

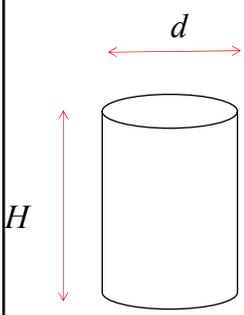
### برخی از آزمون های آزمایشگاهی خاک و سنگ

ردیف	عنوان آزمایش	شرح	استاندارد مربوطه
۱	دانه بندی و طبقه بندی خاک	جهت تعیین حدود اتربرگ و طبقه بندی مصالح، بطور معمول در هر ۲ تا ۳ متر عمق گمانه و چاهک و یا با تغییر جنس لایه ها با استفاده از نمونه های دست خورده	ASTM D4318-ASTM D422
۲	چگالی دانه های سنگی (Gs)	در هر ۸ الی ۱۰ متر گمانه ماشینی (۳ الی ۵ آزمایش در هر گمانه)	ASTM D854
۳	درصد رطوبت	در هر ۳ متر عمق گمانه های ماشینی بر روی مغزه های سالم	ASTM D2216
۴	وزن مخصوص	در هر ۳ متر عمق گمانه های ماشینی بر روی مغزه های سالم	ASTM D7263
۵	شیمیایی خاک	جهت تعیین سولفات، کلرید، کربنات، درصد مواد آلی، املاح و pH خاک، در هر ۱۰ الی ۱۲ متر طول ماشینی یک نمونه خاک	BS1377-3:2018
۶	شیمیایی آب زیرزمینی	جهت تعیین سولفات، کلرید، کربنات، کل مواد محلول در آب و pH آب، یک نمونه در هر گمانه ماشینی	ASTM D512 – ASTM D1125, D1126
۷	برش مستقیم	جهت تعیین خصوصیات مقاومتی خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک)، با سرعت برش کند بر روی نمونه های بازسازی شده در شرایط رطوبت طبیعی و اشباع، حداقل ۳ آزمایش در هر گمانه	ASTM D3080
۸	سه محوری	در دو حالت نضحیم یافته زهکشی نشده و نضحیم یافته زهکشی شده، در شرایط لزوم و به تشخیص مشاور	ASTM D4767, D2850, D7181
۹	پتروگرافی	جهت تعیین درصد کانی های تشکیل سنگ ها و خصوصیات بافتی سنگ، در هر گمانه بر روی یکی الی دو نمونه در عمق قرار گیری پروژه	BS EN 12407:2019
۱۰	اندیس ساینده گی سرشار	جهت تعیین شاخص ساینده گی، در هر گمانه بر روی یکی الی دو نمونه در عمق مورد نیاز پروژه	ASTM D7625

12/30/2025
Dr. Hasan Ghasemzadeh
4

# آزمایش های سنگ

## آزمایش تک محوری



$\frac{H}{D} = 2.5 \sim 3$

نمونه استوانه ای

نرخ بار گذاری ۰.۵ تا ۱ MPa/sec

ASTM	$D > 47 \text{ mm}$	$H/D = 2 \sim 2.5$
ISRM	$D > 54 \text{ mm}$	$H/D = 2.5 \sim 3$

$UCS = \frac{P}{A_0}$

مقاومت فشاری نمونه از تقسیم بار حداکثر به سطح مقطع اولیه نمونه بدست می آید.

$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_a}$

$\nu = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_d}$

12/30/2025 Dr. Hasan Ghasemzadeh 5

# آزمایش های سنگ

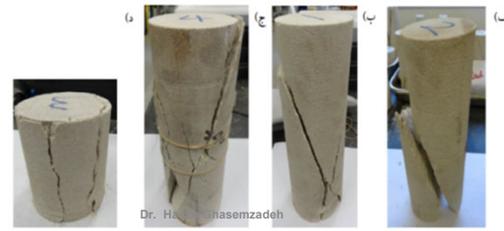
## آزمایش تک محوری

### مکانیزم شکست



ASTM D7012

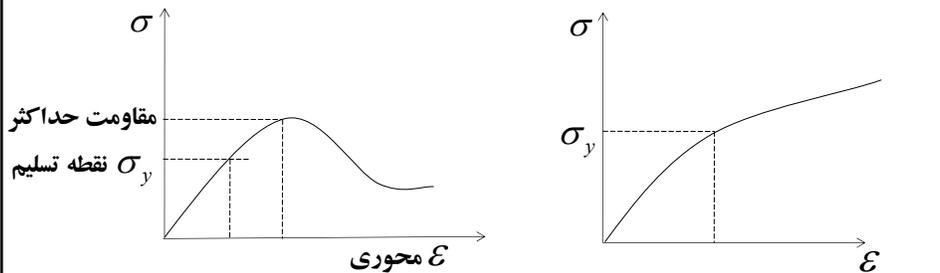
- (I) یک سطح برش زاویه دار نسبت به امتداد بارگذاری
- (II) دو سطح برش با مقاومتی نسبتاً بالا
- (III) چندین ترک در مرکز نمونه با مقاومتی بالا
- (IV) گسیختگی قائم در راستای محور بارگذاری با بالاترین مقاومت.



