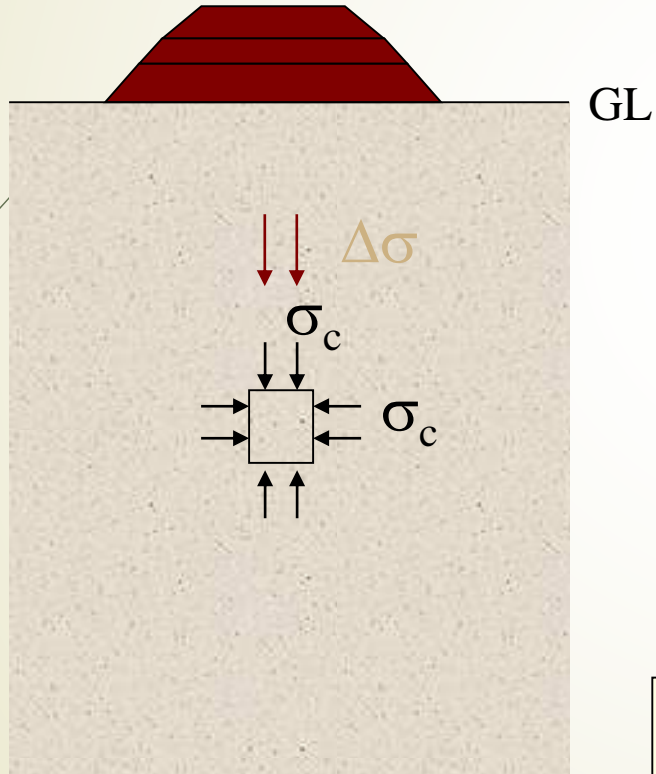
The soil element does not fail if the Mohr circle is contained within the envelope



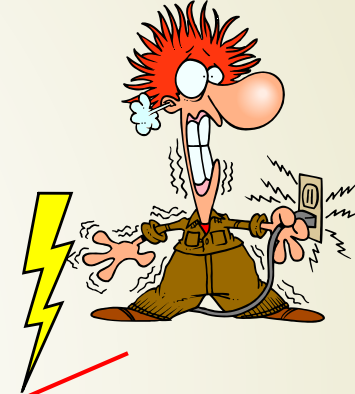
Initially, Mohr circle is a point

دایره موهر و پوش گسیختگی

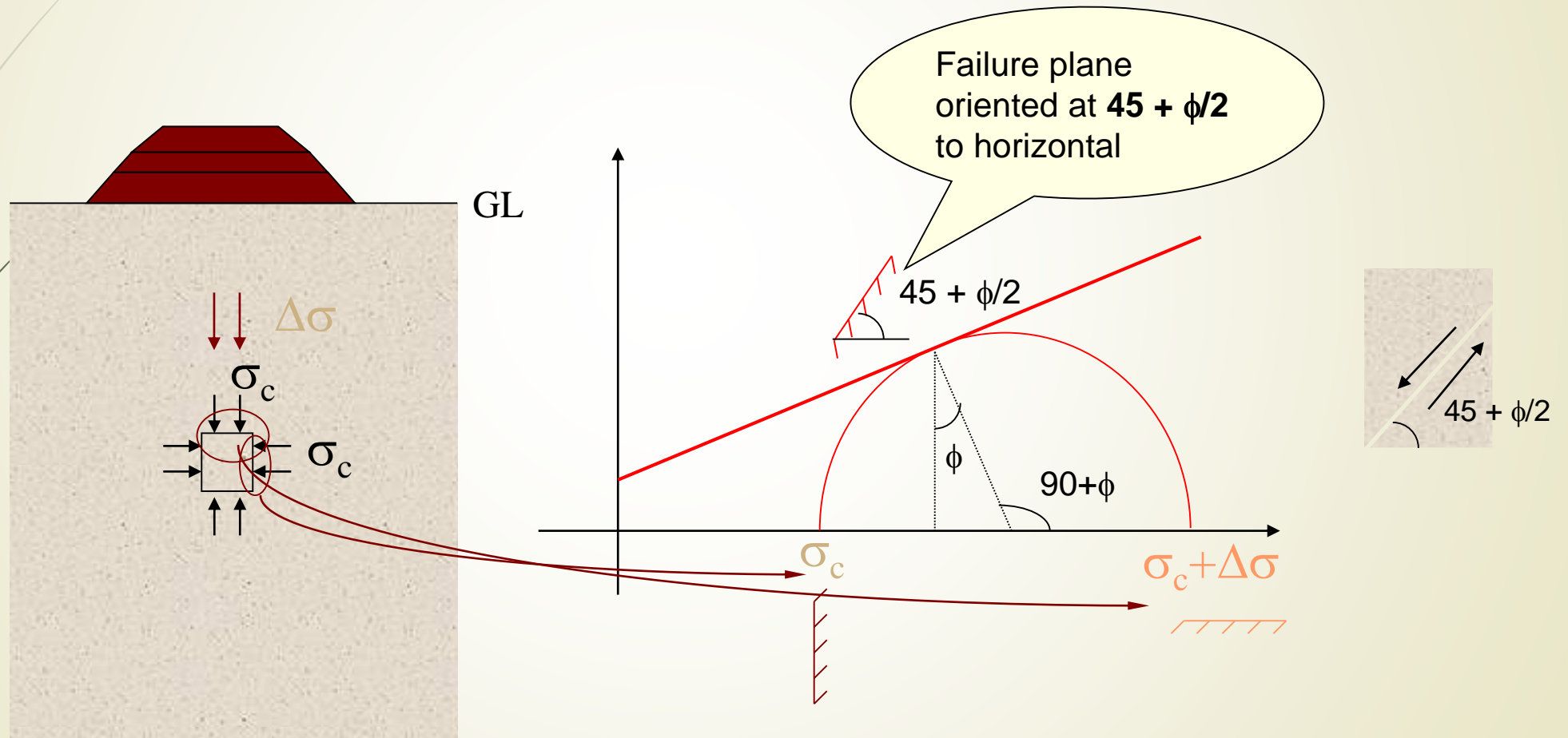
As loading progresses, Mohr circle becomes larger...



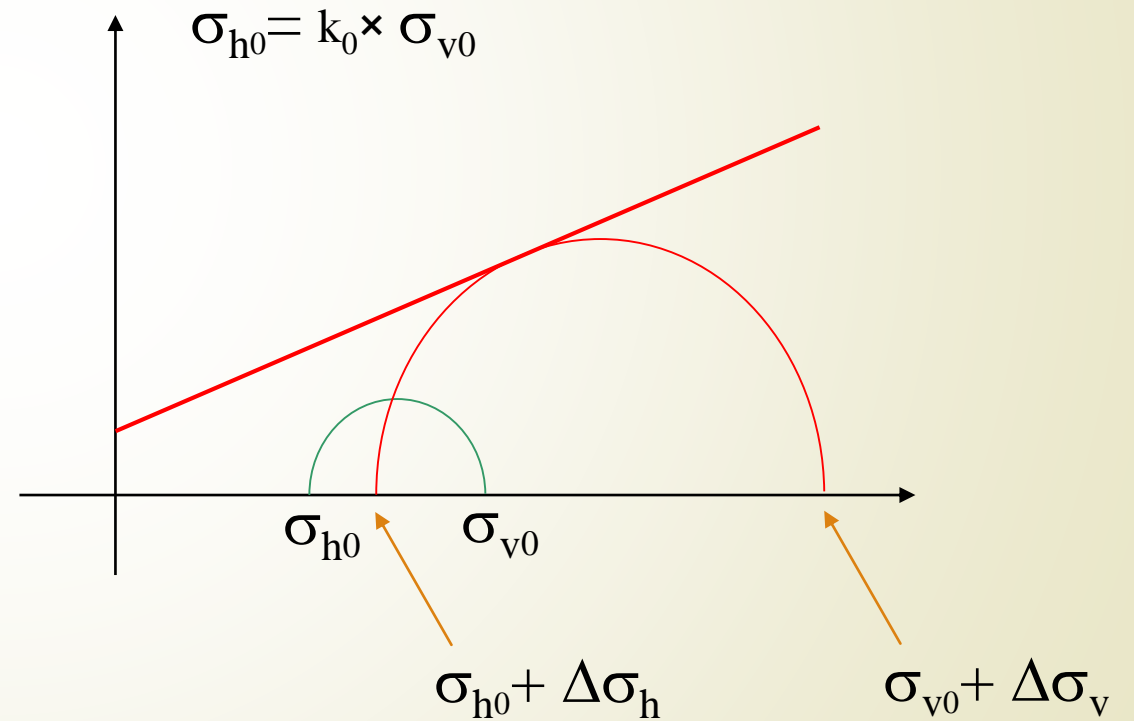
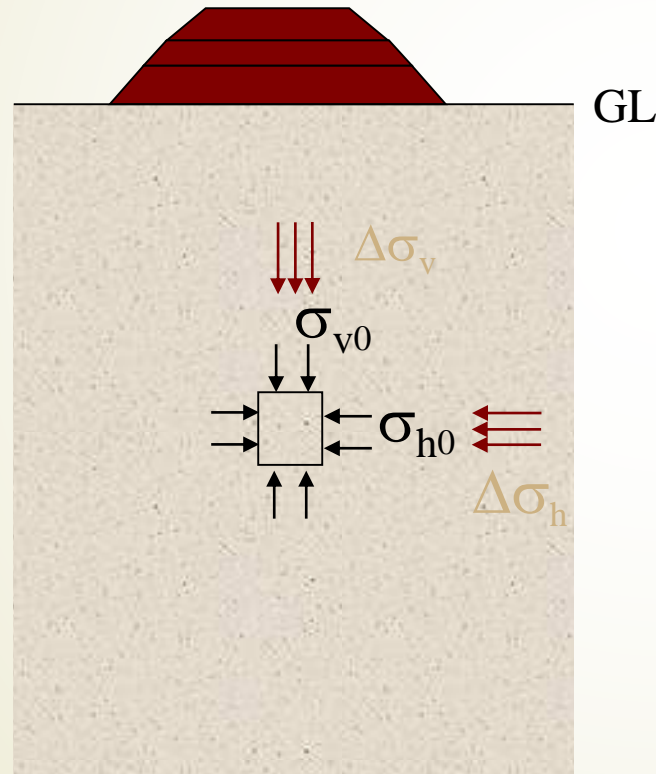
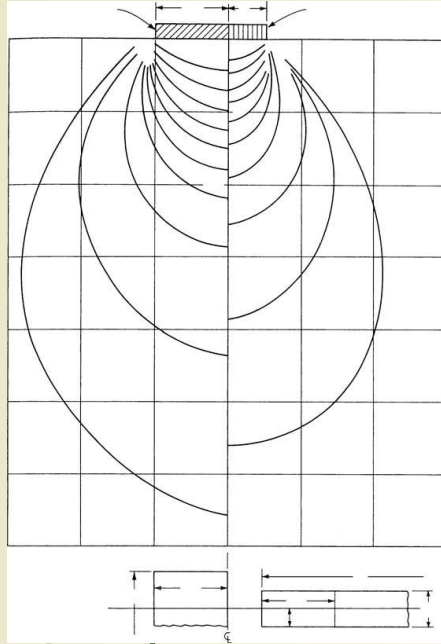
.. and finally failure occurs when Mohr circle touches the envelope



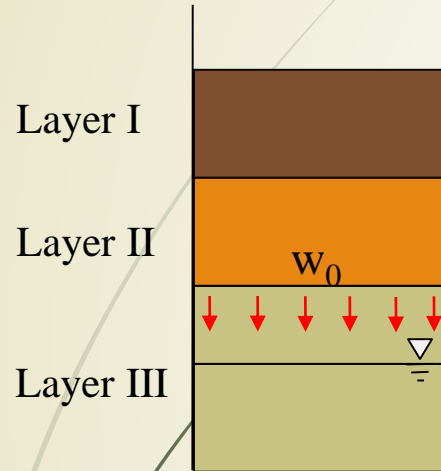
چرخش صفحه گسیختگی



دایره موهر و پوش گسیختگی



دایره موهر براساس تنش موثر و تنش کل



$$\begin{aligned}
 W_T &= W_0 + v_s \times \gamma_s + v_w \times \gamma_w \\
 &= W_0 + v_s \times \gamma_s + v_w \times \gamma_w + (v_s \times \gamma_w - v_s \times \gamma_w) \\
 &= W_0 + (v_s \times \gamma_s - v_s \times \gamma_w) + (v_w \times \gamma_w + v_s \times \gamma_w)
 \end{aligned}$$

وزن ظاهری دانه های خاک
طبق قانون ارشمیدس

$$v_T \times \gamma_w$$

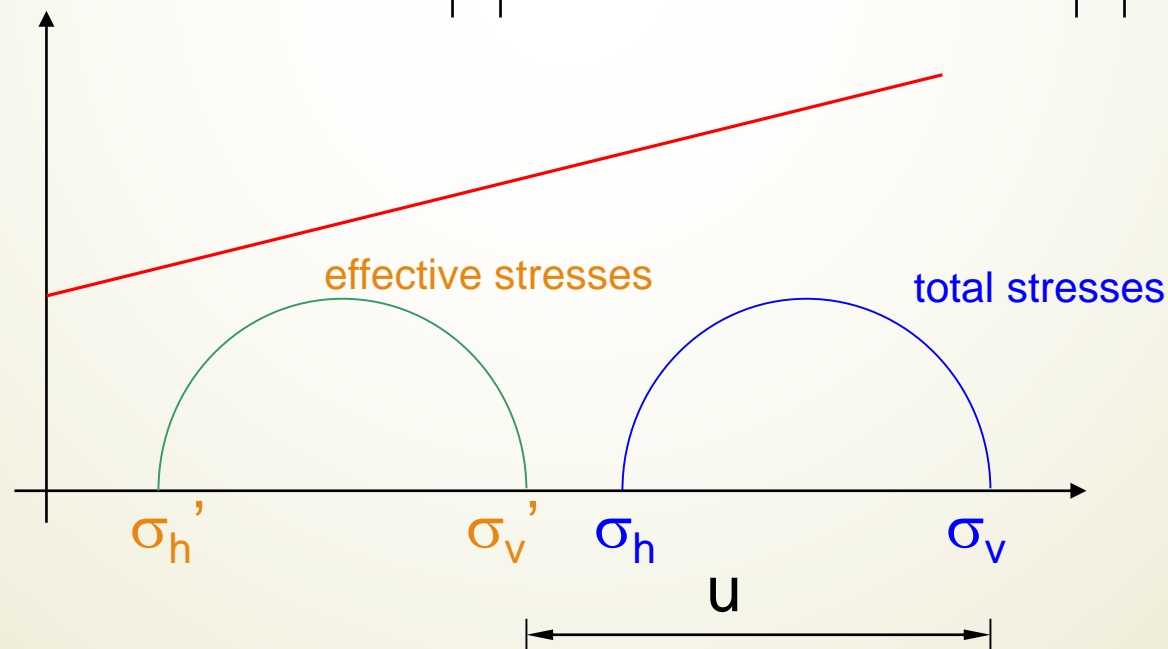
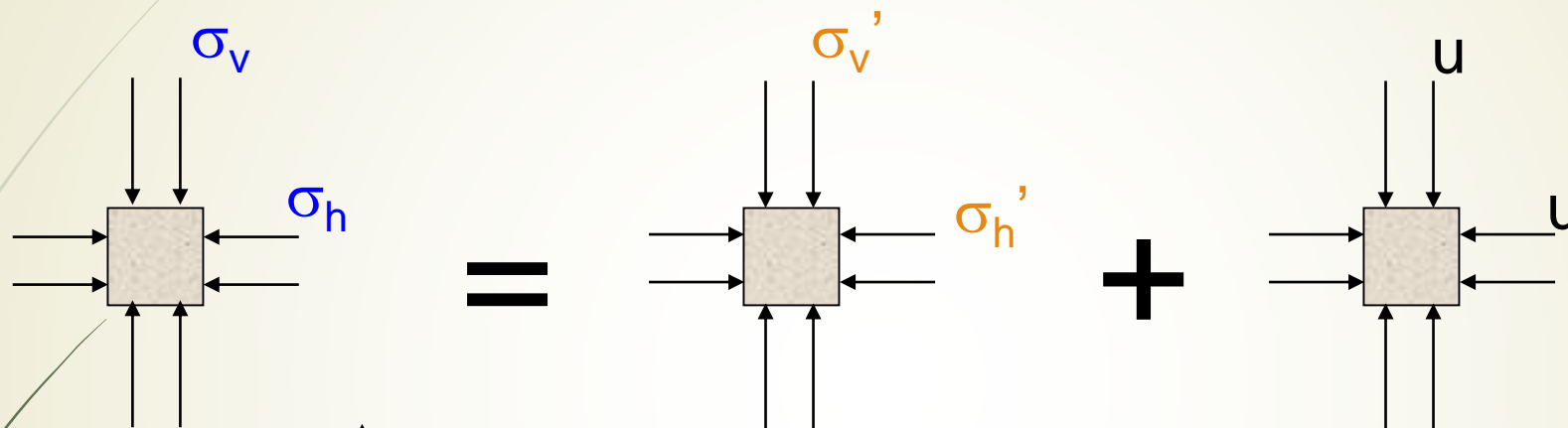
$$\sigma_T = \frac{W_T}{A} = \frac{\text{وزن ظاهری دانه های خاک}}{A} + \frac{v_T \times \gamma_w}{A}$$

σ'

U

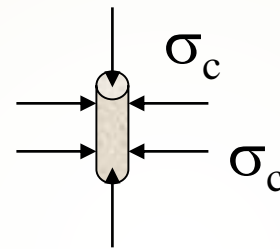
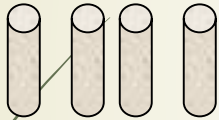
$$\sigma_T = \sigma' + u$$

دایره موهر براساس تنش موثر و تنش کل

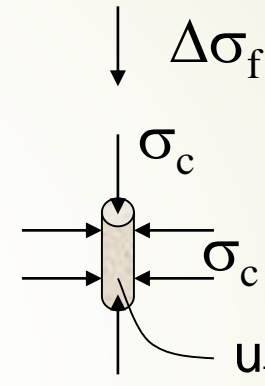


دایره موهر براساس تنش موثر و تنش کل

Identical specimens initially subjected to different isotropic stresses (σ_c) and then loaded axially to failure



Initially...

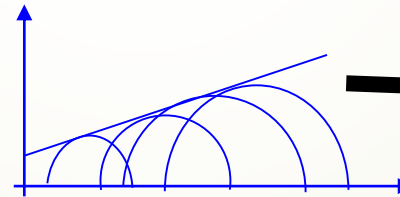


Failure

At failure,

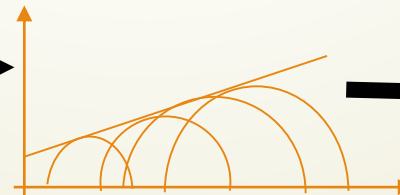
$$\sigma_3 = \sigma_c; \quad \sigma_1 = \sigma_c + \Delta\sigma_f$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f; \quad \sigma'_1 = \sigma_1 - u_f$$



c, ϕ

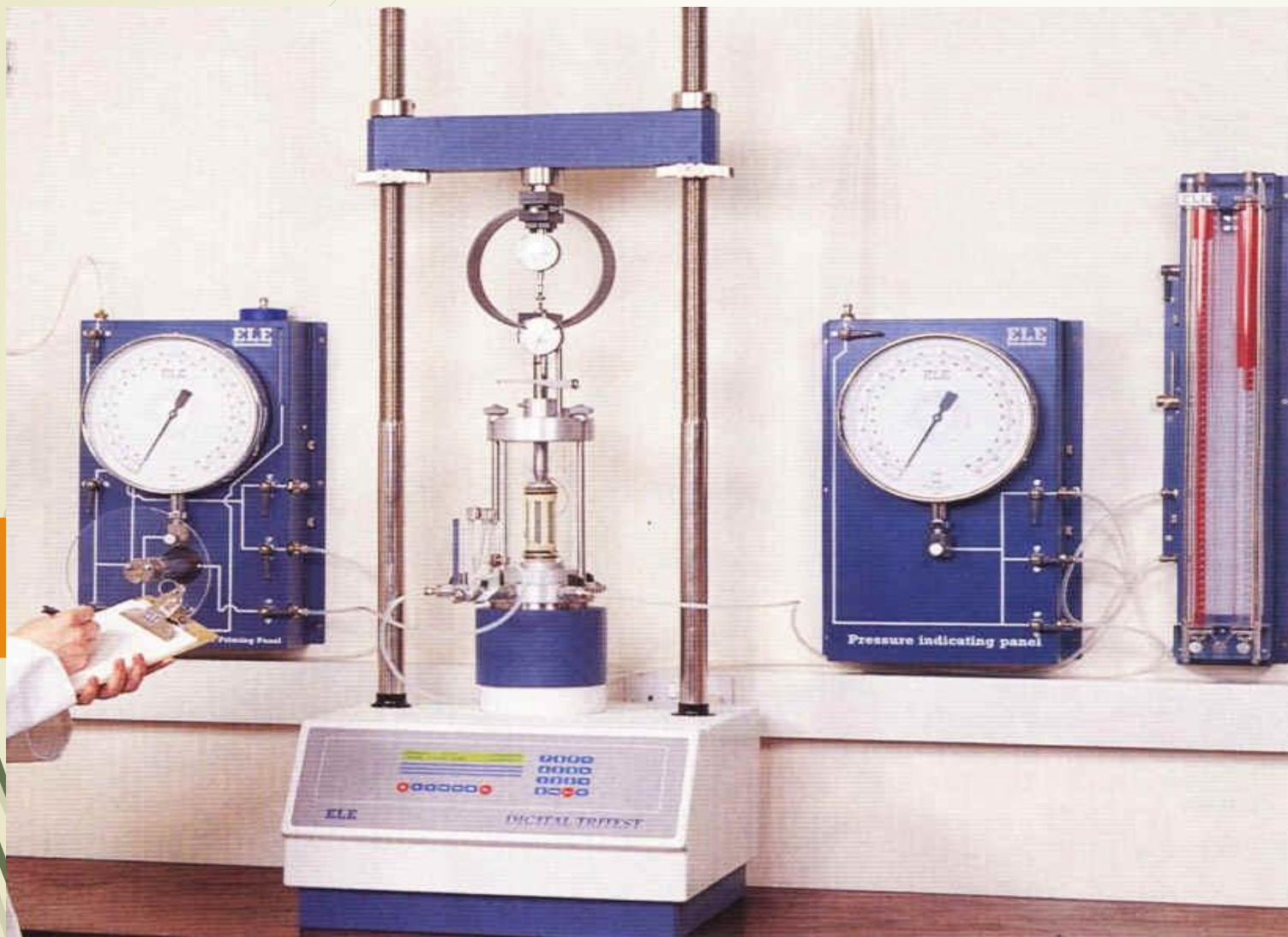
براساس تنش کل



c', ϕ'

براساس تنش موثر

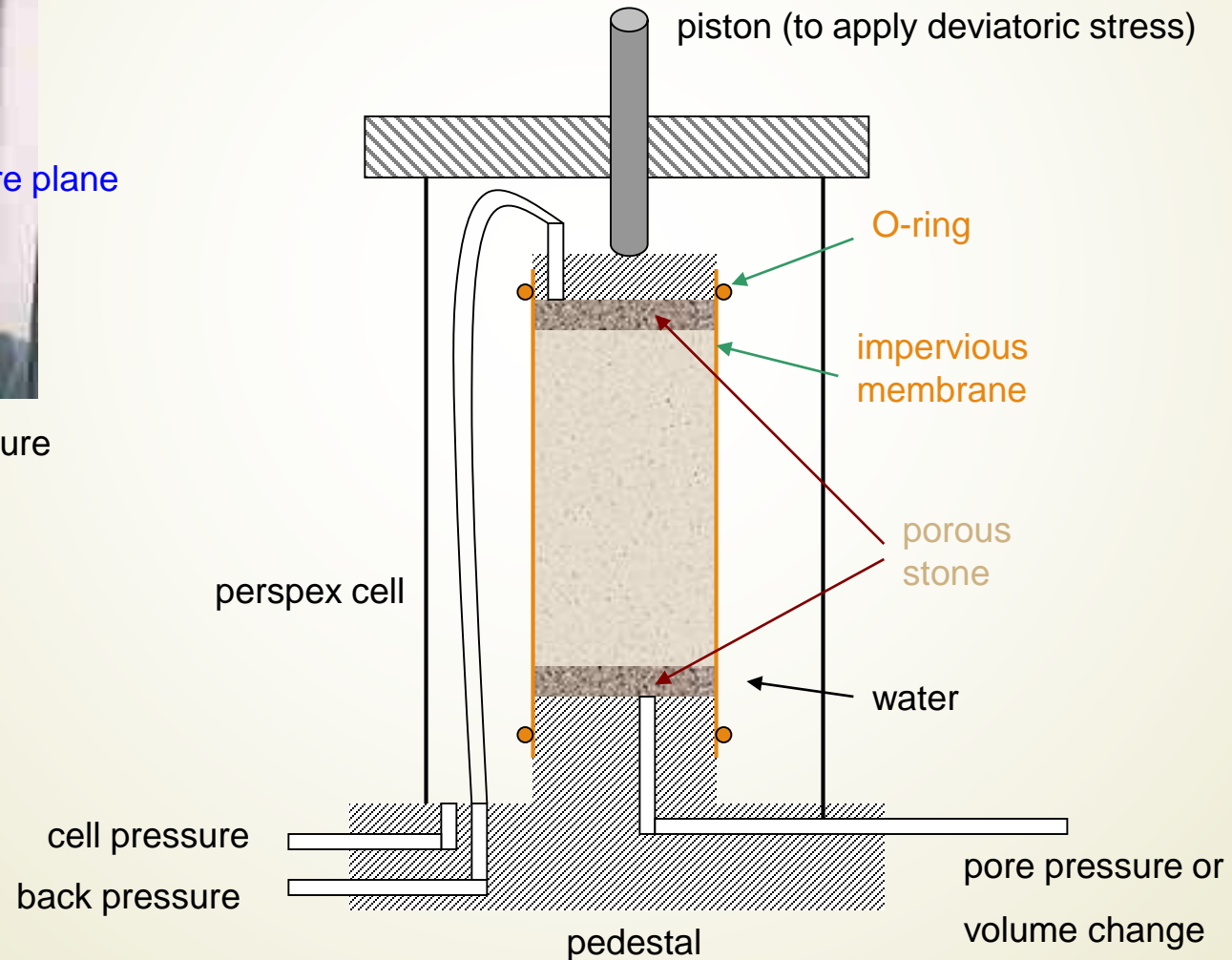
دستگاه سه محوره (Triaxial Apparatus)



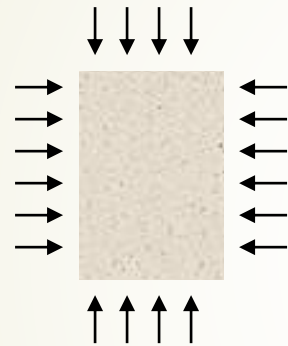
دستگاه سه محوره (Triaxial Apparatus)



soil sample at failure



انواع آزمایش سه محوره



Under all-around
cell pressure σ_c

Is the drainage valve open?

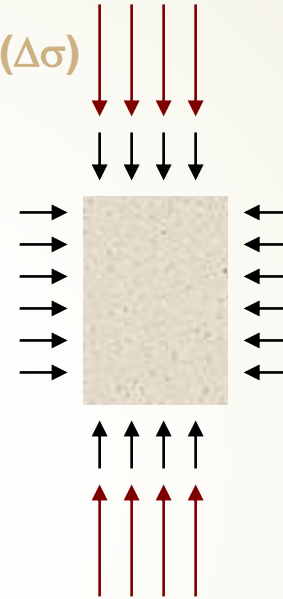
yes

no

Consolidated
sample

Unconsolidated
sample

Deviatoric Stress ($\Delta\sigma$)



Shearing (loading)

Is the drainage valve open?

yes

no

Drained
loading

Undrained
loading

انواع آزمایش سه محوره

Consolidated Drained (CD) Test

- ❖ بدون فشار آب منفذی اضافی در طول آزمایش
- ❖ بارگذاری با سرعت بسیار پایین برای جلوگیری از ایجاد فشار آب منفذی اضافی
- ❖ مقدار C' و ϕ' بدست می آید.

مقدار C' و ϕ' برای آنالیز شرایطی استفاده می شوند که زهکشی کامل انجام می شود (مانند پایداری بلند مدت، بارگذاری با سرعت پایین).

انواع آزمایش سه محوره

Consolidated Undrained (CU) Test

❖ فشار آب منفذی اضافی در طول بارگذاری ایجاد می شود.

Measure → σ'

❖ مقدار C' و ϕ' بدست می آید.

❖ سریعتر از آزمایش CD است.

انواع آزمایش سه محوره

Unconsolidated Undrained (UU) Test

❖ فشار آب منفذی اضافی در طول بارگذاری ایجاد می شود.

❖ مقدار C_u و ϕ_u بدست می آید.

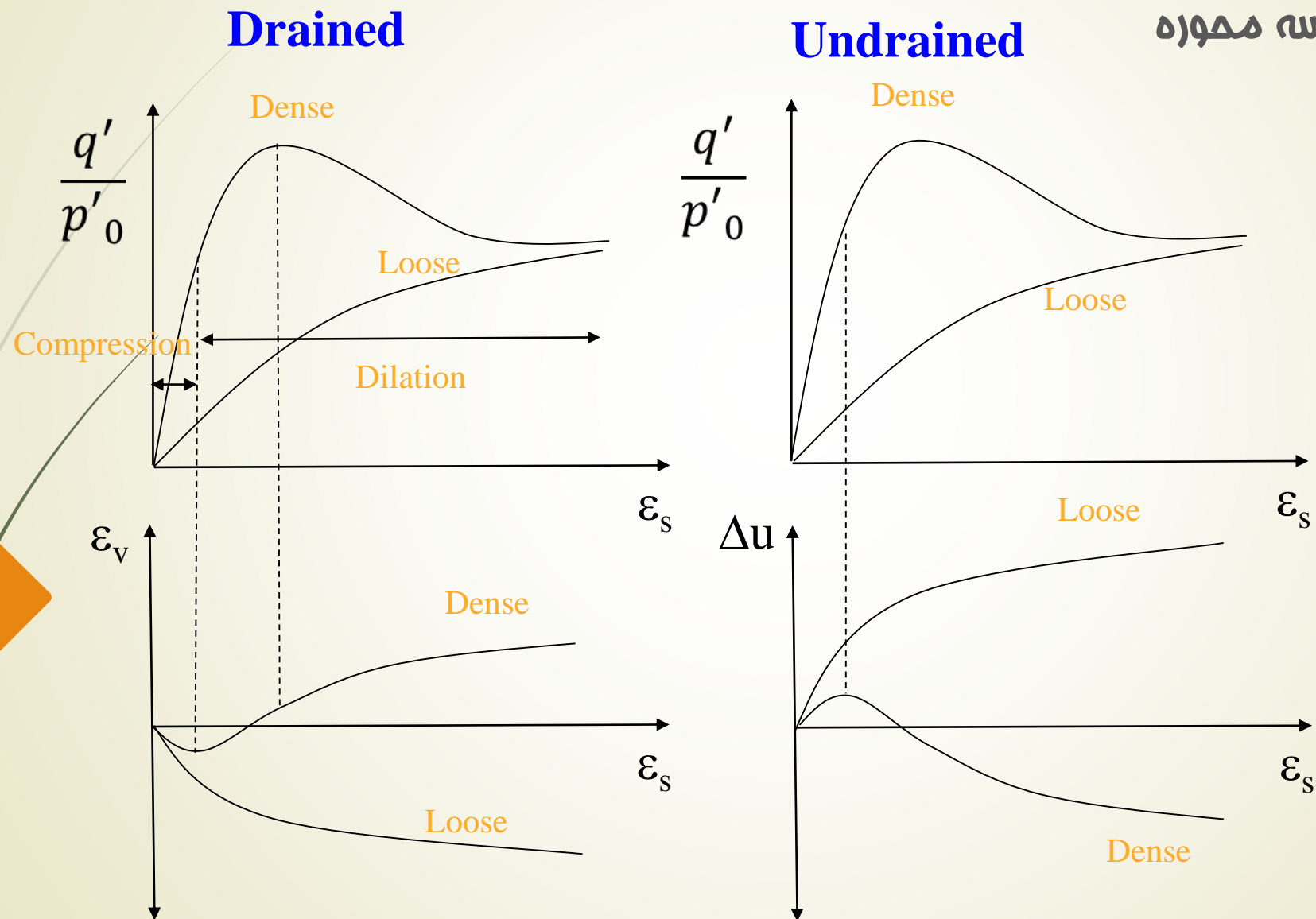
❖ آزمایش بسیار سریع است.

Not measured
 σ' unknown

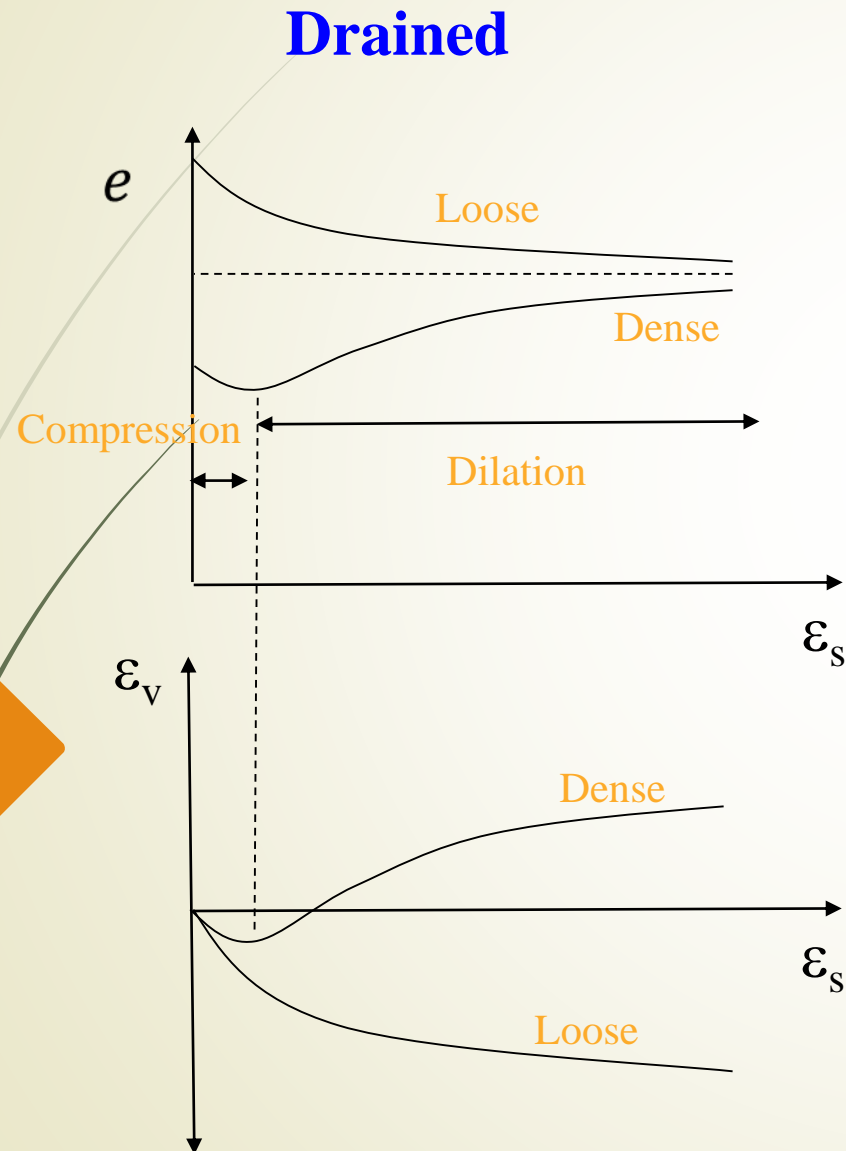
مقدار زاویه اصطکاک صفر است زیرا
پوش گسیفتگی افقی است.

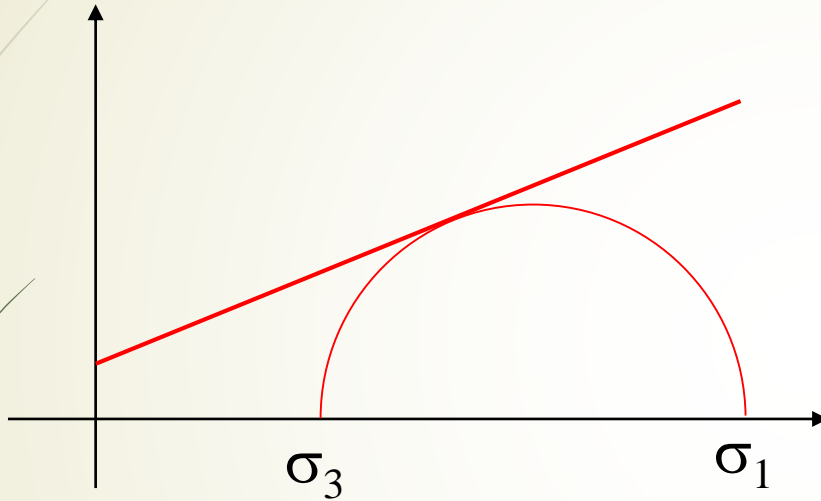
مقدار C_u و ϕ_u برای آنالیز شرایط زهکشی نشده استفاده می شوند
(مانند پایداری کوتاه مدت، بارگذاری سریع).

