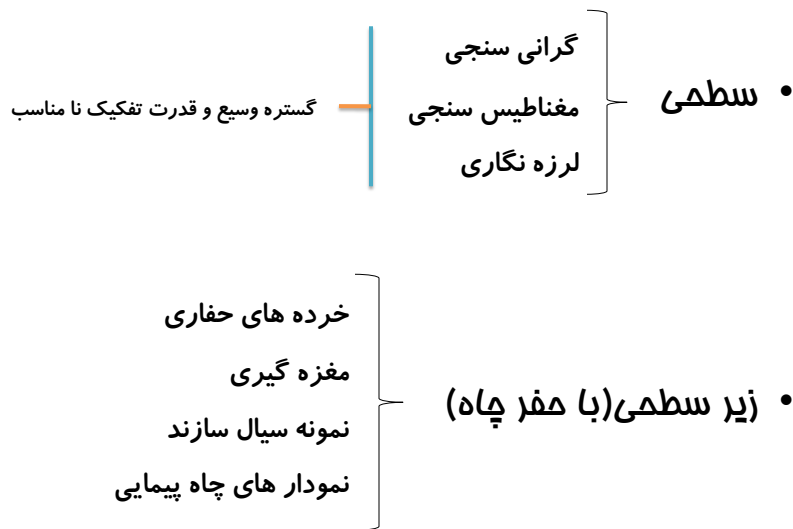


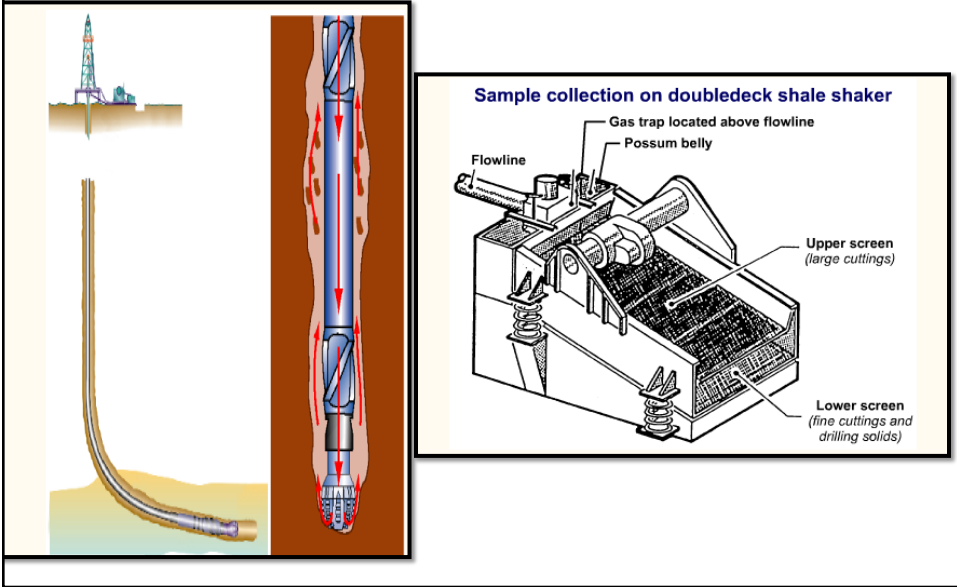
چاه نگاری

(Well logging)

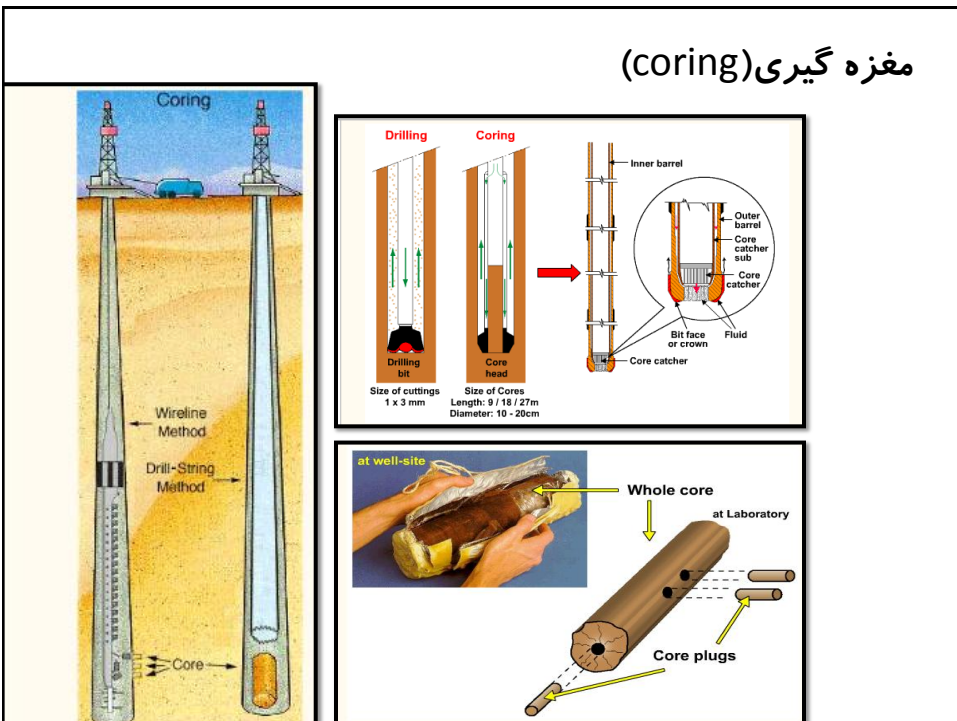
ارزیابی سازند ها و اکتشاف منابع هیدروکربنی



خرده های حفاری (mud logging)

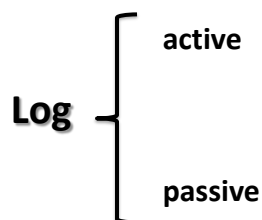


مغزه گیری (coring)



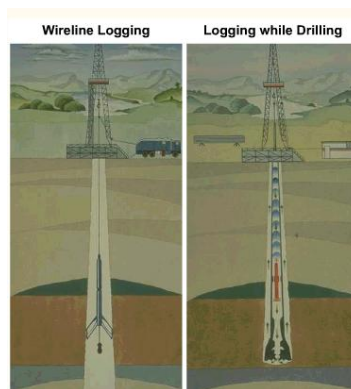
چاه پیمایی (Well logging)

- اندازه گیری یک یا چند ویژگی فیزیکی بر حسب عمق در سازند هایی که چاه از آن عبور می کند.



ابزار های نمودار گیری از نظر عملکرد به دو گروه تقسیم می شوند:

1. wire line logging tools
2. Logging while drilling tools



نمودار گیری در دو محیط انجام میشود:

1. Open hole logging
2. Cased hole logging

تفسیر داده های چاه پیمایی

- مواد تشکیل دهنده سنگها یعنی نوع کانیهای اصلی و درصد آنها
- نوع و درصد سیالی که توسط سنگها نگهداری می شوند. (تخلخل و درجه اشباع)

ماتریکس یا خمیره (دانه های اصلی و سیمان)

قسمت جامد تشکیل دهنده سنگها

رس یا شیل

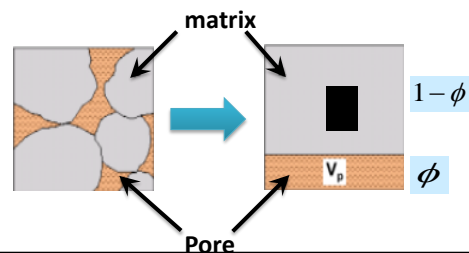
سیالات }
آب
گاز
نفت

به جز آب بقیه دارای یک خاصیت فیزیکی مشترک با اغلب کانیهای خمیره هستند که همانا رسانایی الکتریکی ضعیف آنهاست.

✓ تخلخل (porosity)

۱. تخلخل کلی ϕ_t (total porosity or absolute porosity)

$$\phi_t = \frac{v_t - v_s}{v_t} = \frac{v_p}{v_t}$$



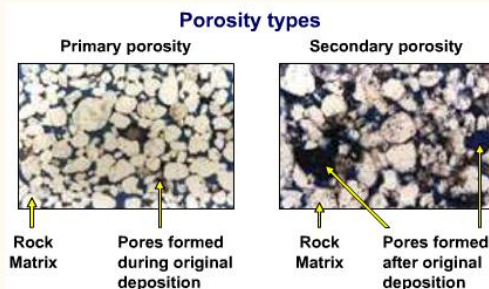
عوامل موثر بر تخلخل

- ❖ نحوه قرار گرفتن دانه ها
- ❖ اثر ابعاد و جورشدگی دانه ها
- ❖ اثر سیمان شدگی
- ❖ اثر گردشدگی دانه ها
- ❖ اثر انحلال ذرات
- ❖ تنشهای تکتونیکی

تخلخل اولیه و ثانویه

تخلخل اولیه : حجمی از فضاهای خالی که در حین تشکیل سنگ، بین دانه ها و یا بلورهای تشکیل دهنده سنگ به وجود می آید.
 تخلخل ثانویه : در اثر حل بعضی از مواد جامد و نیز پیدایش شکافها و شکستگیهای ناشی از فشارهای میکانیکی و پدیده دولومیتی شدن حاصل می شود.

$$\phi_t = \phi_{primary} + \phi_{secondary}$$



interconnected porosity ϕ_{con} تخلخل ارتباطی یا پیوسته
درصدی از فضاهای خالی مرتبط به یکدیگر

$$\phi_{con} = \frac{V_{con}}{V_t}$$

ϕ_{pot} تخلخل پتانسیل
قسمتی از تخلخل ارتباطی که در آن قطر کانالهای مویینه در سنگ به اندازه ای است که امکان حرکت سیال در آن وجود دارد.

۲۰ میکرومتر برای نفت و ۵ میکرومتر برای گاز

رسها دارای تخلخل ارتباطی بسیار بالایی هستند اما.....

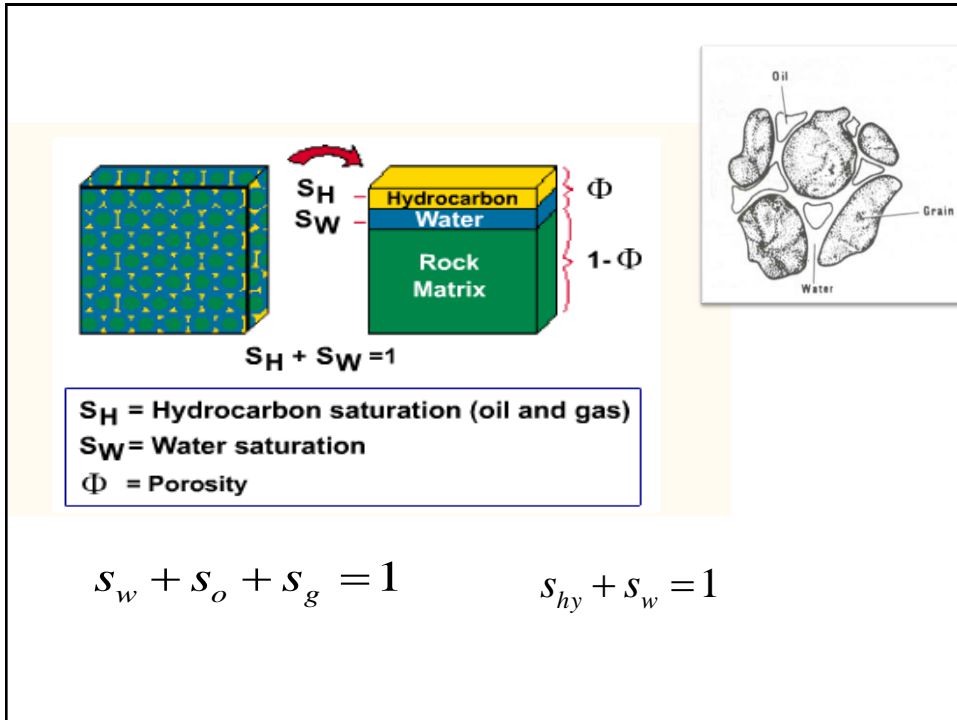
effective porosity ϕ_e تخلخل موثر

قسمتی از تخلخل است که سیالات آزاد به آن راه داشته باشند یا به عبارتی بخشی از فضاهای خالی که در آن امکان حرکت و دسترسی سیال وجود دارد (سیالات مخزن بتوانند از آن عبور کند).

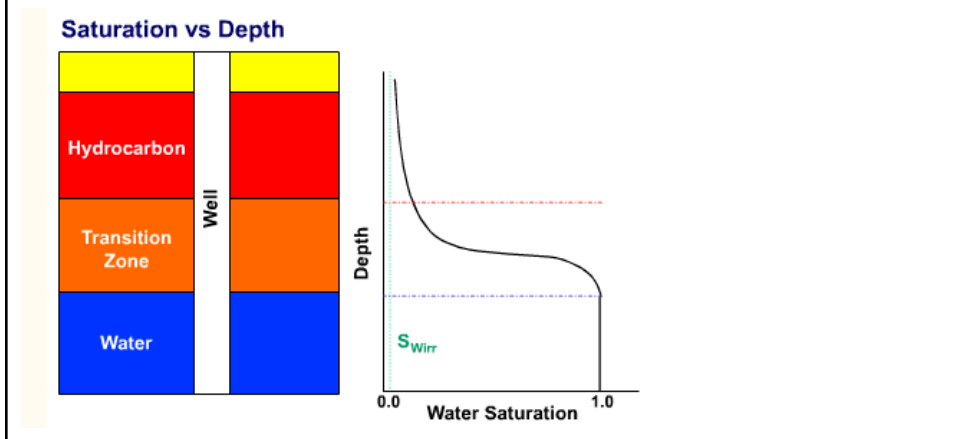
fluid saturation

❖ اشباع سیالات

$$s_w = \frac{V_w}{V_p} \quad s_o = \frac{V_o}{V_p} \quad s_g = \frac{V_g}{V_p}$$



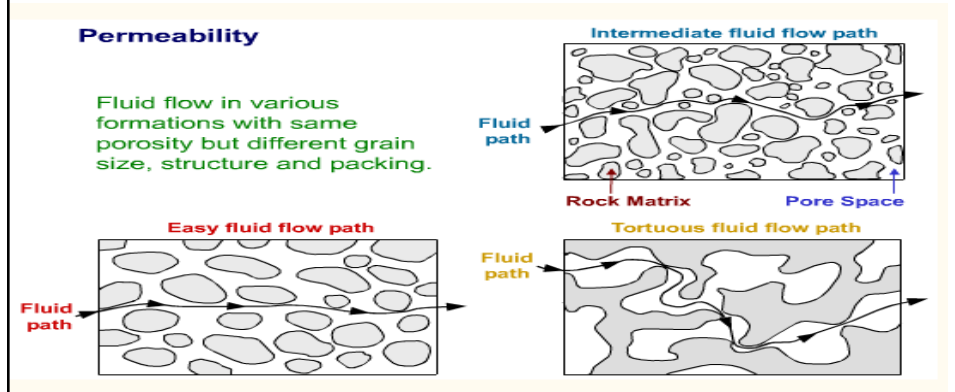
اشباع آب بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است اما همواره مقدار کمی آب در زونهای نفت دار وجود دارد. به این آب اشباع آب کاهش نیافتنی گفته می شود.



permeability

تراوایی

- خاصیتی از سنگ که عبور سیالات در آن سنگ را ممکن می سازد.
- این خاصیت به چگونگی ارتباط منافذ سازند مربوط بوده و به آن تراوایی یا قابلیت نفوذ پذیری اطلاق می گردد.

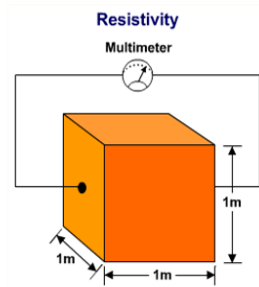


✓ **تراوایی مطلق:** به سنگی که از یک سیال به طور ۱۰۰٪ اشباع بوده و بتواند آن سیال را از خود عبور دهد گفته می شود.

✓ **تراوایی موثر:** هر گاه سنگی حاوی دو نوع سیال بوده و سنگ قادر باشد یکی از این سیالها را در مجاورت دیگری از خود عبور دهد، به آن تراوایی موثر گفته می شود (در صورتیکه این دو سیال در یکدیگر حل نگردند).

✓ **تراوایی نسبی:** نسبت بین تراوای موثر سیال با شرایط نیمه اشباع به تراوایی همان سیال در حالت ۱۰۰٪ اشباع (تراوایی مطلق) را تراوایی نسبی می نامند.

مقاومت ویژه و رسانایی conductivity and resistivity



مقاومت ویژه: سطح مقطع و طول واحد

$$\frac{\Omega m^2}{m} \quad \frac{\Omega}{m}$$

$$R = \frac{\rho A}{L}$$

رسانایی

$$C = \frac{1}{R}$$

$$C(\text{milimhos/m}) = 1000/R(\text{ohmm})$$

انواع رسانایی

electronic conductivity

✓ رسانایی الکترونی

electrolyte conductivity

✓ رسانایی الکترولیتی

مقاومت ویژه سنگ بستگی به فاکتورهای زیر دارد:

الف- مقاومت ویژه آب موجود در خلل و فرج که خود وابسته به نمک محلول و دما است.

ب- مقدار آب موجود سنگ (درجه تخلخل و اشباع)

ج- لیتولوژی (درصد و نوع رس موجود در سنگ و نیز نوع کانی های رسانا).

د- بافت سنگ (چگونگی توزیع خلل و فرج ، رسها و کانیهای رسانا)

ه- دما

ناهمسانگردی

مقاومت ویژه می تواند به علت ناهمسانگردی (anisotropy) در بافت سنگ، خود ناهمسانگرد می باشد. در سنگهایی که طبیعت لایه ای دارند مقاومت سنگ در جهت خواب لایه کمتر از مقاومت الکتریکی در جهت عمود بر لایه بندی است.

ضریب ناهمسانگردی

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_V}{R_H}}$$

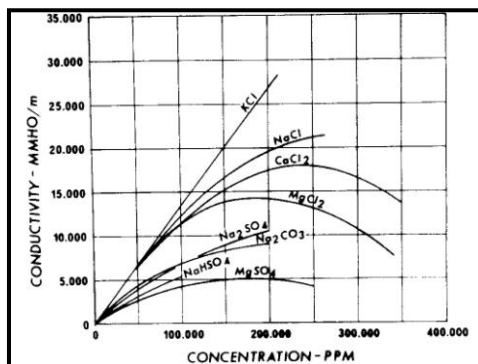
مقاومت ویژه متوسط در یک سازند ناهمسانگرد

$$R = \sqrt{R_V \cdot R_H}$$

resistivity of solutions

- resistivity of an electrolyte depends on the concentration and the type of dissolved salts and temperature.

1- effect of salinity



2- effect of temperature

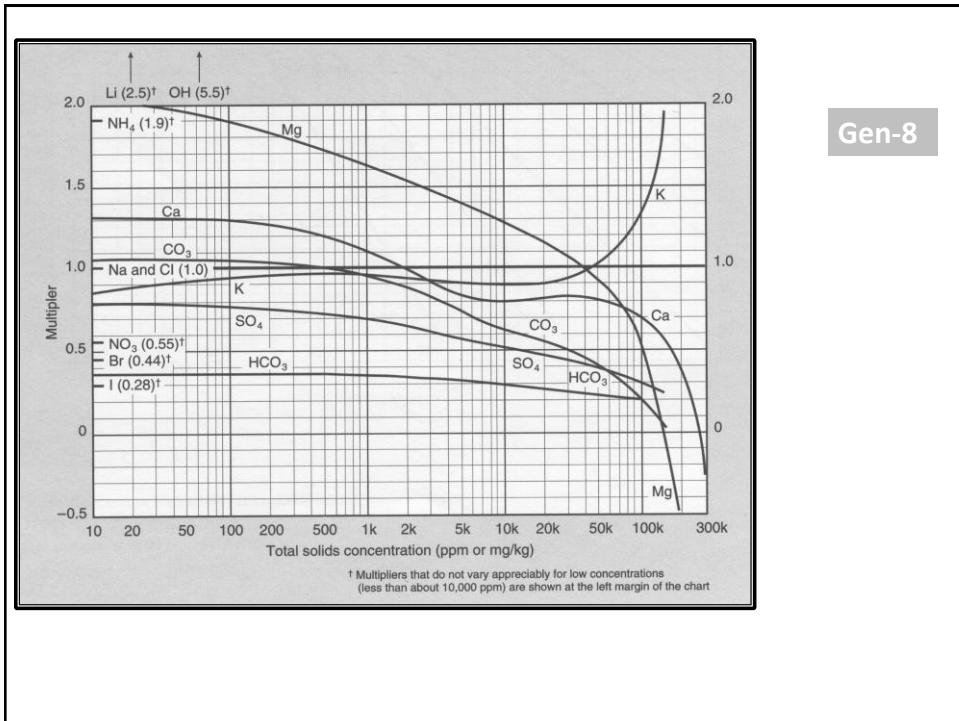
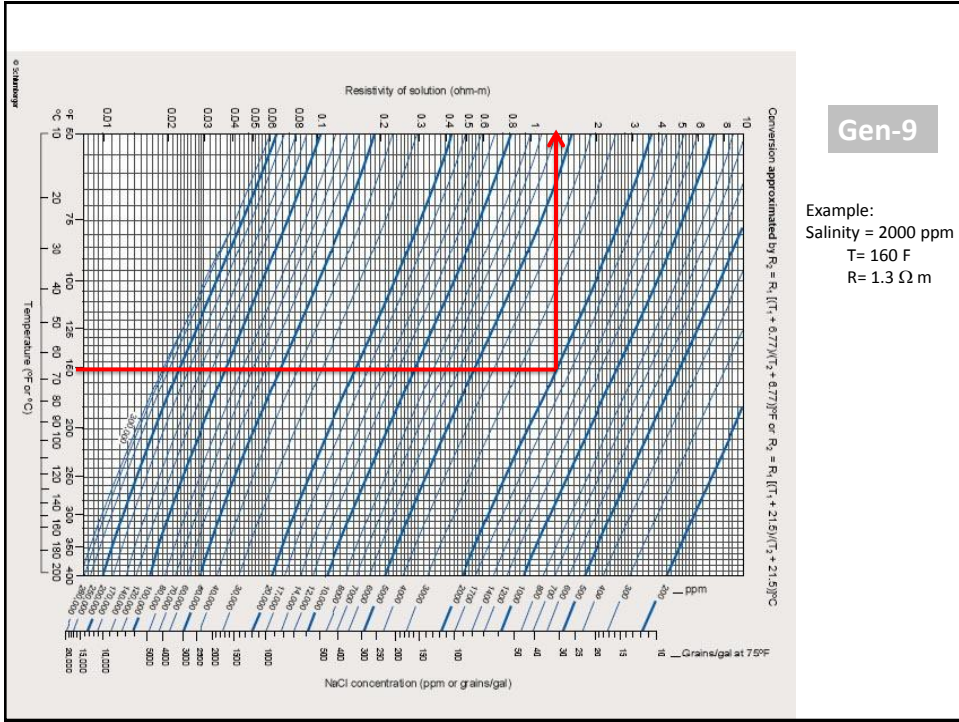
The resistivity of a solution decreases as the temperature increases

$$R_{WT_2} = R_{WT_1} \left[\frac{T_1 + 6.77}{T_2 + 6.77} \right] \quad \text{in } ^\circ\text{F}$$

$$R_{WT_2} = R_{WT_1} \left[\frac{T_1 + 21.5}{T_2 + 21.5} \right] \quad \text{in } ^\circ\text{C}$$

determination of the resistivity of solutions

- - Gen-9 to determine resistivity of NaCl solution vs. ppm and T
- - Gen-8 to determine resistivity of equivalent NaCl solution vs. ppm and T



رابطه بین تخلخل و مقاومت ویژه (ضریب سازند)

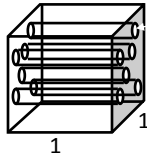
$$R_o \propto R_w \quad \text{and} \quad R_o = F_R R_w \quad \text{then} \quad F_R = \frac{R_o}{R_w}$$

F_R = formation resistivity factor

R_o = resistivity of formation saturated with water, Ωm

R_w = resistivity of formation water, Ωm

formation resistivity factor is the function of rock texture (tortuosity and porosity). Relation between F_R and porosity of a rock ($S_w=1$) is as follow (ideal condition):



A_p

$$S_p = \sum A_p$$

$$r = \frac{L \cdot R}{A} = \frac{1 \times R}{1 \times 1}$$

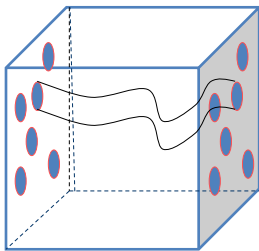
$$r_o = \frac{r_w}{S_p} \Rightarrow R_o = \frac{R_w}{S_p}$$

$$\phi = \frac{V_p}{V_b} = \frac{1 \times S_p}{1 \times 1 \times 1} \Rightarrow \phi = S_p$$

$$F_r = \frac{R_o}{R_w}$$

$$F_R = \frac{1}{\phi}$$

In reality, the electrical current has to follow a complex path. This path increases with tortuosity. Variation of cross section area affects the current path. The nature of the current path depends on the rock texture. Laboratory measurements on rock samples has shown that the formation resistivity factor of a shale free rock can be shown by following equation:



$$F_R = \frac{a}{\phi^m}$$

a = coefficient depending on lithology, 0.6 to 2.0

m = cementation or tortuosity factor, 1 to 3

Different type of formation resistivity factor equations for different type of rocks:

1 – sandstones and detrital quartz formation (with intergranular porosity)

$$F_R = \frac{0.62}{\phi^{2.15}}$$

Humble equation

2 – well-consolidated formations

$$F_R = \frac{1}{\phi^m}$$

3 – non-fissured carbonates of low porosity

$$F_R = \frac{1}{\phi^m}$$

$$m = 1.87 + \frac{0.019}{\phi}$$

Shell equation

Archie Formula

Laboratory measurements has shown that S_w is related to the resistivity by an equation of the form:

$$S_w^n = \frac{R_o}{R_t}$$

R_o = Resistivity of shale free rock saturated ($S_w=1$) with formation water , $\Omega \cdot m$

R_t = True resistivity of formation containing water at saturation S_w and hydrocarbon saturation ($1-S_w$), $\Omega \cdot m$

R_w = Formation water resistivity, $\Omega \cdot m$

n = Saturation exponent ($n=1.2$ to 2.2)

We can replace R_o by $F_R R_w$, then:

$$R_t = \frac{F_R R_w}{S_w^n}$$

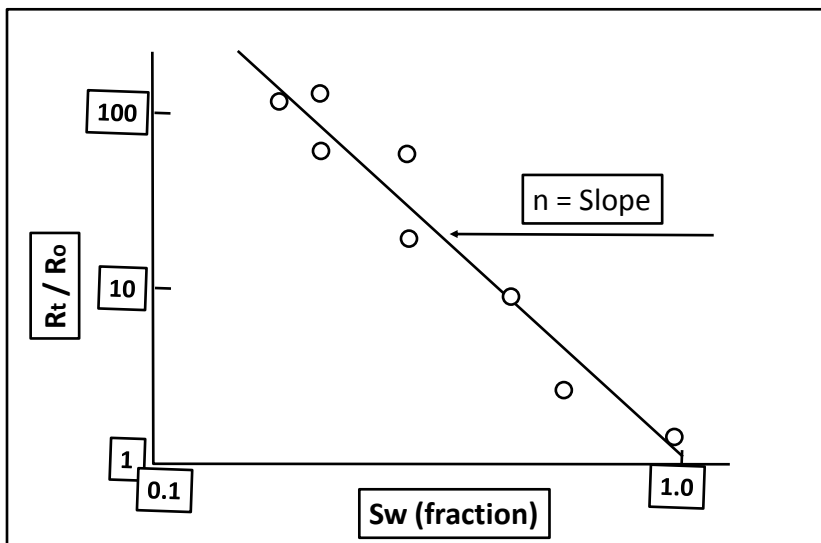
Archie's formula for clean formation

$$S_w = \frac{a R_w}{\sqrt[n]{\phi^m R_t}}$$

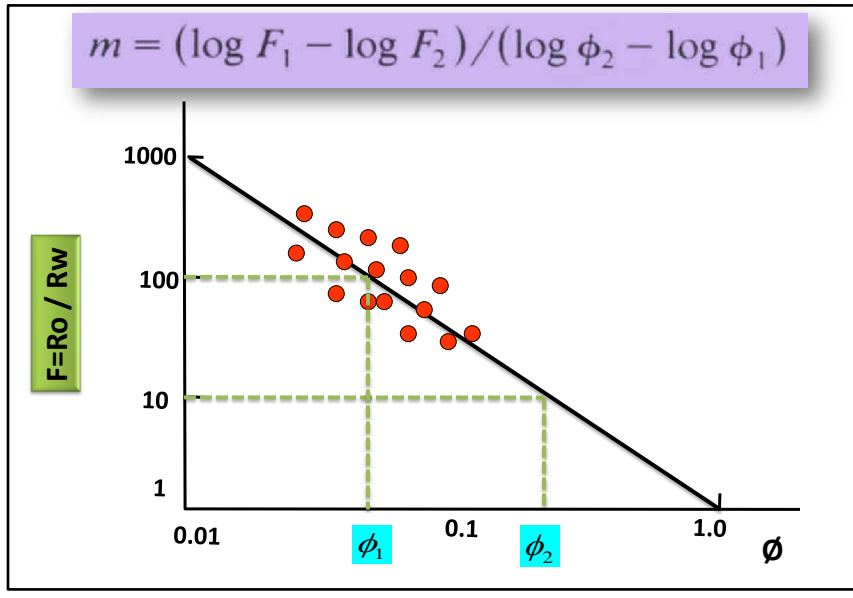
Empirical constant (usually near unity) → a
 Resistivity of formation water, $\Omega\text{-m}$ → R_w
 Water saturation, fraction → S_w
 Saturation exponent (also usually near 2) → n
 Cementation exponent (usually near 2) → m
 Porosity, fraction → ϕ
 True formation resistivity, $\Omega\text{-m}$ → R_t

Generally, $n=2$

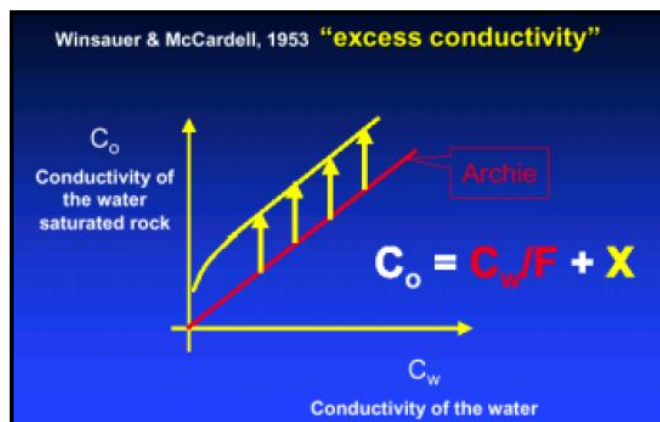
Laboratory Determination of Saturation Exponent, n



Laboratory Determination of Cementation exponent , m



Effect of shale presence on the resistivity of the rock



Effect of shale presence on the resistivity of the rock

What are shale, silt and clay ?