12/30/2025 Dr. Hasan Ghasemzadeh 6

# آزمایش های سنگ

## آزمایش تک محوری



منحنی تنش و کرنش سنگ

عوامل تاثیر گذار بر مقاومت

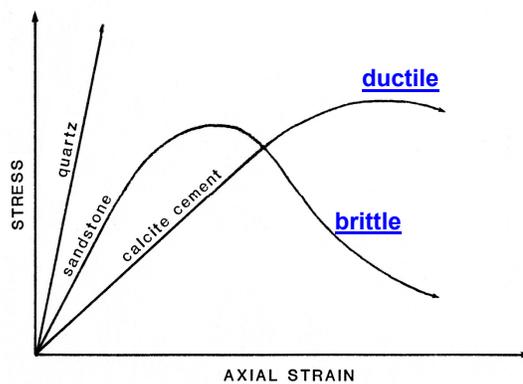
- ۱ مربوط به نمونه: نظیر کانی های سنگ، چگالی، تخلخل، اندازه دانه ها و ناهمسانگردی سنگ
- ۲ عواملی خارجی: نظیر هندسه نمونه (H/D) اصطکاک صفحات فشار ماشین و سطوح انتهایی نمونه و نرخ بار گذاری
- ۳ شرایط محیطی: مانند رطوبت، مایعات موجود در سنگ و درجه حرارت

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

7

# آزمایش های سنگ



- The stress strain behavior of a natural rock like sandstone is a combination of its mineralogical components, in this case: quartz and calcite

منحنی بعد از نقطه پیک تنش



دستگاه های جدید

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

8

# آزمایش های سنک

## آزمایش کشش مستقیم



ASTM D2936-20

به دلیل تمرکز تنش معمولا انجام نمی شود

$$UTS = \frac{T}{A_0}$$

مقاومت کششی نمونه از تقسیم  
بار حداکثر به سطح مقطع  
اولیه نمونه بدست می آید .

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

9

# آزمایش های سنک

## آزمایش سه محوری



ASTM D7012

دقیق اما به هزینه زیاد نسبت به سایر آزمایشها

براساس تنش تفاضلی مقاومت  
خاک تعیین می شود

در صورت در دسترس نبودن آزمایش برش  
مستقیم جایگزین می شود

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

10

# آزمایش های سنگ



آزمایش برش مستقیم

آزمایش ساده و ارزانتر نسبت به سه محوری

این آزمایش روی درزه نیز انجام می شود

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

11

# آزمایش های سنگ



Fracture Toughness چقرمگی

رفتار شکست سنگ قابل بررسی است

آزمایش سه نقطه ای بر تیر شیاردار  
SCB – Semi-Circular Bend

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

12

# آزمایش های سنگ

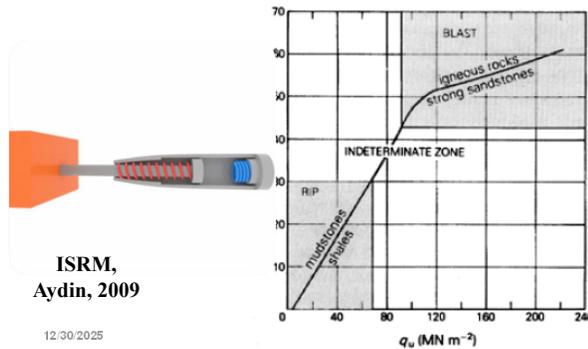
## Schmidt Hammer

Hand held, spring loaded hammer measures rebound from rock surface; rebound values correlate with UCS and decline significantly in fractured rock.

Schmidt hardness	20	30	40	50	60
UCS (MPa)	12	25	50	100	200

Very rapid field test may identify weaker or weathered rock, or loose fracture blocks, in exposed rock face.

آزمایش چکش اشمیت



ISRM, Aydin, 2009

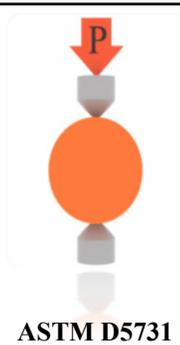
12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

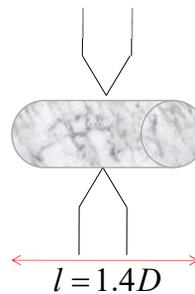


# آزمایش های سنگ

شاخص بار نقطه ای



ASTM D5731



$$I_s = P / D^2$$

در حالت استاندارد  $D=50\text{mm}$  می باشد و با افزایش  $D$  مقدار  $I_s$  کاهش می یابد  
 $q_u = 24I_{s(50)}$



سنگ	$I_{s(50)}$ (MPa)
ماسه سنگ و سنگ رس دوران سوم	0.05 - 1
ذغال	0.2 - 2
شیل	0.2 - 8
دولویت	6 - 11

