فرادرس
فراتر از یک کلاس درس
www.faradars.org

آموزش مبانی فرایندهای صنعت نفت و گاز

درس سوم: آشنایی با صنایع بالادستی و پایین دستی در صنعت نفت و گاز

مدرس:

شاهین رمشی

کارشناس ارشد مهندسی نفت

اهداف این درس

- پیدایش نفت
- اکتشاف نفت و گاز و آشنایی با روش‌های مختلف آن
- آشنایی با خواص سنگ و سیالات مخازن
- آشنایی با حفاری و تجهیزات آن
- آشنایی با بهره‌برداری و پالایش و پتروشیمی

فرادرس

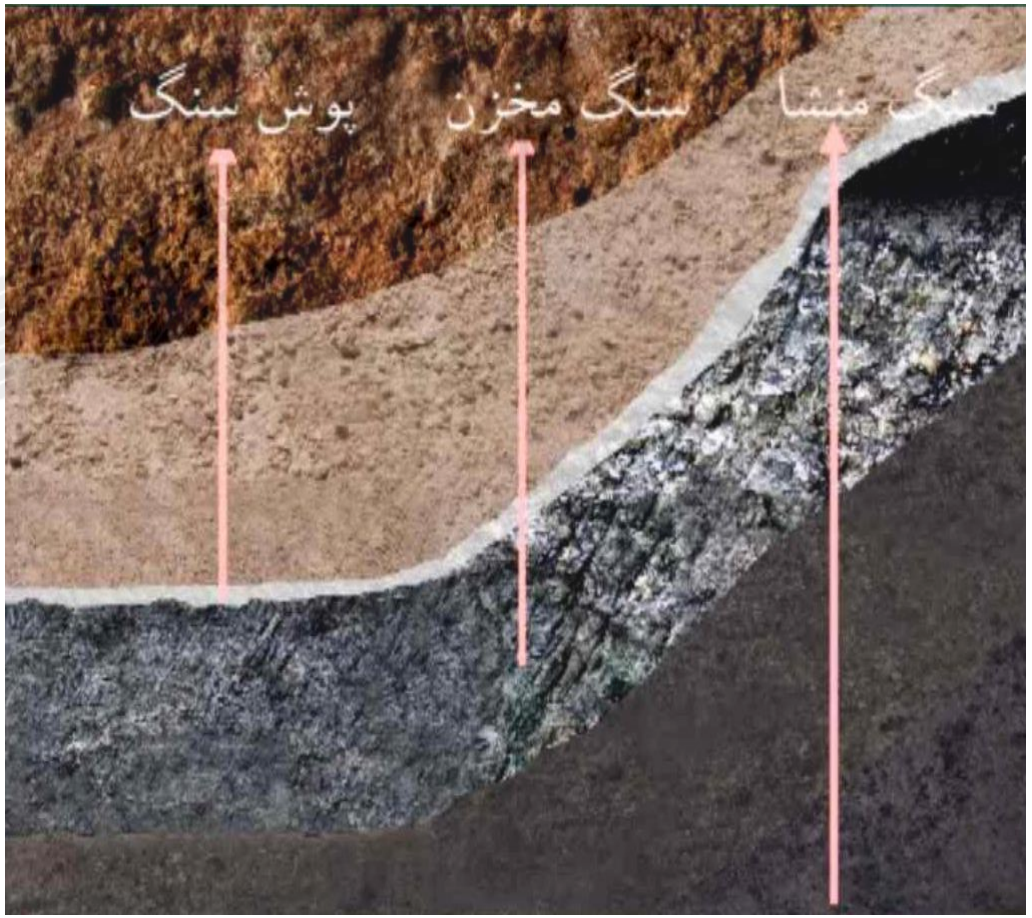
پیدایش نفت و گاز

فرادرس








پوش سنگ
سنگ مخزن
سنگ منشا


فرادرس

اکتشاف نفت و گاز



تاریخچه اکتشاف

- اکتشاف در ایران به ۱۱۷ سال پیش باز می‌گردد، اما اکتشاف‌های جدید که شرکت ملی نفت ایران انجام آن را بر عهده داشته است، مربوط به ۵۰ سال گذشته است.
- اقدامات عملی اکتشاف نفت از سال ۱۲۸۰ (۱۹۰۱) با عقد قرارداد ویلیام ناکس دارسی آغاز و در خرداد ۱۲۸۷ با کشف میدان نفتی مسجد سلیمان وارد مرحله عملی گردید.
- تا سال ۱۳۰۷ دو میدان نفتی هفتگل و نفت شهر کشف گردید.
- از سال ۱۳۰۹ تا سال ۱۳۱۲ کشفی صورت نگرفت.
- در سال ۱۳۱۷ میدان‌های بزرگی همچون نفت سفید، آغاجاری، پازنان و گچساران کشف گردید.

تاریخچه اکتشاف

- ازسال ۱۳۱۸ تا سال ۱۳۲۷ تنها میدان لالی کشف شد.
- از سال ۱۳۳۳ تا سال ۱۳۳۷ میدان اهواز و مخزن بنگستان میدان آغاجاری کشف گردید.
- پس از این سال‌ها می‌توان به دهه‌های مهم زیر نیز اشاره کرد:
  - دهه ۱۳۳۸-۱۳۴۸
  - دهه ۱۳۴۸-۱۳۵۷
  - دهه۱۳۵۷-۱۳۶۷
  - دهه۱۳۶۷-۱۳۷۷

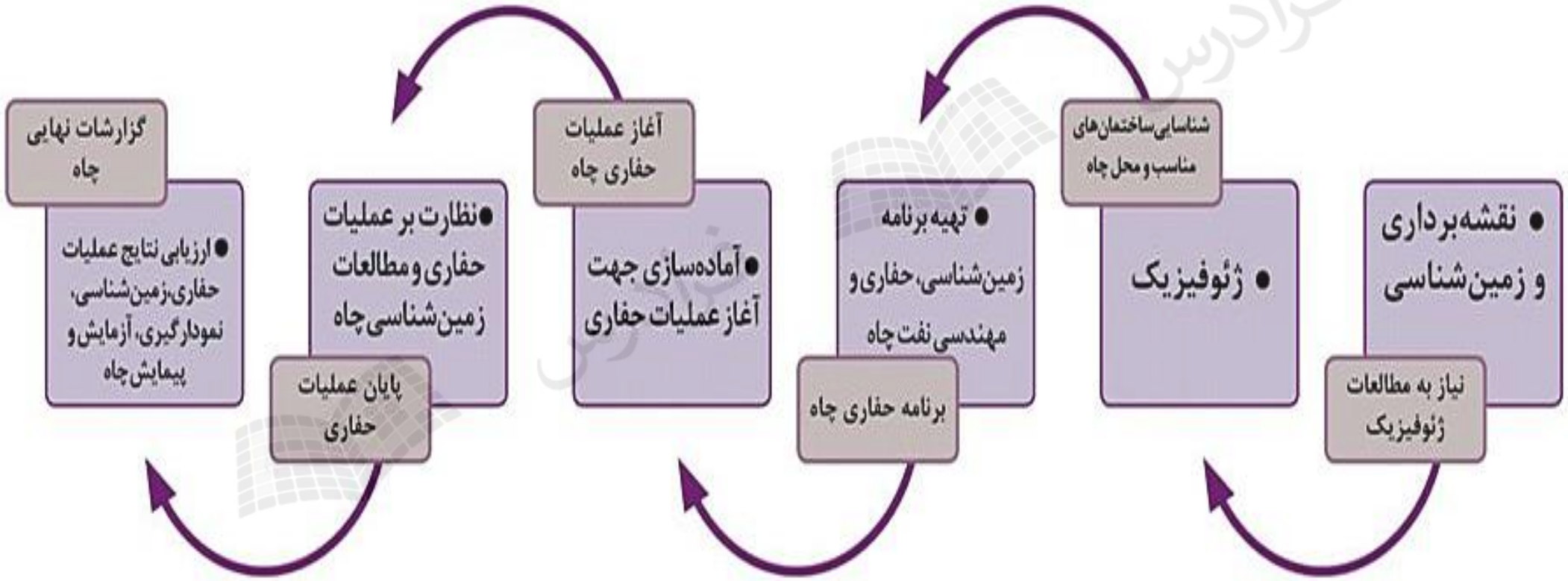
فعالیت‌های اصلی فرایندهای اکتشاف

A. روش‌های مطالعاتی و عملیاتی سطحی

B. روش‌های عملیاتی عمقی

فرادرس

روش‌های مطالعاتی و عملیاتی سطحی



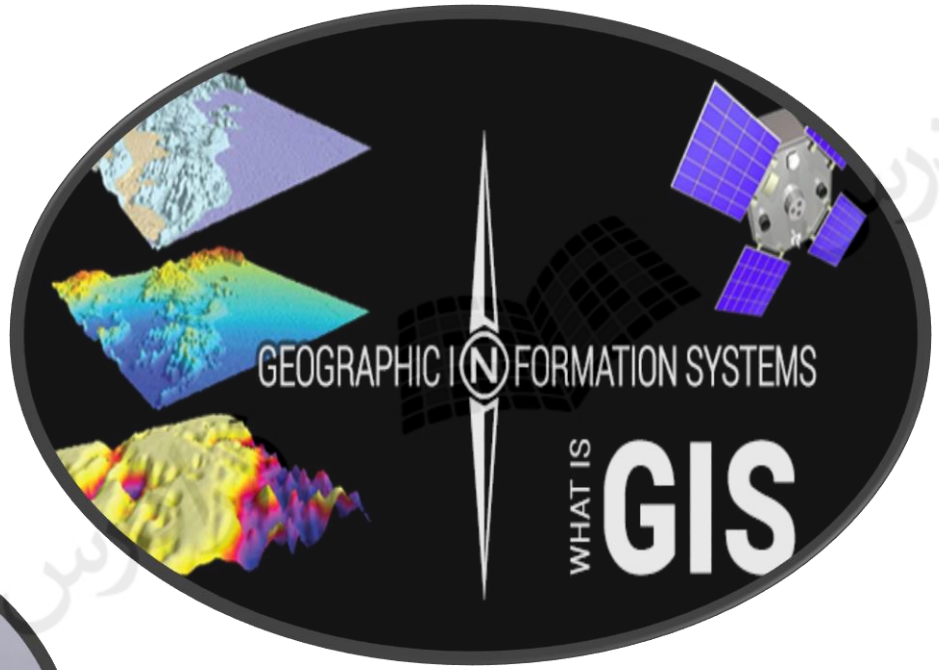
فرایندهای نقشه‌برداری

اداره نقشه‌برداری مدیریت اکتشاف در دو حوزه اصلی فعالیت دارد:

1. سامانه اطلاعاتی مکانی و سنجش از دور
2. نظارت بر عملیات نقشه‌برداری

فرادرس

سامانه اطلاعاتی مکانی و سنجش از دور



- سامانه اطلاعاتی مکانی

✓ GIS

- سنجش از دور

✓ میدان جاذبه

✓ میدان مغناطیسی

✓ امواج صوتی و انرژی الکترومغناطیسی



نظارت بر عملیات نقشه‌برداری

- کلیه مراحل اکتشافی نیازمند اطلاعات مکانی با مختصات دقیق، برای تصمیم‌گیری‌های صحیح و منطقی می‌باشد. کلیه داده‌های موجود در بخش‌های مختلف (نظیر داده‌های ثقل‌سنجی و لرزه‌نگاری در بخش ژئوفیزیک و اطلاعات چاه‌ها و نقشه‌ها در بخش زمین‌شناسی) وابسته به اطلاعات نقشه‌برداری بوده و بررسی صحت اطلاعات مکانی مربوط به آن‌ها، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

نظارت بر عملیات نقشه‌برداری

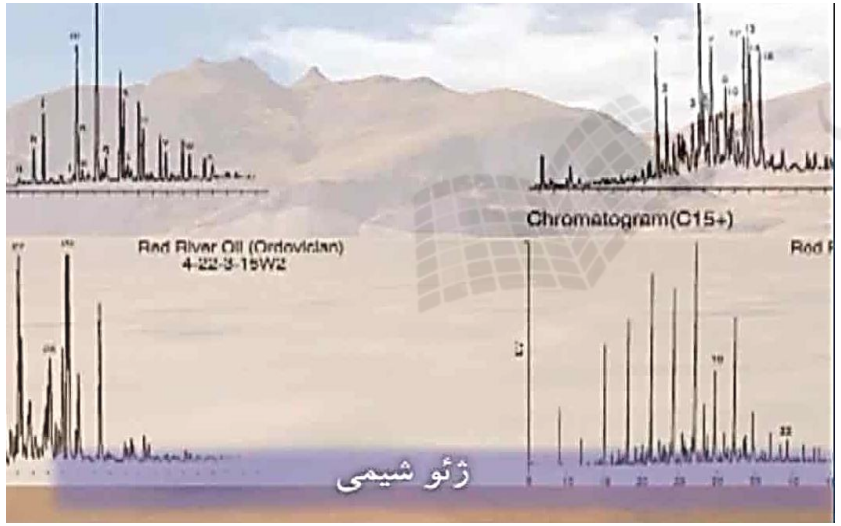
- فعالیت‌هایی که در بخش نظارت بر عملیات اداره نقشه‌برداری صورت می‌پذیرد به شرح زیر می‌باشند:
  - نظارت بر عملیات نقشه‌برداری ژئوفیزیکی (لرزه‌ای و غیر لرزه‌ای)
  - علامت‌گذاری چاه‌های اکتشافی طراحی شده
  - برداشت عوارض و تهیه نقشه‌های مسطح و توپوگرافی به‌صورت موردی
  - ارتباط با سایر سازمان‌ها

فرایندهای زمین‌شناسی

- چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی
- چینه‌نگاری سکانس‌های رسوبی
- تهیه مقاطع و نقشه‌های زیرزمینی
- فرایندهای زمین‌شناسی ساختمانی شامل مطالعه چین‌ها و گسل‌ها
- فسیل‌شناسی

فرایندهای ژئوشیمی

- هدف کلی از انجام فرایندهای ژئوشیمی عبارت است از مطالعه و بررسی سنگ‌های منشا احتمالی تولیدکننده هیدروکربن‌ها، تعیین خصوصیات ژئوشیمیایی هیدروکربن‌های مخازن و نحوه ارتباط آن‌ها با سنگ‌های منشا در مناطق اکتشافی و همچنین مدل‌سازی سامانه هیدروکربنی در ارتباط با زایش و مهاجرت هیدروکربن‌ها می‌باشد و اهم فعالیت‌های انجام شده در این باره در سه دسته زیر خلاصه می‌شود:



۱. مطالعات ژئوشیمی آلی و غیرآلی

۲. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی و کنترل عملیات آزمایشگاهی

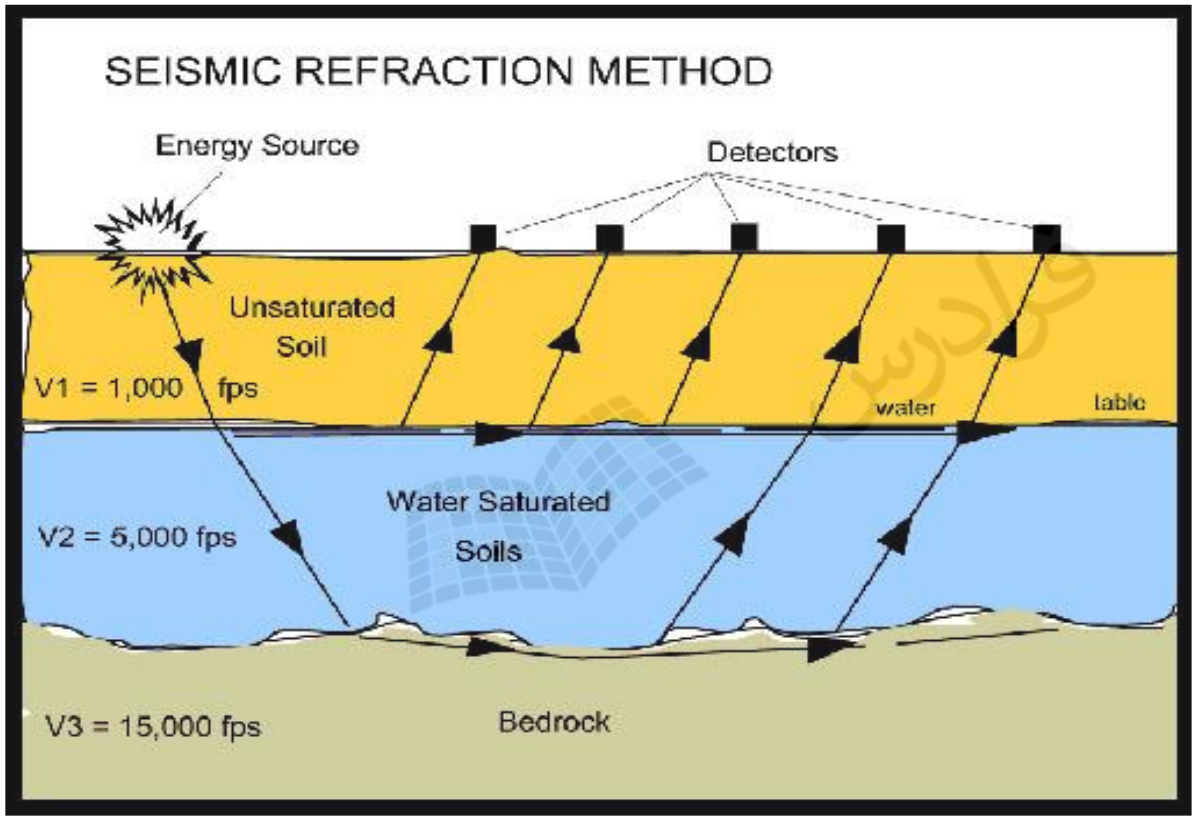
۳. مدل‌سازی حوزه‌های سامانه هیدوکربنی

فرایندهای ژئوفیزیکی

- روش ژئوفیزیکی غیرلرزه‌ای (ثقل‌سنجی و الکترومغناطیس‌سنجی)
- روش لرزه‌نگاری

✓پردازش داده‌های ژئوفیزیکی

✓تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی



فرایندهای حفاری و تحمین پارامترهای مخزن

- فرایندهای مطالعاتی در حفاری:
  - ✓ بررسی مشکلات حفاری چاه مجاور
  - ✓ طراحی ادوات درون چاهی و سرچاهی
  - ✓ نمودارگیری و آزمایش چاه
  - ✓ تحلیل هزینه
  - ✓ تهیه برنامه‌های زیست محیطی (HSE)
  - ✓ و...

فرادرس

فرایندهای حفاری و تحمین پارامترهای مخزن

- فرایندهای عملیاتی حفاری:
  - ✓ ارزیابی پروژه‌ها و قراردادها
  - ✓ پشتیانی کالا
  - ✓ برآورد هزینه‌ها

فرادرس

آشنایی با خواص سنگ و سیالات مخازن

فرادرس

آنالیز مغزه‌های نفتی

- دو روش عمده برای آزمایش‌های تحلیل مغزه برای تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ مخزن وجود دارد:
  - ✓ آزمایش‌های متداول مغزه Routine Core Analysis (RCAL)
  - ✓ آزمایش‌های ویژه مغزه Special Core Analysis (SCAL)

فرادرس

RCAL

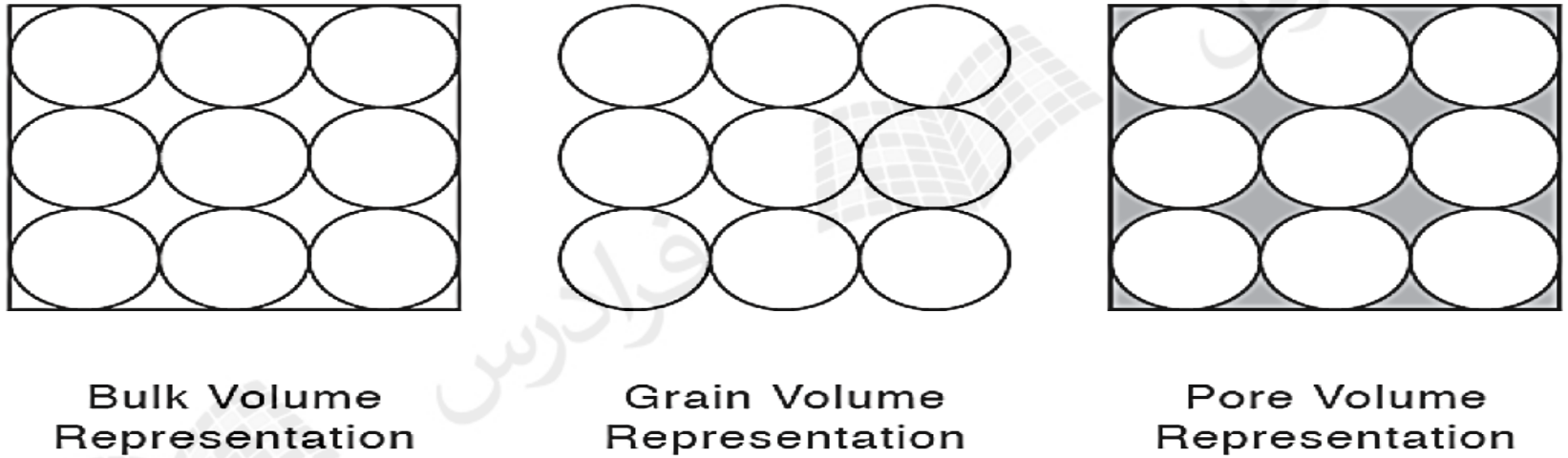
Data	Application
Routine core analysis	
Porosity	Storage capacity
Permeability	Flow capacity
Saturations	Define the mobile hydrocarbons (productive zones and contacts), type of hydrocarbons
Lithology	Rock type and characteristics (fractures, layering etc.)
Supplementary measurement	
Vertical permeability	Effect of coning, gravity drainage etc.
Core-gamma surface log	Identify lost core sections, correlate cores and logs
Matrix density	Calibrate the density log
Oil and water analysis	Densities, viscosities, interfacial tension, composition etc.

SCAL

Tests/Studies	Data/Properties
Static tests	
Compressibility studies	Permeability and porosity vs. pressure
Petrographical studies	Mineral identification, diagenesis, clay identification, grain size distribution, pore geometry etc.
Wettability	Contact angle and wettability index
Capillarity	Capillary pressure vs. saturation
Acoustic tests	
Electric tests	
Dynamic tests	
Flow studies	Relative permeability and end point saturations
EOR-Flow tests	Injectivity and residual saturation

تخلخل
(Porosity)

- تخلخل به بخشی از فضای خالی اطلاق می‌گردد که توانایی نگهداری سیال را داشته باشد.



$$\phi = \frac{pore\ volume}{bulk\ volume} = \frac{bulk\ volume - grain\ volume}{bulk\ volume}$$

$$V_b = V_m + V_p$$

تقسیم‌بندی فضای متخلخل

از لحاظ زمین‌شناسی

- تخلخل اولیه
- تخلخل ثانویه

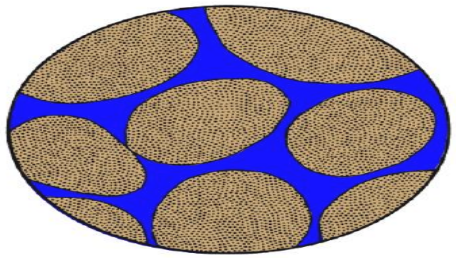
از لحاظ مهندسی

- تخلخل موثر
- تخلخل کل

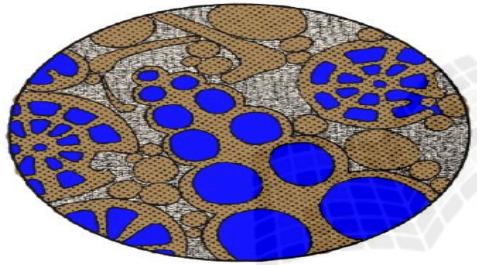
فرادرس

تخلخل اولیه

- تخلخل اولیه نوعی تخلخل است که همزمان با رسوب‌گذاری سنگ شکل می‌گیرد.



✓ تخلخل بین دانه‌ای (Intergranular or Interparticle porosity)



✓ تخلخل درون دانه‌ای (Intragranular or Intraparticle porosity)

تخلخل اولیه

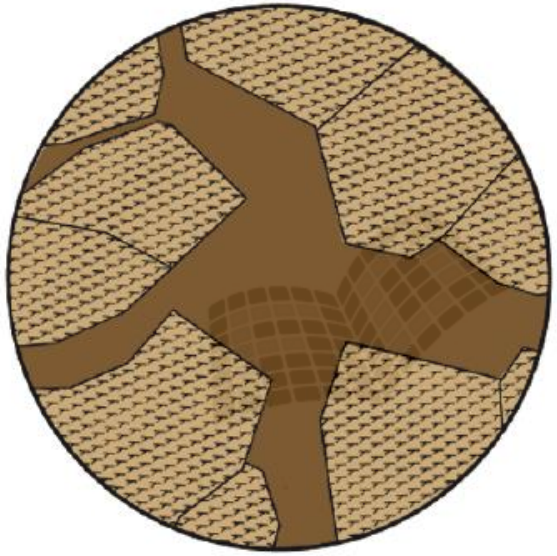
- ✓ تخلخل چتری (Shelter porosity)
- ✓ تخلخل ناشی از رشد موجودات زنده (Growth framework)
- ✓ تخلخل فنسترال (Fenesteral porosity)

فرادرس

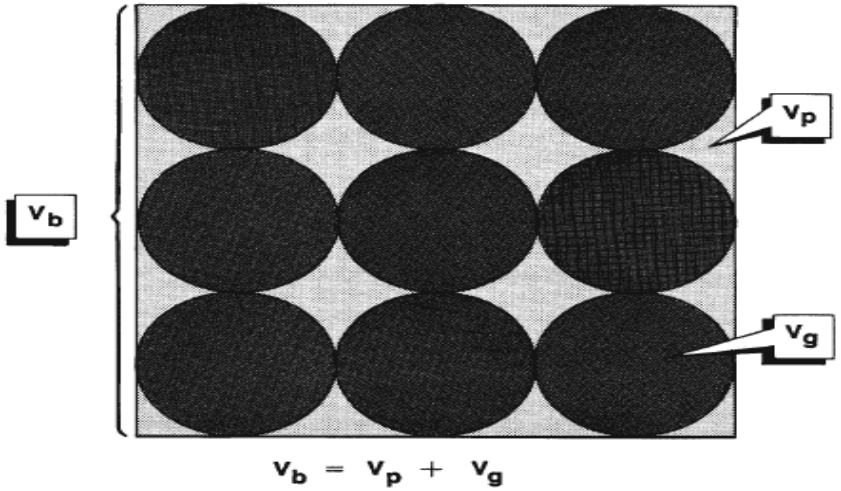
تخلخل ثانویه

- تخلخل ثانویه توسط حرکات تکتونیکی یا انحلال بعضی مواد جامد سنگ (نمک) ایجاد می‌شود.

