



فصل هشتم:

فشار مؤئینگی



مقدمه

همان طور که در فصل پیش بیان شد در یک سیال چند فازی در سطح تماس دو فاز مختلف عدم توازن نیرو وجود دارد. این عدم توازن باعث ایجاد یک فشار خواهد شد که به آن فشار موئینگی می گویند. P_C (فشار موئینگی) همواره برابر است با تفاضل فشار فاز تر از فشار فاز غیر تر

$$P_C = P_{NW} - P_W$$

اگر یک لوله شیشه ای با قطر بسیار کوچک را مطابق شکل صفحه بعد به طور وارون، درون تشت پر از آبی و در معرض هوا (فاز غیر تر) قرار دهید، مشاهده خواهید کرد که آب (فاز تر) از لوله اندکی بالا خواهد رفت. علت این پدیده کشش سطحی است. در حقیقت نیروی چسبندگی بین مولکولهای آب و شیشه بیشتر از پیوستگی بین مولکولهای آب است و در نتیجه آب از لوله موئین بالا می رود.

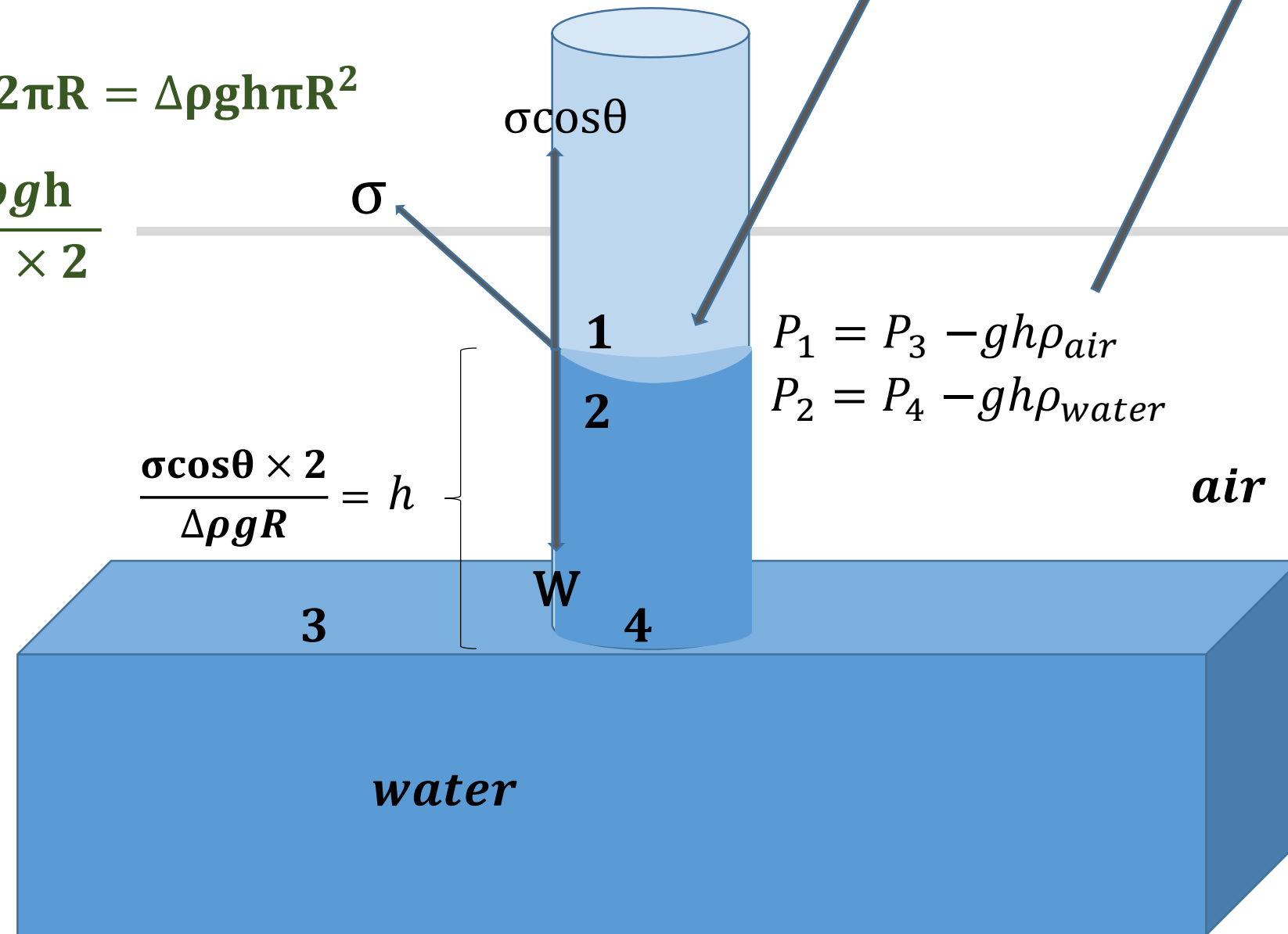


$$P_C = P_{NW} - P_W \longrightarrow P_C = P_1 - P_2 \longrightarrow P_C = gh(\rho_w - \rho_{air}) = gh\Delta\rho$$

$$\sigma \cos\theta \times L = W = mg = \Delta\rho g V$$

$$\sigma \cos\theta \times 2\pi R = \Delta\rho gh \pi R^2$$

$$\sigma = \frac{R\Delta\rho gh}{\cos\theta \times 2}$$



$$\frac{\sigma \cos\theta \times 2}{\Delta\rho g R} = h$$

$$P_1 = P_3 - gh\rho_{air}$$

$$P_2 = P_4 - gh\rho_{water}$$

$$P_C = \frac{2 \times \sigma \cos\theta}{R}$$

$$P_C = \frac{2A_T}{R}$$

$$P_C = \frac{2(\sigma_{so} - \sigma_{sw})}{R}$$

یادآوری

چسپندگی سطحی - adhesion tension

$$A_T = \sigma_{os} - \sigma_{ws} = \sigma_{ow} \cos\theta$$



مقدمه

طبق فرمول، فشار موئینگی تابع موارد مختلفی است از جمله:

❖ خواص سطح

❖ خواص سیال

❖ هندسه ی محیط متخلخل و اندازه حفرات

فشار موئینگی در واقع نقش اصلی در مهار سیال درون محیط متخلخل و جلوگیری از حرکت رو به بالای آن را دارد. اگر فشار موئینگی وجود نداشت سیالات درون محیط متخلخل به دام نمی افتادند و هیچ ذخیره هیدروکربنی باقی نمی ماند. در واقع نیروی موئینگی در برابر نیروی شناوری (بویانسی) که باعث حرکت رو به بالای سیال می شوند مقاومت می کنند.

مثال: در یک سیستم آب و نفت، مقدار فشار موئینگی و میزان بالا آمدگی آب را محاسبه کنید.

$$\theta = 30 \quad \rho_w = 1 \text{ gm/cm}^3 \quad \rho_o = .75 \text{ gm/cm}^3$$

$$r = 10^{-4} \text{ cm} \quad \sigma_{ow} = 25 \text{ dynes/cm}$$

$$P_c = \frac{2 \times \sigma \cos \theta}{R} \quad \frac{\sigma \cos \theta \times 2}{\Delta \rho g R} = h$$

پاسخ:

$$P_c = \frac{2 \times 25 \times \cos 30}{.0001} = 4.33 \times 10^5 \frac{\text{dynes}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{1 \text{ dyne}}{\text{cm}^2} = 1.45 \times 10^{-5} \text{ psi}$$