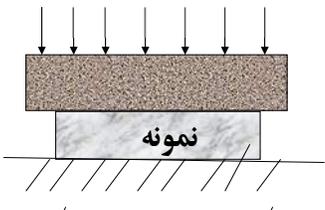
Dr. Hasan Ghasemzadeh

14

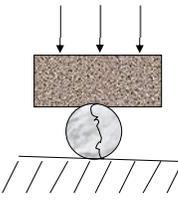
## آزمایش های سنگ



تست برزیلی

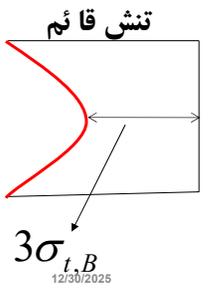


نمونه



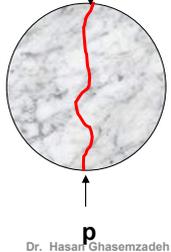
جهت تخمین  
مقاومت کششی

ASTM D3967-23



تنش قائم

$3\sigma_{t,B}$



Dr. Hasan Ghasemzadeh

$$\sigma_{t,B} = \frac{2P}{\pi dt}$$

تنش کششی در  
تست برزیلی

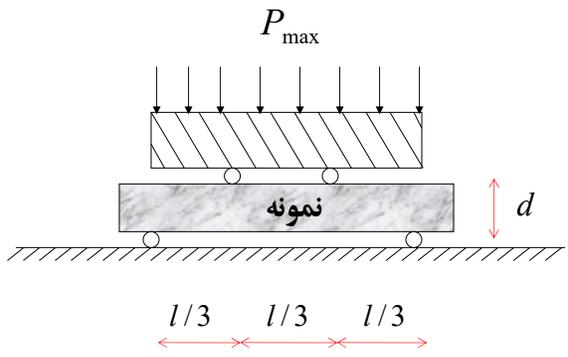
p : بار

d : قطر

t : طول نمونه

15

## آزمایش های سنگ



تست خمشی

$P_{max}$

نمونه

d

$l/3$   $l/3$   $l/3$

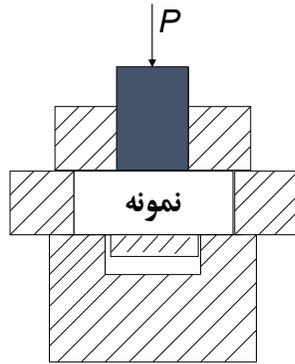
ممان خمشی یکنواخت

$$T_{MR} = \frac{16 P_{max} l}{3 \pi d^3}$$

16

# آزمایش های سنگ

آزمایش برش حلقه



$$\tau_p = \frac{P}{2A}$$

تنش برشی ماکزیمم

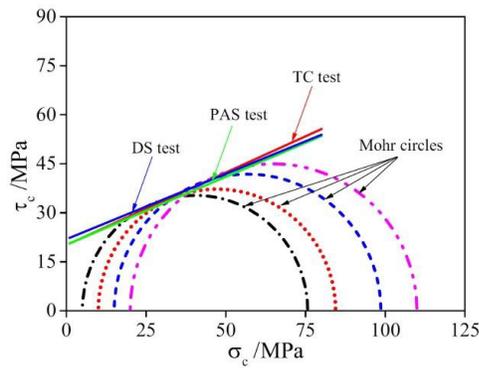
P نیروی ماکزیمم  
A مساحت جانبی

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

17

# آزمایش های سنگ



برش زاویه دار سنگ  
(Preset angle shear)

Sample Geometry : Cubic  
Sample Dimensions (mm) : 50 × 50 × 50

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

18

# آزمایش های سنگ

## دوام

تغییرات در سنگ بدلیل ورقه ورقه شدن تماس با آب ، حل شدن ، اکسیداسیون و فرسایش و ... صورت می پذیرد  
در بعضی از سنگ های آذرین و شیل ، دگرسانی در مدت کمی از ایجاد یک سطح تماس با هوا ایجاد می شود .

شاخص دوام **slake durability index**

آزمایش سایش لس آنجلس **Los Angeles Abrasion**

آزمایش خردایش هلندی **Dutch crushing test**

آزمایش سلامت **Soundness test**

یخ زدن و آب شدن **Freezing & thawing test**

دوام با دانسیته سنگ نسبت مستقیم و با درصد رطوبت نسبت معکوس دارد

12/30/2025

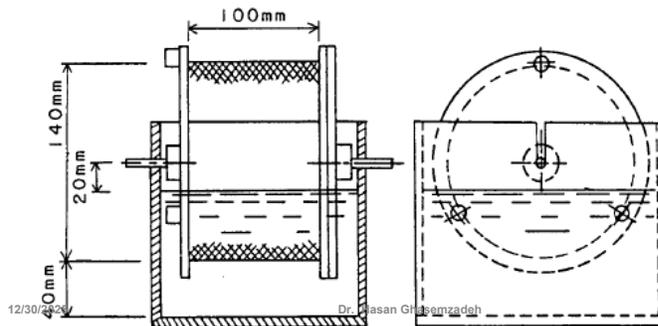
Dr. Hasan Ghasemzadeh

19

# آزمایش های سنگ

## شاخص دوام ( slake durability index )

در این آزمایش یک درام ۱۴۰ میلی متری و با طول ۱۰۰ میلی متری با پوشش یک توری با چشمه های ۲ میلی متری وجود دارد . ۵۰۰ گرم سنگ در ده قطعه و در حالت اشباع در درام ریخته و ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰ دور بر دقیقه می چرخانیم . در صد وزنی باقیمانده سنگ ( در شرایط خشک ) شاخص دوام را می دهد. توصیه **Gambel** چرخش ثانوی به مدت ۱۰ دقیقه در حالت خشک می باشد .



12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

20

# آزمایش های سنک

شاخص دوام ( slake durability index )

**Table 1.** Visual description of the rock samples retained in the test drum after the second cycle (after Franklin and Chandra. 1972).

Type	Description
I	Pieces remain virtually unchanged
II	Consist of large and small pieces
III	Exclusively small fragments

**Table 2.** Slake durability index classification (after Franklin and Chandra. 1972).

ID <sub>2</sub> (%)	Durability classification
0 - 25	Very Low
26 - 50	Low
51 - 75	Medium
76 - 90	High
91 - 95	Very High
96 - 100	Extremely High

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemi

2

# آزمایش های سنک

Los Angeles Abrasion      آزمایش سایش لس آنجلس

در این آزمایش مقاومت سایشی سنگدانه ها اندازه گیری می شود. لیکن مقاومت سایشی ارتباط نزدیکی با مقاومت تک محوری دارد.