1. تخلخل دولومیت‌های کریستالیزه (Intercrystalline porosity)
2. تخلخل قالبی (Moldic porosity)
3. تخلخل حفره‌ای (Vug)،کانالی (Chanel)، غاری (Cave)
4. تخلخل شکستگی (Fracture porosity)



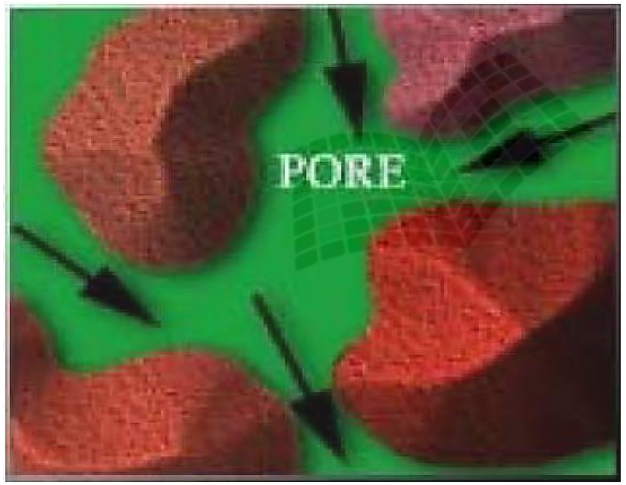
تخلخل از دیدگاه مهندسی



- تخلخل کل:

$$\varphi = \frac{Vp}{Vb} = \frac{Vb - Vm}{Vb}$$

- تخلخل مؤثر:



$$\varphi_{eff} = \frac{V_{\boldsymbol{p}(interconected)}}{V_b}$$

نکته مهم

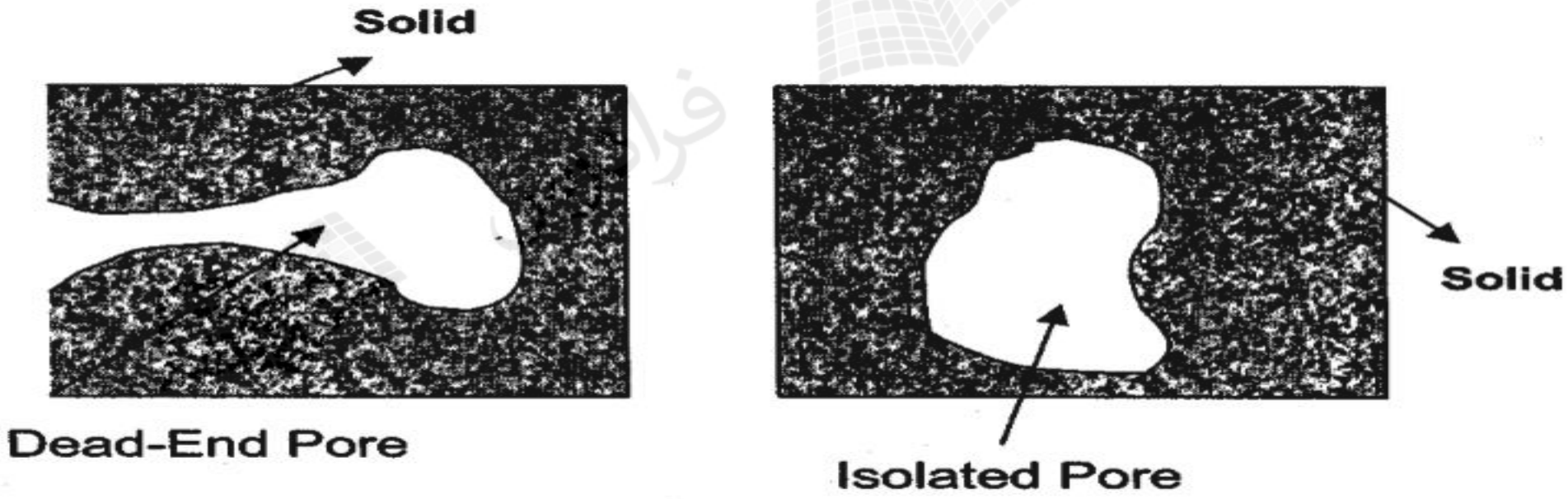
معمولا φ_{eff} بین ۱۰-۵٪ کمتر از φ_{total} است.

$$0.95\varphi_{total} = \varphi_{eff}$$

Very Clean Sandstone	$\varphi_{eff} = \varphi_{total}$
Poorly Cemented	$\varphi_{eff} \cong \varphi_{total}$
Limestone	$\varphi_{eff} \ll \varphi_{total}$

تخلخل از دیدگاه مهندسی

- تخلخل بسته (Isolated porosity)
- تخلخل یک‌طرفه (Dead end porosity)



$$\varphi = \frac{V_p}{V_b} * 100 = \frac{V_b - V_g}{V_b} * 100 = \frac{V_p}{V_p + V_g} * 100$$

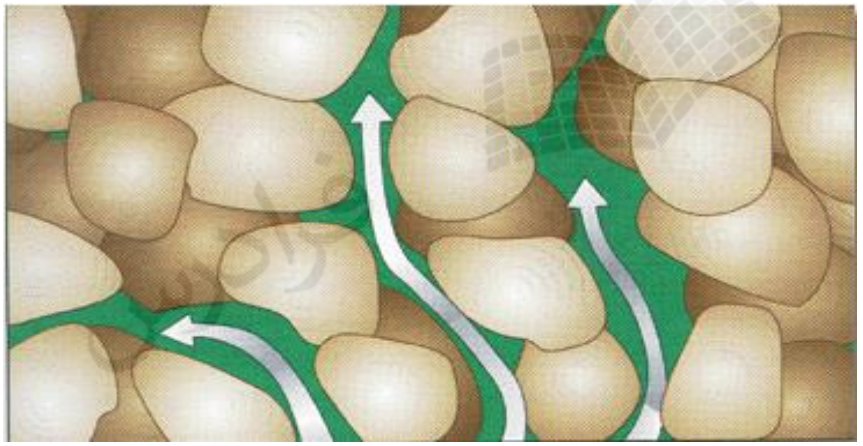
$$\varphi = (1 - \frac{V_g}{V_b}) * 100 = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_g}) * 100$$

$$\varphi = \frac{A_p}{A_b} * 100 \rightarrow A_p = \varphi A_b$$

$$\varphi = \frac{L_p}{L_b} * 100 \rightarrow L_p = \varphi L_b$$

تراوایی
(Permeability)

- ظرفیت و توانایی سازند در عبور دادن سیالات از خود را تراوایی می‌گویند.



- تراوایی به عواملی نظیر شکل دانه‌ها، اندازه ذرات وتوزیع دانه‌ها، نحوه قرارگیری دانه‌ها، و میزان سیمان و پیچ و خم مسیر بستگی دارد.

انواع تراوایی

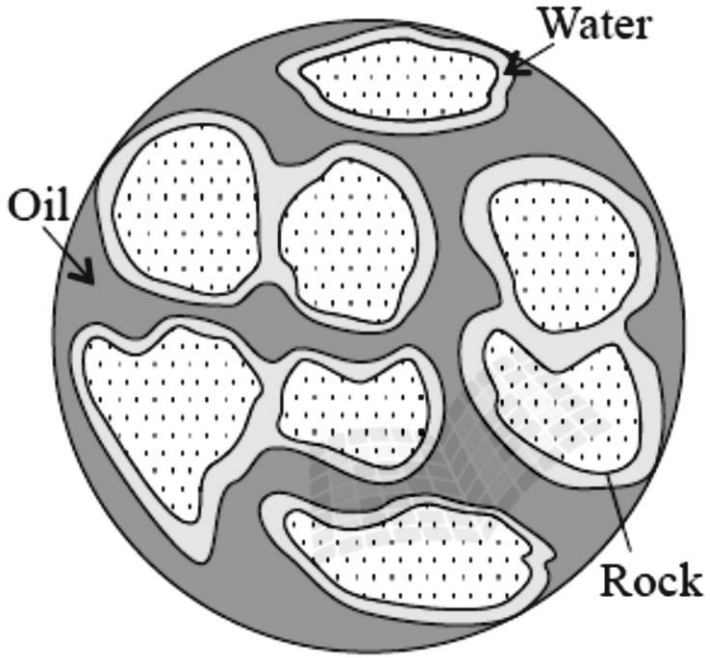
- تراوایی مطلق (Absolute permeability): در صورتی که سنگ تنها با یک نوع سیال اشباع شده باشد، به قابلیت عبوردهی سنگ، نفوذپذیری مطلق گفته می‌شود.
- تراوایی مؤثر (Effective permeability): به توانایی محیط متخلخل برای عبوردهی یک سیال خاص در حضور سیالات دیگر نفوذپذیری مؤثر می‌گویند.
- تراوایی نسبی (Relative permeability): به نسبت تراوایی مؤثر به تراوایی مطلق تراوایی نسبی می‌گویند.

معادله جریان دارسی

$$\frac{Q}{A} = -\frac{K}{\mu}\frac{\Delta P}{L}$$

درجه اشباع سیال

- اشباع یک سیال، عبارت است از درصد یا کسری از حجم فضای خالی سنگ، که به‌وسیله سیال (نفت، گاز یا آب) اشغال شده است.



$$S_g + S_o + S_w = 1.0$$

$$S_o = V_o / V_p$$

$$S_w = V_w / V_p$$

$$S_g = V_g / V_p$$

$$S = F(P, T)$$

انواع اشباع

- اشباع کاهش نیافتنی آب (Irreducible Water Saturation)
- اشباع آب همزاد (Connate Water Saturation)
- اشباع بحرانی نفت (Critical Oil Saturation)
- اشباع نفت باقی‌مانده (Residual Oil Saturation)
- اشباع نفت حرکت‌پذیر (Moveable Oil Saturation)
- اشباع بحرانی گاز (Critical Gas Saturation)
- اشباع بحرانی آب (Critical Water Saturation)

تراکم‌پذیری هم دما
(Isothermal Compressibility)

- به تغییرات حجم مقدار مشخصی از ماده نسبت به فشار در دمای ثابت تراکم‌پذیری هم دما گفته می‌شود.
- با افزایش فشار حجم کاهش می‌یابد.
- فرض دمای ثابت در اکثر اوقات در مخازن نفتی صادق است.
- تراکم‌پذیری سنگ مخزن، از مخزنی به مخزن دیگر متفاوت است و به‌طور کلی، تابعی از درجه تخلخل مخزن می‌باشد.

انواع تراکم‌پذیری

- تراکم‌پذیری توده سنگ (CB): عبارت است از تغییری که در توده سنگ (بدنه سنگ) در اثر یک تغییر واحد در فشار، به وجود می‌آید.
- تراکم‌پذیری ماتریس سنگ (Cr) یا (Cs) و یا (Cma): عبارت است از تغییری که در حجم مواد جامد سنگ (دانه‌های سنگ) در اثر یک تغییر واحد در فشار، به وجود می‌آید.
- تراکم‌پذیری فضای متخلخل سنگ (Cp): عبارت است از تغییری که در حجم خلل و فرج سنگ (فضای متخلخل سنگ) در اثر یک تغییر واحد در فشار، به وجود می‌آید.

روابط ریاضی انواع تراکم‌پذیری

- تراکم‌پذیری توده سنگ (CB):

$$C_B = -1/V_b\,(\partial V_b/\partial p)_T$$

- تراکم‌پذیری ماتریس سنگ (Cr):

$$C_r = -1/V_r\,(\partial V_r/\partial p)_T$$

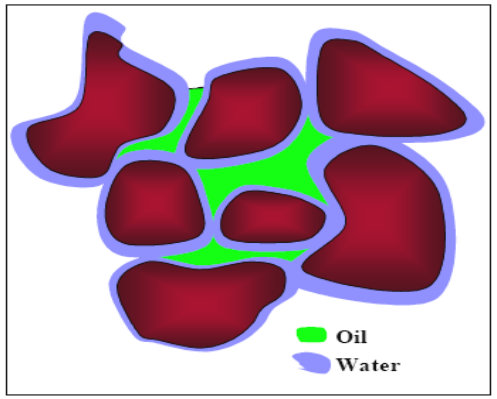
- تراکم‌پذیری فضای متخلخل سنگ (Cp):

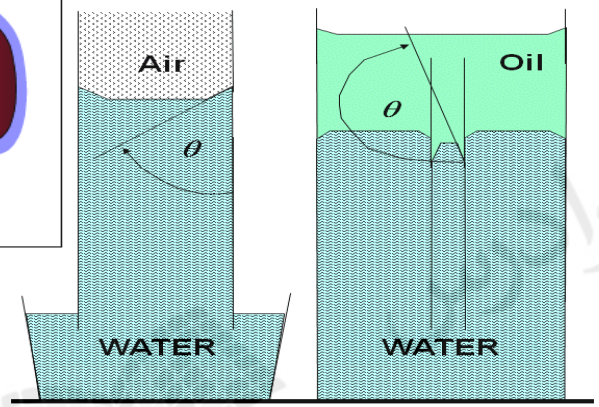
$$C_p = -1/V_p\,(\partial V_p/\partial p)_T$$

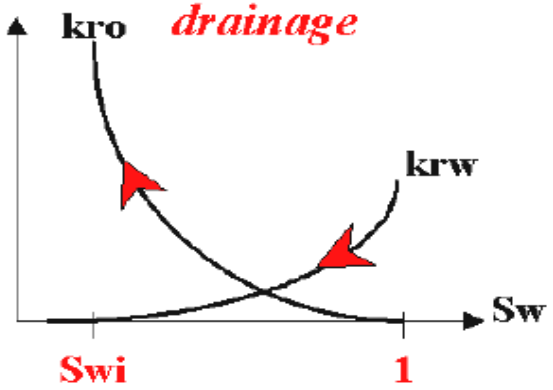
ملاحظات سیستم چند فازی

- حضور همزمان دو یا چند سیال در محیط متخلخل یادگیری مفاهیم زیر را ضروری می‌کند:

1. ترشوندگی (Wettability)
2. فشار مویینگی (Capillary Pressure)
3. تراوایی نسبی (Relative Permeability)

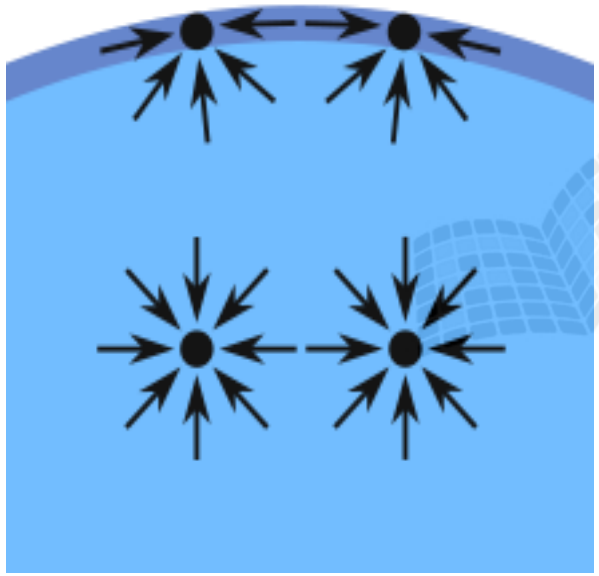






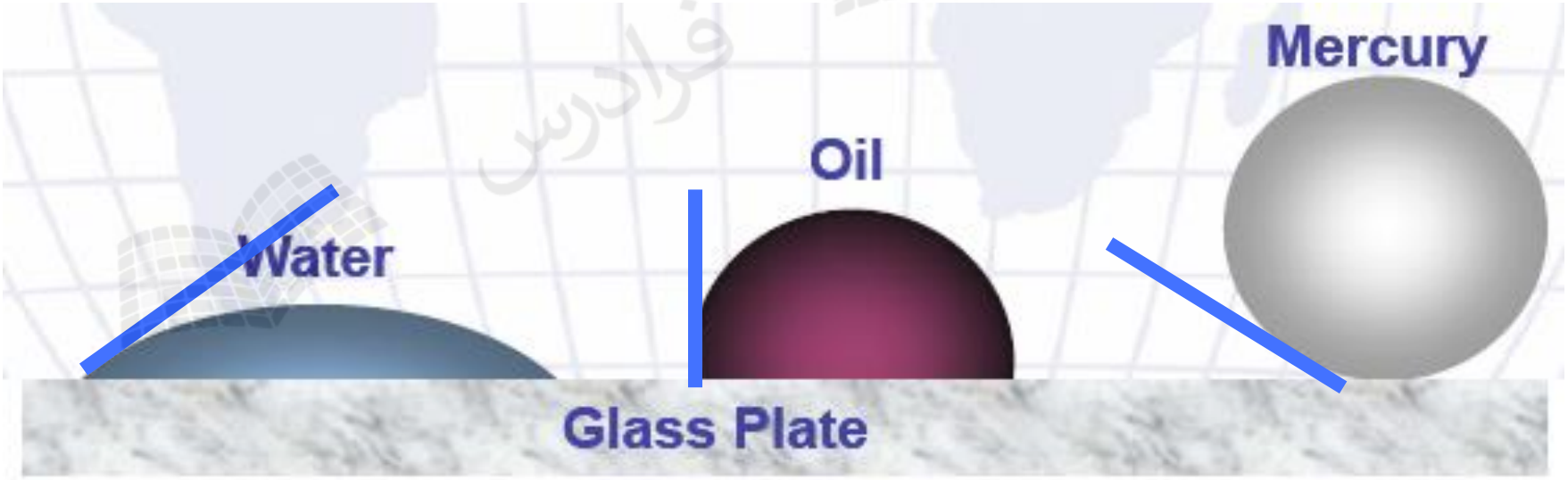
کشش سطحی و بین سطحی (σ)

- کشش سطحی و بین سطحی نتیجه نیروی جاذبه بین مولکول‌ها در فصل مشترک دو سیال می‌باشد.
- هرگاه دو مایع با هم در تماس باشند، نیروی کشش سطحی بین دو مایع را کشش بین سطحی (Interfacial Tension) و وقتی که سطح مایع در تماس با هوا یا بخار خود باشد، کشش سطحی (Surface Tension) نامیده می‌شود.



ترشوندگی

- ترشوندگی (**Wettability**) عبارت است از میزان تمایلی که یک سیال (نفت، گاز، آب) برای پخش شدن و چسبیدن به یک سطح جامد (ماسه سنگ، سنگ آهک، دولومیت) در حضور سیالات غیر قابل امتزاج دیگر از خود نشان می‌دهد.



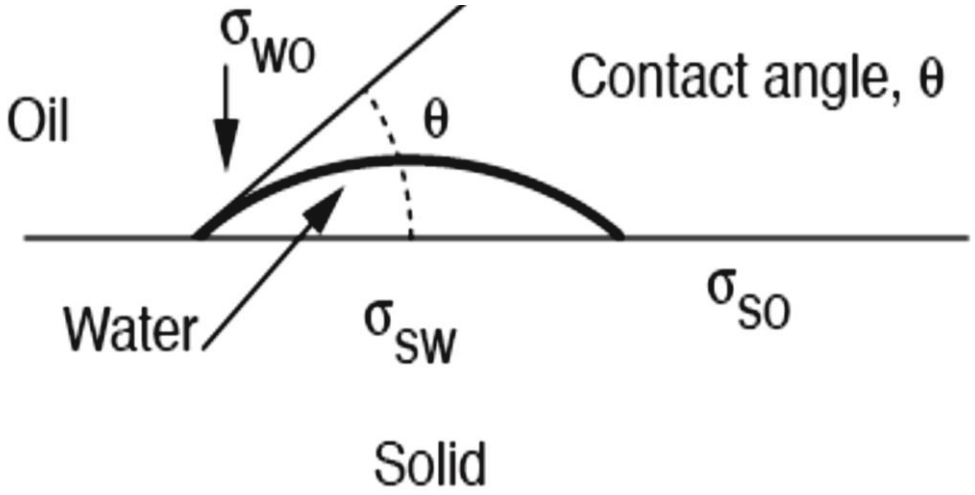
انواع ترشوندگی

- آبدوست (Water Wet)
- نفت دوست (Oil Wet)
- ترشوندگی خنثی (Neutral Wet): هم نفت و هم آب تمایل به تر کردن سطح سنگ را دارند
- ترشوندگی جزئی (Fractional Wet): برخی از فضاهای خالی آب دوست و برخی نفت دوست
- ترشوندگی مخلوط (Mixed Wet): نفت فضاهای متخلخل بزرگتر را پر می‌کند.

قانون یانگ

- θ = contact angle, degrees
- σ_{os} = Interfacial tension between the oil and solid, dynes/cm
- σ_{ws} = Interfacial tension between the water and solid, dynes/cm
- σ_{ow} = Interfacial tension between the oil and water, dynes/cm

$$\sigma_{ws} = \sigma_{os} + \sigma_{ow} \cos\theta$$



وضعیت کنونی مخازن نفتی

RELATIVE WETTING TENDENCIES OF SANDSTONES AND CARBONATES			
	Trieber et al.		Chillingarian & Yen
Wettability	Silicates, Percent	Carbonates, Percent	Carbonates, Percent
Water-wet	43	8	8
Intermediate-wet	7	4	12
Oil-wet	50	88	80
	n = 30 silicate and 25 carbonates		n = 161 ls., dol.

CONTACT ANGLE: Trieber et al.

-Water-wet = 0 – 75 degrees

-Intermediate-wet = 75 – 105 degrees

-Oil-wet = 105 – 180 degrees

CONTACT ANGLE:

-Water-wet = 0 – 80 degrees

-Intermediate-wet = 80 – 100 degrees

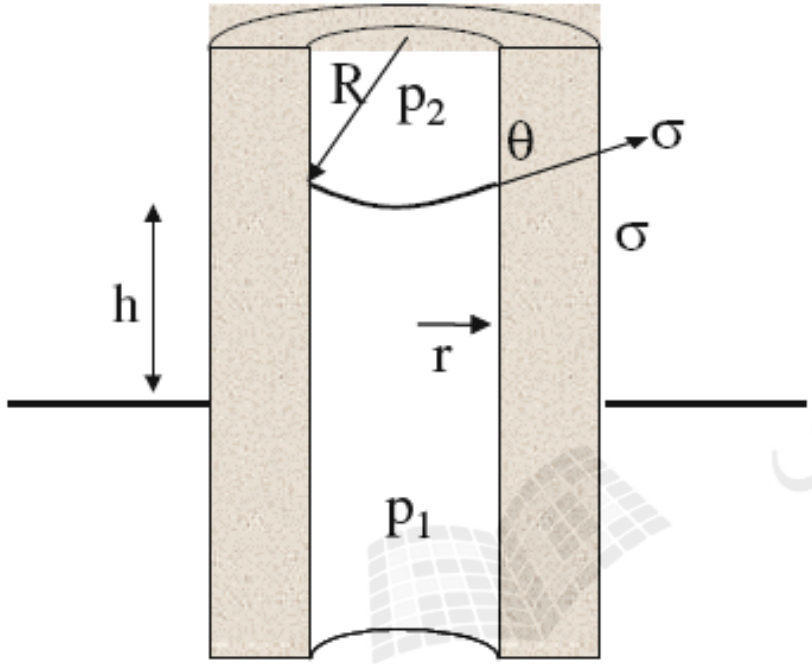
-Oil-wet = 100 – 180 degrees

فشار مویینگی
(Capillary Pressure)

- یکی از نیروهایی است که سبب حرکت سیال در محیط‌های متخلخل می‌شود.
- وقتی دو سیال غیرقابل امتزاج (مخلوط نشدنی)، در تماس با هم قرار گیرند، یک ناپیوستگی فشاری بین این دو سیال به وجود می‌آید که خود را به‌وسیله یک انحنا در سطح تماس بین این دو سیال نشان می‌دهد. این اختلاف فشار در سطح تماس دو سیال را، فشار مویینگی می‌نامند که معمولا با P_c آن را نشان می‌دهند.



صعود مویینگی
(Capillary Rise)

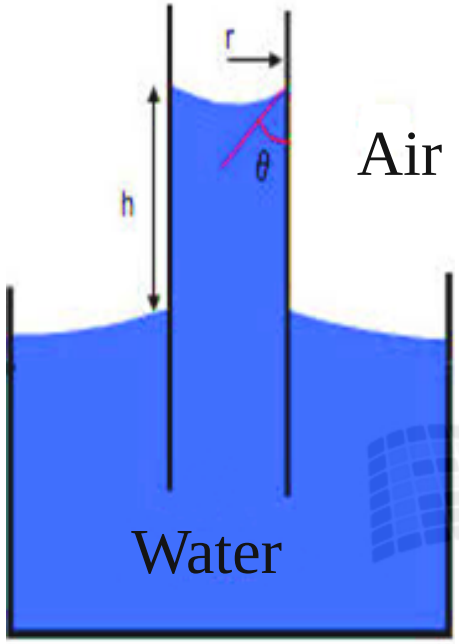


- با توجه به شکل مقابل اگر شعاع لوله مویینه، با علامت r نشان داده شود، نیروی عامل صعود آب از سطح داخلی لوله مویین به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\boldsymbol{Fup = (2\pi rh)(\sigma_{gw})(\cos\theta)}$$

صعود مویینگی
(Capillary Rise)

Air-Water System



- همچنین، وزن ستون مایع درون لوله مویینه که به‌عنوان نیروی عامل پایین آمدن آب در لوله مویینه عمل می‌کند و نیروی مقاومی است که از حرکت رو به بالا جلوگیری می‌کند، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_{down} = (\Delta\rho g h)(\pi r^2) = \pi r^2 h(\rho_w - \rho_g)g$$

معادله فشار مویینگی

- با برقرای تعادل بین نیروهای Fup و Fdown داریم:

$$2\pi r h\sigma\cos\theta = \pi r^2 \mathrm{h}(P_{\mathrm{nw}} - P_{\mathrm{w}})$$

فشار فاز تر کننده – فشار فاز غیر تر کننده = فشار مویینگی

$$P_c = P_{nw} - P_w = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma\cos\theta}{r}$$

واحد فشار موییینگی

CGS Units	Field Units
$P_c = dyn\,e/c\,m^2$	$P_c = Psi$
$\rho = g\,r/c\,c$	$\rho = l\,b/f\,t^3$
$h = cm$	$h = ft$

تراوایی نسبی

- در سنگ مخزن، دو یا چند نوع سیال مختلف وجود دارد لذا، نفوذپذیری مطلق سنگ مخزن، وجود خارجی ندارد و به منظور بررسی رفتار سنگ مخزن در حضور سیالات مختلف، از مفهوم نفوذپذیری نسبی و مؤثر استفاده می‌شود.
- به توانایی محیط متخلخل برای عبوردهی یک سیال خاص در حضور سیالات دیگر، نفوذپذیری مؤثر گفته می‌شود.

فرادرس

رابطه تراوایی نسبی

$$K_{rw} = \frac{K_w}{K}$$
$$K_{ro} = \frac{K_o}{K}$$
$$K_{rg} = \frac{K_g}{K}$$

K_{ro}: نفوذپذیری نسبی نفت

K_{rg}: نفوذپذیری نسبی گاز

K_{rw}: نفوذپذیری نسبی آب

K_o: نفوذپذیری مؤثر نفت در یک اشباع مشخص نفت

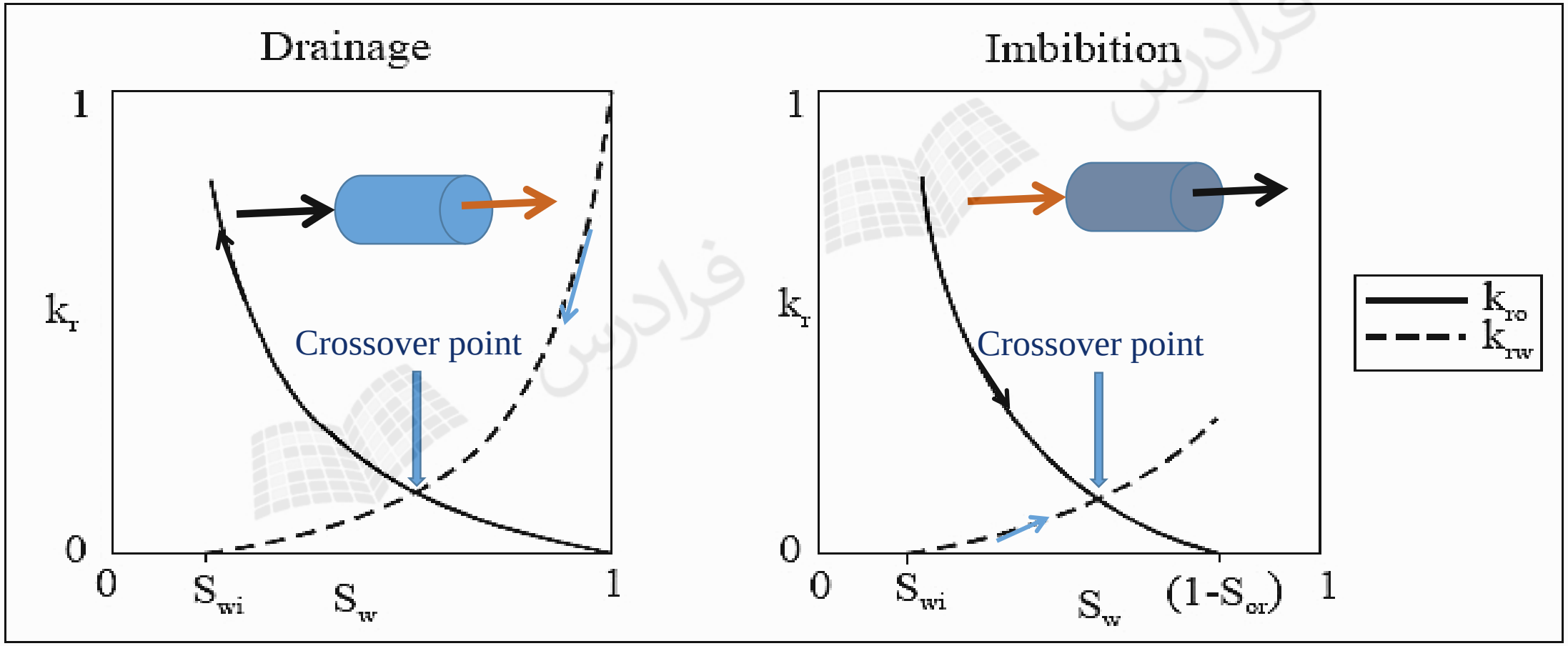
K_g: نفوذپذیری مؤثر گاز در یک اشباع مشخص گاز

