



# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک



## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی



## سرفصل مطالب درس

- مروری بر مبانی مکانیک سنگ
- مفاهیم کلی تحلیل پایداری و نگهداری
- روش های تحلیلی توزیع تنش و سیستم نگهداری
- روش همگرایی همجواری و GRC
- توزیع تنش در اطراف سازه ها و کارگاه های استخراج
- روش های تجربی، سیستم های طبقه بندی و انتخاب سیستم نگهداری
- طراحی پیلارها
- انواع سیستم های نگهداری (چوب، فولاد، بتن، شاتکریت، راک بولت و تاندون، سیستمهای هیدرولیک، نگهدارنده های قدرتی و چک و...)
- روش های کنترل سقف و پرکردن و ...





## سرفصل مطالب درس

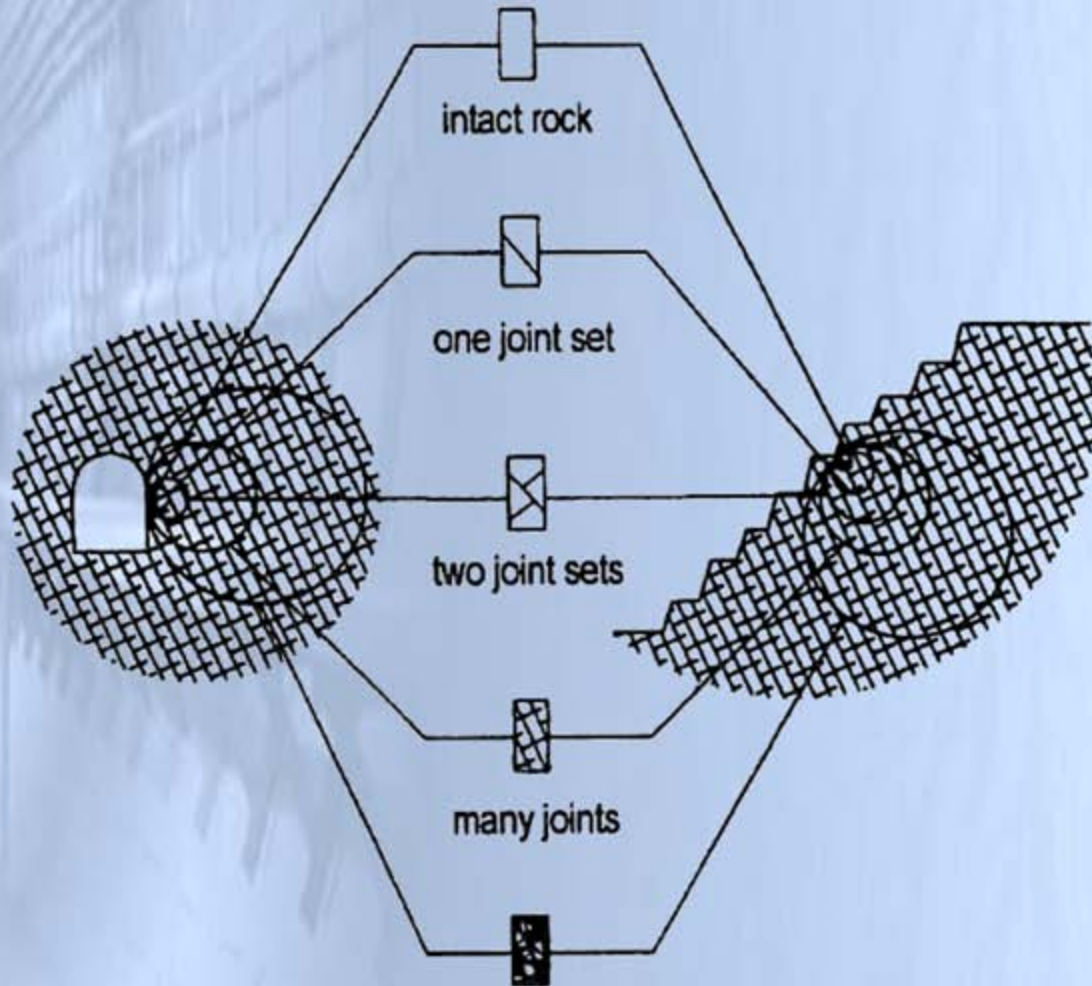
### منابع

- 1-Singh, R.N. and Ghose, A.K. ; "Engineering Rock Structures in Mining and Civil Construction" ; Taylor & Francis Group PLS; London; 2006
- 2-Hartman, H.L. (Editor); "SME Mining Engineering Handbook"; Vol. I&II; 2<sup>nd</sup> Edition; SME Littleton Colorado; 1992;Sec and ch. 10, 17-4-1-3 & 4, 18-1-2 & 3, 19-3-1 to 5, 20-1-2 & 4
- 3-Goodman, R.E. ; "Introduction to Rock Mechanics"; John Wiley & Sons; New York; 1980
- 4-Hoek, E. & Brown, E.T. ; "Underground Excavations in Rocks, The Institution of Mining and Metallurgy, London; 1980
- 5-Biron, C. and Ariglu, E. ; "Design of Support in Mines"; John Wiley and sons; 1900



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## ➤ ماده سنگ و توده سنگ

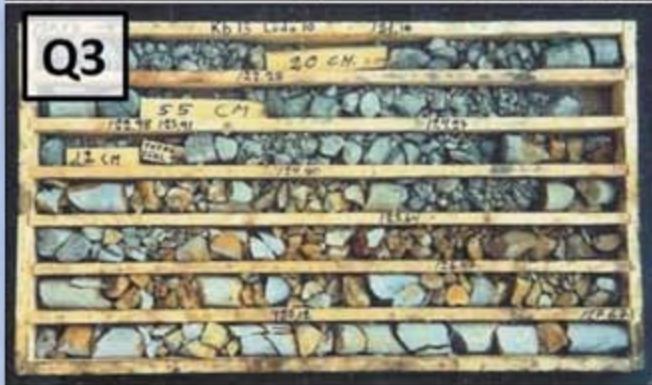
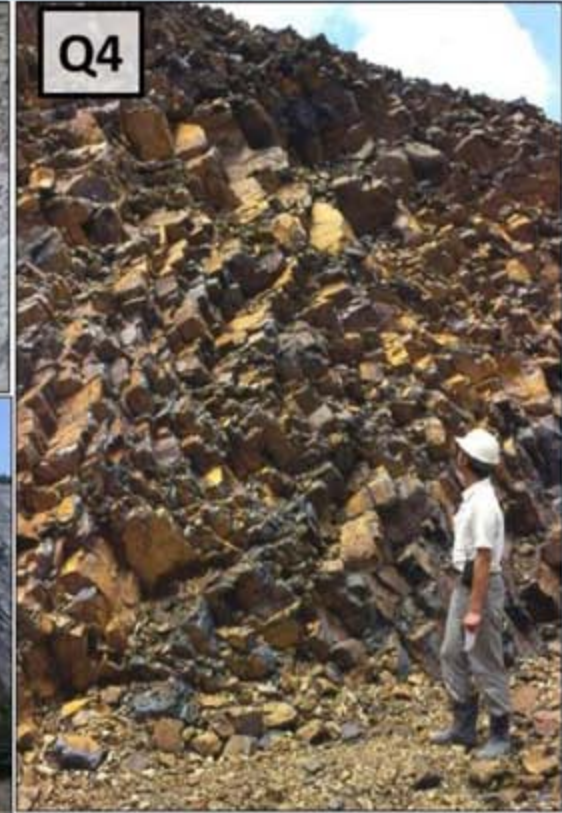


heavily jointed rock mass



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## ➤ ماده سنگ و توده سنگ



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ ماده سنگ و توده سنگ





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ ماده سنگ و توده سنگ



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ ماده سنگ و توده سنگ





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ ماده سنگ و توده سنگ



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ ماده سنگ و توده سنگ





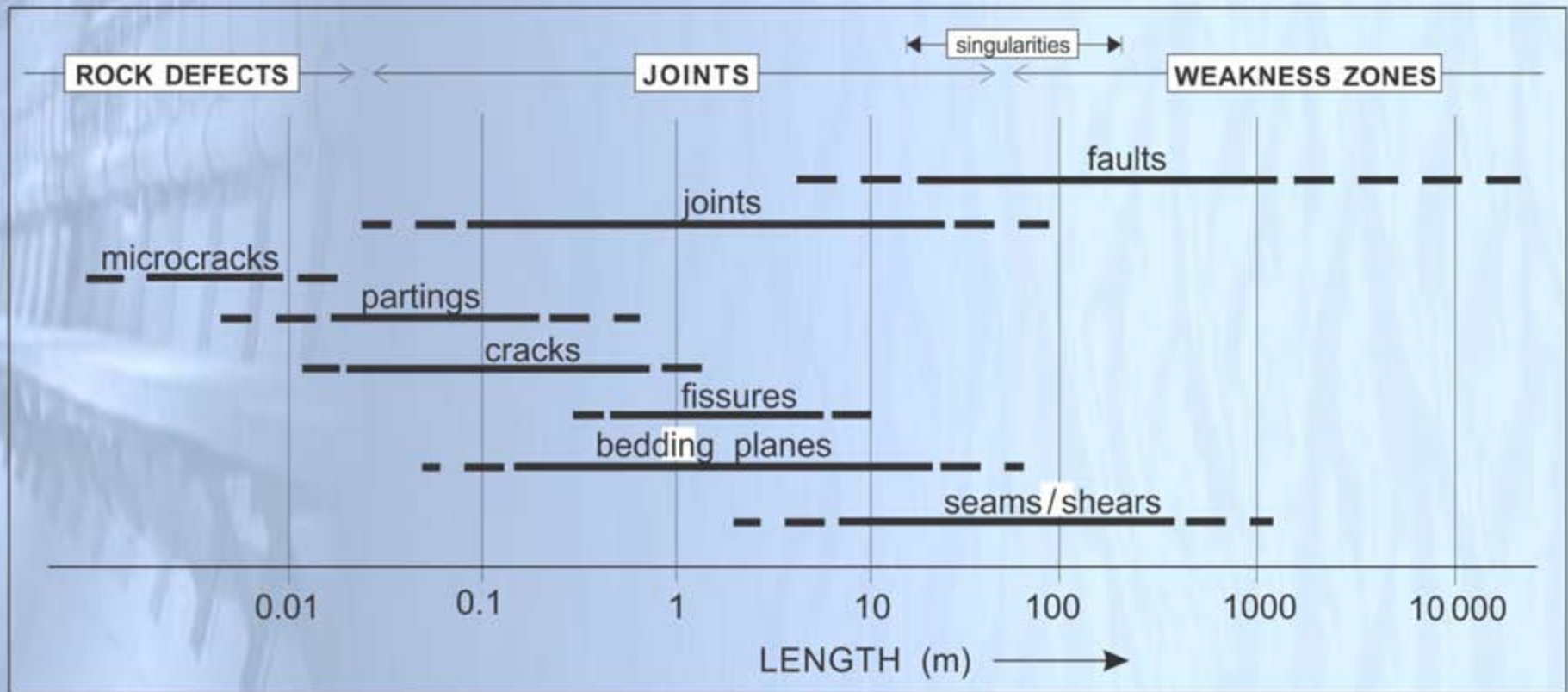
## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)







## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

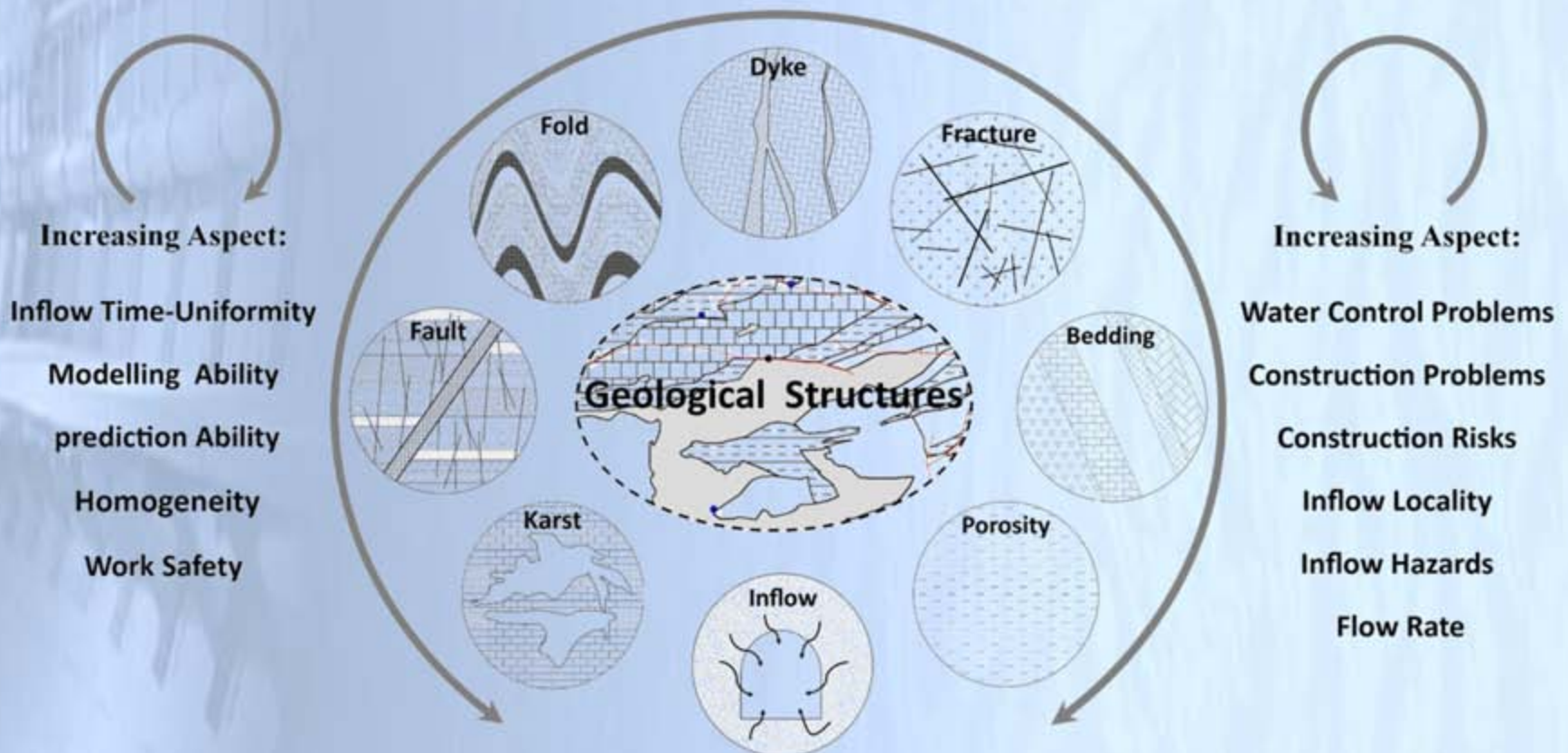
➤ ناپیوستگی ها (درزه، لایه بندی، فیشر، ترک و...)





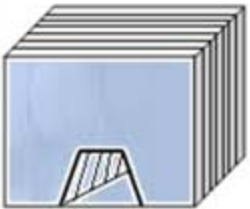
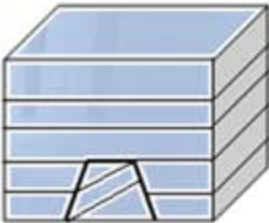
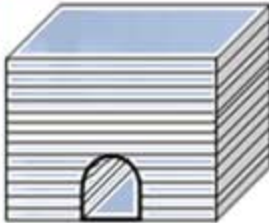
# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## ➤ ساختارهای زمین شناسی (گسل، چین خوردگی، دایک و...)



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

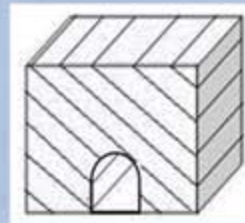
### ➤ ساختارهای زمین شناسی

	<p>در حالتی که محور تونل عمود بر سطح لایه بندی است، هر لایه به صورت تیری با دهانه ای برابر با عرض مقطع تونل عمل می کند از این حالت بهترین پایداری را می توان انتظار داشت.</p>
	<p>لایه های افقی با ضخامت مناسب، عملکردی شبیه به یک تیر ساده داشته و می توانند در دهانه های کوچک به خوبی پایدار باشند.</p>
	<p>فضاهای زیرزمینی بزرگتر، مخصوصاً اگر لایه ها کم ضخامت و درزه دار باشند نمی توانند توسط عملکرد بالا کاملاً پایدار باشند. در چنینی مواردی سقف قوسی تا حدی چاره ساز است.</p>

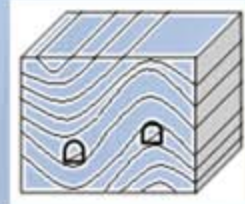


## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

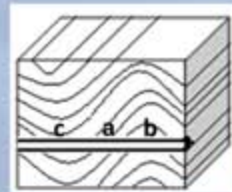
### ➤ ساختارهای زمین شناسی



لایه ها پرشیب اند و محور تونل به موازات امتداد لایه هاست. در چنین حالتی، کارآیی عملکرد قوسی محدود است. لایه‌های شیبدار در این جا فشاری نامتقارن بر نگهداری وارد کرده و احتمال ریزش را بیش تر می کنند. مسئله زمانی پیچیده تر می شود که سنگ درزه دار بوده و آب زیرزمینی مزاحم نیز وجود داشته باشد. چاره کار در این جا طراحی استحکامات داخلی مناسب برای تونل است.



در حالتی که مجبوریم تونل را به موازات امتداد لایه‌های شیب دار قرار دهیم بهتر است محل تاق‌دیس ها را انتخاب کنیم. چون در ناودیس‌ها تونل تحت تنش بیش تر و خطر هجوم آب قرار دارد.

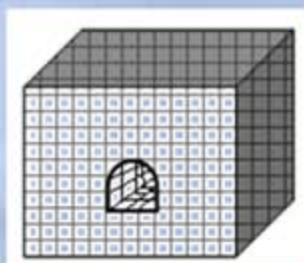


در شرایطی که محور تونل عمود بر امتداد لایه‌های شیبدار (تاق‌دیس و ناودیس) است:

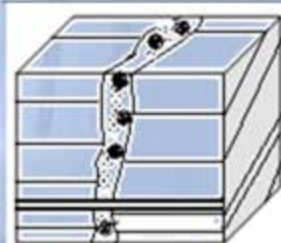
- انفجار سنگ و پیشروی در لایه‌هایی که به سمت داخل بخش حفاری شده تونل شیب دارند ( a ) ساده تر است اما احتمال لغزش قطعات سنگ نیز وجود دارد.
- در عبور از محور تاق‌دیس ها ( b ) حفاری با یک بخش سنگی گوه مانند و شکسته روبرو می‌شود.
- در عبور از ناودیس ( c ) احتمال نشست یا هجوم آب وجود دارد.

## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

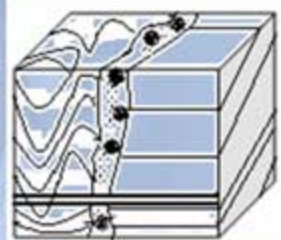
### ➤ ساختارهای زمین شناسی



طراحی نگهداری داخلی بخش‌هایی از تونل که توسط چند دسته درزه به قطعات مجزا تبدیل شده‌اند، باید پس از بررسی دقیق جهت یابی و دیگر مشخصات درزه‌ها انجام شود. این مسئله در مورد فضاهای زیرزمینی بزرگ یا در جاهایی که فاصله‌ی بین درزه‌ها و مقاومت برشی آن‌ها کم باشد از حساسیت و اهمیت بیشتری برخوردار است.



بخش‌های خرد شده، مخصوصاً محدوده برش‌های گسلی، معمولاً محل‌هایی سست و ریزشی و آبدارند. روش‌های پایدار نمودن در این گونه نقاط اغلب همان است که در مورد رسوبات ناپیوسته و خاک اعمال می‌شود.



تلفیق حالات فوق ممکن است اشکال بسیار متنوع، و گاه پیچیده‌ای را به وجود آورد. در چنین حالتی بهتر است طول مسیر تونل را به واحدهای ساختی مجزا تقسیم و هر یک از آنها را به طور جداگانه مورد بررسی قرار داد.



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ دلایل استفاده از سیستم نگهداری

➤ مفهوم نگهداری

➤ مفهوم پایداری

➤ مفهوم ناپایداری

➤ مفهوم ریزش





# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی

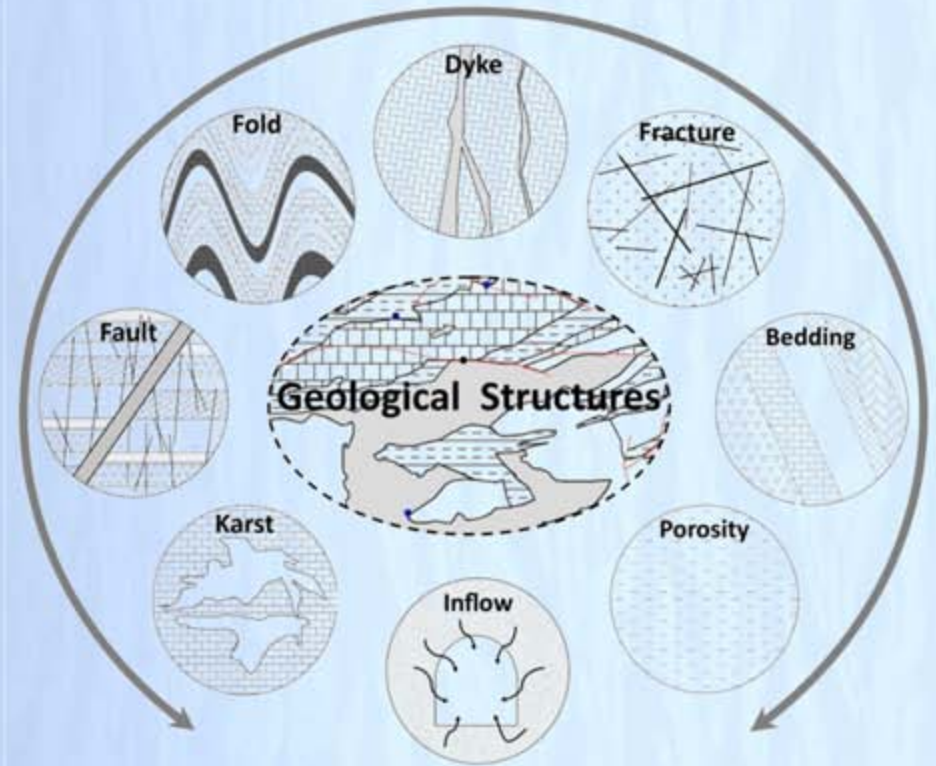
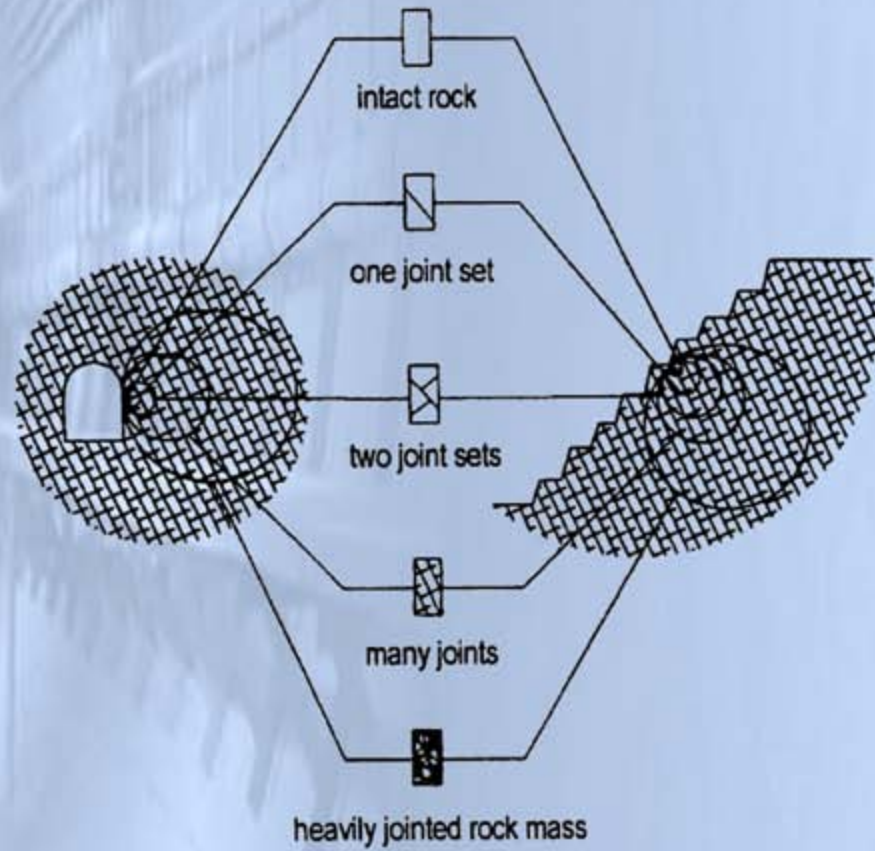


# رئوس مطالب

مقدمه 

# یادآوری

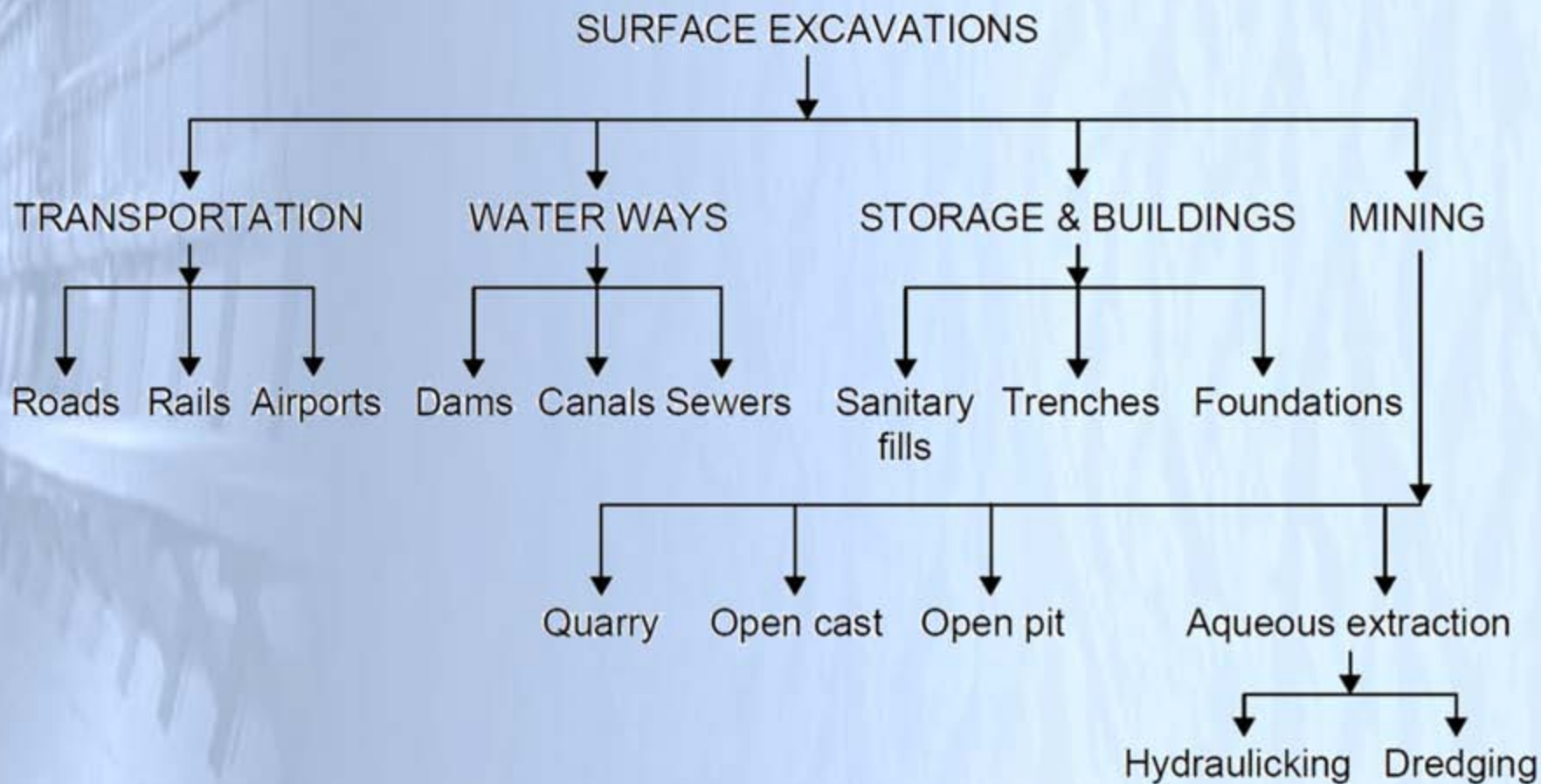
## ➤ سنگ بکر و توده سنگ





# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

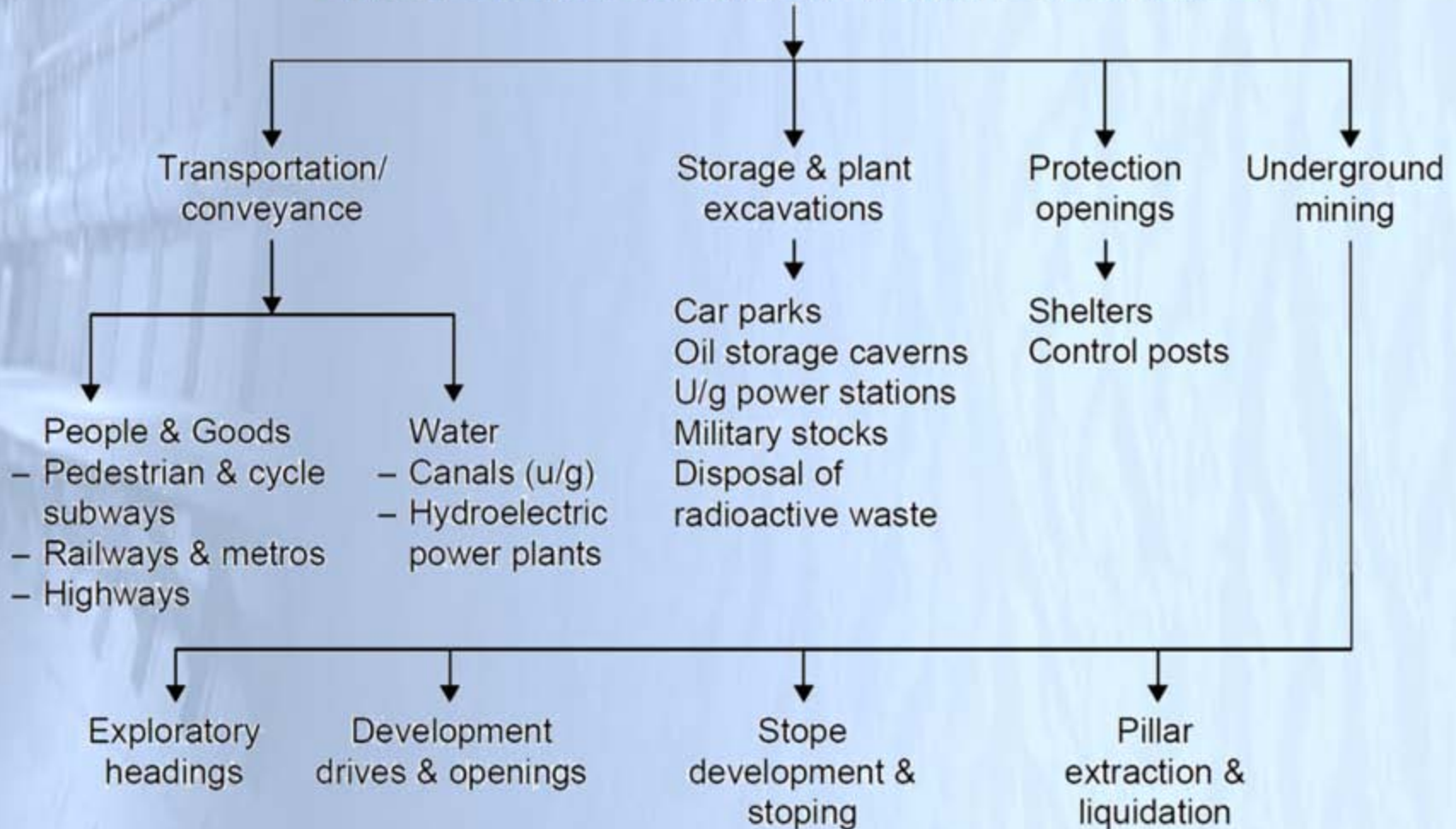
## ➤ انواع فضاهاى سطحى



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## ➤ انواع فضاهای زیرزمینی

### UNDERGROUND EXCAVATIONS (TUNNELS & OPENINGS)





## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ انواع کمیت ها

#### ➤ کمیت اسکالر

کمیتی که فقط دارای مقدار عددی (اندازه) است. مقدار یا اندازه کمیت های اسکالر مستقل از جهت (بردار) است. بطور مثال، کمیت هایی مثل دما، زمان، جرم، انرژی از نوع اسکالر هستند. لازم به ذکر است، کمیت های اسکالر معادل و یا هم ارز با تانسور درجه صفر هستند.

#### ➤ کمیت برداری

کمیتی که مقدار آن وابسته به جهت است. برای تعریف این نوع کمیت ها علاوه بر اینکه مقدار یا اندازه باید بیان شود، لازم است برای تعریف کمیت، جهت آن نیز تعریف و بیان شود. بعبارت دیگر، برای تعریف یک کمیت برداری، لازم است هم مقدار (اندازه عددی)، جهت قیمت نیز مشخص شود. بطور مثال، کمیت هایی نیرو، جابجایی، شتاب، از نوع کمیت برداری هستند. مقادیر این نوع کمیت ها بتفکیک مولفه های دستگاه کارتزین (و یا دستگاه قطبی) و در راستای محورهای اصلی مختصات  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  تعریف می شود. لازم به ذکر است، کمیت های برداری معادل و یا هم ارز با تانسور درجه یک هستند.

## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ انواع کمیت ها

#### ➤ کمیت تانسوری

کمیتی که برای تعریف آنها، علاوه بر مقدار یا اندازه عددی، جهت و صفحه اعمالی باید تعریف شوند. برای تعریف این نوع کمیت ها علاوه بر اینکه مقدار یا اندازه باید بیان شود، لازم است برای تعریف کمیت، جهت و همچنین صفحه ای که مقادیر بر آن اعمال می شود تعریف شود. بطور مثال، کمیت های تنش، کرنش، نفوذپذیری و ممان اینرسی از نوع کمیت تانسوری هستند. مقادیر این نوع کمیت ها بتفکیک مولفه های دستگاه کارتزین (و یا دستگاه قطبی) و در راستای محورهای اصلی مختصات  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  و همچنین در راستای شش صفحه اصلی مختصات شامل صفحات  $XX$ ،  $YY$ ،  $ZZ$ ،  $XY$ ،  $XZ$  و  $ZY$  تعریف می شود. این نوع کمیت ها، قیمت های با تانسور درجه ۲ نامیده می شوند.



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

➤ مفهوم تنش

➤ مفهوم فشار

- مقدار نیروی نرمال شده (مولفه قائم نیرو) بر واحد سطح
- کمیت اسکالر

$$P = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{ij} = \lim_{\Delta A_{ij} \rightarrow 0} \frac{\Delta F_{ij}}{\Delta A_{ij}}$$

$$\sigma_{ij} = \frac{dF_{ij}}{dA_{ij}}$$

➤ مفهوم تنش

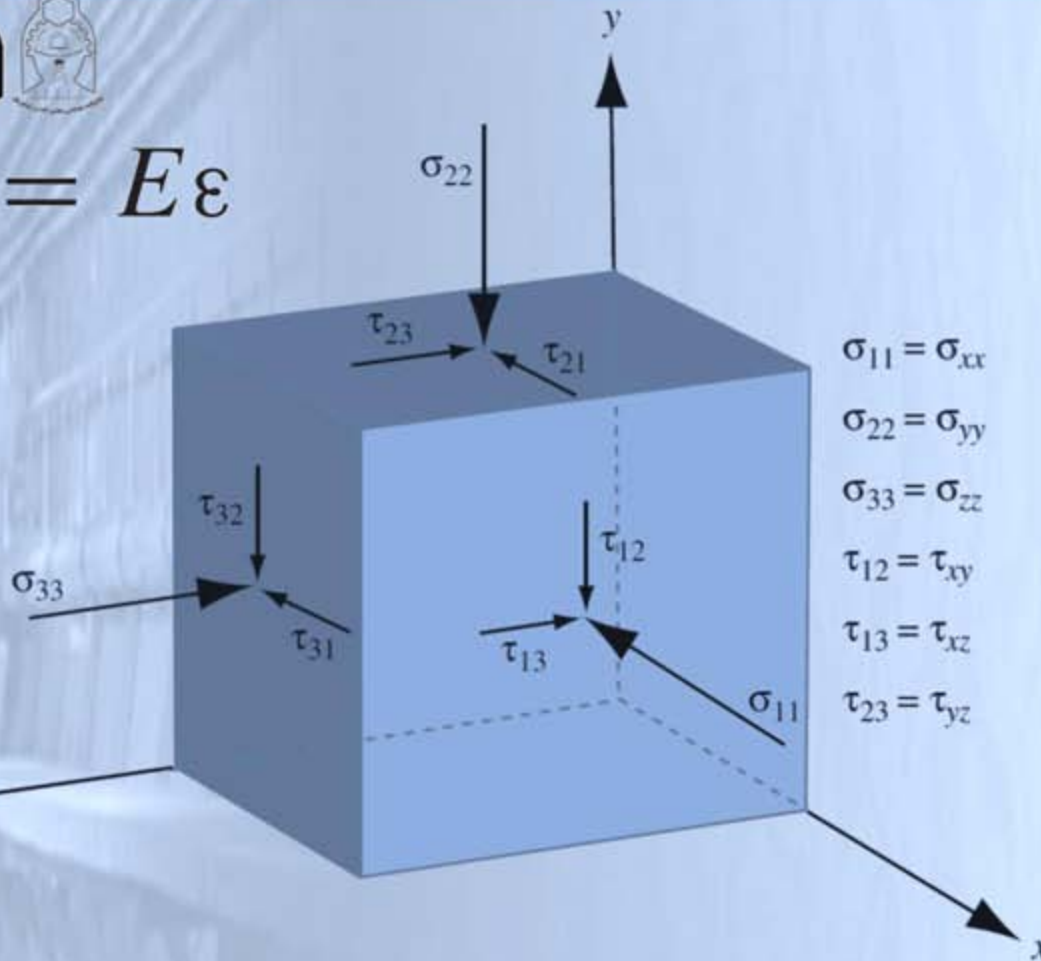
- بردار نیروی وارد بر واحد سطح
- کمیت تانسوری

# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## مفهوم تنش



$$\sigma = E \varepsilon$$



$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \sigma_{xx} \\ \sigma_{22} &= \sigma_{yy} \\ \sigma_{33} &= \sigma_{zz} \\ \tau_{12} &= \tau_{xy} \\ \tau_{13} &= \tau_{xz} \\ \tau_{23} &= \tau_{yz} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ \tau_{21} & \sigma_{22} & \tau_{23} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix}$$

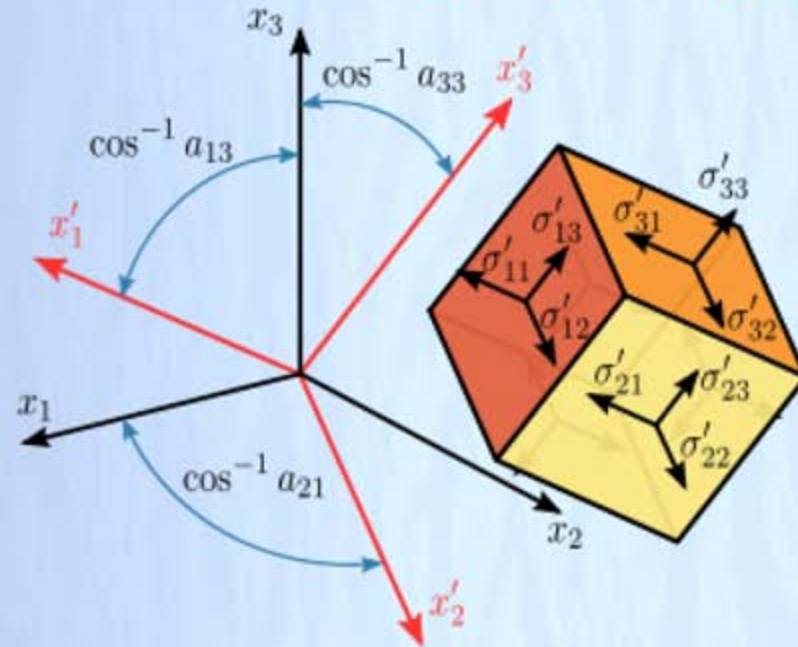
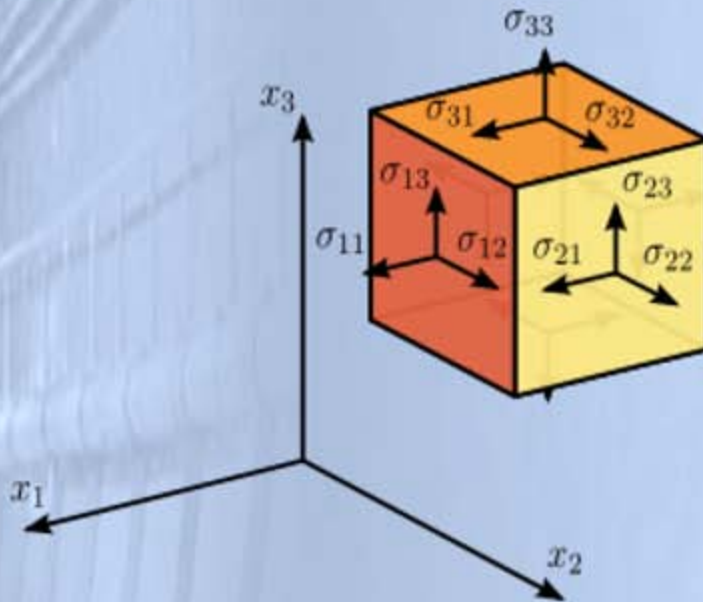
$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## مفهوم انتقال تنش

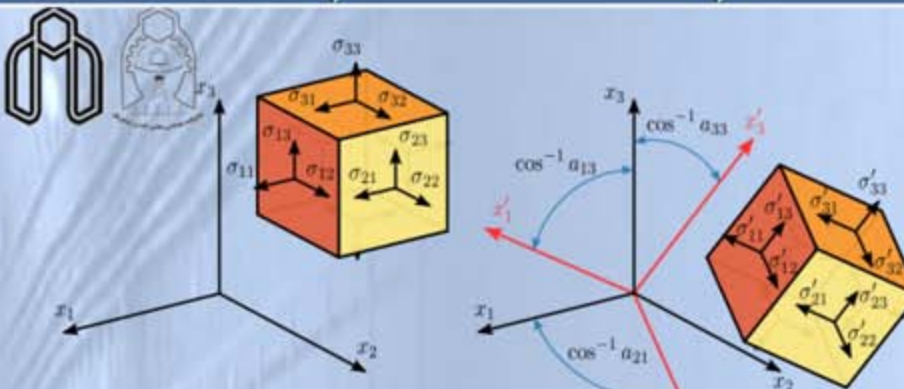


$$\sigma'_{ij} = a_{im} a_{jn} \sigma_{mn} \quad \text{or} \quad \boldsymbol{\sigma}' = \mathbf{A} \boldsymbol{\sigma} \mathbf{A}^T$$

$$\begin{bmatrix} \sigma'_{11} & \sigma'_{12} & \sigma'_{13} \\ \sigma'_{21} & \sigma'_{22} & \sigma'_{23} \\ \sigma'_{31} & \sigma'_{32} & \sigma'_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix}$$

# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## مفهوم انتقال تنش



$$\sigma'_{ij} = a_{im} a_{jn} \sigma_{mn} \quad \text{or} \quad \sigma' = \mathbf{A} \sigma \mathbf{A}^T$$

$$\begin{bmatrix} \sigma'_{11} & \sigma'_{12} & \sigma'_{13} \\ \sigma'_{21} & \sigma'_{22} & \sigma'_{23} \\ \sigma'_{31} & \sigma'_{32} & \sigma'_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix}$$

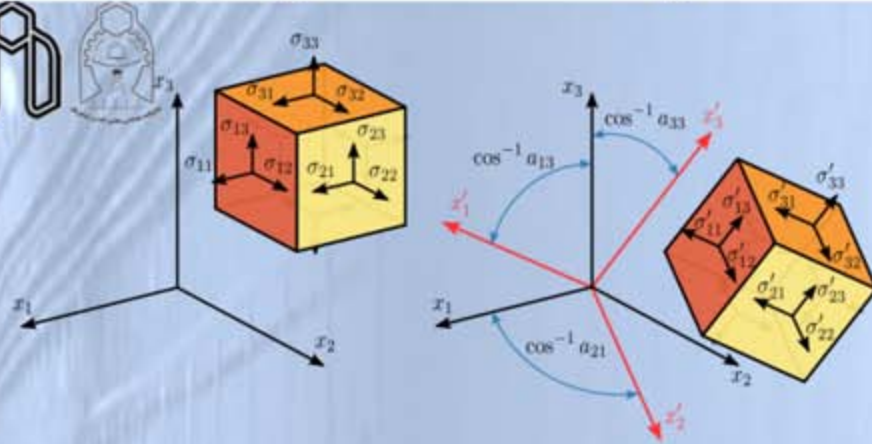
$$\begin{aligned} \sigma'_{11} &= a_{11}^2 \sigma_{11} + a_{12}^2 \sigma_{22} + a_{13}^2 \sigma_{33} + 2a_{11}a_{12}\sigma_{12} + 2a_{11}a_{13}\sigma_{13} + 2a_{12}a_{13}\sigma_{23}, \\ \sigma'_{22} &= a_{21}^2 \sigma_{11} + a_{22}^2 \sigma_{22} + a_{23}^2 \sigma_{33} + 2a_{21}a_{22}\sigma_{12} + 2a_{21}a_{23}\sigma_{13} + 2a_{22}a_{23}\sigma_{23}, \\ \sigma'_{33} &= a_{31}^2 \sigma_{11} + a_{32}^2 \sigma_{22} + a_{33}^2 \sigma_{33} + 2a_{31}a_{32}\sigma_{12} + 2a_{31}a_{33}\sigma_{13} + 2a_{32}a_{33}\sigma_{23}, \\ \sigma'_{12} &= a_{11}a_{21}\sigma_{11} + a_{12}a_{22}\sigma_{22} + a_{13}a_{23}\sigma_{33} \\ &\quad + (a_{11}a_{22} + a_{12}a_{21})\sigma_{12} + (a_{12}a_{23} + a_{13}a_{22})\sigma_{23} + (a_{11}a_{23} + a_{13}a_{21})\sigma_{13}, \\ \sigma'_{23} &= a_{21}a_{31}\sigma_{11} + a_{22}a_{32}\sigma_{22} + a_{23}a_{33}\sigma_{33} \\ &\quad + (a_{21}a_{32} + a_{22}a_{31})\sigma_{12} + (a_{22}a_{33} + a_{23}a_{32})\sigma_{23} + (a_{21}a_{33} + a_{23}a_{31})\sigma_{13}, \\ \sigma'_{13} &= a_{11}a_{31}\sigma_{11} + a_{12}a_{32}\sigma_{22} + a_{13}a_{33}\sigma_{33} \\ &\quad + (a_{11}a_{32} + a_{12}a_{31})\sigma_{12} + (a_{12}a_{33} + a_{13}a_{32})\sigma_{23} + (a_{11}a_{33} + a_{13}a_{31})\sigma_{13}. \end{aligned}$$



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## مفهوم تنش های اصلی

$$\sigma'_{ij} = a_{im} a_{jn} \sigma_{mn} \quad \text{or} \quad \sigma' = \mathbf{A} \sigma \mathbf{A}^T$$



$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$I_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1$$

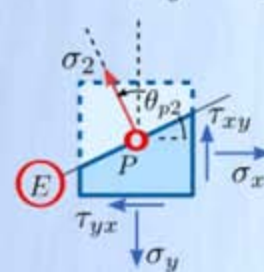
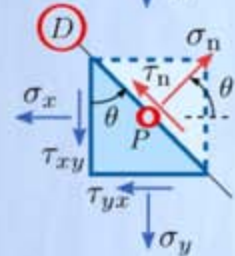
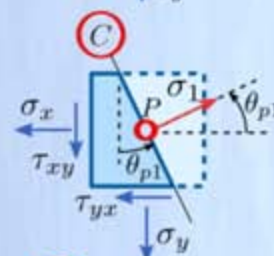
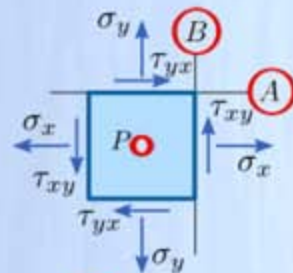
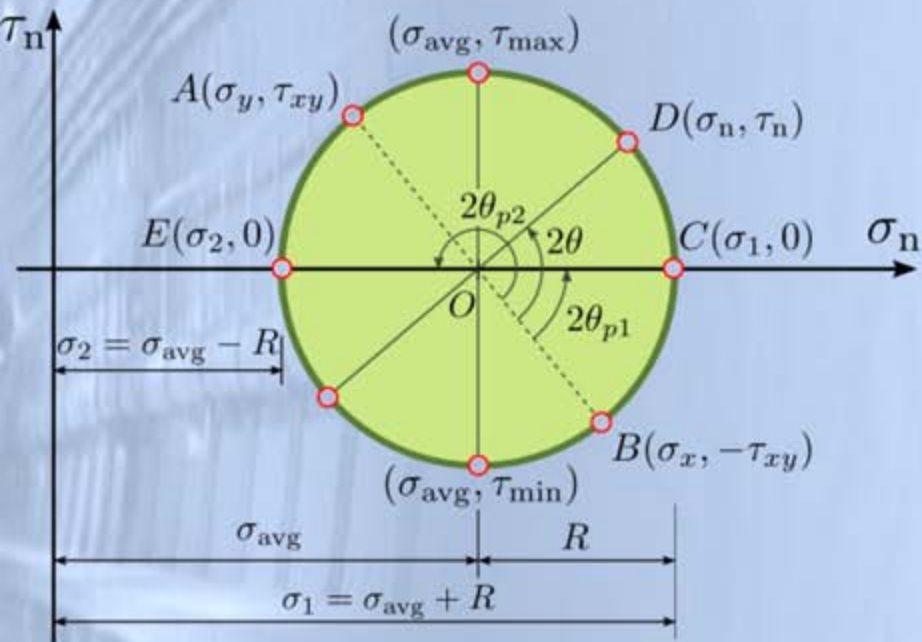
$$I_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{max}, \tau_{min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$



# مفهوم تنش های اصلی و انتقال تنش در فضای دو بعدی



$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{max}, \tau_{min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_n = -\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

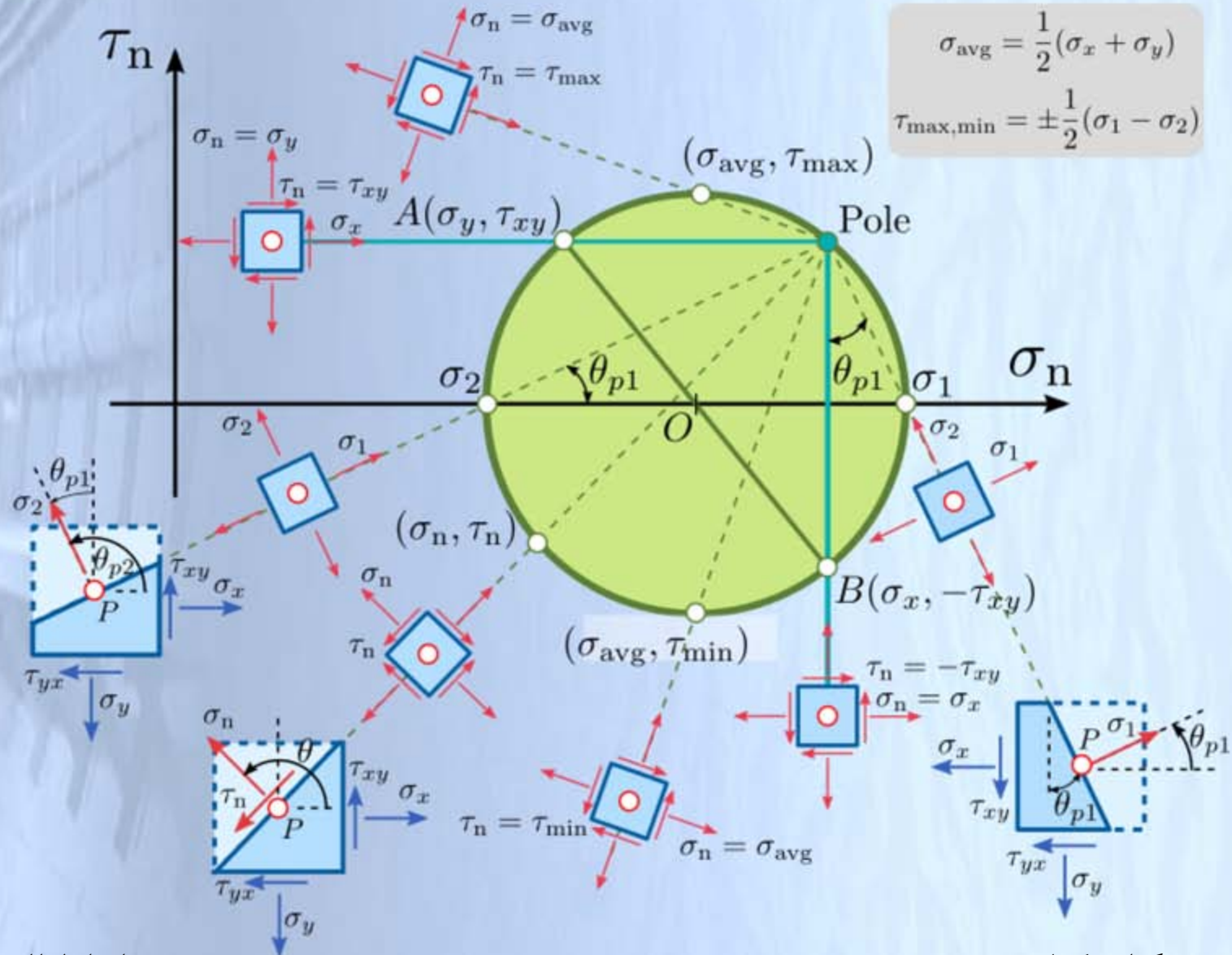
$$R = \sqrt{\left[\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\right]^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{avg} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \quad \tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$





# مفهوم تنش های اصلی و انتقال تنش در فضای دو بعدی

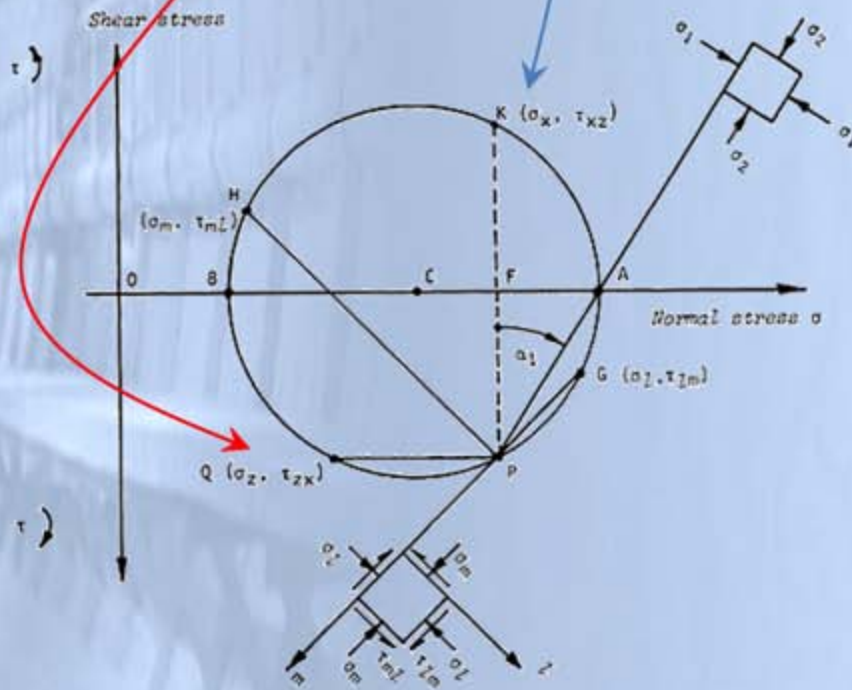




DATA :



# مفهوم تنش های اصلی و انتقال تنش در فضای دو بعدی



$$\begin{aligned}
 OF &= \sigma_x & FK &= \tau_{xz} \\
 OC &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) \\
 OA &= \sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau_{zx}^2} \\
 OB &= \sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) - \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau_{zx}^2} \\
 \tan 2\theta &= (\sigma_1 - \sigma_x) / \tau_{zx}
 \end{aligned}$$



## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ مفهوم پایداری **STABILITY**

#### ➤ مفهوم نیروها و ممان

- نیروی فعال یا وارده --- ممان وارده
- نیروی مقاوم --- ممان مقاوم

#### ➤ مفهوم تعادل

- تعادل نیرو
- تعادل ممان

#### ➤ مفهوم مقاومت

- مقاومت در برابر نیرو و تنش
- مقاومت در برابر ممان  $I$

#### ➤ مفهوم ضریب ایمنی

#### ➤ تعادل استاتیکی و دینامیکی

گشتاور یا ممان

$$\tau = rF$$

ممان اینرسی مقطع: مجموع جرم هر بخش (المان) در فاصله آن از محور چرخش به توان دو

$$I = bh^3$$

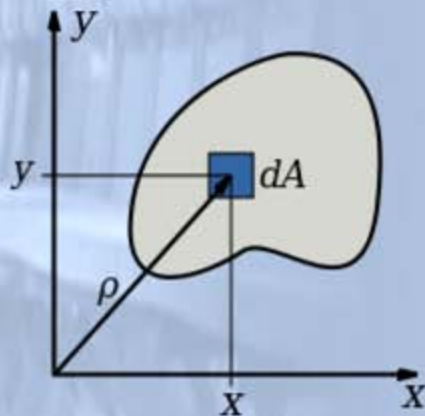


## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ مفهوم ممان اینرسی

ممان اینرسی مقطع:

مجموع جرم هر بخش (المان) در فاصله آن از محور چرخش به توان دو



ممان اینرسی حول محور X

$$I_x = \int_S y^2 dA = \iint_S y^2 dx dy$$

ممان اینرسی حول محور Y

$$I_y = \int_S x^2 dA = \iint_S x^2 dx dy$$



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

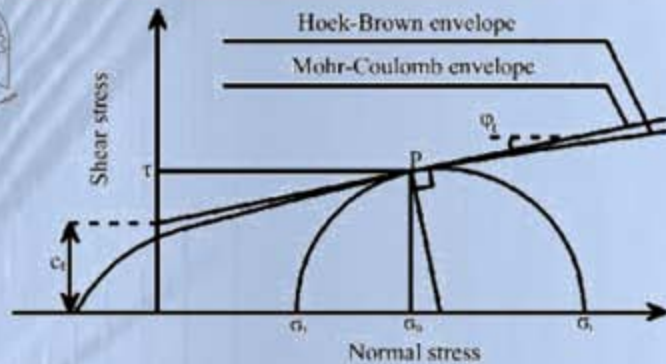
## مفهوم ممان اینرسی

Properties of Plane Figures

Shape	Figure	Centroid	Area Moment of Inertia
Rectangular Area		-	$I_x = \frac{ab^3}{3}$ $I_y = \frac{ab^3}{12}$ $J = \frac{ab}{12}(a^2 + b^2)$
Triangular Area		$\bar{x} = \frac{a+b}{3}$ $\bar{y} = \frac{h}{3}$	$I_x = \frac{ah^3}{12}$ $I_y = \frac{ah^3}{36}$ $I_{x_1} = \frac{ah^3}{4}$
Quarter Circular Area		$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$	$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{16}$ $J = \frac{\pi r^4}{8}$
Area of Circular Sector		$\bar{x} = \frac{2r \sin \alpha}{3 \alpha}$	$I_x = \frac{r^4}{4} \left( \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)$ $I_y = \frac{r^4}{4} \left( \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)$ $J = \frac{1}{2} r^4 \alpha$
Area of Elliptical Quadrant		$\bar{x} = \frac{4a}{3\pi}$ $\bar{y} = \frac{4b}{3\pi}$	$I_x = \frac{\pi ab^3}{16}$ $I_y = \frac{\pi a^3 b}{16}$ $J = \frac{\pi ab}{16}(a^2 + b^2)$

# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## مفهوم مقاومت و معیار شکست

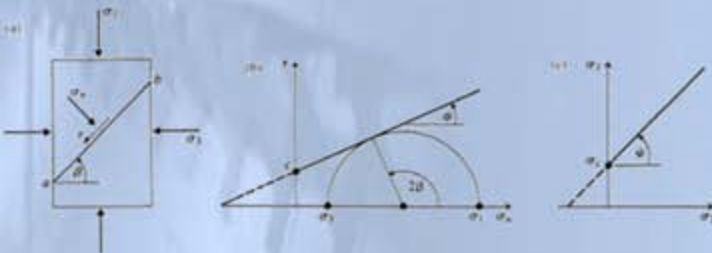


### Mohr-Coulomb CRITERION

$$\tau = c' + \sigma \tan \phi'$$

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3$$

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$



### HOEK-BROWN CRITERION

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

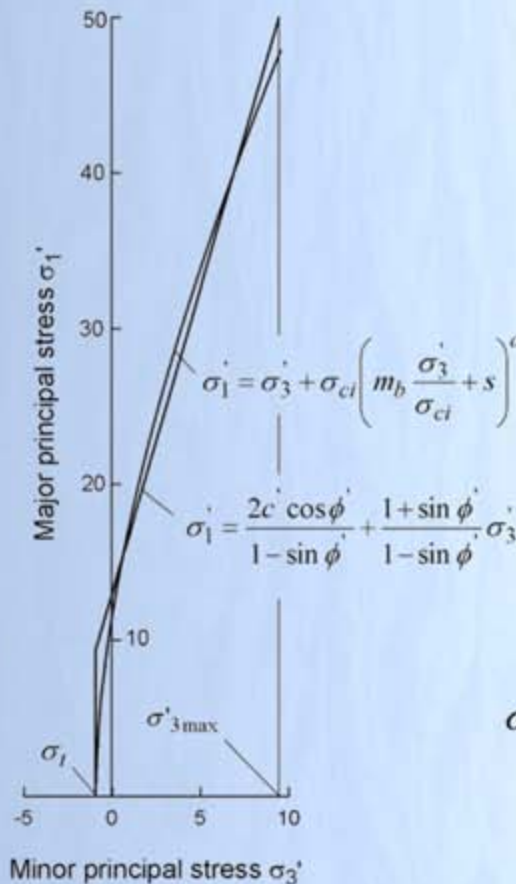
$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$







## مقدمه و آشنایی با مفاهیم

### ➤ مفهوم ناپایداری

- جابجایی
- جمع شدگی و جابجایی بیش از حد
- ریزش غیر آنی
- ریزش آنی
- نوع ناپایداری به رفتار سنگ و وضعیت تنش ها وابسته است:
- تورم یا آماس، لهیدگی، سقوط سنگ، جمع شدگی، انفجار سنگ و....

# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## ➤ مفهوم ناپایداری

➤ نوع ناپایداری به رفتار سنگ و وضعیت تنش ها وابسته است:

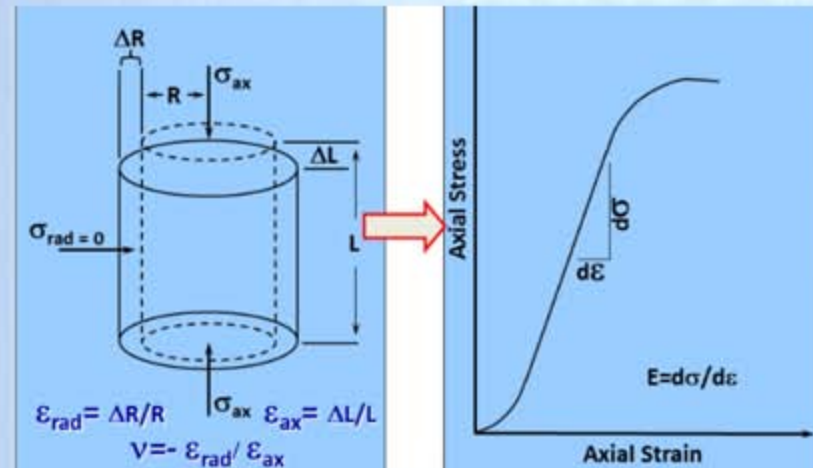
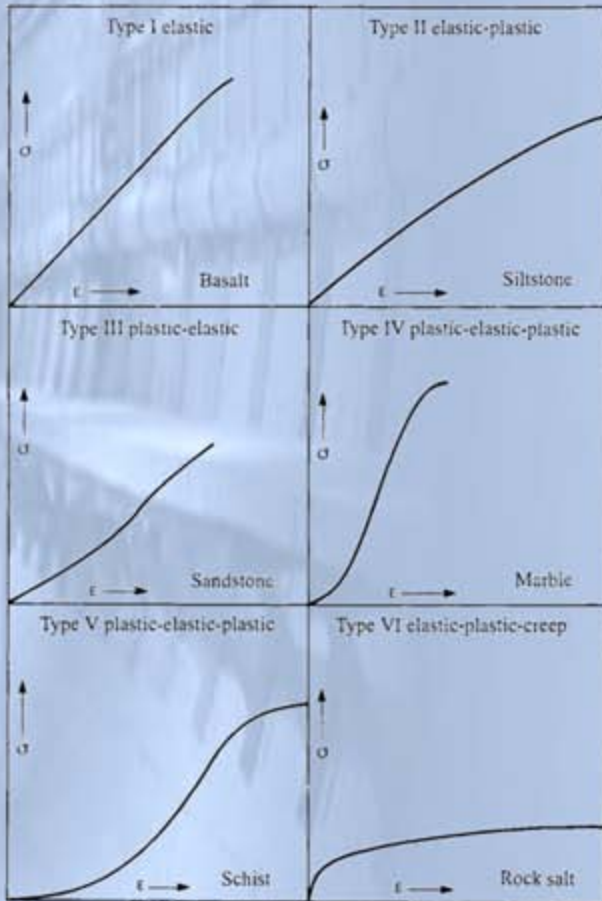

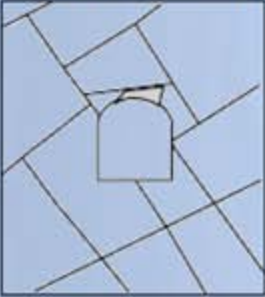


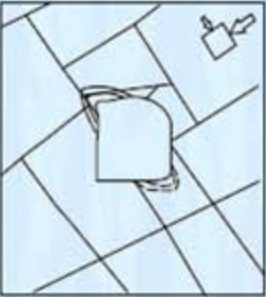


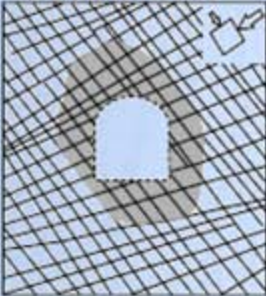




Figure 1.16 Typical stress–strain curves for rock in uniaxial compression loaded to failure (after Deger and Miller 1966)



# مقدمه و آشنایی با مفاهیم

## مفهوم ناپایداری

<p><b>STABLE</b></p>  <p>Elastic response of the rocks around the opening</p>	<p><b>BLOCK FALL(S)</b></p>  <p>Falling or sliding of blocks and wedges</p>	<p><b>CAVE-IN</b></p>  <p>Localized brittle failure of intact rock and unravelling along discontinuities</p>	<p><b>BUCKLING</b></p>  <p>Loosening of rock fragments along foliation or layering</p>	<p><b>RUPTURING</b></p>  <p>Localized brittle failure of intact rock and movement of blocks</p>
<p><b>SLABBING</b></p>  <p>Brittle failure adjacent to excavation boundary</p>	<p><b>ROCK BURST</b></p>  <p>Brittle failure around the excavation</p>	<p><b>PLASTIC BEHAVIOUR</b></p>  <p>Initial squeezing or swelling of rocks.</p>	<p><b>SQUEEZING or SWELLING GROUND</b></p>  <p>Squeezing rocks and swelling rocks. Elastic/plastic continuum</p>	<p><b>SWELLING CLAY</b></p>  <p>Swelling of clay seams in blocky rocks</p>





## مفهوم ناپایداری







## مفهوم ناپایداری



مرئضی جوادی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین





# مفهوم ناپایداری







## مفهوم ناپایداری

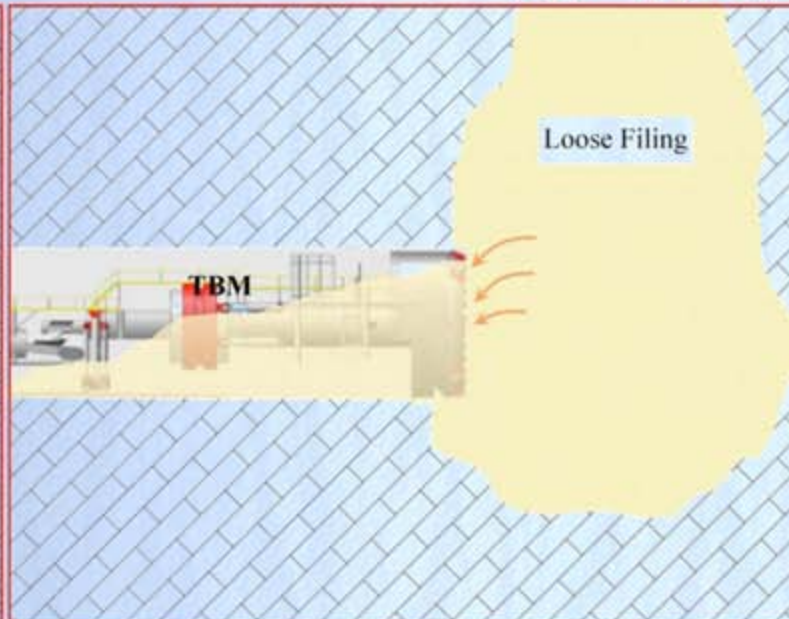
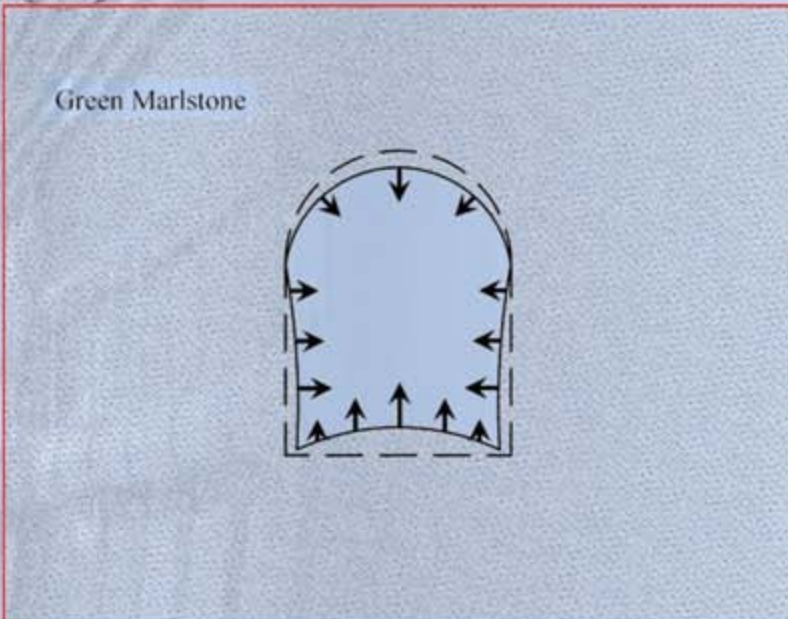


مرتضی جوادی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# مفهوم ناپایداری



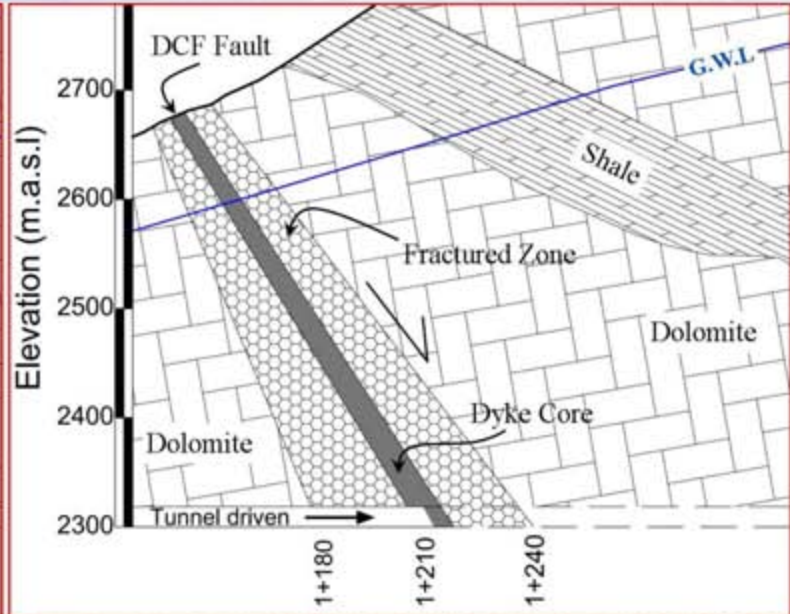
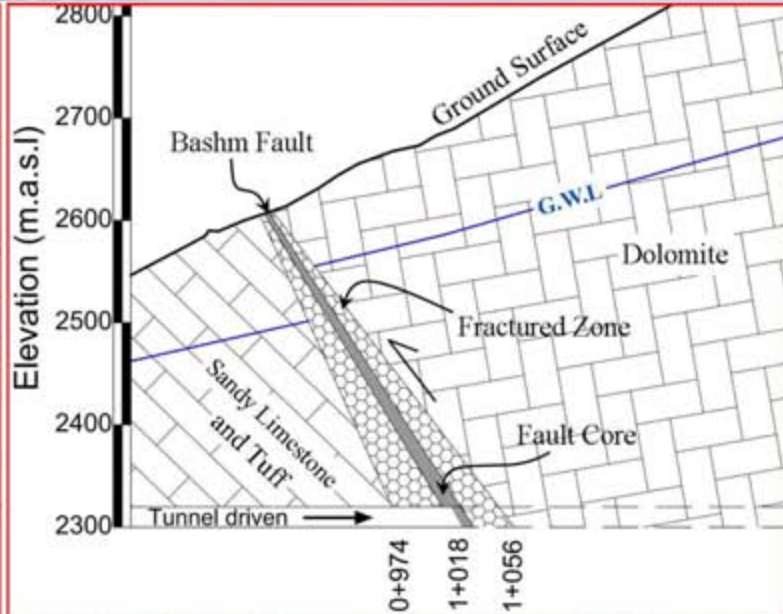




## مفهوم ناپایداری



# مفهوم ناپایداری





# مفهوم ناپایداری



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲) برخی از ریزش های ایجاد شده در اثر حفاری تونل های شهری در تهران، الف) تونل شهری توحید، ب) تونل خط ۳ مترو در حوالی پادگان قلعه مرغی، ج) تونل مترو جنوب میدان منیریه، د) خط ۱ مترو خ شریعتی  
مرتضی جوادی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



## مفهوم ناپایداری







# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی



## رئوس مطالب

➤ مقدمه

➤ تنش های برجا

➤ توزیع تنش در اطراف فضای زیرزمینی بدون نگهداری در محیط

الاستیک

➤ کاربرد توزیع تنش در انتخاب سطح مقطع فضای زیرزمینی

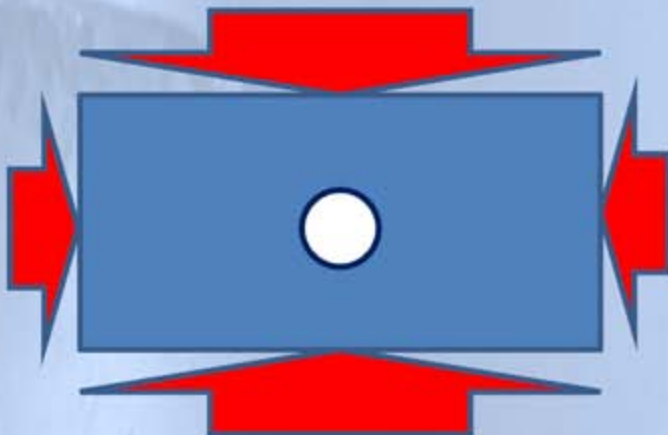
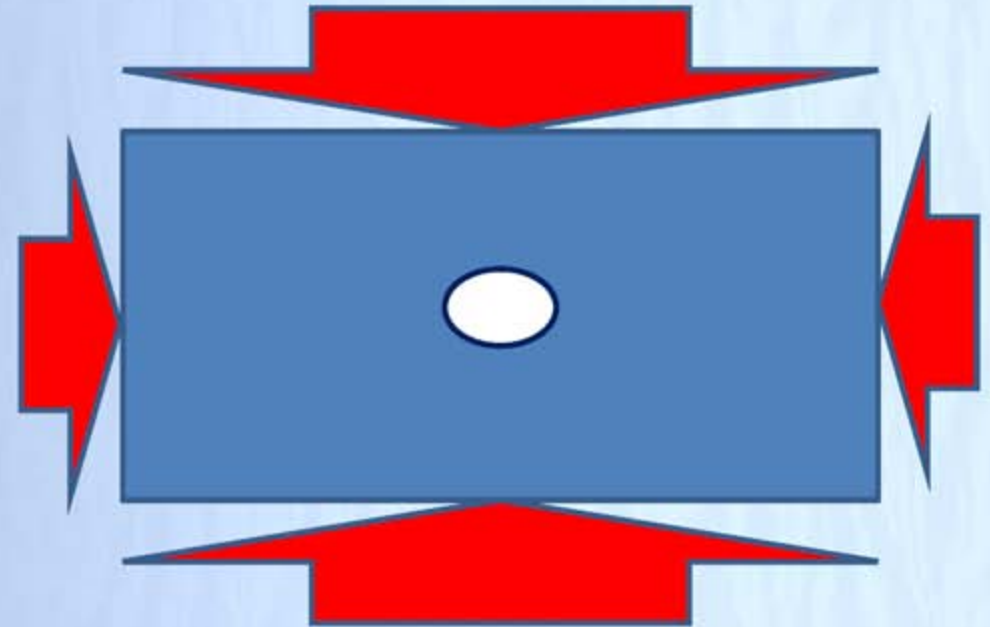
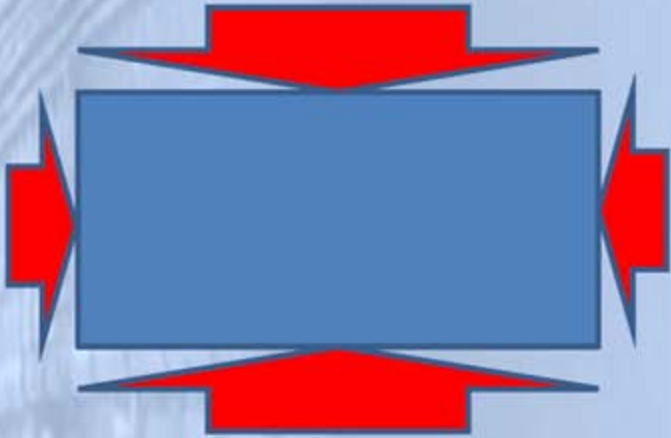




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم آزادسازی تنش





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم آزادسازی تنش



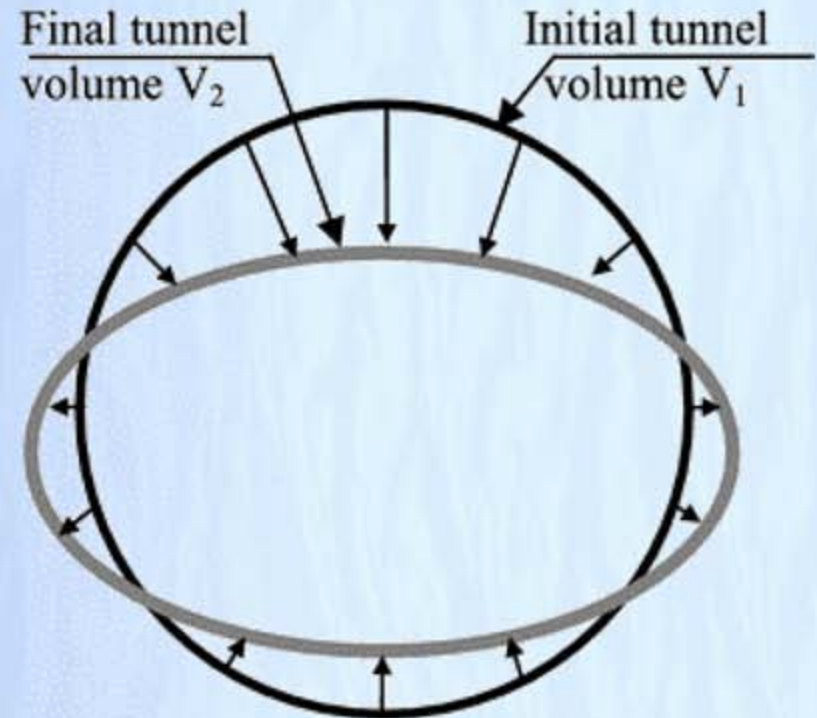
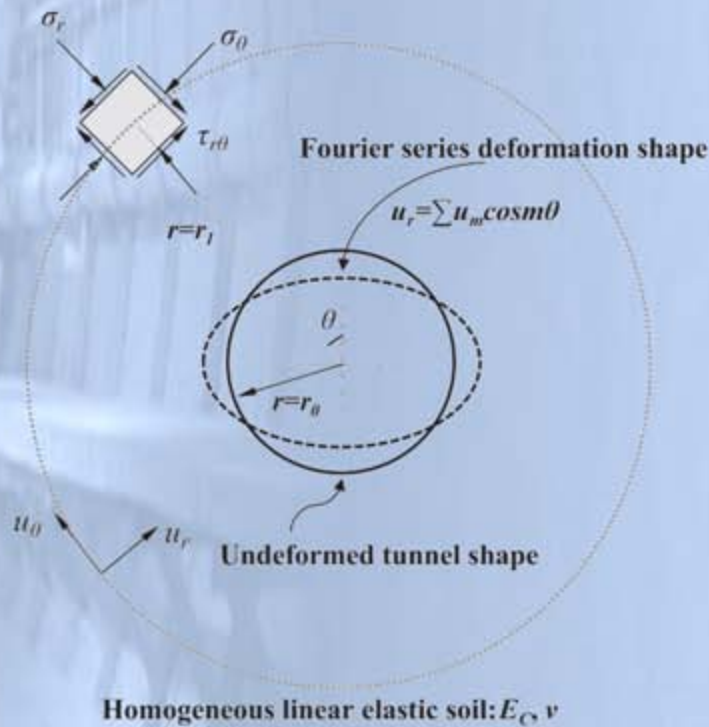




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم آزادسازی تنش



Volume loss  $V_l = (V_1 - V_2) / V_1 \cdot 100 (\%)$

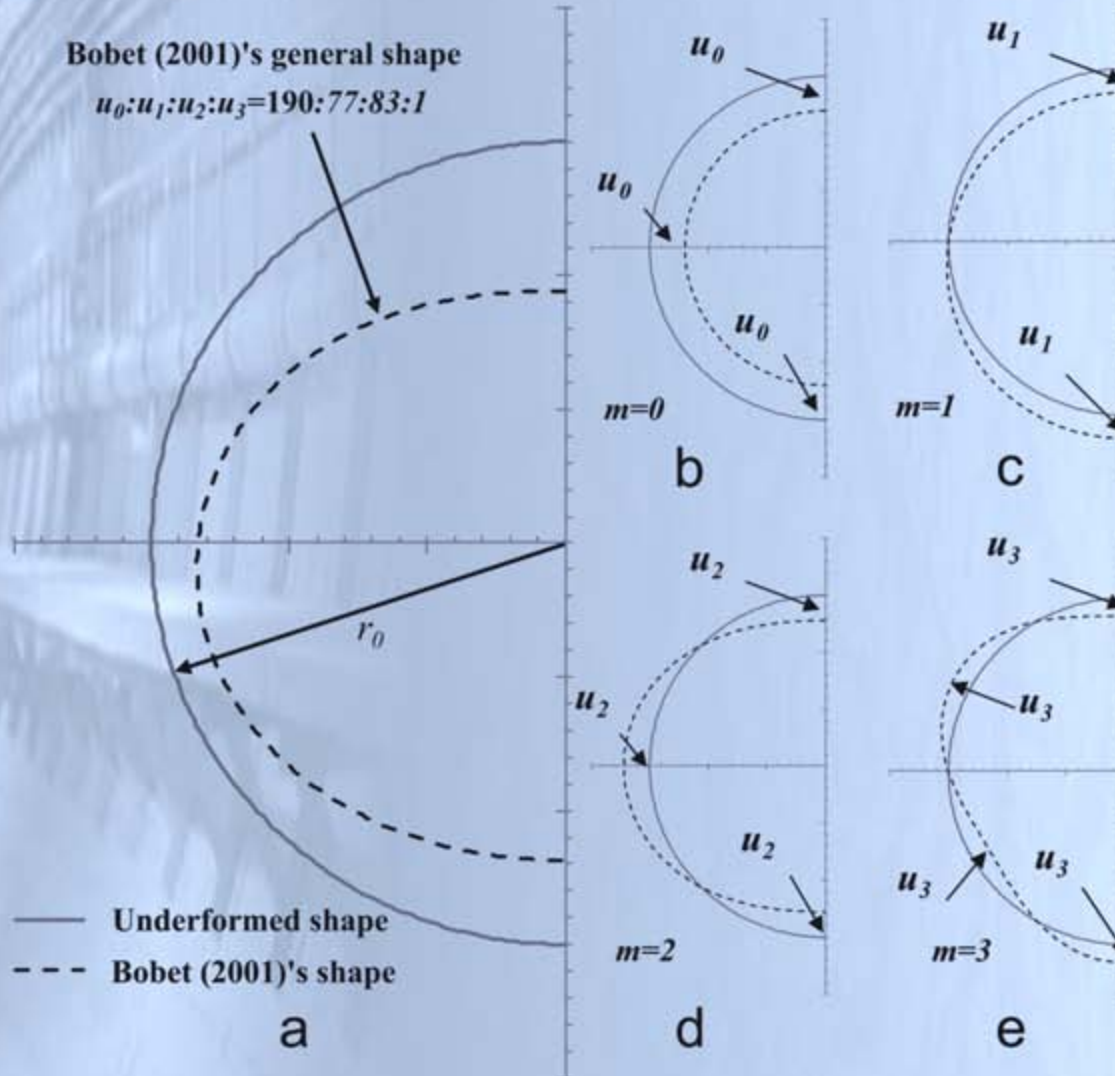
جابجایی همراه با کاهش حجم تونل هستند



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم جابجایی







## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

### ➤ تنش های اولیه *In situ stress*

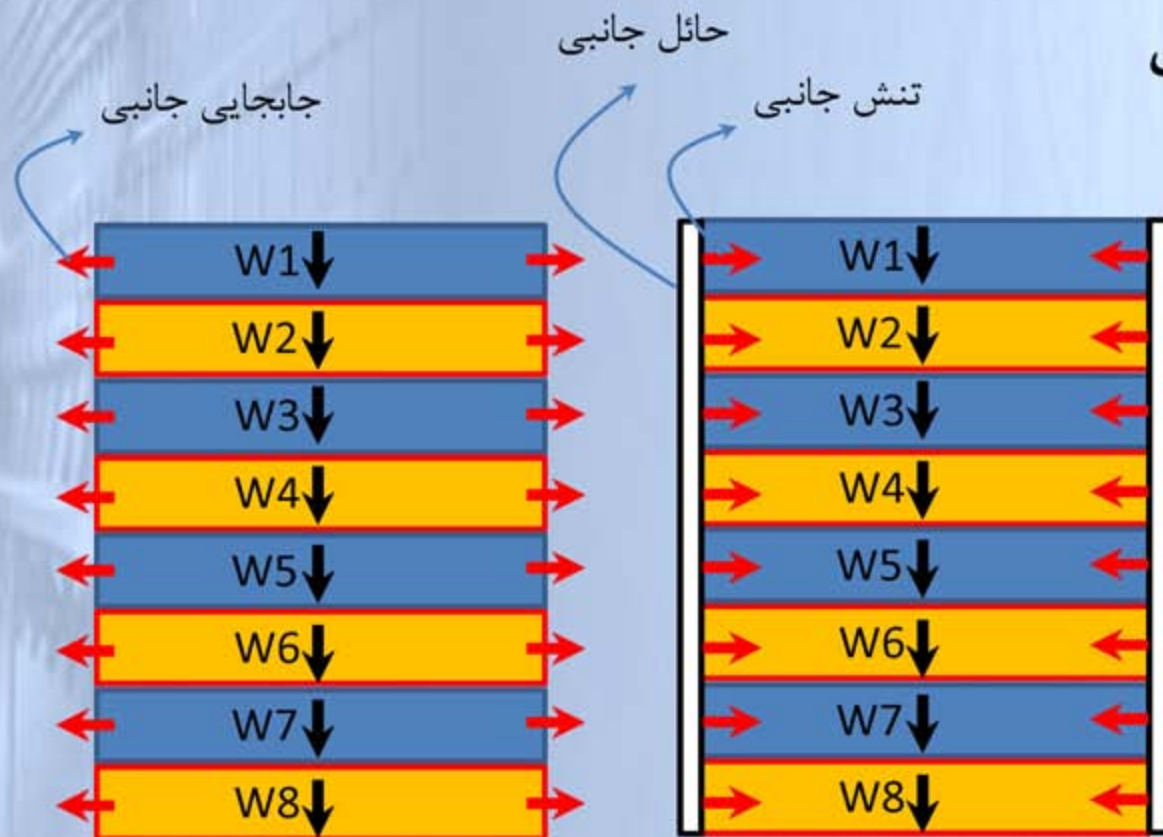
- در زیر سطح زمین، تنش های اولیه وجود دارد. منشأ این تنش ها:
- وزن لایه ها و طبقات فوقانی
- تنش های ناشی از فعالیت های تکتونیکی



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

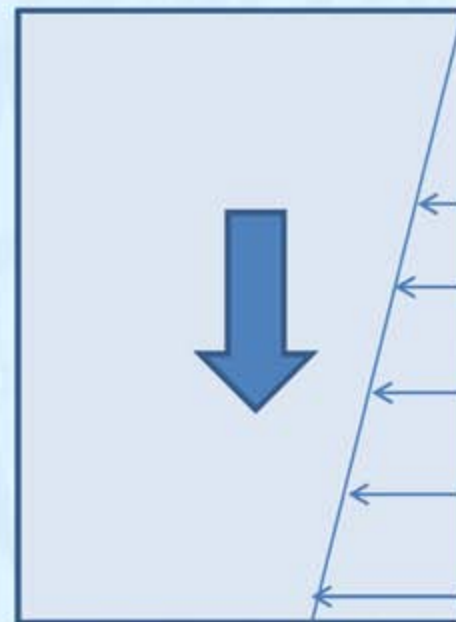
➤ تنش های اولیه **In situ stress**

➤ وزن لایه ها و طبقات فوقانی



Lateral Deformation

Fix of Lateral Deformation







# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه *In situ stress*

### ➤ وزن لایه ها و طبقات فوقانی

$$W_{total} = \sum_{i=1}^n W_i$$

$$W_i = Area_i z_i \gamma_i$$

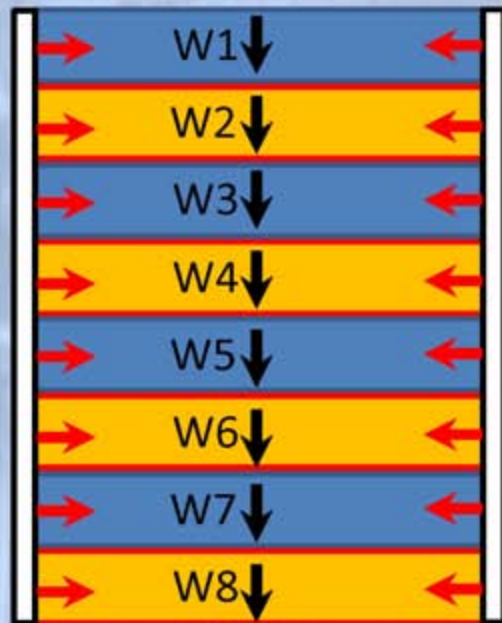
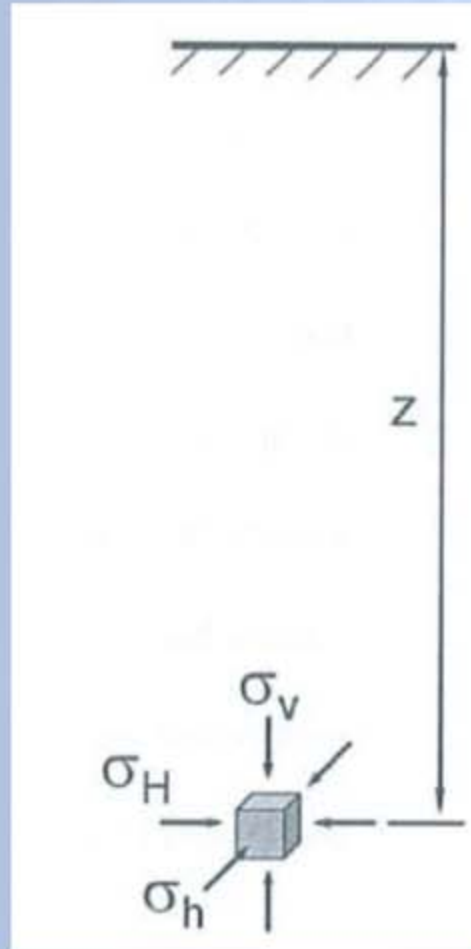
$$W_i / Area_i = z_i \gamma_i$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot z$$

$\sigma_v$  is the vertical stress

$\gamma$  is the unit weight of the overlying rock

$z$  is the depth below surface



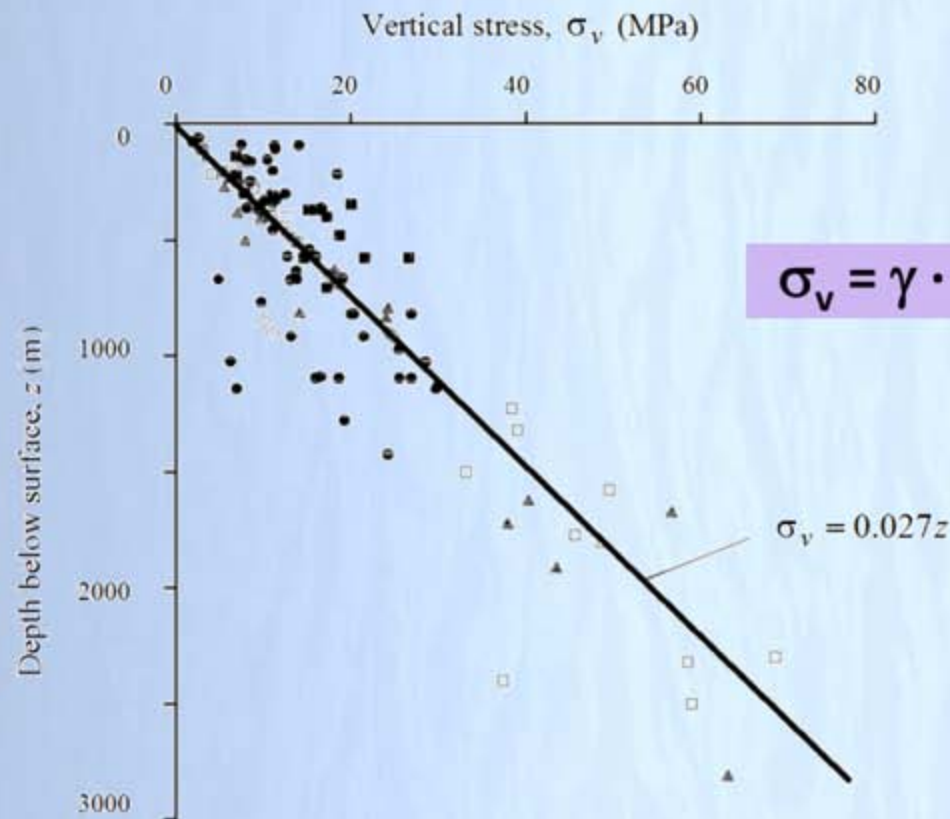
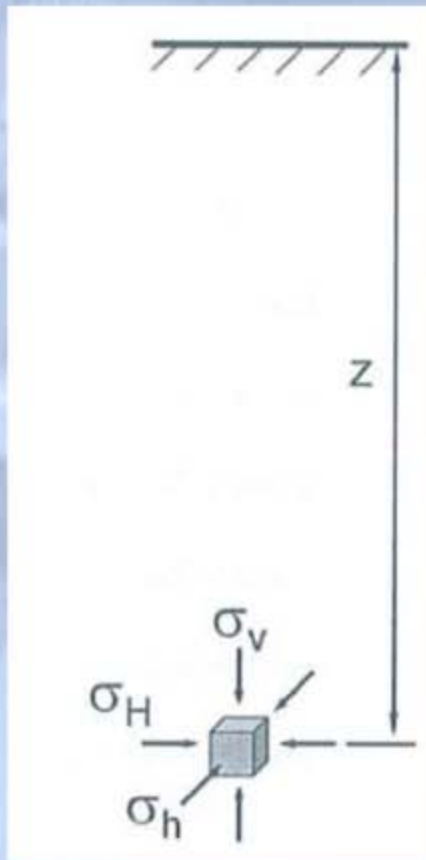
Fix of Lateral Deformation



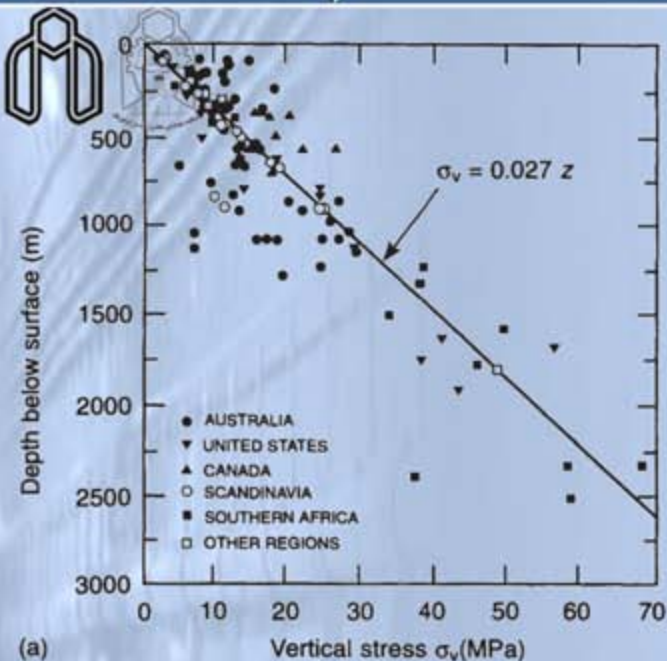
# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ تنش های اولیه **In situ stress**

➤ وزن لایه ها و طبقات فوقانی







(a)

## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ تنش های اولیه **In situ stress**

➤ وزن لایه ها و طبقات فوقانی

## Variation of vertical stress component with depth

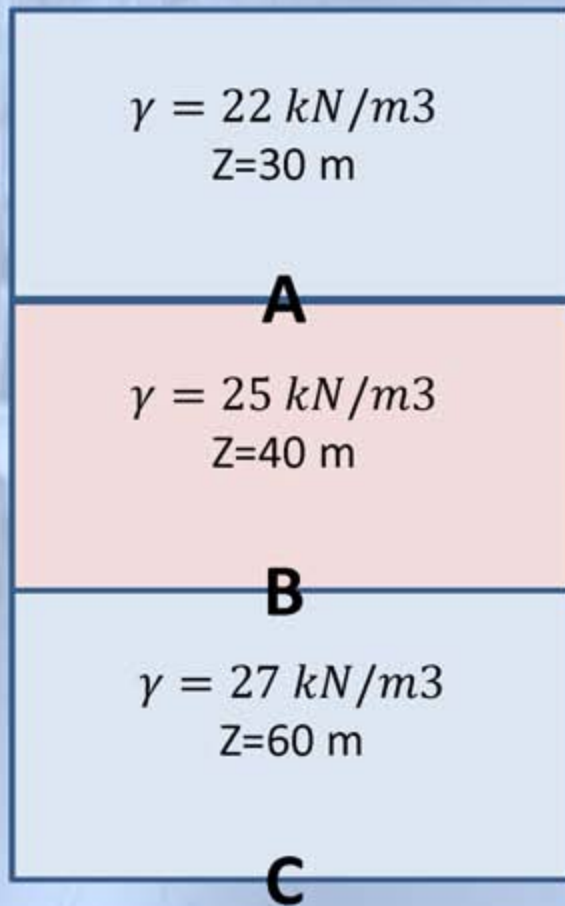
References	Variation of vertical stress $\sigma_v$ (MPa) with depth $z$ (m)	Location and depth range (m)
Herget (1974)	$(1.9 \pm 1.26) + (0.0266 \pm 0.0028)z$	World data (0–2400)
Lindner and Halpern (1977)	$(0.942 \pm 1.31) + (0.0339 \pm 0.0067)z$	North America (0–1500)
Brown and Hoek (1978)	$0.027z$	World data (0–3000)
McGarr and Gay (1978)	$0.0265z$	World data (100–3000)
Herget (1987)	$0.026z - 0.0324z$	Canadian Shield (0–2200)
Arjang (1989)	$(0.0266 \pm 0.008)z$	Canadian Shield (0–2000)
Baumgärtner <i>et al.</i> (1993)	$(0.0275 - 0.0284)z$	KTB pilot hole (800–3000)
Herget (1993)	$0.0285z$	Canadian Shield (0–2300)
Sugawara and Obara (1993)	$0.027z$	Japanese Islands (0–1200)
Te Kamp, Rummel and Zoback (1995)	$(0.0275 - 0.0284)z$	KTB hole (0–9000)
Lim and Lee (1995)	$0.233 + 0.024z$	South Korea (0–850)



## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ تنش های اولیه **In situ stress**

➤ مثال: محاسبه تنش قائم در نقاط A و B و C







## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ تنش های اولیه **In situ stress**

➤ تنش های افقی

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v = k \cdot \gamma \cdot z$$

$$k = \sigma_h / \sigma_v$$

➤ برای محیط الاستیک بدون فعالیت تکتونیکی

$$K_0 = \nu / (1 - \nu)$$

$\nu$  is the rock's Poisson's ratio

نسبت پواسون از صفر تا نیم  
K از صفر تا یک

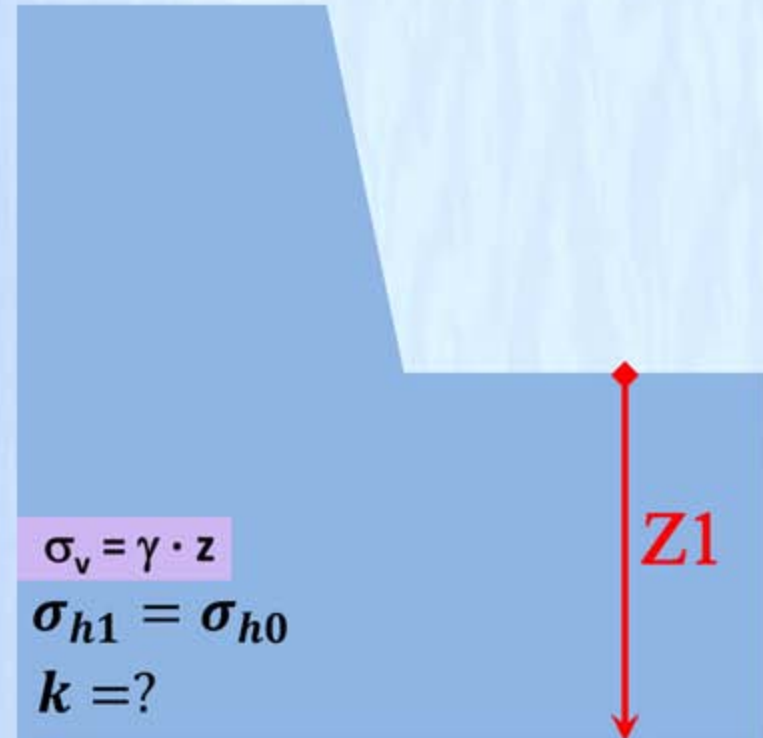
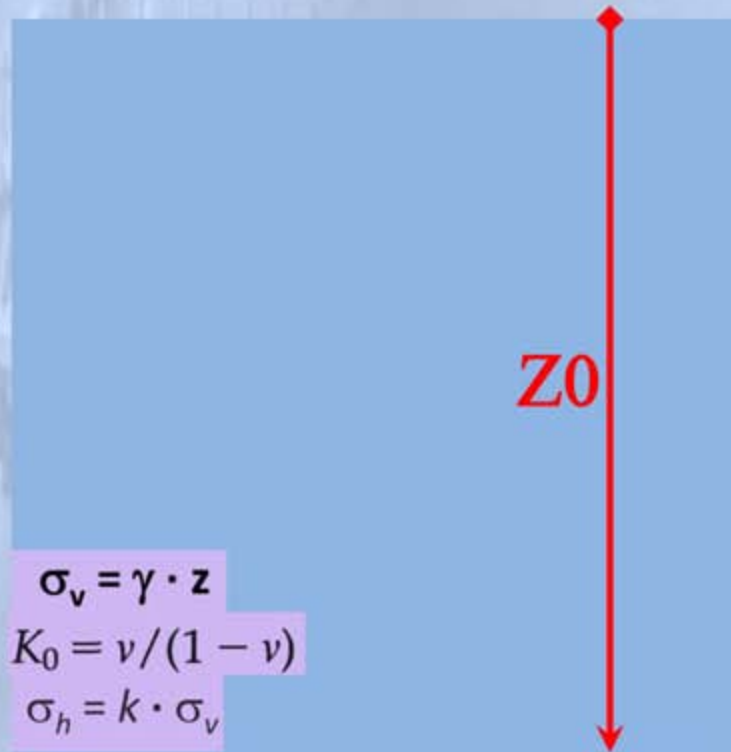




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه *In situ stress*

فرض عدم حضور تنش تکتونیکی در زمین برقرار نیست



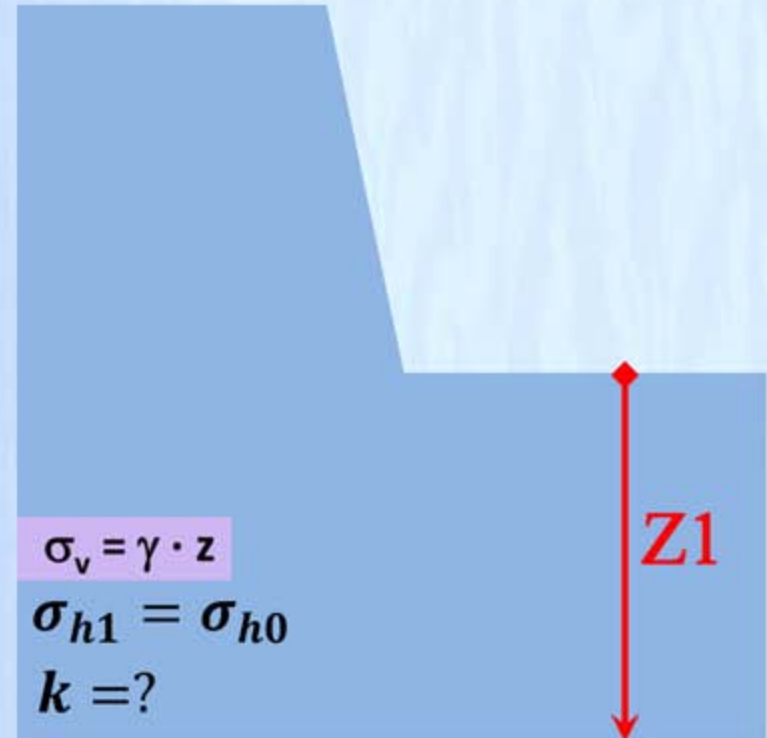
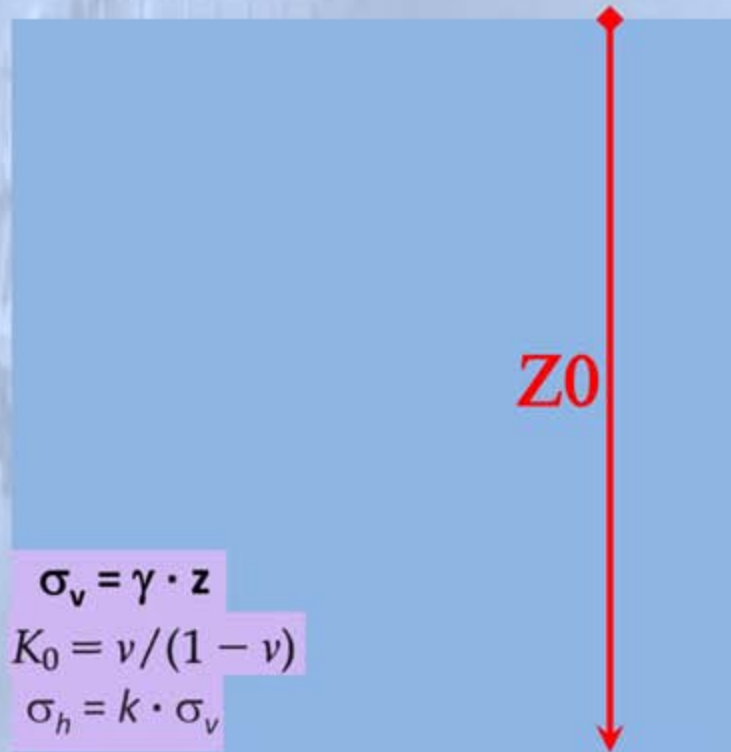




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه *In situ stress*

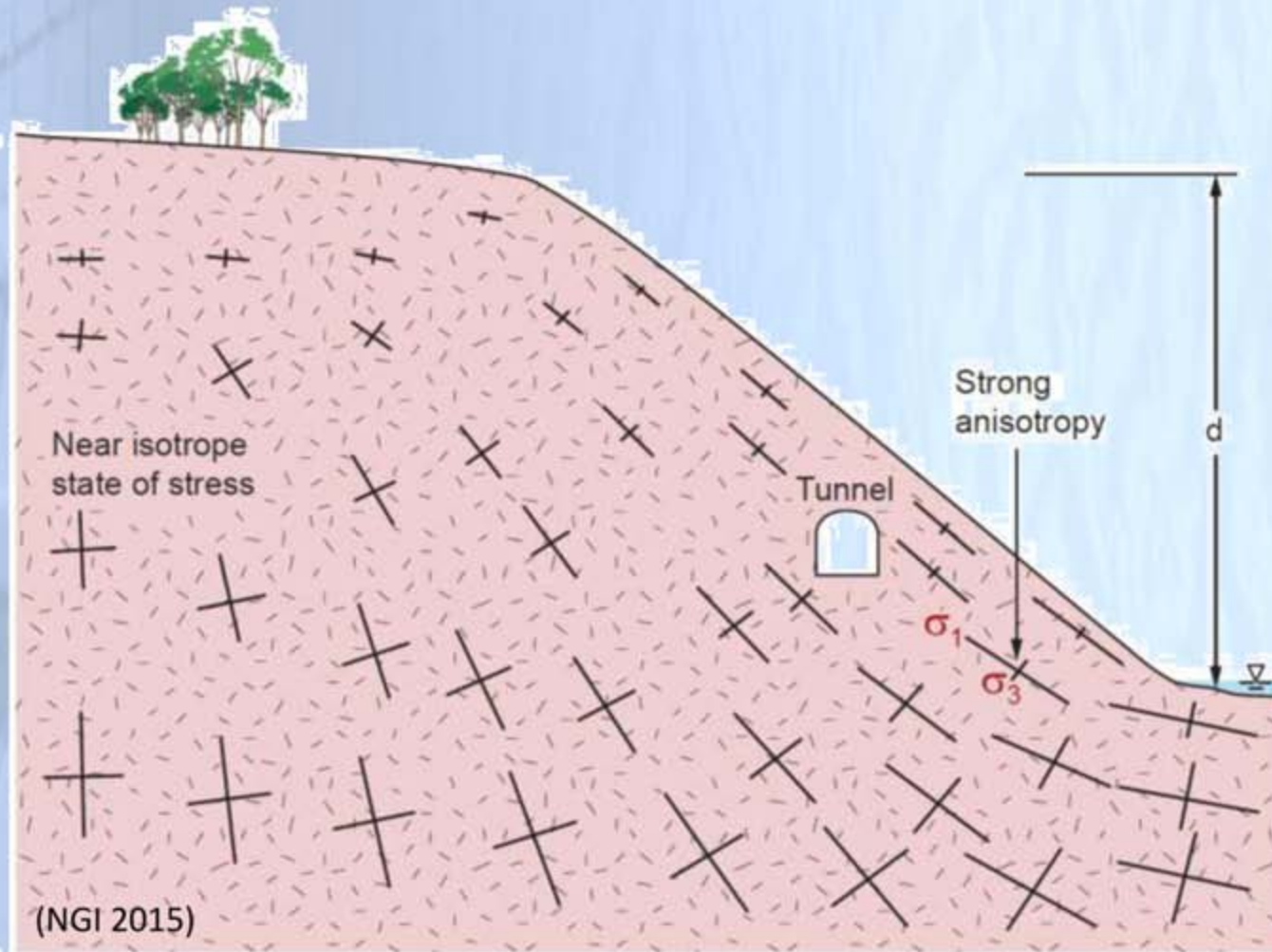
مثال زیر بصورت عددی تمرین شود و  $K$  جدید محاسبه شود.