Shale is a fine-grained, indurated sedimentary rock formed by the consolidation of clay or (and) silt. It has a stratified structure (lamine 0.1-0.4 mm thick).

Silt is a rock fragment or detrital particles having a diameter in the range of 1/256 mm to 1/16 mm. It has commonly a high content of clay minerals associated with quartz, feldspar and mica

Clay is an extremely fine grained natural sediment or soft rock consisting of particles smaller than 1/256 mm. It contains hydrous silicates of Al^{+++} , Mg^{++} , Fe^{++} and minor quantities of finely divided quartz, feldspars, carbonates, iron oxides and etc.

The resistivity of clays

Structure of clays - clays are sheet like particles, very thin (a few Å), but have a large surface area depending on the clay mineral type. There is a deficiency of positive electrical charge within the sheet. This creates a strong negative electrical field perpendicular to the surface of the clay sheet which attracts positive ions (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , ...) and repels the negative ions (Cl^- , So_4^{--} , ...) present in the water. This property of clays is called Cation Exchange Capacity (**CEC**).

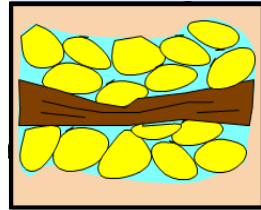
The CEC depends on the specific area of the clay and so depends on the clay mineral type.

Kaolinite has lowest CEC value and montmorillonite and vermiculite have highest value.

- به این ترتیب رسانایی رسوبات رسی ناشی از دو پارامتر زیر است:
- 1- رسانایی آب آزاد داخل حفره ها
- 2- رسانایی در ارتباط با CEC

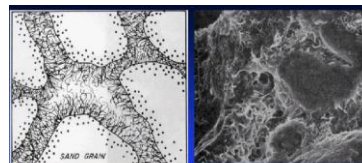
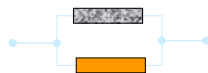
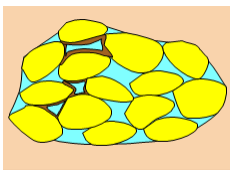
Distribution of shales in the reservoir

1 – laminar shale – laminar shales are thin beds of layers of shale deposited between layers of reservoir rock (sand, limestone, etc.). In this case shale layers don't alter the ϕ_{eff} , saturation or permeability of each intermediate reservoir layer. They don't form lateral permeability barriers. They form vertical permeability barriers. Laminar shales can be considered to have the same properties as neighbouring thick shale beds



2 – dispersed shale (clay) – In this case, clays adhere to the rock grains, either coating them or partially filling the pore space.

Permeability is considerably reduced, because the space available for fluid movement in the pores and channels is restricted and the wettability of clay with respect to the water is generally higher than that of quartz. The consequences are an increase in water saturation and a reduction in fluid moveability.



High surface area - high bound water - swelling clay
From Nissham 1977, SPE 6959

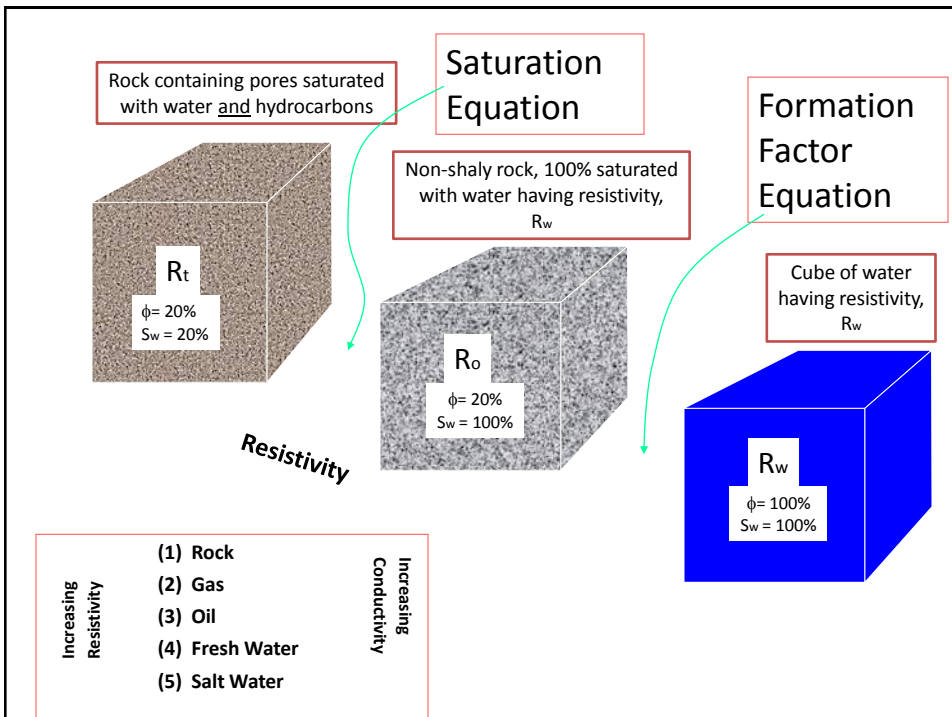
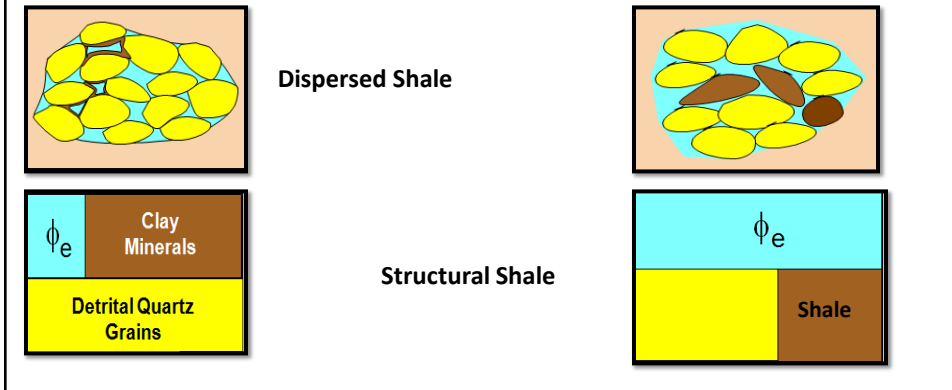


Classical Kaolinite "booklets" - potential for formation damage
From Nissham 1977, SPE 6959

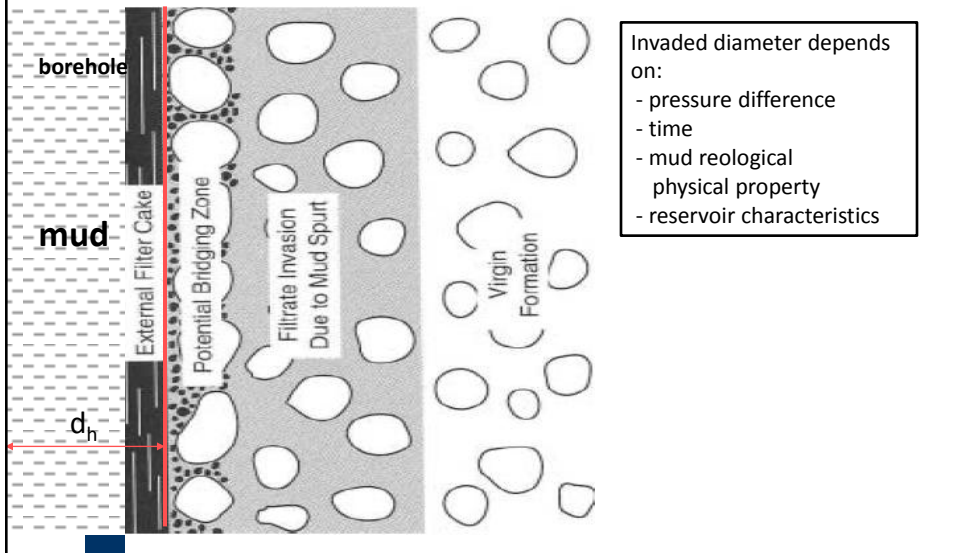


Cause of significant "Clay Bound Water" - detectable with ϕ_e
From Nissham 1977, SPE 6959

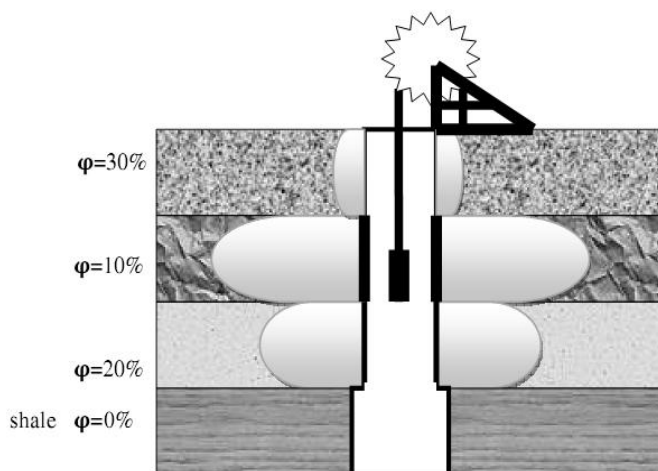
3 – structural shales – structural shales are grains of shales forming part of the solid matrix. Their effects on permeability and resistivity is resembles more closely those of dispersed clays. Laminar and structural shales are essentially of depositional origin, while dispersed clays evolve from alteration of other minerals (in-situ) or precipitation.



Borehole Environment

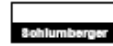


Invasion

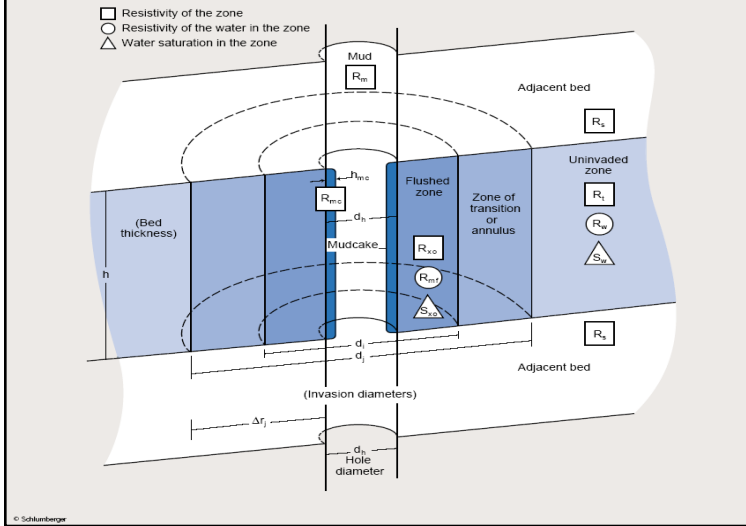


✓ هر چقدر تخلخل کمتر باشد . invasion بیشتری خواهیم داشت.

R_m	Resistivity of the mud
R_{mc}	Resistivity of the mudcake
R_{mf}	Resistivity of the invaded mud filtrate
R_{xo}	Invaded or Flushed Zone Resistivity
R_t	Un-invaded, True or Virgin Zone resistivity
R_o	Resistivity of formation that saturated with water
S_{xo}	Invaded Zone water saturation
S_w	Un-invaded zone water saturation



Symbols used in well logging



Gen-3

تاثیر عوامل محیطی مختلف بر نمودارها

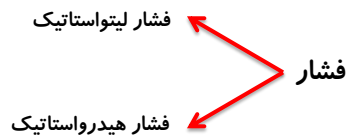
دما ✓

دمای سازند با افزایش عمق زیاد می شود.

$$G_t = \frac{(T_{bottomhole} - T_{surface})}{Totaldepth}$$

فشار ✓

- تاثیر مستقیم بر ابزار های چاه پیمایی
- گل حفاری، چگالی سنگ ها و سرعت امواج الاستیک



✓ قطر چاه

هرچه قطر چاه بیشتر باشد، حجم گل در اطراف سوند افزایش یافته و در نهایت تاثیر آن بر نمودار بیشتر خواهد بود.

✓ گل حفاری

امکان استفاده از بعضی از نگارها کاملاً به نوع گل حفاری و وجود یا عدم وجود آن در چاه بستگی دارد.

✓ Mud cake

برای عبور علایم از فرستنده به داخل سازند و از سازند به گیرنده، جریانها مجبور به عبور از سله گل هستند.

✓ Mud filtrate

اندازه گیری اکثر نگارها از زون شسته شده نشأت می گیرد. در این زون، سیال غالب موجود در سازند فیلتره گل است.

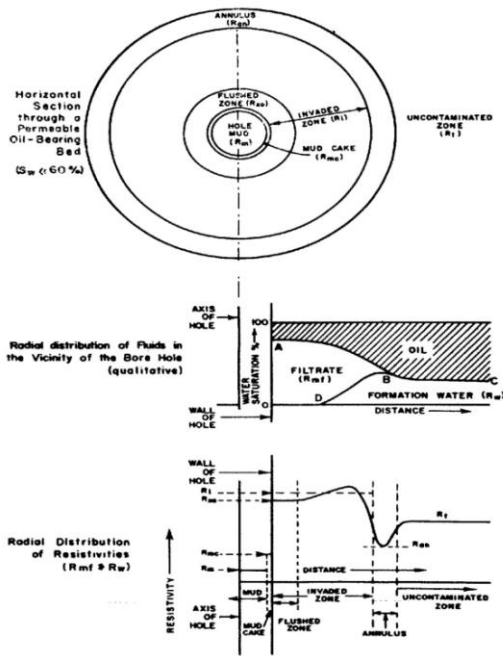
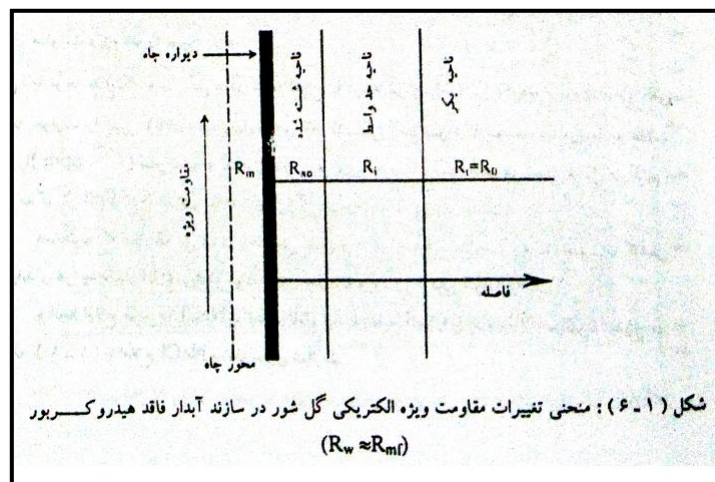
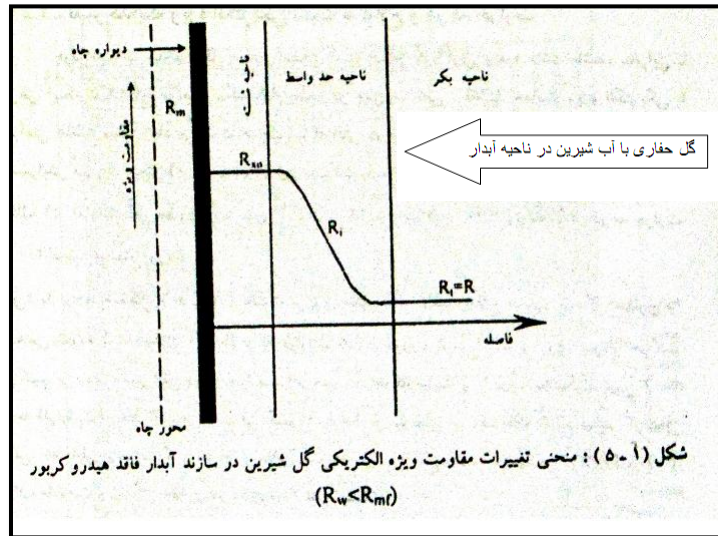
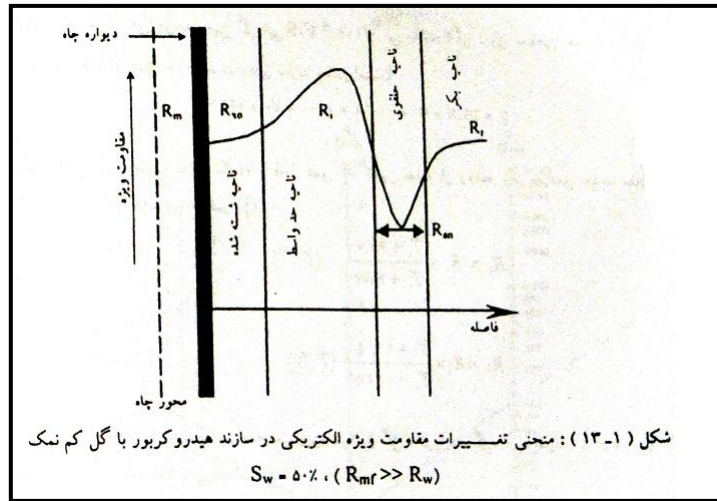


Fig. 11.9. Schematic representation of borehole vicinity after drilling. Courtesy Schlumberger Well Surveying Corporation.

✓ لوله جداری و سیمان



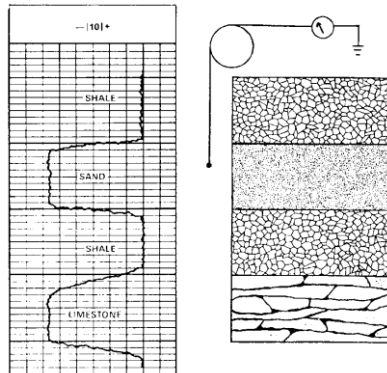


Spontaneous Potential Log

Spontaneous Potential Log

نمودار پتانسیل خودزا

نمودار پتانسیل خودزا (SP) عبارتست از ثبت اختلاف پتانسیل طبیعی موجود بین یک الکترود متحرک در داخل چاه و یک الکترود ثابت که در سطح زمین نصب شده است.



❖ نمودار SP در مقابل شیل ها معمولا یک خط کم و بیش مستقیم را بر روی نگار پدید می آورد و در مقابل سازند های تراوا از خط پایه شیلی فاصله می گیرد.

❖ نمودار SP حاصل اختلاف درجه شوری گل حفاری و آب سازند است چون این پتانسیل طبیعی و خودزاست باید گل حفاری هادی بوده تا بتواند هدایت کننده مقدار پتانسیل طبیعی باشد.

منشأ پتانسیل خودزا

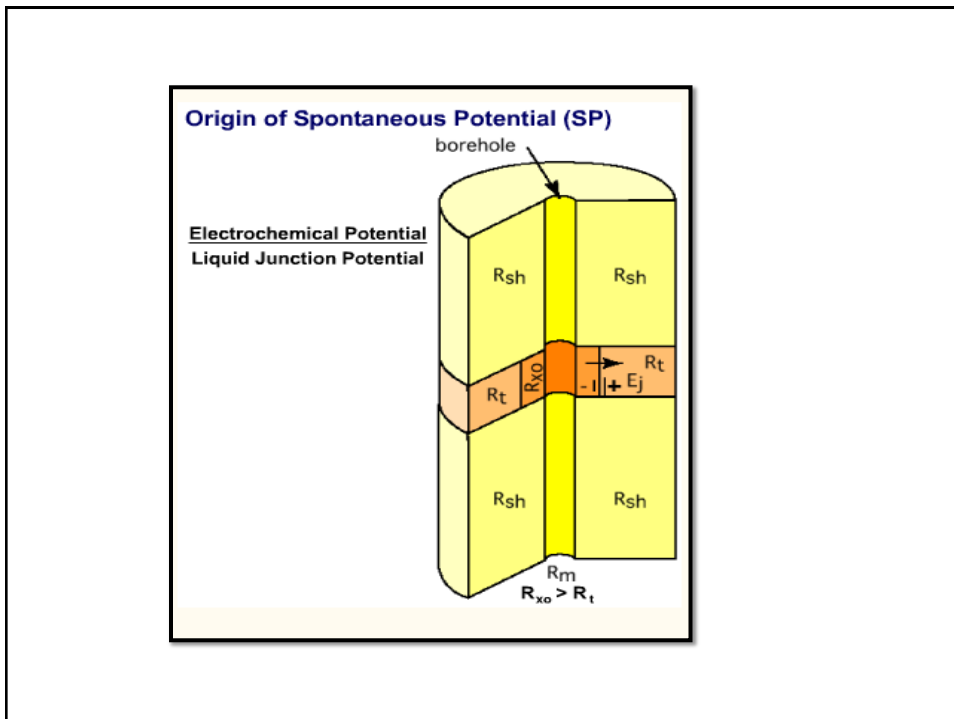
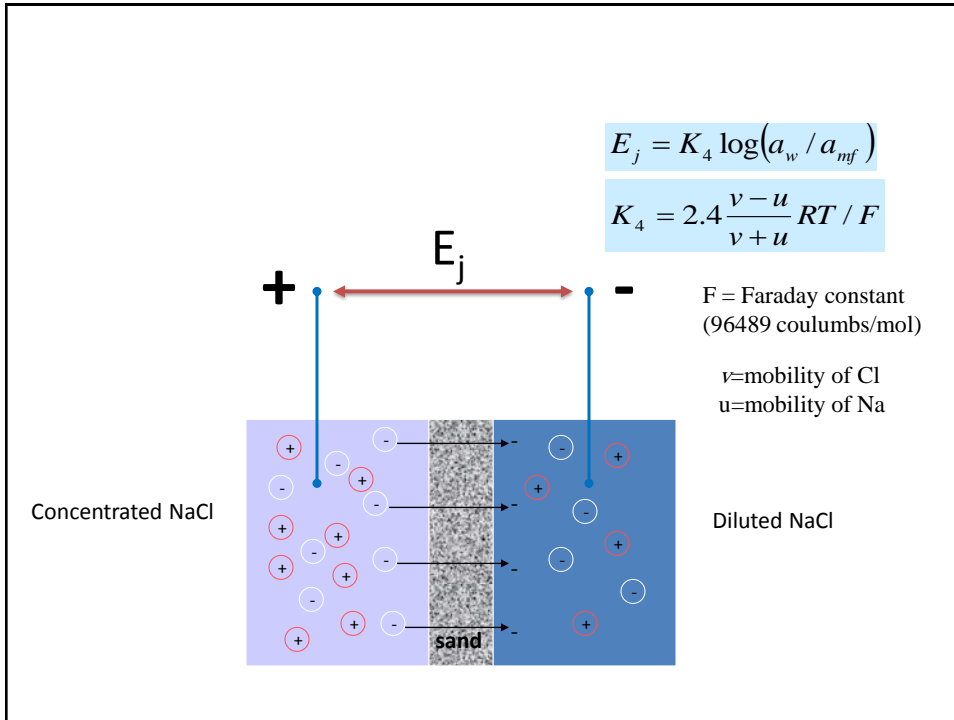
در نتیجه تماس گل حفاری با سازند های جداره چاه، جریان الکتریکی طبیعی بین گل حفاری و بدنه چاه حاصل می شود. نیروی الکتریکی حاصل از دو منشأ الکتروشیمیایی و الکتروستاتیک است.

منشأ پتانسیل الکتروشیمیایی:

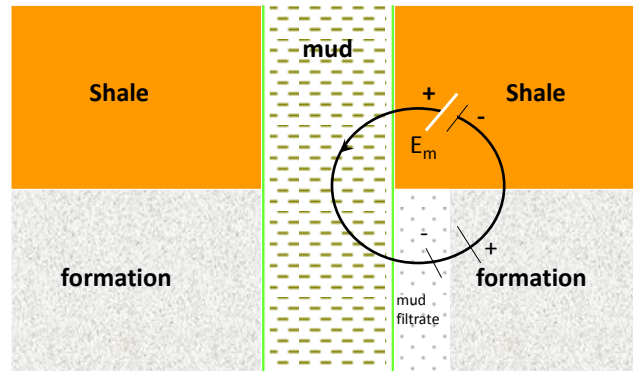
Liquid junction potential

۱ - پتانسیل نفوذی، تماس مایعات (E_{lj})

اگر دو محلول با غلظت های متفاوت در تماس با یکدیگر قرار گیرند، بین آنها تبادل یونی صورت می گیرد. اختلاف پتانسیل به وجود آمده حاصل تفاوت بین قابلیت تحرک یونهاست. قابلیت تحرک Cl^- از Na^+ بیشتر است.



Electrochemical potential in the reservoir



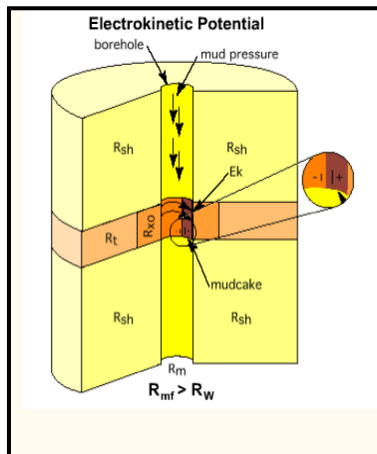
$$E_c = E_m + E_j = K \log(a_w / a_{mf})$$

$$K = K_3 + K_4 = 60 + 0.133T \quad T = ^\circ\text{F}$$

Electrokinetic Potential

پتانسیل الکتروستاتیکی

پتانسیل الکتروستاتیکی زمانی که الکترولیت از میان یک ماده تراوا، غیر فلزی و متخلخل عبور کند تولید می شود. در داخل چاه زمانی این پتانسیل ظاهر می شود که فیلتره گل تحت تأثیر اختلاف فشار ستون گل و سازند به داخل سازند نفوذ کند.