K_w: نفوذپذیری مؤثر آب در یک اشباع مشخص آب

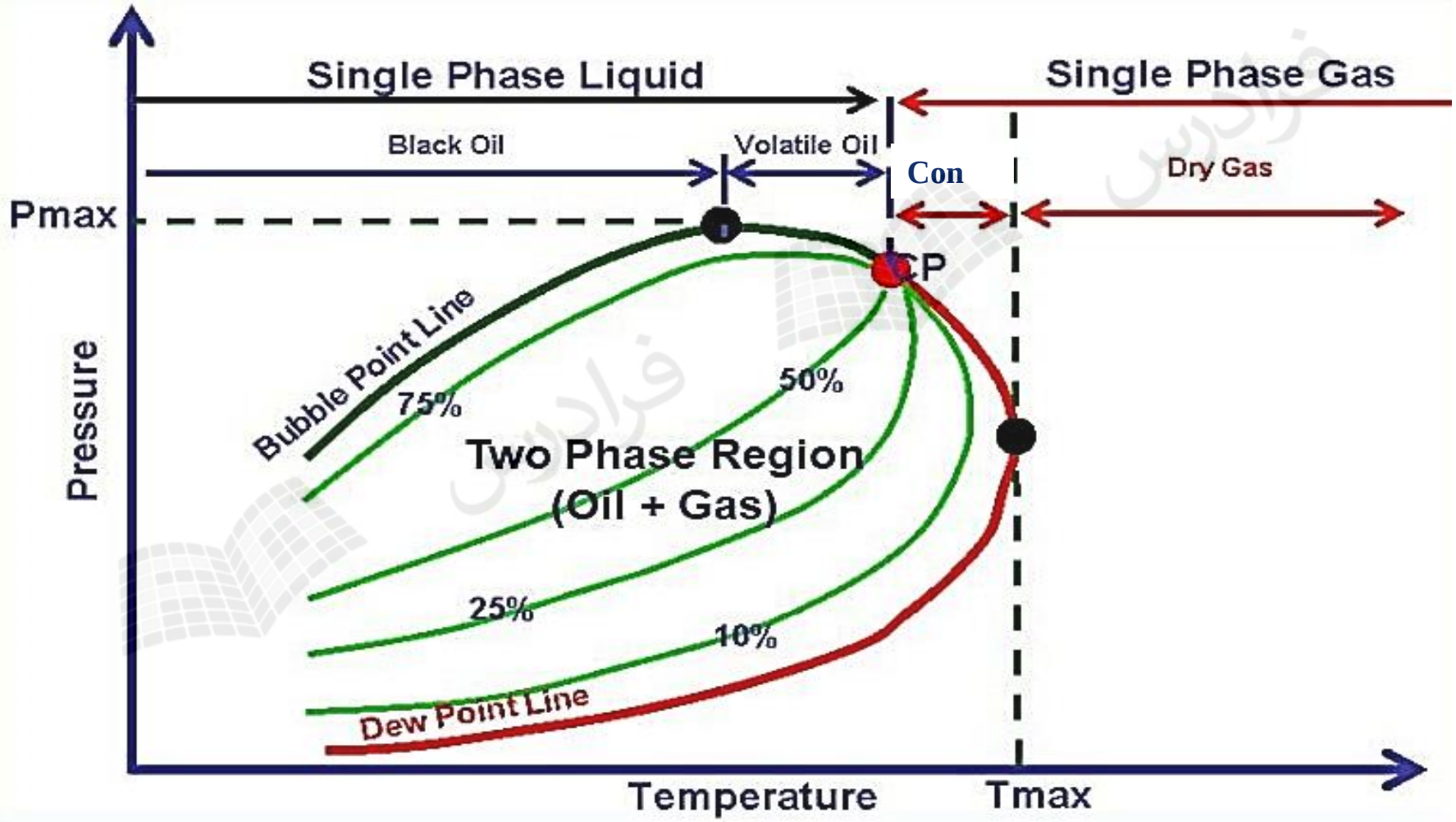
$$0 \leq K_{rw}, K_{ro}, K_{rg} \leq 1$$

K: نفوذپذیری مطلق سنگ (مخصوص سنگ است، بدون حضور سیال بررسی می‌شود)

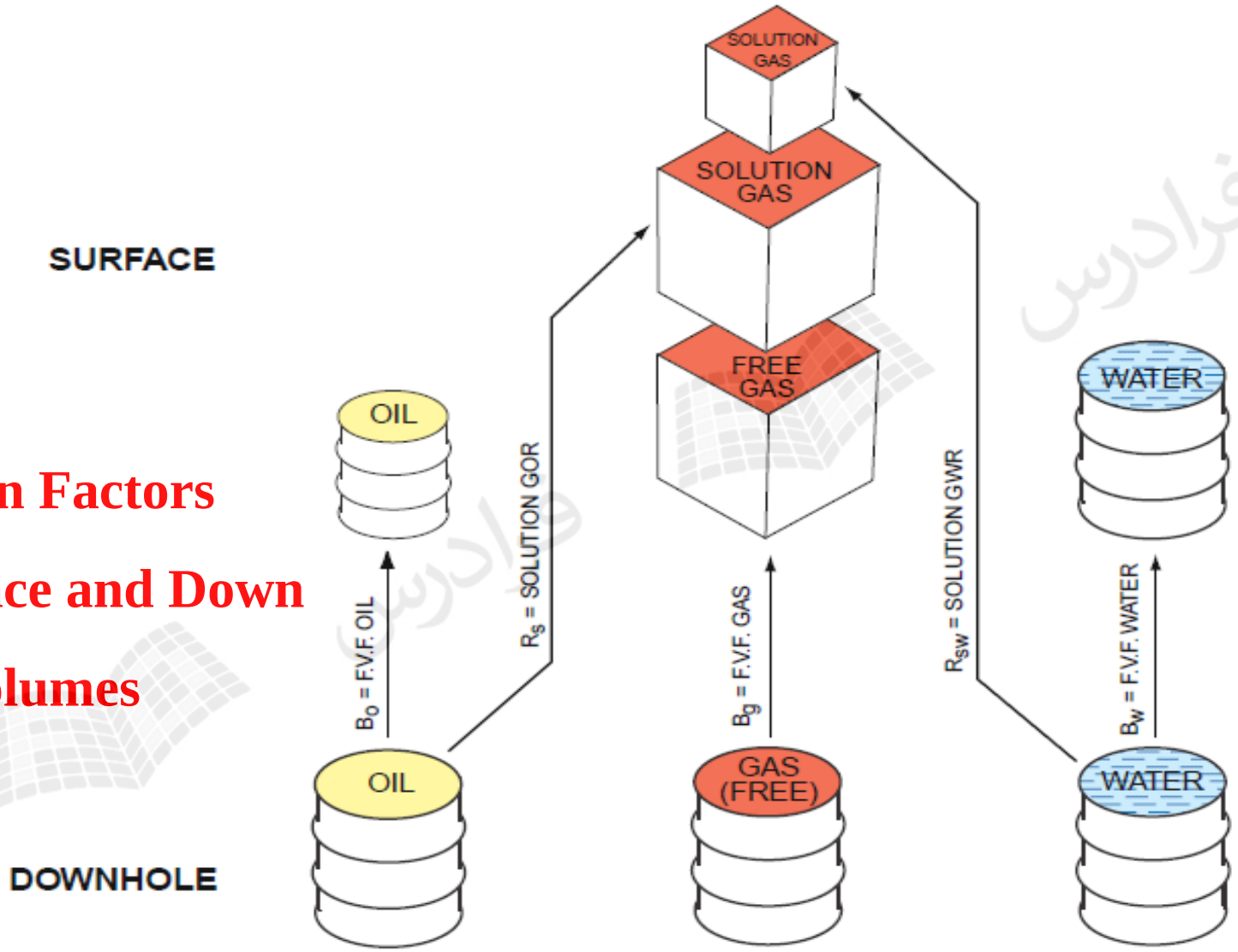
نمودار تراوایی نسبی آب – نفت
در یک سیستم آب دوست



Phase Envelope



Conversion Factors between Surface and Down hole Volumes



Important Relations

$$\gamma_g = \frac{\rho_g}{\rho_{air}}$$

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o}$$

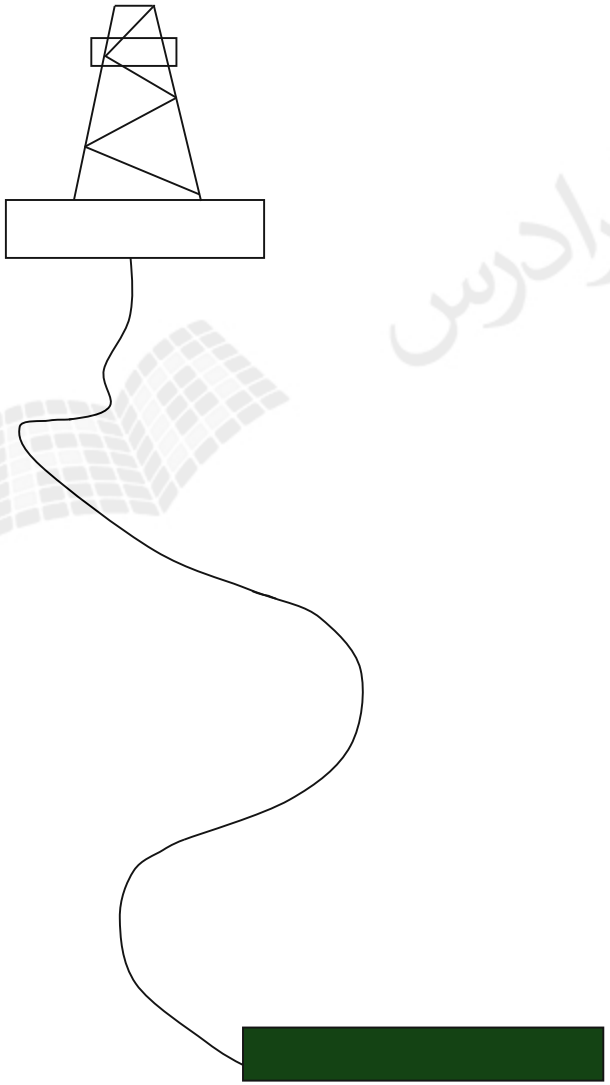
$$C_t = C_o(1 - S_w) + C_w S_w + C_f$$

$$Bo = \frac{\rho_{oSTO} + 0.01357 R_s \gamma_g}{\rho_{oR}}$$

$$B_t = Bo + B_g(R_{sb} - R_s)$$

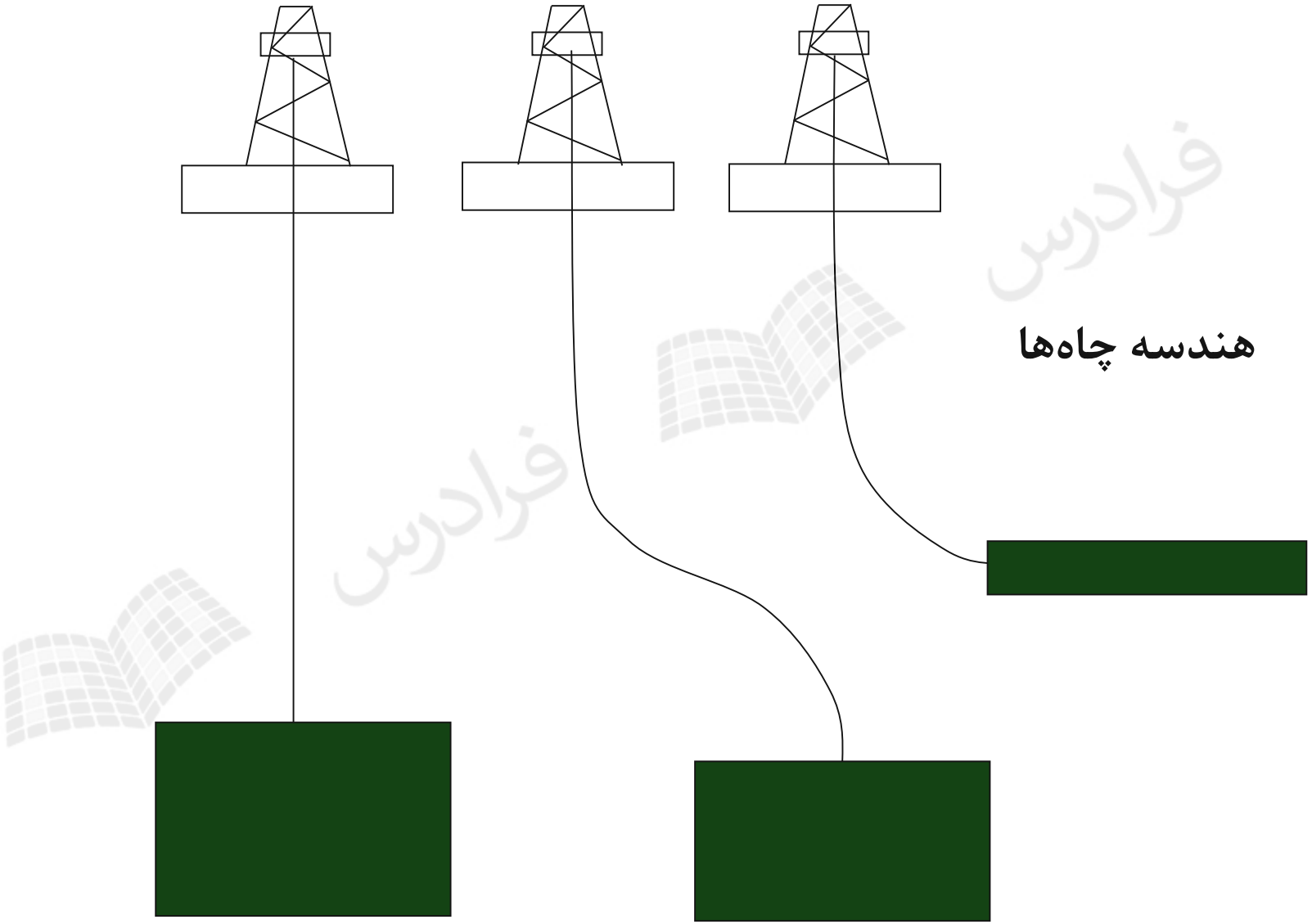
حفاری چاه‌های نفت و گاز

فرادرس

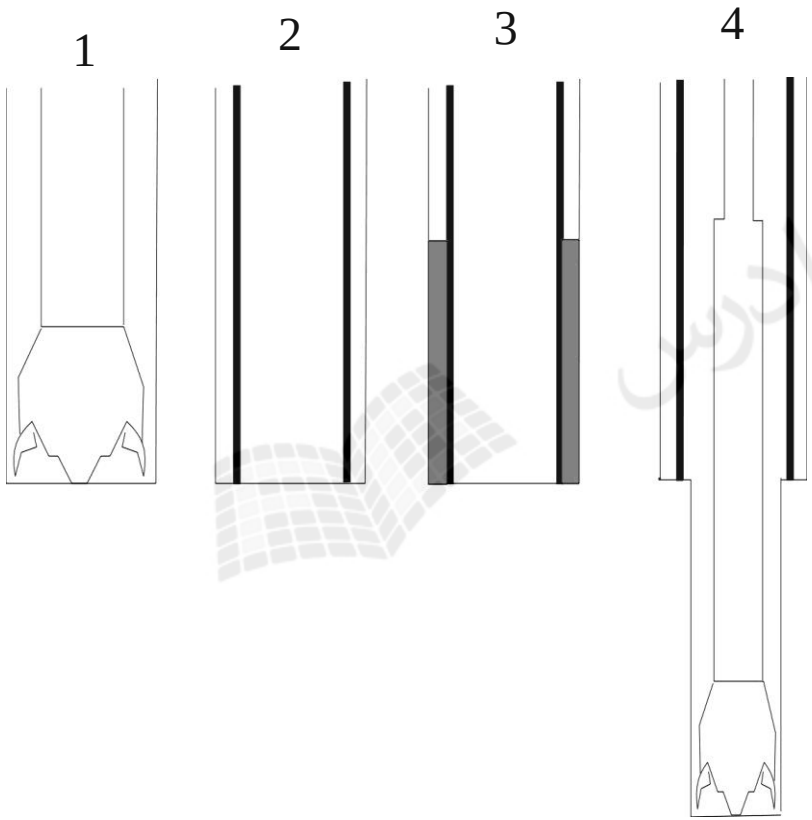


هدف اصلی حفاری؟

هندسه چاه‌ها



عملیات حفاری



1. حفاری چاه باز
2. راندن کیسینگ
3. سیمانکاری
4. انتخاب مته با قطر کوچکتر و ادامه حفاری

انواع چاه‌ها

1. چاه گربه وحشی و اکتشافی
2. چاه دیسکاوری
3. چاه توصیفی
4. چاه توسعه ای
5. چاه اینفیل
6. چاه تزریقی و تولیدی
7. چاه متروکه
8. چاه دفعی
9. چاه مانیتورینگ
10. چاه ریلایف
11. چاه انحرافی

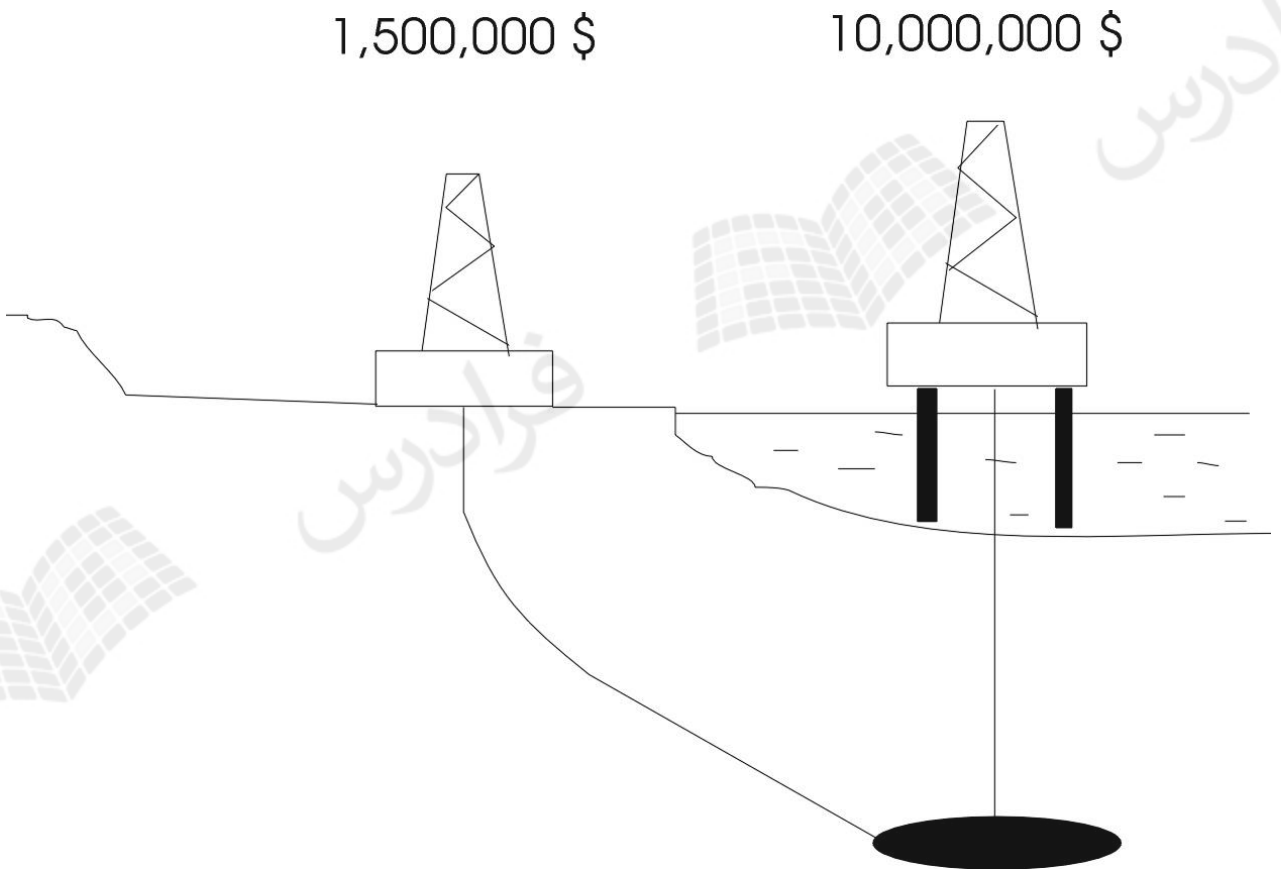
فرادرس

حفاری ایده‌آل

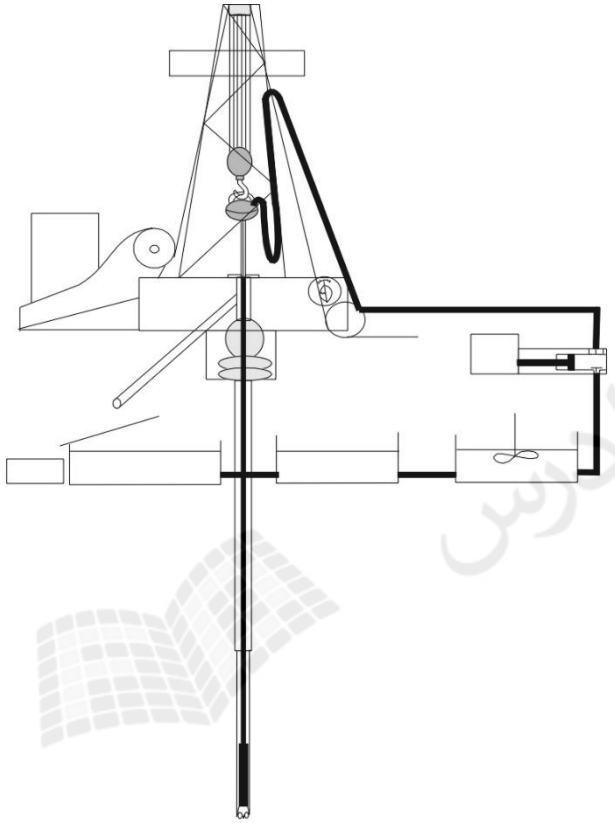
- حفاری باید با کمترین هزینه ممکن صورت گیرد.
- انجام ایمن حفاری

فرادرس

نمونه‌ای از تصمیم‌گیری اشتباه



انتخاب سایز ایده‌آل تجهیزات

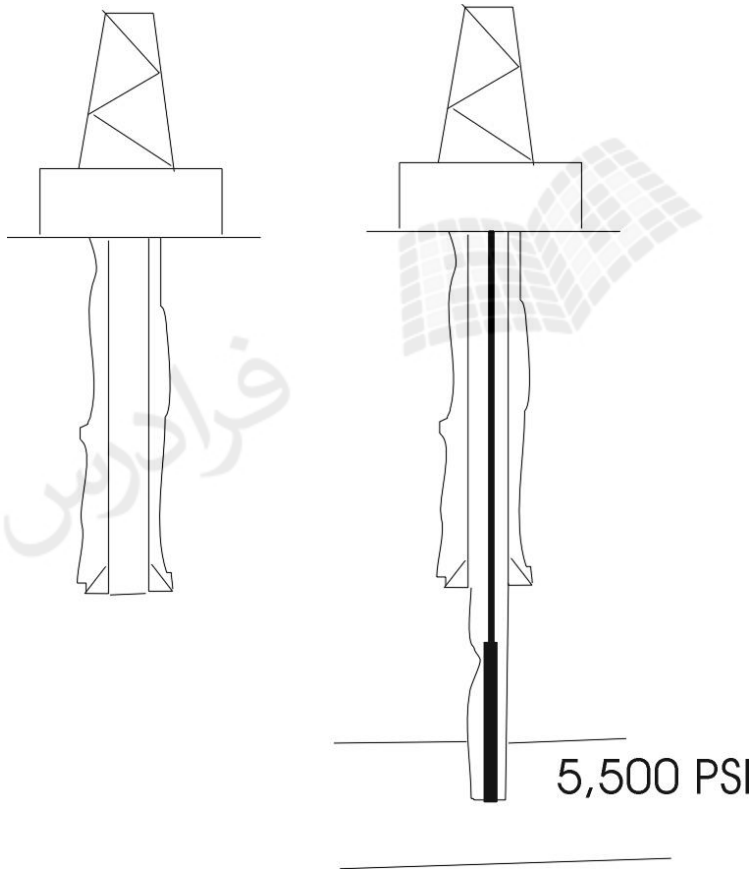


- اندازه دستگاه حفاری
- توان مورد نیاز
- اندازه مخازن
- انواع و اندازه‌های لوله‌های حفاری
- لوله‌های حفاری، لوله وزنه، لوله جداری
- مته حفاری و اندازه‌های نازل
- پمپ‌های گل، اندازه‌های لاینر، فوران‌گیرها

کنترل پارامترها به‌منظور حداقل‌سازی هزینه‌ها

- وزن روی مته (WOB)
- چرخش مته در هردقیقه (RPM)
- حرکت رفت‌وبرگشتی پمپ در هر دقیقه، فشار، سرعت جریان گل حفاری
- خواص سیال حفاری (چگالی، محتوای جامد، و غیره)
- پارامترهای طراحی حفاری جهت‌دار و غیره.

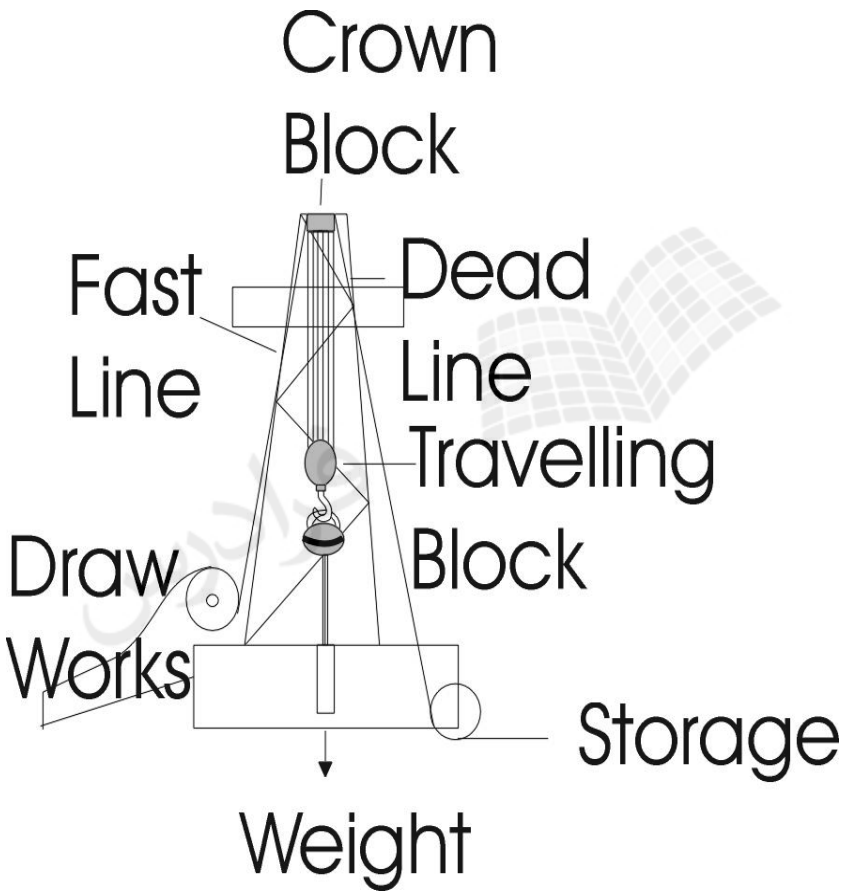
تصمیمات اشتباه مهندسی



سیستم‌های حفاری

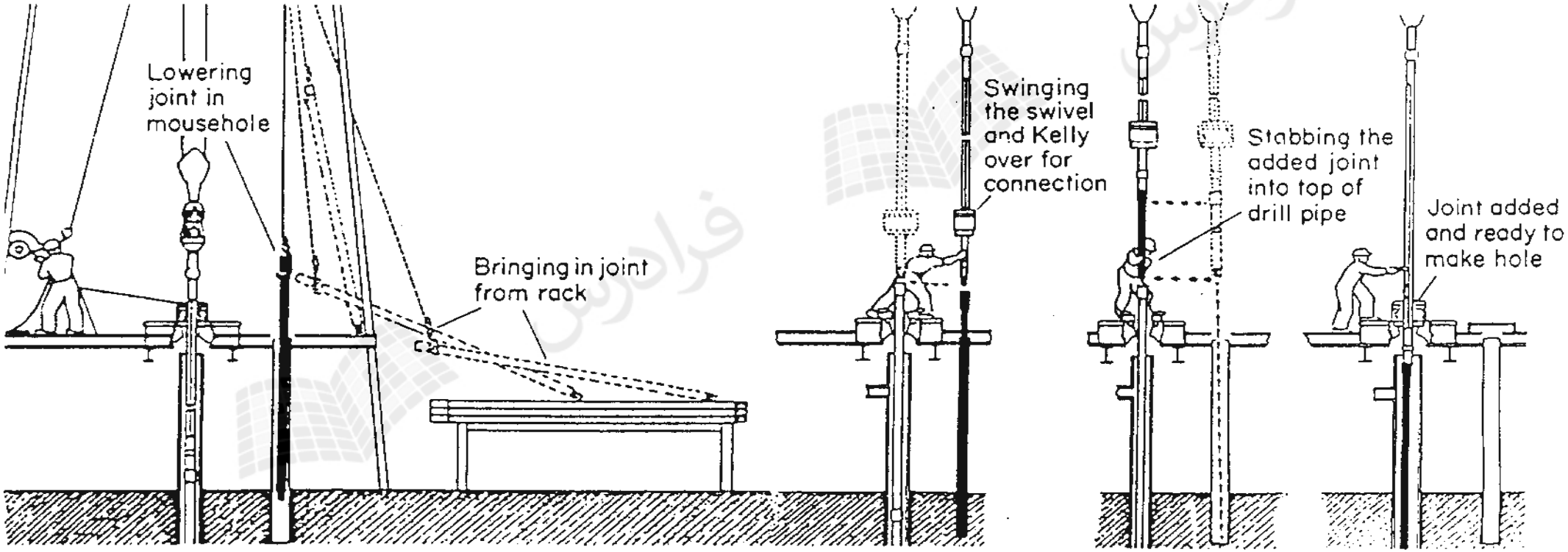
- سیستم بالابری (Hoisting System)
- سیستم قدرت (Power System)
- سیستم چرخش سیال حفاری (Mud Circulation System)
- سیستم دورانی (Rotary System)
- سیستم کنترل چاه (Well Control System)
- سیستم مانیتورینگ (Well Monitoring System)