نمودارهای آزمایش سه محوره



نمودارهای آزمایش سه محوره

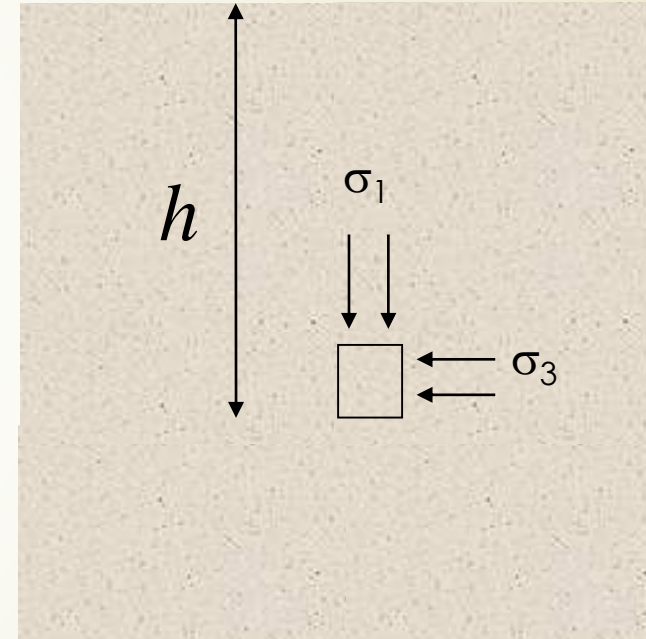


استفاده از مقادیر C و ϕ در شیروانیها

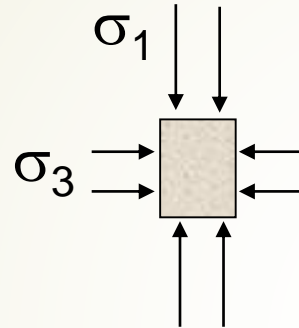
$$\sigma_1 = \gamma \times h$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2(45 - \phi/2) - 2c \tan(45 - \phi/2)$$

$$\text{if } \sigma_3 = 0 \quad \sigma_1 = \frac{2c}{\tan(45 - \phi/2)} \Rightarrow h = \frac{2c}{\gamma \times \tan(45 - \phi/2)}$$

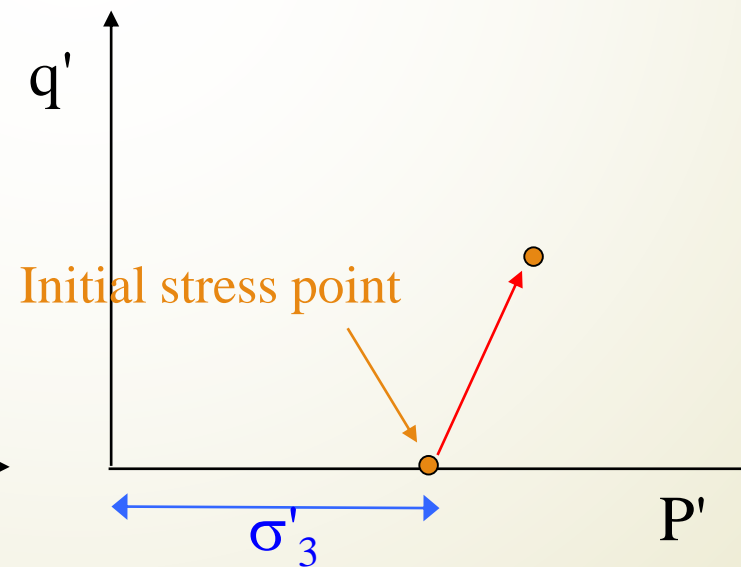
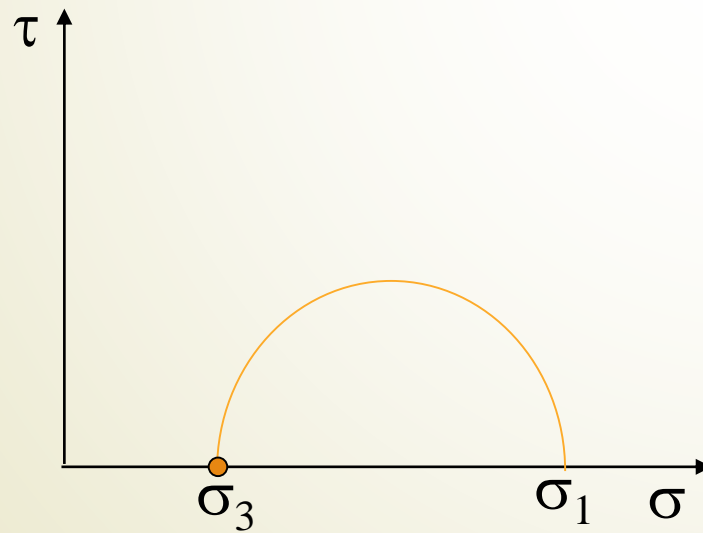


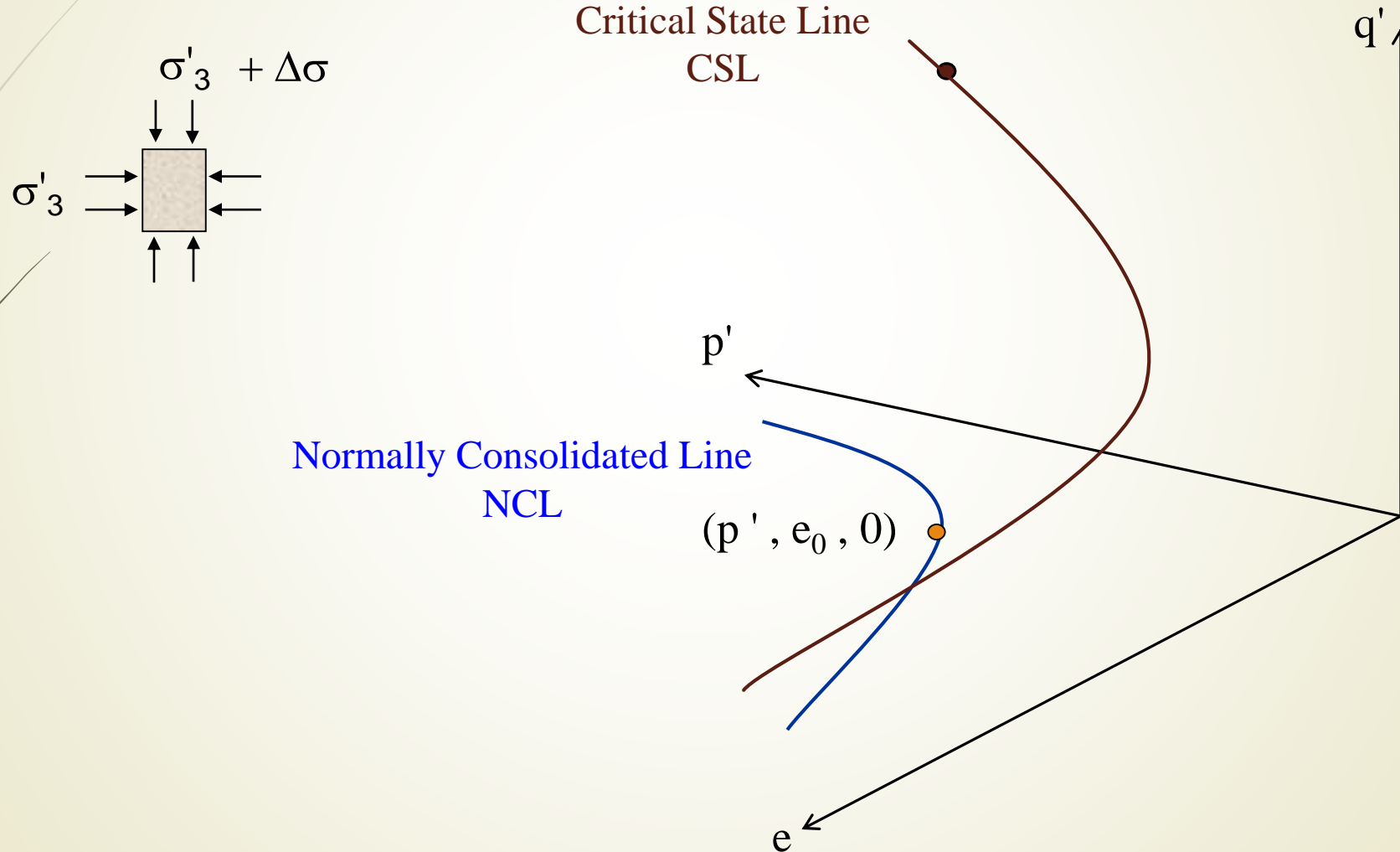
تعریف p و q



$$q = \sigma_1 - \sigma_3$$

$$p = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_3}{3}$$



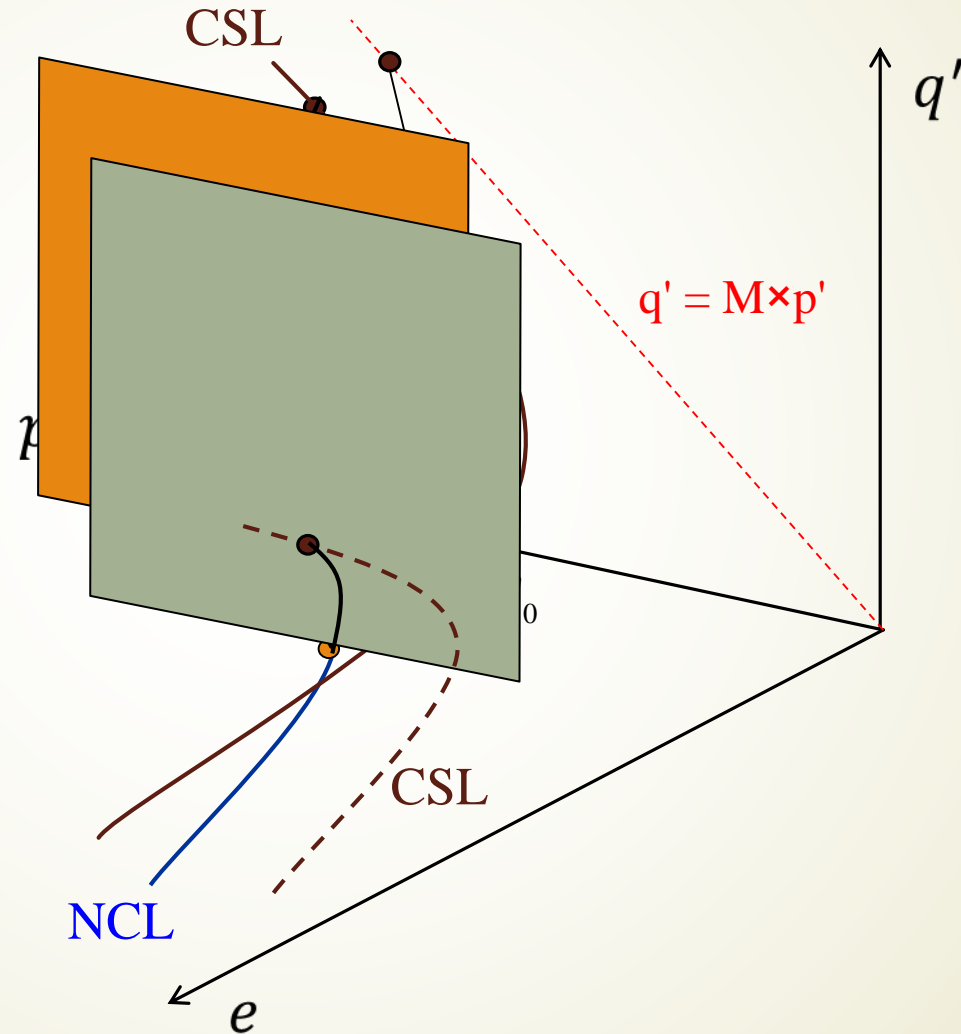


Drained

$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}$$

$$p'_0 = \sigma'_3$$

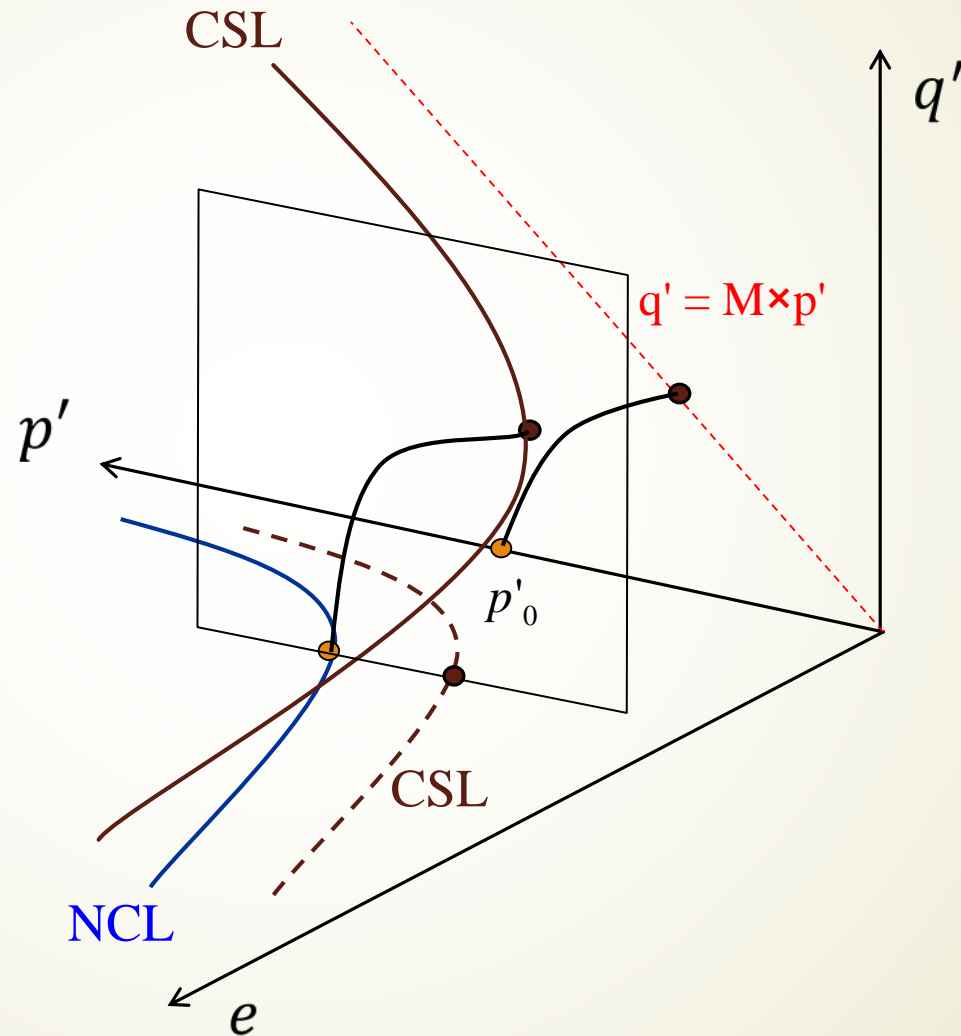
$$p'_1 = \sigma'_3 + \frac{\Delta\sigma'}{3}$$



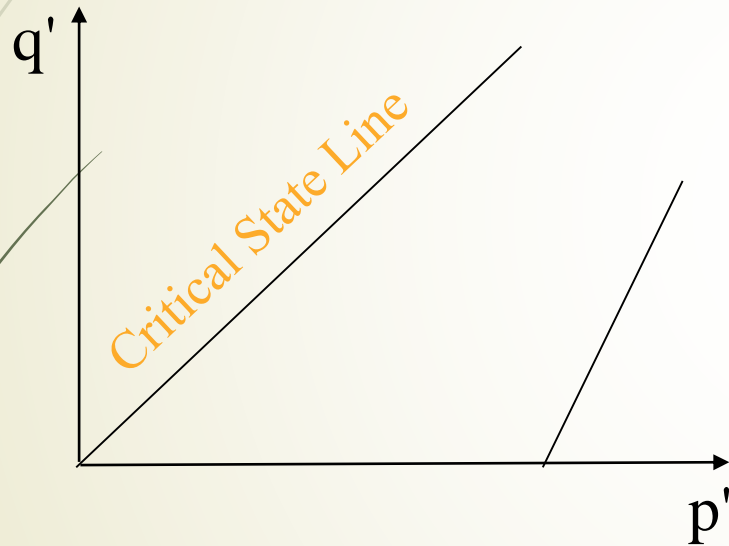
Undrained

$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}$$

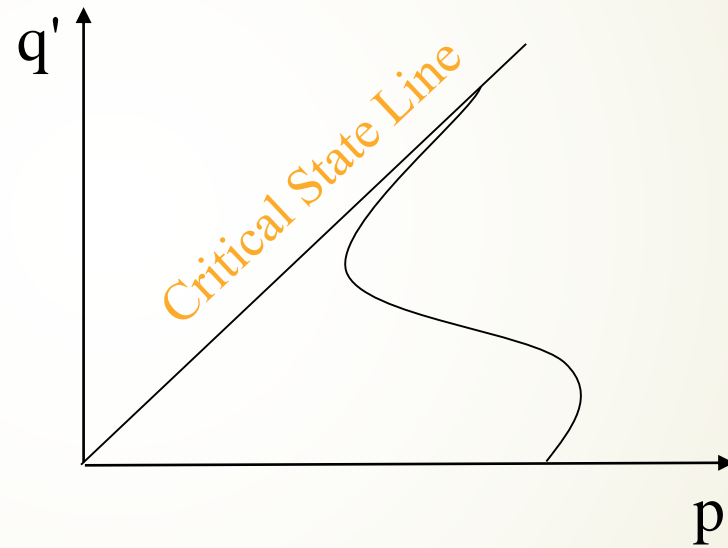
$e = \text{constant}$



Drained



Undrained



تزریق (Injection)

مفاهیم مورد نظر

- ✓ مقدمه
- ✓ دیوار آب بند
- ✓ روشهای مختلف تزریق
- ✓ تزریق سیمان

روشهای بهسازی خاک (Ground Improvement)

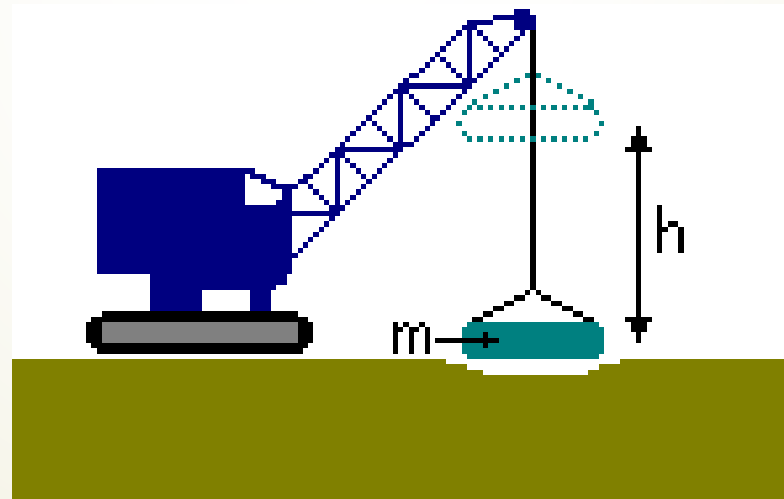
- ۱) حفاری و برداشت، جابه جایی و یا جایگزینی
- ۲) تراکم سطحی
- ۳) تراکم دینامیکی
- ۴) تراکم ویبره - شناوری در عمق
- ۵) انفجار
- ۶) پیش فشردگی از طریق پیش بارگذاری
- ۷) تزریق
- ۸) استفاده از مواد افزودنی
- ۹) سیستم های حرارتی
- ۱۰) تسلیح خاک

مراحل عملیات بهسازی خاک

- (۱) تعیین هدف بهسازی
- (۲) انتخاب روش بهسازی
- (۳) کنترل و ارزیابی روش بهسازی

تراکم دینامیکی

$$2_{\text{ton}} < W < 20_{\text{ton}}$$
$$5_{\text{m}} < h < 20_{\text{m}}$$

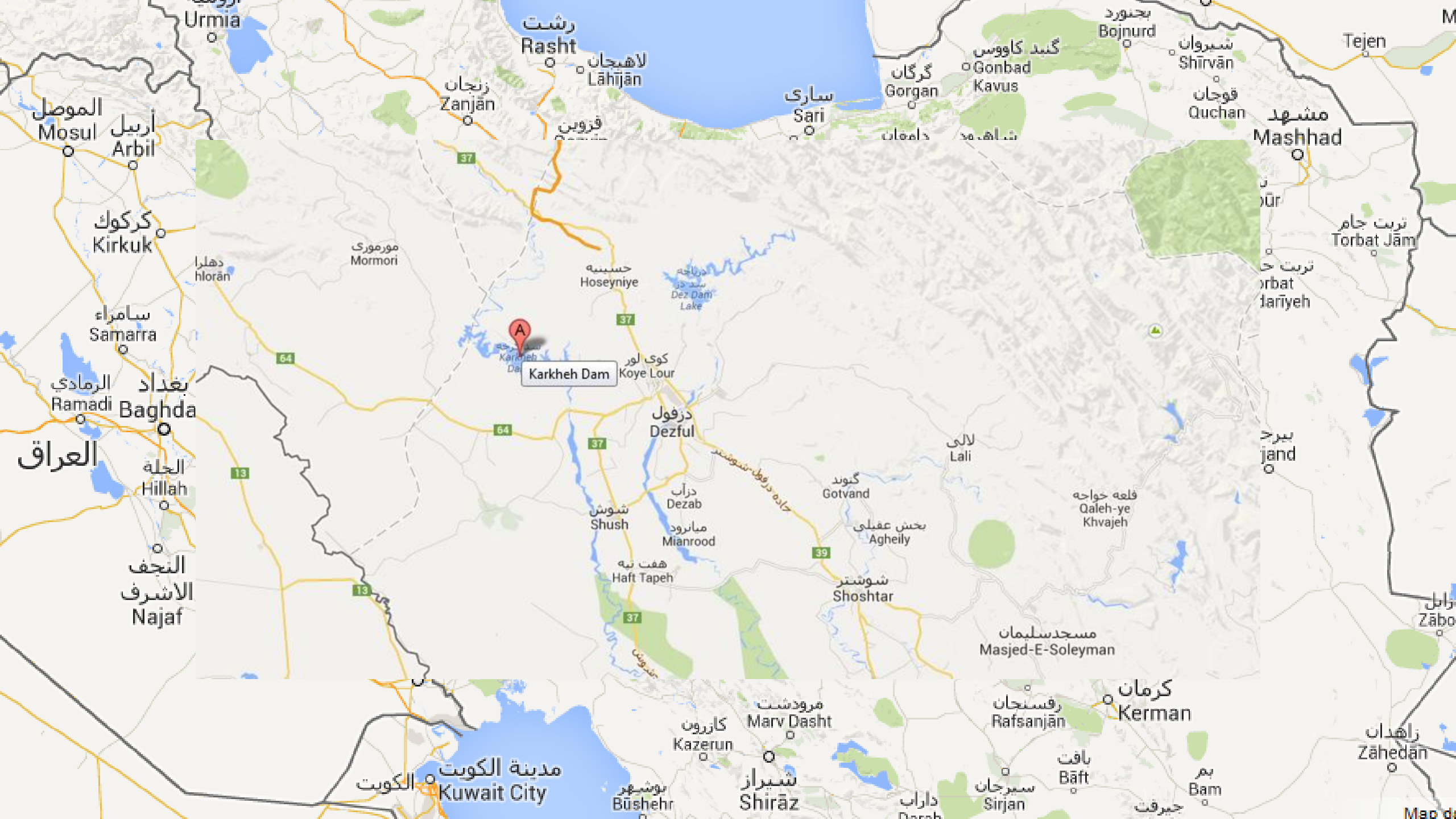


عمق نفوذ تا 30m



NEXT







هدف از تزریق

- ✓ کاهش نفوذپذیری پی سازه های آبی برای کنترل نشت
 - ✓ کاهش رگاب و فرسایش پی
 - ✓ افزایش مقاومت پی و کاهش نشست
 - ✓ تثبیت مهار پیش تنیده در سنگ
- کاهش نفوذپذیری**
- افزایش مقاومت برشی**

انتخاب نوع و غلظت ماده تزریقی



- (۱) هدف از تزریق
- (۲) خواص مواد تزریقی
- (۳) محیط مورد تزریق

دیوار آب بند

یکی از بزرگترین خطرات سدها پس از آبگیری تراوش از زیر سد و افزایش گرادیان هیدرولیکی از گرادیان هیدرولیکی بحرانی است که باعث بروز پدیده رگاب piping خواهد شد. برای آب بندی پی دو راه حل کلی وجود دارد.

(۱) دیوار آب بند

(۲) پرده آب بند

با توجه به بافت زمین شناسی زمین یکی از دو راه فوق انتخاب میشود.

دیوار آب بند یک دیوار با نفوذ پذیری پائین است که تا لایه نفوذ ناپذیر ادامه مییابد. برای اجرای دیوار آب بند روشها و دستگاههای مختلفی وجود دارد که متداولترین آنها روش trench cutting با استفاده از دستگاه هیدروفرز است.

دیوار آب بند

تعریف: مفهوم کلی دیوار آب بند عبارتست از جایگزینی مصالح با نفوذ پذیری بالا با مصالح با نفوذ پذیری پائین. با این تعریف دیوار آب بند شامل دو مرحله می شود.

(۱) برداشت مصالح تا رسیدن به لایه نفوذ ناپذیر (excavation)

(۲) جایگزینی مصالح انتخاب شده یا بتن ریزی (concreting)

دیوار آب بند زیر پی ها به مقدار لازم در لایه نفوذ ناپذیر وارد می شود و از بالا هم در داخل هسته رسی قفل می شود.

دیوار آب بند سد کرخه به طول ۲۹۴۰ متر و عمق متغیر از ۱۸ تا ۷۸ متر و ضخامت ۸۰ و ۱۰۰ سانتیمتر و سطح کلی ۱۶۲۰۰۰ متر مربع یکی از بزرگترین پروژه های دیوار آب بند جهان محسوب می شود که با استفاده از روش trench cutting و با کمک دستگاه BC30-BS110-HXS انجام شده که محور دیوار آب بند بر محور سد منطبق است و در وسط لایه رس قرار دارد.

روشهای اجرای دیوار آب بند

به طور کلی سه نوع دیوار آب بند در سدهای خاکی کاربرد دارند که با توجه به عملکرد مورد انتظار دیوار، وضعیت پی محل اجرا، گرا دیان هیدرولیکی و ملاحظات اقتصادی یک روش انتخاب می شود.

۱) دیوار آب بند خاکریزی شده:

- ✓ از این روش برای دیوارهای کم عمق استفاده می شود.
- ✓ با استفاده از گل حفاری یک ترانشه نازک تا نزدیک لایه نفوذ ناپذیر حفر می شود و در پایان با مصالح خاکی پر می شود.
- ✓ این مصالح معمولاً از اختلاط خاک حفاری شده از ترانشه و گل بنتونیت بدست می آیند و معمولاً توسط لوله ترمی، کلامشل و یا به صورت مستقیم به داخل پانل ریخته می شود. برای حفاری از Back hole و دراگلاین استفاده می شود.

روشهای اجرای دیوار آب بند

۲) دیوار آب بند بتنی:

- ✓ در پی خاکی و سنگی و خاکریز بدنه برخی از سدهای خاکی از این روش استفاده می شود.
- ✓ در این روش ابتدا ترانشه های دیوار آب بند با استفاده از گل حفاری به صورت تپ پانلهای اولیه و ثانویه حفاری شده و سپس با استفاده از لوله ترمی ترانشه حفر شده با بتن معمولی یا بتن پلاستیک با روانی و کارایی بالا پر می شود.
- ✓ در برخی موارد که محاسبات نشان از تنش بالا در دیوار می دهند می توان از شبکه آرماتور در دیوار استفاده کرد.
- ✓ برای حفاری در این روش از گراب (Grab) یا هیدروفرز (Hydrofraise) برای ترانشه مستطیلی و (Auger) برای ترانشه های دایره ای استفاده می شود.



دستگاه هیدروفرز (Hydrofraise)



۳) دیوار آب بند سیمان بنتونیتی:

این روش مشابه روش دیوار خاکریزی شده می باشد با این تفاوت که گل حفاری در این روش از اختلاط سیمان، پودر بنتونیت و آب بدست می آید و برای جلوگیری از گیرش سیمان از ماده افزودنی کند گیر کننده (Retarder) استفاده می شود تا یک مانع نفوذناپذیر پس از سخت شدن تشکیل گردد.



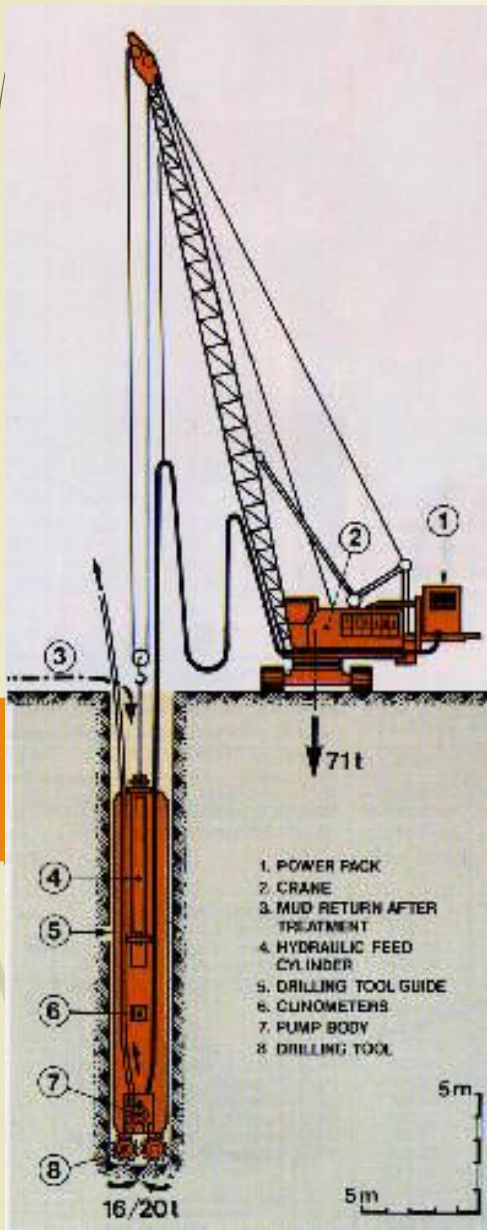
آشنایی با دستگاه حفاری

دستگاه حفاری BC30-BS110-HXS و به اختصار BC30 ساخت شرکت باوئر آلمان دستگاهی است که قادر است یک ترانشه مستطیلی به طول ۸/۲ متر و ضخامتهای ۶۴ و ۸۰ و ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتیمتر و عمق ۸۰ متر در شرایط عادی و با تغییراتی تا ۱۰۰ متر را حفاری کرده و مواد کنده شده را به بیرون منتقل کند.

این دستگاه شامل دو قسمت اصلی است.



(۱) Cutter: که کار حفاری را انجام می دهد. قالبی است به ارتفاع ۱۵ متر و کمترین ضخامت ۶۴ سانتیمتر که با افزودن بالشتکهای فلزی تا ۱۲۰ سانتیمتر افزایش می یابد.



۲) ماشین پشتیبانی (Base Machine): که نیروی مورد نیاز کاتر را تامین می کند. که این نیرو به صورت هیدرولیکی به بخشهای مختلف کاتر منتقل می شود.



از مشخصه های مهم این دستگاه مجهز بودن به سیستمهای انحراف سنجی می باشد بطوریکه به کمک سنسورهای نصب شده در داخل قاب فولادی اپراتور قادر است در هر لحظه انحراف ابزار برنده به طرفین را مشاهده نموده و آن را در مسیر صحیح خود قرار دهد.

انحراف سنج قادر است انحراف از ۱ تا ۲ هزارم عمق را نشان دهد. همچنین با نصب سنسورهای دیگر اپراتور قادر است در هر لحظه از عمق حفاری مطلع شود.



مقدمات حفاری

(۱) **احداث پلاتفرم بنتونیت:** به منظور ساخت، عمل آوری، ذخیره سازی و گردش گل در سیستم حفاری پلاتفرم ویژه بنتونیت آماده می شود. انتخاب محل پلاتفرم و مکان قرارگیری حوضچه ها باید به گونه ای باشد که امکان پمپاژ گل از پانل به حوضچه و بالعکس وجود داشته باشد

فاصله طولی و اختلاف تراز از دو نقطه و افتهای دیگر مسیر از توان پمپهای موجود کمتر باشد.



(۲) اجرای دیوار راهنما: دیوار راهنما دیواری است بتنی که به منظور هدایت و کنترل کاتر دستگاه BC30 در عملیات حفاری و جلوگیری از انحراف در عمقهای اولیه پانل اجرا می گردد.



Guid Wall (سد ماملو)

(۳) احداث محل استقرار دستگاه حفاری: برای استقرار و تراز شدن دستگاه در زمان حفاری، ایجاد بستر خاکریزی شده مناسب در پشت دیوار راهنما با شیب صفر الزامی می باشد. خاک مورد استفاده از نوع دانه ای است و عموماً از مصالح پوسته بدنه سد تامین می گردد. تراکم بایستی دارای تراکم حداقل ۸۵ درصد باشد تا دستگاه به راحتی بتواند تردد کند.

(۴) پیش حفاری: به منظور ست کردن دستگاه روی پانل و مستغرق شدن کارتر در شروع حفاری در گل حفاری با مشخص شدن موقعیت پانل ۳ متر اول آن پیش حفاری می گردد.

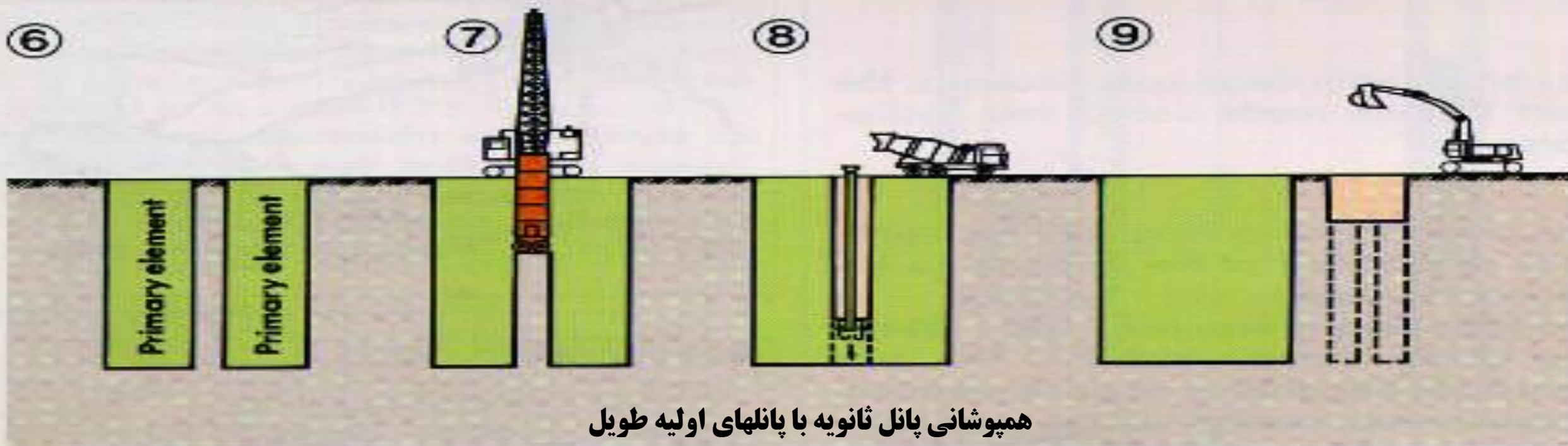
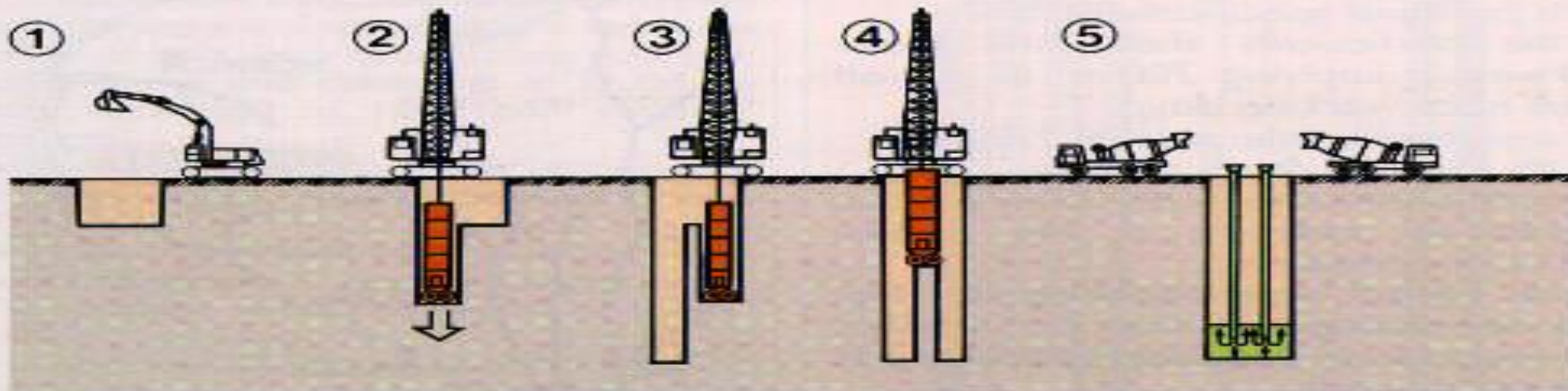
در سد کرخه پیش حفاری توسط بیل مکانیکی انجام شده و مصالح حفاری شده به مکان دیگری منتقل شدند.

(۵) فاز بندی و پانل بندی: یکی از کارهای مقدماتی فازبندی است. دلیل عمده فازبندی تقسیم بندی پروژه به پروژه های کوچکتر می باشد. (تعداد فازهای دیوار آب بند سد کرخه ۳۸ فاز است).

پس از فاز بندی پانل بندی فاز با توجه به همپوشانی انجام می شود. همپوشانی پانلها برای جبران انحراف احتمالی پانل در نظر گرفته می شود. انحراف مجاز $2/0$ درصد عمق پانل است که دو برابر این مقدار به عنوان هم پوشانی در نظر گرفته می شود. برای پانل بندی دو روش عمده وجود دارد:

الف) همپوشانی پانل ثانویه با پانلهای اولیه طویل: در این روش دوپانل اولیه طویلتر از پانل ثانویه هستند. (روش اجرایی در سد ۱۵ خرداد)

ب) همپوشانی پانل ثانویه با پانلهای اولیه معمولی: در این روش ابعاد پانلهای اولیه و ثانویه یکسان می باشد. (روش اجرایی در سد کرخه)



همپوشانی پانل ثانویه با پانلهای اولیه طویل

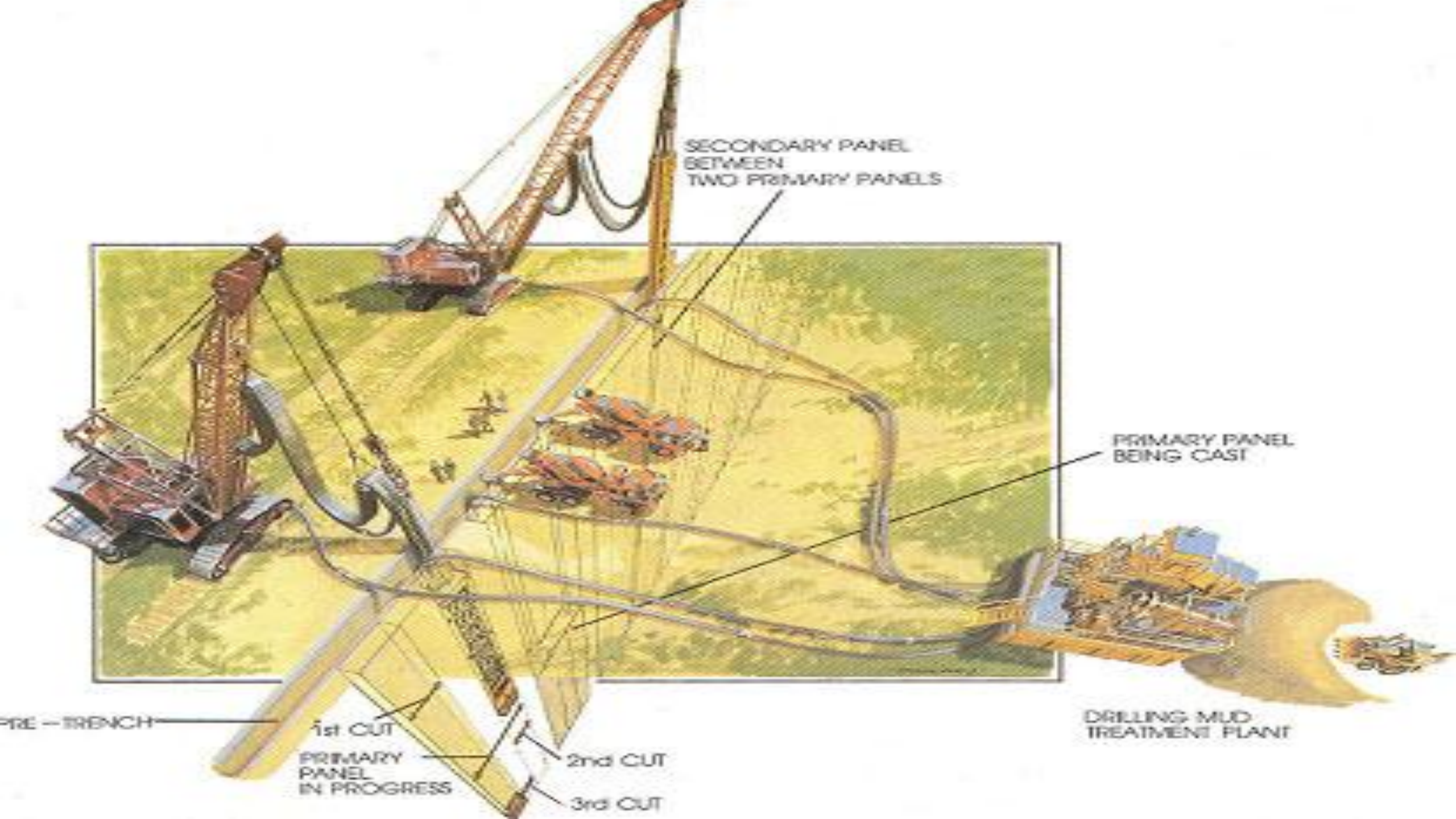
گل حفاری

گل حفاری (supporting fluid) سوسپانسیونی است از آب و پودر بنتونیت سدیمی که در یک همزن دور بالا و با استفاده از پمپ سانریفیوژ بخوبی مخلوط و پراکنده می شود

نقش اصلی گل حفاری پایداری ترانشه حفاری شده در برابر فشارهای جانبی ناشی از خاک، سربار روی پلاتفرم و آبهای زیر زمینی است و با تشکیل کیک (Cake) بنتونیتی در اثر از دست دادن بخشی از آب یک مانع بنتونیتی در تمام قسمتهای در تماس با زمین تشکیل می شود که نقش عمده ای در پایداری زمین دارد.

ابتدا دستگاه به فاصله ثابتی در کنار پانل مستقر شده و کاتر دستگاه در پیش حفاری قرار می گیرد. قاب راهنمای کاتر (Guide Frame) دقیقاً روی نقاط نشانه پانل تنظیم می شود سپس گل حفاری به پیش حفاری ریخته شده تا پمپ گل دستگاه در گل قرار گیرد آنگاه چرخهای حفاری شروع به حفاری می کنند.