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه *In situ* stress

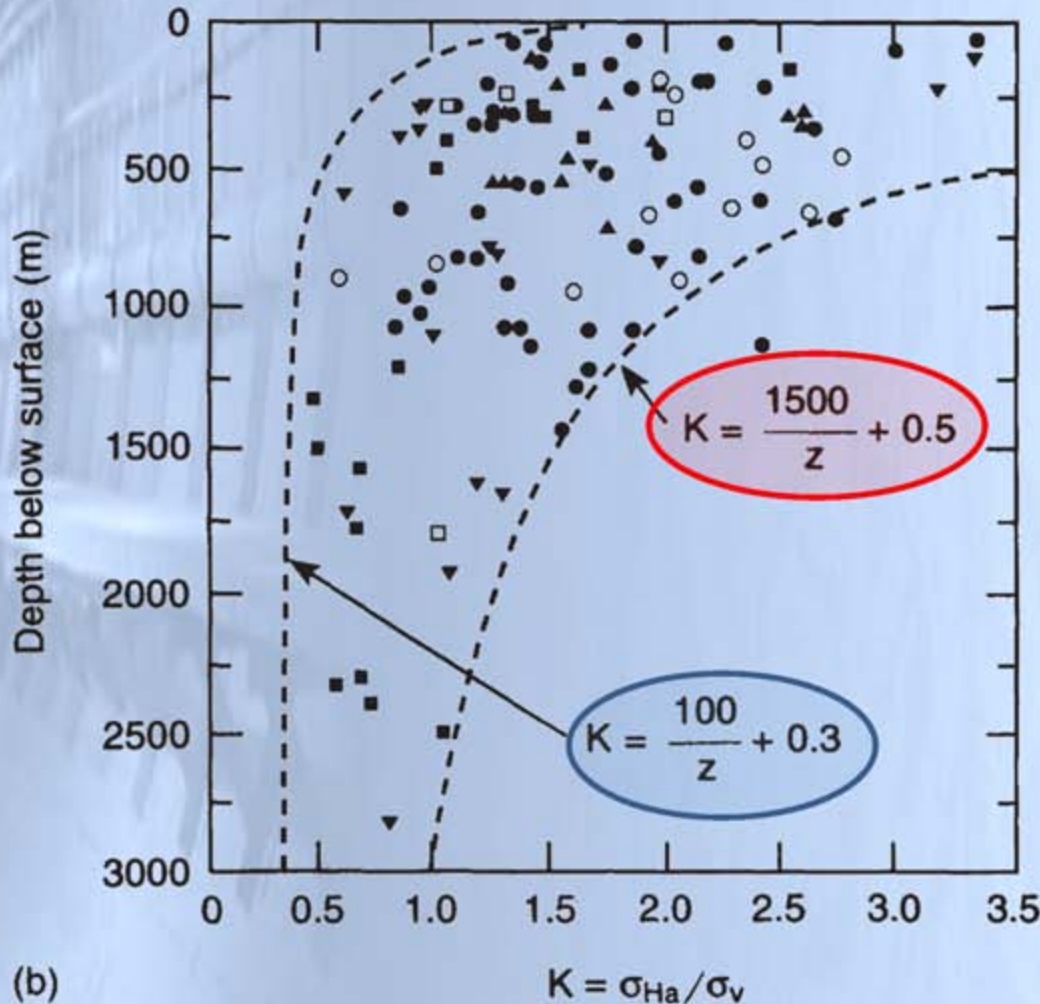






# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه *In situ stress*



$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v = k \cdot \gamma \cdot z$$

$$k = \sigma_h / \sigma_v$$

(b)



the vertical stress,  $\sigma_v$ , the maximum and minimum horizontal stresses,  $\sigma_H$  and  $\sigma_h$ , the mean

توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی  
 $K_H = \sigma_H / \sigma_v$ ,  $K_h = \sigma_h / \sigma_v$   
 $\sigma_{Ha} = (\sigma_H + \sigma_h) / 2$   
 $K_{Ha} = \sigma_{Ha} / \sigma_v$

➤ تنش های اولیه In situ stress

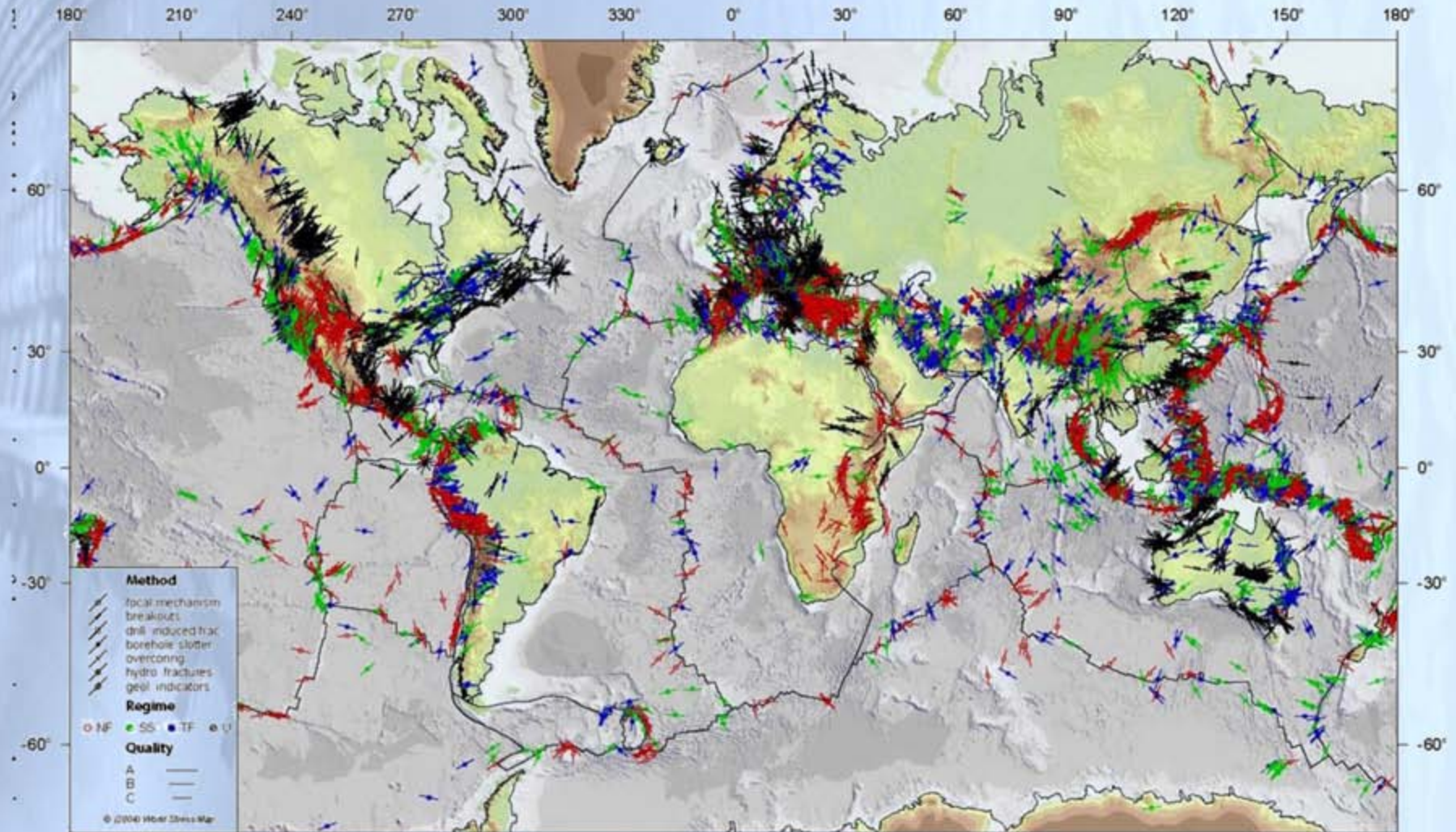
References	Variation of $\sigma_H$ , $\sigma_h$ , $\sigma_{Ha}$ (MPa) and K with depth z (m)	Location and depth range (m)
Voight (1966a)	$\sigma_{Ha} = 8.0 + 0.043z$	World data (0-1000)
Herget (1974)	$\sigma_{Ha} = (8.3 \pm 0.5) + (0.0407 \pm 0.0023)z$	World data (0-800)
Van Heerden (1976)	$K_{Ha} = 0.448 + 248/z$ ( $r = 0.85$ )	Southern Africa (0-2500)
Worotnicki and Denham (1976)	$\sigma_{Ha} = 7.7 + (0.021 \pm 0.002)z$ ( $r = 0.85$ )	Australia (0-1500)
Haimson (1977)	$\sigma_H = 4.6 + 0.025z$ $\sigma_h = 1.4 + 0.018z$ ( $r = 0.95$ )	Michigan Basin (0-5000)
Lindner and Halpern (1977)	$\sigma_{Ha} = (4.36 \pm 0.815) + (0.039 \pm 0.0072)z$	North America (0-1500)
Brown and Hoek (1978)	$K_{Ha}$ varies between $0.3 + 100/z$ and $0.5 + 1500/z$	World data (0-3000)
Aytmatov (1986)	$(\sigma_H + \sigma_h)$ between $9.5 + 0.075z$ and $5.0 + 0.058z$	World data (mostly former USSR) (0-1000)
Li (1986)	$\sigma_{Ha} = 0.72 + 0.041z$ ; $K_{Ha}$ between $0.3 + 100/z$ and $0.5 + 440/z$	China (0-500)
Rummel (1986)	$K_H = 0.98 + 250/z$ ; $K_h = 0.65 + 150/z$	World data (500-3000)
Herget (1987)	$\sigma_{Ha} = 9.86 + 0.0371z$ $\sigma_{Ha} = 33.41 + 0.0111z$ $K_{Ha} = 1.25 + 267/z$ $K_H = 1.46 + 357/z$ $K_h = 1.10 + 167/z$	Canadian Shield (0-900) (900-2200) (0-2200)
Pine and Kwakwa (1989)	$\sigma_H = 15 + 0.028z$ $\sigma_h = 6 + 0.012z$	Carnmenellis granite Cornwall, UK (0-2000)
Arjang (1989)	$\sigma_H = 8.8 + 0.0422z$ $\sigma_h = 3.64 + 0.0276z$ $\sigma_{Ha} = 5.91 + 0.0349z$	Canadian Shield (0-2000)
Baumgartner et al. (1993)	$\sigma_H = 30.4 + 0.023z$ ; $\sigma_h = 16.0 + 0.011z$ $\sigma_h = 1.75 + 0.0133z$	KTB pilot hole (800-3000) Cajon Pass hole (800-3000)
Sugawara and Obara (1993)	$\sigma_{Ha} = 2.5 + 0.013z$	Japanese Islands (0-1200)
Hast (in Stephansson, 1993)	$\sigma_H = 9.1 + 0.0724z$ ( $r = 0.78$ ) $\sigma_h = 5.3 + 0.0542z$ ( $r = 0.83$ )	Fennoscandia overcoring (0-1000)
Stephansson (1993)	$\sigma_H = 10.4 + 0.0446z$ ( $r = 0.61$ ) $\sigma_h = 5 + 0.0286z$ ( $r = 0.58$ ) $\sigma_H = 6.7 + 0.0444z$ ( $r = 0.61$ ) $\sigma_h = 0.8 + 0.0329z$ ( $r = 0.91$ ) $\sigma_H = 2.8 + 0.0399z$ ( $r = 0.79$ ) $\sigma_h = 2.2 + 0.0240z$ ( $r = 0.81$ )	Fennoscandia Leeman-Hiltscher overcoring (0-700) Leeman-type overcoring (0-1000) Hydraulic fracturing (0-1000)
Te Kamp, Rummel and Zoback (1995)	$\sigma_H = 15.83 + 0.0302z$ $\sigma_h = 6.52 + 0.01572z$	KTB hole (0-9000)
Lim and Lee (1995)	$\sigma_{Ha} = 1.858 + 0.018z$ ( $r = 0.869$ ) $\sigma_{Ha} = 2.657 + 0.032z$ ( $r = 0.606$ )	South Korea overcoring (0-850) Hydraulic fracturing (0-250)





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه *In situ stress*

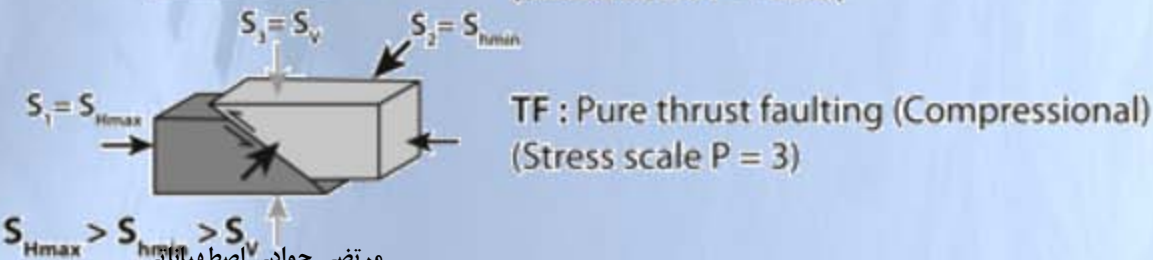
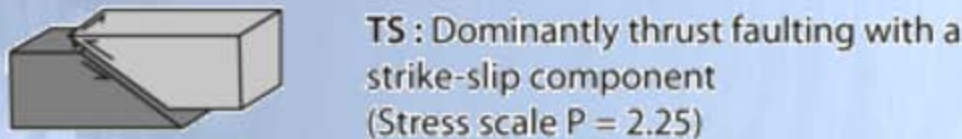
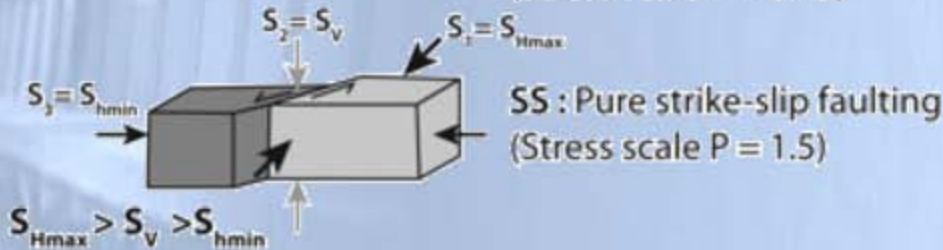
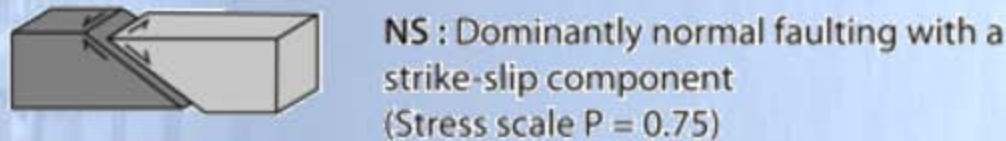
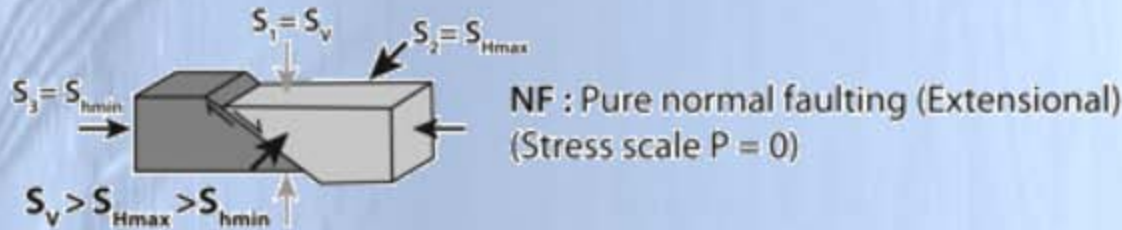




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش های اولیه In situ stress

## ➤ فعالیت های تکتونیکی



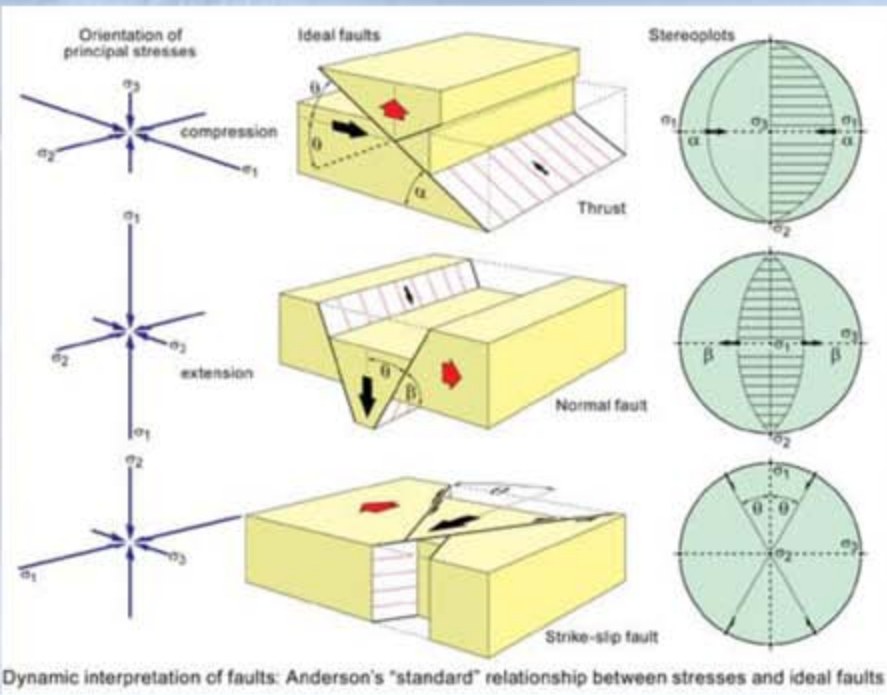




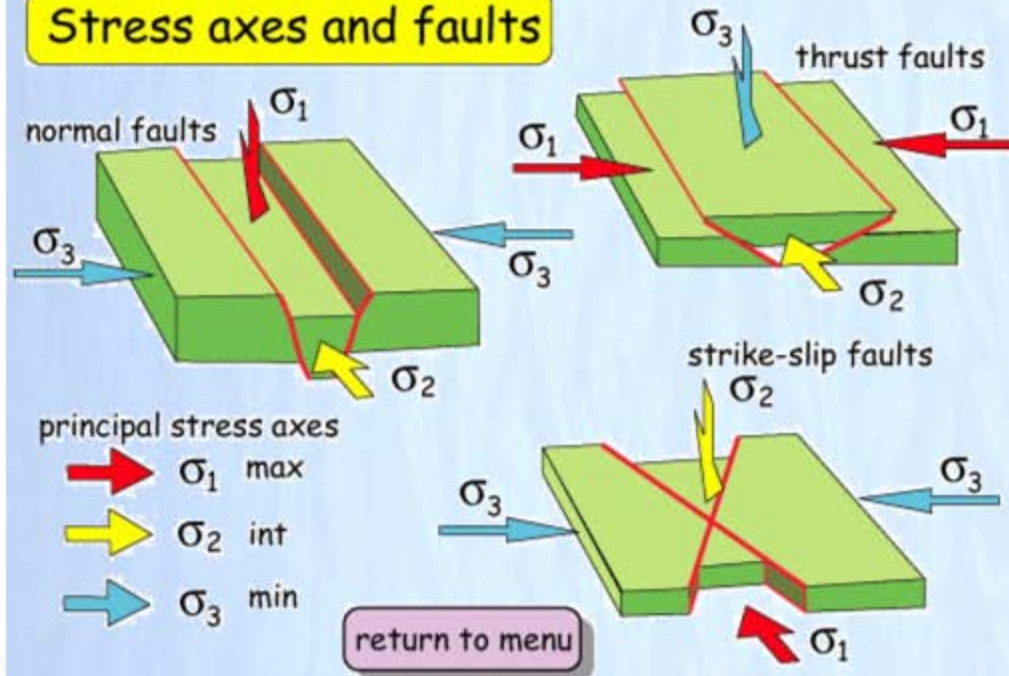
# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ تنش های اولیه **In situ stress**

➤ فعالیت های تکتونیکی



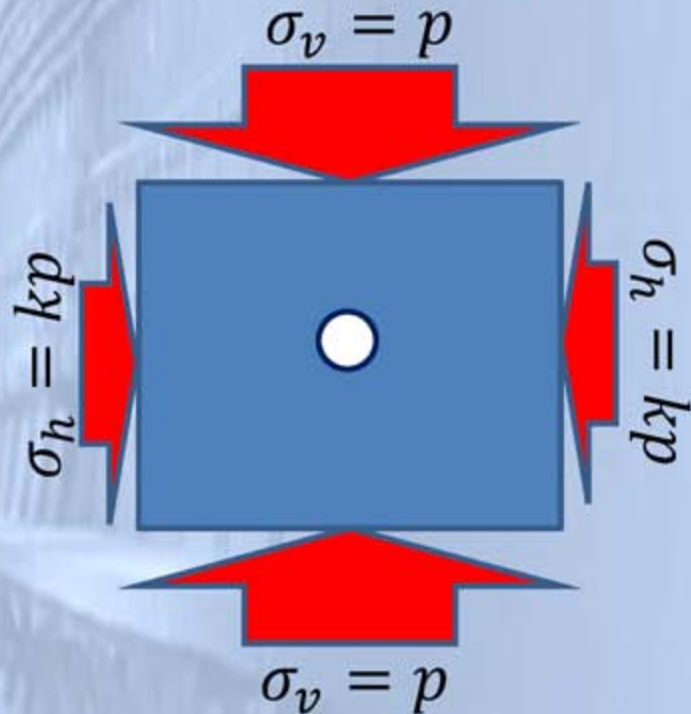
## Stress axes and faults





## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک



➤ قانون کرش (Kirsch (1898))

➤ فرضیات:

- ۱- تنش دوبعدی
- ۲- محیط الاستیک
- ۳- محیط همگن
- ۴- محیط ایزوتروپ
- ۵- تغییرات تنش افقی و قائم در محیط اولیه وجود ندارد
- ۶- فرض (۵) معادل با عمق بسیار زیاد و یا گمانه و یا شفت است.



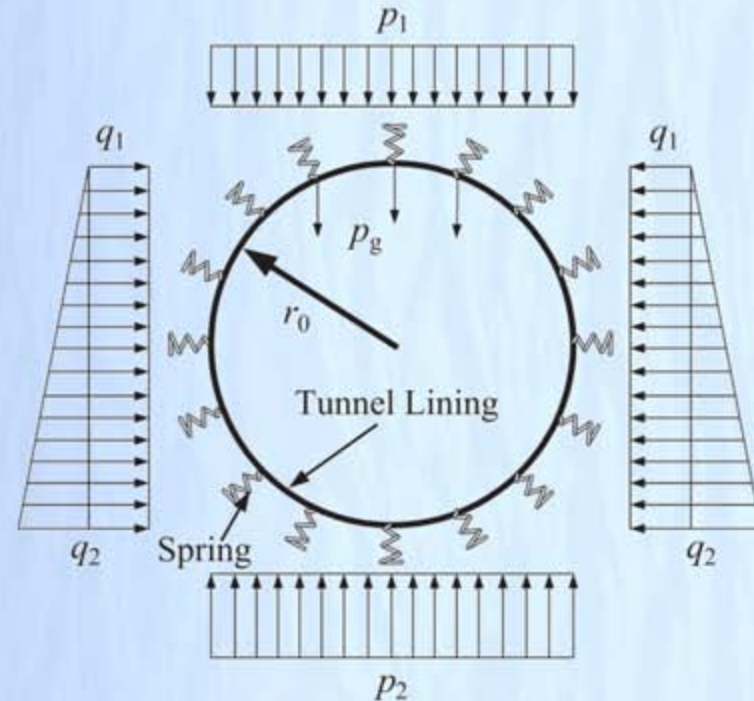
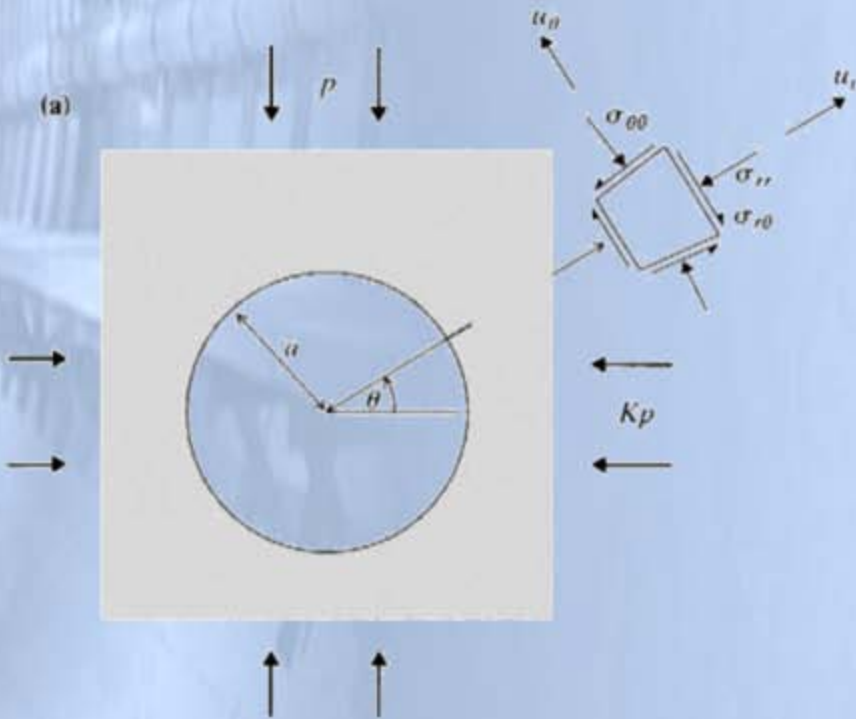


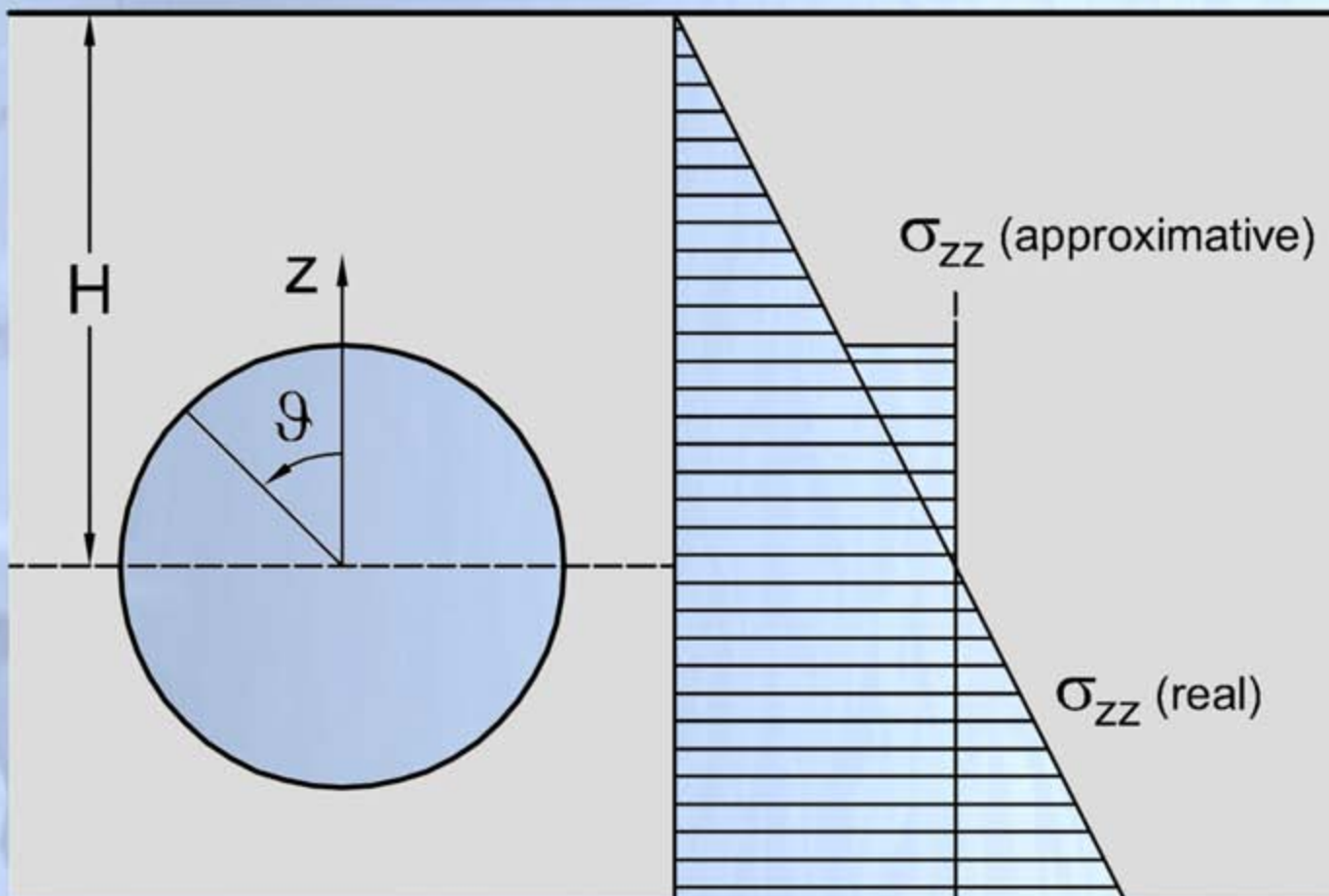
# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

➤ قانون کرش (Kirsch (1898)

تغییرات تنش افقی و قائم در محیط اولیه وجود ندارد



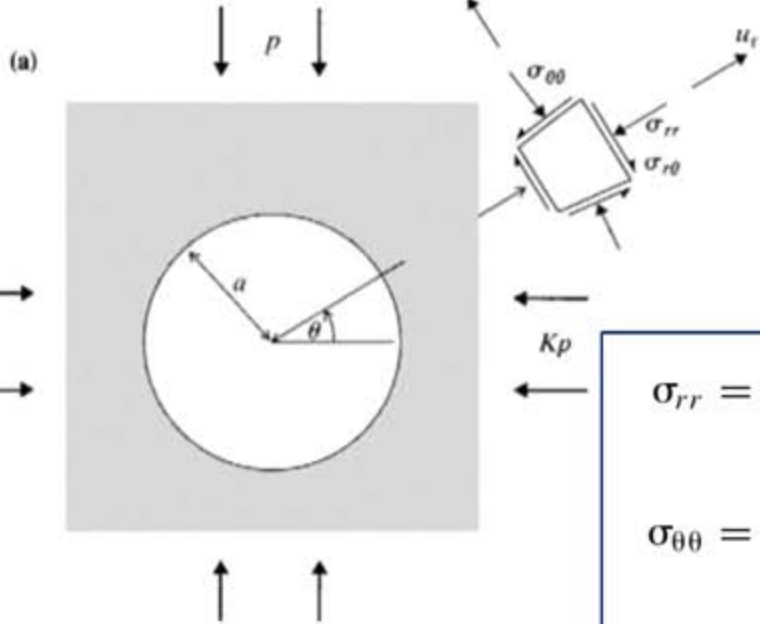




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

➤ قانون کرش (Kirsch (1898)



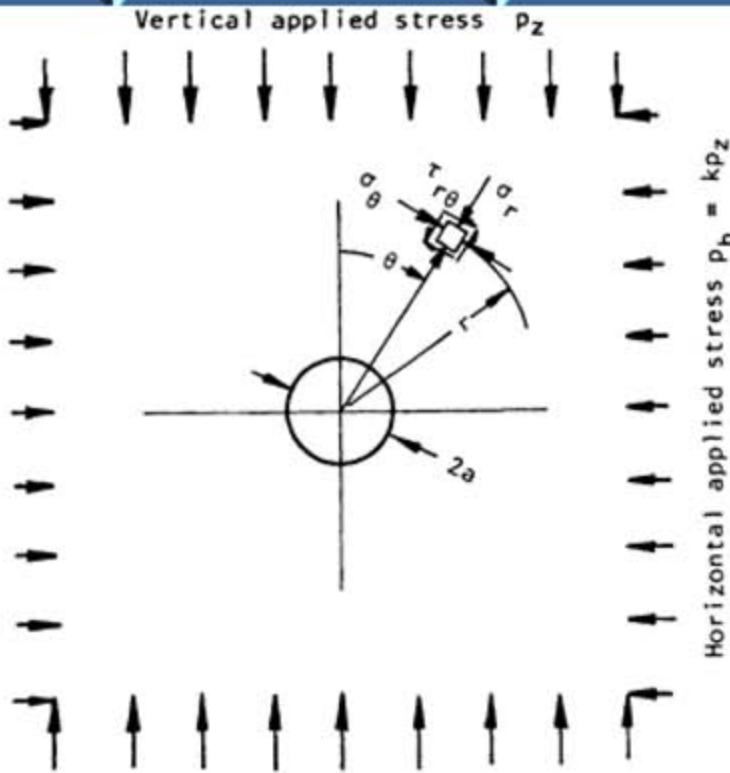
$$\sigma_{rr} = \frac{p}{2} \left[ (1 + K) \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1 - K) \left( 1 - 4 \frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 + K) \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1 - K) \left( 1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 - K) \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\theta \right]$$

$$u_r = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1 + K) - (1 - K) \left\{ 4(1 - \nu) - \frac{a^2}{r^2} \right\} \cos 2\theta \right]$$

$$u_\theta = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1 - K) \left\{ 2(1 - 2\nu) + \frac{a^2}{r^2} \right\} \sin 2\theta \right]$$



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای

قانون کرش (Kirsch (1898)) ➤

## STRESS COMPONENTS AT POINT (r, θ)

Radial  $\sigma_r = \frac{1}{2}p_z \left( (1+k)(1 - a^2/r^2) + (1-k)(1 - 4a^2/r^2 + 3a^4/r^4) \cos 2\theta \right)$

Tangential  $\sigma_\theta = \frac{1}{2}p_z \left( (1+k)(1 + a^2/r^2) - (1-k)(1 + 3a^4/r^4) \cos 2\theta \right)$

Shear  $\tau_{r\theta} = \frac{1}{2}p_z \left( -(1-k)(1 + 2a^2/r^2 - 3a^4/r^4) \sin 2\theta \right)$

## PRINCIPAL STRESSES IN PLANE OF PAPER AT POINT (r, θ)

Maximum  $\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta) + \left( \frac{1}{2}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$

Minimum  $\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta) - \left( \frac{1}{2}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$

Inclinations direction  $\tan 2\alpha = \frac{2\tau_{r\theta}}{(\sigma_\theta - \sigma_r)}$

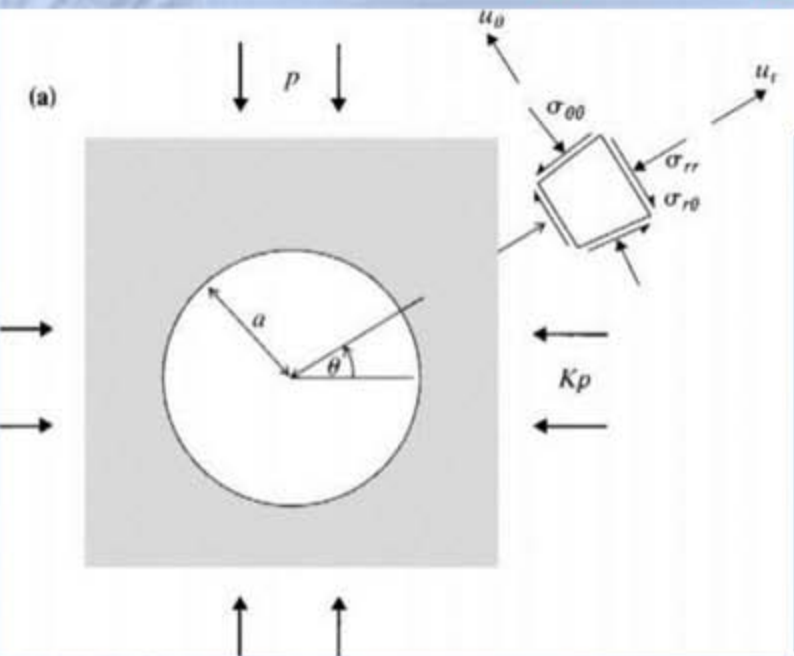




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

### ➤ قانون کرش (Kirsch (1898))



$$\sigma_{rr} = \frac{p}{2} \left[ (1+K) \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1-K) \left( 1 - 4\frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1+K) \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1-K) \left( 1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1-K) \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\theta \right]$$

$$u_r = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1+K) - (1-K) \left\{ 4(1-\nu) - \frac{a^2}{r^2} \right\} \cos 2\theta \right]$$

$$u_{\theta} = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1-K) \left\{ 2(1-2\nu) + \frac{a^2}{r^2} \right\} \sin 2\theta \right]$$

$$\sigma_{rr} = p \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = p \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

در حالت تنش هیدرواستاتیک  $K = 1$



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

### ➤ قانون کرش (Kirsch (1898))

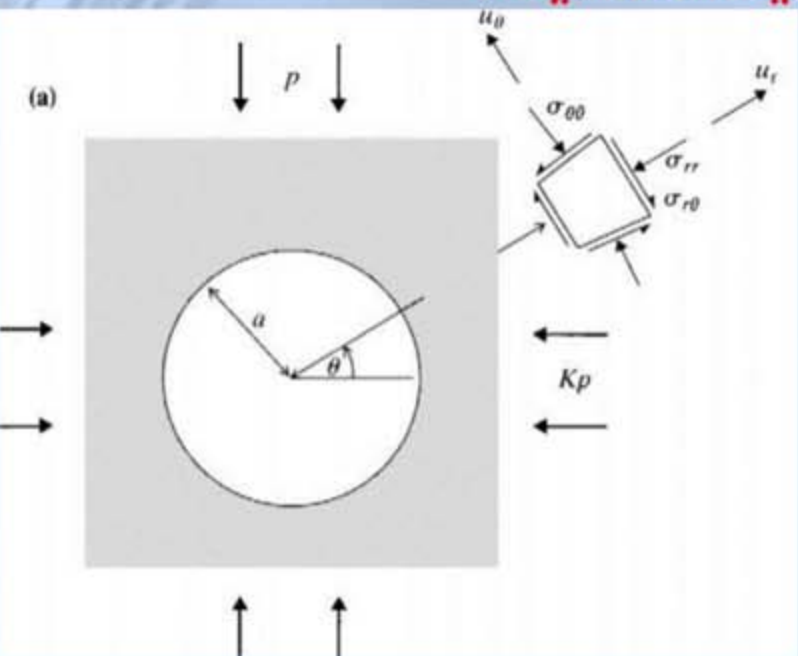
$$\sigma_{rr} = \frac{p}{2} \left[ (1 + K) \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1 - K) \left( 1 - 4 \frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 + K) \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1 - K) \left( 1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 - K) \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\theta \right]$$

$$u_r = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1 + K) - (1 - K) \left\{ 4(1 - \nu) - \frac{a^2}{r^2} \right\} \cos 2\theta \right]$$

$$u_\theta = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1 - K) \left\{ 2(1 - 2\nu) + \frac{a^2}{r^2} \right\} \sin 2\theta \right]$$



دور از تونل For  $\theta = 0$  and very large  $r$  (Far from Tunnel)

$$\sigma_{rr} = Kp, \quad \sigma_{\theta\theta} = p, \quad \sigma_{r\theta} = 0$$

در فاصله دور از تونل، تنش ها به وضعیت اولیه خود بر می گردند.





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

➤ قانون کرش (Kirsch (1898)

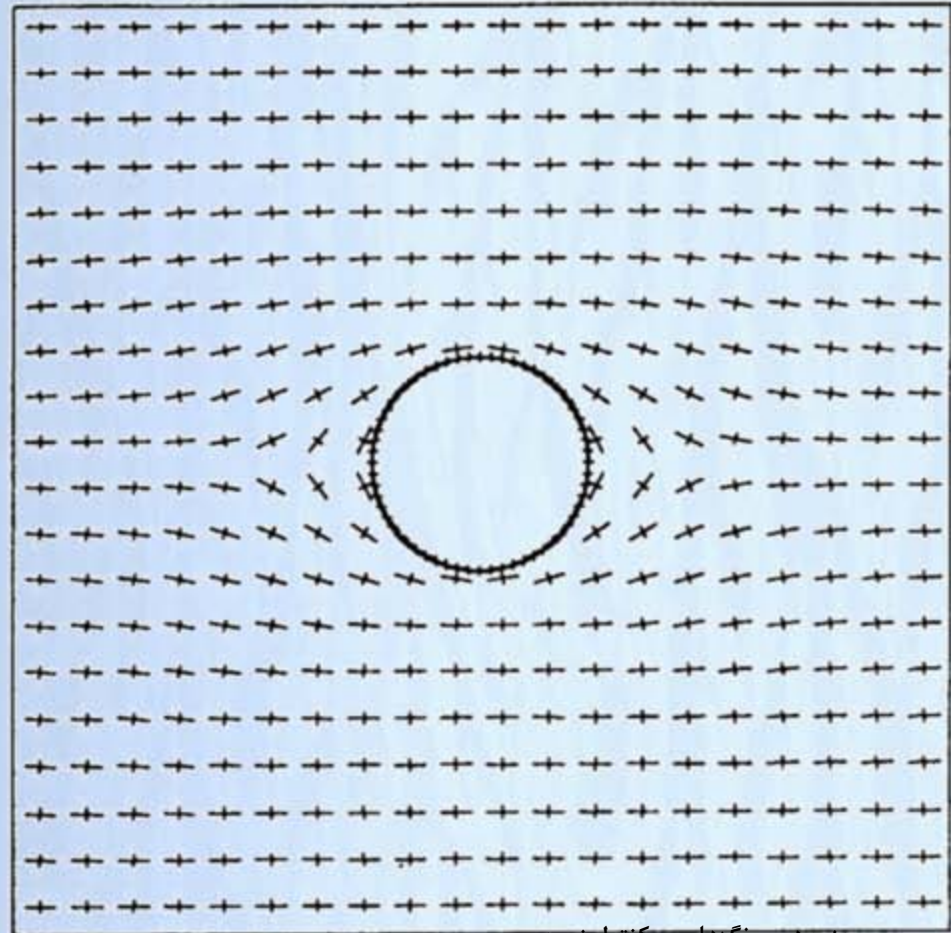
$$\sigma_{rr} = \frac{p}{2} \left[ (1+K) \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1-K) \left( 1 - 4\frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1+K) \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1-K) \left( 1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1-K) \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\theta \right]$$

$$u_r = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1+K) - (1-K) \left\{ 4(1-\nu) - \frac{a^2}{r^2} \right\} \cos 2\theta \right]$$

$$u_{\theta} = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1-K) \left\{ 2(1-2\nu) + \frac{a^2}{r^2} \right\} \sin 2\theta \right]$$

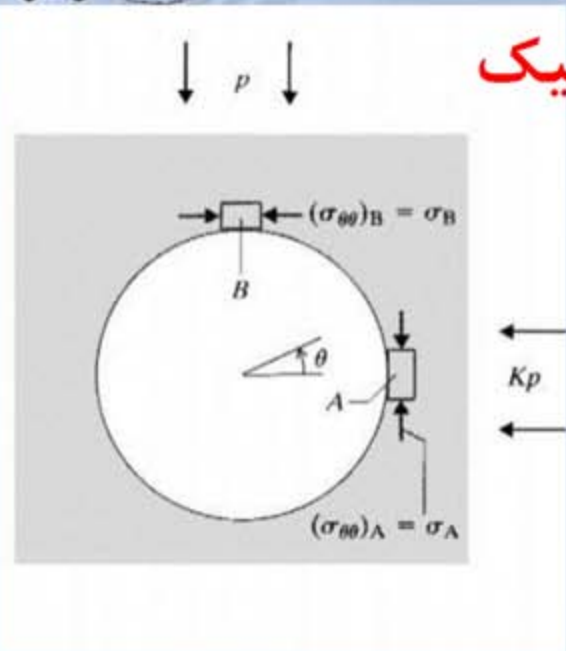




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

### قانون کرش (Kirsch (1898))



$$\sigma_{rr} = \frac{p}{2} \left[ (1 + K) \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1 - K) \left( 1 - 4 \frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 + K) \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1 - K) \left( 1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 - K) \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\theta \right]$$

$$u_r = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1 + K) - (1 - K) \left\{ 4(1 - \nu) - \frac{a^2}{r^2} \right\} \cos 2\theta \right]$$

$$u_\theta = -\frac{pa^2}{4Gr} \left[ (1 - K) \left\{ 2(1 - 2\nu) + \frac{a^2}{r^2} \right\} \sin 2\theta \right]$$

For  $r = a$  (on the surface of Tunnel)

روی مرز تونل

$$\sigma_{\theta\theta} = p[(1 + K) + 2(1 - K) \cos 2\theta]$$

$$\sigma_{rr} = 0$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

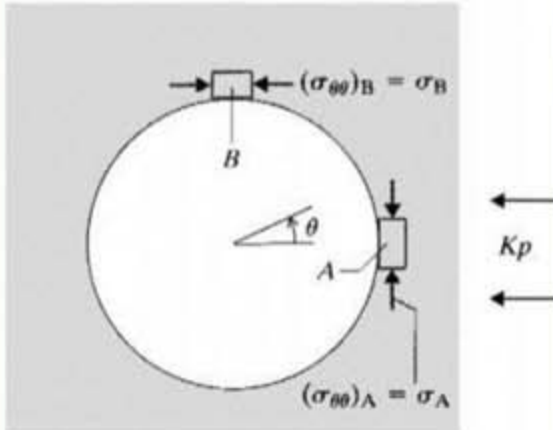




## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

➤ قانون کرش (Kirsch (1898)



$$\sigma_{\theta\theta} = p[(1 + K) + 2(1 - K) \cos 2\theta] \text{ روی مرز تونل}$$

$$\sigma_{rr} = 0$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

➤ روی مرز تونل یا سطح فضای زیرزمینی:

۱- تنش عمود بر سطح صفر است

۲- تنش برشی صفر است

۳- بیشترین تنش بصورت مماسی است

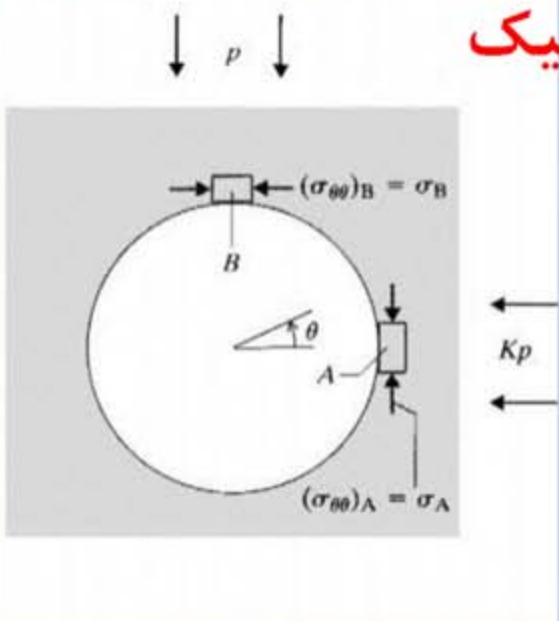
۴- سطوح حفاری، سطوح اصلی تنش هستند



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

### ➤ قانون کرش (Kirsch (1898)



روی مرز تونل  $\sigma_{\theta\theta} = p[(1 + K) + 2(1 - K) \cos 2\theta]$

$$\sigma_{rr} = 0$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

### ➤ روی مرز تونل یا سطح فضای زیرزمینی:

at point A:  $\theta = 0, (\sigma_{\theta\theta})_A = \sigma_A = p(3 - K)$  دیواره

at point B:  $\theta = \frac{\pi}{2}, (\sigma_{\theta\theta})_B = \sigma_B = p(3K - 1)$  سقف

$$K = 0 \quad \sigma_A = 3p, \quad \sigma_B = -p$$

$$K = 1 \quad \sigma_{\theta\theta} = 2p$$

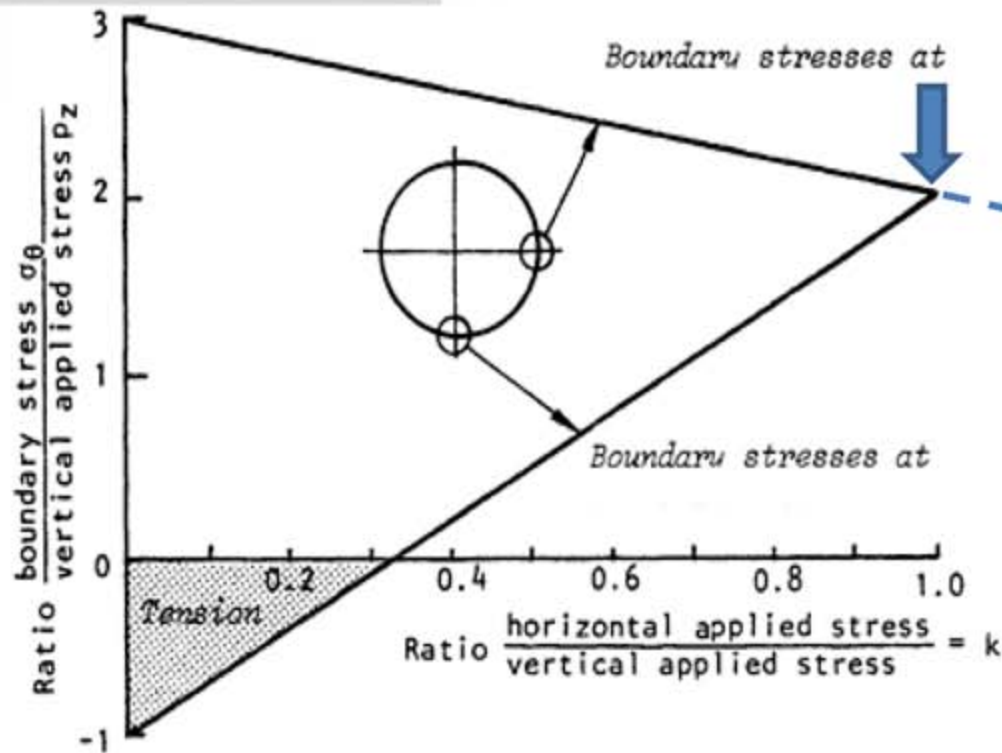
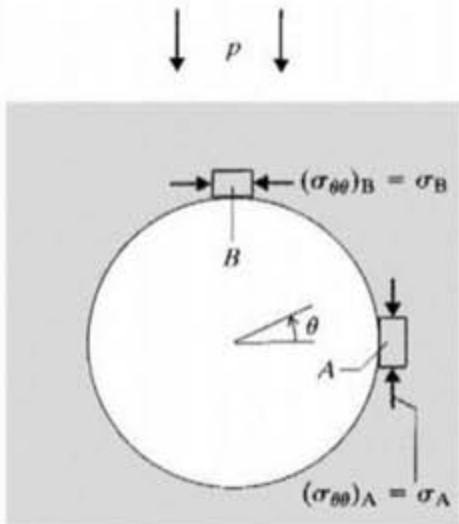


# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

➤ قانون کرش (Kirsch (1898))

روی مرز تونل  $\sigma_{\theta\theta} = p[(1 + K) + 2(1 - K) \cos 2\theta]$



روی مرز تونل

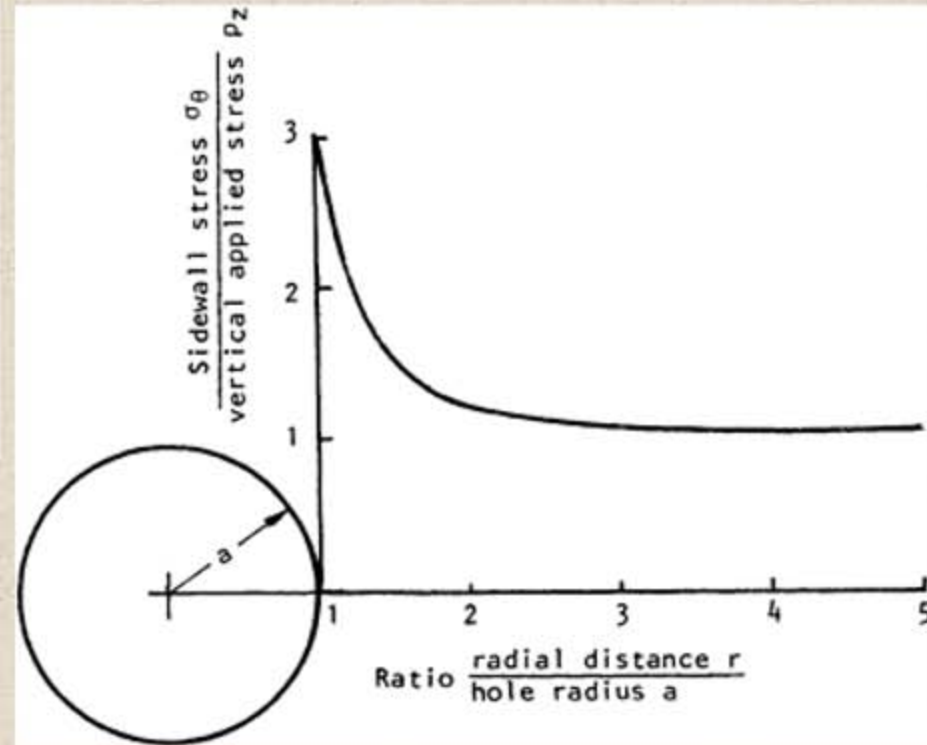
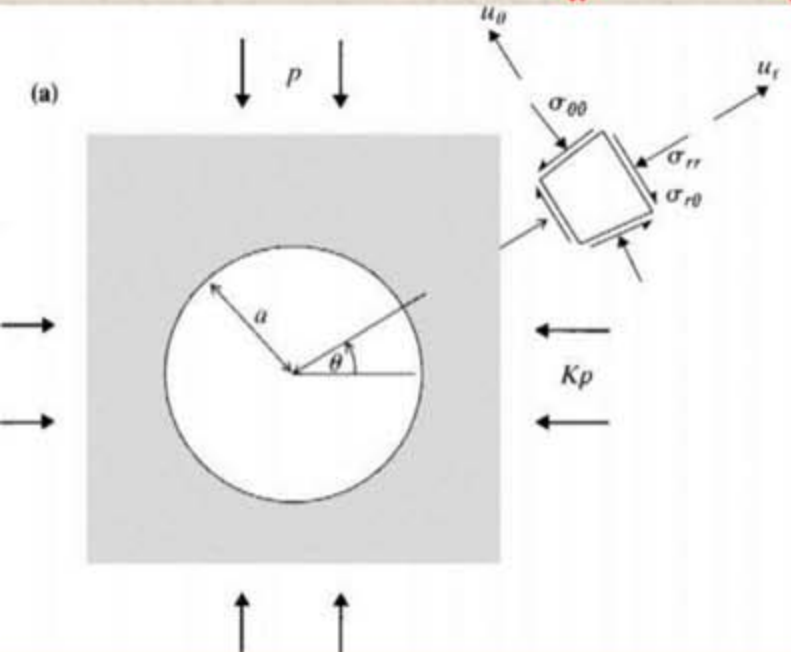
$$\theta = 0, \quad (\sigma_{\theta\theta})_A = \sigma_A = p(3 - K)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2}, \quad (\sigma_{\theta\theta})_B = \sigma_B = p(3K - 1)$$

# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک

➤ قانون کرش (Kirsch (1898))



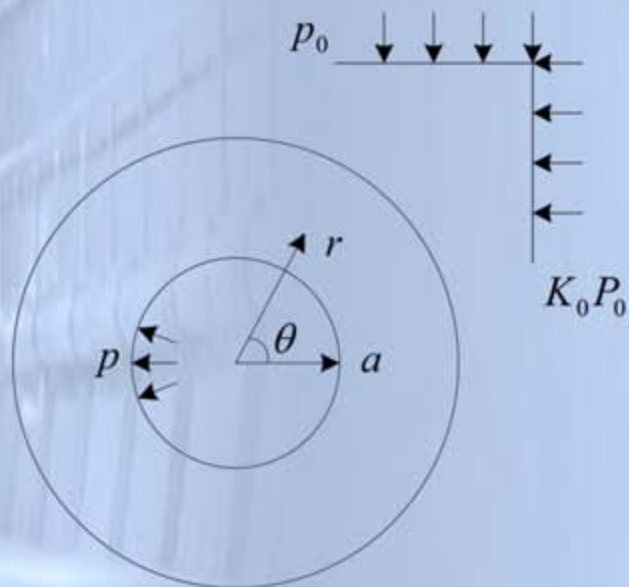
Variation in ratio of tangential stress  $\sigma_{\theta}$  to vertical applied stress  $p_z$  with radial distance  $r$  along horizontal axis for  $k=0$





## توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل دایره ای در محیط الاستیک



➤ قانون کرش (Kirsch (1898))

➤ تاثیر فشار سیستم نگهداری

$$\sigma_r = \frac{p_0}{2} \left[ (1 + K_0) \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) - (1 - K_0) \left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right] + p \frac{a^2}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = \frac{p_0}{2} \left[ (1 + K_0) \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) + (1 - K_0) \left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right] - p \frac{a^2}{r^2}$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{p_0}{2} \left[ (1 - K_0) \left(1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4}\right) \sin 2\theta \right]$$



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## توزیع تنش حول تونل بیضوی در محیط الاستیک

$$e_0 = \frac{(W + H)}{(W - H)}$$

$$b = \frac{4(x_1^2 + z_1^2)}{(W^2 - H^2)}$$

$$d = \frac{8(x_1^2 - z_1^2)}{(W^2 - H^2)} - 1$$

$$u = b + \frac{e_0}{|e_0|} (b^2 - d)^{1/2}$$

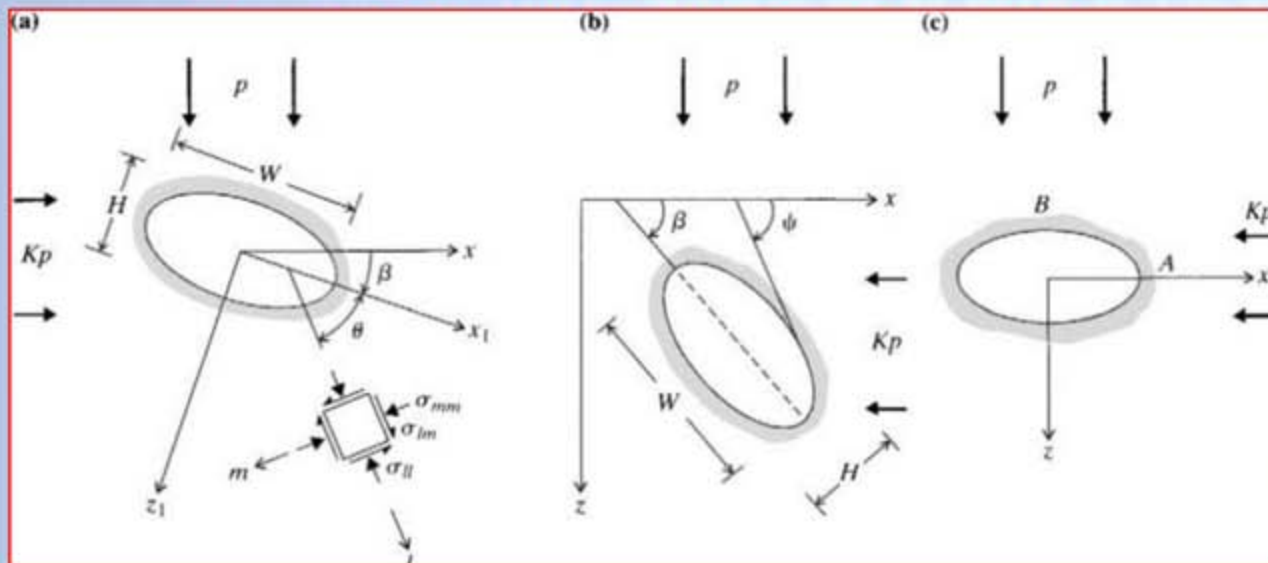
$$e = u + \frac{e_0}{|e_0|} (u^2 - 1)^{1/2}$$

$$\psi = \arctan \left[ \left( \frac{e+1}{e-1} \right) \frac{z_1}{x_1} \right]$$

$$\theta = \arctan \left[ \left( \frac{e+1}{e-1} \right)^2 \frac{z_1}{x_1} \right]$$

$$C = 1 - ee_0$$

$$J = 1 + e^2 - 2e \cos 2\psi$$



$$\sigma_{ll} = \frac{p(e_0 - e)}{J^2} \left\{ (1 + K)(e^2 - 1) \frac{C}{2e_0} \right.$$

$$\left. + (1 - K) \left[ \left[ \frac{J}{2}(e - e_0) + Ce \right] \cos 2(\psi + \beta) - C \cos 2\beta \right] \right\}$$

$$\sigma_{mm} = \frac{p}{J} \{ (1 + K)(e^2 - 1) + 2(1 - K)e_0 [e \cos 2(\psi + \beta) - \cos 2\beta] \} - \sigma_{ll}$$

$$\sigma_{lm} = \frac{p(e_0 - e)}{J^2} \left\{ (1 + K) \frac{Ce}{e_0} \sin 2\psi + (1 - K) \left[ e(e_0 + e) \sin 2\beta \right. \right.$$

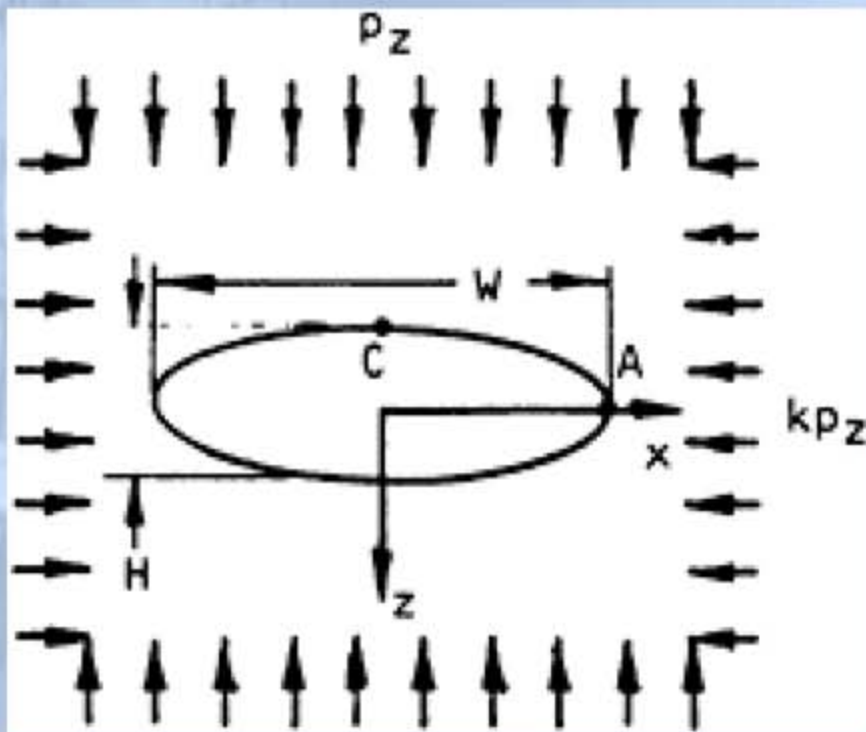
$$\left. \left. + e \sin 2(\psi - \beta) - \left[ \frac{J}{2}(e_0 + e) + e^2 e_0 \right] \sin 2(\psi + \beta) \right] \right\} \quad (6.21)$$





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ توزیع تنش حول تونل بیضوی در محیط الاستیک



$$\sigma_A = p_z \{1 + 2W/H - k\}$$

$$\sigma_C = P_z \{K(1 + 2H/W) - 1\}$$



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

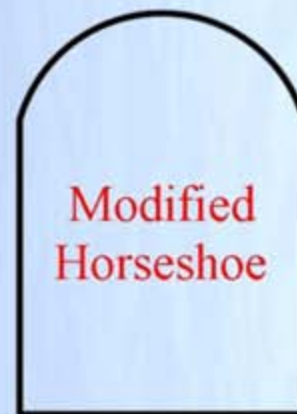
➤ کاربرد توزیع تنش در انتخاب مقطع فضای زیرزمینی



Horseshoe



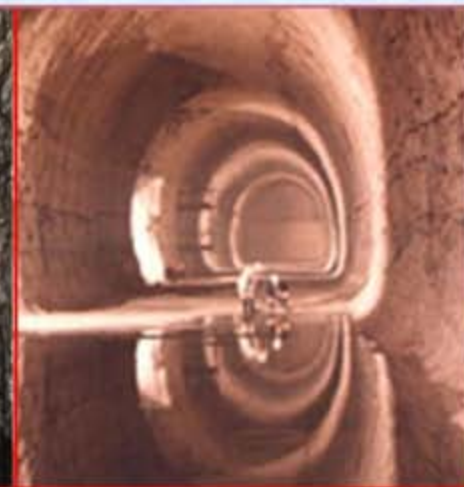
Oval



Modified  
Horseshoe



Basket







# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی

## رئوس مطالب

➤ مقدمه

➤ تنش های برجا

➤ توزیع تنش در اطراف فضای زیرزمینی بدون نگهداری در محیط

الاستیک

➤ کاربرد توزیع تنش در انتخاب سطح مقطع فضای زیرزمینی





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ مروری بر جلسات قبل

۱- مفهوم تنش و تانسور تنش

۲- دایره موهر و محاسبه تنش های اصلی وارد بر المان (در میدان تنش)

۳- معیارهای شکست (هوک و براون، موهر-کلمب)

۴- تنش های برجا و نحوه تخمین آنها

۵- تاثیر حفر تونل بر بازتوزیع تنش

هدف: ابتدا محاسبه تنش های جدید و سپس جاگذاری در معیار شکست و

بررسی امکان شکست توده سنگ اطراف تونل به دلیل بازتوزیع تنش

آیا رفتار الاستیک است؟ یا پلاستیک؟ آیا نگهداری لازم است یا خیر؟



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم آزادسازی تنش







# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم رفتار پلاستیک

**Plastic Deformation**  
**Permanent change in shape**



**Elastic Deformation**  
**Temporary change in shape**

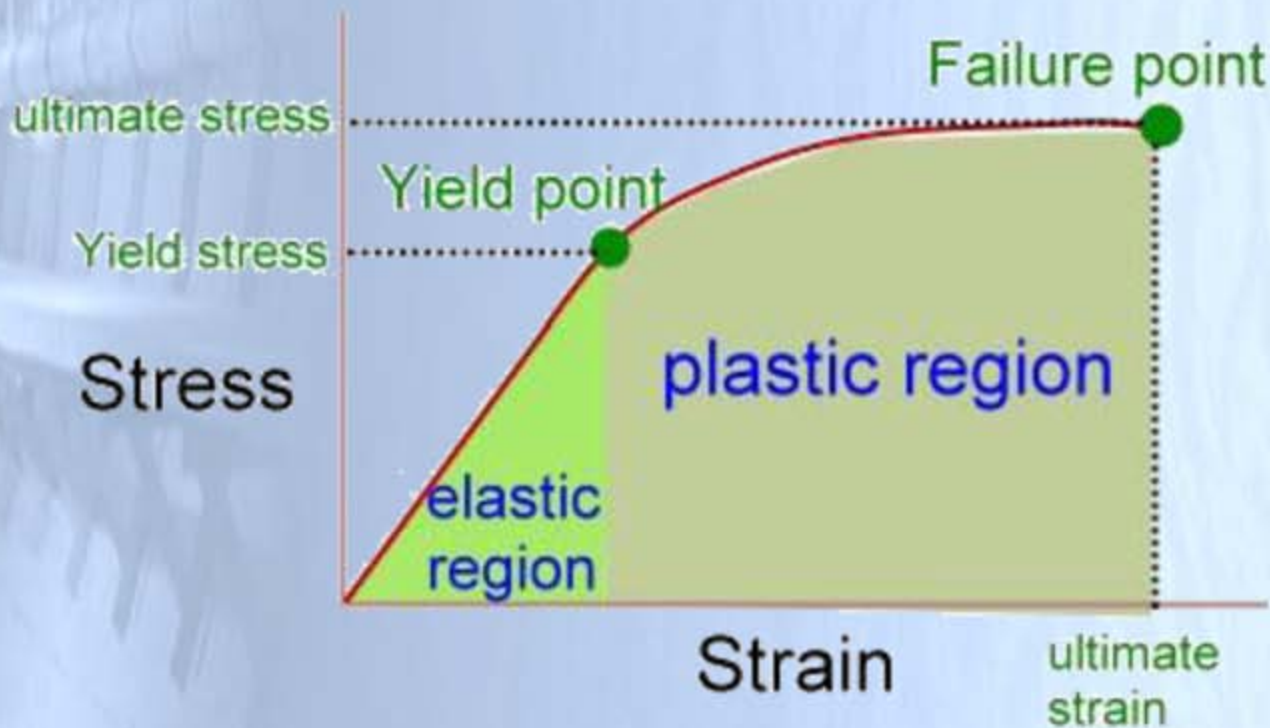




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ اثر حفر تونل بر تنش

➤ مفهوم رفتار پلاستیک

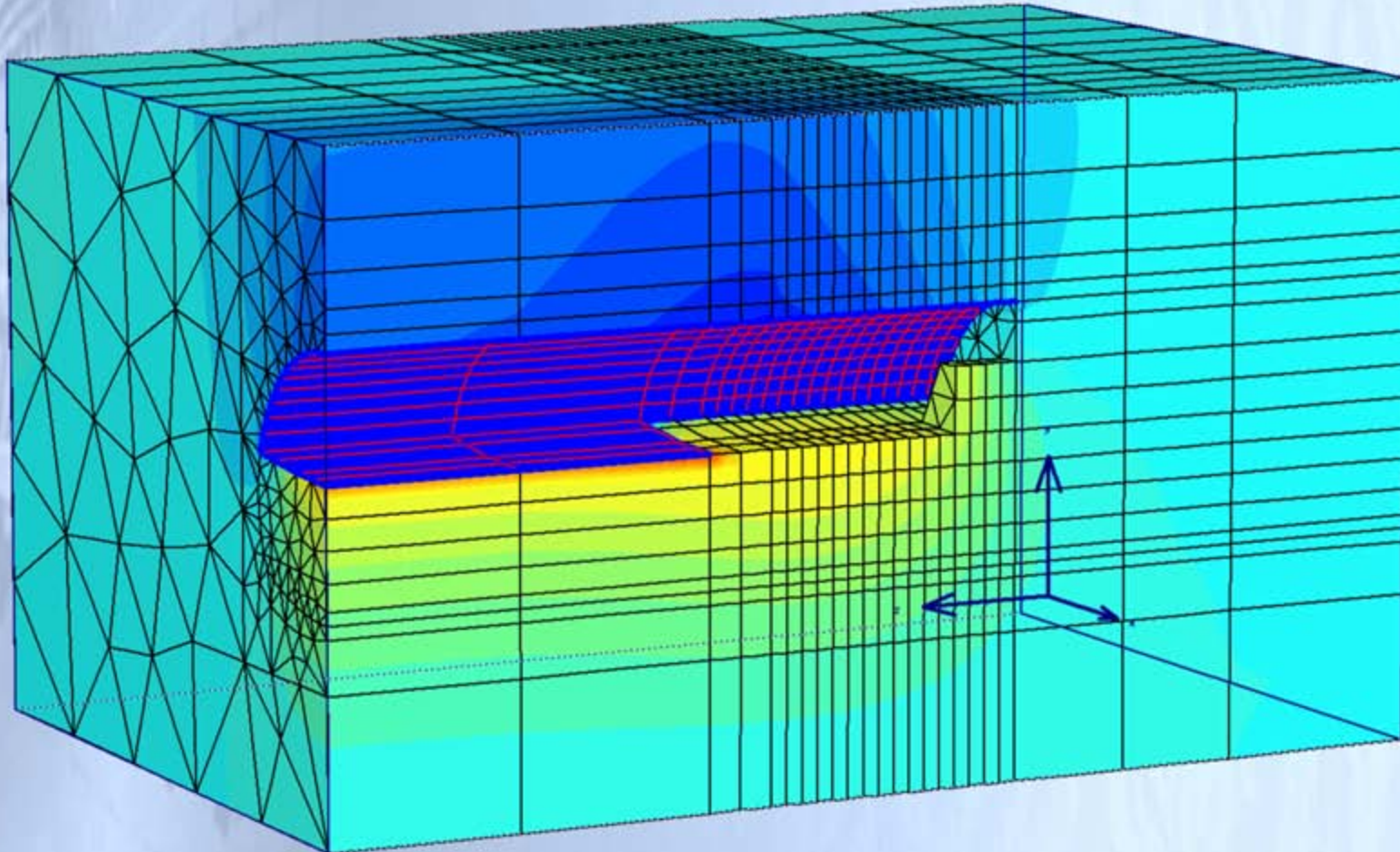






# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

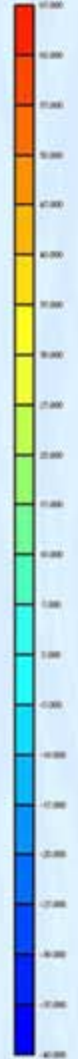
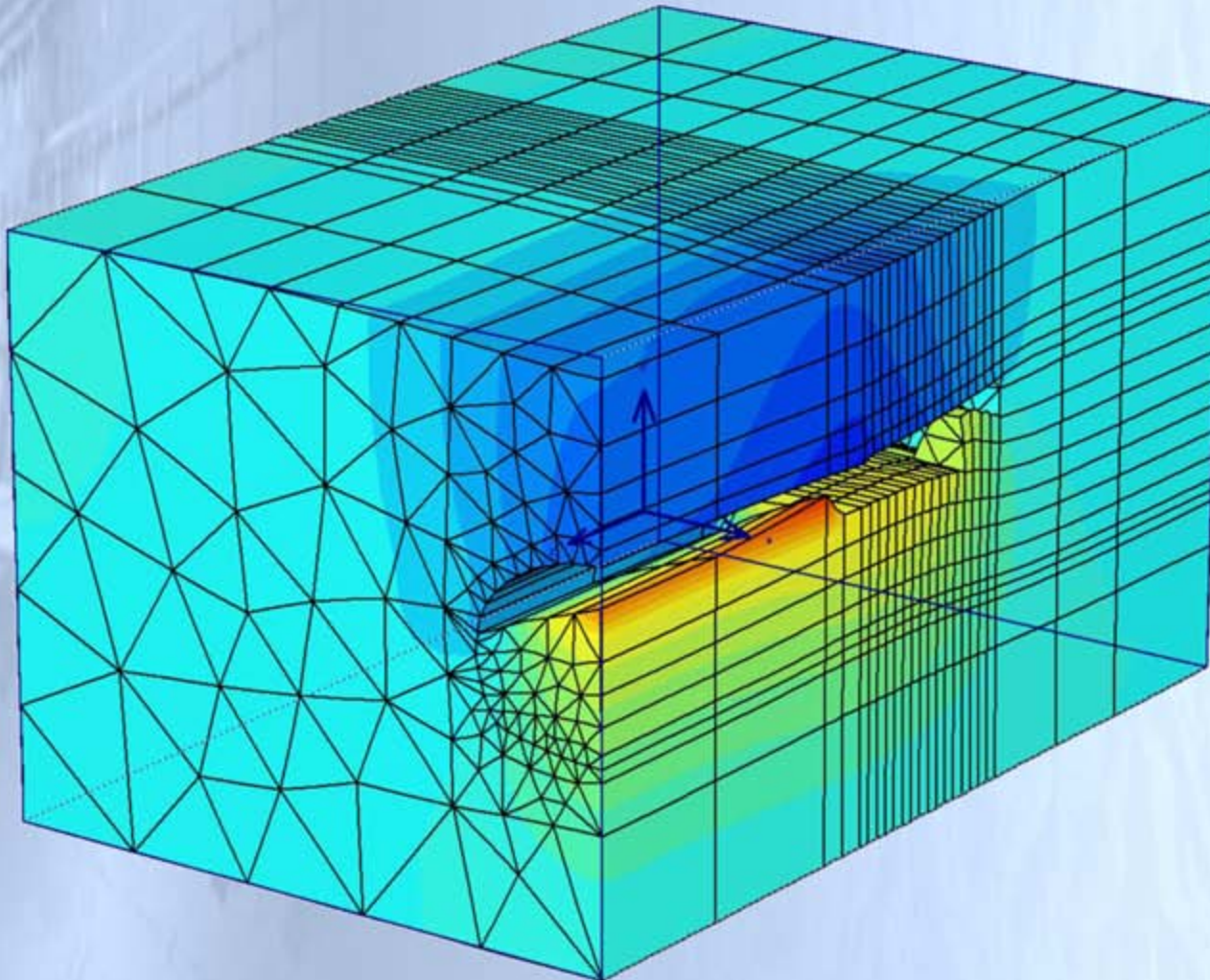
منحنی LDP ➤





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

منحنی LDP







# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

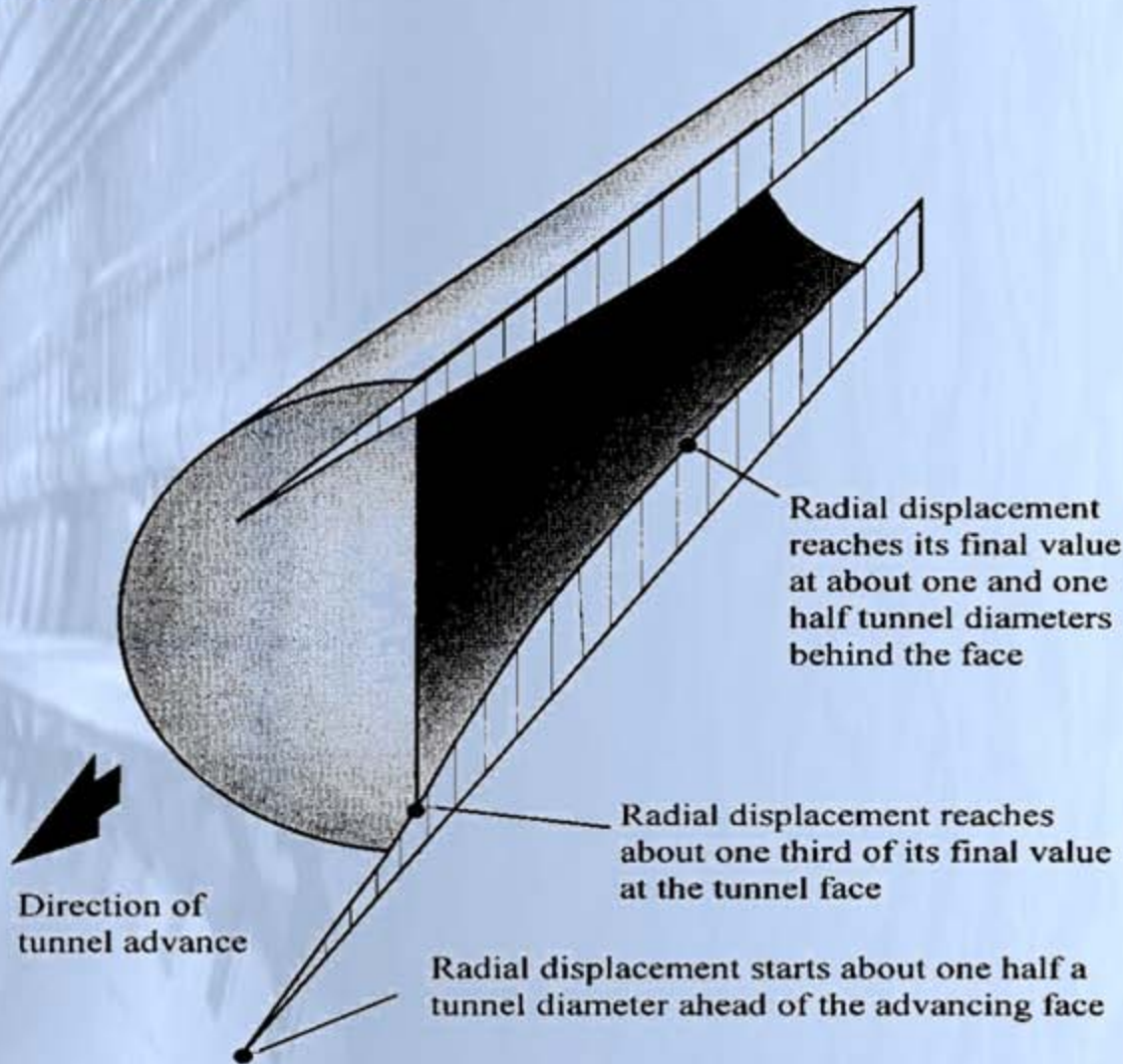
➤ **منحنی LDP**





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ **منحنی LDP**



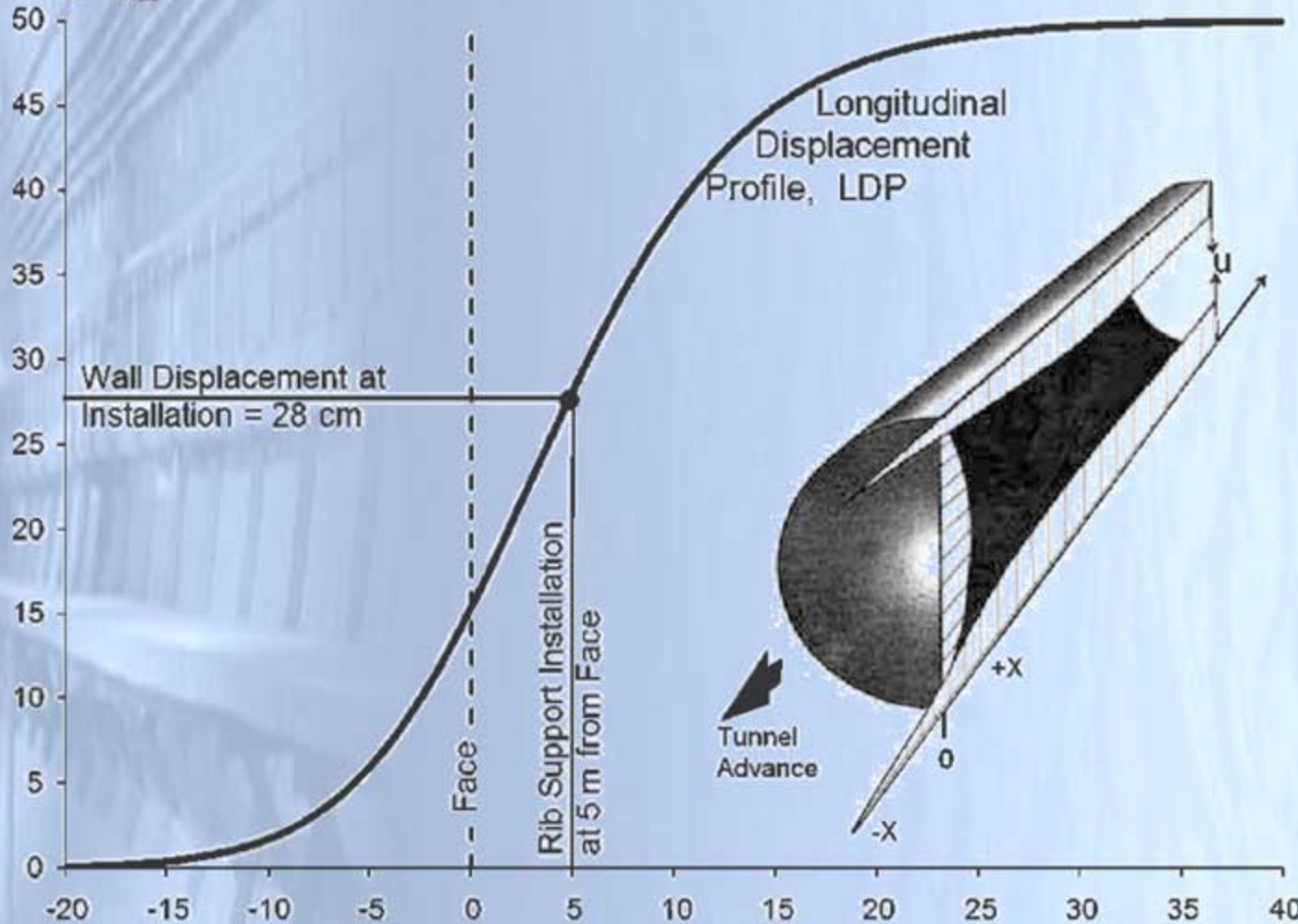
جابجایی دیواره تونل تابعی از فاصله از سینه کار است.





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

منحنی LDP

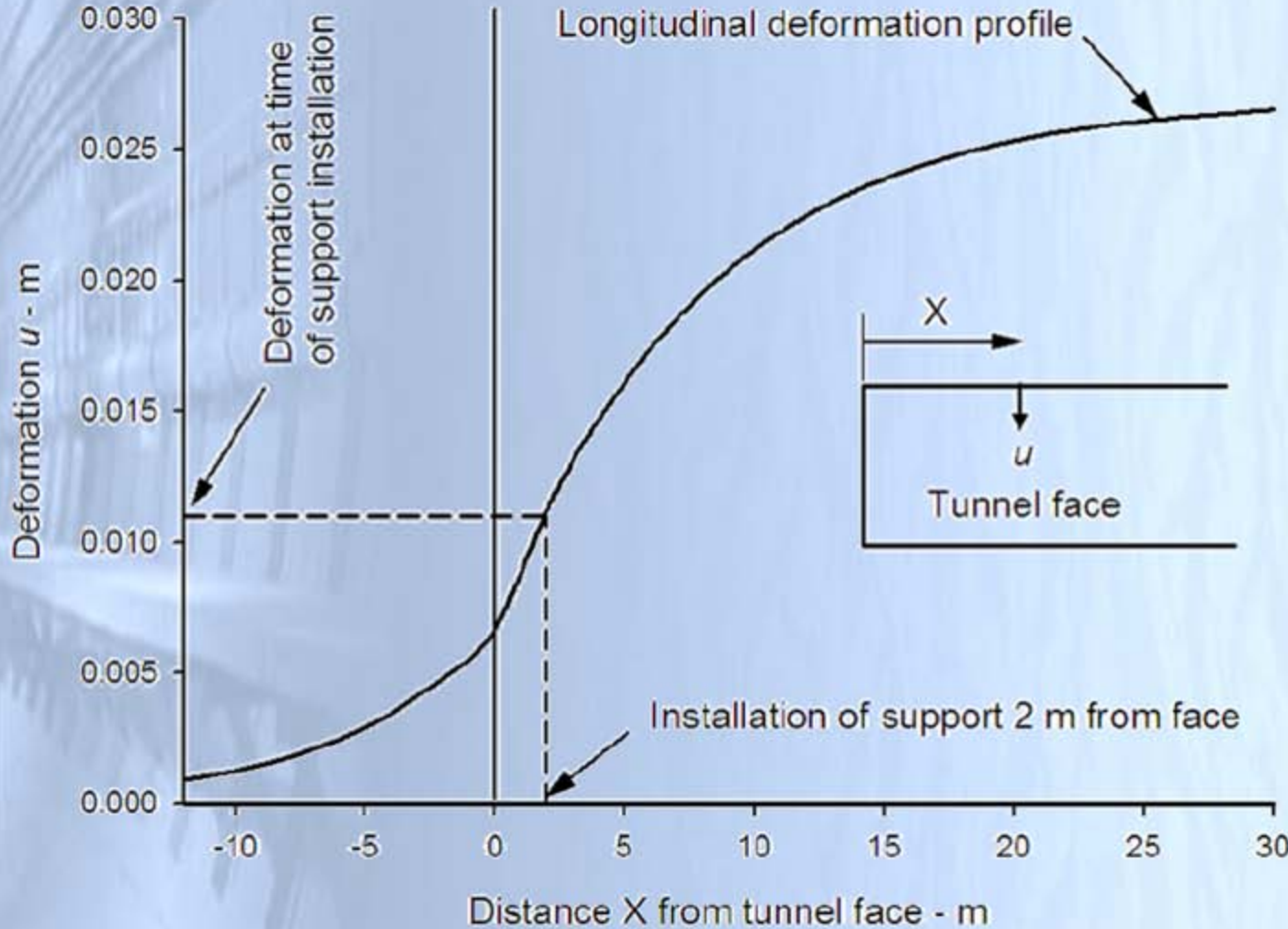


جابجایی دیواره تونل تابعی از فاصله از سینه کار است.



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

منحنی LDP



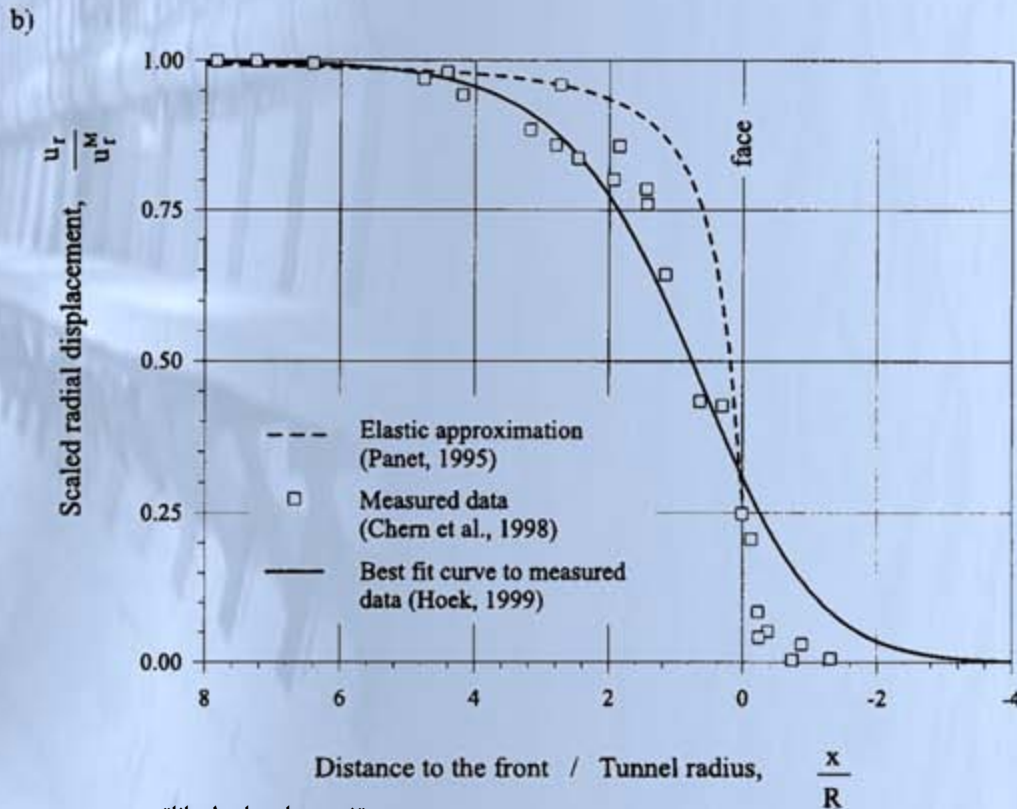
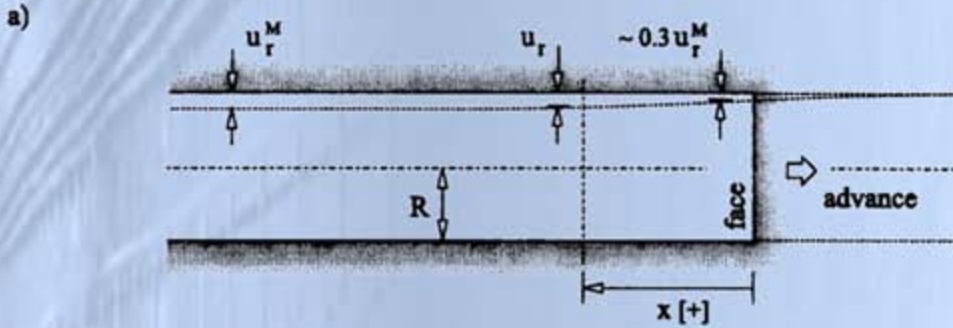
جابجایی دیواره تونل تابعی از فاصله از سینه کار است.





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

منحنی LDP





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ قانون کرش با فشار داخلی

هر چه فشار داخلی بیشتر باشد، بخش کمتری از تنش های اولیه آزاد می شود.

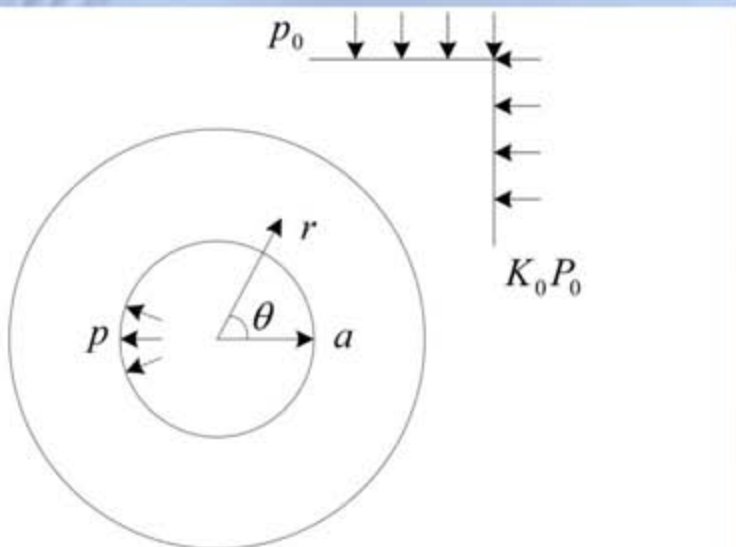


Fig. 2 sketch of cavity expansion theory

$$\sigma_r = \frac{P_0}{2} \left[ (1 + K_0) \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) - (1 - K_0) \left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right] + p \frac{a^2}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = \frac{P_0}{2} \left[ (1 + K_0) \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) + (1 - K_0) \left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right] - p \frac{a^2}{r^2}$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{P_0}{2} \left[ (1 - K_0) \left(1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4}\right) \sin 2\theta \right]$$

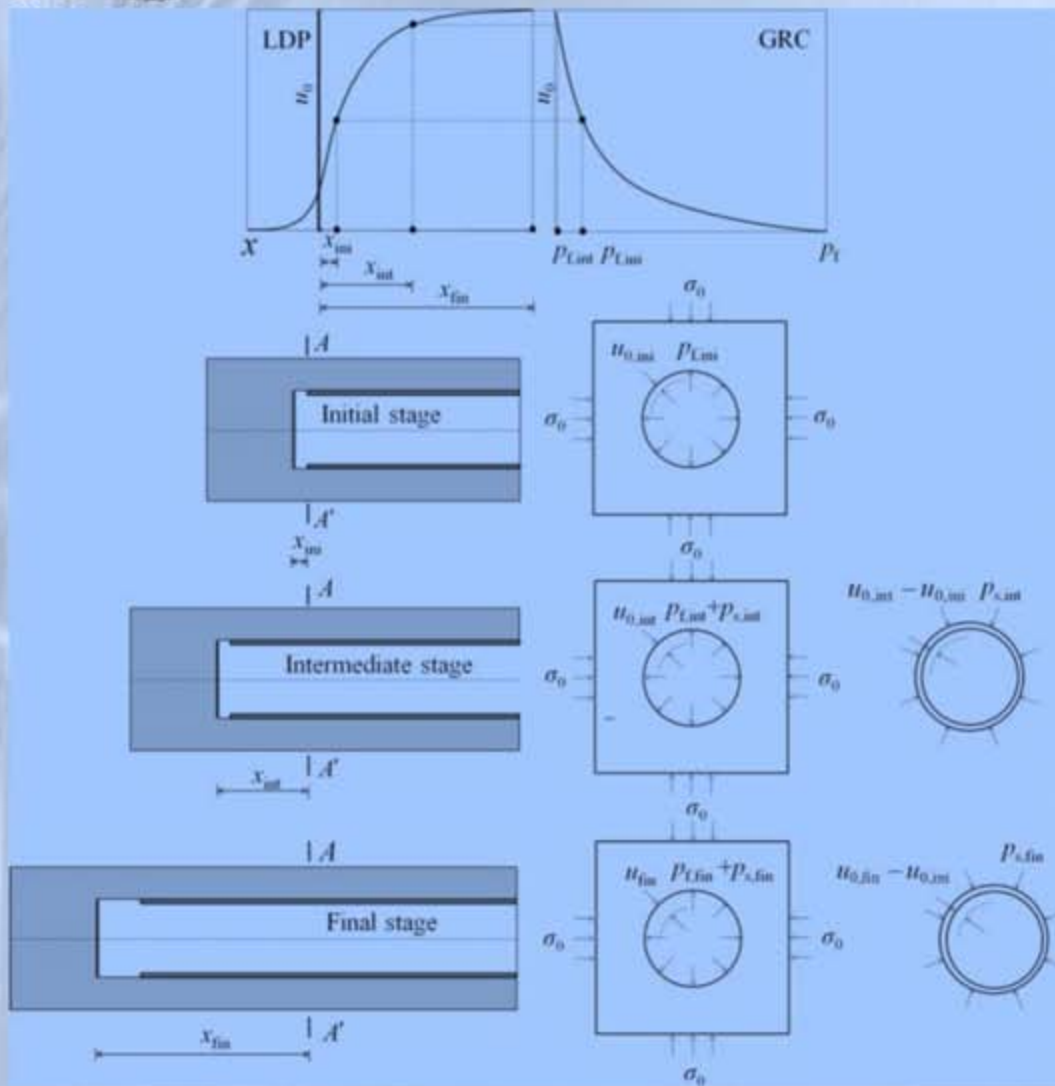




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ منحنی LDP

جابجایی تابعی از فاصله از سینه کار  
 تغییر شکل معادل جابجایی  
 تغییر شکل معادل با کرنش  
 کرنش تابعی از تنش



بطور معادل، با افزایش فاصله از سینه کار، سهم بیشتری از تنش آزاد می شود. در حقیقت، تنش داخلی به مرور کاهش می یابد.

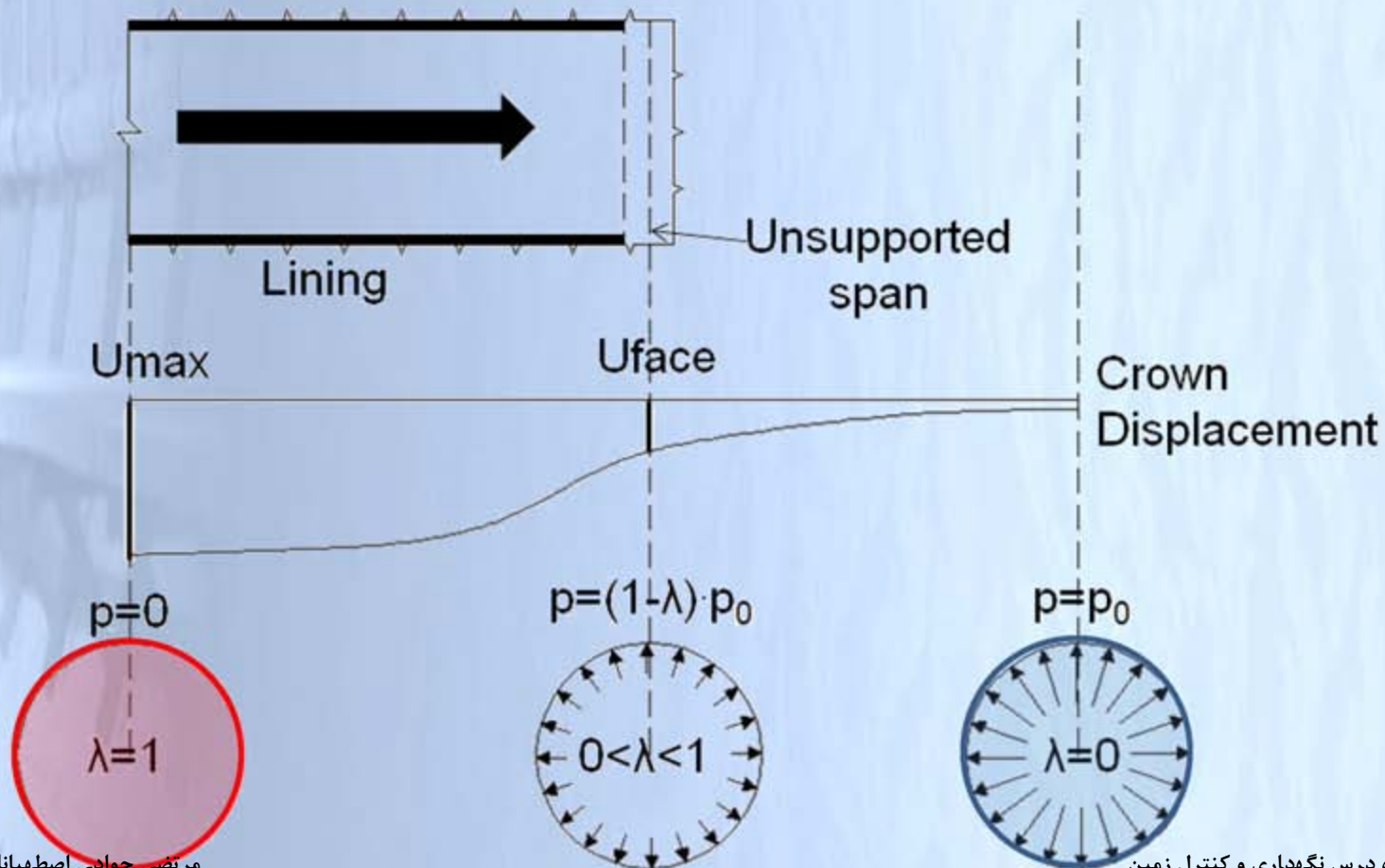
وابستگی جابجایی تونل به فاصله از سینه کار به معنای وابستگی ترخیص (آزادسازی) تنش به فاصله از سینه کار



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ تنش داخلی (آزادسازی تنش)

وابستگی جابجایی تونل به فاصله از سینه کار به معنای وابستگی ترخیص (آزادسازی) تنش به فاصله از سینه کار با افزایش فاصله از سینه کار، تنش بیشتری آزاد می شود. در حقیقت، تنش داخلی به مرور کاهش می یابد.





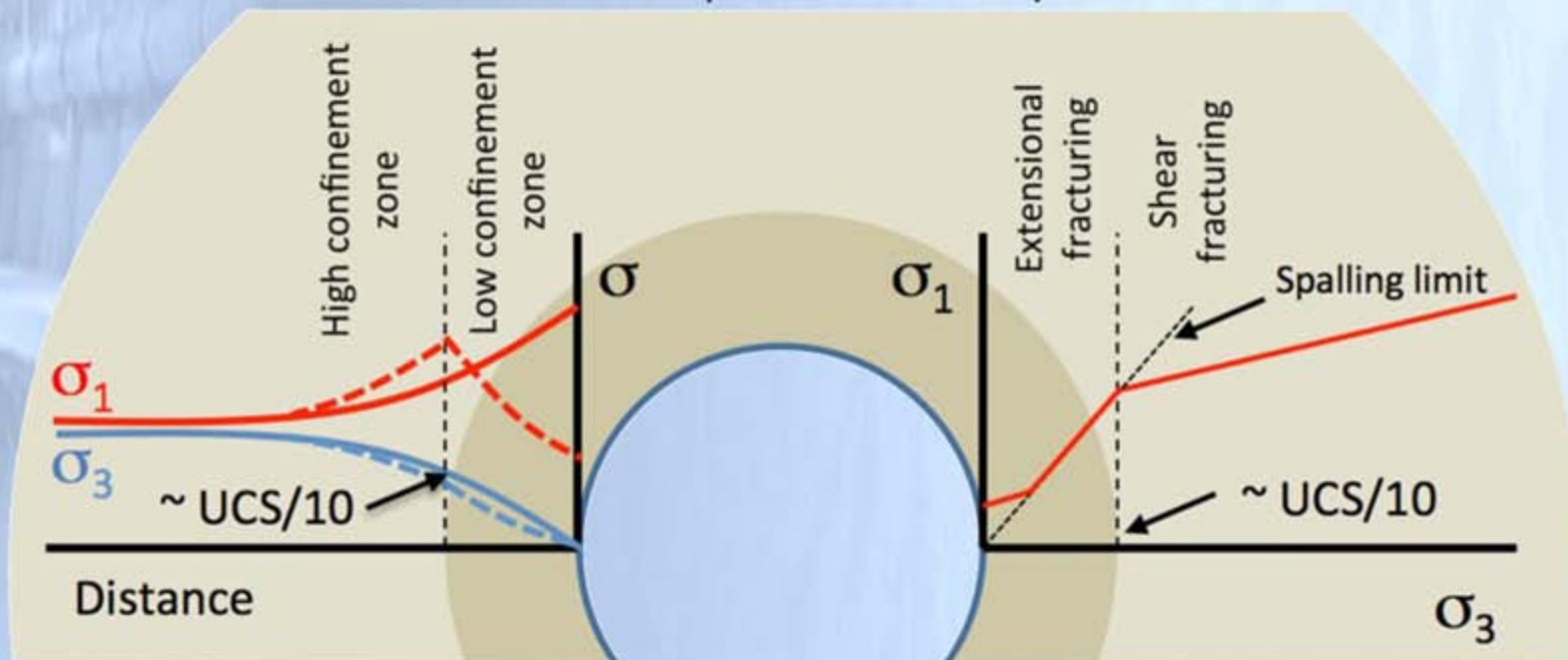


# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ زون پلاستیک در اطراف تونل

با افزایش فاصله از سینه کار، تنش بیشتری آزاد می شود. در حقیقت، تنش داخلی به مرور کاهش می یابد. اگر بازتوزیع تنش در اطراف تونل (بر اساس معیار شکست توده سنگ) در دامنه رفتار الاستیک نباشد، آنگاه زون پلاستیک در اطراف تونل ایجاد می شود.

### Confinement dependent failure processes



Left: Typical elastic tangential  $\sigma_1$  and radial  $\sigma_3$  stress distribution near a circular tunnel. When failure occurs, the tangential stress  $\sigma_1$  drops as indicated by the red dashed line.

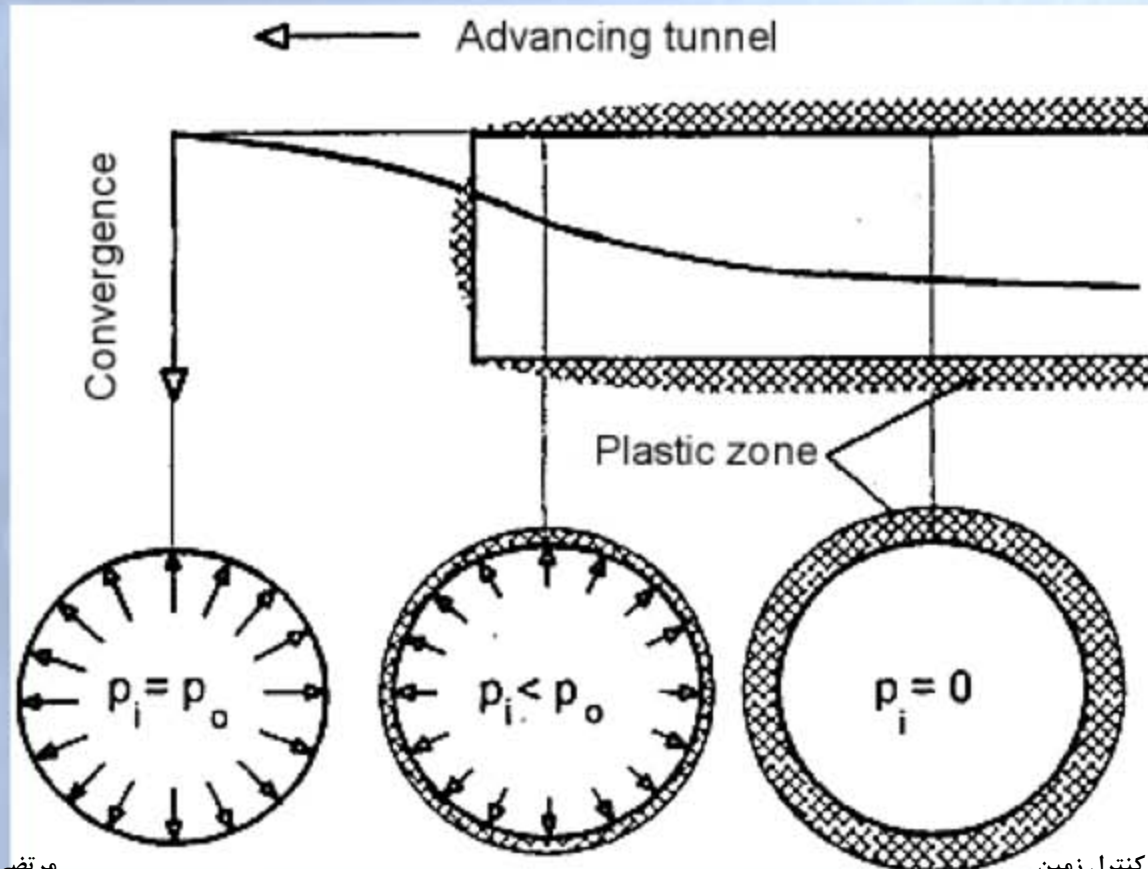
Right: failure envelope of brittle rock with pre-dominant extensional fracturing at low



# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ زون پلاستیک در اطراف تونل

با افزایش فاصله از سینه کار، تنش بیشتری آزاد می شود. در حقیقت، تنش داخلی به مرور کاهش می یابد. اگر بازتوزیع تنش در اطراف تونل (بر اساس معیار شکست توده سنگ) در دامنه رفتار الاستیک نباشد، آنگاه زون پلاستیک در اطراف تونل ایجاد شده که با افزایش فاصله از سینه کار، شعاع زون پلاستیک افزایش می یابد.