سیستم بالابری

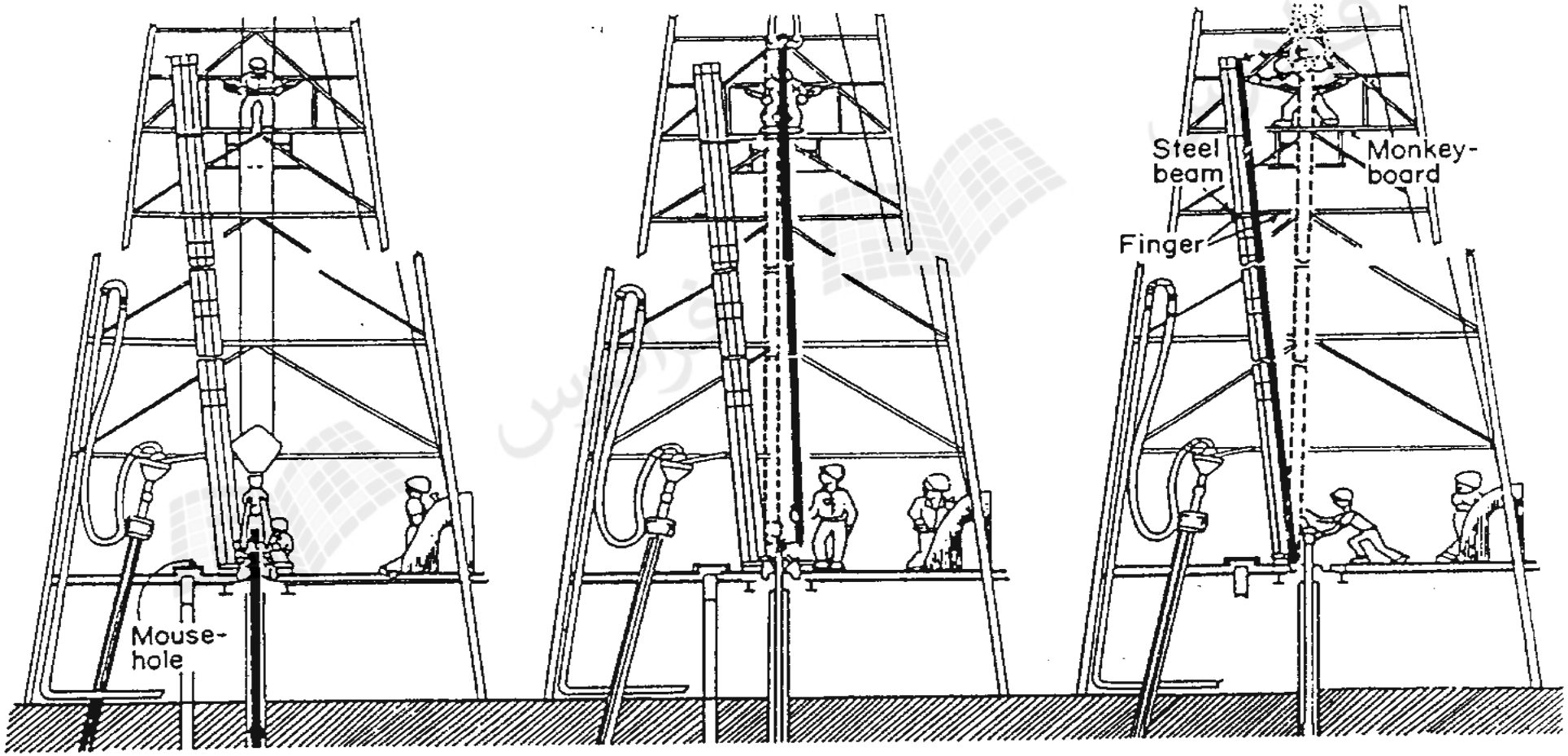


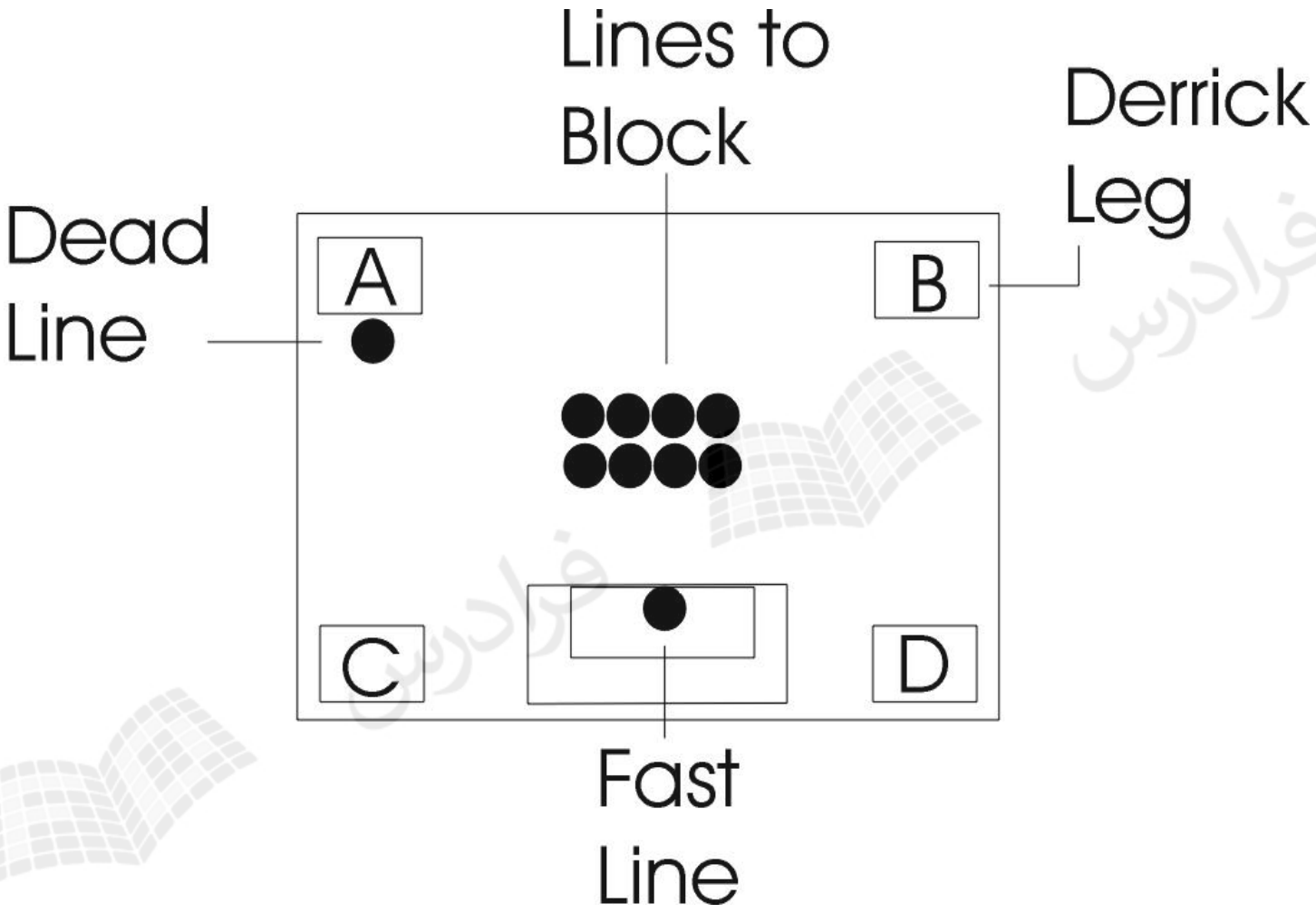
به پایین و بالا بردن رشته‌ها به داخل یا خارج از چاه کمک می‌کند.

ایجاد ارتباط
(Make a Connection)



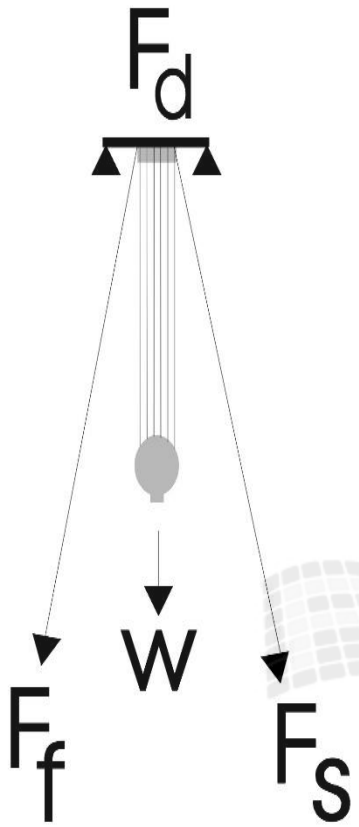
راندن رشته حفاری به درون چاه
(Make a Hole)





Total Derrick Load به‌طور مساوی بین ۴ پایه توزیع نمی‌شود.

Total Derrick Load (Fd)



$$F_d = W + F_f + F_s$$

$$F_d = W + \frac{W}{\eta n} + \frac{W}{n}$$

$$F_d = \left(\frac{1+\eta+n}{\eta n}\right) W$$

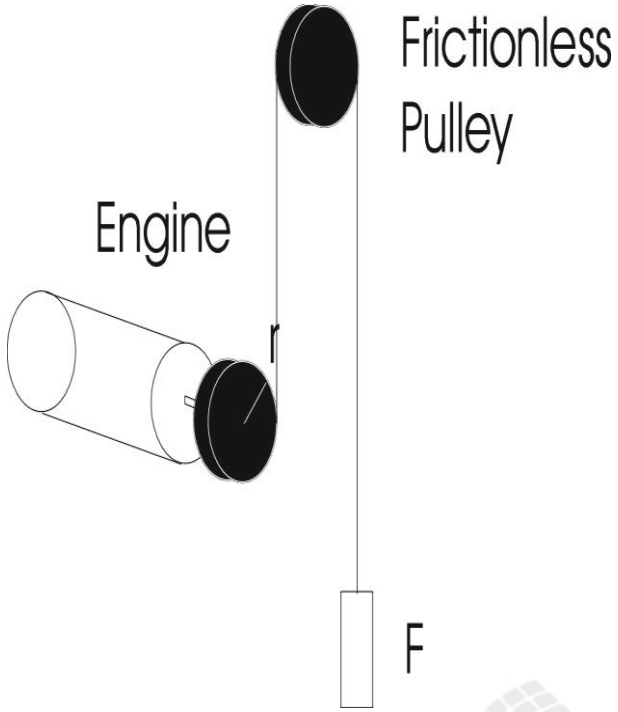
عوامل موثر در بهره‌وری سیستم

کابل و قرقره

Number of Lines	Efficiency
6	0.874
8	0.841
10	0.810
12	0.770
14	0.740

سیستم قدرت

- توان مورد نیاز اکثر دکل‌ها بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ اسب بخار است.
- بیشترین توان مصرفی صرف سیستم‌های بالابری و گردش سیال می‌شود.
- سیستم‌های بالابری و گردش گل به‌طور کلی به‌صورت همزمان استفاده نمی‌شوند. بنابراین یک موتور می‌تواند هر دو عملکرد را انجام دهد.



$$\text{Efficiency} = \frac{P_o}{P_i}$$

$$P_o = \omega\tau = vF_f$$

$$P_o = (2\pi N)(rF_f) = 2\pi rNF_f$$

$$P_i = Q_i = \omega_f H$$

P_t = Output Power, HP

P_t = Input Power, HP

T = Torque, ft-lbf

F = Force, lbf

r = Radius of drum

ω = Angular velocity, rad/min

N = revolution / min

v = velocity of line, ft/min

ω_f= fuel consumption, gal/min

H = Heating value, Btu/lbm

مثال

یک موتور دیزلی گشتاور خروجی معادل 1740 ft-lbf با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ایجاد می‌کند. در صورتی که میزان مصرف سوخت 31.5 gal/hr باشد، قدرت خروجی و راندمان کلی موتور چقدر است؟

T = 1,740 ft-lbf

N = 1,200 rpm

ω_f= 31.5 gal/hr

Fuel Type	Density lbm/gal	Heating Value BTU/lbm
diesel	7.2	19,000
gasoline	6.6	20,000
butane	4.7	21,000
methane		24,000

The output power:

$$P_o = \omega\tau$$

$$\omega = (2\pi)(1{,}200) = 7{,}539.8\frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

$$P_o = 7{,}539.81740\frac{\text{ft.lbf}}{\text{min}}\frac{\text{HP}}{33{,}000\frac{\text{ft.lbf}}{\text{min}}} = 397.5\,\text{HP}$$

The overall efficiency of the engine:

$$\text{Efficiency} = \frac{P_o}{P_i}$$

$$P_i = Q_i = \omega_f H$$

$$\omega_f = 31.5\frac{gal}{hr}\,7.2\frac{lbm}{gal}\,\frac{hr}{60\,min} = 3.78\frac{lbm}{min}$$

$$H = 19{,}000\frac{BTU}{lbm}$$

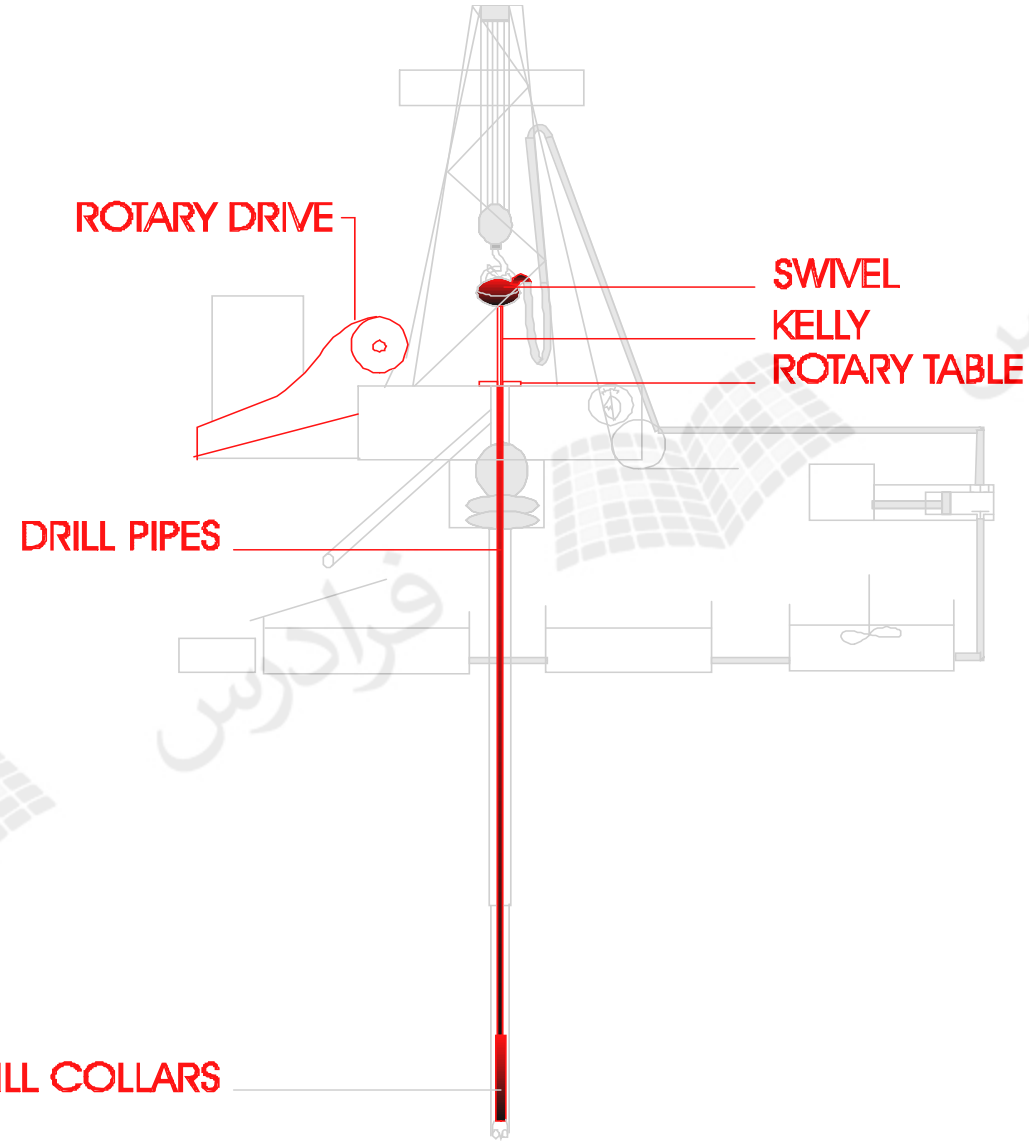
$$Q_{input} = \frac{3.78\frac{lbm}{min}\,9{,}000\frac{BTU}{lbm}\,779\frac{ft.lbf}{BTU}\,HP}{33{,}000\frac{ft.lbf}{min}} = 1{,}695.4HP$$

$$Efficiency = \frac{P_o}{Q_i} = \frac{397.5HP}{1{,}695.4HP} = 0.234 = 23.4\%$$

سیستم دورانی

سیستم دورانی شامل کلیه تجهیزات مورد نیاز برای به چرخش درآوردن مته است:

- Swivel
- Kelly
- Rotary Drive
- Rotary Table
- Drill Pipes
- Drill Collars


ROTARY DRIVE
SWIVEL
KELLY
ROTARY TABLE
DRILL PIPES
DRILL COLLARS

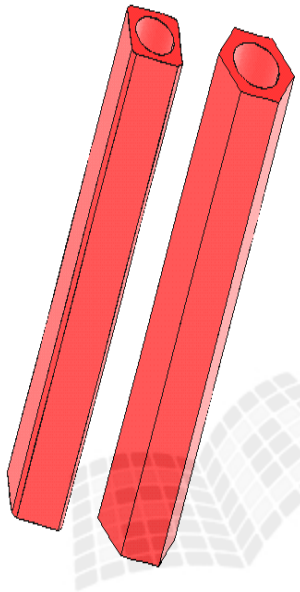
هرزگرد
(SWIVEL)

- وزن رشته حفاری را تحمل می‌کند و اجازه چرخش به آن را می‌دهد.
- با توجه به ظرفیت بار رتبه‌بندی می‌شوند.



کلی
(KELLY)

- اولین بخش لوله زیر Sviwel می‌باشد.
- مربعی یا شش ضلعی می‌باشد.



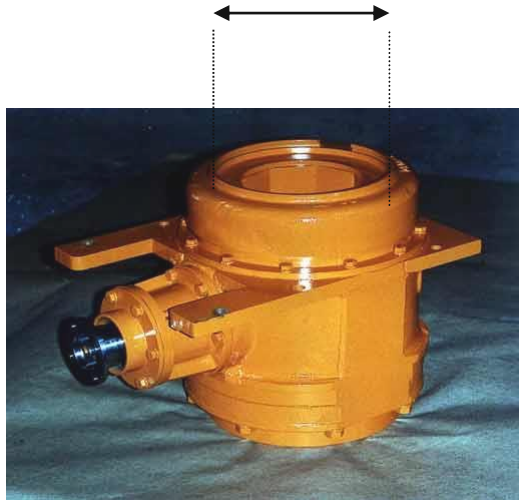
فرادرس

ساب محافظ کلی
(Kelly Saver Sub)

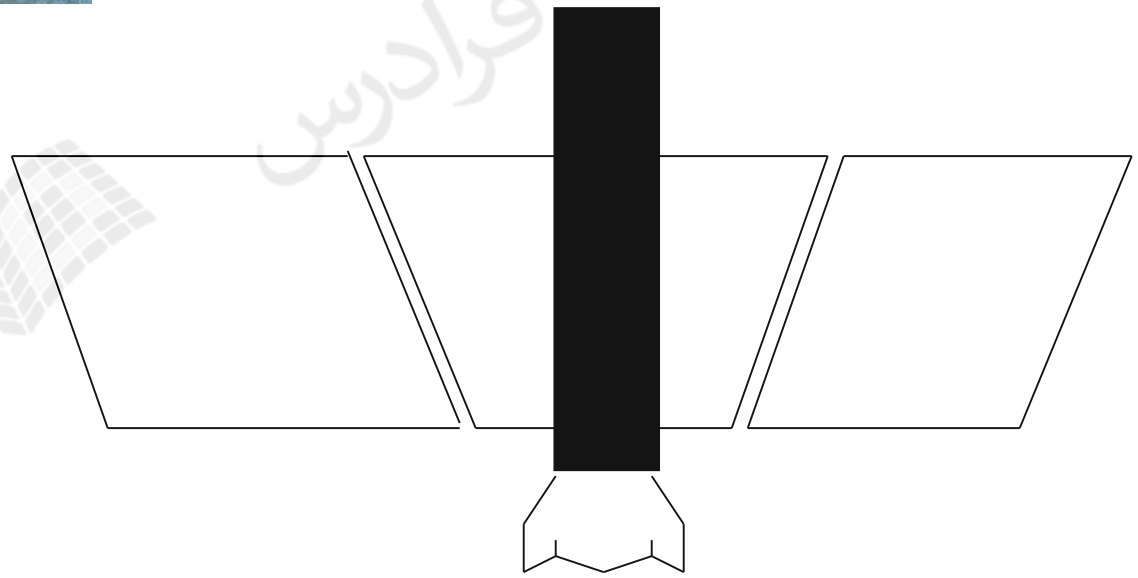


- بین کلی و اولین لوله حفاری استفاده می‌شود.
- ارزان قیمت است.
- از فرسایش تردهای کلی جلوگیری می‌کند.

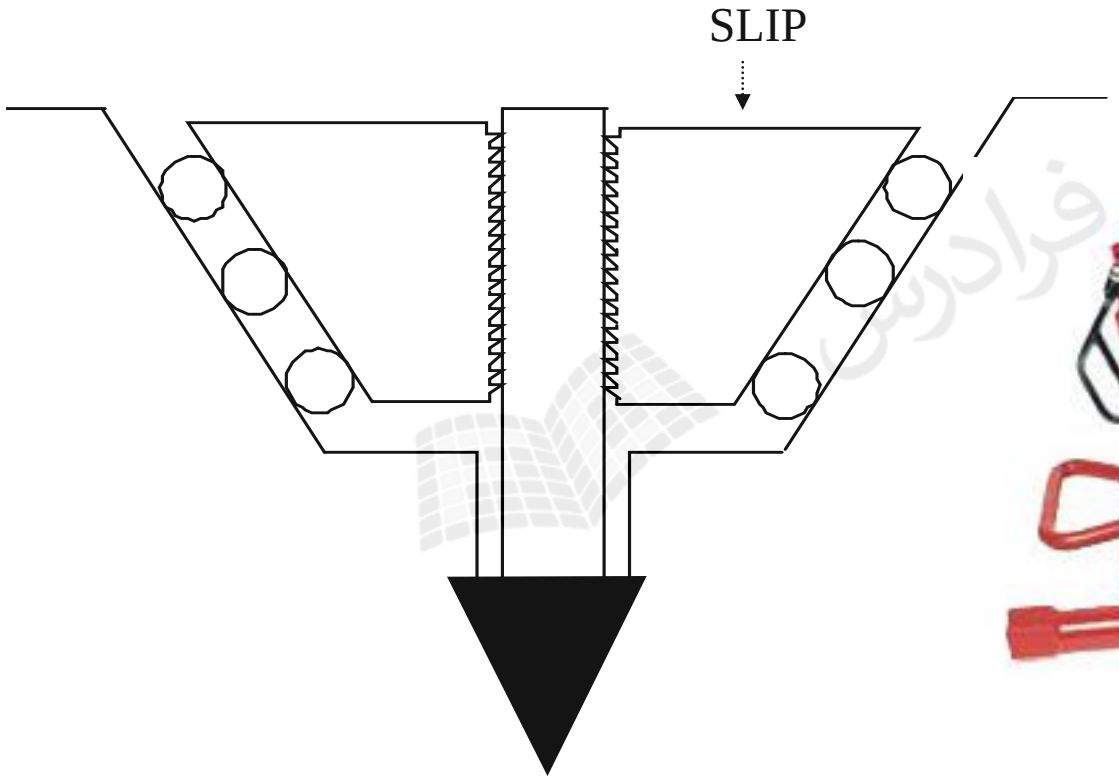
میز دوار
(Rotary Table)



- میز دوار که کلی بوشینگ در آن قرار می‌گیرد به‌منظور عبور ادوات و مته‌های بزرگ دارای بازشدگی بزرگی است.



- قسمت پایین دهانه میز دوار محل قرارگیری SLIPS است.
- SLIPS رشته حفاری را درگیر می‌کند و از ریزش آن به داخل چاه جلوگیری کند و اتصال جدید لوله به رشته حفاری را میسر می‌کند.





لوله‌های حفاری



Joint



Stand

Example: 4 ½ in x 3.66 in, 16.6 ppf, E, Range-1

- Represents:

  Outside Diameter: 4 ½ inch

  Inside Diameter: 3.66 inch

  Weight of DP per unit Length: 16.6 pounds per foot

  Grade: E

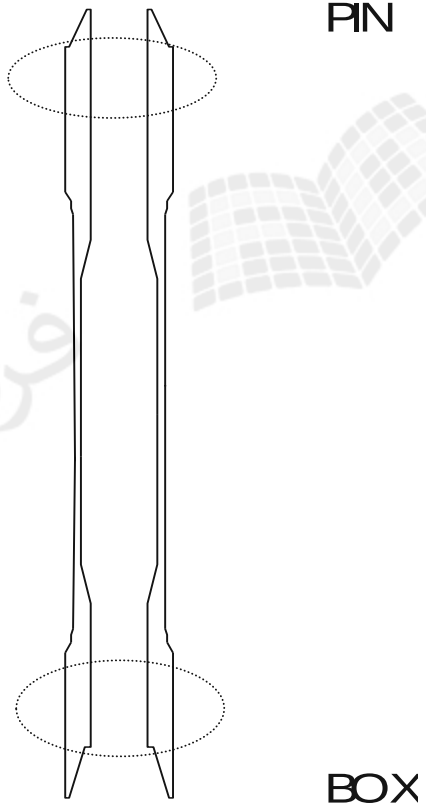
  Average length with in Range - 1

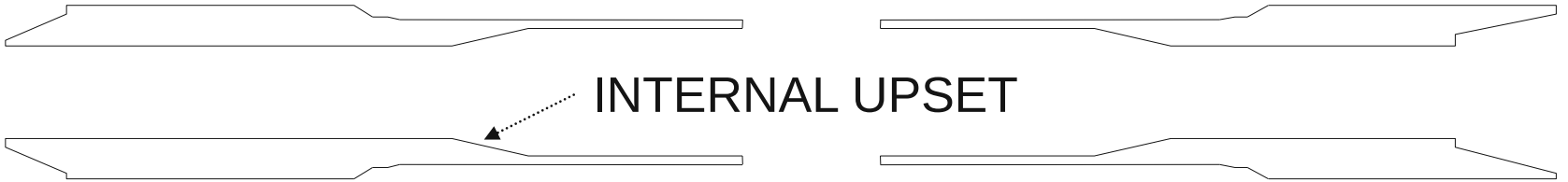
- لوله های حفاری مطابق API در اندازه‌های زیر ساخته شده است:

طول متوسط بر حسب فوت	بازه
18 ft - 22 ft	1
27 ft - 30 ft	2
38 ft - 45 ft	3

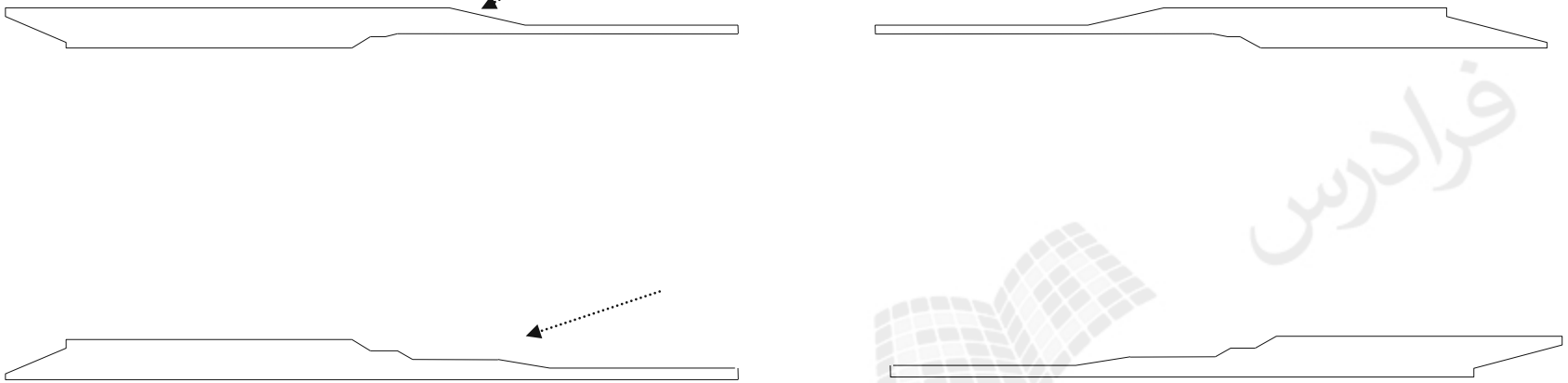
- معمولا بازه ۲ متداول‌ترین رنج در صنعت حفاری به شمار می‌رود.