Magnitude of electrokinetic potential depends on:

- differential pressure across the medium (ΔP)
- resistivity of mud filtrate (R_{mf})
- viscosity of mud filtrate

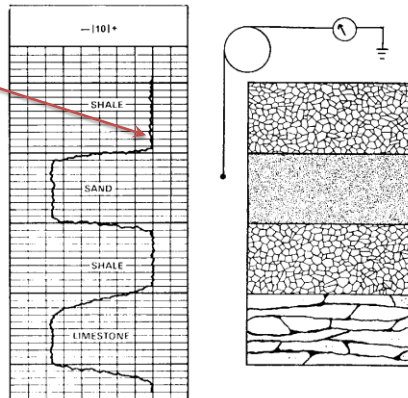
مقدار پتانسیل خودزا

$$E_c = E_m + E_j = -K \log(C_w / C_{mf}) = -K \log(a_w / a_{mf}) = -K \log(R_{mf} / R_w)$$

$$K = K_3 + K_4 = 60 + 0.133T$$

$$SP = -K \log(R_{mfe} / R_{we})$$

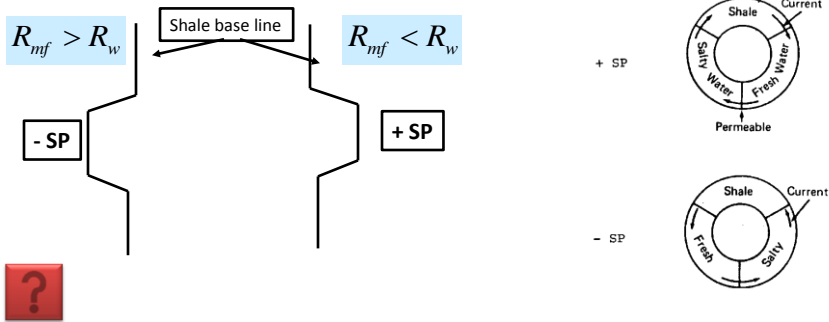
Shale Base Line



Normal SP deflection occur only in porous permeable beds. It shows permeability but can not quantify either permeability or porosity.

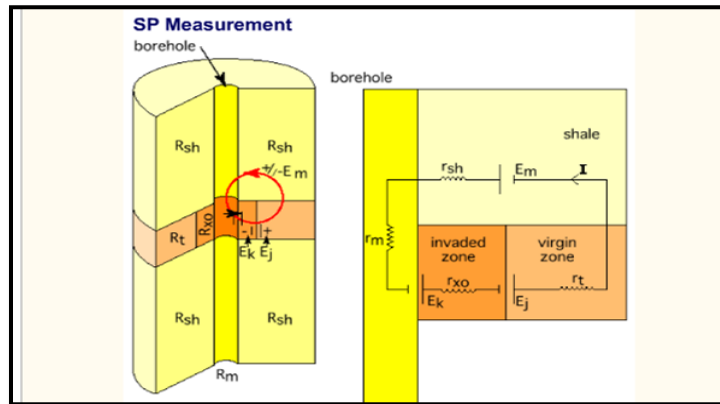
➤ If salinity of formation water is more than mud, then sp deflection is to the left and is considered negative (- sp)

➤ If salinity of mud is more than salinity of formation water, then SP deflection is to right and SP is considered positive (+ SP)

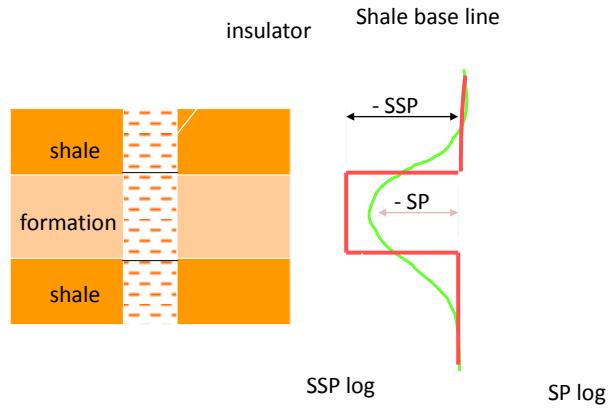


پتانسیل خودزای استاتیک (SSP) Static Spontaneous Potential (SSP)

جریان SP از میان ۴ ماده مختلف عبور می کند که شامل گل حفاری، زون آغشته، قسمت دست نخورده سازند و شیلی که لایه ماسه را احاطه کرده است. در هر کدام از این مواد بر اساس این که چه مقدار مقاومت داشته باشند پتانسیل در طول خط جریان، کاهش می یابد.



مقدار واقعی SP را در حالت ایده ال SSP گویند. SSP انحراف نمودار SP در مقابل یک سازند ضخیم و تمیز است.

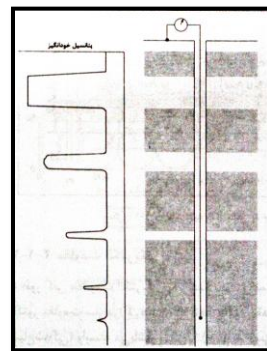
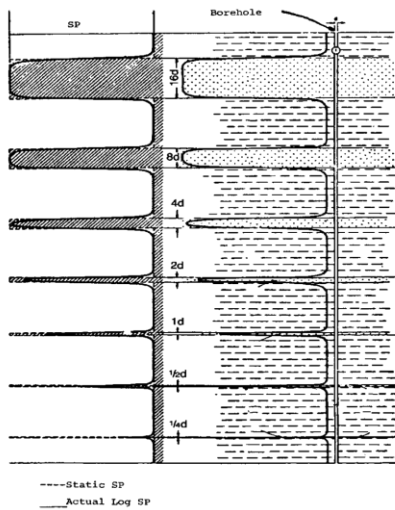


عوامل موثر بر نمودار SP

$$K = K_3 + K_4 = 60 + 0.133T$$

دما-

ضخامت سازند: هرچه سازند ضخیم تر باشد میزان اختلاف پتانسیل کمتری هدر می رود و اختلاف بین SP و SSP کمتر می شود.

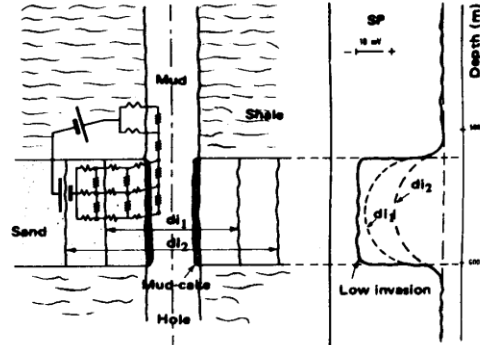


- قطر چاه :

depth of invasion

- عمق نفوذ :

SP با افزایش عمق نفوذ کاهش می یابد.

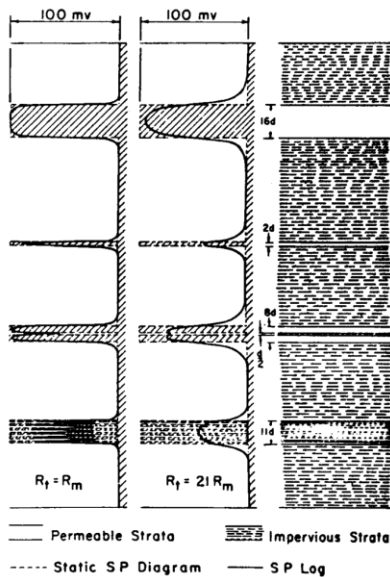


- مقاومت ویژه سازند R_t : در زون دست نخورده
با افزایش R_t/R_m انحراف SP کاهش می یابد.

- هیدروکربن:

- مقاومت ویژه لایه های مجاور: با افزایش R_s/R_m
میزان SP افزایش می یابد.

- مقاومت ویژه زون شسته شده: با افزایش R_{xo}/R_m
مقدار SP نیز افزایش می یابد.



-ترکیب سنگ: به جز زغال، سولفید های فلزی و کانیهای رسانا ترکیب ماتریکس هیچ تأثیری بر SP ندارد.

-شیل ها:

۱. شیل های نواری:

بستگی به ضخامت لایه رسی ، لایه تراوا و اختلاف مقاومت ویژه بین R_s و R_m ، R_t دارد.

$$PSP = SSP(1 - V_{sh})$$

$$V_{sh} = 1 - \alpha$$

$$\alpha = (PSP/SSP) \text{ (SP reduction coefficient)}$$

PSP می تواند به عنوان نشانگر شیل عمل کند.

۲. شیل های پراکنده :

شیل های پراکنده از حرکت یون های CL^- جلوگیری کرده و به شدت SP را کاهش می دهند.

۳. شیل های ساختاری:

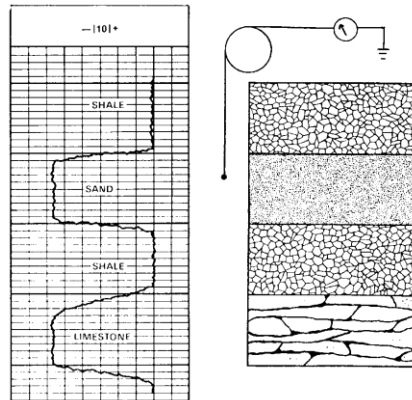
تا زمانی که ذرات ماسه فاز پیوسته را می سازند، اثر شیل های ساختاری مانند شیل های پراکنده است. زمانی که پیوستگی ماسه به وسیله شیل های ساختاری از بین رفت هیچ پتانسیل خودزایی به وجود نمی آید.

-فشار:

به دو صورت عمق نفوذ و احتمال ایجاد پتانسیل الکتروستاتیک می تواند موثر باشد.

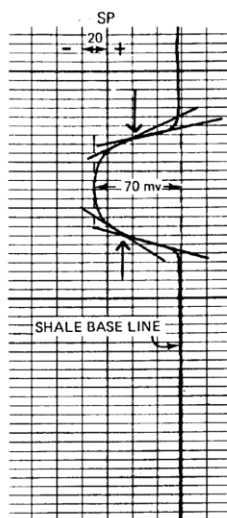
کاربرد منحنی SP ✓ تعیین لایه های نفوذ پذیر:

در نمودار SP هر جا انحراف داشته باشیم نشان دهنده سازند تراواست.



✓ تعیین مرز سازند:

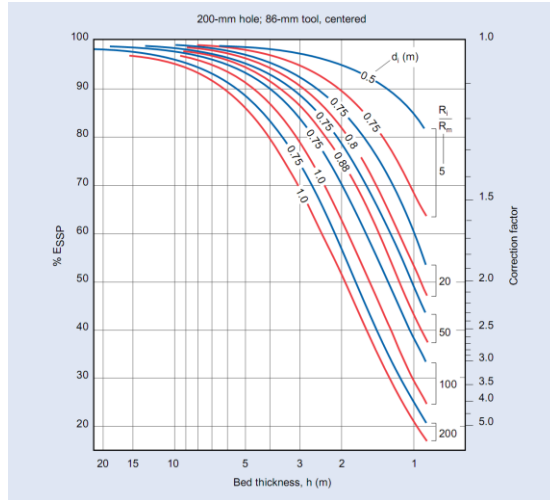
معمولا بر روی شیب های بالا و پایین SP یک نقطه عطف وجود دارد که با رسم دو مماس این نقطه بدست می آید. این نقاط عطف نشان دهنده مرز لایه هاست.



R_w ✓ تعیین مقاومت آب سازند

این رابطه برای نمک طعام خالص بدست آمده اند. $SSP = -(60 + 0.133T) \log(R_{mfe} / R_{we})$

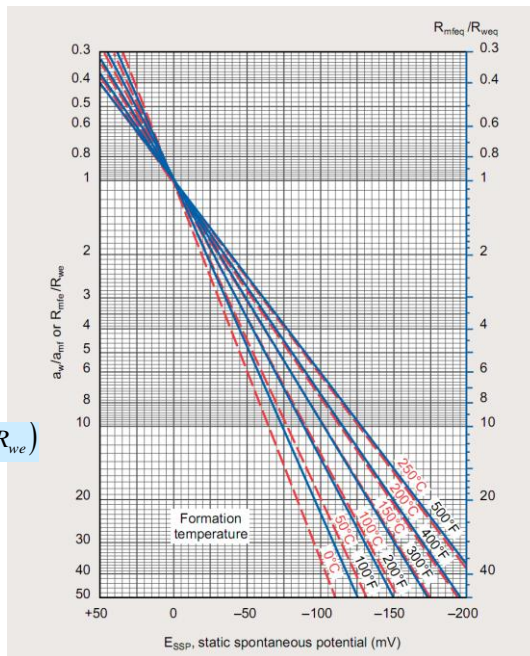
SP-4m
(Metric)



SP-1

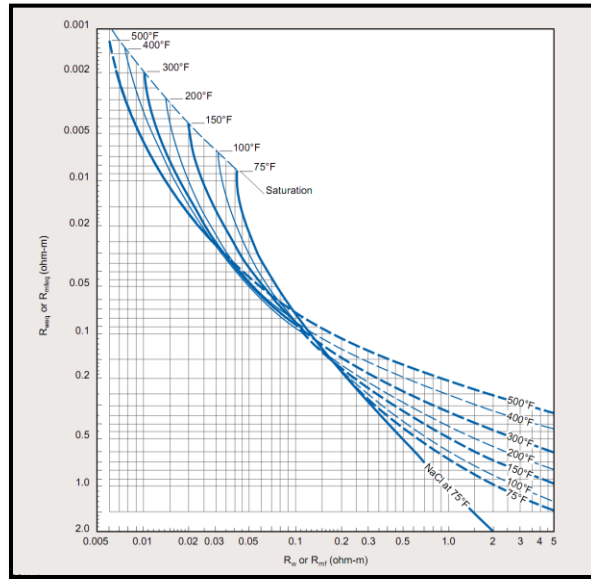
R_{weq} Determination from ESSP
Clean formations

$SSP = -(60 + 0.133T) \log(R_{mfe} / R_{we})$

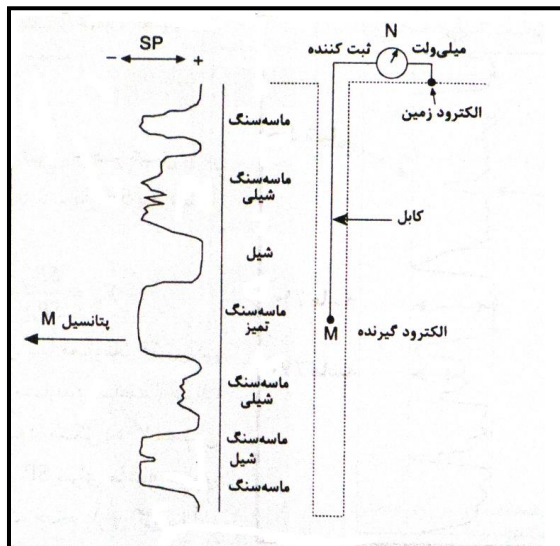


R_w versus R_{weq} and Formation Temperature

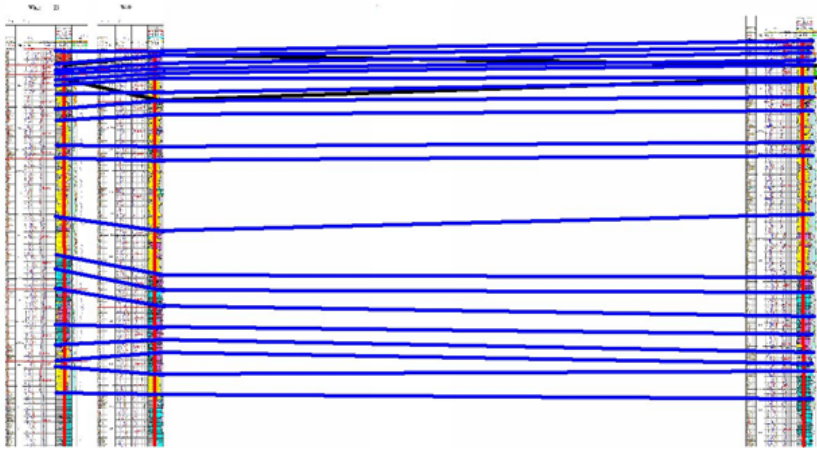
SP-2
(English)



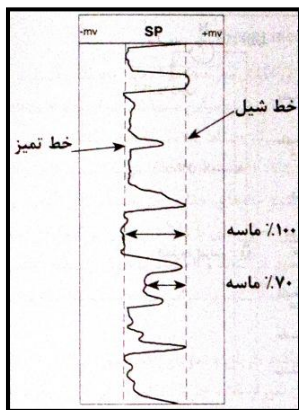
✓ تشخیص کیفی لیتولوژی مثل شیل ها



✓ تطابق چاه ها (همبستگی)



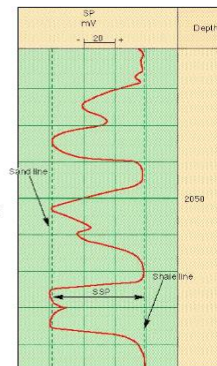
$$V_{sh} \leq 1 - PSP / SSP$$

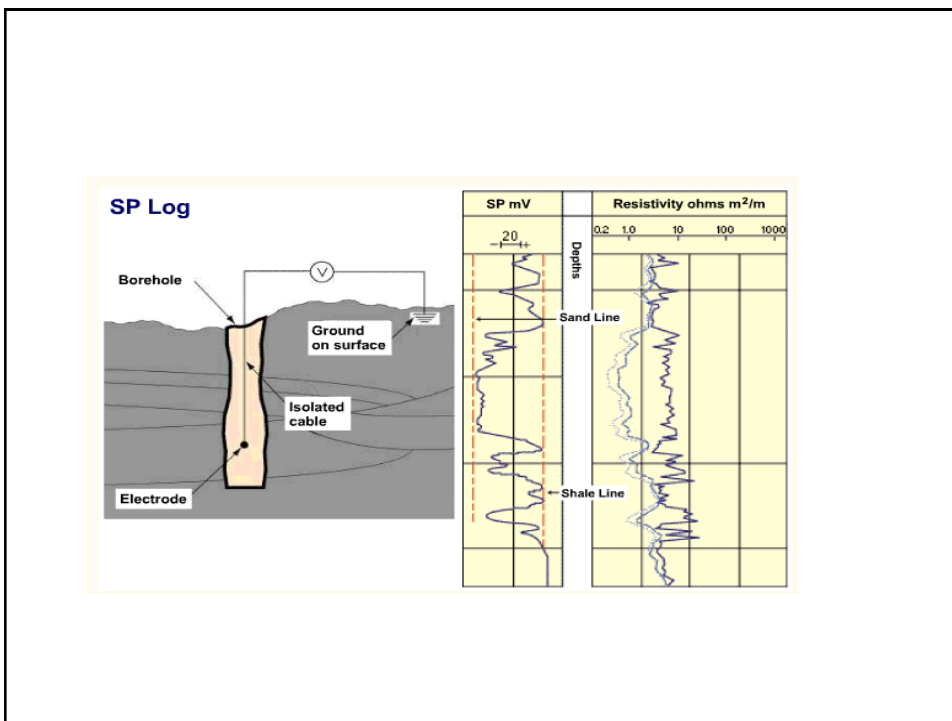
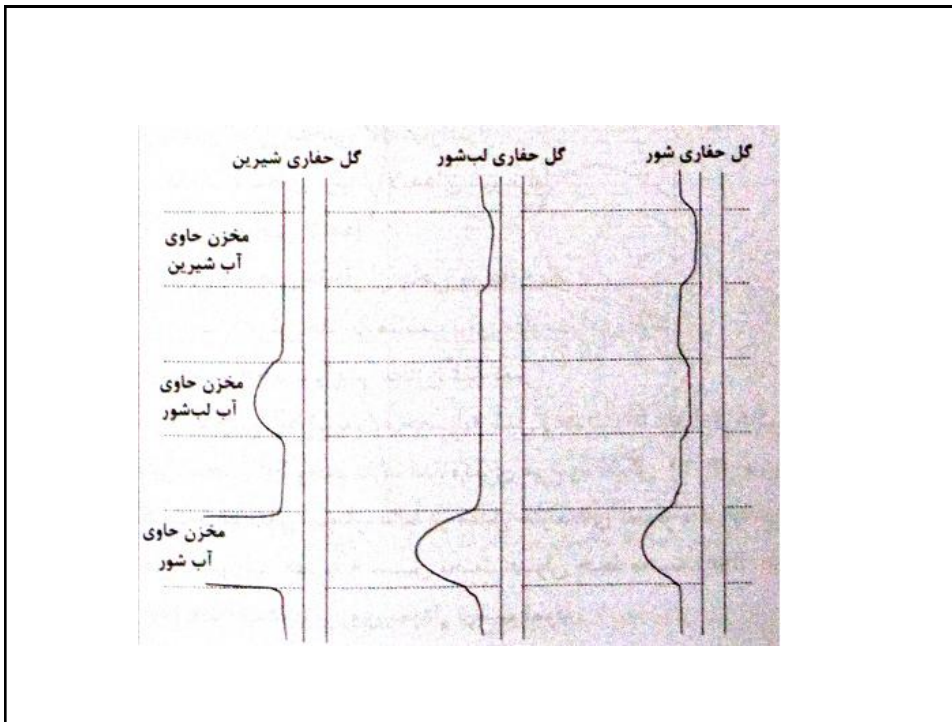


Evaluation Technique

$$V_{sh} = \frac{SP - SP_{cl}}{SP_{sh} - SP_{cl}}$$

V_{sh} : Shale volume
 SP : SP Log reading
 SP_{sh} : SP Log reading in Shale zone
 SP_{cl} : SP Log reading in clean Sand zone





Resistivity logs

Resistivity logs

نمودارهای مقاومت

انواع رسانایی:

۱. الکترونی

۲. الکترولیتی

در سنگهای غیر متخلخل

در سنگهای متخلخل ولی اشباع از نفت

در سنگهای متخلخل و اشباع از آب شیرین

مقاومت بالا

مقاومت پایین در سنگهای متخلخل ولی اشباع از آب شور یا حاوی کانیهای رسی

ابزارهایی که نمودار مقاومت را اندازه گیری می کنند به دو گروه عمده تقسیم می شوند:

A. ابزارهای با سیستم الکترودی: از طریق الکترودها جریان به درون سازند ارسال و اختلاف پتانسیل توسط یک سری الکتروود دیگر اندازه گیری می شود و نهایتاً مقاومت ویژه الکتریکی ثبت می شود.

• براساس عمق جستجو به ۳ دسته تقسیم میشوند.

۱. عمق جستجوی زیاد مانند: LLD، LL7، 64" نرمال و ابزار جانبی

۲. عمق جستجوی متوسط تا کم: LLS، LL8، LL3، 16" نرمال و SFL.

۳. عمق جستجوی بسیار کم: ML، MLL، PL، MSFL.

• براساس متمرکز بودن جریان یا عدم تمرکز جریان به دو دسته تقسیم می شوند:

۱. ابزارهای غیر متمرکز جریان (ES، ML)

۲. ابزارهای متمرکز کننده جریان (لاترولاگ LL و ابزارهای متمرکز کروی MSFL و SFL)

B. ابزار های القایی: در این ابزارها میدان الکترومغناطیسی توسط سیم پیچ اولیه به درون سازند ارسال می گردد که این جریان الکتریکی را در سازند القاء می کند. جریان القایی ایجاد شده سبب تشکیل میدان الکترومغناطیسی ثانویه می شود که به وسیله سیم پیچ گیرنده ثبت و تبدیل به هدایت ویژه الکتریکی می گردد.

✓ در چاههایی که با گل حفاری شیرین، نفت یا هوا حفاری شده اند به کار برده می شوند.

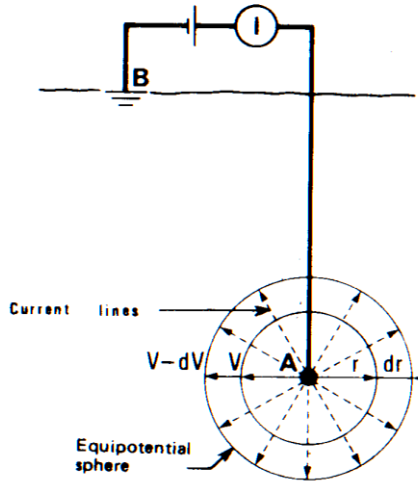
✓ برخی از نمودار های القایی

۱. ابزار القایی متمرکز با شش سیم پیچ و فاصله فرستنده گیرنده ۴۰ اینچ (6FF40) و ۲۸ اینچ (6FF28)

۲. ابزار IL (ID، IM)

ابزارهای غیر متمرکز با فاصله گیرنده فرستنده بالا (Electrical Survey)

اصول:

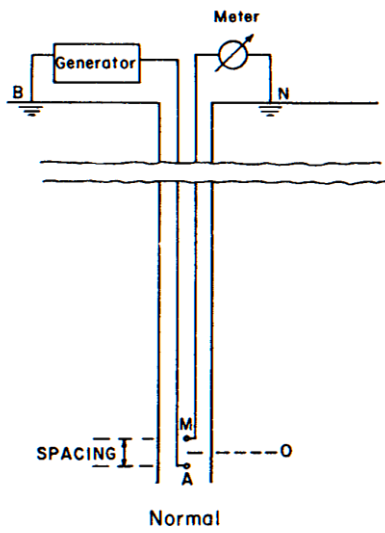


$$V = Ir = IR \frac{L}{A}$$

$$L = dr \quad A = 4\pi r^2$$

$$V = RI \int_r^{\infty} \frac{dr}{4\pi r^2} \Rightarrow V = \frac{RI}{4\pi r}$$

۱- آرایش نرمال



$$V_m = \frac{RI}{4\pi(AM)} \Rightarrow R = 4\pi \overline{AM} \frac{\Delta V}{I}$$

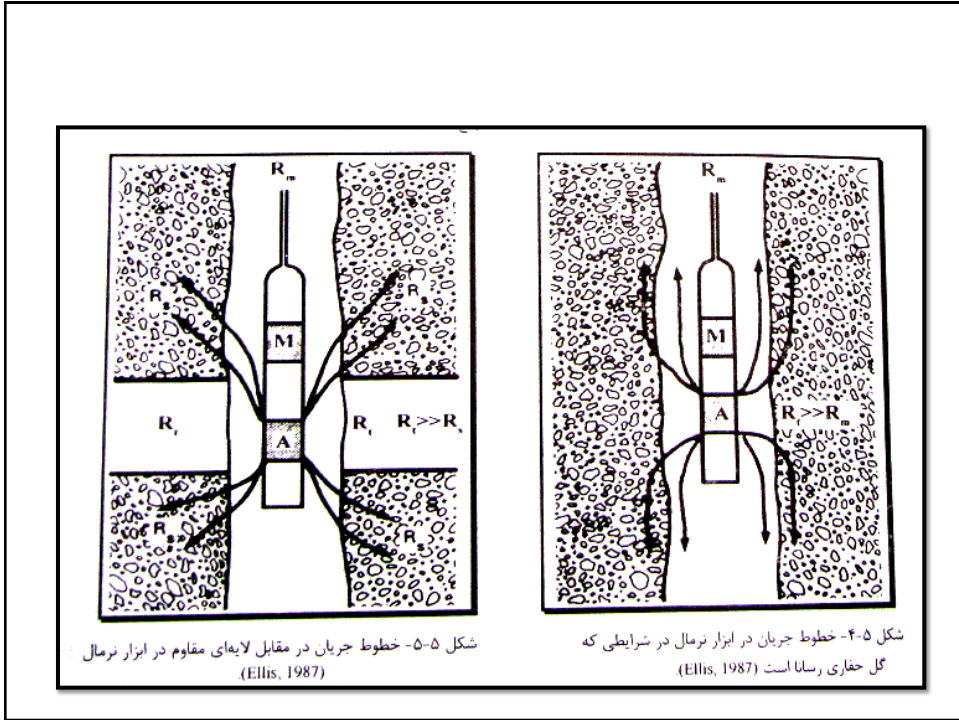
• فاصله دو الکترود خیلی مهم است بهترین حالت زمانی است که هر دو الکترود در مقابل سازند باشند.