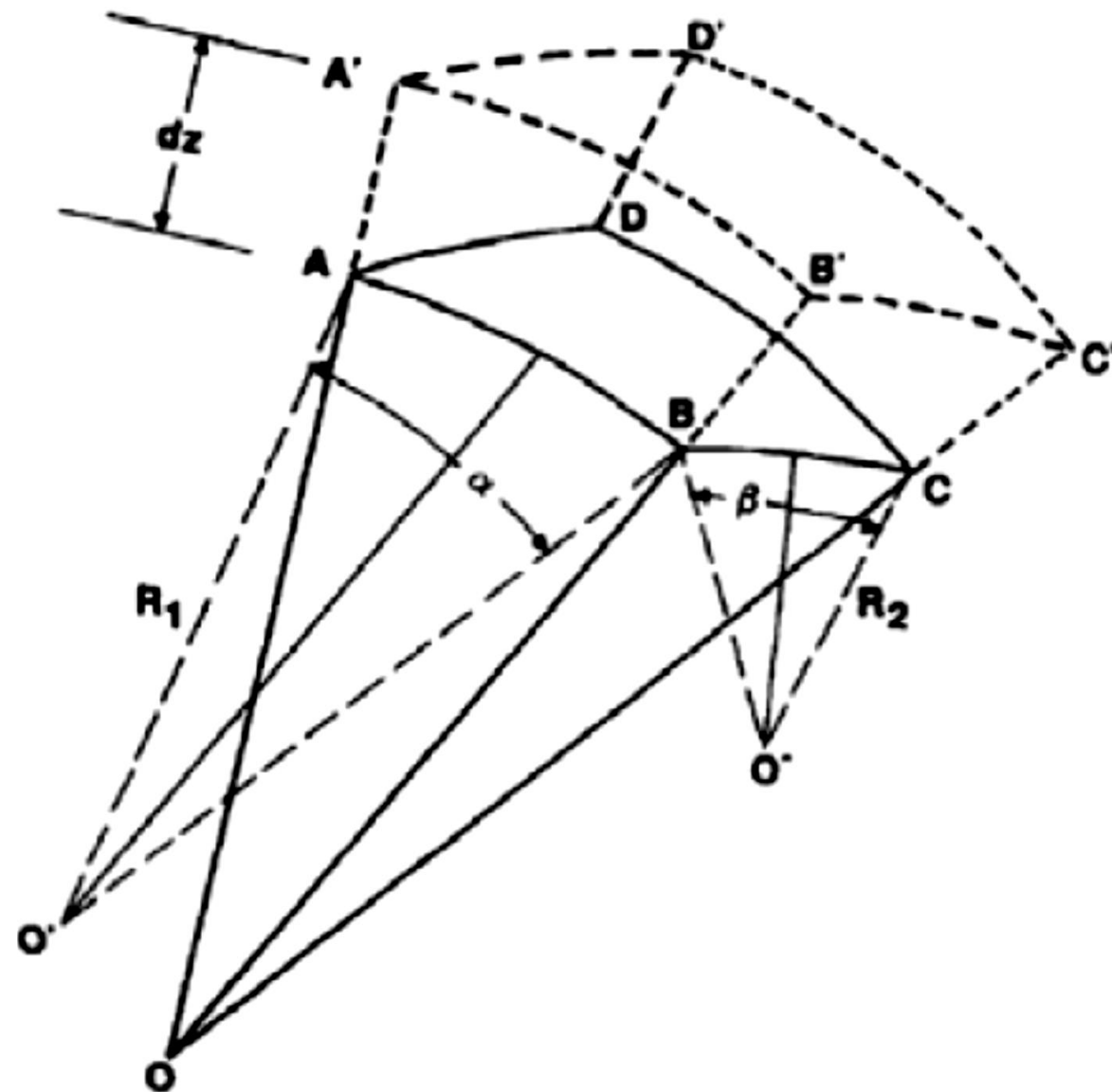
$$P_c = 6.28 \text{ psi}$$

$$h = \frac{2 \times 25 \times \cos 30}{.0001 \times (980.7)(1 - .75)} = 1766 \text{ cm} = 75.9 \text{ ft}$$



فشار موئینگی در حالت سطح تماس غیر کره ای

معادلاتی که تا کنون اثبات شد با فرض کره ای بودن ساختار المان معادلات دیفرانسیلی است. اگر فرض کنیم سطح تماس سیال دارای ظاهری منحنی شکل با دو شعاع انحنا مشابه با شکل زیر است معادله کلی به صورت زیر خواهد شد. که این معادله برای کره هم صادق است

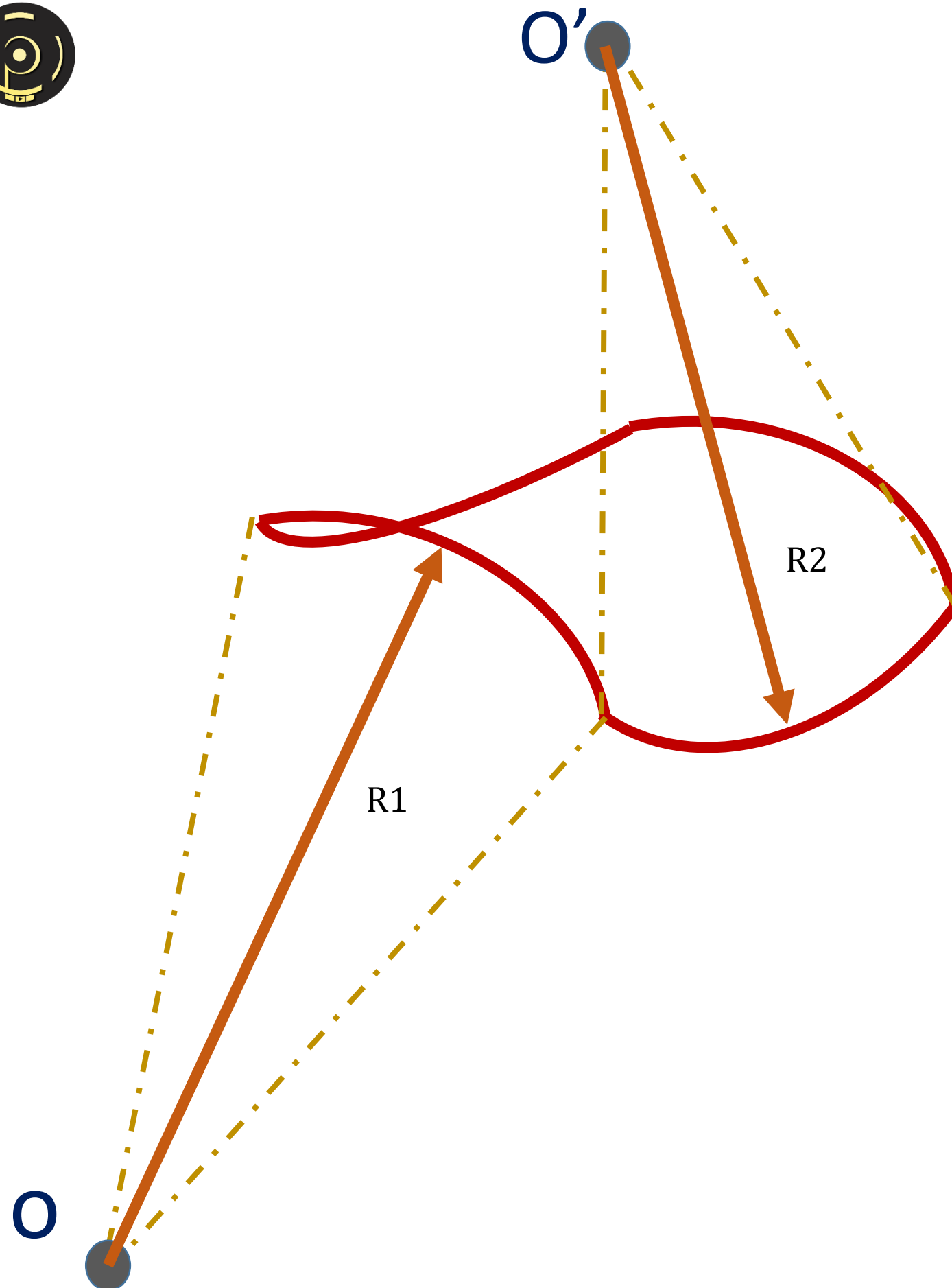


$$P_c = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \sigma$$



فشار موئینگی--Capillary Pressure

مطابق شکل، برای محیط های متخلخل R2 ممکن است منفی باشد و در نتیجه :