اتصالات
(TOOL JOINTS)

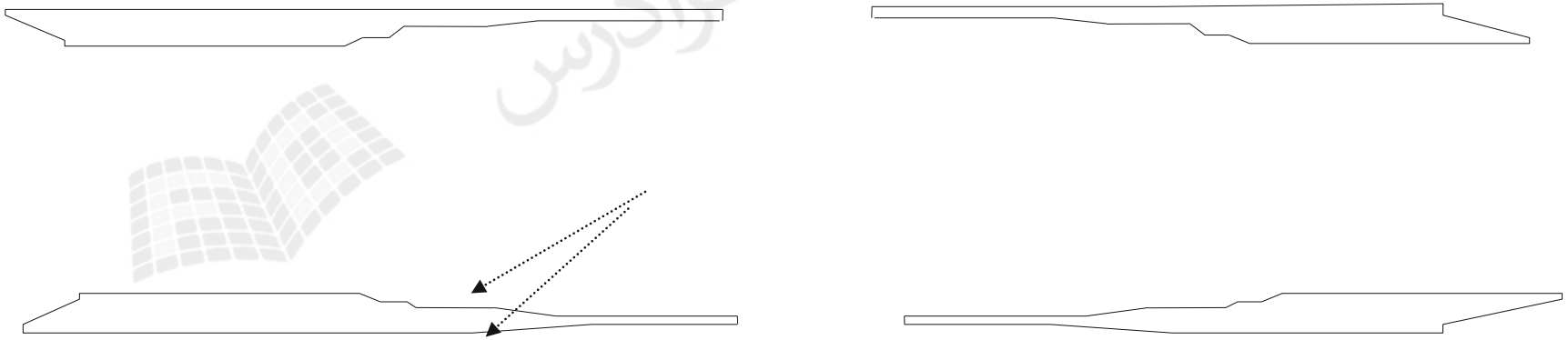




INTERNAL UPSET



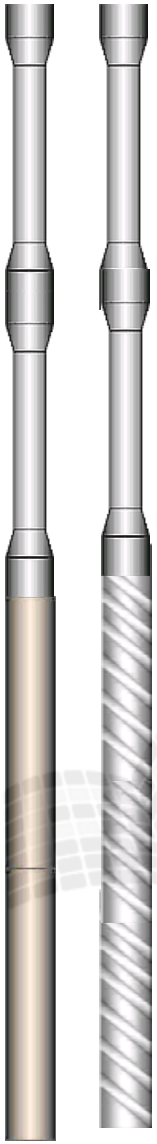
EXTERNAL UPSET



INTERNAL-EXTERNAL UPSET



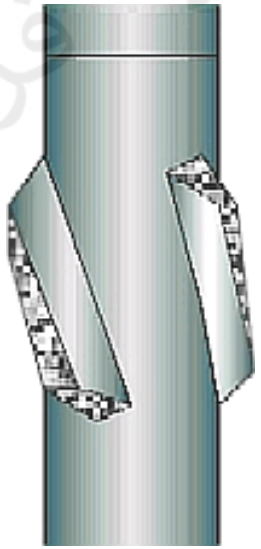
لوله وزنه
(Drill Collar)



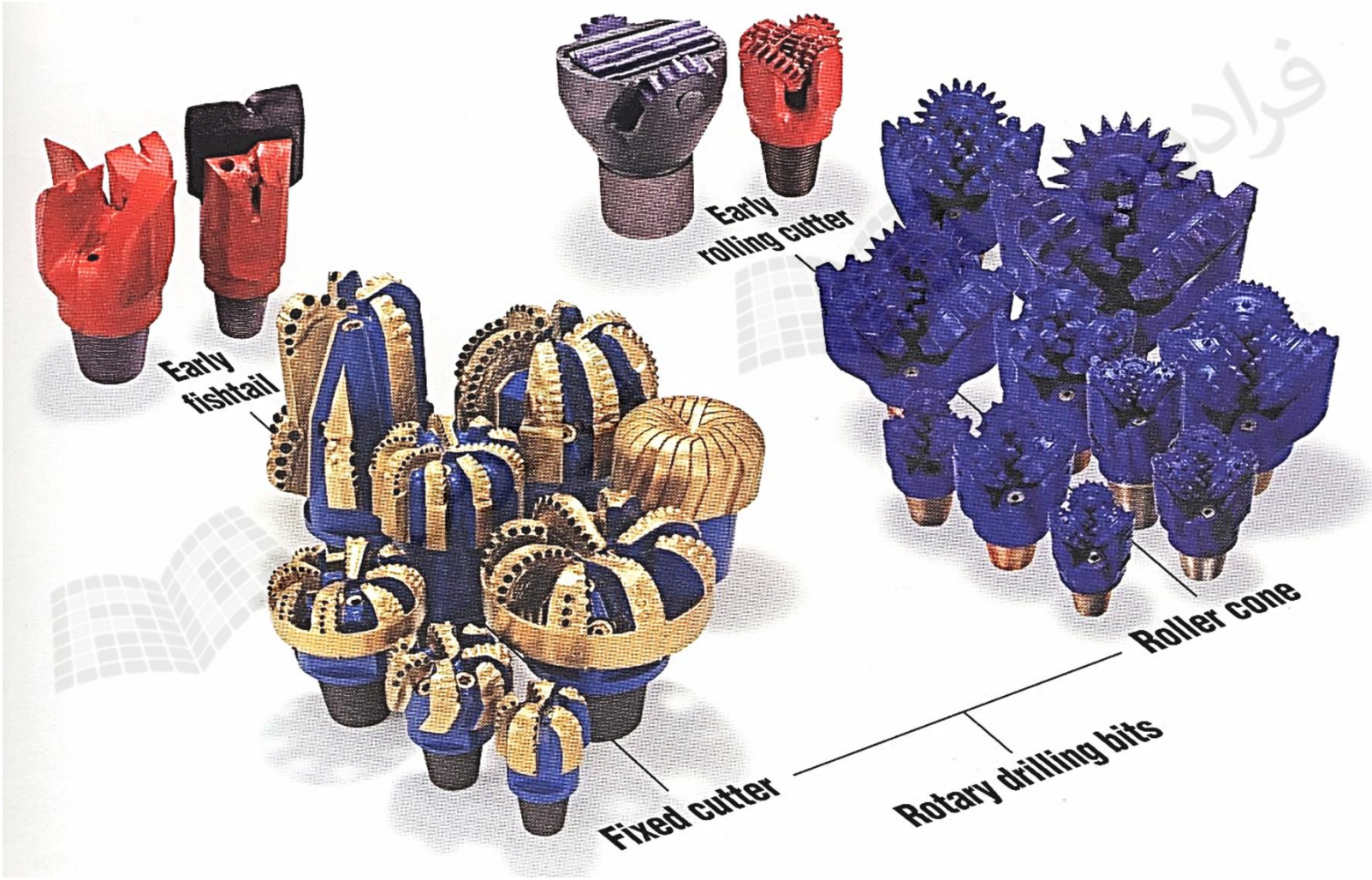
- لوله‌های فولادی سنگین و سختی هستند که درانتهای رشته‌های حفاری به منظور تامین وزن روی مته (WOB) و همچنین سختی رشته حفاری قرار می‌گیرند.
- از نظر ساختار بدنه دوگونه مارپیچی و صاف وجود دارد.

پایدارکننده
(Stabilizer)

- برروی لوله پایدارکننده تیغه‌هایی نصب شده که به‌صورت ۳۶۰ درجه سطح لوله را پوشش می‌دهد و معمولا روی این تیغه‌ها توسط مواد سخت پوشش داده می‌شود.



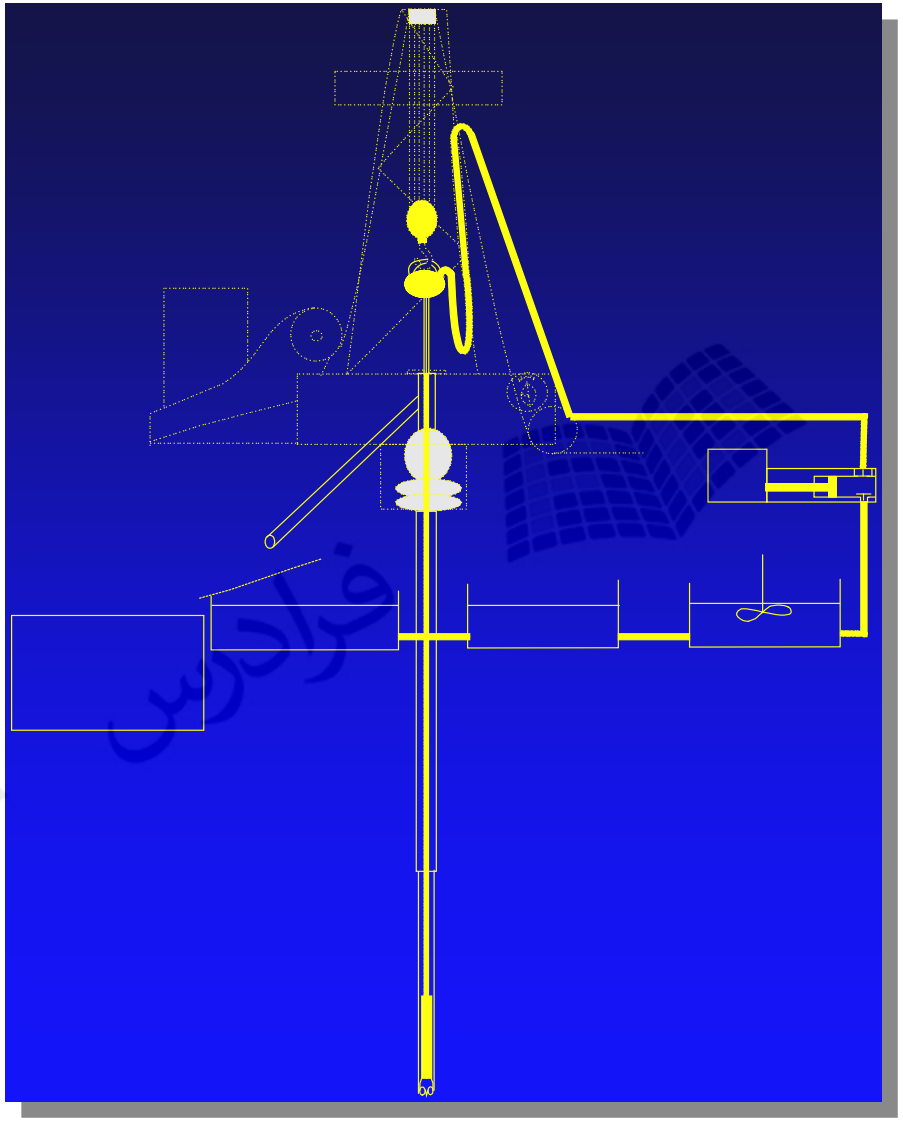
مته
(BIT)

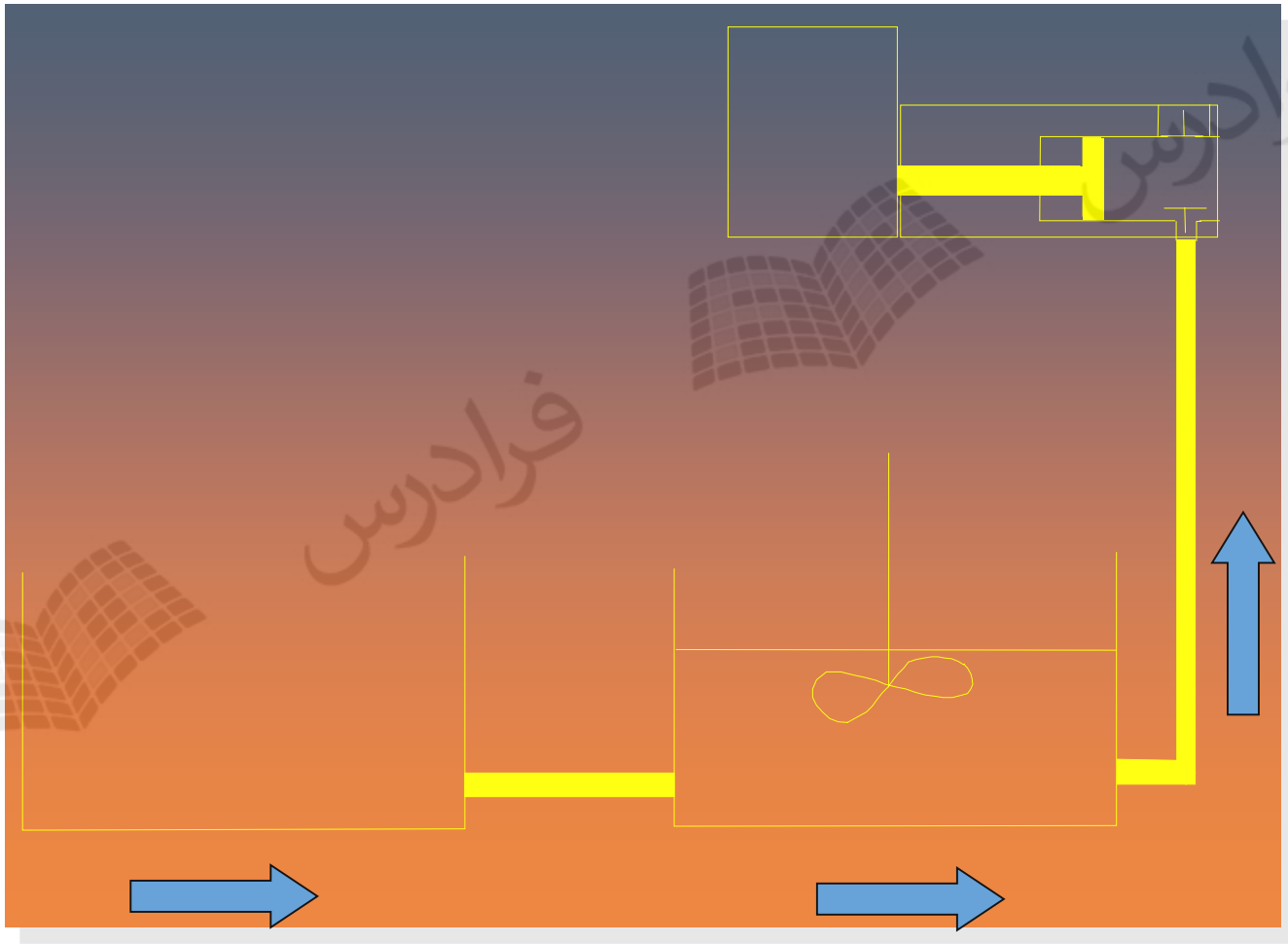

Early
tishtail
Early
rolling cutter
Roller cone
Rotary drilling bits
Fixed cutter

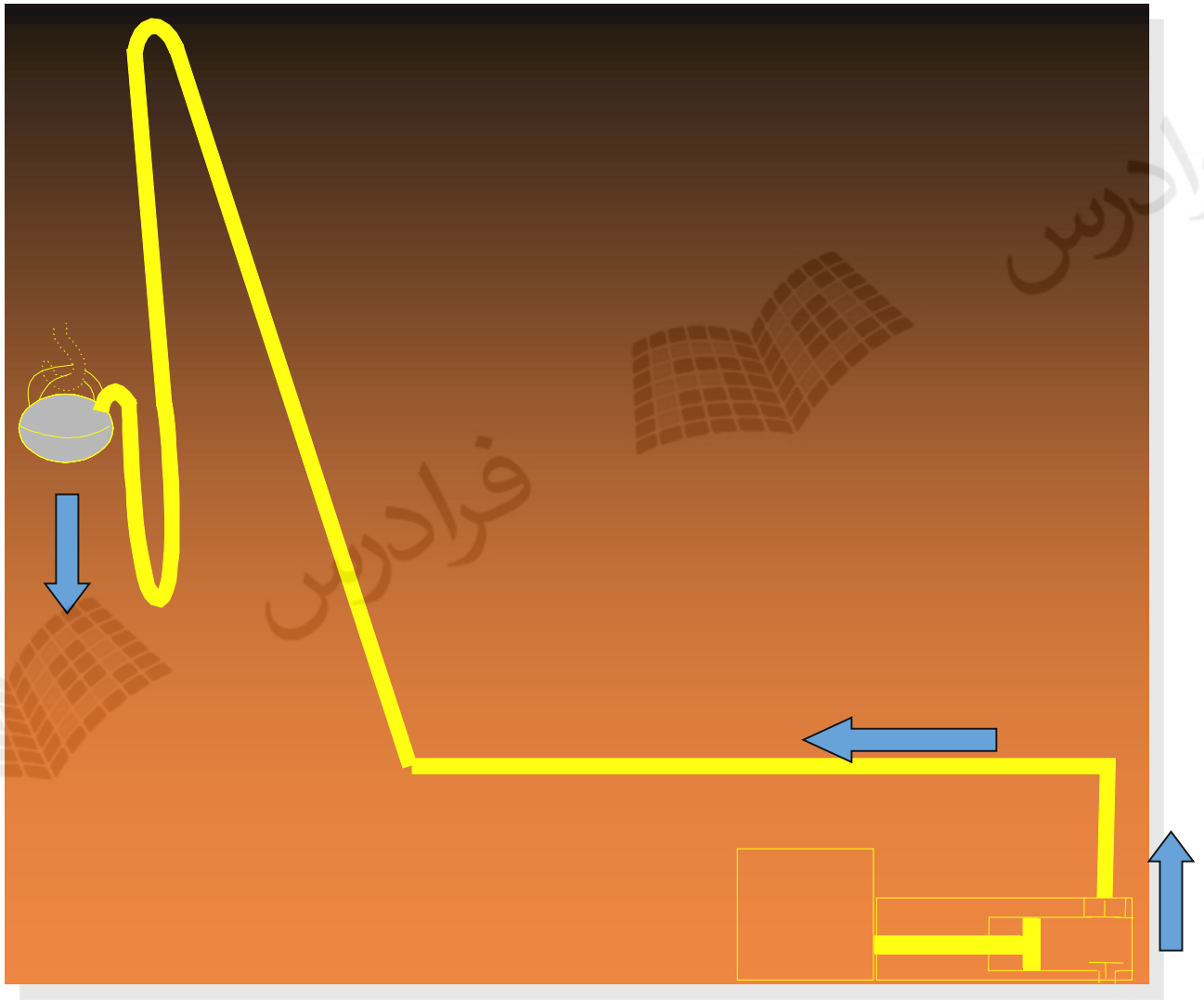
سیستم گردش گل

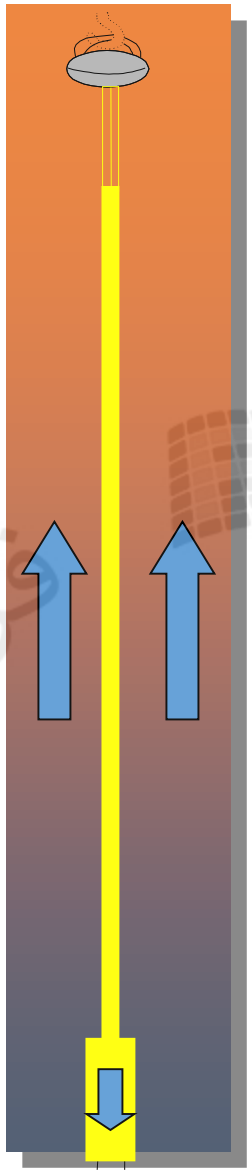
- mud pumps
- mud pit and tanks
  - settling tank,
  - mixing tank and
  - suction tank
- mud mixing equipment
  - mud mixing hopper
- contaminant removal equipment
  - shale shaker
  - desander
  - desilter
  - degasser

فرادرس

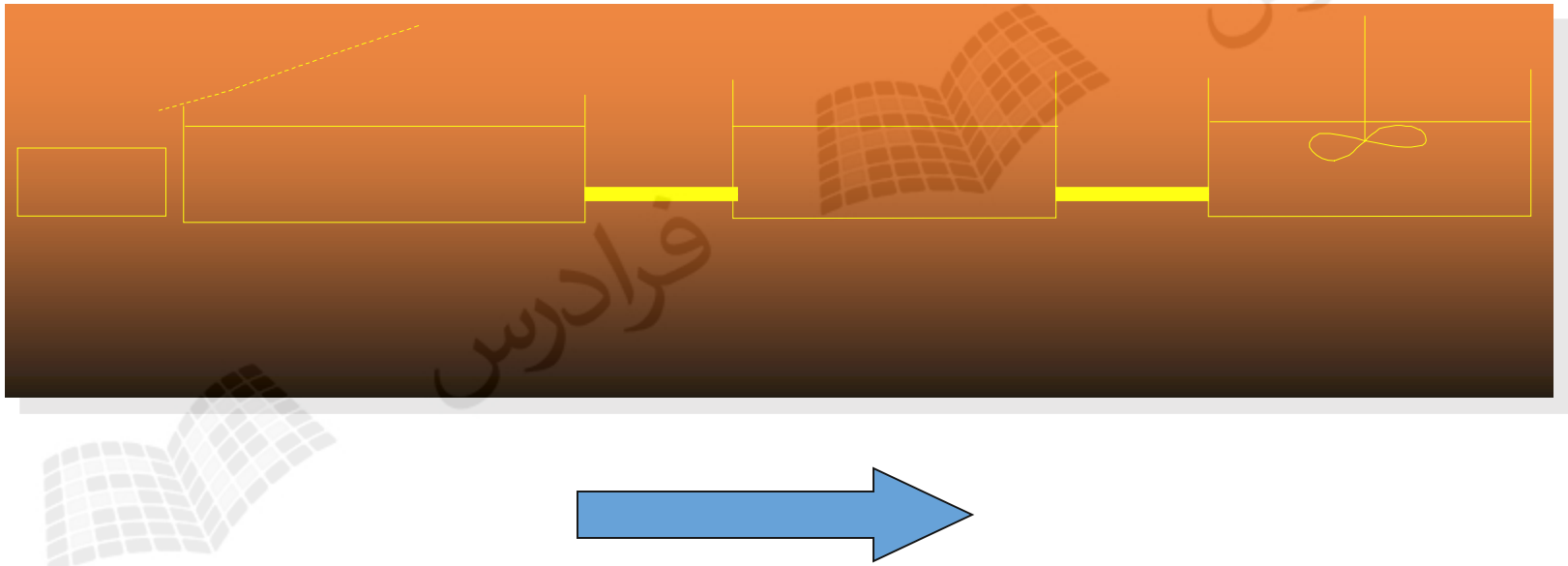






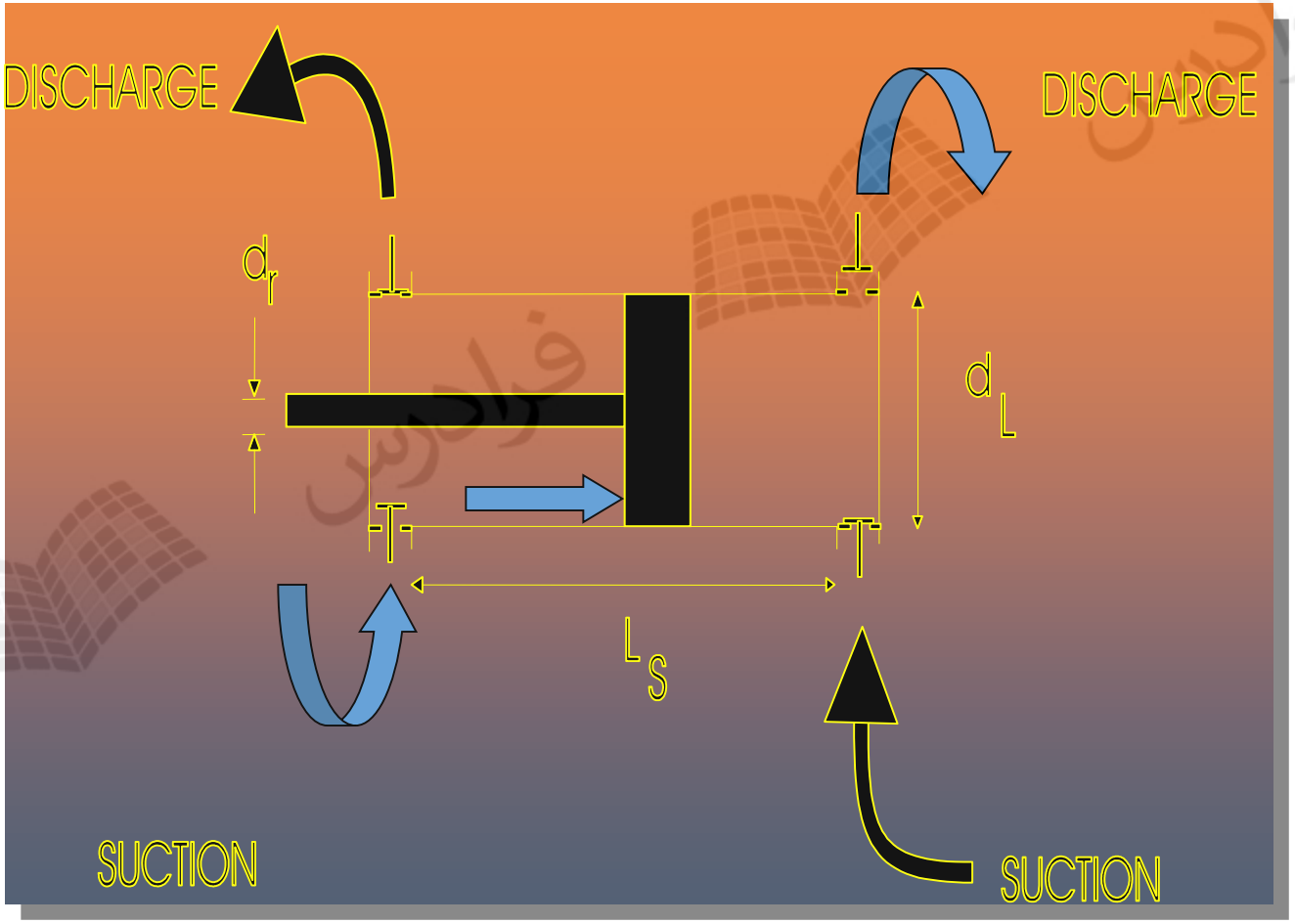


فرادرس

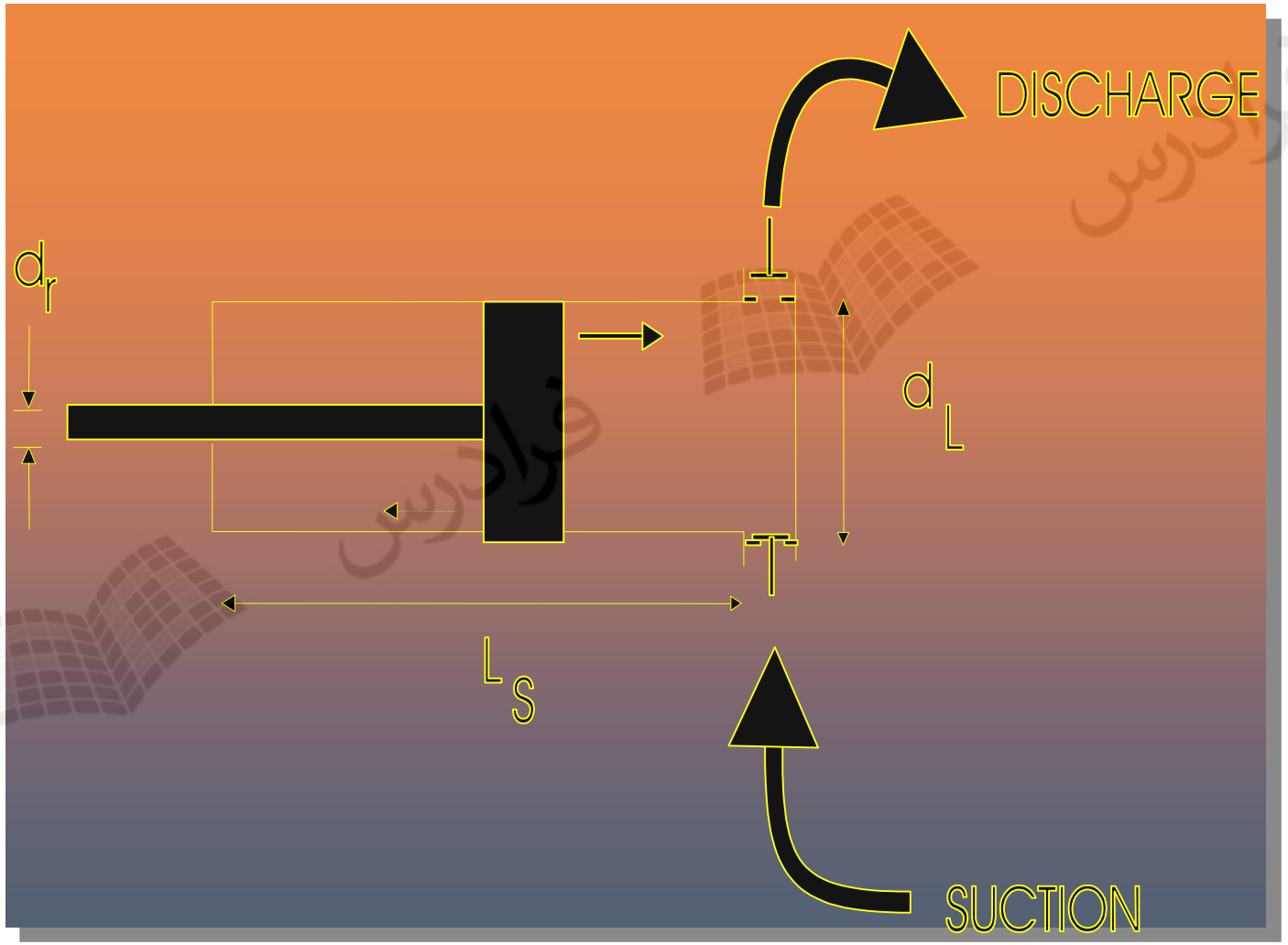


پمپ‌های گل حفاری

پمپ‌های دوپلکس عموما پمپ‌های دو حالته هستند.



پمپ‌های تریپلکس عموما پمپ‌های یک اثره می‌باشند.