پس از پایان حفاری برای خارج کردن کامل مواد حفاری شده و رسوبات کف پانل عمل شستشوی پانل انجام می شود که در طی آن کاتر دستگاه در کف پانل قرار گرفته و از بالای پانل گل تازه شارژ می شود و پمپاژ گل تا آنجایی ادامه می یابد که گل پانل آلوده نباشد.



بتن پلاستیک

برای پر کردن پانلهای دیوار آب بند از بتن پلاستیک استفاده می گردد. این بتن از آن جهت پلاستیک نامیده شده است که دارای قابلیت تغییر شکل پذیری و پلاستیسیته بالایی است. فاکتور اصلی ایجاد کننده این عامل پودر بنتونیت است. پودر بنتونیت مورد استفاده در بتن از نوع درجه ۲ یا Low Viscosity می باشد.

مشخصه های مکانیکی اصلی بتن پلاستیک بکار رفته در سد کرخه به قرار زیر می باشد:

مقاومت فشاری ۲۸ روزه 30 kg/cm^2

مدول الاستیسیته ۲۸ روزه 50000 kg/cm^2

نفوذپذیری حداکثر $10^{(-7)} \text{ cm/sec}$

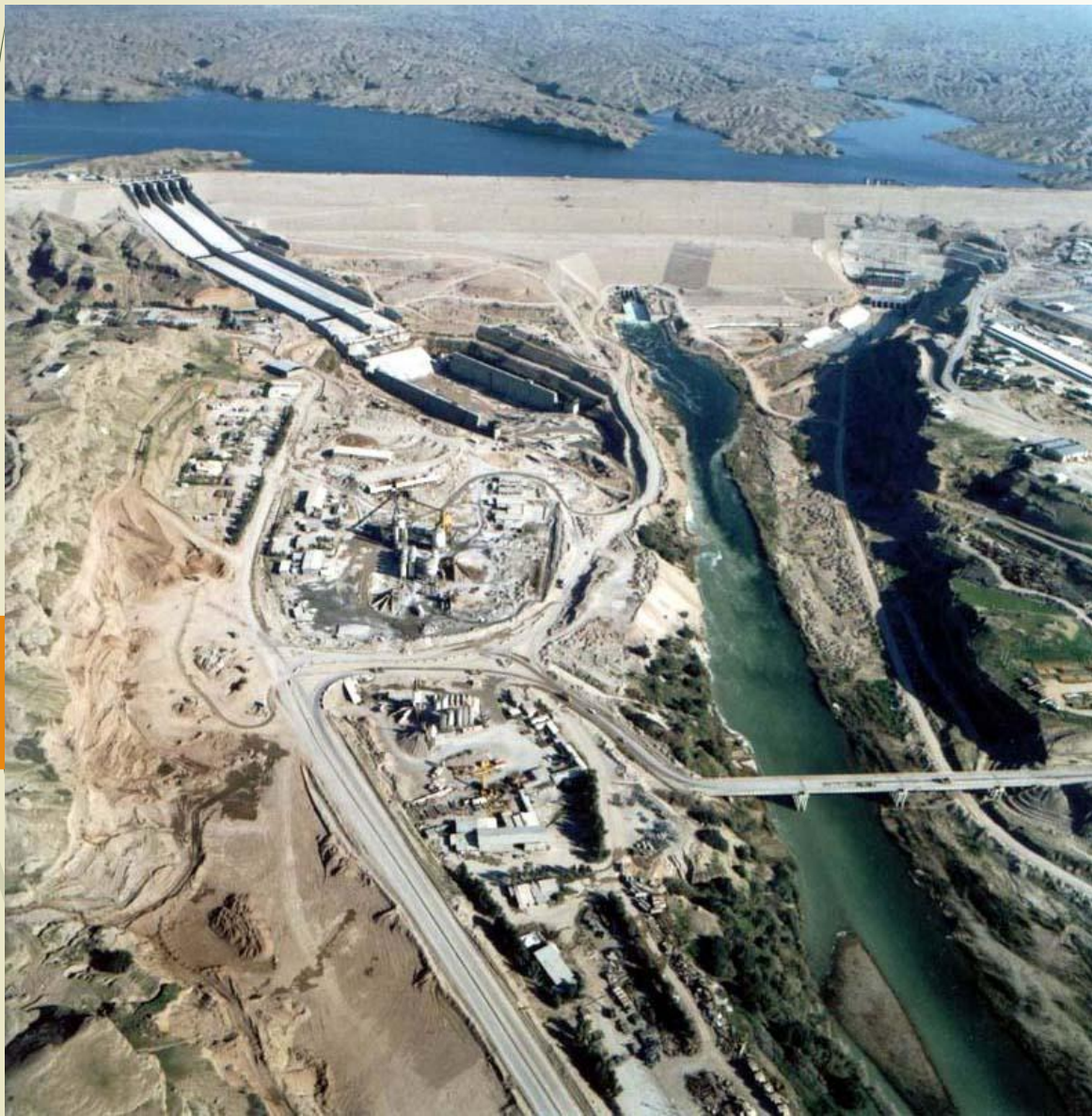
مراحل مختلف تولید بتن پلاستیک

- ✓ طبق توصیه ICOLD ابتدا پودر بنتونیت با آب در یک میکسر دور بالا مخلوط می شود و دوغ آب بنتونیت بدست می آید.
- ✓ این دوغ آب به مدت ۲۴ ساعت در سیلوهای ویژه ای مجهز به پمپ چرخش و شبکه تبرید و ایزولاسیون حرارتی مناسب برای فصول گرم خوابانده می شود تا کاملاً بصورت اشباع درآید.
- ✓ در مرحله بعدی دوغاب بنتونیت در یک مخزن استوانه ای افقی با سیمان تیپ ۵ ضد سولفات مخلوط می گردد و دوغاب سیمان- بنتونیت یا گروت پلاستیک که بخش پلاستیک بتن را تشکیل می دهد، تولید می گردد.
- ✓ سپس این گروت در داخل میکسر بچینگ با مصالح سنگی مخلوط شده و بتن پلاستیک تولید می شود.

مراحل مختلف اجرای بتن

حمل و نمونه گیری بتن:

بتن را می توان با استفاده از کامیون از بچینگ با انجام آزمایشهای افت و حرارت لازم به محل انتقال داد. در سد کرخه این کار با استفاده از Truck mixer با حجم دیگ ۶ متر مکعب انجام شده که دما در زمان حمل ۳۰ درجه سانتیگراد و افت ۱۶- ۱۹ سانتیمتر بود.



بتن ریزی:

بتن ریزی پانل به روش ترمی بسیار حساس می باشد و در صورت بروز اشکال کل بتن ریزی زیر سؤال خواهد رفت. پس از پایان حفاری و شستشوی پانل عمق پانل با سوند اندازه گیری می شود و پانل لوله گذاری می شود. برای تخلیه بهتر بتن مناسب انتهای لوله از کف پانل 30-50 cm فاصله داشته باشد. همزمان با شروع بتن ریزی از بالا در درون لوله ترمی پمپ گل نیز راه اندازی شده و گل را از بالا به حوضچه های گل منتقل می کند. سرعت بتن ریزی نباید از میانگین ۳ متر بر ساعت بیشتر باشد.

نتیجه:

با توجه به ابعاد و عظمت پروژه های جدید استفاده از تکنولوژیهای پیشرفته برای رسیدن به اهداف پروژه ضروری می نماید از جمله این روشهای برتر استفاده از دستگاه هیدروفرز در ایجاد دیوار آب بند در دو پروژه سد ۱۵ خرداد و سد کرخه می باشد که نتایج بسیار خوبی به همراه داشته است.

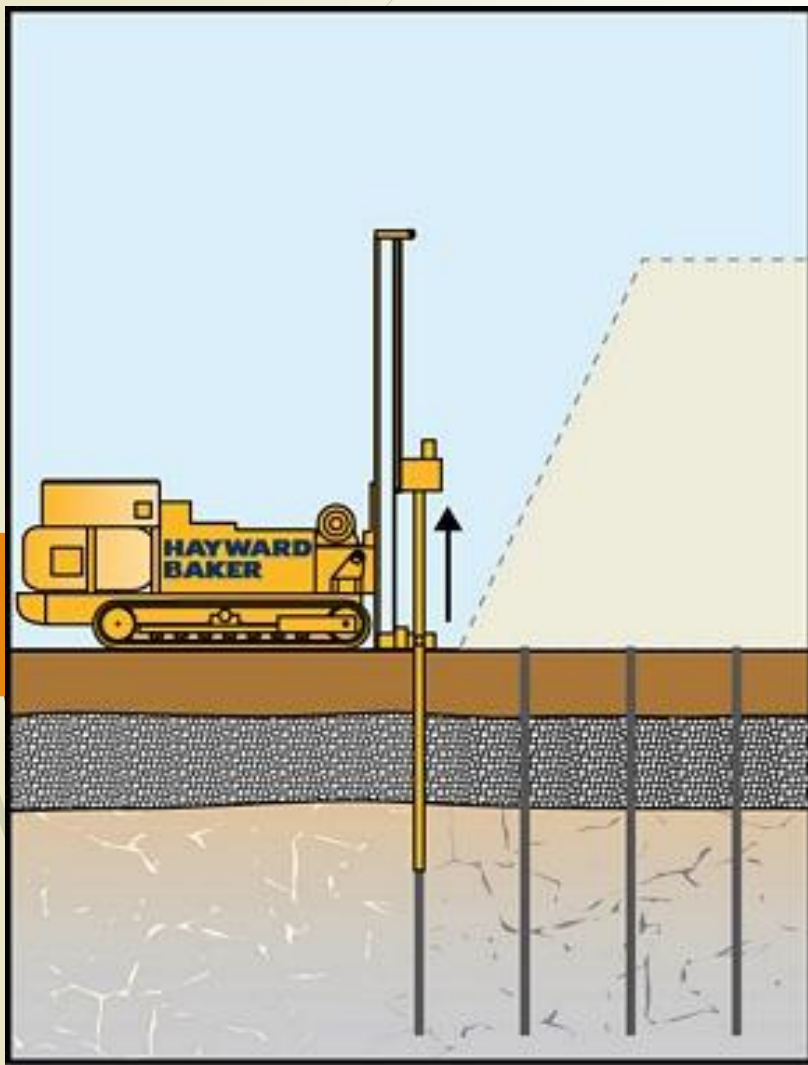
- (۱) امکان حفاری تا اعماق ۱۰۰ متر یا بیشتر
- (۲) سرعت حفاری بالا
- (۳) انحراف کم (۱ تا ۲ هزارم)
- (۴) امکان گودبرداری در لایه های سخت و نیمه سخت
- (۵) اتصال ساده و موثر بین پانلها
- (۶) حفاری با لرزش و ارتعاش کم بخصوص برای مناطق شهری

روشهای مختلف تزریق

- ۱) تزریق سیمان (Cement Grouting)
- ۲) تزریق شیمیایی (Chemical Grouting)
- ۳) تزریق تراکمی (Compaction Grouting)
- ۴) تزریق شکست هیدرولیکی (Fracture Grouting)
- ۵) تزریق جت (Jet Grouting)

تزریق سیمان (Cement Grouting)

روشی است برای پر کردن خلل و فرج خاکهای دانه ای، سنگها و خاکها با استفاده از دوغاب دارای ذرات (Particulate Grout)



دوغاب { سیمان پرتلند
سیمان با دانه های خیلی ریز

اندازه ذرات دوغاب و فضاهای خالی باید کنترل شود.

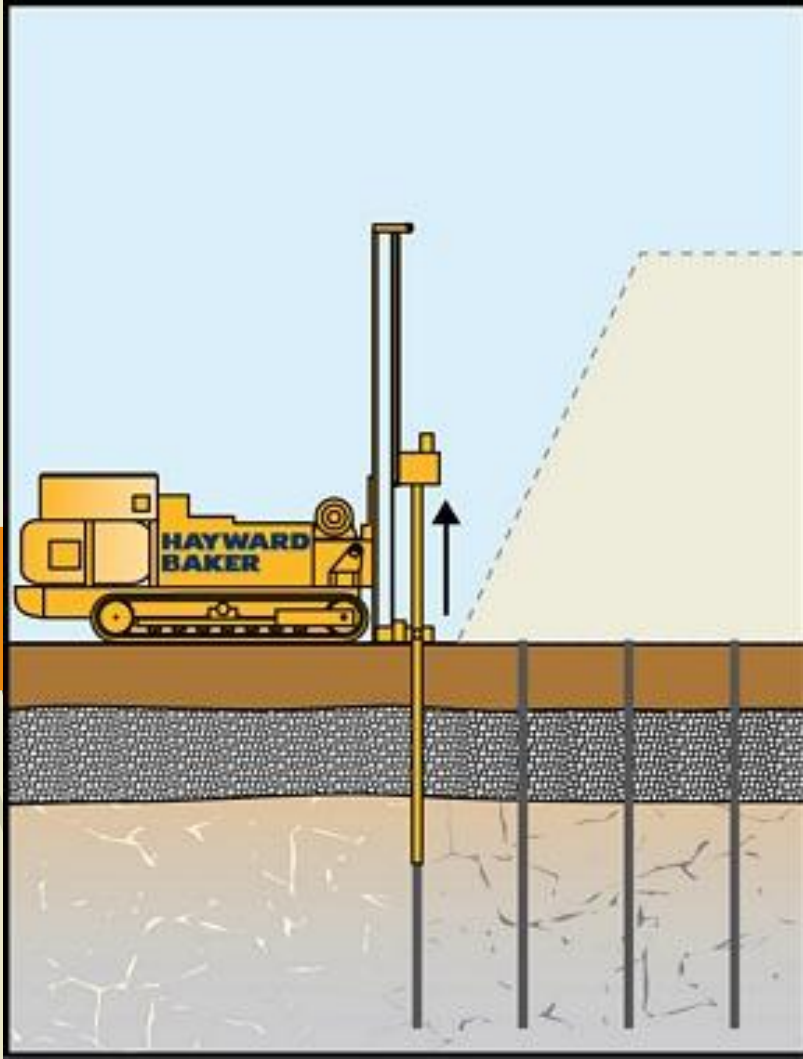
نتایج:

- ✓ افزایش مقاومت و سختی
- ✓ کاهش نفوذپذیری

تزریق سیمان (Cement Grouting)

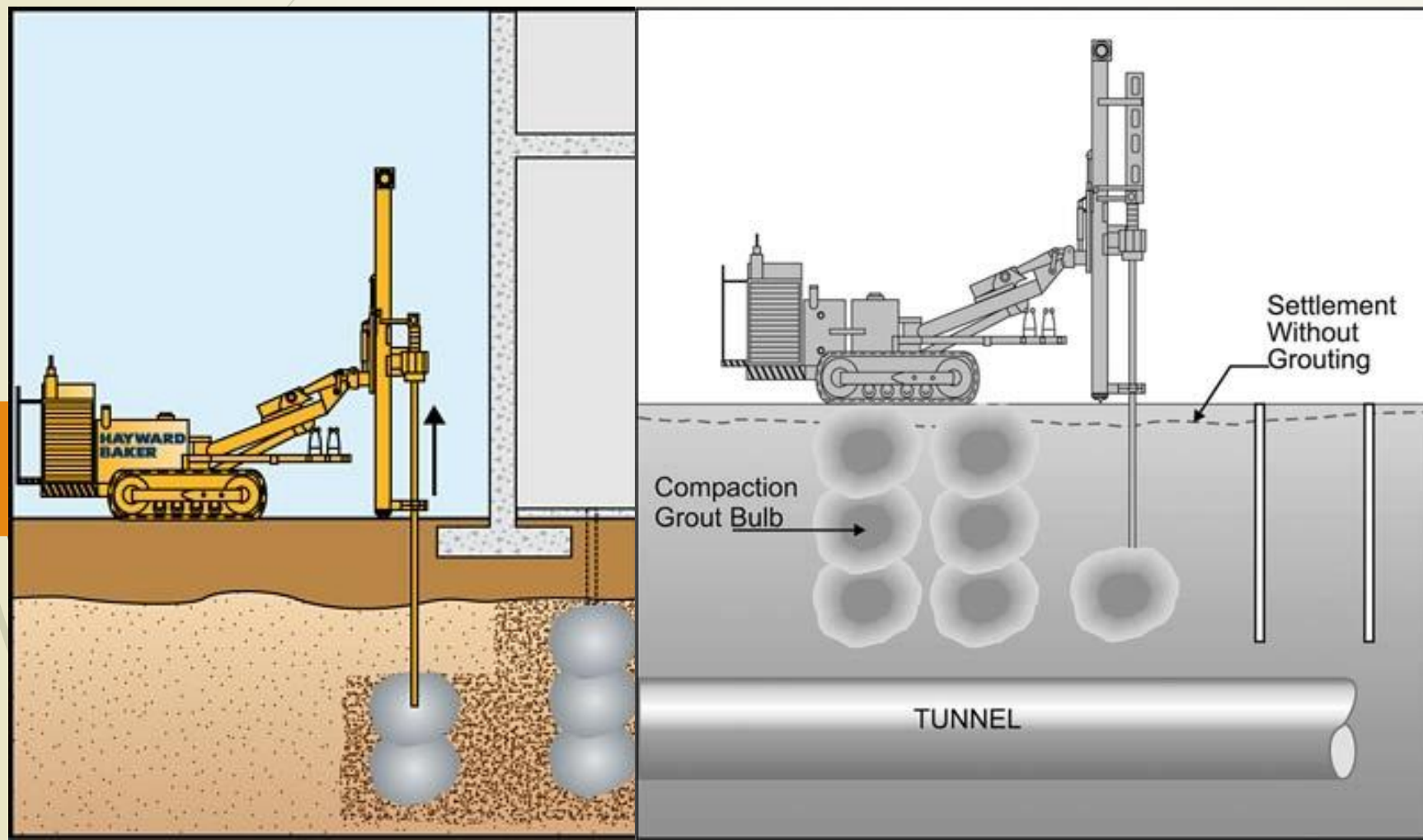
کاربرد:

- ✓ کاهش نفوذپذیری پی زیر سدها
- ✓ سیمان کردن پی فونداسیون ها
- ✓ ایجاد پوشش برای گودبرداریها

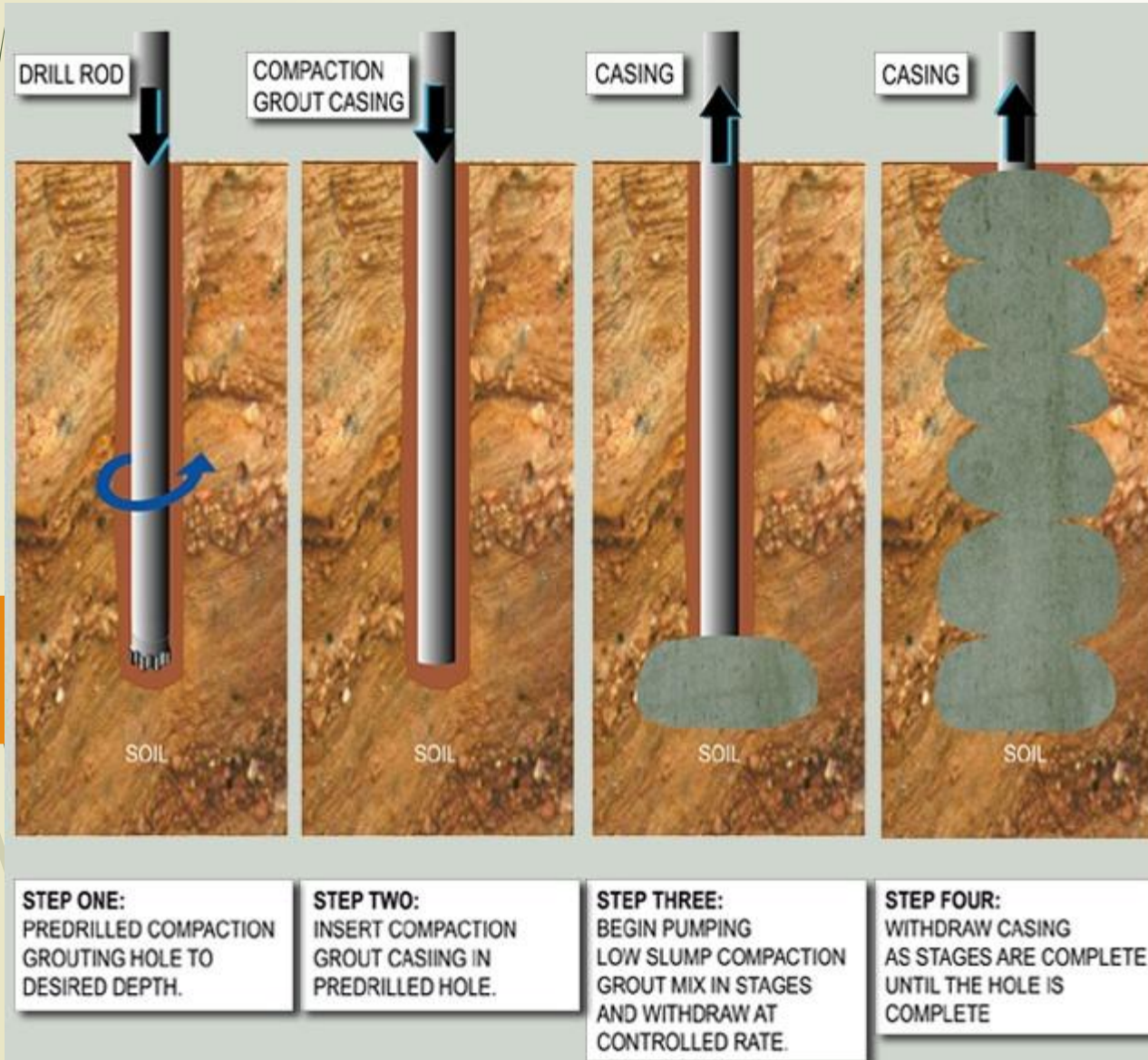


تزریق تراکمی (Compaction Grouting)

روش است که با تزریق دوغاب رقیق در ماسه سست همزمان با سیمان کردن آن سبب افزایش دانسیته توده خاک نیز می شود.



تزریق تراکمی (Compaction Grouting)

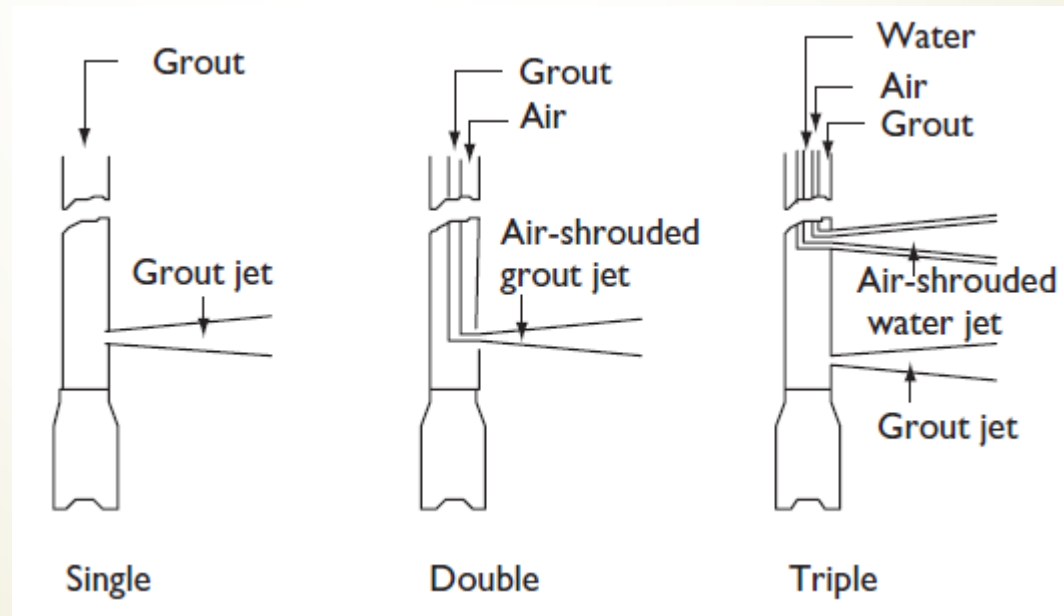
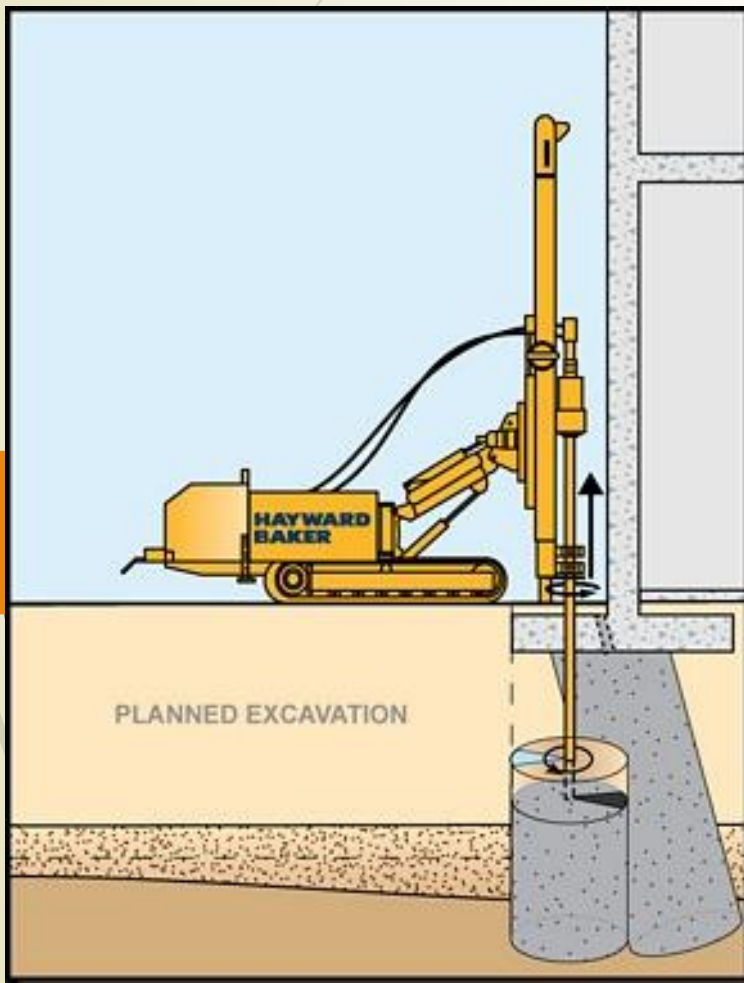


تزریق جت (Jet Grouting)

در این روش با استفاده از خروج با فشار مصالح دوغاب از انتهای نازل، گمانه مورد نظر ایجاد شده و در حین نفوذ دوغاب به توده خاک گمانه نیز حفر می شود.

انواع تزریق جت:

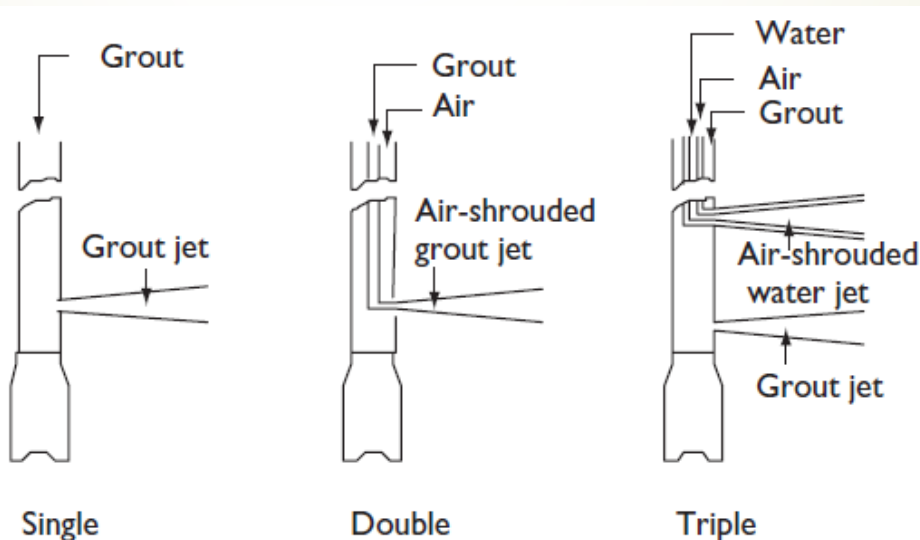
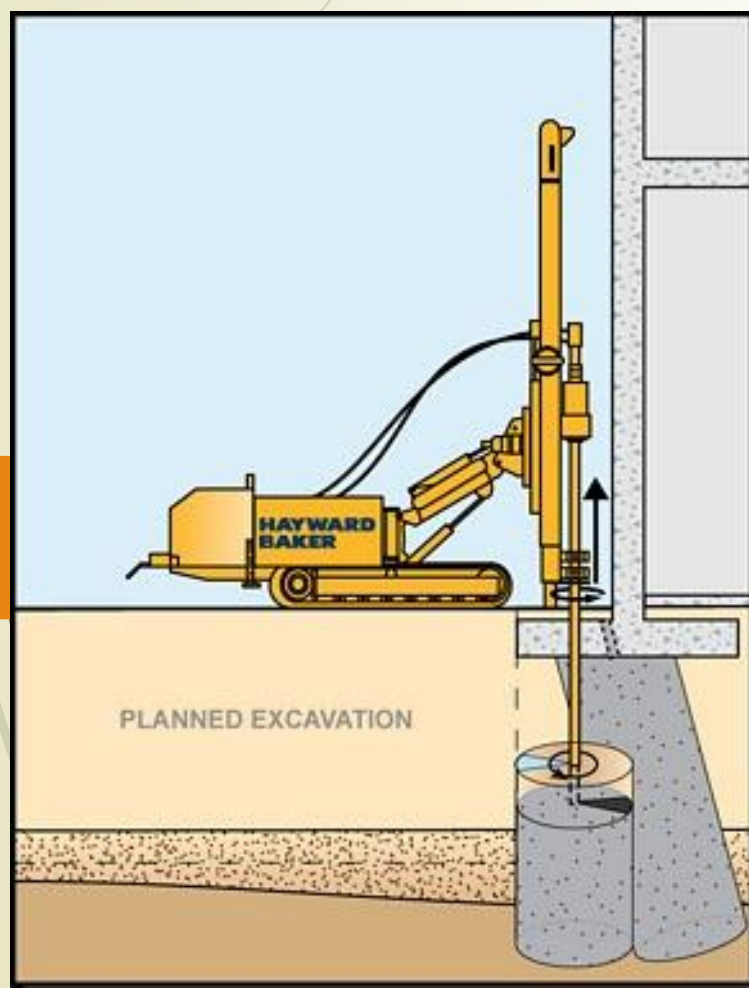
- ✓ تکی
- ✓ دوتایی
- ✓ سه تایی
- ✓ ویژه



تزریق جت (Jet Grouting)

(1) تزریق تکی (Single)

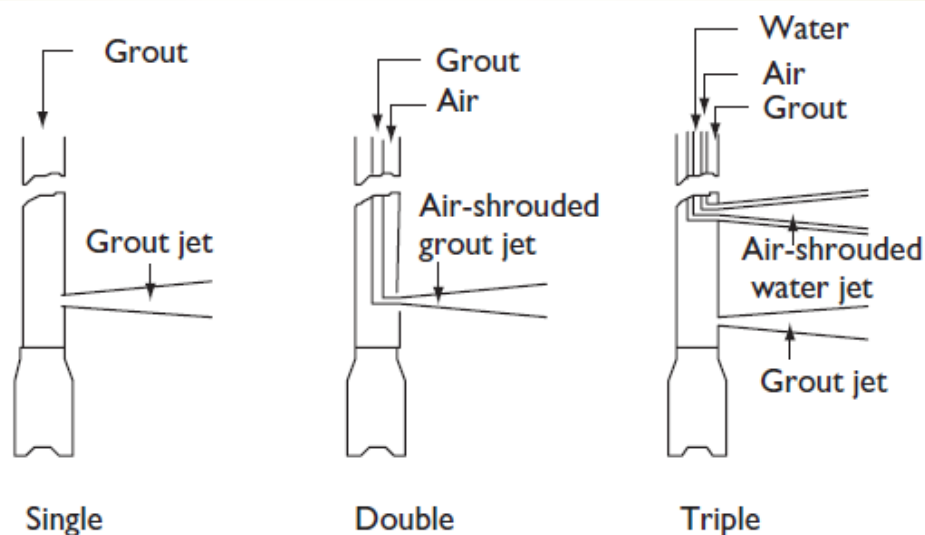
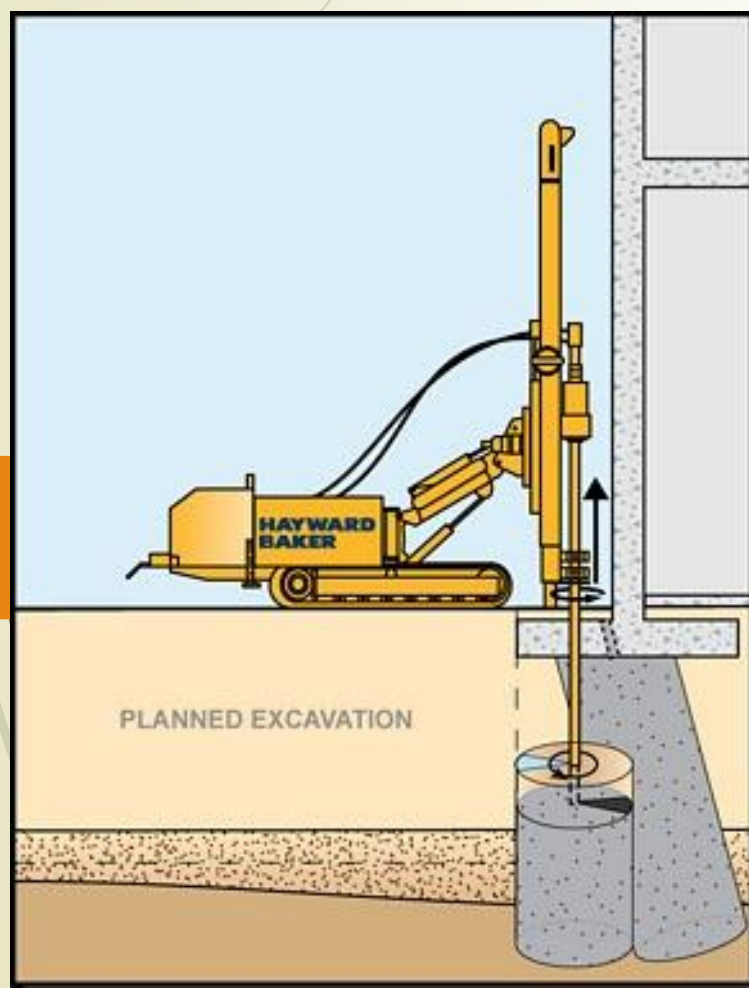
در این روش به طور همزمان وظیفه تخریب و تزریق تشکیلات موجود بر عهده دوغاب می باشد. عملیات با چرخش و انتقال یکسان مونیتور در هر لایه ادامه می یابد تا ستونی از مصالح بهسازی شده تشکیل شود. در واقع در این روش تنها یک جانشینی جزئی در خاک اتفاق می افتد بطوریکه ستون حاصل ترکیبی از خاک تخریبی و دوغاب میباشد.



تزریق جت (Jet Grouting)

۲) تزریق دوتایی (Double)

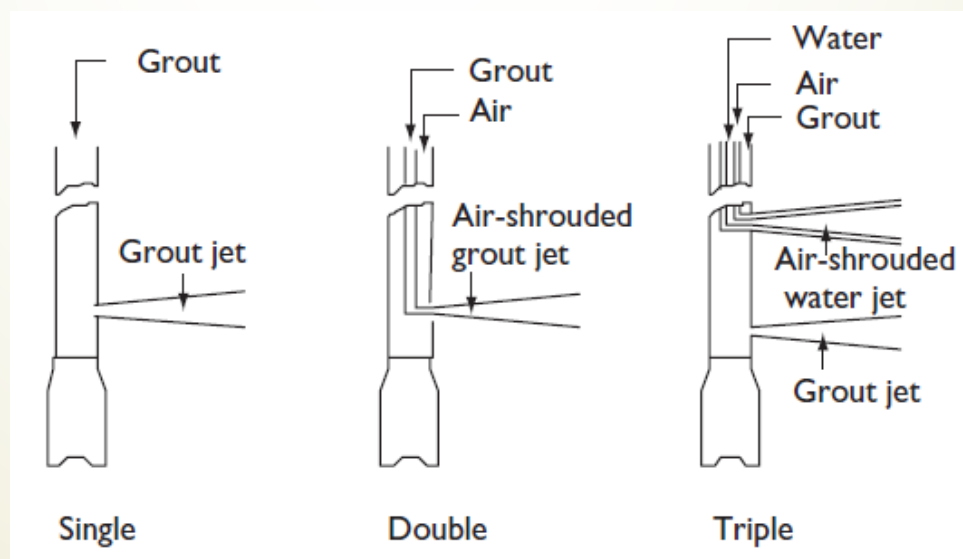
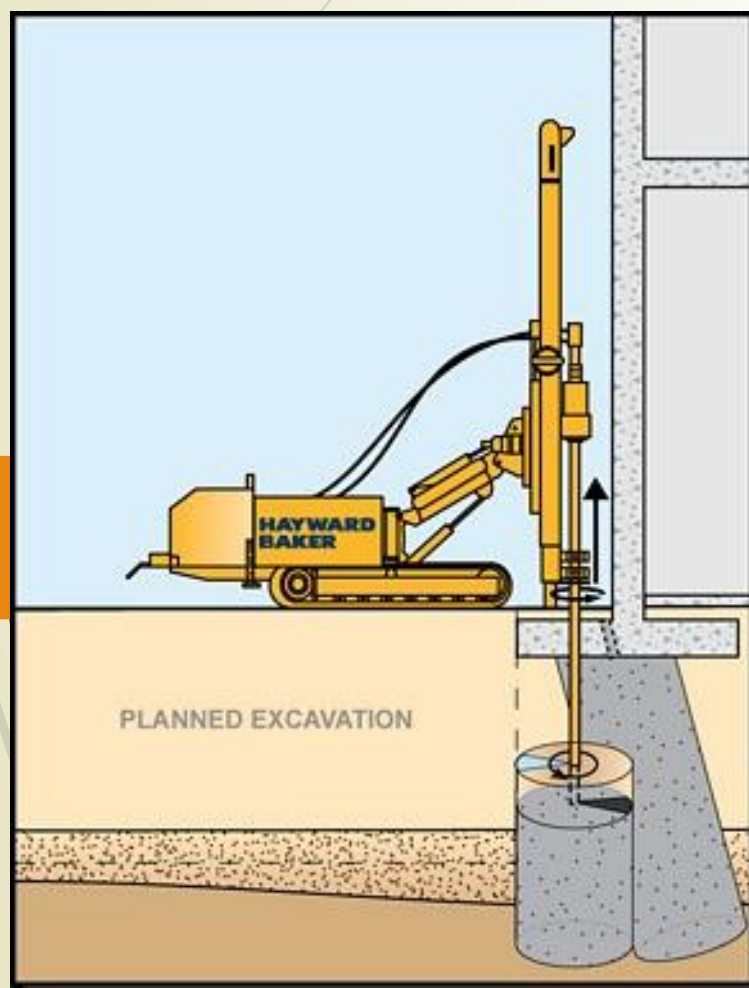
این روش حالت پیشرفته تر روش قبلی بوده که در آن اثر برشی جت دوغاب بطور قابل توجهی بوسیله پوششی از هوای فشرده، با فشار حدود ۲ تا ۱۵ بار، افزایش می یابد. نسبت به روش قبل ستون هایی با قطر بزرگتر حاصل شده و از طرفی امکان بهسازی حجم بیشتری از ناحه تزریق نیز میسر میباشد.