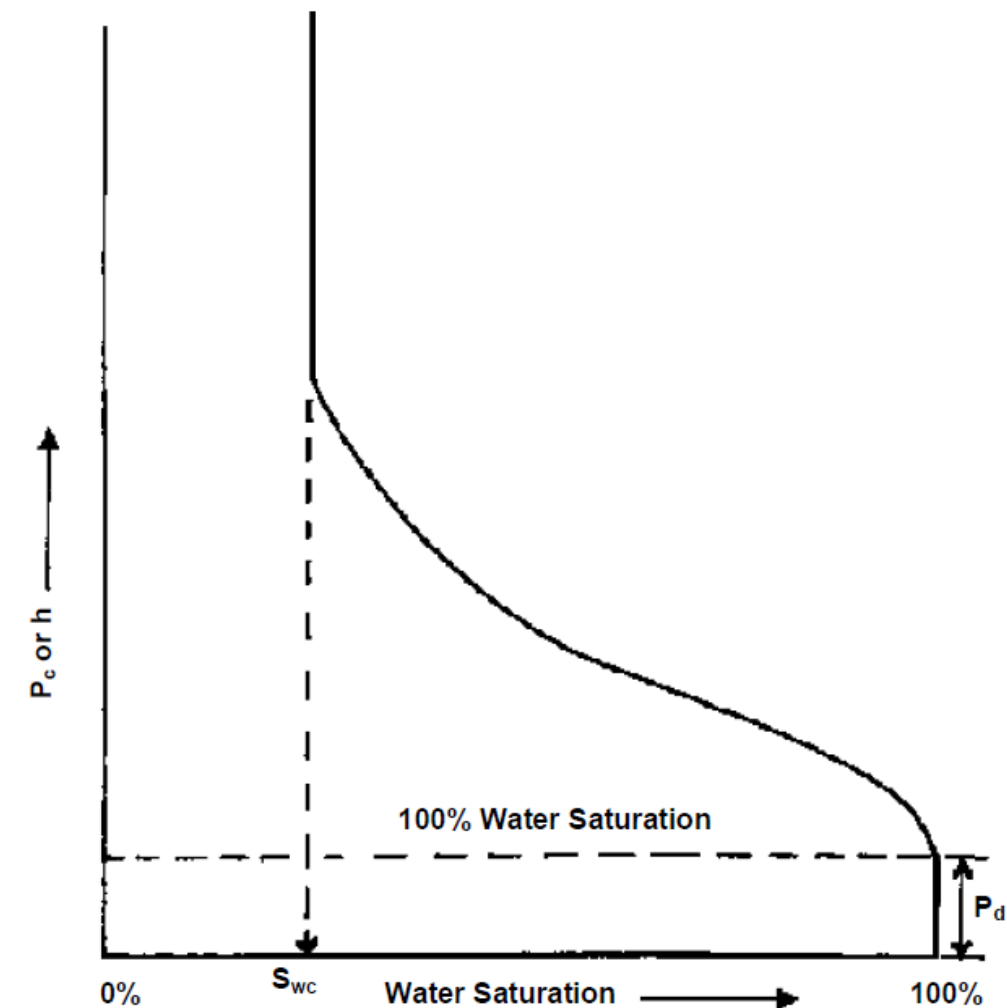
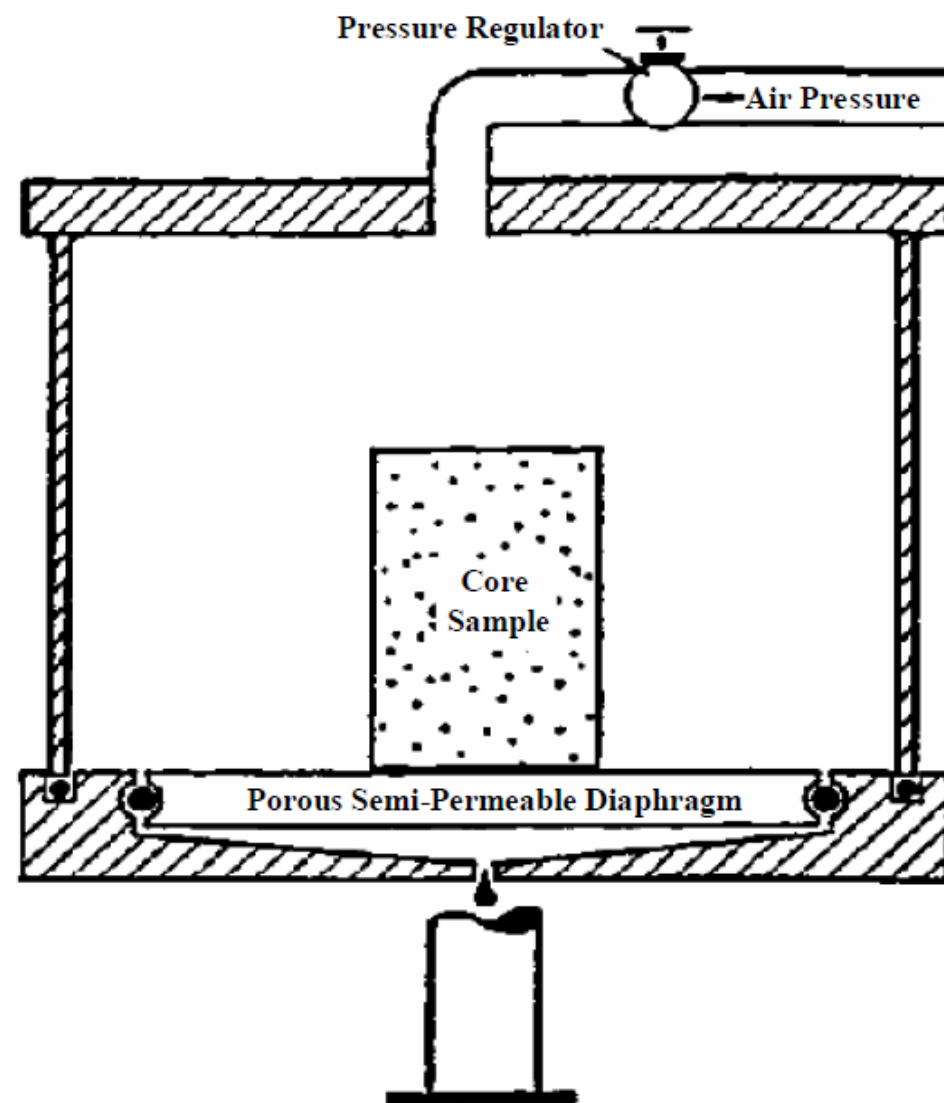