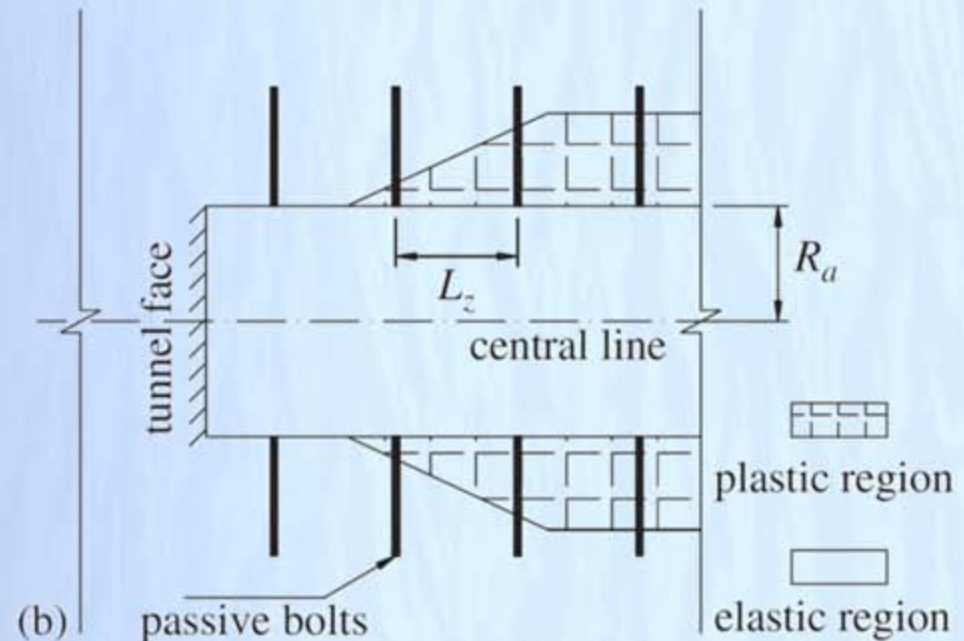
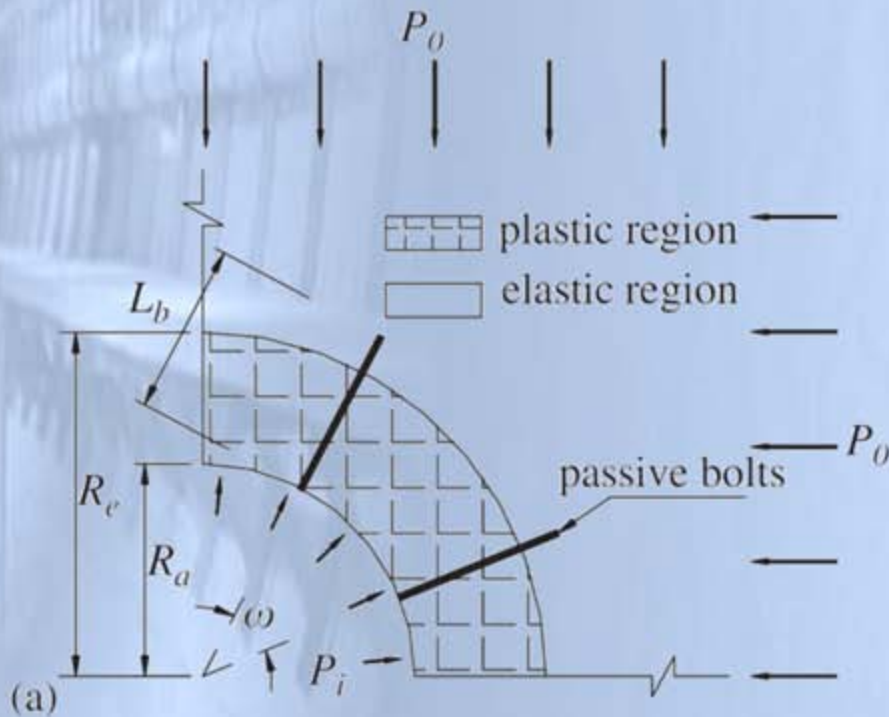




# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## ➤ زون پلاستیک در اطراف تونل

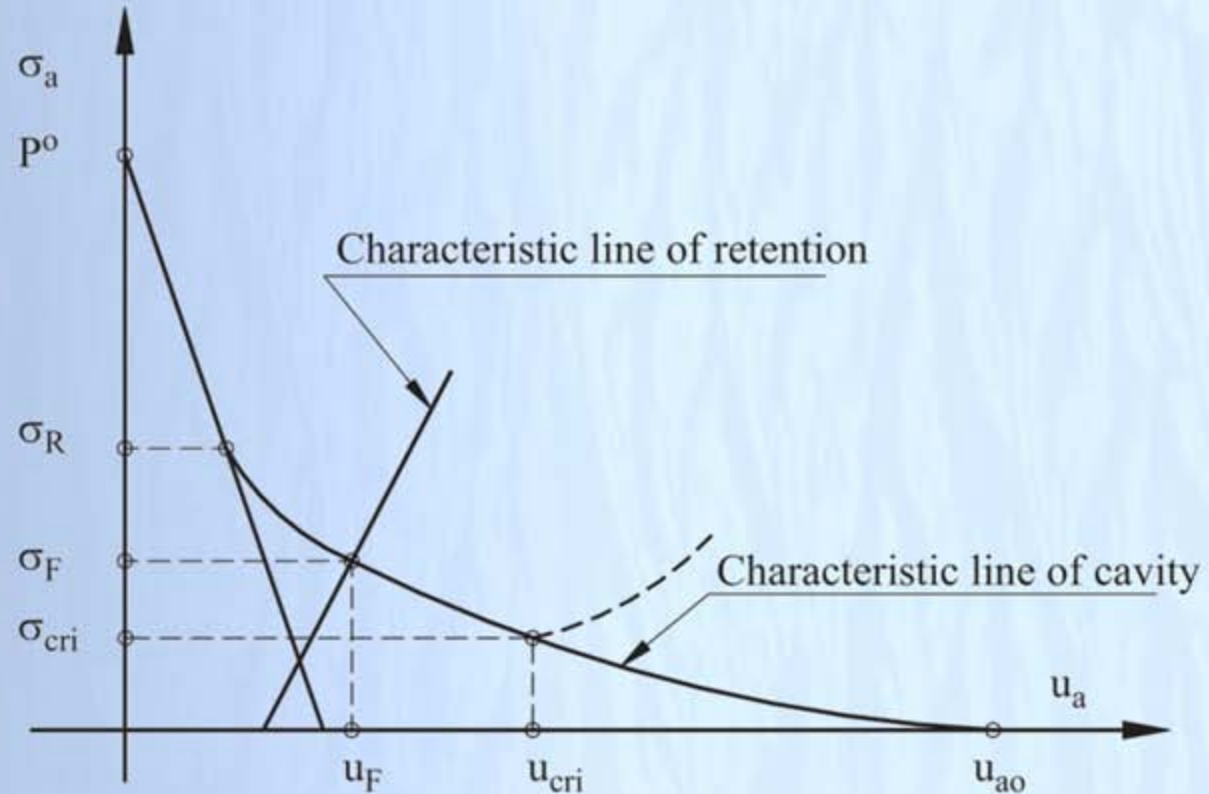
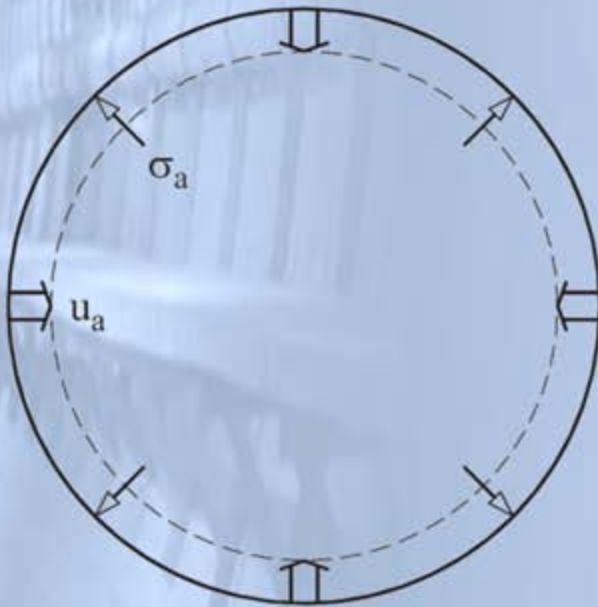
اگر بازتوزیع تنش در اطراف تونل (بر اساس معیار شکست توده سنگ) در دامنه رفتار الاستیک نباشد، آنگاه زون پلاستیک در اطراف تونل ایجاد شده که با افزایش فاصله از سینه کار، شعاع زون پلاستیک افزایش می یابد.





# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

## منحنی GRC

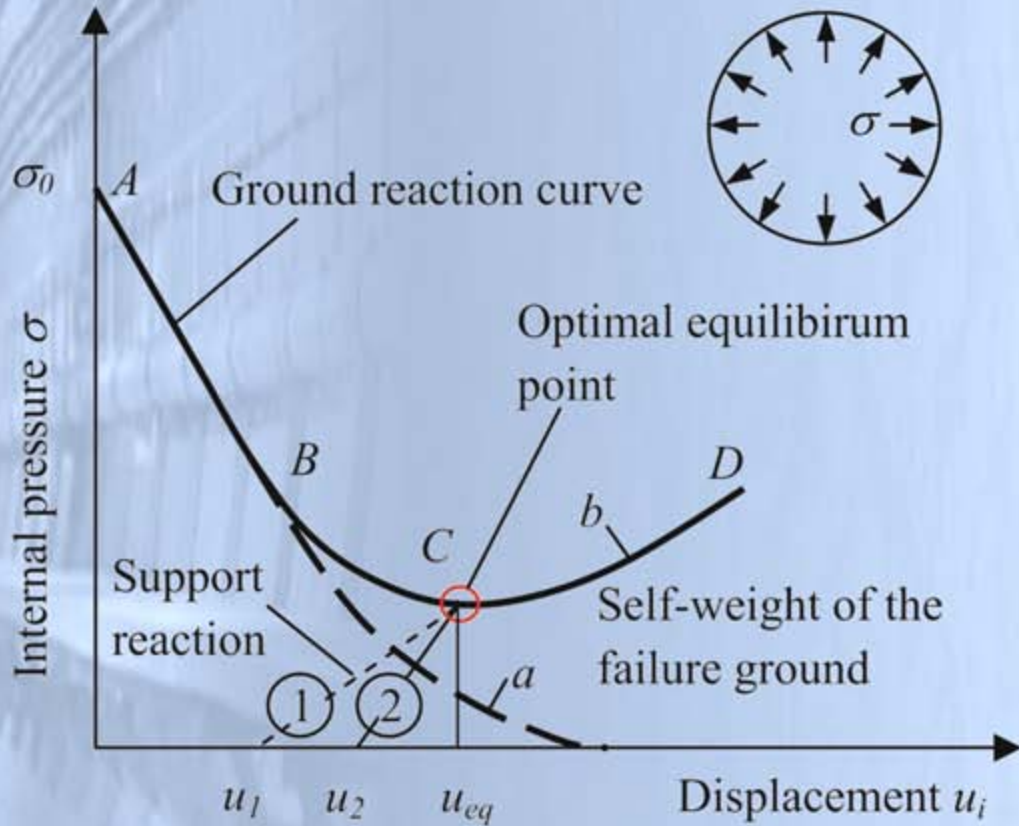






# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

منحنی GRC



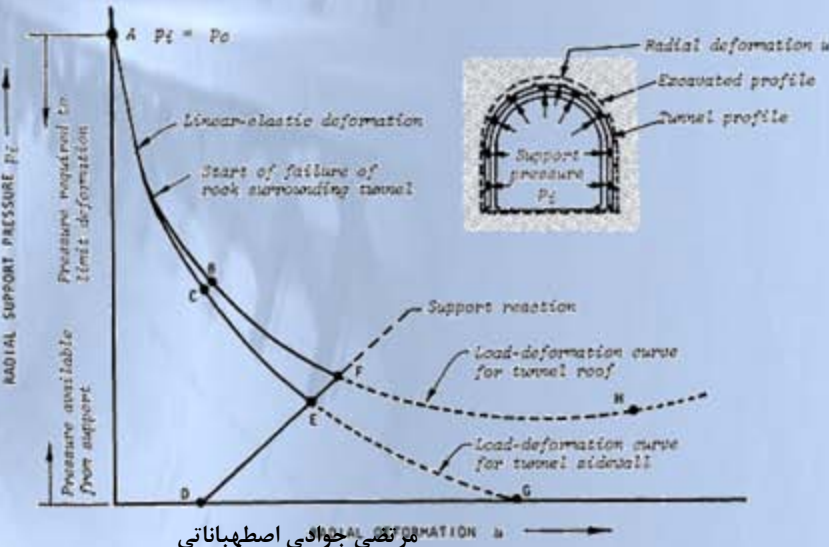
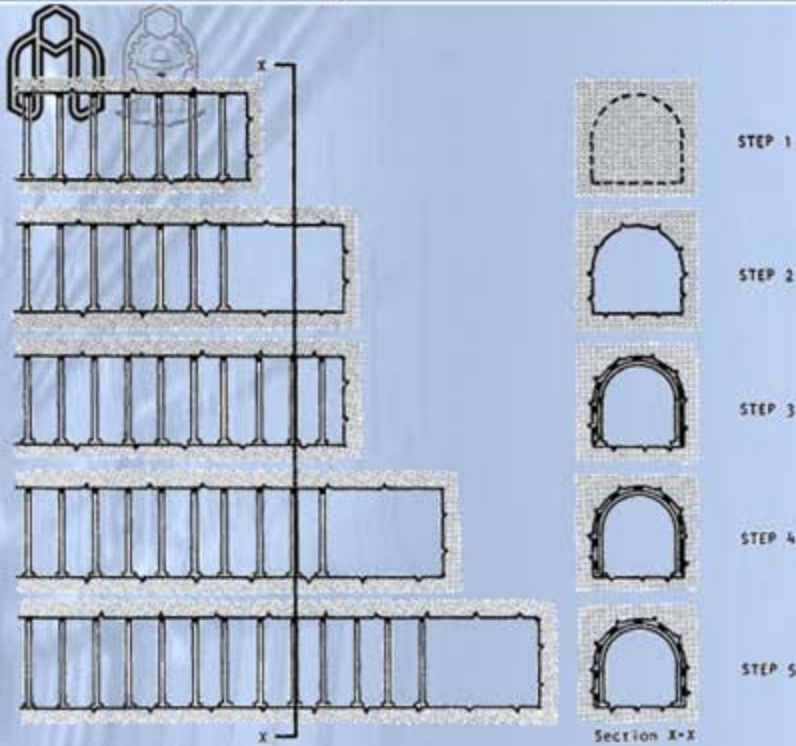
**Fig. 7** CCM: geometry of the problem. Key: 1 support reaction line of a flexible lining; 2 support reaction line of a stiff lining;  $u_{eq}$  tunnel wall displacement at the equilibrium state;  $u_1$  and  $u_2$  tunnel boundary displacements before the installation of the flexible and stiff supports

# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ منحنی GRC

➤ منحنی SCC

➤ انتخاب سیستم نگهداری بهینه

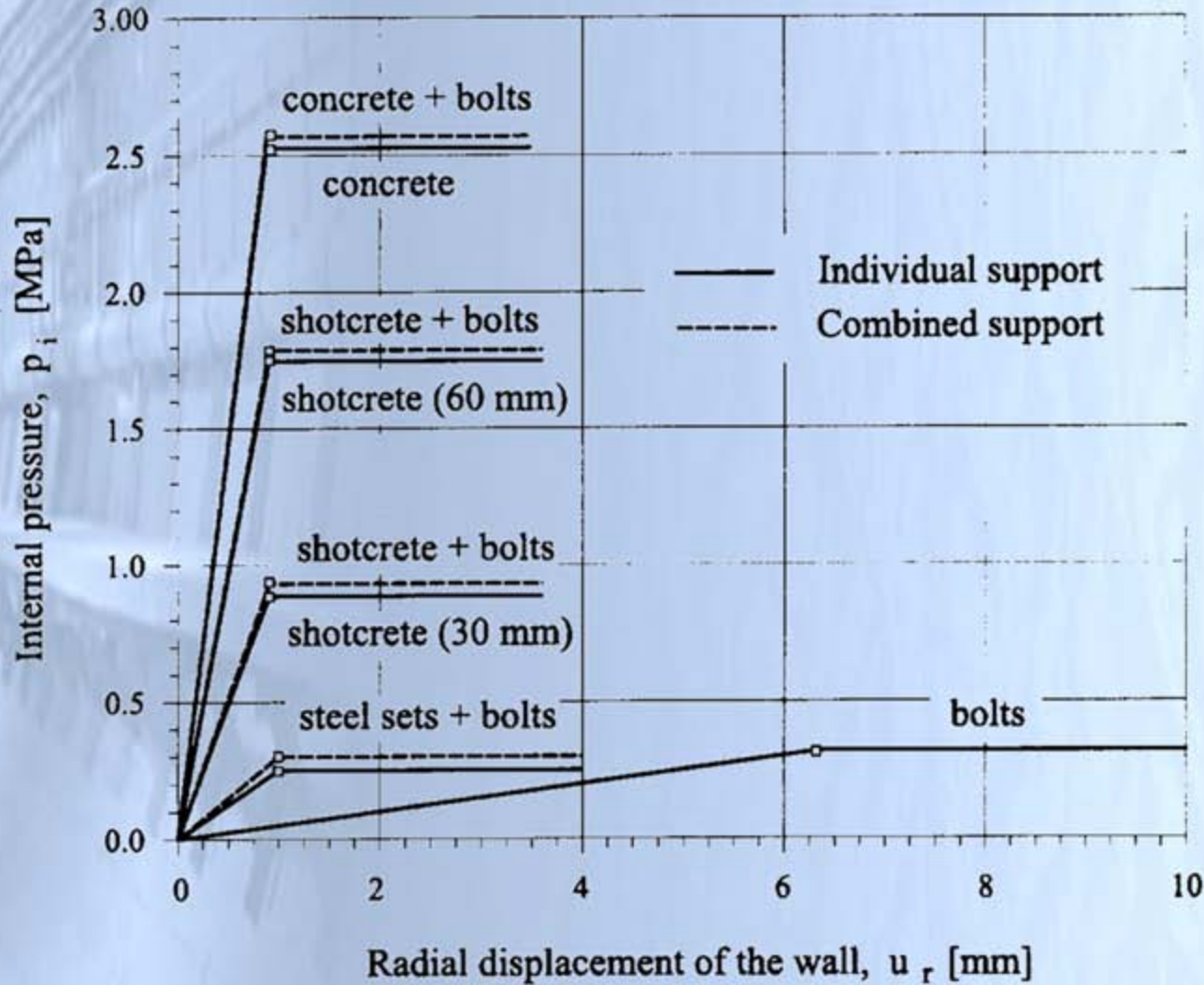






# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

منحنی SCC

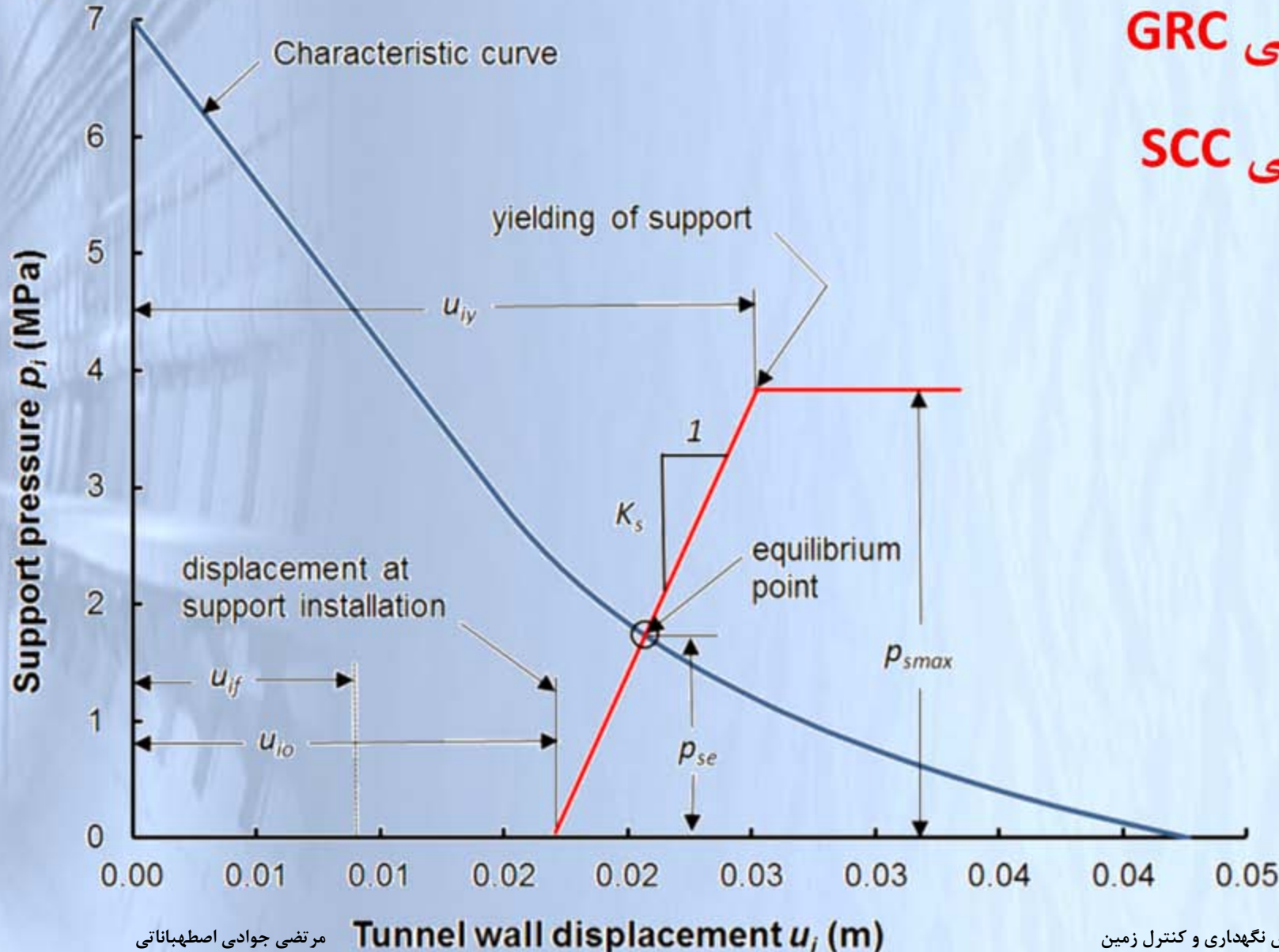




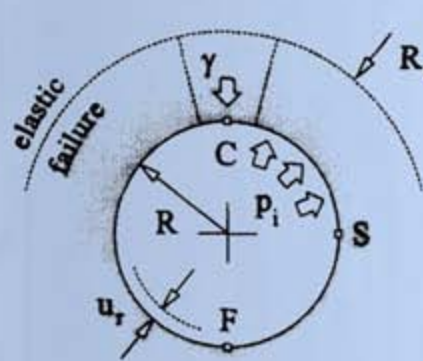
# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی

➤ منحنی GRC

➤ منحنی SCC







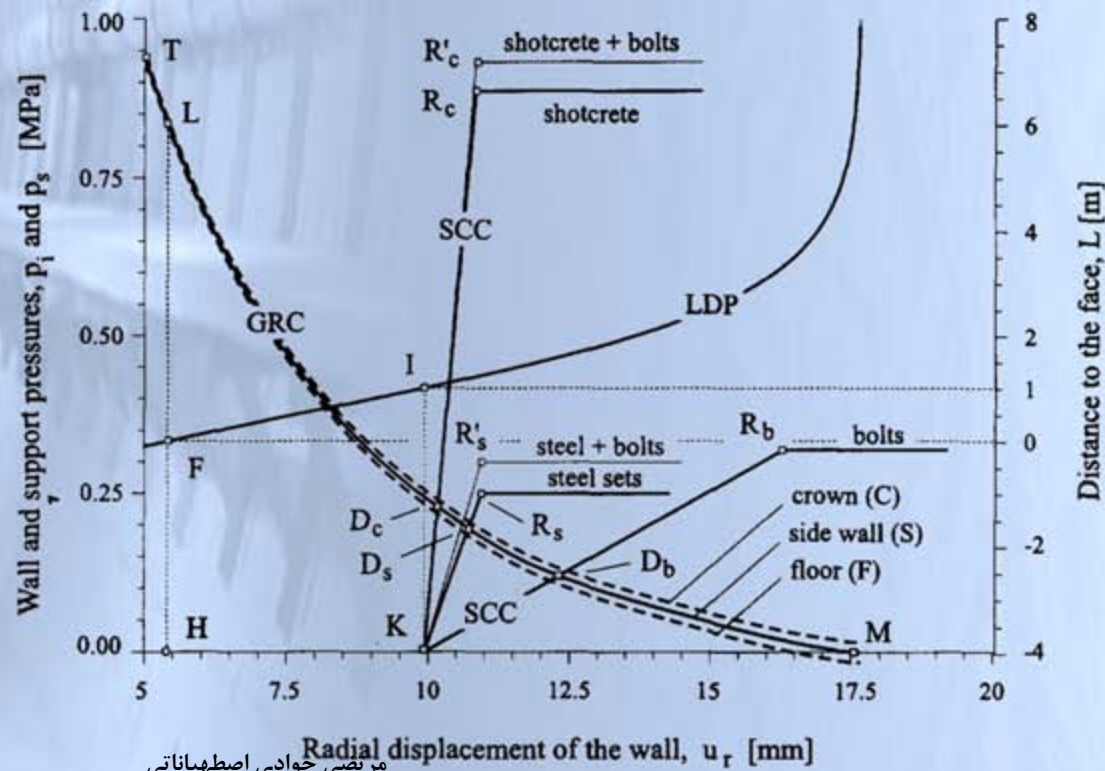
# توزیع تنش و جابجایی اطراف فضای زیرزمینی $R_{pl}$

➤ منحنی GRC

➤ منحنی SCC

➤ انتخاب سیستم نگهداری بهینه

b)





# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

## Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی





# رئوس مطالب

مقدمه 



# پدیده قوس فشار (Arching)

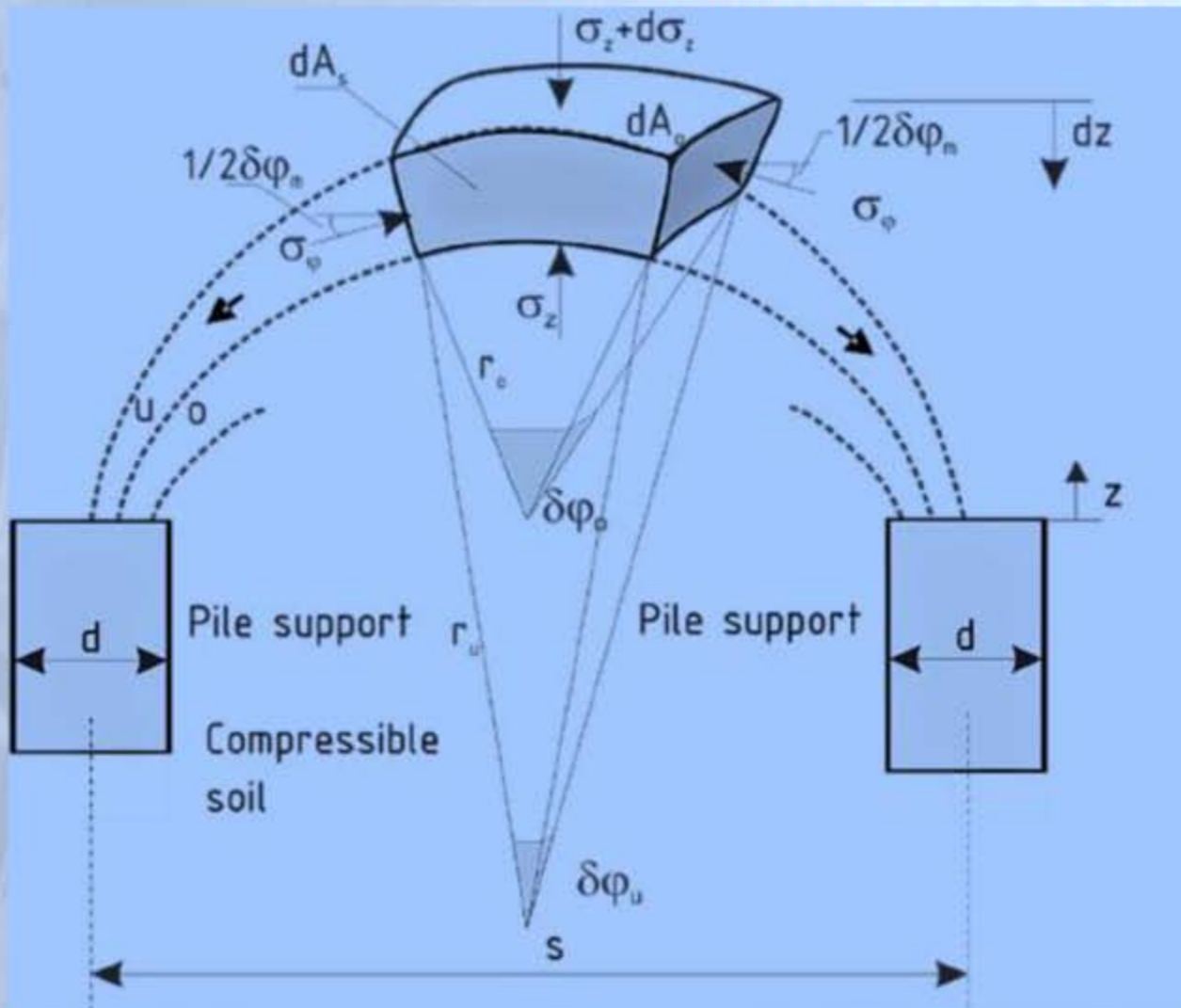
➤ مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش





# پدیده قوس فشار (Arching)

➤ مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش



# پدیده قوس فشار (Arching)

➤ مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش

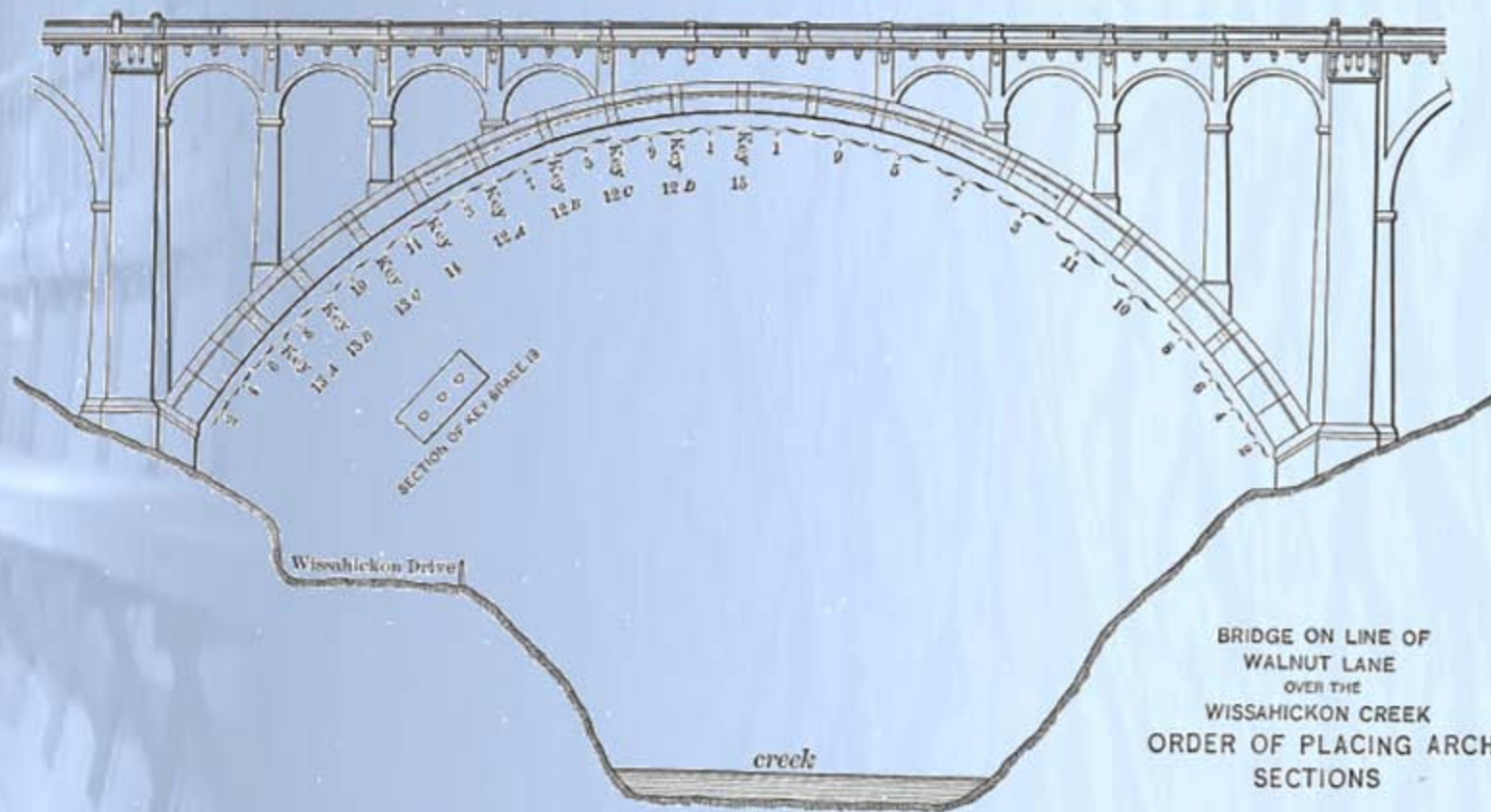
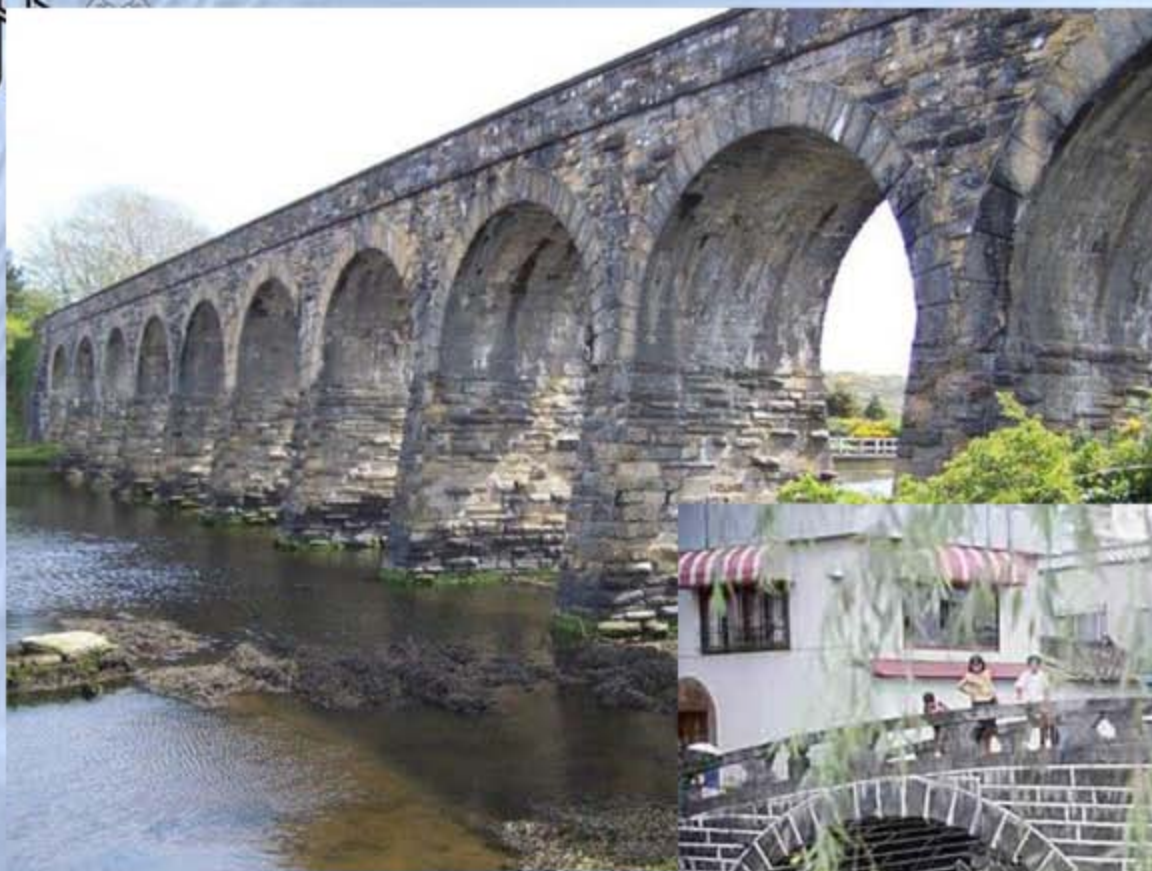


FIG. 3.



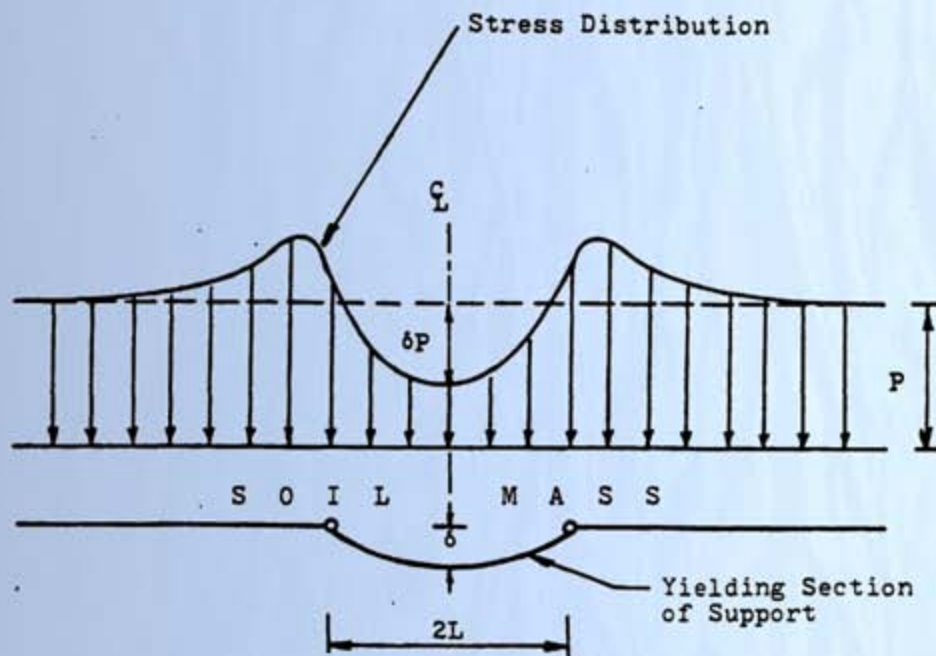




## پدیده قوس فشار (Arching)

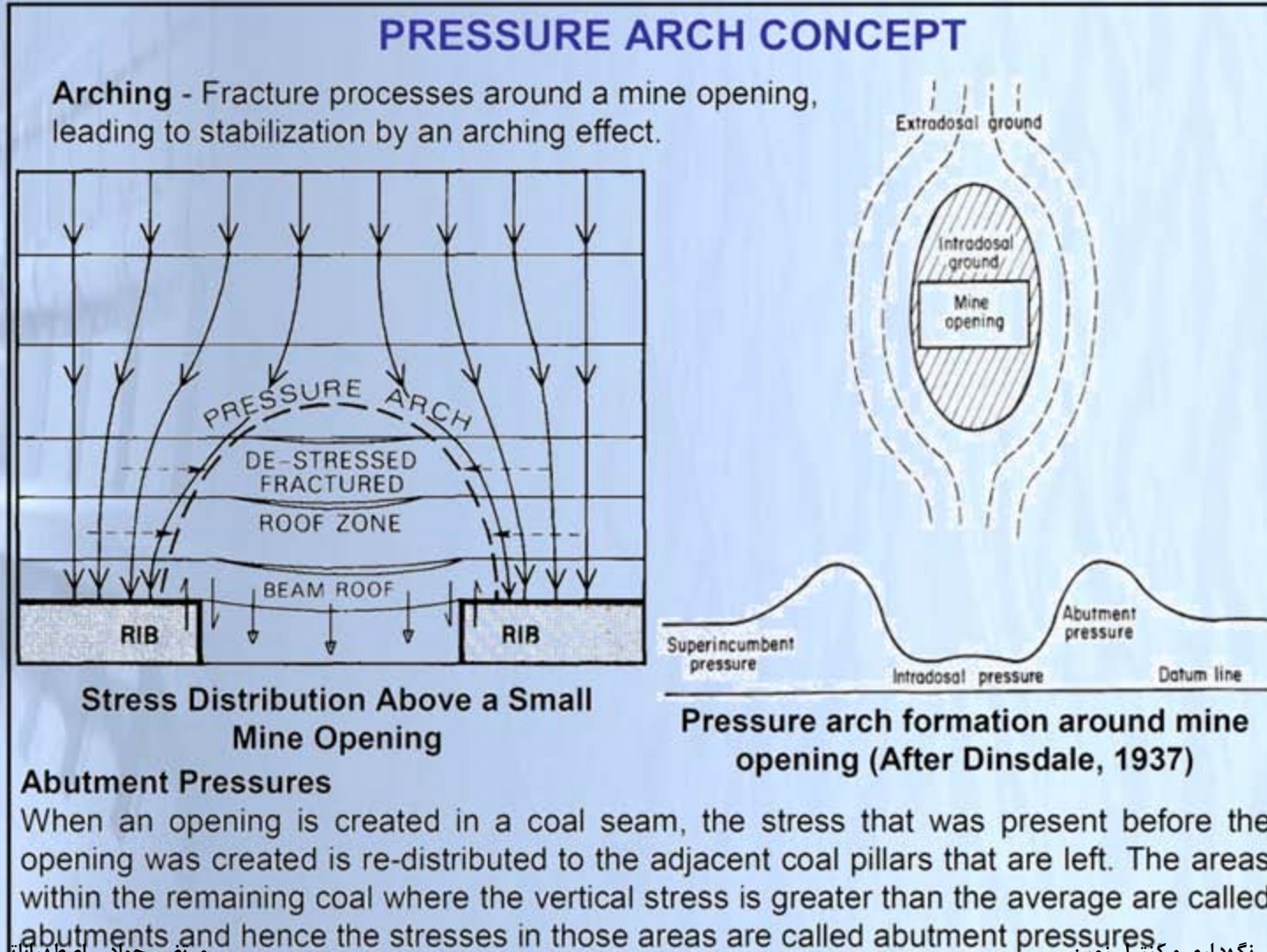
### ➤ مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش

Arching can be described as a **transfer of stresses** between a **yielding** ground mass and its **adjoining stable masses**, resulting in a **redistribution** of ground stresses (Terzaghi, 1943). When the yielding mass tends to move **downwards**, the **shearing resistance** will act upward and reduce the stress at the base of the yielding mass.



# پدیده قوس فشار (Arching)

## مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش

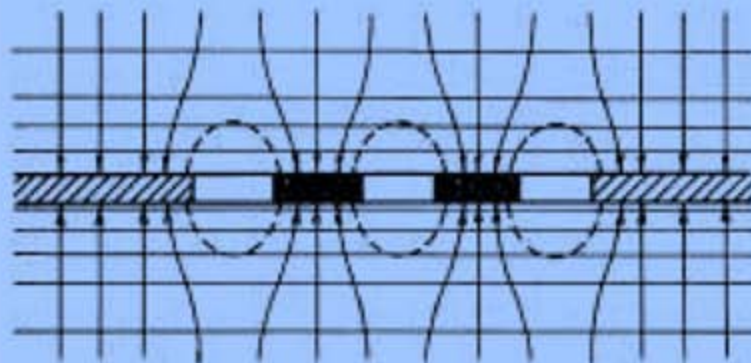




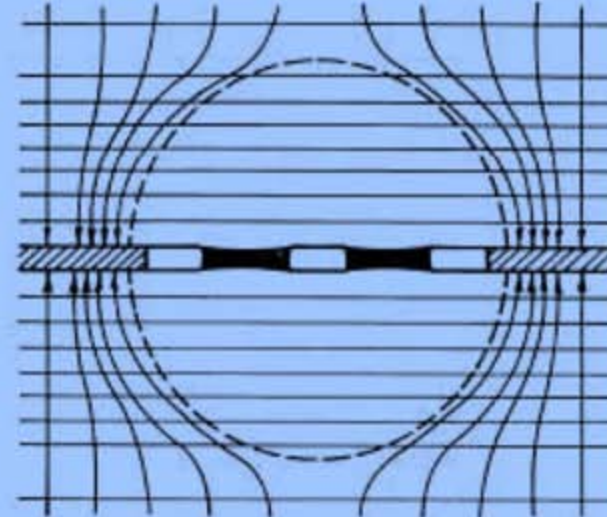


## پدیده قوس فشار (Arching)

### ➤ مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش



Minor Pressure Arch



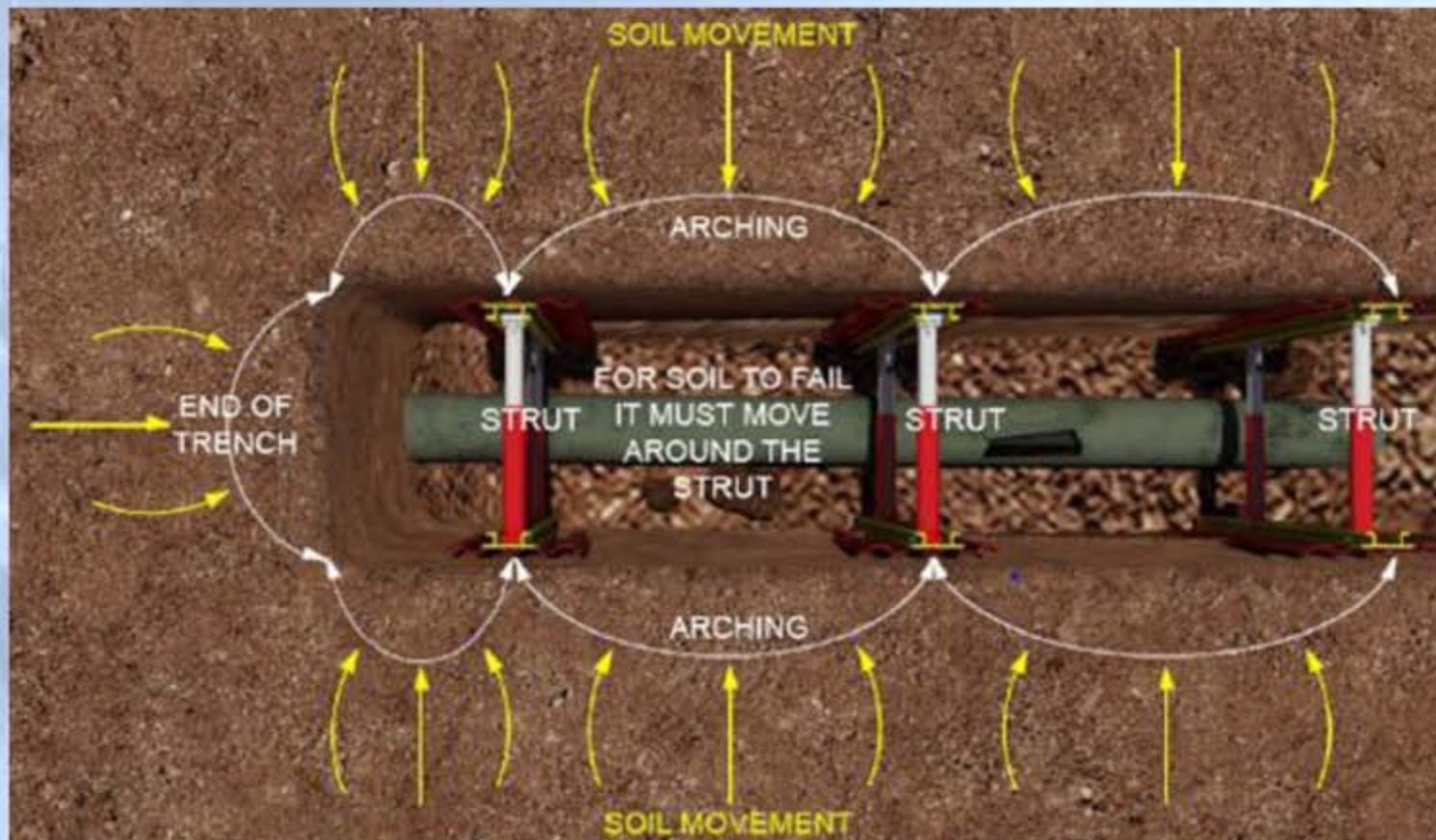
Major Pressure Arch

- Minor pressure arches can form independently from pillar to pillar when the strength of the pillars in situ exceeds that of the abutment pressure,
- If the pillars yield or fail because of excessive pressure, their load is transferred to neighboring barriers or abutment pillars and a major pressure arch



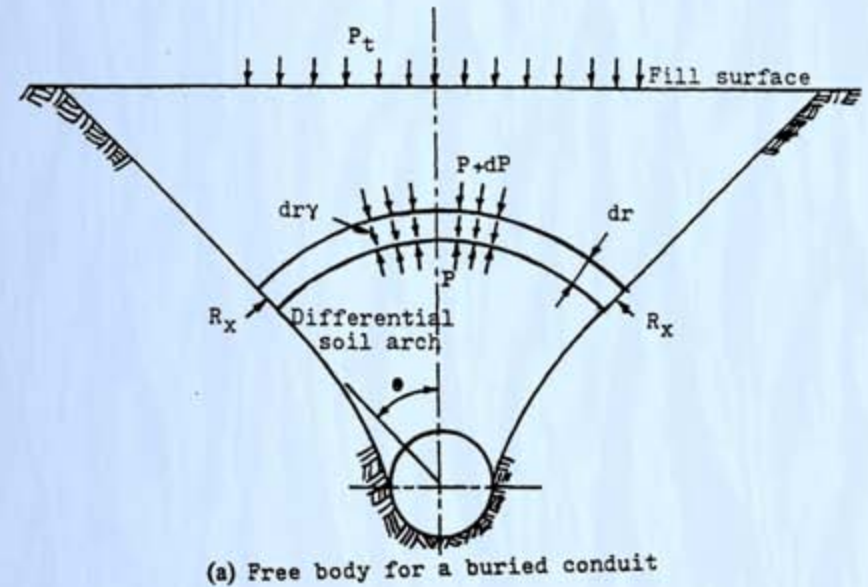
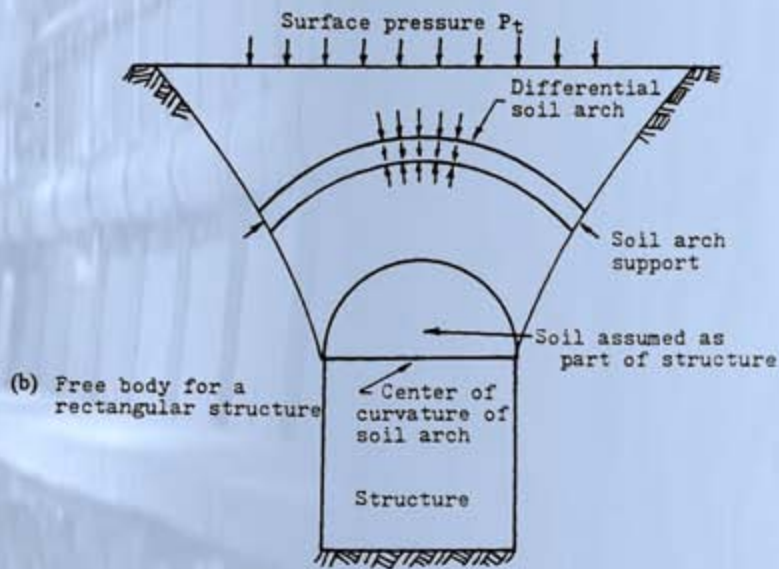
# پدیده قوس فشار (Arching)

➤ مفهوم قوس فشار و باز توزیع تنش

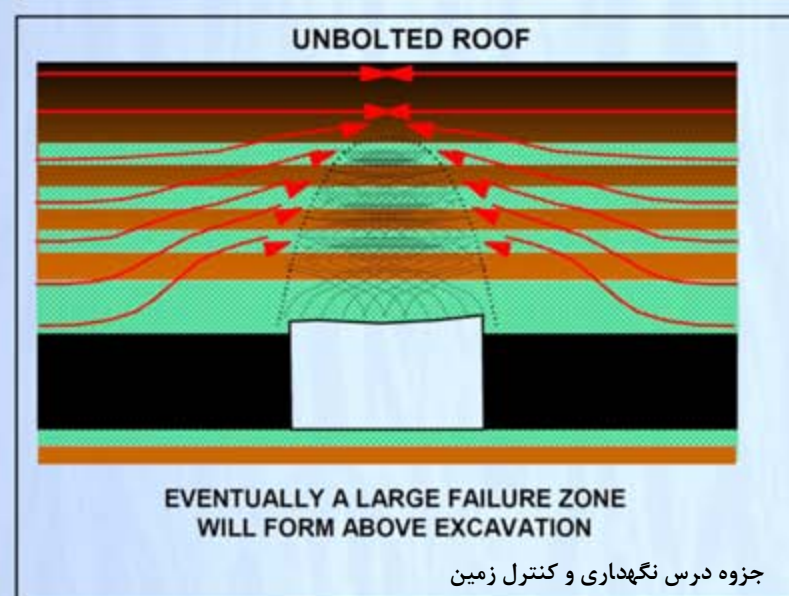
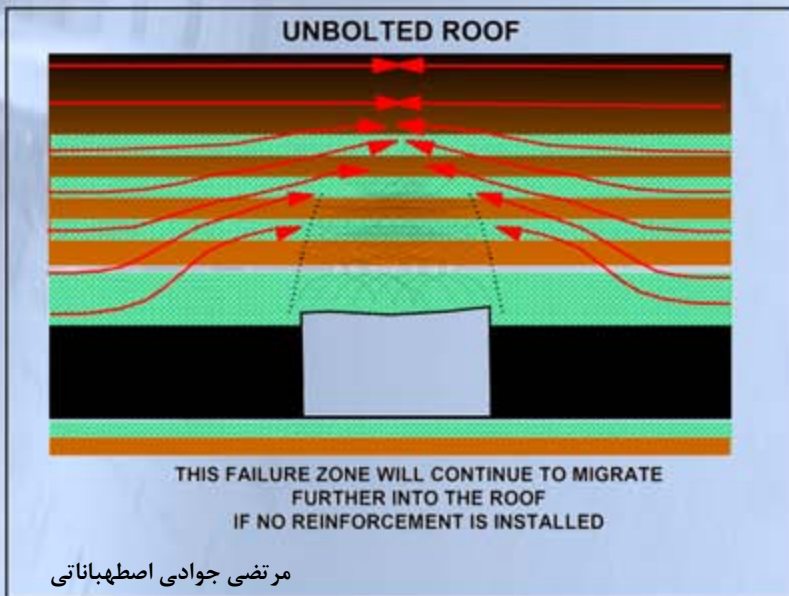
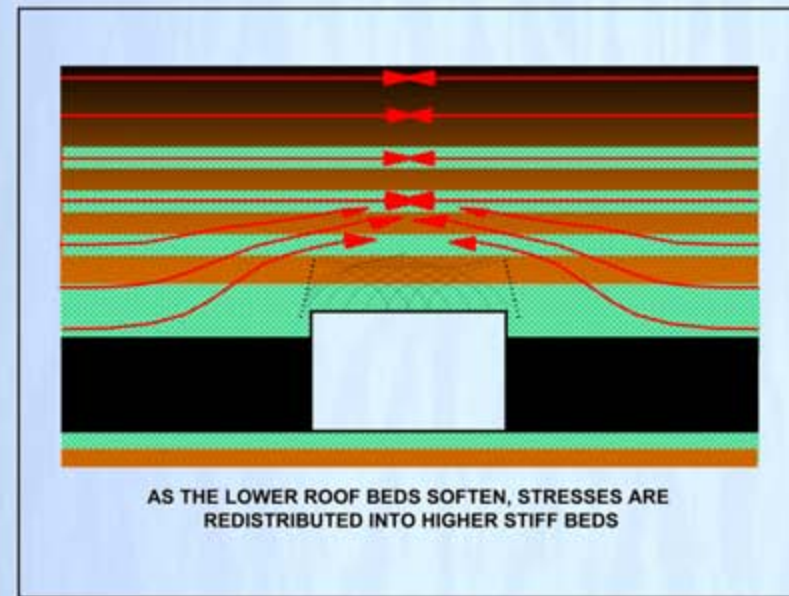
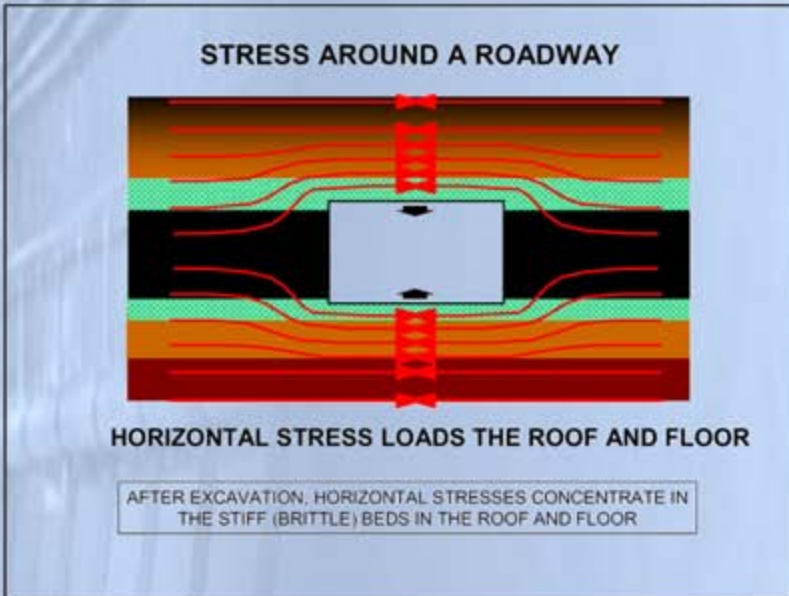




# پدیده قوس فشار (Arching)



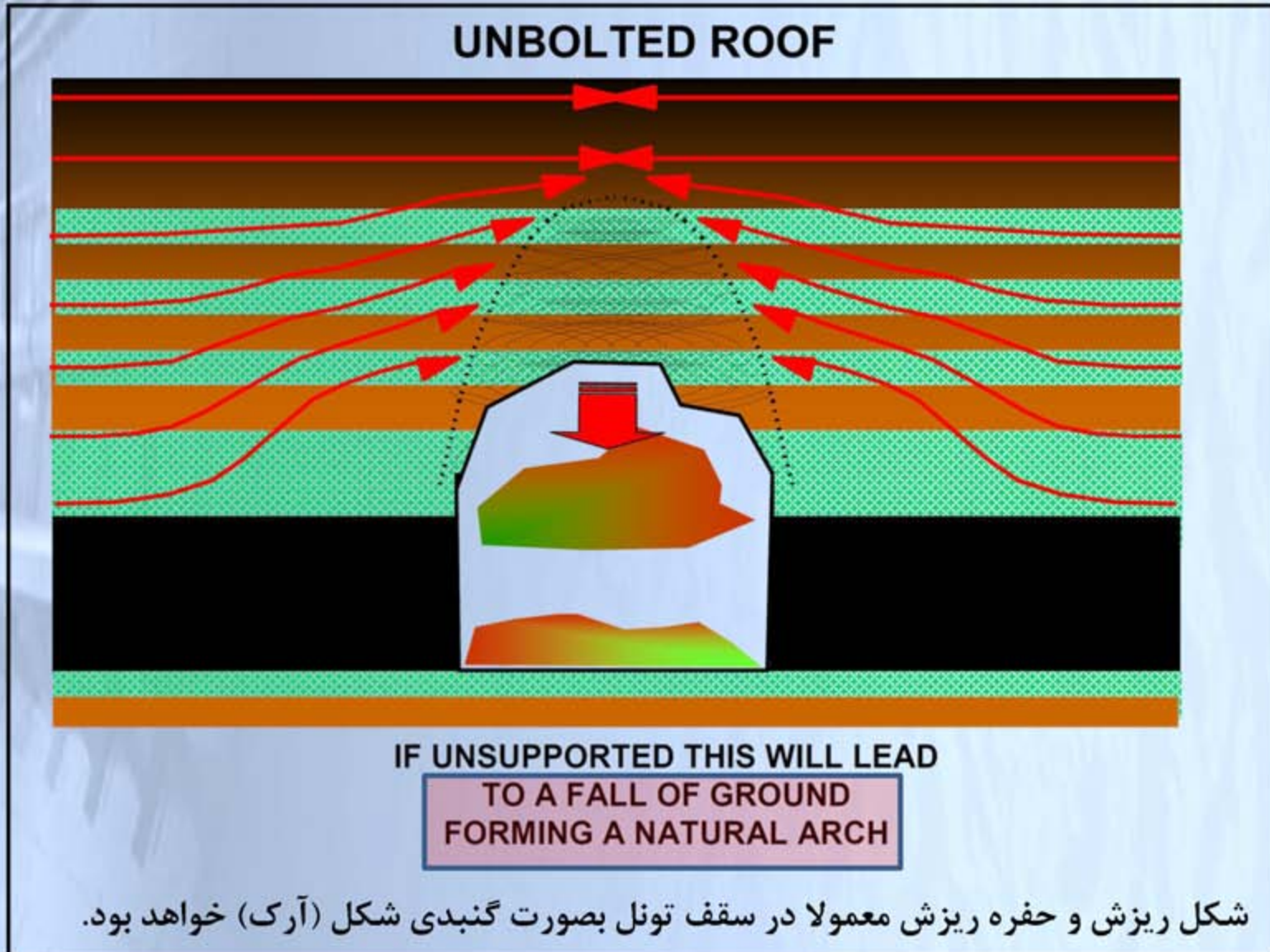
# پدیده قوس فشار (Arching)







# پدیده قوس فشار (Arching)





# روش های تجربی، رده بندی مهندسی و کاربرد در نگهداری





## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

### ➤ چرایی روش های تجربی

از دیرباز روش های تجربی طبقه بندی توده سنگ از دیدگاه مهندسی در مسائل کاربردی مورد توجه قرار گرفته است. روش های تجربی بعنوان یک ابزار نسبتاً ساده و با هدف کمی سازی رفتار زمین و در قالب یک روش فراگیر بکار گرفته میشوند.



## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

### ➤ شناخته شده ترین روش های تجربی

- طبقه بندی ترزاقی
- طبقه بندی ترزاقی اصلاح شده توسط دیر و همکاران بر اساس شاخص RQD
- طبقه بندی ترزاقی اصلاح شده توسط سینگ و همکاران برای تونل ها و مغارها
- سیستم VINMI (سیستم روسی)
- طبقه بندی سیستم امتیاز توده سنگ (RMR)
- طبقه بندی بارتون و همکاران (روش Q)
- روش شاخص مقاومت زمین شناسی توده سنگ (GSI)





## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

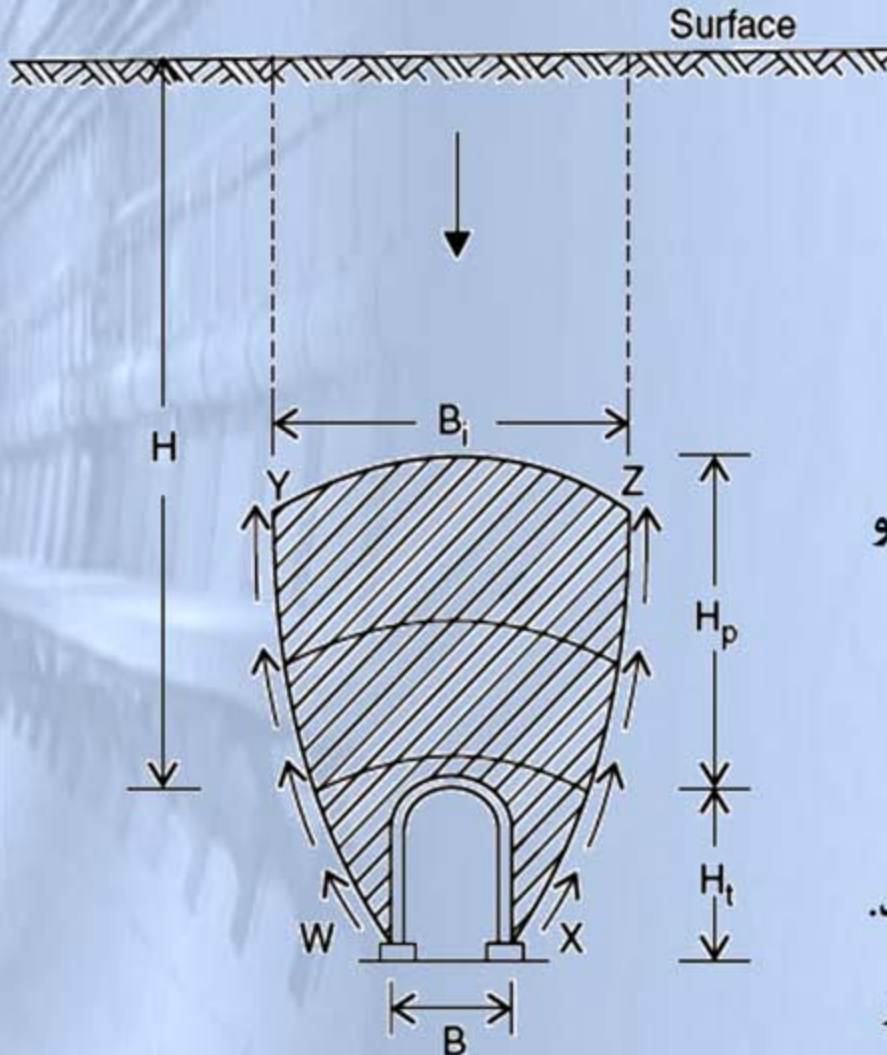
### ➤ ویژگی های اصلی یک سیستم رده بندی مهندسی

- ✓ ساده بوده و براحتی بخاطر سپرده شده و قابل درک باشد
- ✓ هر اصطلاح آن واضح و روشن باشد و اصطلاحات مورد استفاده بایستی بطور وسیعی توسط مهندسین و زمین شناسان مورد قبول واقع شود
- ✓ غالب خصوصیات مهم و پر معنی توده سنگ را شامل باشد
- ✓ متکی بر پارامترهای قابل اندازه گیری در محل توسط برداشت های سریع و ارزان باشد
- ✓ مبنای دسته بندی سیستم بنحوی باشد که اهمیت نسبی پارامترهای طبقه بندی در آن منعکس شود
- ✓ بر مبنای اطلاعات کمی گردآوری شده بتوان طرح نگهداری سنگ را مشخص نمود



# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## روش ترزاقی



- آخرین اصلاح آن در سال ۱۹۸۲ میلادی
- بر اساس شرایط کیفی توده سنگ
- مفهوم بار سنگ: ارتفاع توده سنگ سست یا ریزشی بوجود آمده در بالای سقف تونل
- مقدار بار سنگ (HP) بر حسب عرض تونل (B) و ارتفاع تونل (Ht)
- تخمین بارهای موثر بر قابهای فولادی
- روشهای جدید تونلسازی و از جمله استفاده از شاتکریت و پیچ سنگ چندان مناسب نمی باشد.
- برای تونل های با عرض کمتر از ۶ متر مناسب تر است. برای تونل های عریض تر، بیش برآورد

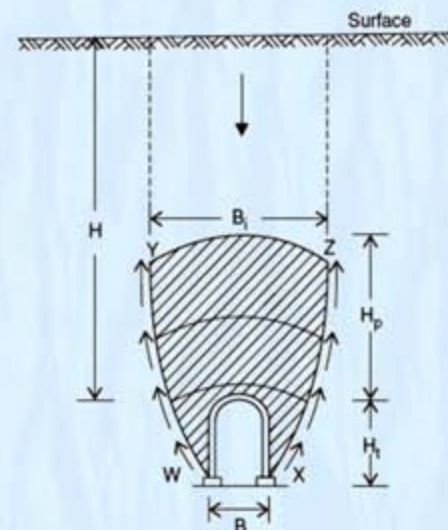




# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## روش ترزاقی

Rock class	Rock condition	Rock load factor $H_p$	Remarks
I	Hard and intact	Zero	Light lining required only if spalling or popping occurs.
II	Hard stratified or schistose	0 to 0.5 B	Light support mainly for protection against spalling. Load may change erratically from point to point.
III	Massive, moderately jointed	0 to 0.25 B	No side pressure
IV	Moderately blocky and seamy	$0.25 B$ to $0.35 (B + H_t)$	Little or no side pressure
V	Very blocky and seamy	$(0.35$ to $1.10) (B + H_t)$	Considerable side pressure. Softening effects of seepage toward bottom of tunnel requires either continuous support for lower ends of ribs or circular ribs.
VI	Completely crushed but chemically intact	$1.10 (B + H_t)$	Heavy side pressure, invert struts required. Circular ribs are recommended.
VII	Squeezing rock—moderate depth	$(2.10$ to $4.50) (B + H_t)$	Circular ribs are required. In extreme cases, use of yielding support recommended.
VIII	Squeezing rock—great depth	Up to 250 ft. (80 m), irrespective of the value of $(B + H_t)$	
IX	Swelling rock		



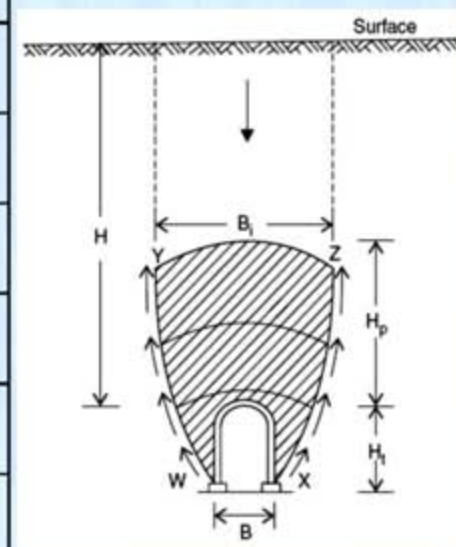
$B$  = tunnel span in meters;  $H_t$  = height of the opening in meters; and  $H_p$  = height of the loosened rock mass above tunnel crown developing load (Figure 5.1).



# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## روش ترزاقی

کلاس سنگ	شرایط سنگ	فاکتور بار سنگ ( $H_p$ )
I	سخت و بکر	صفر
II	سخت متورق	$(0 - 0.5)B$
III	توده ای با درزه داری متوسط	$(0 - 0.25)B$
IV	نسبتاً بلوکی و لایه دار	$0.25B - 0.35(B + H_r)$
V	بسیار بلوکی و لایه دار	$(0.35 - 1.1)(B + H_r)$
VI	کاملاً خرد شده ولی از لحاظ شیمیایی بکر	$1.1(B + H_r)$
VII	سنگ مچاله شونده با عمق متوسط	$(1.1 - 2.1)(B + H_r)$
VIII	سنگ مچاله شونده با عمق زیاد	$(2.1 - 4.5)(B + H_r)$
IX	سنگهای آماسی	$(B + H_r)$ تا ۸۰ متر صرف نظر از مقدار



$B$  = عرض تونل (متر);  $H_r$  = ارتفاع تونل (متر) و  $H_p$  = ارتفاع توده سنگ سست شده در بالای تاج تونل





# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## روش ترزاقی

**الف- سنگ بکر<sup>۱</sup>:** سنگ فاقد درزه و ترک است و در صورت شکستن، به صورت سالم می شکند. ضربه ناشی از آتشباری ممکن است بعد از ساعت ها و یا روزها باعث فرو ریزش سقف شود که به عنوان وضعیت پوسته پوسته شدن<sup>۲</sup> موسوم است. سنگ بکر ممکن است در اثر ترکش سنگ<sup>۳</sup> از سقف یا اطراف تونل جدا شود.

**ب- سنگ لایه ای<sup>۴</sup> (مطبق):** مرکب از طبقات منفرد با مقاومت کم در برابر جدایش در امتداد مرز بین لایه ها که ممکن است در اثر درزه های متقاطع تضعیف شود. در چنین سنگ هایی پوسته پوسته شدن موضوعی عادی است.

**پ- سنگ نسبتاً درزه دار<sup>۵</sup>:** شامل درزه و ترک های مویی است اما بلوک های بین درزه ها به طور موضعی در یکدیگر فرو رفته و یا آن چنان در یکدیگر قفل شده اند که دیواره های قائم احتیاجی به نگهداری ندارند. در این گونه سنگ ها هر دو حالت پوسته شدن<sup>۶</sup> و ترکش سنگ محتمل است.

**ت- سنگ بلوکی و لایه ای<sup>۷</sup>:** قطعات و خرده سنگ های بکر و تقریباً یکپارچه که به طور کامل از یکدیگر جدا شده و به طور ناقص در یکدیگر قفل شده اند. در چنین سنگ هایی، دیواره ها ممکن است نیاز به نگهداری جانبی داشته باشند.

**ث- سنگ خرد شده<sup>۸</sup>:** شبیه سنگ خرد شده در سنگ شکن ولی از نظر ترکیب یک دست و بکر است. در صورتی که بیشتر ذرات سنگ آن قدر کوچک باشند که مانند دانه های ماسه های ریز بوده و هیچ گونه سیمانی شدن در آن ها صورت نگرفته باشد در زیر سطح آب زیرزمینی خواص ماسه آبدار را از خود نشان می دهند.

**ج- سنگ فشارنده یا لهیده<sup>۹</sup>:** سنگی است که به آهستگی به داخل تونل پیشروی می کند بدون آنکه افزایش حجم محسوسی داشته باشد. شرط لازم برای حالت لهیدگی، وجود درصد بالایی از مواد بسیار ریزدانه و کانی های رسی با ظرفیت تورمی کم است.

**چ- سنگ تورمی<sup>۱۰</sup>:** این نوع سنگ عمدتاً به علت انبساط و متورم شدن به داخل تونل پیشروی می کند. ماهیت تورمی سنگ ها محدود به سنگ هایی است که دارای کانی های رسی از قبیل مونت موریلونیت هستند.

- 1- Intact rock
- 2 - Spalling
- 3- Rock burst
- 4 - Stratified rock
- 5 - Moderately jointed rock
- 6 - Popping
- 7 - Seamy and blocky rock
- 8 - Crushed rock
- 9 - Squeezing rock



## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

### ➤ روش ترزاقی توسعه داده شده، دیر و همکاران بر اساس RQD

در سال ۱۹۷۲، دیر و همکارانش، شاخص RQD را به ضریب بار سنگ ترزاقی مرتبط کرده و بر این اساس، ضریب همبستگی معقولی بین این دو ویژگی در مورد تونل‌هایی که با قاب فولادی نگهداری شده بود، یافتند.

کلاس سنگ	شرایط سنگ	RQD(%)	بار سنگ ( $H_p$ )
I	سخت و بکر	۹۵ تا ۱۰۰	صفر
II	سخت متورق	۹۰ تا ۹۹	$(0-0.5)B$
III	توده ای با درزه داری متوسط	۸۵ تا ۹۵	$(0-0.25)B$
IV	نسبتاً بلوکی و لایه دار	۷۵ تا ۸۵	$0.25B-0.35(B+H_r)$
V	بسیار بلوکی و لایه دار	۳۰ تا ۷۵	$(0.2-0.6)(B+H_r)$
VI	کاملاً خرد شده	۳ تا ۳۰	$(0.6-1.1)(B+H_r)$
VIa	شن و ماسه	۰ تا ۳	$(1.1-1.4)(B+H_r)$
VII	سنگ مچاله شونده با عمق متوسط	NA	$(1.1-2.1)(B+H_r)$
VIII	سنگ مچاله شونده با عمق زیاد	NA	$(2.1-4.5)(B+H_r)$
IX	سنگهای آماسی	NA	$(B+H_r)$ تا ۸۰ متر صرفنظر از مقدار

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین  
 $B$  = عرض تونل (متر);  $H_r$  = ارتفاع تونل (متر) و  $H_p$  = ارتفاع توده سنگ سست شده در بالای تاج تونل  
 مرتضی جوادى اصطهباناتى





## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

روش ترزاقی توسعه داده شده، دیر و همکاران بر اساس RQD

Rock class and condition	RQD (%)	Rock load ( $H_p$ )	Remarks
I. Hard and intact	95–100	Zero	Same as Table 5.2
II. Hard stratified or schistose	90–99	0–0.5 B	Same as Table 5.2
III. Massive moderately jointed	85–95	0–0.25 B	Same as Table 5.2
IV. Moderately blocky and seamy	75–85	0.25 B–0.35 ( $B + H_t$ )	Types IV, V, and VI reduced by about 50% from Terzaghi values because water table has little effect on rock load (Terzaghi, 1946; Brekke, 1968)
V. Very blocky and seamy	30–75	(0.2–0.6) ( $B + H_t$ )	Same as above
VI. Completely crushed	3–30	(0.6–1.10) ( $B + H_t$ )	Same as above
Vla. Sand and gravel	0–3	(1.1–1.4) ( $B + H_t$ )	Same as above
VII. Squeezing rock at moderate depth	NA	(1.10–2.10) ( $B + H_t$ )	Same as Table 5.2
VIII. Squeezing rock at great depth	NA	(2.10–4.50) ( $B + H_t$ )	Same as Table 5.2
IX. Swelling rock	NA	Up to 80 m irrespective of the value of ( $B + H_t$ )	Same as Table 5.2

B = tunnel span;  $H_t$  = height of the opening; and  $H_p$  = height of the loosened rock mass above the tunnel crown developing load (Figure 5.1)

مرتضی جوادبی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## روش ترزاقی توسعه داده شده، دیر و همکاران بر اساس RQD

شاخص RQD

سیستم نگهداری

Rock quality	Construction method	Steel sets		Rock bolt		Conventional shotcrete		Additional supports
		Weight of steel sets	Spacing	Spacing of pattern bolt	Additional requirements	Total thickness (cm)		
						Crown	Sides	
Excellent RQD >90	Tunnel boring machine	Light	None to occasional	None to occasional	Rare	None to occasional	None	None
	Drilling and blasting	Light	None to occasional	None to occasional	Rare	None to occasional	None	None
Good RQD 75 to 90	Boring machine	Light	Occasional or 1.5 to 1.8 m	Occasional or 1.5 to 1.8 m	Occasional mesh and straps	Local application 5 to 7.5 cm	None	None
	Drilling and blasting	Light	1.5 to 1.8 m	1.5 to 1.8 m	Occasional mesh and straps	Local application 5 to 7.5 cm	None	None
Fair RQD 50 to 75	Boring machine	Light to medium	1.5 to 1.8 m	1.2 to 1.8 m	Mesh and straps as required	5 to 10 cm	None	Rock bolts
	Drilling and blasting	Light to medium	1.2 to 1.5 m	0.9 to 1.5 m	Mesh and straps as required	10 cm or more	10 cm or more	Rock bolts
Poor RQD 25 to 50	Boring machine	Medium circular	0.6 to 1.2 m	0.9 to 1.5 m	Anchorage may be hard to obtain; considerable mesh and straps required	10 to 15 cm	10 to 15 cm	Rock bolt as required (1.2 to 1.8 m center to center)
	Drilling and blasting	Medium to heavy circular	0.2 to 1.2 m	0.6 to 1.2 m	As above	15 cm or more	15 cm or more	As above
Very poor RQD <25	Boring machine	Medium to heavy circular	0.6 m	0.6 to 1.2 m	Anchorage may be impossible; 100% mesh and straps required	15 cm or more on whole section		Medium sets as required
	Drilling and blasting	Heavy circular	0.6 m	0.9 m	As above	15 cm or more on whole section		Medium to heavy sets as required
Very poor squeezing and swelling	Both methods	Very heavy circular	0.6 m	0.6 to 0.9 m	Anchorage may be impossible; 100% mesh and straps required	15 cm or more on whole section		Heavy sets as required





## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

### ➤ روش ترزاقی اصلاح شده توسط سینگ و همکاران برای تونل ها و مغارها

سینگ و همکاران (۱۹۹۶)، فشار نگهداری اندازه گیری شده از تونلها و مغارها را با مقادیر بدست آمده از تئدوری ترزاقی مقایسه کرده و مشاهده کردند که **فشار نگهداری در تونلها و مغارهای سنگی، مستقیماً با افزایش ابعاد فضای حفاری آنطور که ترزاقی و دیگر محققان اعتقاد داشتند افزایش نمی یابد.** از دلایل این موضوع می توان به جلوگیری از سست شدن توده سنگ در اثر پیشرفت تکنولوژی تونلسازی ناشی از استفاده از روشهای حفاری مکانیزه، انفجارهای کنترل شده و ابداع روشهای حفاری چند مرحله ای همچون NATM اشاره کرد.

فشار نگهداری نسبتاً مستقل از ابعاد فضای حفاری است. همچنین، مطالعات آنها نشان داد که در مقاطع واقع در زونهای برشی، گسلهای دارای پرکننده های ضخیم رسی، شیل های رسی ضعیف و زمین های رانشی و آبدار، فشار نگهداری با افزایش عرض حفاری مستقیماً زیاد خواهد شد. در حقیقت، در چنین شرایطی، قفل شدگی داخلی بلوکها و همینطور مقاومت درزه ها از بین رفته و گوه های سنگی، در اثر همگرایی زیاد سقف ناشی از تاخیر در نصب سیستم نگهداری پس از زمان مجاز خود ایستایی، سقوط خواهند کرد.

# روش های تجربی تخمین $P_p$

## روش ترزاقی اصلاح

طبقه بندی سنگ و همکاران (۱۹۹۵)				طبقه بندی ترزاقی		
فشار نگهداری توصیه شده (MPa)						
$P_h$	$P_v$	شرایط سنگ	کاتگوری	فاکتور بار سنگ ( $H_p$ )	شرایط سنگ	کاتگوری
.	.	سخت و بکر	I	صفر	سخت و بکر	I
.	۰.۰۷۵ تا ۰.۰۴	سخت متورق	II	$(0-0.5)B$	سخت متورق	II
.	۰.۰۴ تا ۰	نوده ای یا درزه داری متوسط	III	$(0-0.25)B$	نوده ای یا درزه داری متوسط	III
$0-0.2 P_v$	۰.۰۶ تا ۰.۰۴	نسبتاً بلوکی، لایه دار و پر درزه	IV	$0.25B - 0.35(B + H_t)$	نسبتاً بلوکی، لایه دار و درزه دار	IV
$0-0.5 P_v$	۰.۰۶ تا ۰.۰۴	بسیار بلوکی و لایه دار، بسیار پر درزه و خرد شده، زون گسله یا برشی نازک (اصحاحات تا ۲ متر)	V	$(0.35 - 1.1)(B + H_t)$	بسیار بلوکی و لایه دار	V
$0.3-1 P_v$	۰.۰۴ تا ۰.۰۳	کاملاً خرد شده ولی از لحاظ شیمیایی دگرسان نشده، زونهای گسله و برشی ضخیم	VI	$1.1(B + H_t)$	کاملاً خرد شده ولی از لحاظ شیمیایی بکر	VI
		شرایط سنگ مجاله شونده	VII	$(1.1 - 2.1)(B + H_t)$	سنگ مجاله شونده با عمق متوسط	VII
بستگی به مقادیر تنش اولیه دارد؛ ممکن است $P_h$ از $P_v$ بیشتر شود	۰.۰۳ تا ۰.۰۴	مجاله شونده گی ملایم $\left(\frac{u_a}{a}\right)$ (۰.۳ تا ۰.۵)	VIIA			
مشابه بالا	۰.۰۴ تا ۰.۰۶	مجاله شونده گی متوسط $\left(\frac{u_a}{a}\right)$ (۰.۵ تا ۰.۷)	VII B			
مشابه بالا	۰.۰۶ تا ۰.۰۴	مجاله شونده گی بالا $\left(\frac{u_a}{a}\right)$ بزرگتر از ۰.۷	VII C	$(2.1 - 4.5)(B + H_t)$	سنگ مجاله شونده با عمق زیاد	VIII
		سنگهای آماسی و متورم	VIII	۸۰ متر	سنگهای آماسی و متورم	IX
بستگی به نوع و مقدار رس دارد؛ ممکن است $P_h$ از $P_v$ بیشتر شود	۰.۰۳ تا ۰.۰۸	آماس ملایم	VIIA			
مشابه بالا	۰.۰۸ تا ۰.۰۴	آماس متوسط	VII B			
مشابه بالا	۰.۰۴ تا ۰.۰۲	آماس زیاد	VII C			





# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

روش ترزاقی اصلاح شده توسط سینگ و همکاران برای تونل ها و مغارها

Category	Rock condition	Rock load factor ( $H_p$ )	Category	Rock condition	Recommended support pressure (MPa)		Remarks
					$p_v$	$p_h$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
I	Hard and intact	0	I	Hard and intact	0	0	—
II	Hard stratified or schistose	0 to 0.5 B	II	Hard stratified or schistose	0.04-0.07	0	—
III	Massive, moderately jointed	0 to 0.25 B	III	Massive, moderately jointed	0.0-0.04	0	—
IV	Moderately blocky, seamy, and jointed	0.25 B to 0.35 (B + H <sub>1</sub> )	IV	Moderately blocky, seamy, very jointed	0.04-0.1	0-0.2 p <sub>v</sub>	Inverts may be required
V	Very blocky and seamy, shattered arched	0.35 to 1.1 (B + H <sub>1</sub> )	V	Very blocky and seamy, shattered highly jointed, thin shear zone or fault	0.1-0.2	0-0.5 p <sub>v</sub>	Inverts may be required, arched roof preferred
VI	Completely crushed but chemically intact	1.1 (B + H <sub>1</sub> )	VI	Completely crushed but chemically unaltered, thick shear and fault zone	0.2-0.3	0.3-1.0 p <sub>v</sub>	Inverts essential, arched roof essential
VII	Squeezing rock at moderate depth	1.1 to 2.1 (B + H <sub>1</sub> )	VII	Squeezing rock condition			
			VIIA	Mild squeezing (u <sub>r</sub> /a up to 3%)	0.3-0.4	Depends on primary stress values, p <sub>h</sub> may exceed p <sub>v</sub>	Inverts essential. In excavation flexible support preferred. Circular section with struts recommended
			VII B	Moderate squeezing (u <sub>r</sub> /a = 3 to 5%)	0.4-0.6	-do-	-do-
VIII	Squeezing rock at great depth	2.1 to 4.5 (B + H <sub>1</sub> )	VII C	High squeezing (u <sub>r</sub> /a > 5%)	6.0-1.4	-do-	-do-
			VIII	Swelling rock			
IX	Swelling rock	Up to 80 m	VIII A	Mild swelling	0.3-0.8	Depends on type and content of swelling clays, p <sub>h</sub> may exceed p <sub>v</sub>	Inverts essential in excavation, arched roof essential
			VIII B	Moderate swelling	0.8-1.4	-do-	-do-
			VIII C	High swelling	1.4-2.0	-do-	-do-

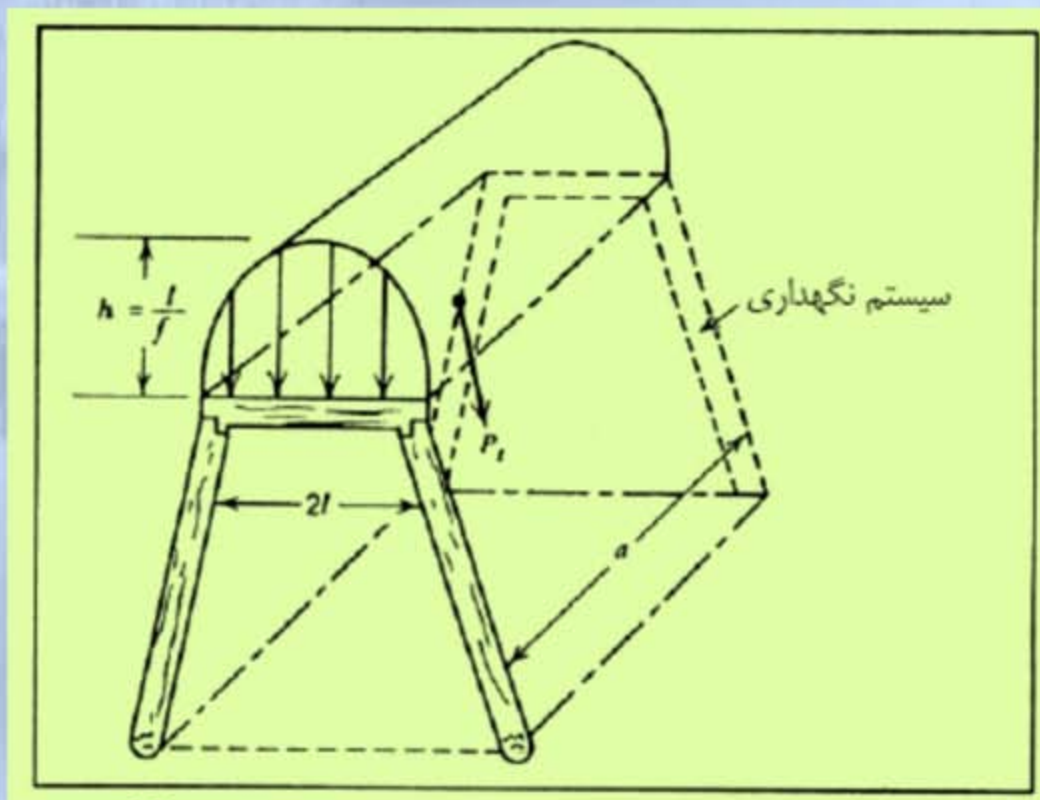
p<sub>v</sub> — vertical support pressure; p<sub>h</sub> — horizontal support pressure; B — width or span of opening; H<sub>1</sub> — height of opening; u<sub>r</sub> — radial tunnel closure; a — B/2; thin shear zone — up to 2 m thick.



## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

### ➤ روش پرتودیاکنف

در این روش، فشار موثر بر یک تونل، به صورت گنبد سهمی گون در نظر گرفته می شود. روابط ارائه شده توسط پرتودیاکنف به طور عمده برای برآورد بار وارد بر قاب های چوبی و فلزی که به صورت سیستم نگهداری منفعل مورد استفاده قرار می گیرند، به کار می رود.







## روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

### ➤ روش پرتودیاکنف

$h = \frac{l}{f}$  ارتفاع سهمی گون، بر حسب متر به عنوان ارتفاع بار یا ارتفاع ناحیه سست  
 $l$  نصف عرض تونل بر حسب متر

$f = \frac{\sigma_c}{100}$  ضریب سختی پرتودیاکنف معادل یک درصد مقاومت فشاری تک محوری  
 (بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع)

$\sigma_t = \gamma h$  تنش وارد بر سیستم نگهداری از طرف سقف تونل بر حسب تن بر متر مربع  
 $\gamma$  وزن مخصوص سنگ بر حسب تن بر متر مکعب

$q_t = \sigma_t a$  بار به ازای واحد طول بر حسب تن بر متر  
 $a$  فاصله بین قاب های سیستم نگهداری بر حسب متر

$P_t = \frac{4}{3} l h a \gamma$  کل بار گسترده وارد بر یک دست قاب بر حسب تن



# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## ➤ روش پرتودیاکنف

$f$	نوع سنگ
۲۰	کوارتزیت- بازالت- سنگهای سخت
۱۵	گرانیت سخت- ماسه سنگ سخت
۱۰	رگه‌های کوارتزیتی، مرمر، دولومیت گنایس سخت
۸	سنگ آهک سخت- گرانیت نرم- مرمر- گنایس- دولومیت
۶	ماسه سنگ معمولی- سنگ آهن
۵	شیل ماسه‌های- ماسه سنگ شیلی
۴	شیست، شیل- ماسه سنگ و سنگ آهک و کنگلومرای نرم
۳	شیست ضعیف، مارن سخت
	شیست نرم- سنگ آهک خیلی نرم- سنگ نمک- خاک یخ زده
۲	مارن- ماسه سنگ شکسته- خاک سنگ شده (سخت شده) گراولها، شیست خرد شده- کنگلومرای نرم، زغالسنگ سخت
۱/۵	شیل سخت
۱	شیل سخت، زغالسنگ
۰/۸	رس ماسه‌های سبک
۰/۶	پیت- رس ماسه‌های- ماسه مرطوب
۰/۵	ماسه- گراول دانه ریز- خاک، زغالسنگ خرد شده
۰/۳	گل- خاکهای دیگر

در زمین‌های شن و ماسه‌ای، مقدار  $f$  برابر  $\tan \phi$  (که در آن  $\phi$  بیانگر زاویه اصطکاک داخلی سنگ است) در نظر گرفته

می‌شود. کاربرد این روش در تونل‌های با شرایط  $\frac{1}{2f} < h < \frac{1}{f}$  توصیه می‌شود.

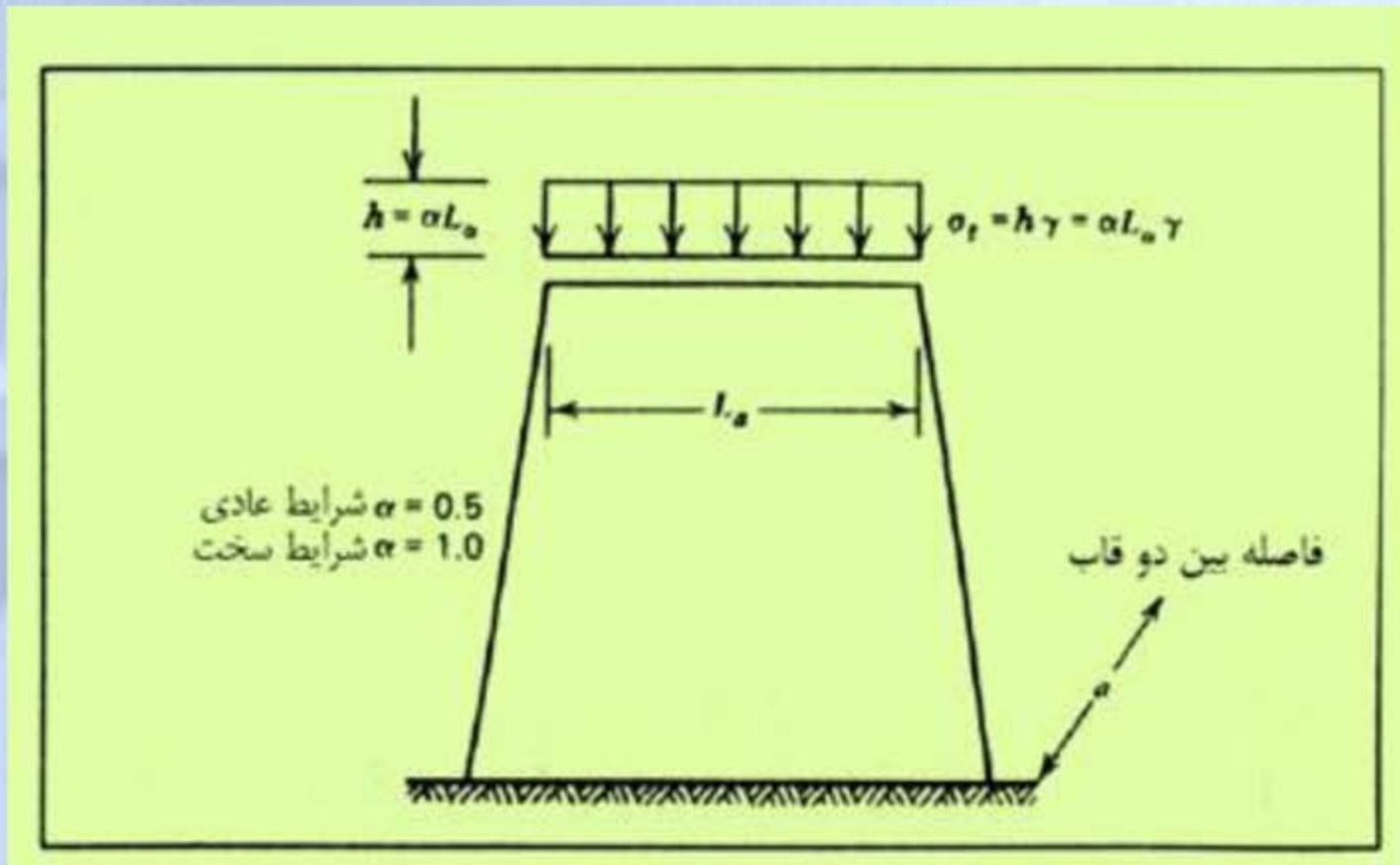




# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

## روش اورلینگ

عموما برای برآورد بار وارد بر قاب های چوبی و فلزی مورد استفاده قرار می گیرد. در روش اورلینگ بار به صورت تابعی از عرض تونل در نظر گرفته می شود.





# روش های تجربی تخمین سیستم نگهداری

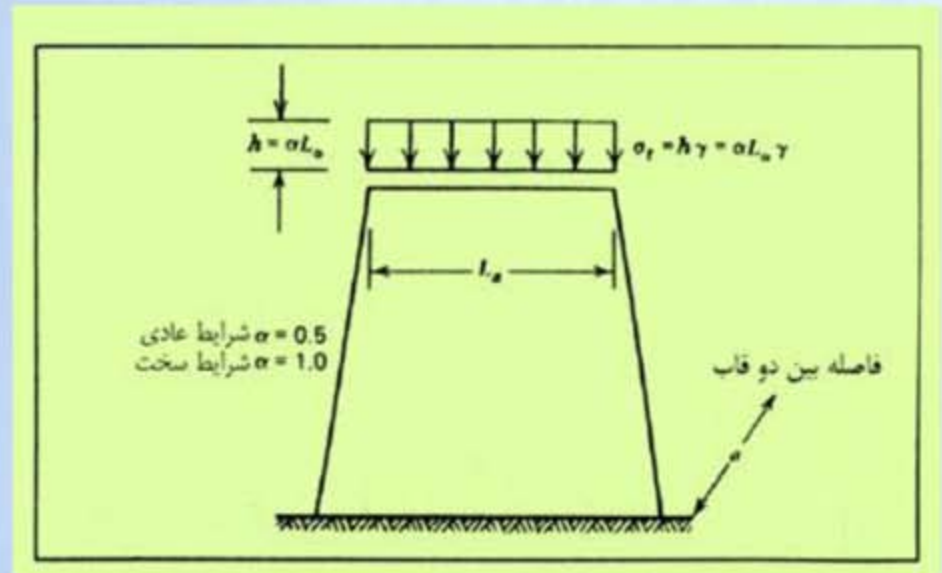
## روش اورلینگ

$$h = aL_a$$

$$\sigma_t = \gamma h$$

$$q_t = \sigma_t a$$

$$P_t = a^2 L_a^2 \gamma$$



$a$  = ضریب بارگذاری که بستگی به ساختار دارد. در شرایط عادی ۰/۲۵ تا ۰/۵ و برای سقف نامناسب با ترک‌های زیاد، بین ۱ تا

۲ است،

$L_a$  = عرض تونل.

در این روش راه حلی برای برآورد دقیق مقدار  $a$  ارایه نشده است. بنابراین روش اورلینگ برای تخمین سرانگشتی برآورد بار

وارد برسیستم نگهداری استفاده می‌شود.

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین





# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی

# رئوس مطالب

مقدمه 



# توده سنگ

## ➤ کیفیت توده سنگ

➤ کاهش کیفیت یا مقاومت توده سنگ





## کیفیت توده سنگ

- سوال: چگونه می توان توصیف همه فهم و قابل درکی از کیفیت توده سنگ ارائه نمود؟
- مفاهیمی همچون: سنگ خوب، سنگ بد، سنگ ضعیف، سنگ خردشده و....
- آیا مفهوم کیفیت توده سنگ از نظر همگان یکسان است:
- همگان شامل کلیه دست اندرکاران عرصه پروژه:
  - ✓ مهندسین معدن
  - ✓ زمین شناسان (زمین شناس مهندس)
  - ✓ مهندس عمران
- مفاهیم کیفیت معمولاً توصیفی هستند. مهندسی یعنی کمیت و مقدار ← ← **در**
- مهندسی سنگ نیاز به تعریف یک معیار کمی از کیفیت توده سنگ است.**





## کیفیت توده سنگ

➤ مهندسی یعنی کمیت و مقدار ← ← در مهندسی سنگ نیاز به تعریف یک معیار کمی از کیفیت توده سنگ و ماده سنگ است.