تزریق جت (Jet Grouting)

۳) تزریق سه تایی (Triple)

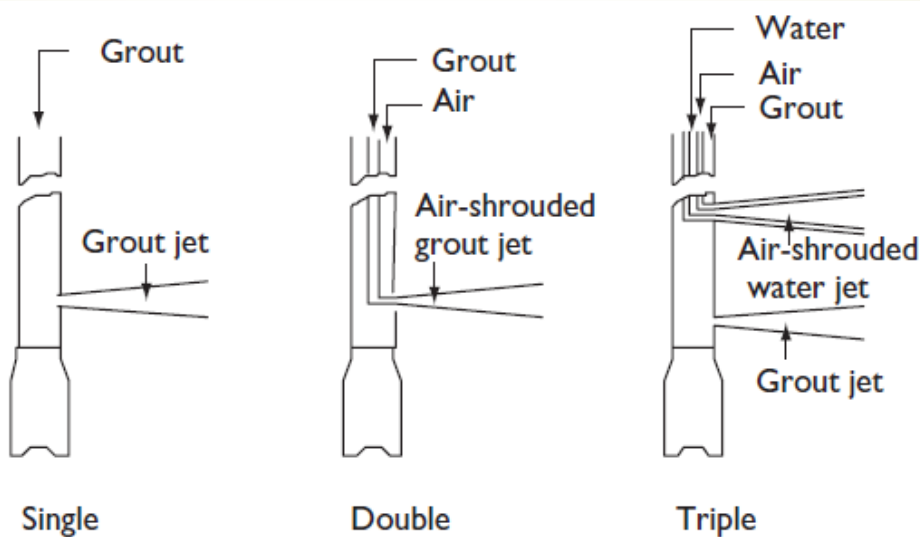
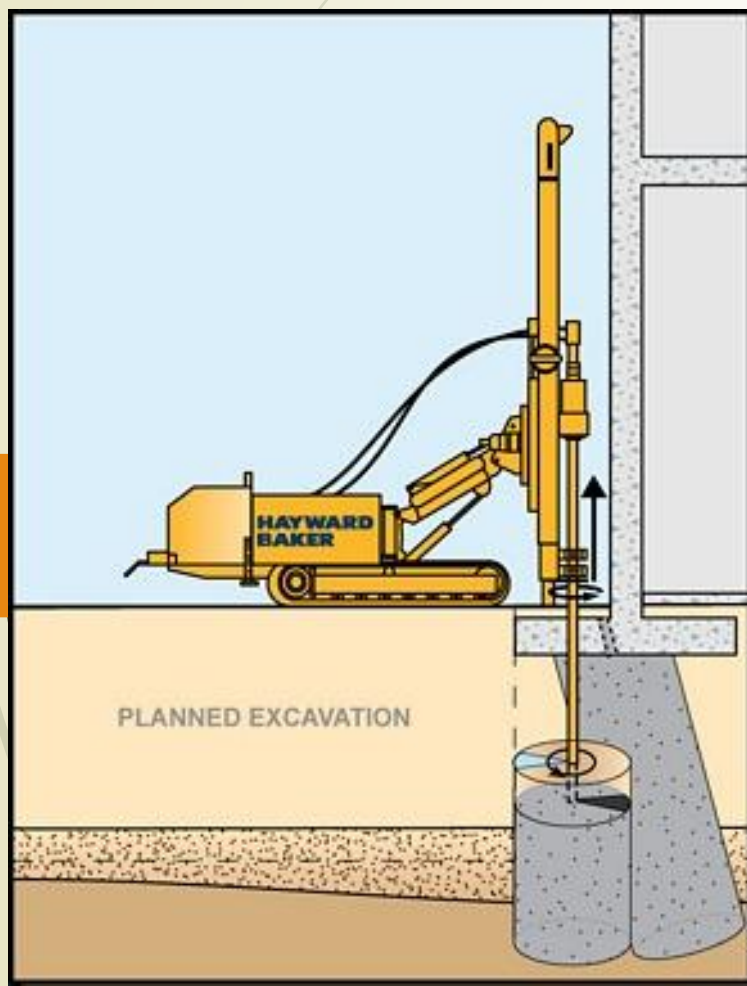
در این روش جت آب همراه با پوششی از هوا وظیفه برش و تخریب تشکیلات را بر عهده دارد به طوری که نازل مربوط به تزریق دوغاب در بخش پایینی دو جت دیگر قرار میگیرد. در این روش همراه با کارایی بهتر جت برشی (آب+هوا) رسیدن به حجم بالایی از مناطق بهسازی شده نیز ممکن خواهد بود.



تزریق جت (Jet Grouting)

۴) تزریق ویژه (Super)

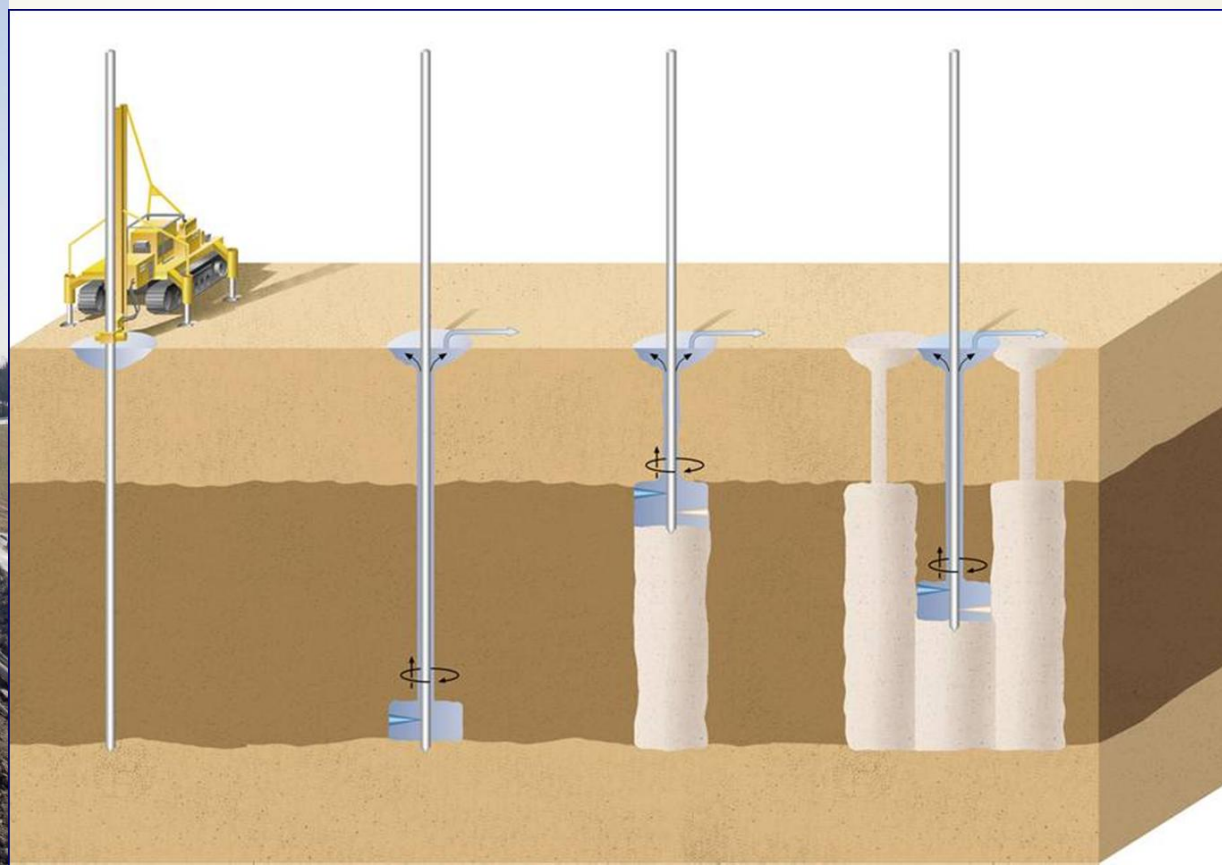
در این روش نیز همانند روش سه تایی از آب، هوا و دوغاب برای بهسازی استفاده می شود لیکن، هر یک از این مصالح از نازل جداگانه خارج می شوند.



تزریق جت (Jet Grouting)

مراحل تزریق

تزریق جت یک روش مناسب بهسازی برای مناطقی است که دارای خاک سیلت و یا رس هستند.



تزریق سیمان (Cement Grouting)

انواع تزریق سیمان

تزریق سیمان از نظر اجرایی به دو نوع تقسیم میشود:

(۱) آزمایشی (۲) اجرایی

تزریق آزمایشی: تزریقی است که قبل از تزریق اجرایی انجام میشود که در این تزریق برای بدست آوردن داده هایی جهت تزریق اجرایی میباشد.

تزریق اجرایی: تزریق اجرایی همان اجرای عملیات تزریق میباشد.



تزریق سیمان (Cement Grouting)

اهداف تزریق سیمان آزمایشی

اهمیت تزریق آزمایشی بیشتر در پروژه های سدها می باشد.

تزریق آزمایشی معمولاً در فاز دوم یا فاز مطالعاتی سدها اجرا میشود و اهمیت بسیار زیادی در طراحی پرده آب بند و گالری تزریق دارد.

در صورتی که این تزریق جواب ندهد، در مورد اجرا و عدم اجرا پروژه سد باید تصمیم گیری شود.

محل تزریق آزمایشی معمولاً در محور و یا در تکیه گاه سد اجرا می شود.



تزریق سیمان (Cement Grouting)

اهداف تزریق سیمان آزمایشی

- ✓ تعیین آرایش های گمانه های تزریق
- ✓ تعیین فاصله گمانه های تزریق
- ✓ تعیین حدود ملات خوری یا سیمان مصرفی پروژه
- ✓ تعیین چگونگی وضعیت نفوذ پذیری گمانه ها
- ✓ تعیین و بررسی شعاع تزریق در گمانه ها
- ✓ اقتصادی بودن تزریق سیمان در پروژه سد



تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهیزات تزریق سیمان

مخلوط کننده ها و همزنها

پمپ تزریق

ثبات

مسدود کننده (پکر)

تجهیزات مربوط به پکرها

آب سنج ها

فشار سنج

سیستم توزیع و تحویل

فشار شکن

شلنگ های فشار قوی و رابط های آن



تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهیزات تزریق سیمان

مخلوط کننده ها



تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهيزات تزریق سیمان

پمپ تزریق

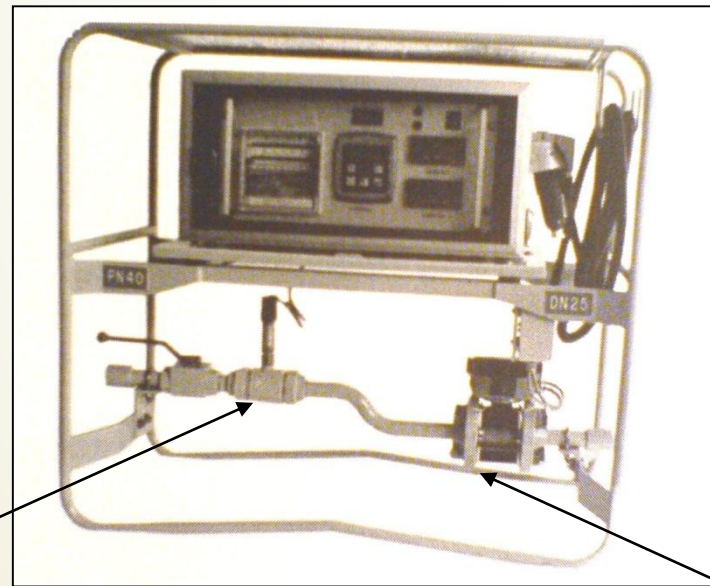


تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهیزات تزریق سیمان

ثبات تزریق وسیله ای است که جهت ثبت آیتم های تزریق شامل:
(۱) فشار، (۲) دبی و (۳) زمان

دو نوع ثبات امروزه از نظر سیستم موجود است:
ثبات مکانیکی
ثبات الکترونیکی (دیجیتالی)



سنسور فشار

کنترلر دبی

ثبات دیجیتالی

تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهیزات تزریق سیمان

آب سنج:

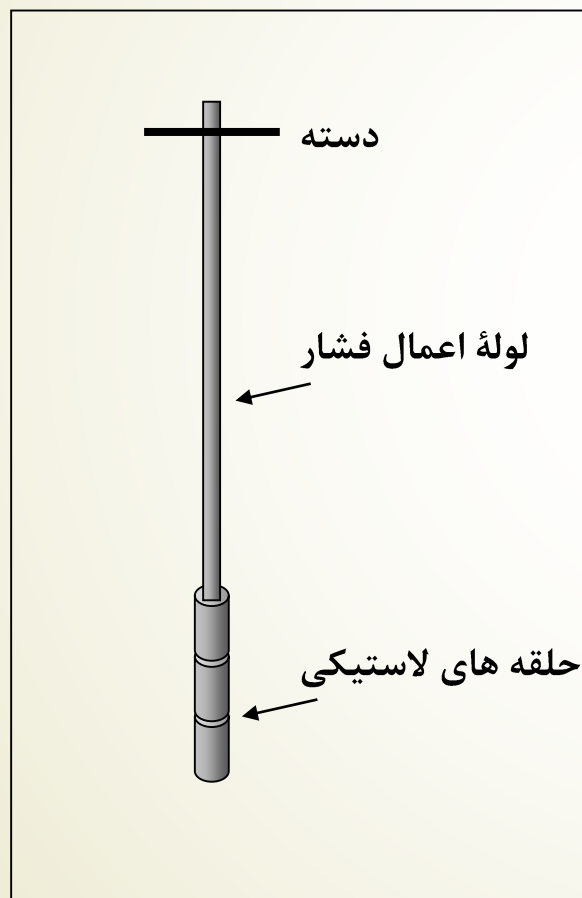
آب سنج ها برای اندازه گیری مقدار آبی که بایستی بنا بر مشخصات فنی و طرح اختلاط معین به ملات تزریق اضافه گردد به کار می آید.

پکر:

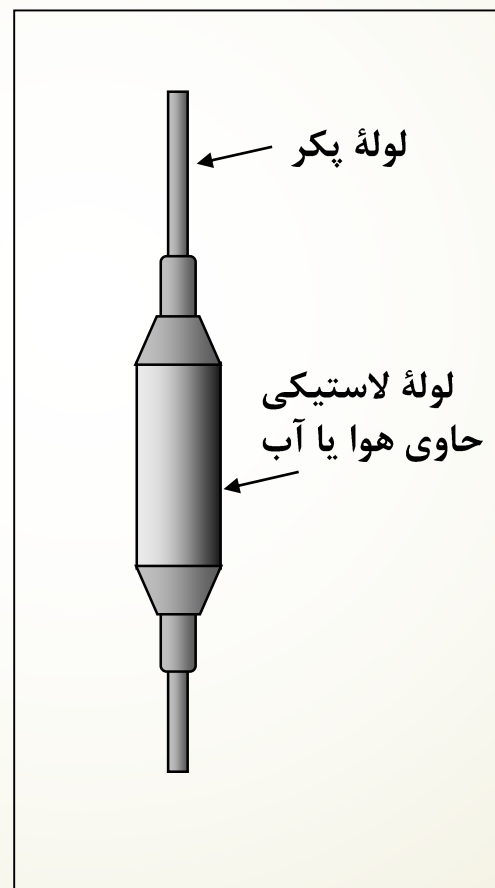
پکر برای آب بندی کامل یا مجزا کردن قسمتی از گمانه تزریق به کار می روند.
با استفاده از پکر امکان لازم برای این که ملات تزریق بتواند تحت فشار اعمال شده معین به داخل مقطع معینی از گمانه وارد شود، فراهم می آید.
پکر یا در قسمت بالای گمانه و یا این که در موقعیت های دیگری از طول گمانه نصب می گردند.

تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهیزات تزریق سیمان
پکر



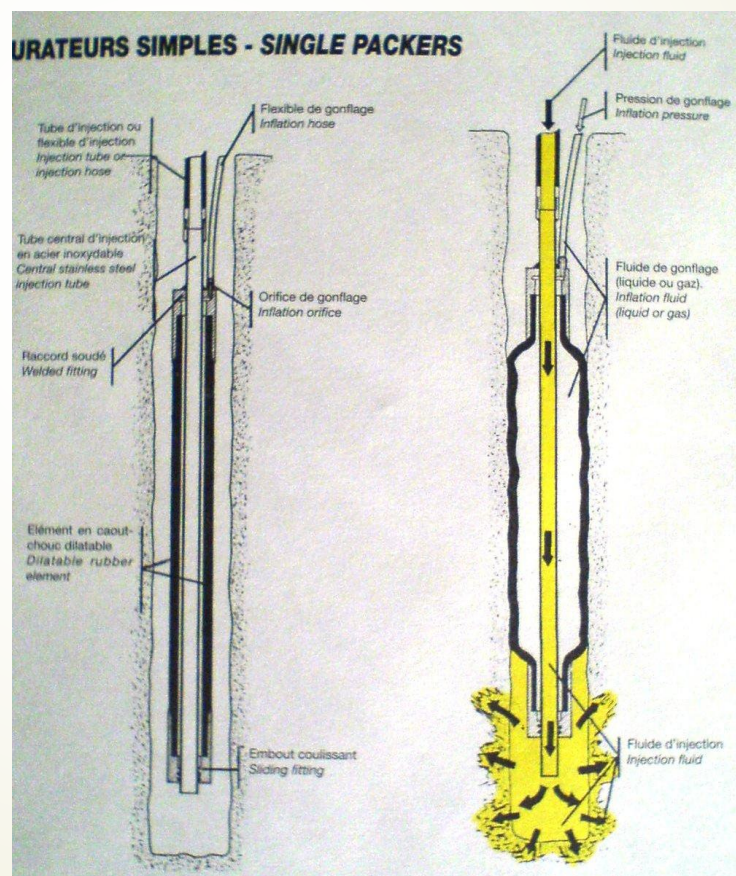
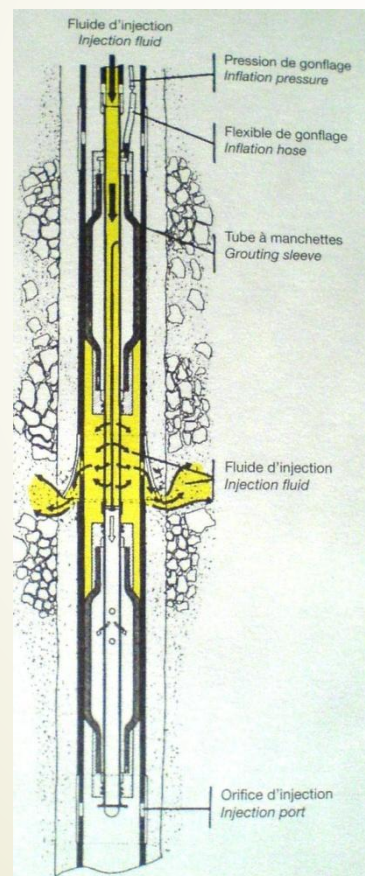
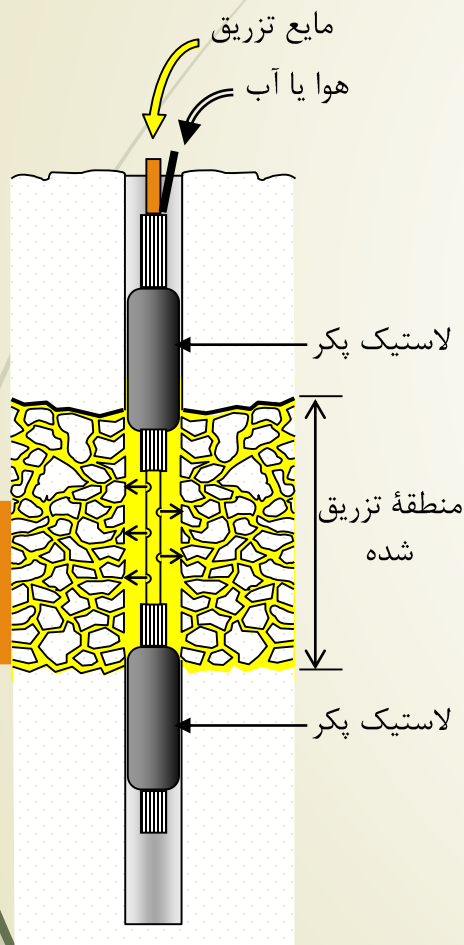
مسدود کننده مکانیکی



مسدود کننده پنوماتیک

تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهيزات تزریق سیمان
پکر

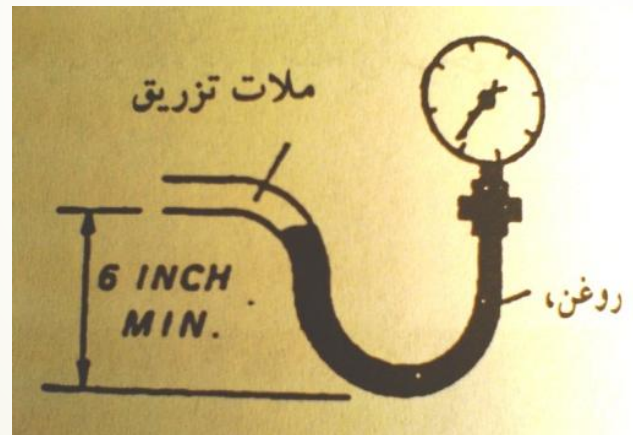


تزریق سیمان (Cement Grouting)

تجهیزات تزریق سیمان

فشار سنج:

برای رفتار سنجی فشار ملات تزریقی که در حال وارد شدن به گمانه تزریق می باشد، مورد استفاده قرار می گیرند. با کمک عقربه فشار سنج می توان حداکثر فشار مجاز وارده به ملات تزریق و همچنین نیل به نتایج خواسته شده از طراحی برنامه تزریق کاملاً اطمینان حاصل نمود.



سیستم توزیع و تحویل:

سیستم توزیع و تحویل ملات تزریق شامل تمامی خطوط تزریق و شیرها و عقربه ها و اتصالات بین پمپ و گمانه مورد نظر را شامل می شود.

به خاطر خطر ناشی از انسداد لوله ها استفاده از خطوط تحویل و برگشت با قطر کم تر از ۱ اینچ مجاز نمی باشد.

تزریق سیمان (Cement Grouting)

روشهای تزریق سیمان

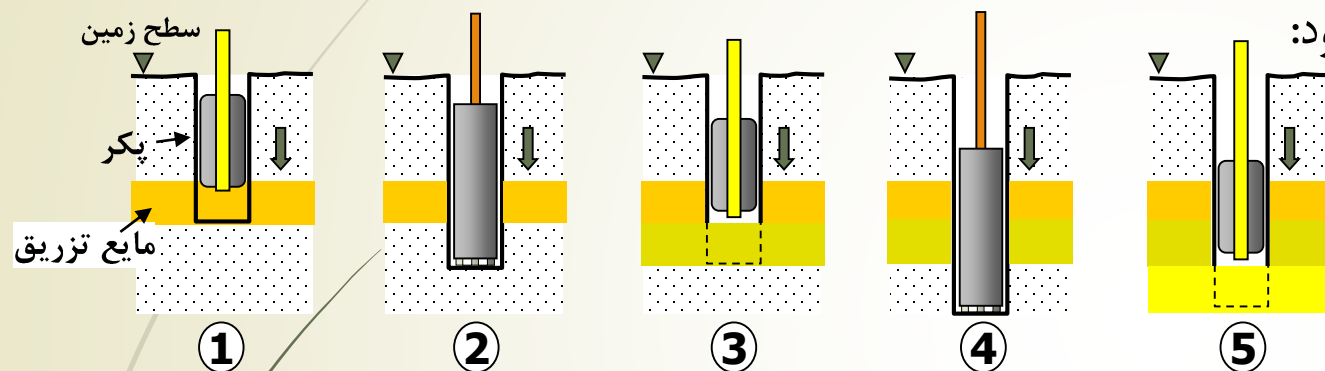
بطور کلی در عملیات تزریق از سه روش استفاده می شود:

(۱) روش پایین به بالا

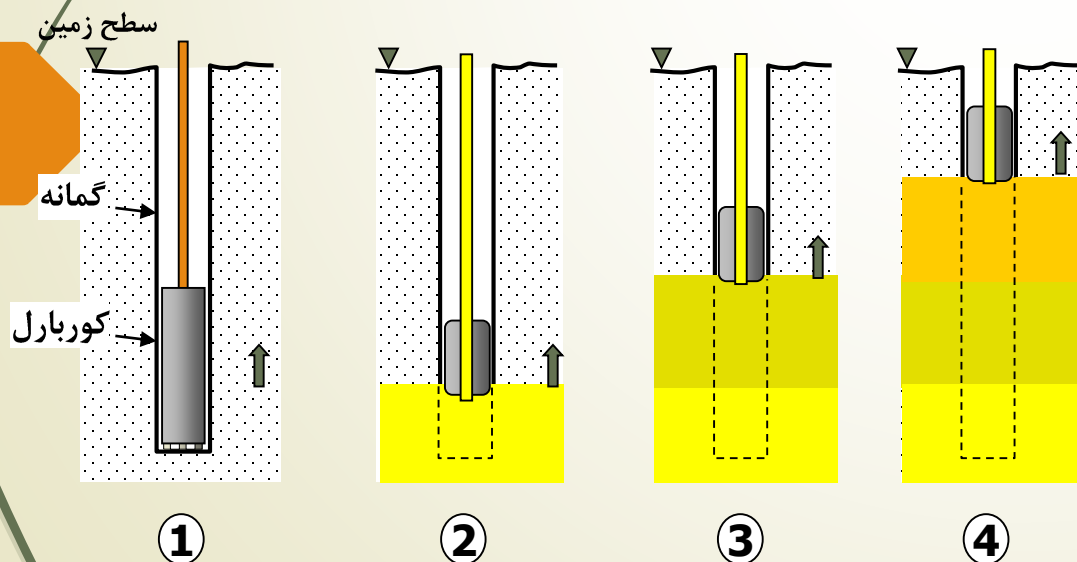
(۲) روش بالا به پایین

(۳) استفاده توام از دو روش

مراحل
تزریق از بالا
به پایین



مراحل
تزریق از
پائین به بالا



تزریق سیمان (Cement Grouting)

روشهای تزریق سیمان

روش پایین به بالا:

- ✓ سریعتر
- ✓ ارزانتر
- ✓ دقت پایین تر
- ✓ قابل استفاده در سنگ سالم و محیط با نفوذپذیری پایین

روش بالا به پایین:

- ✓ کندتر
- ✓ گرانتر
- ✓ دقت بالاتر
- ✓ قابل استفاده در مصالح خرد و محیط با نفوذپذیری بالا

روش ترکیبی:

- ✓ در محیطهای با لایه بندی

تزریق سیمان (Cement Grouting)

آزمایش نفوذپذیری و تزریق

در عملیات تزریق آزمون لوژن به منظور دستیابی به اهداف ذیل انجام می گیرد:

- ✓ تعیین میزان نشت آب
- ✓ بر آورد فشار بهینه تزریق
- ✓ بر آورد تزریق پذیری توده سنگ
- ✓ انتخاب بهینه مواد تزریق
- ✓ ارزیابی و کنترل کیفی تزریق انجام شده

در طراحی تزریق باید معیار مناسبی برای میزان آب بندی و توقف عملیات تزریق وجود داشته باشد.

علی رغم نارسای آزمایش لوژن، هنوز هم در بیشتر موارد معیار توقف تزریق و تعیین کارایی عملیات تزریق بر اساس نتایج لوژن می باشد.

تزریق سیمان (Cement Grouting)

مصالح تشکیل دهنده ملات تزریق

- ✓ آب
- ✓ سیمان
- ✓ بنتونیت (جهت افزایش پایداری و چسبندگی ملات)
- ✓ چسب سیلیکات سدیم (جهت افزایش مقاومت ملات)
- ✓ ماسه بادی
- ✓ فوق روان کننده ها
- ✓ زود گیر کننده ها و دیر گیر کننده ها
- ✓ مواد حباب زا

تزریق سیمان (Cement Grouting)

آزمایشهای کنترل کیفیت

✓ حفاری

✓ دوغاب

✓ تزریق

الگو و آرایش گمانه ها

✓ خطی

✓ مثلثی

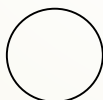
✓ لوزی

تزریق سیمان (Cement Grouting)

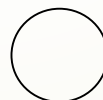
الگو و آرایش گمانه ها

خطی

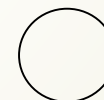
در روش خطی گمانه ها در امتداد یک خط قرار میگیرند. بعد از حفاری و تزریق گمانه اول و به فاصله یک گمانه، گمانه بعد، حفاری و تزریق می شود و سپس گمانه ای که حفاری نشده بود، حفاری و تزریق می شود.



1



3



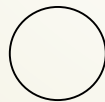
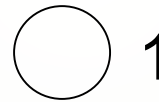
2

تزریق سیمان (Cement Grouting)

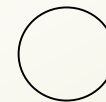
الگو و آرایش گمانه ها

مثلی

در روش مثلی بعد از حفاری و آزمایش نفوذ پذیری و تزریق سیمان سه گمانه که به شکل مثلث طراحی شده اند. یک گمانه شاهد در وسط مثلث حفاری و آزمایش نفوذپذیری انجام می گیرد، در صورتی که با این آرایش جواب لازم گرفته نشد، آرایش مثلث تبدیل به لوزی می شود.



3



2

تزریق سیمان (Cement Grouting)

مشخصات فنی تزریق

- ✓ مشخصات دستگاهها و تجهیزات تزریق سیمان
- ✓ گمانه های تزریق (فاصله و عمق و قطر گمانه)
- ✓ استانداردهای لازم جهت آزمایش کنترل کیفیت تزریق
- ✓ مشخصات طرح اختلاط سیمان و مواد شیمیایی افزوده شده به ملات سیمان
- ✓ فشار تزریق و زمان گیرش و شرایط تزریق

نفوذپذیری در محل (In Situ Permeability)

مفاهیم مورد نظر

❖ مقدمه

❖ آزمایشهای آزمایشگاهی

❖ آزمایشهای در محل

✓ آزمایش لوژان

✓ آزمایش لوفران

اهمیت نفوذپذیری

تراوایی یکی از پارامترهای مهم در تعیین موقعیت یک سازه آبی می باشد.

بررسی وضعیت لایه های آبهای زیر زمینی

$$\frac{q}{A} \approx i \text{ (دارسی قانون)}$$

$$\frac{q}{A} = ki$$

$$k = ?$$



روشهای تعیین نفوذپذیری

آزمایشهای آزمایشگاهی

✓ روش بار ثابت

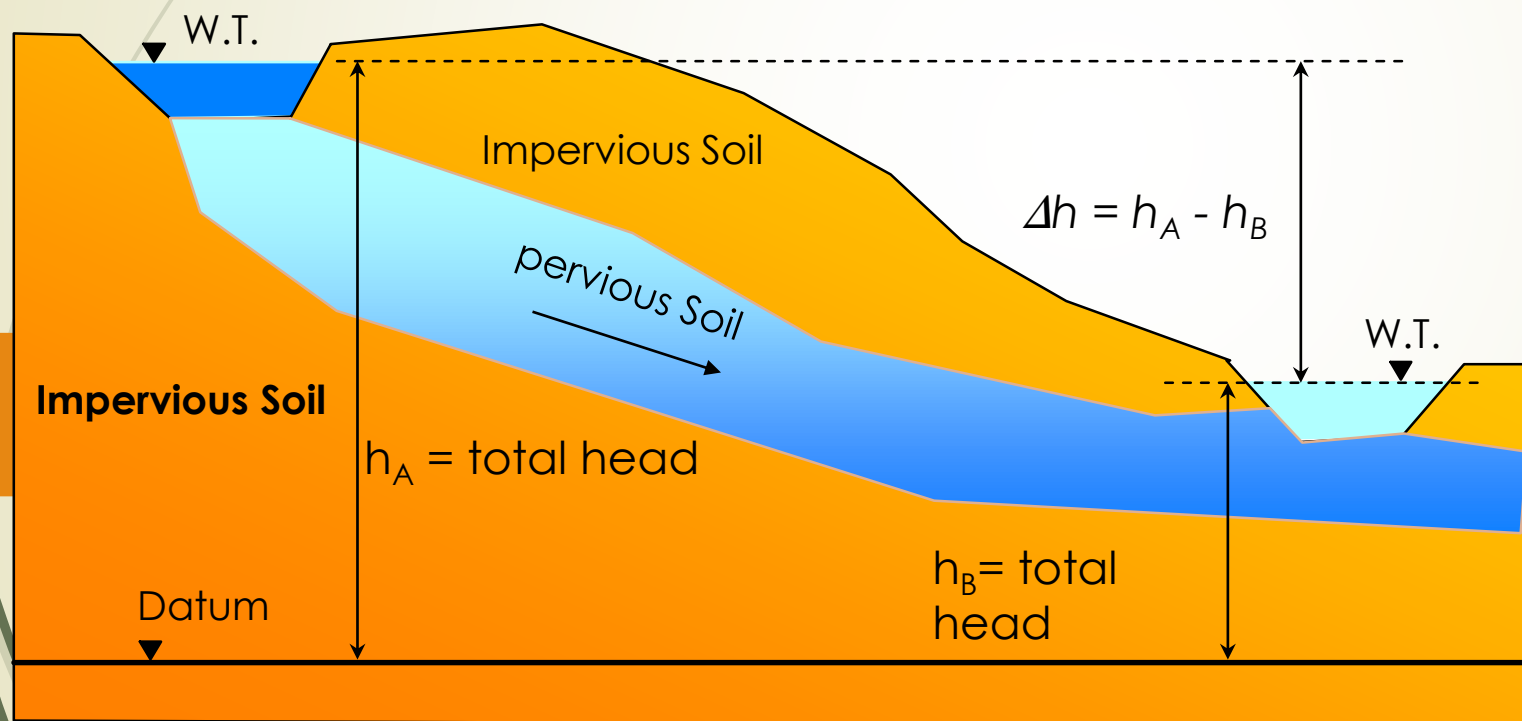
✓ روش بار افتان

آزمایشهای در محل

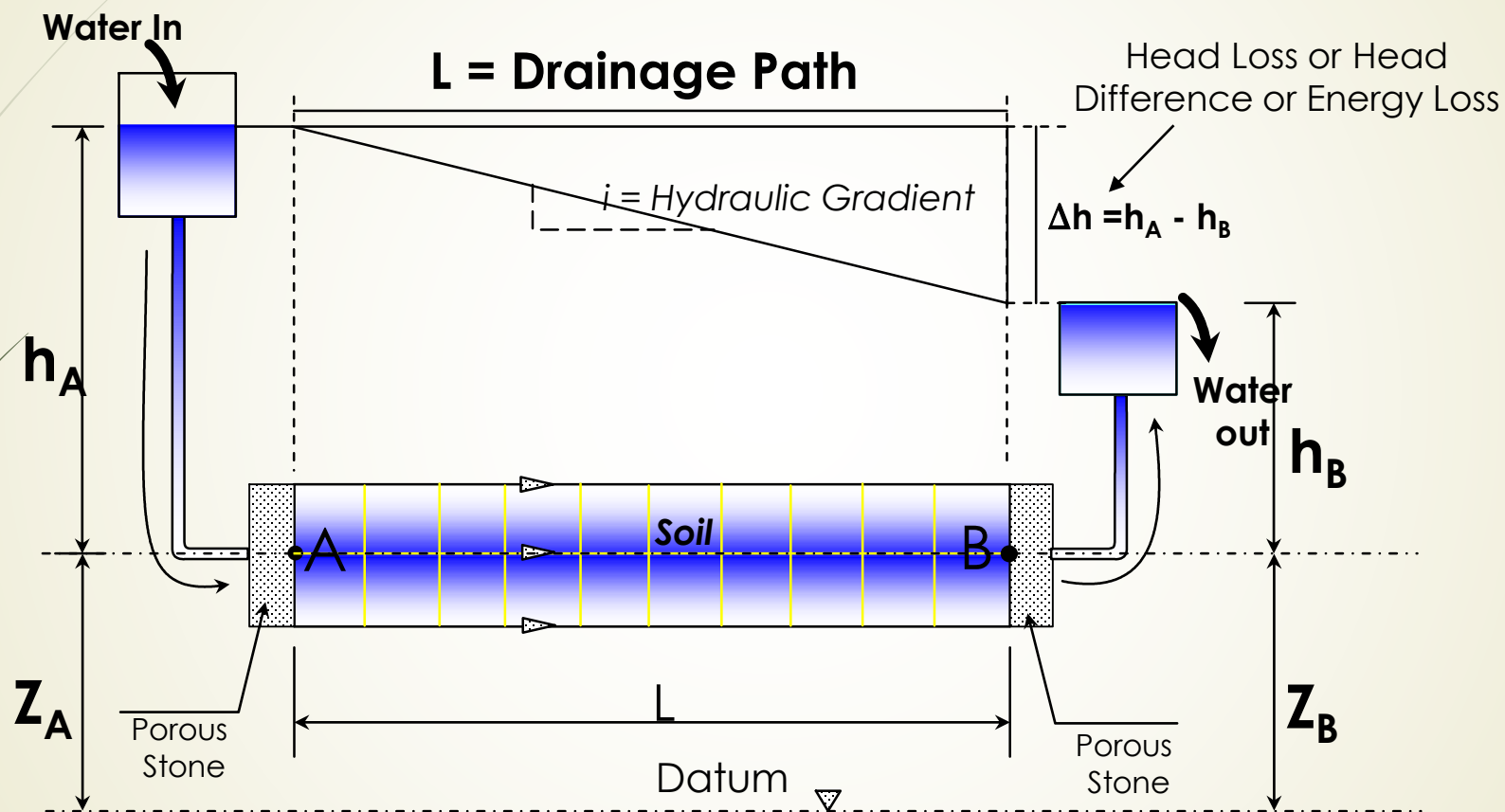
✓ آزمایش پمپاژ چاه

✓ آزمایش لوژان

✓ آزمایش لوفران



آزمایشهای آزمایشگاهی



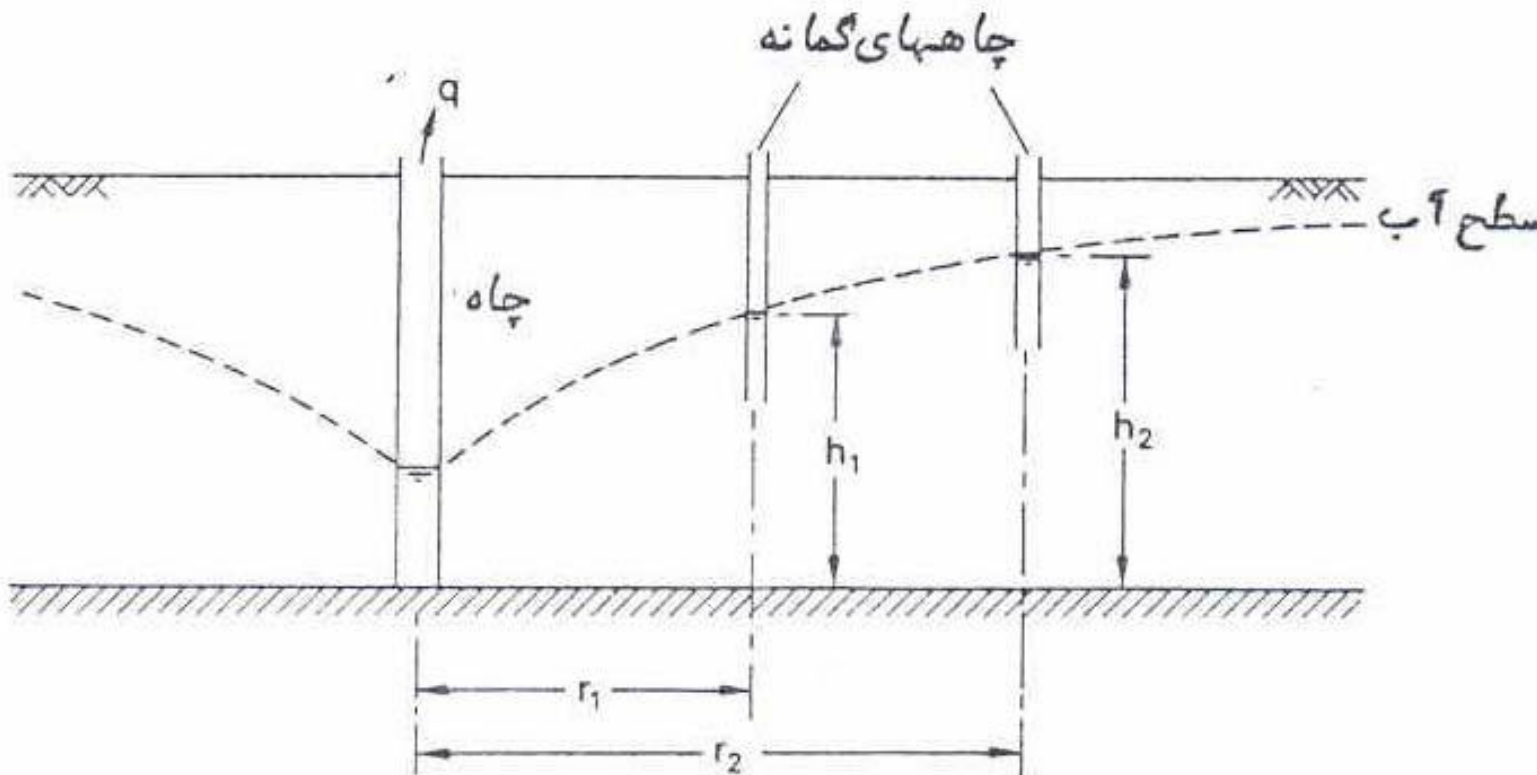
$$k = \frac{Ql}{\Delta h \cdot At}$$

$$k = 2.303 \times \frac{al}{At} \log \left(\frac{h_A}{h_B} \right)$$

آزمایش پمپاژ چاه

مناسب برای خاکهای درشت دانه

- ✓ حفاری چاه اصلی تا لایه نا تراوا
- ✓ حفر حداقل دو چاه شاهد در اطراف چاه اصلی
- ✓ پمپاژ آب از چاه اصلی و اندازه گیری ارتفاع آب در چاههای شاهد



آزمایش پمپاژ چاه

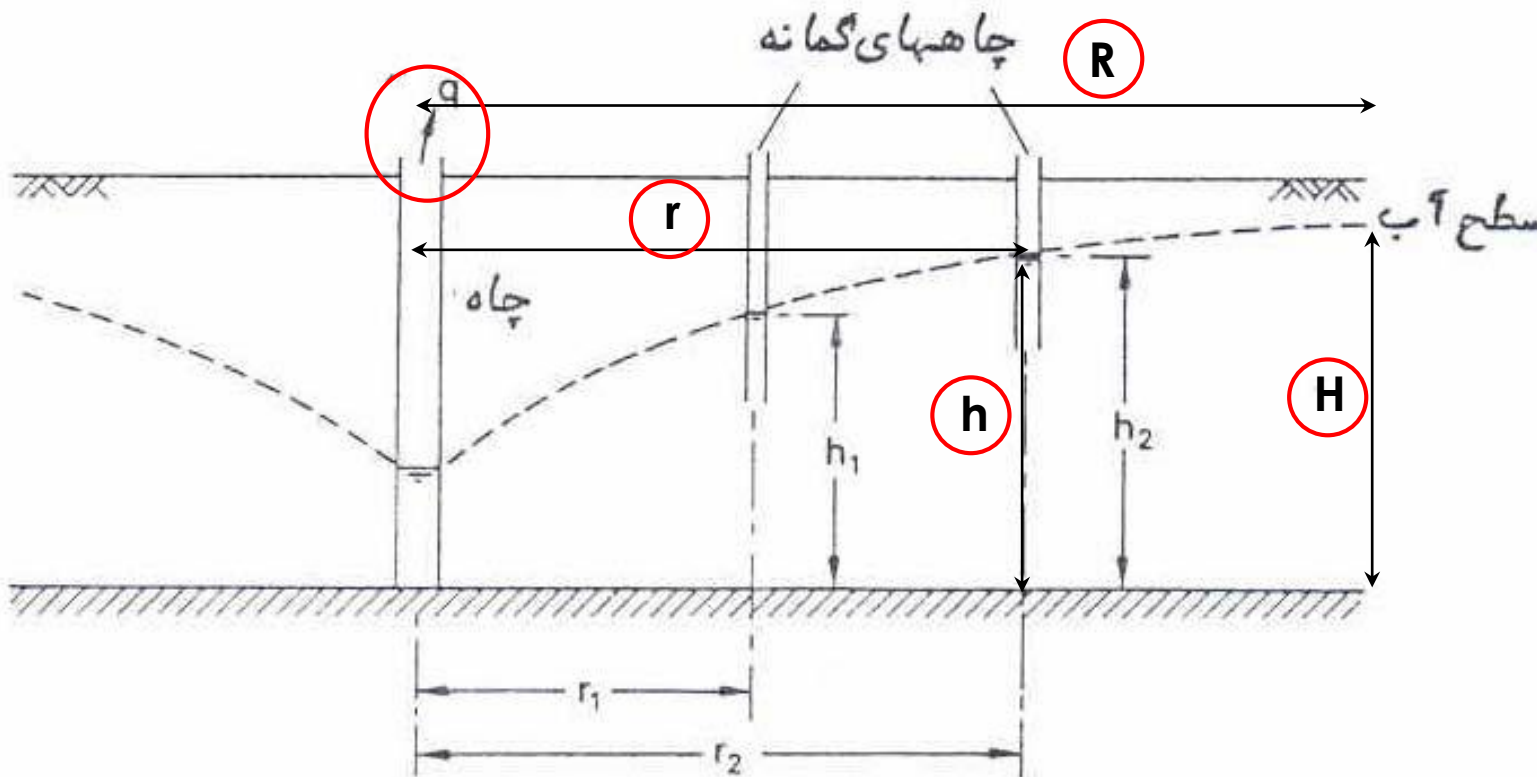
q: دبی آب پمپاژ شده

R: فاصله خط تراز ثابت آب زیر زمینی از چاه اصلی

H: ضخامت لایه آب زیر زمینی

h: ارتفاع سفره آب زیر زمینی در چاه شاهد با فاصله r از چاه اصلی

$$k = \frac{2.303 \times q \times \log\left(\frac{R}{r}\right)}{\pi(H^2 - h^2)}$$



آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

مناسب برای توده سنگهای درزه و ترک دار
هدف:

- ✓ تعیین میزان نشت آب
- ✓ برآورد فرسایش پذیری توده سنگ
- ✓ برآورد فشار برگشت
- ✓ برآورد تزریق پذیری توده سنگ
- ✓ تعیین میزان آب ورودی به گودبرداریه‌ها
- ✓ طراحی سیستم زهکشی

لوئیس لوژون (۱۹۳۳)

تعریف: یک واحد لوژان به معنای تراوایی سنگی است که در طول یک متر گمانه حفر شده در آن تحت فشار ۱۰ بار یک لیتر آب بر دقیقه نفوذ کند.