$$P_c = \left(\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right) \sigma$$



فشار موئینگی در سنگ های مخزن

نمونه ی کاملاً اشباع از آب را در نظر بگیرید. اگر این نمونه را تحت فشار هوار قرار دهیم مقداری از آب درون نمونه خارج می شود. میزان فشار اعمالی معادل با فشار موئینگی است. اگر همین روند را در قالب آزمایشی به نام فشار موئینگی و با استفاده از دستگاه زیر انجام دهیم می توانیم نمودار فشار موئینگی بر حسب اشباع آب را به دست بیاوریم. نکته جالب این است که یک فشار حداقلی نیاز است تا اولین قطره ی آب از سنگ خارج شود و هوا وارد سنگ شود که به این فشار P_d یا فشار آستانه می گویند. در این روش به صورت پله ای فشار را افزایش می دهیم و میزان آب خروجی را محاسبه می کنیم، تا جایی که دیگر هیچ آب بر اثر افزایش فشار از نمونه خارج نشود.





فشار موئینگی در سنگ های مخزن

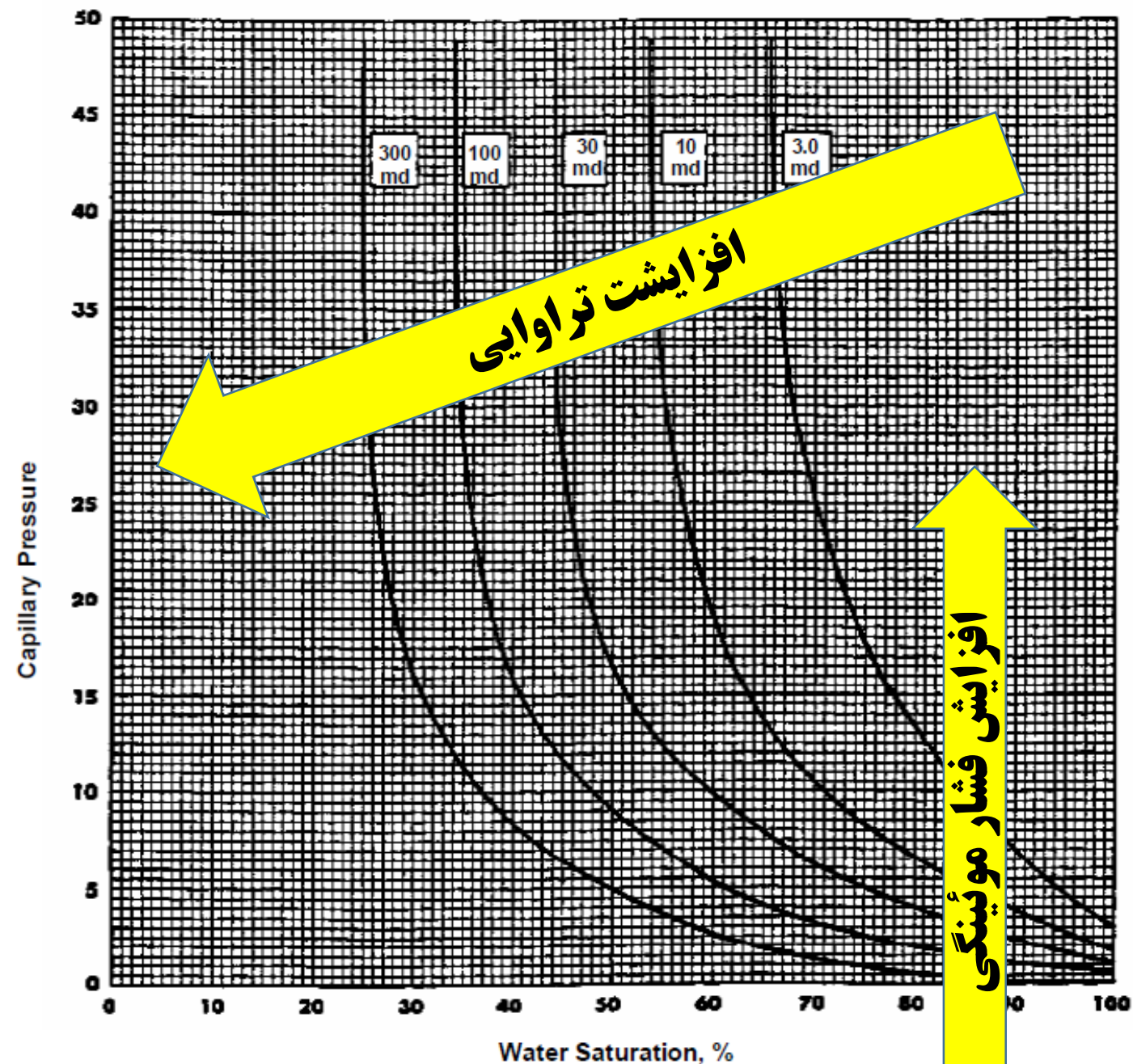
فشار موئینگی با شعاع رابطه ی عکس دارد و از طرفی تراوایی به صورت غیر مستقیم با شعاع حفرات رابطه ی مستقیم دارد. به این معنا که افزایش تراوایی باعث کاهش فشار موئینگی و در نتیجه کاهش میزان با آمدگی سیال درون حفرات خواهد شد.