➤ **سنجه ها یا شاخص ها**

➤ **رده بندی مهندسی سنگ بکر (ماده سنگ)**

➤ **رده بندی مهندسی توده سنگ**



## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ➤ اهداف اصلی رده بندی مهندسی سنگ ها (توده سنگ و سنگ بکر)

- ✓ فراهم نمودن مبنایی کلی جهت برقراری ارتباط بین داده ها
- ✓ فراهم نمودن مبنایی جهت درک ویژگی های مهندسی توده سنگ های مختلف
- ✓ تقسیم نمودن توده سنگ بخصوص به قسمت های با رفتار مشابه
- ✓ فراهم نمودن اطلاعات کمی (پارامترهای ژئومکانیکی) برای طراحی مهندسی





## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ➤ یک سیستم رده بندی مهندسی باید شامل ویژگی های اصلی زیر باشد:

- ✓ ساده بوده و براحتی بخاطر سپرده شده و قابل درک باشد
- ✓ هر اصطلاح آن واضح و روشن باشد و اصطلاحات مورد استفاده بایستی بطور وسیعی توسط مهندسین و زمین شناسان مورد قبول واقع شود
- ✓ غالب خصوصیات مهم و پر معنی توده سنگ را شامل باشد
- ✓ متکی بر پارامترهای قابل اندازه گیری در محل توسط برداشت های سریع و ارزان باشد
- ✓ مبنای دسته بندی سیستم بنحوی باشد که اهمیت نسبی پارامترهای طبقه بندی در آن منعکس شود
- ✓ بر مبنای اطلاعات کمی گردآوری شده بتوان طرح نگهداری سنگ را مشخص نمود



## *Rock Mass Rating*

## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ➤ رده بندی RMR

**six parameters (representing causative factors) are determined for each structural unit:**

1. Uniaxial compressive strength (UCS) of intact rock material
2. Rock quality designation (RQD)
3. Joint or discontinuity spacing
4. Joint condition
5. Groundwater condition
6. Joint orientation



# رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ **رده بندی RMR**

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS								
Parameter	Description	Range of values				For this low range - uniaxial compressive strength preferred		
		>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
1	Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality (RQD)	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating	30	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slacksided surfaces Separation < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Rating	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
6	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)								
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes	0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS								
Rating	100 - 41	80 - 41	60 - 41	40 - 21	< 21			
Class number	I	II	III	IV	V			
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			
D. MEANING OF ROCK CLASSES								
Class number	I	II	III	IV	V			
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span			
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100			
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15			
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY CONDITIONS								
Discontinuity length (persistences)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Rating	0	4	2	1	0			
Separation (apertures)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
Rating	0	5	4	1	0			
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slacksided			
Rating	6	5	3	1	0			
Filling (gouges)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm			
Rating	6	4	2	2	0			
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed			
Rating	6	5	3	1	0			
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING								
Strike perpendicular to tunnel axis			Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°			
Very favourable	Favourable		Very unfavourable		Fair			
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike*					
Fair	Favourable		Fair					

# رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ **رده بندی RMR**

Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (litre)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water pressure) (Major principal stress)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	General conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
			Rating	15	10	7	4	0	

**B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)**

Strike and dip orientations	Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
Foundations	0	-2	-7	-15	-25
Slopes	0	-5	-25	-60	

**C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS**

Rating	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Class number	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

**D. MEANING OF ROCK CLASSES**

Class number	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

**E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions**

Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Filling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

**F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING\*\***

Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°	Dip 45 - 90°	Dip 20 - 45°
Very favourable	Favourable	Very unfavourable	Fair
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°	Dip 0-20 - Irrespective of strike*	
Fair	Unfavourable	Fair	

$RMR_{Basic} = 4 + 8 + 8 + 8 + 8 = 32$   $GSI = RMR'_{89} - 5$  for  $GSI \geq 18$  or  $RMR \geq 23$



# رده بندی مهندسی سنگ ها

## ➤ رده بندی RMR



## Rock Mass Rating

### 6. Joint orientation

**TABLE 6.8** Assessment of Joint Orientation Effect on Tunnels

Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis		Irrespective of strike
Drive with dip		Drive against dip		Dip	Dip	
Dip 45°–90°	Dip 20°–45°	Dip 45°–90°	Dip 20°–45°	Dip 20°–45°	Dip 45°–90°	Dip 0°–20°
Very favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Fair	Very unfavorable	Fair

**TABLE 6.9** Assessment of Joint Orientation Effect on Stability of Dam Foundation

Dip 0°–10°	Dip 10°–30°		Dip 30°–60°	Dip 60°–90°
	Dip direction			
	Upstream	Downstream		
Very favorable	Unfavorable	Fair	Favorable	Very unfavorable

# رده بندی مهندسی سنگ ها

## رده بندی RMR ➤



## Rock Mass Rating

### 6. Joint orientation

**TABLE 6.8** Assessment of Joint Orientation Effect on Tunnels

Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis		Irrespective of strike
Drive with dip		Drive against dip		Dip	Dip	
Dip 45°–90°	Dip 20°–45°	Dip 45°–90°	Dip 20°–45°	Dip 20°–45°	Dip 45°–90°	Dip 0°–20°
Very favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Fair	Very unfavorable	Fair

**TABLE 6.10** Adjustment for Joint Orientation

Joint orientation assessment for	Very favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very unfavorable
Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
Raft foundation	0	-2	-7	-15	-25
Slopes*	0	-5	-25	-50	-60

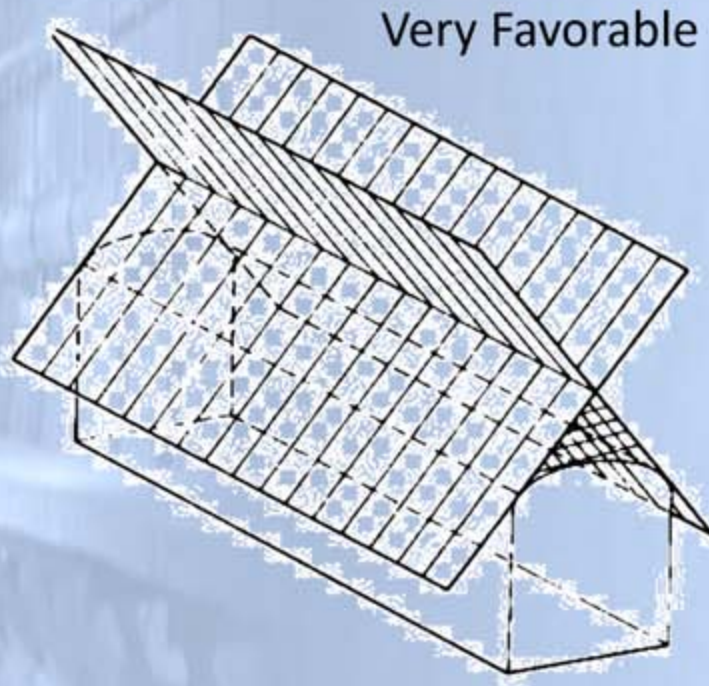


# رده بندی مهندسی سنگ ها

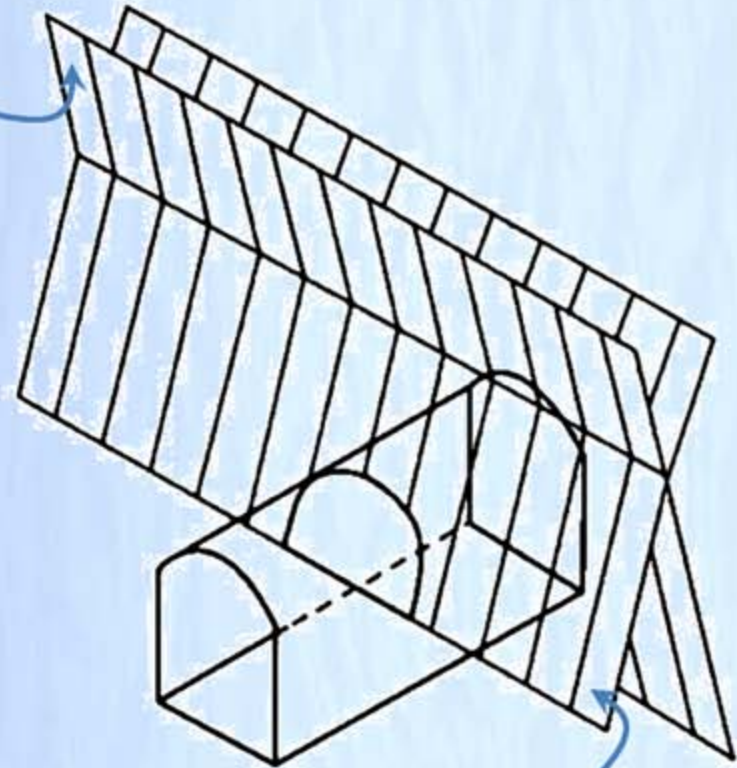
## ➤ رده بندی RMR

# Rock Mass Rating

## 6. Joint orientation



Unfavourable (RMR rating -12)



Fair (RMR -5)

## رده بندی مهندسی سنگ ها

کاربردهای رده بندی RMR ➤

TABLE 6.11 Design Parameters and Engineering Properties of Rock Mass

S. No.	Parameter/ properties of rock mass	RMR (rock class)				
		100–81 (I)	80–61 (II)	60–41 (III)	40–21 (IV)	<20 (V)
1	Classification of rock mass	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
2	Average stand-up time	20 years for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hours for 2.5 m span	30 minutes for 1 m span
3	Cohesion of rock mass (MPa)*	>0.4	0.3–0.4	0.2–0.3	0.1–0.2	<0.1
4	Angle of internal friction of rock mass	>45°	35–45°	25–35°	15–25°	<15°
5	Allowable bearing pressure (T/m <sup>2</sup> )	600–440	440–280	280–135	135–45	45–30
6	Safe cut slope (°) (Waltham, 2002)	>70	65	55	45	<40

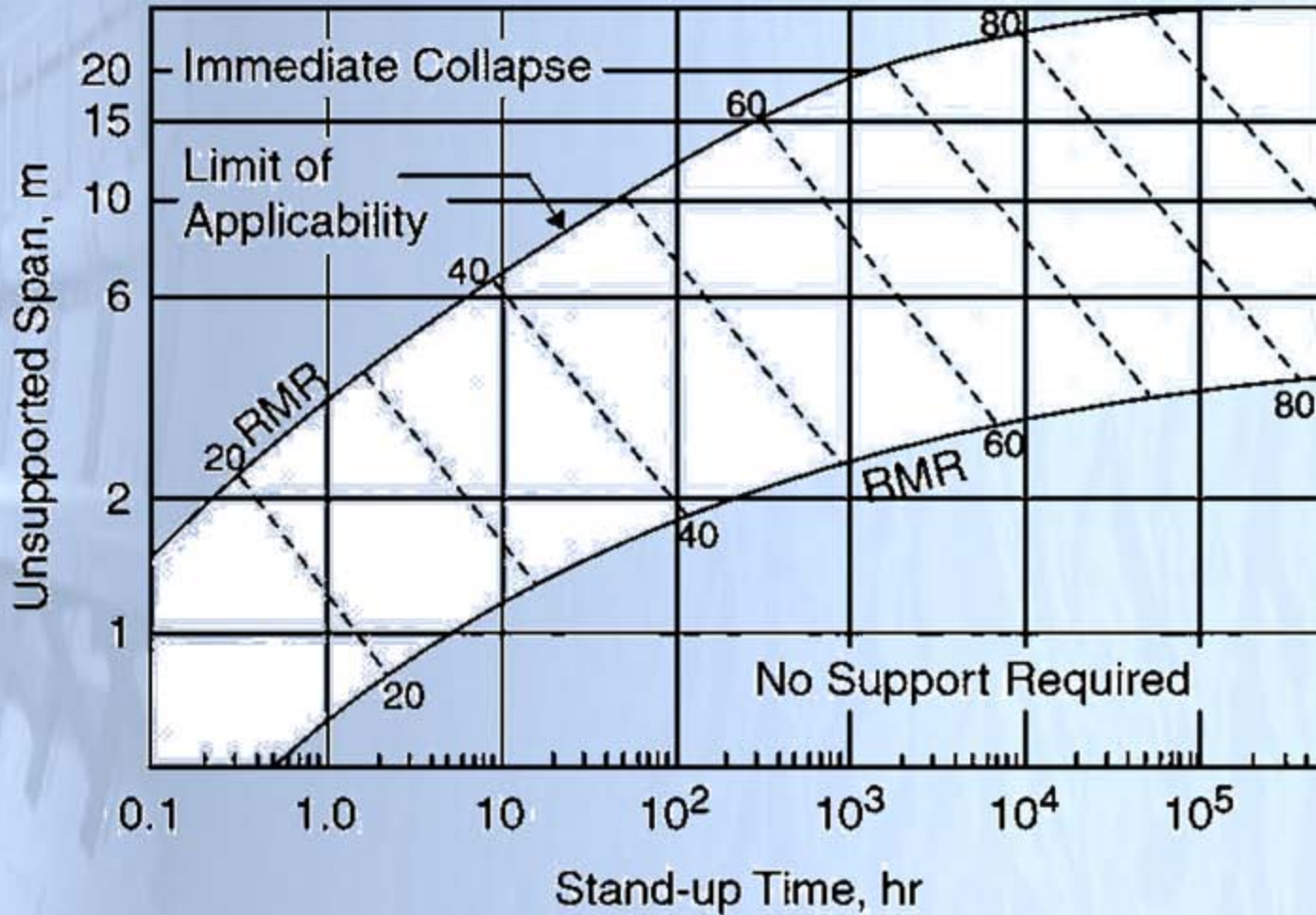




# Rock Mass Rating

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی RMR (زمان خودپایداری)

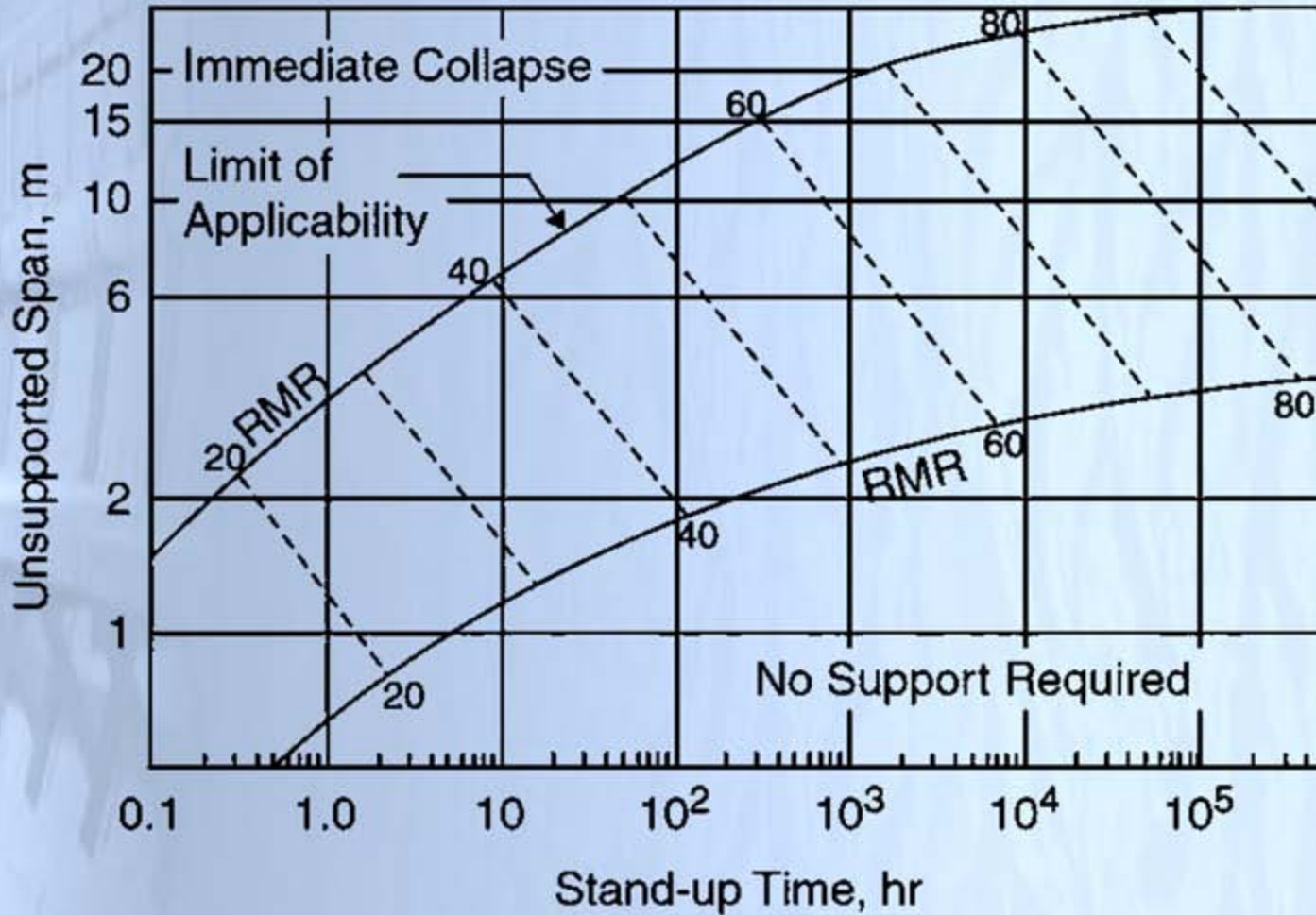




# Rock Mass Rating

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی RMR (زمان خودپایداری)



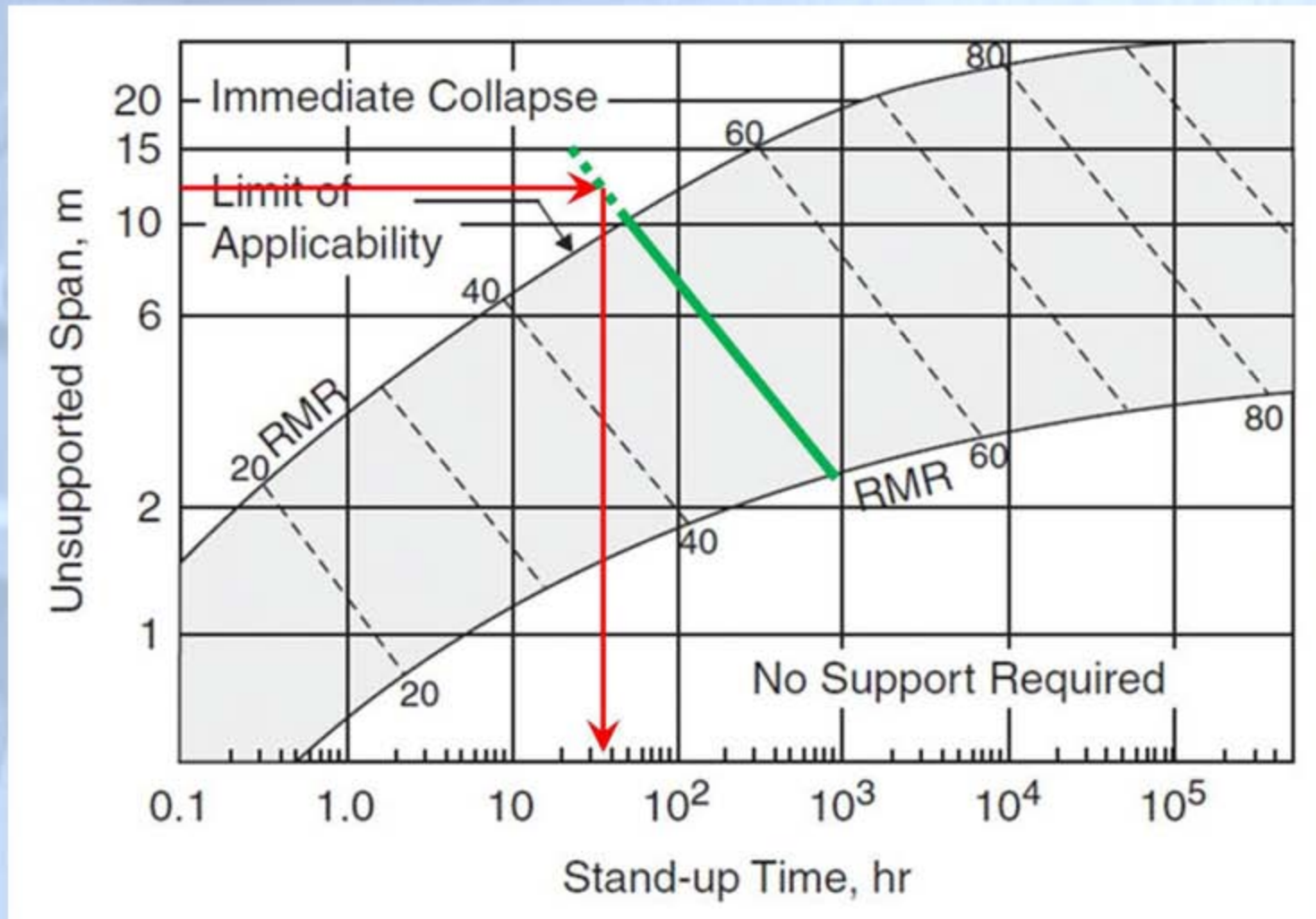




# Rock Mass Rating

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی RMR (زمان خودپایداری)

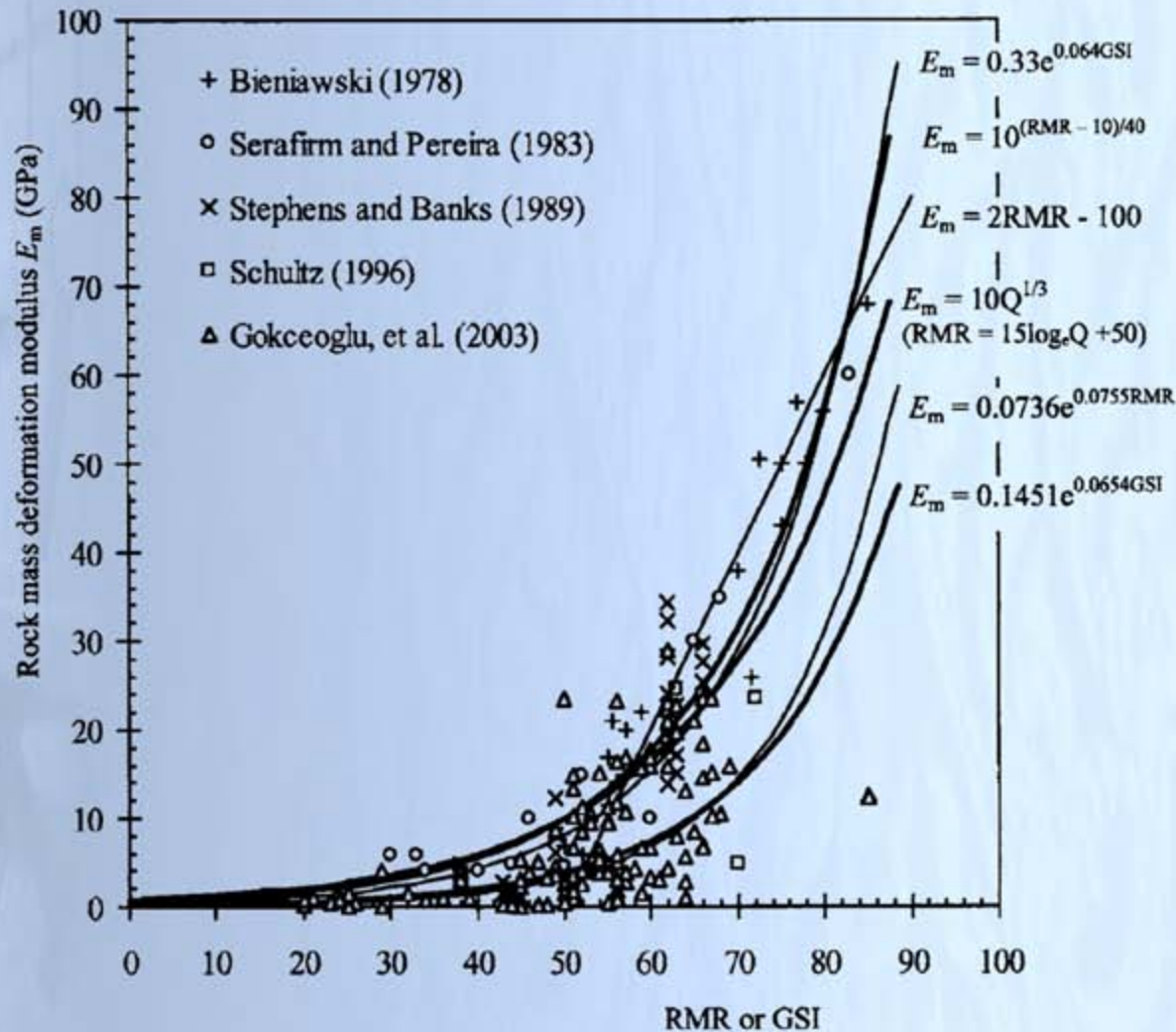




# Rock Mass Rating

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی RMR (پارامترهای مهندسی توده سنگ)







## Rock Mass Rating

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی RMR (بار سنگ و فشار وارد بر نگهداری)

$$p_v = \left[ \frac{100 - \text{RMR}}{100} \right] \cdot \gamma \cdot B \quad \text{for openings with a flat roof}$$

$p_v$  = support pressure;  $\gamma$  = unit weight of rock; and  $B$  = tunnel width

$$p_v = \frac{7.5 B^{0.1} \cdot H^{0.5} - \text{RMR}}{20 \text{ RMR}}, \text{ MPa}$$

$B$  = span of opening in meters;  $H$  = overburden or tunnel depth in meters  
for estimating the short-term support pressure for arched underground openings in both squeezing and non-squeezing ground conditions in tunneling by conventional blasting methods using steel rib supports



# Rock Mass Rating

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی RMR (انتخاب سیستم نگهداری و روش حفر)

**TABLE 6.12** Guidelines for Excavation and Support of Rock Tunnels in Accordance with the Rock Mass Rating System

Rock mass class	Excavation	Supports		
		Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted)	Conventional shotcrete	Steel sets
Very good rock RMR = 81–100	Full face; 3 m advance	Generally, no support required except for occasional spot bolting		
Good rock RMR = 61–80	Full face; 1.0–1.5 m advance; complete support 20 m from face	Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m, with occasional wire mesh	50 mm in crown where required	None
Fair rock RMR = 41–60	Heading and bench; 1.5–3 m advance in heading; commence support after each blast; complete support 10 m from face	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5–2 m in crown and walls with wire mesh in crown	50–100 mm in crown and 30 mm in sides	None
Poor rock RMR = 21–40	Top heading and bench; 1.0–1.5 m advance in top heading; install support concurrently with excavation 10 m from face	Systematic bolts 4–5 m long, spaced 1–1.5 m in crown and wall with wire mesh	100–150 mm in crown and 100 mm in sides	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required
Very poor rock RMR <20	Multiple drifts; 0.5–1.5 m advance in top heading; install support concurrently with excavation; shotcrete as soon as possible after blasting	Systematic bolts 5–6 m long, spaced 1–1.5 m in crown and walls with wire mesh; bolt invert	150–200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required; close invert

Shape: Horseshoe; width: 10 m; vertical stress <25 MPa; construction: drilling and blasting.





## THE Q-SYSTEM

## رده بندی مهندسی سنگ ها

### رده بندی Q ➤

Norwegian Geotechnical Institute (NGI) originally proposed the Q-system of rock mass classification on the basis of approximately 200 case histories of tunnels and caverns.

$$Q = [RQD/J_n][J_r/J_a][J_w/SRF]$$

$J_n$  = joint set number,  $J_r$  = joint roughness number for critically oriented joint set,  $J_a$  = joint alteration number for critically oriented joint set,  $J_w$  = joint water reduction factor, SRF = stress reduction factor to consider in situ stresses and according to the observed tunneling conditions, and  $J_v$  = volumetric joint count per  $m^3$  (see Chapter 4

- |   |  |
|---|--|
| a. Block size<br>(RQD/ $J_n$ ):                         | It represents overall structure of rock mass (Table 4.5)   |
| b. Inter -<br>block shear<br>strength<br>( $J_r/J_a$ ): | It has been found that $\tan^{-1}(J_r/J_a)$ is a fair approximation of the actual peak sliding angle of friction along the clay-coated joints (Table 8.7). This has been later modified by Barton (2008) as given in Eq. (8.16). |
| c. Active stress<br>( $J_w/SRF$ ):                      | It is an empirical factor describing the active effective stress   |

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ رده بندی Q

$$Q = [RQD/J_n][J_r/J_a][J_w/SRF]$$

TABLE 8.2 Joint Set Number ( $J_n$ )

Condition	$J_n$
A Massive, no or few joints	0.5–1.0
B One joint set	2
C One joint set plus random	3
D Two joint sets	4
E Two joint sets plus random	6
F Three joint sets	9
G Three joint sets plus random	12
H Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube," etc.	15
J Crushed rock, earth-like	20

For intersections use  $(3.0 \cdot J_n)$ . For portals use  $(2.0 \cdot J_n)$ .

TABLE 8.9 Classification of Rock Mass Based on Q-Values

Q	Group	Classification
0.001–0.01		Exceptionally poor
0.01–0.1	3	Extremely poor
0.1–1		Very poor
1–4	2	Poor
4–10		Fair
10–40		Good
40–100	1	Very good
100–400		Extremely good
400–1000		Exceptionally good



## رده بندی مهندسی سنگ ها

 **THE Q-SYSTEM**

UNSUPPORTED SPAN ➤ کاربردهای رده بندی Q (دهانه بدون نگهداری)

Equivalent dimension ( $D_{e'}$ ) of a self-supporting or an unsupported tunnel

$$D_{e'} = 2.0(Q^{0.4}), \text{ meters}$$

$$D_{e'} = \frac{\text{span, diameter, or height in meters } (B_s)}{\text{ESR}} \quad \text{ESR: excavation support ratio}$$

	Type of excavation	ESR
A	Temporary mine openings, etc.	2–5
B	Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large openings, surge chambers	1.6–2.0
C	Storage caverns, water treatment plants, minor road and railway tunnels, access tunnels	1.2–1.3
D	Power stations, major road and railway tunnels, civil defense chambers, portals, intersections	0.9–1.1
E	Underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities, factories, major gas pipeline tunnels	0.5–0.8

ESR increased by 1.5 times, Q by 5, and  $Q_w$  by 5, for temporary supports. جزوه درس نگهداری و کنترل زمین

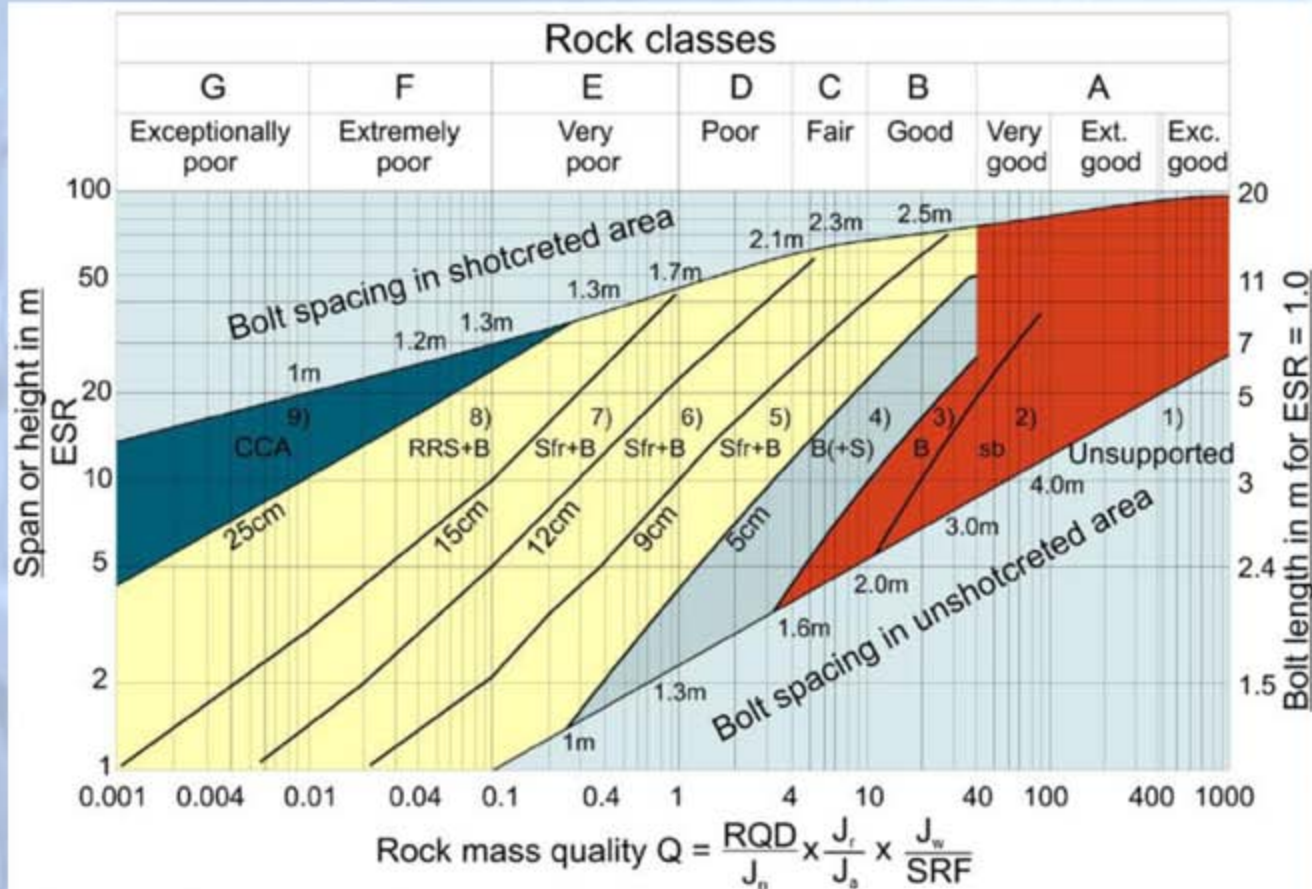
# رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی Q (انتخاب سیستم نگهداری موقت و دائم)



## THE Q-SYSTEM

برای سیستم نگهداری موقت، باید ESR ۱/۵ برابر شود.



### REINFORCEMENT CATEGORIES:

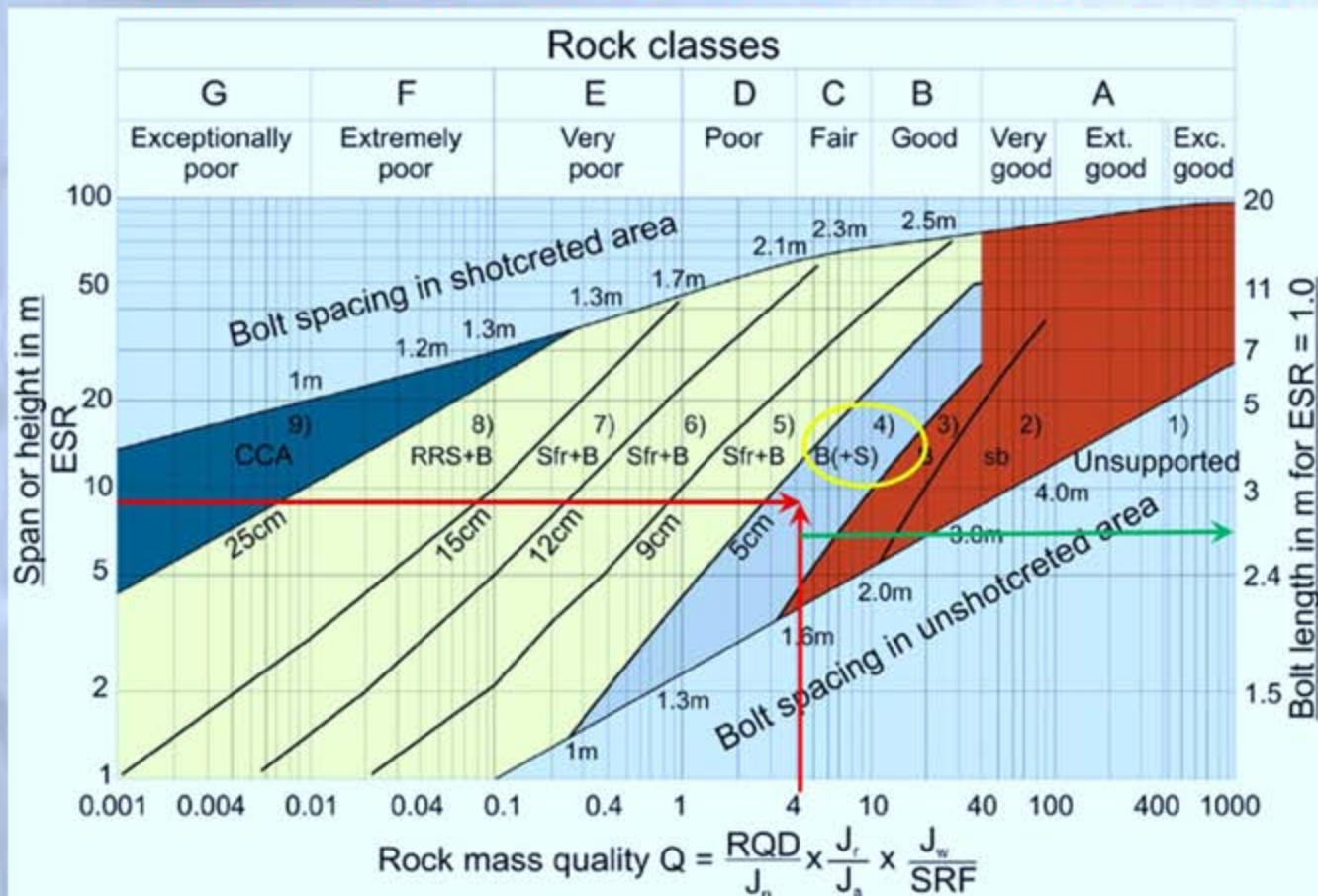
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Unsupported</li> <li>2) Spot bolting, sb</li> <li>3) Systematic bolting, B</li> <li>4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, (cm), B(+S))</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, Sfr+B</li> <li>6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9-12cm, Sfr+B</li> <li>7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12-15cm, Sfr+B</li> <li>8) Fibre reinforced shotcrete &gt;15cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr, RRS+B</li> <li>9) Cast concrete lining, CCA</li> </ul> |
|---|--|



# رده بندی مهندسی سنگ ها

## THE Q-SYSTEM

➤ کاربردهای رده بندی Q (انتخاب سیستم نگهداری موقت و دائم)



### REINFORCEMENT CATEGORIES:

- 1) Unsupported
- 2) Spot bolting, sb
- 3) Systematic bolting, B
- 4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, (15cm), B(+S))
- 5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, Sfr+B
- 6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9-12cm, Sfr+B
- 7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12-15cm, Sfr+B
- 8) Fibre reinforced shotcrete >15cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr, RRS+B
- 9) Cast concrete lining, CCA



## THE Q-SYSTEM

## رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ کاربردهای رده بندی Q (بارسنگ و فشار وارد بر نگهداری)

$$p_v = (0.2/J_r)Q^{-1/3}$$

$$p_h = (0.2/J_r)Q_w^{-1/3}$$

$p_v$  = ultimate roof support pressure in MPa

$p_h$  = ultimate wall support pressure in MPa

$Q_w$  = wall factor

Range of Q	Wall factor $Q_w$
>10	5.0 Q
0.1-10	2.5 Q
<0.1	1.0 Q

$$p_v = \frac{0.2 \cdot J_n^{1/2}}{3 \cdot J_r} \cdot Q^{-1/3}, \text{ MPa}$$

اگر تعداد دسته درزه ها کمتر از ۳ باشد:

$$p_h = \frac{0.2 \cdot J_n^{1/2}}{3 \cdot J_r} \cdot Q_w^{-1/3}, \text{ MPa}$$



## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ➤ کاربردهای رده بندی Q (پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ)

**TABLE 8.14** Empirical Correlations for Overall Modulus of Deformation of Rock Mass in the Non-Squeezing Ground Condition (GSI & RMR << 100)

Authors	Expression for $E_d$ (GPa)	Conditions	Recommended for
Bieniawski (1978)	$E_d = 2 \text{ RMR} - 100$	$q_c > 100 \text{ MPa}$ and $\text{RMR} > 50$	Dams
Serafim & Pereira (1983)	$E_d = 10^{(\text{RMR}-10)/40}$	$q_c \geq 100 \text{ MPa}$	Dams
Nicholson & Bieniawski (1990)	$E_d/E_r = 0.0028 \text{ RMR}^2 + 0.9 e^{(\text{RMR}/22.82)}$	—	
Verman (1993)	$E_d = 0.3 \text{ Hz} \cdot 10^{(\text{RMR}-20)/38}$	$\alpha = 0.16$ to $0.30$ (higher for poor rocks) $q_c \leq 100 \text{ MPa}$ ; $H \geq 50 \text{ m}$ ; $J_w = 1$ Coeff. of correlation = $0.91$	Tunnels
Mitri et al. (1994)	$E_d/E_r = 0.5[1 - \cos(\pi \text{ RMR}/100)]$	—	
Singh (1997)	$E_d = Q^{0.36} H^{0.2}$ $E_c = 1.5Q^{0.6} E_r^{0.14}$	$Q < 10$ ; $J_w = 1$ Coeff. of correlation for $E_e = 0.96$ ; $J_w \leq 1$	Dams and slopes Dams
Hoek et al. (2002)	$E_d = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{q_c}{100}} \cdot 10^{((\text{GSI}-10)/40)}$ $E_d = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((\text{GSI}-10)/40)}$	$q_c \leq 100 \text{ MPa}$ $D = \text{disturbance factor (Table 26.4)}$ $q_c \geq 100 \text{ MPa}$	
Adachi & Yoshida (2002)	$E_d = 10^{(0.0431R - 0.8853)}$	For weak rocks, $R = \text{In situ average Schmidt hammer rebound number}$	
Barton (2008)	$E_d = 10[Q \cdot q_c/100]^{1/3} < E_r$	$Q = 0.1 - 100$ $q_c = 10 - 200 \text{ MPa}$	Tunnels
Zhang & Einstein (2004)	$\frac{E_d}{E_r} = 10^{0.0186 \text{ RQD} - 1.91}$	For $0 \leq \text{RQD} \leq 100$	Preliminary analysis
Hoek & Diederichs (2006)	$E_d = \left[0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + \exp((60 + 15D - \text{GSI})/11)}\right]$		Tunnels, caverns, and dam foundations

The above correlations are expected to provide a mean value of modulus of deformation.

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین

مرتضی جوادی اصطهباناتی



# THE Q-RMR RELATION

## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ارتباط بین RMR و GSI ➤

Table 5.7 Empirical correlations between RMR and Q.

Correlation	Reference
$RMR = 9.0 \ln Q + 44$	Bieniaswki (1976), Jethwa et al. (1982)
$RMR = 5.9 \ln Q + 43$	Rutledge & Preston (1978)
$RMR = 5.4 \ln Q + 55$	Moreno (1980)
$RMR = 4.6 \ln Q + 56$ (Drill core)	Cameron-Clarke & Budavari (1981)
$RMR = 5.0 \ln Q + 61$ (In situ results)	
$RMR = 10.5 \ln Q + 42$	Abad et al. (1984)
$RMR = 8.7 \ln Q + 38$	Kaiser et al. (1986)
$RMR = 9.1 \ln Q + 45$	Trunk & Hömisch (1990)
$RMR = 7.0 \ln Q + 41$ (Bore cores)	El-Naqa (1994)
$RMR = 7.0 \ln Q + 44$ (Scanlines)	
$RMR = 15 \ln Q + 50$	Barton (1995)





# The geological strength index

## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ➤ اندیس مقاومت زمین شناسی GSI

اساسا اندیس مقاومت زمین شناسی برای برآورد پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ ارائه شده است.

بر خلاف سایر طبقه بندی ها، در این روش پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ بطور مستقیم تخمین زده می شود.

**GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)**  
 From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40	30	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes				20	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes مرتضی جوادى اصطهباناتی	N/A	N/A			10

STRUCTURE

DECREASING SURFACE QUALITY →

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓

$$GSI = RMR - 5$$





# The geological strength index

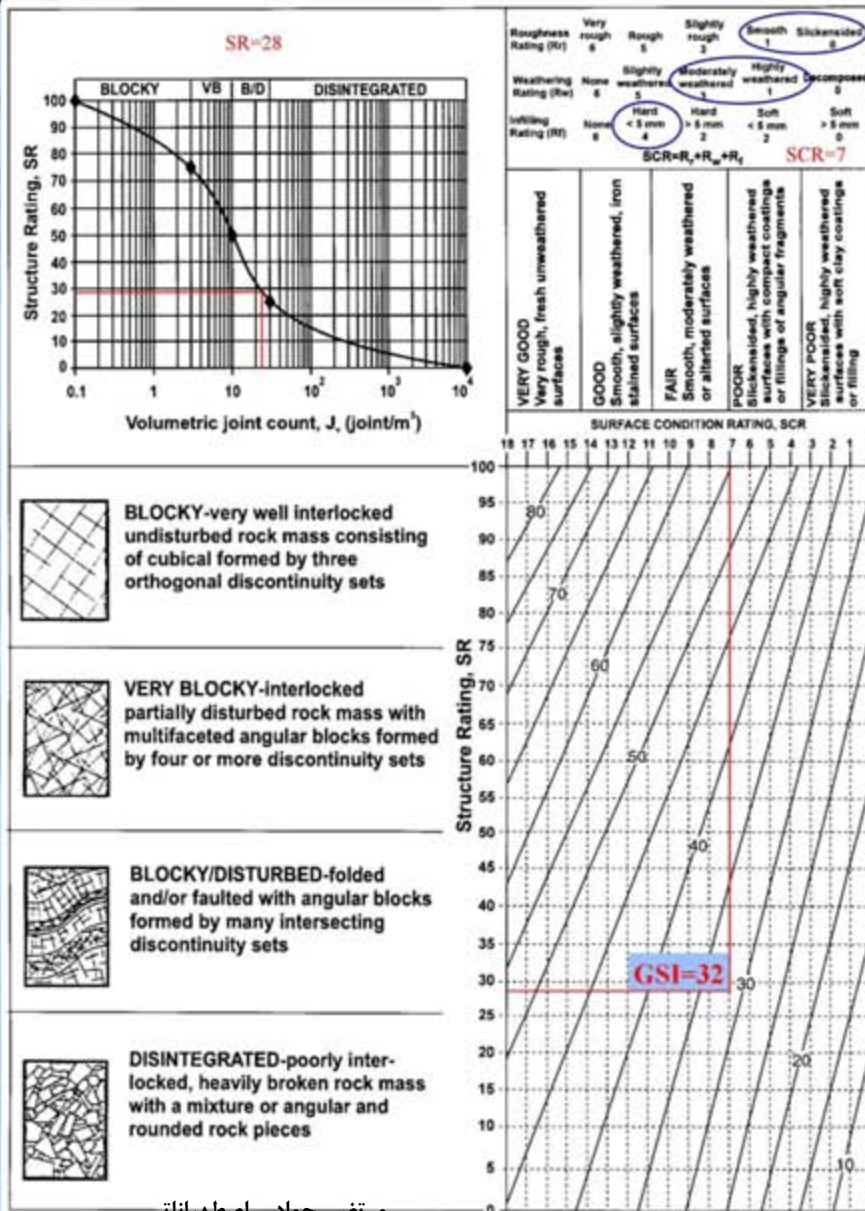
## رده بندی مهندسی سنگ ها

### ➤ اندیس مقاومت زمین شناسی GSI

اساسا اندیس مقاومت زمین شناسی برای برآورد پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ ارائه شده است.

بر خلاف سایر طبقه بندی ها، در این روش پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ بطور مستقیم تخمین زده می شود.

$$GSI = RMR - 5$$







# The geological strength index

# رده بندی مهندسی سنگ ها

➤ اندیس مقاومت زمین شناسی GSI

Ch: chimney Type Failure: Frequent  
Wedge Failure (in Very Blocky Rocks)

**TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)\***

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)			
	Small overburden		Large overburden	
	INTACT ROCK STRENGTH ( $\sigma_c$ ) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH ( $\sigma_c$ ) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa	
	Low $\sigma_c$	High $\sigma_c$	Low $\sigma_c$	High $\sigma_c$
<b>INTACT OR MASSIVE</b> Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	3 Sh	4 St
<b>BLOCKY</b> Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 Wg	6 Wg	7 Sh-Wg	8 St-Wg
<b>VERY BLOCKY</b> Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	11 Sh	12 Wg
<b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg	15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
<b>DISINTEGRATED</b> Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17 Sh-Rv	18 Rv	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
<b>LAMINATED/FOLIATED/SHEARED</b> Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch	23 Sq	24 Sq

OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m (for rows 1-2)  
OVERBURDEN (H) LIMIT: ~100 m (for rows 3-4)  
OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m (for rows 5-6)

INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	90			N/A	N/A	
	80					
	70					
	60					
	50					
	40					
30						
20						
10						
	N/A	N/A			10	

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓

St: Stable ground  
Gravity induced failures: Wg:Wedge failure Ch:Chimney type failure Rv:Ravelling ground  
Stress induced failures: Sh:Shear failure Sq:Squeezing ground





# The geological strength index

# رده بندی مهندسی سنگ ها

INDICATIVE TUNNEL SUPPORT MEASURES FOR EACH TUNNEL BEHAVIOUR TYPE\*

	St	Wg	Ch	Rv	Sh	Sq
<b>Excavation step</b>	>3m in Top heading	2-3m in Top heading	1.5-2.0m in Top heading	1-1.5m in Top heading	1.5-2m	1m
<b>Shotcrete</b>	5 - 7cm	5-10cm	10-15cm	20-25cm	20-25cm	35-70cm**
<b>Bolts</b>	Locally when necessary	Sparse pattern (e.g. 3m x 3m) length and strength according to block volume and weight, fully grouted or friction bolts if there is need for immediate action	Dense pattern (e.g. 1.5m x 1.5m), friction bolts	Dense pattern (e.g. 1.5m x 1.5m), fully grouted.	1.5-2m x 1.5-2m, fully grouted 5-6m length, friction bolts for immediate action	1-1.5m x 1-1.5m, fully grouted 6-9m length in tunnel vault, friction bolts for immediate action. Self drilling bolts may be necessary.
<b>Steel sets</b>		HEB120 or equivalent Lattice Girders Implementation according to rock mass fracturing	HEB120-140 or equivalent Lattice Girders with elephant foot or steel sets embedded in shotcrete	HEB120-140 or equivalent Lattice Girders with elephant foot sets are embedded in shotcrete	HEB120-140 or equivalent Lattice Girders with elephant foot sets are embedded in shotcrete	HEB160-180 or equivalent Lattice Girders with elephant foot sets are embedded in shotcrete
<b>Shell foundation area</b>				Reinforcement may be needed in the foundation area		Micropiles to be considered in case deformations due to subsidence are expected.
<b>Face anchors</b>					The application of fiberglass anchors may be required	Fiberglass anchors are required
<b>Spiles - Forepolling</b>			Φ25-32mm, 5-6m length. Spacing is important to contain the small rock fragments from falling	Spiles or forepoles, 5-6m length. Spacing is important to contain the small rock fragments from falling. If rock fragments are very small, they fall between the spiles and forepolling is necessary.		Φ114, 12m length for face stability problems can be considered
<b>Face buttress</b>			Probable. 5cm shotcrete	Yes with 5cm shotcrete	Probably yes when the rock mass has poor structure	Yes when the rock mass has poor structure
<b>Temporary invert for the top heading</b>				To be considered	To be considered ( $\sigma_{wp}/p < 0.4$ )	Yes
<b>Permanent invert</b>					To be considered ( $\sigma_{wp}/p < 0.4$ )	Yes
<b>Drainage</b>		According to groundwater presence	Necessary if groundwater present	Pre-drainage with the presence of water	Drainage relief holes	Drainage relief holes
<b>General remarks</b>	Simple support measures are required	Tunnel step must be decided from the need to confine the wedge failures and from the stand-up time. Immediate application to restrain the rock blocks. Friction bolts have the advantage of immediate action (e.g. Swellex or split set type)	A smaller excavation step can help with the confinement of the rock mass and prevent chimney type failures. Drill and blast must be careful implemented. Immediate application of shotcrete to restrain the rock blocks and prevent subsequent gravity failures from the surrounded rock mass. The philosophy of bolting here is to create a dense pattern where grouting must be performed through bolts. Length is not as crucial as the pattern. Self-drilling anchors may be necessary. Steel sets must be well embedded in shotcrete (Lattice girders help here)	The short step of tunnel advance can help in the confinement of the rock mass and to prevent a wider gravity failure. Immediate shotcrete application to seal the rock mass and constrain it from raveling. The use of closely spaced wire mesh is recommended for immediate restraint of the loose rock "cubes". Self-drilling anchors are needed because the hole instantly collapses. Grouting the surrounded rock mass, to increase its cohesion, can be performed through perforated spiles or forepoles. There is no need for a very heavy support shell if confinement and interlocking is secured	The accurate shotcrete thickness, bolt lengths and strength characteristics are defined from the in situ conditions and the rockmass strength.	**The accurate shotcrete thickness, bolt lengths and strength characteristics are defined according to the squeezing magnitude. Alternatively, very dense bolt pattern around the tunnel vault and sides, a great number of fiberglass bolts at the face and fast closure of the top heading with a temporary invert. In cases where temporary invert and face support measures cannot control the deformations, fast closure of the tunnel ring with a permanent invert can be implemented. A more circular tunnel shape improves stability. When $\sigma_{wp}/p < 0.2$ and squeezing problems are very severe, flexible support system with yielding elements should be considered.

\*Notes:  
 -The specific support measures and loads must be calculated numerically through detailed design analysis  
 -The principle of the proposed support measures is to contain and control the specific mechanism of failure  
 - These suggestions may be applied for tunnels of about 10-12m diameter, with conventional excavation by Top Heading and Bench, for depths up to several hundred meters  
 - Based on analysis of E-Suquia highway tunneling experience





دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

کنترل زمین و نگهداری  
Ground Control & Support

مدرس  
مرتضی جوادی اصطهباناتی

پاییز و زمستان ۱۳۹۶

رتوبس مطالب

➤ مقدمه

تئوری تیر و ستون

سنگ های رسوبی بصورت لایه های مسنوی با گسترش زیاد هستند.  
هر یک از لایه های سنگ رسوبی را می توان بصورت مشابه یک تیر یا ستون (با توجه به شیب لایه) در نظر گرفت.  
سیستم نگهداری در فضاهای معدنی (مثل راهروها و کارگاه های استخراج) را نیز بصورت تیر در نظر گرفت.  
سیستم نگهداری قائم (مثل جگ، بیلار، ستون های هیدرولیکی) را می توان بصورت ستون در نظر گرفت.  
برای گالری ها و تونل های دارای سقف فوسی، می توان سیستم نگهداری را بصورت تیر فوسی (آرک) در نظر گرفت.  
هر چند تئوری تیر و ستون با فرضیات ساده کننده ای (در رابطه با نیروهای وارده از طرف زمین) هستند، استفاده از این تئوری ها برای ارزیابی های اولیه مفید است

تئوری تیر و ستون

تیر: المان سازه ای که بارگذاری آن بصورت عرضی (transversely) است. عبارت دیگر، بار وارده در راستای عمود بر محور طولی المان است.  
صفحه: المان سازه ای مشابه با تیر بوده که عرض آن دارای معاداری معادل و با تقریباً معادل (same order of magnitude) با طول تیر باشد.  
ستون: المان سازه ای که بارگذاری آن بصورت طولی (longitudinally) است. عبارت دیگر، بار وارده در راستای موازی بر محور طولی المان بوده و این بار عمدتاً بصورت فشاری است.  
تیر-ستون: المان سازه ای که بارگذاری آن هم بصورت عرضی و هم بصورت طولی است. لایه های سنگ عمدتاً دارای چنین عملکردی بوده و ترکیبی از بارهای عرضی و طولی به لایه ها وارد می شود.

تئوری تیر و ستون

انواع تکیه گاه: غلطکی (roller)، انصالی (pinned or hinged) و گیردار (Fixed)



تئوری تیر و ستون

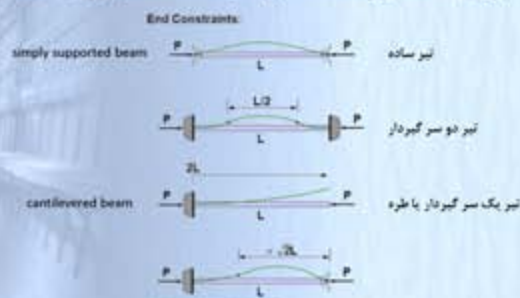
انواع تکیه گاه: غلطکی (roller)، انصالی (pinned or hinged) و گیردار (Fixed)

End Constraints:

تیر ساده simply supported beam

تیر دو سر گیردار pinned or hinged beam

تیر یک سر گیردار یا طره cantilevered beam



### تئوری تیر و ستون

➤ تیر

مفاهیم:  
تار خنثی  
محدوده کشش  
محدوده فشار  
1 شعاع تیر

C - Compression  
T - Tension  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> - Radius of curvature  
t - Beam thickness

بار گسترده ناشی از وزن تیر (برای عمق واحد)  
 $q = \rho g t = \gamma t \quad (N)$   $q$ , per unit width  
 $\gamma =$  unit weight of the beam  
 $t =$  beam thickness

### تئوری تیر و ستون

➤ تیر

مفاهیم:  
تار خنثی  
محدوده کشش  
محدوده فشار  
1 شعاع تیر

C - Compression  
T - Tension  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> - Radius of curvature  
t - Beam thickness

معادله اینرسی تیر  
bending stiffness or flexural rigidity  
 $I = \frac{bt^3}{12} \quad (m^4)$   
 $h =$  beam width (usually refers to the beam width)

### تئوری تیر و ستون

➤ تیر دو سر گیردار

C - Compression  
T - Tension  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> - Radius of curvature  
t - Beam thickness

### تئوری تیر و ستون

➤ تیر یک سر گیردار

C - Compression  
T - Tension  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> - Radius of curvature  
t - Beam thickness

### تئوری تیر و ستون

➤ تیر تحت بارگذاری

1- تعادل استاتیکی

Force Distribution Profile  
F<sub>1</sub> - Resultant "driving force" which acts through centroid

For Equilibrium  
 $\sum F = 0 \Rightarrow R_1 + R_2 - F_1 = 0$   
 $\sum M = 0 \Rightarrow R_1 x_1 + R_2 x_2 - F_1 x_1 = 0$   
 Solve for R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>

### تئوری تیر و ستون

➤ تیر تحت بارگذاری گسترده

2- تعادل داخلی (تیروهای داخلی)  
• برش

q - Uniformly Distributed Load  
V - Shear  
Δ - Deflection  
⊗ - Internal Moment Couple

Average shear stress  
 $\tau_{avg} = \frac{V}{A}$   
 $\tau_{avg} =$  average stress acting in z direction on the xy plane  
 $V =$  transverse shear force acting on the xy plane

نمودار نیروی برشی برای تیر با هر دو نوع تکه گانه ساده و گیردار



### تئوری تیر و ستون

**تیر تحت بارگذاری گسترده**

۲- تعادل داخلی (نیروهای داخلی) و برش

q - Uniformly Distributed Load  
V - Shear  
z - Deflection  
M - Internal Moment Couple

Shear Stress Distribution

Shear Force, V

نوزبع تنش برشی در مقطع  
حداکثر تنش برشی در مقطع ۱/۵ برابر مقدار متوسط

### تئوری تیر و ستون

**تیر تحت بارگذاری گسترده**

۲- تعادل داخلی (نیروهای داخلی) و نیرو (تنش) محوری

نیروهای محوری (کشش و فشار) در طرفین تار نخستی  
نیروهای محوری باعث ایجاد انحنا (خستگی) و سمان  
خستگی می شوند.

سمان خمشی در هر نقطه از نا خستگی تنش محوری زیر را ایجاد می کند.

$$\sigma_f = \frac{Mz}{I}$$

M = bending moment at point p  
z = the normal distance from the neutral axis to point p

### تئوری تیر و ستون

**تیر تحت بارگذاری گسترده**

۲- تعادل داخلی (نیروهای داخلی) و نیرو (تنش) محوری

سمان خمشی در هر نقطه از نا خستگی تنش محوری  
زیر را ایجاد می کند.

$$\sigma_f = \frac{Mz}{I}$$

بیشترین تنش محوری در حالت z=0.5t

در نمودار رویتر:  
(1) مربوط به تیر با تکیه گاه گیردار است  
(2) مربوط به تیر با تکیه گاه ساده است.  
در نمودار رویتر:  
عرض یا عمق تیر واحد در نظر گرفته شده است.

### تئوری تیر و ستون

**تیر تحت بارگذاری گسترده (خلاصه روابط): تعریف پارامترها**

Symbol	Parameter
p	point of interest
L	span of beam (m)
x	longitudinal distance from end of beam to point p (m)
t	thickness of beam (mm)
z	normal (transverse) distance from neutral axis to point p (m)
q	load per unit width acting on beam (N)
γ	unit weight of beam (N/m <sup>3</sup> )
δ <sub>x</sub>	deflection of beam at a distance of 'x' from the beam end (m)
E	elastic modulus of beam (N/m <sup>2</sup> )
I	moment of inertia (m <sup>4</sup> )
M <sub>x</sub>	bending moment at a distance of 'x' from the beam end (N·m)
σ <sub>x</sub>	bending stress at a distance of 'z' from the beam end (N/m <sup>2</sup> )
V <sub>x</sub>	shear force at a distance of 'x' from the beam end (N)
τ <sub>xy</sub>	shear stress generated by shear force V <sub>x</sub> (N/m <sup>2</sup> )

### تئوری تیر و ستون

**تیر با دو تکیه گاه گیردار تحت بارگذاری گسترده (خلاصه روابط)**

Table A3.2 Formulations and maximum values for deformation parameters associated with a uniformly loaded, clamped beam of rectangular cross-section and unit width

Parameter	Formula	Maximum value
Deflection δ <sub>x</sub>	$\delta_x = \frac{q(x^2 - x)^2}{24EI}$ $\delta_x = \frac{q^2(x^2 - x)^2}{24EI^2}$	Eq. A3.1 $\frac{q^2}{24EI^2} \cdot \frac{1}{2}$
Bending Moment M <sub>x</sub>	$M_x = \frac{q(6x^2 - 4x^3 - x^4)}{12}$	Eq. A3.3 $\frac{q^2}{12}$ at abutment
Moment of Inertia I	$I = \frac{bt^3}{12}$ for unit width	Eq. A3.5
Bending Stress σ <sub>x</sub>	$\sigma_x = \frac{M_x z}{I} = \frac{qz(2M_x - 4x^3 - x^4)}{12}$	Eq. A3.6 $\frac{q^2}{24}$ at abutment
Shear Force V <sub>x</sub>	$V_x = q(2 - x)$	Eq. A3.8 $\frac{q}{2}$ at abutment
Shear Stress τ <sub>xy</sub>	$\tau_{xy} = \frac{3V_x}{4b} \left( \frac{t^2}{4} - z^2 \right)$	Eq. A3.10 $\frac{3q}{4b}$ in neutral axis at abutment

### تئوری تیر و ستون

**تیر با دو تکیه گاه ساده تحت بارگذاری گسترده (خلاصه روابط)**

Table A3.3 Formulations and maximum values for deformation parameters associated with a uniformly loaded, simply supported beam of rectangular cross-section and unit width

Parameter	Formula	Maximum value
Deflection δ <sub>x</sub>	$\delta_x = \frac{qx^2(3x - x^2 - 2x^3 + x^4)}{24EI}$ $\delta_x = \frac{q^2(x^2 - 2x^3 + x^4)}{24EI^2}$	Eq. A3.12 $\frac{3q^2}{32EI^2} \cdot \frac{1}{2}$
Bending Moment M <sub>x</sub>	$M_x = \frac{q(x^2 - x^3)}{2}$	Eq. A3.14 $\frac{q^2}{8}$ at $x = \frac{1}{2}$
Moment of Inertia I	$I = \frac{bt^3}{12}$ for unit width	-
Bending Stress σ <sub>x</sub>	$\sigma_x = \frac{M_x z}{I} = \frac{qz(2M_x - 2x^3 + x^4)}{12}$	Eq. A3.16 $\frac{3q^2}{32EI^2} \cdot \frac{1}{2}$
Shear Force V <sub>x</sub>	$V_x = q(2 - x)$	Eq. A3.18 $\frac{q}{2}$ at abutment
Shear Stress τ <sub>xy</sub>	$\tau_{xy} = \frac{3V_x}{4b} \left( \frac{t^2}{4} - z^2 \right)$	Eq. A3.10 $\frac{3q}{4b}$ in neutral axis at abutment

### تئوری تیر و ستون

#### ستون ها

بار محوری می تواند هم بر روی محور اصلی و هم خارج از محور اصلی اعمال شود. بار محوری می تواند باعث خیز ستون شود که به آن کماتش گفته می شود.

عملکرد ستون به نوع تکیه گاه های ستون وابسته است.

طول از ستون که بین دو نقطه بدون عمان قرار گرفته را طول موثر ستون می نامند

در حقیقت، برای حذف اثر تکیه گاه های مختلف، از طول موثر استفاده می شود. در این حالت، رفتار ستون در محدوده واقع بین نقاط بدون عمان (محدوده موثر ستون) برای تکیه گاه های مختلف یکسان خواهد بود.

### تئوری تیر و ستون

#### ستون ها (انواع تکیه گاه و طول موثر)

### تئوری تیر و ستون

#### ستون ها (انواع تکیه گاه و طول موثر)

طول از ستون که بین دو نقطه بدون عمان قرار گرفته را طول موثر ستون می نامند

در حقیقت، برای حذف اثر تکیه گاه های مختلف، از طول موثر استفاده می شود. در این حالت، رفتار ستون در محدوده واقع بین نقاط بدون عمان (محدوده موثر ستون) برای تکیه گاه های مختلف یکسان خواهد بود.

Effective Length =  $L_e = K L$

$K$  = effective length coefficient  
 = 1 for both ends pinned  
 = 0.5 for both ends fixed (clamped)  
 = 2.0 for one end fixed and the other free to move laterally

### تئوری تیر و ستون

#### ستون ها

ضریب رعنائی یا کمال ستون (ارتباط بین ارتفاع ستون و عمان ستون)

ضریب رعنائی بیان کننده مقاومت ستون در برابر کماتش است.

ضریب رعنائی بصورت نسبت از تقاطع ستون به شعاع زیراسیون تعریف می شود.

$$\text{Slenderness ratio} = \lambda = L/r$$

$r$  = the least radius of gyration =  $\sqrt{I/A}$

### تئوری تیر و ستون

#### ستون ها

بر اساس ضریب رعنائی، ستون ها به سه دسته: کوتاه، متوسط و بلند تقسیم می شوند.

Short columns: Unusual compressive strength exceeded

Intermediate columns: Yielding and elastic buckling

Long columns: Elastic buckling

شکست ناشی از کماتش (خمش ناشی از تنگ) در ستون های بلند و متوسط، Euler Buckling نامیده می شود. در حقیقت، خیز جانبی و نیروی خارج از محور باعث این نوع شکست می شود.

### تئوری تیر و ستون

#### ستون ها

خیز جانبی (کوماتش) ستون باعث ایجاد یک عمان (گشتاور) در ستون می شود. اگر مقدار خیز جانبی (کوماتش) برابر با  $e$  باشد، مقدار عمان  $P e$  در ستون ایجاد می شود.

عمان  $P e$  بتوان عمان خارجی به ستون اعمال می شود. عمان داخلی نیز در ستون وجود دارد (تحت لنگر داخلی)

شرط تعادل ستون، برابر بودن عمان داخلی و خارجی است.

$$\sum M_{int} + \sum M_{ext} = 0$$



**تئوری تیر و ستون**  
**ستون ها**  
 شرط تعادل ستون برابر بودن ممان داخلی و خارجی است.  

$$\sum M_{int} + \sum M_{ext} = 0$$
 ممان خارجی (ناشی از خیز جانبی یا گمایش ستون در مداری از باز قائم (P) به مقدار ممان داخلی می رسد این مقدار از باز قائم تحت عنوان نیروی محوری بحرانی  $P_{cr}$  نامیده می شود.  

$$\sum M_{int} + \sum M_{ext} = 0$$

$$\therefore M_{int} + P_{cr}z = EI \frac{d^2z}{dx^2} + P_{cr}z = 0$$

$$EI \frac{d^2z}{dx^2} = -P_{cr}z$$

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{(KL)^2}$$

**تئوری تیر و ستون**  
**ستون ها**  

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{(KL)^2}$$

$$Effective\ Length = L_e = KL \quad (2.42)$$
 where  
 $K = effective\ length\ coefficient$   
 $= 1\ for\ both\ ends\ pinned$   
 $= 0.5\ for\ both\ ends\ fixed\ (clamped)$   
 $= 2.0\ for\ one\ end\ fixed\ and\ the\ other\ free\ to\ move\ laterally$

**تئوری تیر و ستون**  
**ستون ها**  

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{(KL)^2}$$

$$n = 1 \rightarrow P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{A(KL)^2} = \frac{\pi^2 E r^2 A}{A(KL)^2} = \frac{\pi^2 E}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 E r^2}{(L_e)^2}$$
**critical stress** و یا تنش تسلیم بحرانی ستون  
 بهترین حالت یک ستون این است که تنش تسلیم بحرانی (ناشی از گمایش) برابر با تنش تسلیم ماده تشکیل دهنده ستون (Sy) باشد. برای این هدف باید:  

$$\frac{L_e}{r} < \sqrt{\frac{E \pi^2}{\sigma_y}}$$
 شعاع زیراسپون، E مدول الاستیک ماده

**تئوری تیر و ستون**  
**تیر و ستون تحت بارگذاری طولی و عرضی**  

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$M = -Pz = -P\delta$$

$$M = -Pz = -P\delta \quad (0 < x < L)$$
 M = maximum bending moment due to the combined effect of axial and transverse loads



# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی





# رئوس مطالب

مقدمه ➤

# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار

در تونل ها: فاصله بین تونل های مجاور

در معادن زیرزمینی: انواع مختلف پیلار که به لنگه نیز معروف است.

انواع مختلف پیلار در معادن زیرزمینی

استفاده از مقاومت سنگ و قوس فشار

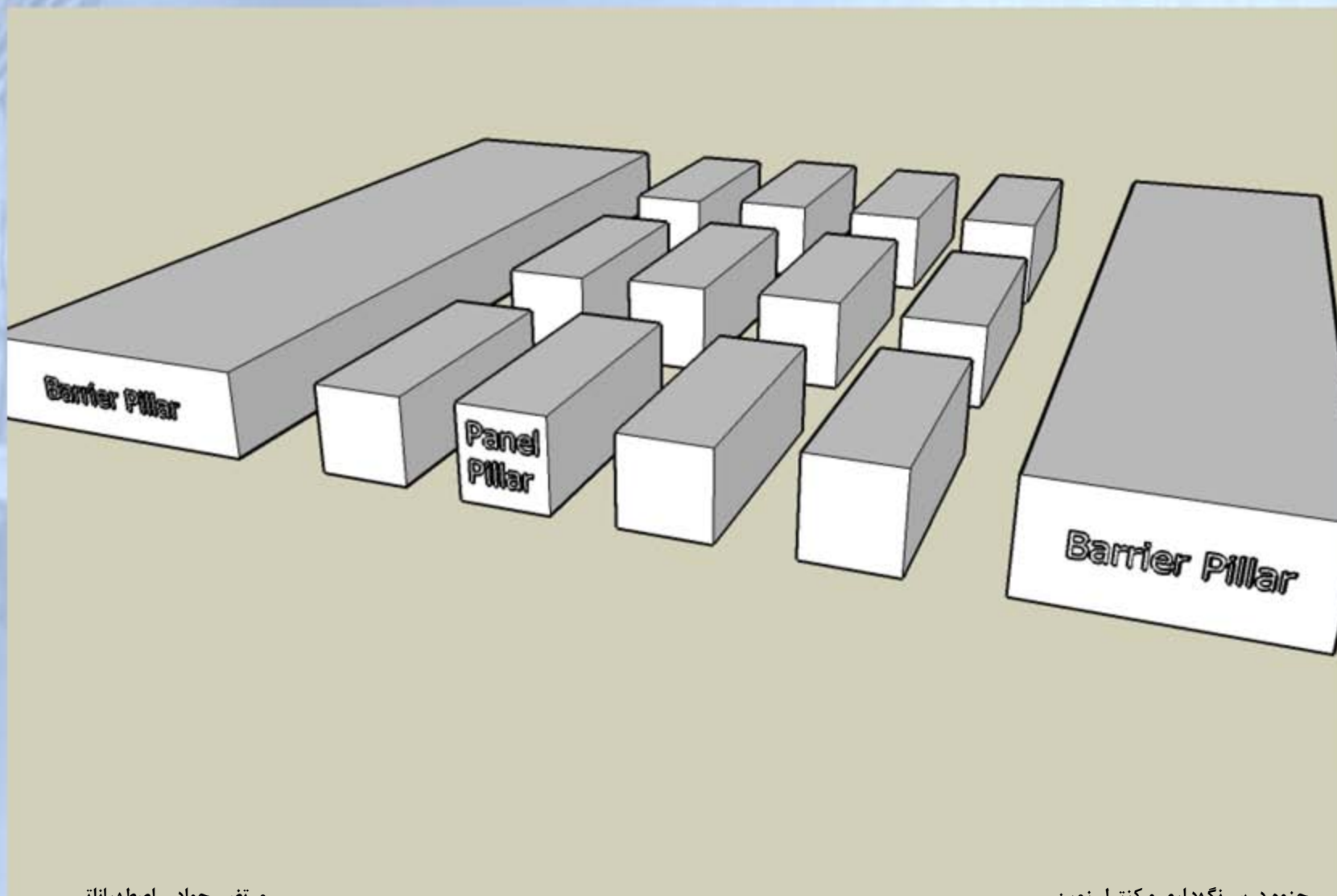
ارتباط بین اندازه و مقاومت

انواع ناپایداری پیلار



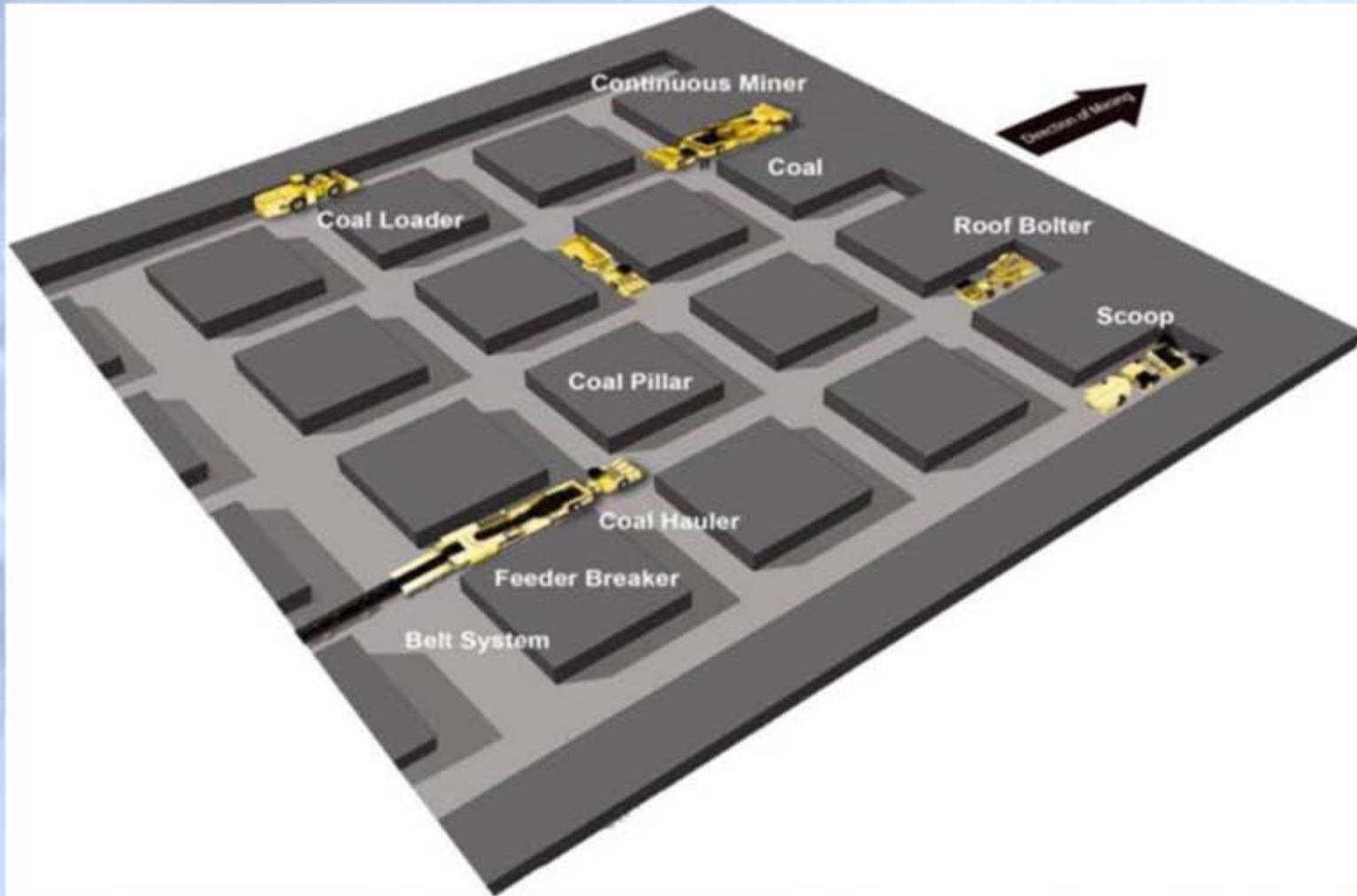
# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار



# پیلار (ستون های طبیعی)

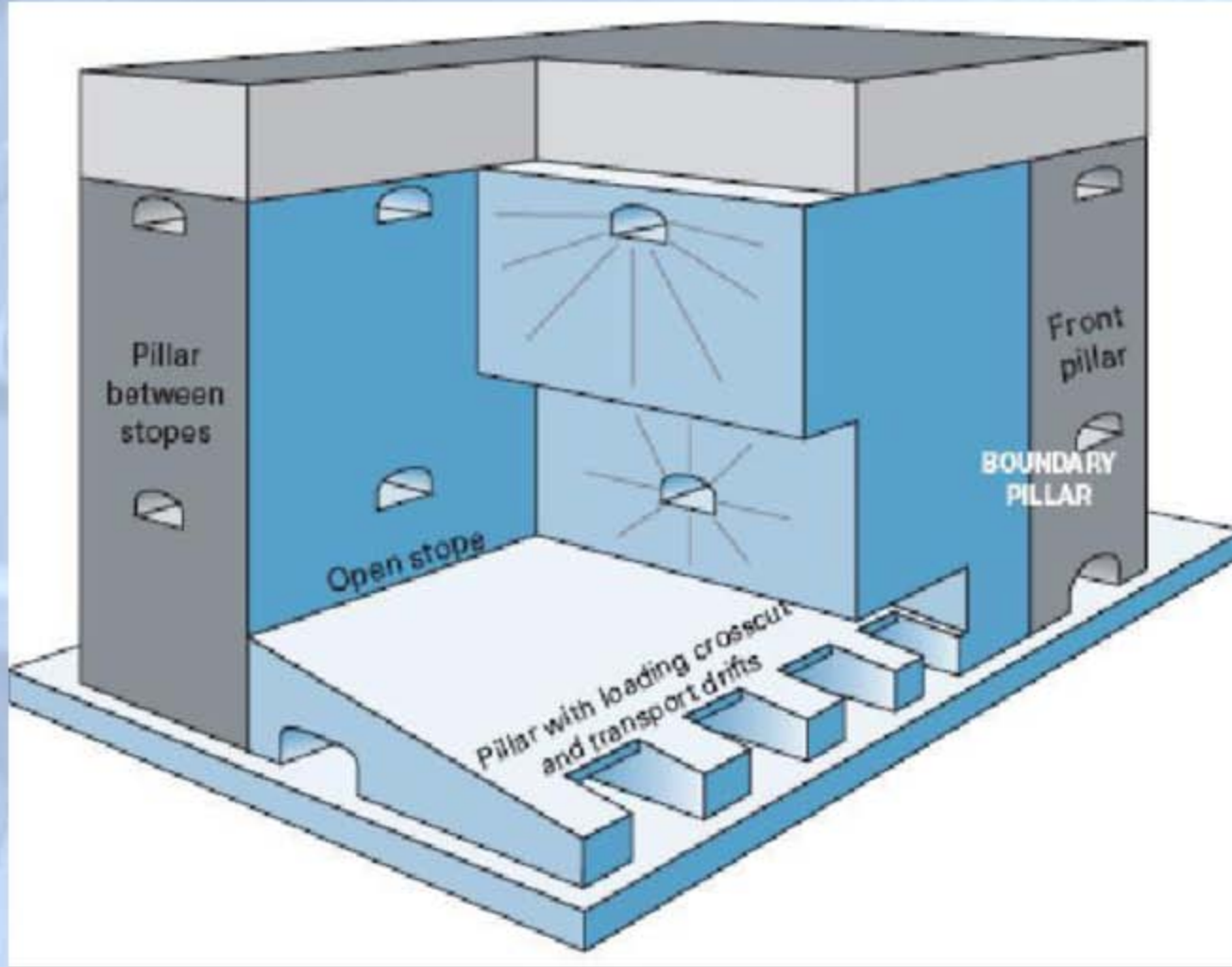
## مفهوم پیلار





# پیلار (ستون های طبیعی)

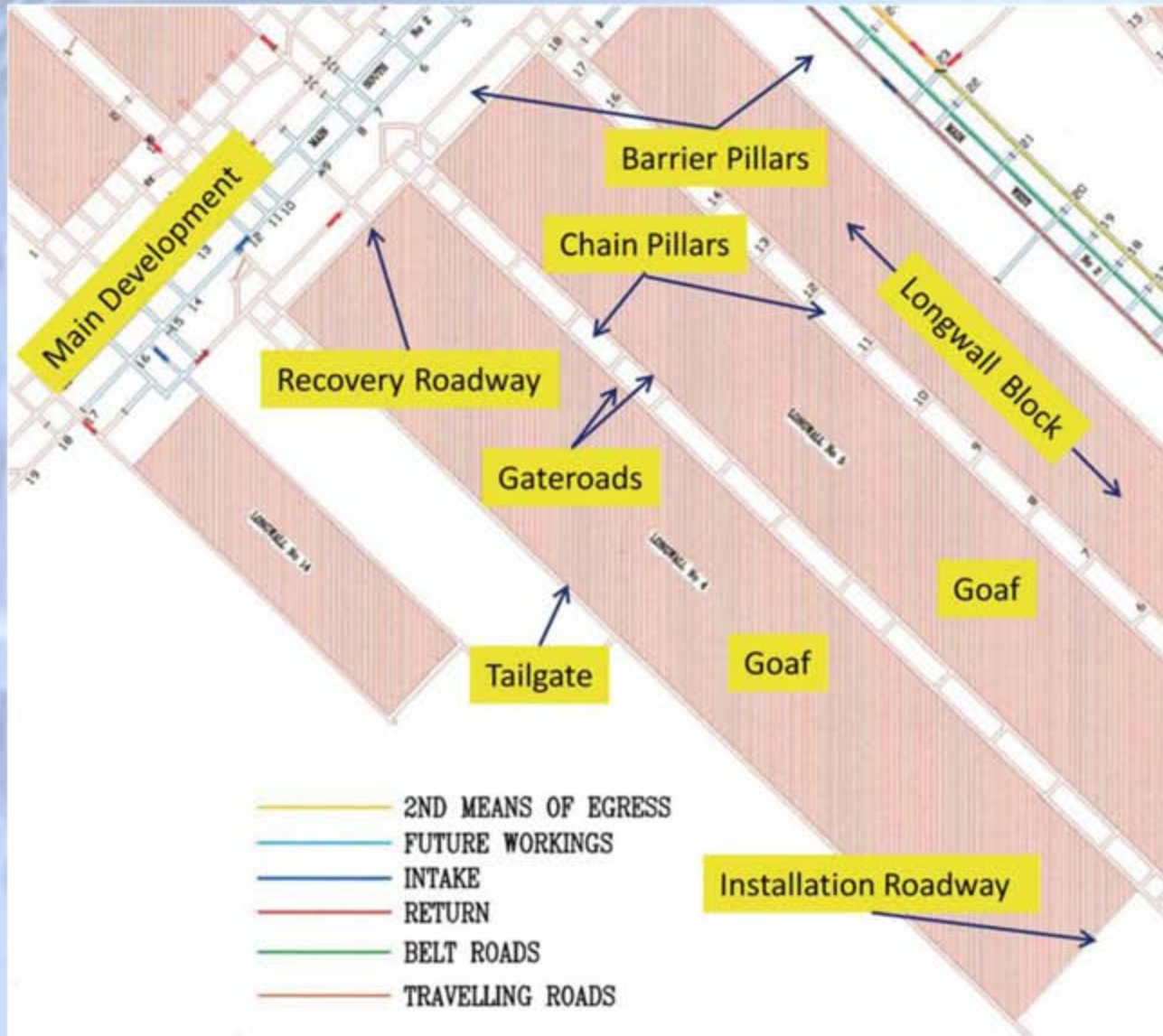
## مفهوم پیلار



Hand stoping room and pillar system at SMZ.

# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار







# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار





# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار







# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار





# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار







**Table 4.1** Types, functions and typical life expectancy of coal pillars

Type	Range of functions	Typical life expectancy
Protective	Provide a zone of protection against ground movement near sub-surface and surface infrastructure and natural features	From life-of-infrastructure to permanent
Barrier	Provide a zone of separation of sufficient width between two sets of workings to limit interaction between their respective stress fields	From life-of-mine (10-40 years) to permanent
	Provide a solid barrier against inrush, gas migration and spontaneous combustion	
	Protect sub-surface and surface natural and man-made infrastructure from mining-induced ground movement	
Main Development	Local or regional load bearing structure	- Life-of-mine (10-40 years), or - From life-of-infrastructure to 'permanent'
	Restrict strata displacement around main development roadways to safe and serviceable levels	
	Act as ventilation stoppings	
	Protect sub-surface and surface natural and man-made infrastructure from mining-induced ground movement	
Panel	Local load bearing structure	- Life-of-panel (1-2 years), or - From life-of-infrastructure to permanent
	Provide roof, rib and floor stability within a panel for duration of production	
	Restrict sub-surface and surface ground movement	
Interpanel	Regional load bearing structure between adjacent panels	- Life-of-mine (10-40 years), or - From life-of-infrastructure to permanent
	Provide a sufficiently wide separation between two adjacent panels to limit the interaction of their respective stress fields	
	Restrict the spread of a pillar system instability	
	Provide a solid barrier against inrush, gas migration and spontaneous combustion	
Chain	Protect companion gateroads from abutment stress	- 1-3 years, or - Life-of-infrastructure, up to permanent for partial extraction systems
	Provide a ventilation pathway and 2nd egress	
	Function as a goaf seal	
	Sometimes used to provide regional support and restrict sub-surface and surface ground movement	
Yield	Localised, low stiffness support	- 1-3 years
	Limit damage to immediate roof and floor strata, mitigate pressure bursts (coal bumps, rock bursts)	
	Provide localised stress relief around a roadway	
	Improve percentage extraction in some bord and pillar mining layouts	
Highwall	Temporary, local support to current drivage or punch	- Hours to days
	Sometimes used to provide regional support	- Sometimes permanent
Fender	Local support and goaf edge control	3-5 days, then encouraged to fail
	Break off point for cantilevering roof	
	Barrier against a goaf fall.	
Stook	Local support to protect retreat path from or through an intersection	1-3 days, then encouraged to fail
	Goaf edge control	

# پیلار (ستون های طبیعی)

## انواع پیلار معادن زغال

# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار

**Table 4.1** Types, functions and typical life expectancy of coal pillars

Type	Range of functions	Typical life expectancy
Protective	Provide a zone of protection against ground movement near sub-surface and surface infrastructure and natural features	From life-of-infrastructure to permanent
Barrier	Provide a zone of separation of sufficient width between two sets of workings to limit interaction between their respective stress fields	From life-of-mine (10–40 years) to permanent
	Provide a solid barrier against inrush, gas migration and spontaneous combustion	
	Protect sub-surface and surface natural and man-made infrastructure from mining-induced ground movement	
Main Development	Local or regional load bearing structure	– Life-of-mine (10–40 years), or – From life-of-infrastructure to ‘permanent’
	Restrict strata displacement around main development roadways to safe and serviceable levels	
	Act as ventilation stoppings	
	Protect sub-surface and surface natural and man-made infrastructure from mining-induced ground movement	
Panel	Local load bearing structure	– Life-of-panel (1–2 years), or – From life-of-infrastructure to permanent
	Provide roof, rib and floor stability within a panel for duration of production	
	Restrict sub-surface and surface ground movement	



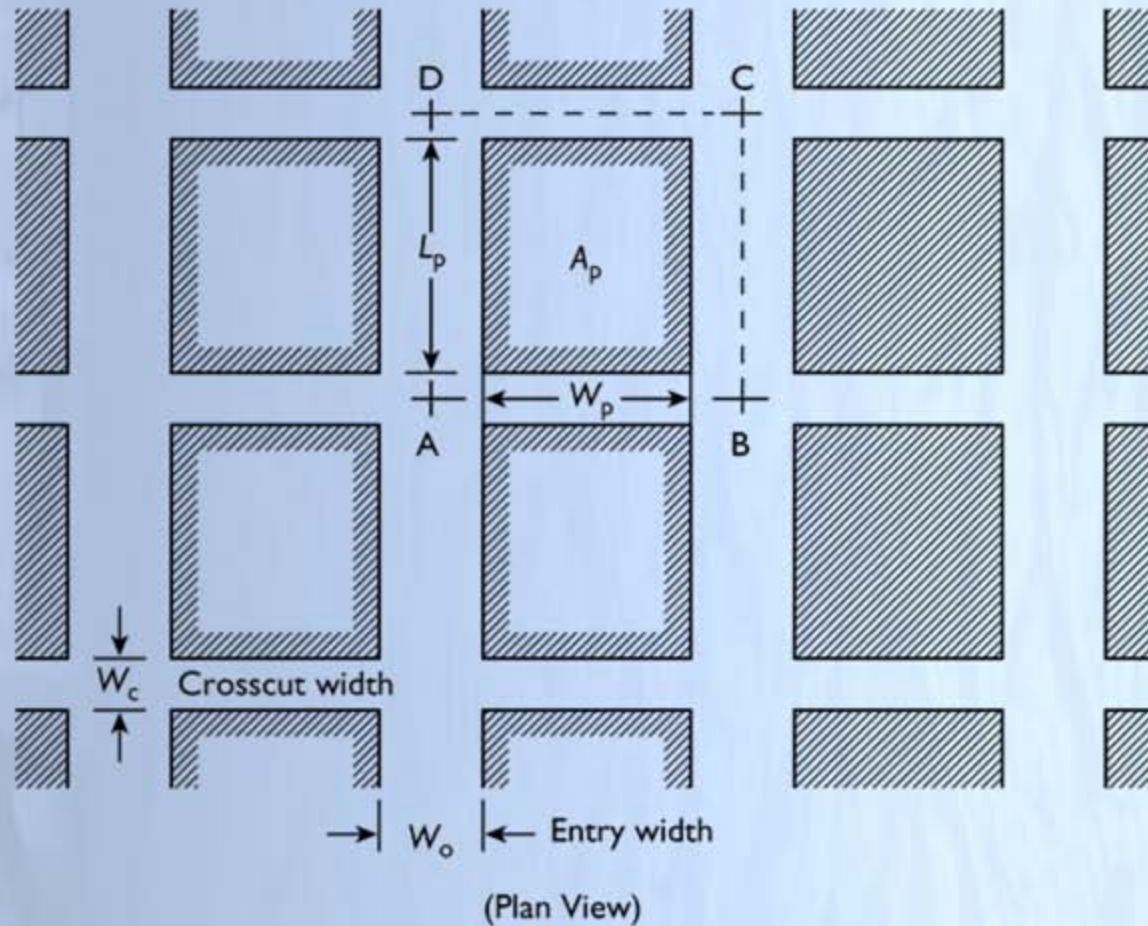
# پیلار (ستون های طبیعی)

## مفهوم پیلار

Interpanel	Regional load bearing structure between adjacent panels	– Life-of-mine (10–40 years), or – From life-of-infrastructure to permanent
	Provide a sufficiently wide separation between two adjacent panels to limit the interaction of their respective stress fields	
	Restrict the spread of a pillar system instability	
	Provide a solid barrier against inrush, gas migration and spontaneous combustion	
Chain	Protect companion gateroads from abutment stress	– 1–3 years, or – Life-of-infrastructure, up to permanent for partial extraction systems
	Provide a ventilation pathway and 2nd egress	
	Function as a goaf seal	
	Sometimes used to provide regional support and restrict sub-surface and surface ground movement	
Yield	Localised, low stiffness support	– 1–3 years
	Limit damage to immediate roof and floor strata, mitigate pressure bursts (coal bumps, rock bursts)	
	Provide localised stress relief around a roadway	
	Improve percentage extraction in some bord and pillar mining layouts	
Highwall	Temporary, local support to current drivage or punch	– Hours to days – Sometimes permanent
	Sometimes used to provide regional support	
Fender	Local support and goaf edge control	3–5 days, then encouraged to fail
	Break off point for cantilevering roof	
	Barrier against a goaf fall.	
Stook	Local support to protect retreat path from or through an intersection	1–3 days, then encouraged to fail
	Goaf edge control	

# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

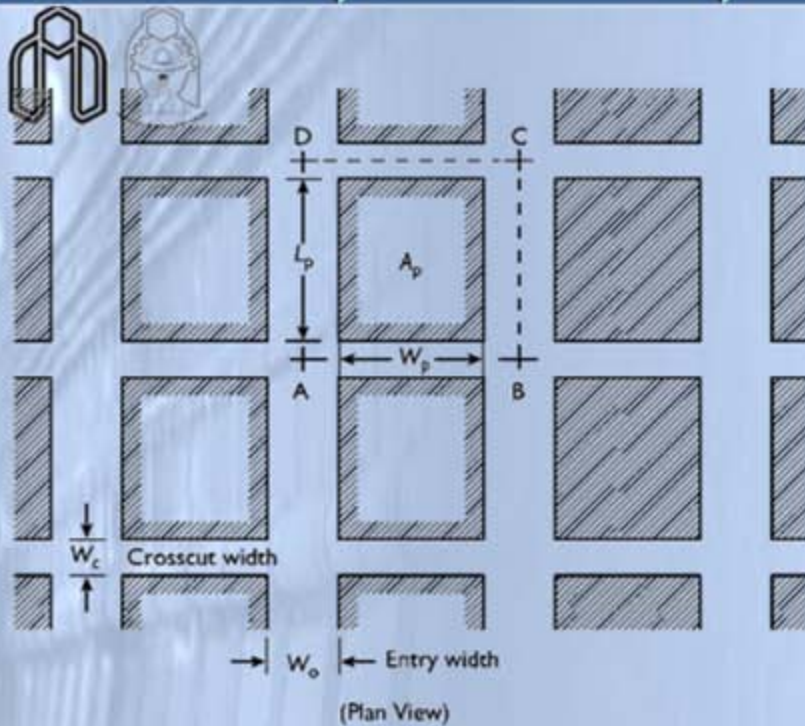


$$A = \overline{ABCD}, \text{ pillar area} = A_p, \text{ area mined } A_m = A - A_p$$



# پیلار (ستون های طبیعی)

محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)



$$A = \overline{ABCD}, \text{ pillar area} = A_p, \text{ area mined } A_m = A - A_p$$

$$A_p = W_p L_p$$

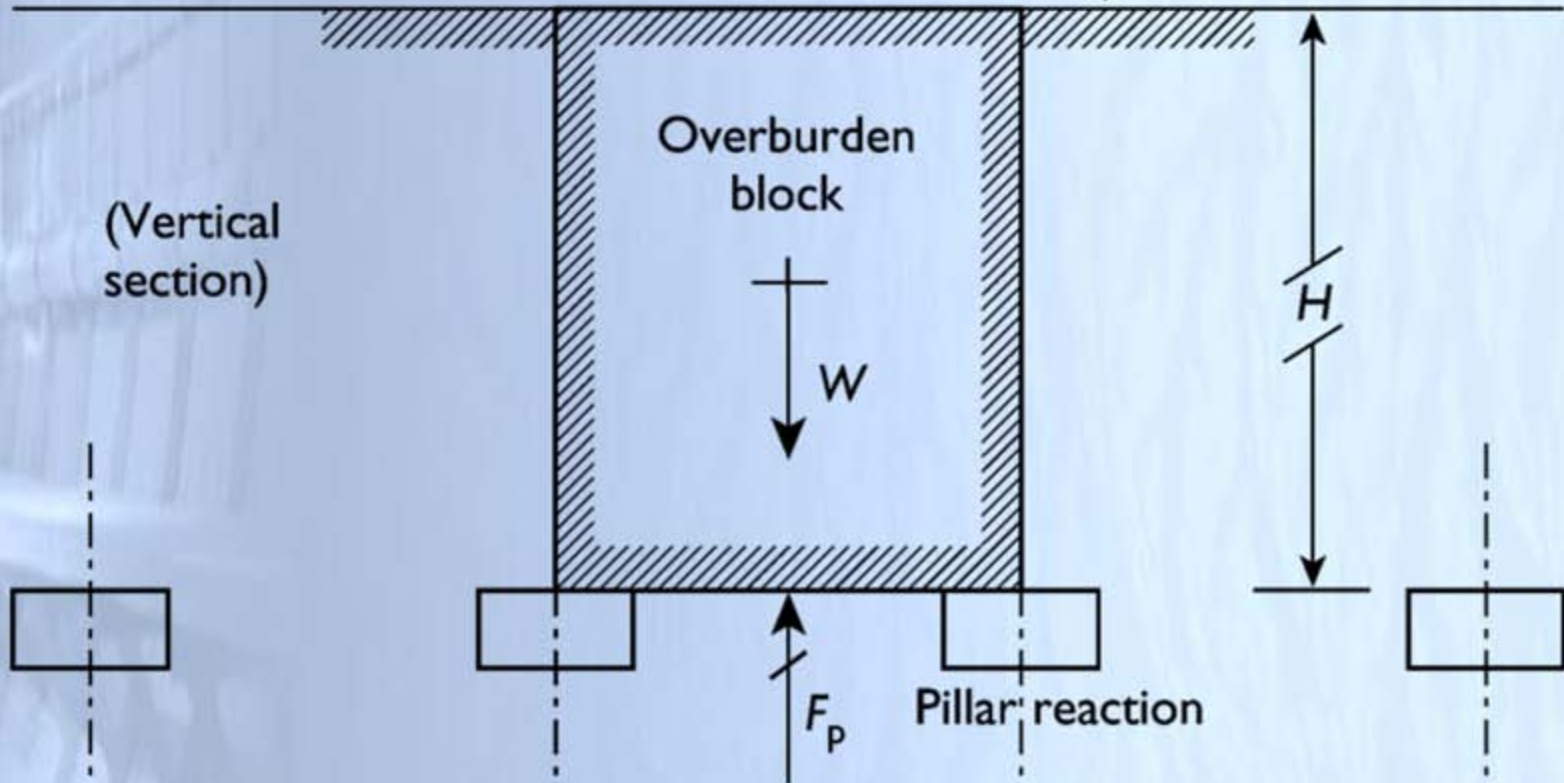
$$A = (W_o + W_p)(L_p + W_c)$$

$$A_m = W_o(L_p + W_c) + W_c W_p$$

# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

$A = \overline{ABCD}$ , pillar area =  $A_p$ , area mined  $A_m = A - A_p$  Surface



$$W = \gamma HA = S_v A = F_p = S_p A_p$$



# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

$$A = \overline{ABCD}, \text{ pillar area} = A_p, \text{ area mined } A_m = A - A_p$$

$$W = \gamma HA = S_v A = F_p = S_p A_p$$

$\gamma$  is average specific weight of overburden

$H$  is height of overburden block (seam depth)

$S_v$  is average overburden stress (before excavation)

$A$  is cross-sectional area of an overburden block

$S_p$  is average pillar stress

$A_p$  is pillar cross-sectional area

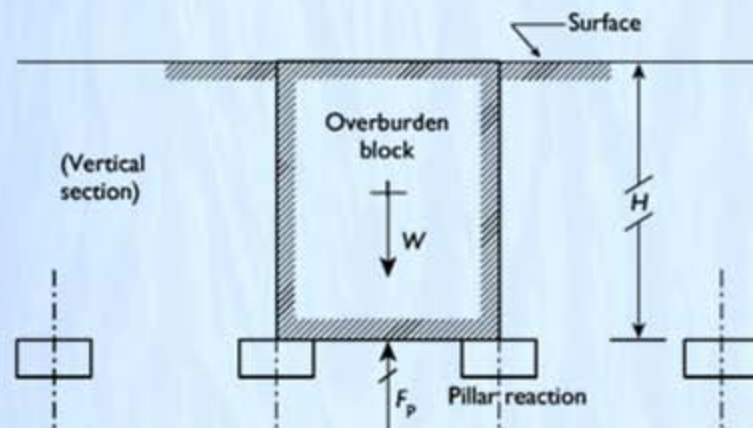
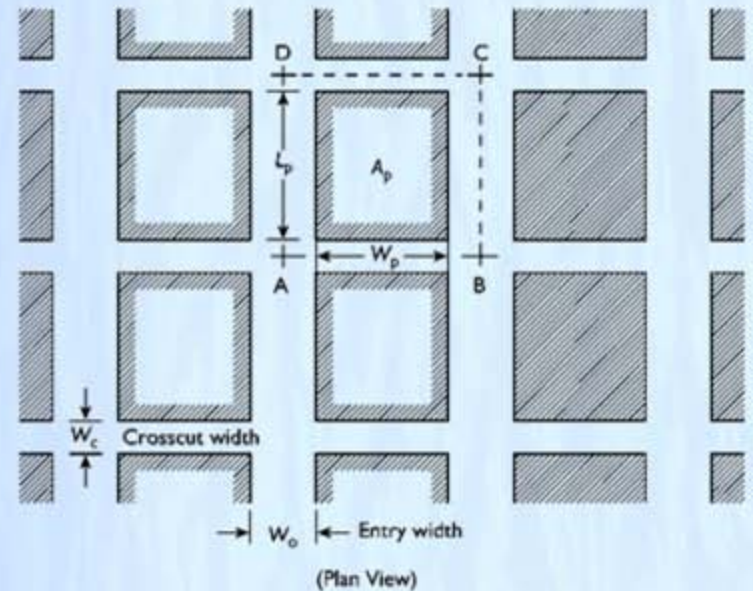
$A_m$  is the excavated area (entries and crosscuts)

$$A = A_p + A_m$$

compressive stress safety factor  $FS_c = \frac{C_p}{S_p}$

$S_p$  average pillar stress

$C_p$  Pillar compressive strength

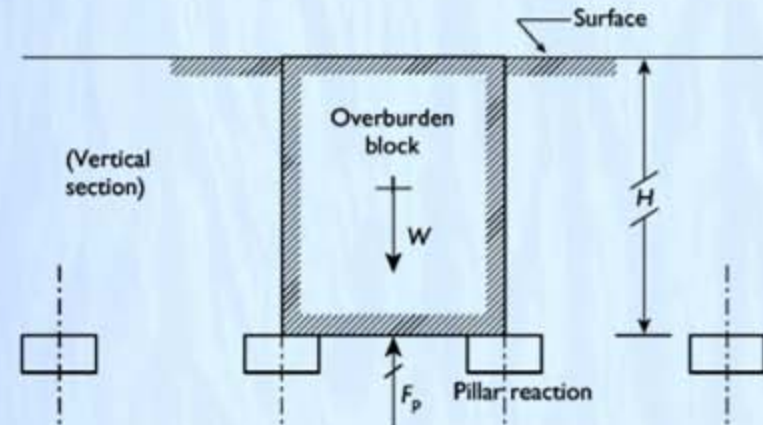
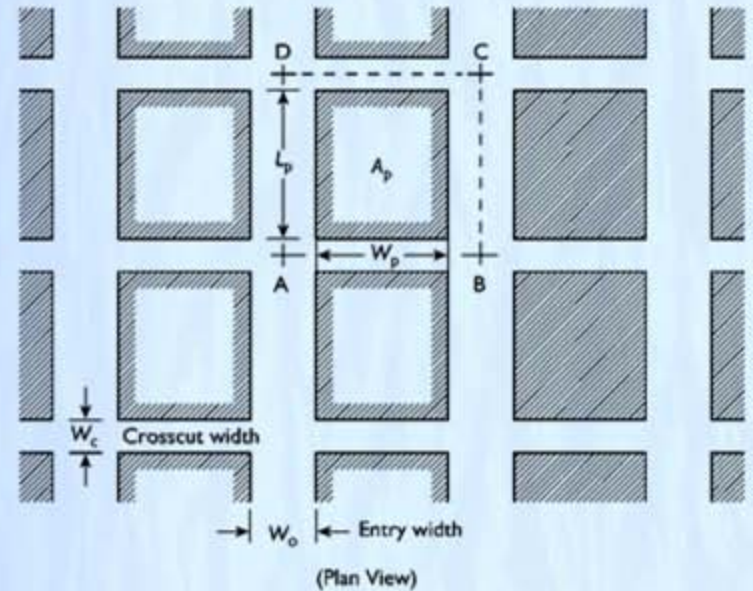


# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

$$A = \overline{ABCD}, \text{ pillar area} = A_p, \text{ area mined } A_m = A - A_p$$

$$W = \gamma H A = S_v A = F_p = S_p A_p$$



$\gamma$  is average specific weight of overburden

$H$  is height of overburden block (seam depth)

$S_v$  is average overburden stress (before excavation)

$A$  is cross-sectional area of an overburden block

$S_p$  is average pillar stress

$A_p$  is pillar cross-sectional area

$C_p$  Pillar compressive strength

$A_m$  is the excavated area (entries and crosscuts)

$$A = A_p + A_m$$

$F_{Sc}$  is the Safety Factor

extraction ratio  $R$  (or Recovery Factor)

$$R = 1 - \frac{(F_{Sc})(S_v)}{C_p}$$



# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

$$\text{pillar area} = w_p * l_p$$

$$\text{tributary area} = (w_p + w_c) * (l_p + w_c)$$

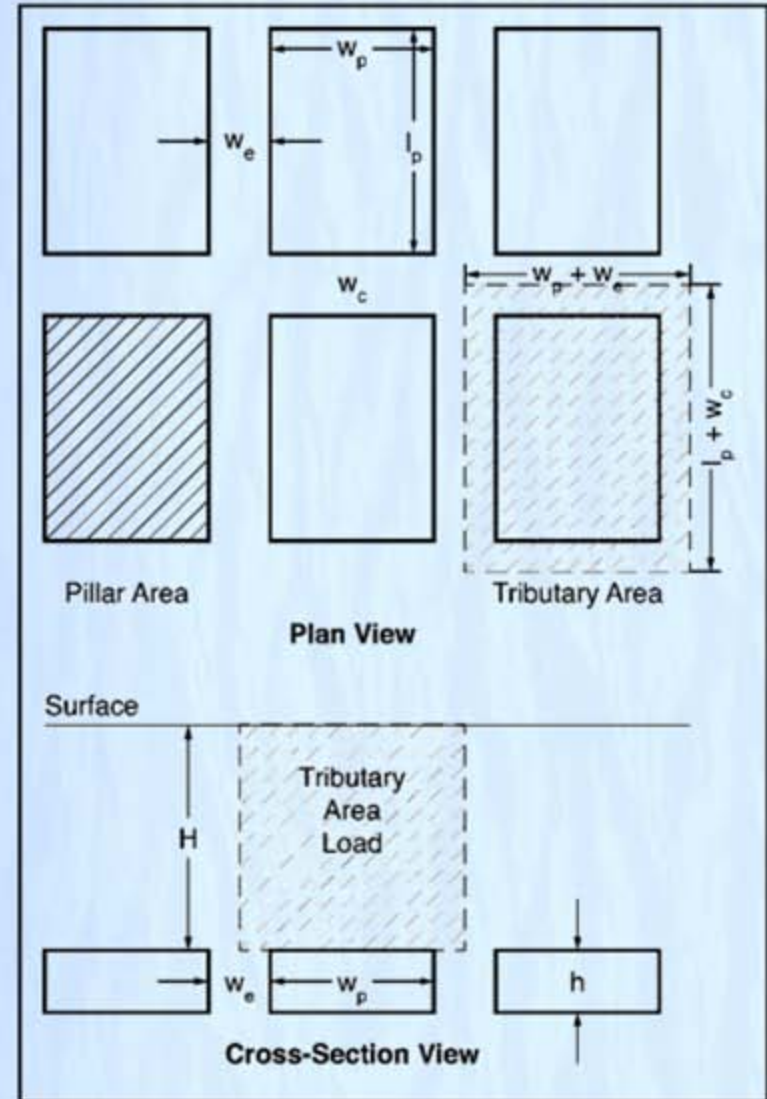
$$\text{pillar load} = \delta_r * H * (w_p + w_c) * (l_p + w_c)$$

$$\sigma_d = \frac{\delta_r * H * (w_p + w_c) * (l_p + w_c)}{(w_p * l_p)}$$

$$\sigma_i = \delta_r * H = (s g_r * \delta_w) * H$$

$$\sigma_d = \sigma_i * \frac{(w_p + w_c) * (l_p + w_c)}{(w_p * l_p)}$$

pillar width (wp), pillar length (lp), entry width (we)  
 crosscut width (wc), depth (H), density of the  
 overburden ( $\delta_r$ ), pillar stress ( $\sigma_d$ ), original in situ  
 vertical stress ( $\sigma_i$ ), extraction ratio (e)



# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

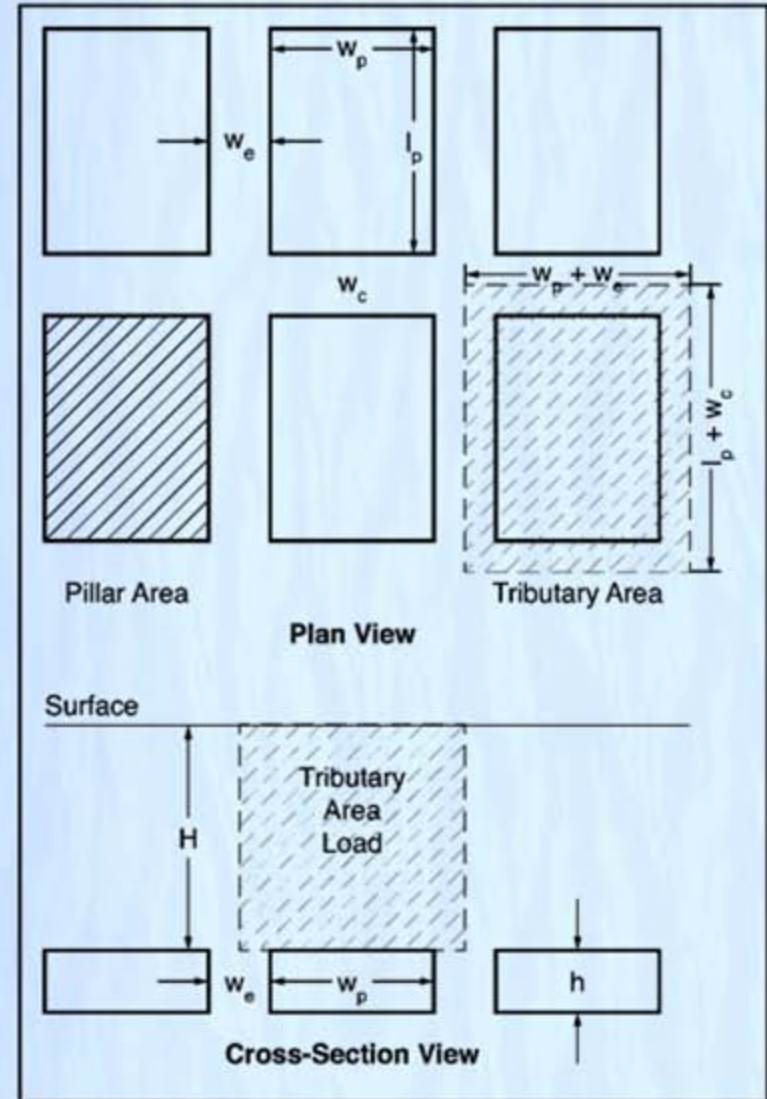
$$e = \frac{(w_p + w_c) * (l_p + w_c) - (w_p * l_p)}{(w_p + w_c) * (l_p + w_c)}$$

$$= 1 - \frac{(w_p * l_p)}{(w_p + w_c) * (l_p + w_c)}$$

$$\frac{(w_p + w_c) * (l_p + w_c)}{(w_p * l_p)} = \frac{1}{1 - e}$$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_i}{(1 - e)}$$

pillar width (wp), pillar length (lp), entry width (we)  
 crosscut width (wc), depth (H), density of the  
 overburden (δr), pillar stress (σd), original in situ  
 vertical stress (σi), extraction ratio (e)





## پیلار (ستون های طبیعی)

### محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

مثال ۱: یک معدن افقی اتاق و پایه در عمق 200 متری را در نظر بگیرید. اگر دانسیته سنگ های روباره 2.5، مقاومت تک محوری توده سنگ 15 Mpa باشد و عرض راهروها 7.5 متر و عرض پیلارها 15 متر باشد، ضریب ایمنی پیلارها چقدر است؟

## پیلار (ستون های طبیعی)

### محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

مثال ۱: یک معدن افقی اتاق و پایه در عمق 200 متری را در نظر بگیرید. اگر دانسیته سنگ های روباره 2.5، مقاومت تک محوری توده سنگ 15 MPa باشد و عرض راهروها 7.5 متر و عرض پیلارها 15 متر باشد، ضریب ایمنی پیلارها چقدر است؟

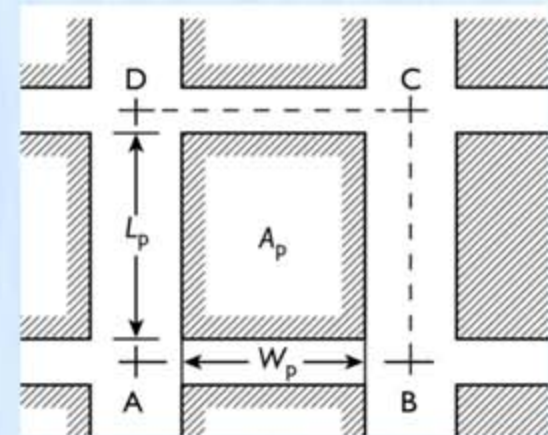
$$S_v = 200(\text{m}) \times 2.5(\text{Ton}/\text{m}^3) = 5 \text{ MPa}$$

$$S_p = 15 \text{ MPa}$$

$$A = (L_p + w)^2 = (15 + 7.5)^2 = 506.25 \text{ m}^2$$

$$A_p = (L_p)^2 = (15)^2 = 225 \text{ m}^2$$

$$S.F = \frac{A_p \times S_p}{A \times S_v} \rightarrow S.F = \frac{225 \times 15}{506.25 \times 5} = 1.333$$





## پیلار (ستون های طبیعی)

### محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

مثال ۲: یک معدن افقی اتاق و پایه در عمق ۳۰۰ متری را در نظر بگیرید. اگر دانسیته سنگ های روباره ۲.۵، مقاومت تک محوری توده سنگ 15 Mpa باشد و عرض کلیه راهروها ۶ متر باشد، بزرگترین ابعاد پیلارها (پیلارهای مربعی شکل) را محاسبه کنید (بزرگترین ابعاد ممکن برای پیلار معادل با ضریب ایمنی ۱)

## پیلار (ستون های طبیعی)

محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

مثال ۲: یک معدن افقی اتاق و پایه در عمق ۳۰۰ متری را در نظر بگیرید. اگر دانسیته سنگ های روباره ۲.۵، مقاومت تک محوری توده سنگ ۱۵ Mpa باشد و عرض کلیه راهروها ۶ متر باشد، بزرگترین ابعاد پیلارها (پیلارهای مربعی شکل) را محاسبه کنید (بزرگترین ابعاد ممکن برای پیلار معادل با ضریب ایمنی ۱)

$$S_v = 300(\text{m}) \times 2.5(\text{Ton}/\text{m}^3) = 7.5 \text{ MPa}$$

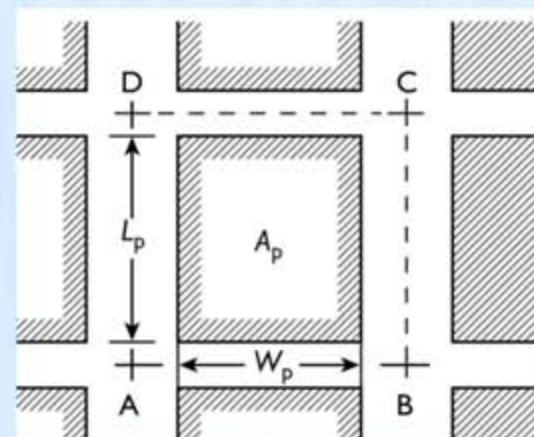
$$S_p = 15 \text{ MPa}$$

$$A = (L_p + 6)^2$$

$$A_p = (L_p)^2$$

$$S.F = 1 \rightarrow A_p \times S_p = A \times S_v \rightarrow 15A_p = 7.5A \rightarrow$$

$$\frac{L_p}{L_p + 6} = 0.7 \rightarrow L_p = 14 \text{ m}$$



$$\frac{A_p}{A} = \frac{(L_p)^2}{(L_p + 6)^2} = 0.5$$

**R** Extraction Recovery



## پیلار (ستون های طبیعی)

### محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

محاسبات و روابط ارائه شده در حالت ایده آل دارای معایب زیر است:

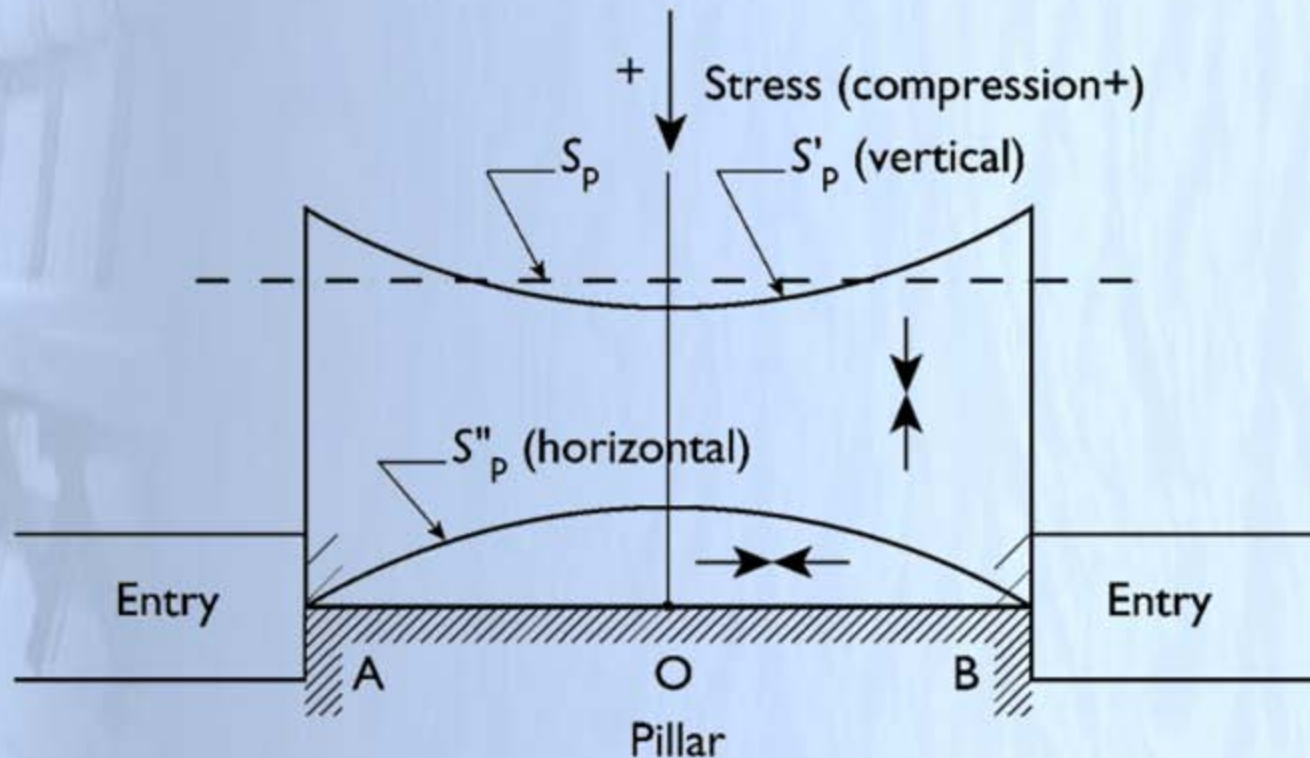
- ۱- توزیع تنش داخلی در داخل پیلار نادیده گرفته شده است.
- ۲- نقش تنش افقی داخلی بر روی مقاومت فشاری پیلار نادیده گرفته شده است.
- ۳- وابستگی مقاومت به اندازه پیلار در نظر گرفته نشده است.
- ۴- عدم لحاظ کردن پتانسیل شکست پیشرونده و زوال پیلار
- ۵- عدم لحاظ کردن شکست دومینویی

# پیلار (ستون های طبیعی)

## محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

۱- توزیع تنش داخلی در داخل پیلار نادیده گرفته شده است.

۲- نقش تنش افقی داخلی بر روی مقاومت فشاری پیلار نادیده گرفته شده است.