12/30/2025

Dr. Hasan G



استاندارد شماره ۴۴۸ ایران روش این آزمایش را برای چندین نوع دانه بندی مشخص می نماید. در این آزمایش جرم مشخصی از مصالح سنگی درون درام ریخته شده و با مقداری گلوله فولادی با سرعت ۱۰۰۰ دور درون درام می چرخند. میزان مصالح درشت دانه باقیمانده پس از شست و شو و خشک کردن بدست می آید. در صد کاهش وزن مصالح در اثر سایش به عنوان درصد سایش لس آنجلس نامیده می شود.

22

# آزمایش های سنگ

## Brittleness Value (S<sub>20</sub>)

## آزمایش عدد تودی

the percentage of material passing the 11.2 mm mesh after aggregate had been crushed by 20 impacts in the mortar

JAW CRUSHER OPENING IS SET TO MEAN VALUE OF SIEVE INTERVAL (i.e. 13.6 mm)

MATERIAL > 16 mm USED FOR TESTING OF SPECIFIC GRAVITY

16,0mm

11,2mm

FLAKENESS IS MEASURED BY RECTANGULAR SIEVE

IMPACT WEIGHT 14 kg

20 x

HEIGHT 25 cm (AVERAGE)

500 \* SPECIFIC GRAVITY (grams)

2.65

Dr. Hasan Ghasemzadeh

12/30/2025

23

# آزمایش های ساینندگی سنگ

## Cerchar Abrasivity Test

## آزمایش ساینندگی سرشار



ISRM, Alber et al., 2013

این اندیس با ساییده شدن و خراش نوک تیز یک میله (پین) فلزی بر روی یک سطح سنگی تازه، به دست می آید در این آزمایش نوک تیز میله فولادی بر روی سنگ قرار داده شده و دسته دستگاه برای ایجاد یک سانتیمتر خراش در مدت یک ثانیه کشیده می شود. پس از ایجاد خراش قطر سطح ساییده شده بر روی میله فولادی در زیر میکروسکوپ خوانده می شود.



## اندیس ساینندگی سرشار

## Cerchar Abrasivity Index (CAI)

$$CAI = 10 \cdot \frac{d}{c}$$

d = diameter of wear flat (mm);  
c = unit correction factor (c=1mm)

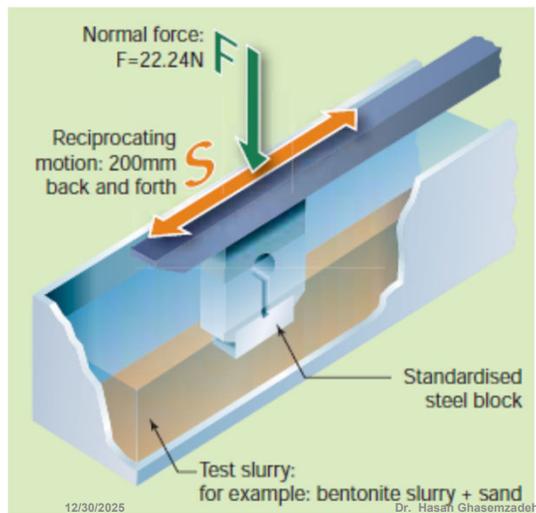
Dr. Hasan Ghasemzadeh

24

# آزمایش های ساینده سنگ

Miller test

آزمایش سایش دوغاب میلر

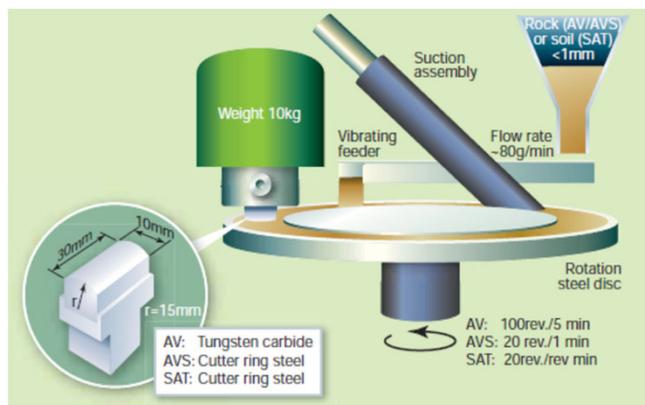


the Slurry Abrasivity (Miller Number) And the Slurry Abrasion Response (SAR Number)

# آزمایش های ساینده سنگ

( NTNU abrasion test-Abrasion Value - AV/AVS ) آزمایش عدد سایش

عدد سایش شاخصی جهت تعیین دریل شدن سنگ است برای ذرات خاک و سنگ خرد شده کوچکتر از یک میلیمتر استفاده می شود

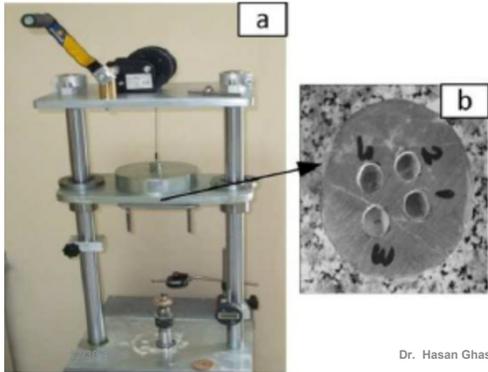


# آزمایش های سنگ

( Sievers' J-miniature drill test)