$$R \propto K \quad P_c \propto \frac{1}{R} \quad h \propto P_c$$

$k \uparrow$ $P_c \downarrow$ $h \downarrow$

از طرفی با افزایش تراوایی میزان اشباع آب کاهش نیافتنی کم تر می شود چرا که شرایط برای حرکت آب ساده تر می شود. بنابراین با افزایش تراوایی نمودار فشار موئینگی نیز پهن تر شده و SW_i به صفر نزدیک تر می شود.

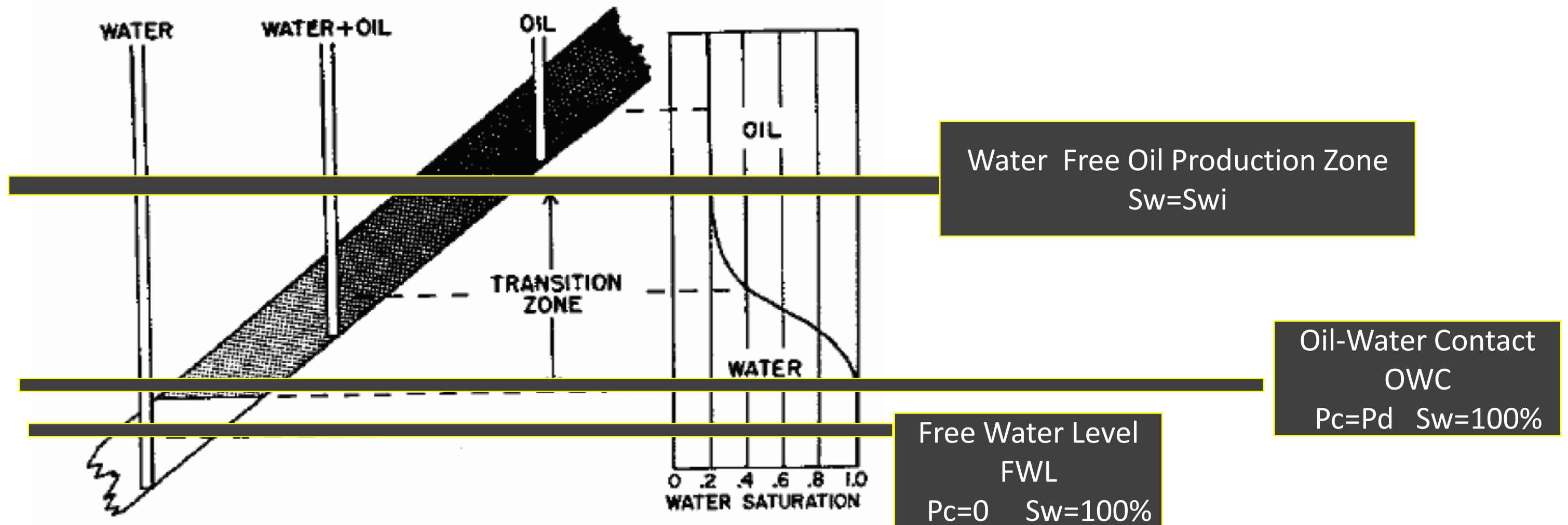
$k \uparrow$ $SW_i \downarrow$





فشار موئینگی و توزیع فاز های مختلف

همان طور که در آزمایش مربوط به محاسبه فشارموئینگی توضیح داده شد. با افزایش فشار، میزان آب خارج شده و یا به عبارتی میزان سیال وارد شده (در آن آزمایش هوا) اندازه گیری می شود. تا قبل از فشار آستانه هیچ سیالی وارد نمونه نشده است بنابراین نمونه کاملاً آب است. از طرفی در پایان آزمایش نیز نمونه کاملاً اشباع از سیال ورودی شده و به اشباع کاهش نیافتنی از آب رسیده ایم. بنابراین سه ناحیه وجود دارد. ناحیه ۱۰۰ درصد اشباع از فاز سیال اول- ناحیه انتقالی که شامل هر دو سیال است- ناحیه نهایی که به اشباع کاهش نیافتنی از سیال اول رسیده و تمام فاز تحرک پذیر آن توسط سیال دوم پر شده است.