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

وسایل مورد نیاز:

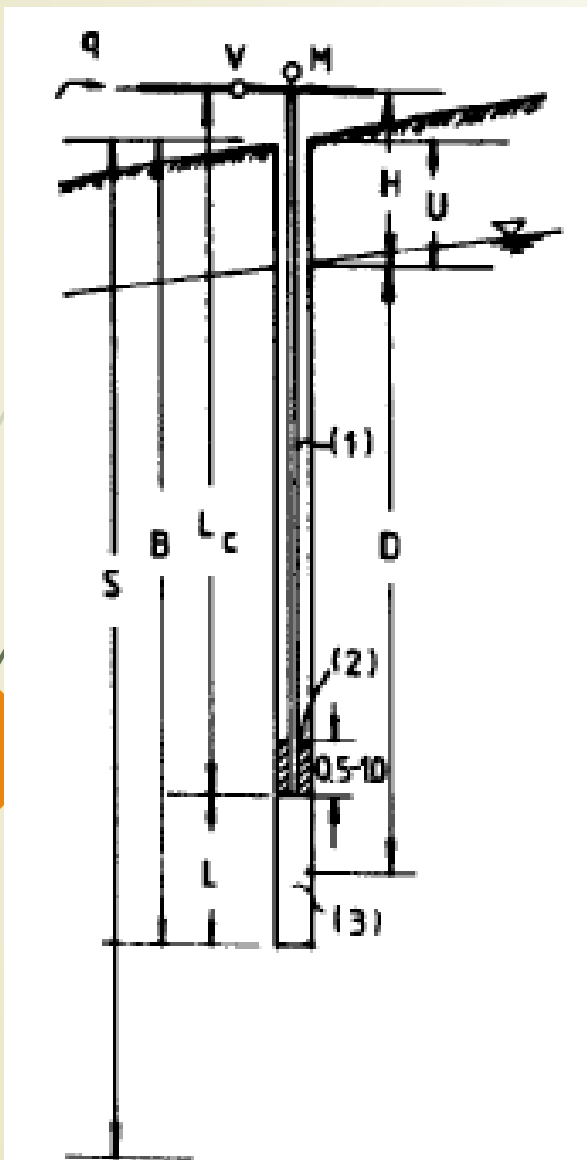
- ✓ پمپ گریز از مرکز با ظرفیت حداقل ۲۰۰ لیتر بر دقیقه
- ✓ پکر (مکانیکی - پنوماتیکی)
- ✓ پکر مکانیکی در سنگهای مقاوم و صاف مناسب است.
- ✓ در سنگهای ضعیف برای جلوگیری از ریزش گمانه از پکر بادکنکی استفاده می شود
- ✓ کنتور آب با دقت 0.01 لیتر
- ✓ فشار سنج
- ✓ کرنومتر
- ✓ مخزن تامین آب

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

مراحل آزمایش

(۱) آماده سازی:

- ✓ حفاری قطعه مورد آزمایش به طول حداکثر تا ۵ متر
- ✓ شستشو و خروج کامل مصالح حفاری شده
- ✓ خروج لوازم حفاری از داخل گمانه
- ✓ انتخاب محل دقیق مسدود کننده ها و نصب آنها
- ✓ اتصال میله های حفاری در بالا به ترتیب
 - ✓ فشار سنج
 - ✓ کنتور آب
 - ✓ پمپ آب



آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

مراحل آزمایش

۲) تزریق آب:

- ✓ تزریق آب بدون اعمال فشار به مدت ۱۰ دقیقه (اشباع سازی)
- ✓ انجام عملیات تزریق آب در ۵ یا ۷ مرحله (a, b, c, d, e, f, g)
- ✓ افزایش آرام آرام فشار برای رسیدن به اولین پله
- ✓ قرائت و ثبت حجم آب تزریقی در این مرحله در هر ۵ دقیقه
- ✓ پایان این مرحله زمانی است که اختلاف عدد ثبت شده (حجم آب عبوری) برای دو مرحله پشت سر هم به کمتر مساوی ۱۰٪ برسد.

P_1 _____ $a = 2/5$ اتمسفر
 P_2 _____ $b = 5$ اتمسفر
 P_3 _____ $c = 7/5$ اتمسفر
 P_4 _____ $d = 10$ اتمسفر
 P_5 _____ $e = c = 7/5$ اتمسفر
 P_6 _____ $f = b = 5$ اتمسفر
 P_7 _____ $g = a = 2/5$ اتمسفر

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

مراحل آزمایش

۲) تزریق آب:

اعمال فشار و ثبت اعداد مربوطه برای مراحل دوم، سوم، چهارم، پنجم، ششم و هفتم.

P_1	_____	ا = ۲/۵ اتمسفر
P_2	_____	ب = ۵ اتمسفر
P_3	_____	ج = ۷/۵ اتمسفر
P_4	_____	د = ۱۰ اتمسفر
P_5	_____	ه = ج = ۷/۵ اتمسفر
P_6	_____	ف = ب = ۵ اتمسفر
P_7	_____	گ = ا = ۲/۵ اتمسفر

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

[illegible]

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

محاسبه عدد لوژان

$$L_u = \frac{Q}{\frac{p_e}{10} L}$$

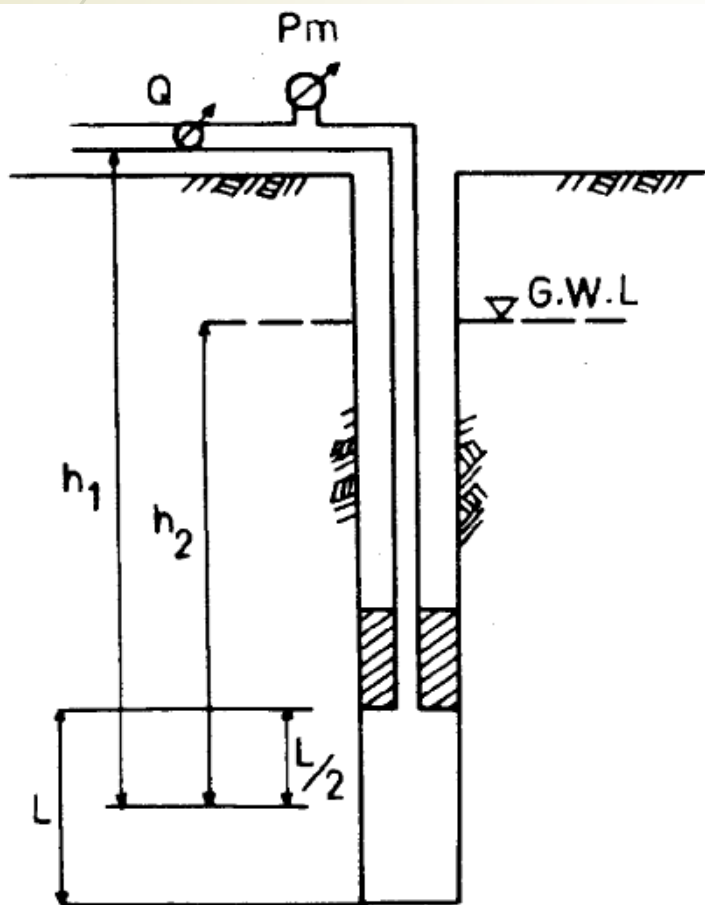
$$L_u = \frac{10Q}{p_e L}$$

 L_u : عدد لوژان Q : حجم آب جذب شده در قطعه مورد نظر (لیتر بر دقیقه) P_e : فشار موثر در وسط قطعه مورد آزمایش L : طول قطعه مورد آزمایش بر حسب متر

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

تعیین فشار موثر

$$L_u = \frac{10Q}{p_e L}$$



(۱) برای حالتی که سطح ایستابی وجود ندارد

$$P_e = P_m + P_h - \Delta P$$

$$P_h = \gamma_w h_1$$

(۲) برای حالتی که سطح ایستابی وجود دارد

$$P_e = P_m + P_h - \Delta P$$

$$P_h = \gamma_w (h_1 - h_2)$$

که در آن:

$$P_e = \text{فشار مؤثر در وسط قطعه (برحسب اتمسفر)}$$

$$P_m = \text{فشار مانومتر (برحسب اتمسفر)}$$

$$P_h = \text{فشار هیدرواستاتیک (برحسب اتمسفر)}$$

$$\gamma_w = \text{وزن مخصوص آب}$$

$$\Delta P = \text{افت فشار در سیستم آزمایش}$$

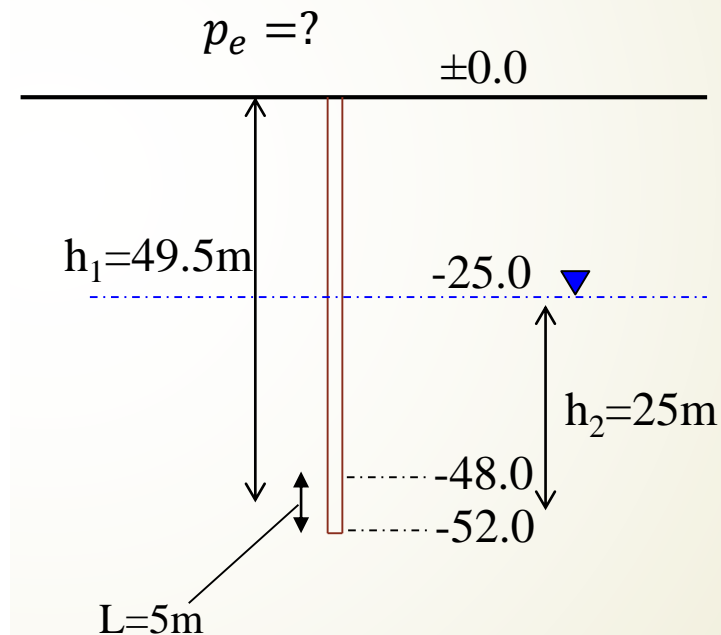
$$h_1, h_2 = \text{طولهای نشان داده شده در شکل}$$

$$G.W.L. = \text{سطح ایستابی}$$

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

مثال:

$$L_u = \frac{10Q}{p_e L}$$



$$p_h = (50 - 25) \times 10^4 / 10^5 = 2.5_b$$

$$p_e = p_m + p_h + \Delta p$$

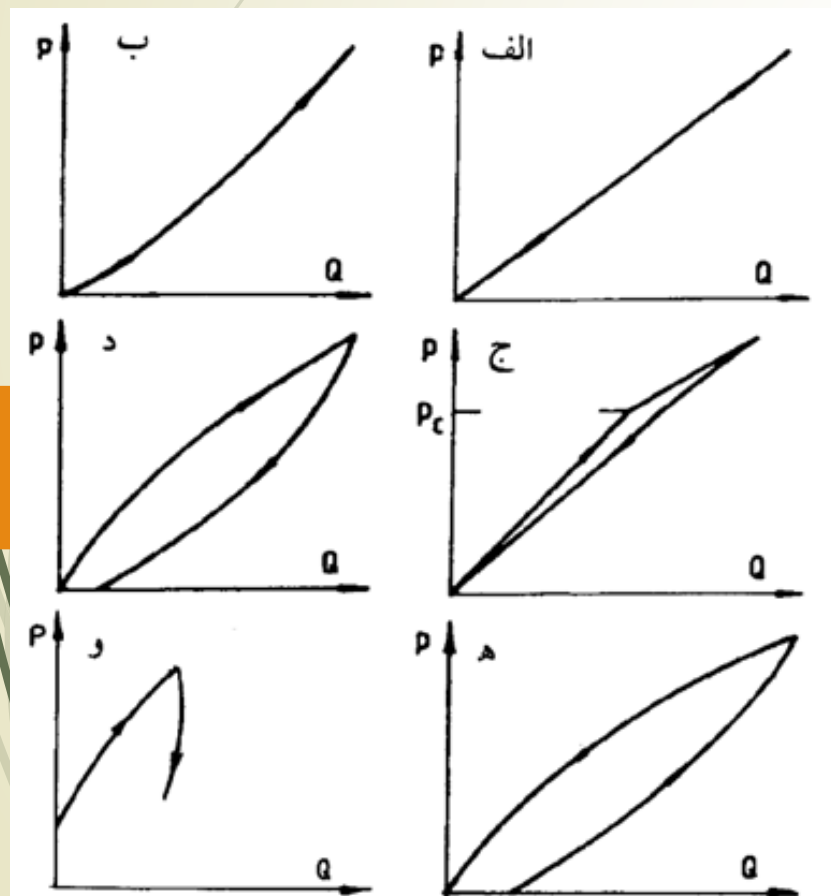
$$p_e = p_m + 2.5 + 0$$

آزمایش فشار آب		شماره گمانه		BH ۱۵		صفحه		از		صفحه	
دستگاه نظارت:		قطعه آزمایش از		۴۷ تا ۵۲ متر		عمق سطح آب زیرزمینی:		۲۵ متر			
پروژه:		عمق تا وسط قطعه یا سطح آب زیرزمینی (هر کدام کمتر است) (H):		۲۵ متر							
محل:		قطر داخلی لوله:		۳۸ میلیمتر		سنگ:		کنگلومرا			
پیمانکار:		شرکت		نظارت توسط:		محاسبه توسط:					
زمان	فشار (آتمسفر)	آبخوری		تفاوت	Q	فشار	لوژون	ملاحظات			
دقیقه	اولیه	نهایی	قرائت ۱	قرائت ۲	لیتر در دقیقه در متر	(آتمسفر)					
۱۰	-	-	۱۶۷۹۰	۱۶۸۳۳	۴۳	۰/۸۶		فشار سطح			
۵	-	۲/۵	۱۶۸۳۳	۱۶۸۴۶	۱۳	۰/۵۲		۳۰ سانتیمتر بالاتر از سطح زمین			
۵	۲/۵	۲/۵	۱۶۸۴۶	۱۶۸۵۸	۱۲	۰/۴۸	۱/۰	۵/۰			
۵	۲/۵	۵	۱۶۸۵۸	۱۶۸۸۸	۳۰	۱/۲	۲	۷/۵			
۵	۵	۵	۱۶۸۸۸	۱۶۹۲۱	۳۳	۱/۳					
۵	۵	۷/۵	۱۶۹۲۱	۱۶۹۷۶	۵۵	۲/۲۰	۲	۱۰			
۵	۷/۵	۷/۵	۱۶۹۷۶	۱۷۰۳۴	۵۸	۲/۳۰					
۵	۷/۵	۱۰	۱۷۱۱۷	۱۷۰۳۴	۸۳	۳/۳۰	۳	۱۲/۵			
۵	۱۰	۱۰	۱۷۱۱۷	۱۷۱۷۹	۸۰	۳/۲۰					
۵	۱۰	۷/۵	۱۷۱۷۹	۱۷۲۴۷	۶۸	۲/۷۰	۳	۱۰			
۵	۷/۵	۷/۵	۱۷۲۴۷	۱۷۳۱۷	۷۰	۲/۸۰					
۵	۷/۵	۵	۱۷۳۱۷	۱۷۳۷۲	۵۵	۲/۲۰	۳	۷/۵			
۵	۵	۵	۱۷۳۷۲	۱۷۴۳۰	۵۸	۲/۳۰					
۵	۲/۵	۲/۵	۱۷۴۳۰	۱۷۴۶۷	۳۷	۱/۴۸	۲	۵			
۵	۲/۵	۲/۵	۱۷۴۶۷	۱۷۴۸۵	۱۸	۰/۷					
۵	۲/۵	۲/۵	۱۷۴۸۵	۱۷۵۰۸	۲۳	۰/۹					

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

تفسیر نتایج

حالت اول) رابطه خطی در نمودار p - Q ، ناشی از آزمایش در حالت غیر آشفته. عدم فرسایش در شکافها و مقدار L_u ثابت در مراحل مختلف.



حالت دوم) جریان در ناپیوستگیها آشفته است. نرخ افزایش Q با افزایش p کاهش می یابد.

حالت سوم) در اثر فشار آب درزهای سنگها در فشار P_c باز می شوند و حتی شکافهای جدیدی ایجاد می شوند.

حالت چهارم) مواد پرکننده درزه ها در حین آزمایش شسته شده و تراوایی با افزایش فشار بالا می رود.

حالت پنجم) سنگ دچار شکست هیدرولیکی شده است.

حالت ششم) جابجا شدم مواد پر کننده و نهشته شدن دورتر از مقطع آزمایش

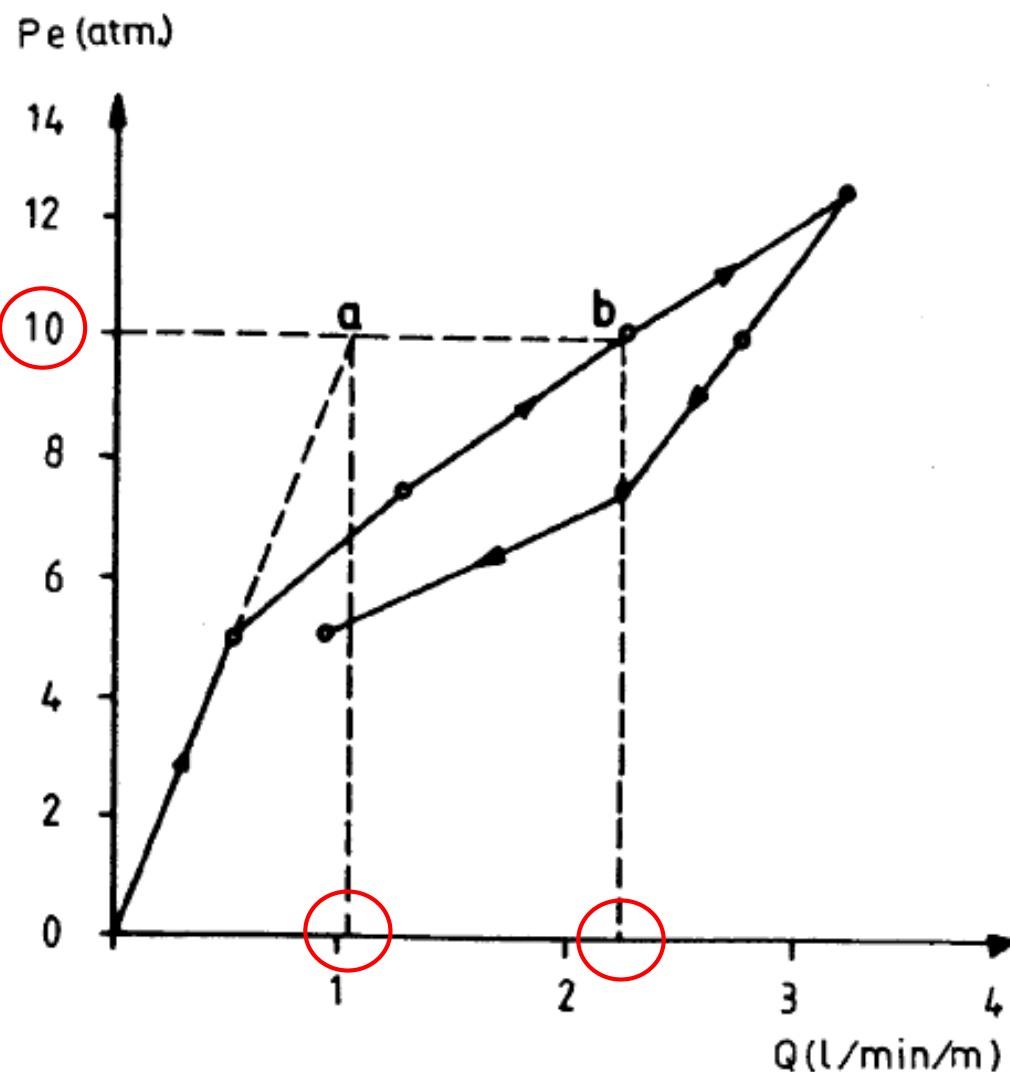
آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

انتخاب عدد لوژان

✓ مشخصات تزریق پذیری و جذب دوغاب

✓ تراوایی (تحلیل نشت آب)

مدل اجرایی تزریق مشابه آزمایش لوژان است
مدل نشت آب زیر سد با آزمایش لوژان یکسان نیست



آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

انتخاب عدد لوژان


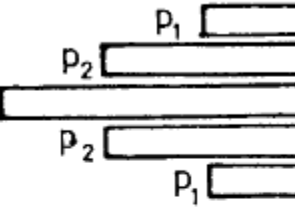
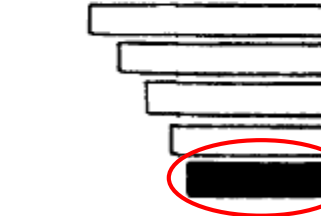
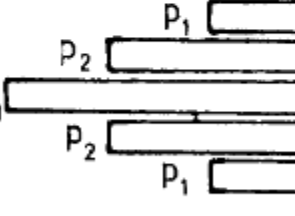
تغییر و تفسیر نتایج آزمایش لوژون و انتخاب آن (Houlsby 1976)

فشارهای آزمایش	مقادیر لوژون در هر آزمایش	نوع جریان و تفسیر نتایج
		جریان آرام - تمامی مقادیر لوژون تقریباً برابر هستند. میانگین مقادیر را به کار ببرید.
		جریان مغشوش - مقادیر لوژون با کاهش فشار افزایش می‌یابند. مقدار لوژون مربوط به فشار حداکثر را به کار ببرید. جریان به ندرت کاملاً مغشوش است.
		انبساط - در فشارهای بالا، توده سنگ در اثر باز شدن درزه‌ها انبساط می‌یابد. این یک عارضه موقتی است و به عنوان خصوصیات عادی در فشارهای نمونه آب زیرزمینی در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه میانگین مقادیر لوژون مربوط به دو فشار حداقل یا میانه را به کار ببرید.

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

انتخاب عدد لوژان

تغییر و تفسیر نتایج آزمایش لوژون و انتخاب آن (Houlsby 1976)

<p>آب شستگی - مواد پرکننده ناپیوستگیهای سنگ در اثر جریان آب شسته شده است. آبشستگی (فرسایش) یک عارضه دائمی توده سنگ در نظر گرفته می شود. مقدار لوژون مربوط به آخرین فشار برگشت (بیشترین) را به کار برید. این امر ممکن است نشانگر بالا بودن فشار آزمایش باشد.</p>		
<p>پر شدن خلل و فرج - این امر معمولاً در اثر آب پرکننده خلل و فرج در توده سنگی که بخشی از آن اشباع شده است، اتفاق می افتد. مقدار لوژون مربوط به پله آخر آزمایش انتخاب می شود. به منظور حصول اطمینان از اشباع سنگ، توصیه می شود آزمایش طولانی تر انجام شود.</p>		

آزمایش لوژان یا لوژون (Leugeon)

ارتباط نتایج آزمایش لوژان با ضریب نفوذپذیری



آزمایش لوفران (پمپاژ به داخل گمانه)

مناسب برای رسوبات درشت دانه

- ✓ تعیین میزان نشت میزان تراوایی
- ✓ مستقل از وضعیت سطح آبهای زیر زمینی

وسایل لازم:

- ✓ کلیه وسایل لازم برای حفر گمانه
- ✓ کنتور آب با دقت 0.01 لیتر
- ✓ کرنومتر
- ✓ مخزن تامین آب
- ✓ وسایل اندازه گیری عمق آب
- ✓ ظرف مدرج با دقت یک سانتیمتر مکعب

آزمایش لوفران

مراحل آزمایش

(۱) آماده سازی:

شامل کلیه مراحل که منجر به جدا شدن قطعه مورد نظر از قسمت فوقانی می شود.

(۲) انواع روش آزمایش

تعیین ضریب تراوایی افقی (گمانه پایدار، طول گمانه ۱۰ برابر شعاع گمانه)

تعیین ضریب تراوایی قائم (گمانه ریزشی)

ریختن آب به داخل گمانه (سطح آب پایین است)

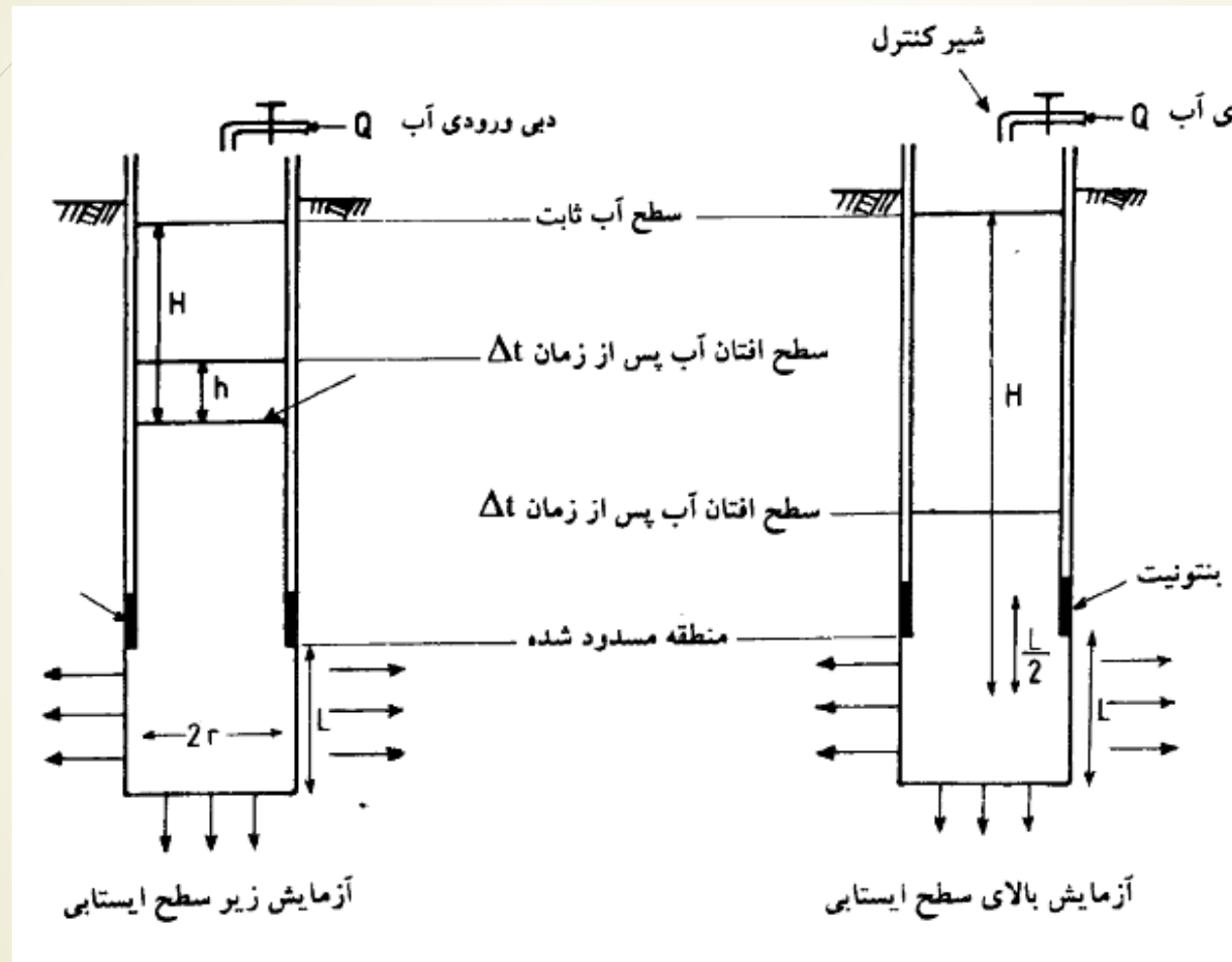
تخلیه آب از داخل گمانه (سطح آب بالا است)

بار آبی ثابت

بار آبی افتان

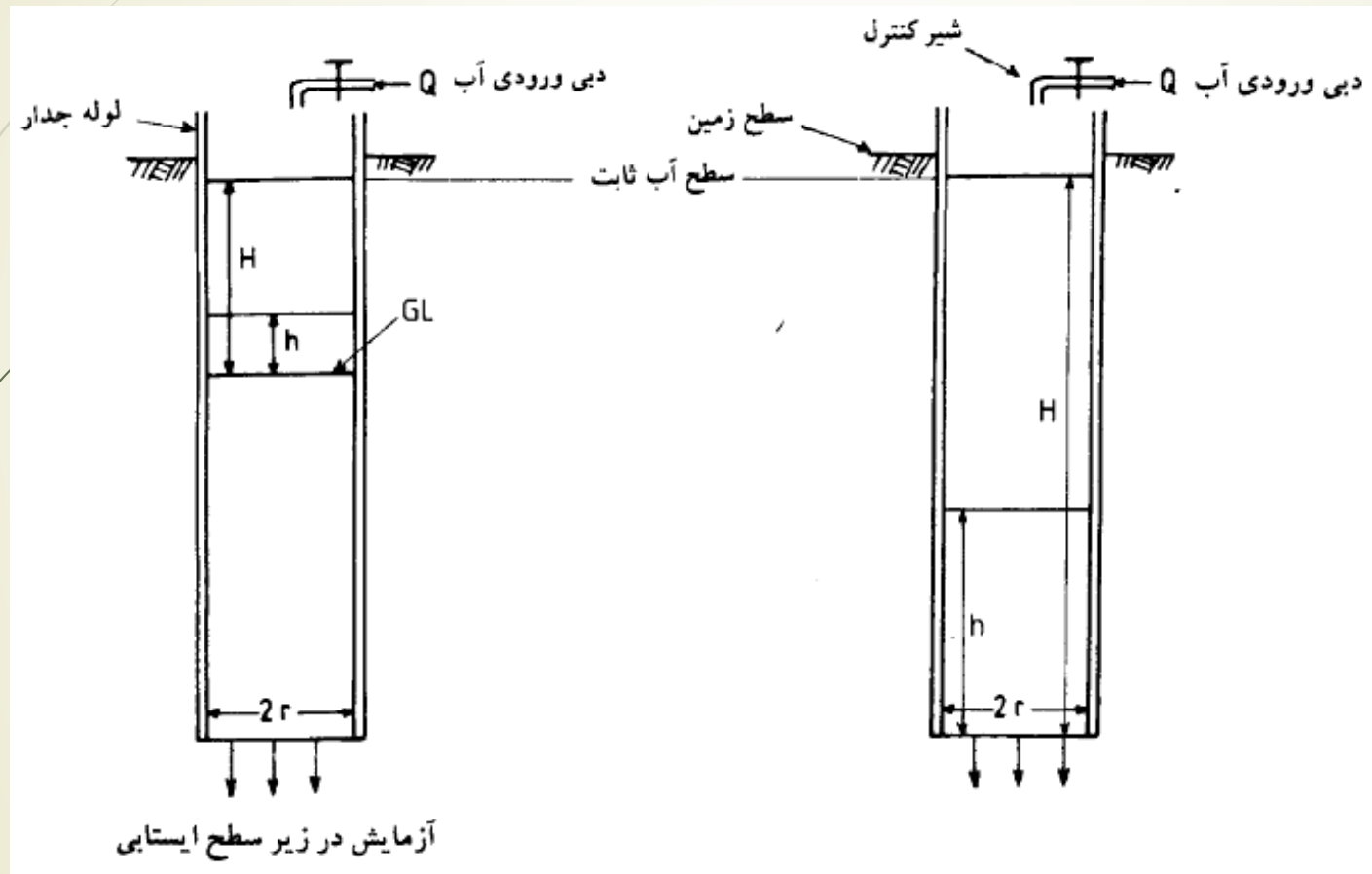
بار آبی خیزان

آزمایش لوفران



آزمایش لوفران با بار آبی ثابت و افتان برای ایجاد قطعه افقی

آزمایش لوفران



آزمایش لوفران با بار آبی ثابت و افتان برای ایجاد قطعه قائم

آزمایش لوفران

بار آبی ثابت

- ✓ **تزریق مدام آب** به داخل گمانه تا رسیدن به جریان معینی که سطح آب در نقطه ای بالاتر از قطعه مورد نظر و یا سطح آب زیرزمینی ثابت بماند.
- ✓ **پمپاژ آب** از داخل گمانه تا رسیدن به جریان معینی که سطح آب در نقطه ای پایین تر از سطح آب زیرزمینی ثابت بماند.
- ✓ ثبت جریان ورودی و یا خروجی براساس جدول مشخص.
- ✓ ادامه قرائت و ثبت نتایج تا زمانی که اختلاف بین دو قرائت متوالی به کمتر از ۱۰٪ برسد.

آزمایش لوفران

بار آبی افتان

✓ اضافه نمودن آب به داخل گمانه و رسیدن به سطح مشخص و ثبت تغییرات کاهش ارتفاع آب داخل گمانه در فواصل زمانی مشخص.

بار آبی خیزان

✓ پمپاژ آب از داخل گمانه و رسیدن به سطح مشخص و ثبت تغییرات افزایش ارتفاع آب داخل گمانه در فواصل زمانی مشخص.

تعیین ضریب نفوذپذیری براساس مشخصات گمانه حفاری شده، سطوح آب هیدرواستاتیک و مقادیر قرائت شده.

آزمایش لوفران

ازمایش تراوایی لوفران	شماره گمانه : S۴	صفحه : از صفحه
دستگاه نظارت :	قطعه آزمایش از ۱۲ تا ۱۳ (L) متر	عمق سطح آب زیرزمینی : ۴
پروژه :	عمق تا وسط قطعه یا سطح آب زیرزمینی (هر کدام کمتر است) :	۴ (H)
محل :	ارتفاع لوله جداری از سطح زمین : ۳۰ cm	قطر : لوله جداری ۱۱۳ و قطعه ۱۰۱ (۲r)
توصیف لایه های خاک :		
پیمانکار : شرکت	نظارت توسط :	محاسبه توسط :

[illegible]

آزمایش لوفران

محاسبات تراوایی به روش قائم
آزمایش بار افتان و خیزان:

$$K = \frac{1}{3} \frac{r}{t} \log \frac{H}{h}$$

K = ضریب تراوایی بر حسب سانتیمتر در ثانیه

r = شعاع داخلی لوله جداری در کف گمانه بر حسب سانتی متر

t = زمان افت و یا خیز آب بر حسب ثانیه

H = طول ستون آب تا نقطه مورد آزمایش یا سطح ایستابی بر حسب سانتیمتر (هر کدام کوچکتر باشد)

h = افت یا خیز سطح ایستابی در زمان t بر حسب سانتی متر

آزمایش بار ثابت:

$$K = \frac{Q}{\Delta h \times rH}$$

K = ضریب تراوایی بر حسب سانتیمتر بر ثانیه

r = شعاع داخلی لوله جداری در کف گمانه بر حسب سانتیمتر

H = طول ستون آب تا نقطه مورد آزمایش یا تا سطح آب زیرزمینی بر حسب سانتیمتر (هر کدام کوچکتر باشند)، در

صورتی که جریان آب تحت فشار باشد فشار اعمال شده نیز اضافه شود.