• هرچه فاصله AM کمتر باشد مقاومت محیط نزدیکتری را اندازه گیری می کند.

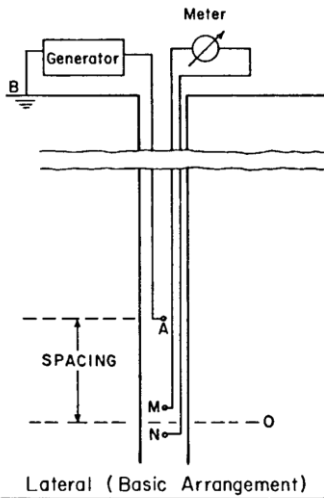
• در آرایش نرمال دو فاصله گیرنده - فرستنده وجود دارد (Spacing):

الف: 16"

ب: 64"



۲- آرایش های جانبی و معکوس



$$V_M = \frac{RI}{4\pi AM} \quad V_N = \frac{RI}{4\pi AN}$$

$$\Delta V = V_m - V_N = \frac{RI}{4\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right]$$

$$\Delta V = RI \frac{\overline{MN}}{4\pi AM AN} \Rightarrow R = K_L \frac{\Delta V}{I}$$

Spacing = MO = 18' 8"

✓ ابزار جانبی قادر است در شرایطی که کمتر تحت تأثیر چاه و لایه های مجاور قرار گیرند مقاومت ناحیه دورتری را اندازه گیری می کند.

✓ در آرایش معکوس الکترودهای A-B به جای الکترودهای M-N واقع شده اند و M و N به اندازه کافی از هم دورند. با این حال اصول ذکر شده در مورد ابزار جانبی دقیقاً در مورد ابزار معکوس صادق است.

✓ نقطه اندازه گیری

الف. آرایش نرمال: وسط الکترودهای فرستنده و گیرنده

ب. آرایش جانبی و معکوس: در ابزار جانبی بر وسط MN و در ابزار معکوس بر وسط AB منطبق است.

✓ عمق جستجو

الف. آرایش نرمال: شعاع جستجو دو برابر AM و به طور مشابه قدرت تفکیک قائم نیز 2AM است.

ب. آرایش جانبی و معکوس: عمق جستجو برابر با بازه دستگاه، به ترتیب برابر با AO و MO است.

تصحیح نمودارهای مقاومت

- مقاومت اندازه گیری شده برابر با مقاومت ویژه سازند نیست. معمولاً مقاومت اندازه گیری شده با R_a (Apparent Resistivity) نشان داده می شود اگر R_a مقاومت نمودار برد بلند باشد:

$$R_a = f(R_m, d_h, R_{mc}, h_{mc}, R_{xo}, d_i, R_t, h, R_s)$$

- هدف بدست آوردن R_t است. پس برای بدست آوردن R_t از R_a ، مقدار مقاومت اندازه گیری شده باید نسبت به تمامی پارامترهای تأثیر گذار تصحیح شود.

- پارامترهای تأثیر گذار ← اثرات چاه
← لایه های مجاور
 R_t از معادله زیر بدست می آید:

$$(R_a)_c = j_i R_{xo} + (1 - j_i) R_t$$

- نرمال کوتاه : مقاومت ویژه ناحیه شسته شده
- نرمال بلند : مقاومت اندازه گیری شده به مقاومت سازند نزدیکتر است.
- جانبی : مقاومت سازند

عمده ترین کاربردهای روش نرمال:

۱. تشخیص اختلاف درجه شوری یا شیرینی گل حفاری و آب سازند و بررسی سیال پرکننده فضای خالی سازند
۲. تشخیص لایه های نفوذپذیر از نفوذناپذیر و تعیین درصد تخلخل و اشباع شدگی از آب یا نفت

ابزار های با فاصله گیرنده – فرستنده بالا تا متوسط با جریان متمرکز

معایب ابزارهای جانبی و نرمال

- عدم اندازه گیری دقیق مقاومت ویژه حقیقی در طبقات نازک
- مشکل بودن محاسبه مقاومت حقیقی سازند حتی با استفاده از نمودارهای تصحیح
- اثر گل
- تعیین حد لایه
- با توجه به اینکه ابزارهای نمودارگیری قدیمی تحت تأثیر محیط چاه و سازندهای مجاور قرار می گیرند. گام بعدی در تکامل ابزارهای مقاومت ویژه تکمیل ابزارهای متمرکز کننده جریان بود. بنابراین برای بالا بردن میزان دقت از الکترودها و یا کویل های متمرکز کننده استفاده می شود.

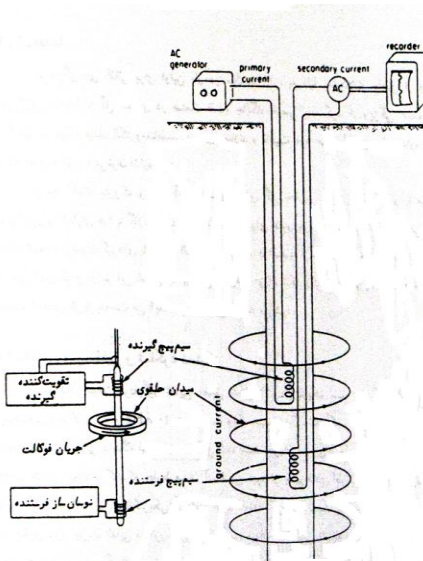
این ابزار ها جریان انتشاری را در امتداد های مشخص متمرکز می کنند:

۱- الکترودی: لاترولاگ (LL)، لاگ متمرکز کروی (SFL)

۲- سیم پیچ : ابزار القایی (IL)

Induction Log

ابزار القایی



- نمودار گیری القایی برای اولین بار در سال ۱۹۴۵، به دلیل مشکلات حاصل از وجود هیدروکربور مخلوط با گل حفاری در صنعت نفت جایگاه خاصی پیدا کرد.
- چنانچه چاه متروکه و فاقد آب باشد یا دارای گل حفاری شیرین یا سبک و یا پایه نفتی و یا دارای هوا یا گاز باشد، این عوامل مانعی برای عبور جریان الکتریکی محسوب می شود و امکان استفاده از نمودارگیرهای با سیستم الکترودی نیست. با استفاده از میدان الکترو مغناطیسی هدایت الکتریکی اندازه گیری می شود.
- برای عمق جستجوی زیاد طراحی شده اند.

✓ برخی از نمودار های القایی متداول

۱. ابزار القایی متمرکز با شش سیم پیچ و فاصله فرستنده گیرنده ۴۰ اینچ (6FF40) و ۲۸ اینچ (6FF28)

۲. ابزار (Dual Induction log) DIL

الف: مقاومت ناحیه بکر

ب: ILM مقاومت ناحیه حد واسط یا عبوری

افزایش تعداد سیم پیچ ها چند مزیت دارد:

- ۱- تفکیک قائم بهتر به خاطر کاهش بیشتر سیگنالهای حاصل از لایه های مجاور
- ۲- کاهش اثرات چاه و افزایش عمق جستجو با از بین بردن سیگنالهای ناخواسته (چاه و زون آغشته)
- ۳- کاهش X-Signal

وجود گیرنده های بیشتر باعث می شود که بیشترین قسمت سیگنالها از زون دست نخورده حاصل شود. (R_p)

- نقطه اندازه گیری را در وسط فاصله بین سیم پیچ فرستنده و گیرنده در نظر می گیرند.

• ابزارهای القایی هنگامی ترجیح داده می شود :

$$R_t < 2.5R_{xo}$$

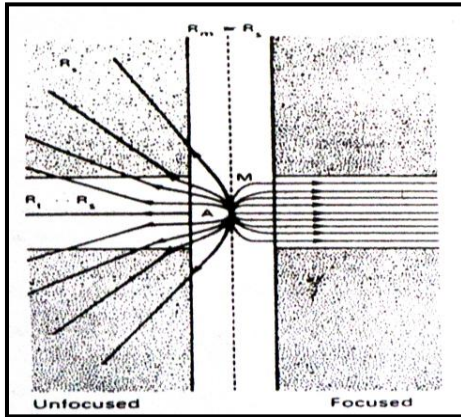
$$d_i > 100''$$

$$R_t < 500R_m$$

ابزارهای الکتروودی متمرکز کننده جریان

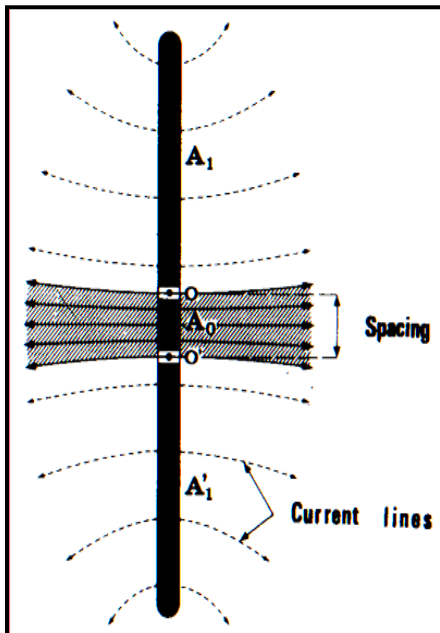
Laterolog tools

۱- ابزار لاترولاگ (LL)



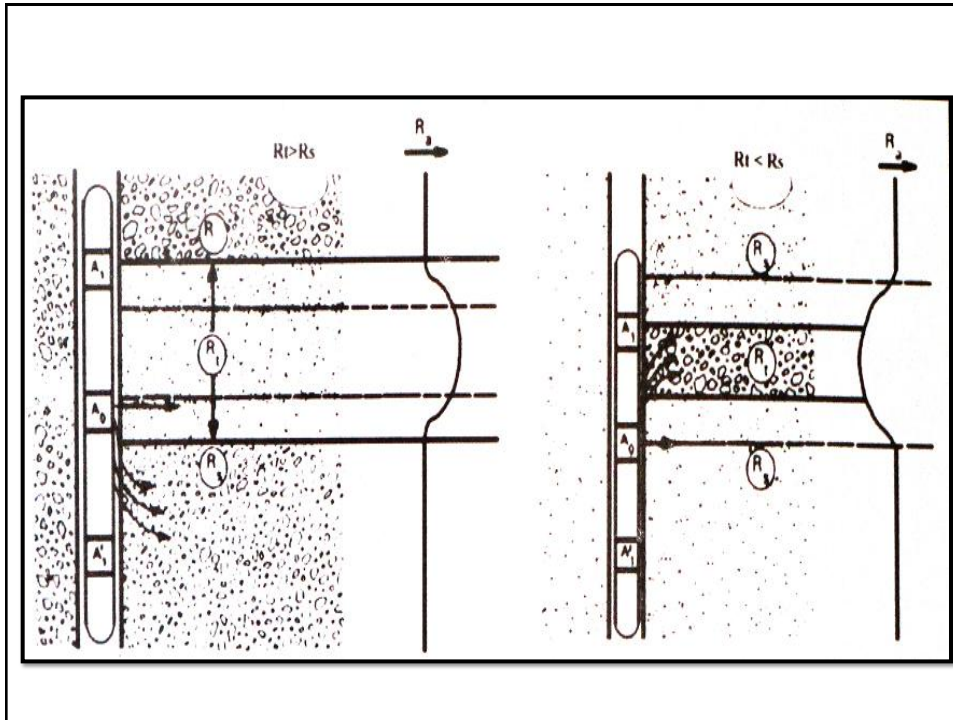
جریان الکتریکی به صورت عمود بر محور ابزار وارد سازند می شود بنابراین اثر چاه ولایه های مجاور به مراتب کمتر از ابزارهای ES است.

ابزار LL3



• ضخامت OO' ، ورقه جریان معمولاً ۱۲ اینچ است. ابزار LL3 قدرت تفکیک قائم بیشتری داشته و کمتر تحت تأثیر محیط چاه و زون آغشته قرار می گیرد.

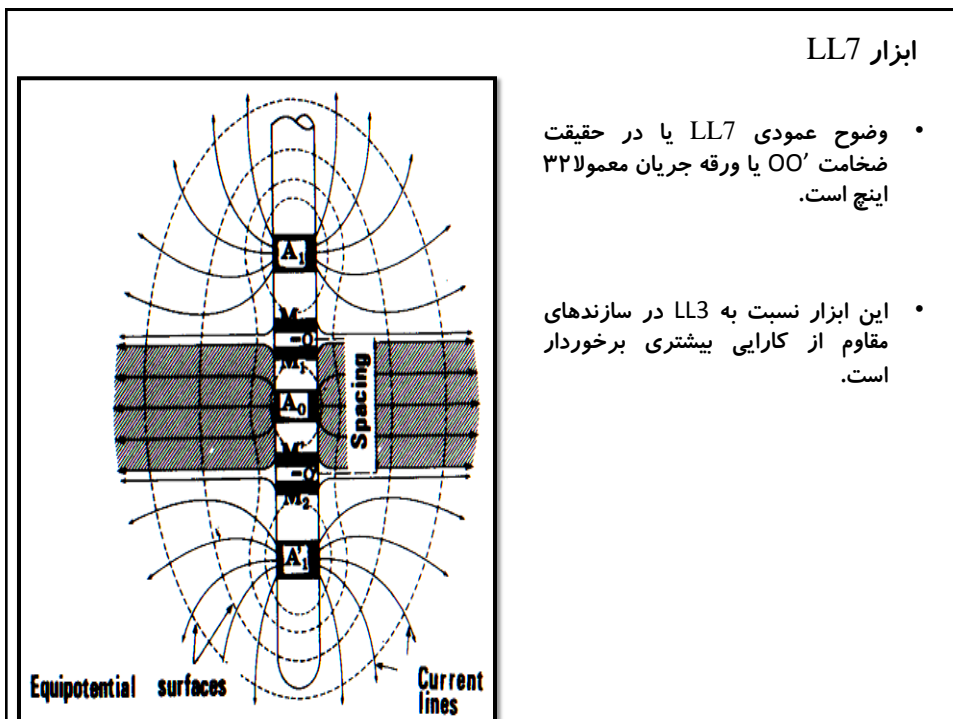
• علیرغم مزایای خود، این ابزار نیز در تشخیص مرز لایه ها دارای مشکل است. این اثر هنگامی که اختلاف مقاومت ویژه سازند ولایه های مجاور زیاد است به وجود می آید.



ابزار LL7

• وضوح عمودی LL7 یا در حقیقت ضخامت OO' یا ورقه جریان معمولاً ۳۲ اینچ است.

• این ابزار نسبت به LL3 در سازندهای مقاوم از کارایی بیشتری برخوردار است.



ابزار LL8

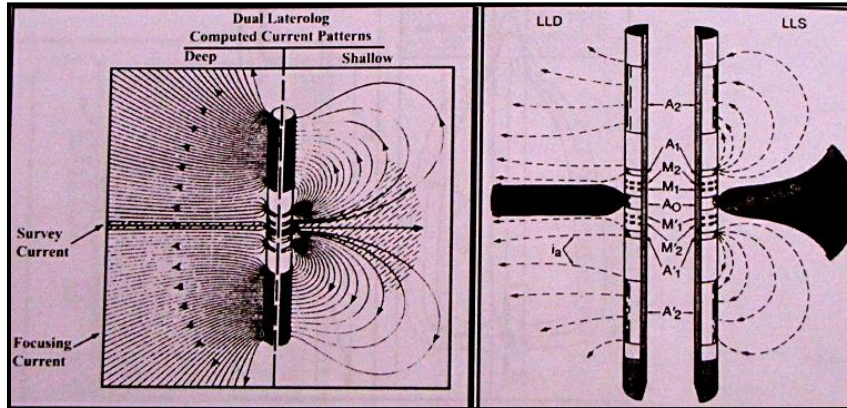
- این آرایش برای اندازه گیری در اعماق کم طراحی شده و از لحاظ طراحی مشابه LL7 است، با این تفاوت که در LL8 فاصله الکتروودها کمتر است.
- اندازه گیری با عمق نفوذ کم LL8 توسط الکتروودهای کوچک که بر روی DIL قرار گرفته اند ثبت می شوند.
- ضخامت ورقه جریان ۱۴ اینچ بوده، با این آرایش ابزار LL8 قدرت تفکیک قائم بالایی داشته و بیشتر از LL7 و LL3 تحت تأثیر محیط چاه و زون آلوده قرار می گیرد.

Dual Laterolog

ابزار DLL

- هدف هر ابزار با عمق نفوذ زیاد اندازه گیری مقاومت ویژه سازند R_p است. متأسفانه تاکنون هیچ سیستمی که بتواند به تنهایی تأثیر زون آلوده را کاملاً حذف کند به وجود نیامده است.
- راه حل این مشکل این است که از ابزارهایی که دارای اعماق نفوذ متفاوتی باشند استفاده کرد.
- چنین ابزاری باید چند ویژگی داشته باشد:
 ۱. تأثیر محیط چاه اندک یا قابل تصحیح باشد.
 ۲. قدرت تفکیک هر سه اندازه گیری یکسان باشد.
 ۳. یکی از قرائت ها حداکثر عمق، یکی از قرائت ها حداقل عمق ممکن و دیگری بین این دو را اندازه گیری کند.

- این ابزار دارای ۹ الکتروود است و اندازه گیری عمیق LLD و LLS به طور همزمان صورت می گیرد. هر دو از الکتروودهای یکسان استفاده می کنند و قدرت تفکیک قائم هر دو یکسان ولی عمق نفوذ آنها متفاوت است. ضخامت ورقه جریان و قدرت تفکیک آن برابر ۲ فوت است.



- قدرت تفکیک قائم

$$DLL=24'' \quad LL8=14'' \quad LL7=32'' \quad LL3=12''$$

- شعاع جستجو

LLD نزدیکترین مقدار به R_t را اندازه گیری می کنند و بعد از آن LL7 و LL3 در مراتب بعدی قرار دارند.

LLS و LL8 قرائتی نزدیک به R_{XO} را انجام میدهند.

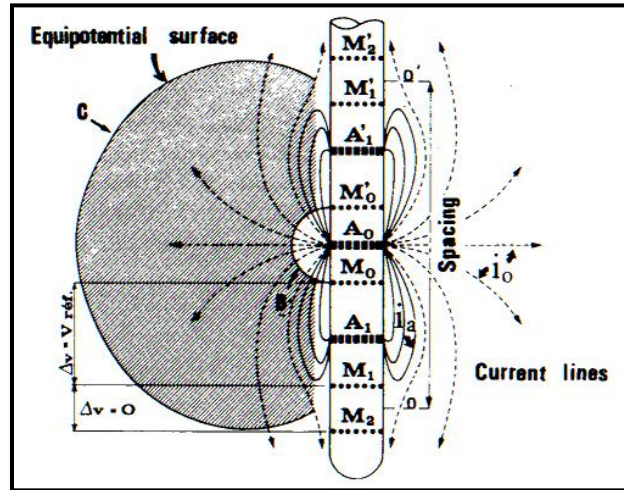
LL7 و LL3 به تنهایی رانده می شوند و LLS و LLD بر روی یک سوند قرار دارند.

LL8 همراه با ILM و ILD در سوند های قدیمی تر DIL رانده می شود.

Spherically Focused log

۲- آرایش SFL

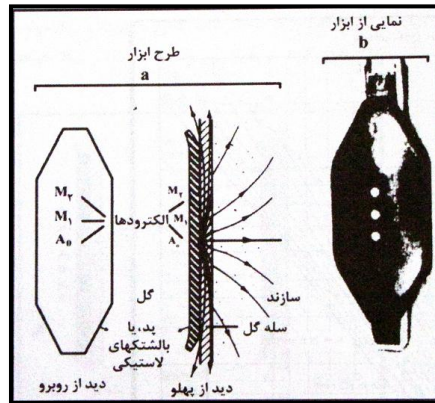
- راهی دیگر برای حذف اثر چاه استفاده از متمرکز کردن کروی است.
- در این ابزار از جریانهای خم کننده برای تشکیل سطوح هم پتانسیل کروی استفاده می شود. در صورتی که چاه وجود نداشته باشد این سطوح در ابزار نرمال نیز تشکیل می شود.



- در سازند های مقاوم تأثیر کمی از عوامل محیطی می پذیرد.
- نقطه اندازه گیری منطبق بر الکتروود A_0 است.
- این ابزار معمولاً مقاومت بین R_{XO} و R_t را اندازه گیری می کند. (R_i)
- قدرت تفکیک قائم برابر با فاصله OO' یعنی ۳۰ اینچ است.
- عمق جستجو تابع فاصله الکتروودهاست در صورتی که در ابزار SFL فاصله OO' برابر با ۳۰ اینچ باشد عمق جستجو برابر با ۶۰ اینچ است.

ابزارهای با عمق جستجوی بسیار کم و جریان غیرمتمرکز (شعاع بررسی کم) Non-Focused Microtools- Microlog (ML)

- این ابزارهای ریز مقاومت دارای فاصله الکترودی به مراتب کمتر از سایر ابزارها هستند.
- این گونه ابزارها برای اندازه گیری مقاومت ویژه زون شسته شده R_{XO} و تشخیص لایه های تراوا از طریق مشخص کردن mud cake به کار می روند.



اهمیت اندازه گیری R_{XO} ?

- ML دارای سه الکتروود است که به صورت خطی بر روی یک کفشک پلاستیکی قرار دارند که به دیواره چاه می چسبند، تقریباً فاصله الکتروود ها اینچ است.
- به صورت الکتریکی در دو آرایش مختلف ترکیب شده اند، دو آرایش 2" Micronormal و 1" x 1" MicroInverse به صورت همزمان عمل می کنند.
- این ابزار بر اساس اصول یکسانی چون ابزار نرمال و جانبی طراحی شده است.

- پاسخهای ابزار ML در سازندهای مختلف

الف: سازندهای متخلخل و تراوا

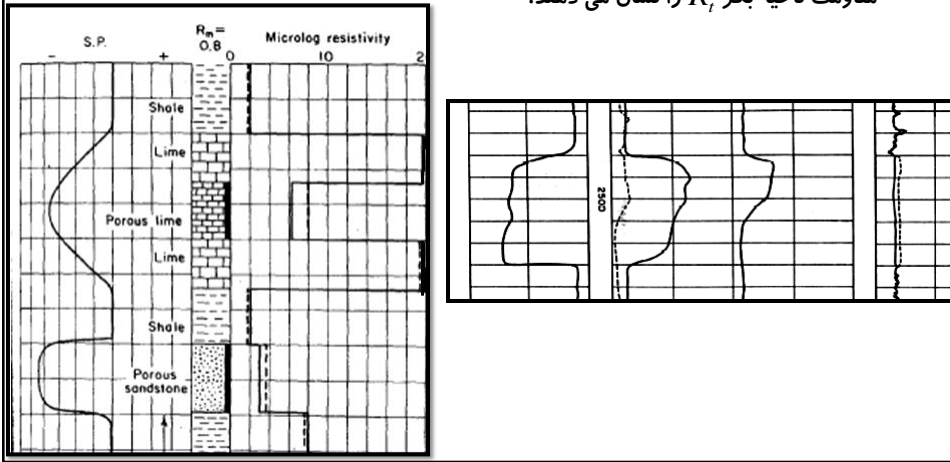
در صورتی که Mud cake وجود داشته باشد و $R_{xo} > R_{mc}$ باشد جداسازی مثبت و $R_2 > R_{1 \times 1}$ وجود خواهد داشت. اگر رخنه ضعیف، آب سازند شور و $R_{xo} > R_t$ باشد جدایش منفی ایجاد می شود.

ب: سازندهای شیلی

در اینجا چون رسوب گل روی چاه وجود ندارد دو منحنی حاصل از میکرولاگ جدای ضعیف منفی $R_{1 \times 1} > R_2$ را نشان می دهند.

ج: سازندهای متراکم

در سازندها Mud cake و پدیده نفوذ وجود (رخنه) وجود ندارد و هر دو سیستم در واقع مقاومت ناحیه بکر R_f را نشان می دهند.



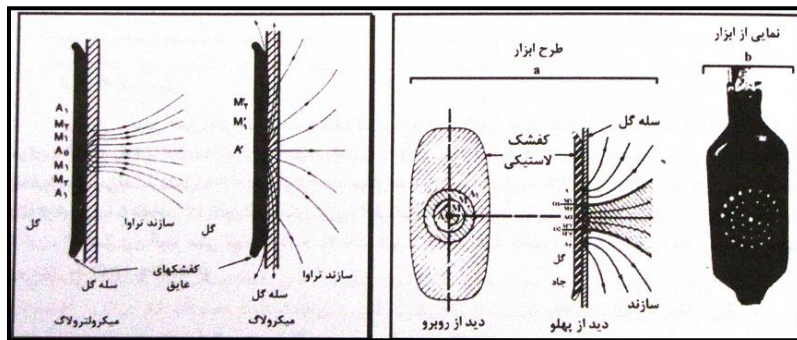
Focused Microtools

ابزارهای با عمق جستجوی بسیار کم و جریان متمرکز

Microlaterolog

۱. ابزار MLL

ML به شدت تحت تأثیر Mud cake قرار می گیرد. برای رفع این مشکل ابزار MLL ابداع شد. نحوه عملکرد این ابزار همانند LL7 است که الکترودها بر روی یک کفشک قرار گرفته اند. وضوح عمودی آن برابر با ۱/۷ اینچ و عمق بررسی نیز ۲ تا ۴ اینچ است.

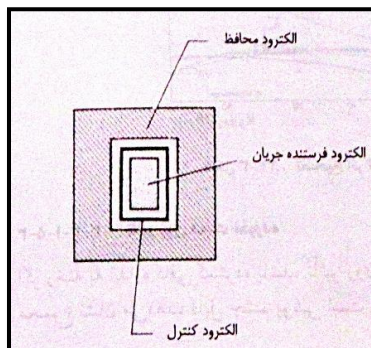


- چنانچه کفشک به خوبی به دیواره چاه چسبیده باشد نیازی به تصحیح اثرات چاه نیست ولی نسبت به اثرات Mud cake باید تصحیح شود.
- در لایه هایی که ضخیم تر از ۱/۷ اینچ باشند، لایه های مجاور تأثیری بر اندازه گیری ندارند.
- در صورتی که عمق آغشتگی کم بیشتر از چند اینچ باشد، زون دست نخورده تأثیری بر اندازه گیری ندارد و اگر رخنه بسیار کم باشد، اندازه گیری بین R_t و R_{XO} خواهد بود.

proximity tools

ابزار PL

- عملکرد این ابزار LL3 است با این تفاوت که الکترودها مستطیل شکل هستند و همگی متحدالمرکز هستند.



• از نظر اصول شبیه MLL است.

• طراحی PL و الکترودها به گونه ای است که کیک حفاری تا ضخامت ۴٪ اینچ تأثیر اندکی روی اندازه گیری دارد.

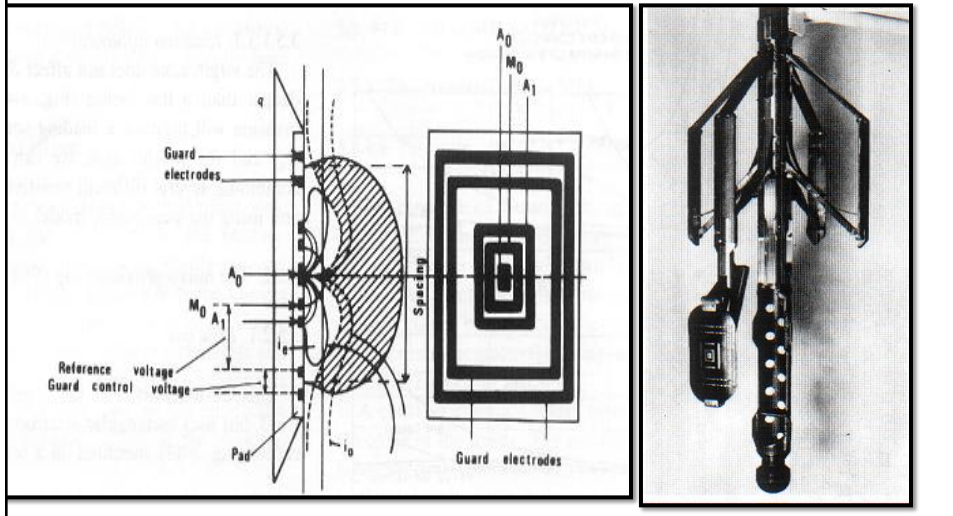
• قدرت تفکیک تقریباً برابر با ۶ اینچ است.