آزمایش دریل مینیاتوری سیور

a measure for the surface hardness (or the resistance to indentation) of the rock  
 The tests are run until the drill bit has performed 200 revolutions. An electronic micrometer is used for measuring the depth of drill holes. The tests are repeated 4-8 times for each rock type. The Sievers' J-value is calculated as the mean value of the depth of the miniature drill holes, measured in 1/10 mm

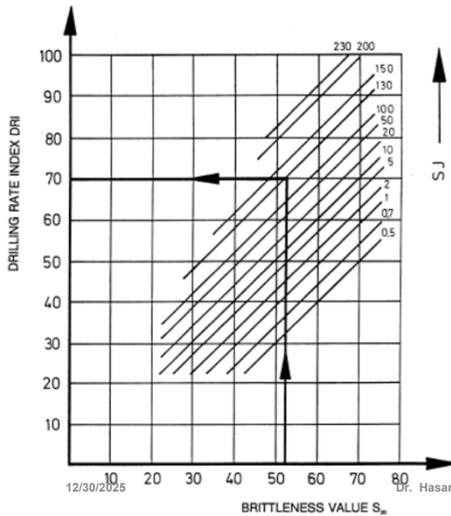


Dr. Hasan Ghasemzadeh

# آزمایش های سنگ

Drilling Rate Index (DRI)

آزمایش شاخص نرخ دریل شدن



The drilling rate index is found by intersecting the values obtained from brittleness and Sievers' J tests on the graph

Classification categories of DRI (Dahl, 2003)

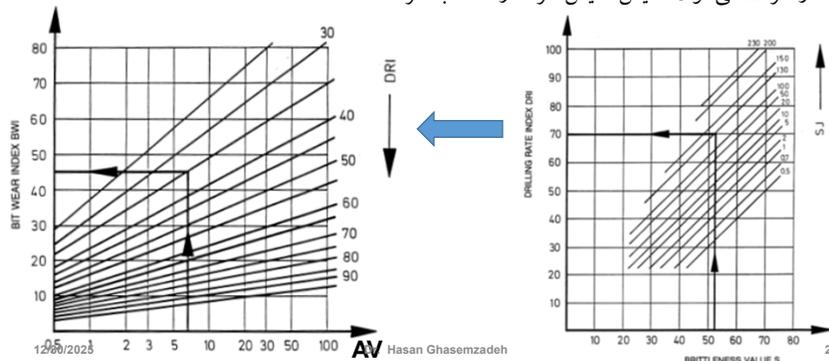
Category	DRI
Extremely low	$\leq 25$
Very low	26–32
Low	33–42
Medium	43–57
High	58–69
Very high	70–82
Extremely high	$\geq 93$

# آزمایش های سنک

Bit Wear Index(BWI)

آزمایش سایش سرمته

این شاخص بر مبنای شاخص سرعت حفاری DRI و نیز شاخص مقدار سایندگی AV استوار است. شاخص سرعت حفاری وابسته به دو کمیت میزان تردی  $S_{20}$  و نیز به مقدار ارزش J-Siever's است که طبق نمودار شکل قابل محاسبه است با معلوم بودن شاخص سرعت حفاری و نیز شاخص مقدار سایندگی با استفاده از گراف می توان اندیس سایش سرمته را محاسبه کرد.



# آزمایش های صحرایی سنک

چگالی

پرتو گاما

یکی از روش های تعیین چگالی در سایت استفاده از پرتو گاما می باشد . پرتو گاما به هنگام انتشار در اثر برخورد با الکترونها جذب شده یا منحرف شده ( پخش شده ) و به مسیر خود ادامه می دهد و بنابراین انرژی خود را از دست می دهد. هر چه انرژی پرتو گاما بیشتر باشد تقلیل انرژی بدلیل پخش بیشتر می شود و هر چه انرژی آن کمتر باشد تقلیل انرژی بدلیل جذب بیشتر است . در عمل با استفاده از یک چشمه پرتو گامای ( معمولاً  $CS_{137}$  با نیمه عمر ۳۰.۲ سال ) و یکسری آشکار ساز پرتو گاما می توان چگالی سنگ را تعیین نمود .

# آزمایش های صحرائی سنگ

## چگالی

### پرتو گاما

یکی از روش های تعیین چگالی در سایت استفاده از پرتو گاما می باشد .  
پرتو گاما به هنگام انتشار در اثر برخورد با الکترونها جذب شده یا منحرف شده ( پخش شده ) و به مسیر خود ادامه می دهد و بنابراین انرژی خود را از دست می دهد. هر چه انرژی پرتو گاما بیشتر باشد تقلیل انرژی بدلیل پخش بیشتر می شود و هر چه انرژی آن کمتر باشد تقلیل انرژی بدلیل جذب بیشتر است .  
در عمل با استفاده از یک چشمه پرتو گامای ( معمولاً  $^{137}\text{Cs}$  با نیمه عمر ۳۰.۲ سال ) و یکسری آشکار ساز پرتو گاما می توان چگالی سنگ را تعیین نمود .