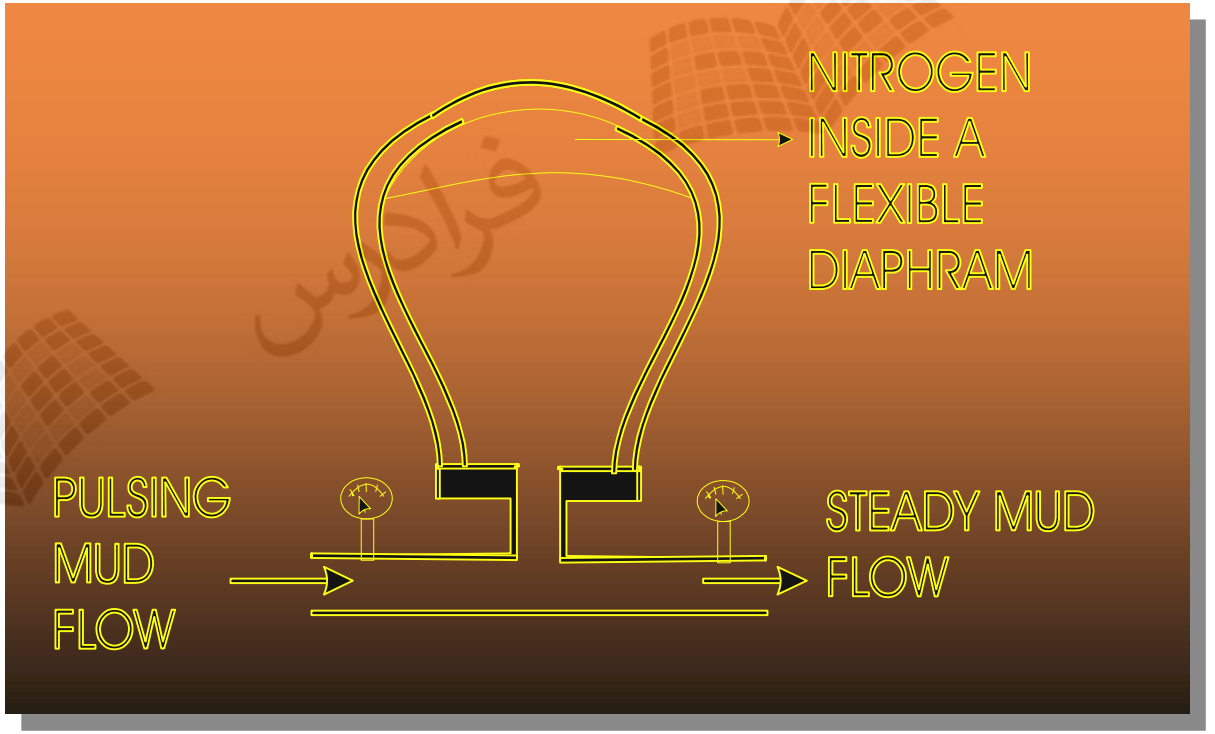


- پمپ‌های سه‌گانه سبک‌تر و جمع‌وجورتر هستند.
- ضربان فشار خروجی آن‌ها چندان زیاد نیست.
- ارزان‌تر هستند.
- اکثر پمپ‌های جدید که به بهره‌برداری می‌رسند تریپلکس هستند.

فرادرس

یکنواخت کننده جریان
(PULSATION DAMPENER)

- جهت کاهش و یا حذف نوسانات جریان بعد از پمپ از یکنواخت‌کننده‌های جریان استفاده می‌شود.



لاین خروج
(THE DISCHARGE LINE)

دارای یک Relief Valve می‌باشد تا در صورت استارت پمپ در لحظه بسته بودن شیرآلات فشار را ترخیص کند.

لوله قائم و شلنگ مرتجع
(THE STAND PIPE AND ROTARY HOSE)

اتصال انعطاف‌پذیری را فراهم کنید که امکان حرکت عمودی رشته مته را فراهم می‌کند.

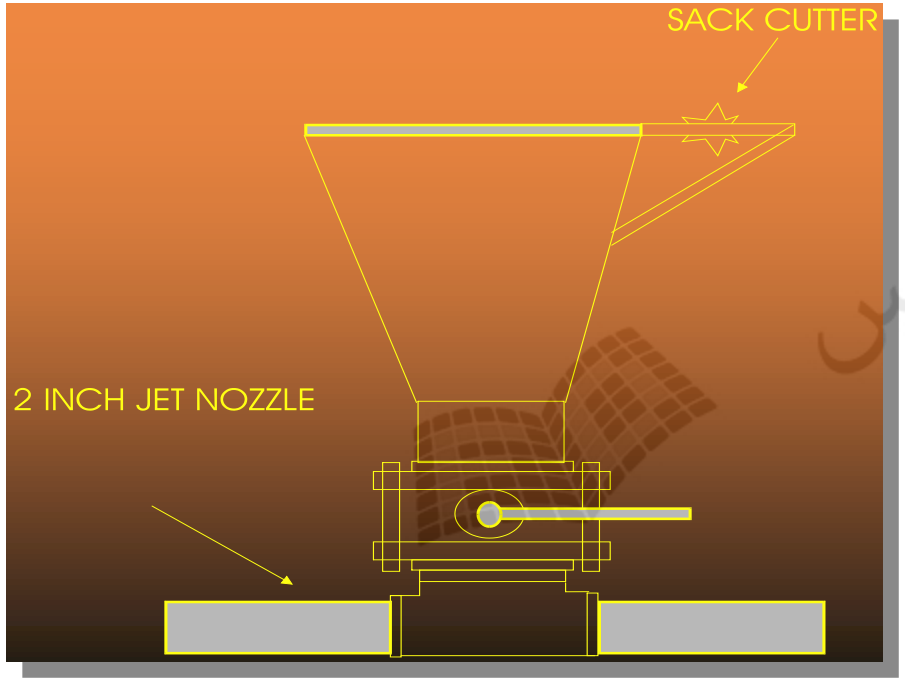
مخازن گل
MUD PITS

- مخازن گل برای نگه داشتن حجم اضافی گل حفاری در سطح مورد نیاز است.
- همچنین در صورت از دست دادن سیال حفاری در سازندهای زیرزمینی، این از گل این مخازن به‌منظور جایگزینی استفاده می‌شود.

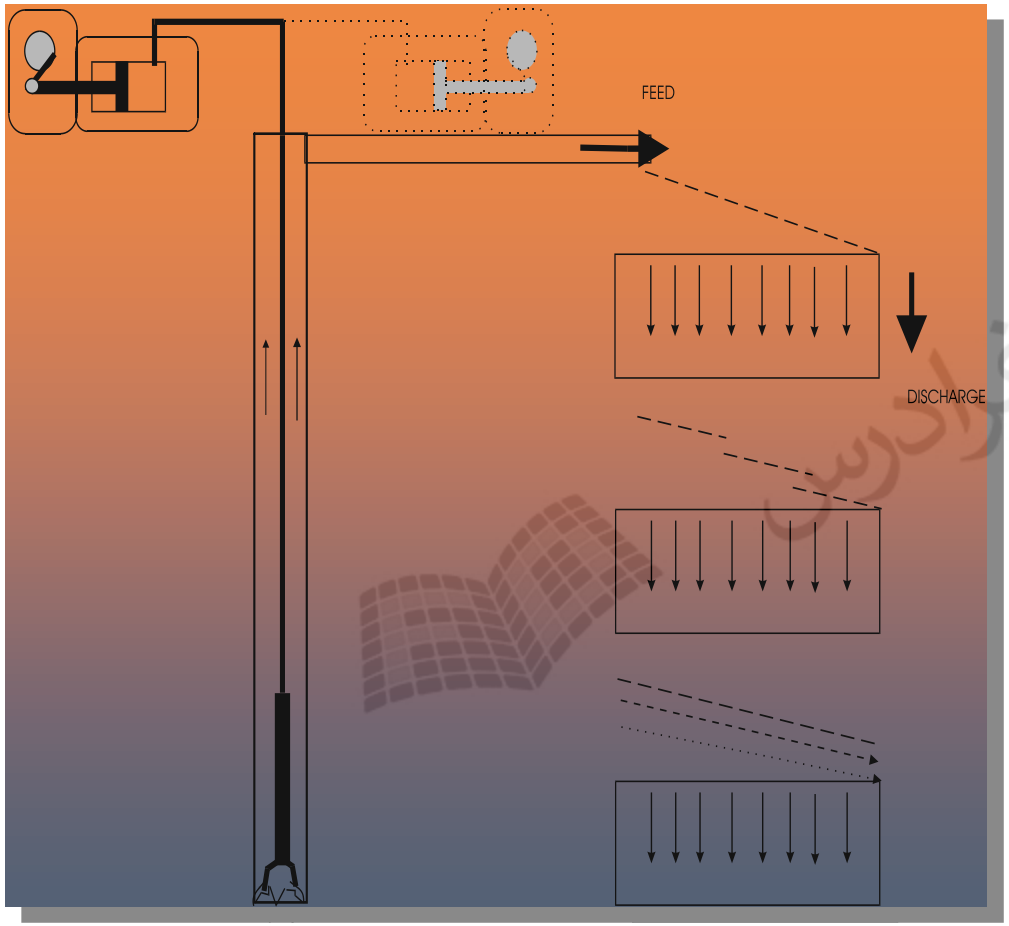
فرادرس

مخلوط کن
MIXING HOPPER

- مواد افزودنی گل اغلب به‌صورت خشک اغلب در کیسه‌هایی نگهداری می‌شوند و با استفاده از هاپر به‌صورت دستی با آب مخلوط می‌شوند.



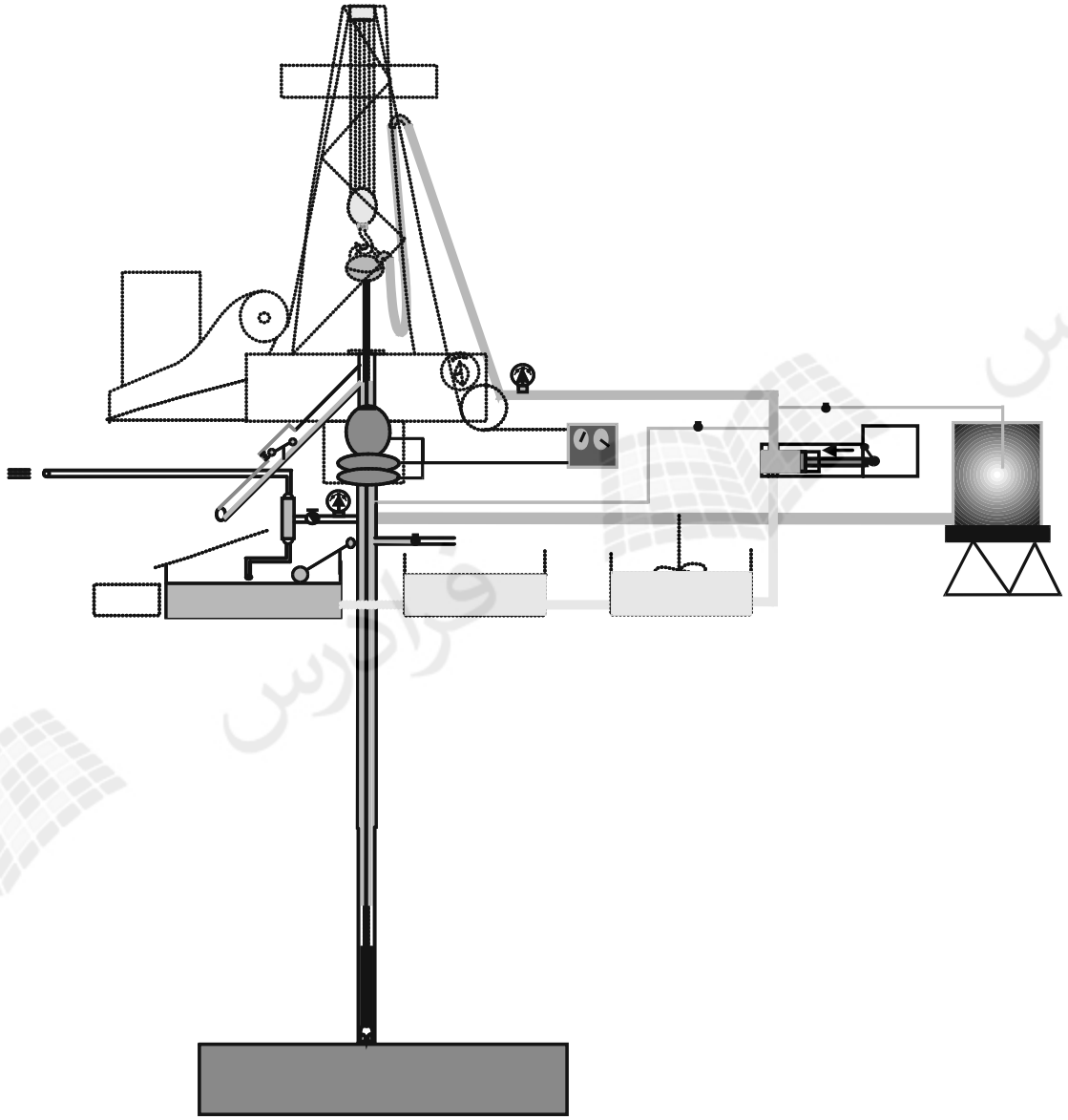
الک لرزان
SHALE SHAKERS

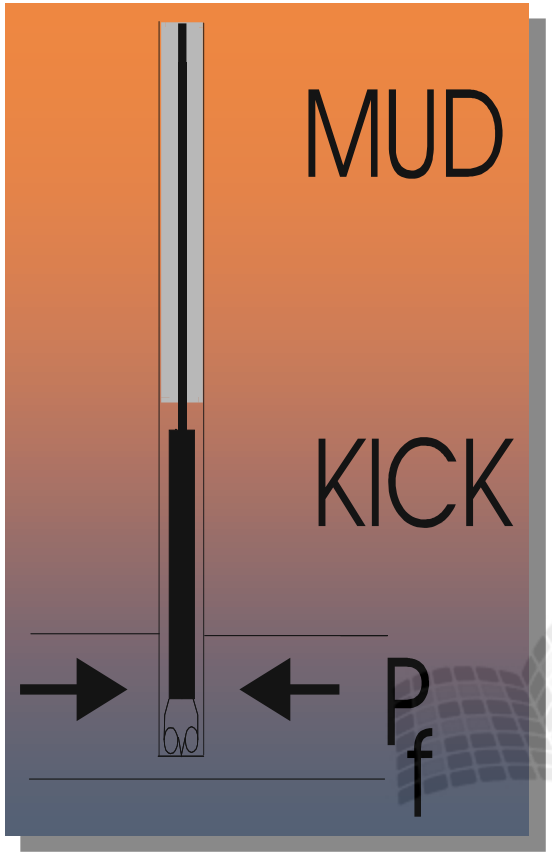


- غربالی است با مش‌های مختلف که هر کدام کنده‌های حفاری با سایزهای مختلف (در حد بزرگ‌تر از ماسه و رس) را از گل جدا می‌کنند.

سیستم کنترل چاه

(کنترل فشار)



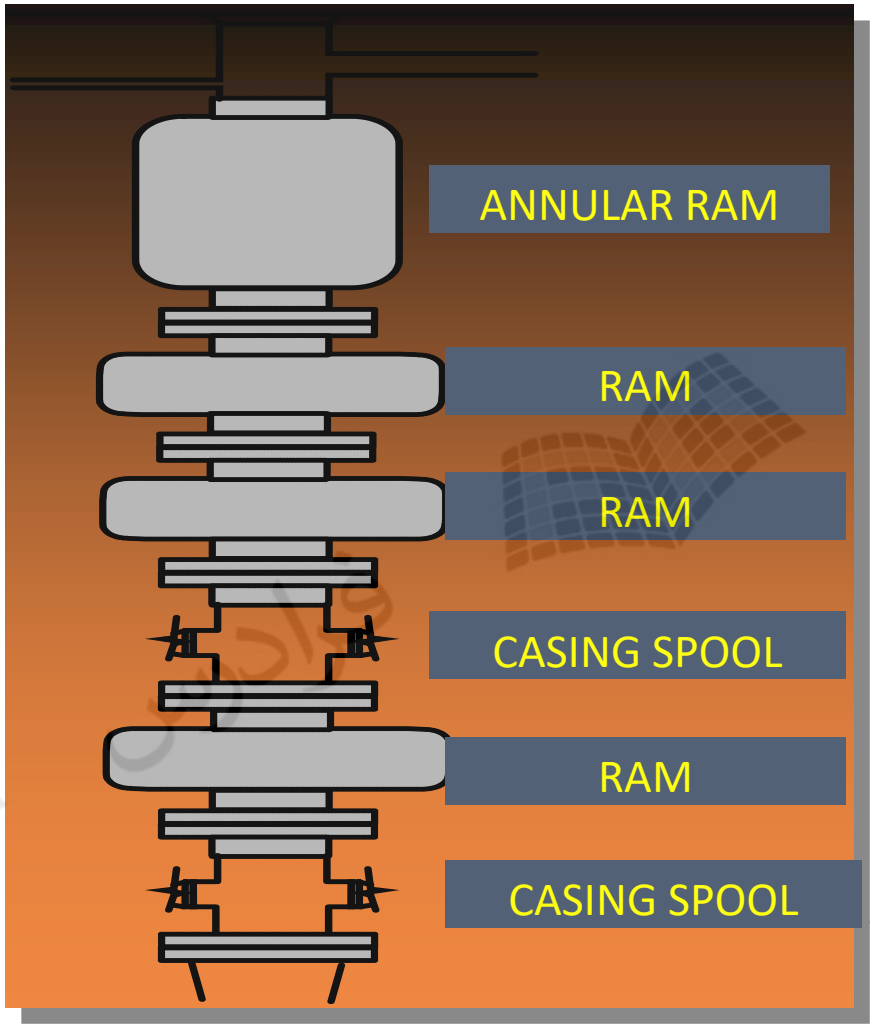


- گلی که در داخل چاه فرستاده می‌شود دارای فشار مشخصی است که با استفاده از این فشار سازندها و سیالات موجود در این سازندها را کنترل می‌کنند. اگر فشار گل کمتر از فشار سازند باشد، باعث می‌شود سیالات موجود در این سازندها به درون چاه نفوذ کنند.
- اگر این سیال گاز یا بخار آب باشد، بسیار خطرناک است؛ حتی اگر سیال وارد شده مایع باشد نیز زیان‌آور است و باعث تغییر ماهیت گل ما می‌شود و می‌تواند گل ما را از بین ببرد. به پدیده وارد شدن سیالات از سازندها به داخل گل Kick و به انتقال Kick به سطح و فوران blow out گویند.

سیستم کنترل

- تشخیص Kick
- بستن چاه در سطح
- جریان دادن چاه تحت فشار
- افزایش دانسیته گل
- حرکت رشته حفاری تحت فشار
- دور کردن جریان از پرسنل و تجهیزات دکل

فرادرس



BOP stack

کوبه‌ها

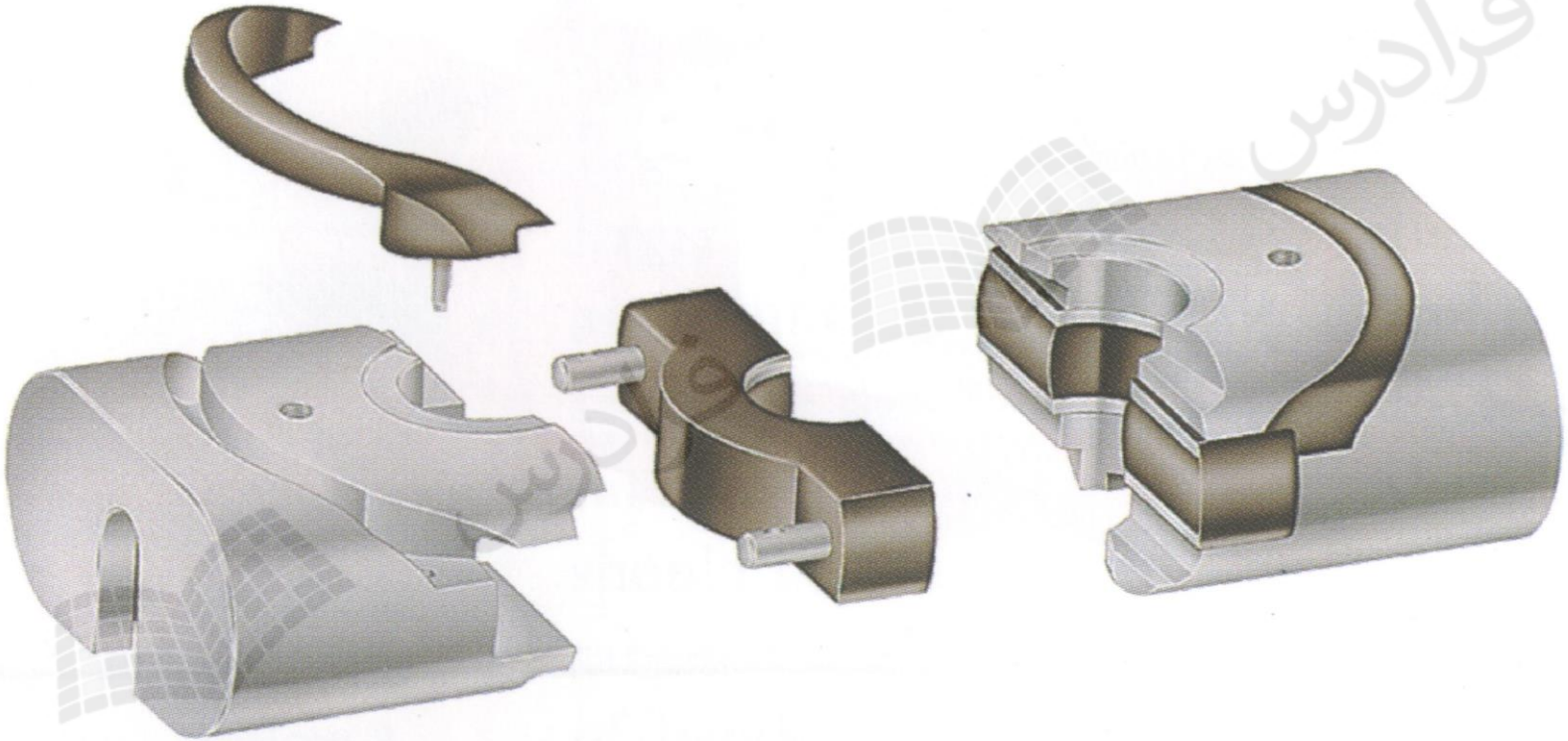
(RAM PREVENTERS)

- دارای دو المان مسدود کننده در طرف های مخالف است که با حرکت به‌سمت یکدیگر بسته می‌شوند.

کوبه‌های لوله

(PIPE RAMS)

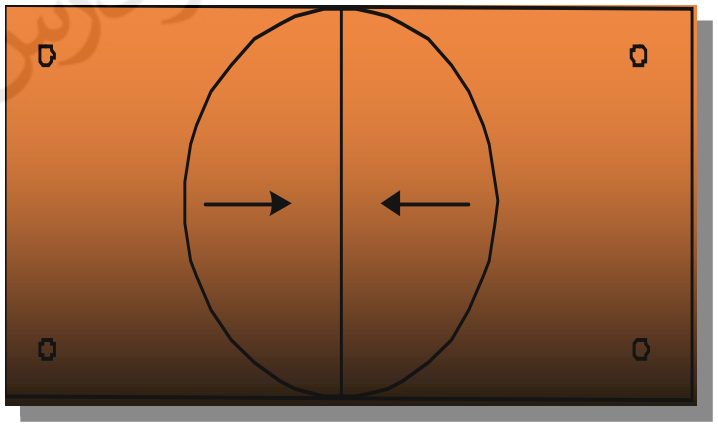
- دهانه‌های نیم‌دایره‌ای دارند که با قطر لوله‌های حفاری مطابقت دارند.
- اگر DP با قطرهای مختلف در چاه باشد، باید از کوبه‌های اضافی مطابق با سایز لوله استفاده شود.



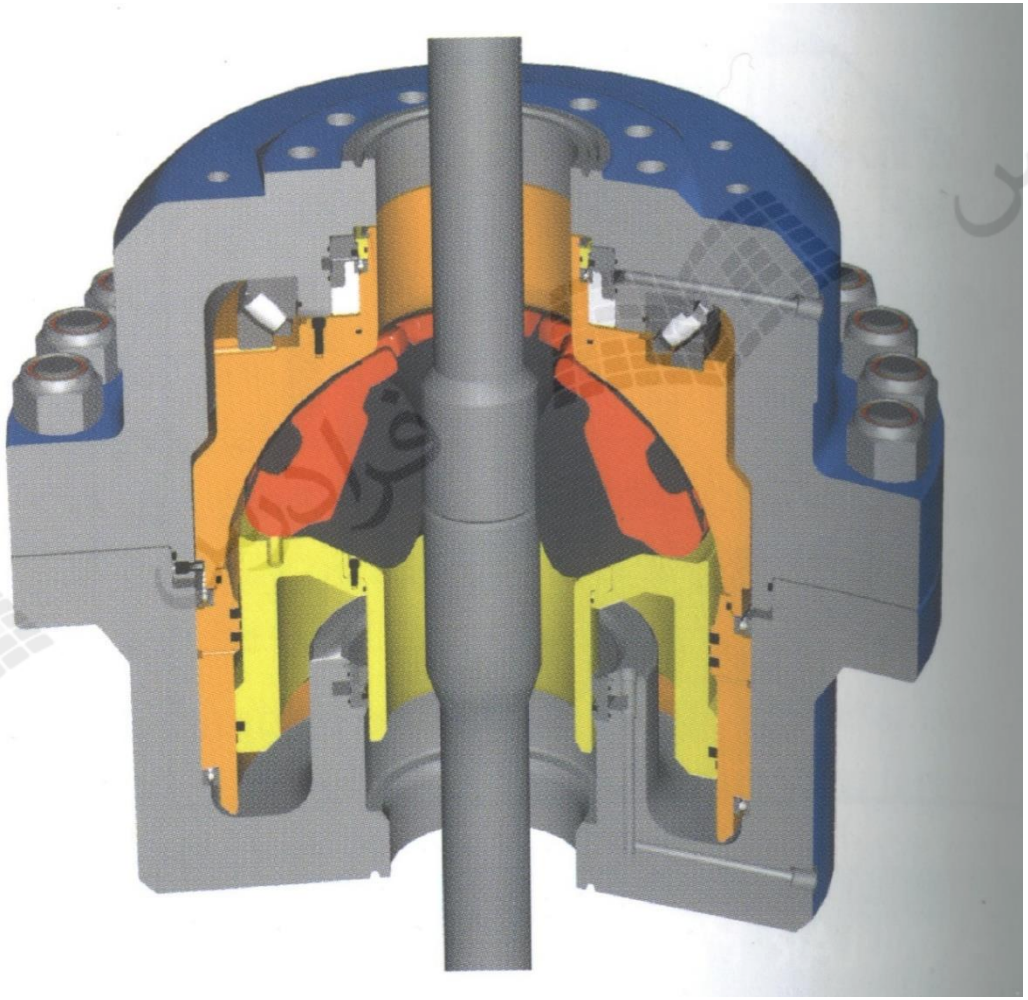
کوبه کورکننده
(BLIND RAMS)

- هنگامی که هیچ لوله حفاری در چاه نیست، بسته می‌شود.
- در صورت وجود DP در چاه آن را صاف می‌کند، اما باعث جلوگیری از عبور جریان چاه به بیرون نمی‌شود.

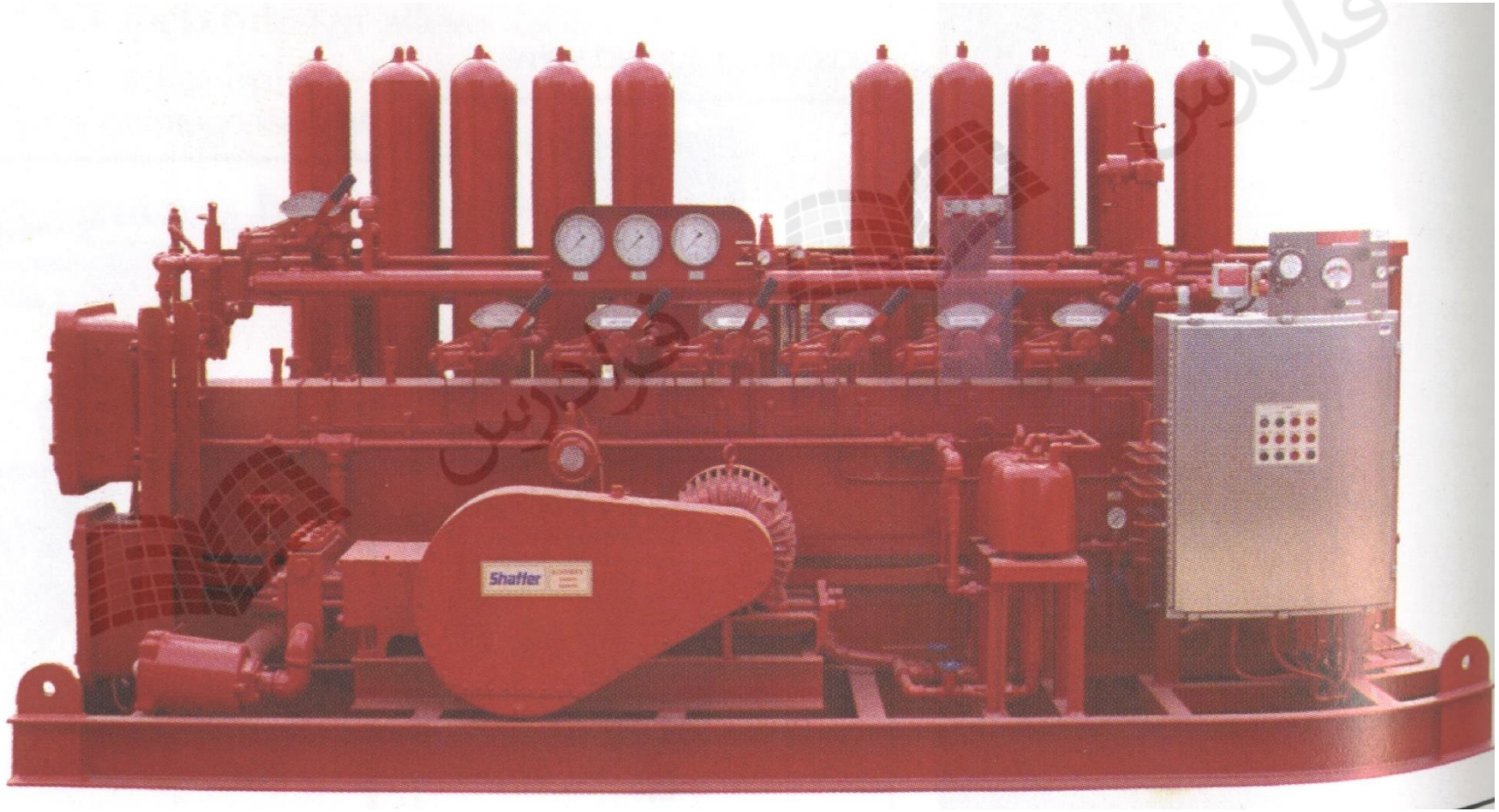
کوبه برشی
(SHEAR RAMS)



فوران‌گیر دالیزی
(ANNULAR PREVENTERS)

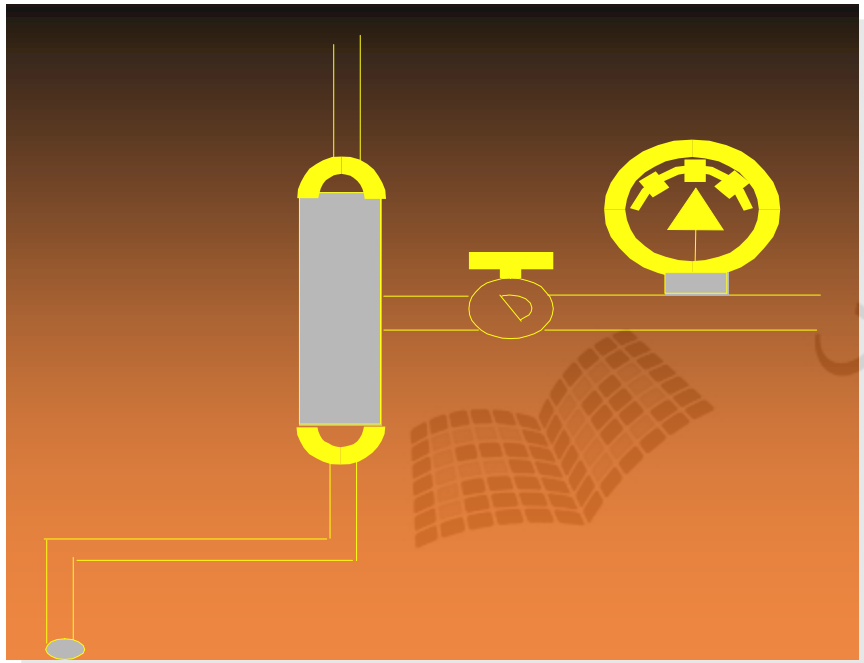


واحد انباره
(ACCUMULATORS)



- مجرای عبور سیال از آنالوس شامل Chock Line و Diverter Line می‌گردد.