• عمق جستجوی PL به مذاتب بیشتر از ML و MLL است از این رو اگر عمق رخنه کم باشد پاسخ PL تحت تأثیر ناحیه بکر R_t قرار می گیرد.

Micro Spherically Focused log

۳. ابزار MSFL

- مقیاس کوچکتری از ابزار SFL است که بر روی یک کفشک نصب شده است.
- ابزار MSFL به صورت یک ابزار متمرکز کروی که برای جانشینی MLL و PL به وجود آمده است.



- MSFL دو مزیت اساسی بر سایر ابزارهای MLL و PL (R_{XO}) دارد:

۱- این ابزار را می توان با ابزارهای دیگر نظیر DLL و DIL به طور همزمان به کار برد در صورتی که MLL یا PL باید به طور جداگانه رانده شوند.

۲- محدودیت اصلی MLL حساسیت آن به Mud cake بوده و وقتی که ضخامت آن از حدود 3/8 اینچ فراتر رود پاسخ ابزار به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد. PL نسبت به کیک حفاری حساسیت کمتری دارد ولی با توجه به عمق جستجوی آن ممکن است تحت تأثیر ناحیه بکر قرار گیرد. این ابزار دارای حساسیت کمتری نسبت به Mud cake و در مقایسه با MLL دارد و عمق نفوذ آن نیز کمتر از PL است.

کاربرد نگارهای مقاومت ویژه

Water Saturation

✓ محاسبه درجه اشباع آب

$$S_w^n = \frac{R_o}{R_t}$$

✓ محاسبه تخلخل

$$F = \frac{R_o}{R_w}$$

✓ تعیین مقاومت ویژه آب سازندی:

در زونهای تمیز و اشباع از آب می توان نگار R_{wa} را محاسبه کرده و حداقل مقادیر حاصل را به عنوان R_w منظور کرد.

$$R_{wa} = \frac{R_t}{F}$$

✓ همبستگی یا تطابق چاهها:

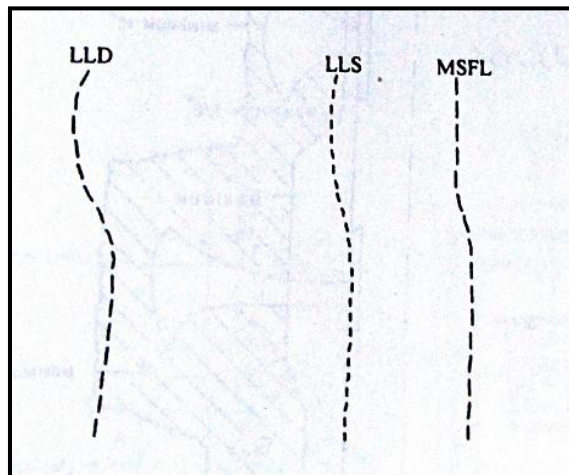
اولین کاربرد نگارهای مقاومت ویژه تطابق چاهها بود.

✓ تعیین ضخامت لایه ها

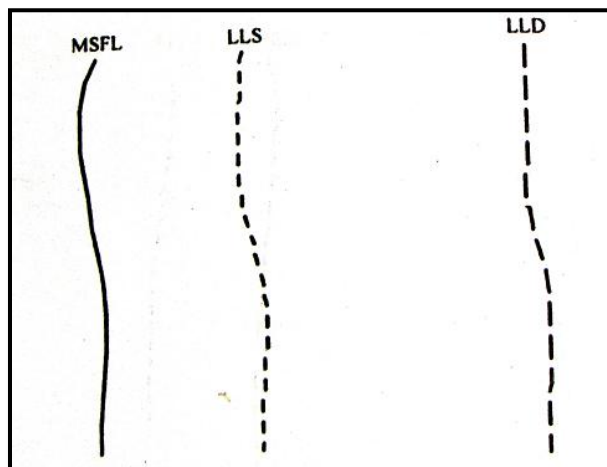
✓ مطالعه شکستگیها

✓ مطالعه لیتولوژی و رسوبشناسی

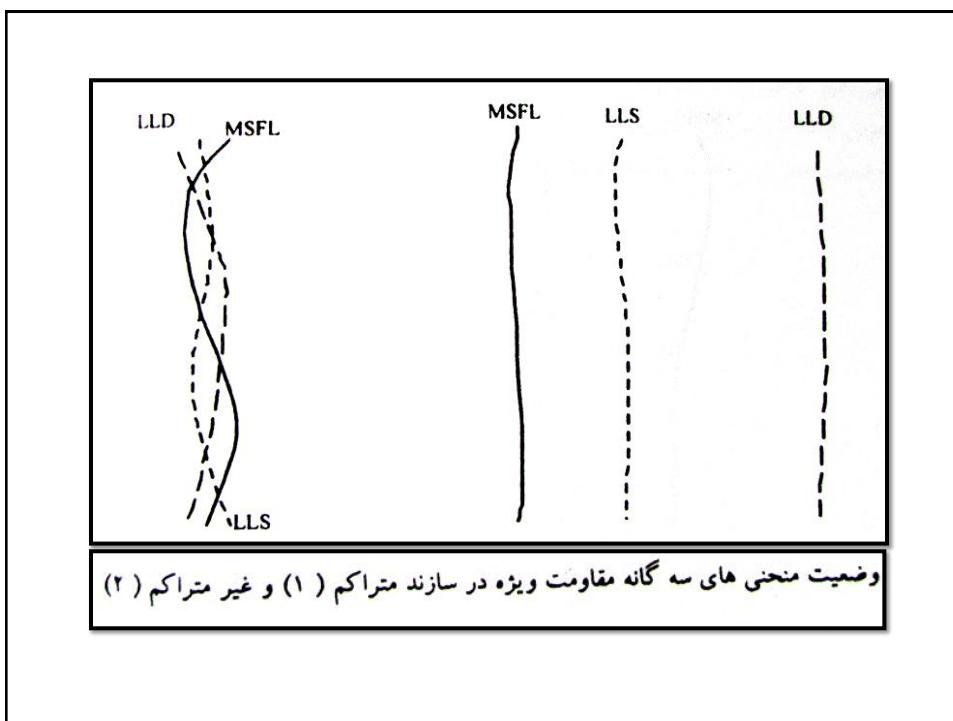
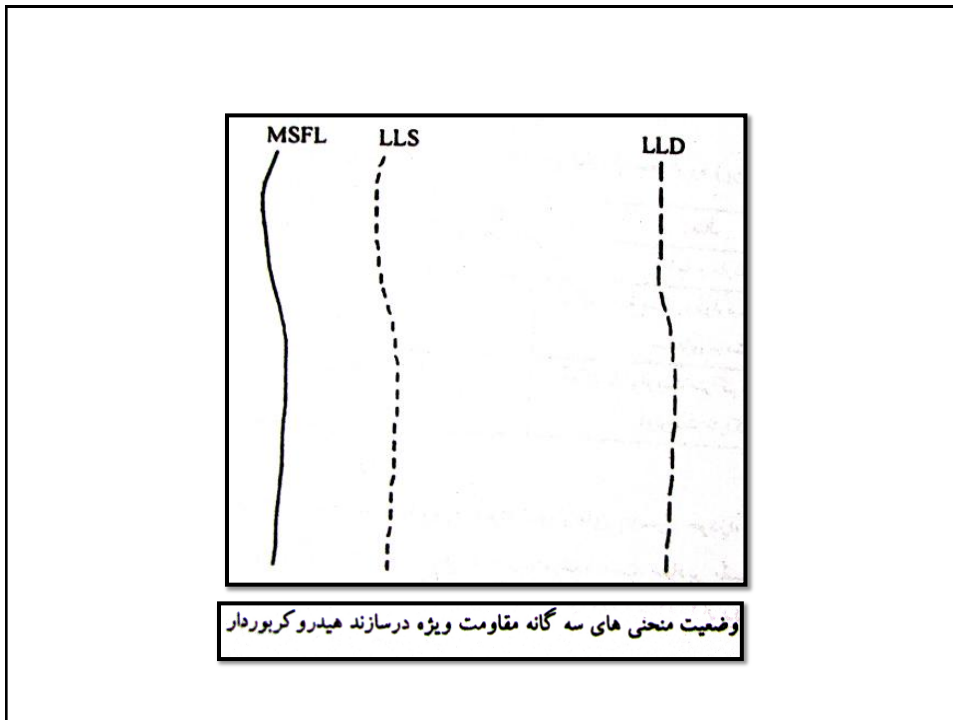
می تواند اطلاعاتی در خصوص لیتولوژی (رسی شدن سنگها) به دست دهد.

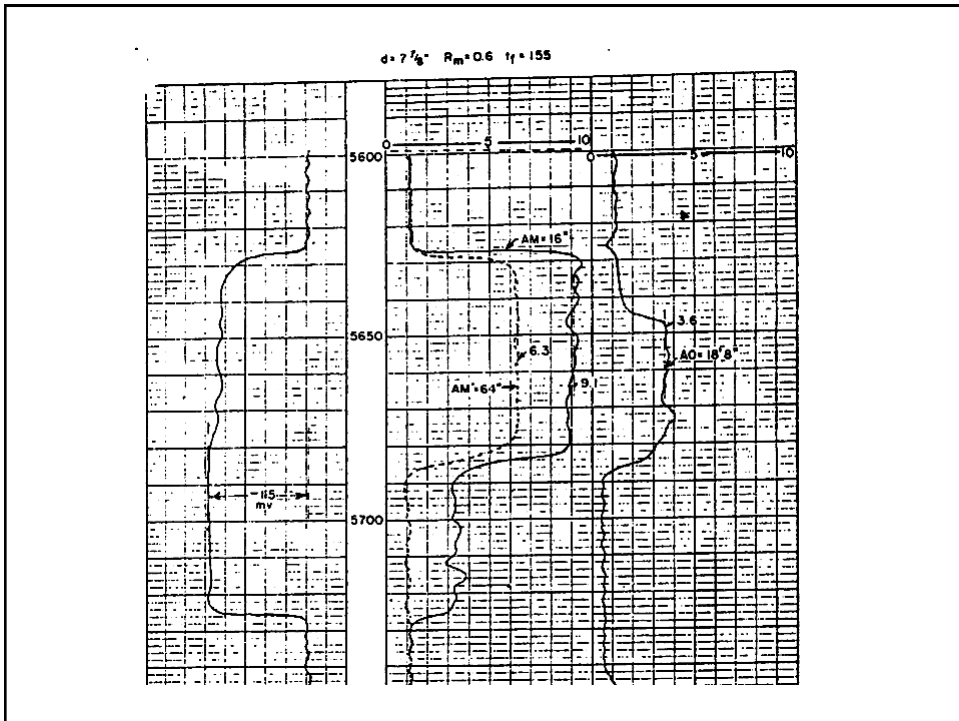
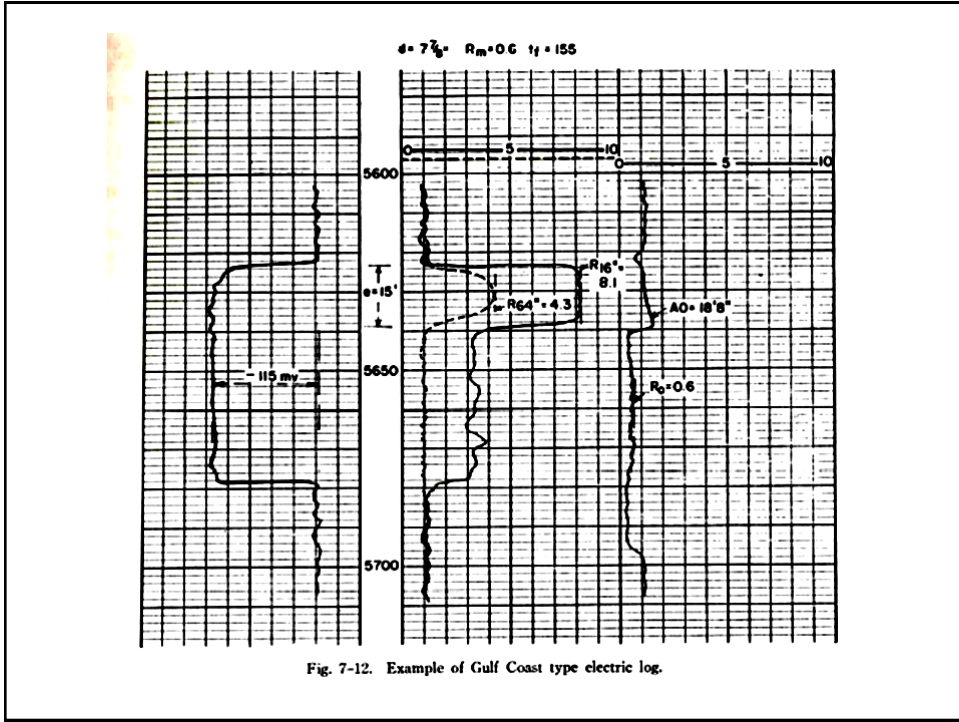


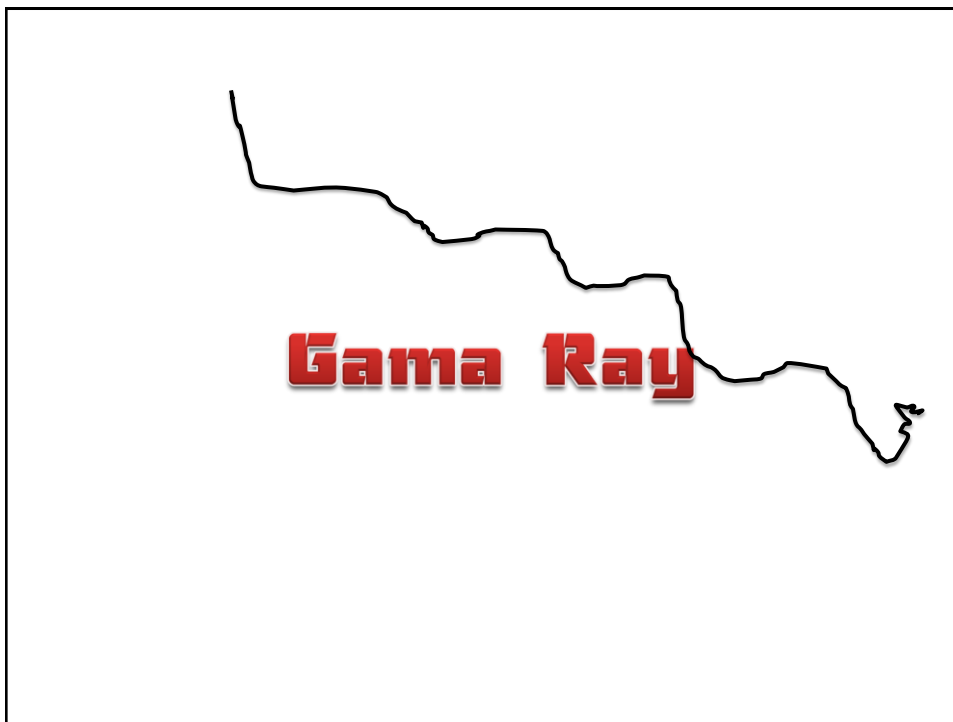
وضعیت منحنی های سه گانه مقاومت ویژه در شرایطی که آب سازند از گل حفاری شورتر باشد



وضعیت منحنی های سه گانه مقاومت ویژه در گل حفاری شور



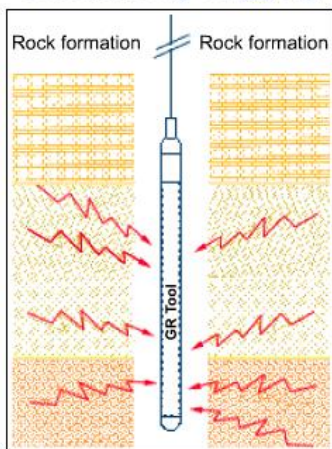




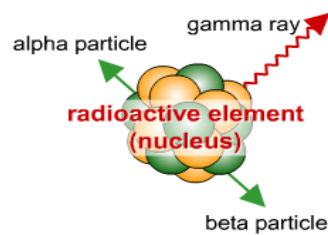
اندازه گیری گامای طبیعی GR

- عبارتست از اندازه گیری تشعشع طبیعی رادیواکتیویته سازند بر حسب عمق

Gamma Ray Logging



Radioactive Decay



- رادیواکتیویته طبیعی، متلاشی شدن و تبدیل خودبخودی اتم های بعضی از ایزوتوپ های مشخص به ایزوتوپ های دیگر است.
- مواد رادیواکتیو: موادی که از خود پرتوهای α ، β و γ ساطع می کنند را مواد رادیواکتیو گویند.
- ماده ممکن است به طور طبیعی از خود پرتو گسیل کند که در این صورت به آن رادیو اکتیویته طبیعی گویند.
- ایزوتوپ: عناصری که دارای عدد اتمی (Z) یکسان و جرم اتمی (Z) متفاوتند ایزوتوپهای آن عنصر نامیده می شوند.

واپاشی رادیواکتیو

- تابش α : ذرات α دارای بار مثبت بوده و ۲ پروتون و ۲ نوترون دارد. هسته ذره آلفا مانند اتم هلیوم است. دارای قدرت نفوذ بسیار کمی است.
- تابش β : ممکن در حین متلاشی شدن ایزوتوپ رادیواکتیو، یک ذره β از هسته اتم ساطع شود. ذره بتا از لحاظ فیزیکی مشابه الکترون است. قدرت نفوذ ذرات بتا از آلفا بیشتر است.
- تابش γ : تابش گاما را می توان به صورت یک موج الکترومغناطیس مثل نور یا اشعه ایکس به صورت فوتون در نظر گرفت. تابش گاما در هسته، منطبق بر انتقال از یک حالت به حالت دیگر، با انرژی کمتر و تابش انرژی یا فوتون که برابر تفاوت انرژی دو حالت است، می باشد. پرتوهای گاما دارای قدرت نفوذ بسیار زیادتری نسبت به پرتوهای آلفا و بتا هستند.

منشأ رادیواکتیویته طبیعی سنگها

- در سنگهای رسوبی عملاً فقط سه عنصر در پرتوزایی گاما مشارکت دارند:
- الف : پتاسیم $^{40}_{19}K$ با نیمه عمر 1.3×10^9 سال که در هنگام متلاشی شدن یک پرتو گاما و یک پرتو بتا منتشر می کند.
- ب: توریم $^{232}_{90}Th$ با نیمه عمر 1.4×10^{10} که در هنگام متلاشی شدن هفت ذره آلفا، پنج بتا و تعداد زیادی اشعه گاما با انرژیهای مختلف تولید می کند.
- ج: اورانیوم: ^{238}U با نیمه عمر 4.5×10^9 که در هنگام متلاشی شدن هشت ذره آلفا، شش بتا و تعداد زیادی اشعه گاما با انرژیهای مختلف تولید می کند.

سنگها و کانیهای دارای پتاسیم

- تبخیری ها
- کانی های رسی (در شبکه بلوری میکاها و پتاسیم جذب شده بین صفحات رسی)
- فلدسپات ها: ماسه سنگها به طور متوسط ۱۲٪ فلدسپات دارند.

سنگها و کانیهای دارای اورانیوم

- ذرات رسی که اورانیوم به طور سطحی جذب آنها می شود.
- فسفاتها
- بعضی کانیهای بسیار مقاوم و رسوبهای آواری رودخانه ای، دریاچه ای (زیرکن، آلایتیت و...)
- مواد آلی به خصوص آن دسته که منشأ گیاهی دارند از نظر اورانیوم غنی تر از آنهایی است که منشأ جلبکی دارند.

سنگها و کانیهای توریم دار

- در رسها با منشأ آواری
- در سنگهای دگرسان شده
- در ماسه های ساحلی

سنگهای رادیواکتیویته طبیعی

۱. شیل ها و رسهایی که به بیانی همیشه دارای مقداری Th، U و K هستند.
۲. نمک های پتاسیم
۳. فسفاتها
۴. بعضی از ماسه های آرکوزی، ماسه سنگها و کنگلومرا ها
۵. بعضی از کربناتها (از منشأ جلبکی و یا غنی از مواد آلی و فسفات)
۶. بعضی از زغال ها

اندازه گیری پرتوزایی گاما

- شمارشگر گیکر و مولر
- اتاق یونیزاسیون
- شمارشگر سوسوزن (بازده بیشتر، ابعاد کوچکتر و قدرت جداسازی قائم بهتر طبقات)
- پاسخ ابزار گاما تابعی از غلظت کانی رادیواکتیو بر حسب وزن و چگالی سنگ است:

$$GR = \frac{\rho V}{\rho_b} A$$

- GR تمام گامای قابل اندازه گیری
- ρ چگالی عنصر یا کانی رادیواکتیو
- V درصد حجمی کانی رادیواکتیو
- ρ_b چگالی سازند

- نمودار GR شاخص خوبی برای تعیین سازندهای شیلی و برآورد میزان شیل در سازندها می باشد زیرا شیل ها معمولی ترین سنگ های رادیواکتیویته هستند که بیشترین تابش گامای آنها ناشی از رسپاست.

$$V_{sh} \leq (V_{sh})GR = \frac{GR - GR_{\min}}{GR_{sh} - GR_{\min}}$$

- عمق جستجو

شعاع بررسی در ابزار گاما تابع چگالی سازند و محیط اطراف آن و انرژی امواج گاما است. هرچه چگالی سازند و گل حفاری و قطر چاه بیشتر باشد، جذب امواج گاما بیشتر بوده و عمق جستجو کاهش پیدا می کند.

با توجه به نوع detector بر روی ابزار وضوح عمودی این ابزار بین ۶ اینچ تا ۲ فوت و شعاع بررسی ۶ اینچ تا ۱ فوت است.

عوامل موثر برنگار گاما

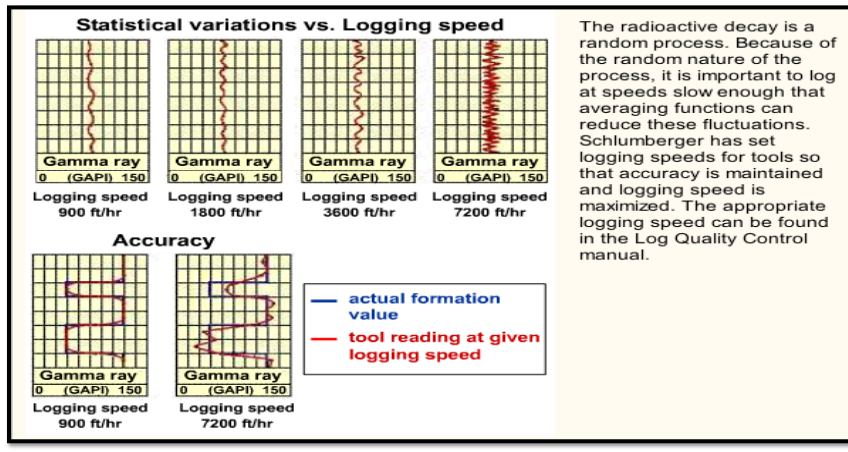
- تغییرات آماری

تمام پدیده های پرتوزایی (طبیعی یا القایی) ذاتا اتفاقی هستند. به همین دلیل شمارش در واحد زمان، حتی اگر دستگاه شمارشگر در مقابل یک سازند ثابت باقی بماند، نوسان در مقدار رادیواکتیویته ثبت شده دیده می شود. برای حذف این نوسان از یک فیلتر که در یک زمان کوتاه میانگین گیری را انجام می دهد استفاده می شود.

برای رسیدن به مقدار متوسط منطقی بایستی شمارش در هر نقطه را در یک فاصله زمانی انجام داد. به این فاصله زمانی، ثابت زمانی گفته می شود (زمان نمونه گیری).

- سرعت نمودارگیری

اگر سرعت ابزار کم باشد مقدار رادیواکتیویته ثبت شده بدلیل بالا بودن تعداد نمونه گیری به واقعیت نزدیکتر خواهد بود. اگر سرعت دستگاه زیاد باشد تعداد نمونه گیری در یک عمق مشخص کاهش یافته و خطا در نمودار به وجود خواهد آمد.



- شرایط چاه

پرتوهای گاما به وسیله سیال چاه، لوله مغزی و لوله جداری، سیمان، سله گل و... تضعیف می شوند. بنابراین باید برای هر یک از موارد ذکر شده، گامای قرائت شده را تصحیح کرد.

سیال چاه:

قطر چاه یا لوله جداری:

وضعیت قرار گیری سوند:

چگالی گل:

ترکیب گل: گلهایی که حاوی KCl هستند بدلیل حضور پتاسیم در گل باعث بروز خطا می شوند.

- ضخامت لایه ها

کالیبراسیون

Primary Calibration Standard

The American Petroleum Institute (API) has created a primary standard that defines the Gamma ray measurement units known as GAPI. This unit has become the standard throughout the world. The GAPI represents 1/200 of the difference between zones of high and low radiation of the Gamma ray calibration pit of the University of Houston.

کاربرد GR

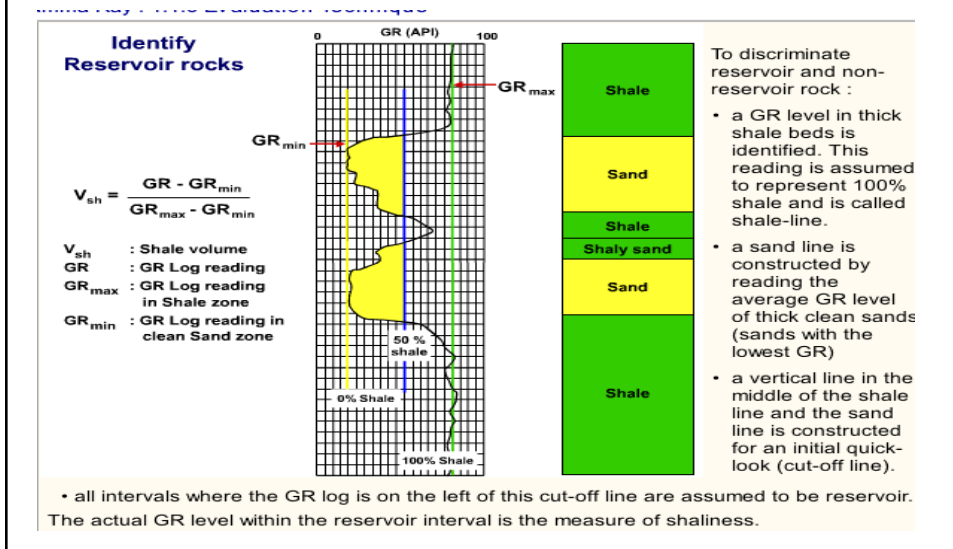
✓ ارزیابی لیتولوژی مثل شیل ها و تبخیری ها

GR Log Interpretation

In sedimentary formations, radioactive elements tend to concentrate in shales, causing a high GR log reading. Clean formations, such as sandstones or limestones, usually have a very low level of radioactivity and, consequently, a low GR log reading. Thus, the GR log reflects the shale content.

$$V_{sh} \leq (V_{sh})GR = \frac{GR - GR_{min}}{GR_{sh} - GR_{min}}$$

✓ برآورد درصد شیل در مخزن



✓ تطابق بین چاهها

✓ تشخیص ناپیوستگیها و شکستگیها (محل رسوب نمک های اورانیوم)

✓ رسوب شناسی : تغییر نمودار گاما با عمق اطلاعاتی درباره تغییر اندازه ذرات می دهد.

✓ ارزیابی نیمرخ تزریق با اضافه کردن مواد رایو اکتیو به سیال تزریق شده.