Q = شدت آب ورودی بر حسب سانتیمتر مکعب در ثانیه

آزمایش لوفران

محاسبات تراوایی به روش افقی
آزمایش بار افتان و خیزان:

$$K = \frac{c}{t} \log_{10} \frac{H}{h} \quad \text{و} \quad c = \frac{r^2}{L} \log_{10} \frac{L}{r}$$

K = ضریب تراوایی بر حسب سانتیمتر بر ثانیه

C = ضریب ثابت برای قطعه مورد آزمایش

t = زمان افت و یا خیز آب بر حسب ثانیه

H = طول ستون آب تا وسط قطعه مورد آزمایش یا سطح ایستابی بر حسب سانتیمتر (هرکدام کوچکتر است)

h = افت و یا خیز سطح ایستابی در زمان t بر حسب سانتیمتر

r = شعاع گمانه در محل قطعه مورد آزمایش بر حسب سانتیمتر

L = طول قطعه مورد آزمایش بر حسب سانتیمتر

آزمایش بار ثابت:

$$K = \frac{Q}{LH} \log_{10} \frac{L}{r}$$

K = ضریب تراوایی بر حسب سانتیمتر در ثانیه

Q = شدت جریان ورودی آب بر حسب سانتیمتر مکعب در ثانیه

L = طول قطعه مورد آزمایش بر حسب سانتیمتر

H = طول ستون آب تا وسط قطعه مورد آزمایش یا سطح ایستابی (هرکدام کوچکتر باشد) بر حسب سانتیمتر

r = شعاع گمانه در محل قطعه مورد آزمایش بر حسب سانتیمتر

موضوعات تحقیقاتی بازدید از سد شیرین دره

- گروه ۱: مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک انجام شده
- گروه ۲: دیوار آب بند و نفوذپذیری تکیه گاه سد
- گروه ۳: منابع قرضه تشکیل دهنده هسته و بدنه سد
- گروه ۴: ابزار دقیق و کنترل و نگهداری سد
- گروه ۵: مراحل اجرایی سد
- گروه ۶: طراحی بدنه سد و مشخصات هندسی آن

مستندات تحویل پروژه:

- ✓ کلیه منابع علمی و مراجع استفاده شده
- ✓ تصاویر و اطلاعات بدست آمده از پروژه
- ✓ PDF و Word (2010) گزارش تدوین شده

نتایج میان ترم مکانیک خاک ۲

ش دانشجوی	Total	1 (20)	2 (20)	3 (15)	4 (25)	5 (20)
8800373	83.5	18.5	15	10	20	20
8905633	67	17	0	5	25	20
8905493	90	17	13	15	25	20
8901053	65	3	10	7	25	20
8901083	82	18	14	10	20	20
8804133	79	17	7	10	25	20
8801223	83	18	10	10	25	20
9002053	59	6	15	13	25	0
9002343	75	17	8	15	15	20
8902073	77	15	17	15	10	20
8802813	83	13	5	15	25	25
8903233	--	--	--	--	--	--
9004993	27	5	2	0	0	20
8803293	63	18	15	10	0	20
8803343	60	20	15	5	0	20
8903913	91.5	16.5	15	15	25	20
8803483	66	5	11	15	15	20
9005683	46	16	5	5	10	10
8904553	88.5	18.5	15	10	25	20
8904793	95	20	15	15	25	20
8904813	74	6	13	15	20	20
8804473	85	17	13	10	25	20
Max =	95	20	17	15	25	25
Min =	27	3	0	0	0	0
Ave =	73.3	14.4	11.1	10.7	18.3	18.8

3

2

1

انواع نشست

Compression (Independent of time)

نشست الاستیک (*Immediate settlement*) بدون تغییر درصد رطوبت (بدون تغییر حجم فضای خالی بین دانه ها و تغییر شکل پلاستیک اجزاء خاک)

Consolidation (Time Dependent)

تحکیم اولیه (*Primary Consolidation Settlement*)

تغییر حجم ناشی از خروج تدریجی آب از خاک چسبنده

تحکیم ثانویه (*Secondary Consolidation Settlement*)

تغییر حجم ایجاد شده پس از تحکیم اولیه و در اثر تغییر شکل پلاستیک اجزاء خاک

نشست الاستیک ← مقدار نشست

نشست تحکیمی ← مقدار نشست + زمان نشست

انواع نشست



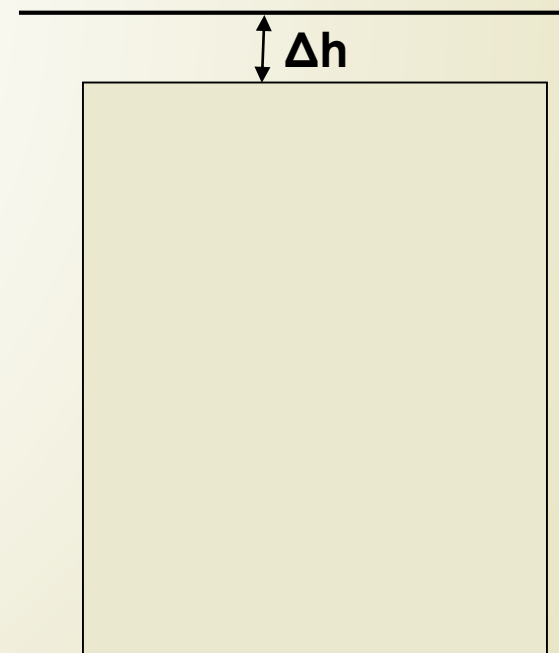
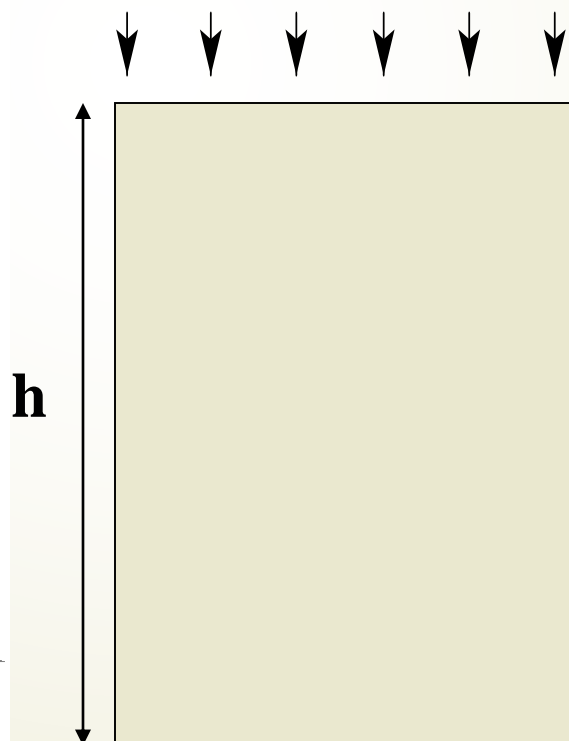
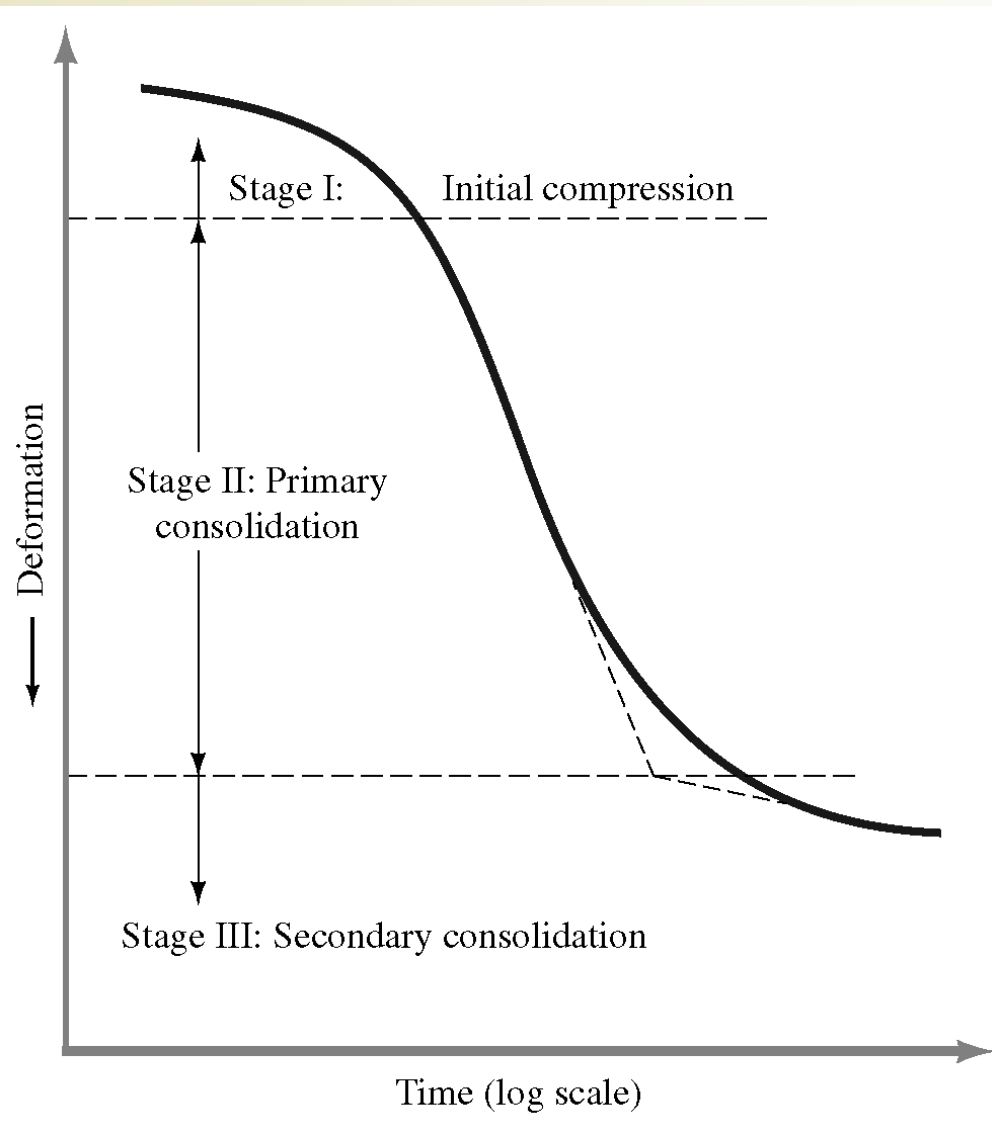
Groundbreaking	1173
Completed	1372
Height (max)	55.86 metres

انواع تحکیم (Consolidation)

✓ یک بعدی (1d Consolidation)

✓ دو بعدی (2d Consolidation)

✓ سه بعدی (3d Consolidation) - همسان



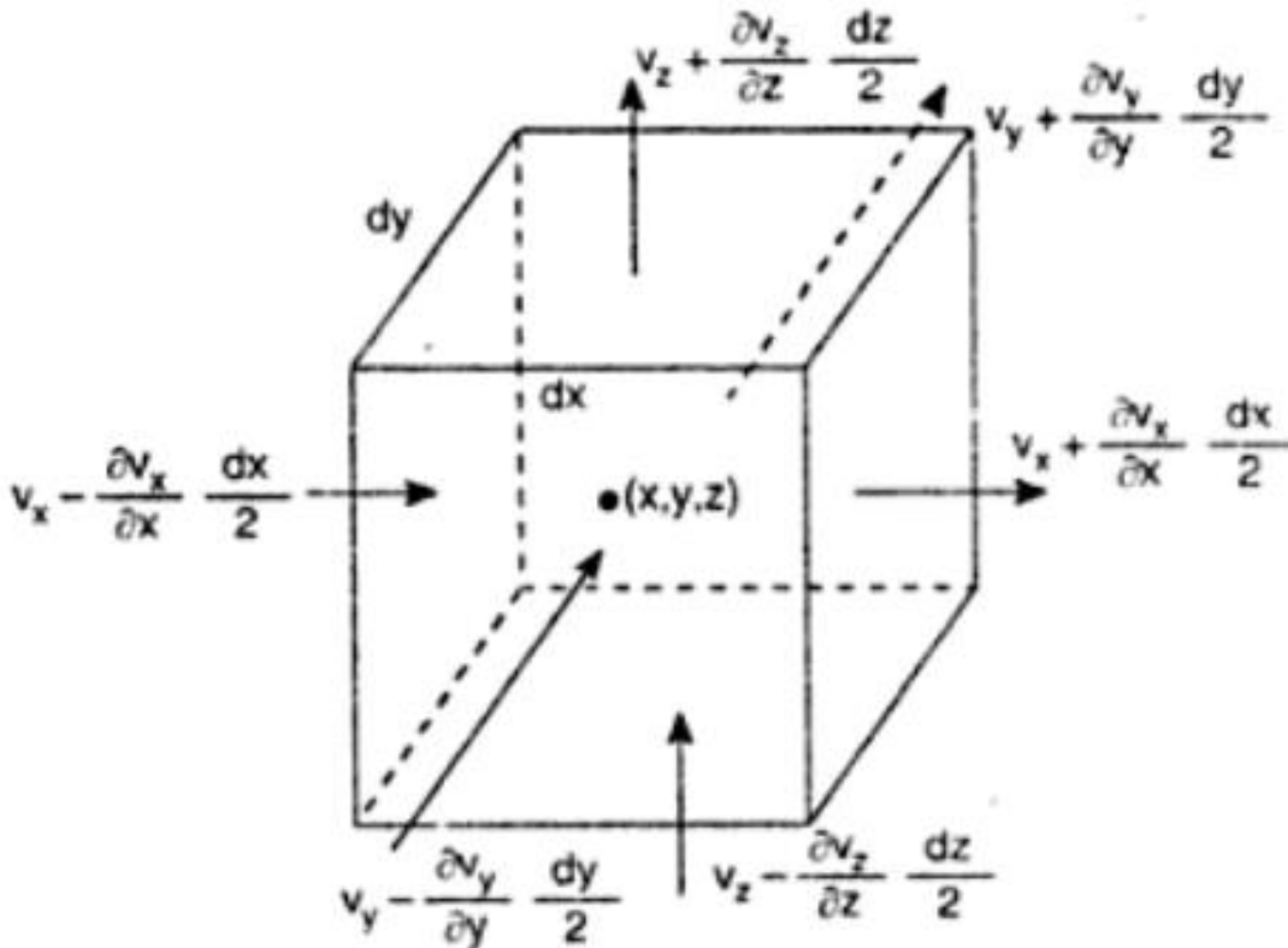
تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)

✓ خاک کاملاً اشباع است

✓ آب و دانه های خاک غیرقابل تراکم هستند

✓ قانون دارسی حاکم است

✓ خاک یکنواخت (Homogenous) است



تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)

$$q_{in} = \left(v_x - \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dydz + \left(v_y - \frac{\partial v_y}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dxdz + \left(v_z - \frac{\partial v_z}{\partial z} \frac{dz}{2} \right) dxdy$$

$$q_{out} = \left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dydz + \left(v_y + \frac{\partial v_y}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dxdz + d \left(v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} \frac{dz}{2} \right) dxdy$$

$$dq = q_{out} - q_{in} = \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dxdydz$$

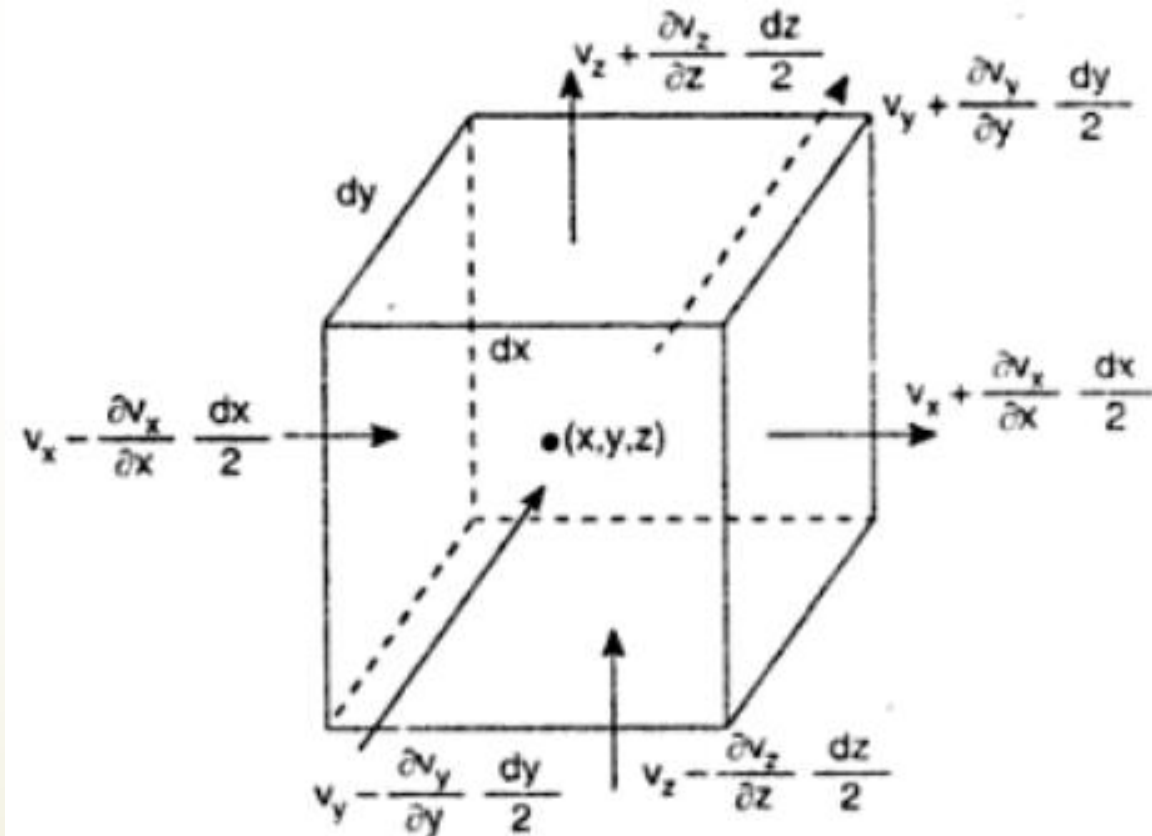
$$\frac{\partial V}{\partial t} = \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dxdydz \quad \text{I}$$

$$V = V_s + V_v = V_s \left(1 + \frac{V_v}{V_s} \right) = V_s (1 + e)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = V_s \frac{\partial e}{\partial t} \quad \text{II}$$

$$V = dxdydz$$

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dxdydz = V_s \frac{\partial e}{\partial t}$$



تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) V = V_s \frac{\partial e}{\partial t}$$

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) (V_s + V_v) = V_s \frac{\partial e}{\partial t}$$

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) V_s \left(1 + \frac{V_v}{V_s} \right) = V_s \frac{\partial e}{\partial t}$$

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) (1 + e) = \frac{\partial e}{\partial t}$$

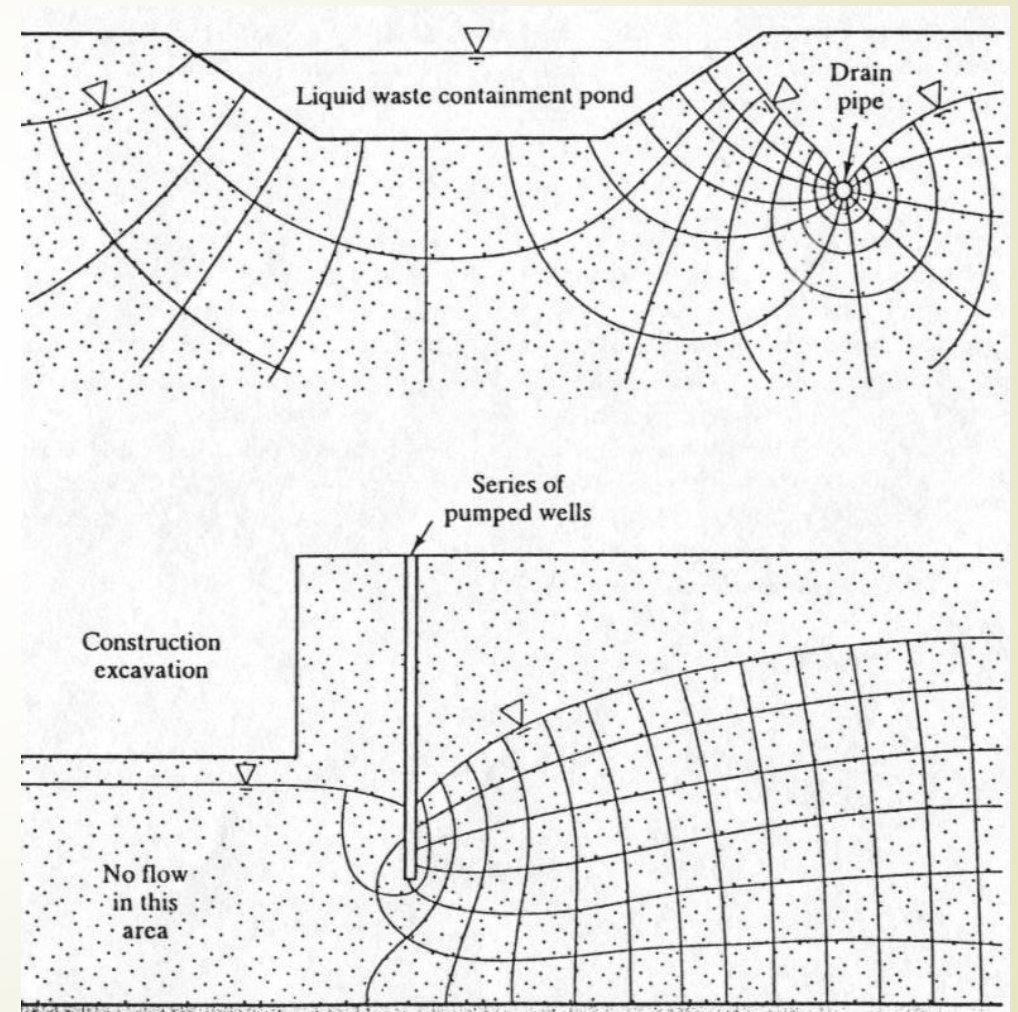
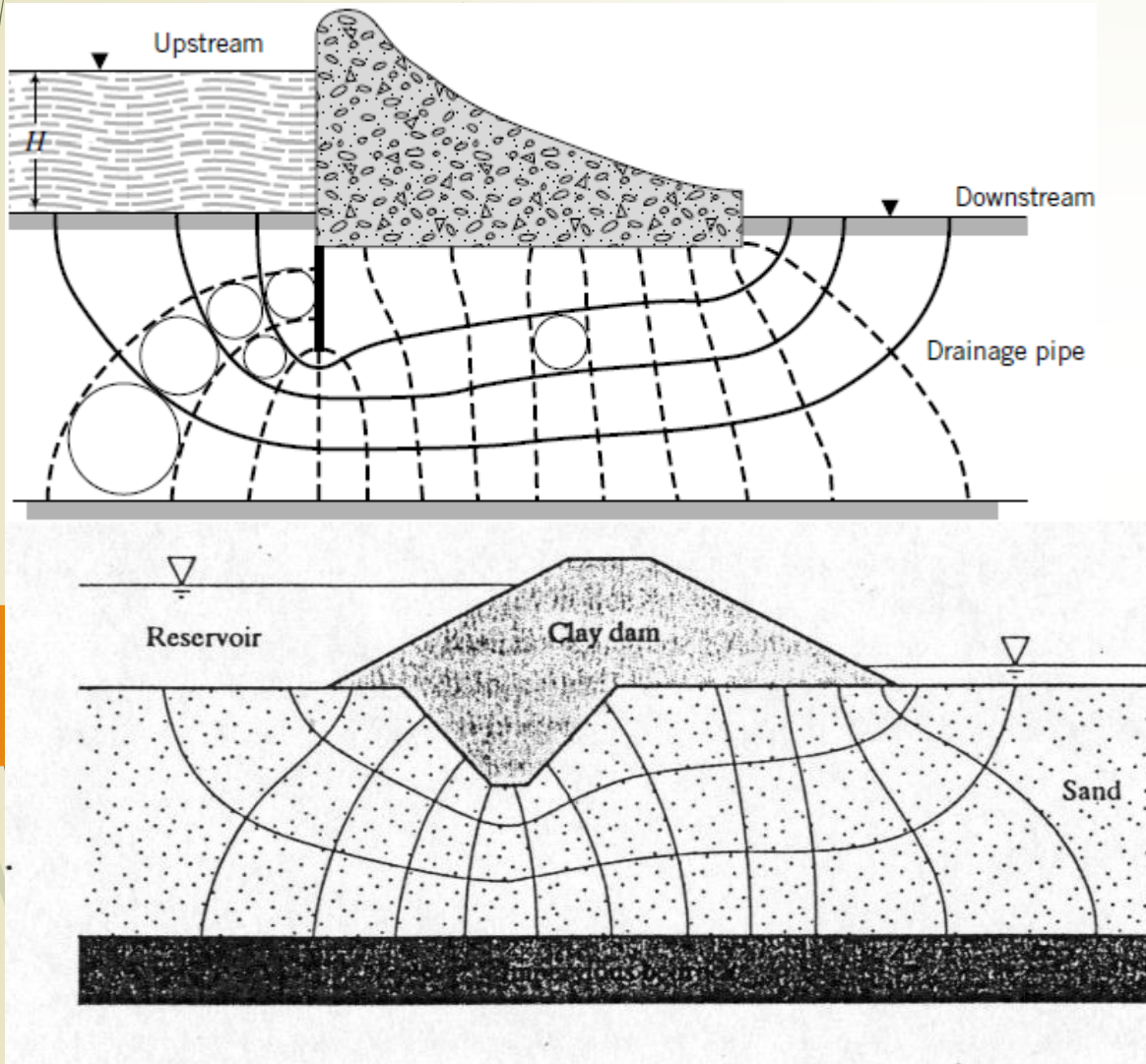
$$\begin{aligned} v_x &= k_x \times i_x & v_x &= k_x \times \frac{\partial h}{\partial x} \\ v_y &= k_y \times i_y & v_y &= k_y \times \frac{\partial h}{\partial y} \\ v_z &= k_z \times i_z & v_z &= k_z \times \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned}$$

$$\left(k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) (1 + e) = \frac{\partial e}{\partial t}$$

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

اگر $\frac{\partial e}{\partial t} = 0$ قانون جریان حاکم می شود

تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)



تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)

$$\partial h = \frac{1}{\gamma_w} \times \partial u$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{\gamma_w} \times \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} = \frac{1}{\gamma_w} \times \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\frac{\partial h}{\partial z} = \frac{1}{\gamma_w} \times \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$v_x = k_x \times \frac{1}{\gamma_w} \times \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$v_y = k_y \times \frac{1}{\gamma_w} \times \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$v_z = k_z \times \frac{1}{\gamma_w} \times \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) (1 + e) = \frac{\partial e}{\partial t}$$

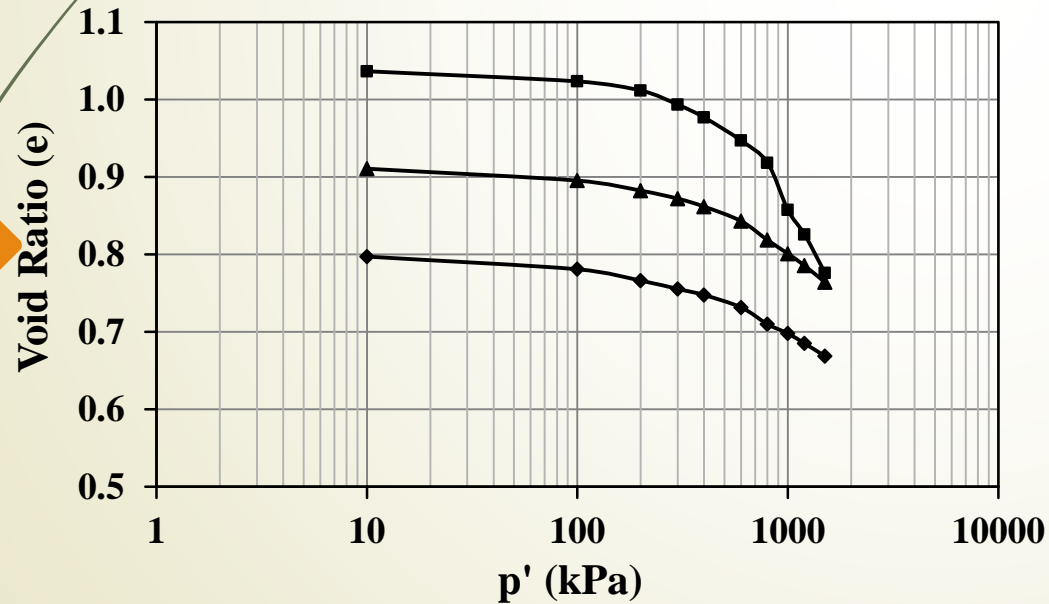
$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{(1 + e)}{\gamma_w} \left(k_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)

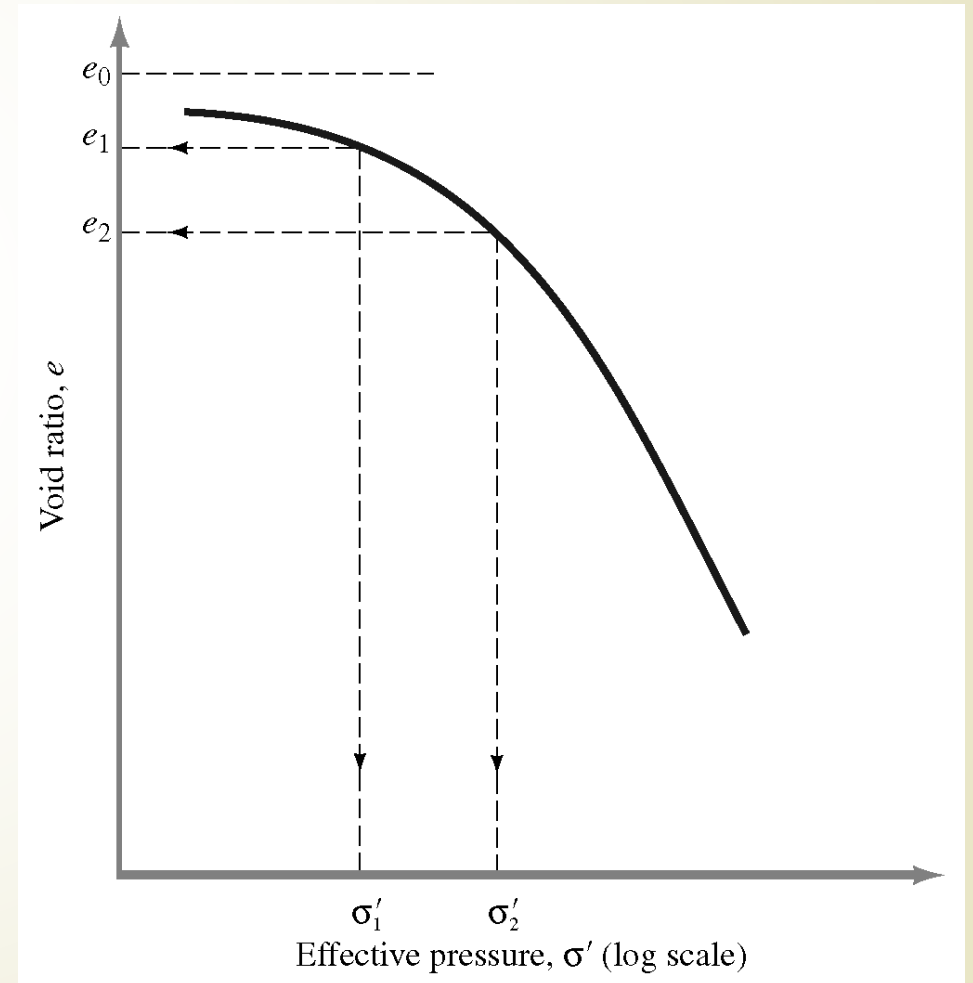
$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial e}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t} \quad \frac{\partial e}{\partial u} = a_v \quad \frac{\partial e}{\partial \sigma'} = -\frac{\partial e}{\partial u} \quad \frac{\partial \sigma'}{\partial t} = -\frac{\partial u}{\partial t}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \sigma'} = -a_v$$

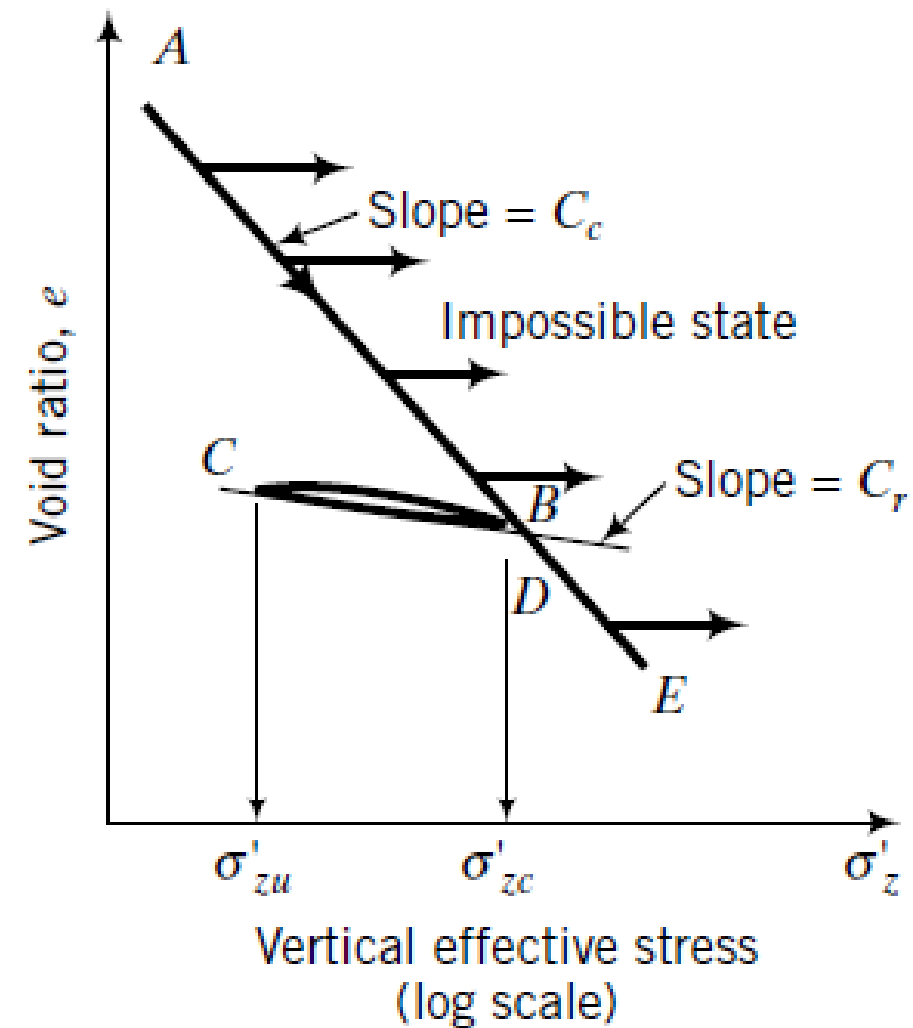
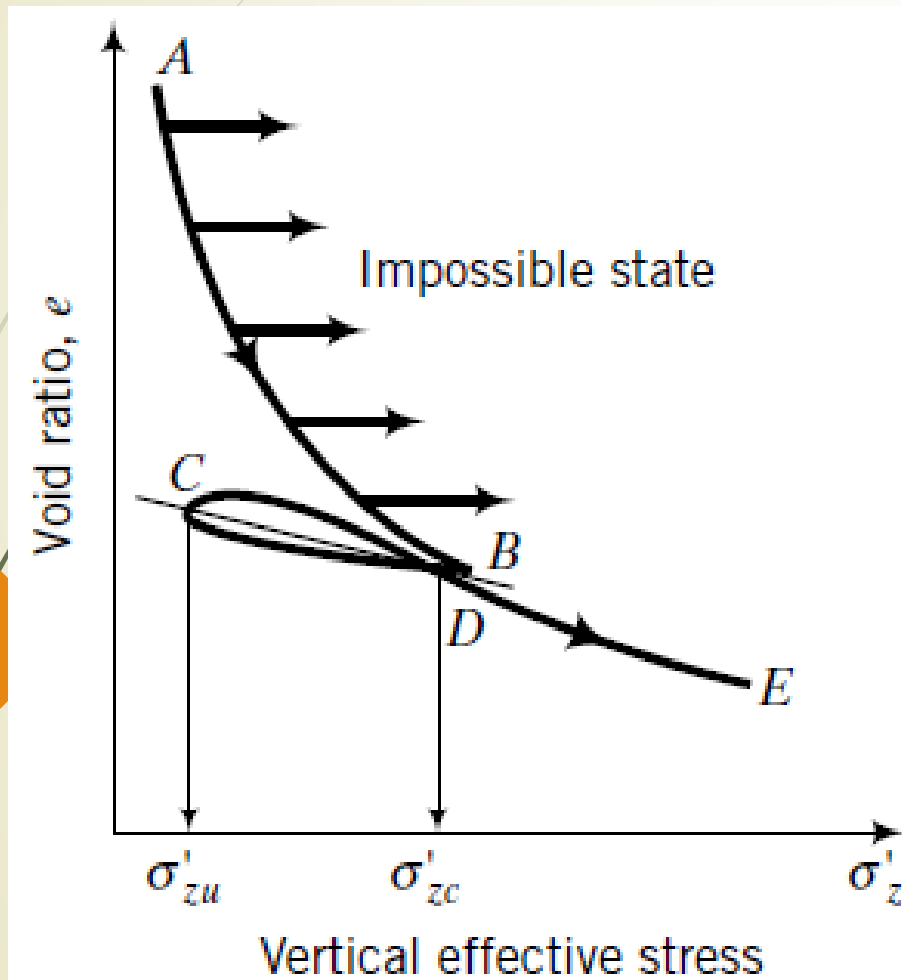
- ✓ فشردگی پذیری خاک با افزایش تنش موثر
- ✓ رابطه تغییرات تنش موثر با تغییرات نسبت منافذ
- ✓ مستقل از زمان



آزمایش تحکیم همسان ماسه بوشهر



تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)



تحکیم سه بعدی (3d Consolidation)

$$\frac{\partial e}{\partial t} = a_v \frac{\partial u}{\partial t} \quad \frac{\partial e}{\partial t} = \frac{(1+e)}{\gamma_w} \left(k_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{(1+e)}{a_v \gamma_w} \left(k_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left(\frac{k_x(1+e)}{a_v \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{k_y(1+e)}{a_v \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{k_z(1+e)}{a_v \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

c_v : Coefficient of Consolidation

$$c_{vx} = \frac{k_x(1+e)}{a_v \gamma_w}$$

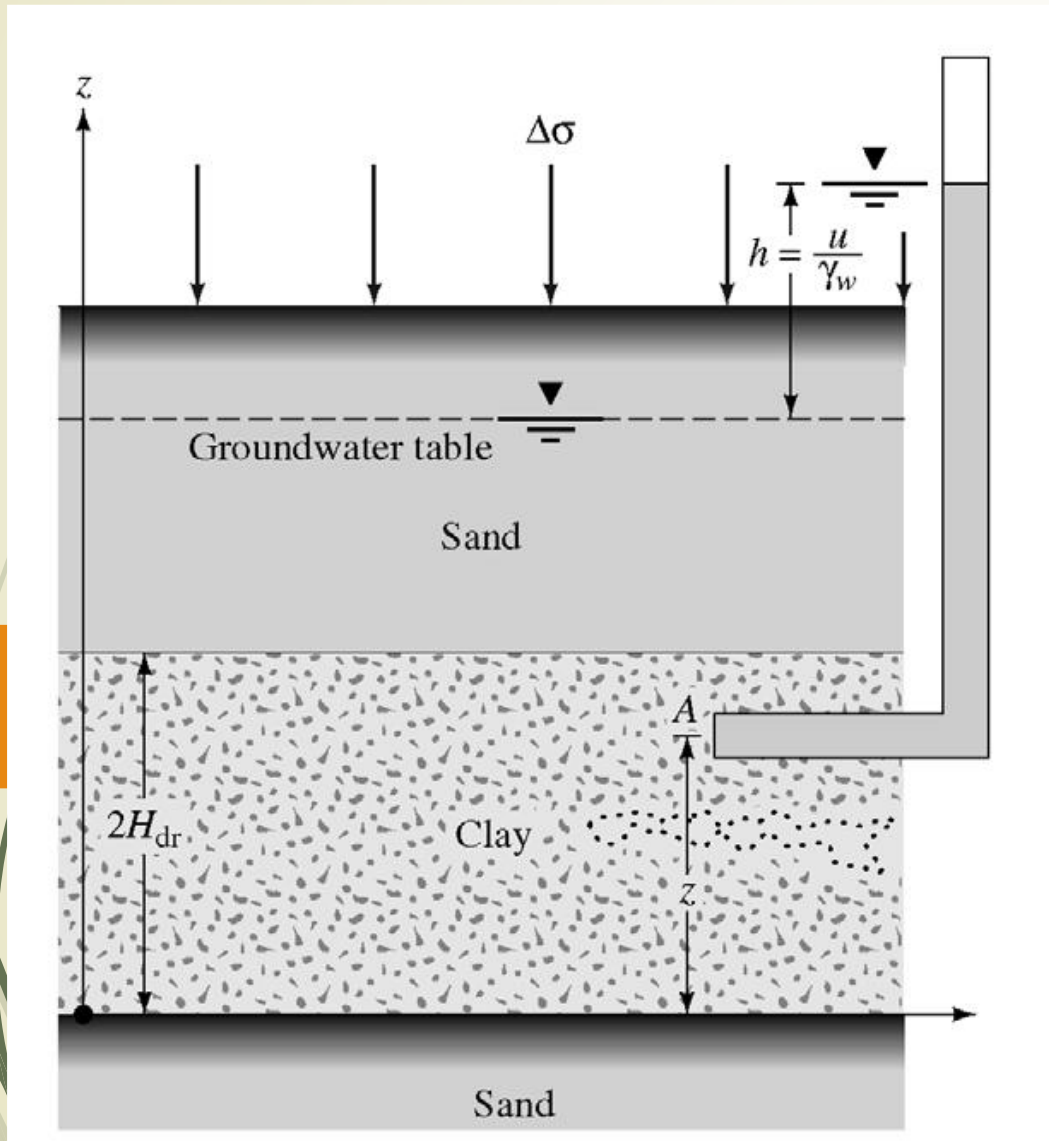
$$c_{vy} = \frac{k_y(1+e)}{a_v \gamma_w}$$

$$c_{vz} = \frac{k_z(1+e)}{a_v \gamma_w}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left(\frac{k_x(1+e)}{a_v \gamma_w} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \left(\frac{k_y(1+e)}{a_v \gamma_w} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \left(\frac{k_z(1+e)}{a_v \gamma_w} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = (c_{vx}) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (c_{vy}) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (c_{vz}) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

تحکیم یک بعدی (1-d Consolidation)



$$\frac{\partial u}{\partial t} = (c_{vz}) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$c_{vz} = \frac{k_z(1+e)}{a_v \gamma_w}$$

✓ مقادیر a_v و c_v در طول آزمایش ثابت فرض می شوند.
 ✓ این مقادیر با تغییر نسبت منافذ در طول آزمایش تغییر می کنند.