## پیلار (ستون های طبیعی)

محاسبات ایده آل پیلار (در روش اتاق و پایه)

وابستگی مقاومت زغال به ابعاد پایه

$$\text{Strength} = kw^\alpha h^\beta \text{ kPa}$$

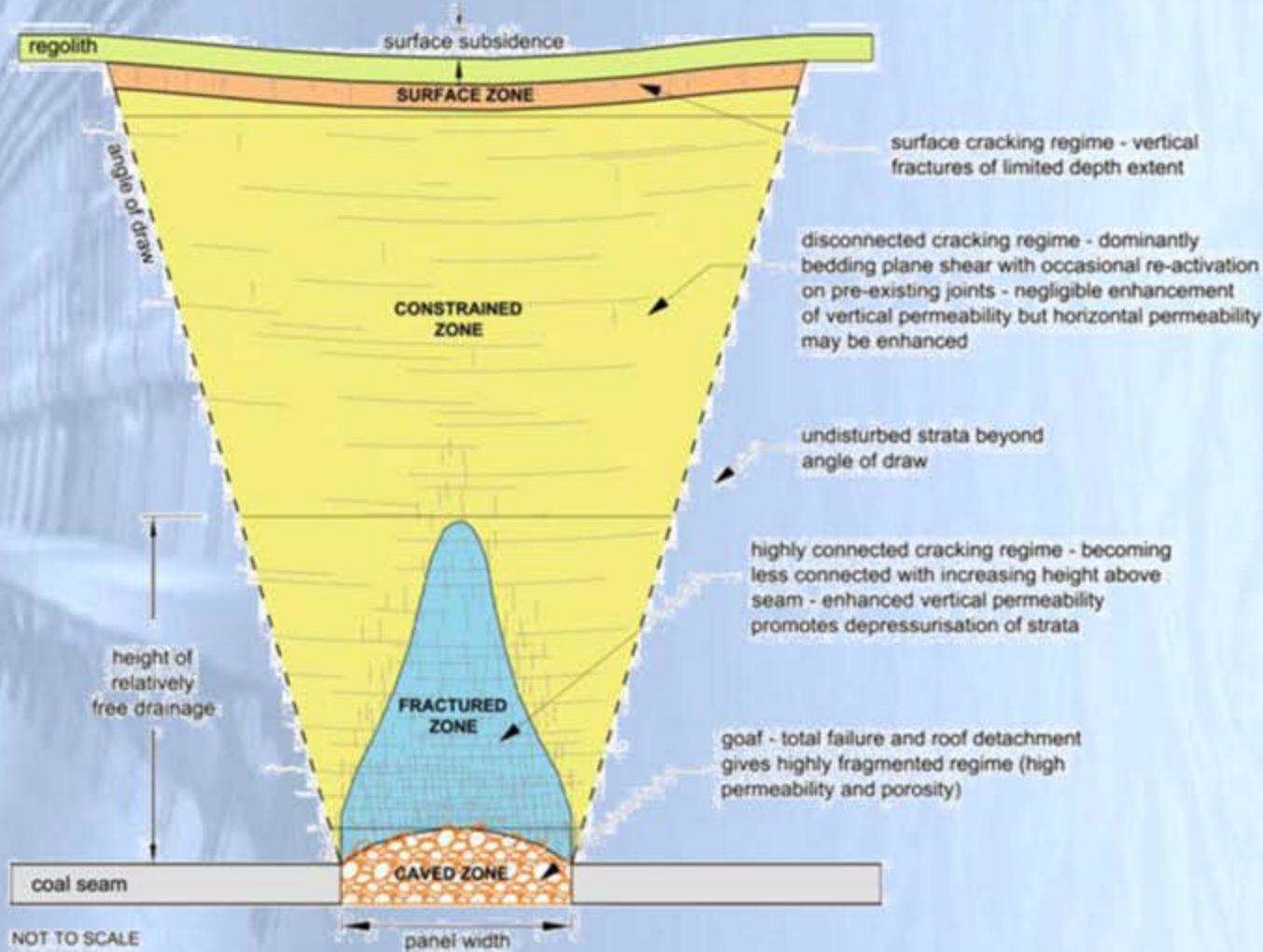
Salamon's analysis gave values of  $k = 7\ 176 \text{ kPa}$ ,  $\alpha = 0.46$  and  $\beta = -0.66$

$$\text{Strength} = 7176 \frac{w^{0.46}}{h^{0.66}} \text{ kPa} \quad \text{Salamon and Munro (1967)}$$



# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

## مفهوم زون های مختلف در بالای کارگاه (Panel)



نشست سطح زمین

شکست موضعی  
(شکستگی های ناممتد)  
(افزایش نفوذپذیری افقی)

زون خرد شده  
شکستگی های ممتد

ناحیه تخریبی  
(بلوک های کاملاً مجزا)

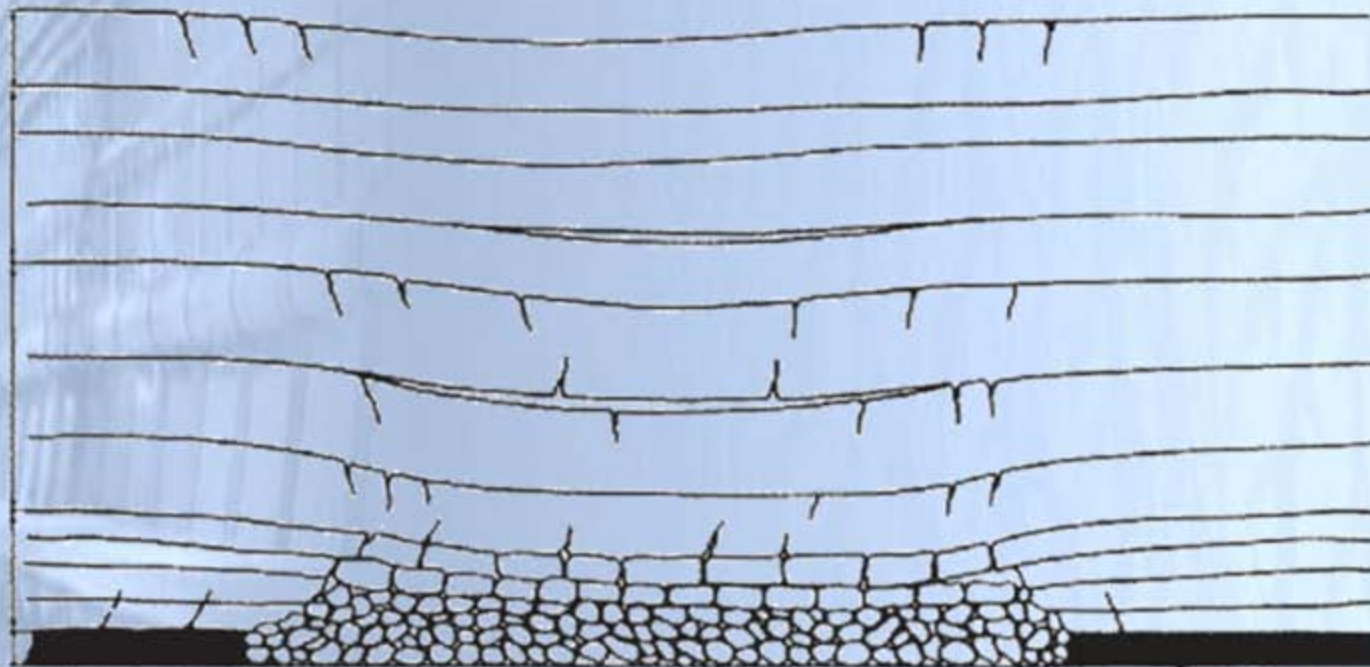
Fig. 3.5 A conceptual four zone model of caving and fracturing above an excavation (Courtesy of Dr Colin Mackie)





# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

## مفهوم زون های مختلف در بالای کارگاه (Panel)



نشست سطح زمین

شکست موضعی  
(شکستگی های ناممتد)  
(افزایش نفوذپذیری افقی)

زون خرد شده

ناحیه تخریبی  
(بلوک های کاملاً مجزا)



# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

## مفهوم زون های مختلف در بالای کارگاه (Panel)



ناحیه تخریبی  
(بلوک های کاملاً مجزا)

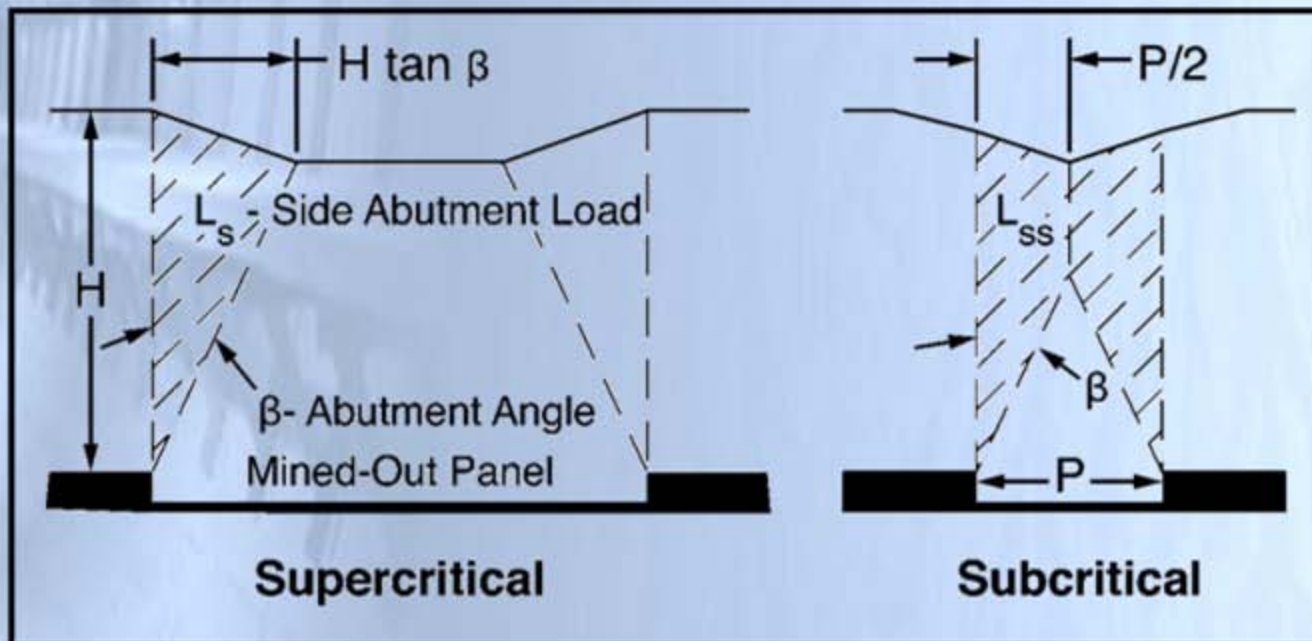




# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

## بار ناشی از زون تخریبی بر ناحیه مجاور (*Abutment Loads*)

بعد از تخریب سقف در جبهه کار طولانی، سقف زیرش کرده و داخل کارگاه را پر می کند. مواد حاصل از تخریب (*Gob*) فضای خالی کارگاه را پر می کند. مواد حاصل از تخریب بخش قابل توجهی از تنش ناشی از روباره را تحمل کرده و به زیر کارگاه انتقال می دهد، ولی در جوانب کارگاه این پدیده کمتر بوده و بخشی از بار به جوانب کارگاه انتقال داده میشود. این بار تحت عنوان *abutment load* بصورت وزن توده مجاور (بخش مثلثی شکل) بوده که دارای زاویه *abutment angle* است. این بار باید توسط پیلارهای مجاور پنل (کارگاه) حمل شود.



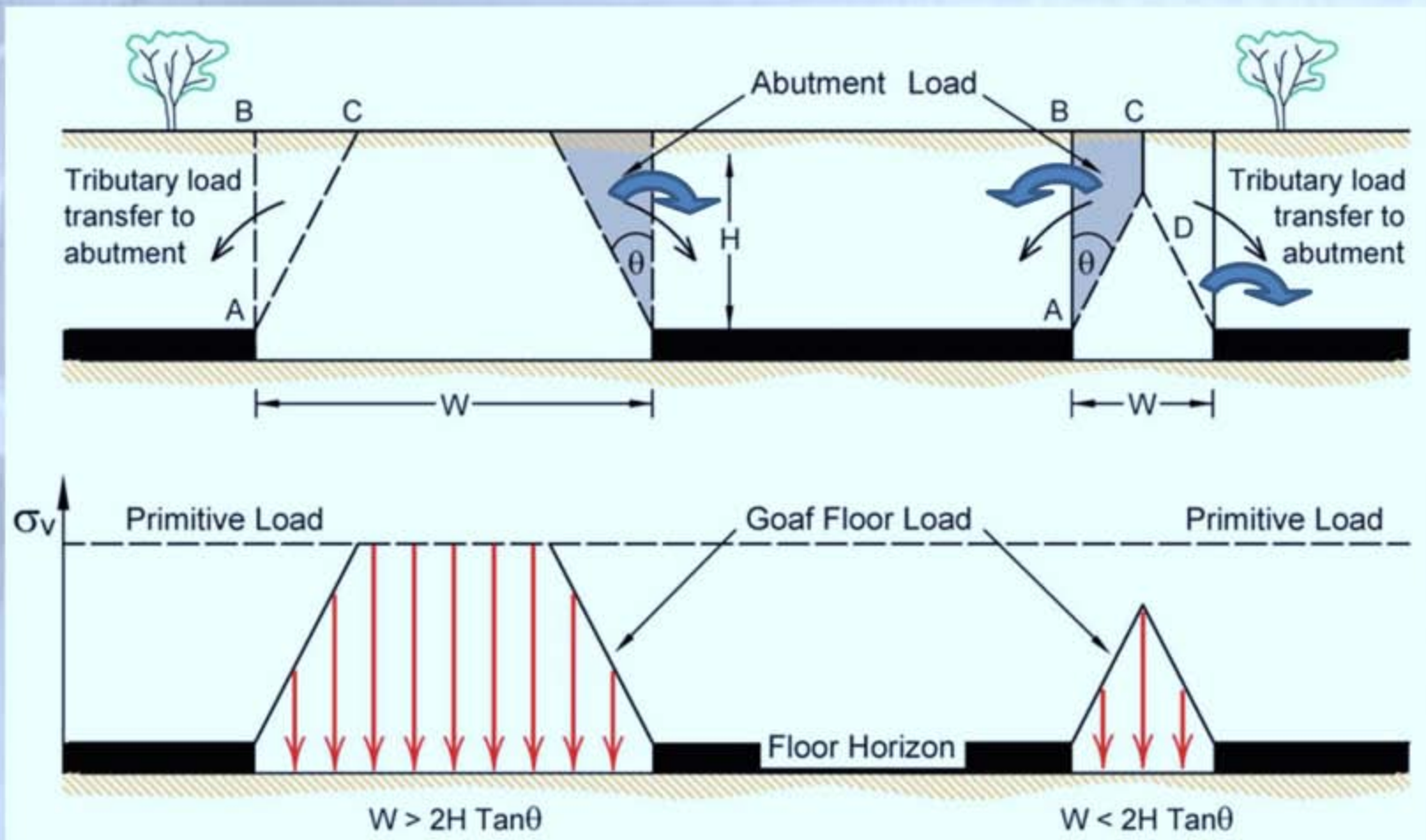
زاویه *abutment angle* معمولاً حدود ۲۱ درجه است.



# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

## بار ناشی از زون تخریبی بر ناحیه مجاور (*Abutment Loads*)

**abutment load** بصورت وزن توده مجاور (بخش مثلثی شکل) بوده که دارای زاویه **abutment angle** است. این بار باید توسط پیلارهای مجاور پنل (کارگاه) حمل شود.



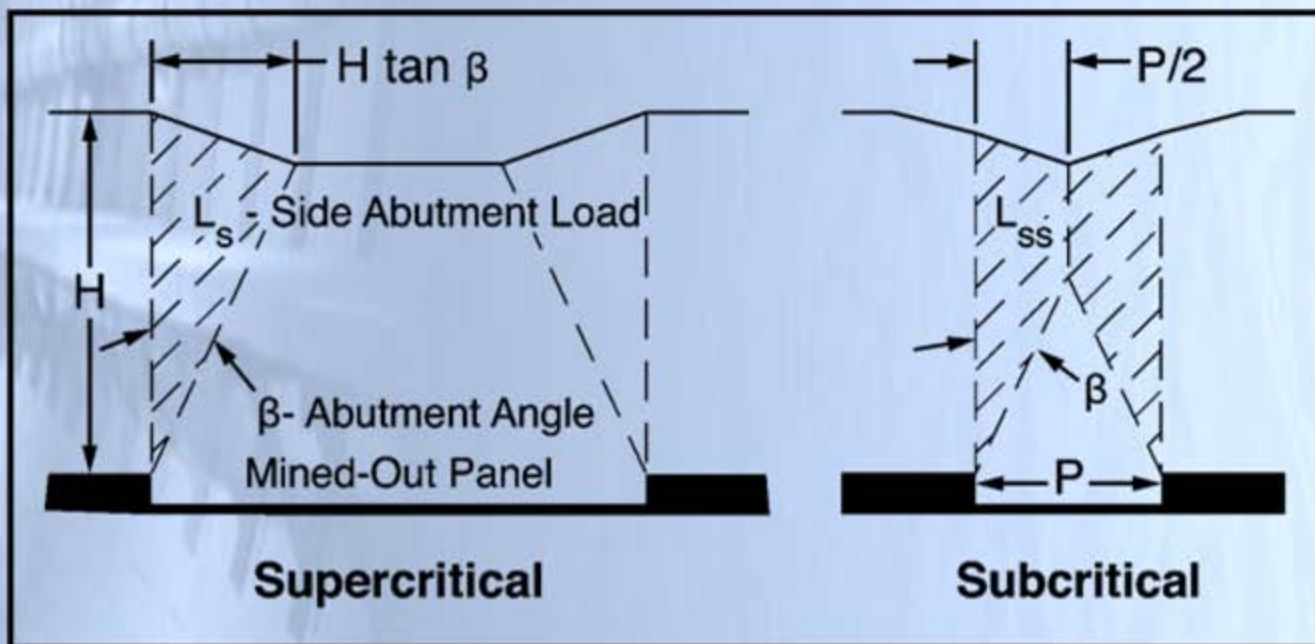




# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

## بار ناشی از زون تخریبی بر ناحیه مجاور (*Abutment Loads*)

مقدار *abutment load* به وضعیت عرض کارگاه (بحرانی، زیربحرانی یا فوق بحرانی) وابسته است. اگر عرض کارگاه بیش از مقدار بحرانی باشد (حالت فوق بحرانی)، بخش مثلثی مربوط به هریک از طرفین کارگاه بطور مجزا بوده و بار کمتری به پیلارهای جانبی وارد می شود. اگر عرض کارگاه زیر حالت بحرانی باشد، بارهای *abutment* باهم همپوشانی خواهد داشت. معنای واژه بحرانی در این بحث برعکس بوده یعنی فوق بحرانی بمعنای وضعی مناسب تر است.



زاویه *abutment angle* معمولاً حدود ۲۱ درجه است.

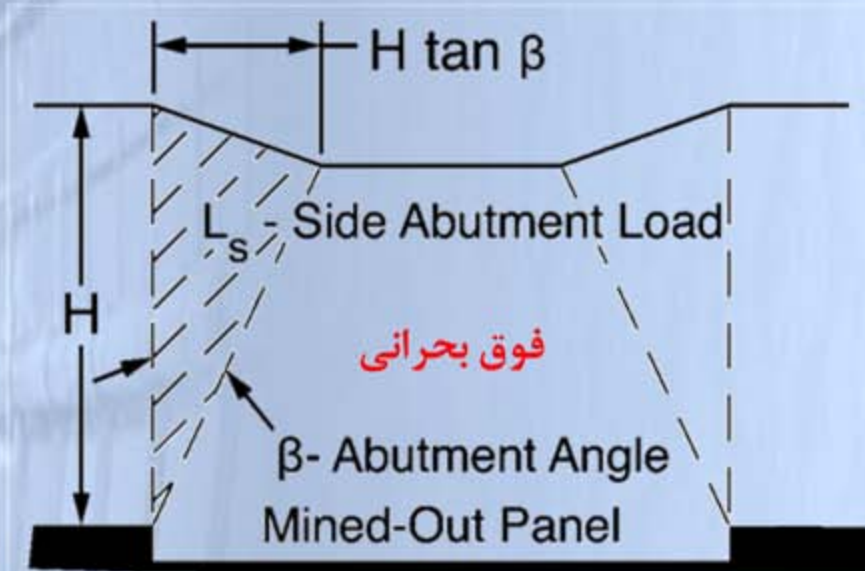
فوق بحرانی

زیربحرانی



# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

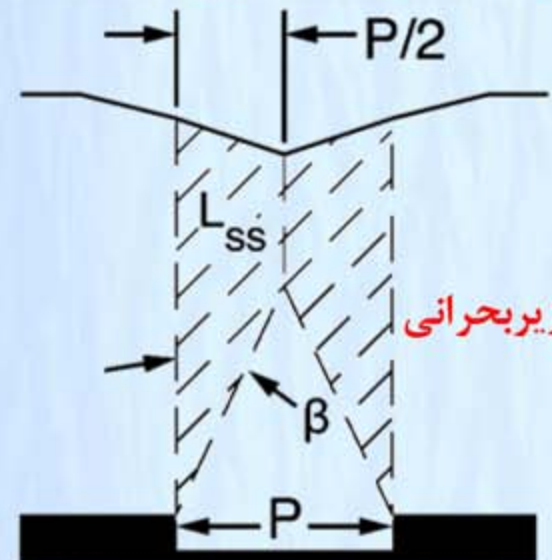
بار ناشی از زون تخریبی بر ناحیه مجاور (*Abutment Loads*)



## Supercritical

supercritical panel:  $P > 2H \tan(\beta)$

$$L_s = H^2 \tan(\beta) (\delta_r / 2)$$



## Subcritical

subcritical panel:  $P < 2H \tan(\beta)$

$$L_{ss} = \left[ \left( \frac{H * P}{2} \right) - \left( \frac{P^2}{8 * \tan(\beta)} \right) \right] * \delta_r$$

وزن مخصوص سنگ

$L_s$  و  $L_{ss}$  مقدار بار جانبی برای واحد طول (یا عمق) پنل



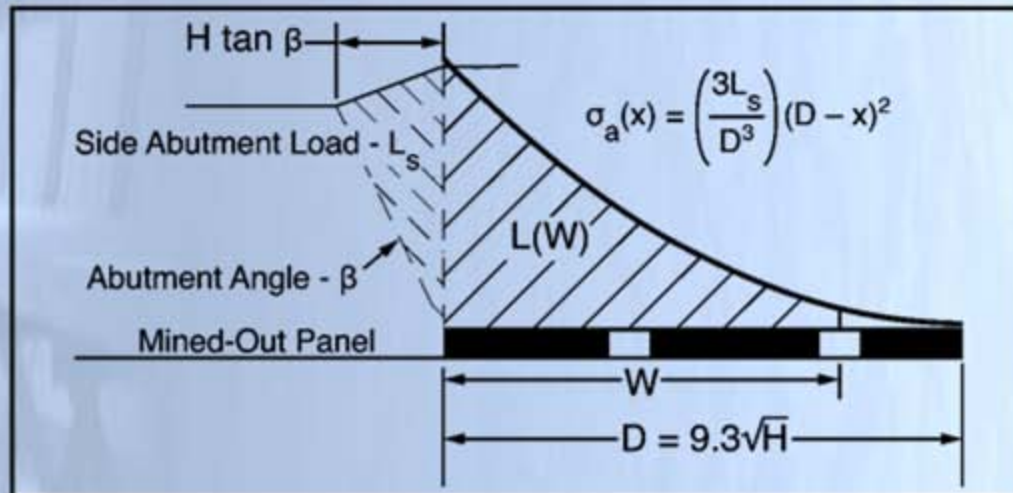


# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریبی)

بار ناشی از زون تخریبی بر ناحیه مجاور (*Abutment Loads*)

supercritical panel:  $P > 2H \tan(\beta)$

$$L_s = H^2 \tan(\beta)(\delta_r / 2)$$



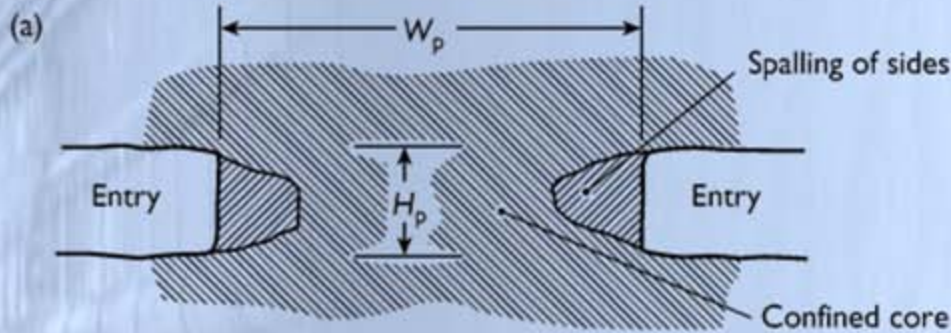
$$D = 9.3\sqrt{H}$$

در این رابطه  $D$  و  $H$  دارای واحد فوت هستند

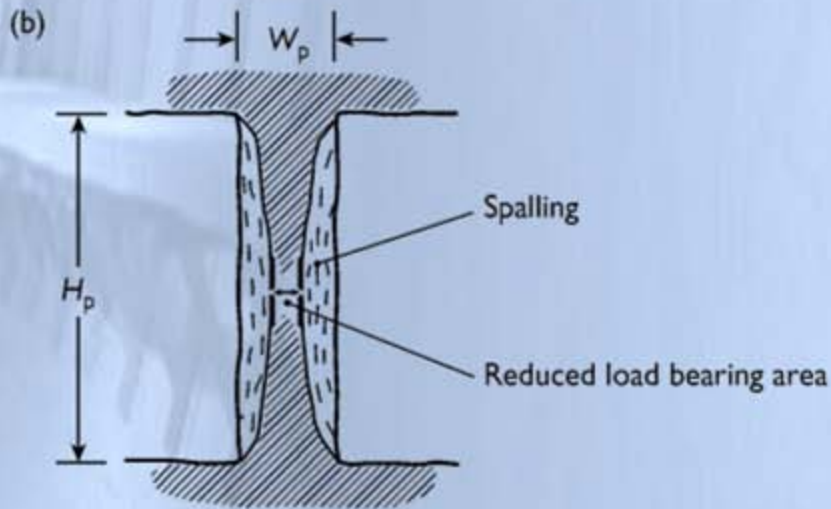
$$\sigma_a(x) = \left( \frac{3L_s}{D^3} \right) (D-x)^2 \text{ for } 0 \leq x \leq D$$

# پیلار (ستون های طبیعی)

## انواع مکانیسم های ناپایداری پیلار



$$H_p/W_p = L/D < 1$$

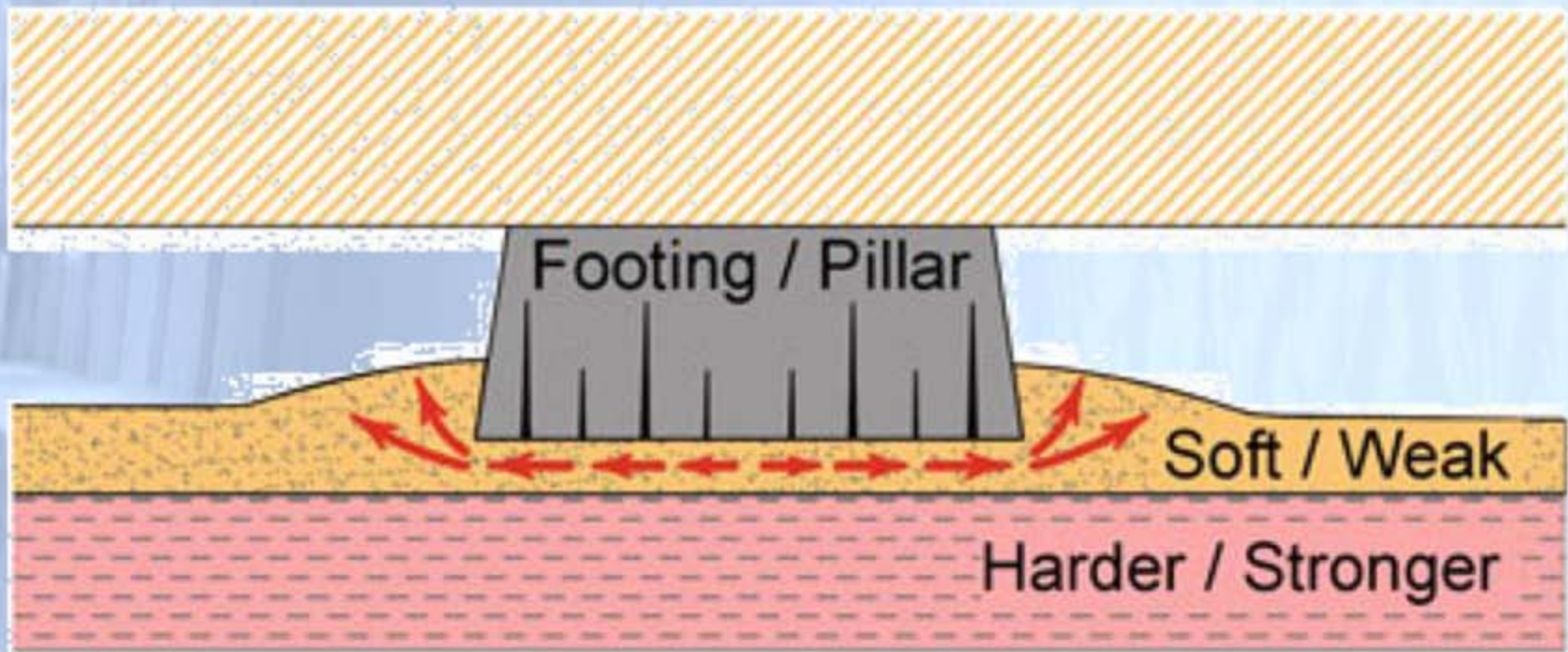


$$H_p/W_p = L/D \gg 1$$



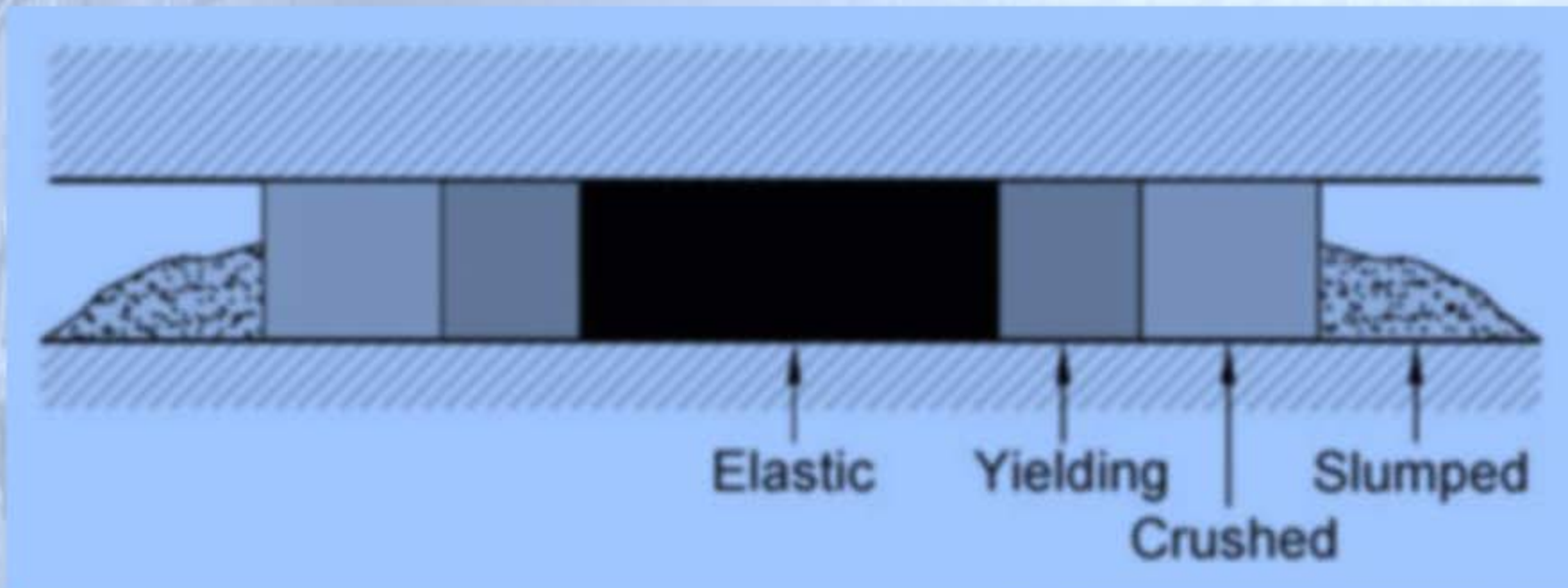
# پیلار (ستون های طبیعی)

## انواع مکانیسم های ناپایداری پیلار



# پیلار (ستون های طبیعی)

## انواع مکانیسم های ناپایداری پیلار





# پیلار (ستون های طبیعی)

## انواع مکانیسم های ناپایداری پیلار و تقویت پیلار



# پیلار (ستون های طبیعی)

## انواع مکانیسم های ناپایداری پیلار و تقویت پیلار







# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی

# رئوس مطالب

مقدمه 





## نحوه تصمیم گیری در رابطه با سیستم نگهداری

### مفهوم ضریب ایمنی

انتخاب ضریب ایمنی بر اساس عدم قطعیت ها و سطح اعتماد به داده های طراحی و محاسبات

۱- اگر ضریب ایمنی بسیار زیاد باشد: نیاز به کاهش سیستم نگهداری و یا امکان استفاده از فضاها با عرض بیشتر

۲- پایدار با ضریب ایمنی کم: تقویت موضعی، پایش منظم و ....

۳- ناپایدار: نیاز به افزایش سیستم نگهداری و یا در صورت امکان کاهش ابعاد فضای زیرزمینی، تقویت توده سنگ و ..

## انواع روش های پایدارسازی

انتخاب روش پایدارسازی بر اساس مکانیسم ناپایداری

روش های پایدارسازی را بطور کلی می توان به دو دسته اصلی تقسیم بندی کرد:

۱- تسلیح توده سنگ

۲- نگهداری سنگ و فضای زیرزمینی

هدف از تسلیح توده سنگ: افزایش مقاومت توده سنگ، تبدیل محیط ناپیوسته به محیط پیوسته

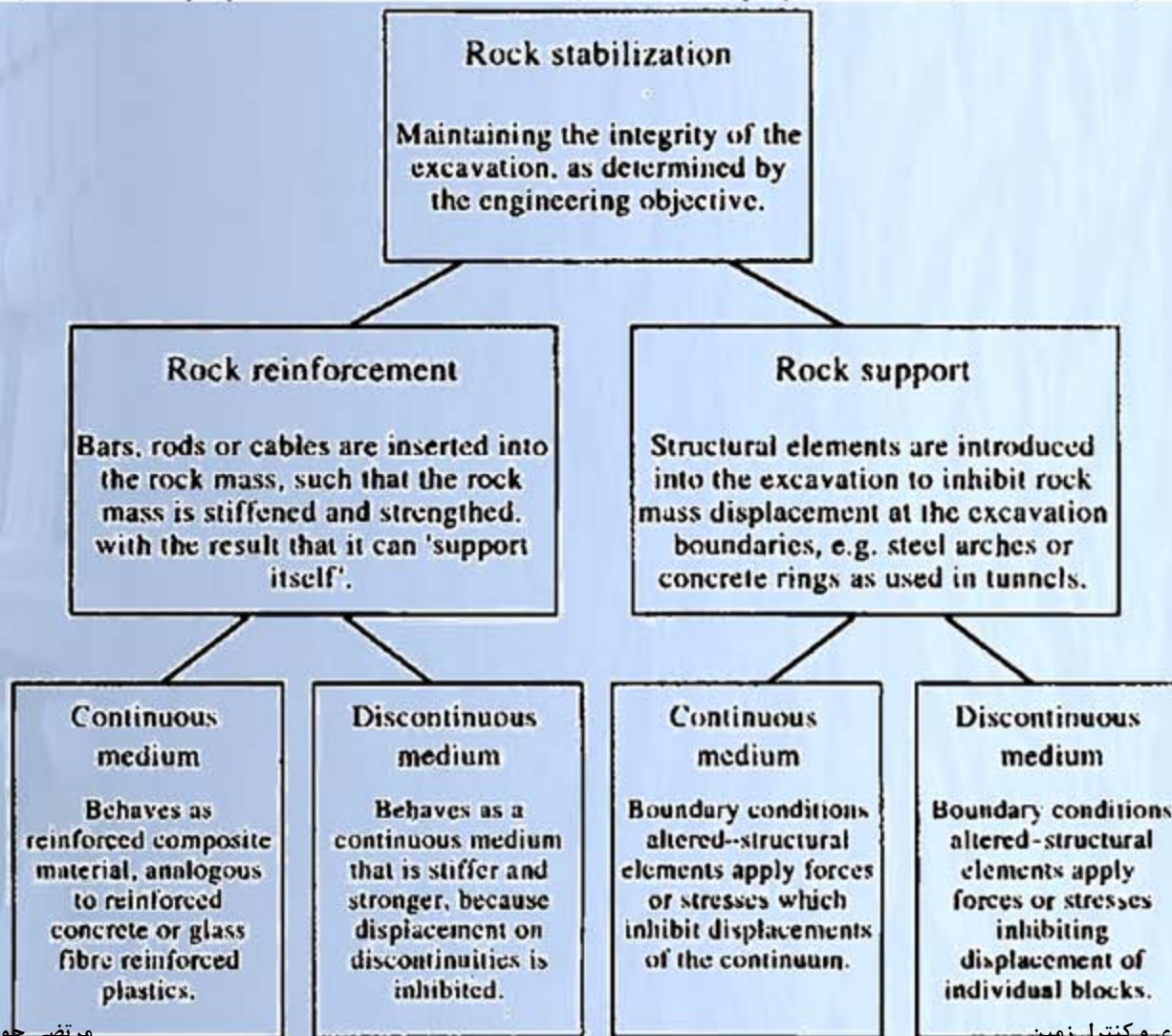
هدف از نگهداری: ایجاد یک نیروی موضعی و خارجی بر روی مرزهای فضای زیرزمینی و کاهش و یا کنترل جابجایی های توده سنگ

نکته: جابجایی توده سنگ باعث کاهش سطوح تماس بین سطوح درزه و همچنین از بین رفتن زبری درزه ها و تبدیل زاویه اصطکاک به مقدار باقیمانده می شود.



# انواع روش های پایدارسازی

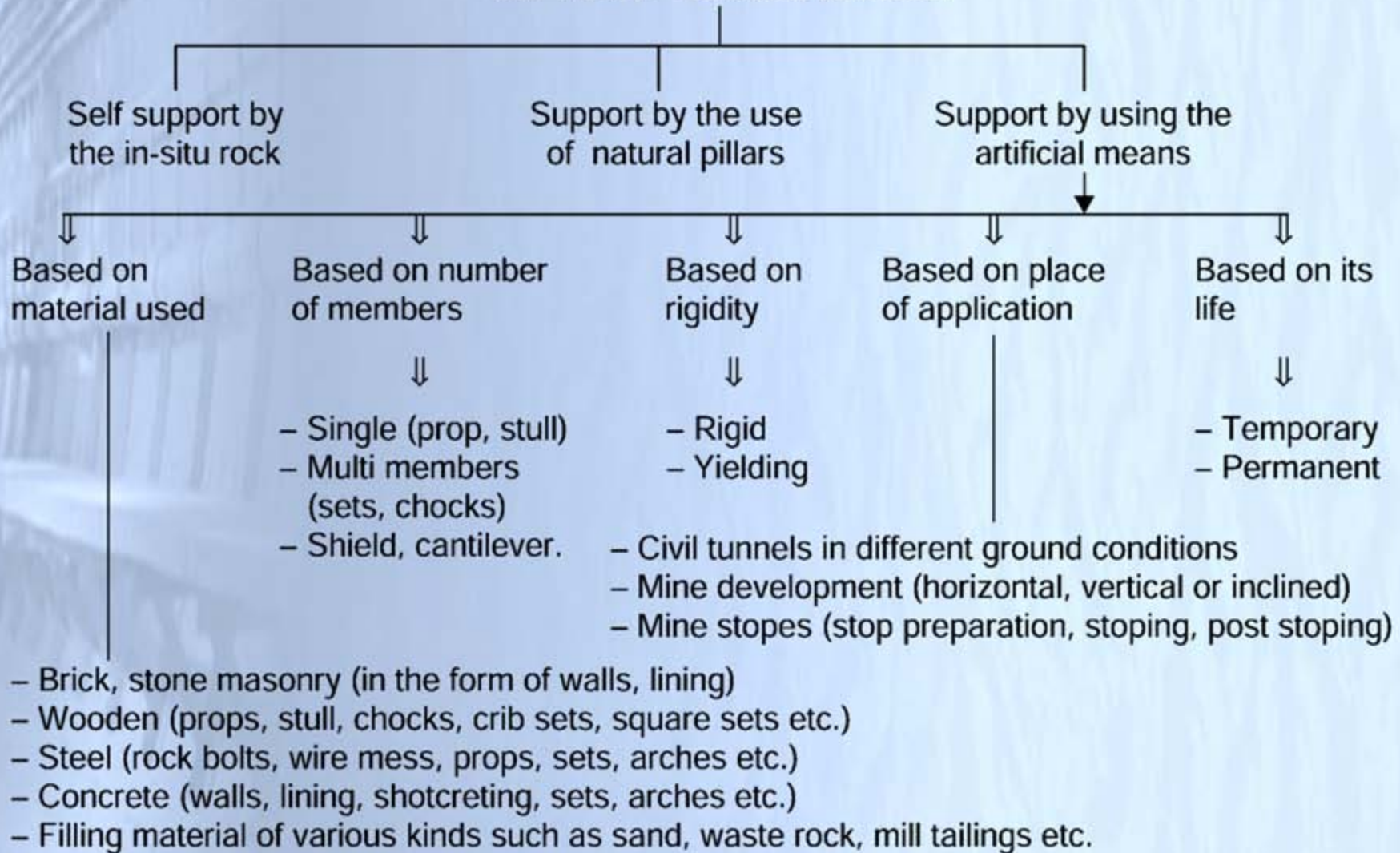
## ۱- تسلیح توده سنگ ۲- نگهداری سنگ و فضای زیرزمینی





# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

## SUPPORT – CLASSIFICATION







## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

انواع سیستم های نگهداری و تسلیح بر اساس نوع عملکرد و عمر

عملکرد:

- ۱- نگهداری فعال (سیستم نگهداری به سنگ نیرو وارد می کند)
- ۲- نگهداری منفعل (سنگ به سیستم نگهداری نیرو وارد می کند)

عمر:

- ۱- نگهداری موقت
- ۲- نگهداری دائم

# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

System	Active/passive	Stiff/soft	Corrosion resistance	Ease of installation	Pull-out resistance	Where to use	Where to avoid	Relative cost
Mechanical anchors	Active	Soft	Medium	Good	Medium	Short term Unlaminated roof Medium to light load	Long term Laminated roof Burnt coal ribside	Cheap
Resin point anchor	Active	Soft	Medium	Medium, requires training	Very good	Short term Unlaminated roof Medium to heavy load	Long term Laminated roof Burnt coal ribside	Cheap
Full column resin (single resin type)	Passive	Stiff	Good	Medium, requires training	Very good	Long term Laminated roof Heavy load Thick weak roof Close to face	Burnt coal ribside	Expensive
Full column resin (slow/fast combination)	Active	Stiff	Good	Medium, requires training	Very good	Long term Laminated roof Heavy load Beam building Thick weak roof High horizontal stress	Burnt coal ribside	Expensive
Split set	Passive	Stiffish	Poor	Good	Poor	Burnt coal ribsides Wiremesh fill-in Thin laminated layers	Long term Heavy load Thick layers	Expensive
Trusses	Active	Stiffish (cable trusses soft)	Good	Cumbersome	Very good	Short term Light load Jointed areas Major joints, faults	---	Very Expensive
W- straps	---	Stiff	Medium	Cumbersome	---	Jointed areas Friable roof Beam building High horizontal stress	---	Expensive
Wooden dowels	Passive	Stiff but weak	Excellent	Easy	Poor	Longwall faces ribsides in stooping	Roof	Cheap
Fibreglass dowels	Passive	Stiff	Excellent	Easy	Good	Longwall faces ribsides in stooping	---	Expensive
Wiremesh and shotcrete	Passive	Stiff if well installed	Good	Cumbersome	---	Burnt coal Jointed areas Friable roof Long term, densely populated areas	---	Expensive
Chemical injection	Passive	Stiff	Excellent	Cumbersome	---	Longwall face break Pre-support in very weak, jointed conditions	---	Very expensive





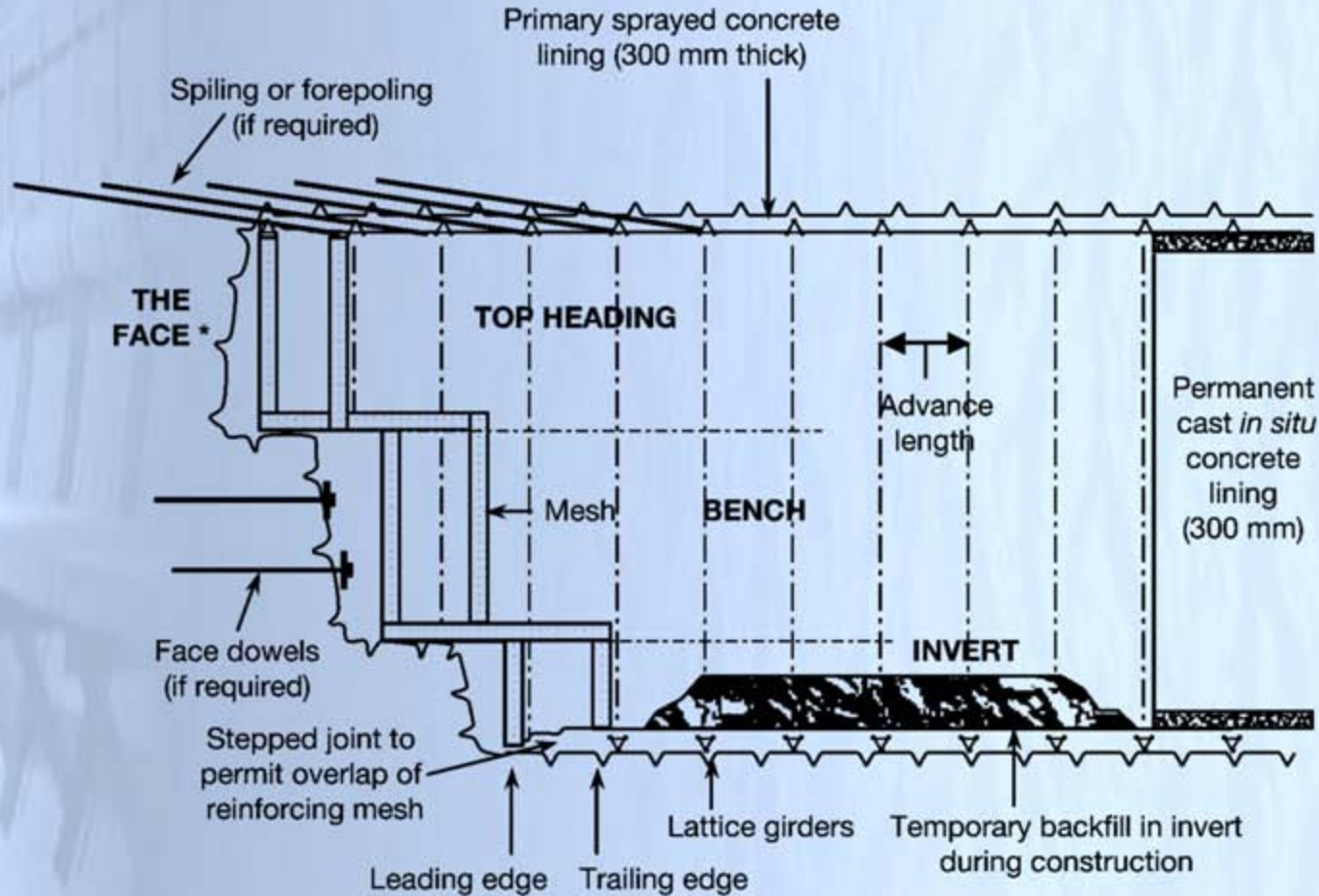
## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

### انواع سیستم های نگهداری بر اساس زمان نصب

- ۱- نصب نگهداری قبل از حفاری تونل: پیش تحکیم و پیش تثبیت (پیش نگهداری)
- ۲- نصب نگهداری در سینه کار: نگهداری سینه کار (مثل سیلینگ و یا روش ها (EPB)
- ۳- نصب نگهداری بلافاصله (یا زمان بسیار کوتاه) بعد از حفاری تونل: نگهداری موقت
- ۴- نصب نگهداری با فاصله زمیانی زیاد بعد از حفاری تونل: نگهداری دائم

# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

## انواع سیستم های نگهداری بر اساس زمان نصب



\* With sprayed concrete sealing layer

Figure 1.1 Long-section of a SCL tunnel in soft ground





# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری





## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری







## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری





## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری







## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری





## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری



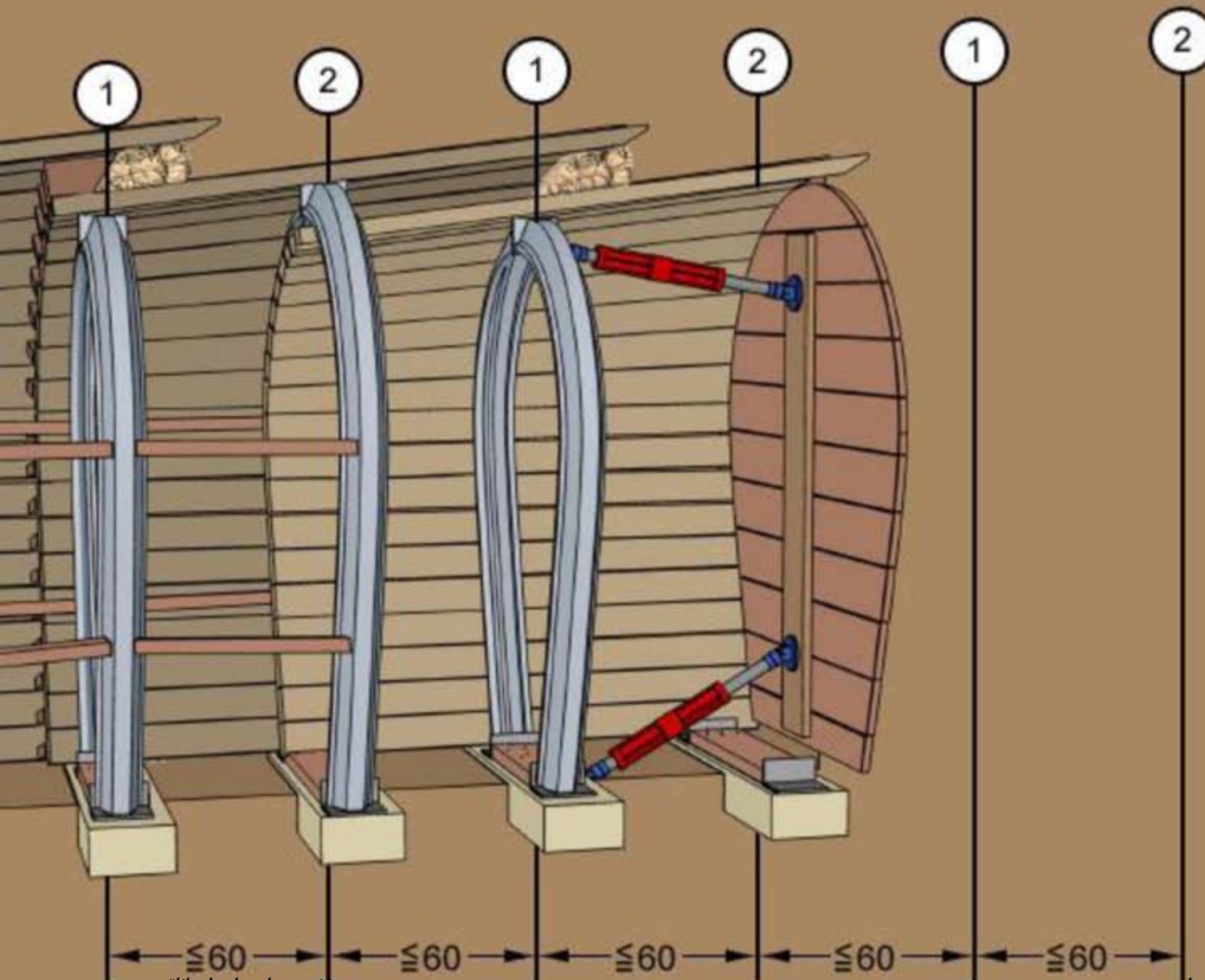




# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری



# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

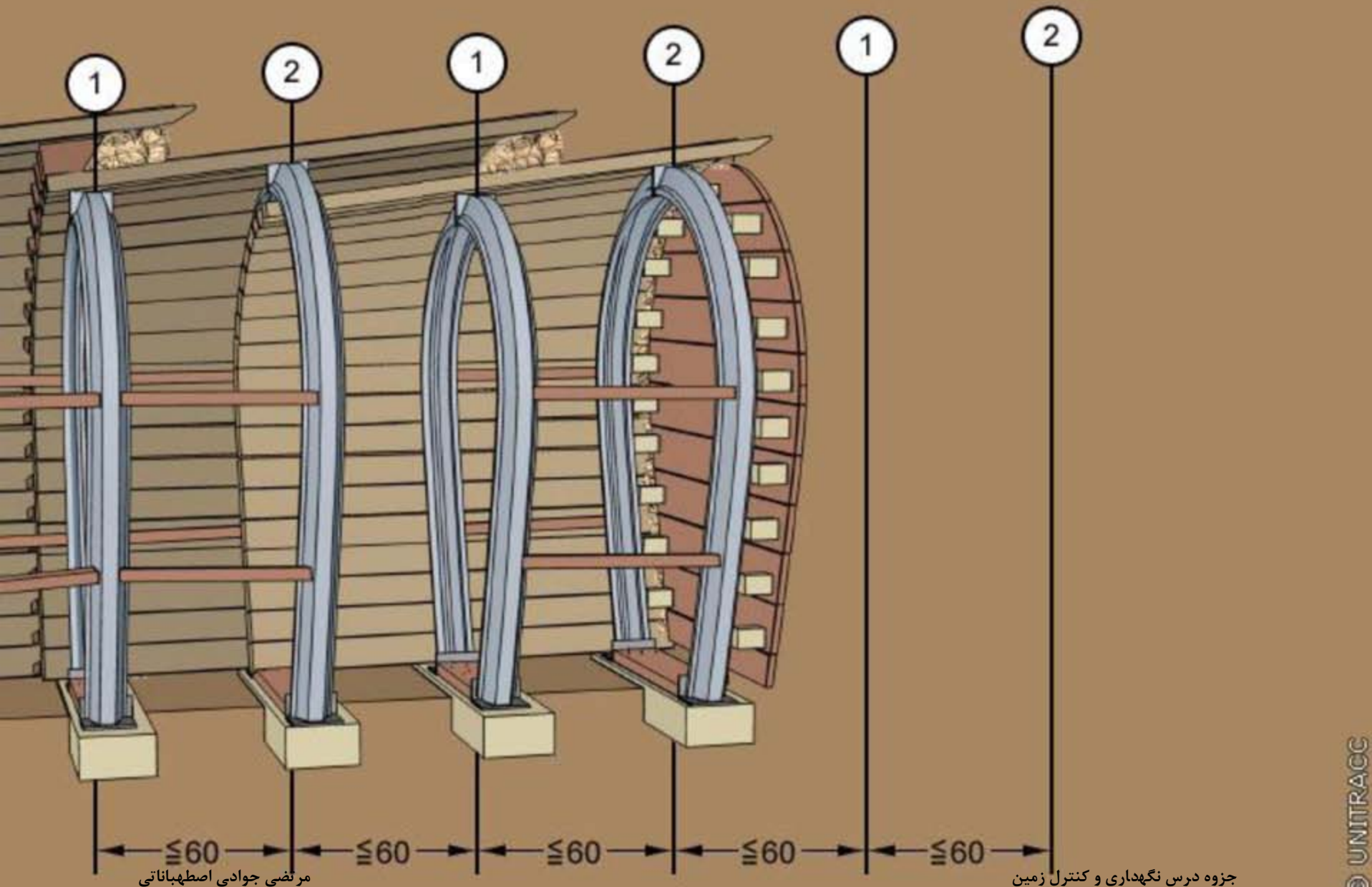


مرئی جوادی اصطهباناتی

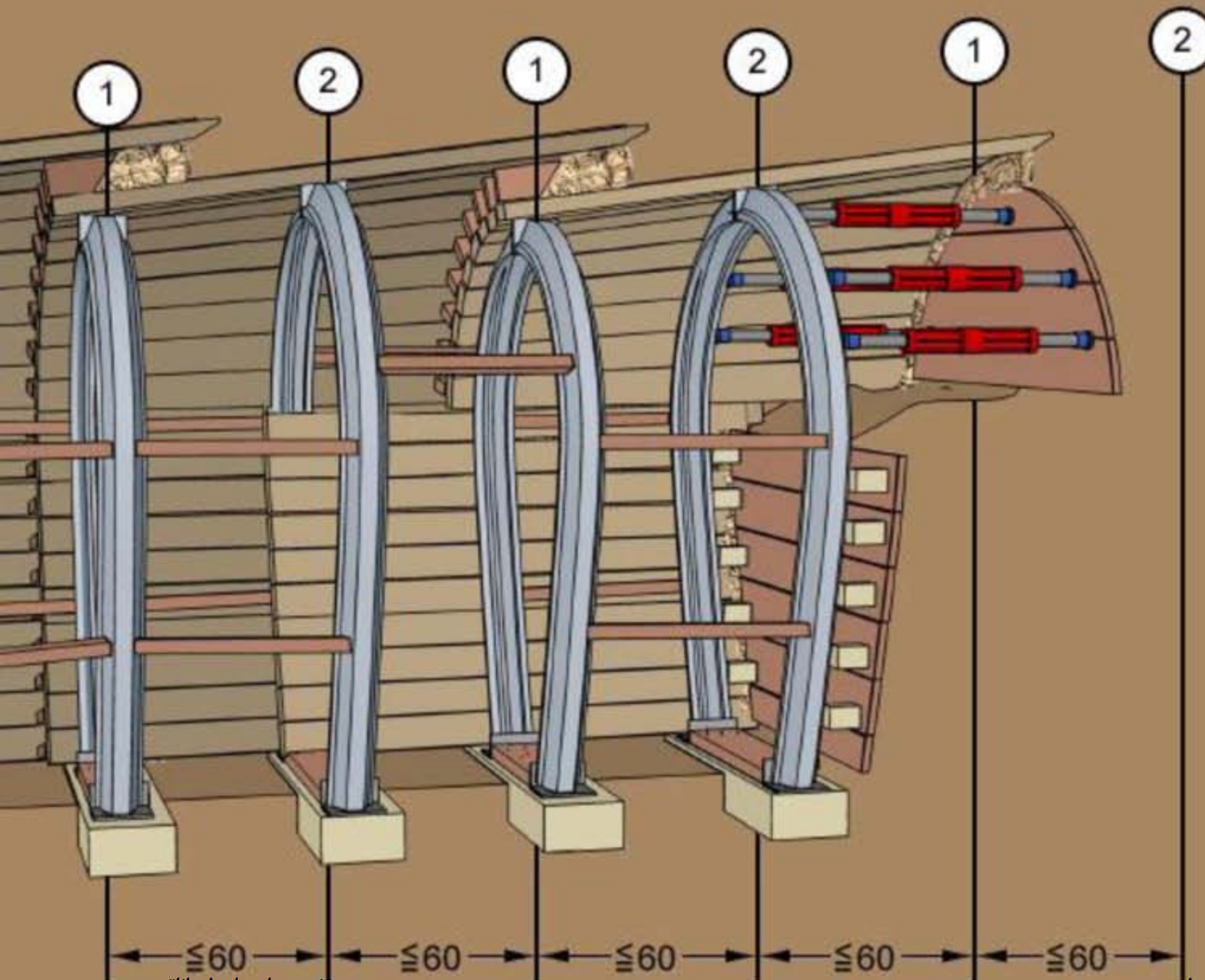
جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری



# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

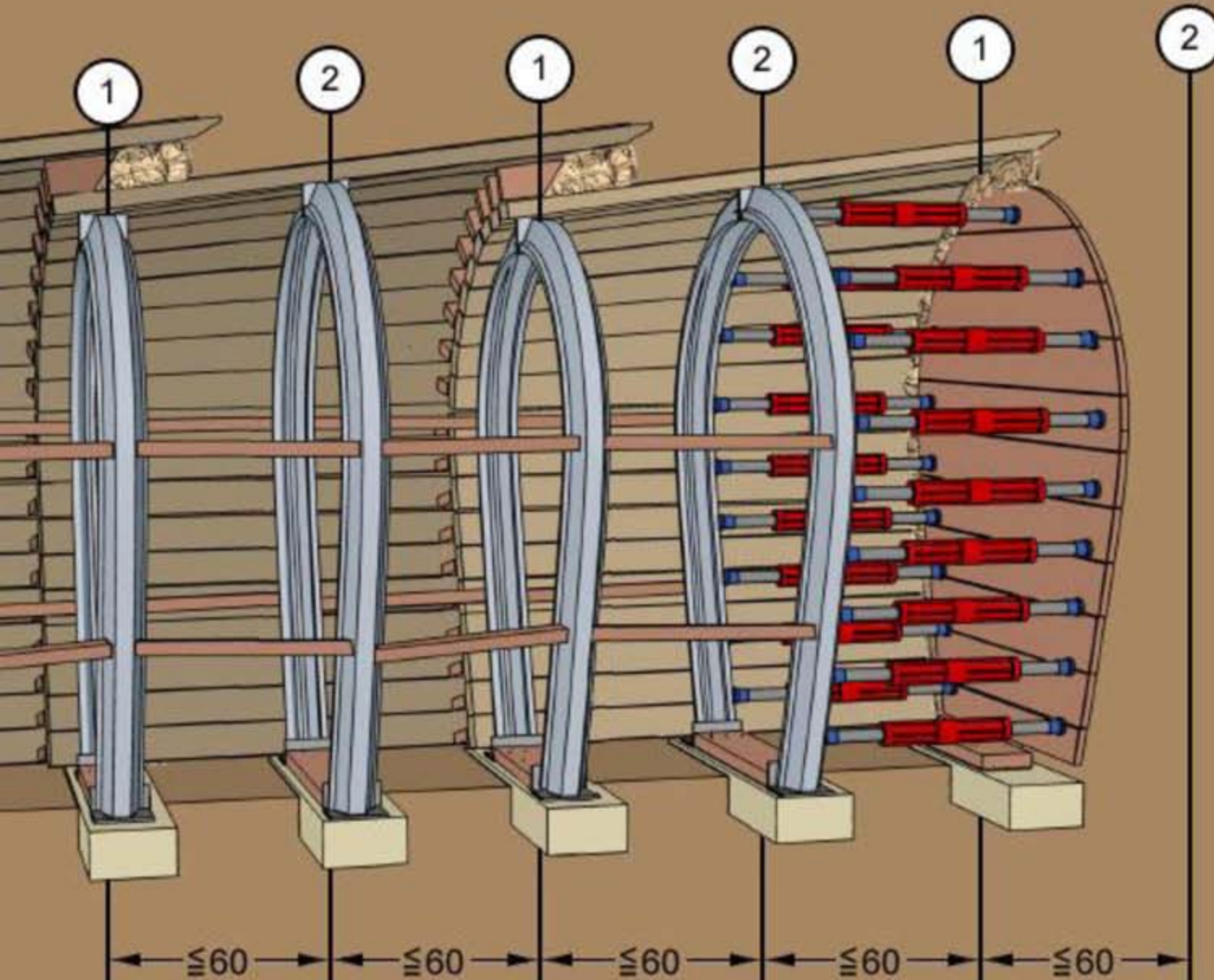


مرئیی جواد اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



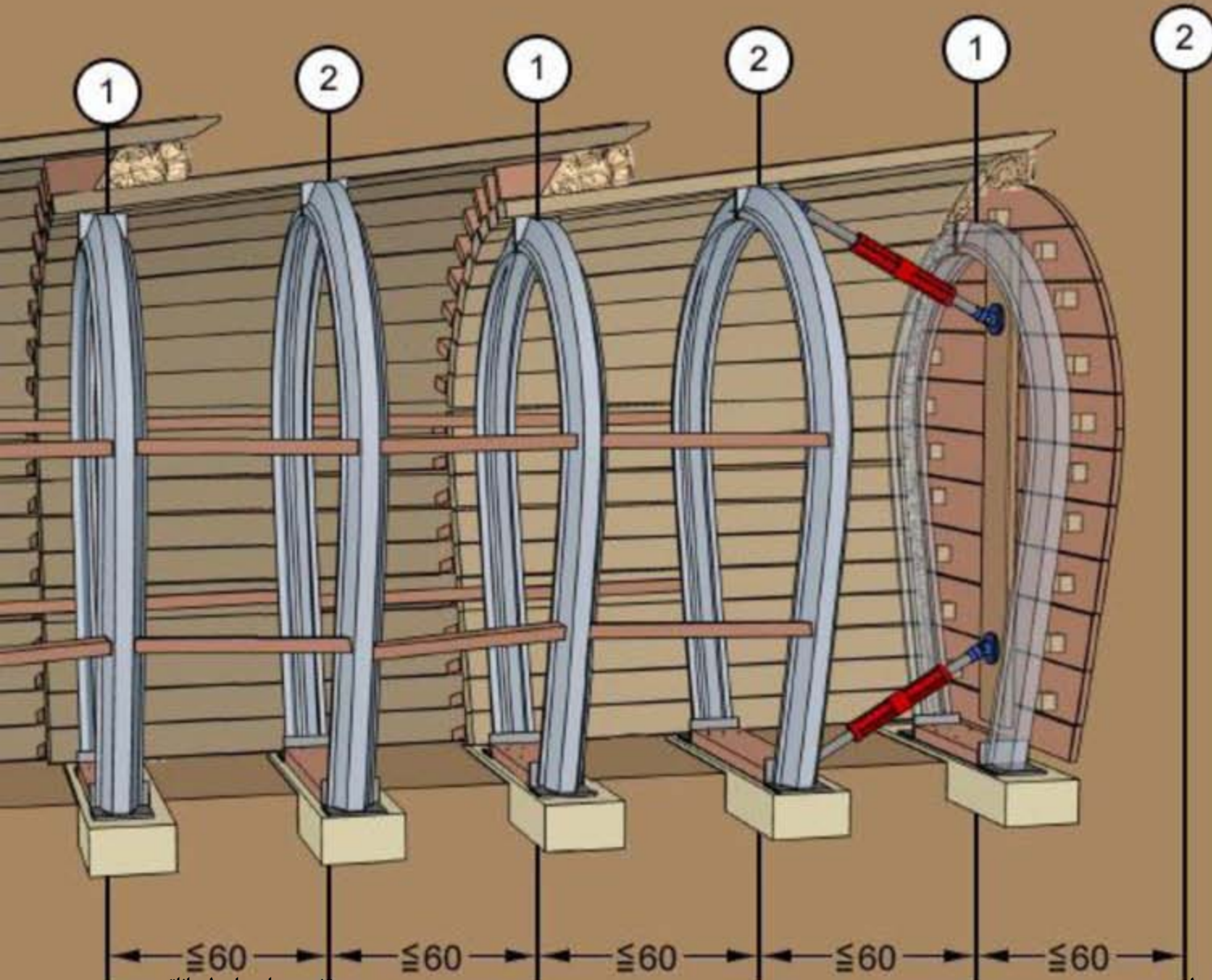
# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری



مرئیی جوادی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین

# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

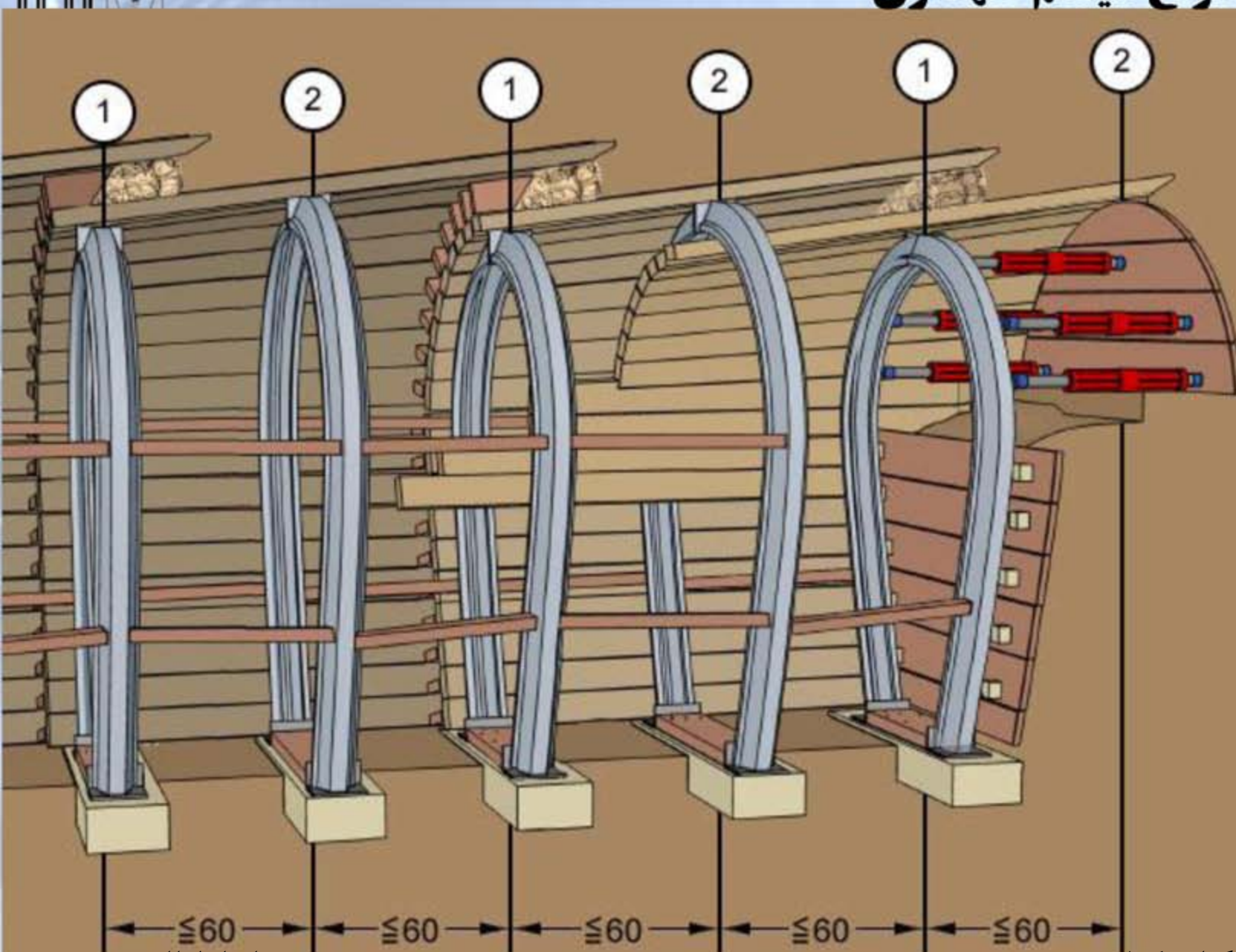


مرئیی جوادی اصطهباناتی

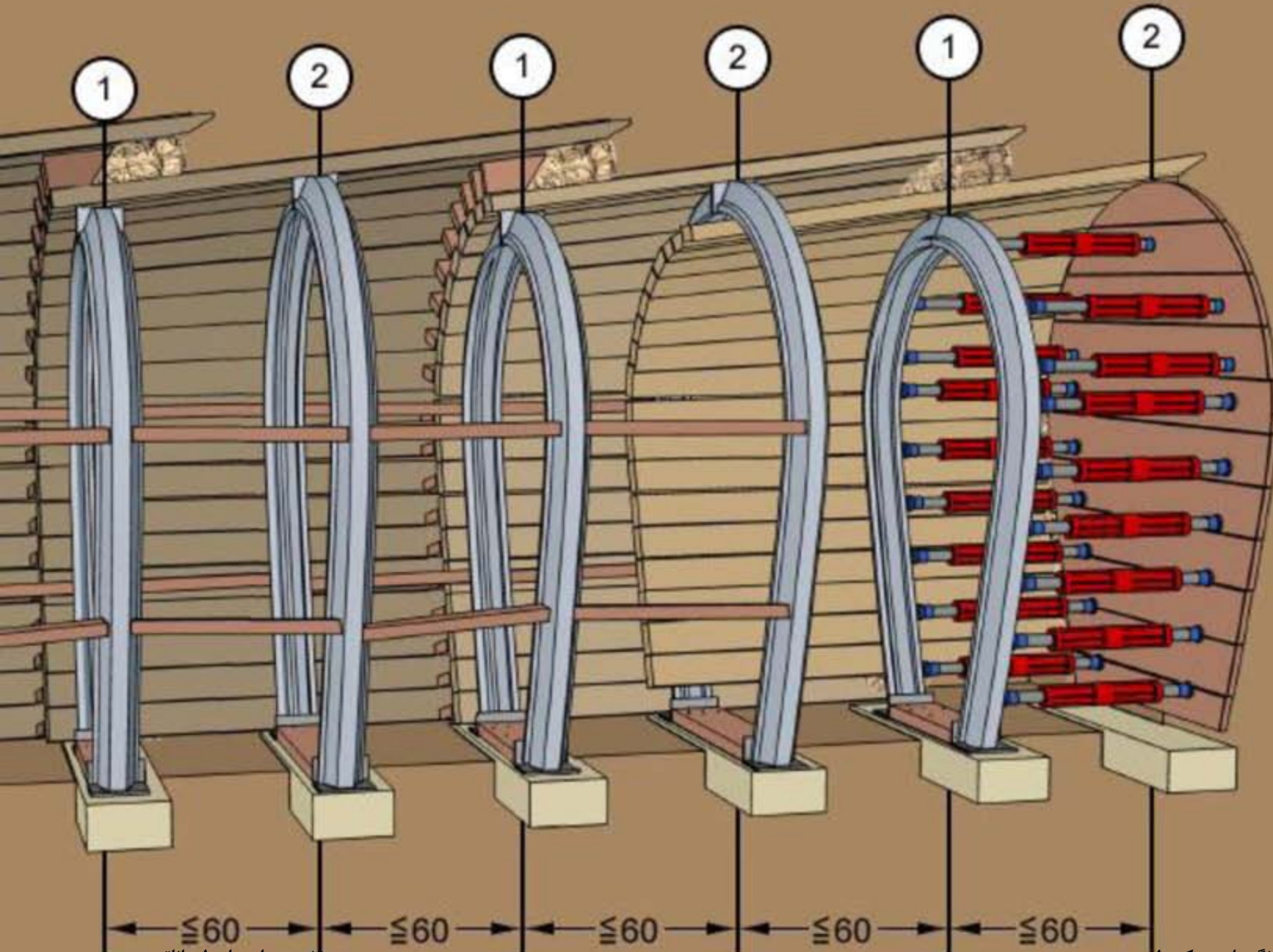
جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری



# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

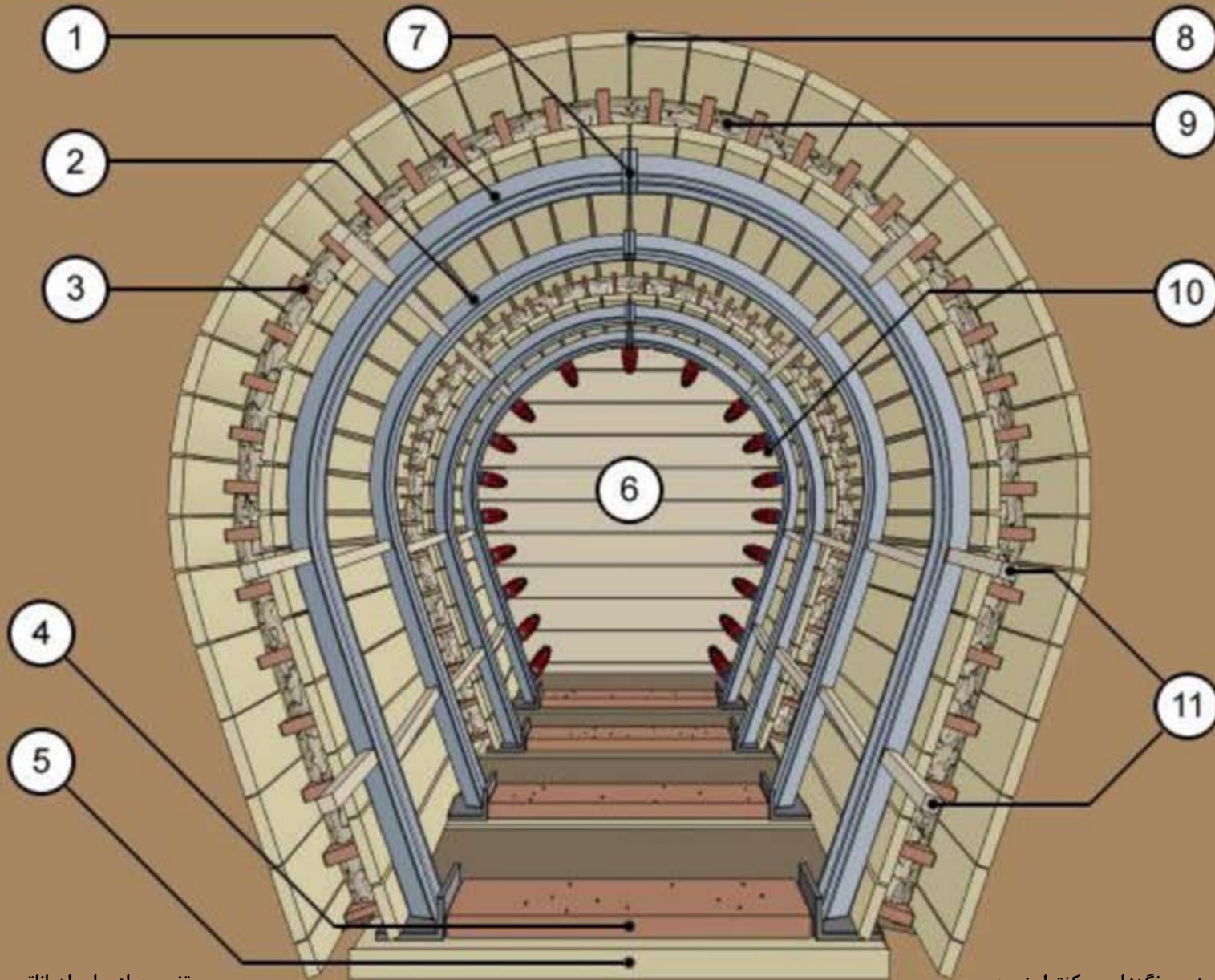


مرئیی جوادی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری



## تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری







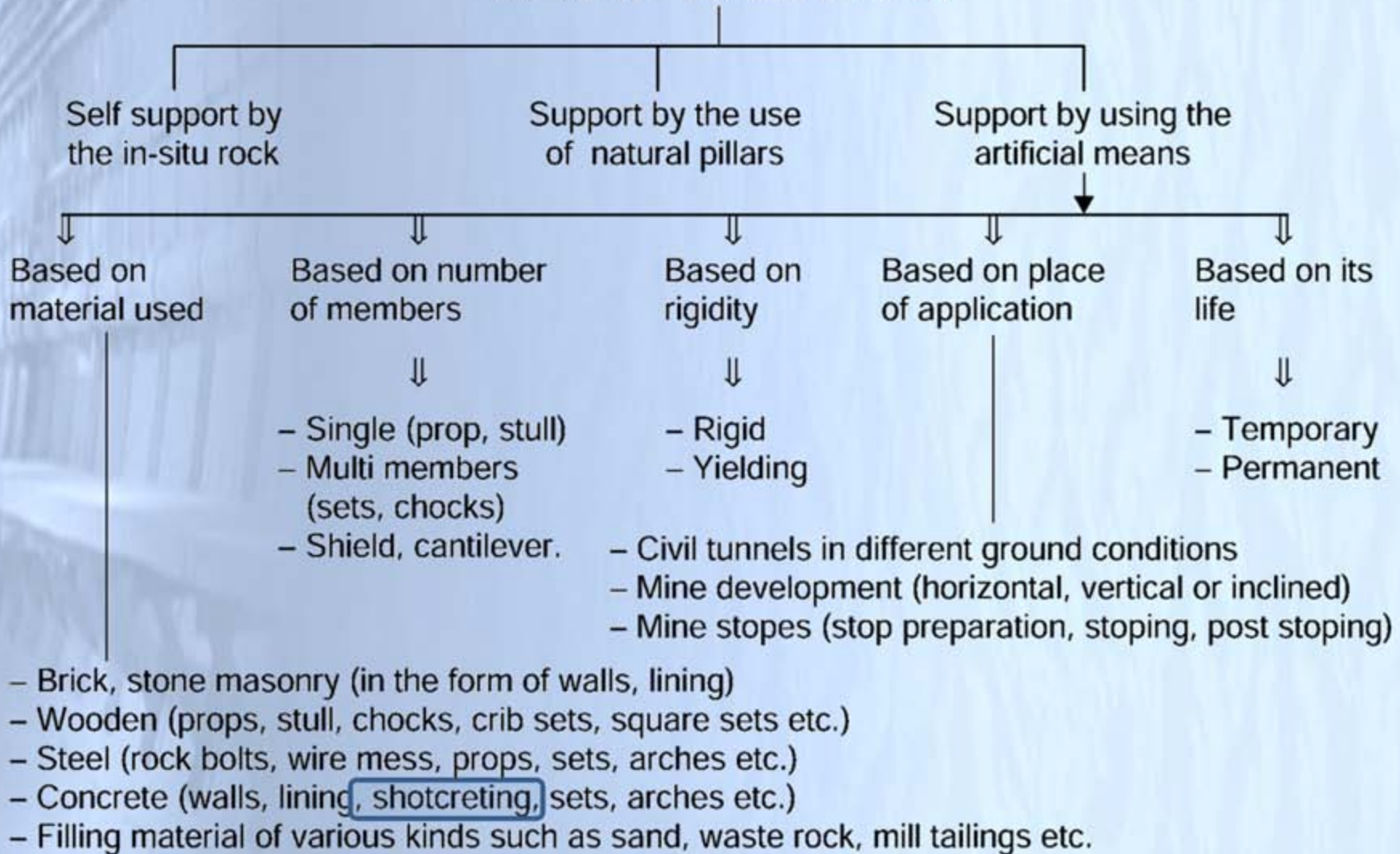
# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری





# تقسیم بندی انواع سیستم نگهداری

## SUPPORT – CLASSIFICATION





# شاتکریت

## تعریف شاتکریت:

مالات (بتن) یا مخلوطی از مصالح بتنی که با کمک هوای فشرده به سطح پاشیده می شود.

پاشش شاتکریت معمولاً با سرعت زیاد انجام شده و مصالح شاتکریت با آهنگ خاصی به سمت سطح سنگ پاشیده می شود و در زمان برخورد مصالح به سطح سنگ، مصالح دارای یک سرعت خاص هستند.

## کاربرد شاتکریت:

نگهداری موقت

جلوگیری از هوازگی توده سنگ

# شاتکریت

## تعریف شاتکریت:

مالات (بتن) یا مخلوطی از مصالح بتنی که با کمک هوای فشرده به سطح پاشیده می شود.

پاشش شاتکریت معمولا با سرعت زیاد انجام شده و مصالح شاتکریت با آهنگ خاصی به سمت سطح سنگ پاشیده می شود و در زمان برخورد مصالح به سطح سنگ، مصالح دارای یک سرعت خاص هستند.

## کاربرد شاتکریت:

نگهداری موقت

جلوگیری از هوازدگی توده سنگ



# شاتگریت



# شاتکریت

## مقاومت شاتکریت و گیرش آن

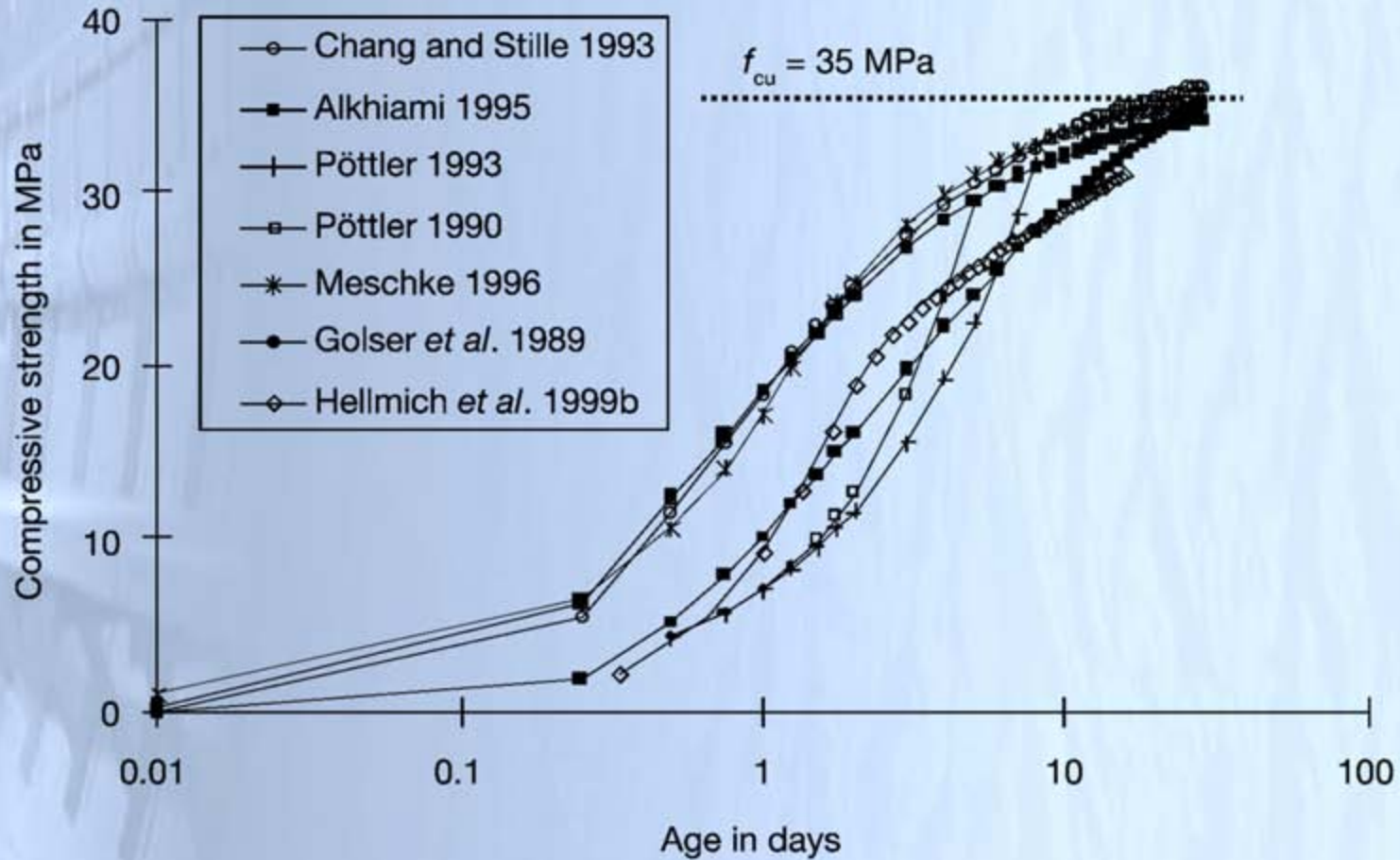


Figure 2.5 Predictions of strength development vs age



# شاتگریت





# شاتکریت

## روش های اجرای شاتکریت:

شاتکریت خشک: مصالح بصورت خشک به محل اجرا منتقل شده و در موقعیت پاشش (زمان اجرا) آب در محل نازل به مخلوط اضافه می شود.

شاتکریت تر: مصالح بتنی (بتن آماده شده) از قبل در بچینگ آماده شده و بصورت ملات به محل اجرا منتقل می شود. در هنگام اجرا نیازی به اضافه کردن آب نیست.

قبل از اجرای شاتکریت، باید سطح سنگ با آب و یا هوای فشرده تمیز شود.

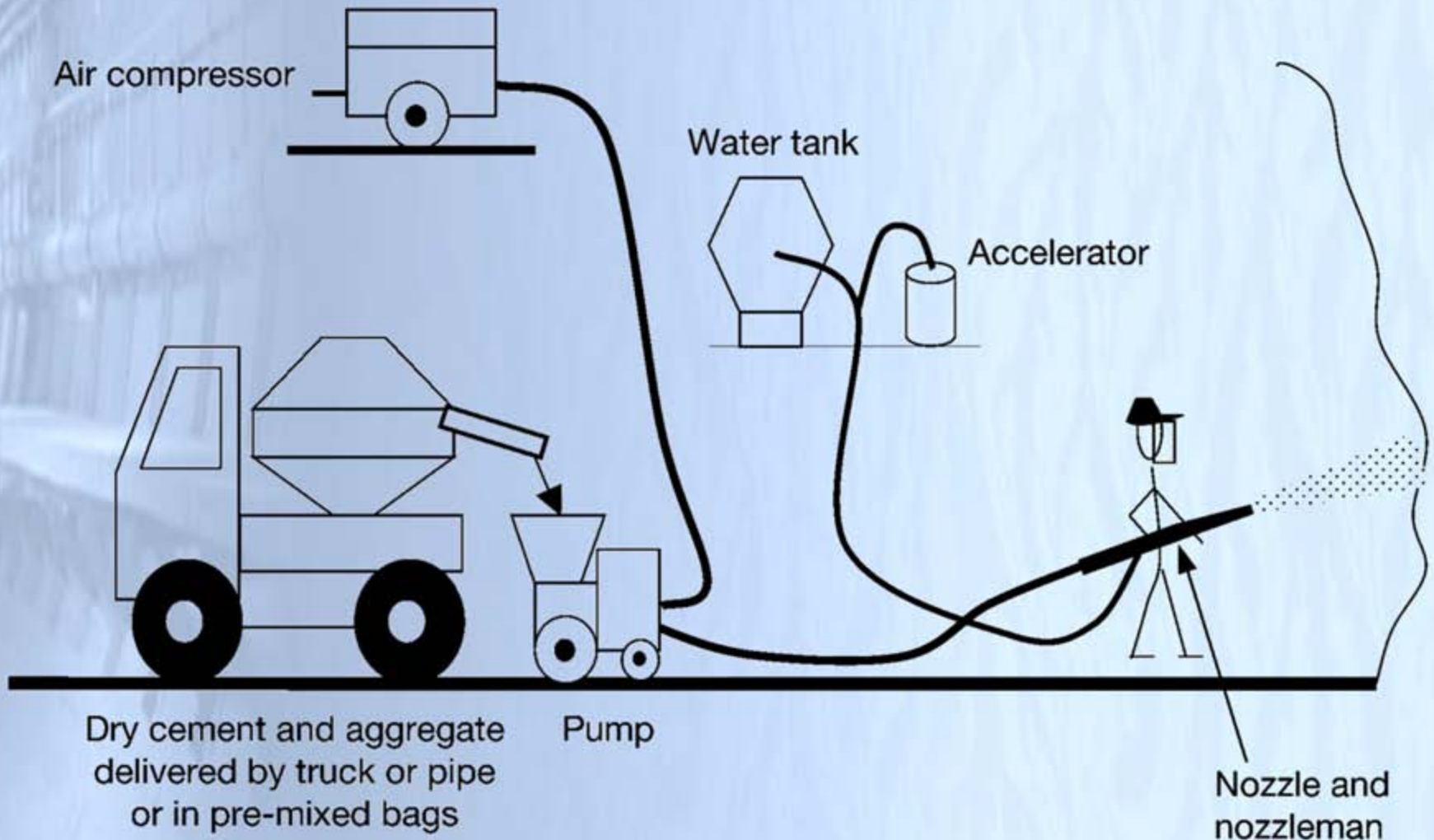
معمولا شاتکریت در لایه های ۵ سانتی متری اجرا می شود.

روش پاشش: بصورت گردشی، نازل عمود بر سطح و فاصله پاشش حدود ۱ تا ۲ متر



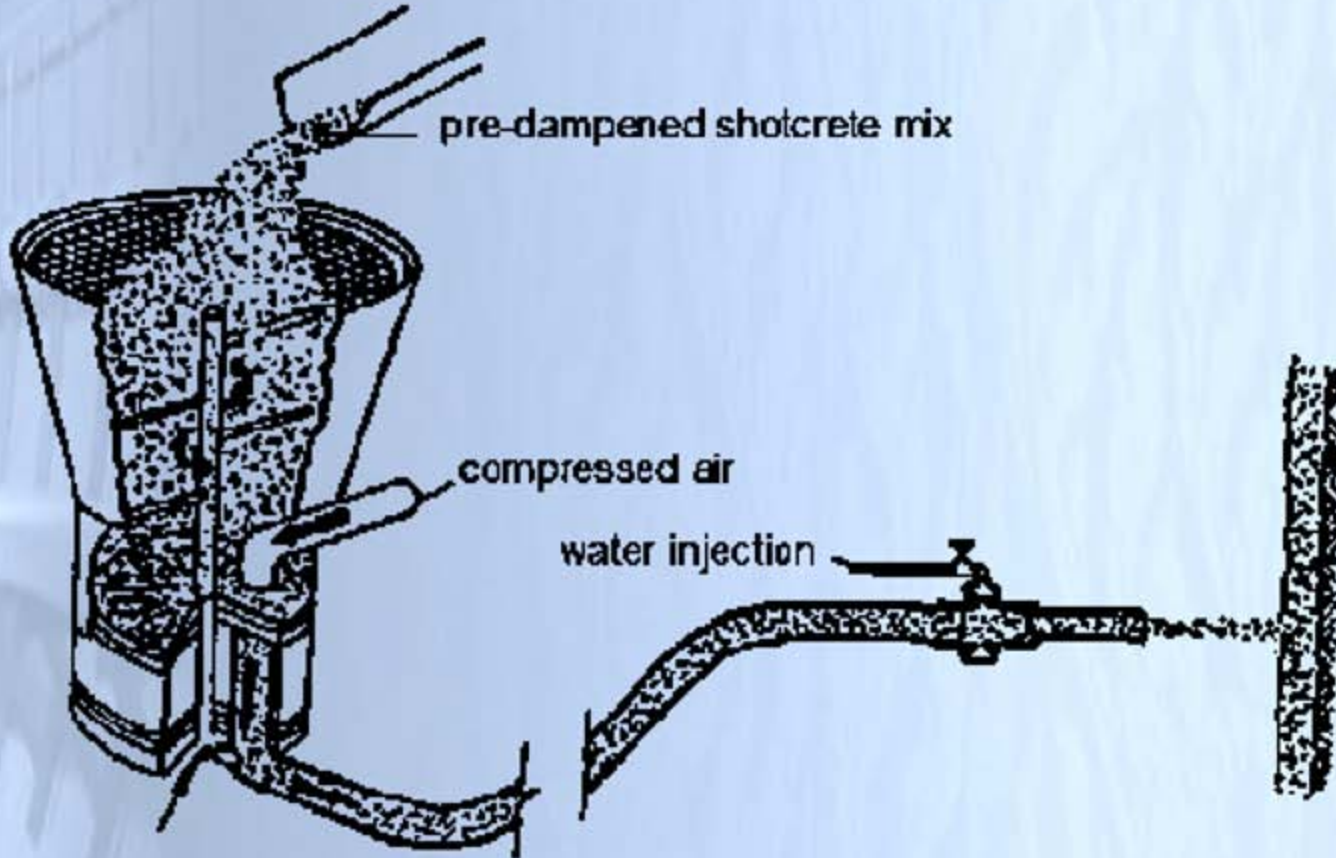
# شاتکریت

## شاتکریت خشک



# شاتکریت

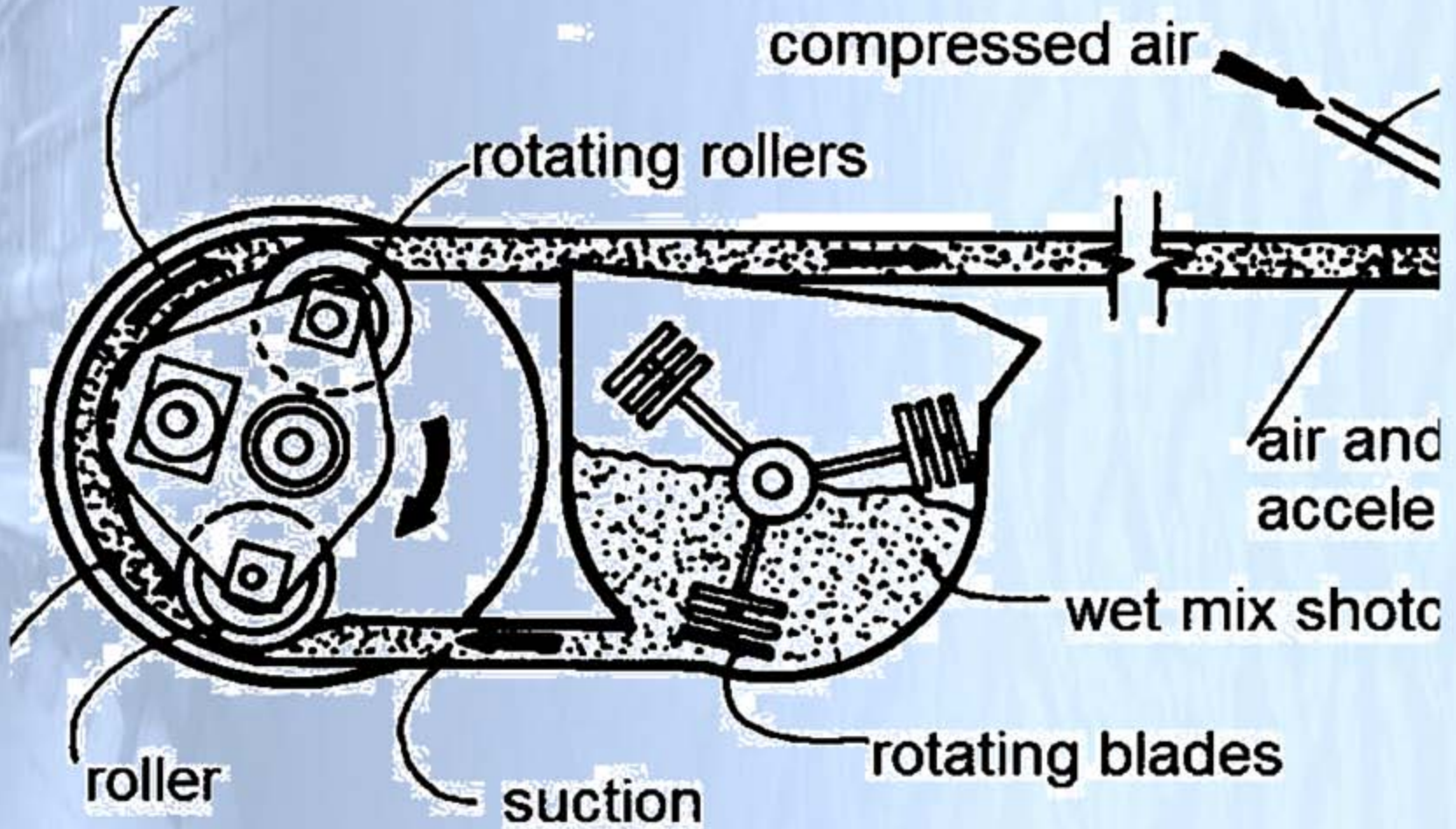
## شاتکریت خشک





# شاتکریت

## شاتکریت تر



# شاتکریت

## شاتکریت تر:

شاتکریت تر: مصالح بتنی (بتن آماده شده) از قبل در بچینگ آماده شده و بصورت ملات به محل اجرا منتقل می شود. در هنگام اجرا نیازی به اضافه کردن آب نیست.

مزایا نسبت به روش خشک: گرد و غبار کمتر، پرت مصالح کمتر (Rebond)، سطح شاتکریت نهایی صافتر، شاتکریت اجرا شده همگن تر

معایب نسبت به روش خشک: هزینه سرمایه گذاری بالاتر، دستگاه های مورد استفاده بزرگتر، زمان فساد (از زمان تهیه تا پاشش) کمتر (شاتکریت باید زودتر مصرف شود)، مصرف سیمان بالاتر،



## شاتکریت

### شاتکریت خشک:

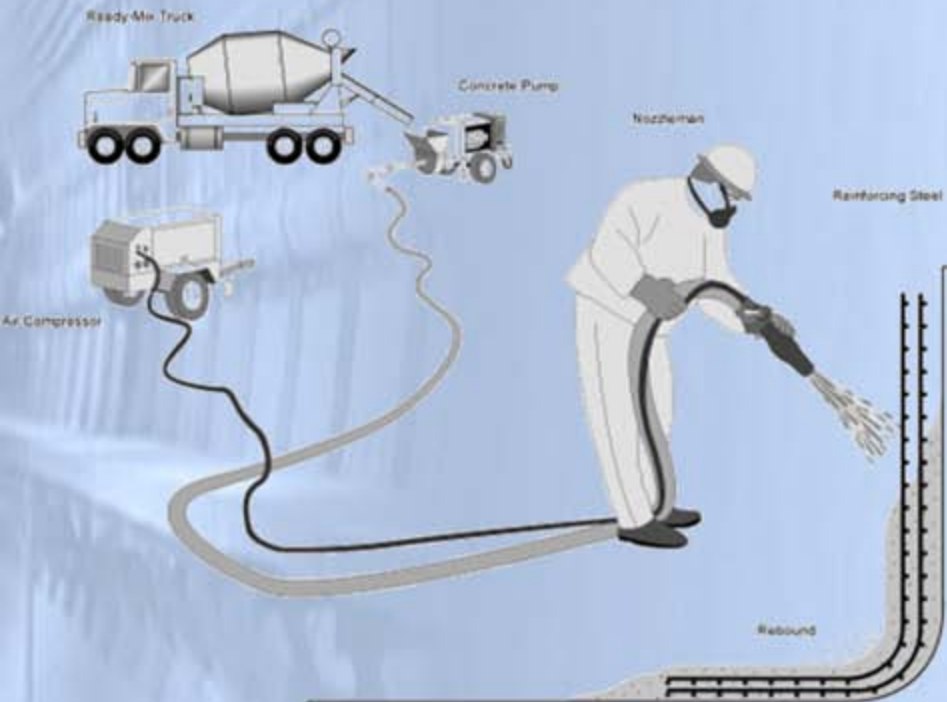
شاتکریت خشک: مصالح خشک (مخلوط سنگ دانه و سیمان) از قبل در بچینگ آماده شده و بصورت مخلوط خشک به محل اجرا منتقل می شود. در هنگام اجرا به مخلوط خشک آب اضافه می شود.

مزایا نسبت به روش تر: هزینه سرمایه گذاری کمتر، دستگاه های مورد استفاده کوچکتر، زمان فساد (از زمان تهیه تا پاشش) بیشتر (شاتکریت را می توان تا زمان بیشتری مصرف کرد)، مصرف سیمان کمتر

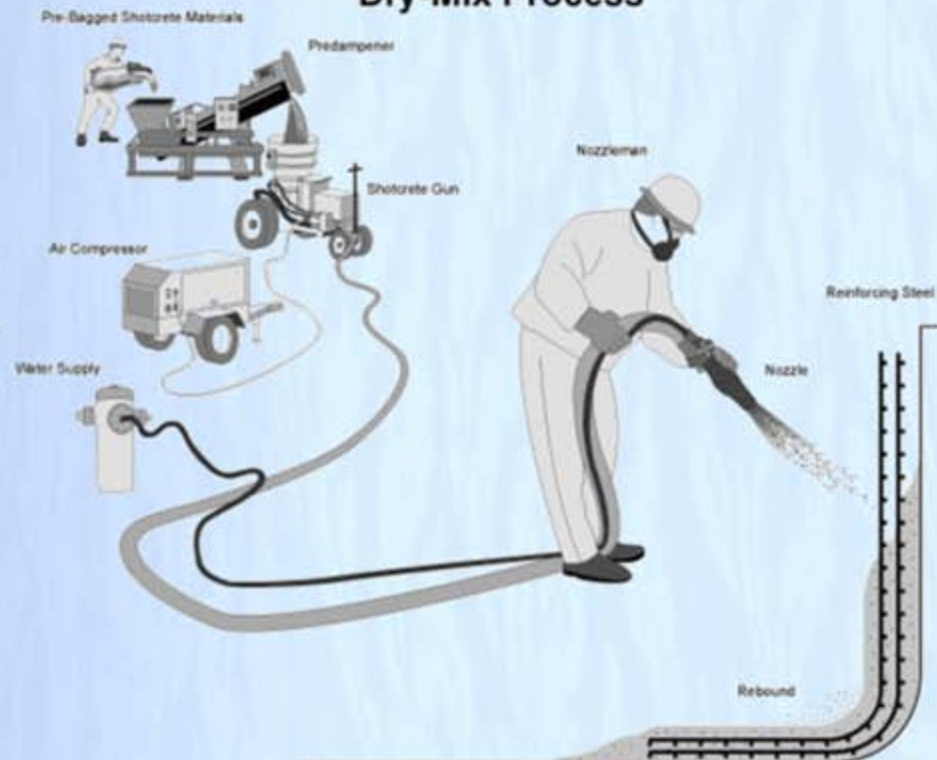
معایب نسبت به روش تر: گرد و غبار بیشتر، پرت مصالح بیشتر (Rebond)، سطح شاتکریت نهایی زبر و ناهمگن تر



## Wet-Mix Process



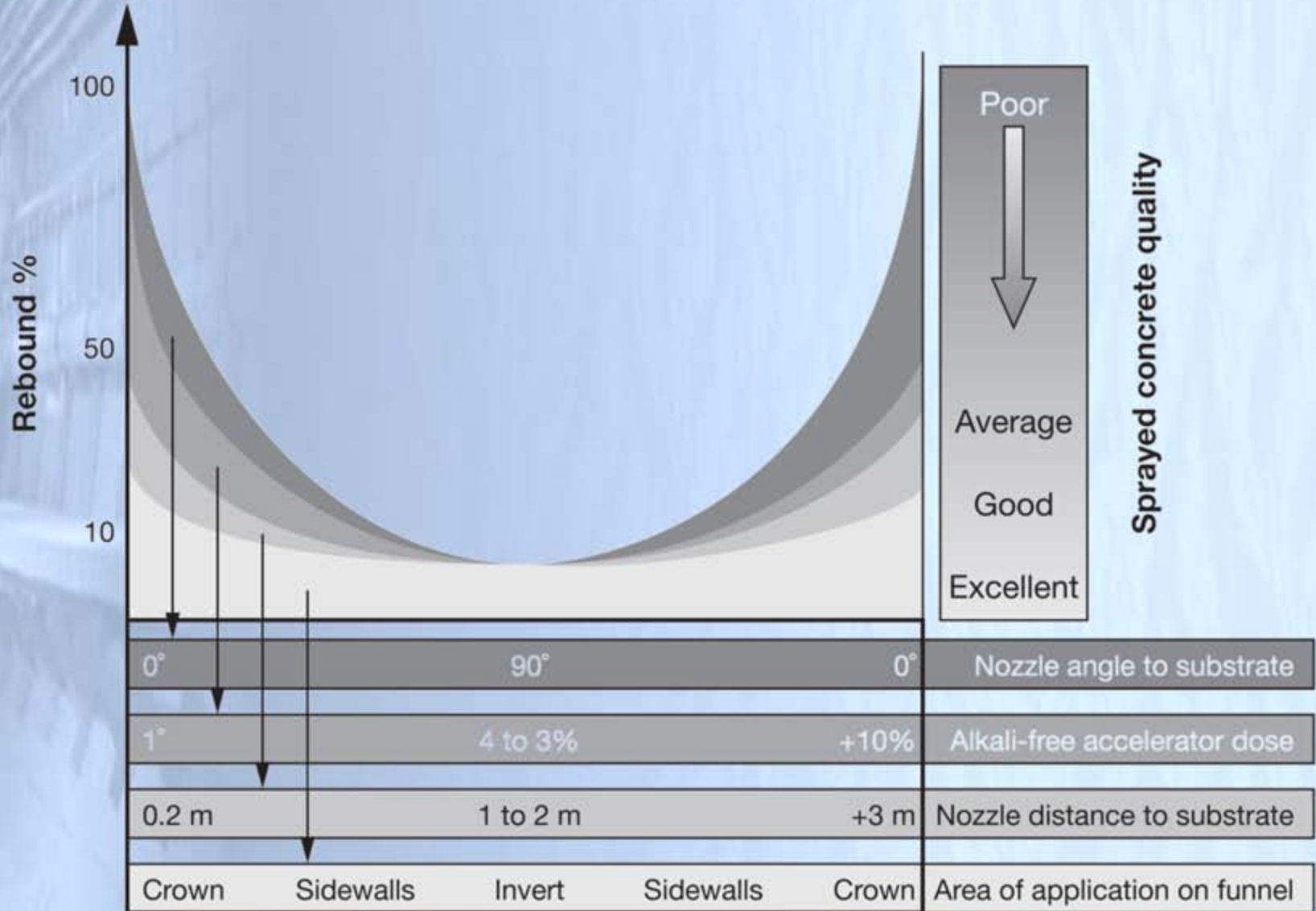
## Dry-Mix Process





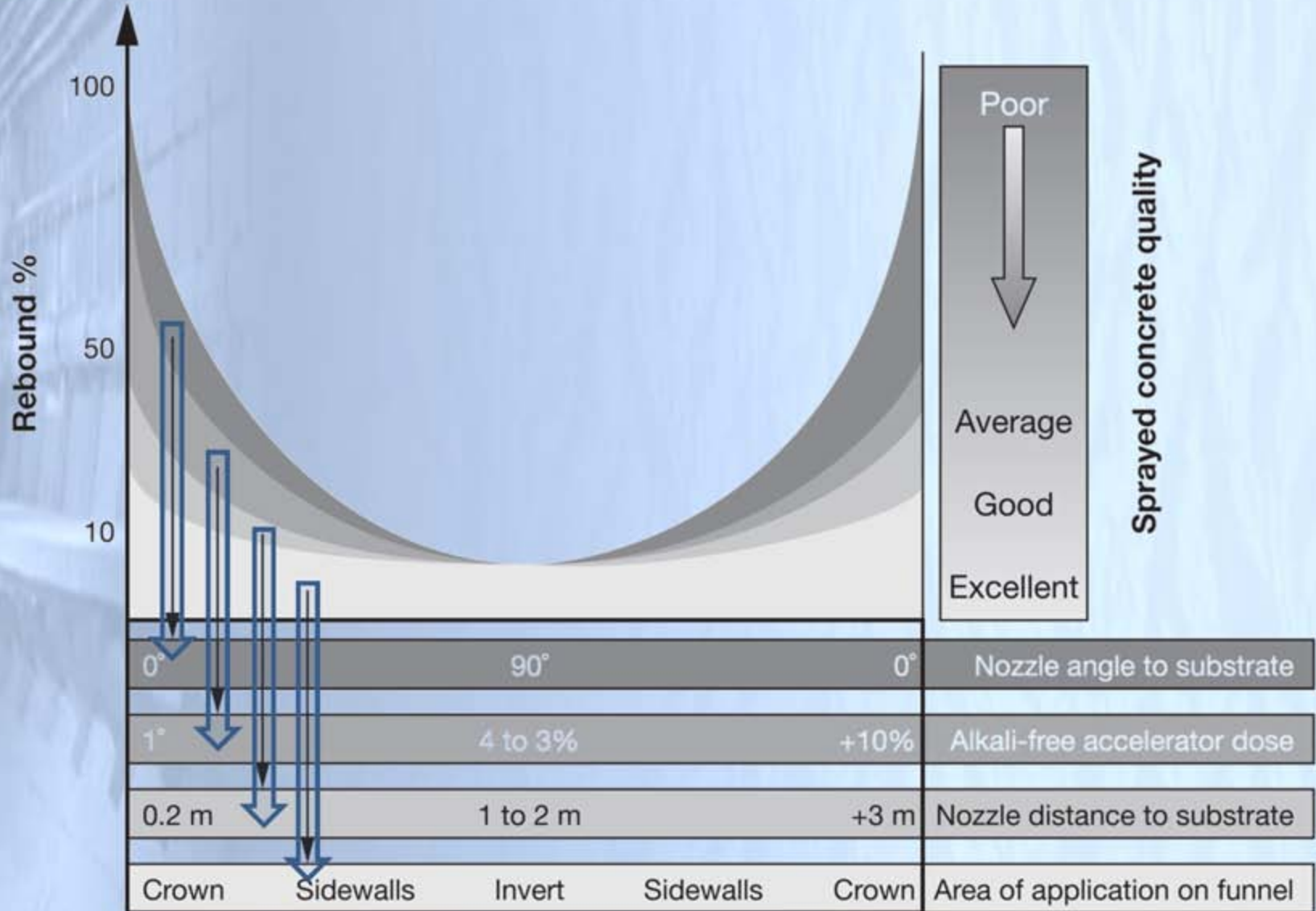


# شاتکریت (تاثیر زاویه پاشش، زودگیر و فاصله پاشش)





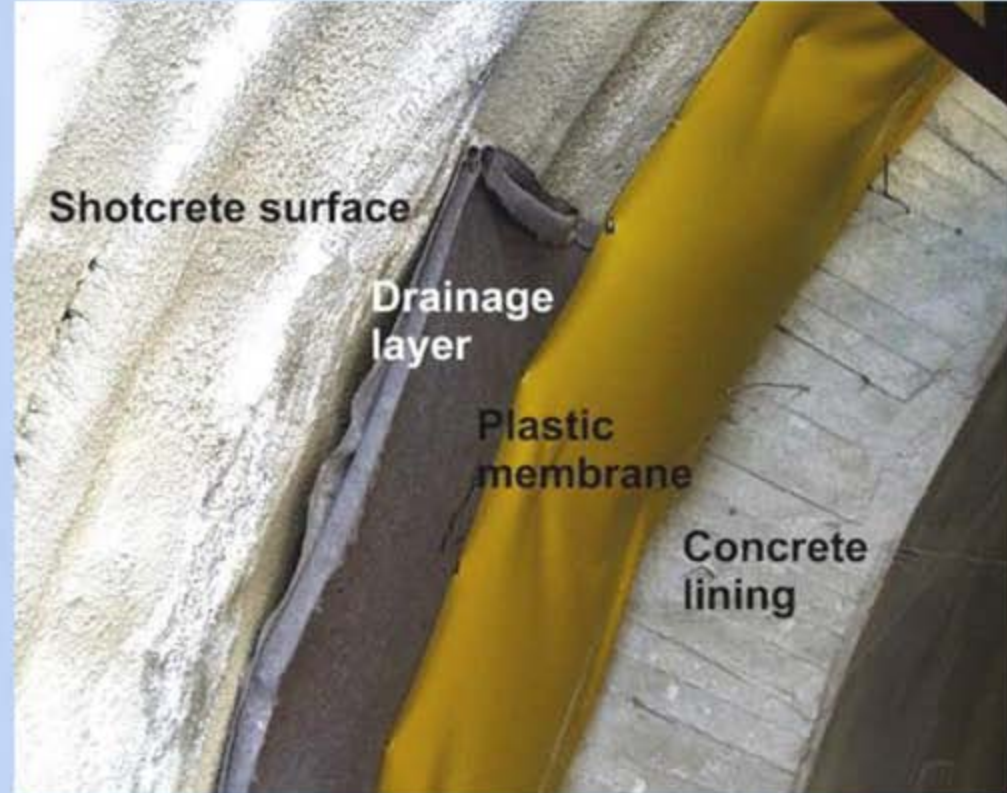
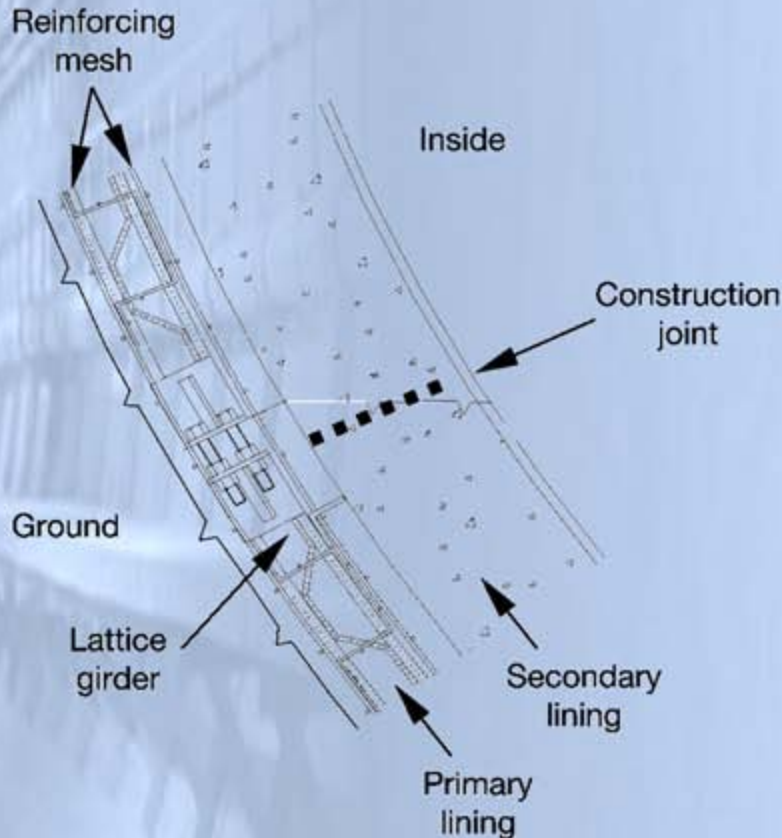
# شاتکریت (تاثیر زاویه پاشش، زودگیر و فاصله پاشش)







# نگهداری موقت، آب بندی و نگهداری دائم تونل های راه، راه آهن و شهری



REF: 2008 Integration of geotechnical and structural design in tunneling (Hoek)

REF: 2009 Sprayed Concrete Lined Tunnels (Applied Geotechnics-Vol 2)

## افزایش مقاومت شاتکریت

مقاومت کششی و مقاومت برشی شاتکریت اندک بوده و تحت کشش و برش براحتی ترک میخورد. مقاومت کششی و برشی شاتکریت حدود ۱٪ تا ۱۰٪ مقاومت فشاری است.