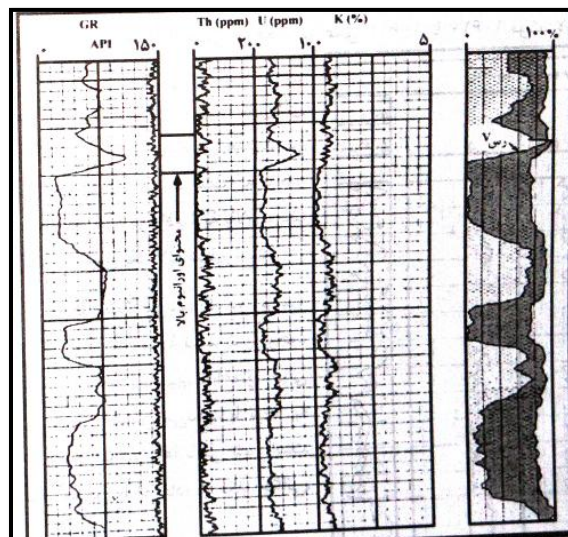
Natural Gamma Spectrometry

(NGS)

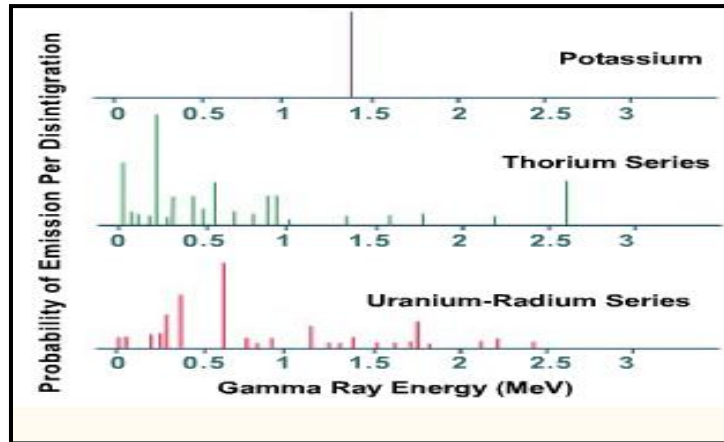
Natural Gamma Spectrometry

طیف سنجی گامای طبیعی

- همانند نگار GR، نگار NGS نیز رادیواکتیویته طبیعی سازند را اندازه گیری می کند.
- با این ابزار می توان غلظت عناصر رادیواکتیو پتاسیم، توریم و اورانیوم را اندازه گیری کرد.



- $^{40}_{19}K$ با ساطع کردن یک پرتوی گاما با انرژی $1/46 \text{ MeV}$ مشخص می شود.
- ^{238}U با ساطع کردن یک پرتوی گاما با انرژی $1/76 \text{ MeV}$ مشخص می شود.
- $^{232}_{90}Th$ با ساطع کردن یک پرتوی گاما با انرژی $2/62 \text{ MeV}$ مشخص می شود.



نمودار طیف سنجی پرتو گامای طبیعی

- بر روی دستگاه پنج درجه الکترونیکی متفاوت نصب شده است. درجه اول و دوم پرتوهای گامای کم انرژی و درجه های سوم و چهارم و پنجم به ترتیب پتاسیم با انرژی $1/46 \text{ MeV}$ ، بیسموت $1/76 \text{ MeV}$ و تالیوم دارای انرژی $2/62 \text{ MeV}$ را اندازه گیری کرده و هر کدام را به طور مجزا ثبت می کند.
- علاوه بر این، دستگاه NGT مقدار کل پرتو گاما را نیز بررسی و به صورت پرتو گامای کل $SGR=U+Th+K$ نمایش می دهد و پس از تصحیح (حذف مقدار اورانیوم) مقدار پرتوی گامای تصحیح شده $CGR=K+Th$ را ترسیم می کند.
- گاهی در این نمودارها نسبت های زیر نیز ثبت و بررسی می شود:
 - Th/K
 - Th/U
- علظت U و Th بر حسب ppm و غلظت K بر حسب درصد نشان داده می شود.
- عمق جستجو
نه تنها به اندازه چاه، چگالی گل و چگالی کل سازند بستگی دارد، بلکه به انرژی خود گاما نیز بستگی دارد. این مقدار حدود ۱۲ اینچ است.

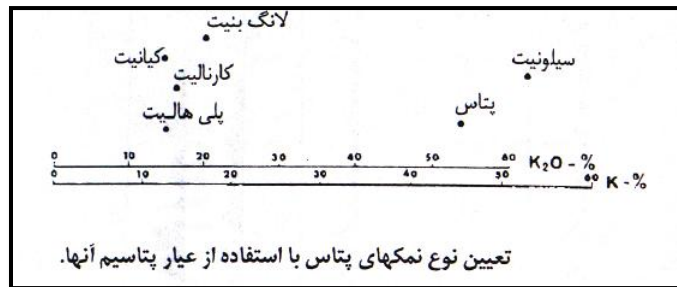
کاربرد داده های NGS

۱. تعیین لیتولوژی

- محیط های تبخیری

در این حالت نگار NGS به تنهایی می تواند:

- بین شیل و نمکهای پتاسیم دار تمایز قائل شود: زیرا شیل ها دارای پتاسیم به مراتب کمتری هستند و نیز توریم و اورانیوم در تبخیری ها دیده نمی شود.
- با استفاده از این نمودار می توان نوع کانی پتاسیم دار را با توجه به محتوای پتاسیم آن تشخیص داد.



- سری های ماسه - شیل

الف. برای محاسبه شیل از CGR استفاده می شود:

$$(V_{sh})_{Th} = (Th - Th_{\min}) / (Th_{sh} - Th_{\min})$$

$$(V_{sh})_K = (K - K_{\min}) / (K_{sh} - K_{\min})$$

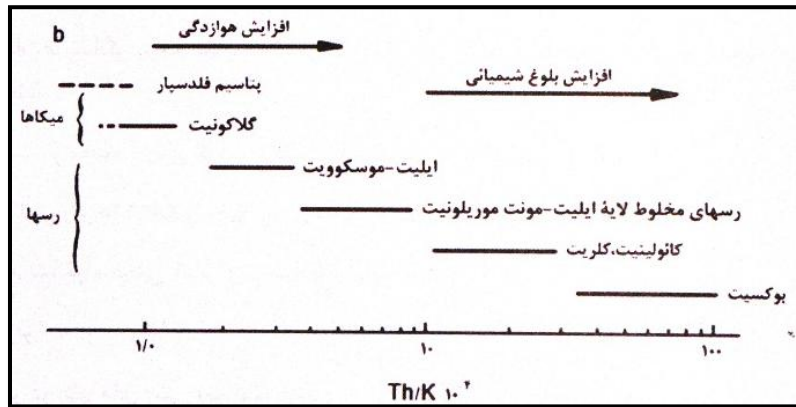
$$(V_{sh})_{CGR} = (CGR - CGR_{\min}) / (CGR_{sh} - CGR_{\min})$$

ب : ماسه سنگ های فلدسپاتی یا آرکوزها

دارای درصد بالایی از پتاسیم و جرم حجمی یا دانسیته پایین هستند. دارای Th/K پایین هستند.

ج : ماسه های میکادار

میکاهای دارای پتاسیم هستند و بنابراین درصد پتاسیم ماسه ها تابع درصد میکاهاست. چگالی آن بیشتر از $2/65$ است.



د : ماسه سنگهای گریوکی یا فلدسپاتی - میکایی

در این شرایط مقادیر اورانیوم و چگالی و Th/K بین دو حالت میکادار و فلدسپات دار خواهد بود.

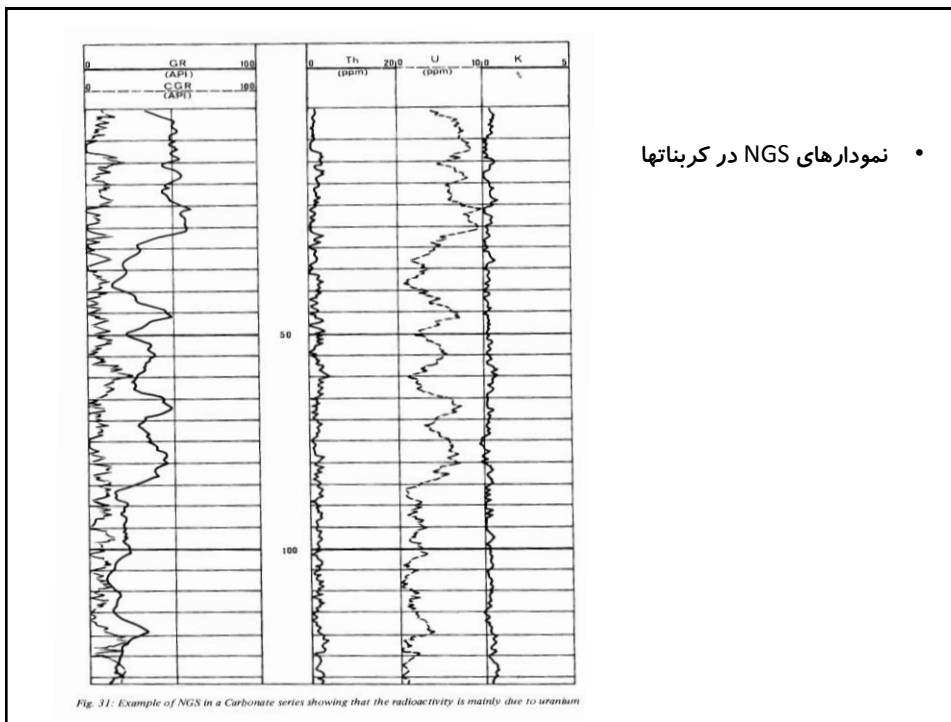
ه : کانی های سنگین در ماسه سنگها

بیشتر مواقع کانی های سنگین چون زیرکن، آلاتیت، مونازیت و اسفن حاوی U و Th هستند. در این شرایط فقط منحنی های U و Th دارای مقدار بالا بوده و منحنی K بدون تغییر است.

• سری کربناته

در کربناتهای خالص با منشأ شیمیایی Th وجود ندارد. بنابراین اگر NGS سطح K و Th را در حد صفر نشان دهد، این امر معادل با یک کربنات خالص است. اگر در همین شرایط U نزدیک به صفر باشد، کربنات در محیط اکسیدانی رسوب کرده است.

فسفاتها از اورانیوم بالایی برخوردارند.



۲. تطابق

بیک های موجود بر روی منحنی Th معمولا برای تطابق چاهها استفاده می شود.

۳. تشخیص ناپیوستگی ها

تغییرات ناگهانی در متوسط Th/K معمولا با ناپیوستگی ها معادل هستند.

۴. تشخیص شکستگیها

۵. میزان ماده آلی

۶. رسوب شناسی

اگر $Th/U < 2$ محیط دریایی (ارام) - تشکیل شیل های سیاه
اگر $2 < Th/U < 7$ محیط حد واسط - تشکیل شیل های زرد و قرمز دریایی
اگر $Th/U > 7$ محیط اکسیده و شسته شده

تأثیر عوامل مختلف بر NGS

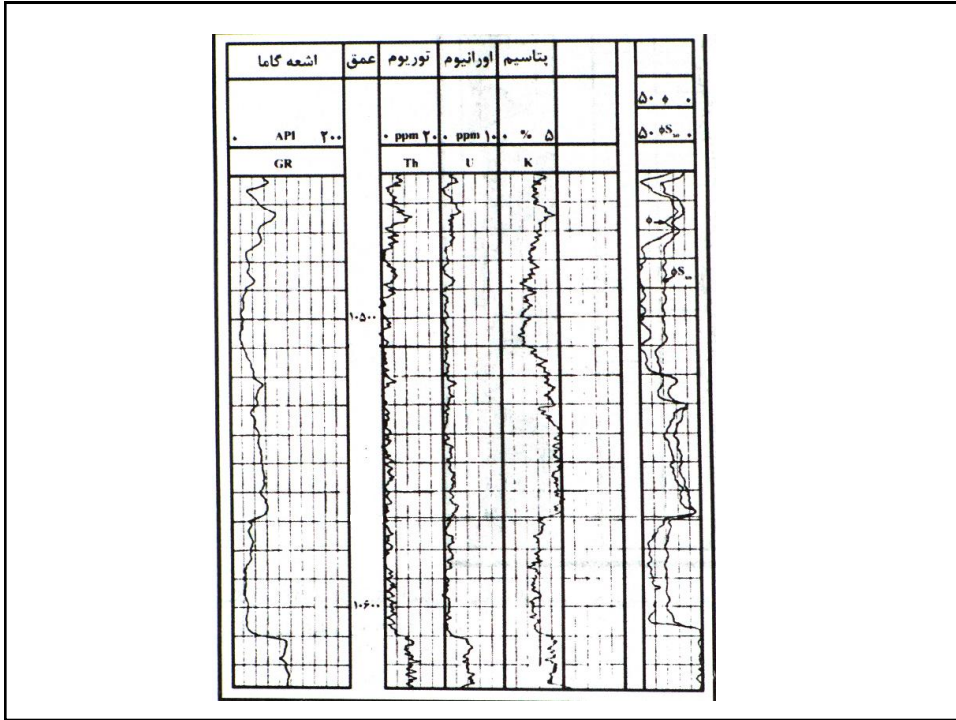
۱. عوامل زمین شناسی

۲. عوامل ابزاری

تغییرات آماری، سرعت ابزار، زمان مرده و وضعیت قرار گیری سوند

۳. عوامل محیطی

قطر چاه، چگالی گل، محتوای مواد رادیواکتیو گل، عدد اتمی موثر گل حفاری و لوله جداری

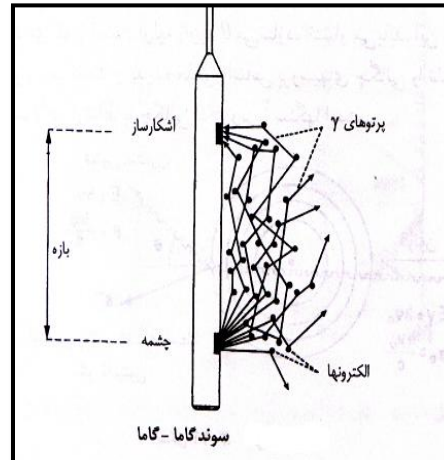
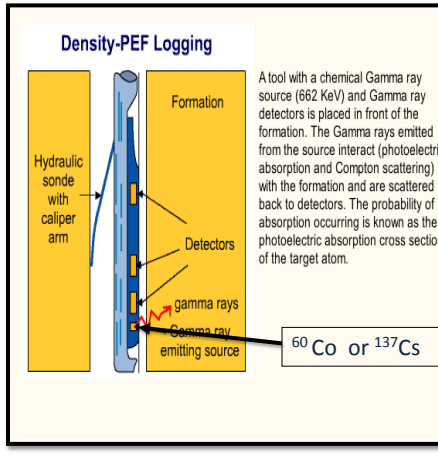


Density Log or Gamma-Gamma Log

Density Logging

لاگ چگالی یا گاما گاما

ابزارهای چگالی، شدت امواج گامای پخش شده در فاصله ای مشخص از فرستنده را اندازه گیری می کنند. زمانی که چگالی سازند زیاد باشد تعداد الکترونها با پیروی از چگالی زیاد خواهند بود. زیاد بودن تعداد الکترونها در واحد حجم به معنی افزایش برخورد فوتونها با الکترونها و کاهش انرژی آنهاست.

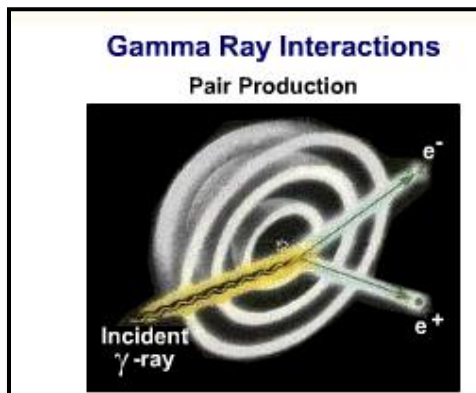


پرتوهای گاما با سازند برخورد کرده و بر اساس انرژی هایی که دارند واکنشهای مختلفی انجام می شود:

Pair production

۱. تولید جفت

در صورتی که انرژی فوتون بیش از 1.02 MeV باشد، پدیده تولید دوگانه اتفاق می افتد. حاصل برخورد آن با ماده، ایجاد یک نگاترون و یک پوزیترون است که انرژی هر کدام 0.51 MeV می باشد.



Compton Scattering

۲. اثر کامپتون (پراکنش کامپتون)

زمانی که یک فوتون با انرژی بین 150keV و 1.02MeV با یک الکترون برخورد نماید، انرژی آن بین انرژی جنبشی که برای خروج الکترون از مدار مصرف می شود و یک فوتون پراکنده در جهتی که با جهت اصلی زاویه ای برابر θ می سازد، تقسیم می گردد. برخورد الاستیکی بین اشعه گاما و یک الکترون باعث می گردد که اشعه گاما از مسیر خود منحرف و در مسیر دیگری ولی با انرژی کمتر به حرکت خود ادامه دهد. این فرایند کلاً با الکترونهای خارجی یا آخرین مدار اتمها اتفاق می افتد.

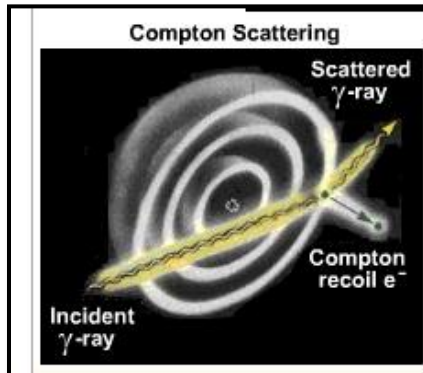
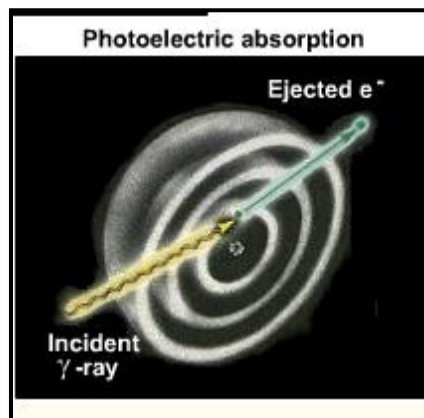


Photo Electric

۳. اثر فوتوالکتریک

- زمانی که فوتون با انرژی کم (زیر 150keV) به یک اتم برخورد می کند، فوتون می تواند تمام انرژی خود را به صورت جنبشی به الکترون انتقال دهد. در این فرایند الکترون از مدار خود خارج می گردد و اشعه گاما نیز جذب می شود.
- زمانی که انرژی اشعه گاما کم و عدد اتمی عنصر زیاد باشد، اثر فوتوالکتریک بیشترین حد خود را داراست.



رابطه جذب

- اگر L (بازه) به اندازه کافی بزرگ باشد، شدت پرتو گاما، می تواند بر حسب تابع نمایی چگالی الکترونی سازند بیان می شود.

$$I = I_0 e^{\mu \rho_e L}$$

- رابطه بین چگالی الکترونی و چگالی سازند

$$\rho_e = \rho_b \left(\frac{Z}{A} \right) N$$

- از طرفی نسبت Z/A در اغلب عناصر و ترکیب های تشکیل دهنده سنگهای مخزن نزدیک 0.5 است به جز هیدروژن که $Z/A=1$ است. به این ترتیب شاخص چگالی الکترونی به صورت زیر تعریف می شود:

$$(\rho_e)_i = \frac{2\rho_e}{N}$$

- مقدار ρ_e و ρ_b برای سه کانی اصلی کلسیت، دولومیت و کوارتز تقریباً برابر است. اما در مورد آب بین این دو کمیت 11% اختلاف از وجود هیدروژن ناشی می شود. با این ترتیب با افزایش تخلخل تفاوت بیشتر می شود.

- زمانی که ابزار چگالی برای آهک اشباع از آب شیرین اشباع کالیبره شده باشد:

$$\rho_a = 1.0704 \times \rho_e - 0.1883$$

- در ماسه سنگها، آهک و دولومیت اشباع از آب ρ_a در عمل برابر با ρ_b است.

ابزارها

- (FDL) Formation Density Log: دارای یک گیرنده و به دیواره چاه می چسبند.
- (FDC) Compensated Formation Density: دارای دو گیرنده و دقت بالا و تقریباً نیاز به تصحیح ندارد. دارای کفشی است که لبه تیزی داشته و باعث خراشیده شده بخشی از کیک حفاری می شود.
- شعاع بررسی
 - هر قدر چگالی سازند بیشتر باشد، عمق جستجو کمتر خواهد بود در تخلخل های کم این مقدار کاهش پیدا می کند. در سازند های متخلخل تراوا، این ابزار فقط زون شسته شده را بررسی می کند. شعاع بررسی این ابزار تقریباً ۶ اینچ است.
- وضوح عمودی
 - برای FDL ۱۶ اینچ و برای FDC ۱۰ اینچ است.
- نقطه اندازه گیری
 - در وسط آشکار ساز و چشمه یا بین دو آشکار ساز

فاکتور های اساسی موثر بر اندازه گیری چگالی

۱. شیل ها: اثر شیل ها بر نگار چگالی به مراتب کمتر از تأثیرشان بر نگار نوترون است.

$$\rho_{c-sh} = \rho_b + V_{sh} (\rho_{ma} - \rho_{sh})$$

۲. آب

سیال موجود در زون مورد جستجوی ابزار چگالی در صورتی که سازند متخلخل و تراوا باشد فیلتره گل است. چگالی گل در این بخش تابع تغییرات دما، فشار و درجه شوری است.

۳. هیدروکربن

چگالی هیدروکربنها به ویژه اگر گاز باشد، بسیار کمتر از آب است و بنابراین هنگام محاسبه تخلخل، سازندی که دارای گاز است بسیار متخلخل تر از سازندی با تخلخل واقعی برابر ولی اشباع از آب دیده می شود.

تفسیر

در سازندهایی که دارای گاز و هیدروکربنهای سبک نیستند.

$$\phi_D = \frac{(\rho_{ma} - \rho_b)}{(\rho_{ma} - \rho_f)}$$

تأثیر عوامل مختلف بر نمودار چگالی

- عوامل ابزاری
- محیط چاه
- قطر چاه : زمانی که بیشتر از ۱۰ اینچ باشد، تأثیر بیشتری دارد.
- سیال حفاری: تأثیر سیال گاز پایه بیشتر است.
- ناهمواری دیواره چاه:

Mud cake

لوله جداری

عمق آغشتگی

طبیعت سیالات موجود در حیطه جستجوی ابزار را تغییر می دهد.

• ترکیب سنگ

• بافت سنگ

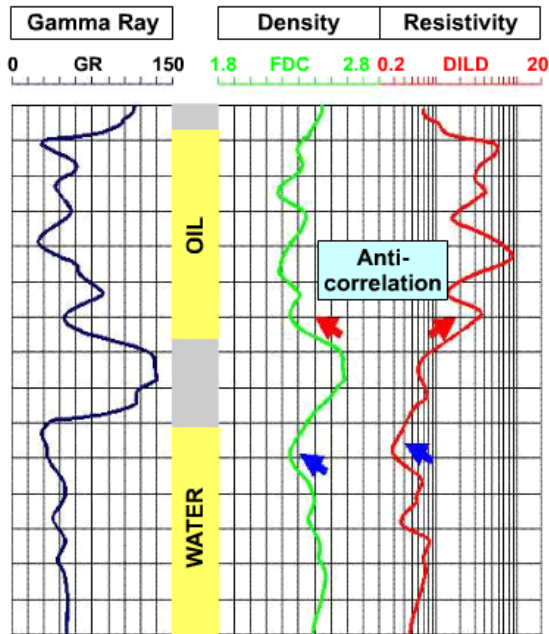
• فشار

چگالی و عمق زون آغشته

کاربرد لاگ چگالی

- اندازه گیری چگالی
- مهمترین کاربرد نگار چگالی محاسبه تخلخل است. در صورت مشخص بودن چگالی ماتریکس و سیال
- در مقایسه تکامل قائم چگالی ماسه ها و شیل ها در مقابل عمق، برای ارزیابی فشردگی
- مقایسه نگارهای چگالی، نوترون و مقاومت ویژه باعث تشخیص سریع و دقیق سیالات مخزن و محل تماس آن ها می شود.
- تطابق چاهها

Hydrocarbon effect



Water bearing intervals are characterized by low resistivity and tramlining between density and resistivity.

The ρ_b decreases when the water is replaced by oil in formation with the same porosity. Thus, the hydrocarbon bearing intervals are not only characterized by high resistivity but often by an anti-correlation between the density and the resistivity log.

معمولا همراه نمودار چگالی منحنی دیگری به نام منحنی تغییرات چگالی آورده می شود که مقدار تصحیح شده این نمودار را نشان می دهد. RHOB

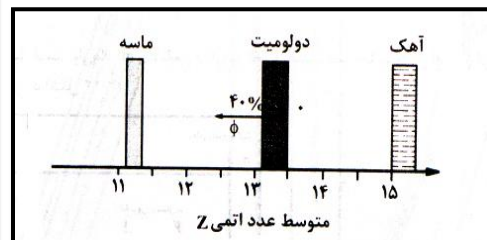
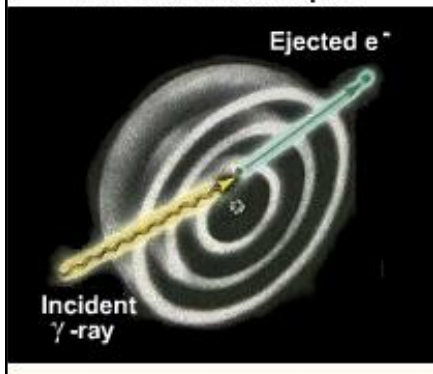


Litho-Density Tools

ابزار لیتو دنسیتی

در این ابزار که نوع جدیدتری از ابزار های چگالی است علاوه بر اندازه گیری چگالی، سطح مقطع جذب فوتوالکتریک را اندازه گیری می کند که می تواند اطلاعات بیشتری را در مورد لیتولوژی فراهم کند. در واقع نوع پیشرفته FDC است. با استفاده از عدد اتمی متوسط می توان کانی های مهم تشکیل دهنده سازند را تشخیص داد.

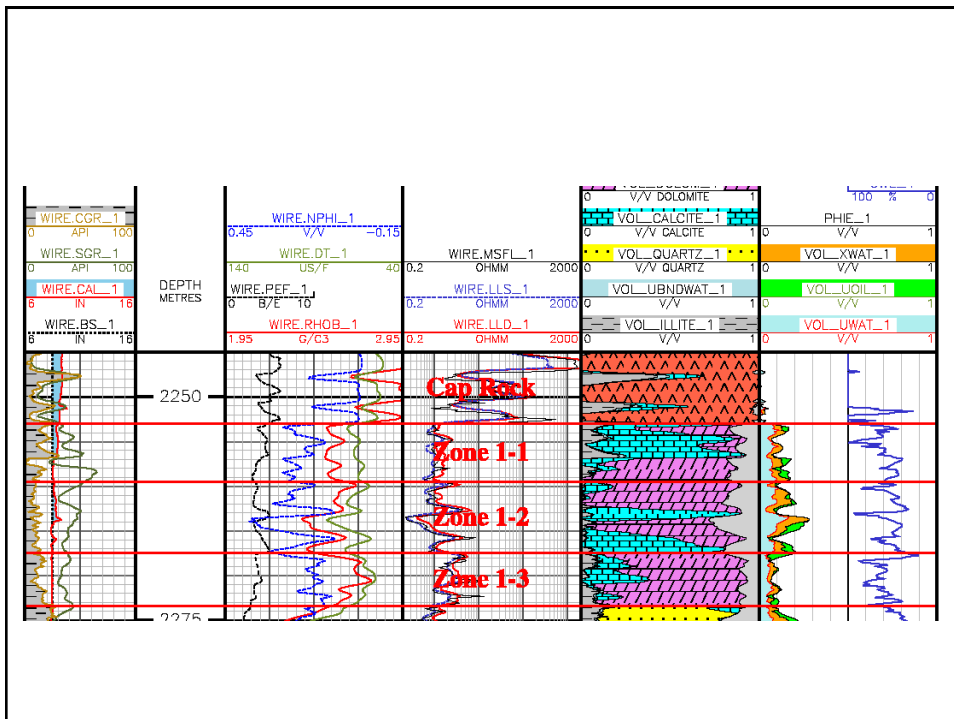
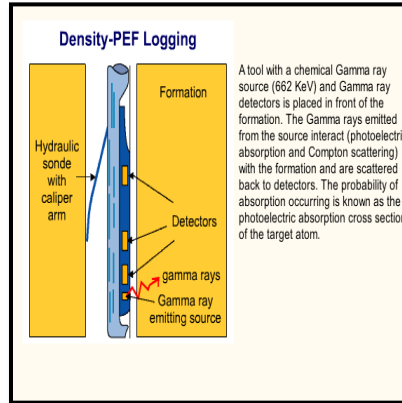
Photoelectric absorption



اندیس جذب فوتوالکتریک P_e

اندیس جذب فوتوالکتریک را که ابزار اندازه گیری می کند متناسب با عدد اتمی و سطح مقطع جذب فوتوالکتریکی کانیهای تشکیل دهنده سازند است.