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

31

# آزمایش های صحرائی سنگ

## چگالی

### پرتو گاما

$I = I_0 e^{-\mu t}$

I : انرژی پرتوهای رسیده به آشکار ساز  
 $I_0$  : انرژی اولیه پرتوهای  $\gamma$   
 $t$  : ضخامت لایه ای که اشعه از آن عبور می کند  
 $\mu$  : ضریب تقلیل که بستگی به عنصری که میان چشمه و آشکار ساز می باشد دارد

$R = Ae^{-B\gamma} - C$

R : نرخ شمارش فوتون های رسیده به آشکار ساز  
 A, B, C : ثابت های کالیبراسیون  
 $\gamma$  : چگالی سنگ

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

32

# آزمایش های صحرائی سنک

## درصد رطوبت

یکی از روش های تعیین میزان رطوبت استفاده از **نوترون** می باشد . ذرات نوترون خنثی بوده و جرم زیادی دارند که تنها احتمال برخورد با هسته اتم را دارند لذا ذرات نافذی می باشند . نوترون ها در اثر برخورد متوالی کند شده و به اصطلاح نوترون حرارتی می شوند .

بر خورد نوترون سریع با اتم های هیدروژن نوترون حرارتی تولید می کند واگر فرض نمائیم اتم های هیدروژن موجود در محیط مربوط به آب می باشند از شمارش نوترون های حرارتی می توان به مقدار هیدروژن موجود در محیط مربوط به آب می باشند

12/30/2025

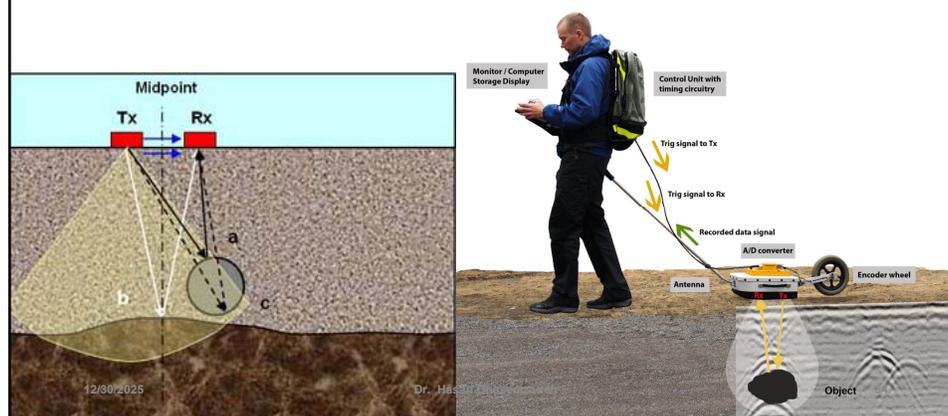
Dr. Hasan Ghasemzadeh

33

# آزمایش های صحرائی سنک

## درصد رطوبت

با استفاده از دستگاه **GPR** نیز می توان به رطوبت حتی آلاینده های آب پی برد



12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

# آزمایش های صحرائی سنگ

نفوذ پذیری



Gas Permeameter



Liquid Permeameter



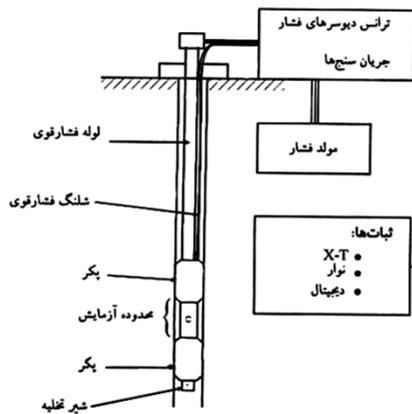
12/30/2025

35

# آزمایش های صحرائی سنگ

نفوذ پذیری

## Lugeon test لوژان



معمولا آزمایش در گمانه ای به قطر ۵ سانتیمتر انجام می شود محدوده ای به طول ۵ متر توسط پکرها بسته شده و با فشار حدود 1MPa آب داخل گمانه تزریق شده و میزان دبی آب اندازه گیری می شود و نفوذ پذیری بر حسب لوژان بیان می شود.

یک لوژان نفوذ پذیری سنگی است که در طول یک متر گمانه تحت فشار ۱۰ بار یک لیتر آب در دقیقه از خود عبور دهد

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

# آزمایش های صحرائی سنگ

پکرها  
packers



12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

37

# آزمایش های صحرائی سنگ

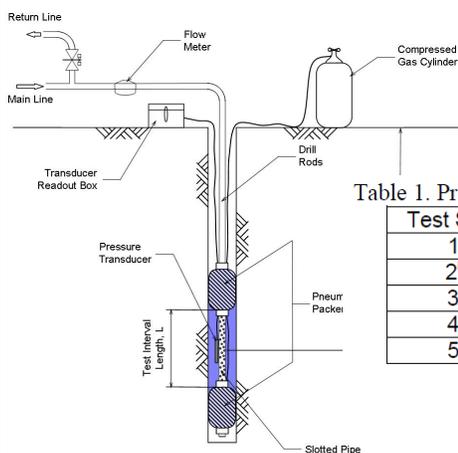


Table 1. Pressure magnitudes typically used for each test stage

Test Stage	Description	Pressure Step
1 <sup>st</sup>	Low	$0.50 \cdot P_{MAX}$
2 <sup>nd</sup>	Medium	$0.75 \cdot P_{MAX}$
3 <sup>rd</sup>	Maximum (peak)	$P_{MAX}$
4 <sup>th</sup>	Medium	$0.75 \cdot P_{MAX}$
5 <sup>th</sup>	Low	$0.50 \cdot P_{MAX}$