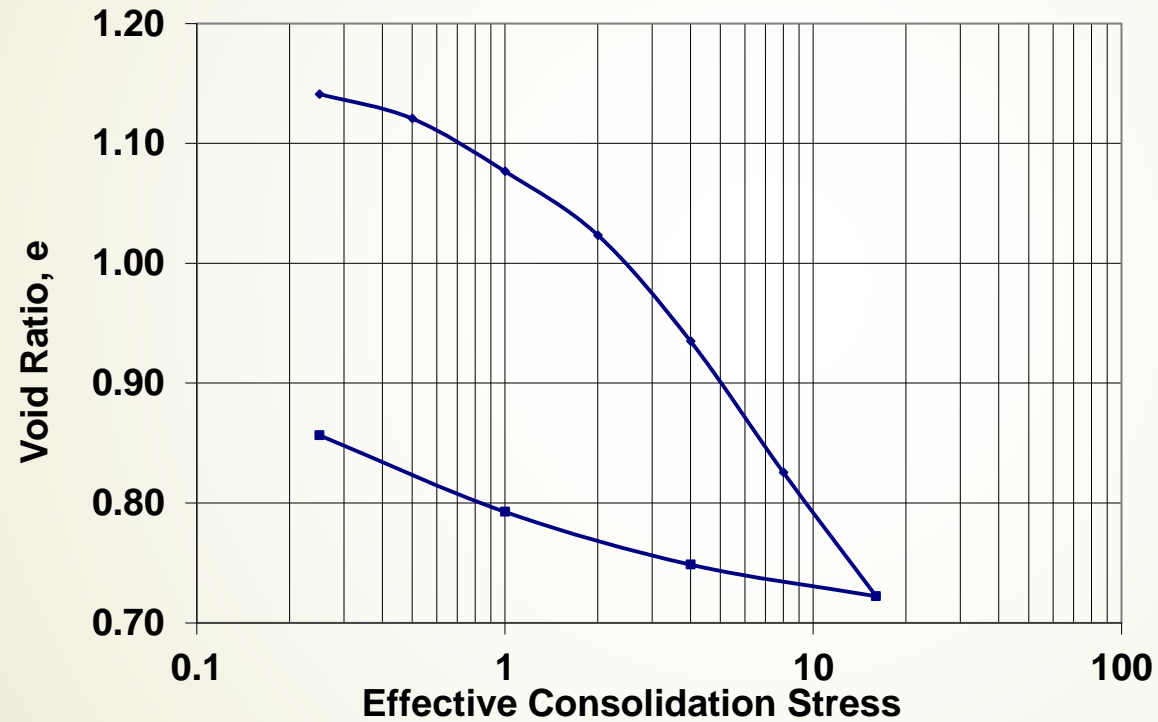
$$\frac{\partial e}{\partial \sigma'} = -a_v$$

$$c_{vz} = \frac{k_z(1+e)}{a_v \gamma_w}$$

✓ مقدار تحکیم
 ✓ زمان تحکیم

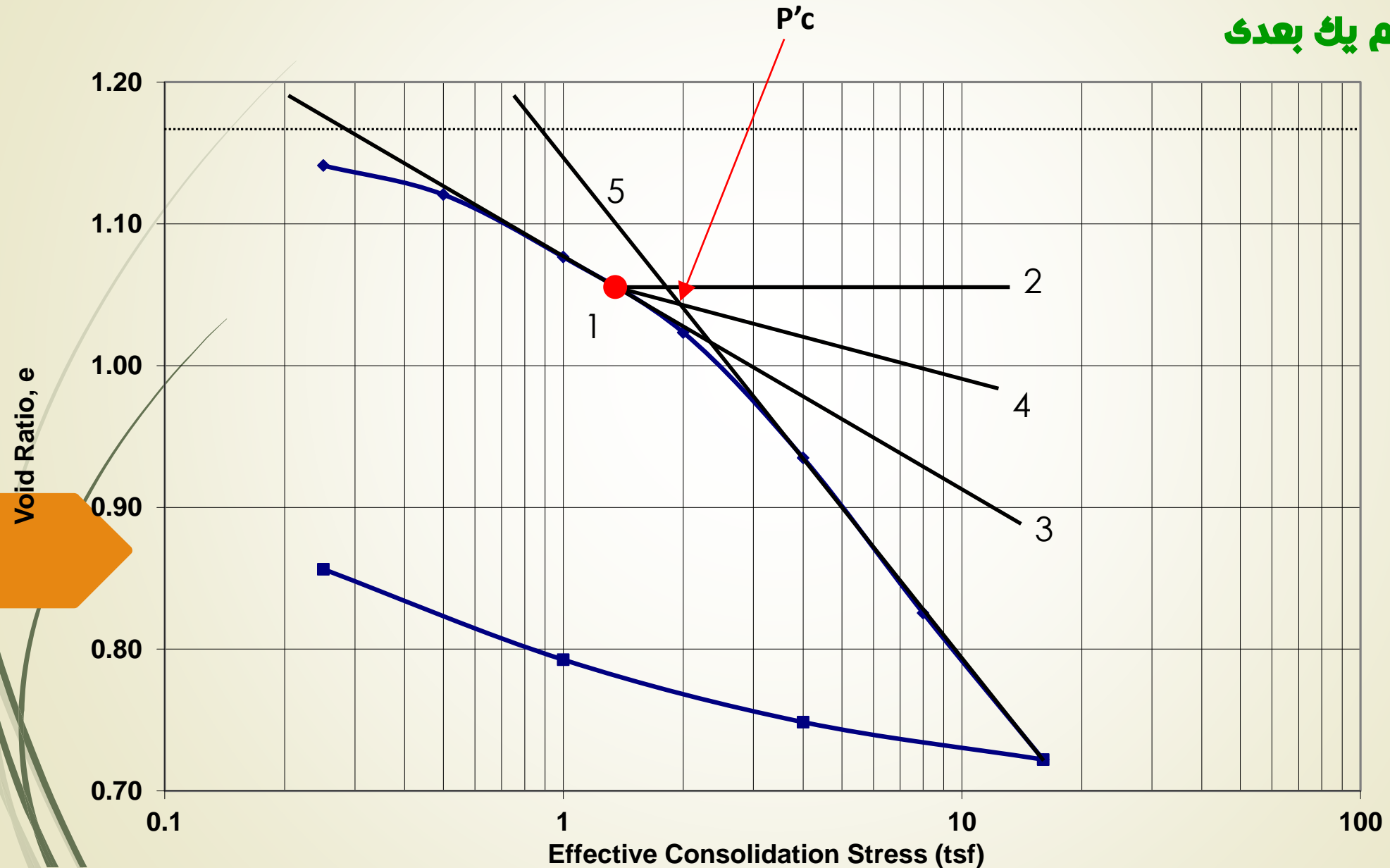
مقدار تحکیم يك بعدی

- ✓ تعیین مقدار پیش تحکیمی
- ✓ تعیین شیب فشردگی
- ✓ تعیین شیب تحکیم

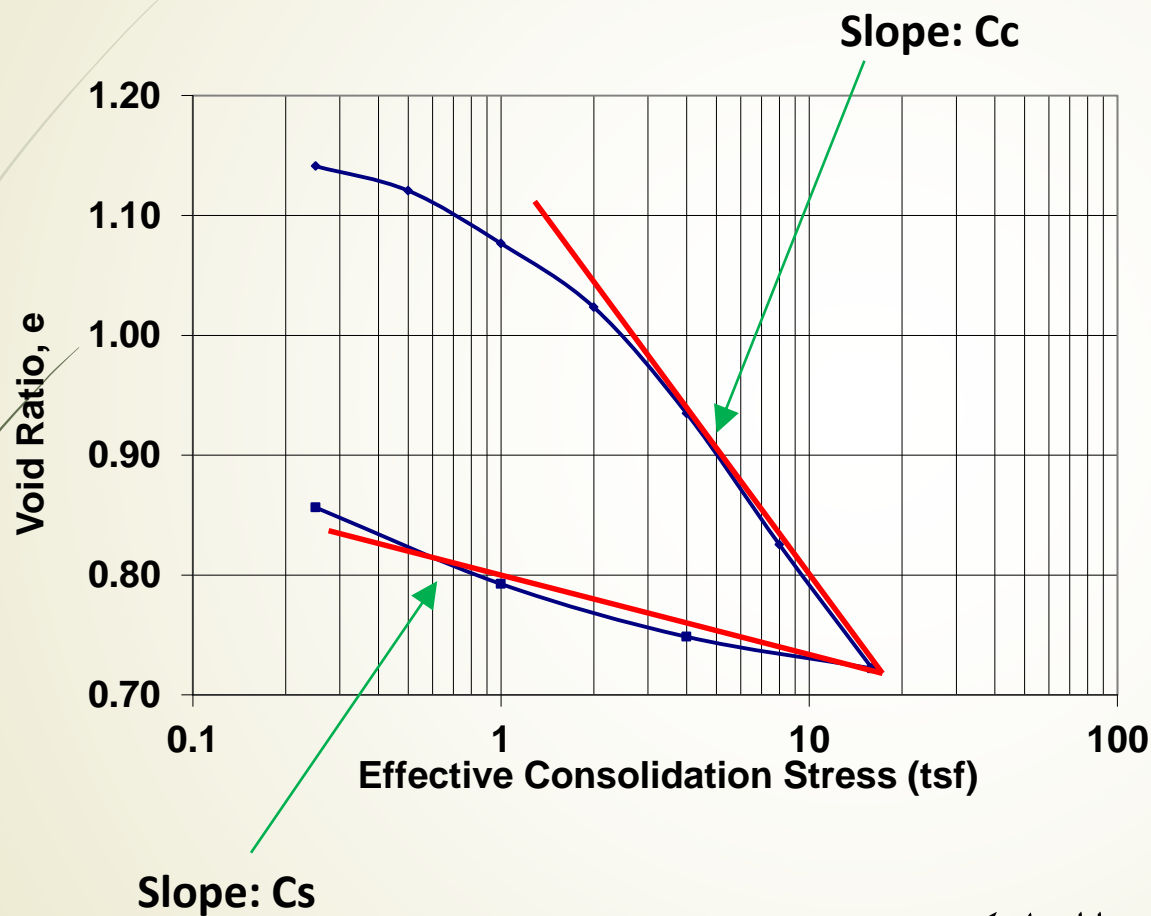


$$\frac{\partial e}{\partial \sigma'} = -a_v$$

مقدار تحکیم يك بعدی



مقدار تحکیم یک بعدی



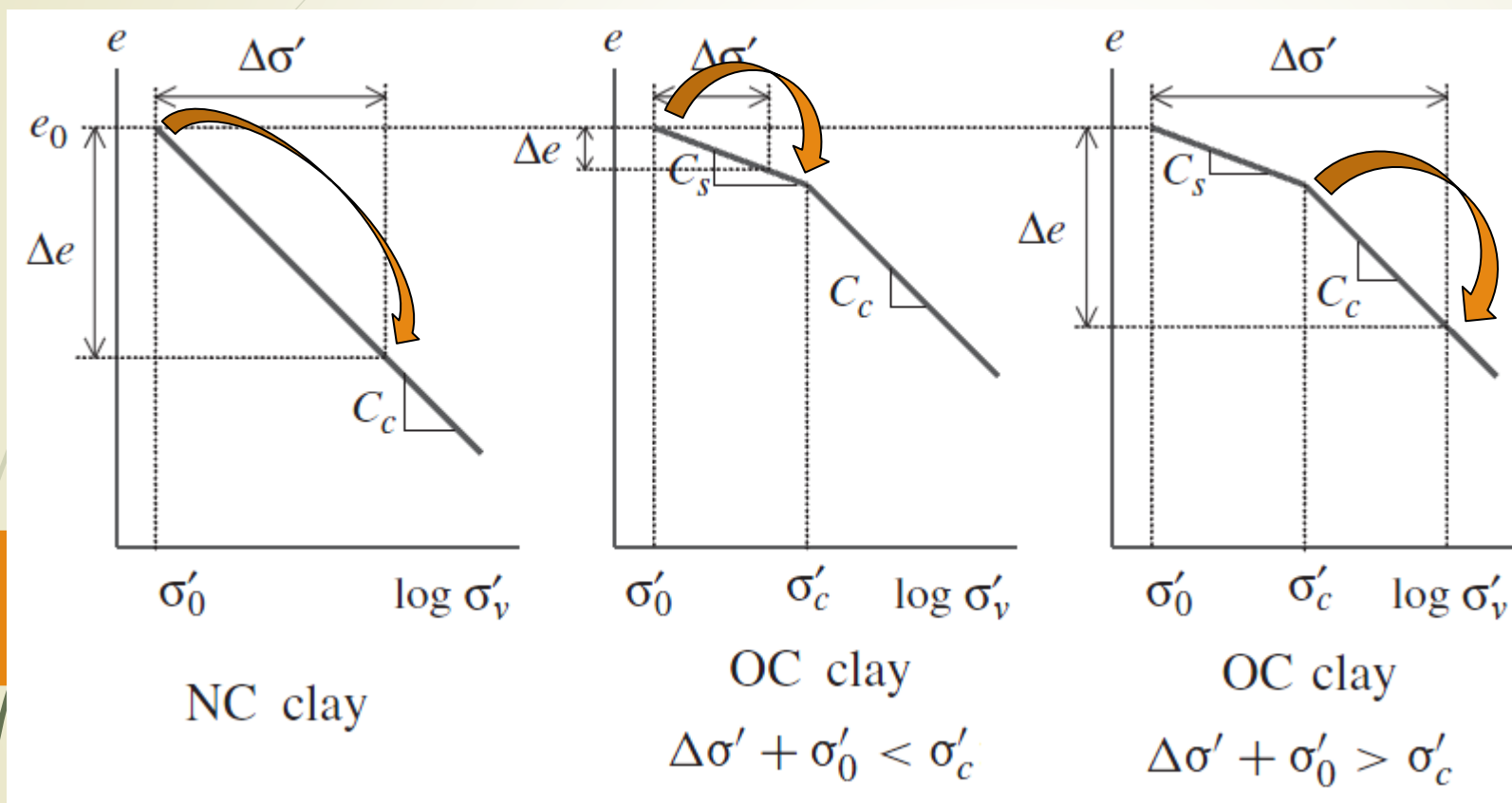
$$c_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)}$$

$$c_s = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)}$$

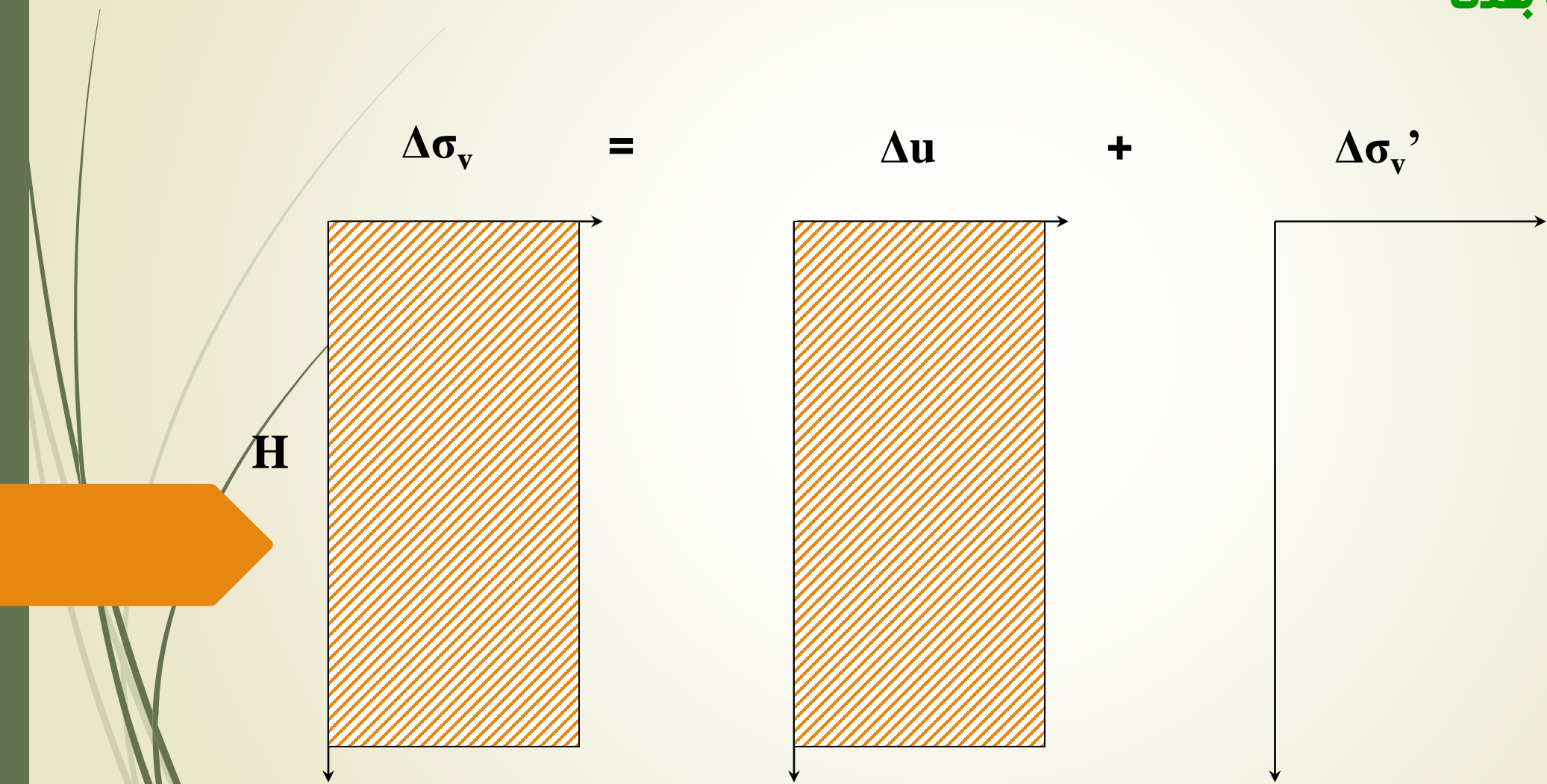
کاهش سریع ارتفاع آب پست سد می تواند شرایط باربرداری را ایجاد کند.

بررسی انواع خاکهای ریزدانه و خاک رس از نظر فشردگی پذیری و تورم پذیری؟

مقدار تحکیم يك بعدی



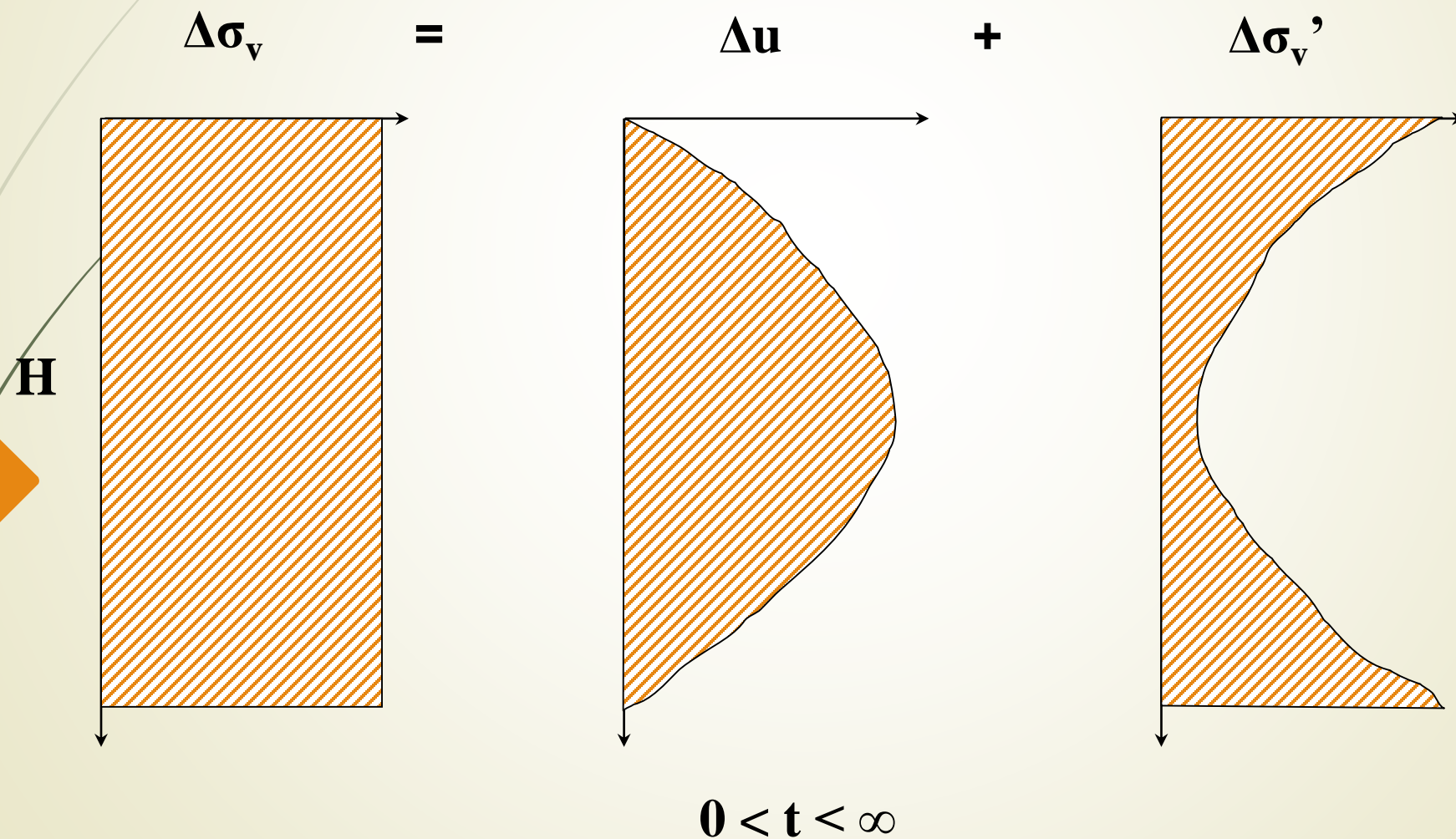
زمان تحكيم يك بعدی



$t = 0$

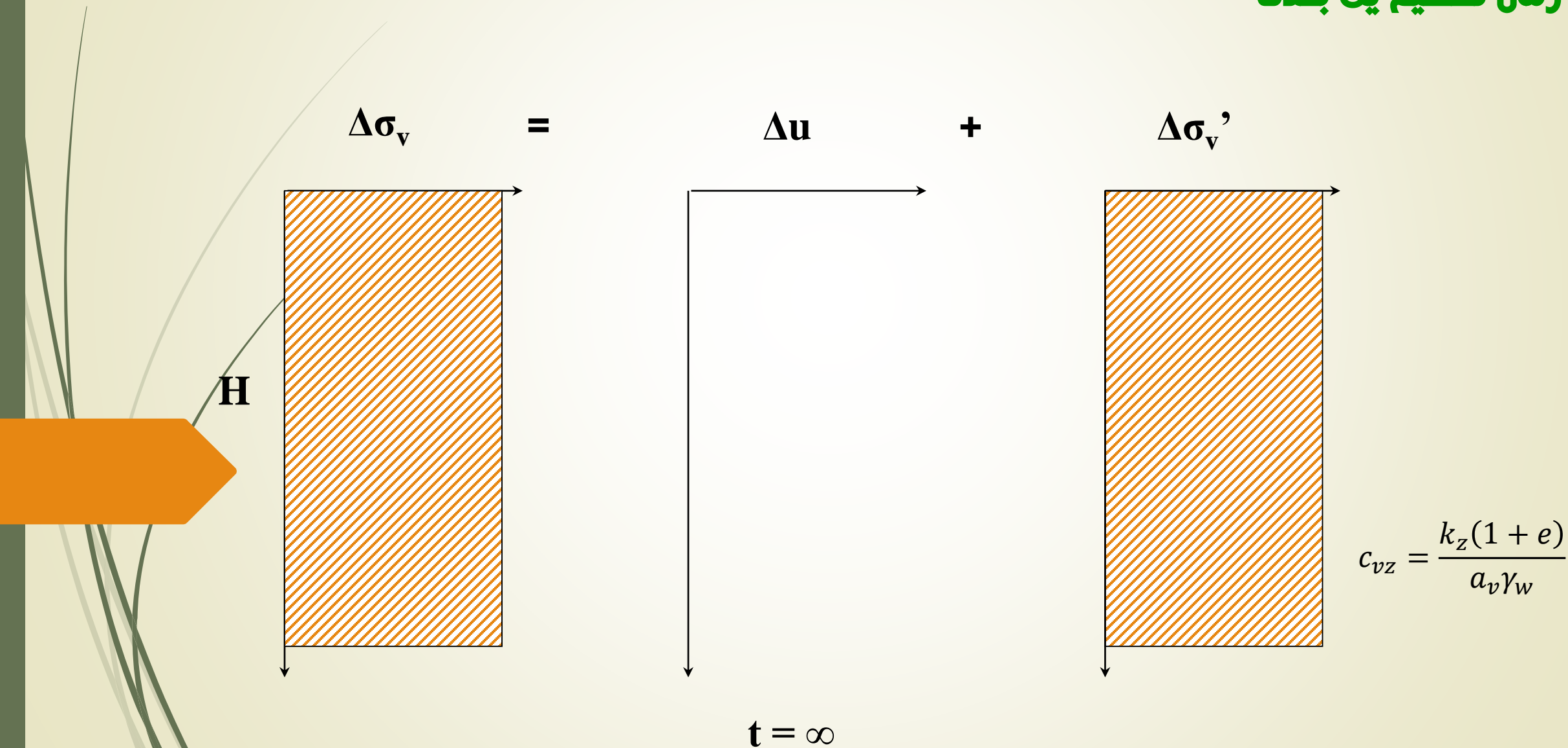
$$c_{vz} = \frac{k_z(1 + e)}{a_v \gamma_w}$$

زمان تحکیم يك بعدی



$$c_{vz} = \frac{k_z(1+e)}{a_v\gamma_w}$$

زمان تحكيم يك بعدی



زمان تحکیم یک بعدی

$$\frac{\partial u}{\partial t} = (c_{vz}) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad u = f(z, t) = ?$$

شرایط اولیه و شرایط مرزی حل معادله تحکیم یک بعدی:

$$\text{at } t = 0 \quad u_z = \Delta \sigma'$$

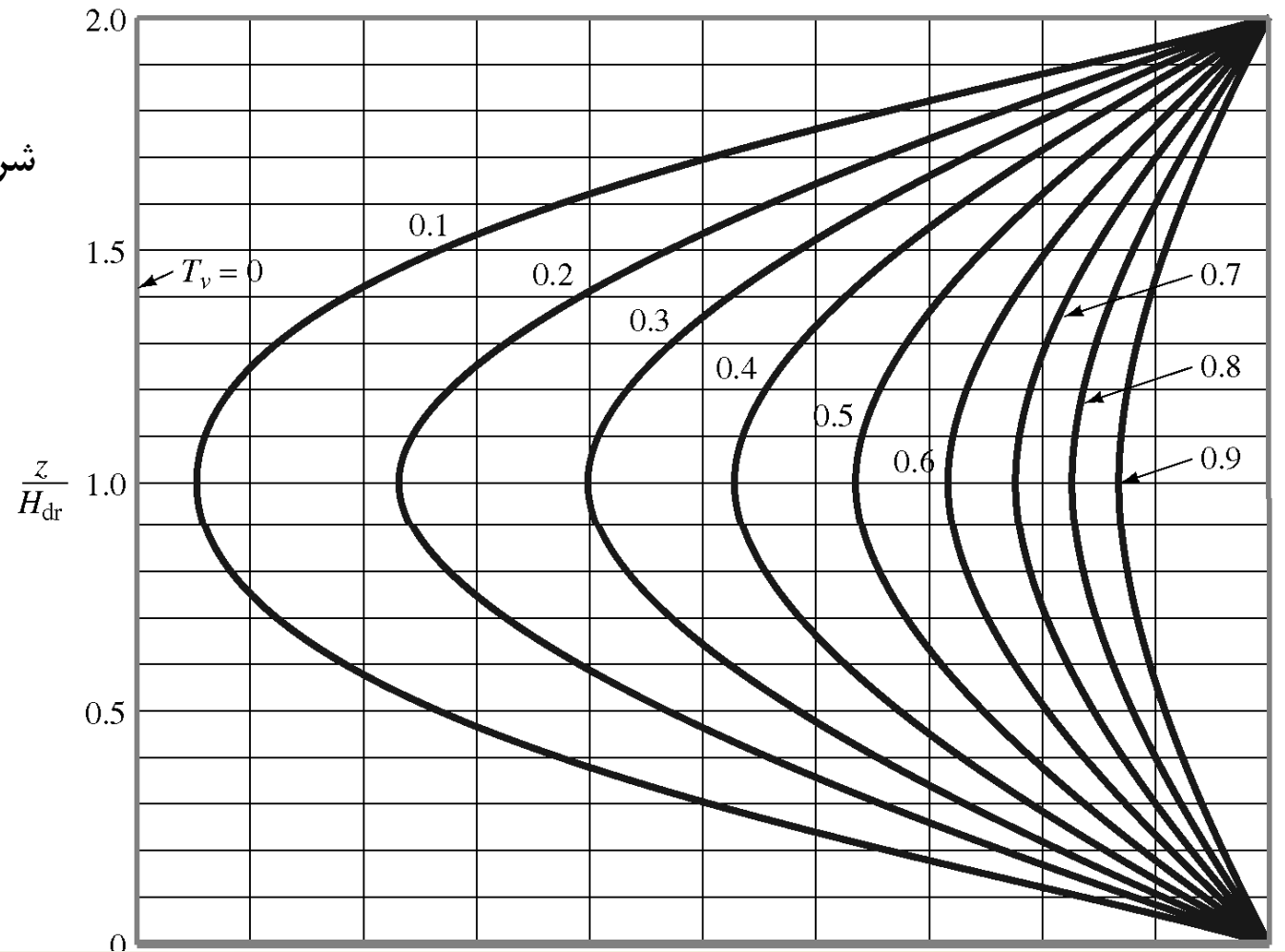
$$\text{at } t = t_0 \quad u_{z=0, z=2H} = 0$$