Elements and Compounds	Atomic Number (Z)	Atomic Weight (A)	Photoelectric Index (PEF)
Hydrogen	1	1.008	0.00025
Carbon	6	12.011	0.15898
Oxygen	8	16	0.44784
Sodium	11	22.99	1.4093
Magnesium	12	24.32	1.9277
Aluminium	13	26.98	2.5715
Silicon	14	28.09	3.3579
Sulphur	16	32.07	5.4304
Chlorine	17	35.46	6.7549
Potassium	19	39.1	10.081
Calcium	20	40.08	12.126
Quartz	11.78	60.09	1.806
Calcite	15.71	100.09	5.084
Dolomite	13.74	184.42	3.142
Anhydrite	15.69	136.146	5.055
Sylvite	18.13	74.557	8.51
Halite	15.3	58.45	4.169
Gypsum	14.07	172.18	3.42

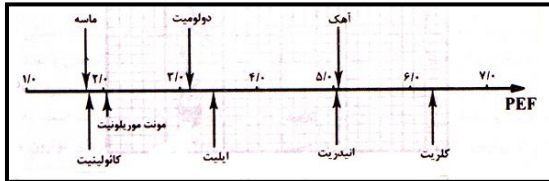


عمق جستجو:

تابع چگالی سازند است. حدود ۱۰ اینچ است.

قدرت تفکیک قائم:

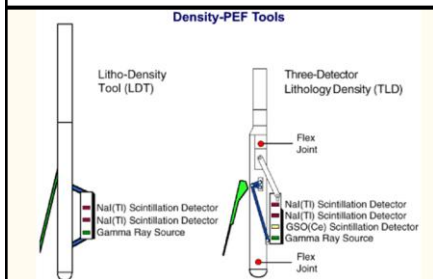
این مقدار در LTD کمتر از FDC و در حدود کمتر از ۱۰ اینچ است.



کاربرد لیتودنسیته

✓ ترکیب کانی شناسی

✓ تشخیص ناپیوستگیها



Neutron Log

Neutron Log

لاگ نوترون

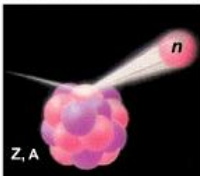
- روش نوترون یکی از روشهای چاه پیمایی است که به منظور تعیین تخلخل، نوع سیال و سنگ شناسی (به همراه لاگ چگالی سنجی) استفاده می گردد.
- در این روش به کمک چشمه های پرتوزای مناسب، سازندها با نوترونهای سریع و انرژی اولیه ای بین ۴ تا ۶ مگا الکترون ولت به شدت بمباران می شوند. به دلیل سرعت اولیه بسیار زیاد، (۱۰۰۰۰ km/s) نوترونها قدرت نفوذ بسیار زیادی دارند.
- نوترون ها هم به صورت الاستیکی و هم به صورت غیر الاستیکی با هسته اتم ها در سازند و مواد اطراف فرستنده برخورد کرده و به تدریج انرژی خود را از دست می دهند و طی این برخورد ها سه مرحله رخ می دهد:

۱. مرحله کند شدن نوترونها یا کاهش سرعت
۲. مرحله پخش یا انتشار
۳. مرحله گیراندازش

۱. مرحله کند شدن نوترونها

- در این مرحله نوترونهای سریع به دنبال برخوردهای کشسان با هسته اتم مواد کند می شوند. میزان کاهش انرژی نوترون در هر برخورد، به زاویه برخورد و جرم هسته بستگی دارد. حداکثر کاهش سرعت زمانی صورت می گیرد که جرم هسته و نوترون با هم برابر باشند.
- از میان عناصر هیدروژن بیشترین تأثیر در کاهش سرعت نوترون را دارد.
- احتمال برخورد نوترون با یک عنصر خاص به تعداد اتم های آن عنصر در واحد حجم و سطح مقطع موثر اتمی آن وابسته است.
- نوترونهای سریع در اثر برخورد با اتمها به خصوص اتم هیدروژن کند میشوند که محدوده انرژی بین ۰/۱ تا ۱۰۰ الکترون ولت را مرحله اپی ترمیک (اپی ترمال) می نامند.
- زمانی که انرژی و سرعت نوترون به مقدار ۰/۰۲۵ الکترون ولت و ۲۵۰۰ متر بر ثانیه برسد، این حالت را ترمیک (ترمال) گویند.

Elastic Neutron Scattering



Neutron - Energy Loss

Little energy loss to N

Little energy loss to N

Maximum energy loss to N

■ Kinetic energy of the neutron prior to collision

■ Kinetic energy passed on to the particle after the collision

■ Kinetic energy of the neutron after the collision

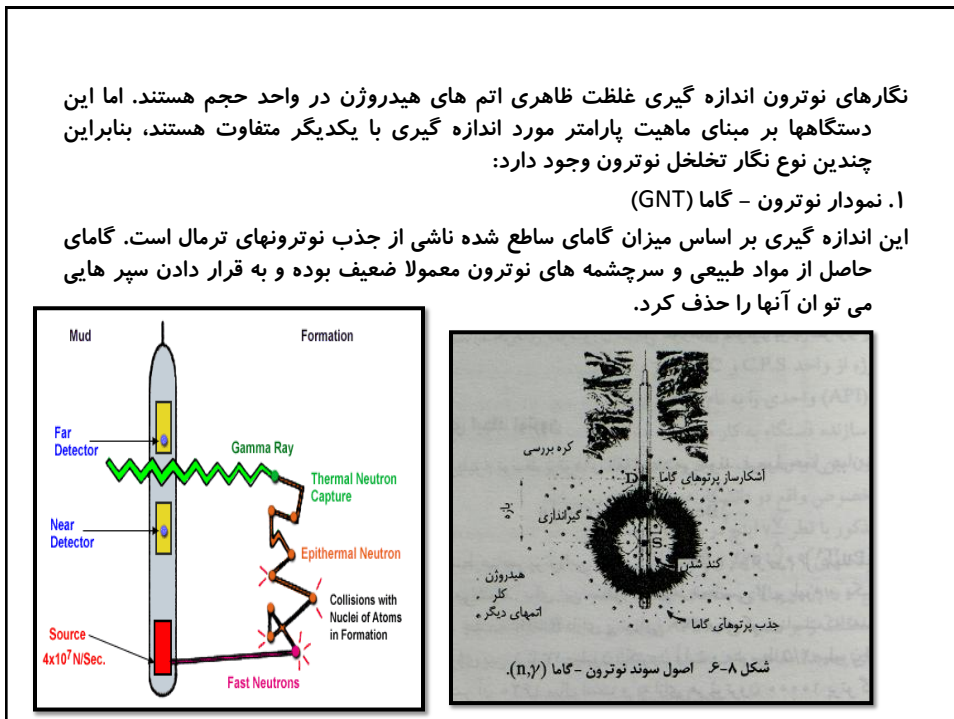
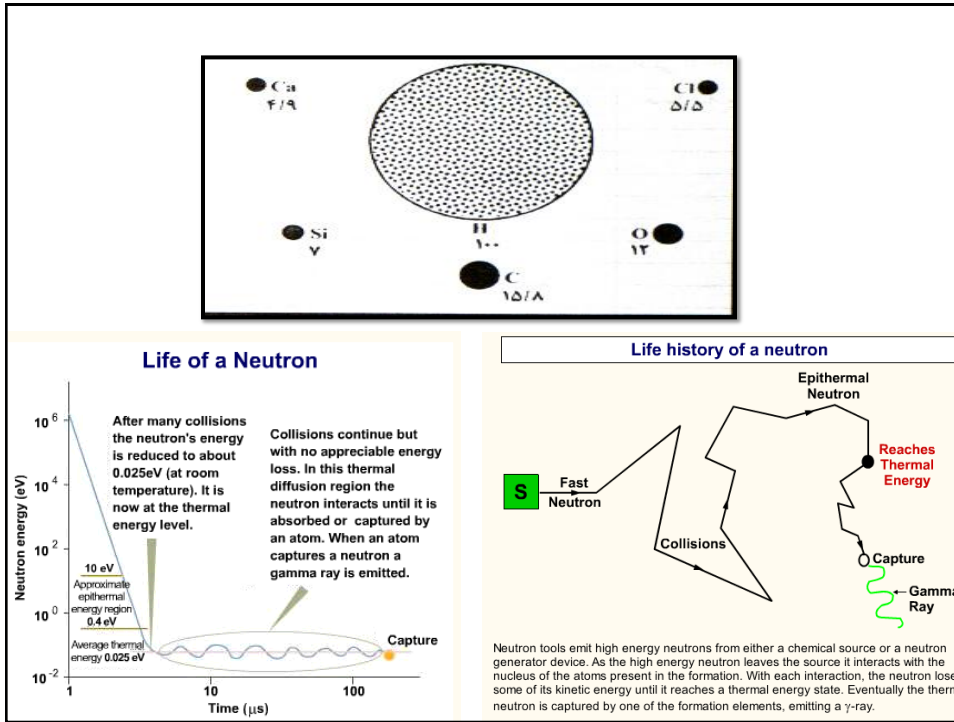
The neutron energy loss for any particular collision depends upon the mass of the neutron and the mass of the element or particle being struck. The maximum loss of energy occurs when the neutron collides with formation nuclei with nearly the same mass.

۲. مرحله انتشار
نوترونهای ترمیک به حرکت خود ادامه داده و با هسته عناصر موجود در سازند برخورد می کنند. در این مرحله که به آن پخش ترمیک گویند انرژی متوسط نوترونها ثابت می ماند.

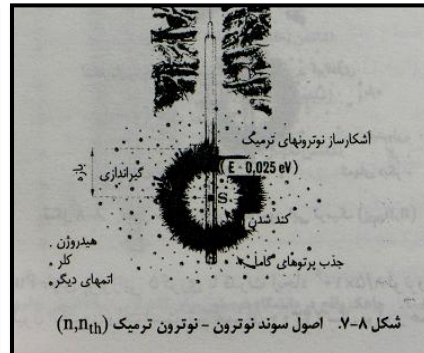
۳. مرحله جذب یا گیراندازش
گاهی در مدتی که انتشار صورت می گیرد، بعضی از اتمها، نوترون های ترمیک را جذب می کنند. با جذب نوترون هسته اتم تحریک شده و هنگام بازگشت به حالت اولیه پایدار، یک یا چندین اشعه گاما ساطع می کند.

برم دارای مقطع گیراندازی بزرگی است و در نتیجه امکان جذب نوترون ترمیک توسط آن زیاد است. اما حضور برم در سازند استثنایی است. کلر و آهن که به نسبت فراوان در سنگها یافت می شوند نیز جذب کننده خوبی هستند. در عمل هسته های عنصر کلر به دلیل فراوانی بیشتر در جذب نوترونهای ترمیک موثرترند.

Thermal Neutron Absorption



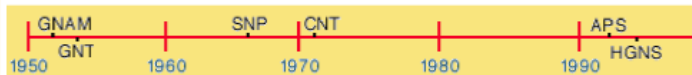
۲. نمودار نوترون - نوترون ترمال (NT)
این نگار غلظت نوترونهای ترمال (با انرژی ۰/۰۲۵ الکترون ولت) را اندازه گیری می کند. از شمارشگر هلیوم ۳ استفاده می شود.
۳. نمودار نوترون - نوترون اپی ترمال (SNP, CNT-G)
در این نمودار چگالی نوترونهای اپی ترمال (با انرژی بین ۰/۱ تا ۱۰۰ الکترون ولت) اندازه گیری می شود.



ابزارهای نوترون شولمبرژه

۱. ابزار GNT: از یک گیرنده که هم نسبت به پرتوگاما و هم نسبت به نوترون حساس بودند، استفاده می شود. به شدت تحت تأثیر شوری سیالات، دما، فشار، اندازه چاه، کیک حفاری و چگالی گل قرار می گیرد. هم در چاههای باز و هم در چاههای دارای لوله جداری قابل استفاده است. این نگار بر حسب API است.
۲. ابزار SNP: منبع نوترون و گیرنده بر روی یک کفشک نصب شده اند که به دیواره چاه می چسبند. بر حسب واحد تخلخل نشان داده می شود (فقط در چاههای باز).
- SNP چند مزیت نسبت به ابزار GNT دارد:
- الف: در SNP گیرنده و فرستنده به دیواره می چسبند.
- ب: در SNP نوترونهای اپی ترمال اندازه گیری می شوند به این ترتیب تأثیر جذب کننده های نوترون حذف می شود.
۳. ابزار CNT: دارای دو گیرنده است و بنابراین اثرات چاه کاهش پیدا می کند.
- CNT-A (CNL): نوترونهای ترمال را اندازه گیری می کند. وجود عناصر جذب کننده می تواند بر پاسخ ابزار تأثیر گذار باشد (فقط در چاه پر).
- CNT-G (DNL): علاوه بر دو گیرنده نوترون ترمال، دو گیرنده نوترون اپی ترمال نیز دارد.

Neutron Tool History



Neutron Porosity Tool Summary

	Basic Make-up	Advances and Response
GNAM	Ra-Be chemical source and one Geiger-Muller γ -ray detector	First neutron porosity tool
GNT	Pu-Be chemical source and one Geiger-Muller γ -ray detector	More reliable than GNT and 20" resolution
SNP	Pu-Be chemical source (later replaced by Am-Be) and one He ³ epithermal neutron detector	Epithermal pad tool with quantitative output and 15" resolution
CNT	Am-Be chemical source and two He ³ thermal neutron detectors	Combinable two-detector compensated thermal tool with environmental correction capabilities and 12" resolution (using enhanced resolution processing)
HGNS	Same as CNT	Popular CNT type measurement with Platform Express benefits
APS	Minitron source, one He ³ thermal neutron detector, and four He ³ epithermal neutron detectors	Superior epithermal measurement with porosity output, which is nearly free from matrix effects. Also a formation sigma measurement, and 4" resolution

- ✓ در سازند های شیلی تخلص بدست آمده از گیرنده های اپی ترمال کمتر از گیرنده های ترمال بوده و به تخلص بدست آمده از نگار چگالی نزدیکتر است.
- ✓ GNAM اولین ابزار نوترون (از نوع گاما-نوترون) بوده است.

شعاع بررسی

- شعاع بررسی بستگی به غلظت اتمهای هیدروژن در سازند و فاصله گیرنده - فرستنده دارد.
- برای CNT حدود ۱۲ اینچ و برای SNP فقط ۸ اینچ است.
- هر چه تعداد اتمهای هیدروژن بیشتر باشد، شعاع کره نفوذ کوچکتر است.

GNAM	20-26"
GNT	15.5- 19.5"
SNP	16"
CNT	10"

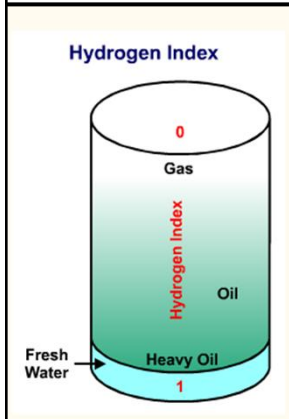
جدا سازی قائم

عوامل موثر بر اندازه گیری

الف- هیدروژن

هیدروژن نقش اساسی در کند کردن نوترونها دارد. نگارهای نوترون غلظت هیدروژن را اندازه گیری می کنند.

اندیس هیدروژن (HI): نسبت غلظت اتم های هیدروژن در واحد حجم سازند به غلظت اتم های هیدروژن در آب خالص در دمای ۷۵ درجه فارنهایت.



▪ هیدروژن در آب یا هیدروکربور موجود در خلل و فرج وجود دارد که این سیالات در فضای متخلخل سنگها می تواند وجود داشته باشند. به همین دلیل می توان گفت که ابزار نوترون وسیله ای است که برای تعیین درجه تخلخل سازند هایی که خلل و فرج آنها محتوی آب و هیدرو کربن است.

$$(HI)_{hy} = \left(\frac{9n}{17} + n \right) \rho_{hy}$$

ب: شیل ها و کانیهای رسی

بعضی از کانی ها در شبکه ملکولی خود دارای اتم هیدروژن هستند. این هیدروژن می تواند آب موجود در ساختار بلوری یا هیدروژن ساختاری باشند. این هیدروژن در تخلخل مفید تأثیری ندارد ولی توسط ابزار ثبت می شود.

به این ترتیب نگار نوترون در مقابل شیل ها مقدار تخلخل زیادی را قرائت می کند.

$$HI_{c-sh} = HI_{log} - V_{sh} HI_{sh}$$

ج: اثر ماتریکس

عناصر موجود در کانیهای تشکیل دهنده ماتریکس در کاهش سرعت نوترونها و جذب آنها تأثیر دارد.

د: حضور جذب کنندهای نوترون

ابزارهایی که گاما و نوترون ترمال را اندازه گیری می کنند نرخ شمارش آنها به وسیله حضور جذب کنند های قوی مثل کلر، برم و لیتیم تحت تأثیر قرار می گیرد.

ه: درجه شوری آب سازند

وجود NaCl در جذب نوترونها ترمال دخالت دارد و HI سیال را کاهش می دهد.

و: هیدروکربنها

بیشتر نفت های متوسط تا سنگین HI نزدیک به یک دارند و حضورشان تأثیر اندکی بر اندازه گیری نوترون دارد. از سوی دیگر نفت های سبک و گازها به خاطر HI پایین تأثیری مشخصی بر اندازه گیری نوترون دارند.

▪ بنابراین زونی که دارای گاز یا هیدروکربن سبک است تخلخل کمتری نسبت به زمانی که اشباع از آب باشد، دارد.

▪ وجود گاز در سازند باعث کاهش چگالی سازند می شود به عبارت دیگر مقدار تخلخل چگالی زیاد می شود در این حالت جدا شدگی تخلخل نوترون و چگالی می تواند نشانه وجود گاز باشد.

تأثیر عوامل مختلف بر نگارهای تخلخل نوترون

- عوامل ابزاری: ثابت زمان، سرعت چاهپیمایی و زمان مرده
- عوامل محیطی:

اثرات چاه (گل حفاری، درجه شوری گل (GNT, CNT) و چگالی گل و قطر چاه)

کیک حفاری

لوله جداری

- لیتولوژی و سیالات موجود در خلل و فرج

- دما و فشار

کاربرد نگار نوترون

۱. ارزیابی تخلخل

- در این روش سازند تحت بمباران ذرات نوترون قرار می گیرد. ذرات نوترون با برخورد به اتمهای سنگین تر درصد کمتری از انرژی خود را از دست می دهند و اتمهای سبک مانند هیدروژن ۱۰۰٪ انرژی نوترون را جذب می کنند.

$$E_{loss} = \frac{4m}{(1+M)^2}$$

- حفره های سنگ سازند معمولا از آب، نفت و گاز که حاوی هیدروژن می باشند پر شده است. در حقیقت ابزار نوترون تعداد نوترون برگشتی به گیرنده را اندازه گیری می کند که با مقدار هیدروژن در سازند رابطه عکس دارد و از این طریق تخلخل بدست می آید.
- پس هرچه تعداد نوترون برگشتی به گیرنده بیشتر باشد تخلخل کمتر است.

Determine Φ : Using Density-Porosity Log

For Water and Hydrocarbon zones

$$\Phi = \frac{\Phi_D + \Phi_N}{2}$$

Φ_D = Porosity derived from density log

Φ_N = Porosity from neutron log

For Gas zones

$$\Phi = \frac{2\Phi_D + \Phi_N}{3}$$

Both porosities assuming same Matrix

The result is independent of the actual Matrix.

۲. تشخیص گاز یا هیدروکربن سبک

آب و نفت تقریبا دارای یک مقدار هیدروژن هستند در صورتی که در گاز کمتر است (در حجم مساوی). ابزار نوترون نمی تواند تفاوتی بین آب و نفت قائل شود ولی گاز که هیدروژن کمتری دارد قابل شناسایی است.

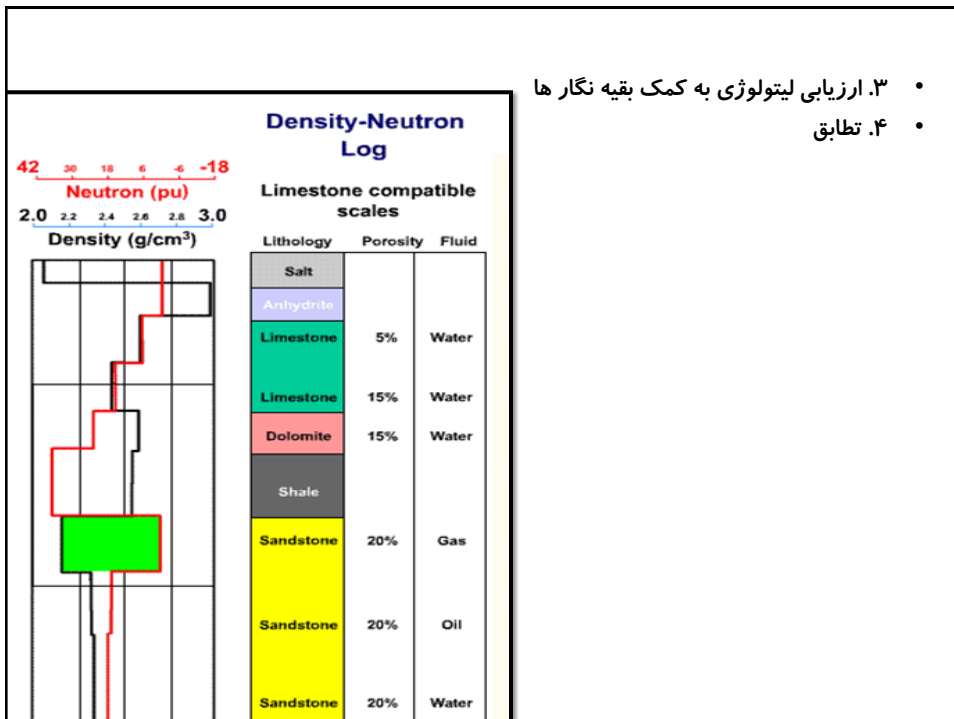
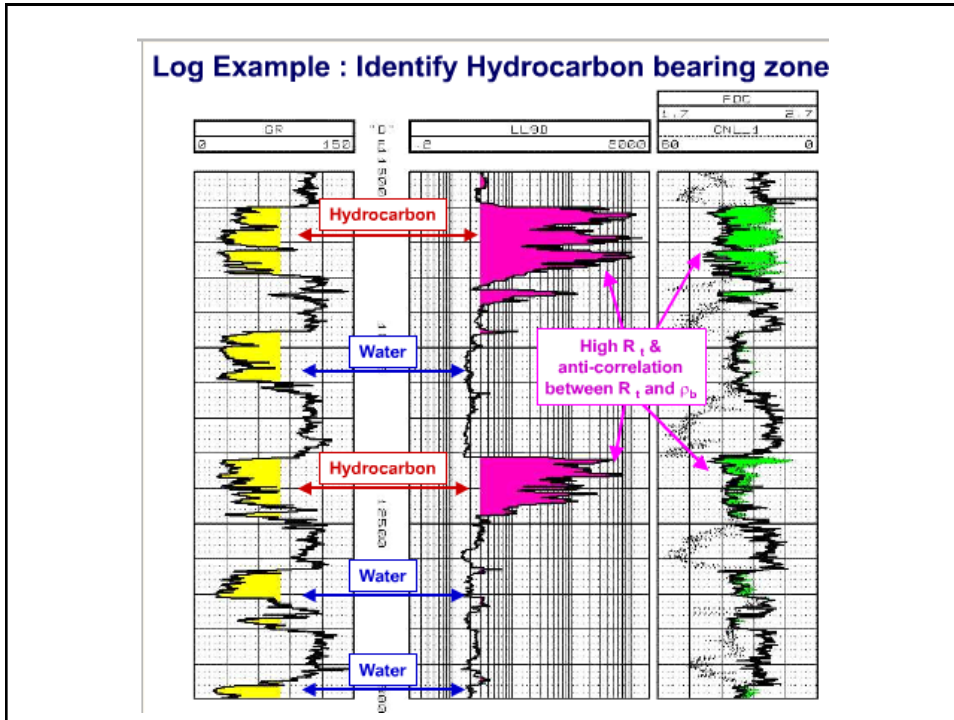
ابزار دانسیته، ابتدا دانسیته سازند را اندازه گیری کرده و سپس تخلخل از ρ_b بدست می آید در صورتی که ابزار نوترون مقدار هیدروژن را اندازه گیری کرده و از این طریق تخلخل بدست می آید.