فشار موئینگی و توزیع فاز های مختلف

بنابراین اگر قرار باشد محاسبه کنیم در چه ارتفاعی از سطح آزاد آب اولین قطره ی نفت وارد می شود کافی است طبق رابطه فشار موئینگی به جای P_c مقدار P_d را قرار دهیم.

$$P_c = gh(\rho_w - \rho_{air}) = gh\Delta\rho \quad h = \frac{P_c}{\Delta\rho g} \xrightarrow{\text{Field unit}} = \frac{144 P_c}{\Delta\rho} \xrightarrow{P_c=P_d} = \frac{144 P_d}{\Delta\rho}$$

✓ به واژه ها دقت شود. ممکن است در جایی بیان شود که اگر در اشباع X میزان فشار موئینگی برابر Y باشد و هم چنین در این نمونه، فشار آستانه برابر Z باشد در چه ارتفاعی از سطح تماس آب و نفت این شرایط ایجاد شده است. و یا ممکن است بیان شود در چه ارتفاعی از سطح آزاد آب این شرایط ایجاد شده است.

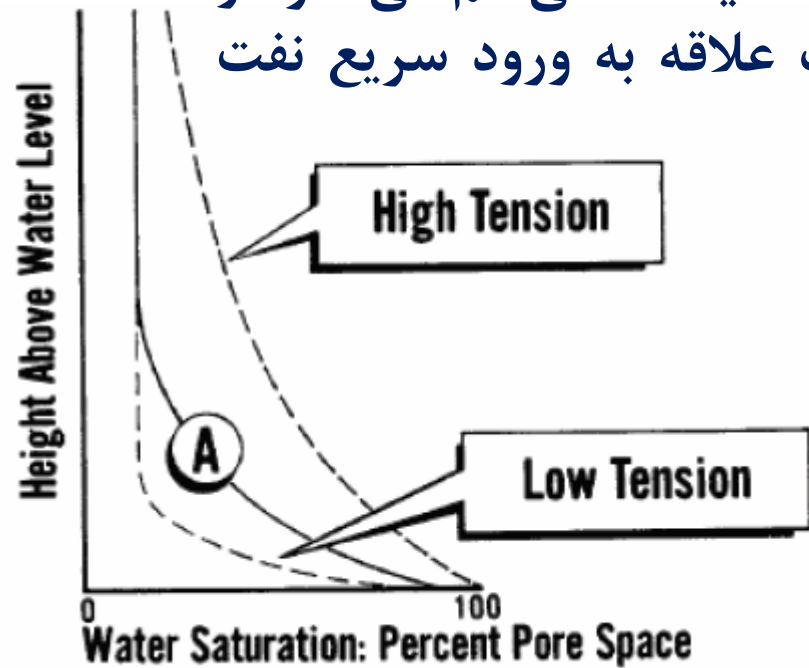
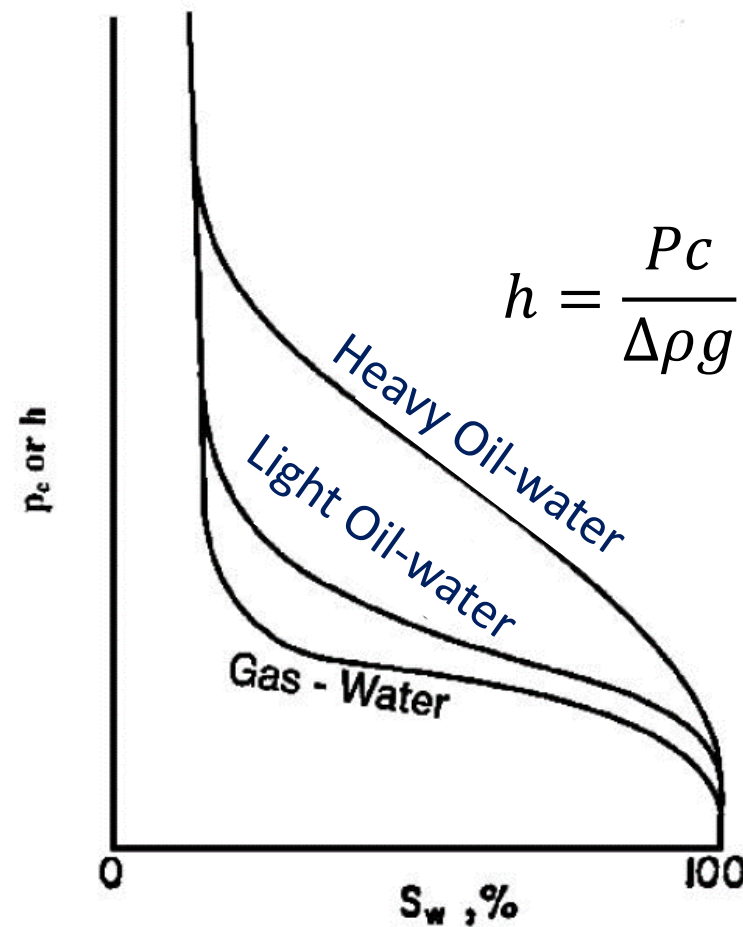
✓ ما همواره h را محاسبه می کنیم و در صورتی که عمق سطح آزاد آب را بدانیم می توانیم این داده ها را به عمق تبدیل کنیم.