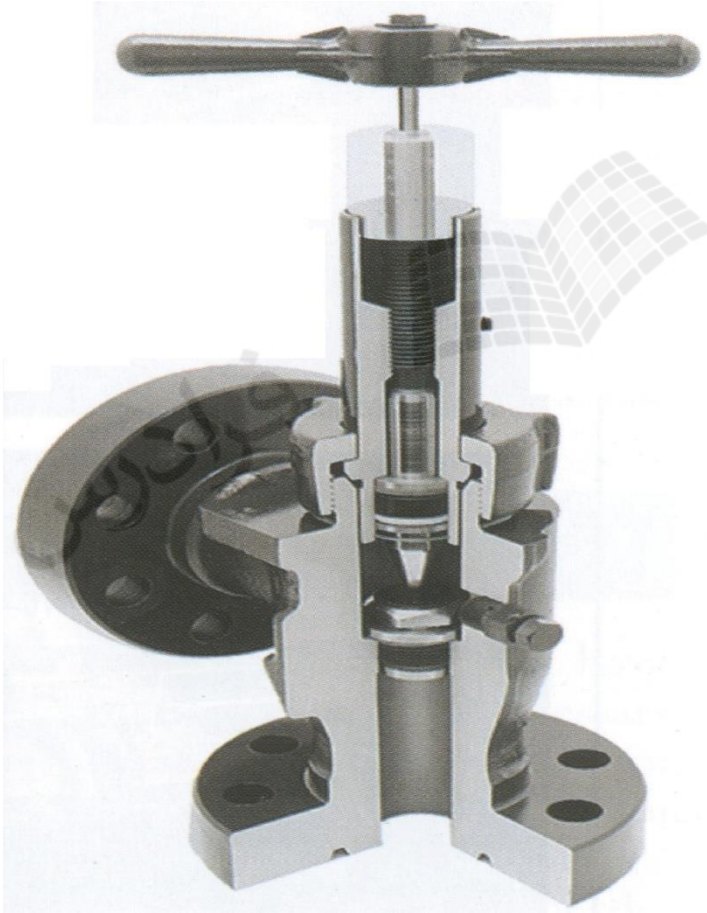
چوک
CHOKE



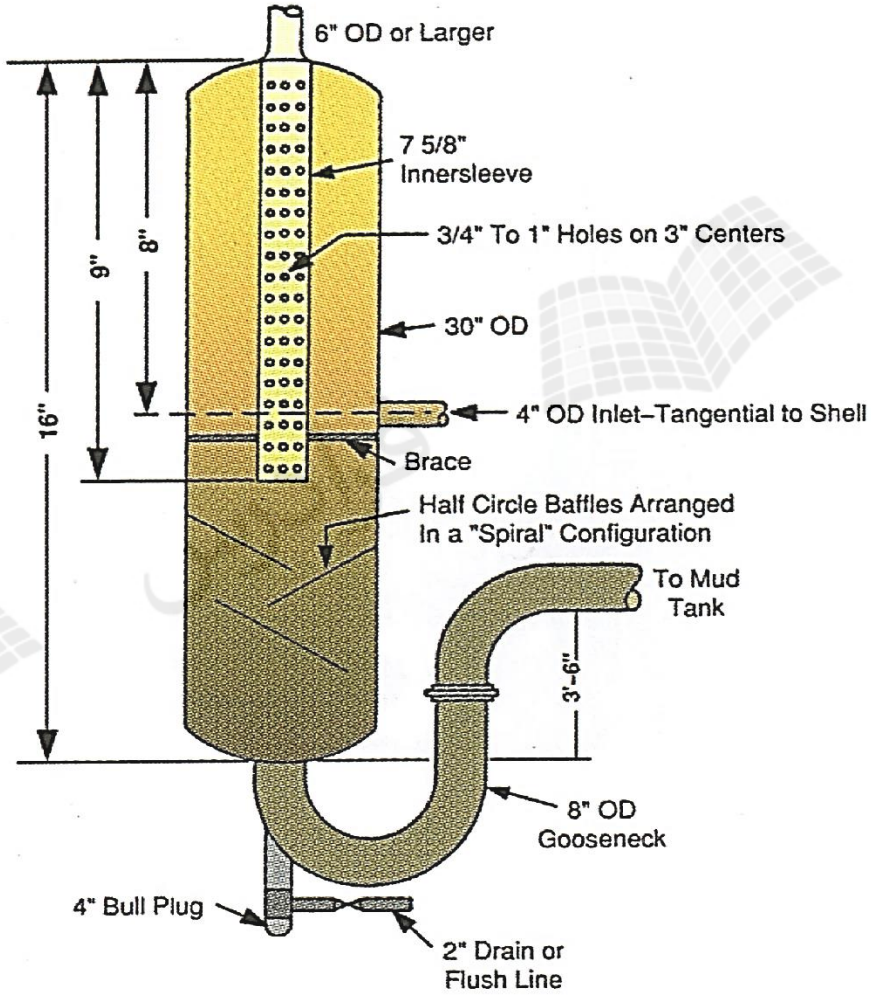
- در صورت رخ دادن Kick جریان از Adjustable Choke صورت می‌گیرد.

فشار کافی در گردش مدار بسته گل برای مقابله با Kick توسط چوک اعمال می‌گردد.

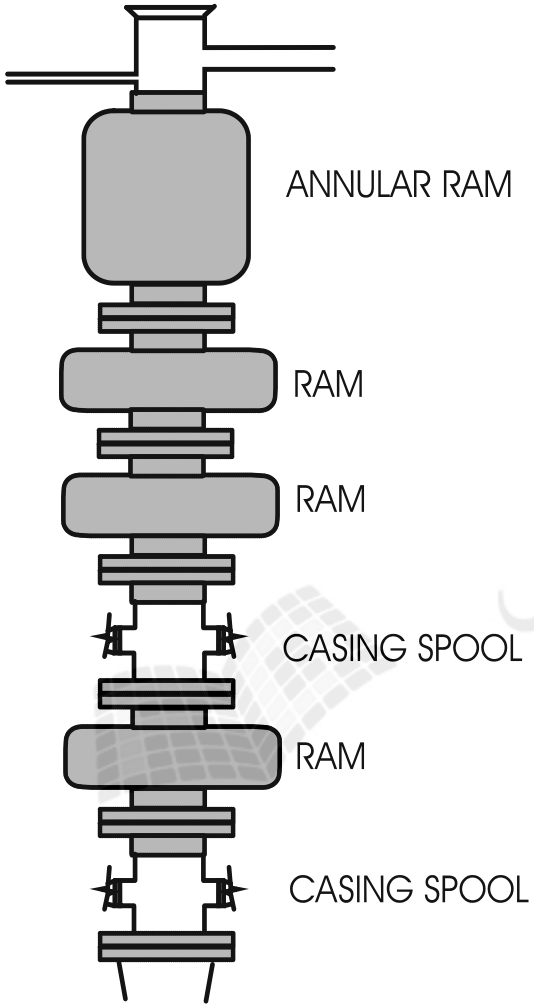
چوک
(CHOKE)

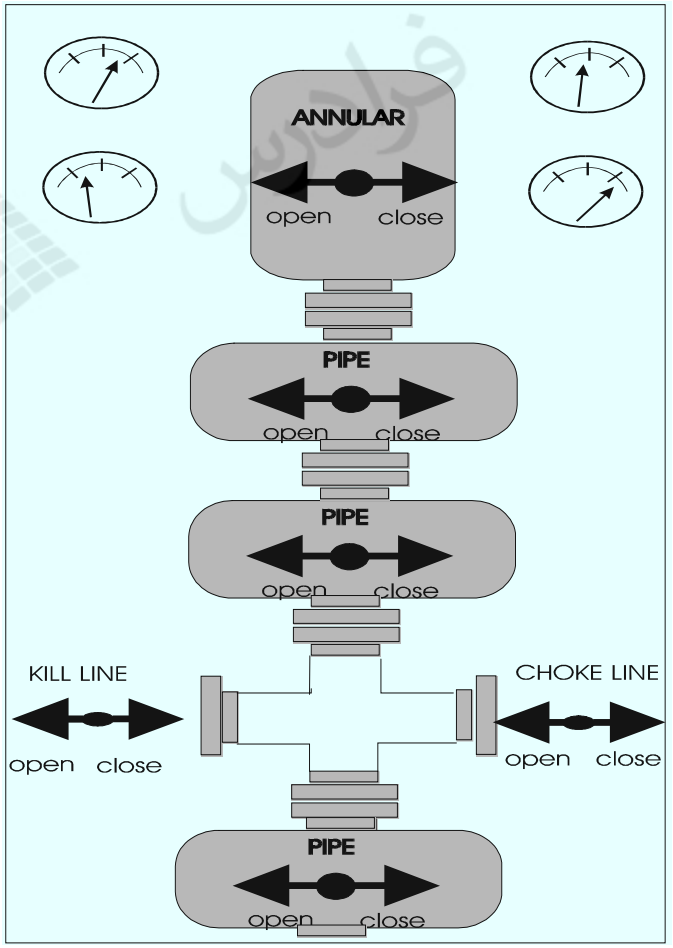


جداکننده گاز از گل
(MUD GAS SEPARATOR)



کنترل پنل
(THE CONTROL PANEL)





SRSRRA

Spool

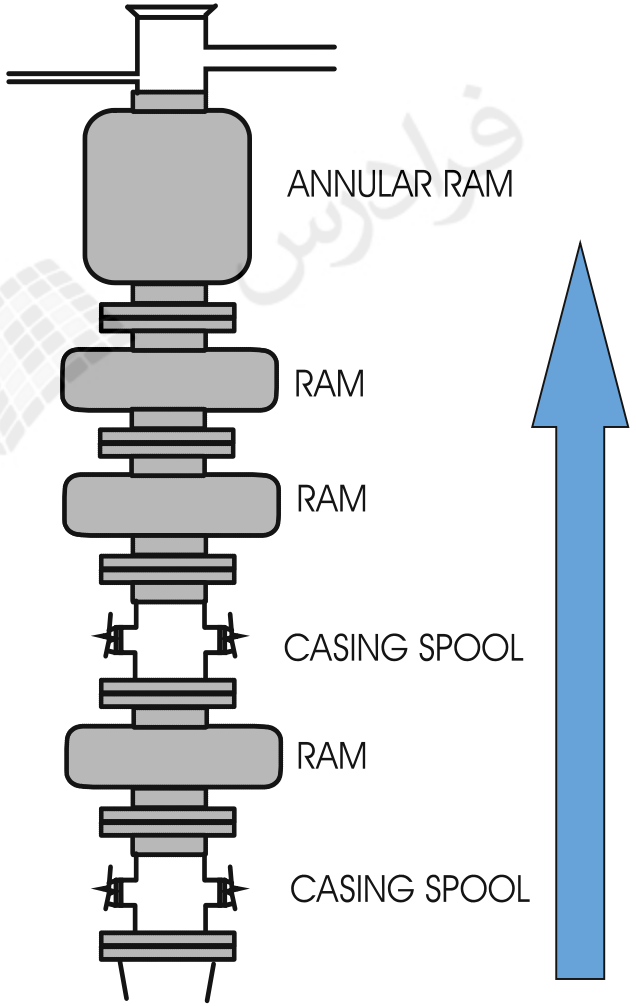
Ram preventer

Spool

Ram preventer

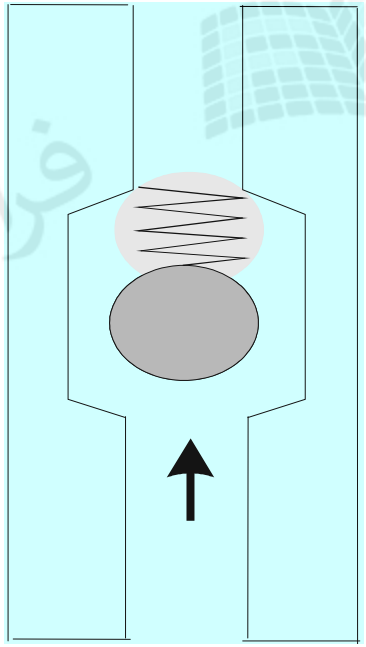
Ram preventer

Annular preventer



KELLY COCK

- از عبور جریان از داخل رشته مته در هنگام اتصال لوله به کلی جلوگیری می‌کند.



بهره‌برداری

تقسیم‌بندی کارهای مهندسی بهره‌برداری به قرار زیر است

وظایف مربوط به چاه		
Drill stem test	Check and remove obstruction	Inhibition
Bring in	Acidizing & fracturing	(Well head facilities)
Cleaning up	Injectivity test	
Perforation	Well Killing	
Bottom hole & surface pressure survey	Bottom hole and surface sampling	
Logging	Caliper survey	
plug setting	Well Testing	

<table>
<tr><th colspan="3">وظایف مربوط به انجام کارهای محوله در واحد بهره‌برداری و در مسیر جریان نفت و یا گاز از چاه</th></tr>
<tr><td>Production facilities</td><td colspan="2">وظایف فنی‌که مربوط به طراحی وسایل و انجام محاسبات لازم روی
داده‌های جمع‌آوری‌شده از چاه از واحد بهره‌برداری است</td></tr>
<tr><td>Separator capacity</td><td>Oil and Gas Measurement</td><td>(Well head facilities)</td></tr>
<tr><td>Capacity & GOR test</td><td>Orifice Size Calculations</td><td rowspan="5">Pressure Build up and Draw Down Analysis, Design of Production Units and Manifolds, Selection & Design of all Valves and…</td></tr>
<tr><td>De – bottlenecking</td><td>Well Killing</td></tr>
<tr><td>Pump and Prim Mover Performance</td><td>Acid Stimulation and fracture job design</td></tr>
<tr><td>Desalting Plants</td><td>One and Two Phase Flow Calculations</td></tr>
<tr><td>plug setting</td><td>Process and Mechanical Design of Pipes</td></tr>
</table>

تسهیلات موجود در سرچاه
Well Head Facilities

پس از حفاری و تکمیل چاه به منظور کنترل آن و همچنین در جهت بهره‌برداری از چاه نسبت به موقعیت و احتیاجات پیش‌بینی شده آن، وسایلی بر روی چاه تعبیه می‌گردند. قسمتی از این وسایل مستقیما بر روی خود چاه و بخشی از آن در مجاورت چاه و در اتصال با قسمت اول کار گذاشته می‌شوند.

مجموعه وسایلی که مستقیما بر روی خود چاه تعبیه می‌شوند به نام تاج چاه X- Mass Tree معروف است که مدل‌های مختلفی نیز دارد.

وسایل موجود بر روی تاج چاه از سطح زمین به بالا به‌ترتیب به قرار زیر تعبیه گردیده‌اند:

۱- سرلوله (فلنج) زیرین Base Flange

۲- شیرهای جانبی بر روی جدارهای مختلف چاه Side Valves

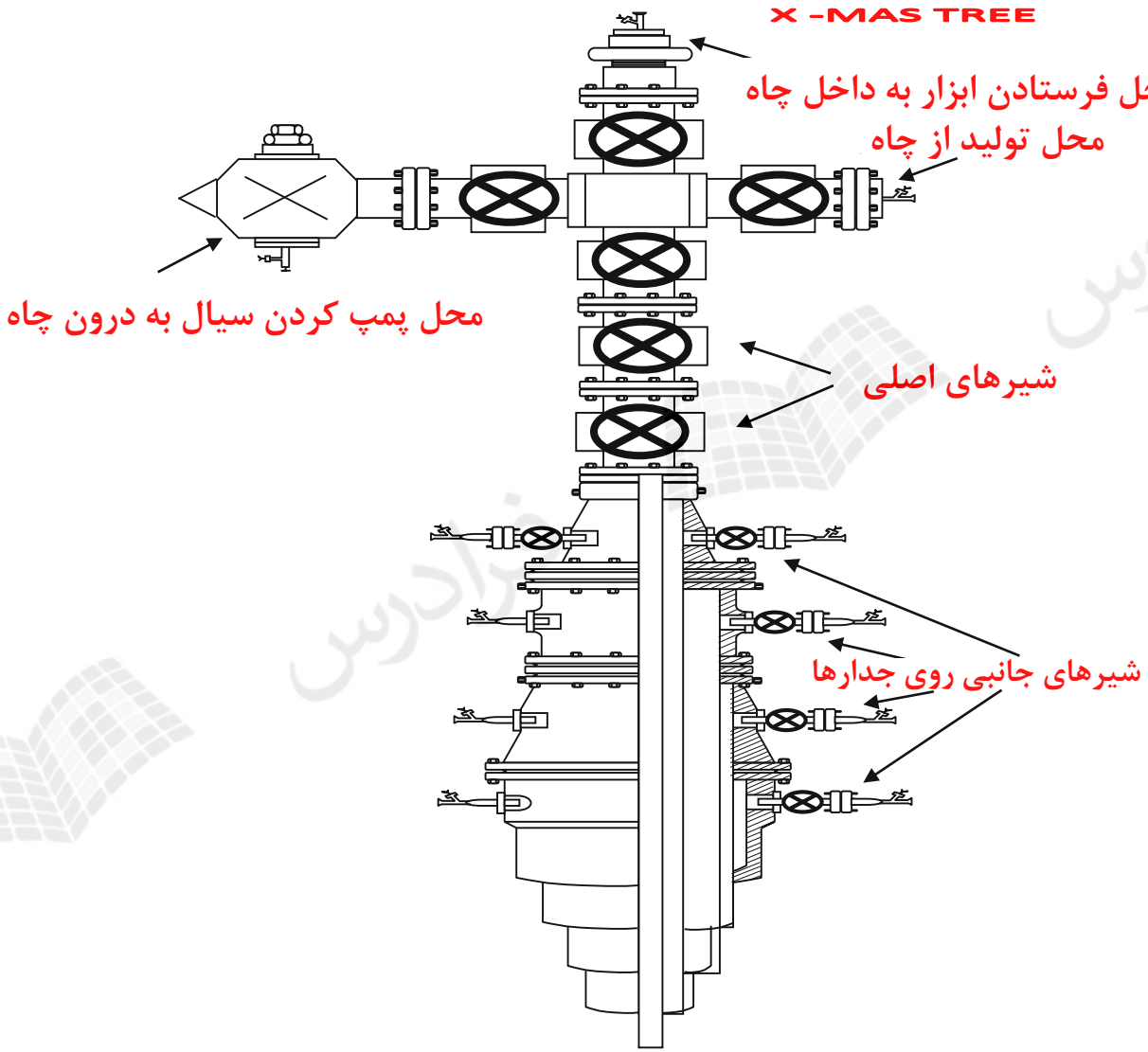
۳- شیر اصلی زیرین Bottom Main Valve

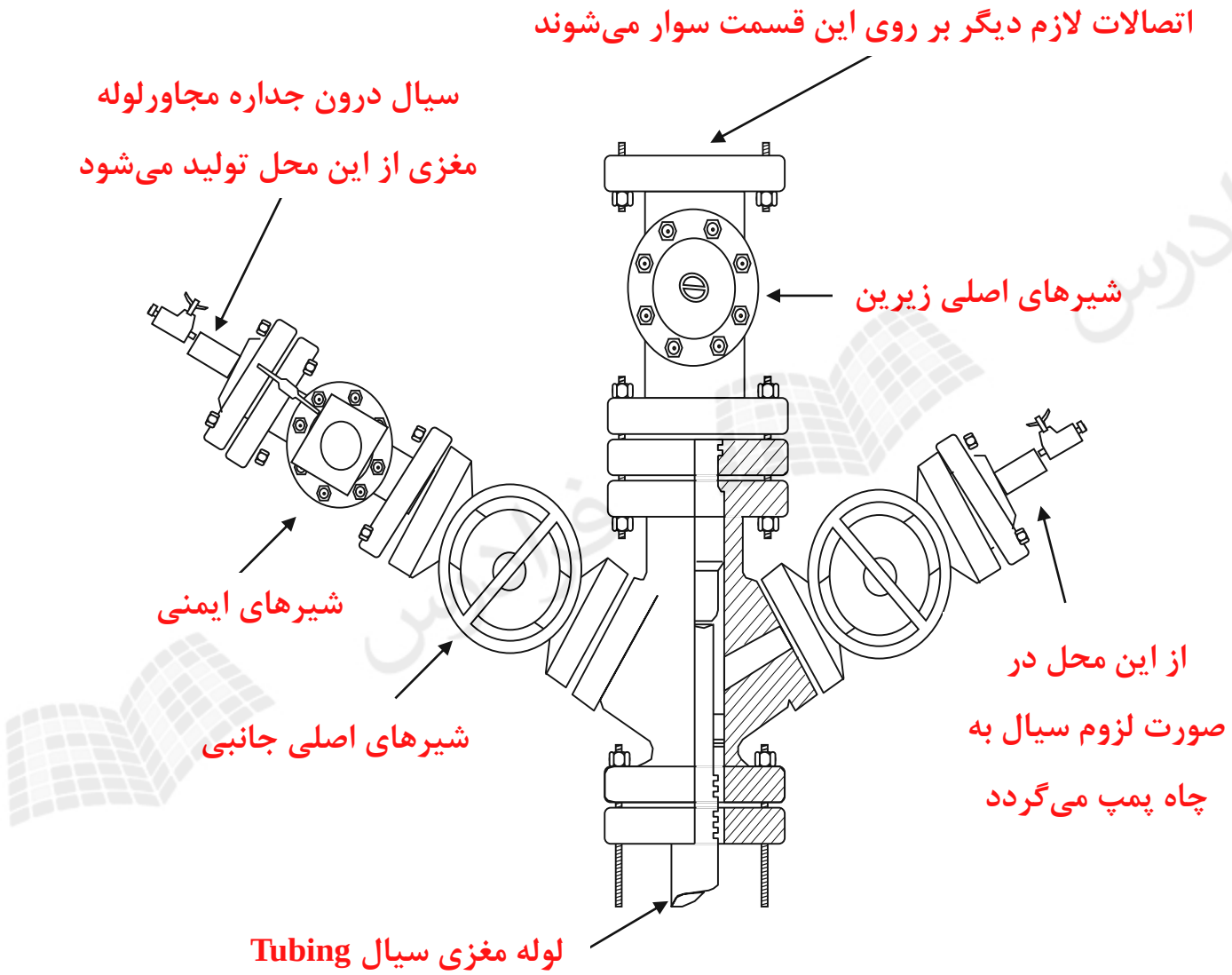
۴- شیر اصلی فوقانی Top Main Valve

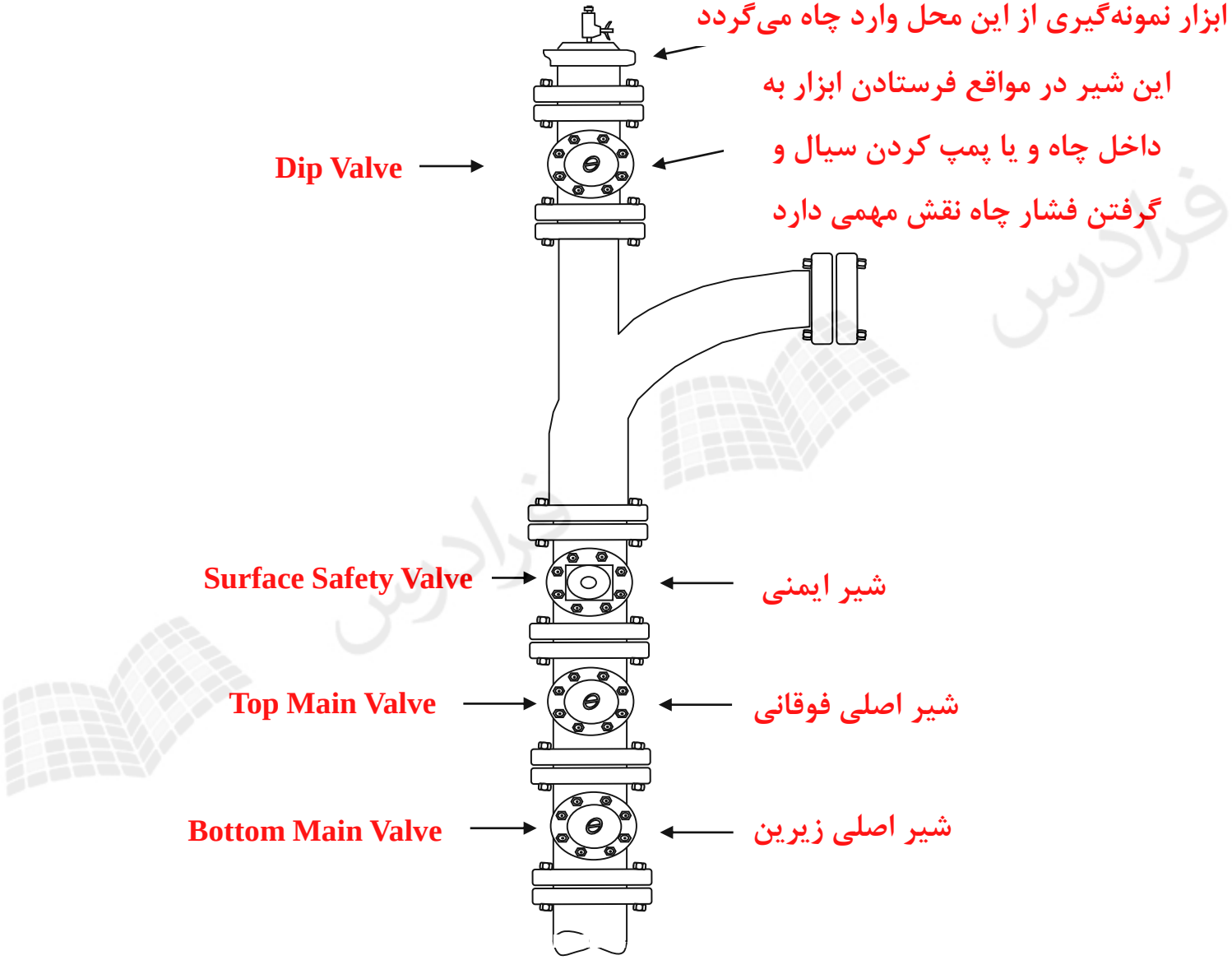
۵- شیر ایمنی سرچاه Surface Safety Valve

۶- قسمت منحنی

۷- شیر فوقانی سرچاه Dip Valve

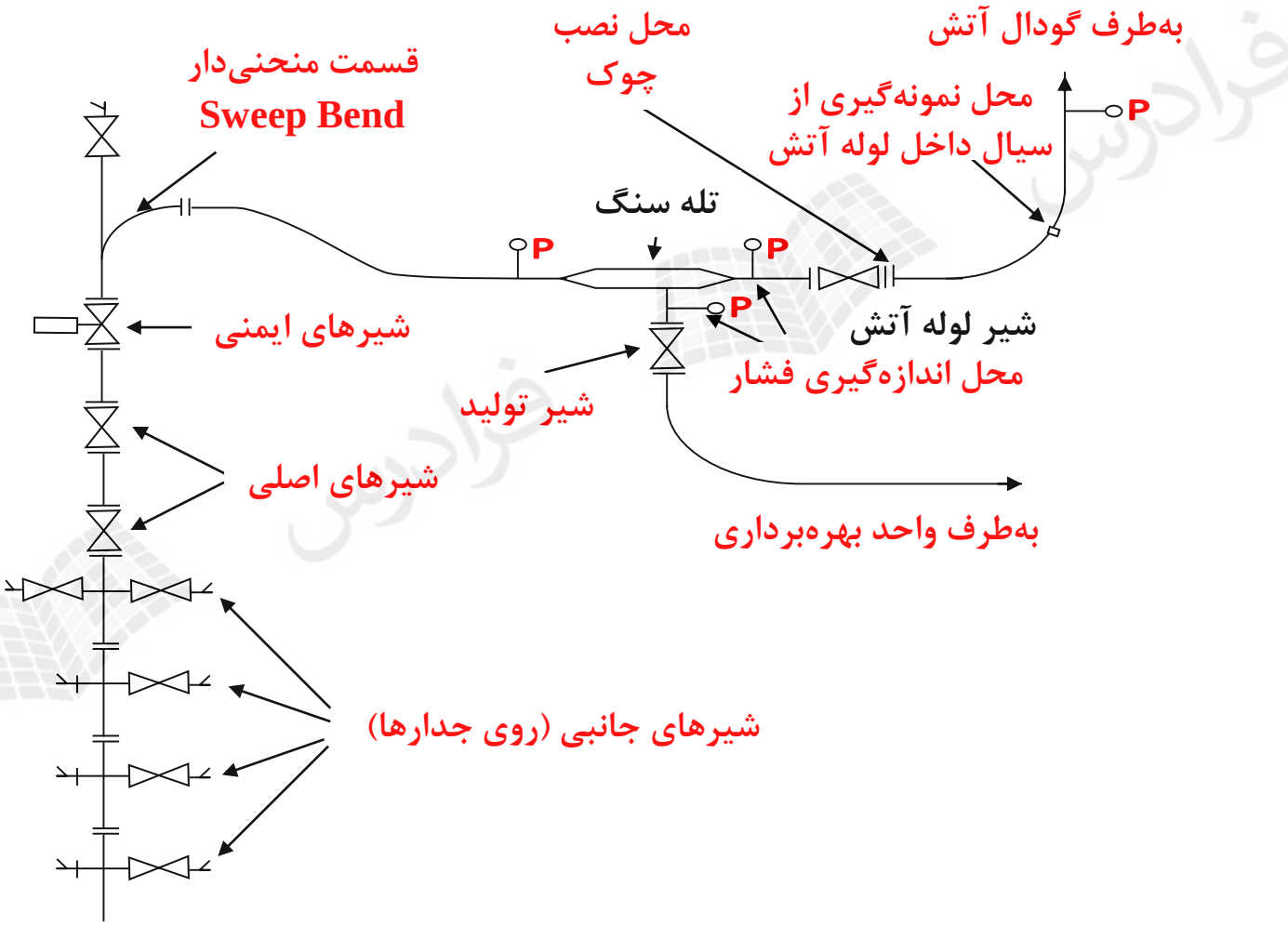

X -MAS TREE
محل فرستادن ابزار به داخل چاه
محل تولید از چاه
محل پمپ کردن سیال به درون چاه
شیرهای اصلی
شیرهای جانبی روی جدارها


اتصالات لازم دیگر بر روی این قسمت سوار می‌شوند
سیال درون جداره مجاورلوله
مغزی از این محل تولید می‌شود
شیرهای اصلی زیرین
شیرهای ایمنی
شیرهای اصلی جانبی
از این محل در
صورت لزوم سیال به
چاه پمپ می‌گردد
لوله مغزی سیال Tubing


ابزار نمونه‌گیری از این محل وارد چاه می‌گردد
این شیر در مواقع فرستادن ابزار به
داخل چاه و یا پمپ کردن سیال و
گرفتن فشار چاه نقش مهمی دارد
Dip Valve
Surface Safety Valve
شیر ایمنی
Top Main Valve
شیر اصلی فوقانی
Bottom Main Valve
شیر اصلی زیرین

تمامی وسایل مذکور در بالا مانند درختی در داخل محفظه‌ای به نام (Cellar) که در حقیقت مبدا حفاری چاه بوده است قرار دارند. طول و عرض این محفظه تقریبا ۲×۳ متراست و ارتفاع‌آن بستگی به بلندی‌تاج چاه دارد.