از ابزار نوترون می توان به عنوان یک gas detector عالی استفاده کرد. به این ترتیب ابزار صوتی و دانسیته به آن صورتی که ابزار نوترون تخلخل را تشخیص می دهد عمل نمی کنند (در ناحیه گازی)

ابزار صوتی و دانسیته در نواحی گازی تخلخل بیشتری را نشان می دهند ولی ابزار نوترون که اندازه گیری آن تابع مقدار هیدروژن است در سازند های گازی تخلخل بسیار کمتری را نشان می دهند.

$$\text{Gas-Zone} \longrightarrow \phi_N \downarrow, \phi_s \uparrow, \phi_D \uparrow \quad \phi_s, \phi_D > \phi_N$$

Log Example : Identify Hydrocarbon bearing zone

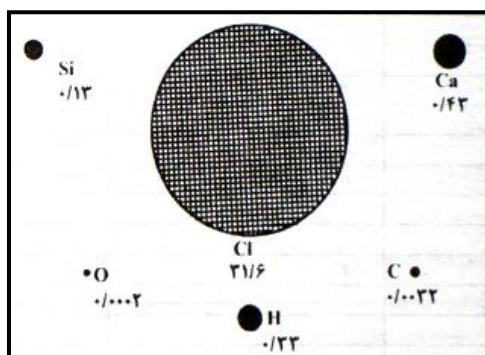


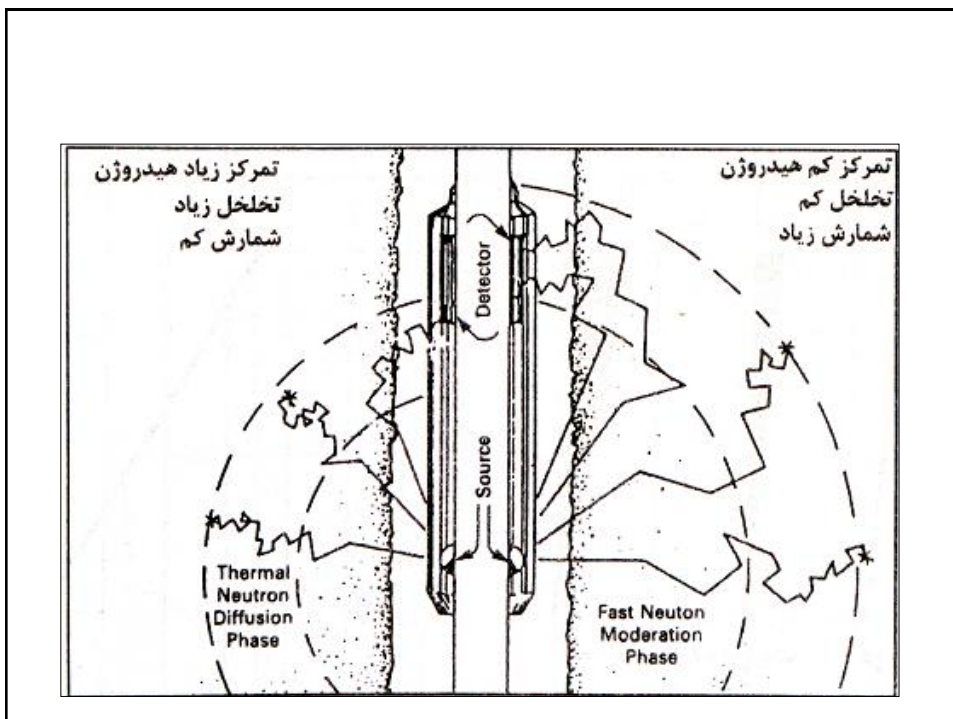
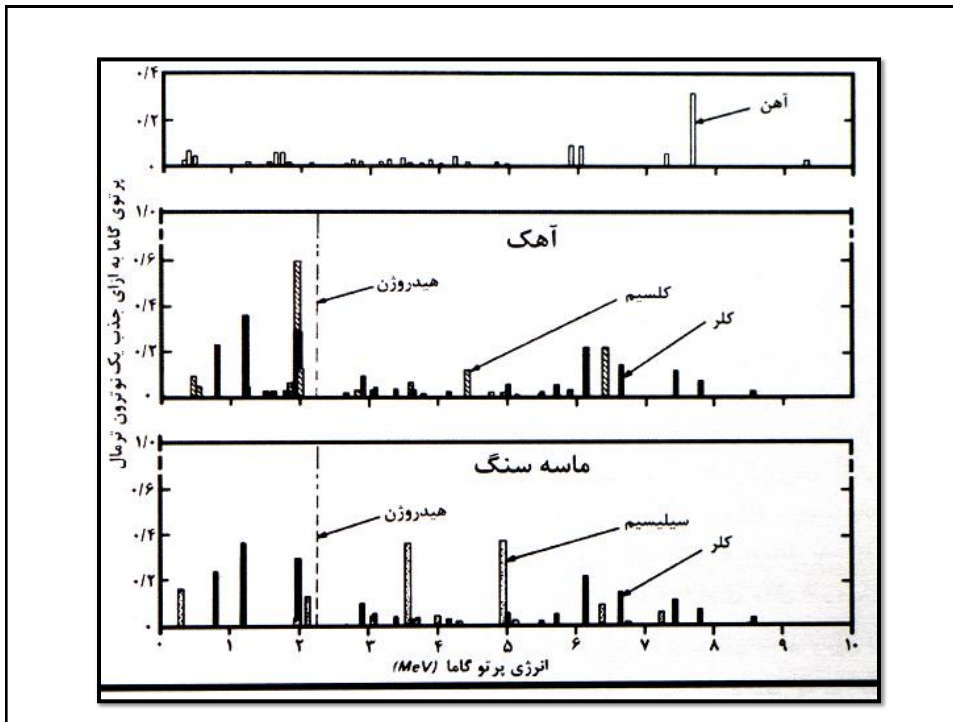
- ۳. ارزیابی لیتولوژی به کمک بقیه نگار ها
- ۴. تطابق

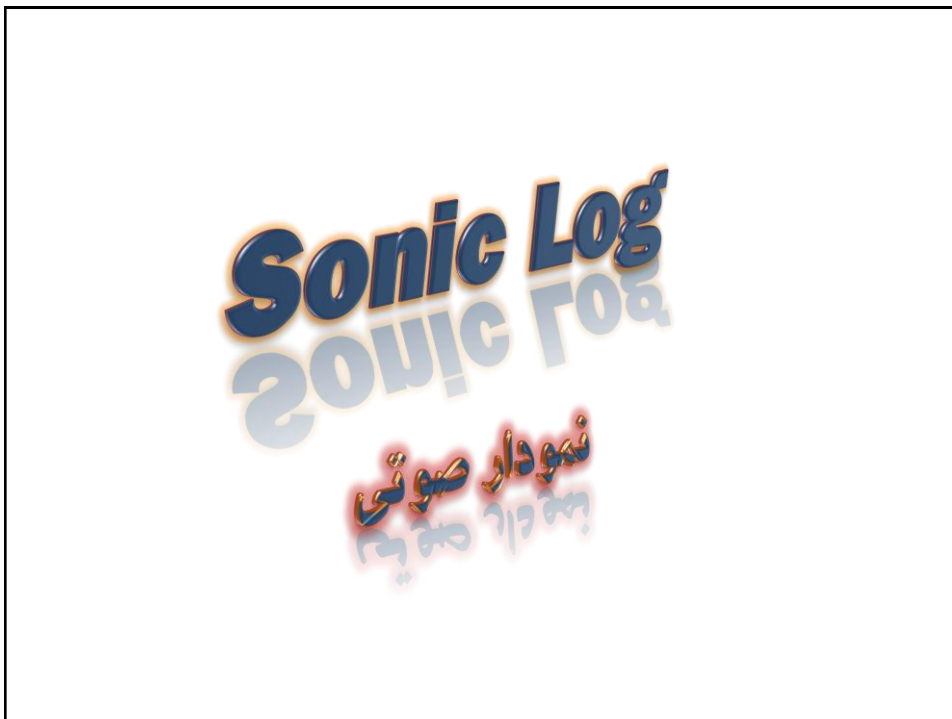
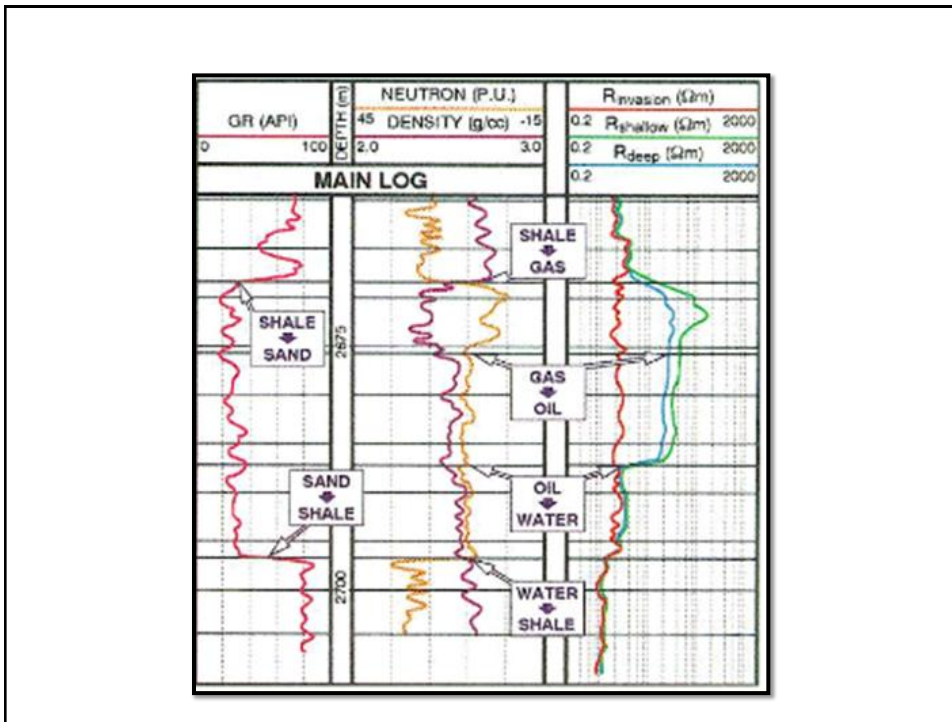
طیف سنجی پرتوهای حاصل از جذب نوترونهای ترمال

- جذب نوترونهای ترمال توسط هسته عناصر، اغلب همراه با انتشار پرتوهای گاما همراه است که از انرژی این پرتوها می توان به عنوان مشخصه ای برای عنصر جذب کننده استفاده کرد.
- بنابراین با طیف سنجی پرتوی حاصل از گیراندازی از یک طرف می توان با توجه به انرژی آنها نوع عنصر و از طرف دیگر می توان با توجه به میزان آنها، غلظت عنصر مذکور را در سازند مشخص کرد.

- کلر در بین عناصر معمول دارای بیشترین سطح مقطع جذب است. روشهای طیف سنجی اولیه بر تشخیص میزان کلر برای مشخص کردن محل تماس آب و نفت و ارزیابی درجه اشباع آب در سازندهای هیدروکربن دار متمرکز بودند. این روشها به نامهای تجاری نگار کلرینی، نگار کلرین و نگار شوری ارائه شدند.

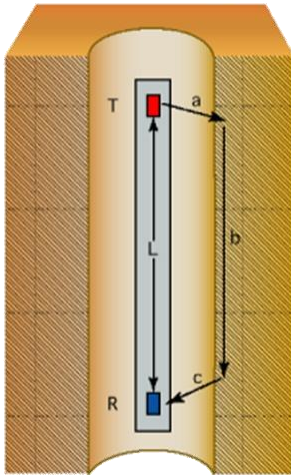






لاگ سونیک (صوتی)

در ابزارهای صوتی فرستنده تحت تأثیر یک میدان الکترومغناطیسی، موج صوتی با فرکانسی در حدود ۲۰ تا ۴۰ کیلوهرتز تولید می‌کند. در این ابزار هدف اندازه‌گیری زمان لازم برای عبور صوت از یک فوت سازند در مقابل عمق است (Δt).



Transit time (TT) = a + b + c

زمان عبور صوت در یک سازند تابع لیتولوژی و تخلخل آن است. وابستگی Δt به تخلخل، ابزار صوتی را به ابزار مفیدی برای اندازه‌گیری تخلخل تبدیل کرده است.

در ابزارهای قدیمی از یک فرستنده و یک گیرنده استفاده می‌شده است. گیرنده‌ها از جنس مواد پیزوالکتریک هستند.

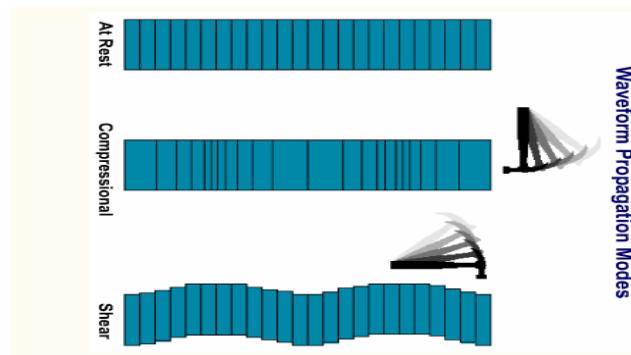
امواج صوتی

۱. امواج فشاری یا طولی P

در این موج ذرات به موازات انتشار موج حرکت می‌کنند. سرعت این موج از سایر امواج بیشتر است.

۲. امواج برشی یا عرضی S

در این موج ذرات بر جهت انتشار عمود است. سرعت حرکت این موج کمتر از P است و معمولاً دومین موج دریافتی است.

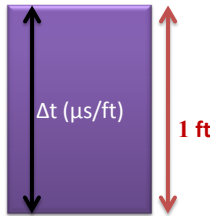


- گیرنده ابزار نمودارگیری صوتی مجموعه ای از این امواج را دریافت می کند اما تنها امواج متراکم مورد نظر می باشد. موج تراکمی خارج شده از فرستنده در چاه به صورت کروی در گل حفاری انتشار می یابد و انرژی آن پس از برخورد به دیواره چاه و بسته به زاویه برخورد آن، منعکس و یا منحرف شده و پراکنده می گردد. برخی از این شعاعهای صوتی به صورت موج متراکم و برخی دیگر به صورت موج برشی در امتداد دیواره چاه منتشر می شوند.

- مهمترین ویژگیهای امواج صوتی عبارتند از: سرعت صوت، فرکانس، دامنه و جهت انتشار

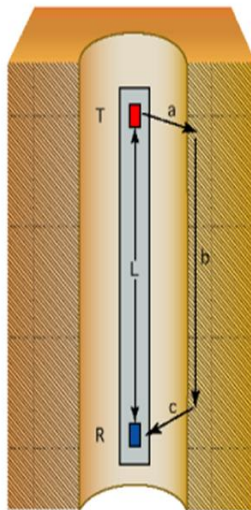
- سرعت حرکت امواج صوتی تراکمی در سنگها بستگی به ساختمان آن بستگی دارد.

- نمودار صوتی عبارتست از: ثبت زمانی که لازم است صوت واحد طول سنگ مخزن را ببیناید، نسبت به عمق



$$\Delta t (\mu s / ft) = \frac{10^6}{V (ft / s)}$$

Single Transmitter & Single Receiver



$$\text{Transit time (TT)} = a + b + c$$

ابزارهای صوتی

در صورتی که سوند مایل نباشد و در دیواره چاه نیز ریزشی وجود نداشته باشد، تنها مشکل عبور موج از گل حفاری است.

در صورتی که سوند موازی دیواره چاه باشد، با استفاده از گیرنده بالا اثر گل حذف می گردد.

Single Transmitter & Two Receivers

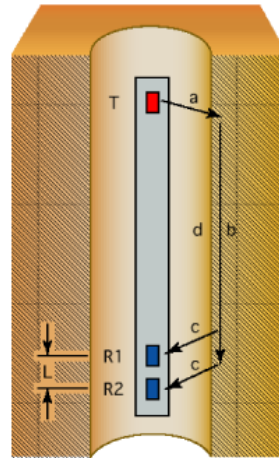
$$TT1 = a + d + c$$

$$TT2 = a + b + c$$

Formation Velocity =

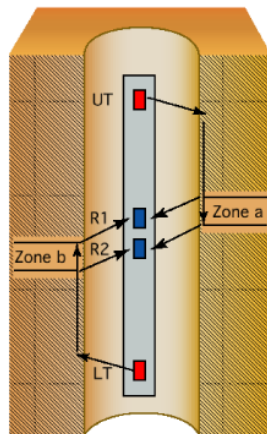
$$\frac{\text{Distance}}{\text{Time}} = \frac{L}{b - d} = \frac{L}{TT2 - TT1}$$

$$\text{Slowness } (\Delta t) = \frac{TT2 - TT1}{L}$$



اضافه نمودن یک فرستنده دیگر مشکل کج شدگی سوند حل می گردد. اما با توجه به این نکته که مسیر حرکت موج متفاوت است، در نتیجه سازندی که اندازه گیری می گردد برای گیرنده ها متفاوت می باشند.

Two Transmitters & Two Receivers



Adding an additional transmitter solves the tilt problem but the paths that the waves take to each receiver are different. Therefore, the formation being measured is not the same for each transmitter and receiver pair combination.

در سوند BHC اثرات کج شدگی سوند، گل حفاری و ریزش دیواره چاه حذف می گردد.

Borehole Compensated Sonic (BHC)

Two Transmitters & Four Receivers

Tilt Compensation

$$TT1 = f+g+e$$

$$TT2 = a+d+e$$

$$TT3 = f+h+c$$

$$TT4 = a+b+c$$

$$Slowness (\Delta t) = \frac{(g-h) + (b-d)}{2L} = \frac{(TT1 - TT3) + (TT4 - TT2)}{2L}$$

The next configuration is Two Transmitters and Four Receivers. The zones investigated by the two transmitter and receiver pairs are the same and the measured slowness is independent of changes in borehole diameter such as wash-outs or bit size changes. The measurement is known as Borehole Compensated Sonic (BHC).

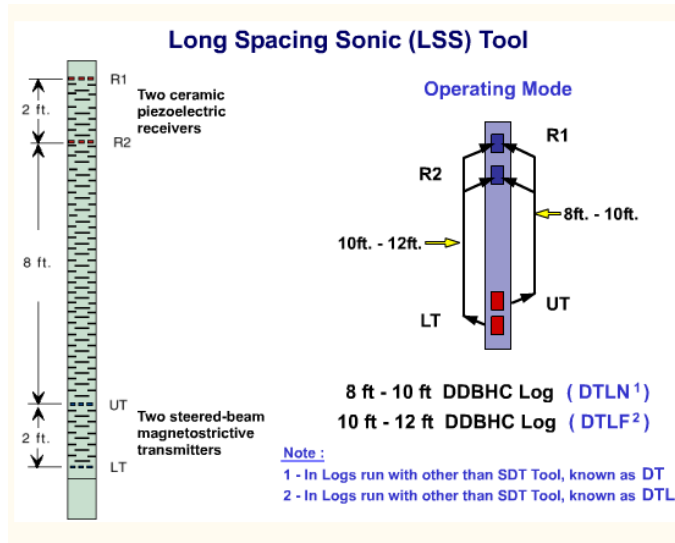
Borehole Compensated Sonic (BHC) Tool

- UT Steered Beam Magnetostrictive Transmitter
- 3 ft.
- R1 Two ceramic piezoelectric receivers
- 0.5 ft.
- R2
- 2 ft.
- R3 Two ceramic piezoelectric receivers
- 0.5 ft.
- R4
- 3 ft.
- LT Steered Beam Magnetostrictive Transmitter

Operating Mode

3 ft. - 5ft. BHC Log (DT)

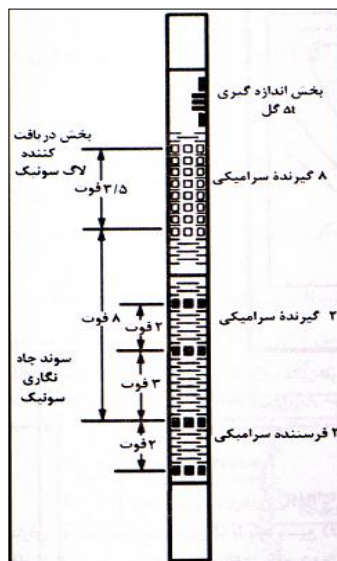
در مطالعات اولیه بر روی لاگ سونیک، سازندها را به عنوان ماده ای همگن و نامحدود برای انتشار موج فرض کرده اند. اما در بعضی از شیل ها گرادیان سرعت جانبی وجود دارد. در ابزار LSS اولین موج دریافتی موجی نخواهد بود که از بخش های مجاور چاه منکسر می شود.



Array Sonic

ابزار AS

• این ابزار تمام اندازه گیریهای BHC و LSS را انجام میدهد و علاوه بر این چندین ویژگی دیگر را اندازه گیری می کند.



عمق جستجو

از ۱۲ تا ۱۰۰ سانتی متر متغیر خواهد بود که تابعی از سرعت سازند خواهد بود، هر چه سرعت صوت در سازند بیشتر باشد عمق جستجو بیشتر خواهد بود.

قدرت تفکیک قائم

در BHC برابر فاصله بین دو جفت گیرنده و در حدود ۲ فوت است. ولی برای ابزارهای مختلف می تواند ۱، ۳ یا ۶ فوت نیز باشد.

عوامل موثر بر سرعت صوت

۱- ماتریکس: سرعت صوت در سازند به نوع کانیهای سازنده وابسته است. $\Delta t_{ma} = \sum_{i=1}^n V_i \Delta t_{mai}$

۲- تخلخل و سیالات: سرعت صوت در سازندها به سرعت سیالات وابسته است.
الف: در شرایط یکسان، هرچه تخلخل بیشتر باشد سرعت کمتر خواهد بود.

ب: اگر تخلخل ثابت باشد و به جای آب، نفت و به جای نفت، گاز جانشین شود، سرعت کم می شود.

ج: سرعت صوت در آب تابع درجه شوری است.

۳- دما و فشار

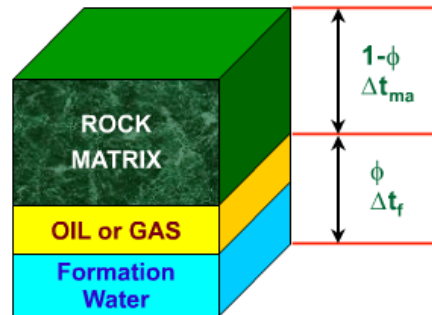
۴- بافت

نحوه آرایش و قرارگیری ذرات و فضای خالی بر روی سرعت صوت تأثیر دارند.

در مورد تخلخل های بزرگ یا حفره ها این امکان وجود دارد که ارتعاش صوت، کوتاه ترین مسیر را در ماتریکس را طی کرده و بنابراین از اطراف حفره ها عبور کرده و از آن ها عبور نمی کند.

چنانچه تخلخل به طور یکنواخت در سنگ مخزن توزیع نشده باشد، اولین سیگنالی که به گیرنده ها میرسد مربوط به Δt_{ma} است و چون در داخل حفرات و شکستگیها سیال وجود دارد پس زمان عبور صوت در حفرات و شکستگیها بیشتر از Δt_{ma} است. به این ترتیب نمودار صوتی تحت تأثیر شکستگیها و حفرات (تخلخل ثانویه) قرار نمی گیرد یا به عبارت دیگر تخلخل محاسبه شده از این روش مربوط به تخلخل اولیه سازند است.

Φ Determination - Wyllie : Time-Average Equation



$$\Delta t_{\log} = \phi \Delta t_f + (1 - \phi) \Delta t_{ma} \quad \rightarrow \quad \phi = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

where

Δt_{\log} = Sonic log reading

Δt_f = interval transit time of the saturating fluid

Φ = Porosity

Δt_{ma} = interval transit time of the matrix material

• وجود شکستگیها و ترک های ریز که در هنگام حفاری ایجاد شده سرعت صوت را کاهش می دهند، در این شرایط پیشنهاد می شود که از ابزار LSS استفاده شود زیرا قسمتهای شکسته شده و آسیب دیده ی سازند در اندازه گیری تأثیری ندارند.

• اگر ذرات در داخل سیال شناور باشند، همانطور که در شیل های فشرده نشده و ماسه های کم عمق یا پرفشار دیده می شود، این سیال است که فاز پیوسته را می سازد و آنچه اندازه گیری می شود زمان عبوری از سیال است.

پس اگر سنگ مخزن متراکم نباشد تخلخل بدست آمده باید تصحیح شود. میزان متراکم بودن سنگ مخزن را می توان از نمودار صوتی لایه های شیلی مجاور مخزن تعیین کرد.

اگر $\Delta t_{sh} < 100 \frac{\mu s}{ft}$ → سنگ مخزن متراکم و نیازی به تصحیح نیست

$$\phi = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \cdot \frac{1}{C_p}$$

$$C_p = \frac{\Delta t_{sh} \times C}{100}$$

C : عدد ثابت که معمولا برابر با ۱ میباشد

- مقدار C_p معمولا بین ۰/۸ تا ۱/۲ است.
- بهترین روش برای محاسبه C_p ، مقایسه تخلخل بدست آمده از نمودار سونیک بدون تصحیح با تخلخل واقعی از روشهای دیگر است. (در ماسه های تمیز آبدار)

$$C_p = \frac{\phi_s}{\phi_N} \quad C_p = \frac{\phi_s}{\phi_R} \quad C_p = \frac{\phi_s}{\phi_D}$$

عوامل موثر در لاگ سونیک

✓ حضور هیدروکربن

در معادله وایلی Δt_f برابر با $189 \frac{\mu s}{ft}$ در نظر گرفته شده است که سرعت صوت در آب است.

$$\phi_{oil} = \phi_s \times 0.9$$

$$\phi_{gas} = \phi_s \times 0.7 \longrightarrow \text{Gas-Zone} \longrightarrow \phi_N \downarrow, \phi_s \uparrow, \phi_D \uparrow$$

✓ حضور شیل

چنانچه در سازند شیل وجود داشته باشد Δt_{ma} تغییر خواهد کرد بنابراین اثر حضور شیل باید در نظر گرفته شود.

$$(\Delta t_{ma})_c = (\Delta t_{ma} \times V_{ma}) + (\Delta t_{sh} \times V_{sh})$$

✓ اثر هوازدگی دیواره چاه

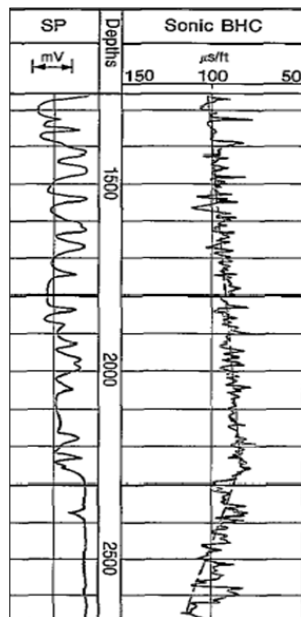
✓ اثر فشردگی و تراکم

✓ اثر شکستگی ها و حفره ها

$$SPI = \phi_N - \phi_S$$

✓ اثر چاه

اندازه چاه، ریختگی و حفره در دیواره چاه ، گل حفاری



کاربرد لاگ سونیک

- ✓ تطابق
- ✓ تخلخل
- ✓ برآورد تخلخل ثانویه
- ✓ تشخیص لیتولوژی
- ✓ تشخیص لایه های پرفشار
- ✓ تعیین پارامترهای الاستیکی
- ✓ تراوایی
- ✓ تشخیص سیالات موجود در سازند

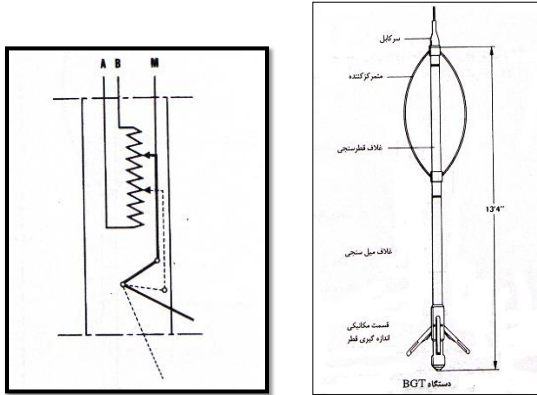
ابزار CBL

این ابزار از انعکاس امواج صوتی برای ارزیابی سیمان پشت لوله جداری استفاده می شود. (ضخامت لوله جداری، میزان چسبندگی و جفت شدگی لوله جداری و سیمان و ضخامت سیمان)

Caliper
ابزار
قطر سنج
چهار سنج

نمودار کالپیر

- این ابزار قطر چاه را اندازه گیری می کند.
- دانستن قطر گمانه برای اهداف زیر مورد استفاده قرار می گیرد.
 - ۱- مشخص کردن حجم چاه برای محاسبه سیمان لازم جهت عملیات سیمانکاری و بستن آنها.
 - ۲- فراهم نمودن اطلاعاتی درباره لیتولوژی سنگهای دیواره چاه.
 - ۳- تصحیح نمودارهایی که از تغییرات قطر چاه متأثر می شوند.
- اندازه گیری قطر چاه با استفاده از دو بازوی متقارن که در دو طرف دستگاه قرار گرفته است انجام می گیرد.

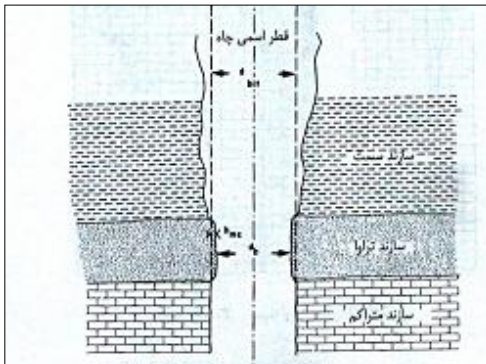


عوامل موثر بر قطر چاه

الف: لیتولوژی سازندها

۱. سازند قابل حل در گل حفاری باشد مانند نمک، کارنالیت
۲. سازند ریزشی باشد (مانند ماسه ها، گراولها و رسها)
۳. سازند جاری شود، مانند رسهای آماسی یا تحت تراکم
۴. سازند متراکم باشد.

ب: بافت و ساخت سنگ (تخلخل و تراوایی).



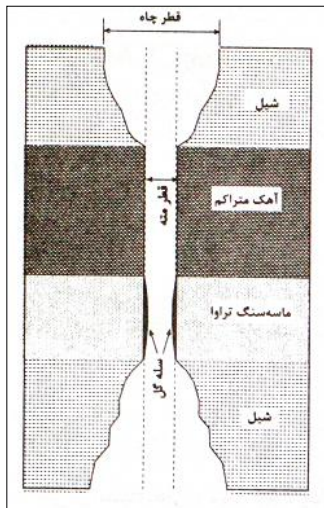
کاربرد

۱. تعیین زونهای متخلخل و تراوا

۲. محاسبه حجم سیمان مورد نیاز برای جداره گذاری

۳. تصحیح نمودار های مختلف از نظر اثر چاه یا کیک حفاری

۴. بررسی لیتولوژی



اندازه گیری دما

• دمای سازند با افزایش عمق افزایش پیدا می کند.
کاربرد

۱. چاههای باز

تعداد حرارتی که با حفر چاه به هم خورده است، دیر یا زود بر حسب رسانندگی حرارتی سنگها دوباره به حالت عادی نزدیک می شود.

الف: می توان رسهای تحت فشار را شناسایی کرد.

ب: زونهایی که دارای هرزروی گل هستند را می توان شناسایی کرد.

ج: زونهای گازی را میتوان تشخیص داد.

۲. چاههای دارای لوله جداره

الف: تعیین ارتفاع سیمان در پشت لوله جداره

ب: شناسایی زونها تولیدی

ج: شناسایی زونهای ورودی تزریق سیال