### راهکارهای افزایش مقاومت شاتکریت:

استفاده از مش فولادی پیش جوش (Welded Wire Mesh or Weldmesh)

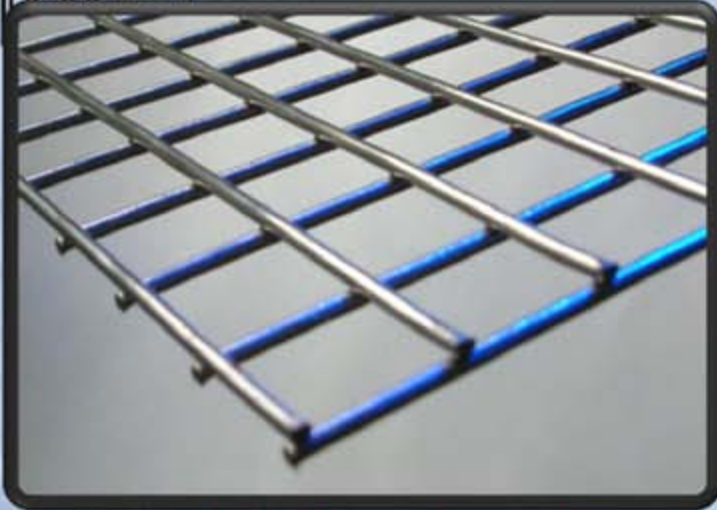
استفاده از الیاف فولادی و پلی مری (شاتکریت الیافی)

توجه شود که دو نوع مش فولادی در صنعت وجود دارد: ۱- **Welded Mesh** (نوع جوش شده) ۲- **Wire Mesh** (نوع بافته شده). از مش بافته شده با شاتکریت استفاده نمی شود.



# افزایش مقاومت شاکریت

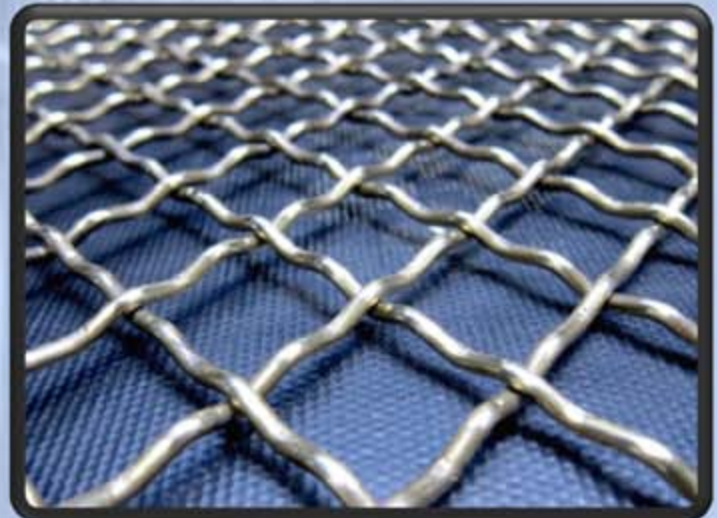
## مش فولادی و الیاف



مش پیش جوش شده



الیاف فولادی



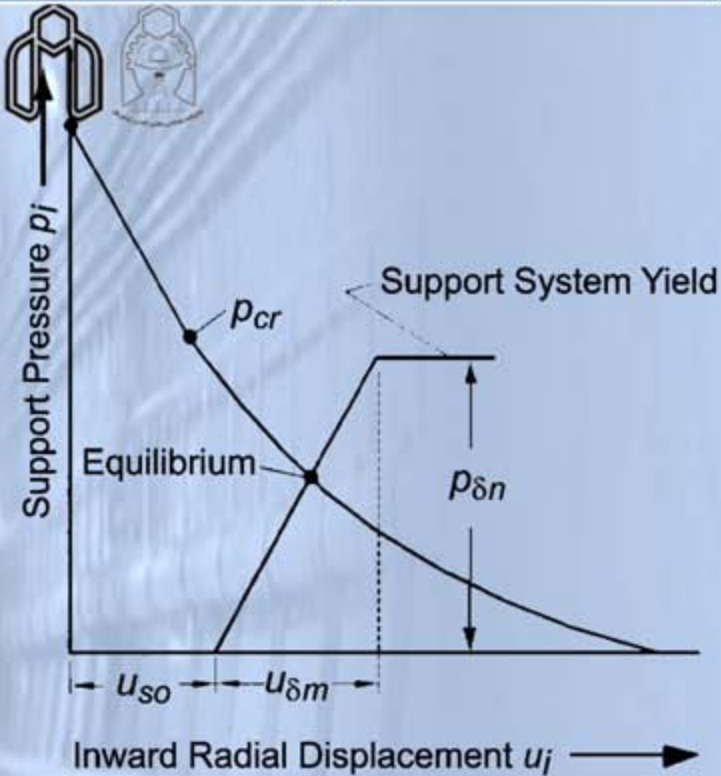
مش بافته شده

مرتضی جوادی اصطهباناتی



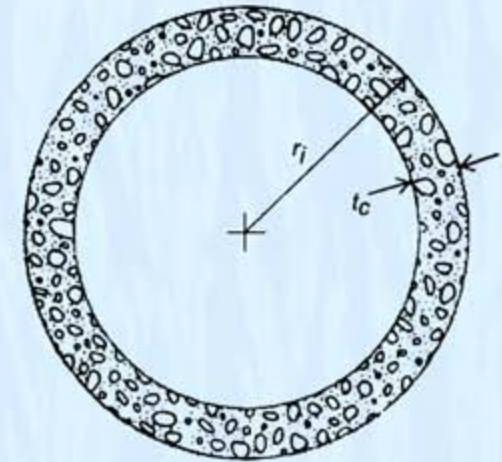
جزوه درس نگهداری و کنترل زمین

# محاسبات طراحی



$$K = \frac{E_c \left[ r_i^2 - (r_i - t_c)^2 \right]}{(1 + \nu_c) \left[ (1 - 2\nu_c) r_i^2 + (r_i - t_c)^2 \right]}$$

$$P_{\max} = \frac{\sigma_{cc}}{2} \left[ 1 - \frac{(r_i - t_c)^2}{r_i^2} \right]$$



$K$  = support stiffness;

$P_{\max}$  = maximum support pressure;

$E_c$  = Young's modulus of concrete or shotcrete;

$t_c$  = lining thickness;

$r_i$  = internal tunnel radius;

$\sigma_{cc}$  = uniaxial compressive strength of concrete or shotcrete;



## محاسبات طراحی

### مقاومت برشی شاتکریت

مقاومت برشی شاتکریت معمولاً تابعی از مقاومت فشاری آن است.

مقاومت برشی شاتکریت در طراحی به دو صورت در نظر گرفته می شود:

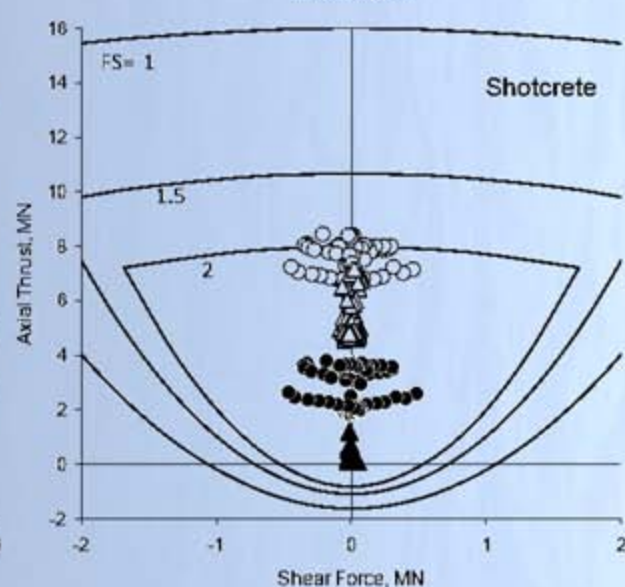
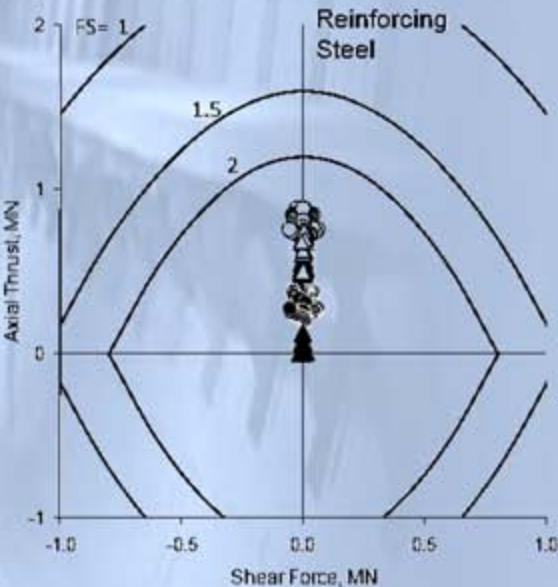
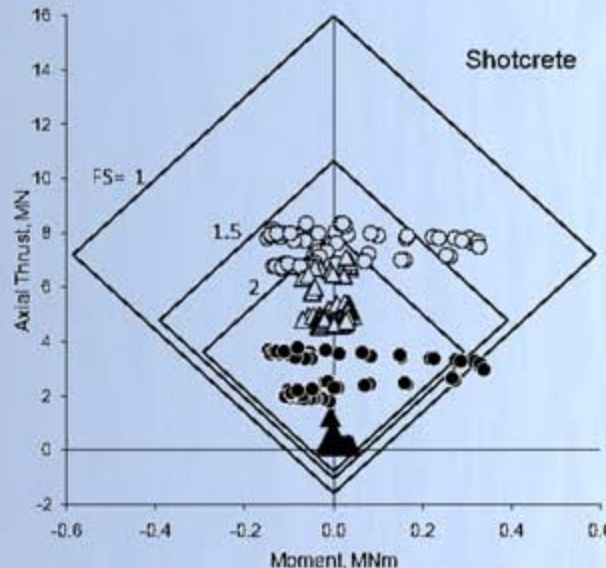
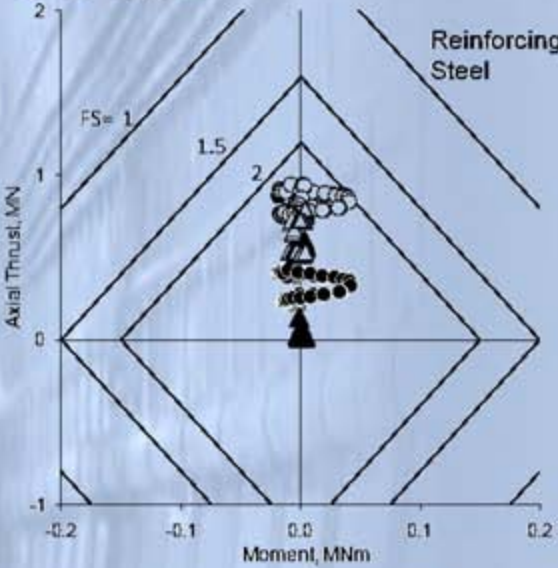
۱- نیروی برشی در شاتکریت بدلیل نیروهای محوری و ممان ایجاد شود (در این حالت از نمودار  $P-M$  و  $P-Q$ ) استفاده می شود. این حالت بر اساس تئوری تیر و مقاطع معادل (آنالیز نیروهای محوری و ممان) طراحی شده و بارگذاری ناشی از زون پلاستیک و اندرکنش سازه و زمین

۲- برای محاسبات طراحی (در حالت برش خالص): این حالت مربوط به مواردی است که نیروی برشی خالص به مقطع عرضی (ضخامت) شاتکریت وارد می شود. این حالت بیشتر برای محاسبات سینماتیکی (تحلیل بلوکی) و تعادل حدی استفاده می شود.

**مقاومت برشی شاتکریت در بارگذاری غیرمستقیم (حالت ۱) بیشتر از بارگذاری مستقیم (حالت دوم یا برش خالص) است.**

# محاسبات طراحی

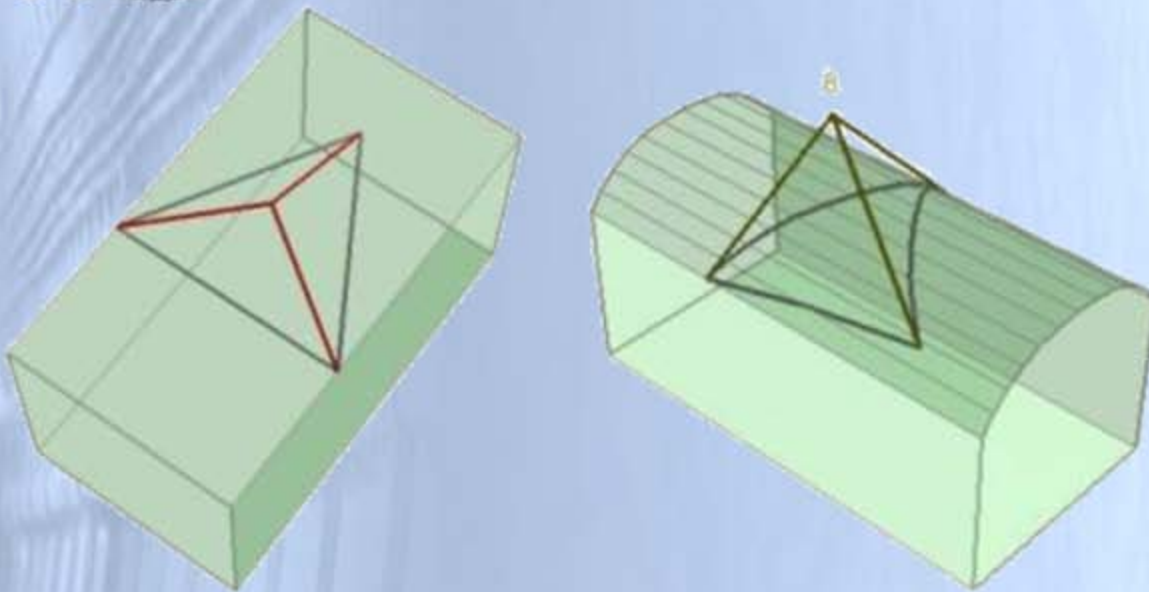
۱- نیروی برشی در شاتکریت بدلیل نیروهای محوری و ممان ایجاد شود (در این حالت از نمودار P-Q و P-M استفاده می شود. این حالت بر اساس تئوری تیر و مقاطع معادل (آنالیز نیروهای محوری و ممان) طراحی شده و بارگذاری ناشی از وزن پلاستیک و اندرکنش سازه و زمین





## محاسبات طراحی

۲- برای محاسبات طراحی (در حالت برش خالص): این حالت مربوط به مواردی است که نیروی برشی خالص به مقطع عرضی (ضخامت) شاتکریت وارد می شود. این حالت بیشتر برای محاسبات سینماتیکی (تحلیل بلوکی) و تعادل حدی استفاده می شود.



مکانیسم شکست (ناپایداری) شاتکریت در این حالت مربوط به پانچینگ است.

مقاومت برشی شاتکریت (پانچ) بصورت زیر محاسبه می شود:

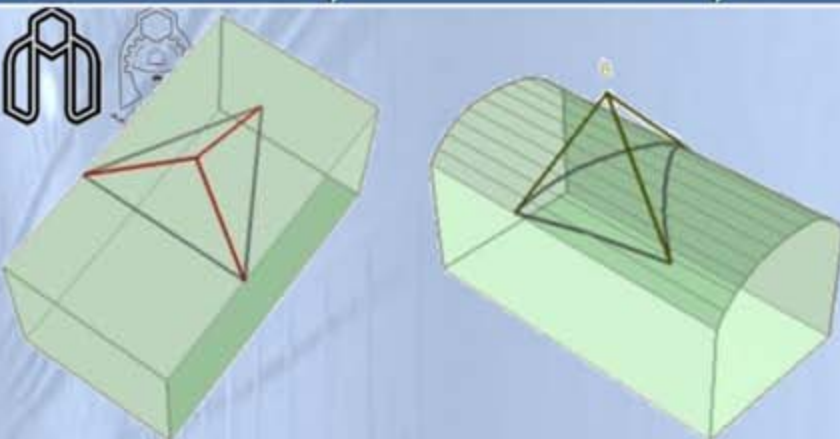
$$\sigma_{shear} = 0.2 \sqrt{\sigma_{cc}} \text{ (MPa)}$$

$\sigma_{cc}$  مقاومت فشاری شاتکریت بر حسب مگاپال

$\sigma_{Shear}$  مقاومت برشی شاتکریت بر حسب مگاپال

## محاسبات طراحی

مثال: در سقف یک گالری افقی، یک بلوک سنگی هرمی شکل با قاعده مربع تشکیل شده است. اگر ارتفاع بلوک سنگی (گوه) ۶ متر باشد و عرض قاعده بلوک ۵ متر باشد، ضخامت شاتکریت لازم برای پایدارسازی این بلوک چقدر خواهد بود. دانسیته سنگ ۲.۵ و مقاومت فشاری شاتکریت ۲۵ مگا پاسکال و ضریب ایمنی ۲



$$\sigma_{shear} = 0.2 \sqrt{\sigma_{cc}} \text{ (MPa)}$$

حل مثال: ابتدا مقاومت برشی شاتکریت و سپس حجم بلوک و سپس وزن بلوک محاسبه می شود. در ادامه، سطح مقطع پانچینگ شاتکریت بر اساس ضخامت نوشته شده و ظرفیت برشی آن بر اساس مقاومت برشی شاتکریت محاسبه می شود.



## محاسبات طراحی

حل مثال:

$$\sigma_{Shear} = 0.2(25^{0.5}) = 1 \text{ Mpa} = 100 \text{ [Ton/m}^2\text{]}$$

$$V_{Block} = (1/3)(h)(A) = (1/3) * (6) * (5 * 5) = 50 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$W_{Block} = \gamma V_{Block} = 2.5 * 50 = 125 \text{ [Ton]}$$

$$L_{punch \text{ of Block}} = 4 * l = 4 * 5 \text{ m} = 20 \text{ [m]}$$

$$A_p = \text{Area of punch} = (L_{punch}) * (\text{Thickness of Shotcrete}) = 20 \text{ t [m}^2\text{]}$$

توجه شود که  $t$  بر حسب متر بوده و سطح مقطع بر حسب متر مربع است.

$$A_p * \sigma_{Shear} = S.F * W_{block}$$

$$20 \text{ t [m}^2\text{]} * 100 \text{ [Ton/m}^2\text{]} = 2 * 125 \text{ [Ton]}$$

$$t = (250) / (2000) = 0.125 \text{ [m]} = 12.5 \text{ cm}$$



# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

## Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی



# رئوس مطالب

مقدمه 



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع کلی سیستم های مهاری

۱- داوول

۲- راک بولت ها (پیچ سنگ، میل مهار، بولت)

۳- انکر (کابل، تاندون یا استرنند)

راک بولت ها یکی از معمول ترین سیستم های نگهداری در تونل ها، راهروهای معدن، سقف کارگاه استخراج و....)

کابل ها عمدتاً در فضاهای زیرزمینی خاص مثل مغارها و یا پذیرگاه های معدن مورد استفاده قرار می گیرند. عمدتاً در مغارهای سد و نیروگاهی و تکیه گاه های سد و کوله های پل استفاده می شود.

کابل و تاندون بیشتر در مواردی استفاده می شود که ابعاد بلوک ناپایدار بزرگ بوده و طول مهاری زیاد بوده (معمولاً بالای ۱۰متر) و برای کاهش حجم حفاری از تاندون استفاده می شود (چون ظرفیت تاندون ها چندین برابر ظرفیت بولت است)





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

### مزایای سیستم های مهاری

۱- کاربرد و نصب ساده و آسان

۲- تقریبا در تمامی فضاهای زیرزمینی (بغیر از فضاهای کوچک) قابل اجرا است.

۳- یک سیستم نگهداری تقریبا ارزان است.

۴- امکان تلفیق با سایر سیستم های نگهداری را دارد (نگهداری ترکیبی)

۵- با سایر فعالیت های داخل تونل تداخل زیادی ندارد.

۶- قابلیت مکانیزاسیون دارد.

۷- برای هر شکل هندسی از تونل و فضای زیرزمینی قابل استفاده است.



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## مهاری های فعال یا غیرفعال

مهاری های بولتی مثل راک بولت، داول و انکر از نظر نوع عملکرد به دو دسته فعال و غیر فعال تقسیم بندی می شوند:

حالت فعال: در این حالت، میله یا کابل و یا بولت باید کشیده شده که به این عمل تنیدگی گفته می شود. عملکرد این حالت بگونه ای است که در داخل بولت (عضو مهاری) یک نیروی کششی ایجاد شده (در اثر فرآیند کشیدن بولت) که این نیروی کششی بصورت یک نیروی فشاری به توده سنگ وارد می شود. بدین منظور، بخشی از مهاری (بولت) بین نقطه گیرداری و سرچال نباید با توده سنگ و آمیزه تزریق تماس مستقیم داشته باشد تا نیروی کششی در بولت ایجاد شده و این نیرو به صورت فشاری به توده سنگ وارد شود.

عمل کشیدن با تنیدگی بولت باید در نزدیکی سینه کار انجام شده تا از جابجایی توده سنگ و بویژه ناپیوستگی ها ممانعت بعمل آید. اگر عمل تنیدن بولت انجام نشود، عملکرد مهاری بصورت غیر فعال یا منفعل خواهد بود.

حالت غیر فعال: معمولا کل طول مهاری تزریق شده و یا تنیدگی انجام نمی شود. سیستم مهاری غیرفعال با جابجایی توده سنگ فعال می شود.





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

### انواع کلی سیستم های مهاری

*Rock anchor*—Rock anchors are tensioned tendons anchored to the ground over a defined length.

انکر: تاندون های کشیده شده (پس تنیده) با طول معین

*Rock bolt*—Tensioned reinforcement element consisting of a rod, mechanical or grouted anchorage, and plate and nut for tensioning by torquing the nut or for retaining tension applied by direct pull.

بولت: مهاری کشیده شده (پس تنیده) شامل راد (میل) با گیرداری از نوع مکانیکی و یا تزریقی که عمل کشیدن با بستن مهره (سرپیچ) با اعمال گشتاور یا ترک انجام میشود.

*Rock dowel*—Untensioned reinforcement element consisting of a rod embedded in a grout-filled hole and bonded to the surrounding ground along their entire length (fully bonded), by either friction or grout.

داول: مهاری غیر کشیده (ناتنیده) شامل راد (میل) با گیرداری از بصورت تمام تزریق



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع کلی سیستم های مهاری

*Rock anchor—Active* (فعال)

انکر: تاندون های کشیده شده (پس تنیده) با طول معین

*Rock bolt—Active* (فعال)

بولت: مهاری کشیده شده (پس تنیده) شامل راد (میل) با گیرداری از نوع مکانیکی و یا تزریقی که عمل کشیدن با بستن مهره (سرپیچ) با اعمال گشتاور یا ترک انجام میشود.

*Rock dowel—Passive* (غیر فعال)

داول: مهاری غیر کشیده (ناتنیده) شامل راد (میل) با گیرداری از بصورت تمام تزریق

توجه شود که داول یک اصطلاح فنی بوده و در عمده کتاب ها، متون علمی و یا نقشه های اجرایی، مجموعه داول و راک بولت تحت عنوان «راک بولت» شناخته می شوند.





# تقسیم بندی انواع مهاری ها از نظر فعال و غیر فعال

System	Active/passive	Stiff/soft	Corrosion resistance	Ease of installation	Pull-out resistance	Where to use	Where to avoid	Relative cost
Mechanical anchors	Active	Soft	Medium	Good	Medium	Short term Unlaminated roof Medium to light load	Long term Laminated roof Burnt coal ribside	Cheap
Resin point anchor	Active	Soft	Medium	Medium, requires training	Very good	Short term Unlaminated roof Medium to heavy load	Long term Laminated roof Burnt coal ribside	Cheap
Full column resin (single resin type)	Passive	Stiff	Good	Medium, requires training	Very good	Long term Laminated roof Heavy load Thick weak roof Close to face	Burnt coal ribside	Expensive
Full column resin (slow/fast combination)	Active	Stiff	Good	Medium, requires training	Very good	Long term Laminated roof Heavy load Beam building Thick weak roof High horizontal stress	Burnt coal ribside	Expensive
Split set	Passive	Stiffish	Poor	Good	Poor	Burnt coal ribsides Wiremesh fill-in Thin laminated layers	Long term Heavy load Thick layers	Expensive
Trusses	Active	Stiffish (cable trusses soft)	Good	Cumbersome	Very good	Short term Light load Jointed areas Major joints, faults	---	Very Expensive
W- straps	---	Stiff	Medium	Cumbersome	---	Jointed areas Friable roof Beam building High horizontal stress	---	Expensive
Wooden dowels	Passive	Stiff but weak	Excellent	Easy	Poor	Longwall faces ribsides in stooping	Roof	Cheap
Fibreglass dowels	Passive	Stiff	Excellent	Easy	Good	Longwall faces ribsides in stooping	---	Expensive
Wiremesh and shotcrete	Passive	Stiff if well installed	Good	Cumbersome	---	Burnt coal Jointed areas Friable roof Long term, densely populated areas	---	Expensive
Chemical injection	Passive	Stiff	Excellent	Cumbersome	---	Longwall face break Pre-support in very weak, jointed conditions	---	Very expensive



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## داول (به معنای علمی)

داول: مهاری غیر کشیده (ناتنیده) شامل راد (میل) با گیرداری بصورت تمام تزریق و از نوع مهاری غیر فعال است.

اثر داول زمانی ایجاد می شود که در سنگ یک جابجایی اولیه ایجاد شود (مشابه با عملکرد شاتکریت و بتن). بعد از جابجایی تودده سنگ در امتداد ناپیوستگی ها، در داخل داول (و بر روی سطح خارجی آن) نیروی کششی و برشی ایجاد می شود.

معمولا کل طول میل مهار داول با استفاده از مواد تزریقی پوشانده می شود. بعبارت دیگر، کل طول چال تزریق شده و آمیزه تزریق نیز بطور کامل و بصورت سرتاسری با میل مهار در تماس است.

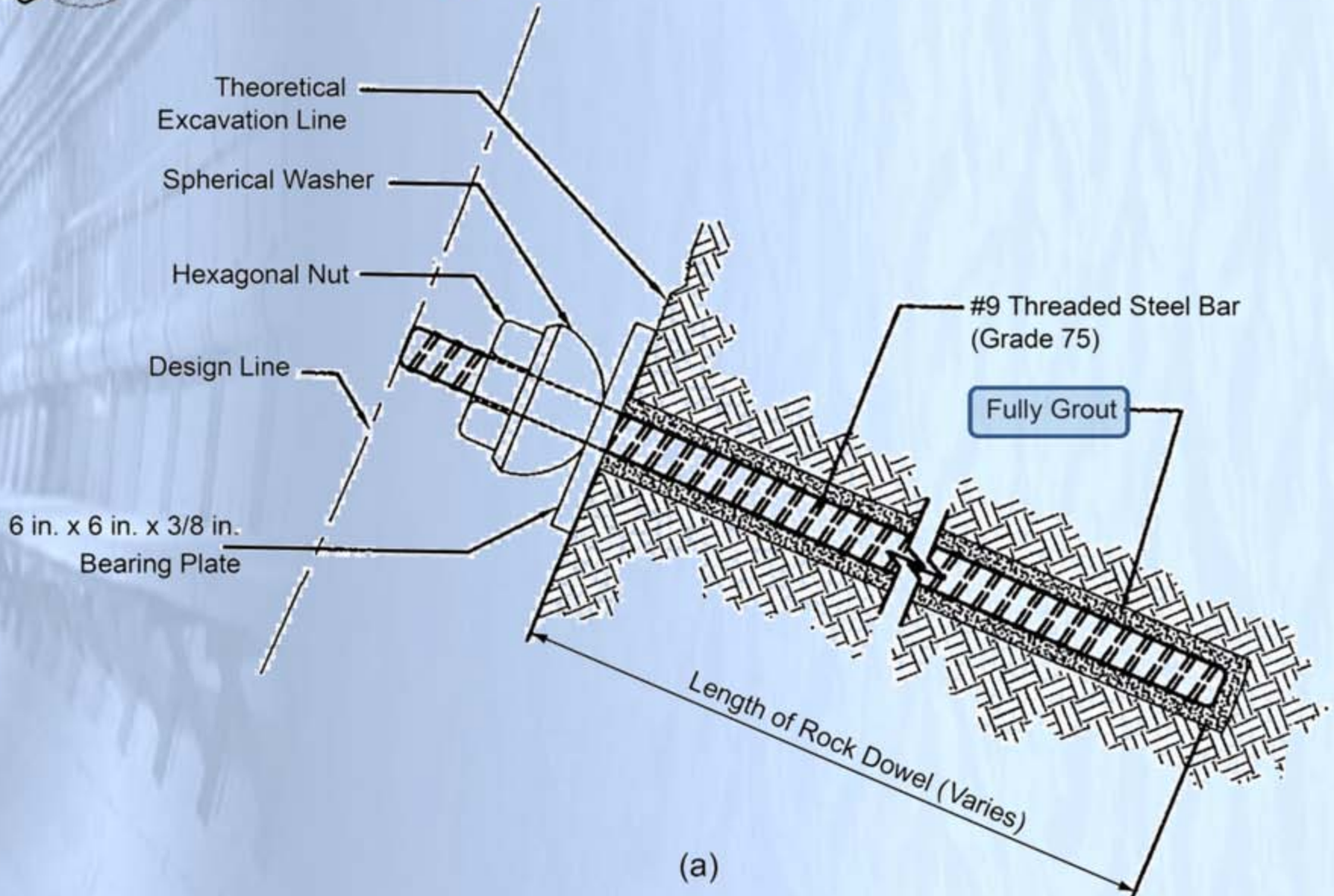
آمیزه تزریق می تواند گروت سیمانی (دوغاب سیمانی) و یا رزین های شیمیایی باشد.

**توجه شود که داول یک اصطلاح فنی بوده و در عمده کتاب ها، متون علمی و یا نقشه های اجرایی، مجموعه داول و راک بولت تحت عنوان «راک بولت» شناخته می شوند.**





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری **داول**



(a)



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## راک بولت (به معنای علمی)

راک بولت: مهاری کشیده (تنیده) شامل راد (میل) با گیرداری بصورت موضعی یا نقطه ای و از نوع مهاری فعال است. گیرداری راک بولت در انتهای چال انجام میشود.

بعد از نصب راک بولت، عمل کشیدن انجام شده که طی این فرآیند، بخش غیرباند میله (حداصل سرچال تا نقطه گیرداری) به کشش افتاده که در نتیجه در توده سنگ درونگیر این محدوده (حداصل سرچال تا نقطه گیرداری) تنش فشاری ایجاد می شود. عمل کشیدن معمولاً بلافاصله بعد از نصب انجام شده تا اجازه جابجایی به سنگ داده نشود.

معمولاً کل طول میل مهار راک بولت با استفاده از مواد تزریقی پوشانده می شود ولی بخش مربوط به غیرباند بولت دارای پوشش (غلاف) خاصی بوده که در نتیجه، آمیزه تزریق فقط در طول ناحیه باند، بطور مستقیم با میل مهار در تماس است.

در صورت عدم استفاده از غلاف، می توان بعد از تنیدن (کشیدن) بولت، عملیات تزریق را انجام داد.

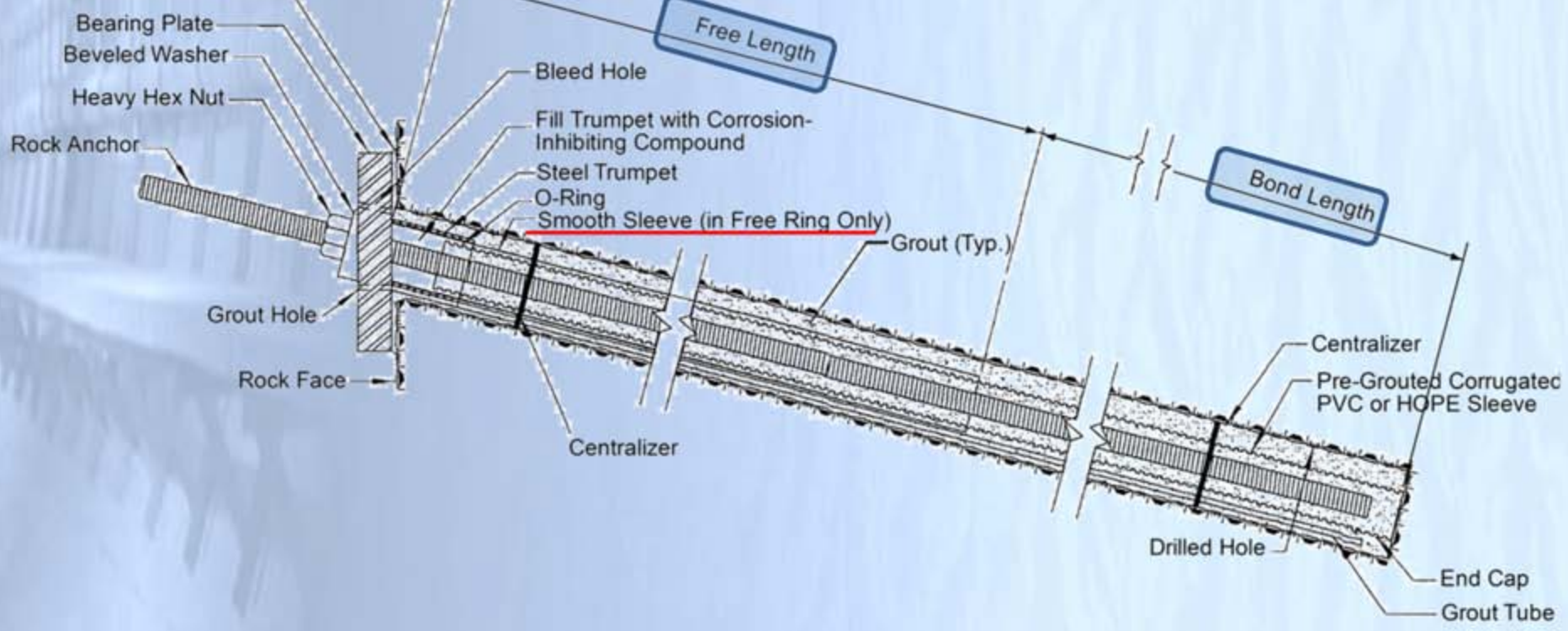
آمیزه تزریق می تواند گروت سیمانی (دوغاب سیمانی) و یا رزین های شیمیایی باشد.



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری راک بولت



Fill with Epoxy or Nonshrink Mortar to Provide Uniform Bearing (Form as Required)





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انکر یا تاندون

انکر: مهاری کشیده (تنیده) شامل کابل (چند رشته ای) با گیرداری بصورت موضعی و از نوع مهاری فعال است. گیرداری انکر در انتهای چال انجام شده و این کار معمولاً با استفاده از تزریق دوغاب سیمانی انجام می شود. بدین منظور، بخش گیردار (باند) بدون غلاف بوده و بقیه طول کابل ها با غلاف پوشانده می شوند.

بعد از نصب تاندون، عمل کشیدن انجام شده که طی این فرآیند، بخش کابل ها (پ) به کشش افتاده که در نتیجه در توده سنگ درونگیر این محدوده (حدفاصل سرچال تا نقطه شروع باندینگ) تنش فشاری ایجاد می شود. عمل کشیدن معمولاً بعد از گیرش دوغاب (۷ یا ۲۸ روز) انجام می شود.

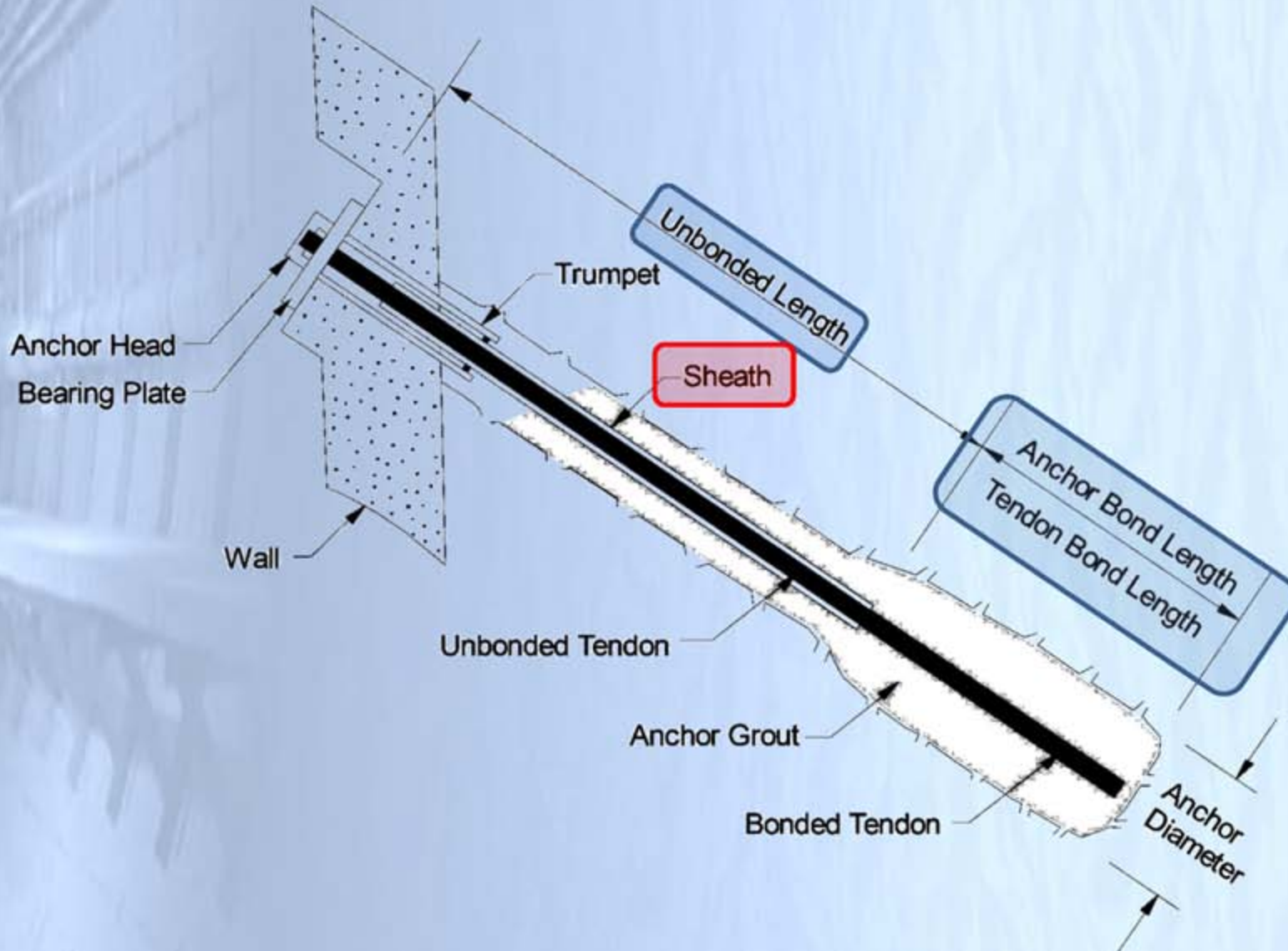
معمولاً کل طول تاندون با استفاده از دوغاب پوشانده شده و عملیات تزریق محدوده باند و غیرباند در یک مرحله انجام می شود. بخش مربوط به طول غیرباند تاندون دارای پوشش (غلاف) خاصی بوده که در نتیجه، دوغاب فقط در طول ناحیه باند، بطور مستقیم با میل مهار در تماس است.

آمیزه تزریق معمولاً از نوع گروت سیمانی (دوغاب سیمانی) است.



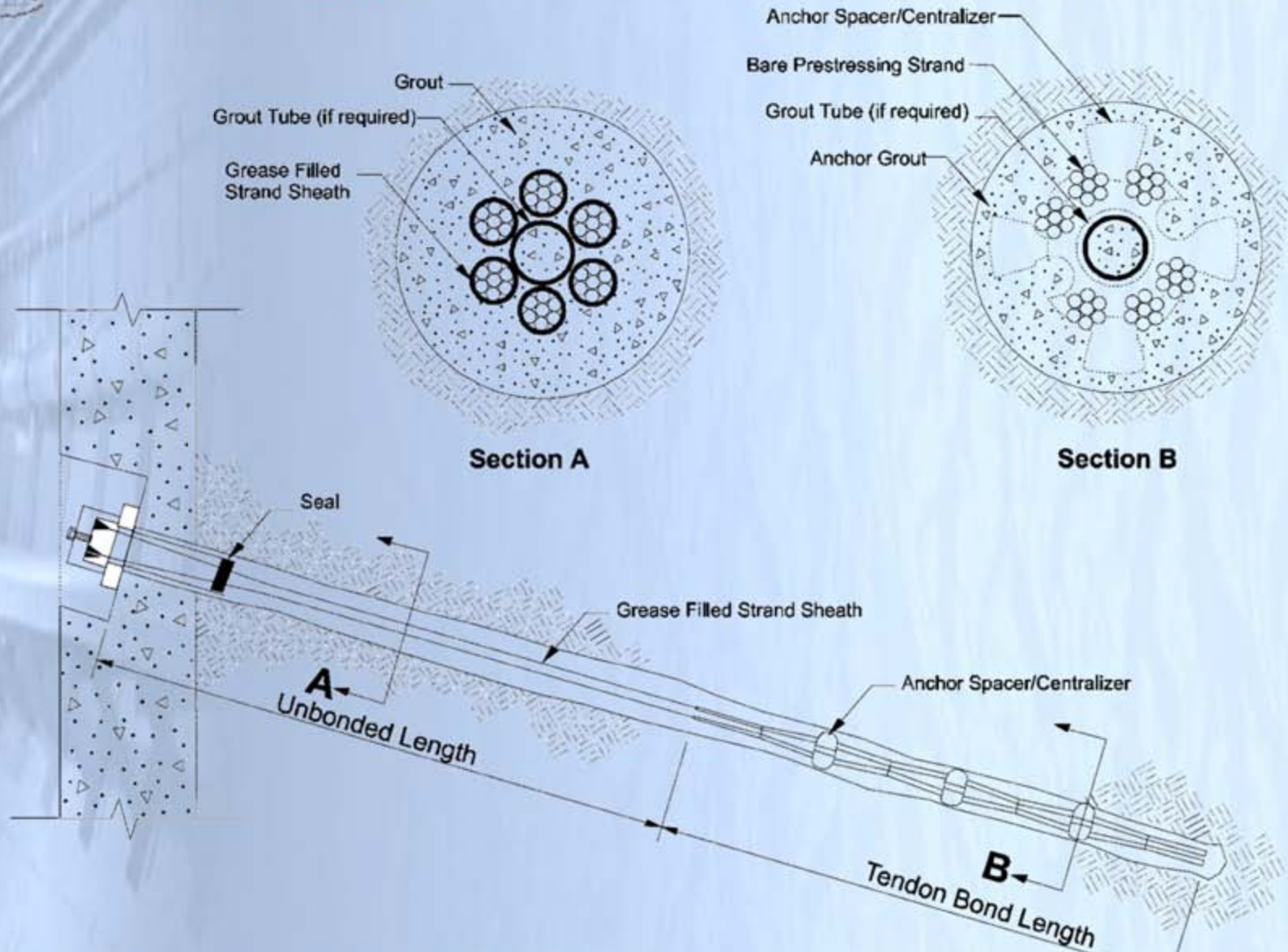


# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری **تاندون یا انکر**





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری تاندون یا انکر



b) Detail of corrosion protection for strand tendons

مرتضی جوادی اصطهباناتی

جزوه درس نگهداری و کنترل زمین





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری تاندون یا انکر







# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری تاندون یا انکر







# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری **تاندون یا انکر**











# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع گیرداری سیستم های مهاری

➤ تقسیم بندی از نظر نوع گیرداری:

۱- گیرداری مکانیکی

۲- گیرداری تزریقی

۳- گیرداری اصطکاکی

➤ تقسیم بندی از نظر طول گیرداری:

۱- گیرداری نقطه ای: برای سیستم فعال

۲- گیرداری تمام طول: برای سیستم منفعل



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع گیرداری سیستم های مهاری

۱- گیرداری مکانیکی: گیرداری فقط در یک محدوده کوچک (بصورت نقطه ای) انجام می شود. در حقیقت، بولت در انتهای خود با سنگ درگیر می شود. عامل اتصال و گیرداری بولت به سنگ (چال) از طریق یک عضو مکانیکی است. متداول ترین نوع بولت های این دسته، مهاری گوه و شکاف و مهاری با پوسته منبسط شونده (مشابه پیچ های رول پلاک) است.

۲- گیرداری تزریقی: گیرداری با استفاده از یک آمیزه مثل گروت یا دوغاب بتنی و یا رزین های شیمیایی انجام می شود. عامل گیرداری، چسبندگی بین دوغاب یا رزین با بدنه چال (سنگ) است. متداول ترین نوع بولت های این دسته، بولت های دوغابی و بولت های رزینی و تاندون است.

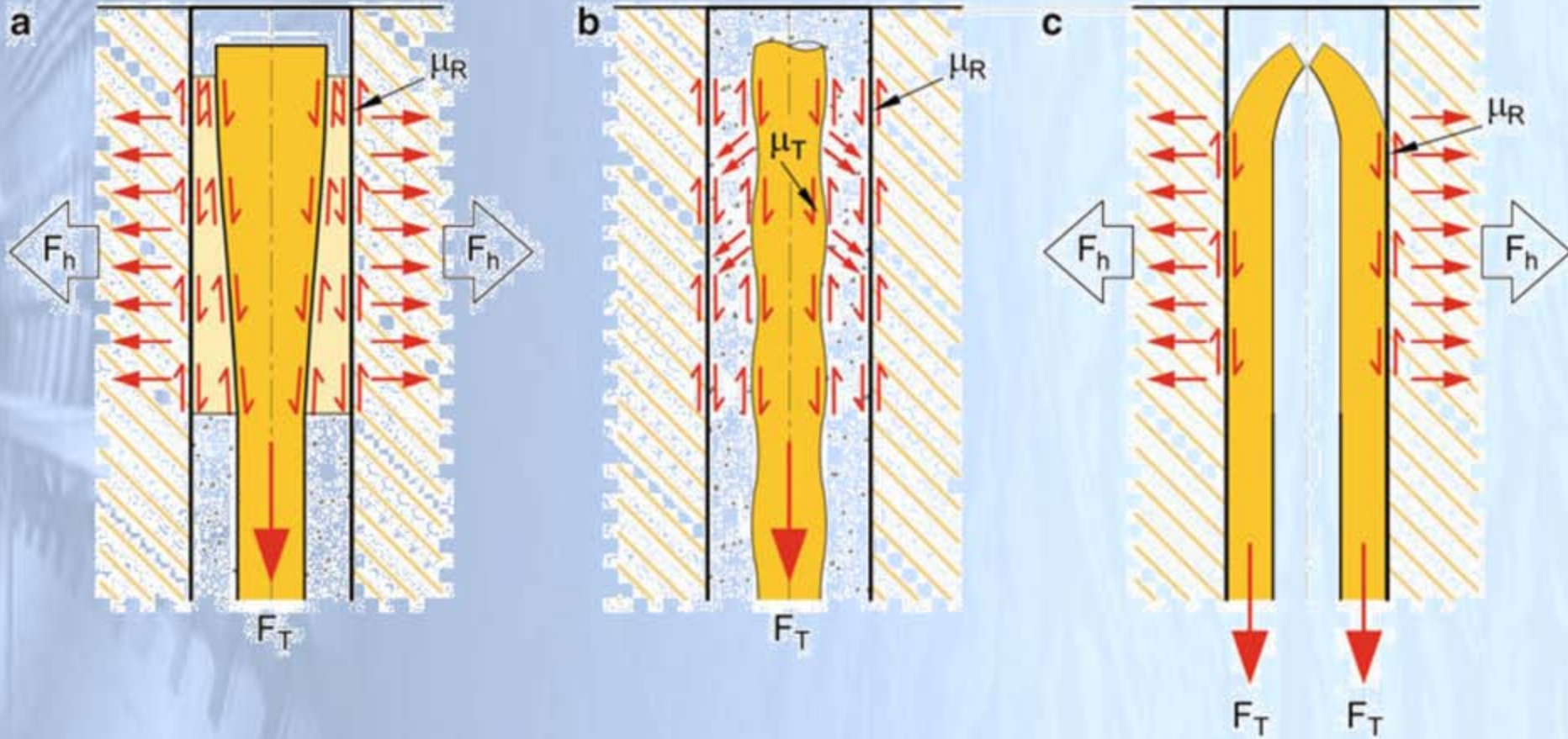
۳- گیرداری اصطکاکی: گیرداری با استفاده از اتصال سطح خارجی بولت به بدنه سنگی چال انجام می شود. عامل گیرداری، اصطکاک بین بدنه بولت با سطح داخلی چال (سنگ) است. متداول ترین نوع بولت های این دسته، بولت های متورم شونده (سولکس) و بولت های سرتاسر شکاف دار (اسپیلست ست) است.





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع گیرداری سیستم های مهاری



Techniques for anchoring a tendon inside a drill hole. (a) Mechanical, (b) Grouted, (c) Friction



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری

Type	Description	Illustration
<b>Resin Grouted Rock Bolt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Additional capacity due to side friction</li> <li>• develops after setting of the second resin</li> <li>• Good for soft and hard rocks</li> <li>• Withstands blasting vibrations</li> </ul>	
<b>Expansion shell rock bolt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Post grouted expansive bolt</li> <li>• Good for relatively good rocks</li> <li>• Fully grouted</li> <li>• Corrosion protection</li> </ul>	





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری

Type	Description	Illustrations
Split set stabilizers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slotted bolt is inserted into a slightly smaller diameter hole</li> <li>• Induced radial stress, anchors the system in place by friction</li> <li>• Mainly for mining, and under mild rock burst conditions</li> <li>• It slips instead of suddenly failing</li> <li>• Limited load handling</li> </ul>	
Swellex	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Length up to 12 m</li> <li>• Hole diameter = 32-52 mm</li> <li>• Tensile load = 100 -240 kN</li> <li>• Inflation pressure <math>\approx</math> 30 Mpa</li> <li>• Instant full load bearing capacity</li> <li>• Fast application</li> <li>• Not sensitive to blasting</li> <li>• Elongation range: 20-30%</li> </ul>	



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری

Type	Description	Illustration
<p><b>Self Drilling Anchor</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drilling, installation, and injection in one single operational step</li> <li>• No pre-drilling of a borehole by using a casing tube and extension rods with subsequent anchor installation necessary</li> <li>• Minor space requirement for anchor installation</li> <li>• Optimized machinery and manpower requirements</li> </ul>	<p><b>IBO - SELF DRILLING ANCHORS</b></p> <p>The illustration shows the components of an IBO self-drilling anchor. It includes an IBO-anchor plate, a drillbit, an IBO-coupling, and an IBO-nut with an O-ring seal. The drillbit is shown in two configurations: A7-A10 shaped drillbit and A7-A10 shaped drillbit. The IBO-coupling is shown in two configurations: IBO-coupling for optimal stroke transmission, time mediflow, transport of rock cuttings, and IBO-coupling for optimal stroke transmission, time mediflow, transport of rock cuttings. The IBO-nut is shown in two configurations: IBO-nut with O-ring seal and IBO-nut with O-ring seal. The IBO-anchor is shown in two configurations: IBO-anchor cold rolled with continuous outside thread, optimal stroke transmission through hardened and unburied cut areas of the anchor ends, mortar connection through outside profiling, and IBO-anchor cold rolled with continuous outside thread, optimal stroke transmission through hardened and unburied cut areas of the anchor ends, mortar connection through outside profiling.</p>
<p><b>Cablebolt reinforcement</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primarily used to support large underground structures, i.e mining applications, underground power caverns etc.</li> <li>• Can handle high loads</li> <li>• Tendons are grouted with concrete mix</li> <li>• At very high loads the governing parameter is most often the bond between the tendon and the grout</li> <li>• Cable capacity is confining stress dependent</li> </ul>	<p>The diagram illustrates the mechanisms of cablebolt reinforcement. The top part shows a cross-section of a cablebolt in a borehole, with labels for 'Confining pressure' and 'Radial displacement'. The bottom part shows a longitudinal section of a cablebolt in a borehole, with labels for 'Shear resistance', 'Confining pressure', 'Radial displacement', and 'Tensile force'.</p>





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت با آمیزه رزینی

جنس بولت می تواند فولاد یا رزینی باشد.

معمولا از نوع سراسرگیردار بوده و کل چال با رزین پر می شود. بدین منظور، کارتریج های سوسیسی شکل رزین در داخل چال قرار داده شده و با چرخاندن و فرو کردن بولت، اجزای رزین دو جزئی (مشابه چسب دوقلو) با هم مخلوط شده و عملیات گیرش رزین آغاز می شود. هر کارتریج دارای دو جزء بوده که در هر بسته و در کنار هم بگونه ای قرار دارند که فقط با پاره شدن پوسته باهم مخلوط میشوند.

مقاومت رزین و انعطاف پذیری آن (نرمی)، سرعت گیرش و مقاومت نسبت به دوغاب سیمانی بیشتر بوده و از نظر این فاکتورها، رزین بر سیمان ارجحیت دارد.

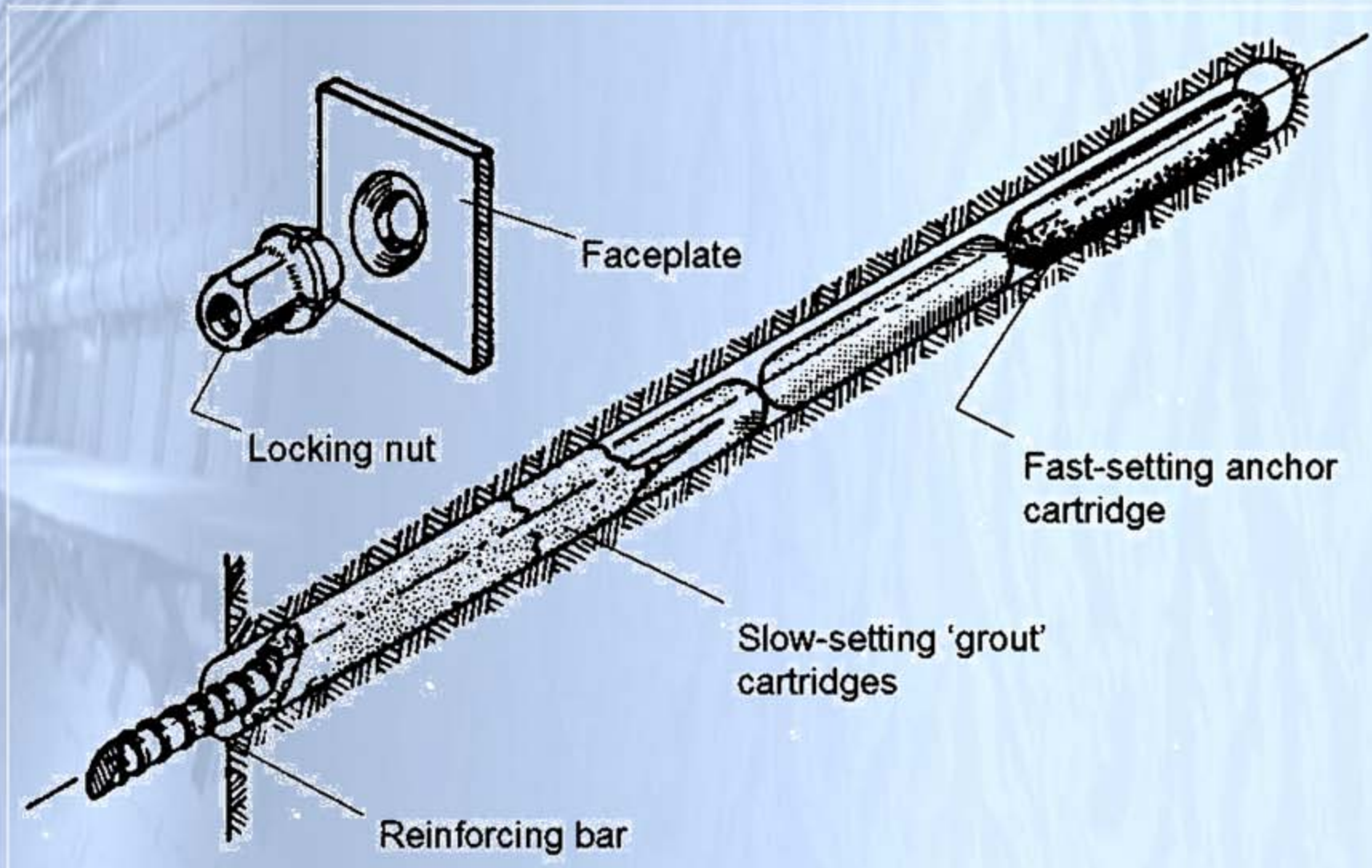
برای نصب بولت با گروت رزینی نیازی به پمپ و لوله های رفت و برگشت (تزریق دوغاب و لوله برگشت هوا) نیست.

رزین گران تر و طول عمر نگهداری (انبارداری) کمتر از سیمان بوده و از نظر این دو فاکتور، دوغاب سیمانی بر رزین ارجحیت دارد.



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت با آمیزه رزینی







# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری انواع بولت های مهاری: بولت با آمیزه رزینی





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: داول یا بولت با تزریق دوغاب

جنس بولت می تواند فولاد یا رزینی باشد. معمولاً از میلگرد آجدار و فولاد A3 استفاده می شود. در بعضی از موارد، بجای بولت از کابل های رشته ای هم استفاده می شود.

معمولاً از نوع سراسرگیردار بوده و کل چال با دوغاب سیمانی پر می شود. بدین منظور، از دستگاه تزریق (ست تزریق شامل مخلوط کن، پمپ و لوله ها) استفاده می شود. بمنظور تزریق دوغاب، لازم است دو شیلنگ به بولت وصل شود (شیلنگ تخلیه هوا و شیلنگ تزریق). تزریق عمدتاً بعد از جاگذاری بولت انجام می شود ولی در بعضی موارد، قبل از جازدن بولت، چال با دوغاب پر شده و سپس بولت جازده می شود.

رزین گران تر و طول عمر نگهداری (انبارداری) کمتر از سیمان بوده و از نظر این دو فاکتور، دوغاب سیمانی بر رزین ارجحیت دارد.

معمولاً دوغاب سیمانی شامل مخلوطی از سیمان پرتلند، روان کننده، زودگیر، اکسپنشن ژل و آب بوده که معمولاً نسبت آب به سیمان در حد 0.3 تا 0.5 مناسب است.

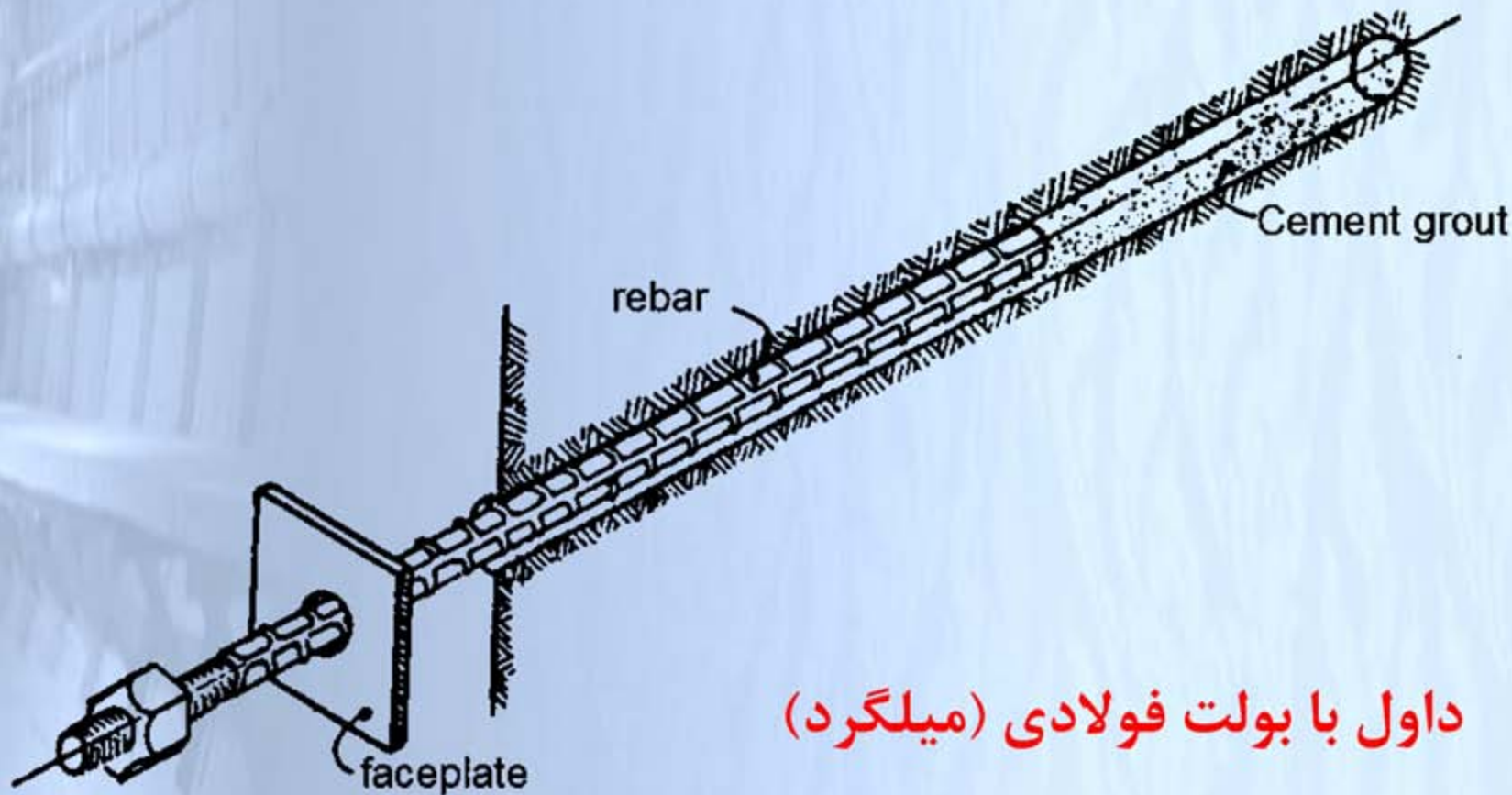
معمولاً این بولت ها کشیده نمی شوند و فقط مهره در محل سرچال محکم بسته می شود.





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: داوول یا بولت با تزریق دوغاب

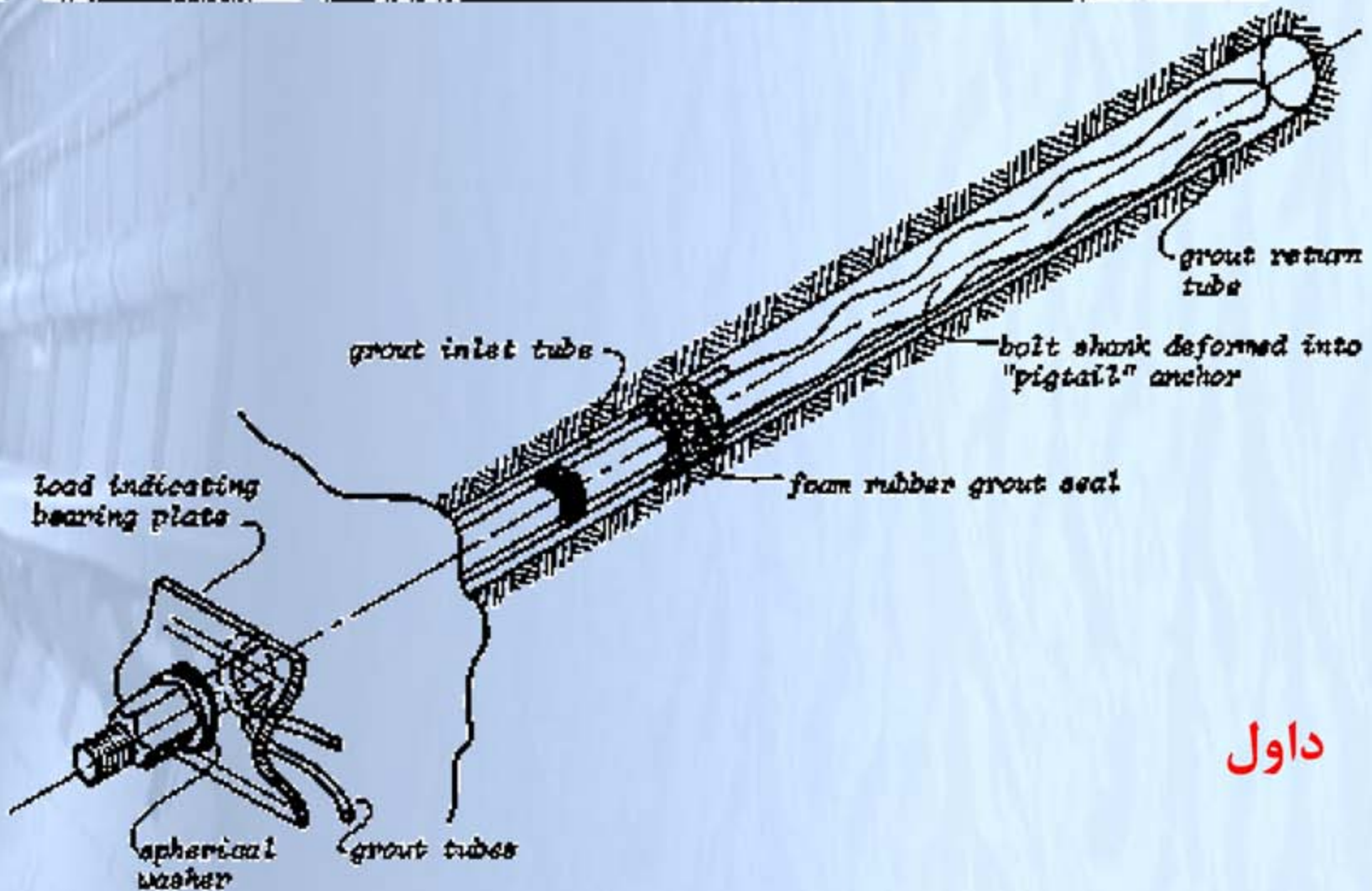


**داوول با بولت فولادی (میلگرد)**



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: داوول یا بولت با تزریق دوغاب



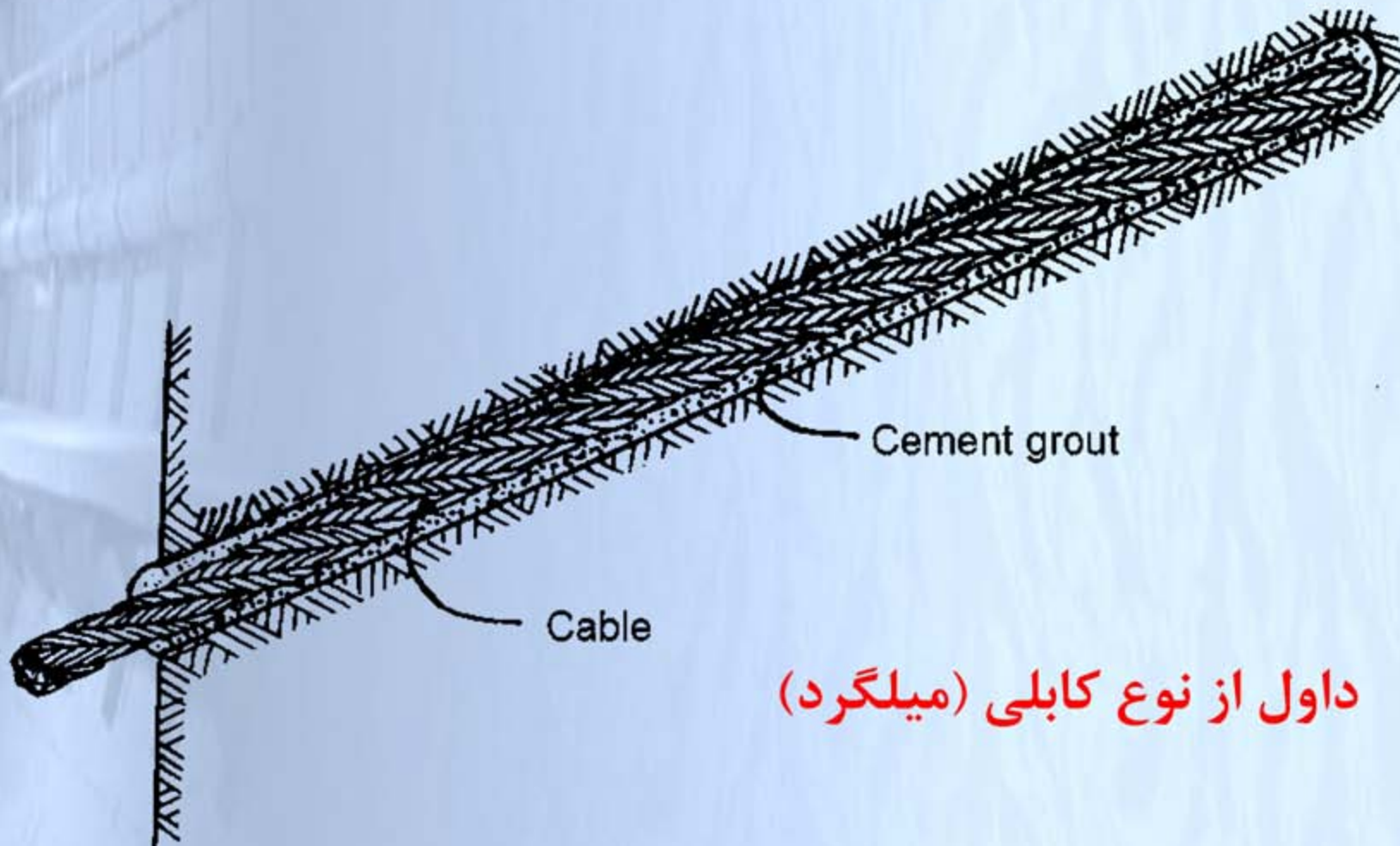
**داوول**





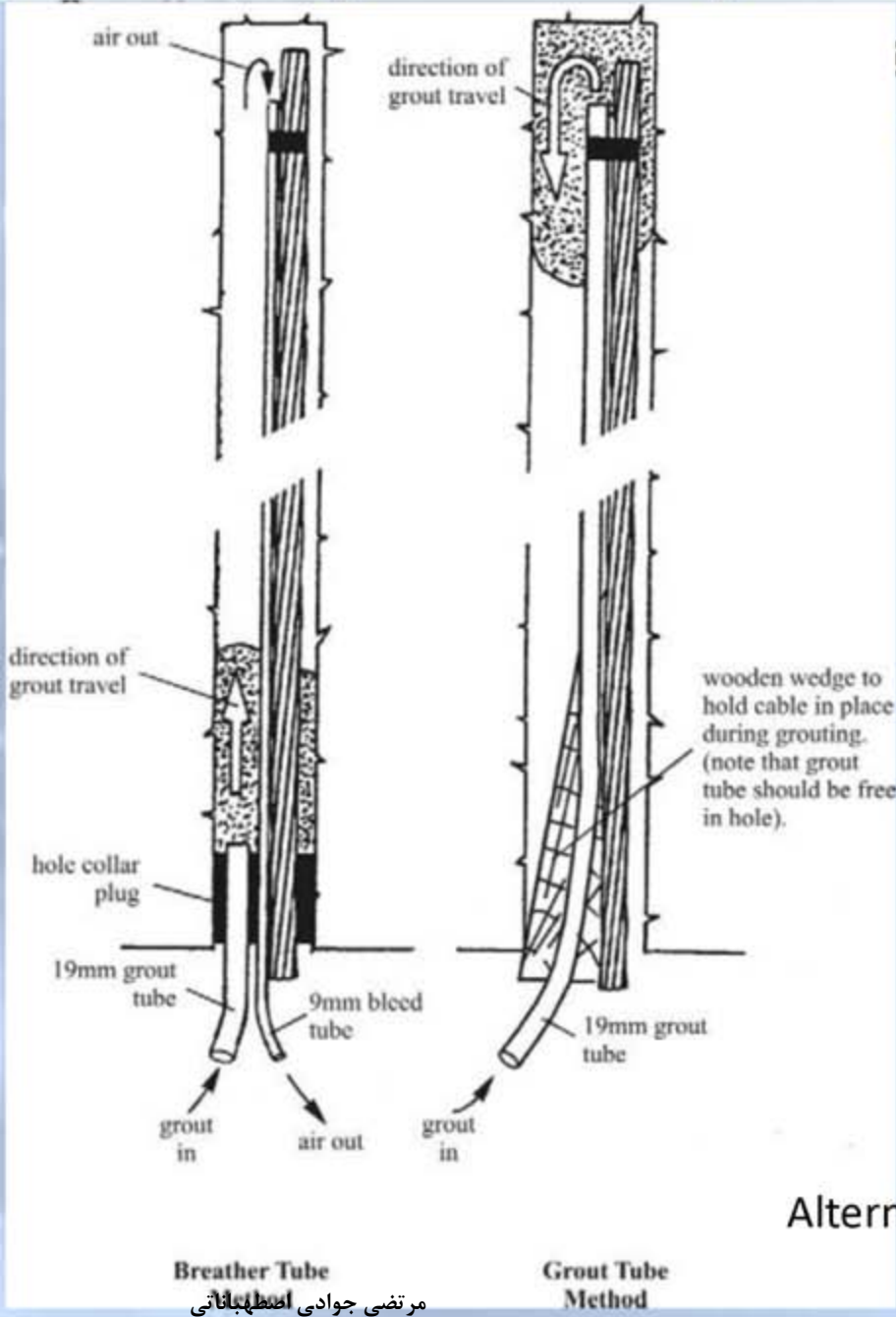
# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: داول یا بولت با تزریق دوغاب



داول از نوع کابلی (میلگرد)

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان موم انواع بولت های مهاری: داوول یا بولت با



## روش های تزریق دوغاب داوول

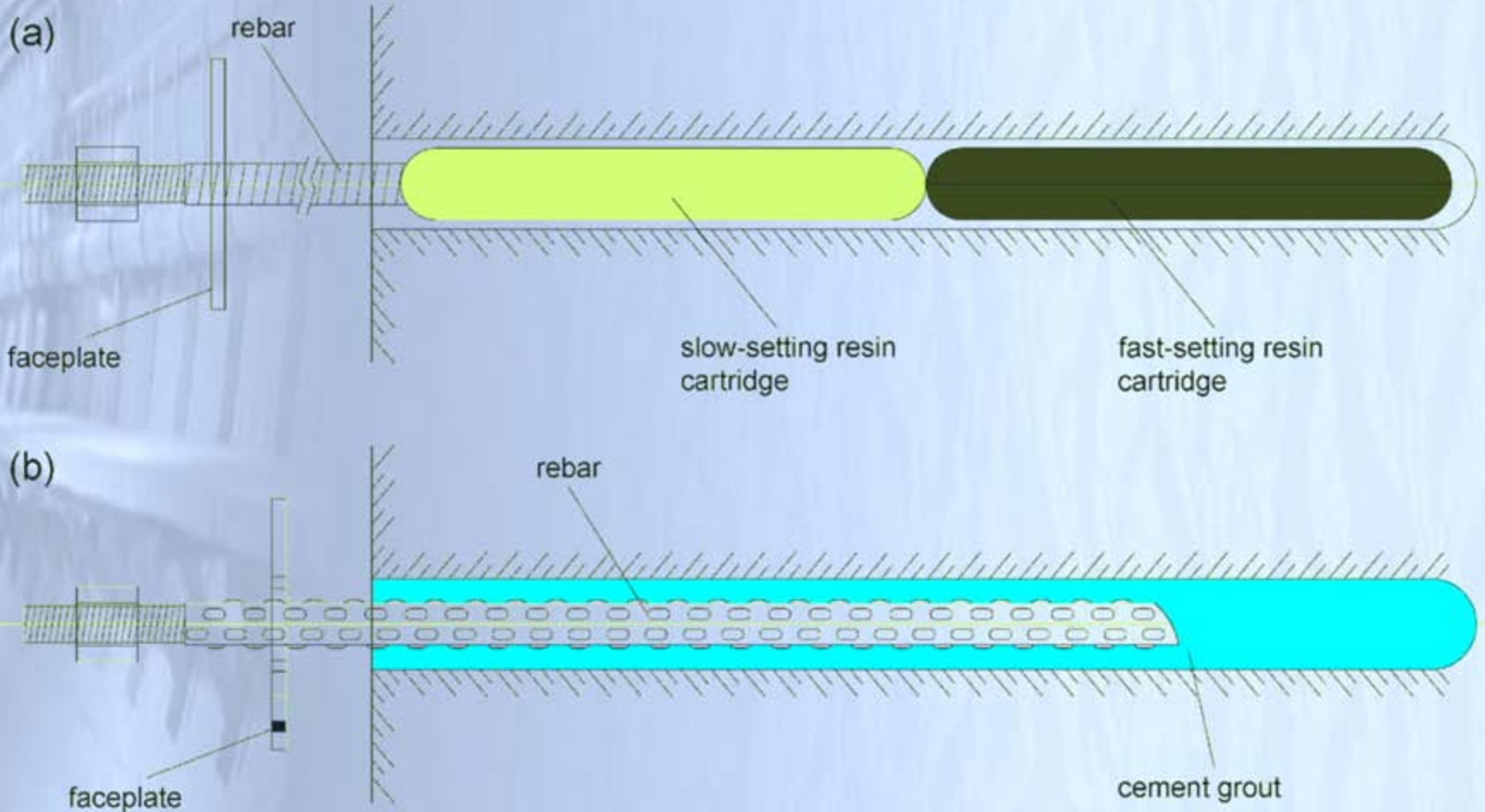
Alternative methods of grouting cables into upholes





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: آمیزه تزریق رزینی و سیمانی





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

### انواع بولت های مهاری: بولت با پوسته منبسط شونده

جنس بولت معمولاً از نوع فولاد یا رزینی است. در انتهای بولت یک قطعه (شامل پوسته و گوه) وجود دارد که این قطعه عمل گیرداری را انجام می دهد.

معمولاً از نوع گیرداری نقطه ای بوده و نوع گیرداری از نوع مکانیکی است.

پوسته معمولاً دارای شکل مخروطی بوده که با اعمال نیروی پیچشی یا کشش به میل مهار، از هم باز می شوند. باز شدن پوسته با حرکت گوه داخل پوسته انجام می شود و مکانیزم آن مشابه رول پلاک و یا بولت های نصب لوستر سقفی است. حرکت گوه در پوسته باعث باز شدن پوسته و چسبیدن پوسته به بدنه چال شده و گیرداری انجام میشود.

بعد از کشش (تنیدگی) بولت، کل چال با دوغاب سیمانی با هدف جلوگیری از خوردگی پر می شود. بدین منظور، بر روی میله بولت یک غلاف در نظر گرفته می شود تا از تماس مستقیم دوغاب با میله بولت (بخش غیرگیردار) جلوگیری شود.





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

### انواع بولت های مهاری: بولت با پوسته منبسط شونده

این بولت ها از داول ها (سرتاسر تزریق با دوغاب بتنی) گران تر است. جهت نصب این نوع بولت، به کارگر و اپراتور ماهر نیاز است.

معمولا عملیات کشش (پس تنیدگی) خوب انجام نمی شود (معمولا عملیات پس تنیدگی ناقص انجام می شود). همچنین، از ظرفیت بولت در طول کل چال استفاده نمی شود. ظرفیت این نوع بولت ها از مقاومت کششی میله بولت کمتر است در حالی که در داول های سرتاسر تزریق از کل طول بولت استفاده می شود.

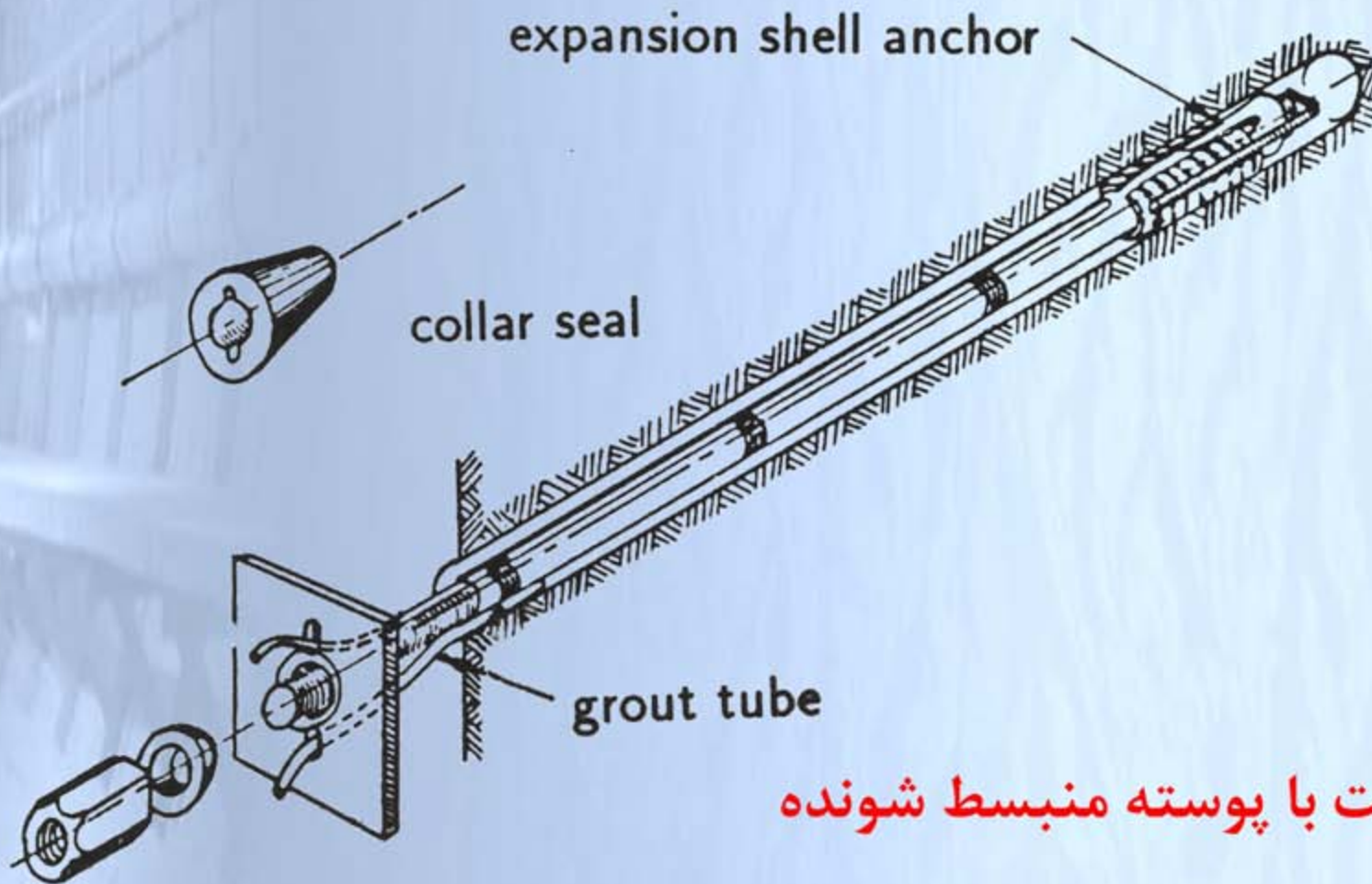
بخش هد (سر چال) خوب آب بند نمی شود و امکان نشت آب از چال به داخل تونل وجود دارد. با گذشت زمان، بولت دچار زنگ زدگی و خمیدگی می شود. همچنین، با گذشت زمان، امکان لغزش در این بولت های وجود دارد که این فرآیند در اثر لرزش های ناشی از آتشیاری تشدید و تسریع می شود.

برای سنگ های بسیار سخت و بسیار نرم نامناسب است. بعلت تمرکز شدید تنش در محل گیرداری، سنگ مجاور محل گیرداری خرد شده و میل مهار از چال بیرون می آید.



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت با پوسته منبسط شونده



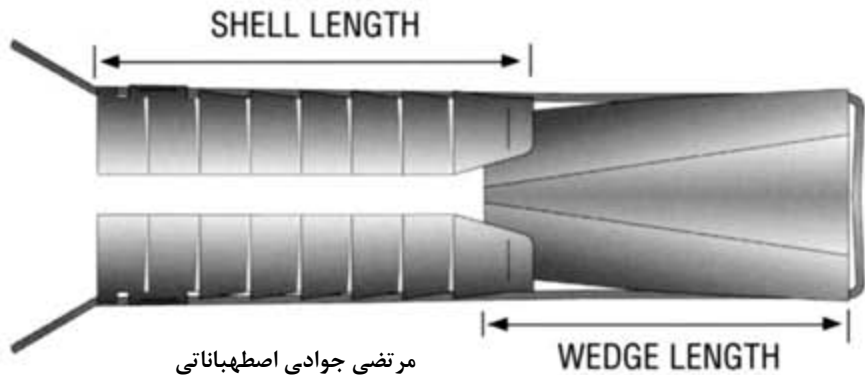
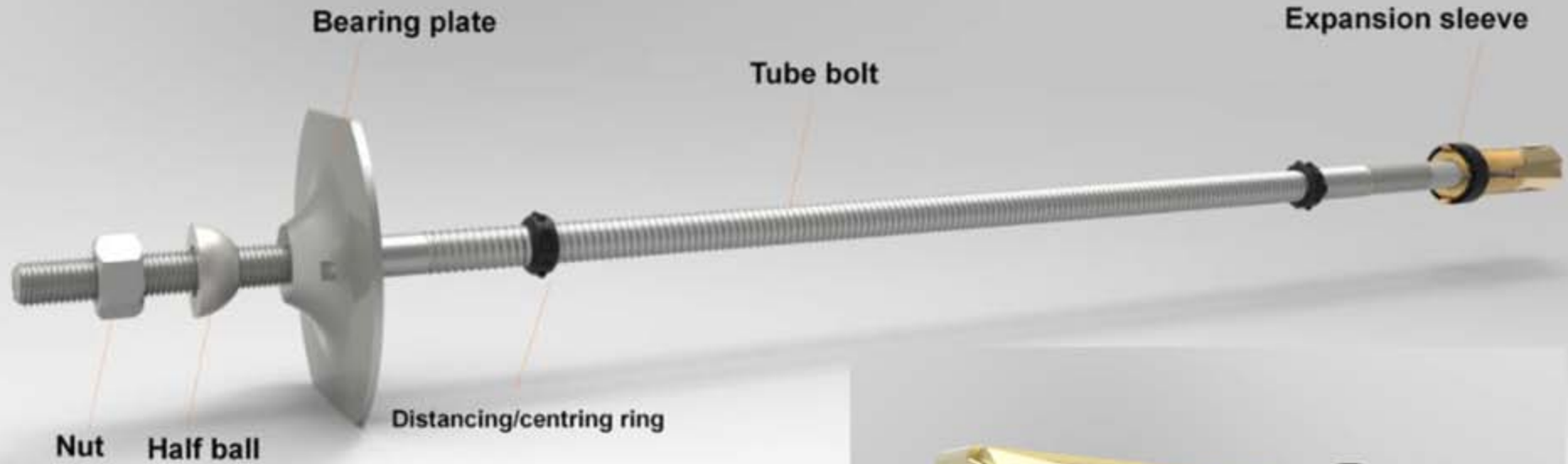
**بولت با پوسته منبسط شونده**





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت با پوسته منبسط شونده



مرتضی جوادی اصطهباناتی

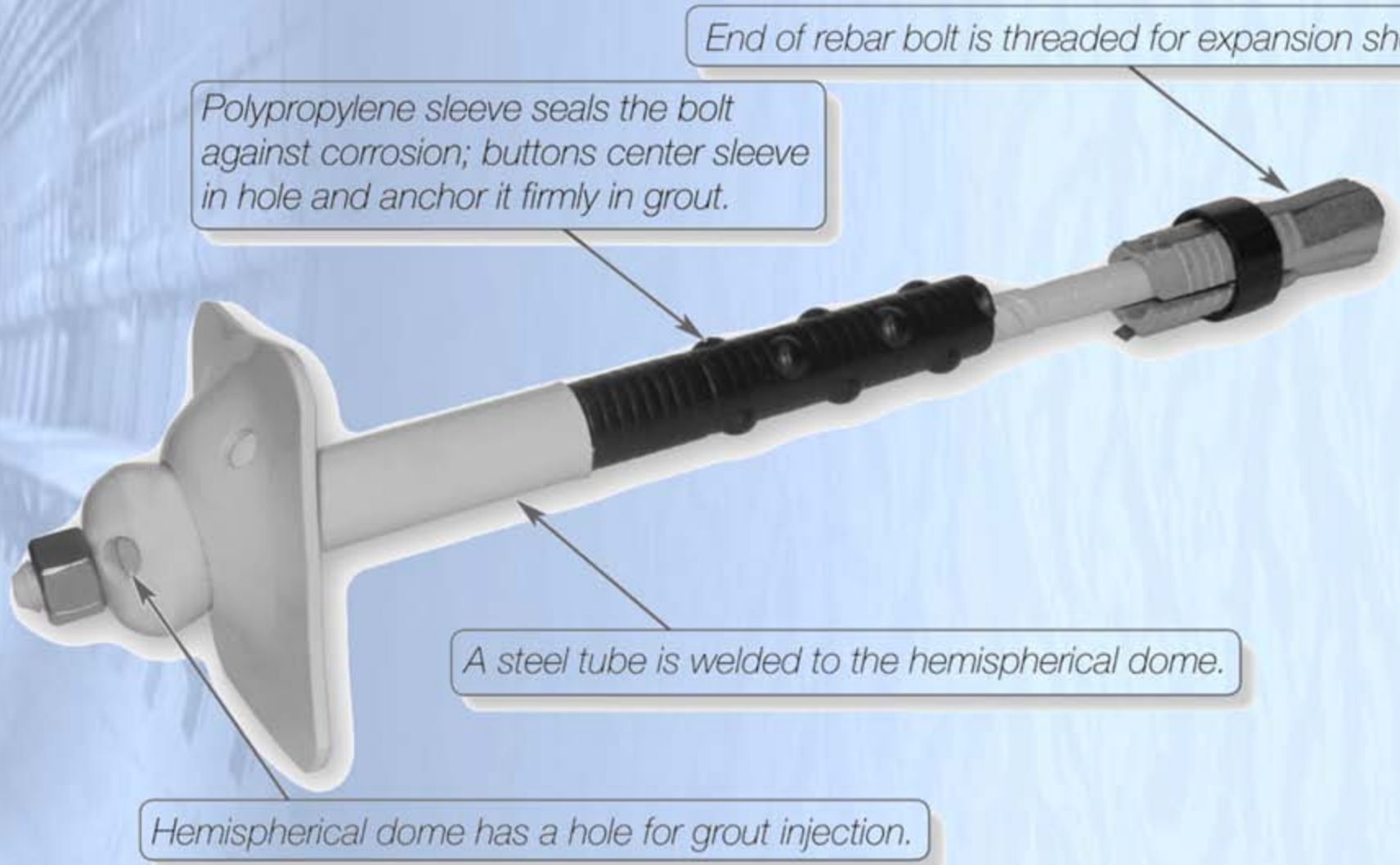


جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت با پوسته منبسط شونده

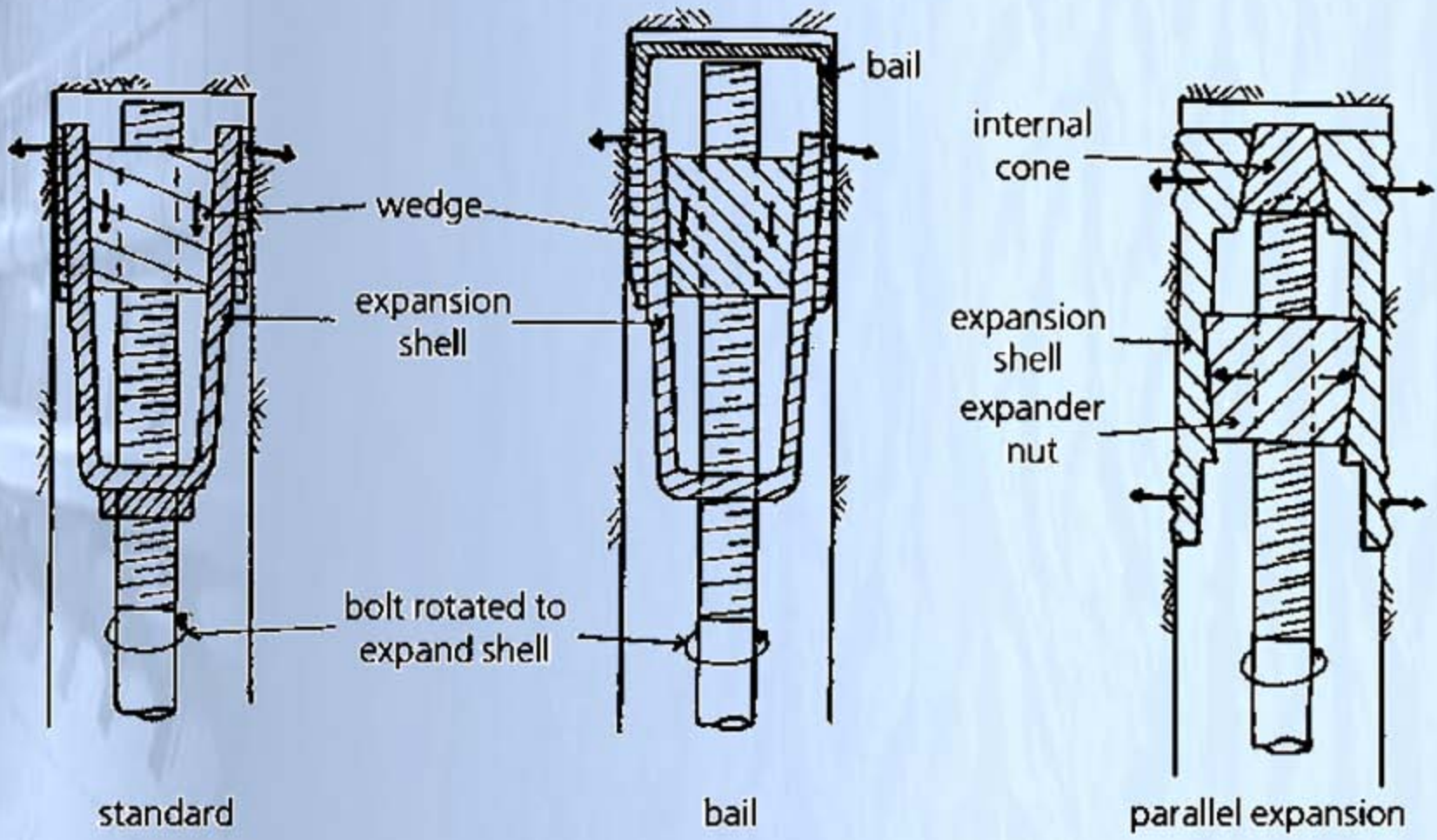






# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت با پوسته منبسط شونده





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

### انواع بولت های مهاری: بولت شکافدار (شکاف سرتاسری)

جنس بولت معمولاً از نوع فولاد پرمقاومت است. در سرتاسر بولت یک شکاف وجود دارد که بولت بدلیل این شکاف می تواند تغییر قطر دهد.

معمولاً از نوع گیرداری سرتاسری بوده و نوع گیرداری از نوع اصطکاکی است.

دارای یک شکاف سرتاسری بوده که با اعمال نیروی ضربه به سربولت، قطر بولت افزایش می یابد. افزایش قطر بولت باعث چسبیدن پوسته به بدنه چال شده و گیرداری انجام میشود. قطر چال باید اندکی بزرگتر از قطر بولت باشد و این موضوع می تواند محدودیت اجرایی ایجاد کند (اگر در زمان حفاری چال، قطر چال بزرگتر از مقدار مجاز باشد، این نوع بولت بخوبی فعال نمی شود).

نصب این بولت بسیار آسان بوده و بهمین دلیل در معدنکاری زیرزمینی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.

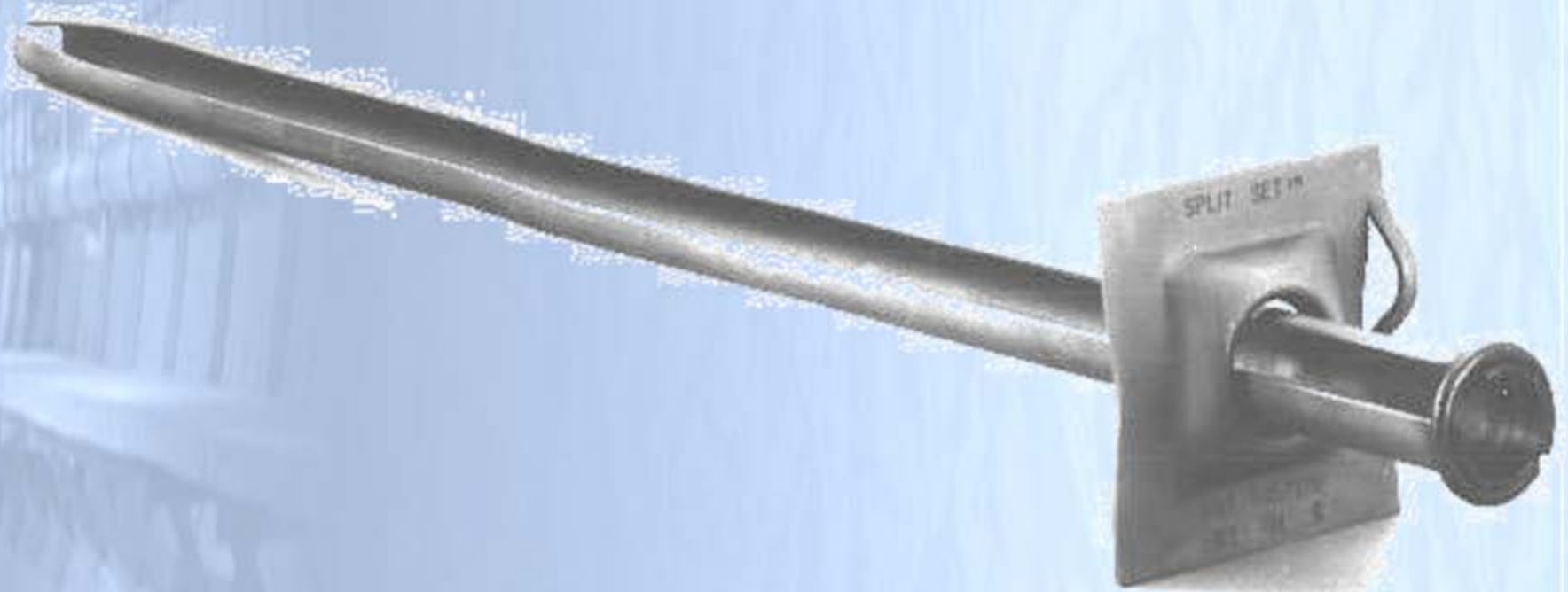
بدلیل خوردگی و دوام کم؛ برای کاربردهای دائم مورد استفاده قرار نمیگردد. همچنین، در صورتی که طول بولت بلند باشد، نصب با مشکل همراه بود و بهمین دلیل دارای محدودیت طول است.





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت شکافدار (شکاف سرتاسری)





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت شکافدار (شکاف سرتاسری)

Table 12.1: Split Set specifications (After Split Set Division, Ingersoll-Rand Company).

Split Set stabiliser model	SS-33	SS-39	SS-46
Recommended nominal bit size	31 to 33 mm	35 to 38 mm	41 to 45 mm
Breaking capacity, average	10.9 tonnes	12.7 tonnes	16.3 tonnes
minimum	7.3 tonnes	9.1 tonnes	13.6 tonnes
Recommended initial anchorage (tonnes)	2.7 to 5.4	2.7 to 5.4	4.5 to 8.2
Tube lengths	0.9 to 2.4 m	0.9 to 3.0 m	0.9 to 3.6 m
Nominal outer diameter of tube	33 mm	39 mm	46 mm
Domed plate sizes	150x150 mm 125x125 mm	150x150 mm 125x125 mm	150x150 mm
Galvanised system available	yes	yes	yes
Stainless steel model available	no	yes	no





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

### انواع بولت های مهاری: بولت متورم شونده (Swellex)

جنس بولت معمولاً از نوع فولاد پرمقاومت است. این نوع از بولت ها درارای یک شکل حلقوی هستند (یک لوله پخ شده و فرم داده شده). این بولت توسط شرکت اطلس کوپکو برای اولین بار معرفی شده است.

معمولاً از نوع گیرداری سرتاسری بوده و نوع گیرداری از نوع مکانیکی است. برای گیرداری، لازم است بولت با آب تحت فشار حدود ۳۰۰ بار به داخل بولت پمپ شود.

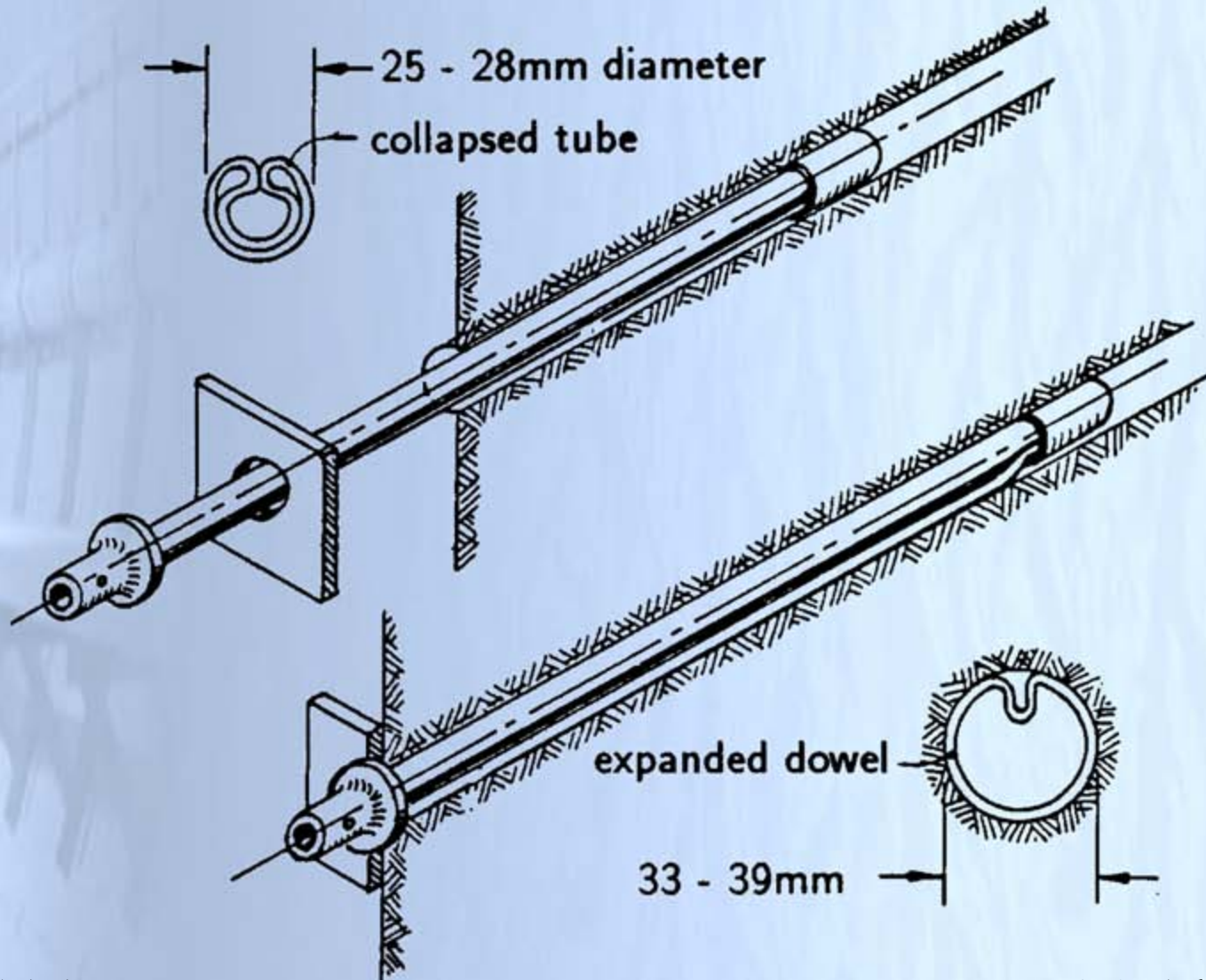
با اعمال فشار داخلی به داخل بولت (با تزریق فشار بالای آب) بولت تغییر شکل داده و از هم باز شده و به بدنه چال می چسبد. باز شدن بولت باعث چسبیدن پوسته به بدنه چال شده و گیرداری انجام میشود.

بدلیل خوردگی و دوام کم؛ برای کاربردهای دائم مورد استفاده قرار نمیگردد. همچنین، در صورتی که طول بولت بلند باشد، نصب با مشکل همراه خواهد بود.