$P_{max}$  does not exceed the *confinement stress* ( $\sigma_3$ ) expected at the depth

A single stage consists of keeping a constant water pressure at the test interval for 10 minutes by pumping as much water as required

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

38

Table 3. Summary of current Lugeon interpretation practice  
(as proposed by Housby, 1976)

BEHAVIOR	PRESSURE STAGES	LUGEON PATTERN	DESCRIPTION	REPRESENTATIVE LUGEON VALUE
LAMINAR			All Lugeon values about equal regardless of the water pressure	Average of Lugeon values for all stages
TURBULENT			Lugeon values decrease as the water pressures increase. The minimum Lugeon value is observed at the stage with the maximum water pressure	Lugeon value corresponding to the highest water pressure (3 <sup>rd</sup> stage)
DILATION			Lugeon values vary proportionally to the water pressures. The maximum Lugeon value is observed at the stage with the maximum water pressure	Lowest Lugeon value recorded, corresponding either to low or medium water pressures (1 <sup>st</sup> , 2 <sup>nd</sup> , 4 <sup>th</sup> , 5 <sup>th</sup> stage)
WASH-OUT			Lugeon values increase as the test proceeds. Discontinuities' infillings are progressively washed-out by the water	Highest Lugeon value recorded (5 <sup>th</sup> stage)
VOID FILLING			Lugeon values decrease as the test proceeds. Either non-persistent discontinuities are progressively being filled or swelling is taking place	Final Lugeon value (5 <sup>th</sup> stage)