$$\text{at } t = \infty \quad u_z = 0$$

Time factor: $T_v = \frac{c_v \times t_v}{H_{dr}^2}$

$$U = 50\% \quad T_v = 0.196$$

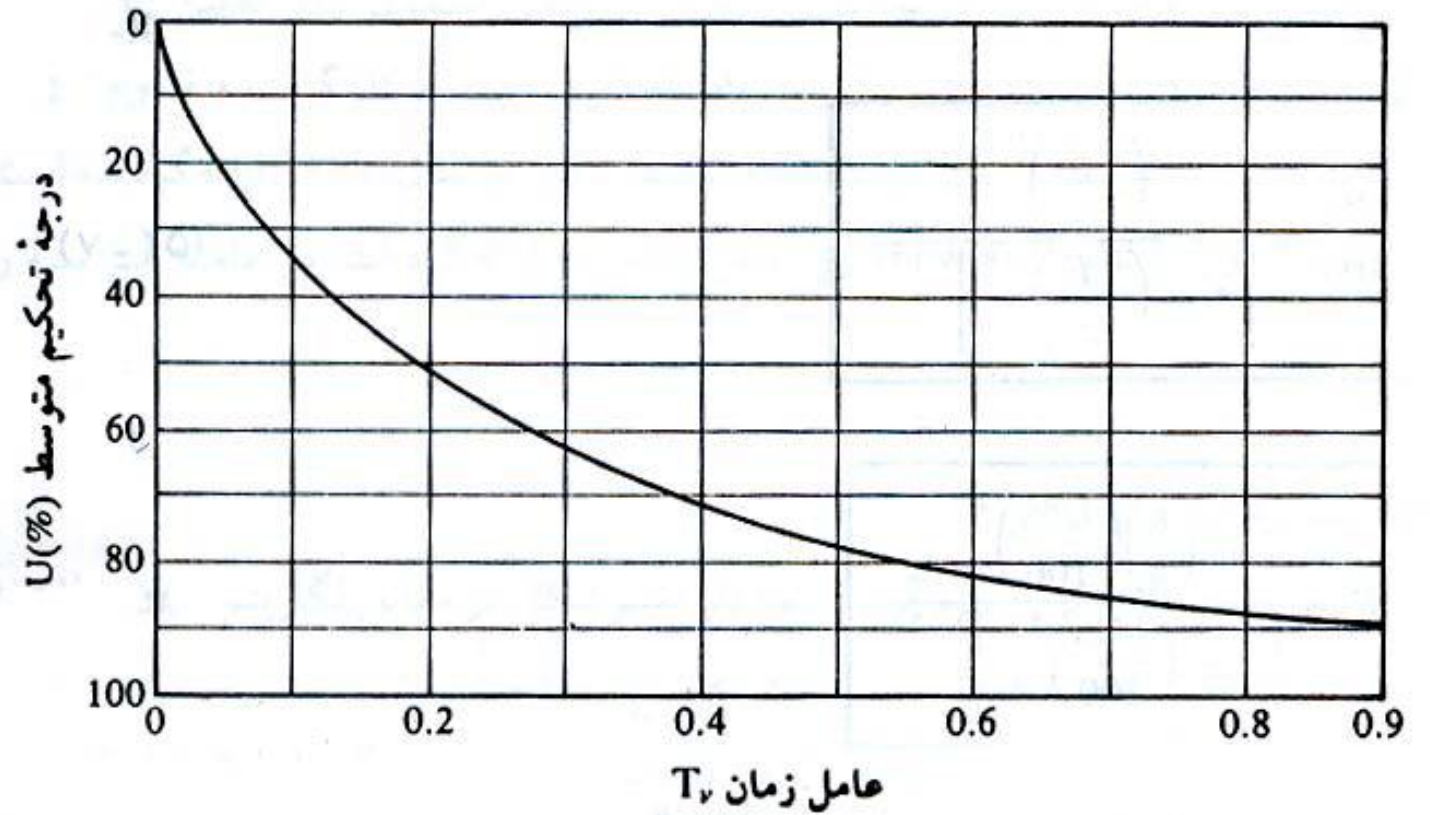
$$U = 90\% \quad T_v = 0.848$$



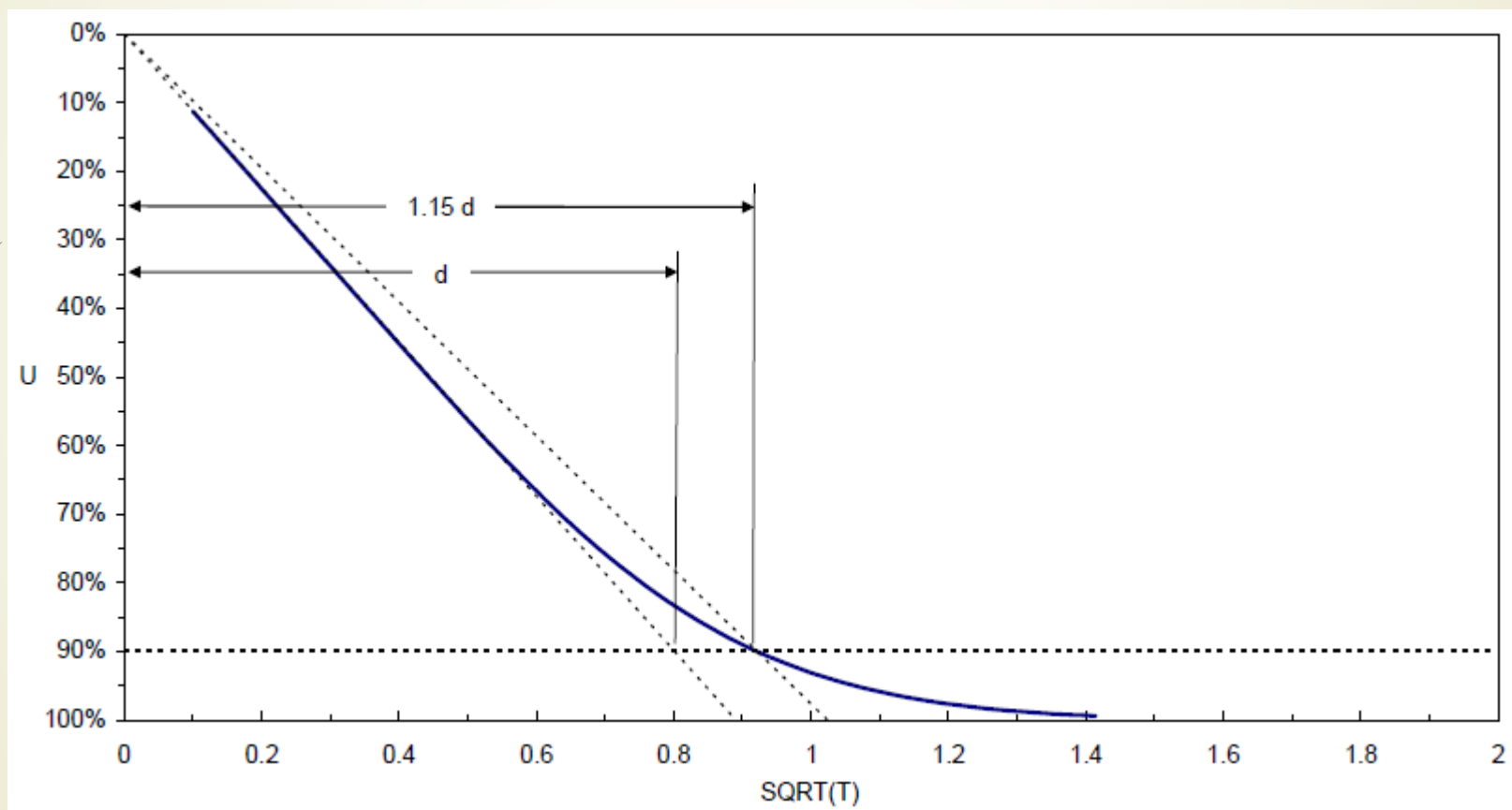
زمان تحكیم يك بعدی

$$T_v = \frac{c_v \times t_v}{H_{dr}^2}$$

جواب سؤال uu ؟

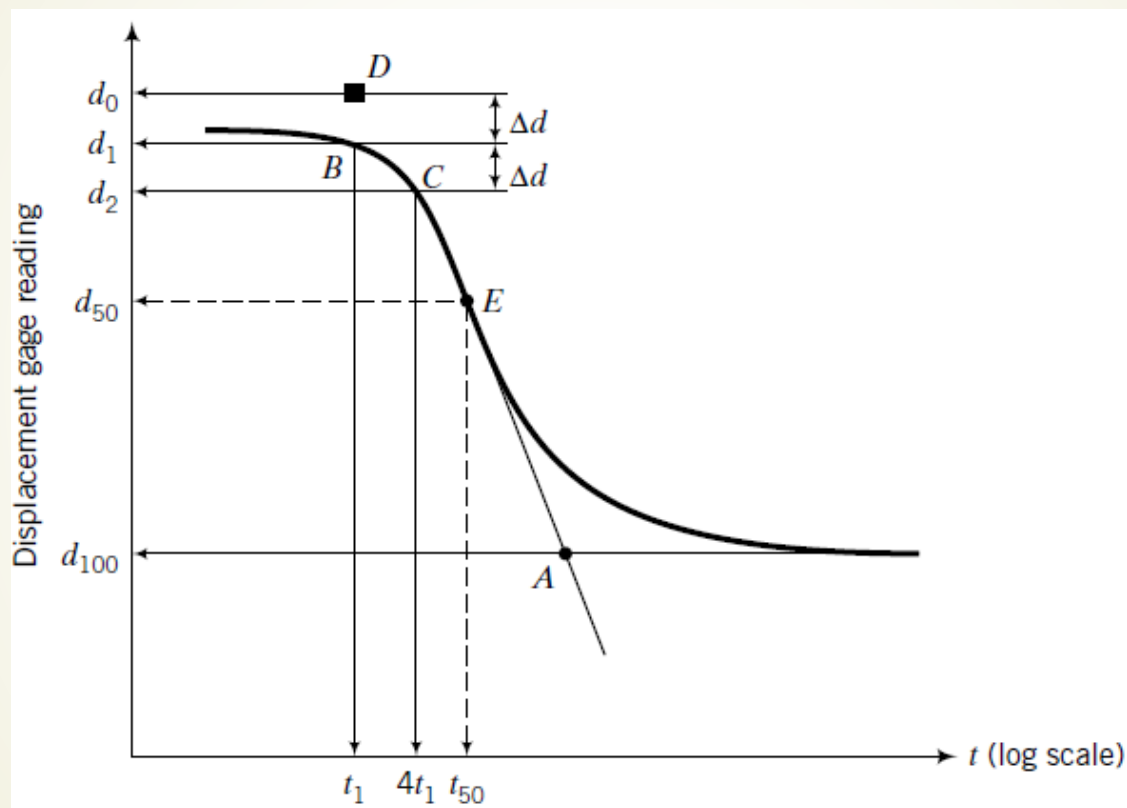


زمان تحکیم یک بعدی



روش جذر زمان برای تخمین مقدار C_v

زمان تحکیم یک بعدی



روش لگاریتم زمان برای تخمین مقدار C_v

بررسی انواع خاکهای ریزدانه و خاک رس از نظر تغییر حجم؟

مسئله

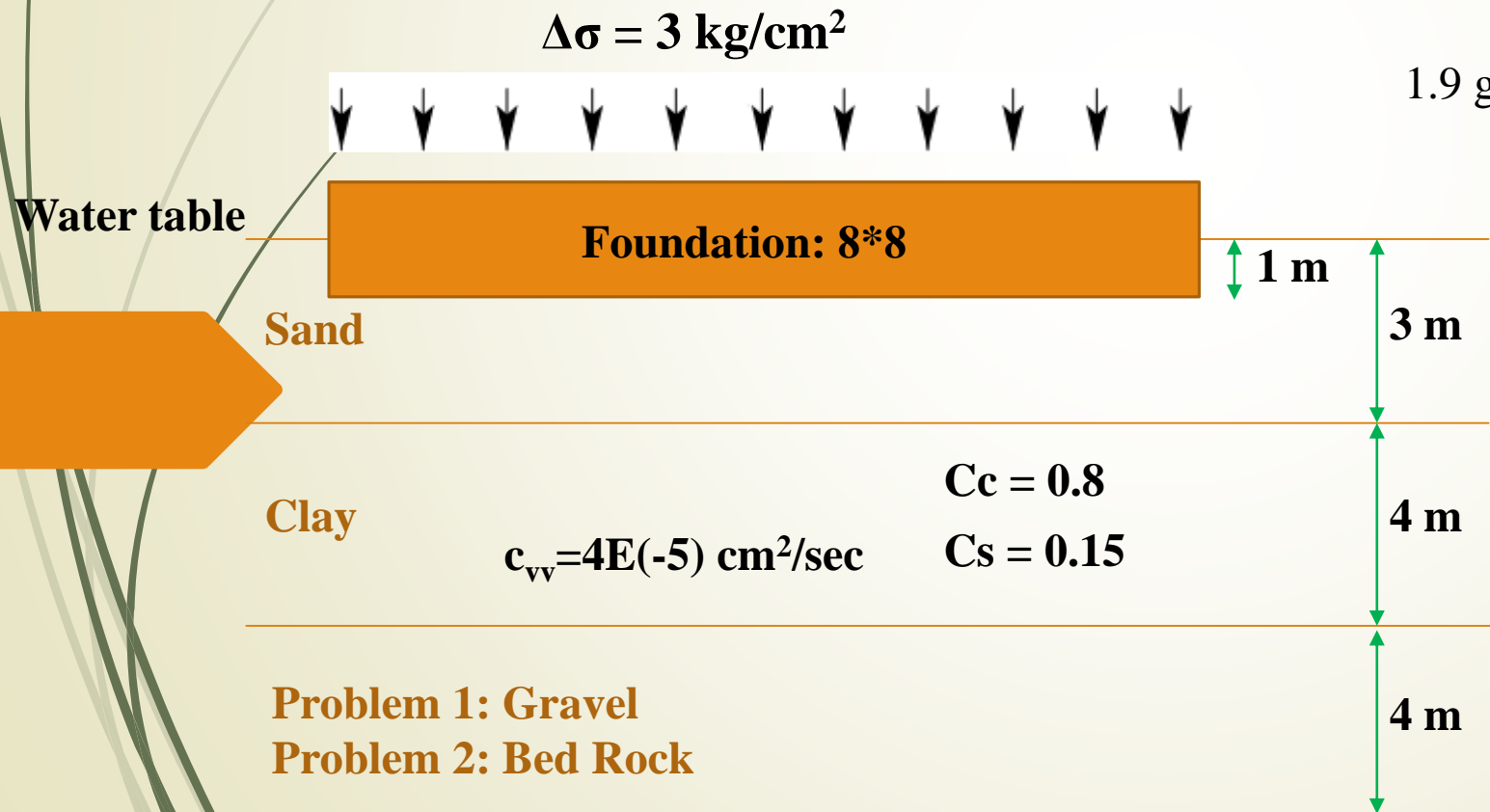
مطلوب است تعیین موارد ذیل برای هریک از حالت‌های اول و دوم مسئله نشان داده شده در شکل ذیل:

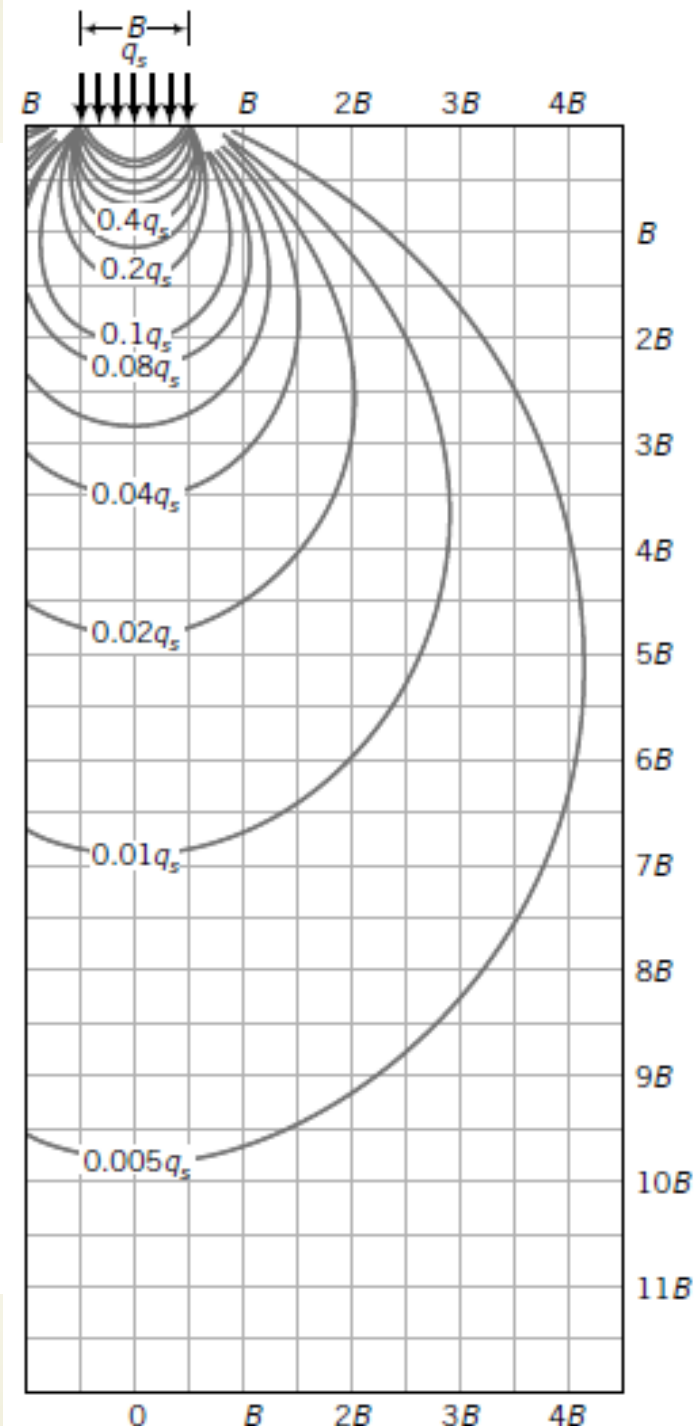
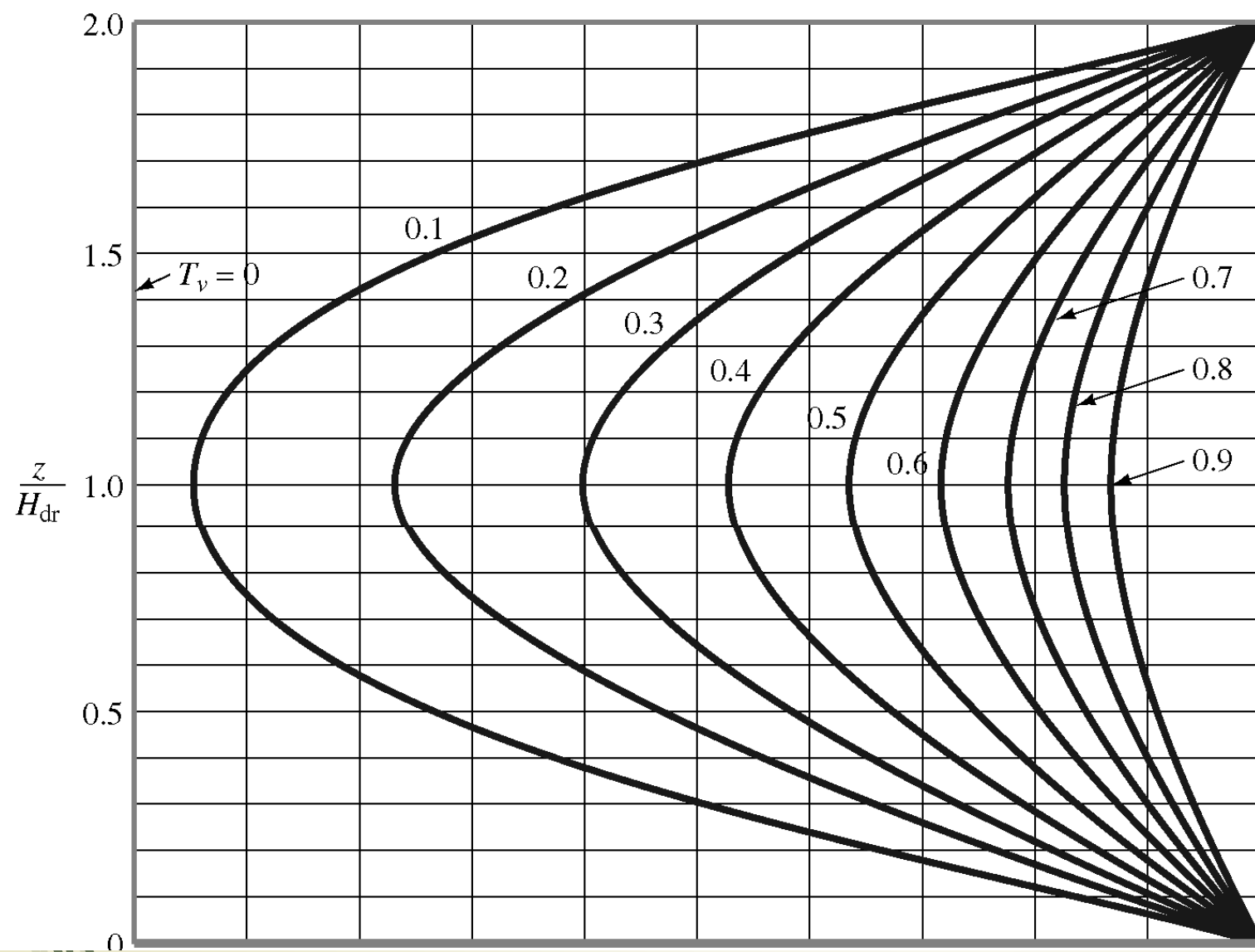
(1) مقدار تنش موثر، تنش کل و فشار آب حفره ای در فواصل 1 متری از لایه رس اشباع شکل زیر در زمان 50% تحکیم ایجاد شده در لایه رس

(2) زمان رسیدن به 90% تحکیم

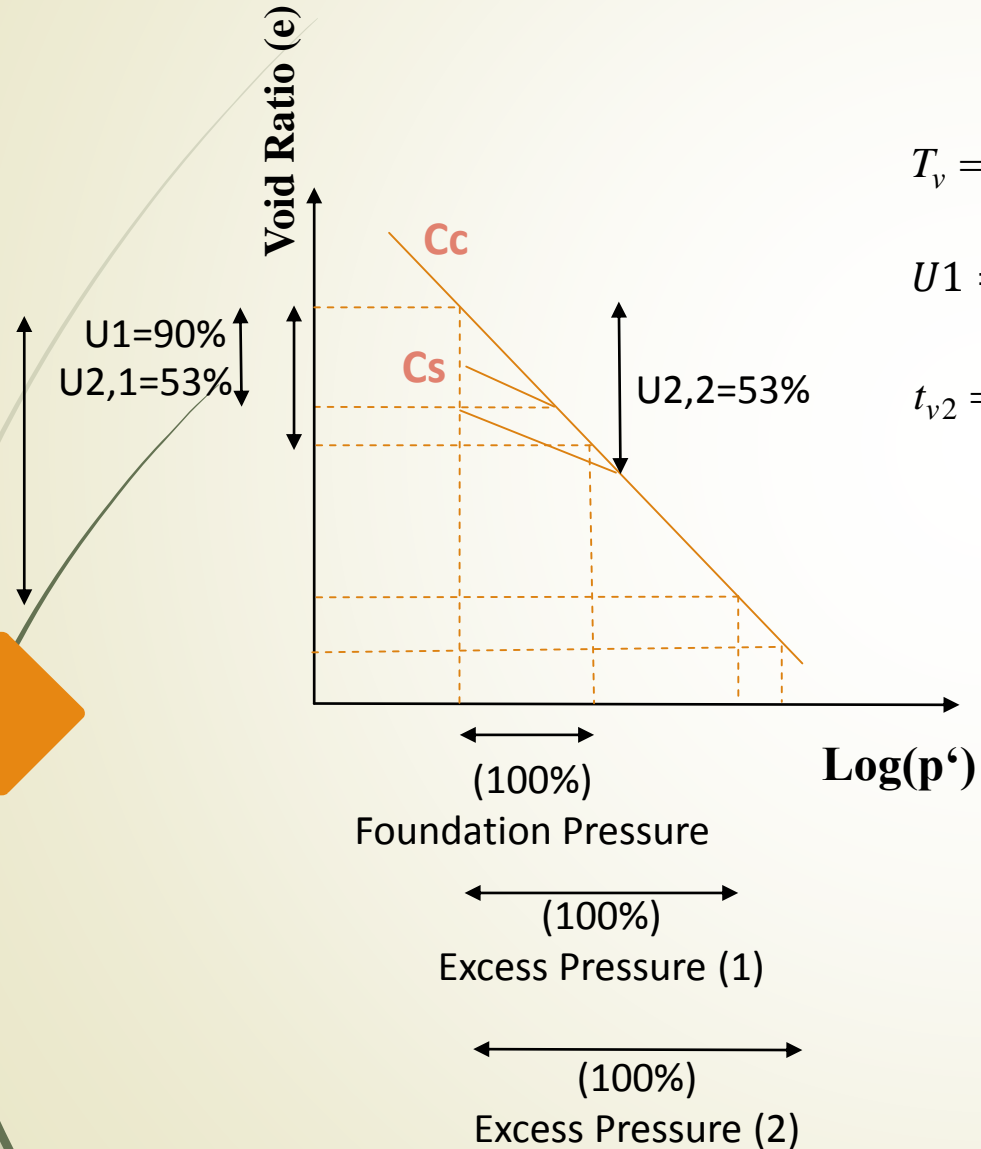
(3) چنانچه از خاک با وزن مخصوص 1.9 gr/cm^3

برای ایجاد پیش تحکیمی و رساندن زمان تحکیم به یک چهارم زمان واقعی استفاده شود مطلوب است محاسبه ارتفاع خاکریز مورد نظر.





مسئله



$$T_v = \frac{c_v \times t_v}{H_{dr}^2}$$

$$U_1 = 90\%$$

$$t_{v2} = \frac{t_{v1}}{4}$$

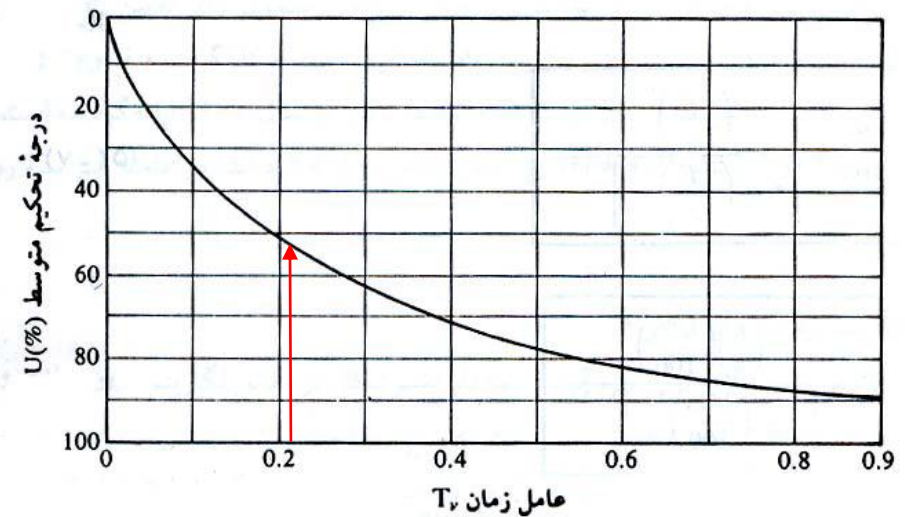
$$T_{v1} = 0.848$$

$$t_{v1} = ?$$

$$T_{v2} = \frac{c_v \times t_{v2}}{H_{dr}^2}$$

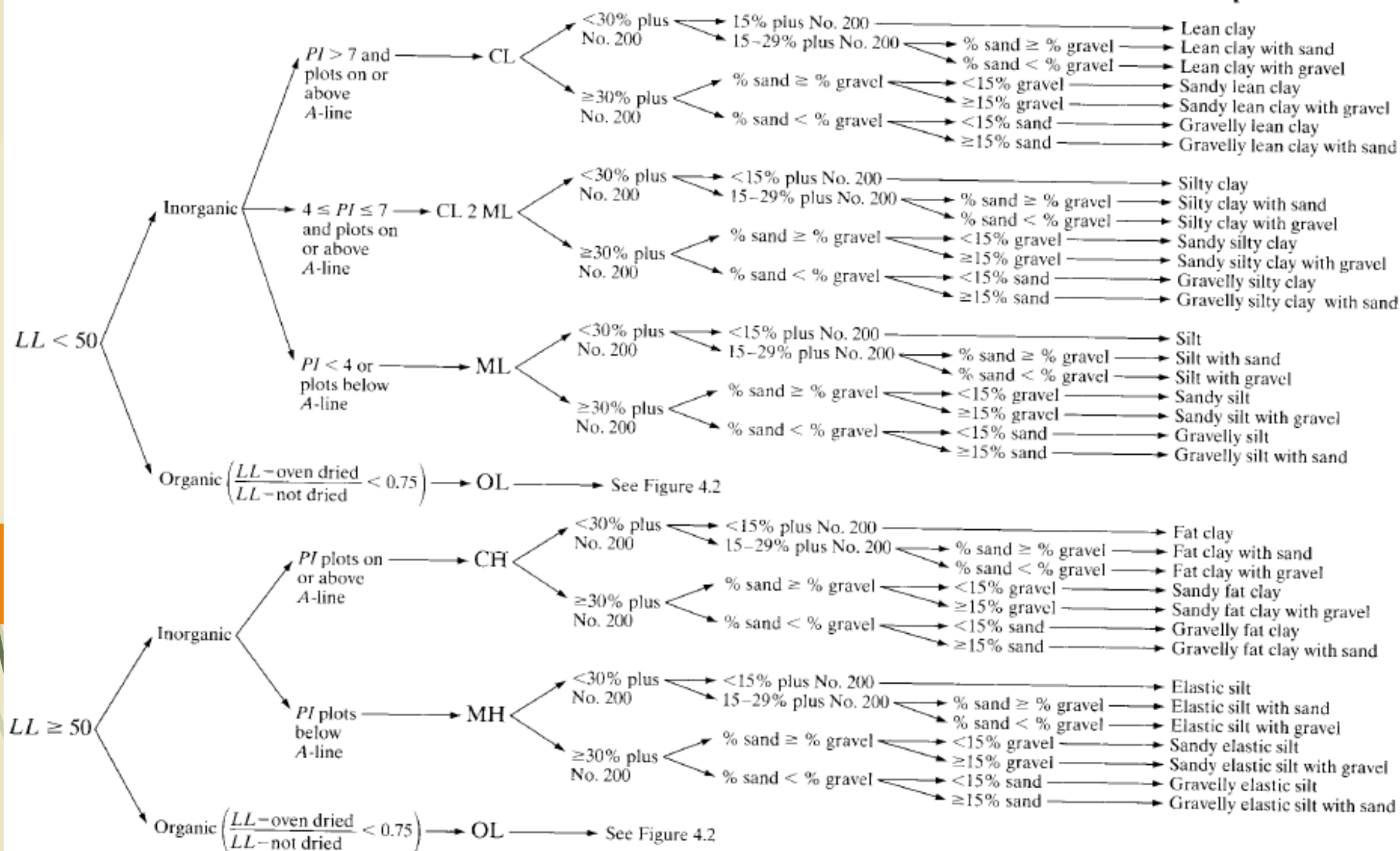
$$T_{v2} = 0.212$$

$$U_2 = 53\%$$



Group Symbol

Group Name



تحکیم نهشته های چند لایه

چنانچه چند لایه قابل تحکیم در کنار یکدیگر قرار بگیرند.

(۱) مقدار تحکیم:

$$\frac{\partial e}{\partial \sigma'} = -a_v$$

مقدار تحکیم مستقل از شرایط مرزی خروج آب از خاک است.

(۲) زمان تحکیم:

$$c_{vz} = \frac{k_z(1+e)}{a_v \gamma_w}$$

وضعیت زهکش کامل و لایه ناتراوا در اطراف خاک مشخص است.

وضعیت تغییرات فشار آب منفذی داخل لایه های کنار هم پیچیده است.

حالت خاص:

برای دولایه کنار هم چنانچه c_v یک لایه بیشتر مساوی 20 برابر c_v لایه دیگر باشد می توان به شرح ذیل عمل نمود:

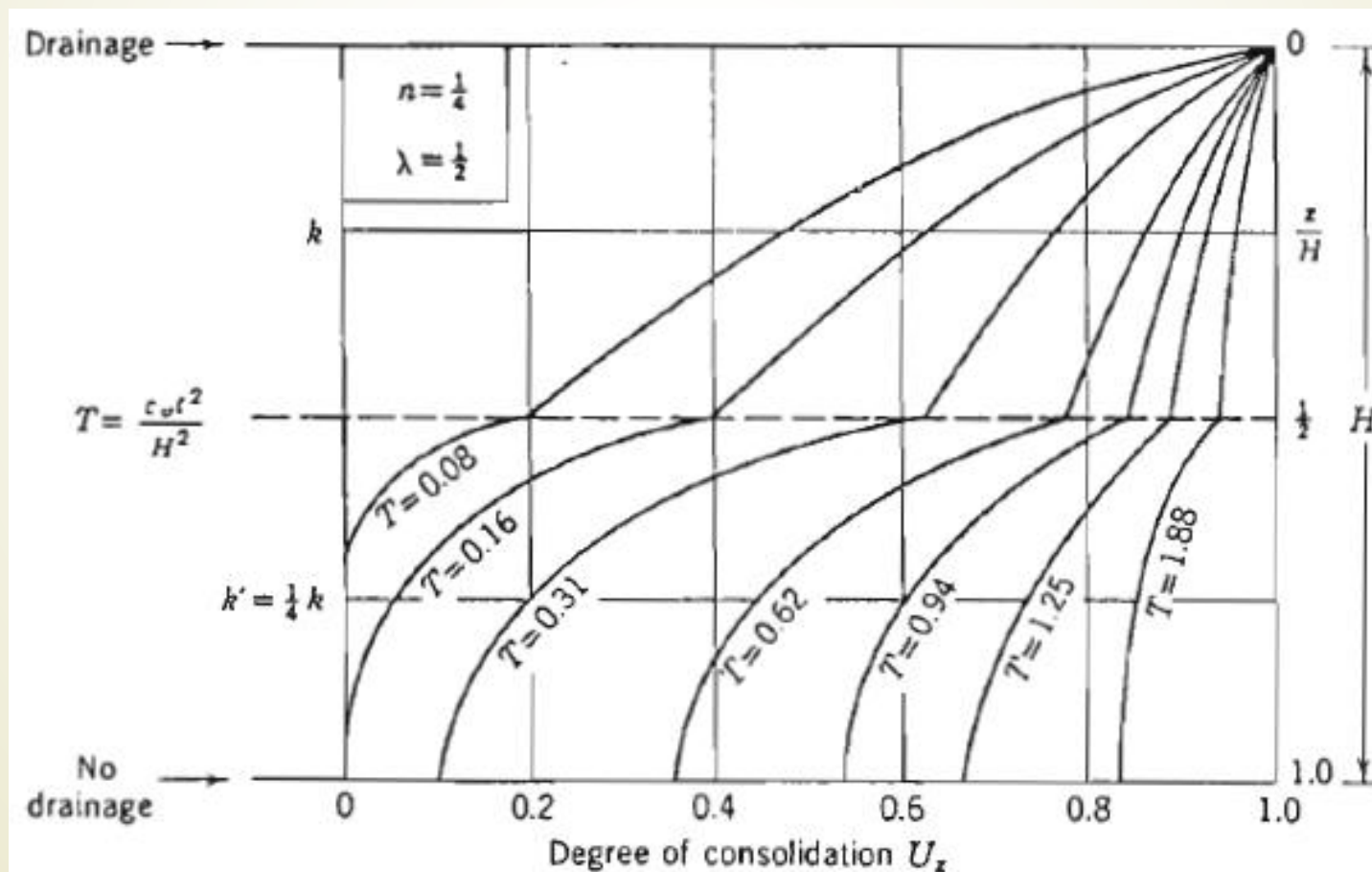
(۱) ابتدا لایه با نفوذپذیری بالاتر با بصورت زهکش یکطرفه تحلیل نمود.

(۲) سپس لایه با نفوذپذیری کمتر را بصورت زهکش دوطرفه تحلیل نمود.

تحکیم نهشته های چند لایه

حالت خاص:

وضعیت فشار آب منفذی برای دولایه مجاور با نسبت نفوذپذیری یک به دو

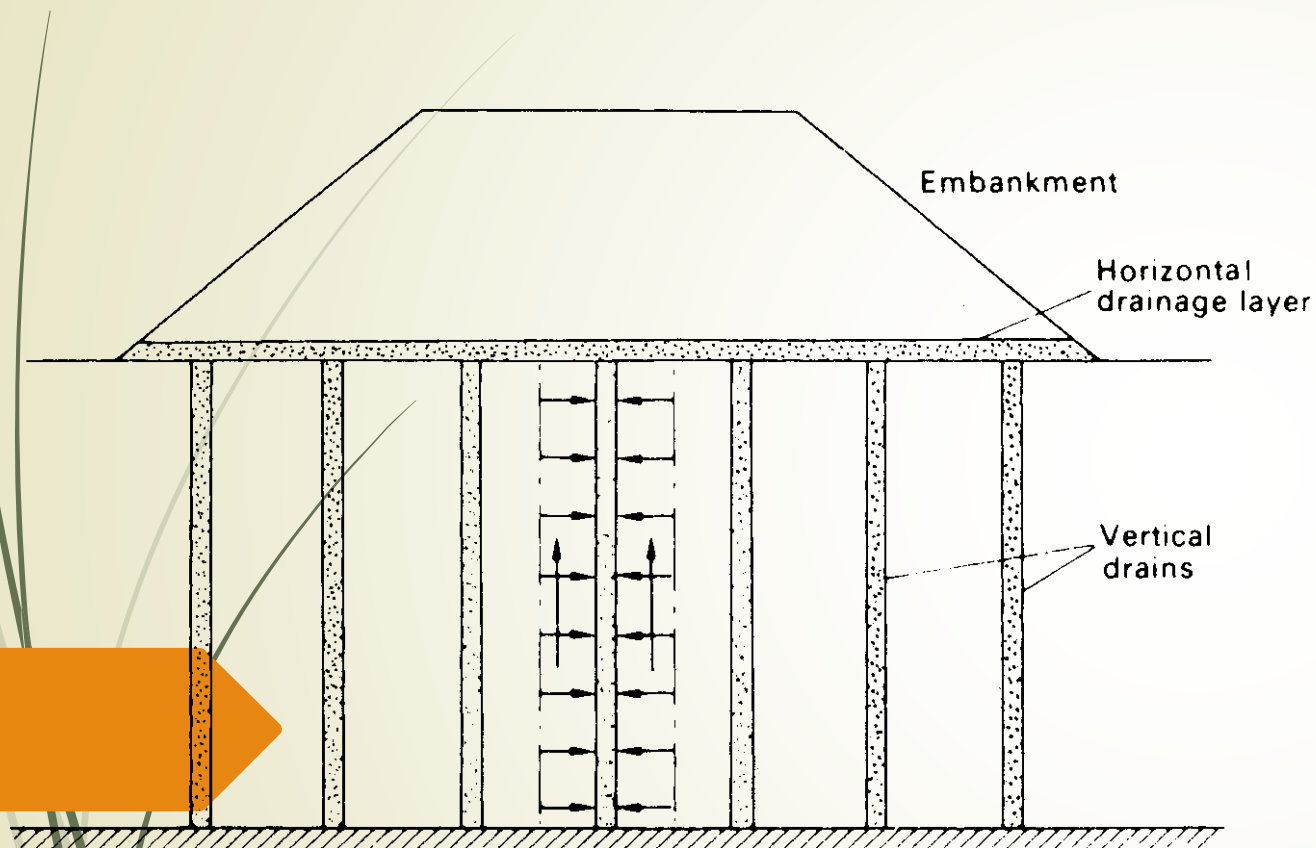


تحکیم شعاعی

افزایش امکان زهکشی بصورت افقی
کوتاهتر نمودن مسیر زهکشی

هدف طراحی:

تعیین فاصله و قطر زهکشها
فواصل زهکشها باید کمتر از ضخامت لایه های رس باشد.



✓ نسبت C_{vh}/C_{vv} معمولاً بین ۱ تا ۲ است.

✓ بیشتر بودن C_{vh} نسبت به C_{vv} از طرف دیگر سبب افزایش سرعت زهکشی می شود.

✓ در صورتی که تنش نهایی در رسهای پیش تحکیم یافته کمتر از تنش پیش تحکیمی شود زهکش قائم در این نوع خاکها تاثیری ندارد.

تحکیم شعاعی

$$\frac{\partial u_e}{\partial t} = c_h \left(\frac{\partial^2 u_e}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_e}{\partial r} \right) + c_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2}$$

$$U_v = f(T_v) \quad U_r = f(T_r)$$

$$T_v = \frac{c_v t}{d^2} \quad T_r = \frac{c_h t}{4R^2}$$

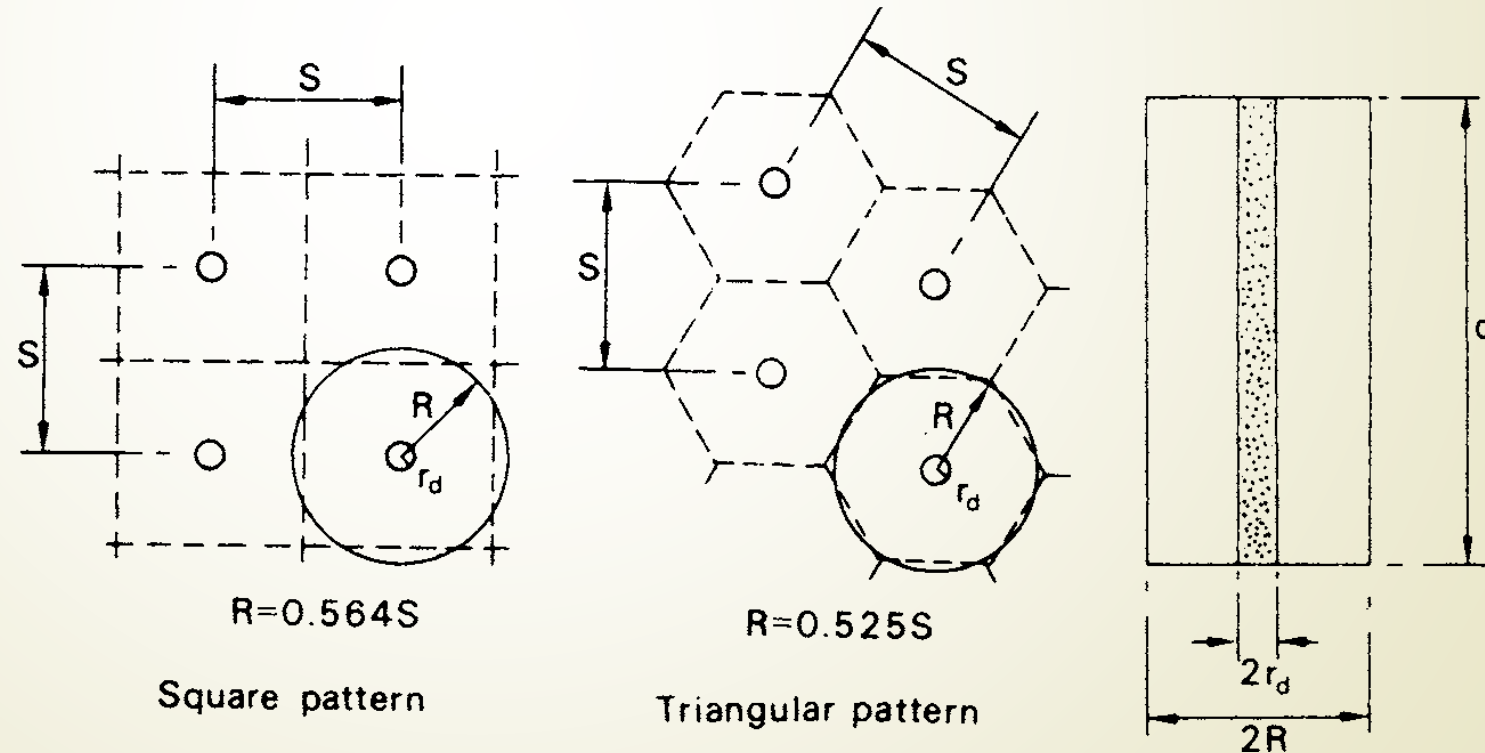
$$(1 - U) = (1 - U_v)(1 - U_r)$$

U_v = average degree of consolidation due to vertical drainage only

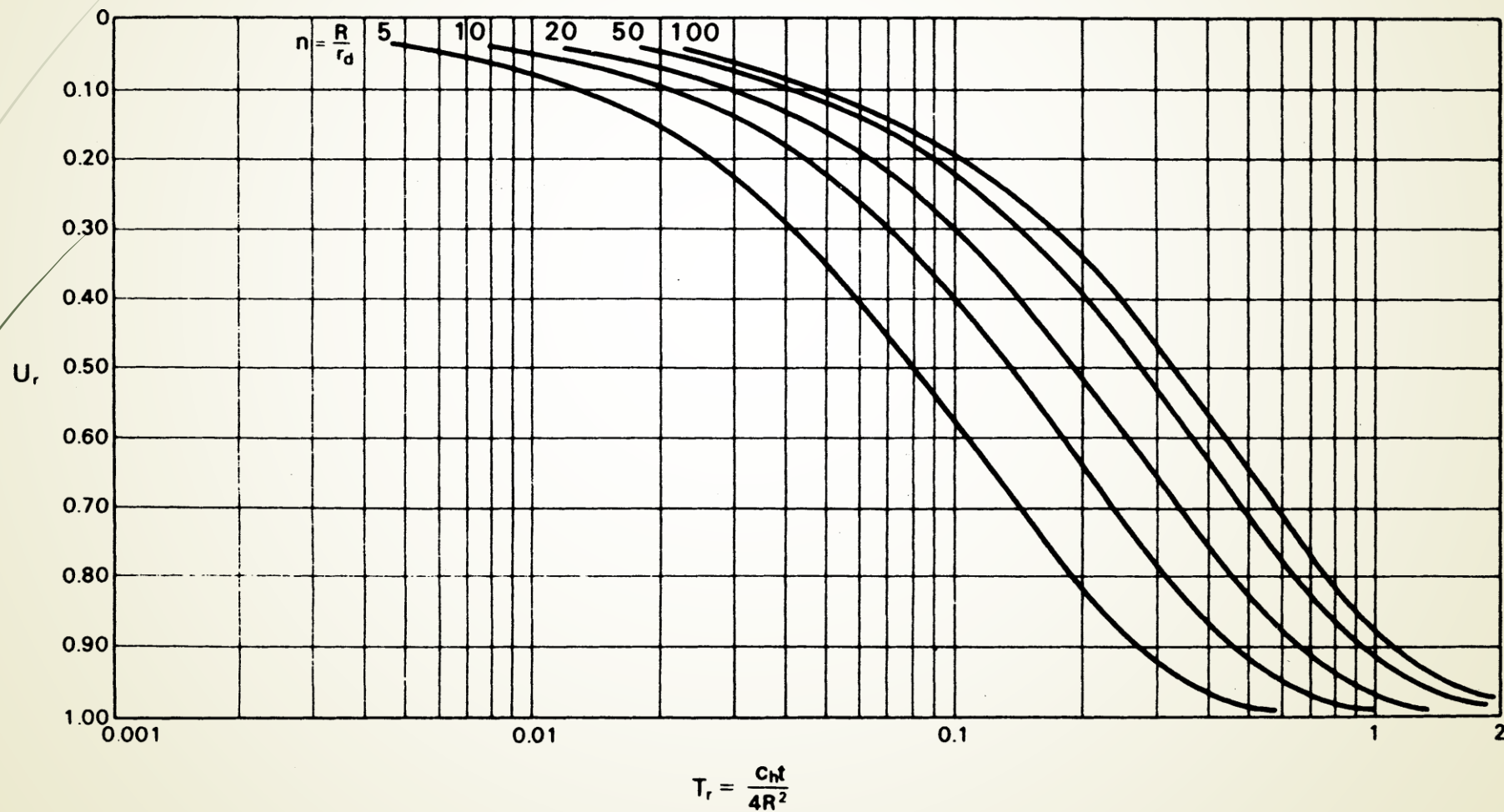
U_r = average degree of consolidation due to horizontal (radial) drainage only

T_v = time factor for consolidation due to vertical drainage only

T_r = time factor for consolidation due to radial drainage only



تحکیم شعاعی



مسئله

چنانچه در ادامه مسئله قبل (شکل ذیل) با هدف، کاهش زمان تحکیم 90% به یک چهارم زمان، با استفاده از چاههای زهکش باشد فواصل این چاهها را برای دو حالت اشاره شده بدست آورید.

قطر چاهها = 15 cm