وسایل دیگر موجود در سرچاه و در رابطه با تولید از چاه



پالایش و پتروشیمی



پالایش گاز

گاز طبیعی مخلوطی از هیدروکربن‌هاست که هر روزه مقادیر بسیار زیادی از آن برای استحصال انرژی و یا تولید ترکیبات شیمیایی و پتروشیمی مصرف می‌شود. گاز خروجی از دل زمین عموما ناخالصی‌هایی را به همراه دارد که قبل از مصرف این ناخالصی‌ها باید جدا شوند عمده‌ترین ناخالصی‌های موجود، سولفید هیدروژن و آب است.

پالایش گاز

مقدار ناخالصی‌ها بستگی به منابع تولید دارد ولی به هر ترتیب حذف این ناخالصی‌ها قبل از مصرف ضروری است. وجود سولفید هیدروژن باعث تولید گازهای سمی در اثر احتراق و وجود آب نیز سبب تولید هیدرات و بروز مشکل برای خطوط لوله انتقال می‌گردد. به منظور حذف ناخالصی‌ها و همچنین تفکیک هیدروکربن‌های موجود در گاز، واحدهایی به نام پالایشگاه گاز و یا NGL ساخته می‌شوند.

پالایش گاز

پالایشگاه‌های گاز و NGLها فرایندهای مشابهی دارند و هر دو وظیفه حذف ترکیبات مضر و تفکیک هیدروکربن‌ها را بر عهده دارند. تفاوت پالایشگاه‌های گاز و NGLها در ایران، در مقصد مصرف محصولات است محصول اصلی پالایشگاه‌های گاز، گاز سوختنی است که در اختیار مصرف عموم قرار داده می‌شود حال آنکه، NGLها غالب تولید خود را که ترکیبات سنگین‌تر از اتان می‌باشد به صنعت پتروشیمی به‌عنوان یکی از خوراک‌های اصلی آن عرضه می‌کنند.

پالایشگاه گاز و NGLها معمولا دارای واحدهای زیر می‌باشند:

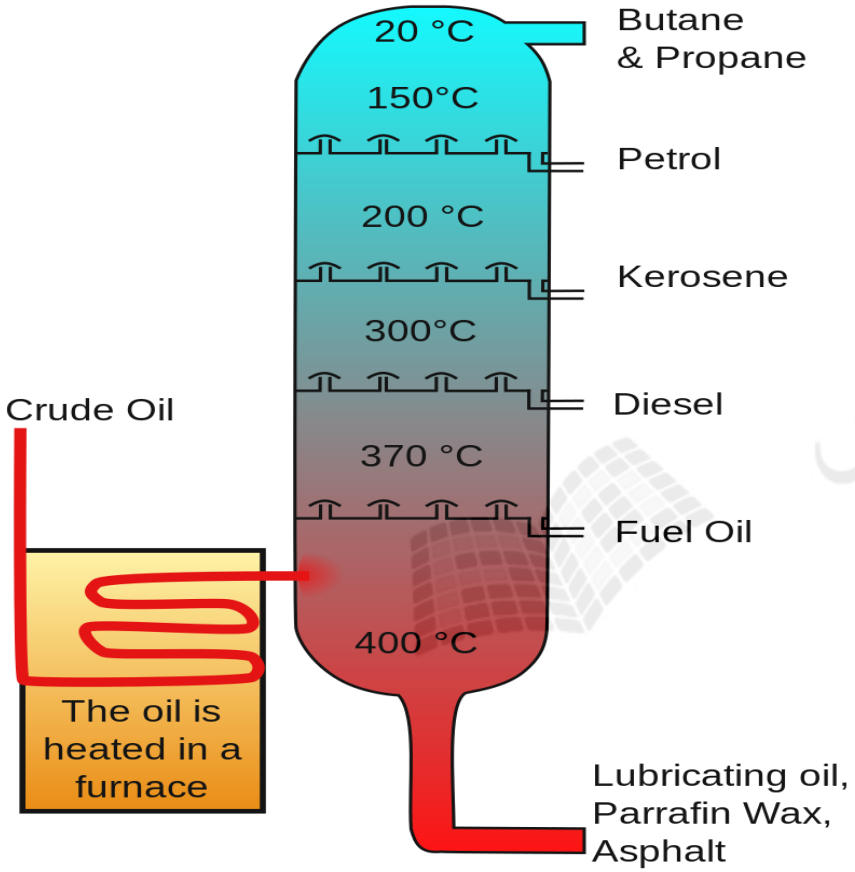
- واحد جداسازی ورودی
- واحدهای شیرین‌سازی
- واحد مرکاپتان زدایی
- واحد نم‌زدایی یا واحد تنظیم نقطه شبنم
- واحد تثبیت میعانات گازی
- واحد بازیابی گوگرد
- واحدهای یوتیلیتی

پالایش نفت خام

در فرایند پالایش نفت خام محصولات گوناگونی تهیه می‌شود که از آن میان می‌توان به LPG، بنزین، نفت سفید، سوخت جت، گازوئیل، برش‌های روغن، نفت کوره و غیره اشاره نمود. این مواد بر اساس تفاوت نقطه جوش در فرایند تقطیر از هم جدا می‌شوند.

یک پالایشگاه نفت شامل واحدهای پروسس مختلفی است که می‌توان به واحدهای مهم زیر اشاره کرد:

- واحد تقطیر اتمسفریک
- واحدهای تقطیر خلا



یک پالایشگاه نفت شامل واحدهای پروسس مختلفی است که می‌توان به واحدهای مهم زیر اشاره کرد:

- واحد LPG
- واحد تولید هیدروژن
- واحد روغن‌سازی
- واحد تهیه آسفالت
- واحدهای یوتیلیتی

فرادرس

یک پالایشگاه نفت شامل واحدهای پروسس مختلفی است که می‌توان به واحدهای مهم زیر اشاره کرد:

- واحد کراکینگ حرارتی
- واحد کراکینگ کاتالیزوری
- واحد آیزوماکس
- واحد یونیفاینر و پلاتفرمر
- واحد FCC
- واحد ایزومری
- واحدهای ریفرمینگ و آلکیلاسیون

صنایع پتروشیمی

تاریخچه پیدایش صنعت نوین پتروشیمی به سال ۱۸۷۲ میلادی باز می‌گردد، زمانی که اولین واحد تولیدی دوده از احتراق ناقص گاز طبیعی راه‌اندازی شد. بعدها با شروع جنگ‌های جهانی صنعت پتروشیمی بسیار قوی‌تر ظاهر شد و انواع محصولات مختلف را تهیه می‌کرد صنعت پتروشیمی در ایران قدمتی طولانی دارد نخستین واحد پتروشیمی در ایران در سال ۱۳۴۲ در شیراز ساخته شد که به هدف تولید کود شیمیایی بود.

صنایع پتروشیمی

تا سال ۱۳۵۶ واحدهای پتروشیمی رازی، آبادان، خارک، فارابی، بندرامام، طرح توسعه پتروشیمی شیراز و کربن اهواز به بهره‌برداری رسیدند سال‌های ۵۷ تا ۶۸ هم‌زمان با وقوع جنگ تحمیلی، توسعه صنعت پتروشیمی به حداقل رسید از سال ۶۸ تا ۷۸ که آن را دوران بازسازی صنعت پتروشیمی می‌نامند، مجتمع‌هایی چون اصفهان، اراک، خراسان، ارومیه و تبریز احداث و پتروشیمی بندرامام کامل‌تر شد و با پایان یافتن این دوره ظرفیت تولید محصولات پتروشیمی کشور به ۱۲ میلیون تن رسید. دوره چهارم پیشرفت این صنعت که دوران تثبیت و جهش نام گرفته؛ از سال ۱۳۷۸ آغاز شده و تا امروز ادامه دارد در این دوران صنعت پتروشیمی به‌سمت قرار گرفتن در جایگاهی جهانی حرکت کرده و سعی در پیشی گرفتن از رقبای خود دارد.

خوراک پتروشیمی

مجتمع‌های پتروشیمی همانند تمام کارخانه‌ها برای انجام فرایندهای خود نیازمند مواد اولیه هستند سه نوع خوراک اصلی این واحد شامل نفتاء و NGL و گاز طبیعی (متان) می‌باشد.

فرادرس

محصولات پتروشیمی

محصولات عمده‌ای که توسط واحدهای صنایع پتروشیمی ایران تولید می‌شوند عمدتا عبارتند از کودهای شیمیایی، اوره، فسفات دی آمونیم، کودهای مخلوط نیترات آمونیم، مواد اولیه پلاستیک، پی - وی - سی و مواد شیمیایی نظیر اسید سولفوریک، اسید کلریدریک، آمونیاک، گوگرد و ده‌ها ماده با ارزش دیگر.

فرادرس

صنایع پتروشیمی

صنایع پتروشیمی بسیار گسترده بوده و محصولات پتروشیمی در زندگی بشر به فراوانی یافت می‌شود. برای آنکه بتوان ارتباط واحدهای مختلف را به ذهن سپرد، می‌توان بیشتر آن‌ها را در سه گروه دسته‌بندی نمود. هر گروه دارای یک واحد سرگروه می‌باشد که مشخصه این سرگروه تامین خوراک اصلی آن است که یا گاز متان و یا برشی از پالایشگاه نفت یا گاز می‌باشد.

گروه اول واحدهای الفینی یا پلیمری هستند که سر گروه این واحدها، واحد الفین است و خوراک آن NGL یا ترکیبات سبک‌تر نفتا می‌باشد. محصولات اصلی این واحد که شاخه دیگر واحدهای پتروشیمی از آن‌ها به‌عنوان خوراک استفاده می‌کنند، شامل اتیلن، پروپیلن و برش الفین‌های سنگین‌تر از بوتیلن می‌باشد.

صنایع پتروشیمی

گروه دوم واحدهای آروماتیکی هستند که سر گروه آن‌ها واحد آروماتیک است و خوراک آن ترکیبات سنگین تر نفتا و یا NGL می‌باشد در پتروشیمی‌هایی که دارای هر دو گروه می‌باشند مانند پتروشیمی بندرامام، واحدی به نام NF وجود دارد تا ترکیبات سبک خوراک NGL را جدا نموده و به واحد الفین بفرستد و ترکیبات سنگین آن را برای واحد آروماتیک ارسال نماید محصولات اصلی این واحد که شاخه دیگر واحدهای پتروشیمی از آن‌ها به‌عنوان خوراک استفاده می‌کنند زایلن‌ها، تولوئن و بنزن می‌باشد.

صنایع پتروشیمی

گروه سوم آن دسته از واحدهایی هستند که خوراک اصلی آن‌ها گاز متان می‌باشد و با دارا بودن واحد تولید گاز سنتز محصولاتی مانند آمونیاک، متانول و منواکسید کربن تولید می‌نمایند، که خود این محصولات به‌عنوان خوراک شاخه‌های از واحدهای پتروشیمی محسوب می‌گردند. این سه نوع واحدها که به‌عنوان سرگروه شاخه‌های اصلی صنایع پتروشیمی می‌باشند، بعضا صنایع بالادستی و یا مادر پتروشیمی شناخته می‌شوند و دیگر واحدهایی که زیر گروه آن‌ها هستند به صنایع میانی یا حد واسط شناخته می‌شود.

واحدهای پتروشیمی

واحد NF
واحد OL
واحد AR
واحد PX
واحد CA
واحد EDC
واحد VCM
واحد PVC

واحد MTBE
واحد LDPE
واحد HDPE
واحد PP
واحد SBR
واحد آمونیاک
واحد اوره
واحد پلی استایرن

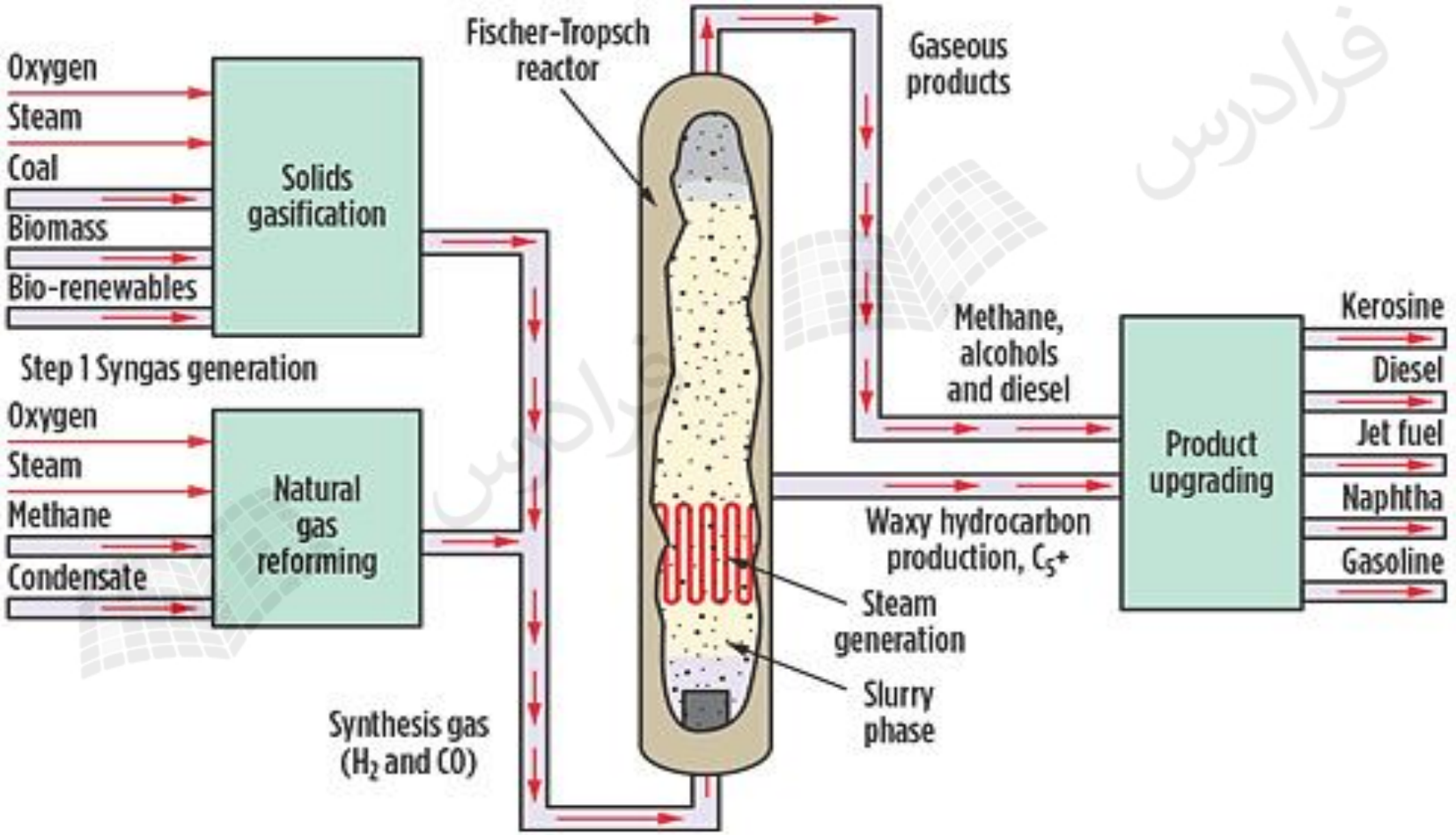
واحد ABS
واحد متانول
واحد UT

فرادرس

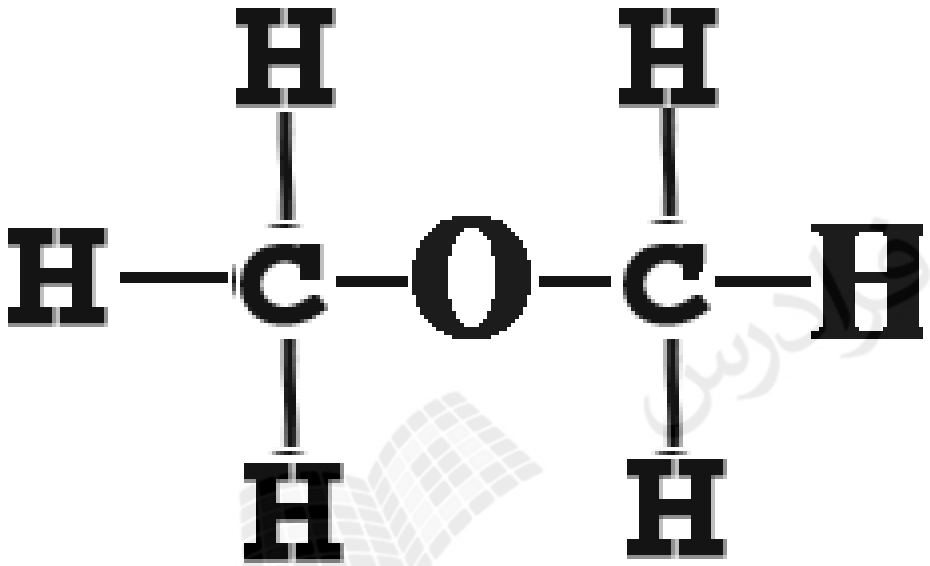
واحدهای تبدیلات گازی

با گذشت زمان و کاسته شدن از منابع نفتی دنیا، متخصصان تلاش نمودند تا محصولاتی که تاکنون تنها از طریق برش‌های نفتی به آن دست پیدا می‌کردند را از گاز طبیعی و ترجیحا گاز متان به دست آورند. در این راستا موفق شدند تا سه نوع فرایند را که منجر به تولید ۳ نوع محصول می‌شوند را تجاری نمایند. این سه محصول شامل بنزین به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین محصولات نفتی، DME که سوختی شبیه به گازوئیل است و الفین‌ها که یکی از سر گروه‌های اصلی محصولات پتروشیمی می‌باشند. در ادامه به معرفی و بررسی اجمالی این تکنولوژی‌ها می‌پردازیم.

GTL

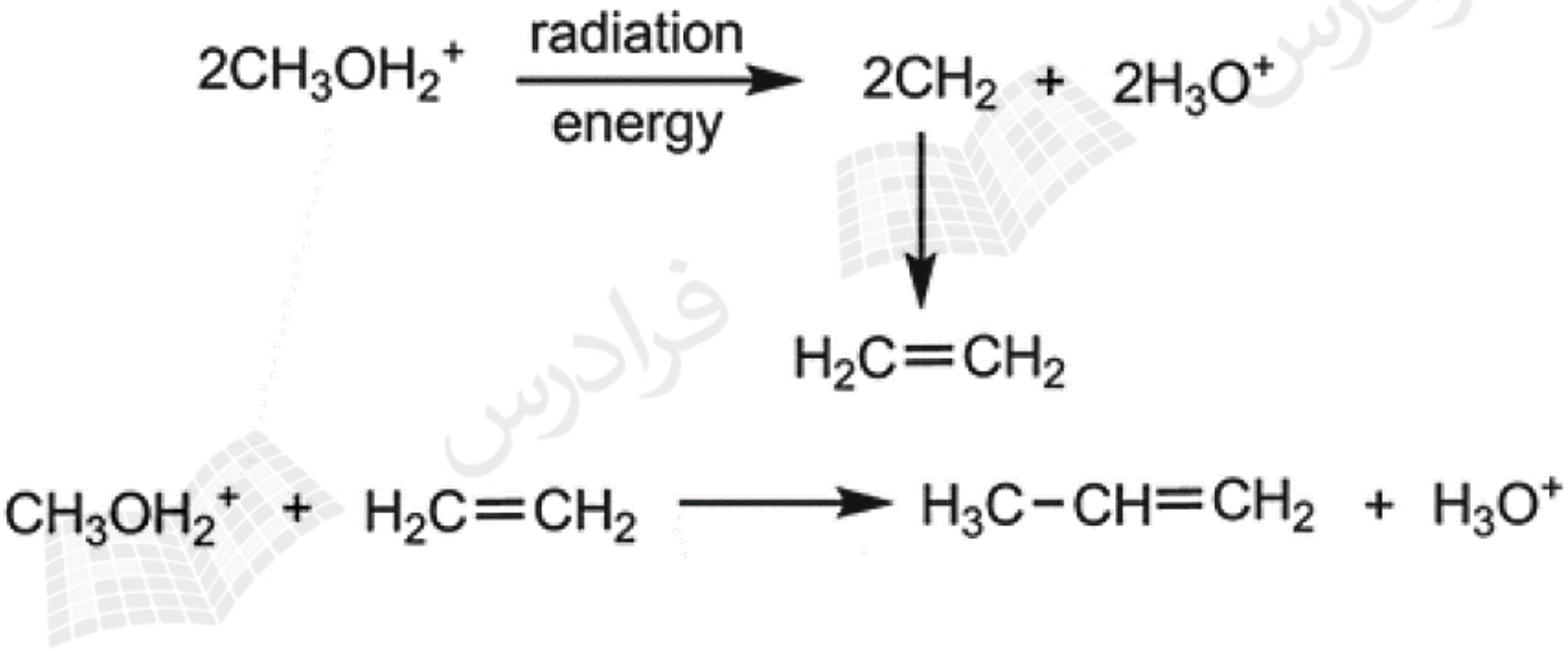

Oxygen
Steam
Coal
Biomass
Bio-renewables
Solids gasification
Step 1 Syngas generation
Oxygen
Steam
Methane
Condensate
Natural gas reforming
Synthesis gas (H_2 and CO)
Fischer-Tropsch reactor
Gaseous products
Methane, alcohols and diesel
Waxy hydrocarbon production, C_5+
Steam generation
Slurry phase
Product upgrading
Kerosine
Diesel
Jet fuel
Naphtha
Gasoline

DME

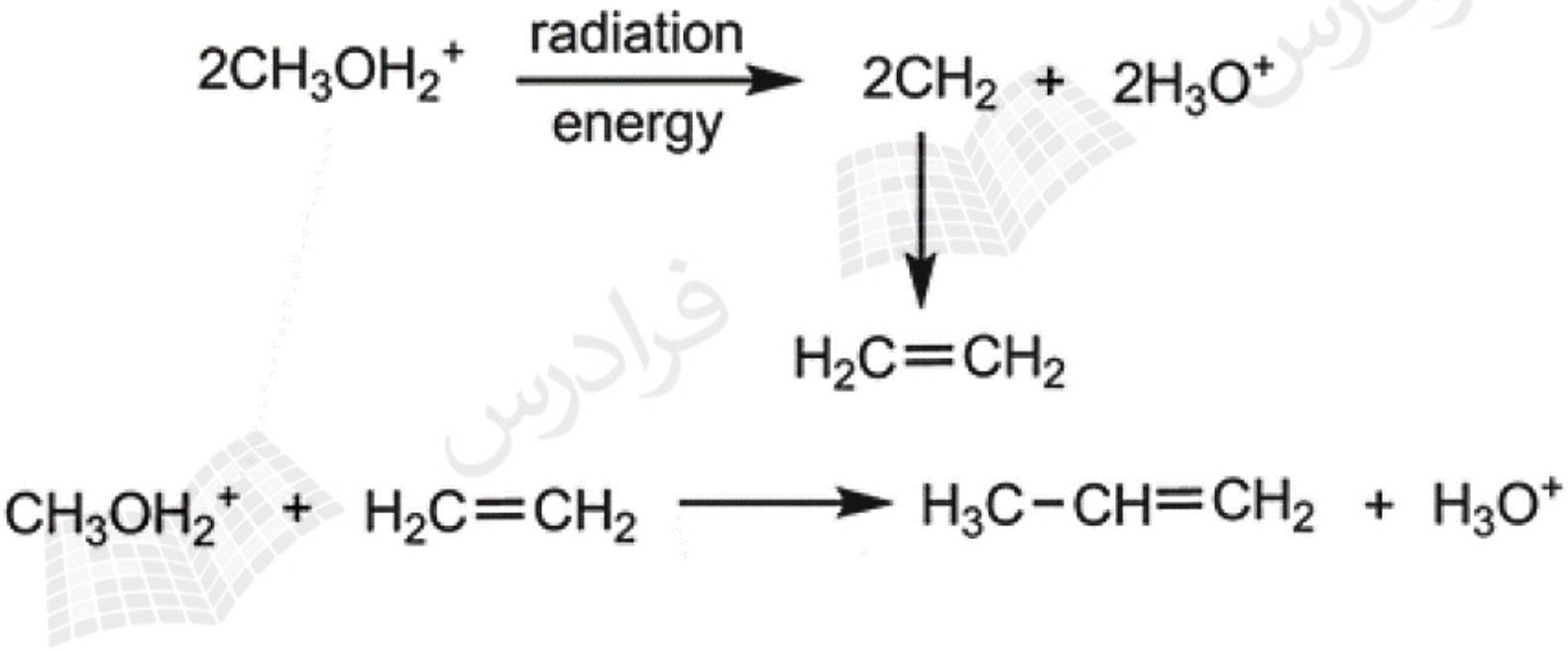




MTO


2CH3OH2+
radiation
energy
2CH2 + 2H3O+
H2C=CH2
CH3OH2+ + H2C=CH2
H3C-CH=CH2 + H3O+

MTO


2CH3OH2+
radiation
energy
2CH2 + 2H3O+
H2C=CH2
CH3OH2+ + H2C=CH2
H3C-CH=CH2 + H3O+

این اسلایدها بر مبنای نکات مطرح شده در فرادرس

«آموزش مبانی فرایندهای صنعت نفت و گاز»

تهیه شده است.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد این آموزش به لینک زیر مراجعه نمایید.

faradars.org/fvptr102