39

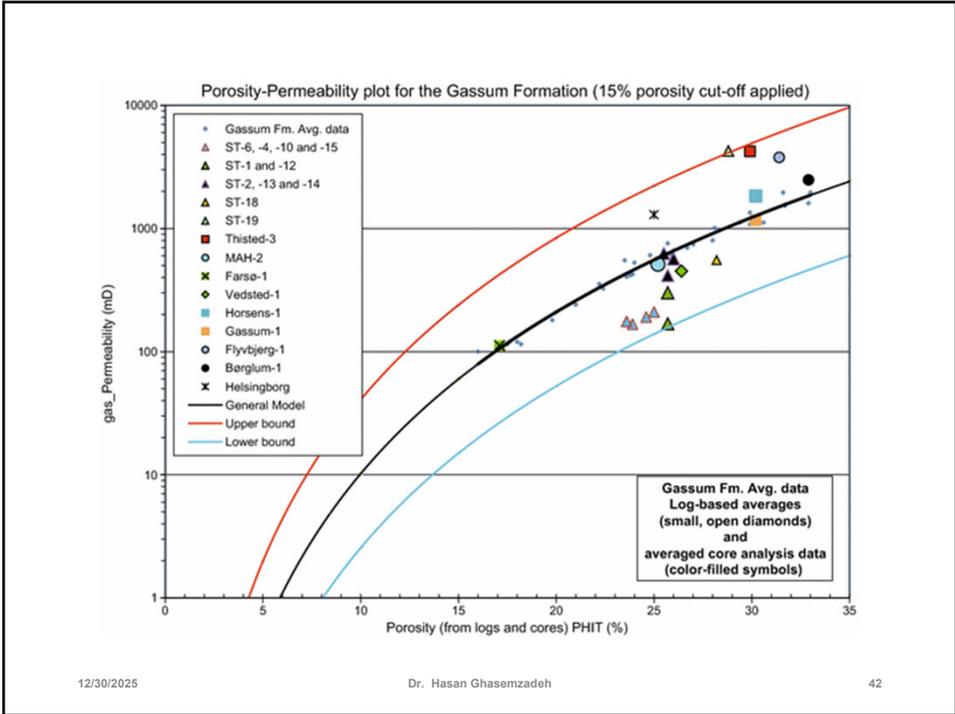
## آزمایش های صحرائی سنک

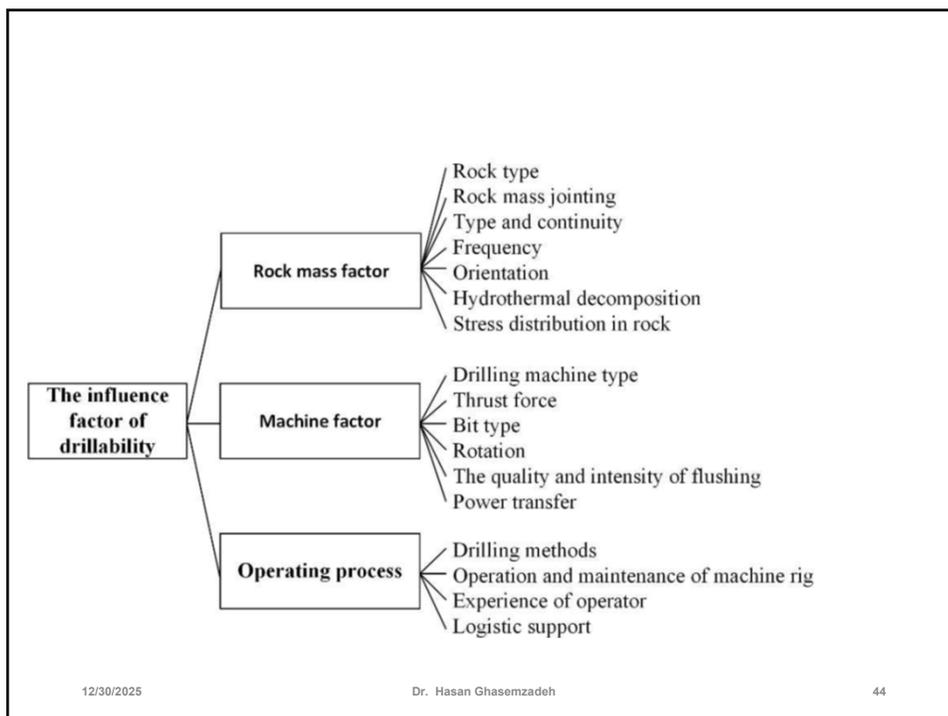
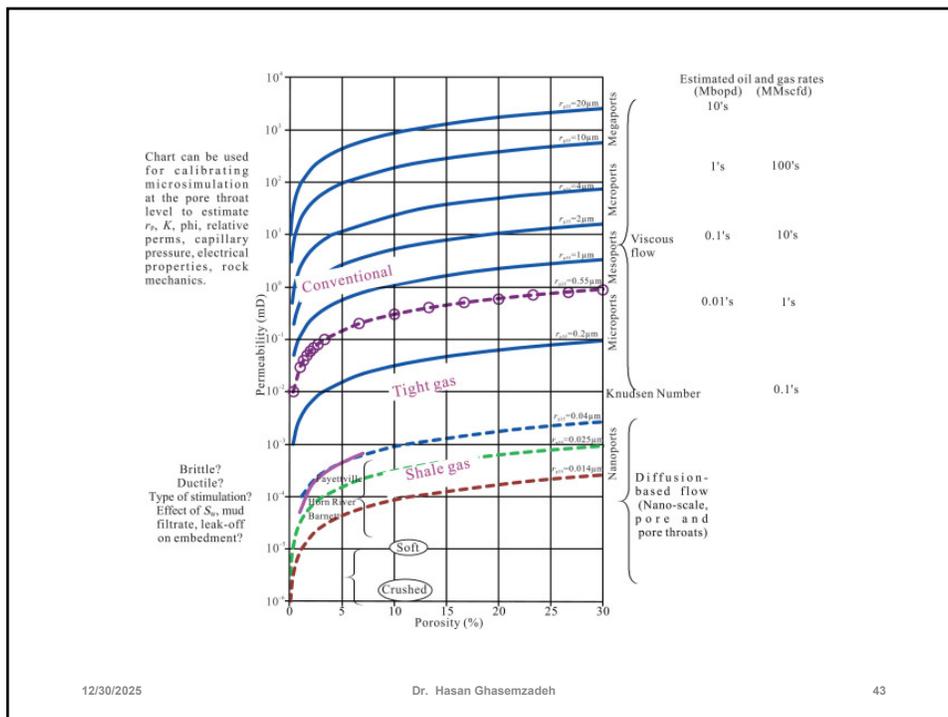
- **Laminar Flow:** The hydraulic conductivity of the rock mass is independent of the water pressure employed. This behavior is characteristic of rock masses observing low hydraulic conductivities, where seepage velocities are relatively small (i.e., less than four Lugeons).
- **Turbulent Flow:** The hydraulic conductivity of the rock mass decreases as the water pressure increases. This behavior is characteristic of rock masses exhibiting partly open to moderately wide cracks.
- **Dilation:** Similar hydraulic conductivities are observed at low and medium pressures; however, a much greater value is recorded at the maximum pressure. This behavior – which is sometimes also observed at medium pressures – occurs when the water pressure applied is greater than the minimum principal stress of the rock mass, thus causing a temporary dilatancy hydro-jacking) of the fissures within the rock mass. Dilatancy causes an increase in the cross sectional area available for water to flow, and thereby increases the hydraulic conductivity.
- **Wash-Out:** Hydraulic conductivities increase as the test proceeds, regardless of the changes observed in water pressure. This behavior indicates that seepage induces permanent and irrecoverable damage on the rock mass, usually due to infillings wash out and/or permanent rock movements.
- **Void Filling:** Hydraulic conductivities decrease as the test proceeds, regardless of the changes observed in water pressure. This behavior indicates that either: (1) water progressively fills isolated/non-persistent discontinuities, (2) swelling occurs in the discontinuities, or (3) fines flow slowly into the discontinuities building up a cake layer that clogs them.

12/30/2025

Dr. Hasan Ghasemzadeh

40





## Instantaneous Cutting Ratio (ICR) Rock Mass Cutting Index (RMCI)

$$\text{RMCI} = \text{UCS} \times (\text{RQD}/100)^{2/3} \text{ (Bilgin et al., 2004)}$$

$$\text{ICR} = 719 / (\text{UCS})^{0.78} \text{ (Gehring, 1989)}$$

$$\text{ICR} = 1739 / (\text{UCS})^{1.13} \text{ (Gehring, 1989)}$$

$$\text{ICR} = 75.7 - 14.3 \ln(\text{UCS}) \text{ (Thuro and Plinninger, 1998)}$$

$$\text{ICR} = 0.28 \times P \times (0.974)^{\text{RMCI}} \text{ (Bilgin et al., 2004)}$$

UCS : uniaxial compressive strength of rock (MPa),

ICR : instantaneous cutting ratio (m<sup>3</sup>/h),

RMCI : rock mass cutting index,

RQD : rock quality designation