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت متورم شونده (Swellex)

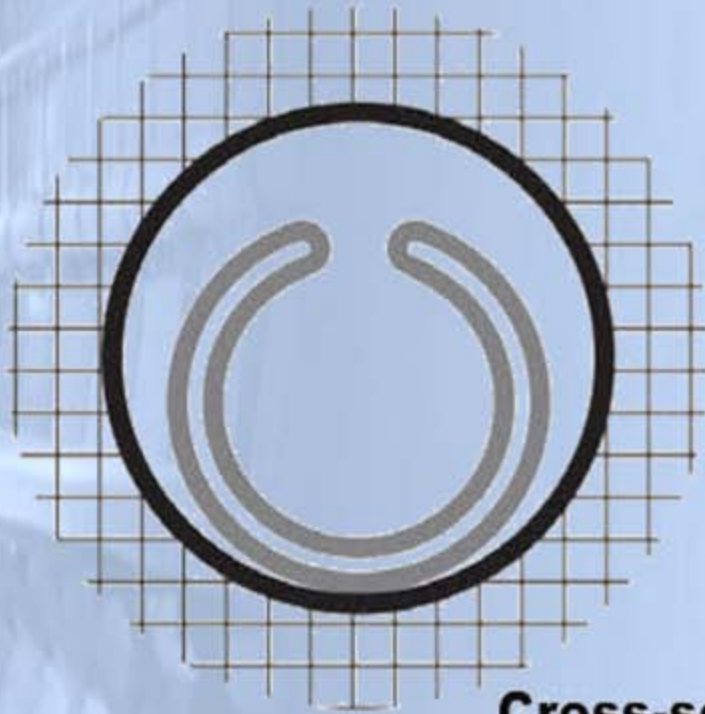




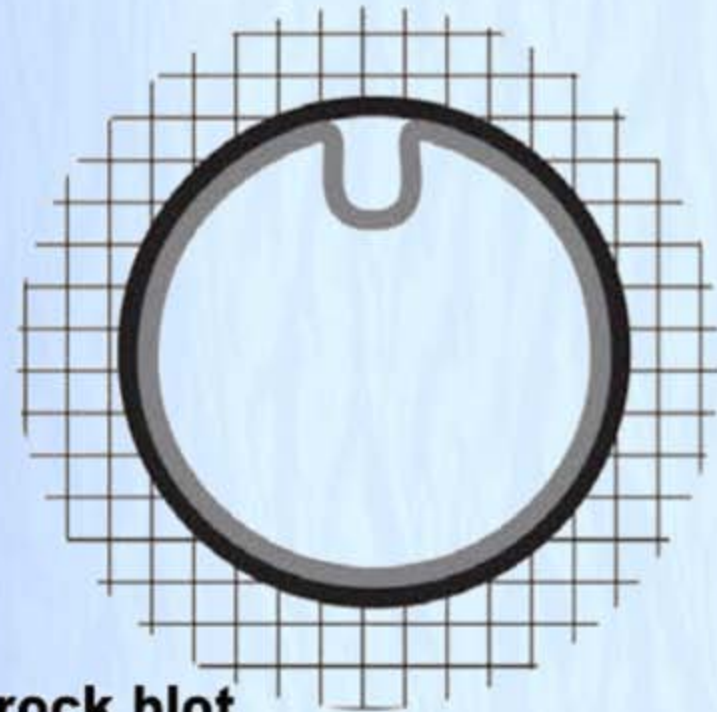


# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت متورم شونده (Swellex)

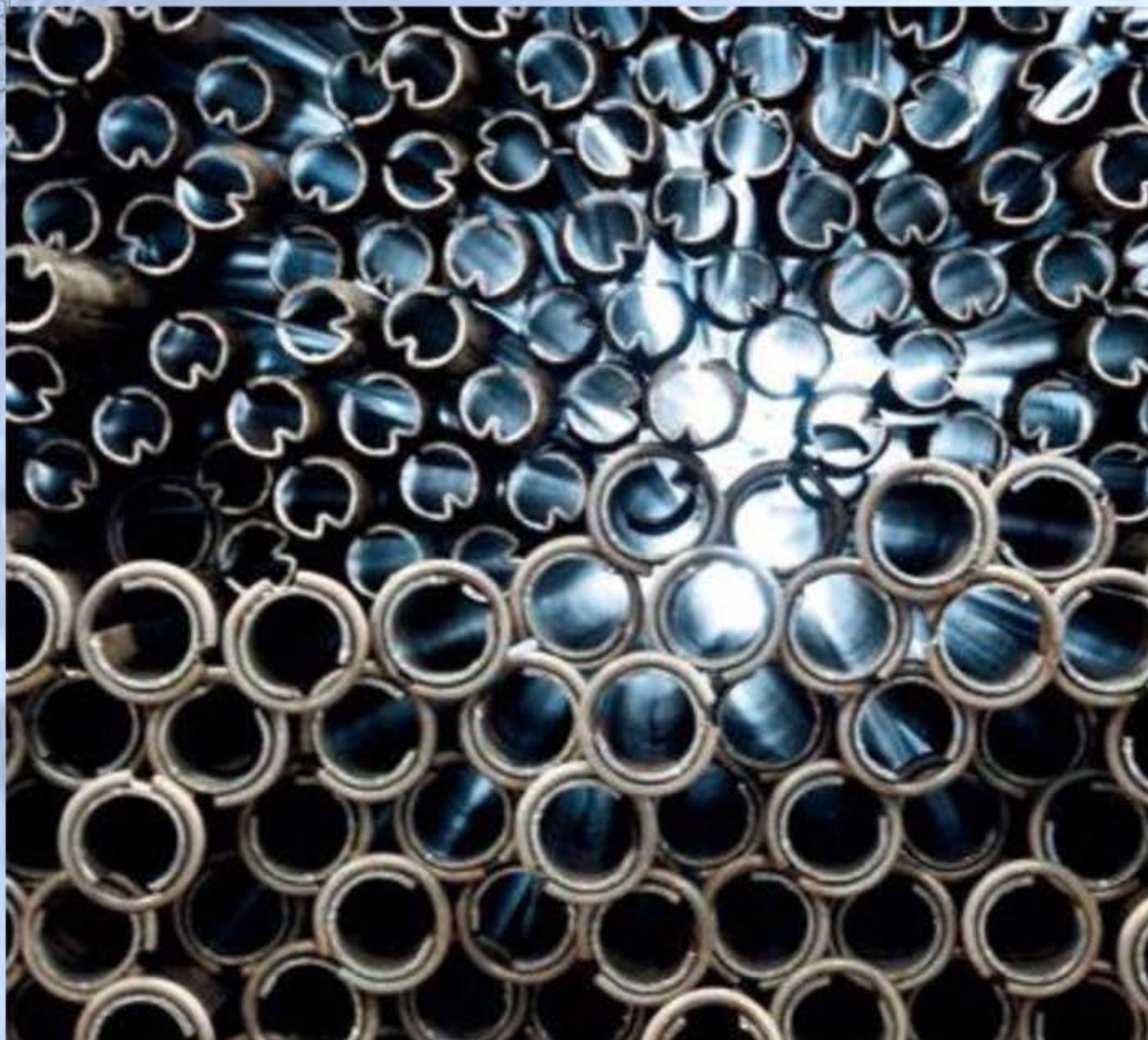


previous to expansion



after expansion

Cross-section rock bolt



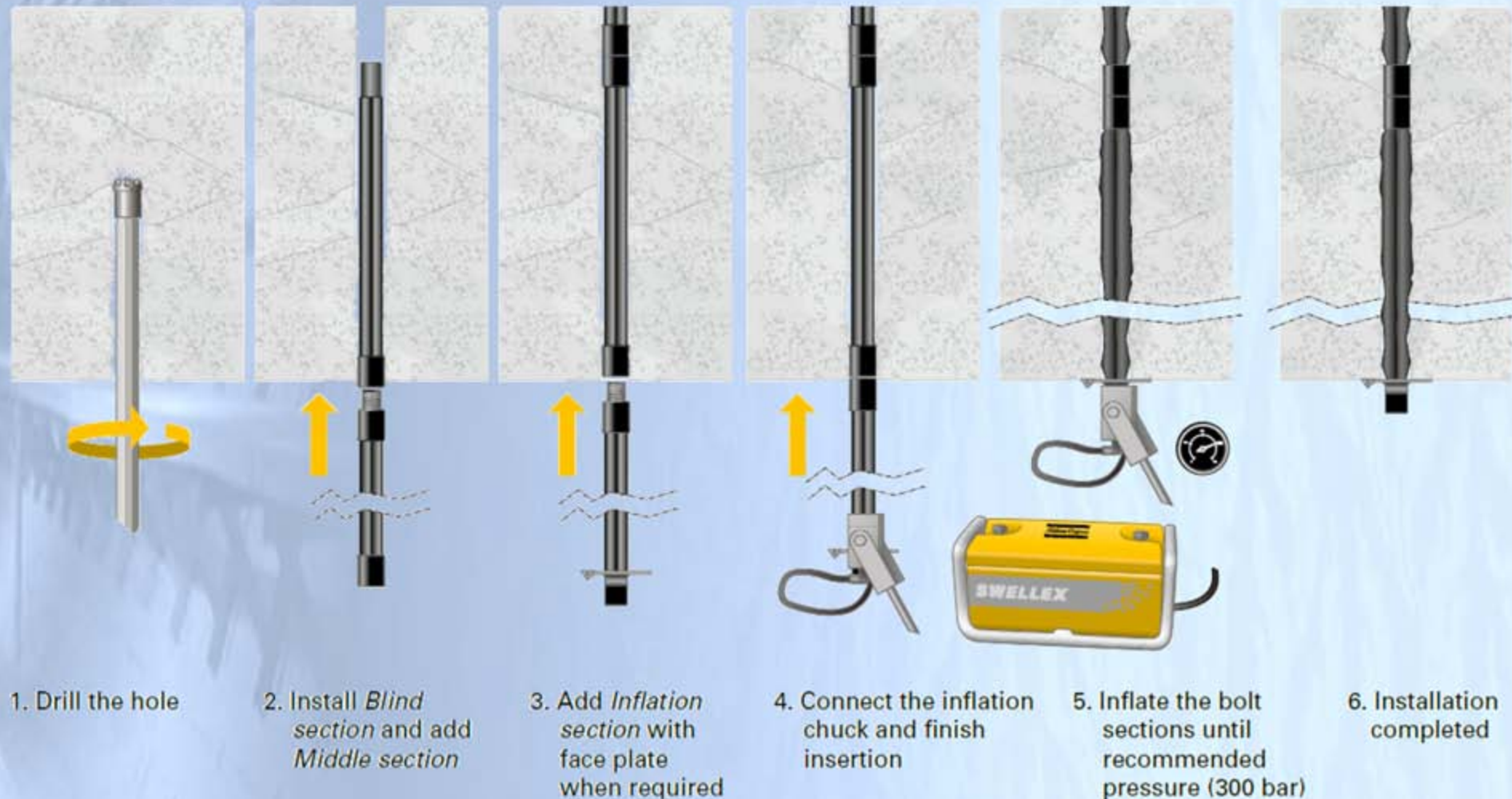




# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت متورم شونده (Swellex)

### Installation sequence



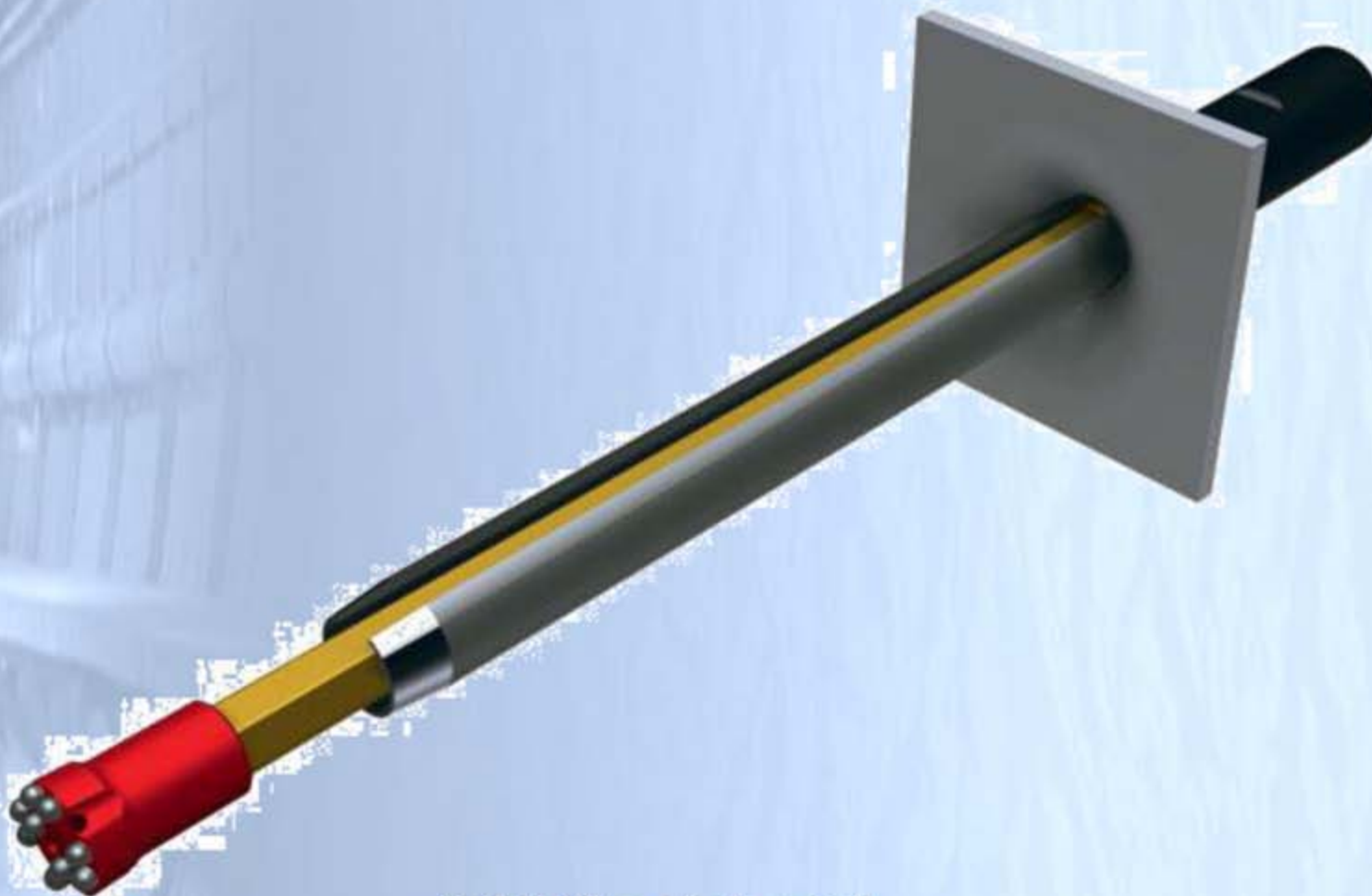


# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع بولت های مهاری: بولت خود حفرار (IBO)





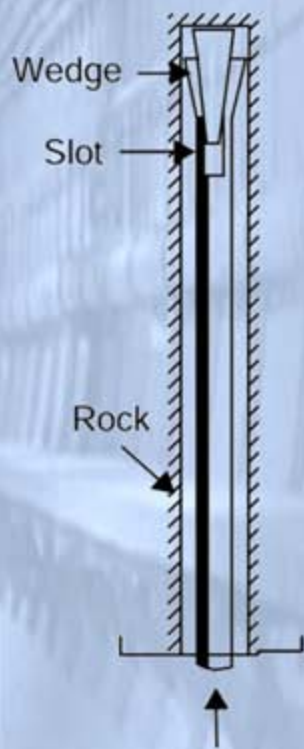


Self-Drilling Friction Bolt

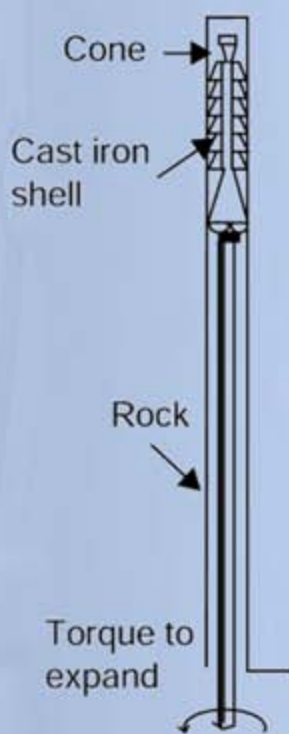


# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

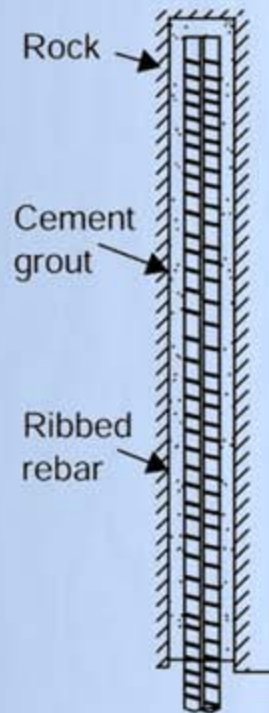
## انواع بولت های مهاری



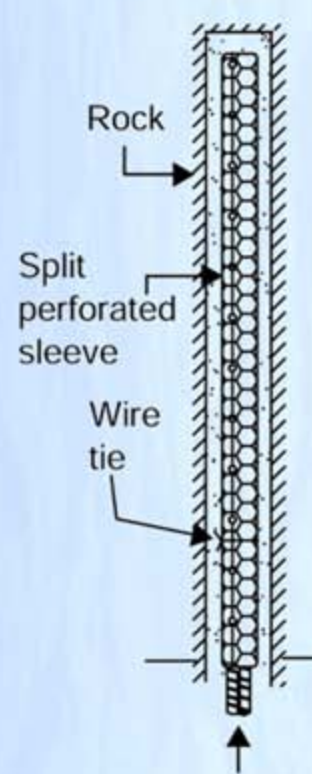
(a) Hammer in rockbolt slot & wedge bolt



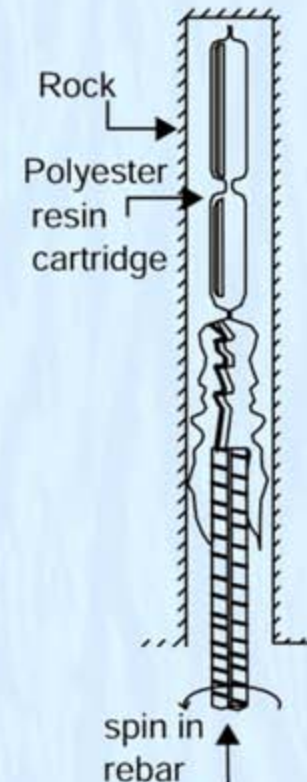
(b) Expansion shell bolts



(c) Cement grouted dowel Rock bolts different types



(d) Hammer in rebar perfo-bolt



(e) Resin-bonded bolt



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## انواع کابل ها

TYPE	LONGITUDINAL SECTION	CROSS SECTION
Multiwire tendon (Clifford, 1974)		
Birdcaged Multiwire tendon (Jirovec, 1978)		Antinode  Node
Single Strand (Hunt & Askew, 1977)		Normal  Indented  Drawn
Coated Single Strand (VSL Systems, 1982) (Dorsten et al. 1984)		Sheathed  Coated  Encapsulated
Barrel and Wedge Anchor on Strand (Matthews et al. 1983)	Double Acting Twin Anchor  Single Anchor	3 Component Wedge  2 Component Wedge
Swaged Anchor on Strand (Schmuck, 1979)		Square  Circular
High Capacity Shear Dowel (Matthews et al. 1986)		Steel tube Concrete
Birdcaged Strand (Hutchins et al. 1990)		Antinode  Node
Bulbed Strand (Garford, 1990)		Antinode  Node
Feruled Strand (Windsor, 1990)		Antinode  Node



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## دامنه کاربرد راک بولت در انواع شرایط مختلف

	Low stress levels	High stress levels
Massive rock	<p>Massive rock subjected to low in situ stress levels. Linear elastic response with little or no rock failure.</p>	<p>Massive rock subjected to high in situ stress levels. Spalling, slabbing and crushing initiates at high stress concentration points on the boundary and propagates into the surrounding rock mass.</p>
Jointed rock	<p>Massive rock, with relatively few discontinuities, subjected to low in situ stress conditions. Blocks or wedges, released by intersecting discontinuities, fall or slide due to gravity loading.</p>	<p>Massive rock, with relatively few discontinuities, subjected to high in situ stress conditions. Failure occurs as a result of sliding on discontinuity surfaces and also by crushing and splitting of rock blocks.</p>
Heavily jointed rock	<p>Heavily jointed rock subjected to low in situ stress conditions. The opening surface fails as a result of unravelling of small interlocking blocks and wedges. Failure can propagate a long way into the rock mass if it is not controlled.</p>	<p>Heavily jointed rock subjected to high in situ stress conditions. The rock mass surrounding the opening fails by sliding on discontinuities and crushing of rock pieces. Floor heave and sidewall closure are typical results of this type of failure.</p>

مرتضی جوادی اصطهباناتی



	Low stress levels	High stress levels
Massive rock	<p>Massive rock subjected to low in situ stress levels. No support or 'safety bolts' or dowels and mesh.</p>	<p>Massive rock subjected to high in situ stress levels. Pattern rockbolts or dowels with mesh or shotcrete to inhibit fracturing and to keep broken rock in place.</p>
Jointed rock	<p>Massive rock with relatively few discontinuities subjected to low in situ stress conditions. 'Spot' bolts located to prevent failure of individual blocks and wedges. Bolts must be tensioned.</p>	<p>Massive rock with relatively few discontinuities subjected to high in situ stress conditions. Heavy bolts or dowels, inclined to cross rock structure, with mesh or steel fibre reinforced shotcrete on roof and side-walls.</p>
Heavily jointed rock	<p>Heavily jointed rock subjected to low in situ stress conditions. Light patten bolts with mesh and/or shotcrete will control ravelling of near surface rock pieces.</p>	<p>Heavily jointed rock subjected to high in situ stress conditions. Heavy rockbolt or dowel pattern with steel fibre reinforced shotcrete. In extreme cases, steel sets with sliding joints may be required. Invert struts or concrete floor slabs may be required to control floor heave.</p>

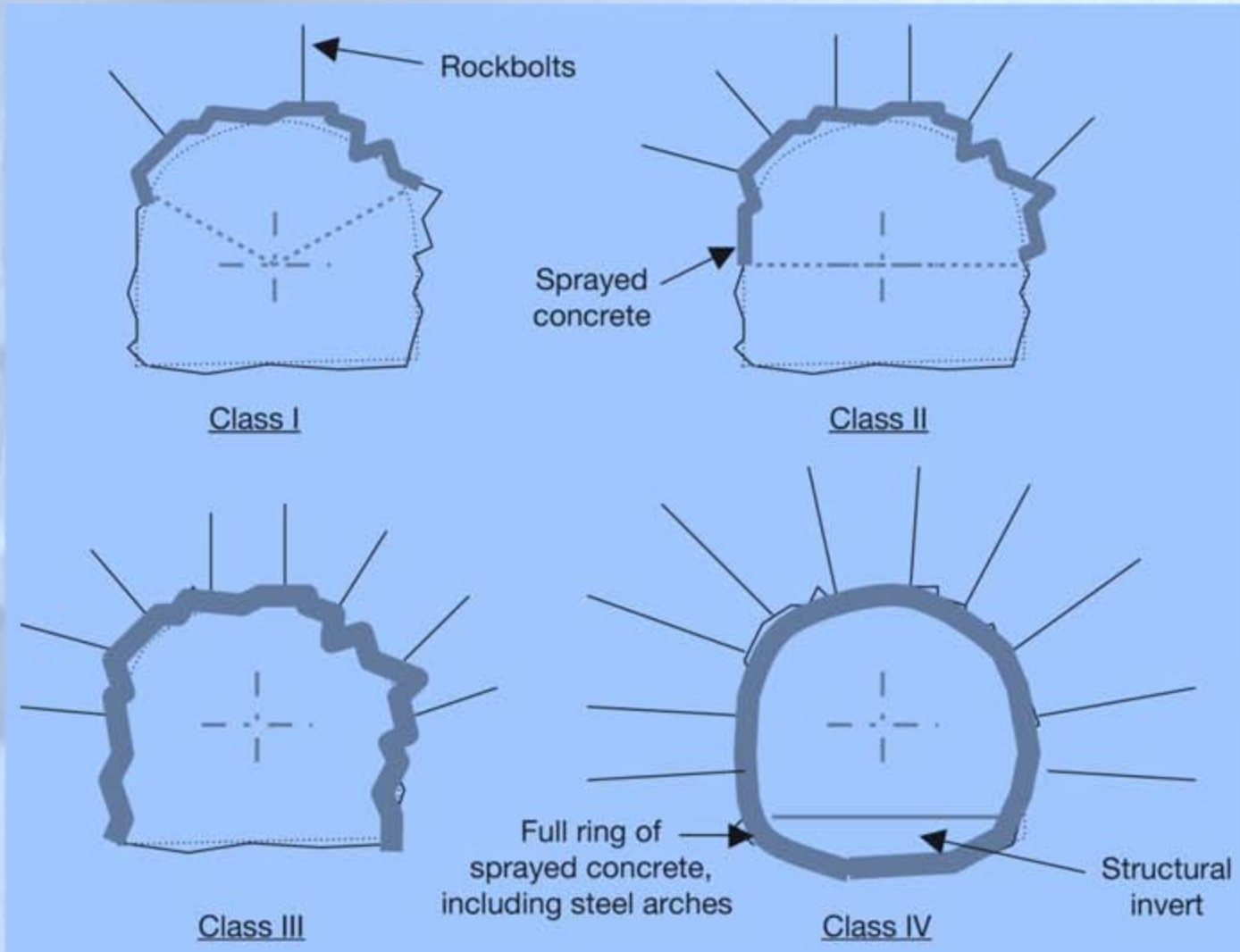
جزوه دروس نگهداری و کنترل زمین





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

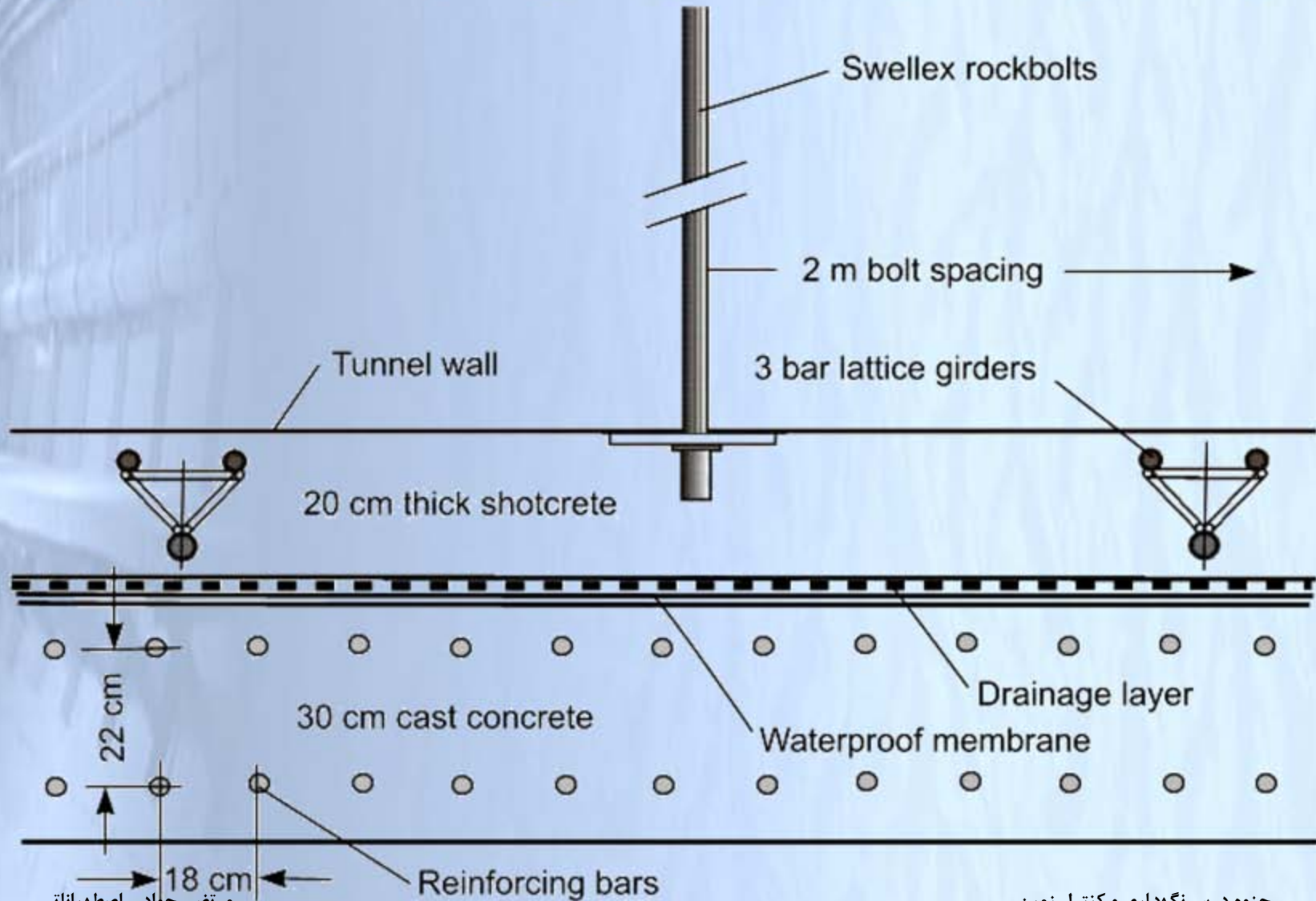
راک بولت معمولاً با سایر تحکیمات و بصورت مرکب استفاده می شود





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

راک بولت معمولاً با سایر تحکیمات و بصورت مرکب استفاده می شود







# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## مبانی پایدارسازی با المان مهاری و محاسبات

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری نحوه عملکرد بولت



(a) Preparation of frame model using aggregates.



(b) Tighten up the bolts (upper side).



(c) Bottom view of the bolts of frame model.

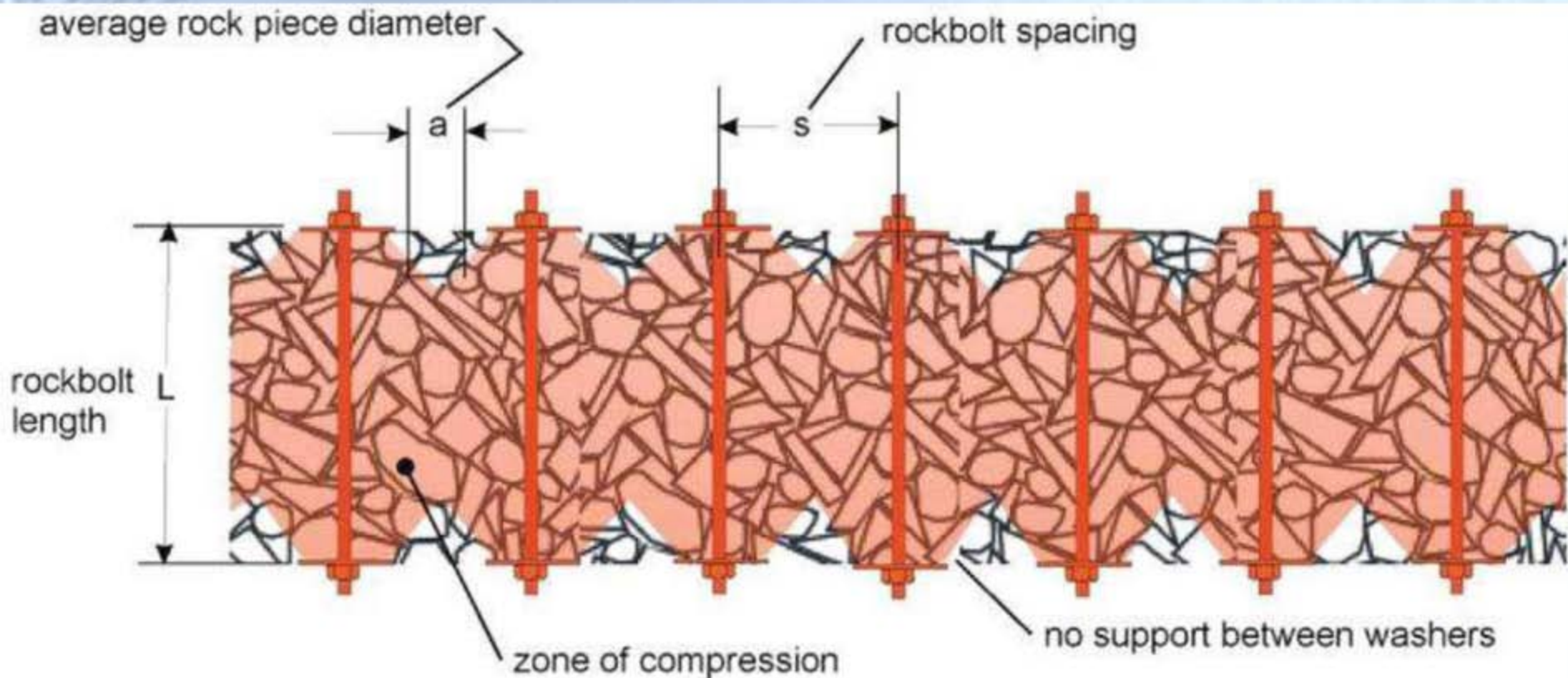


(d) The load-carrying capacity of the bolted gravel plate.





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری نحوه عملکرد بولت

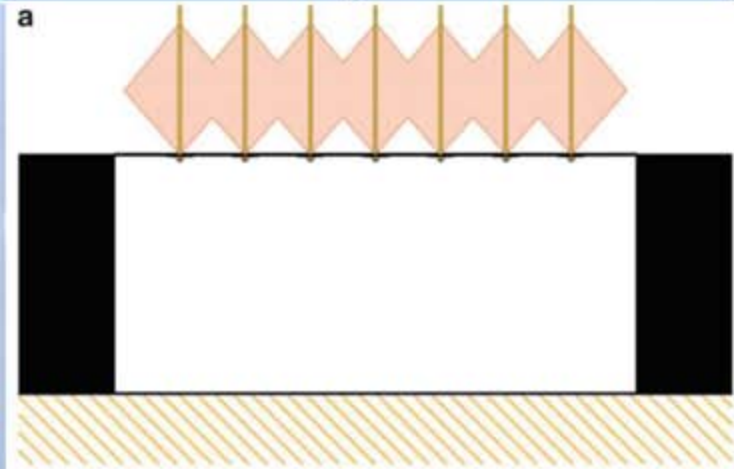


Theoretical zone of compression by bolting (Hoek, 2007)

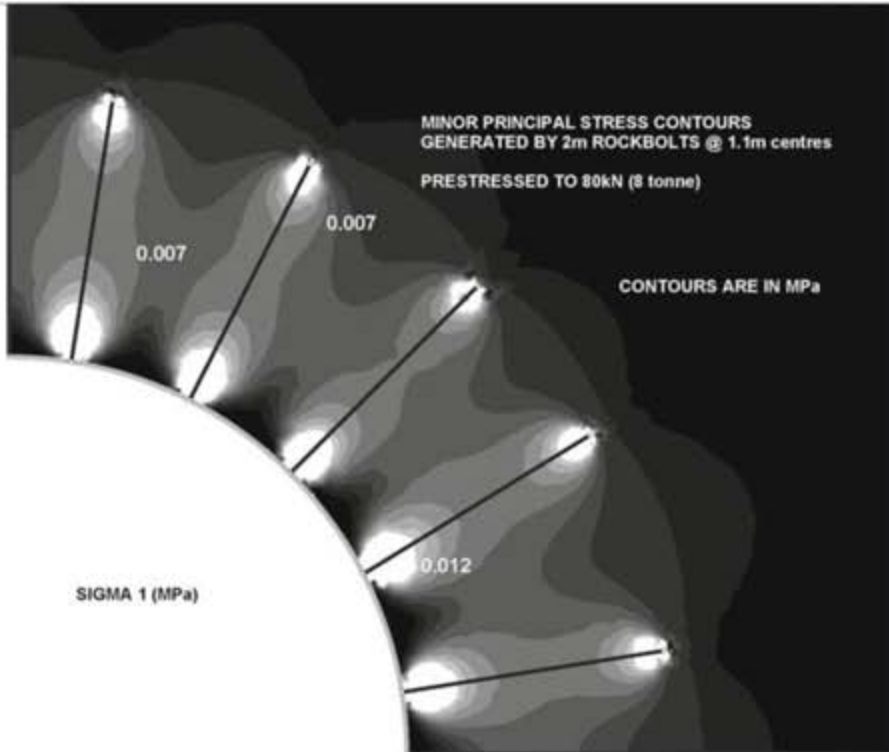
$$S < 3a$$

$$L \approx 2 \text{ to } 3 S;$$

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری نحوه عملکرد بولت



Stage 1 (1 of 3)





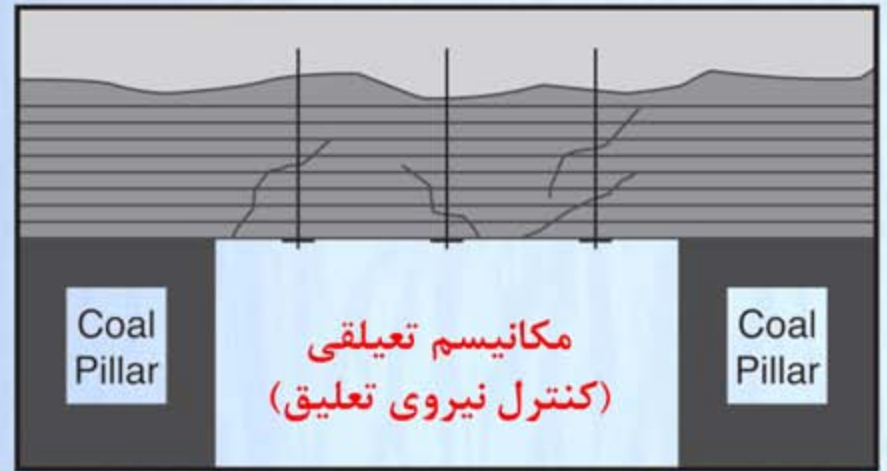


# Roof support mechanisms

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری مکانیزم های کنترل سقف با راک بولت



A. Skin Support



B. Suspension



C. Beam Building



D. Supplemental Support



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## مکانیزم های کنترل سقف با راک بولت

**مکانیسم پوشش سطحی (ایجاد پوشش مجازی):** ایجاد یک سطح مجازی در مرز سقف (حفریه) جهت کنترل سقوط قطعات و بلوک های کوچک سنگ. این عمل توسط بولت و صفحه پلیت انجام می شود.

**مکانیسم تعلیق (کنترل وزن بخش های معلق یا آویزان):** وقتی یک فضای زیرزمینی ایجاد می گردد، سقف اولیه ی به سمت درون تونل حرکت می کند و به این ترتیب از سقف اصلی جدا میشود. چنانچه سقف اولیه توسط پیچ سنگ به سقف اصلی که دارای استحکام کافی و قادر به نگهداری خود می باشند، دوخته شود، از حرکت و ریزش سقف اولیه جلوگیری می شود.

**مکانیسم ایجاد تیر (تبدیل لایه های مجزا به یک تیر با ضخامت زیاد):** در این حالت، لایه های ضعیف به یکدیگر متصل شده و لایه ای ضخیم تری به وجود می آورند. با نصب پیچ سنگ در میان این لایه ها، نیروی اصطکاکی، متناسب با نیروی اتصال یا کشش پیچ سنگ ایجاد می شود. نیروی اصطکاکی از حرکت در امتداد صفحات لایه بندی جلوگیری کرده، سقف را پایدار می کند.

**مکانیسم ترکیبی و الحاقی (ایجاد قفل شدگی و قوس فشار):** نصب بولت باعث ایجاد نیروی فشاری در راستای عمود بر درزه ها شده و افزایش نیرو باعث افزایش مقاومت برشی درزه ها (اصطکاک سطوح) شده و نهایتاً باعث کاهش مقدار جابجایی و افزایش مقاومت می شود. همچنین، این مکانیسم می تواند باعث افزایش تنش فشاری و محصورکننده شده و عملکرد تئوری قوس فشار نیز افزایش می یابد.





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری مکانیزم های کنترل سقف با راک بولت مکانیسم تعلیق (کنترل وزن بخش های معلق یا آویزان)

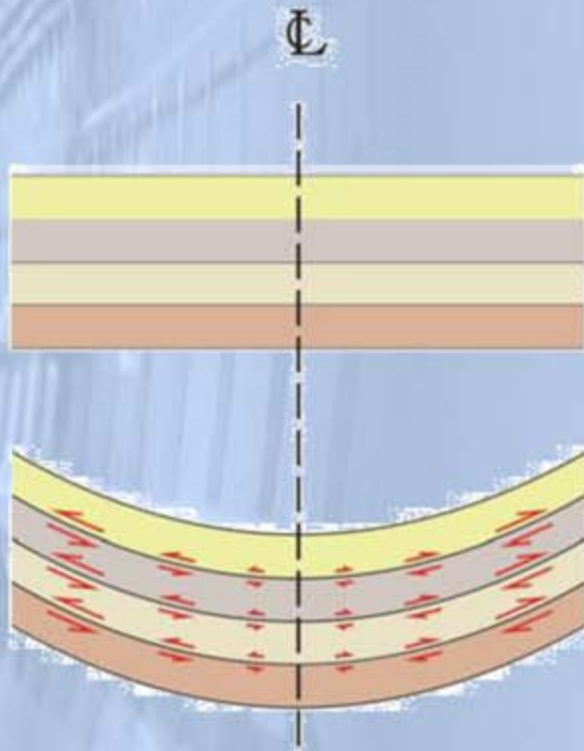




# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## مکانیزم های کنترل سقف با راک بولت

### مکانیزم ایجاد تیر (تبدیل لایه های مجزا به یک تیر با ضخامت زیاد)



- In order to sag, layers have to slide past each other
  - No sliding at mid-span of each beam
- مرتضی جوادی اصطهباناتی

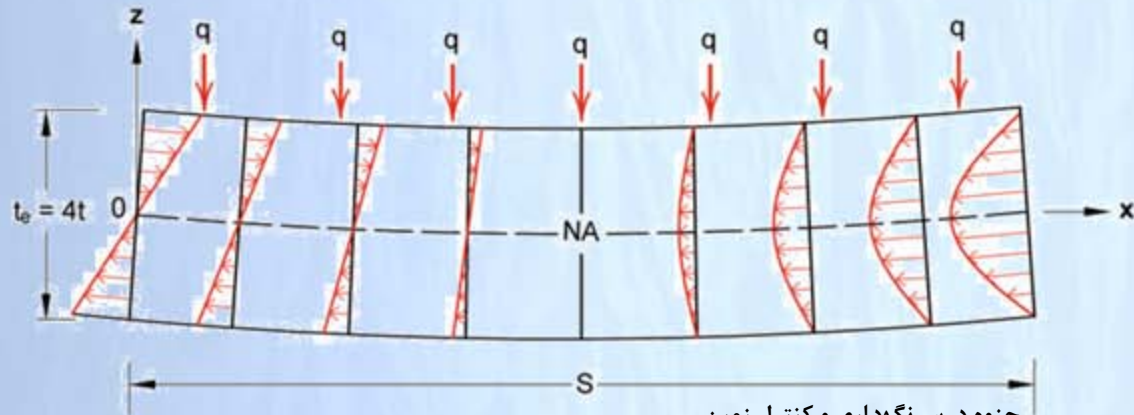
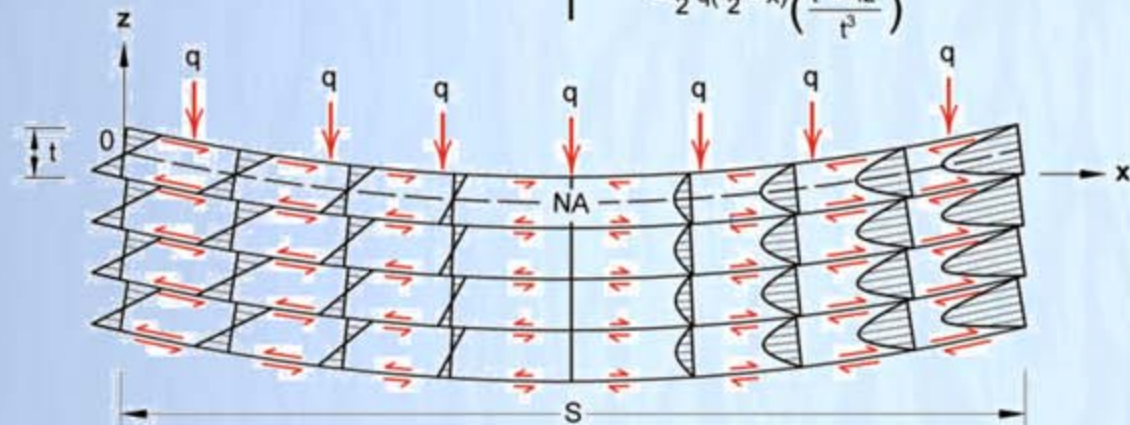
Shear Force,  $V_x$

$$V_x = q\left(\frac{S}{2} - x\right)$$

Shear Stress,  $\tau_{xz} = \tau_{zx}$

$$\tau_{xz} = \frac{3V_x}{2} \left(\frac{t^2 - 4z^2}{t^3}\right)$$

$$= \frac{3}{2} q \left(\frac{S}{2} - x\right) \left(\frac{t^2 - 4z^2}{t^3}\right)$$







# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## مکانیزم های کنترل سقف با راک بولت

### مکانیسم ایجاد تیر (تبدیل لایه های مجزا به یک تیر با ضخامت زیاد)



An illustration of the effectiveness of angled bolts installed towards the abutment in controlling failure of a laminated coal roof





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## مکانیزم های کنترل سقف با راک بولت

### مکانیسم ایجاد تیر (تبدیل لایه های مجزا به یک تیر با ضخامت زیاد)



An example of failed immediate roof suspended off the excavation abutments by means of long tendons angled over the ribline and trussed across the excavation





## Suspension Design

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## طراحی بولت با مکانیسم تعلیقی

۱- بولت ها باید در سقف اصلی (که دارای استحکام کافی است) نفوذ کند.

۲- طول نفوذ بولت ها در سقف اصلی (حداقل ۷۰ سانتی متر)

۳- کل وزن طبقات معلق باید توسط مجموع ظرفیت کششی بولت ها تحمل شود. وزن طبقات معلق بصورت حاصل ضرب حجم (کل سطح سقف در ضخامت طبقات معلق) در وزن مخصوص سنگ محاسبه می شود.

۴- ظرفیت کششی هر بولت بصورت حاصل ضرب مقاومت کششی راد بولت در سطح مقطع راد بولت محاسبه می شود.

۵- ظرفیت کششی مجموع بولت بصورت حاصل جمع کل بولت ها محاسبه می شود.

۶- ضریب ایمنی: نسبت ظرفیت کششی بولت ها به وزن طبقات معلق

$$S_b = \sigma_y * (\pi d^2 / 4)$$

$$P = \rho_r * h_r * w_b * l_b$$

S<sub>b</sub>: Capacity of Bolt

W<sub>b</sub>: width of the bolt support (tributary) area

σ<sub>y</sub>: yield strength of a bolt

l<sub>b</sub>: length of the bolt support area

d: diameter of the bolt

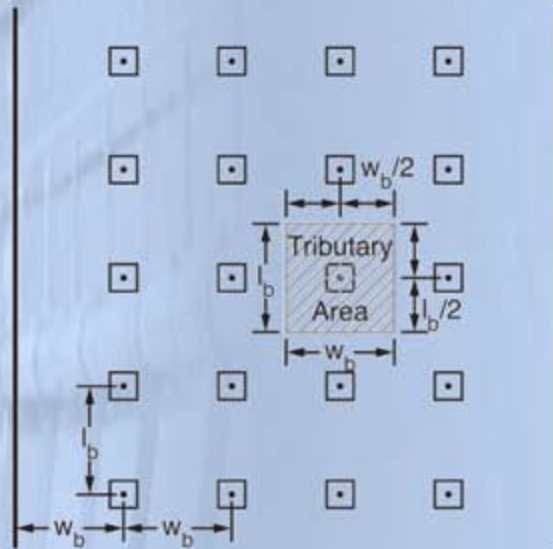
H<sub>r</sub>: height of the rock column or thickness of rock

ρ<sub>r</sub>: Rock Unit Weight

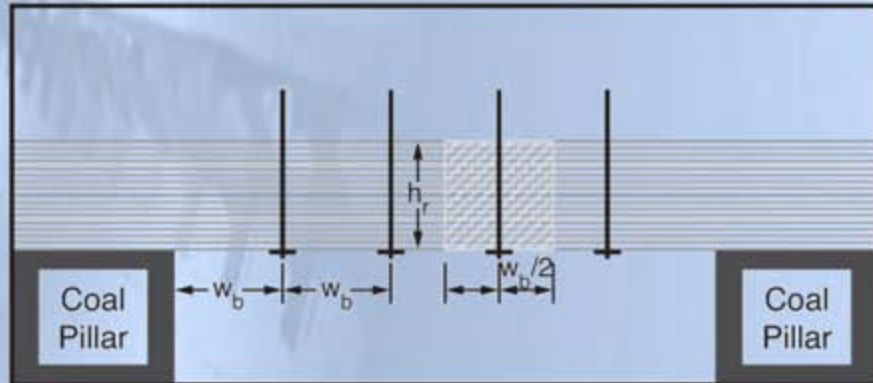


# Suspension Design

## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با مکانیسم تعلیقی



Plan View



Cross-Section View

$$S_b = \sigma_y * (\pi d^2 / 4)$$

S<sub>b</sub>: Capacity of Bolt

σ<sub>y</sub>: yield strength of a bolt

d: diameter of the bolt

$$P = \rho_r * h_r * w_b * l_b$$

P: weight of the rock

W<sub>b</sub>: width of the bolt support  
(tributary) area

l<sub>b</sub>: length of the bolt support area

h<sub>r</sub>: height of the rock column or  
thickness of rock

ρ<sub>r</sub>: Rock Unit Weight

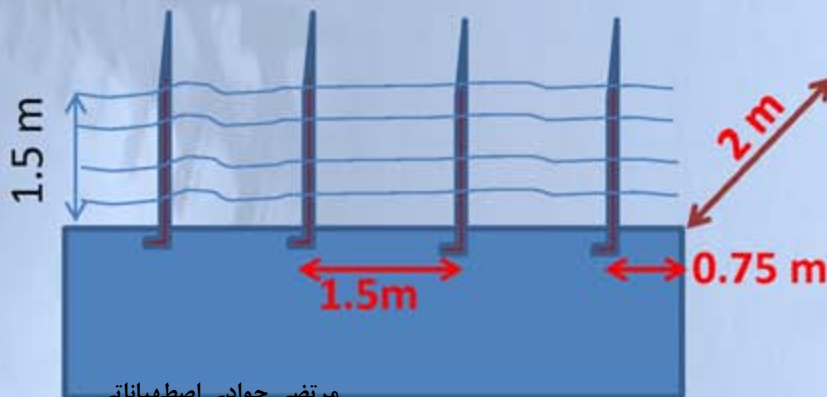




## Suspension Design

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با مکانیسم تعلیقی

**مثال:** یک راهروی معدنی زغال با عرض 6 متر را در نظر بگیرید. در بالای سقف راهرو، چندین لایه ضعیف شیل و گچی (با دانسیته متوسط 2.5) وجود داشته که ضخامت این لایه ها 1.5 متر بوده و در بالای این لایه ها، یک لایه ضخیم و مقاوم ماسه سنگی واقع شده است. برای این راهرو، سیستم تحکیم بصورت راک بولت در نظر گرفته شده است. اگر فاصله بولت ها در عرض راهرو 1.5 متر باشد (در هر ردیف تعداد 4 بولت نصب شود) و فاصله ردیف های بولت در طول راهرو 2 متر باشد و راک بولت ها دارای قطر 28 میلی متر از نوع فولاد A3 با مقاومت تسلیم 400 Mpa باشند و ضریب کاهشده مقاومت تسلیم (ضریب طراحی) فولاد 75% باشد، ضریب ایمنی پایداری سقف را محاسبه کنید.





## Suspension Design

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با مکانیسم تعلیقی

**حل مثال:**

Num. of Bolt in Row=4

$W_b=2 \text{ m}$      $W_{entry}=6 \text{ m}$      $h_r=1.5 \text{ m}$      $\rho_r=2.5 \text{ (Ton/m}^3\text{)}$

Volume roof =  $W_b * W_{entry} * h_r = 2 * 6 * 1.5 = 18 \text{ m}^3$

Weight Roof =  $2.5 * 18 = 45 \text{ Ton}$

$\sigma \text{ (Steel)} = 400 \text{ Mpa} = 4 \text{ Ton/cm}^2$

$\sigma_y$ : yield strength of bolt =  $\sigma_y \text{ (Steel)} * \text{Reduction Factor} = 400 * 0.75 = 300 \text{ Mpa}$   
=  $3 \text{ Ton/cm}^2$

$S_b$ : Capacity of 1 Bolt =  $\sigma_y * \text{Area bolt} = 3 [\text{Ton/cm}^2] * 3.14 * (1.4^2) = 18.46 \text{ Ton}$

$\Sigma S_b$ : Capacity of All Bolt in Row =  $(\text{Num. of Bolt in Row}) * S_b = 4 * 18.46 = 73.85 \text{ Ton}$

$S.F = (\Sigma S_b / \text{Weight Roof}) = 73.85 / 45 = 1.65$

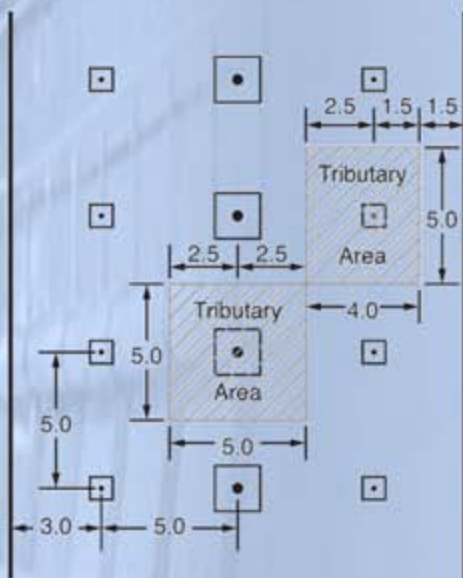




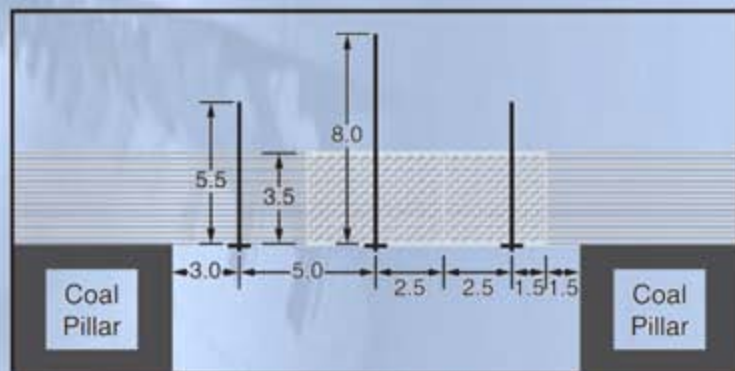
## Suspension Design

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با مکانیسم تعلیقی

**تمرین:** برای شکل روبرو، ضریب ایمنی را محاسبه نمایید. دانسیته سقف را 2 و قطر بولت را 38 میلی متر، مقاومت تسلیم فولاد را 800 Mpa و ضریب کاهش مقاومت فولاد (در کشش) را 0.85 در نظر بگیرید.



Plan View



Cross-Section View



## Beam Building Design

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با مکانیسم ایجاد تیر

یکی از بهترین روش های طراحی، روش NIOSH's Analysis of Roof Bolt Systems (ARBS) است. این روش، تجربی بوده و بر اساس روابط تجربی مختلف توسعه یافته است.

$$CMRR < 21.6 + 11.5 * (\log H)$$

مقدار اندیس CMRR باید از این عدد کمتر باشد

CMRR: Coal Mine Roof Rating

$$I_{s_G} = 20 + 0.26 * (CMRR)$$

$$L_B = (I_s / 6.7) (\log H) \left[ \frac{100 - CMRR}{100} \right]^{1.5}$$

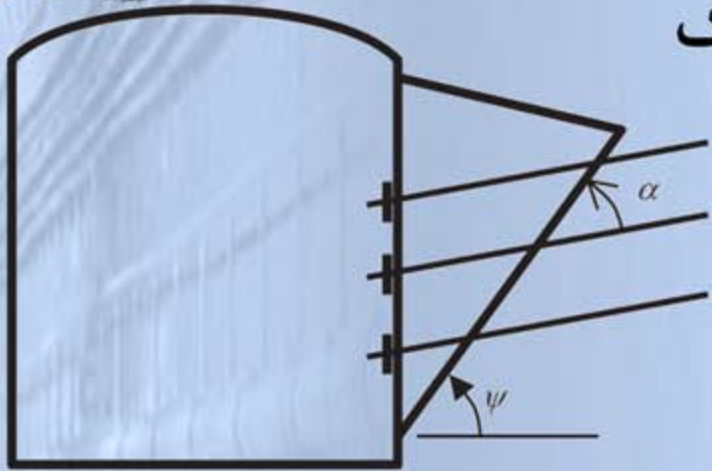
$$ARBS_G = SF \left[ \begin{array}{l} (0.3(I_s - I_{s_G})) + (5.7 \log_{10} H) \\ -(0.35 * CMRR) + 6.5 \end{array} \right] \quad (EQ 3.66)$$

$$ARBS = \frac{(L_b)(N_b)(C)}{(S_b)(W_c)}$$

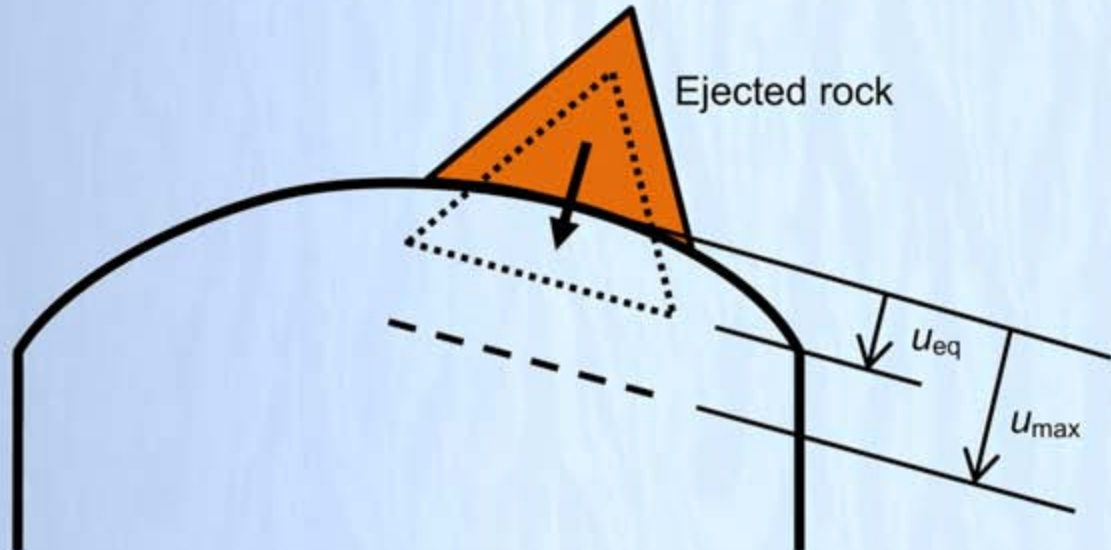


# Wedge Failure

## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل سقوط و لغزش بلوک



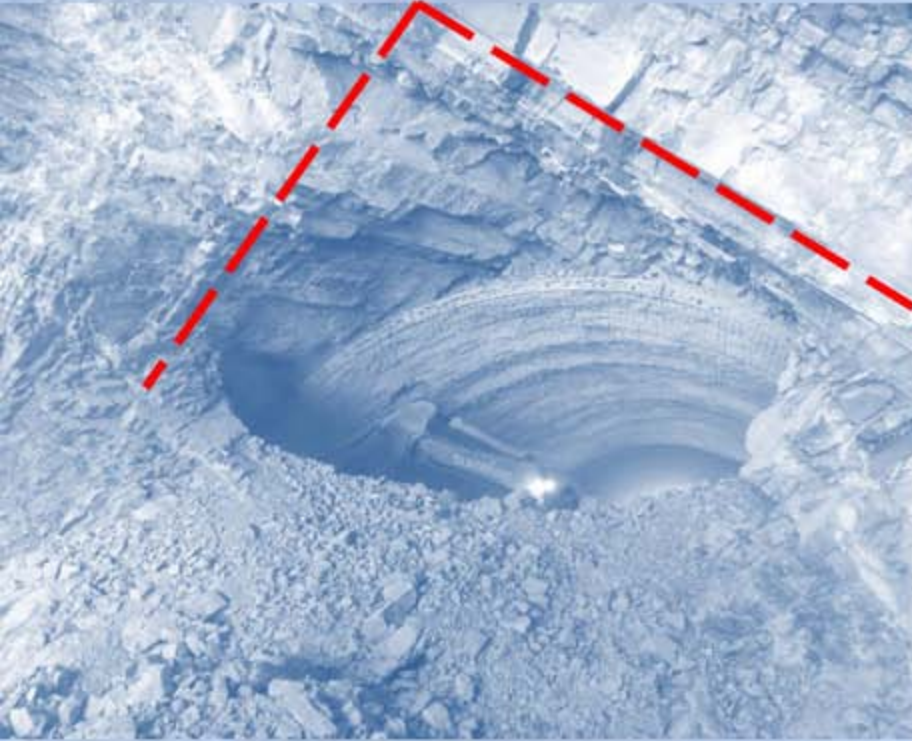
سقوط بلوک از سقف و لغزش بلوکی در دیواره ها از مهم ترین مکانیسم های ناپایداری تونل و فضاهای زیرزمینی بوده و یکی از بهترین راهکارها برای جلوگیری از این نوع مکانیسم ناپایداری، استفاده از راک بولت است. نیروی ناشی از بولت باعث افزایش نیروی عمودی وارد بر سطح شده که این نیرو باعث افزایش اصطکاک در سطح لغزش می شود.





## Wedge Failure

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری ریزش بلوکی







## Wedge Failure

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری ریزش بلوکی





## Wedge Failure

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری ریزش بلوکی







## Wedge Failure



## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل سقوط بلوک

سقوط بلوکی از سقف: گوه سنگی در اثر وزن سقوط می کند. در این حالت:

$T = \sum t$  ,  $t$  is the force in a single rockbolt  
مجموع ظرفیت بولت ها ( $T$ ) به گوه اعمال می شود.

$$N_{\text{bolt}} = FS \frac{Wg}{P_{\text{ult}}}$$

$N_{\text{bolt}}$  تعداد بولت های مورد نیاز

$P_{\text{ult}}$  ظرفیت کششی بولت ( $t$ )

$Wg$  وزن گوه سنگی است.

رابطه فوق برای حالتی برقرار است که بولت ها بطور قائم نصب شوند. اگر بولت ها دارای زاویه نسبت به قائم باشند، مولفه نیروی قائم باید بجای  $P_{\text{ult}}$  استفاده شود.



## Wedge Failure



## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل سقوط بلوک

مثال: اگر یک گوه سنگی مطابق شکل روبرو در سقف تونل ایجاد شود و عرض قاعده بلوک در سقف برابر با 8 متر و حداکثر ارتفاع گوه 6 متر باشد، با فرض اینکه دانسیته سنگ 2.5 باشد، آرایش راک بولت با قطر 28 میلی متر فولادی با مقاومت کششی 400 Mpa (ضریب کاهشده فولاد را 0.75 در نظر بگیرید) مورد نیاز را برای تامین ضریب ایمنی 1.5 محاسبه کنید.

$$N_{\text{bolt}} = FS \frac{Wg}{P_{\text{ult}}}$$





## Wedge Failure

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل سقوط بلوک

حل مثال: ابتدا وزن بلوک در واحد طول تونل محاسبه شده، سپس ظرفیت یک بولت محاسبه می شود. در ادامه، تعداد بولت مورد نیاز برای یک متر طول تونل محاسبه می شود.

Volume of Block =  $(1/3) A h = 6 * 8/3 = 16 \text{ m}^3$  per 1 meter of Tunnel Length

W Block =  $2.5 * 16 = 40 \text{ Ton}$  per 1 meter of Tunnel Length

$\sigma$  (Steel) = 400 Mpa = 4 Ton/cm<sup>2</sup>

$\sigma_y$ : yield strength of bolt =  $\sigma_y$ (Steel) \* Reduction Factor =  $400 * 0.75 = 300 \text{ Mpa} = 3 \text{ Ton/cm}^2$

Pult:: Capacity of 1 Bolt =  $\sigma_y * \text{Area bolt} = 3 [\text{Ton/cm}^2] * 3.14 * (1.4^2) = 18.46 \text{ Ton}$

Num. of Bolt (per 1 meter of Tunnel Length) =  $(FS * W \text{ Block}) / Pult = (40 * 1.5) / 18.46 = 3.25$

**Density of Bolt = 3.25 Bolt/m<sup>2</sup>**

If the distance of bolt in direction of Tunnel be 1 m, Then

bolt Spacing =  $\text{width of block} / \text{Num. of Bolt (per 1 meter of Tunnel Length)} = 8 / 3.25 = 2.46 \text{ m}$

# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل لغزش بلوک

لغزش بلوکی در دیواره: گوه سنگی در اثر وزن بر روی سطح پایین لغزش می کند. در این حالت:

$T = \sum t$  ,  $t$  is the force in a single rockbolt  
مجموع ظرفیت بولت ها ( $T$ ) به گوه اعمال می شود.

$$N = Wg \cos \psi + T \sin \alpha$$

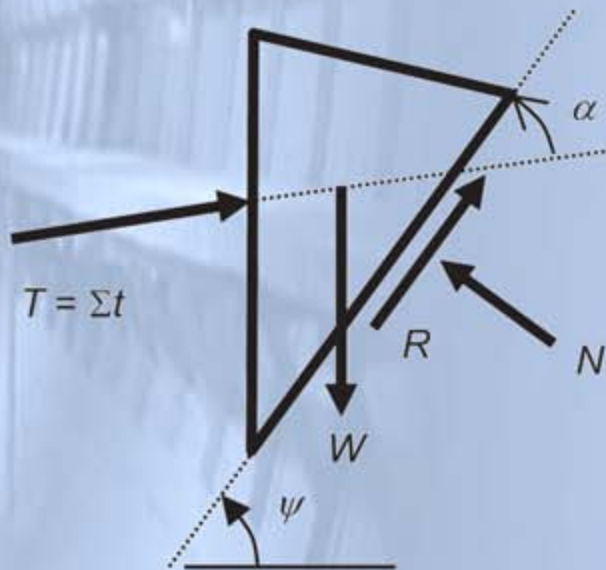
نیروی عمودی وارد بر سطح لغزش  
 $Wg$  وزن گوه سنگی است.

$$R = cA + (Wg \cos \psi + T \sin \alpha) \tan \phi_a$$

نیروی مخالف لغزش (مقاومت در برابر لغزش)

$$D = Wg \sin \psi - T \cos \alpha$$

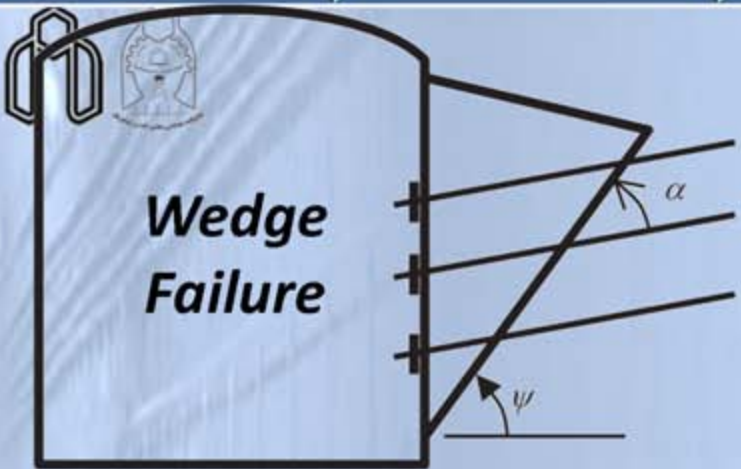
نیروی ایجاد کننده لغزش (مولفه نیروی برشی در جهت لغزش)





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل لغزش بلوک

نیروی بولت ها چگونه ای محاسبه می شود که ضریب ایمنی مناسب بشرح زیر بدست آید:



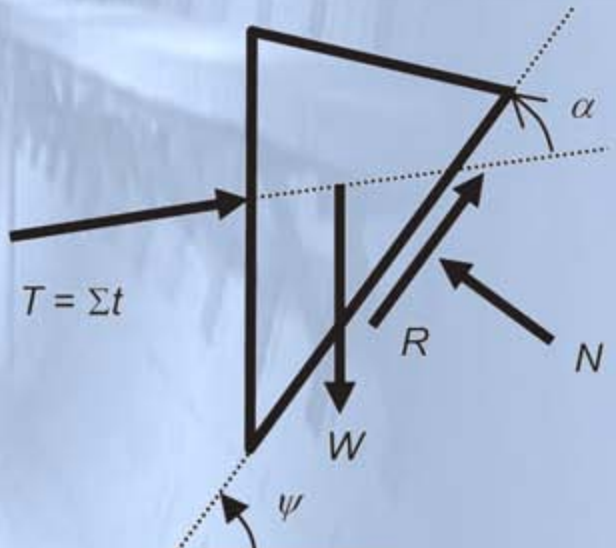
$$FS = \frac{R}{D} = \frac{cA + (Wg \cos \psi + T \sin \alpha) \tan \phi_a}{Wg \sin \psi - T \cos \alpha}$$

حداقل نیروی بولت (ضریب ایمنی یک) برای درزه های باز (چسبندگی صفر)

$$T = Wg \frac{\sin \psi - \cos \psi \tan \phi_a}{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi_a}$$

بهترین زاویه قرار گیری بولت ها نسبت به درزه

$$\alpha_c = \phi_a$$



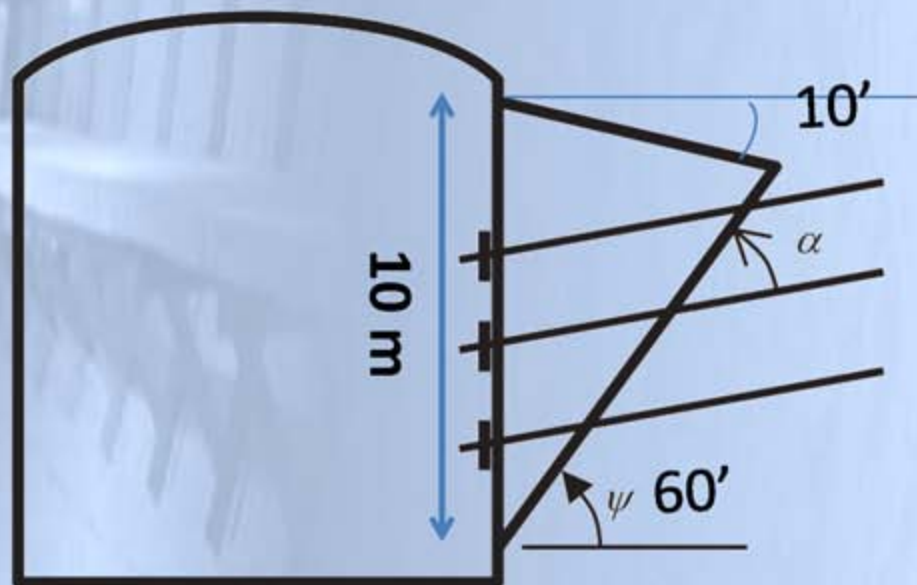


# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## طراحی بولت برای کنترل لغزش بلوک

مثال: یک گوه لغزشی مطابق شکل زیر در دیواره تونل ایجاد شده است. اگر زاویه سطح لغزش نسبت به افق 60 درجه باشد و زاویه اصطکاک و چسبندگی سطح لغزش بترتیب 30 درجه و 15 کیلوپاسکال باشد، آرایش راک بولت فولادی با مقاومت کششی 400 Mpa (ضریب کاهشده فولاد را 0.75 در نظر بگیرید) برای تحکیم این بلوک لغزشی را محاسبه کنید: قطر راک بولت را انتخاب کنید.

زاویه راک بولت ها را در حالت بهینه انتخاب نمایید.  
ضریب ایمنی را 1.5 در نظر بگیرید.

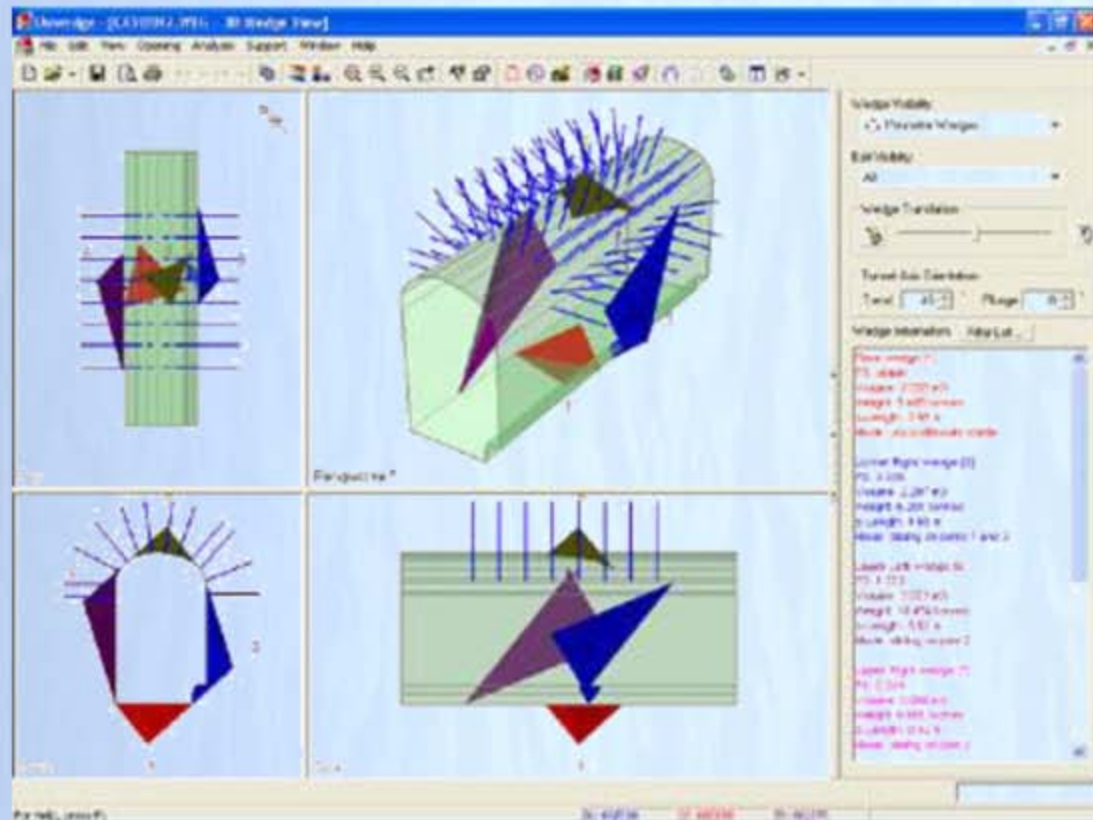
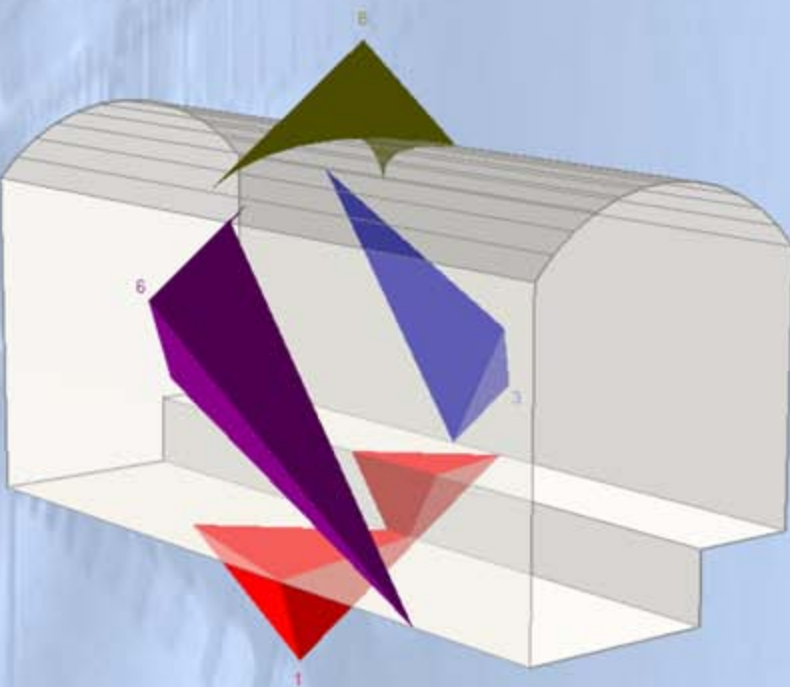






# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت برای کنترل ریزش بلوکی

در صورتی که مشخصات ناپیوستگی ها با هم متفاوت باشد، بهترین گزینه استفاده از نرم افزار UNWEDGE است.





## تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

طراحی بولت با استفاده از روابط تجربی و روابط سر انگشتی

ابتدا طول بولت بصورت تابعی از عرض تونل محاسبه می شود:

$$L = \frac{B}{2}$$

برای سنگ های ضعیف

$$L = \frac{B}{3}$$

برای سنگ های خوب

$$L = B^{2/3}$$

رابطه لانگ و بیسکوف

سپس فاصله داری بولت بصورت نصف طول بولت محاسبه می شود:

$$Spacing = \frac{L}{2}$$





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با استفاده از روابط تجربی

لانگ (Lang) ۱۹۸۱: **حداقل طول بولت** را بصورت سه مقدار زیر پیشنهاد کرده است:

- ۱- طول بولت دو برابر فاصله داری بولت ها
- ۲- طول بولت سه برابر عرض بلوک های بحرانی و یا سه برابر متوسط فاصله داری درزه ها
- ۳- برای تونل های با عرض کمتر از ۶ متر، طول بولت برابر با نصف عرض تونل، برای تونل های با عرض بیشتر از ۱۸ متر، طول بولت یک چهارم عرض تونل و برای تونل های با عرض ۶ تا ۱۸ متر، ضریب فوق بصورت درونیابی انتخاب می شود. بطور مثال، برای تونل با عرض ۱۲ متر، طول بولت برابر با یک سوم عرض تونل خواهد بود.

**بعد از محاسبه سه مقدار فوق، بیشترین مقدار بعنوان طول بولت انتخاب می شود.**

**فاصله داری بولت ها** در این روش، بصورت کمترین مقدار حاصل از دو روش زیر انتخاب می شود:

- ۱- فاصله داری بولت ها برابر با نصف عرض تونل
- ۲- فاصله داری بولت ها معادل با 1.5 برابر فاصله داری درزه ها



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری

## طراحی بولت با استفاده از روابط تجربی

مثال: برای یک تونل به عرض 10 متر در توده سنگ که متوسط فاصله داری درزه های آن 80 سانتی متر است، طول و فاصله داری بولت ها را با روش لانگ ۱۹۶۱ محاسبه کنید:

الف) تخمین فاصله داری بولت:

$$S1 = 0.5 B = 0.5 * 10 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

$$S2 = 1.5 s = 1.5 * 0.8 \text{ m} = 1.2 \text{ m}$$

$$S = \text{Min}(S1, S2) = \text{Min}(5, 1.2) = 1.2 \text{ m}$$

ب) تخمین طول بولت:

$$L1 = 2 * S = 2 * 1.2 = 2.4 \text{ m}$$

$$L2 = 3 * s = 3 * 0.8 = 2.4 \text{ m}$$

$$L3 = 0.5 \sim 0.25 B [B: 6 \sim 18 \text{ m}], B = 10 \text{ m} \rightarrow L3 = 0.416 B = 4.16 \text{ m}$$

$$L = \text{Max}(L1, L2, L3) = \text{Max}(2.4, 2.4, 4.16) = 4.16 \text{ m}$$

**$L = 4.16 \text{ m}$  Consider the Real Work, SUGGEST the  $L = 4$  (A ratio of 12 m)**





# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت با استفاده از روابط تجربی

تخمین طول راک بولت و فاصله داری با استفاده از RMR (روابط بنیادیسکی)

طول بولت بصورت تابعی از بارسنگ ارائه شده است.  
بیشتر برای بولت های رزینی و بولت های مکانیکی است.

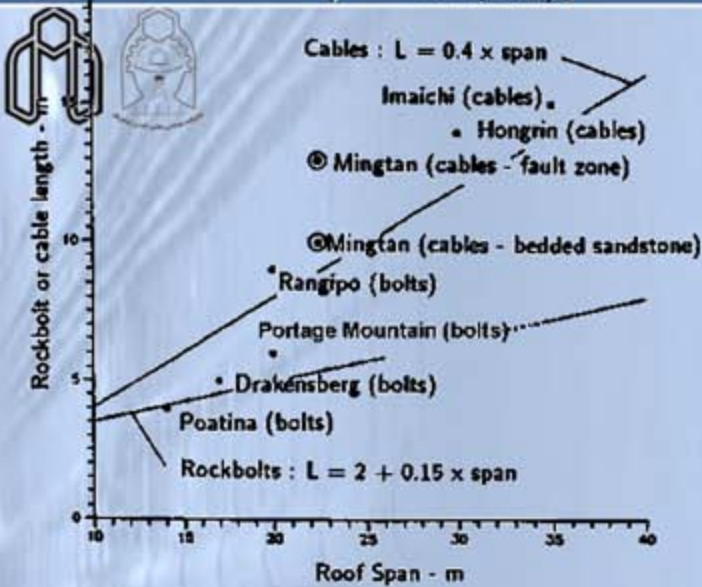
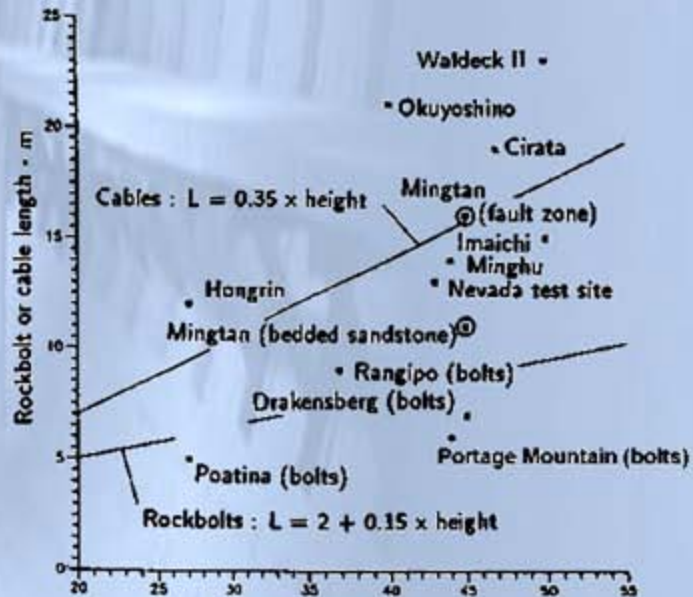


Figure 13.16: Rockbolt and cable lengths for roof support in some large caverns in weak rock.



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت و کابل برای مغارها

طول بولت و کابل بصورت روابط و نمودار  
طول بولت و کابل متفاوت هستند  
طول ها در سقف و دیواره متفاوت هستند  
عمدتا از روابط بارتن

Excavation category	ESR
A Temporary mine openings.	3-5
B Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations.	1.6
C Storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels.	1.3
D Power stations, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portal intersections.	1.0
E Underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities, factories.	0.8



# تحکیم فضای زیرزمینی با استفاده از المان مهاری طراحی بولت و کابل برای مغارها

## روابط بارتن

Roof:	bolts	$L = 2 + 0.15 B/ESR$
	anchors	$L = 0.40 B/ESR$
Walls:	bolts	$L = 2 + 0.15 H/ESR$
	anchors	$L = 0.35 H/ESR$

where

- $L$  = length in metres
- $B$  = span in metres
- $H$  = excavation height in metres
- $ESR$  = excavation support ratio

این روابط و چارت بیشتر برای مغارها در سنگ ضعیف  
بکار می روند.

Rockbolt and cable lengths for support in  
some large caverns in weak rock

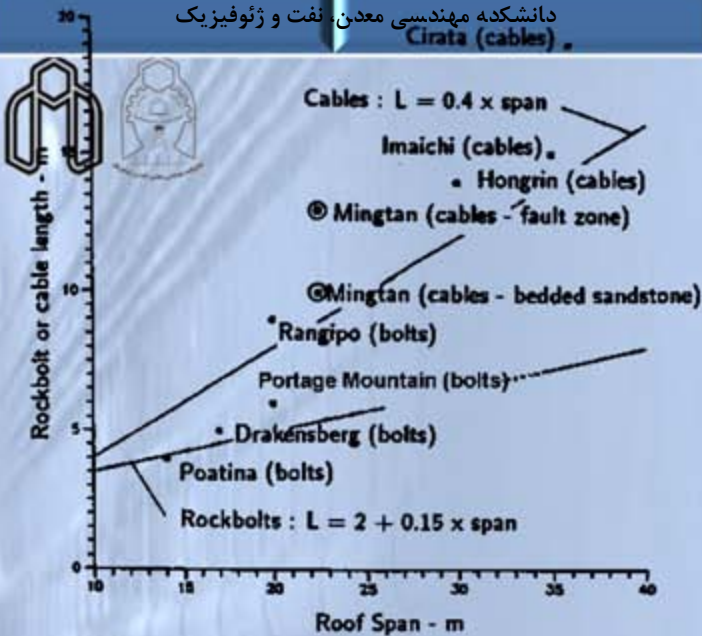
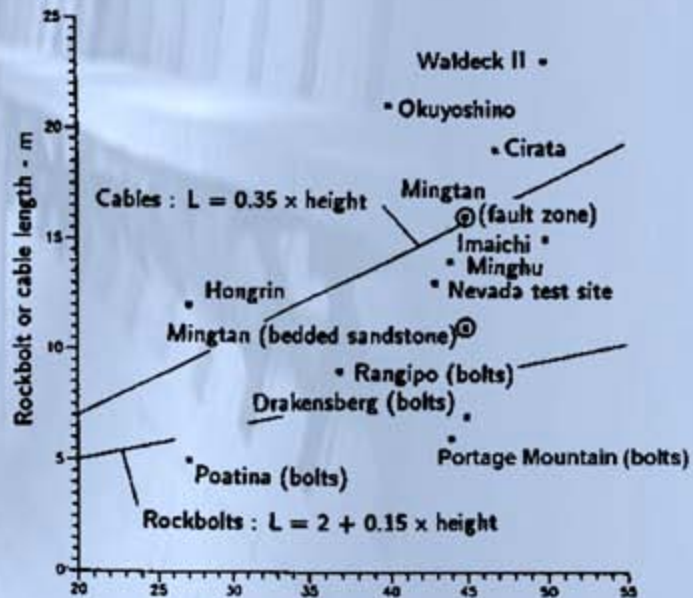


Figure 13.16: Rockbolt and cable lengths for roof support in some large caverns in weak rock.



# محاسبات طراحی بولت با GRC-SRC

$$\frac{1}{K} = \frac{s_c s_l}{r_i} \left( \frac{4l}{\pi d_b^2 E_b} + Q \right)$$

$$P_{max} = \frac{T_{bf}}{s_c s_l}$$

$K$  = support stiffness;

$P_{max}$  = maximum support pressure;

$S_c$  = circumferential bolt spacing;

$S_l$  = longitudinal bolt spacing;

$l$  = free bolt or cable length;

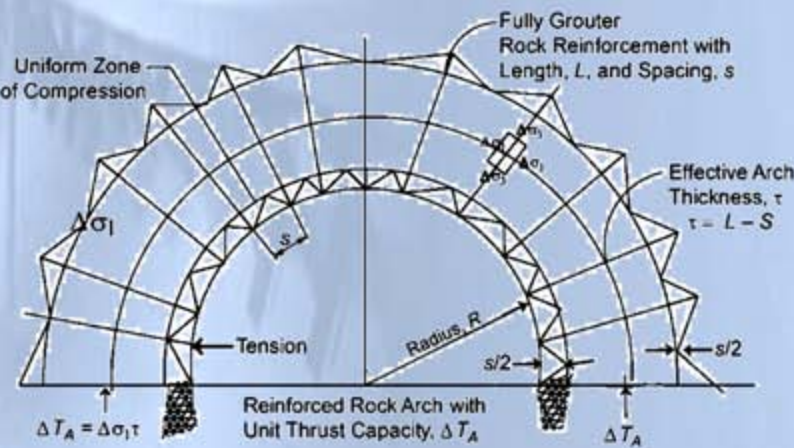
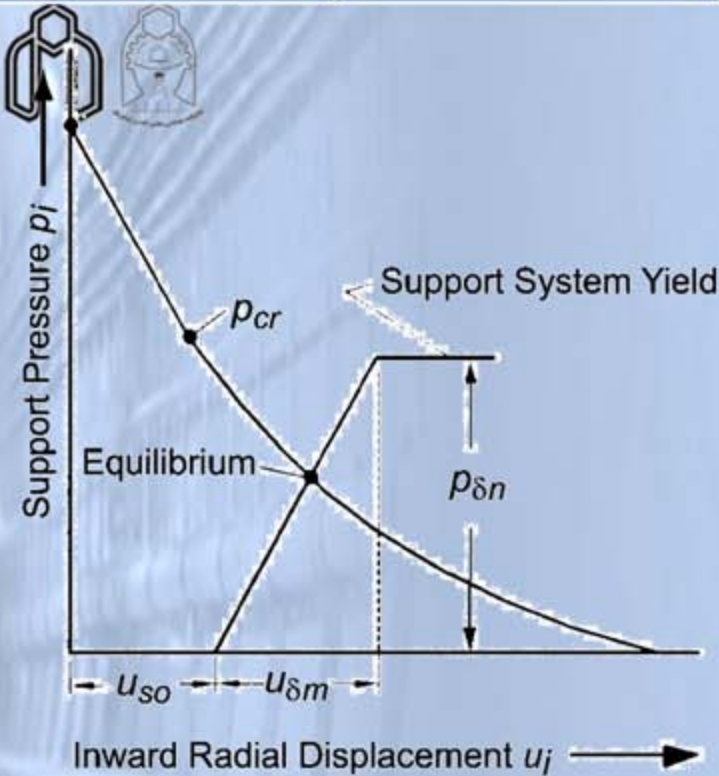
$d_b$  = diameter or equivalent of bolt or cable;

$E_b$  = Young's modulus of bolt or cable;

$T_{bf}$  = ultimate failure load in pull-out test;

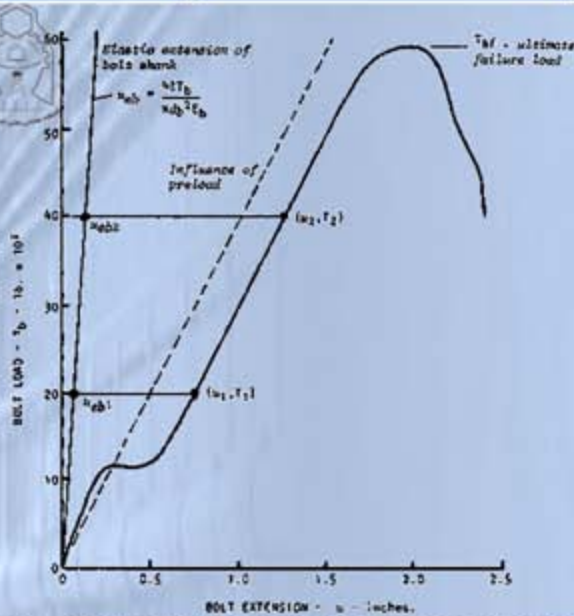
$Q$  = load-deformation constant for anchor and head;

$r_i$  = internal tunnel radius





# محاسبات طراحی بولت با GRC-SRC



$$Q = \frac{(u_2 - u_{elb2}) - (u_1 - u_{elb1})}{T_2 - T_1}$$

TABLE 13—ULTIMATE STRENGTH AND LOAD-DEFORMATION CHARACTERISTICS OF TYPICAL ROCK BOLTS.

Bolt diameter in.	Bolt diameter mm	Bolt length ft.	Bolt length m	Anchor type	Rock type	Tbf* lb.	Q** in/lb	Tbf MN	Q m/MN
0.63	16.0	4.0	1.22	Expansion shell	Good rock	11000	2.8×10 <sup>-5</sup>	0.049	0.160
0.63	16.0	6.0	1.83	Expansion shell	Shale	13000	4.2×10 <sup>-5</sup>	0.058	0.241
0.63	16.0	4.0	1.22	Expansion shell	Unknown	9000	9.0×10 <sup>-6</sup>	0.040	0.053
0.63	16.0	4.0	1.22	Expansion shell and resin	Unknown	14000	5.0×10 <sup>-6</sup>	0.062	0.030
0.75	19.0	4.0	1.22	Expansion shell	Good rock	11500	2.2×10 <sup>-5</sup>	0.051	0.126
0.75	19.0	6.0	1.83	Expansion shell	Unknown	20000	4.0×10 <sup>-6</sup>	0.089	0.024
0.75	19.0	6.0	1.83	Expansion shell and resin	Unknown	22000	4.0×10 <sup>-6</sup>	0.098	0.029
0.75	19.0	10.0	3.0	Slotted bolt and wedge	Unknown	22000	1.3×10 <sup>-5</sup>	0.098	0.074
0.87	22.0	10.0	3.0	Expansion shell	Gneiss	48000	5.5×10 <sup>-6</sup>	0.214	0.032
0.87	22.0	10.0	3.0	Expansion shell	Sandstone	44000	7.3×10 <sup>-6</sup>	0.196	0.042
0.87	22.0	10.0	3.0	Expansion shell	Sandy shale	28500	1.2×10 <sup>-5</sup>	0.127	0.069
0.87	22.0	10.0	3.0	Expansion shell	Shale	13000	2.2×10 <sup>-5</sup>	0.058	0.126
1.00	25.4	19.7	6.0	Expansion shell	Massive gneiss	72600	8.9×10 <sup>-6</sup>	0.323	0.051
1.00	25.4	6.0	1.83	Expansion shell	Granite	57000	2.5×10 <sup>-5</sup>	0.254	0.143
1.00	25.4	6.0	1.93	Resin anchor	Granite	64000	3.2×10 <sup>-6</sup>	0.285	0.018
1.00	25.4	4.0	1.22	Slotted bolt and wedge	Good rock	20000	1.1×10 <sup>-5</sup>	0.089	0.064
1.00	24.5	6.0	1.83	Resin anchor	Shale	36000	3.5×10 <sup>-6</sup>	0.160	0.020

\* Ultimate pull out load determined in a field test.

\*\* Defined by equation 126 on page 255.

Note: The values listed in this table have been determined from published test data and the authors cannot guarantee the accuracy of the results.

For critical applications it is strongly recommended that pull-out and load-deformation characteristics be determined from field tests on the bolts to be used.



# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی



# رئوس مطالب

مقدمه 



# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

مفهوم روش جبهه کار طولانی

یکی از مدرن ترین و مکانیزه ترین روش های معدنکاری زغال  
روش معدنکاری بصورت پیوسته و مکانیزه

**سه جزء اصلی شامل:**

➤ ماشین حفر زغال

➤ سیستم حمل و ترابری در جبهه کار و پهنه استخراجی

➤ سیستم نگهداری قدرتی

هر سه جزء فوق باید بصورت مکانیزه باشند تا چرخه عملیات بصورت پیوسته قابل اجرا باشد.





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

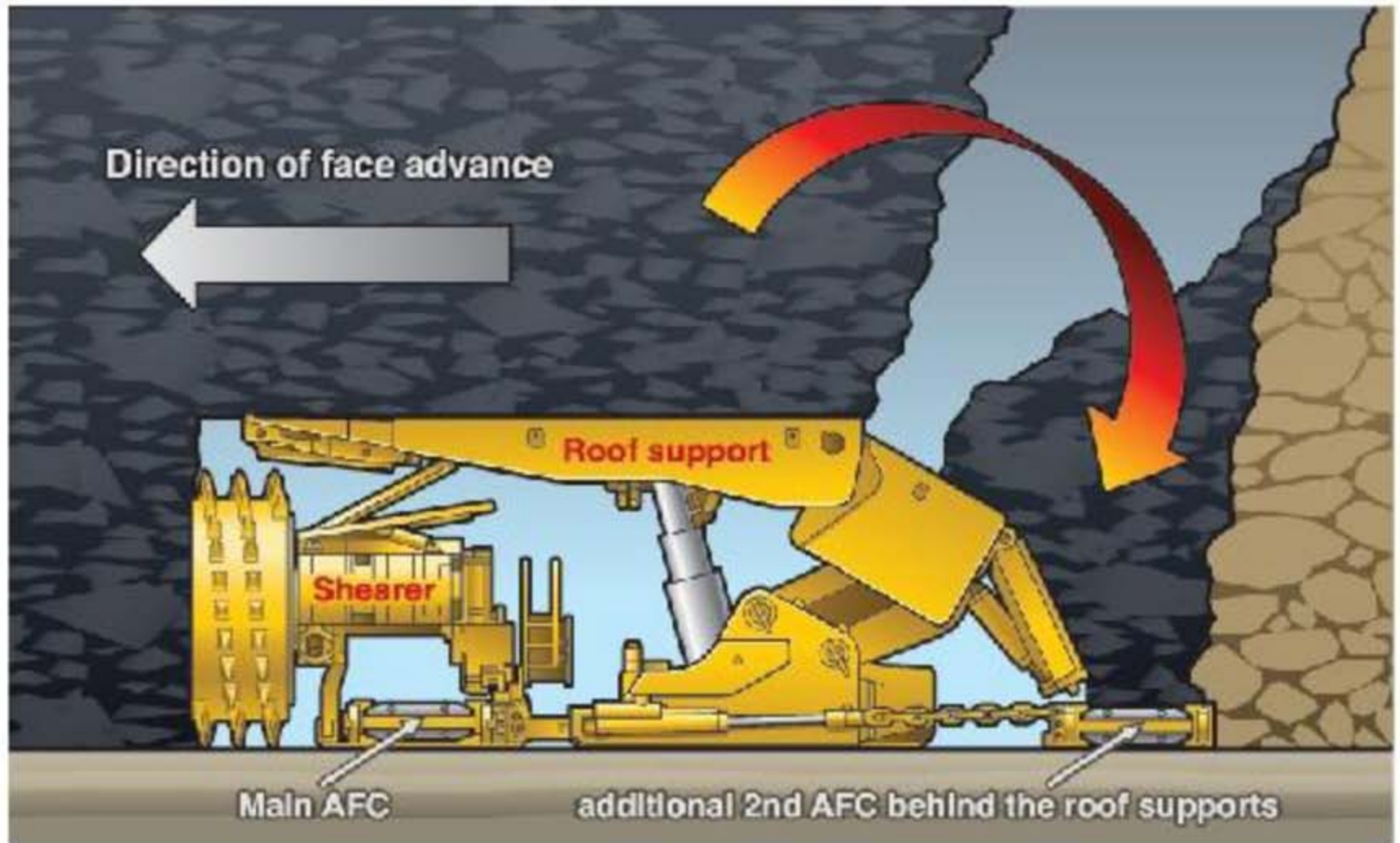
مفهوم روش جبهه کار طولانی مکانیزه





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

مفهوم روش جبهه کار طولانی مکانیزه

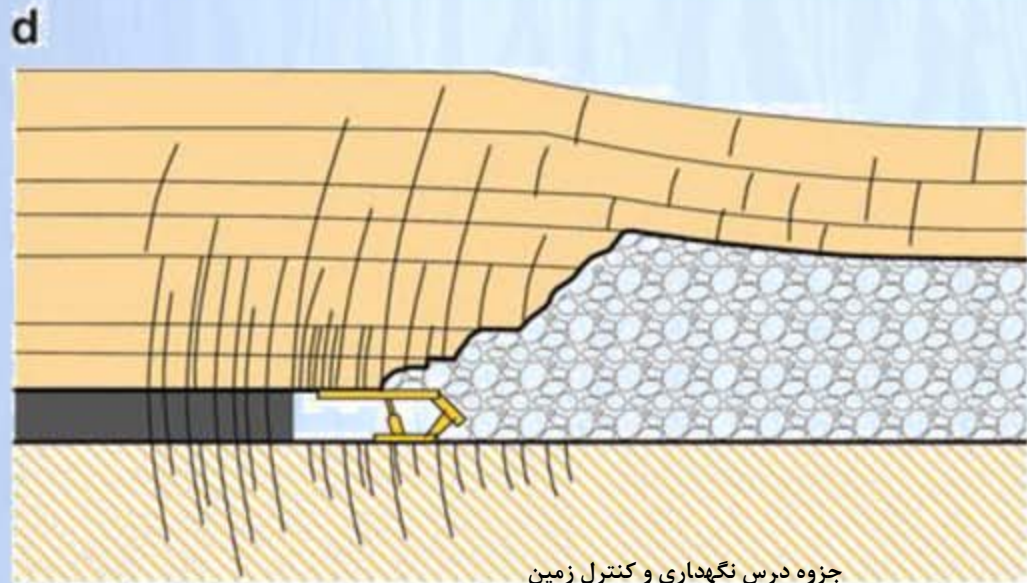
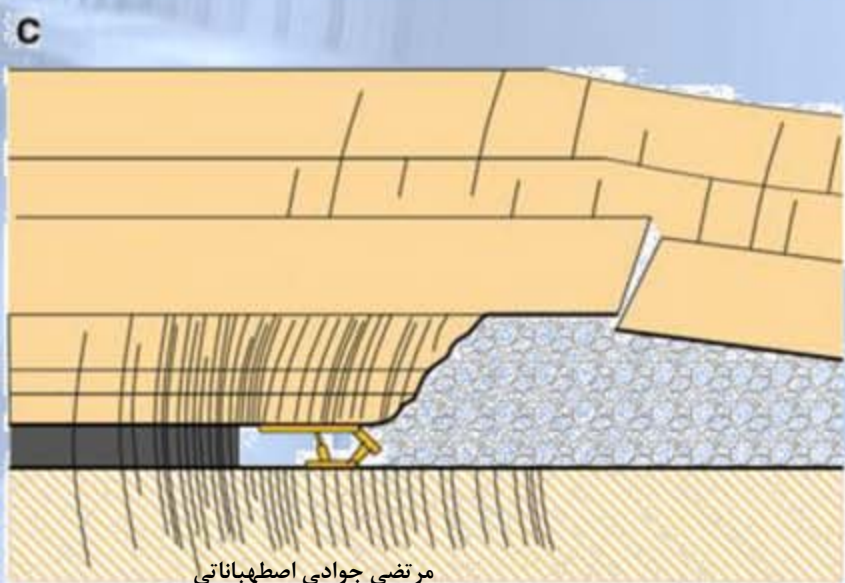
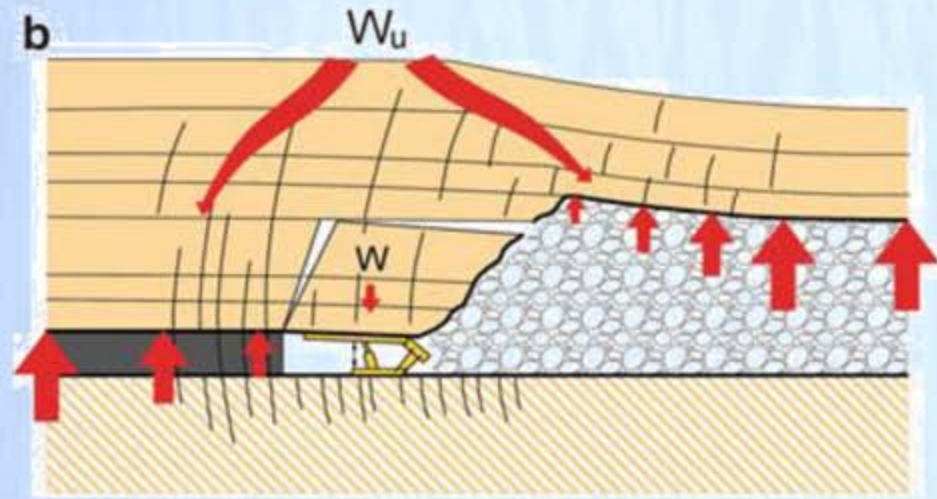
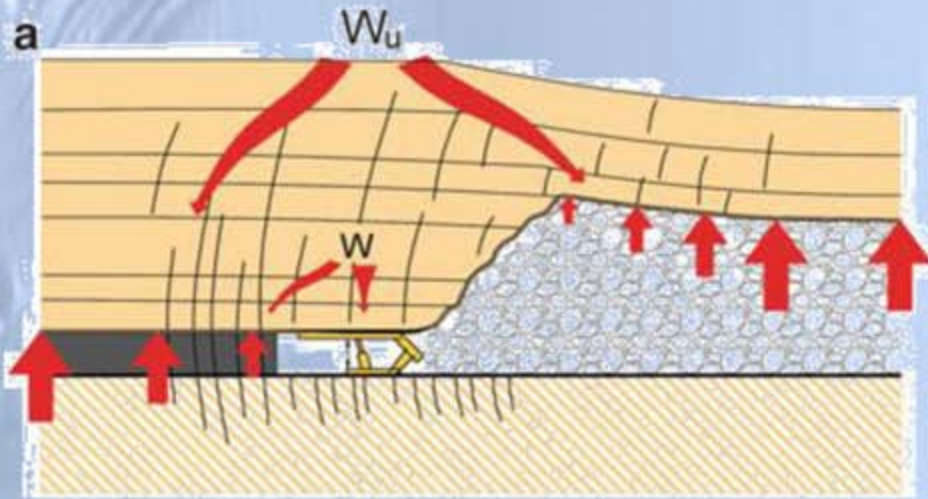






# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## مفهوم پیشروی و تخریب در روش جبهه کار طولانی

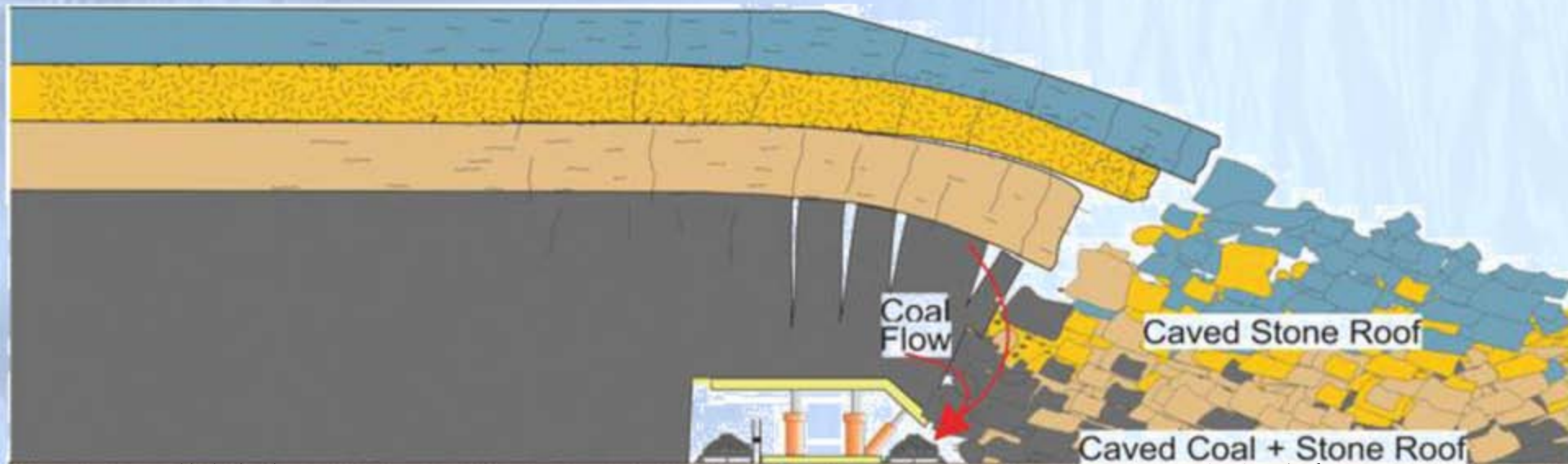
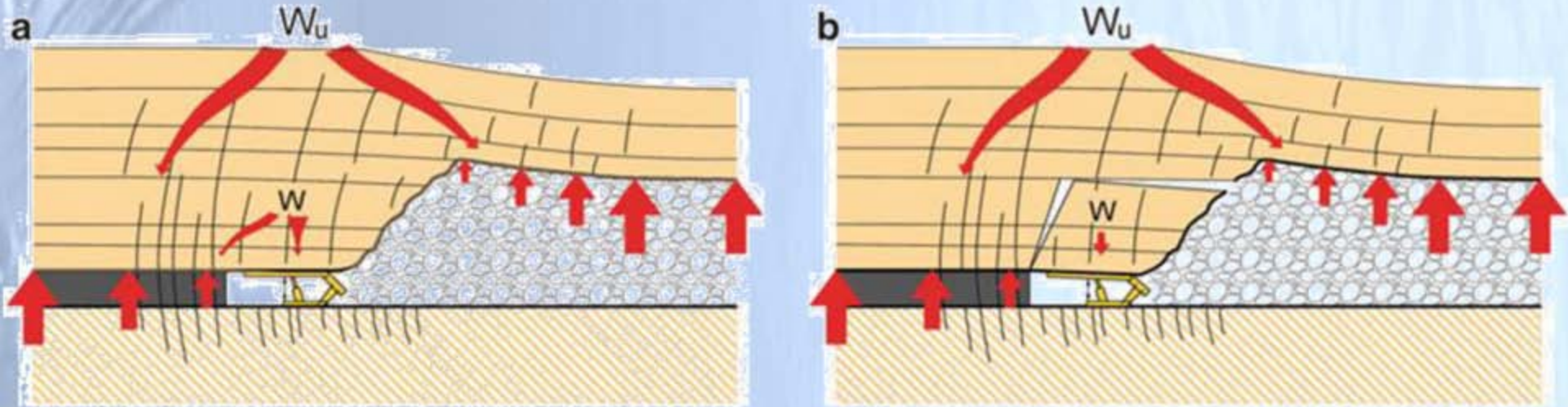






# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## مفهوم پیشروی و تخریب در روش جبهه کار طولانی







# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

Strata Control & Strata Behavior

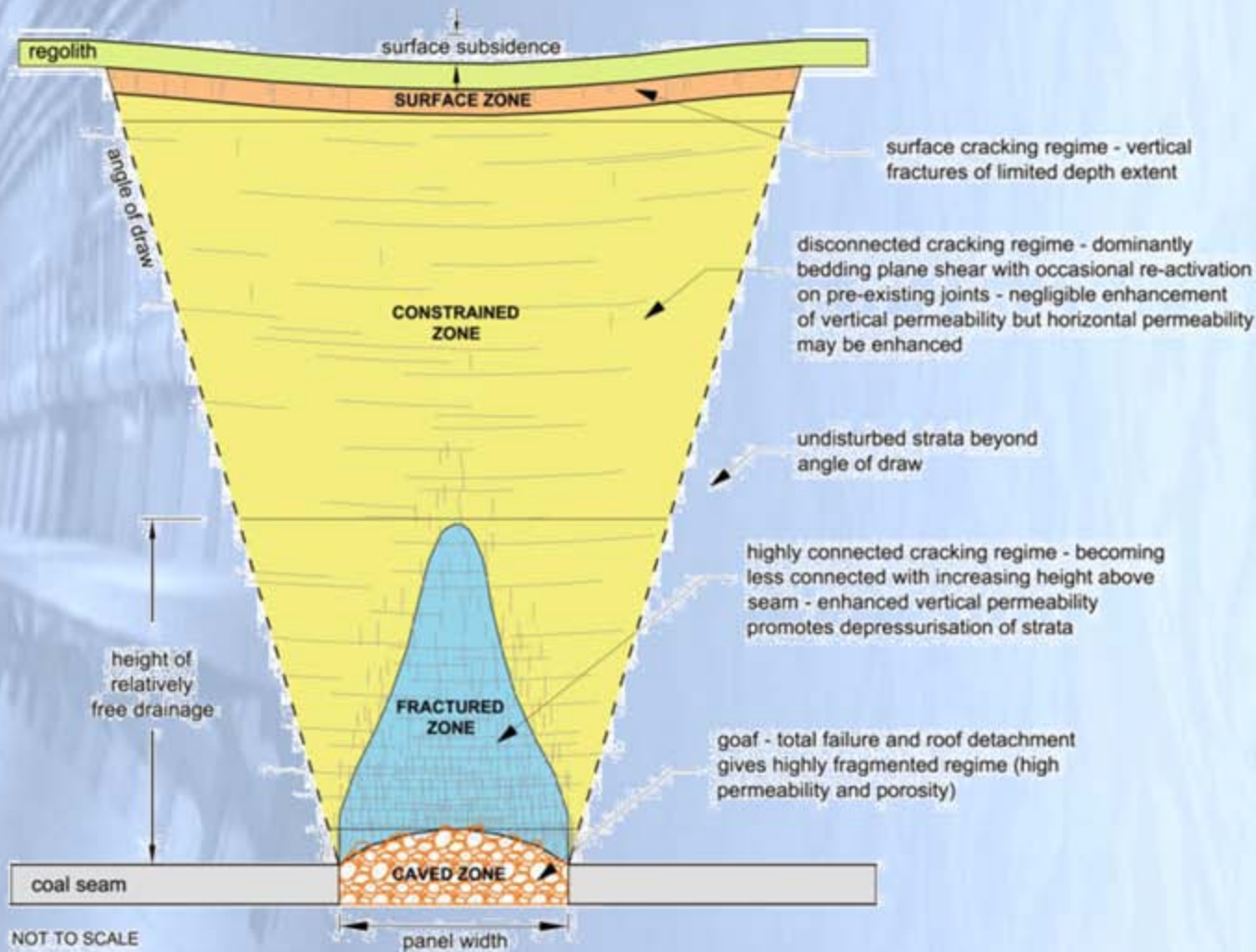
مفهوم مکانیک و کنترل چینه

- چینه یا لایه های متوالی سنگی
- استخراج بلوک (بخش کات) در جبهه کار باعث از بین رفتن پایداری طبیعی و توانایی پایداری لایه های بالای کارگاه استخراج می شود.
- بعد از حفر زغال و پیشروی کارگاه، لایه های بالای زغال (سقف) ابتدا دچار کمانش و خیز شده (تغییر شکل اولیه) و سپس بدلیل خاصیت شکنندگی، لایه ها شکسته و خرد شده و به فضای خالی (کارگاه) پشت نگهداری را پر می کنند.
- اگر در کارگاه سیستم نگهداری موجود نباشد؛ تخریب سقف و محدوده پشت سینه کار (استخراج شده) بصورت غیرقابل کنترل انجام می شود که در این حالت نمی توان پایداری سینه کار و محدوده عملیاتی جبهه کار را تامین نمود. در چنین شرایطی، نگهداری پایداری در محدوده عملیاتی (پایداری سینه کار و بخش کوچکی از فضای جلوی سینه کار) با استفاده از سیستم نگهداری تامین می شود که بطور کلی به این سیستم نگهداری شیلد shield گفته می شود.



# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## مفهوم زون های مختلف در بالای کارگاه تخریبی



نشست سطح زمین

شکست موضعی  
(شکستگی های ناممتد)  
(افزایش نفوذپذیری افقی)

زون خرد شده  
شکستگی های ممتد  
سقف بلاواسط

ناحیه تخریبی  
(بلوک های کاملا مجزا)

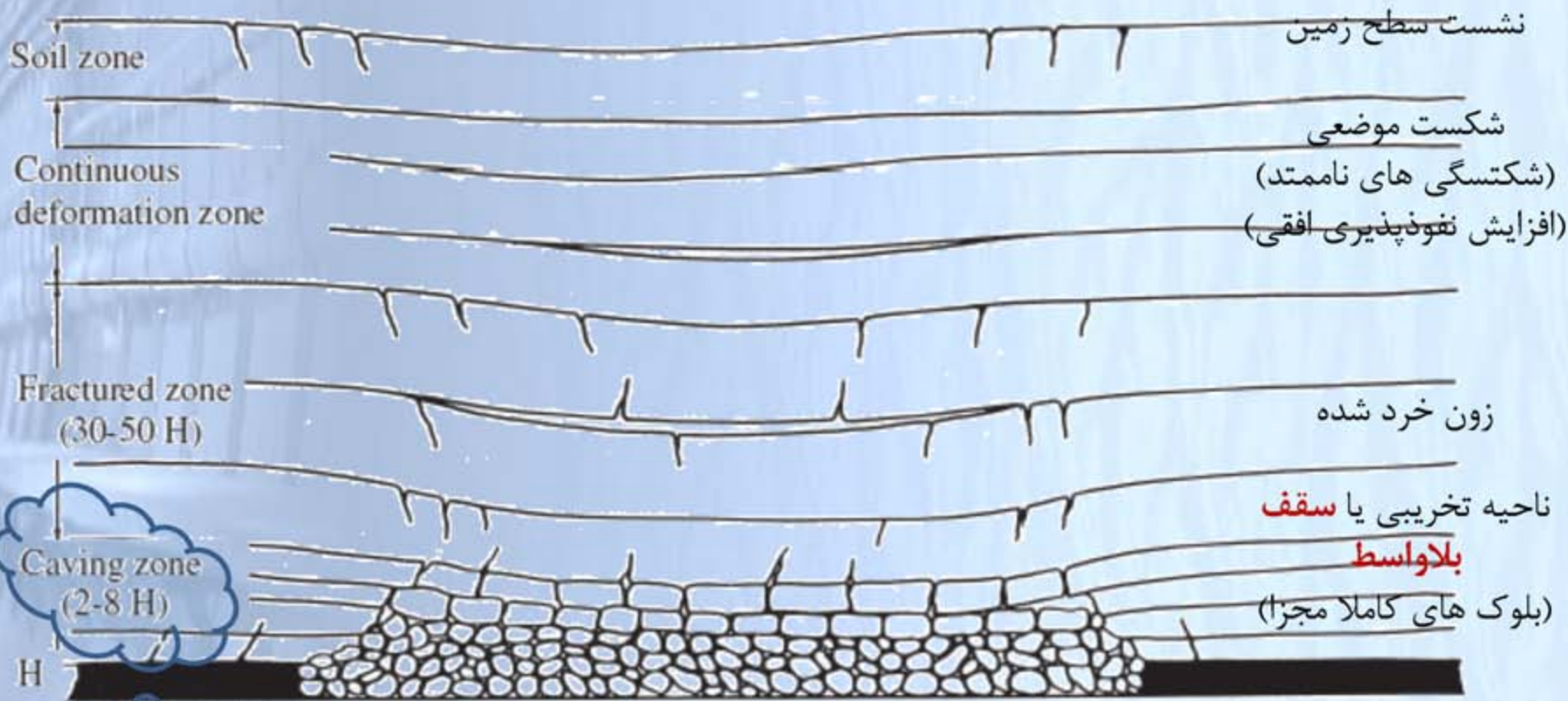
Fig. 3.5 A conceptual four zone model of caving and fracturing above an excavation (Courtesy of Dr Colin Mackie)





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## مفهوم زون های مختلف در بالای کارگاه تخریبی



سقف بلاواسط

immediate roof

مرتضی جوادى اصطهباناتى

# پیلارهای جانبی در جبهه کار طولانی (تخریب)

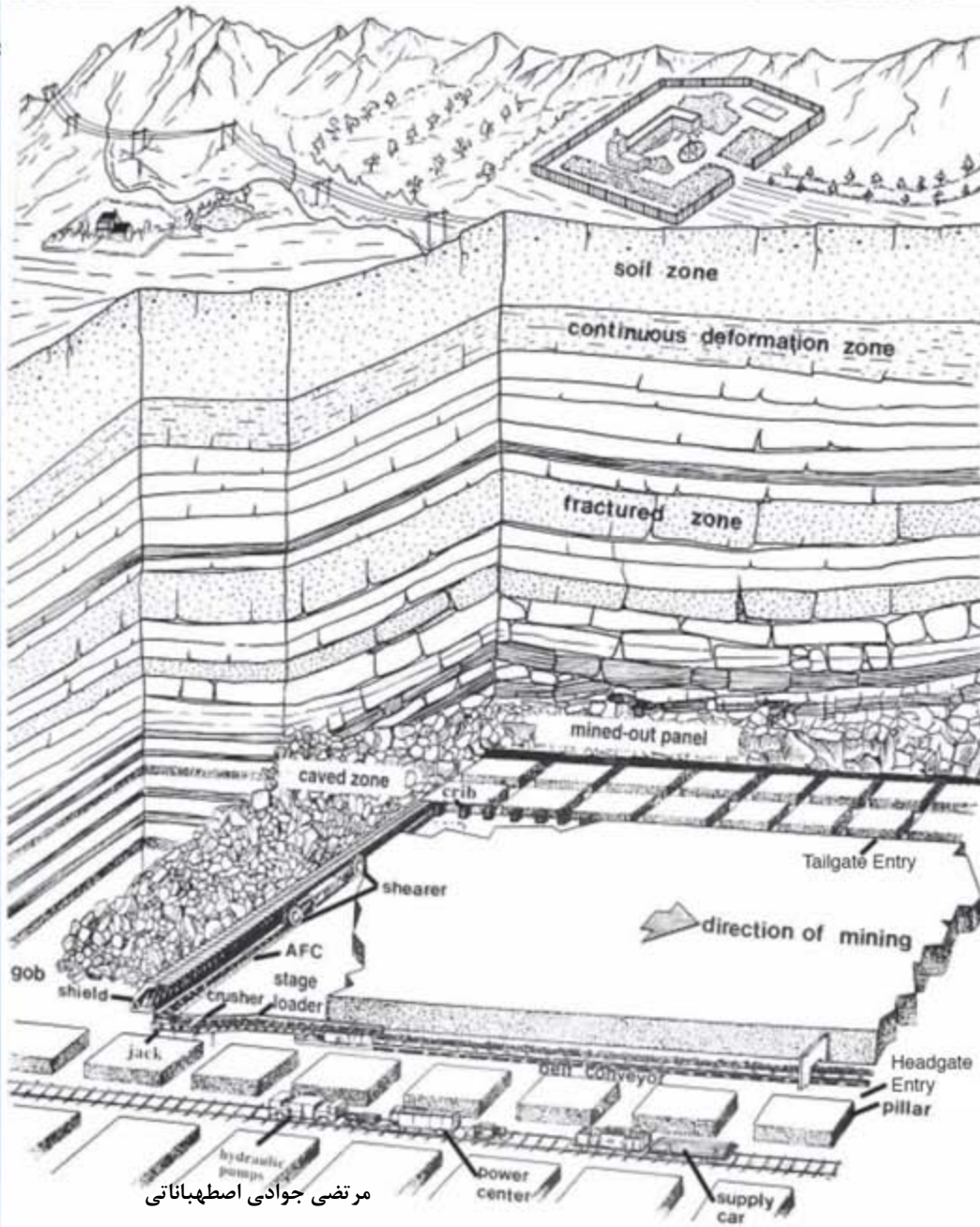
## مفهوم زون های مختلف در بالای

نشست سطح زمین

شکست موضعی  
(شکستگی های ناممتد)  
(افزایش نفوذپذیری افقی)

زون خرد شده

ناحیه تخریبی  
(بلوک های کاملاً مجزا)







# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## Strata Control & Strata Behavior

## مفهوم مکانیک و کنترل چینه

➤ In coal mining, caving essentially means collapsing or falling in; cavability of the strata means that the strata will fall when the supports are removed.

➤ بروز تخریب در لایه های پشت کارگاه (محدوده استخراج شده) کمک بسیار زیادی به سیستم نگهداری می کند. اگر تخریب سقف بلاواسطه بخوبی انجام نشود و یا زون تخریبی بخوبی فضای استخراج شده (پشت کارگاه) را پر نکند، بار بسیار زیادی به سیستم نگهداری وارد می شود. زون بالای کارگاه مثل تیر طره عمل کرده و به نگهداری فشار بسیار زیادی و در صورت تخریب ناقص، طول طره افزایش یافته و فشار بسیار زیادی به سیستم نگهداری جبهه کار (نگهداری قدرتی) وارد می شود.

➤ در حقیقت، زون تخریب شده باید بخوبی فضای پشت کارگاه را پر نماید. در صورتی که مواد تخریبی بخوبی فضای خالی را پر کند، این مواد بخشی از تنش های وارد بر جبهه کار را به فضای پشت جبهه کار انتقال داده شده و سیستم نگهداری قدرتی با ظرفیت کمتری مورد نیاز خواهد بود (بخش قابل توجهی از فشار طبقات باید توسط مواد تخریبی و در پشت جبهه کار تحمل شود).



# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## Strata Control & Strata Behavior

## مفهوم مکانیک و کنترل چینه

➤ هر چقدر سنگ های سقف (لایه های کمر بالا) ضعیف تر باشد، تخریب زودتر انجام شده و فشار کمتری به سیستم نگهداری قدرتی وارد می شود ولی پایداری سینه کار با مشکلات بیشتری همراه خواهد بود.

➤ کمر بالا ضعیف تر: تخریب بهتر (فشار نگهداری کمتر) ولی پایداری سینه کار کمتر

**Table 9.1 Immediate roof classification**

Roof Class	Description	Roof Quality Index, L	Allowable Area of Roof Exposure, m <sup>2</sup>
I	Very weak	L = 0–18. After exposure, roof falls immediately. Top coal is needed for protecting the roof.	1
II	Little stable	L = 18–35. Roof very difficult to control. Full of fractures.	1–2
III	Medium stable	L = 35–60. Easily caving.	2–5
IV	Stable	L = 60–130. Good roof with excellent caving (low L) to hardly caving (high L)	5–8
V	Very strong	L > 130. Very stable. <u>Artificial caving is necessary.</u> L > 250. Not suitable for caving.	>8





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## انواع نگهداری کارگاه در روش جبهه کار طولانی

➤ فضای بین سینه کار استخراجی تا محدوده تخریبی (GOB) باید از با هر گونه وسیله ممکن (المان مصنوعی) نگهداری شود. به این عمل کنترل سقف (Roof Control) نیز گفته می شود.

➤ المان مصنوعی (سیستم نگهداری) می تواند یکی از موارد زیر باشد:

۱- ستون های چوبی و کرسی چینی

۲- ستون های فلزی و هیدرولیکی بهمراه کلاهدک

۳- سیستم نگهداری قدرتی (Chock)

# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

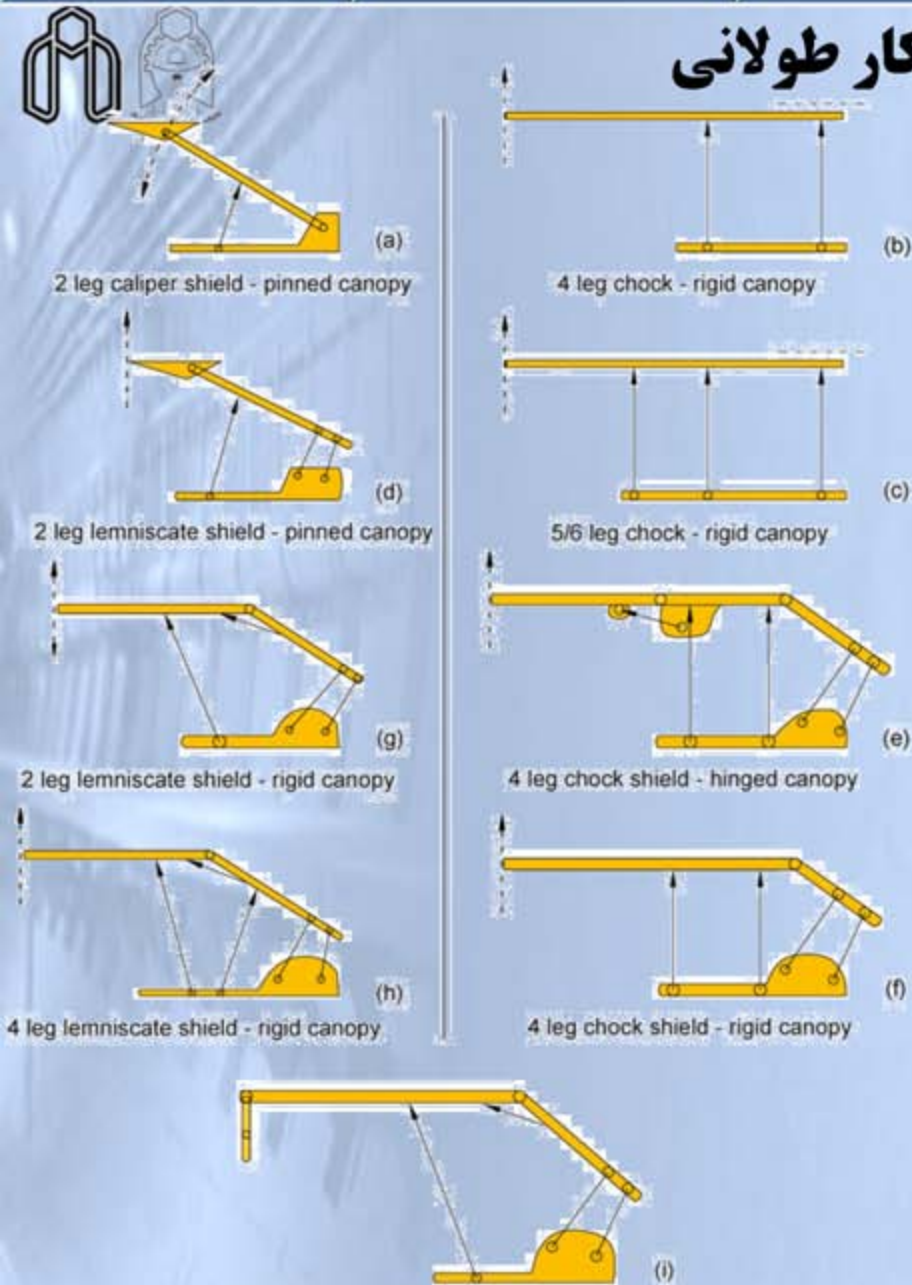
روند تکمیل تکنولوژی نگهداری قدرتی

معرفی در روسیه و اروپای شرقی در دهه ۴۰ میلادی

نسخه های اولیه تحت عنوان:  
caliper or arc shields

اصطلاح سیستم نگهداری قدرتی به این دلیل به این سیستم اطلاق می شود که این مجموعه هم شامل سیستم قدرتی هیدرولیکی بوده و هم توانایی جابجایی خود را دارد.

اصطلاح چک Chock Shield نیز به این سیستم اطلاق می شود.



(i) High capacity 2 leg shield with extended rigid canopy and flipper capability





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## Modern Shield-Support System

## سیستم مدرن نگهداری شیلد

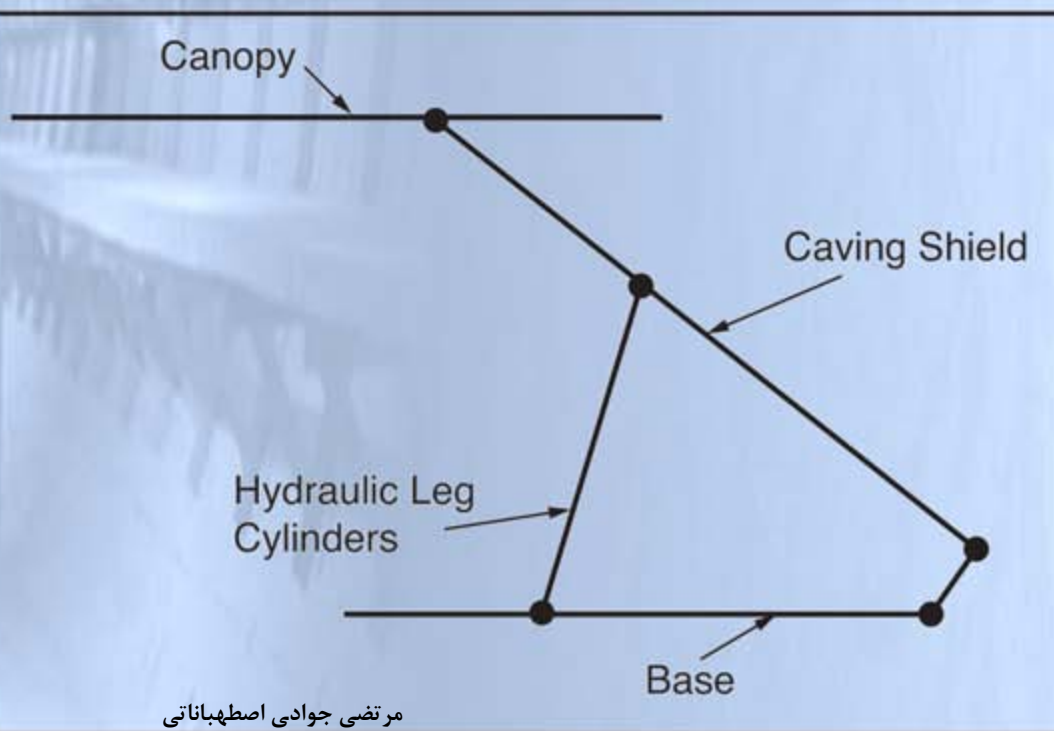
➤ اجزای اصلی یک نگهداری قدرتی مدرن (چک):

۱- Canopy: کانوپی یا پوسته سقفی: یک پوسته صلب برای کنترل جابجایی های سقف کارگاه

۲- Hydraulic leg cylinders (ستون هیدرولیکی)

۳- Base یا کفی

۴- Caving shield یا پوسته پشتی



مرتضی جوادی اصطهباناتی



جزوه درس نگهداری و کنترل زمین

# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی نمایی از یک سیستم نگهداری قدرتی مدرن



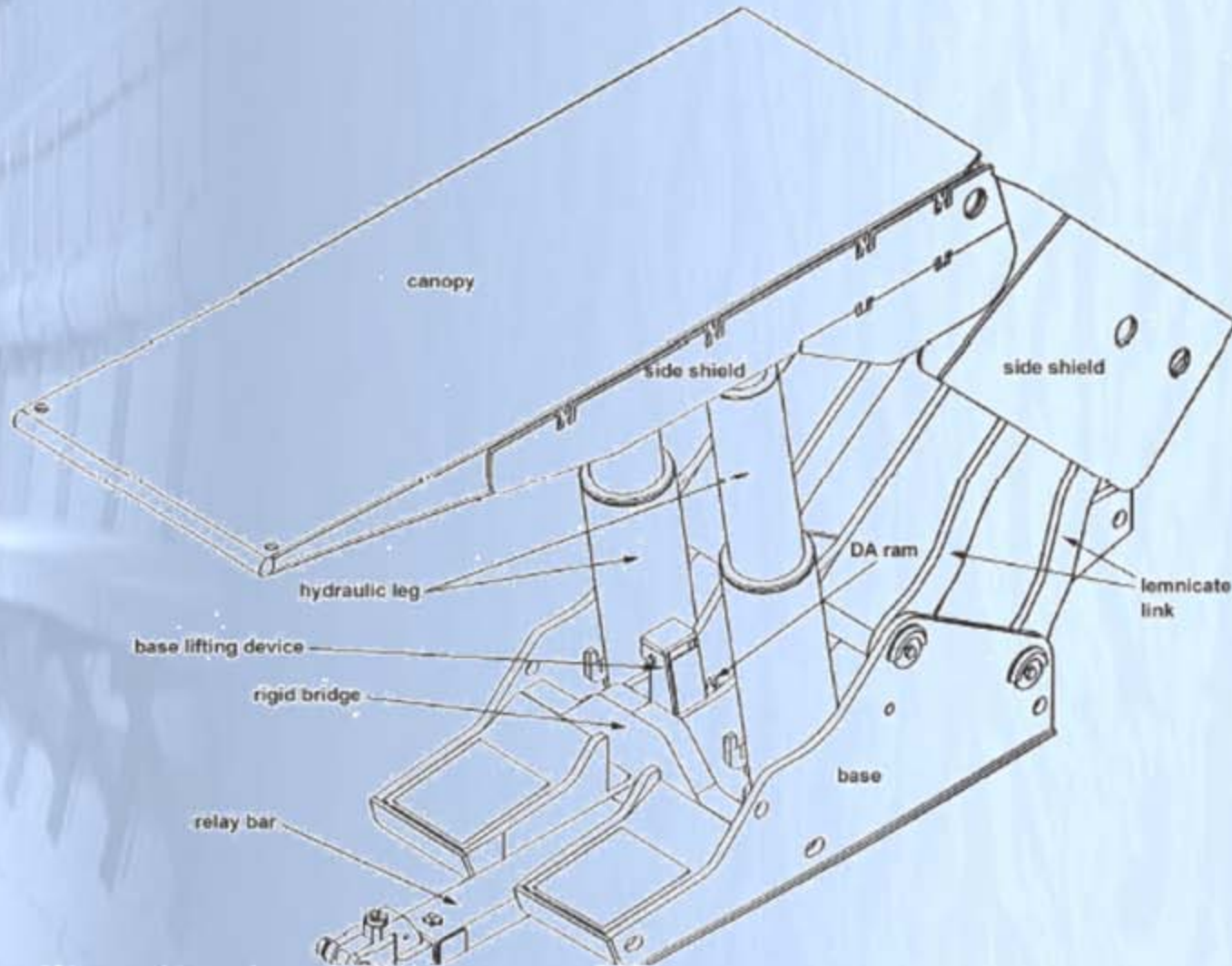




# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## Modern Shield-Support System

## سیستم مدرن نگهداری شیلد





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## Modern Shield-Support System

## سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ ظرفیت نگهداری قدرتی مدرن (چک):

ظرفیت نگهداری قدرتی معمولاً با حداکثر فشار سیال هیدرولیک در ستون های هیدرولیکی (جک هیدرولیکی) چک تعیین می شود.

$$P_y = \frac{\pi d^2}{4 \times 2,000} \sigma_y \quad (\text{EQ})$$

where

$P_y$  = support yield load

$d$  = inner diameter of the leg cylinder

$\sigma_y$  = setting of the pump pressure, in psi

این رابطه برای چک های ۴ سیلندر

(دارای ۴ جک) برقرار بوده و عدد ۴ بیانگر

تعداد جک یا ستون چک است.

حداکثر فشاری که در ستون های هیدرولیکی قابل تحمل است معمولاً حدود نصف ظرفیت تحمل سیلندر و پیستون جک ها در نظر گرفته می شود. این فشار هیدرولیکی با استفاده از رابطه بالا به ظرفیت چک (بر حسب تن کوچک) تبدیل می شود.





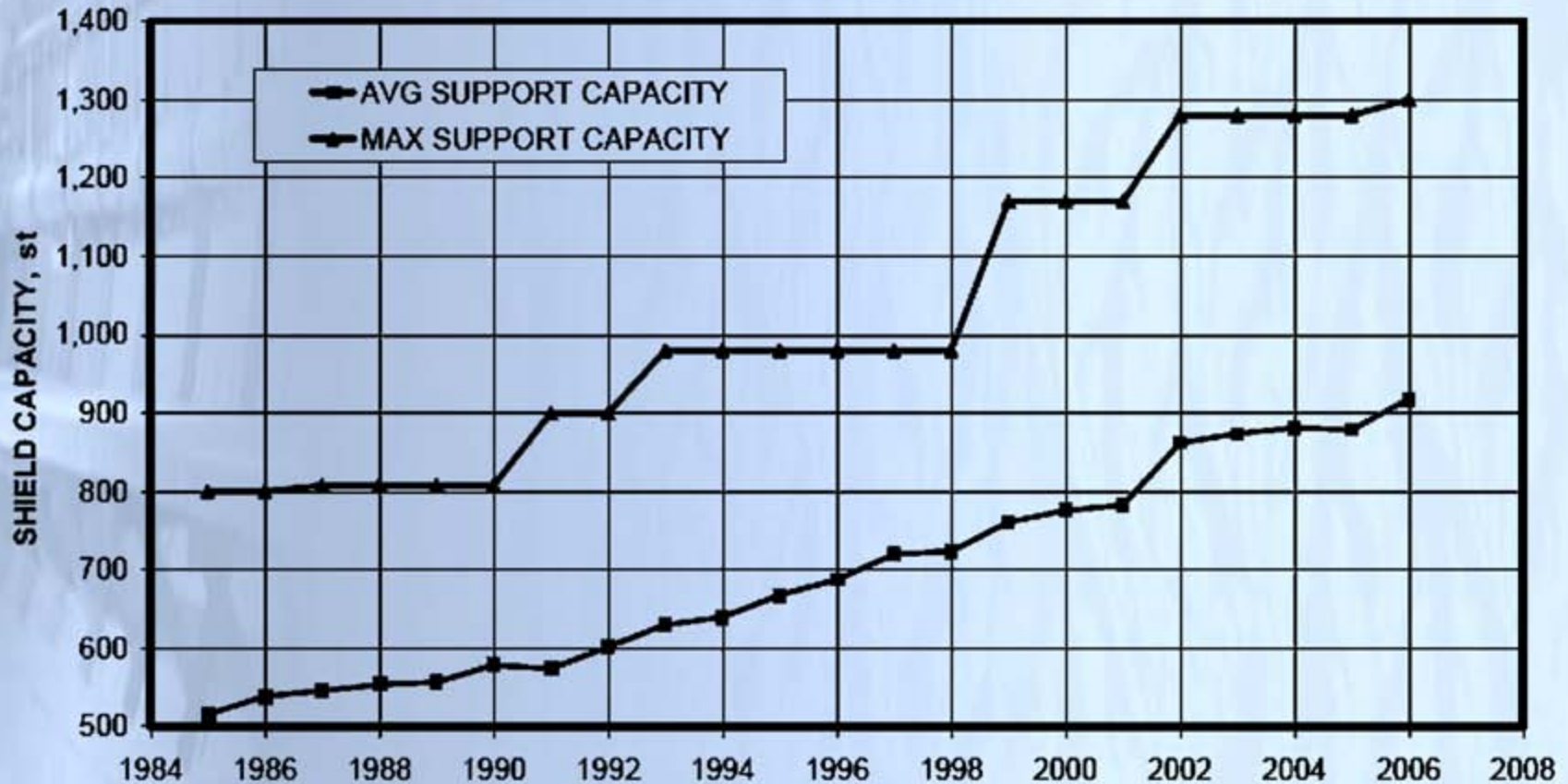
# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

Modern Shield-Support System

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ ظرفیت نگهداری قدرتی مدرن (چک): **رشد ظرفیت چک ها در طول سالیان اخیر**

ظرفیت چک بر حسب تن کوچک





# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

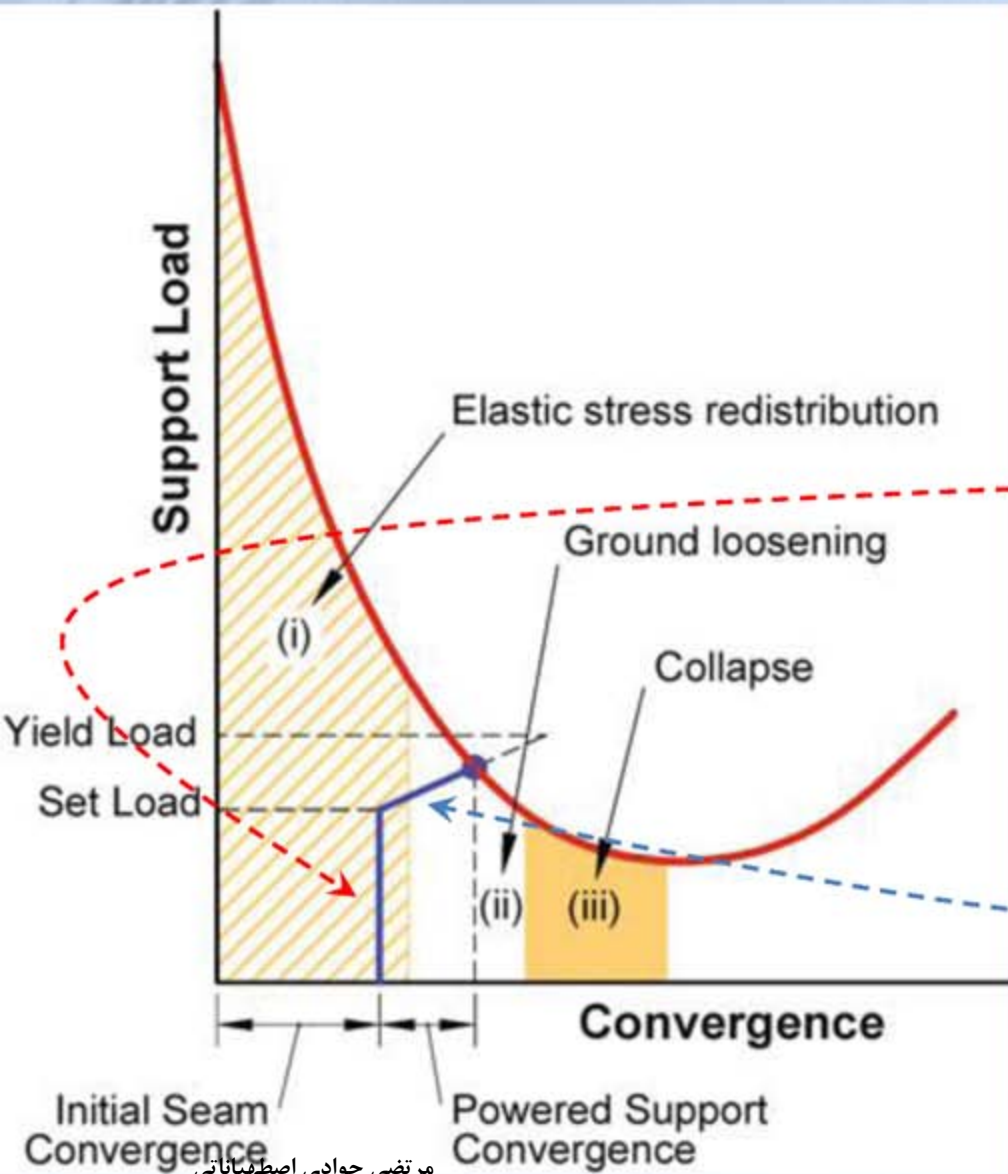
نحوه عملکرد نگهداری قدرتی

➤ نمودار اندرکنش

نمودار مشخصه سیستم نگهداری بصورت یک نمودار دوطبقی است.

۱- قسمت اول: شیب قائم (قبل از تماس با سقف و باز شدن جک های شیلد

۲- قسمت دوم: بعد از تماس شیلد بالایی با سقف کارگاه و اعمال فشار به سقف کارگاه







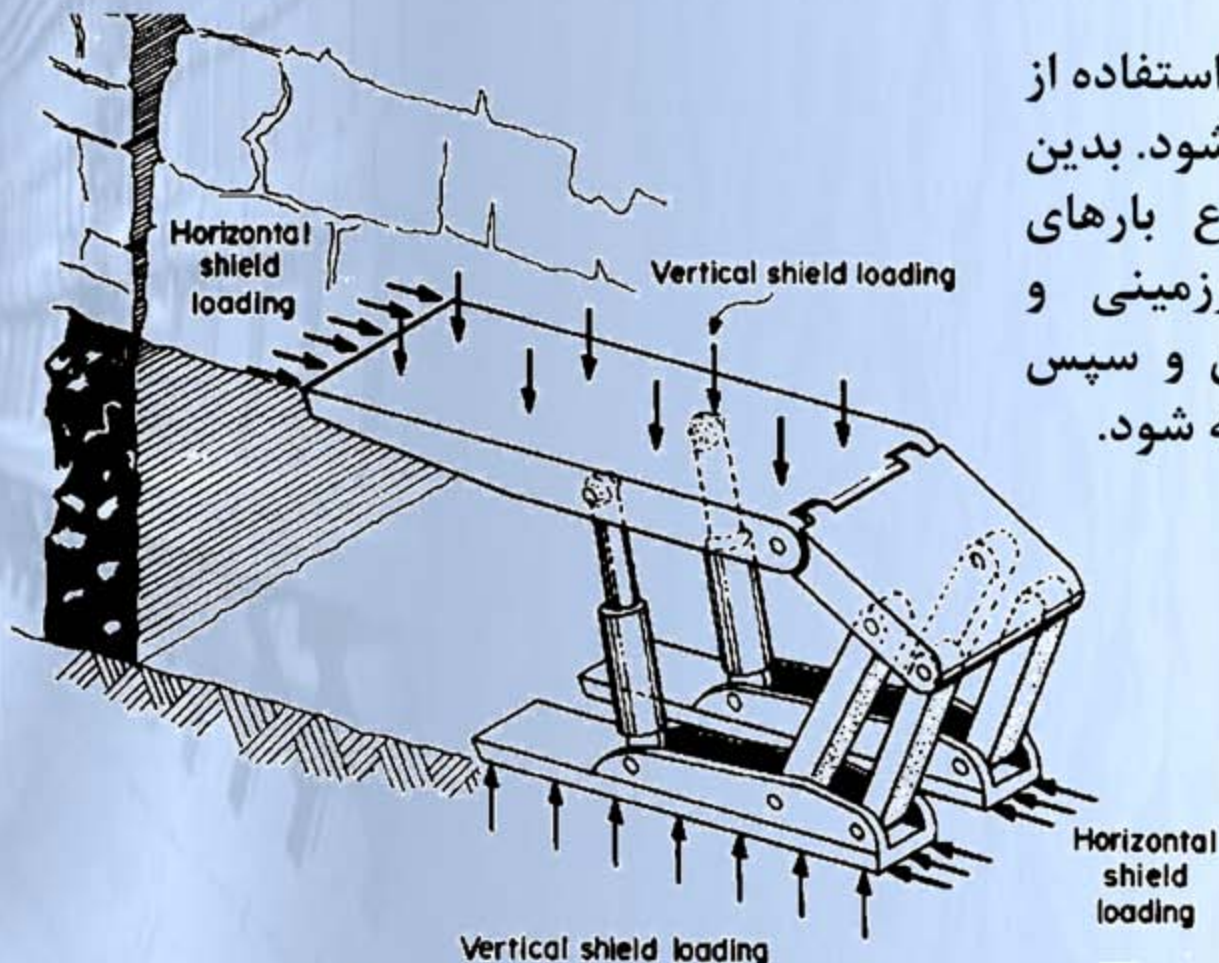
# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

## Modern Shield-Support System

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ بار وارد بر نگهداری شیلد

بار وارد بر نگهداری قدرتی با استفاده از روابط استاتیکی محاسبه می شود. بدین منظور، ابتدا لازم است نوع بارهای وارده از طرف فضای زیرزمینی و معدنکاری به نگهداری تعیین و سپس مقادیر بارهای مختلف محاسبه شود.



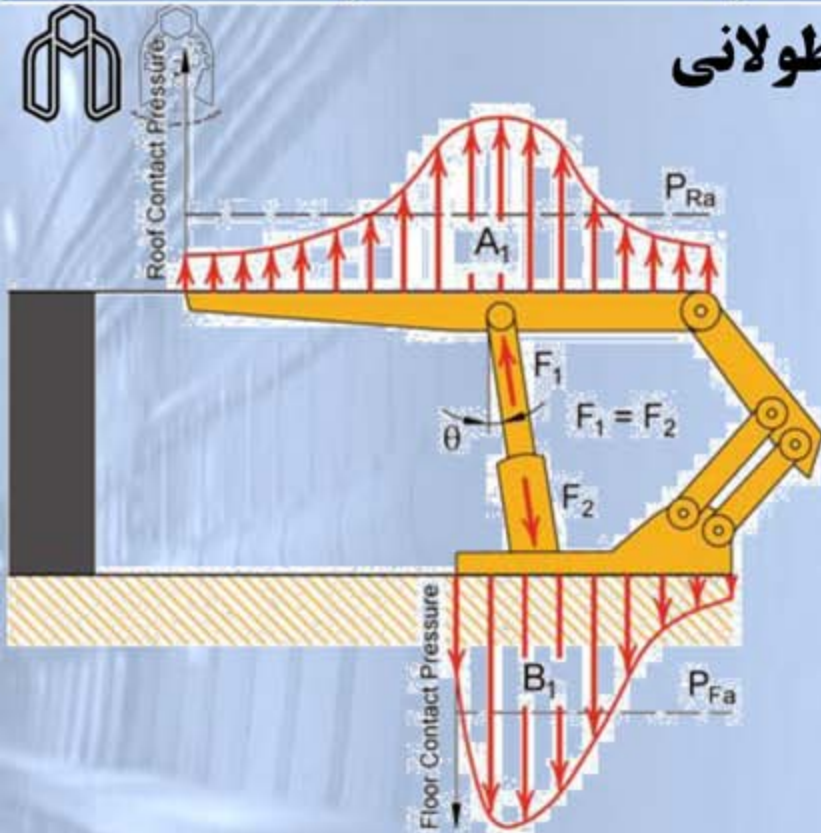
Horizontal and vertical forces acting on a shield support

# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ بار وارد بر نگهداری شیلد

بار وارد بر نگهداری قدرتی با استفاده از روابط استاتیکی محاسبه می شود. بدین منظور، ابتدا لازم است نوع بارهای وارده از طرف فضای زیرزمینی و معدنکاری به نگهداری تعیین و سپس مقادیر بارهای مختلف محاسبه شود.



$P_{Ra}$  = Average Roof Contact Pressure

$P_{Fa}$  = Average Floor Contact Pressure

Leg Force up = Leg Force down

$$\therefore F_1 \cos \theta = F_2 \cos \theta$$

$$\begin{aligned} \text{Total Force Up} &= P_{Ra} \times \text{canopy area} \\ &= \text{Area } A_1 = F_1 \cos \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Force Down} &= P_{Fa} \times \text{base area} \\ &= \text{Area } B_1 = F_2 \cos \theta \end{aligned}$$

$$\therefore \text{Area } A_1 = \text{Area } B_1$$



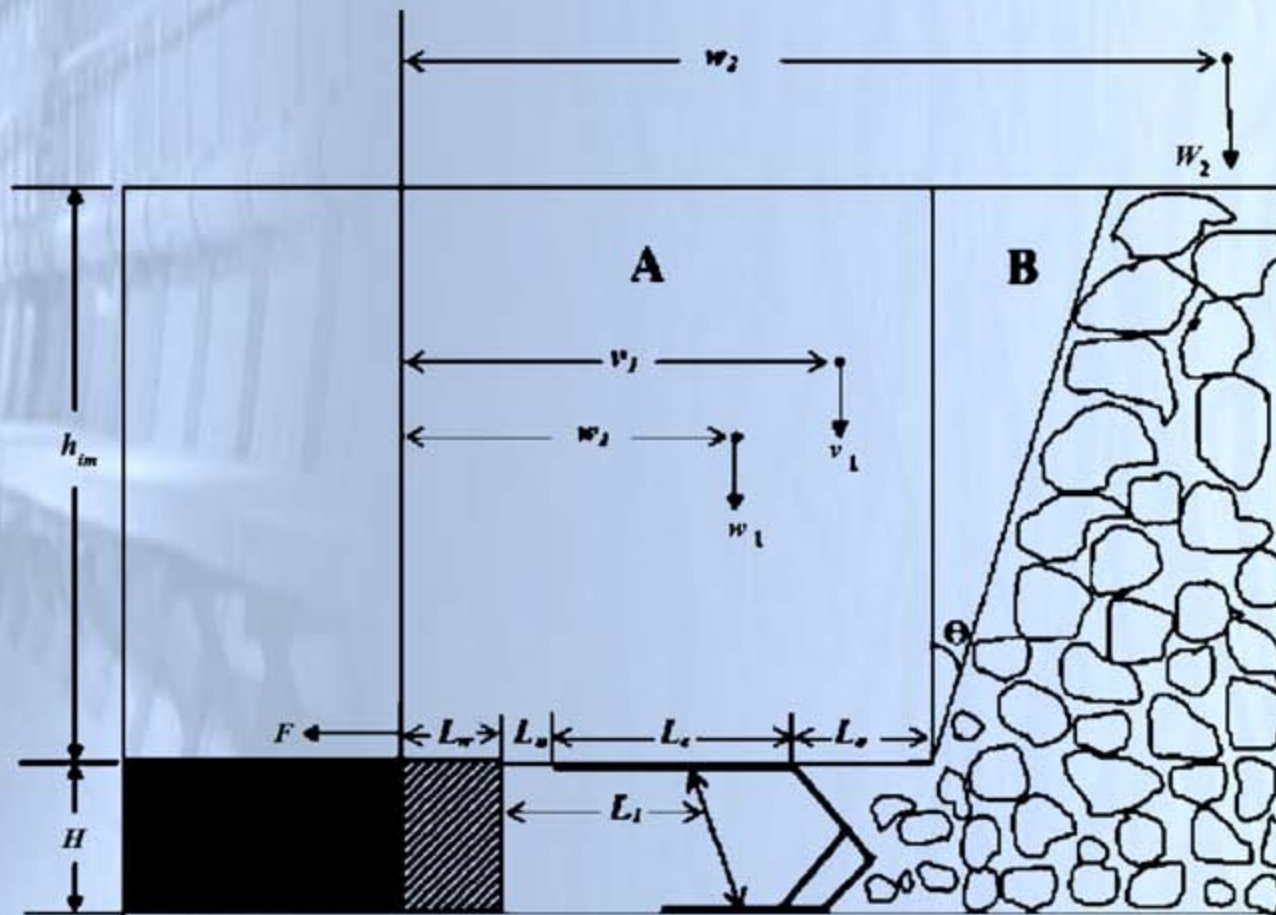


# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

Modern Shield-Support System

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ بار وارد بر نگهداری شیلد یا نگهداری قدرتی



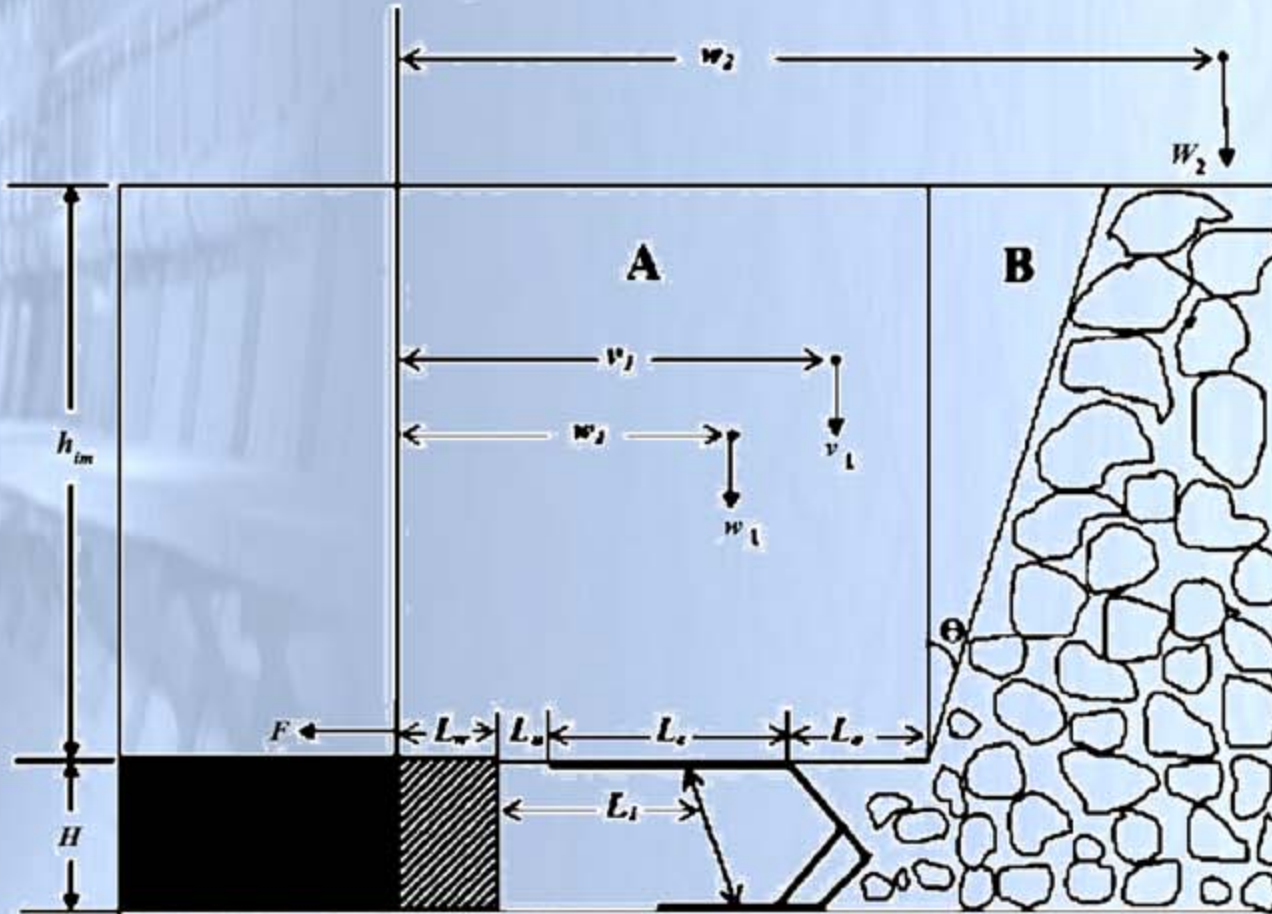


# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

Modern Shield-Support System

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ بار وارد بر نگهداری شیلد یا نگهداری قدرتی







# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

Modern Shield-Support System

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ بار وارد بر نگهداری شیلد یا نگهداری قدرتی

$W_1$  = weight of block A + weight of block B

$$= h_{im} \lambda_{im} B \left( L + \frac{h_{im}}{2} \tan \theta \right) \cos \alpha$$

$W_1$  = weight of the block taken as a single vertical force acting at the center of block A

$h_{im}$  = caving height

$B$  = center-to-center distance of the shield supports

$\alpha$  = angle of seam inclination

$\theta$  = caving angle

$L$  = width of cut (web)  $L_w$  + unsupported distance  $L_u$  + shield canopy length  $L_c$  + rear overhang  $L_o$

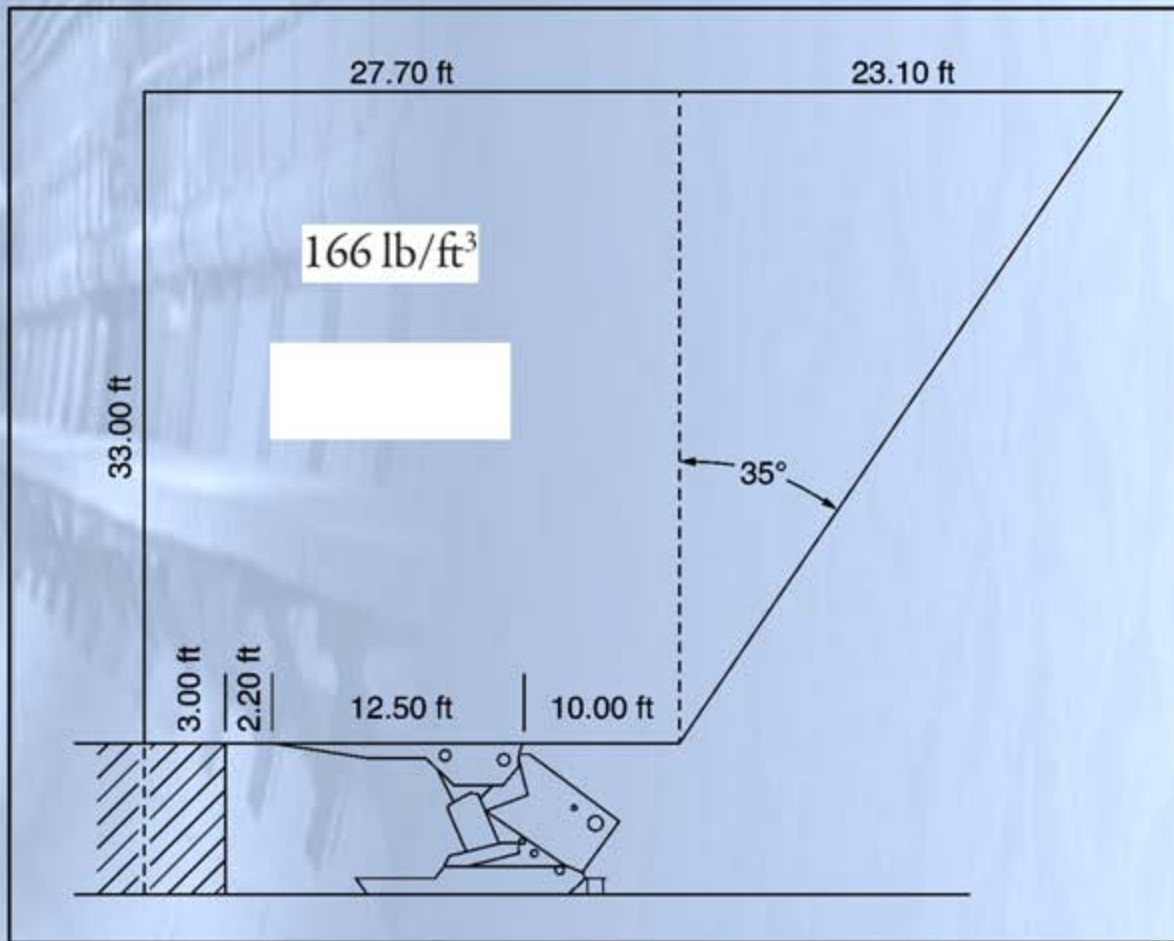


# نگهداری در کارگاه استخراج به روش جبهه کار طولانی

Modern Shield-Support System

سیستم مدرن نگهداری شیلد

➤ بار وارد بر نگهداری شیلد یا نگهداری قدرتی







# دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

## کنترل زمین و نگهداری

# Ground Control & Support

مدرس

مرتضی جوادی اصطهباناتی

# رئوس مطالب

مقدمه 



# پایدارسازی تونل ها و حفاریات زیرزمینی

## متداول ترین سیستم های نگهداری:

➤ قاب های فولادی IP و IPB

➤ قاب فولادی قاب فولادی TH

➤ لتیس گیردر 3bar و 4bar

➤ مش فولادی بافته و مش فولادی پیش جوش

➤ شاتکریت (ساده و الیافی)

➤ سگمنت بتنی (TBM)

➤ انواع راک بولت (داول و انکر)

➤ پایلینگ ها (اسپایل، فورپول و شیت)

➤ بتن ریزی درجا

➤ ترکیب اجزای فوق

Support type	Section depth - m		Sectional area m <sup>2</sup>	Weight - kg/m	Curve number	Designation Metric/Imperial		
	Flange width m							
 Wide flange rib	0.307	0.305	0.0123	97	1	W310x97 / W12x65		
	0.216	0.206	0.0091	71	2	W200x71 / W8x48		
	0.162	0.154	0.00474	37.1	3	W150x37 / W6X25		
 I section rib	0.203	0.105	0.00436	34	4	S200x34 / S8x23		
	0.152	0.084	0.00236	18.6	5	S150x18.6 / S6x12.5		
 TH section rib	0.148	0.172	0.0056	44	6	Toussaint-Heintzmann Profiles		
	0.118	0.135	0.0032	25	7			
 3 bar lattice girder	0.220	0.191	0.00197	19	8	Pantex type 130, 26 & 34mm bars		
	0.155	0.278	0.00197	18.2		Pantex type 95, 26 & 34mm bars		
 4 bar lattice girder	0.283	0.220	0.002828	27	9	Pantex type H1 220, 30 mm bars		
	0.164	0.100	0.002828	25.5		Pantex type Hi 100, 30 mm bars		
Shotcrete or concrete lining	Thickness	Curve number	Rockbolts			Diameter mm	Curve number	
					1m			10
0.3 m	11	25			16			
0.15 m	12	19			17			
0.1 m	13	17			18			

## سیستم نگهداری فولادی

### جایگاه فولاد بعنوان سیستم نگهداری:

فولاد به عنوان مصالح اصلی قاب فولادی، لتیس گیردر و بتن مسلح در عمده تونل های راه، راه آهن، مترو، تونل های دسترسی در پروژه های عمرانی بزرگ مقیاس و همچنین در بسیاری از راهروها و گالری های معدنی و همچنین عمده شفت ها استفاده میشود.

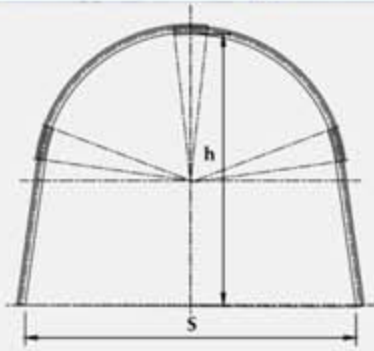
### دلایل استفاده از چوب در معادن:

- فولاد ساختاری همگن و یکدست دارد و معمولاً عاری از معایب طبیعی مانند تخلخل و یا درز و شکاف است، بنابراین در طراحی ها مطمئن تر است.
- فولاد دارای مدول الاستیسیته بسیار بالایی است که یکی از مهم ترین مزایای فولاد در مقیاس با سایر مصالح ساختمانی در رابطه با تغییر شکل ها، کمانش و پدیده هایی نظیر آنها محسوب میشود.
- فولاد در مقابل تغییرات رطوبت، فشار و دما بسیار مقاوم است. فولادهای نرم قابلیت بازیابی و تغییر شکل مجدد دارند.
- فولاد قبل از شکست به مرحله تسلیم رسیده و از خود تغییر شکل زیادی را نشان میدهد. تسلیم فولاد قبل از ریزش یک آلارام و هشدار بسیار خوب خواهد بود.

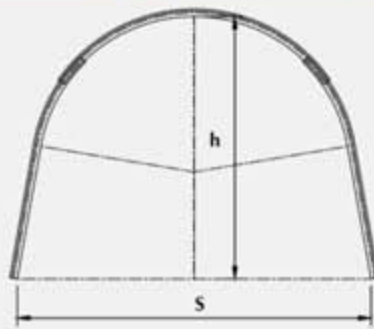


# سیستم نگهداری فولادی

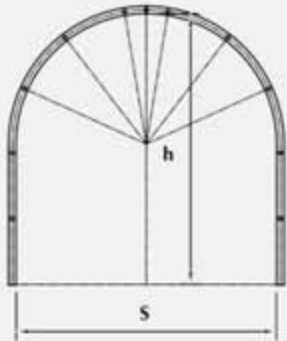
## انواع مقاطع تونلی با نگهدارنده فولادی



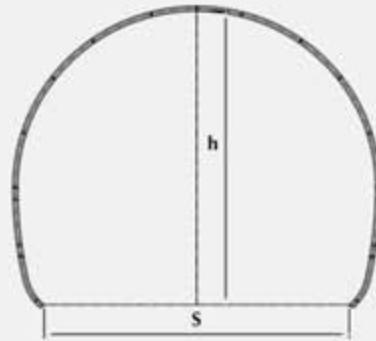
4 piece (Horse Shoe) gallery



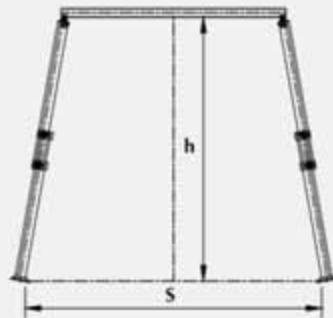
3 piece (Horse Shoe) gallery



Diversion channel



Railroad and highway tunnel



Trapezoidal gallery section



# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## انواع قاب های فلزی:

➤ قاب های فلزی صلب

➤ قاب های فلزی مفصل دار

➤ قاب های فلزی کشویی





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های فلزی صلب:





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های فلزی صلب:

23.02.2005 15:53





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های فلزی صلب:





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های فلزی صلب:







# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های فلزی صلب:

- شکل و نیمرخ معینی دارند و تغییر شکل چندانی نمی دهند. صلبیت بمعنای عدم تغییر شکل است.
- منظور از صلب بودن قاب: قاب دارای اتصالات کاملاً گیردار بوده و تغییر شکل قاب تنها در چارچوب یک فریم با اتصالات کاملاً گیردار است. بعبارت دیگر، تغییر شکل ها در قاب صلب نیز حادث می شود ولی سیستم قاب در محل مفصل ها کاملاً صلب است.
- معمولاً این نوع قاب ها از چند تکه ساخته شده که قطعات با پیچ و مهره و یا جوشکاری به هم متصل می شوند.
- معمولاً قاب های صلب از تیرهای فلزی از نوع مقاطع بال پهن و تیرآهن معمولی (IPB و IPE) ساخته می شود. IPE: تیرآهن معمولی یا نیم پهن، IPB: بال پهن
- مقطع عرضی تیر یا قاب فلزی صلب بگونه ای است که مدول مقطع آن ها نسبتاً زیاد است و به همین دلیل، مقاومت خمشی این نوع قاب ها نسبتاً زیاد خواهد بود.
- اتصالات معمولاً یا با استفاده از پلیت و پیچ و یا پلیت و جوش انجام می شود.





## سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

### اجزای قاب های فلزی صلب:

- قطعات قاب: تکه های منفصل از قاب که با اتصال به هم، مقطع تونل را شکل میدهند.
- پلیت یا صفحات اتصال (با فلنچ): اتصال قطعات به یکدیگر معمولاً با استفاده از صفحات فولادی (پلیت) انجام می شود. معمولاً، ضعیف ترین مقطع یک قاب در محل اتصال بوده و در شرایط بارگذاری زیاد، قاب ها در محل اتصالات دچار شکست یا تغییر شکل میشوند. لنگرهای خمشی زیاد ممکن است باعث شکستگی پیچهایی شود که صفحات اتصالی را نگهداری میکنند. اتصالات ممکن است با جوشکاری و یا پیچ و مهره (برای معادن زغال با ممنوعیت عملیات جوشکاری) انجام شود.
- تودلی: معادل لارده گذاری در قاب های چوبی بوده که فاصله بندی مناسب سیستم نگهداری را تامین می کنند. اتصال قاب ها در راستای طولی تونل با قطعات تودلی انجام میشود. تودلی مقاومت کافی در جهت محور تونل ایجاد کرده و باعث می شود که مقطع قابگذاری در راستای طولی تونل بصورت یک مقطع با عملکرد تقریباً پیوسته تبدیل شود. معمولاً مقطع تودلی مشابه تیر اصلی و یا یک رده کوچکتر انتخاب میشود. فاصله تودلی ها نیز معمولاً بین 0.5 تا 2 متر انتخاب می شود.
- پد یا صفحه زیرسری: برای جلوگیری از فرو روی قاب در کف تونل (بتنی و یا فولادی)





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های فلزی صلب:



Courtesy of British Coal Corporation.

**Figure 8-7-12** Wrap-around fishplate arch joint

مرتضی جوادلی اصطهباناتی

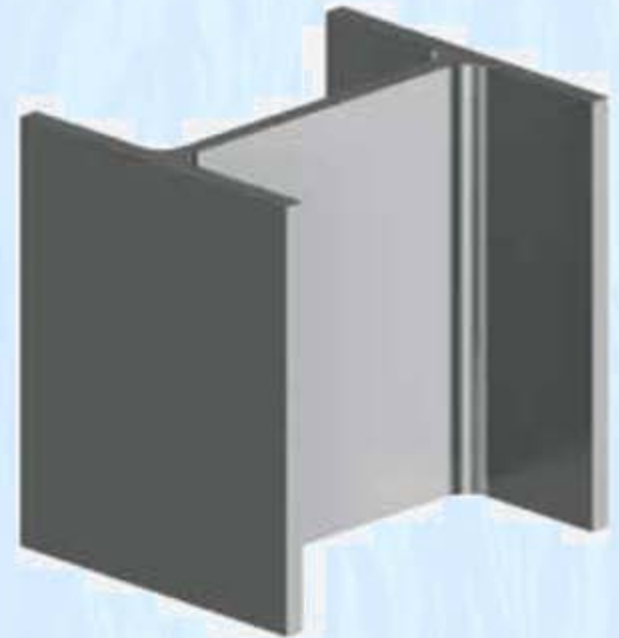
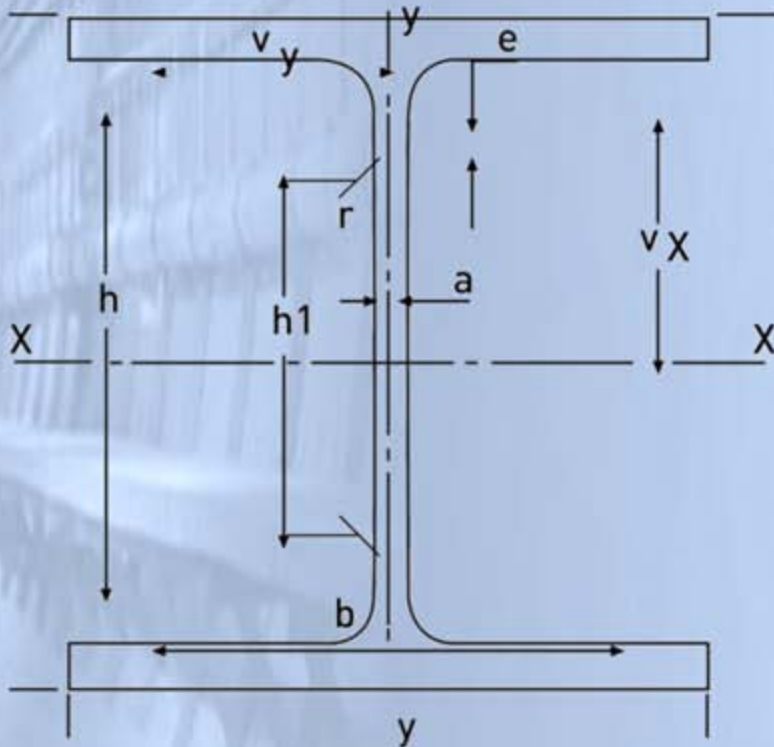
جزوه درس نگهداری و کنترل زمین



# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های فلزی صلب:

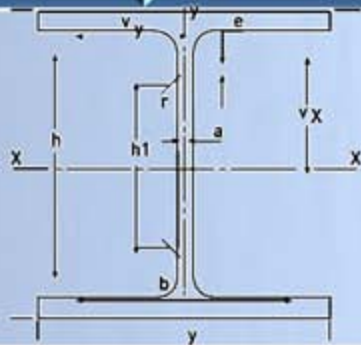
IPB: بال پهن







## IPB: بال پهن



# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

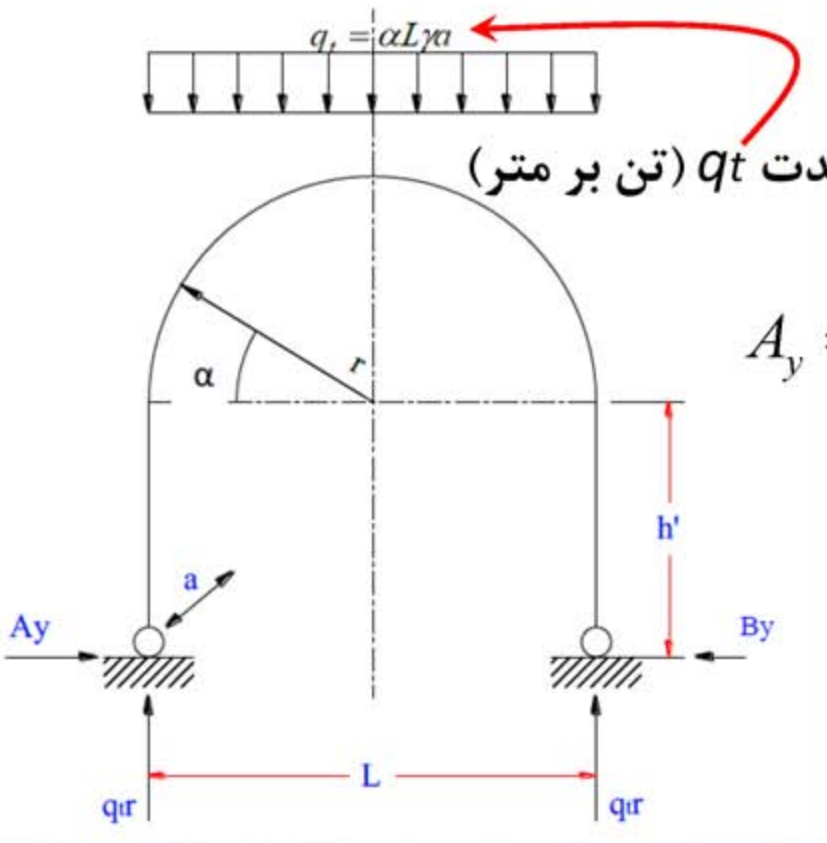
## قاب های فلزی صلب:

Size	h (mm)	b (mm)	s (mm)	t (mm)	G (kg/m)	A (cm <sup>2</sup> )	Jx (cm <sup>4</sup> )	Wx (cm <sup>3</sup> )	ix (cm)	Jy (cm <sup>4</sup> )	Wy (cm <sup>3</sup> )	iy (cm)	Sx (cm <sup>3</sup> )	Sy (cm <sup>3</sup> )
HE 100 A	96	100	5	8	16,7	21,24	349,2	72,76	4,06	133,8	26,76	2,51	41,14	8,0
HE 120 A	114	120	5	8	19,9	25,34	606,2	106,3	4,89	230,9	38,48	3,02	58,85	9,8
HE 140 A	133	140	5,5	8,5	24,7	31,42	1033	155,4	5,73	389,3	55,62	3,52	84,85	11,6
HE 160 A	152	160	6	9	30,4	38,77	1673	220,1	6,57	615,6	76,95	3,98	117,6	13,4
HE 180 A	171	180	6	9,5	35,5	45,25	2510	293,6	7,45	924,6	102,7	4,52	156,5	15,2
HE 200 A	190	200	6,5	10	42,3	53,83	3692	388,6	8,28	1336	133,6	4,98	203,8	17,0
HE 220 A	210	220	7	11	50,5	64,34	5410	515,2	9,17	1955	177,7	5,51	270,6	18,8
HE 240 A	230	240	7,5	12	60,3	76,84	7763	675,1	10,05	2769	230,7	6	351,7	20,6
HE 260 A	250	260	7,5	12,5	68,2	86,82	10450	836,4	10,97	3668	282,1	6,5	430,2	22,5
HE 280 A	270	280	8	13	76,4	97,26	13670	1013	11,86	4763	340,2	7	518,1	24,4
HE 300 A	290	300	8,5	14	88	112,5	18260	1260	12,74	6310	420,6	7,49	641,2	26,2
HE 320 A	310	300	9	15,5	97,6	124,4	22930	1479	13,58	6985	465,7	7,49	709,7	27,9
HE 340 A	330	300	9,5	16,5	105	133,5	27690	1678	14,4	7436	495,7	7,46	755,9	29,7
HE 360 A	350	300	10	17,5	112	142,8	33090	1891	15,22	7887	525,8	7,43	802,3	31,5
HE 400 A	390	300	11	19	125	159	45070	2311	16,84	8564	570,9	7,34	872,9	35,2
HE 450 A	440	300	11,5	21	140	178	63720	2896	18,92	9465	631	7,29	965,5	39,8
HE 500 A	490	300	12	23	155	197,5	86970	3550	20,98	10370	691,1	7,29	1037,0	44,0

# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## محاسبات طراحی قاب های فلزی صلب:

➤ فرض: قاب تحت بارگذاری یک بار گسترده با شدت  $q_t$  (تن بر متر)



$$A_y = B_y = \frac{(0.785h' + 0.666r) q_t r^3}{0.666h'^3 + \pi h'^2 + 4h'r^2 + 1.57r^3}$$

$A_y$  و  $B_y$  عکس العمل های تکیه گاهی بر حسب تن

$$M_{max} = 0.5q_t \cdot r^2 - A_y(h' + r)$$

$M_{max}$  گشتاور ماکزیمم (تن بر متر)

$$N_{max} = q_t \cdot r$$

$N_{max}$  نیروی محوری ماکزیمم (تن)

$r$  شعاع قاب (بر حسب متر)  
 $h'$  طول بخش قائم قاب (بر حسب متر)



# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## محاسبات طراحی قاب های فلزی صلب:

برای طراحی، بیشترین تنش مطلق وارده به قاب (با فاصله قابگذاری یک متر)، مطابق رابطه زیر محاسبه می شود که این تنش باید از مقدار مقاومت مجاز فولاد کمتر باشد.

$$\sigma = \frac{q_t r}{A} + \frac{A_y \left( h' + 0.5 \frac{A_y}{q_t} \right)}{W} \leq \sigma_{SF}$$

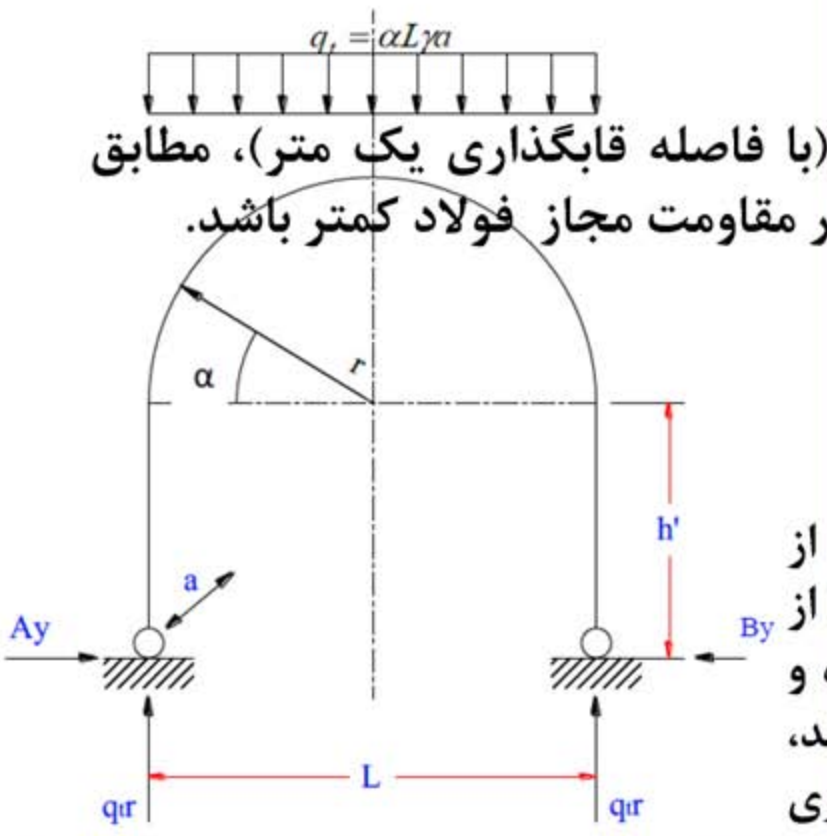
برای طراحی، بعد از تعیین مقدار  $q$ ، یک مقطع اختیاری از قاب (از جدول اشتال) انتخاب شده و سپس با استفاده از رابطه فوق، مقدار تنش مطلق وارد به قاب محاسبه شده و با مقدار مجاز مقایسه می شود. اگر تنش وارده کمتر باشد، می توان مقطع سبک تری انتخاب کرد و یا فاصله داری قابگذاری را زیاد کرد و برعکس.

$\sigma$ : تنش مطلق موثر بر قاب (بر حسب تن بر متر مربع)

$A$ : سطح مقطع عرضی قاب (بر حسب متر مربع)

$W$ : مدول مقطع (بر حسب متر مکعب) مدول مقطع از تقسیم ممان اینرسی بر شعاع تار خنثی بدست می آید.

$\sigma_{SF}$ : تنش مجاز فولاد (بر حسب تن بر متر مربع): برای فولاد ST37، برابر با ۱۴۰۰۰ تن بر متر مربع





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## محاسبات طراحی قاب های فلزی صلب:

بر اساس مقررات ملی ساختمان و سایر آیین نامه های مهندسی عمران، مقاومت مجاز عناصر سازه ای بصورت زیر محاسبه می شود:

$$\sigma_{\text{مجاز}} \leq 0.6 \times \sigma_{\text{تسلیم}}$$

$$\tau_{\text{مجاز}} = 0.4 \times \sigma_{\text{تسلیم}}$$

همچنین، مقاومت تسلیم فولاد ST37 برابر با ۲۴۰ مگا پاسکال و مقاومت تسلیم فولاد ST52 برابر با ۳۶۰ مگا پاسکال است.

**مثال: برای فولاد ST37 با  
مقاومت تسلیم ۲۳۴**

$$\sigma_{\text{تسلیم}} = 234 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{مجاز}} \leq 0.6 \times 234$$

$$\sigma_{\text{مجاز}} \leq 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{مجاز}} = 0.4 \times 234$$

$$\tau_{\text{مجاز}} = 94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

◀ تنش کششی مجاز

◀ تنش برشی مجاز

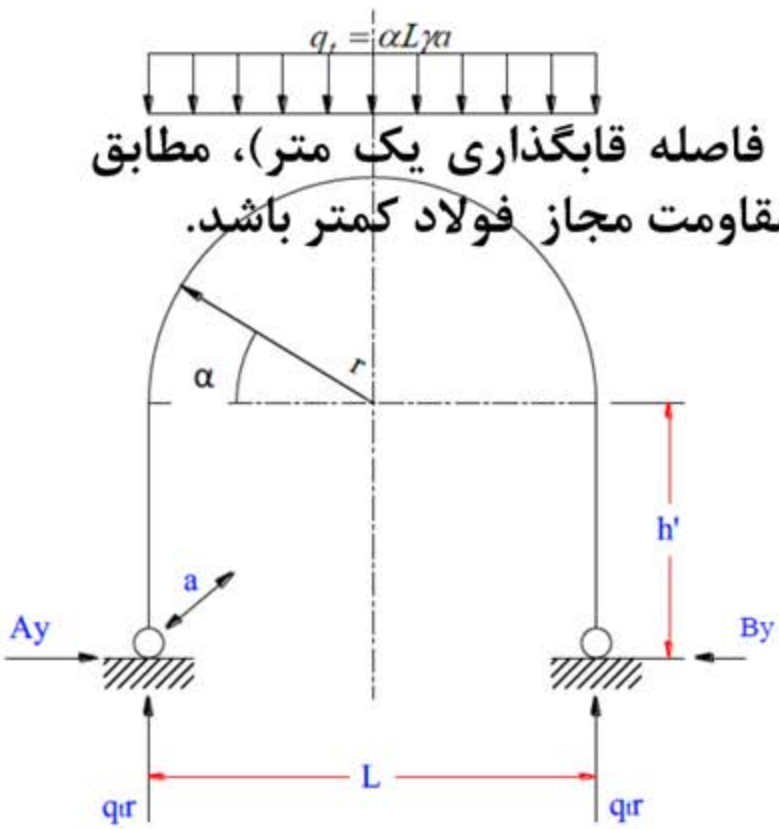


# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## محاسبات طراحی قاب های فلزی صلب:

برای طراحی، بیشترین تنش مطلق وارده به قاب (با فاصله قابگذاری یک متر)، مطابق رابطه زیر محاسبه می شود که این تنش باید از مقدار مقاومت مجاز فولاد کمتر باشد.

$$\sigma = \frac{q_t r}{A} + \frac{A_y \left( h' + 0.5 \frac{A_y}{q_t} \right)}{W} \leq \sigma_{SF}$$



$$|\sigma| = \frac{\text{Carg aNormal}}{\text{AreaDeLaSección}} + \frac{\text{momento.máximo}}{\text{móduloDeLaSección}}$$

$$|\sigma| = \frac{q_t r}{F} + \frac{A_y (h' + 0.5 A_y / q_t)}{W} \leq \sigma_{sf} \dots \dots \dots (2.15)$$



# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## محاسبات طراحی قاب های فلزی صلب:

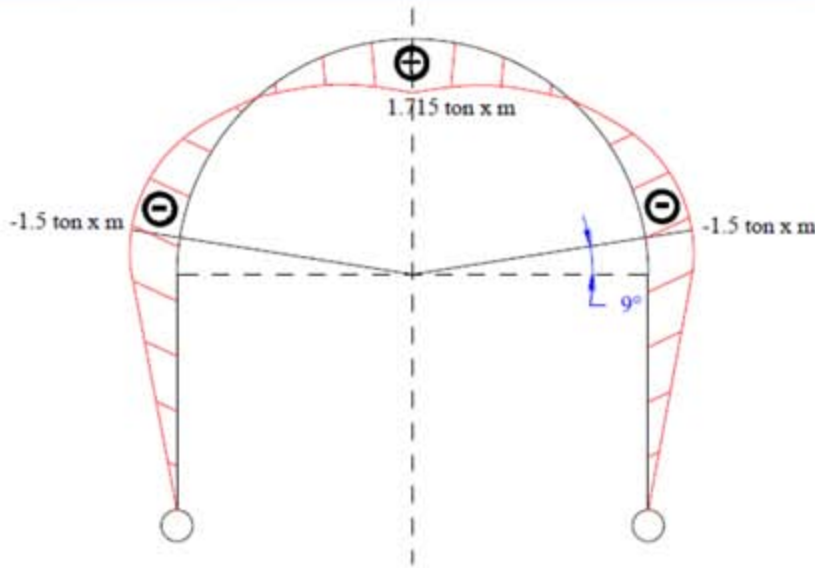


Fig. 2.9(a): Modelo estático de un arco rígido idealizado de acero. Grafica de Momentos

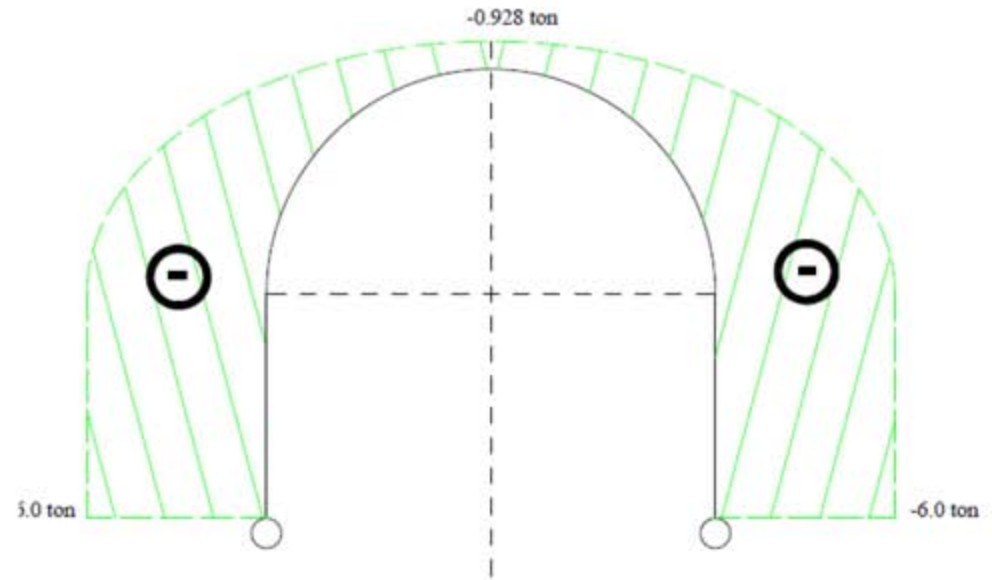


Fig. 2.9 (b): Modelo estático de un arco rígido idealizado de acero. Grafica de carga normal

ممان وارده

نیروی محوری

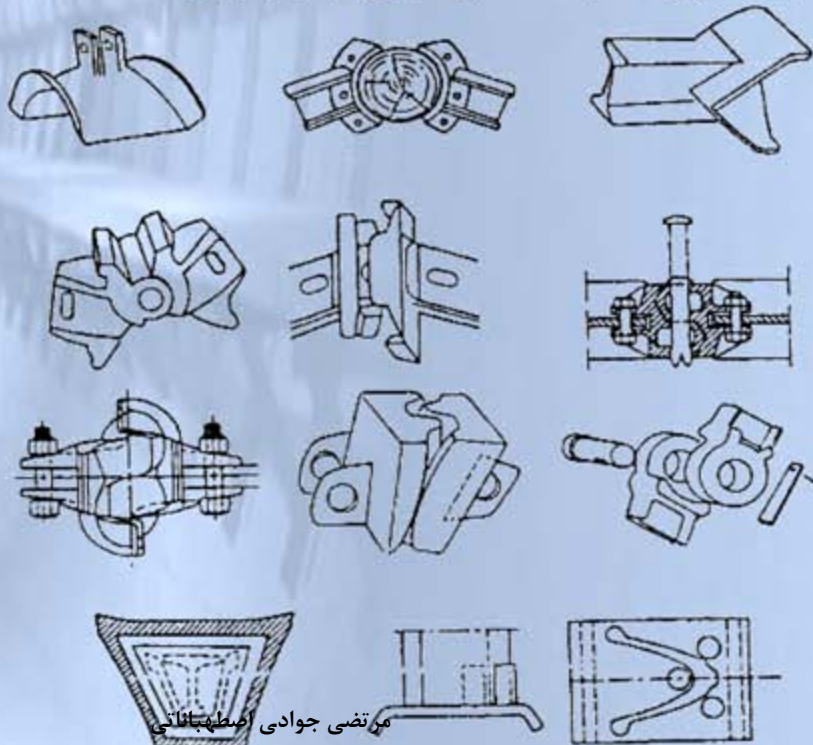


# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های فلزی مفصلی

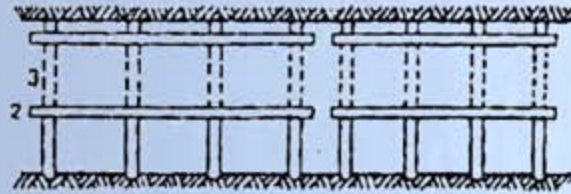
➤ قطعات قاب: تکه های منفصل از قاب که با مفصل شدن به هم، مقطع تونل را شکل میدهند.

➤ مفصل: اتصال بین قطعات قاب با استفاده از مفصل انجام می شود که مفصل ها معمولا تحمل ممان ندارند ولی بار محوری را منتقل می کنند. بعبارت دیگر، ممان در محل مفصل ها بسیار ناچیز خواهد بود. بهمین دلیل، این نوع قاب ها توانایی جابجایی داشته و اصطلاحا انعطاف پذیر خواهند بود.

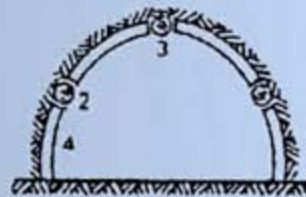


# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

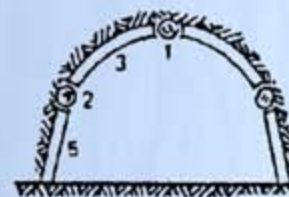
## قاب های فلزی مفصلی



(ب)



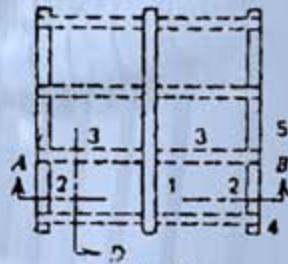
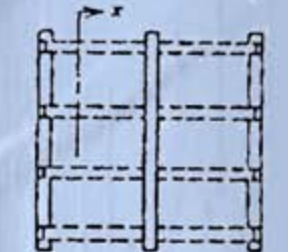
(پ)



(ت)



(ث)



(الف)



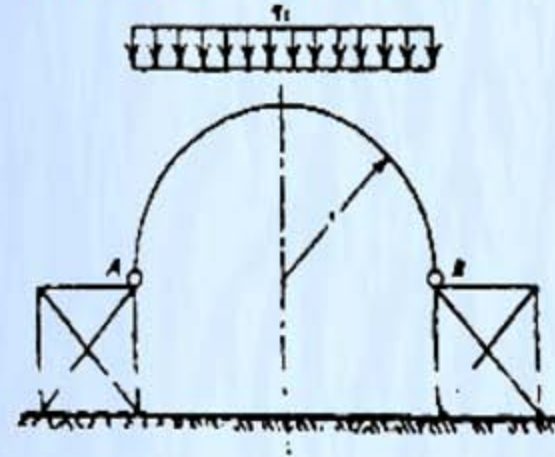
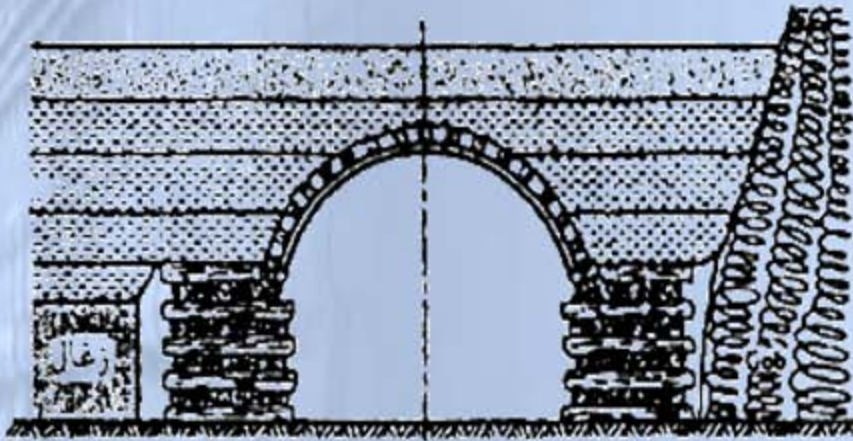
(ج)





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## محاسبات طراحی قاب های فلزی مفصلی: الف) قاب دو مفصلی



➤ فرض: قاب تحت بارگذاری یک بار گسترده با شدت  $q_t$  (تن بر متر)

$$A_y = B_y = \frac{0.66 q_t r}{1.57 r^2} = 0.424 q_t r \quad \text{تن} \quad \text{عکس العمل های تکیه گاهی بر حسب تن}$$

$$M_{max} = 0.09 q_t r^2 \quad \text{گشتاور ماکزیمم (تن بر متر)}$$

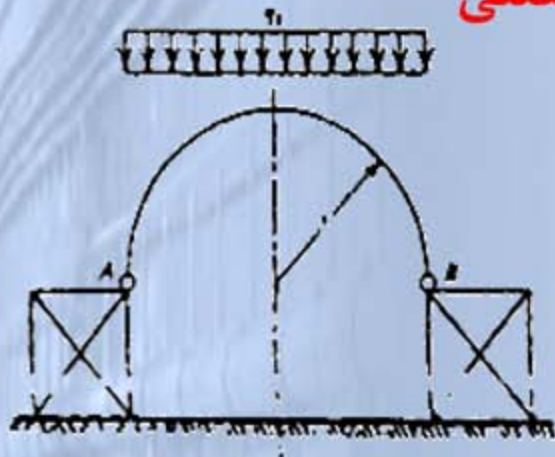
$$N_{max} = q_t r \quad \text{نیروی محوری ماکزیمم (تن)}$$

$r$  شعاع قاب (بر حسب متر)



## سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

### محاسبات طراحی قاب های فلزی مفصلی: الف) قاب دو مفصلی



$$\sigma = \frac{q_t r}{A} + \frac{0.09 q_t r^2}{W} \leq \sigma_{SF}$$

$\sigma$ : تنش مطلق موثر بر قاب (بر حسب تن بر متر مربع)

$A$ : سطح مقطع عرضی قاب (بر حسب متر مربع)

$W$ : مدول مقطع (بر حسب متر مکعب) مدول مقطع از تقسیم ممان اینرسی بر شعاع تار خشی بدست می آید.

$\sigma_{SF}$ : تنش مجاز فولاد (بر حسب تن بر متر مربع): برای فولاد ST37، برابر با ۱۴۰۰۰ تن بر متر مربع

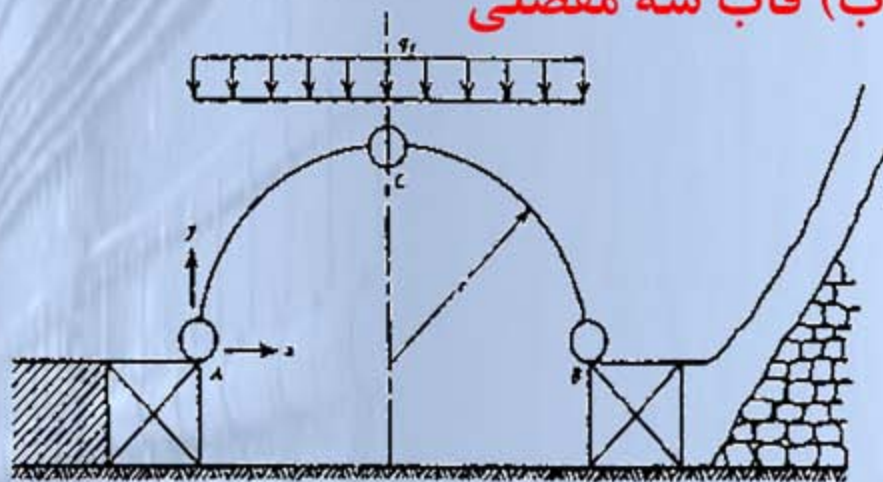
برای طراحی، بعد از تعیین مقدار  $q$ ، یک مقطع اختیاری از قاب (از جدول اشتال) انتخاب شده و سپس با استفاده از رابطه فوق، مقدار تنش مطلق وارد به قاب محاسبه شده و با مقدار مجاز مقایسه می شود. اگر تنش وارده کمتر باشد، می توان مقطع سبک تری انتخاب کرد و یا فاصله داری قابگذاری را زیاد کرد و برعکس.





## سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

محاسبات طراحی قاب های فلزی مفصلی: (ب) قاب سه مفصلی



➤ فرض: قاب تحت بارگذاری یک بار گسترده با شدت  $q_t$  (تن بر متر)

$$M_{max} = 0.125q_t r^2$$

$M_{max}$  گشتاور ماکزیمم (تن بر متر)

$$N_{max} = q_t r$$

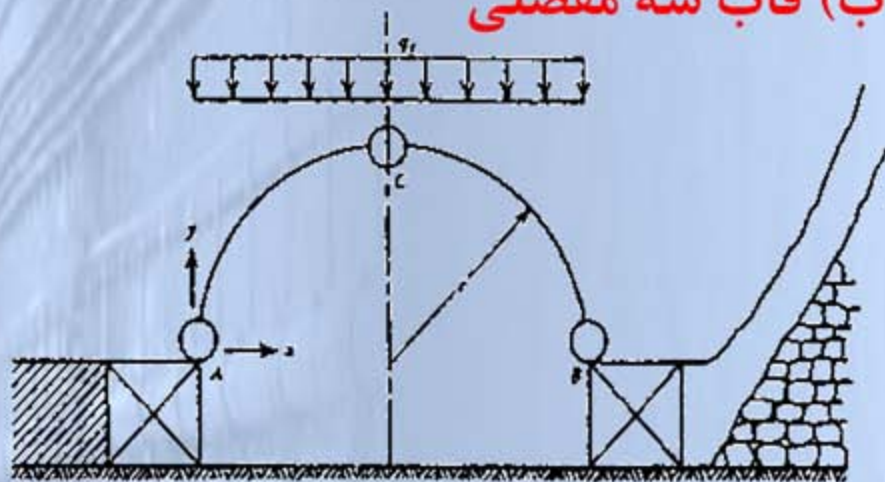
$N_{max}$  نیروی محوری ماکزیمم (تن)

$r$  شعاع قاب (بر حسب متر)



## سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

### محاسبات طراحی قاب های فلزی مفصلی: (ب) قاب سه مفصلی



$$\sigma = \frac{q_t r}{A} + \frac{0.125 q_t r^2}{W} \leq \sigma_{SF}$$

$\sigma$ : تنش مطلق موثر بر قاب (بر حسب تن بر متر مربع)

$A$ : سطح مقطع عرضی قاب (بر حسب متر مربع)

$W$ : مدول مقطع (بر حسب متر مکعب) مدول مقطع از تقسیم ممان اینرسی بر شعاع تار خنثی بدست می آید.

$\sigma_{SF}$ : تنش مجاز فولاد (بر حسب تن بر متر مربع): برای فولاد ST37، برابر با ۱۴۰۰۰ تن بر متر مربع

برای طراحی، بعد از تعیین مقدار  $q$ ، یک مقطع اختیاری از قاب (از جدول اشتال) انتخاب شده و سپس با استفاده از رابطه فوق، مقدار تنش مطلق وارد به قاب محاسبه شده و با مقدار مجاز مقایسه می شود. اگر تنش وارده کمتر باشد، می توان مقطع سبک تری انتخاب کرد و یا فاصله داری قابگذاری را زیاد کرد و برعکس.

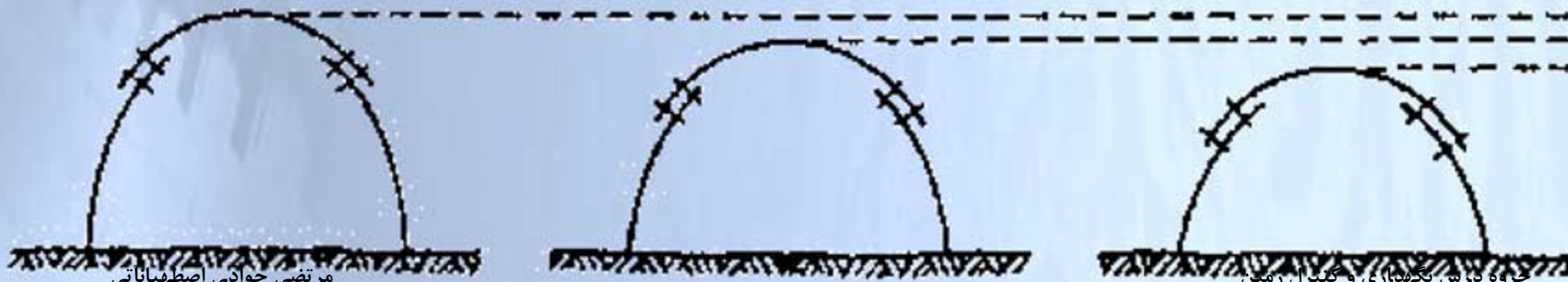




## سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

### قاب های کشویی (قاب T-H یا تویشتنت-هینتزمان)

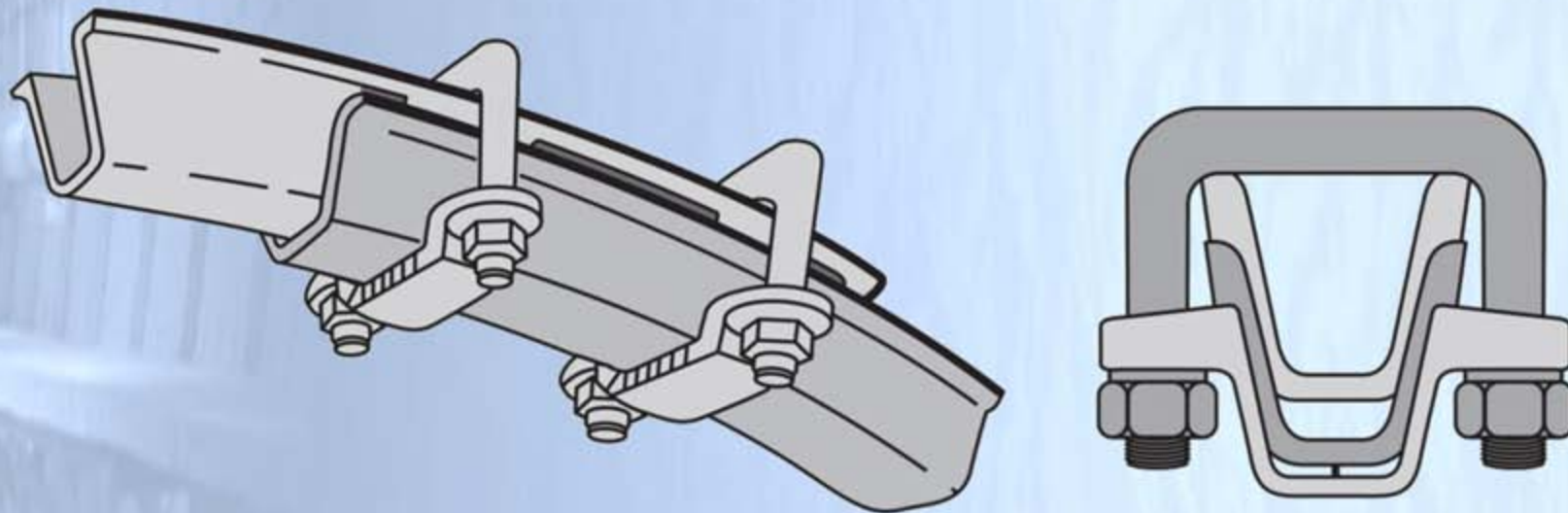
- قطعات قاب بر روی هم قابلیت جابجایی داشته (جابجایی مشابه با حالت کشویی) و در حین بارگذاری نسبتا زیاد، قطعات قاب بر روی هم لغزش کرده (قطعه بالایی بر روی پایینی می لغزد) و به همین دلیل انعطاف پذیری خوبی در مقابل جابجایی دارند.
- قطعات قاب در محل اتصال به هم (محل همپوشانی) با یک قطعه تحت عنوان بست به یکدیگر بسته می شوند.
- این نوع از قاب ها معمولا در معادن زیرزمینی، استفاده می شود. در حین عملیات و چرخه معدنکاری، معمولا هر از گاهی پیچ های مربوط به بست را شل نموده (این کار باعث لغزش قطعات بر روی هم می شود) و بعد از جابجایی قاب، مجددا بست ها سفت می شود. در این حالت، مقطع قاب حین بارگذاری سالم باقی مانده و می توان این قاب ها را بعد از استفاده، بخوبی بازیابی نمود.





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## نحوه اتصال قاب های کشویی



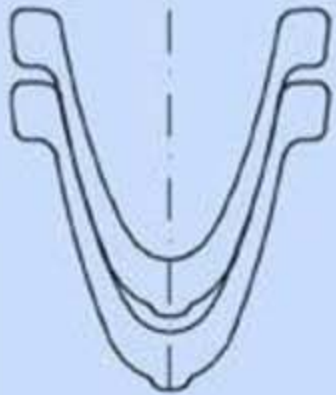




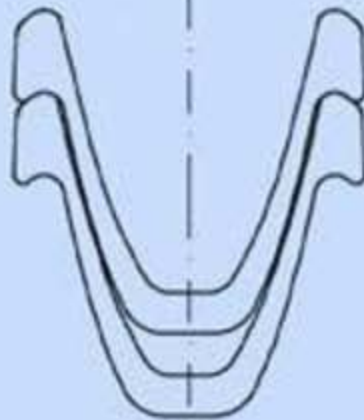
# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## انواع قاب های کشویی

Bell-shaped profile



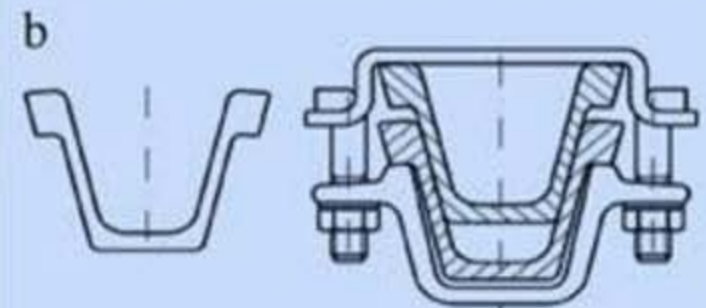
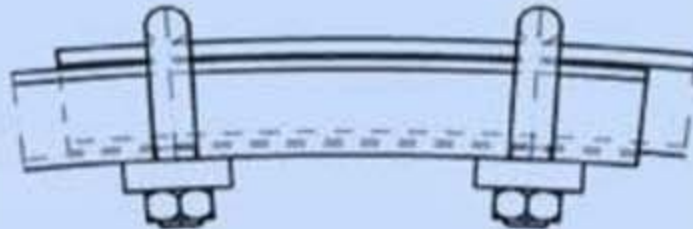
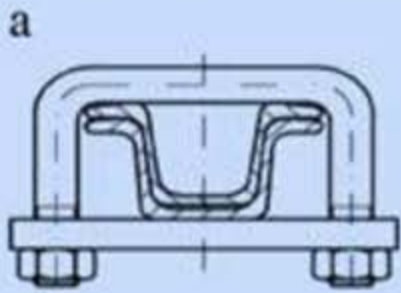
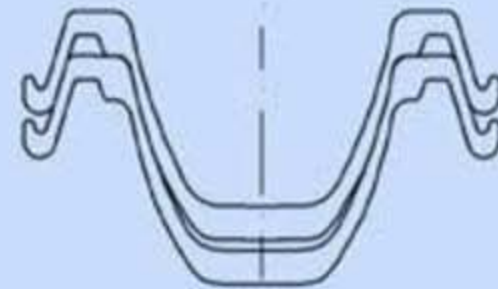
TH-profile



DMT-profile



W-profile





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های کشویی (قاب T-H یا توپشنت-هینتزمان)







# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های کشویی (قاب T-H یا توپشنت-هینتزمان)





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های کشویی (قاب T-H یا تویشتنت-هینتزمان)

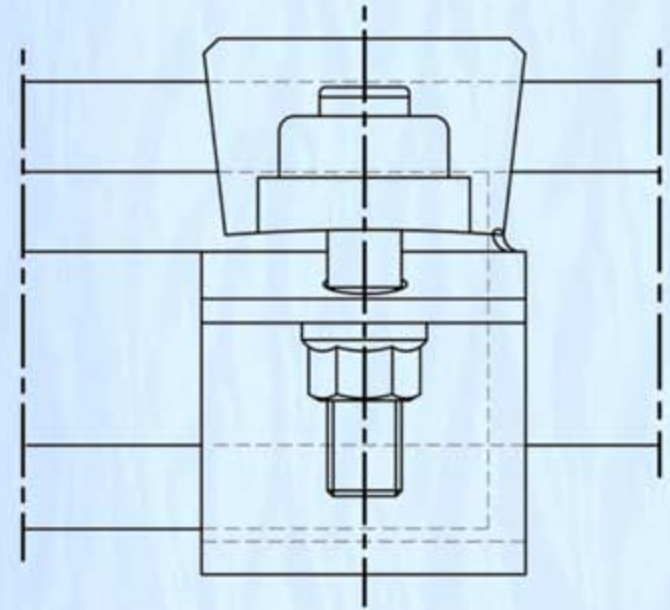
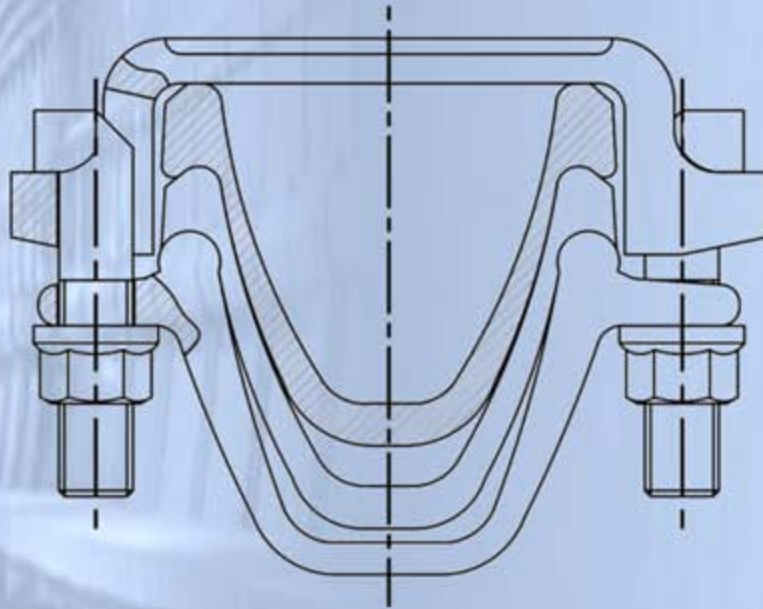


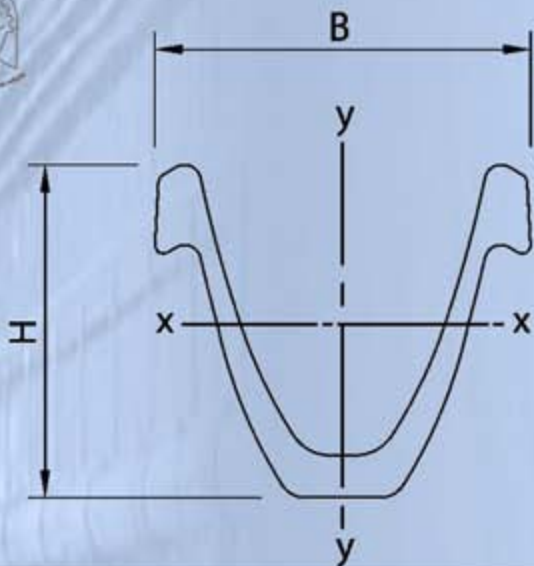




# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های کشویی (قاب T-H یا توپشنت-هینتزمان)





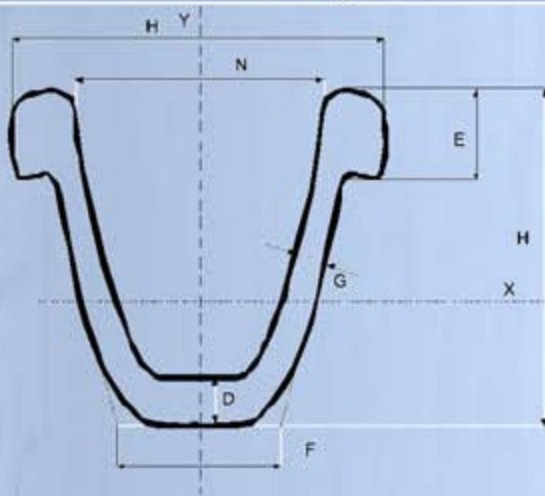
# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

قاب های کشویی (قاب T-H یا توپشنت-هینتزمان)

PROFILE PROPERTIES

SIZE	MASS	SECTIONAL AREA	B	H	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>
	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	mm	mm	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
TH 21	20,9	26,7	127,0	108,0	324	410	60	64
TH 25	25,0	31,9	136,0	118,0	455	558	74	82
TH 29	29,0	37,0	150,0	124,0	598	799	94	106
TH 34	33,8	43,1	171,0	136,5	870	1.182	122	138
TH 36	35,9	45,7	171,0	138,0	928	1.244	128	146
TH 40	39,9	50,9	172,0	145,0	1.120	1.440	153	167
TH 42	41,8	53,3	172,0	146,4	1.181	1.499	159	174
TH 44	43,7	55,7	172,0	147,8	1.243	1.559	165	181





# سیستم نگهداری فلزی: قاب های فولادی

## قاب های کشویی (قاب V)

Section	Sectional strength modulus $W_x$ [cm <sup>3</sup> ]	Height $H$ [mm]	Width $K$ [mm]	Section area [cm <sup>2</sup> ]	Weight [kg]
V25	83.0	118	135	31.8	25.0
V29	93.7	124	150	37.0	29.0
<b>V32</b>	<b>121.2</b>	<b>137</b>	<b>171</b>	<b>40.8</b>	<b>32.1</b>
<b>V34</b>	<b>124.0</b>	<b>137</b>	<b>171</b>	<b>43.5</b>	<b>34.1</b>
V36	136.5	138	171	45.7	35.9
V44	173.6	150	179	55.9	43.9

Lagging	Load-bearing capacity [kN/m]		
	V21	V25	V29
Without lagging	319.4	390.4	460.6
With lagging	502.4	524.5	639.5