فشار موئینگی--Capillary Pressure

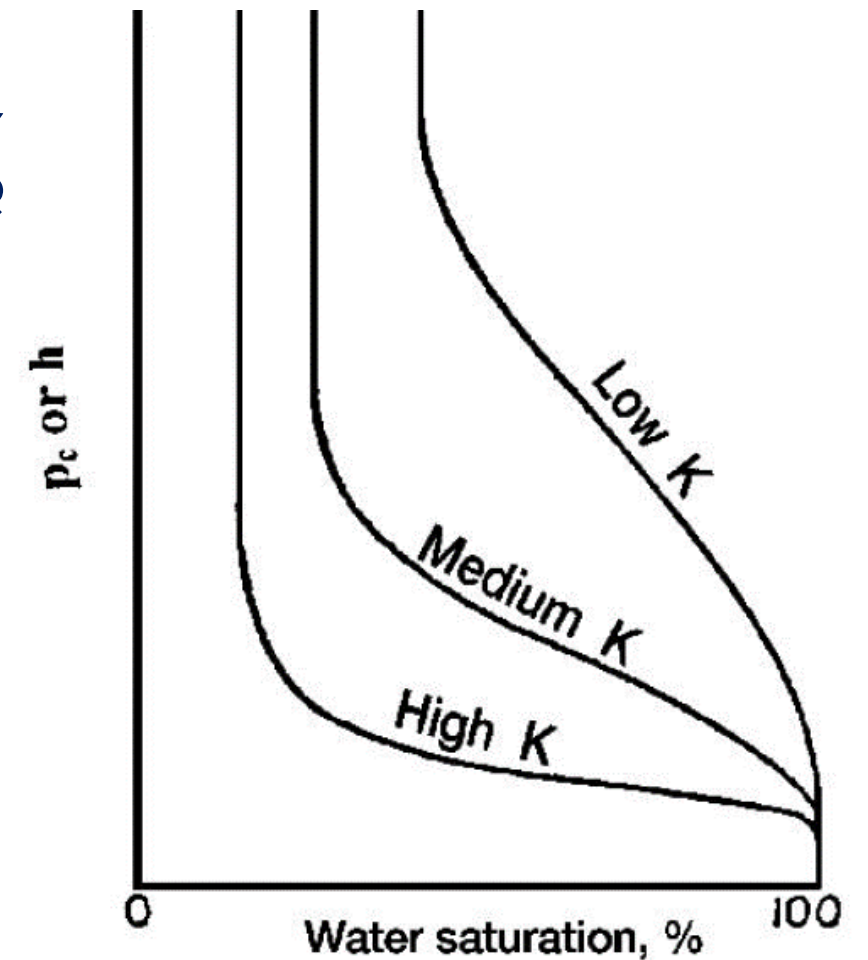
نکات نمودار فشار موئینگی

۱- هر چه اختلاف چگالی میان دو فاز آب و هیدروکربن موجود در مخزن کم تر باشد طول ناحیه انتقالی بیشتر خواهد بود که از رابطه ی h نیز قابل مشاهده است.

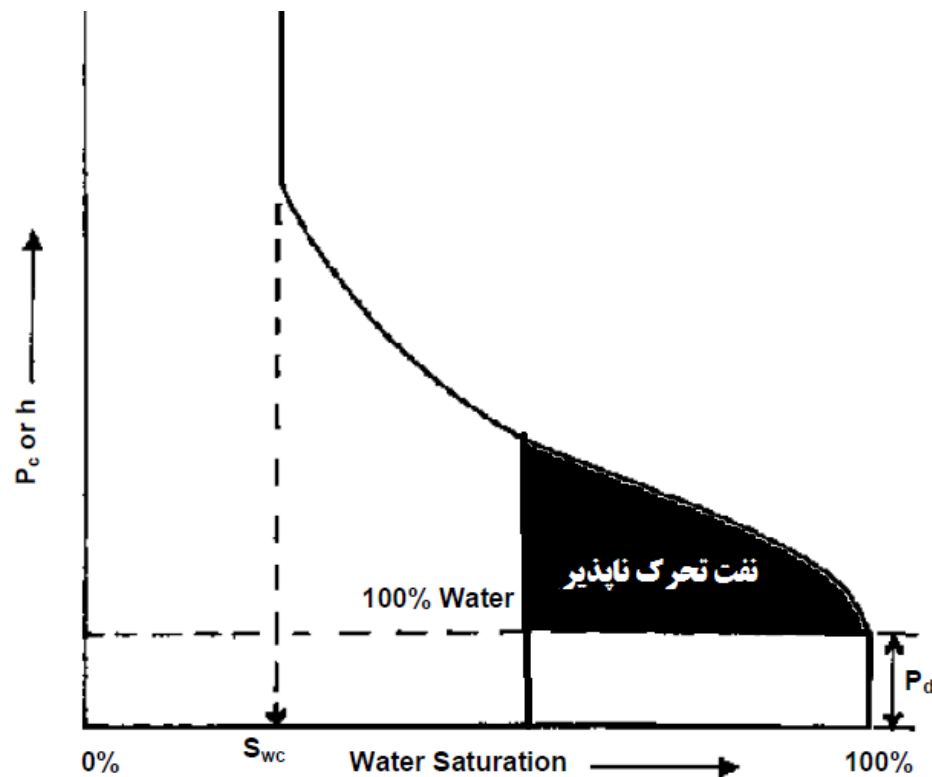


۳- هر چه تراوایی بیشتر باشد میانگین شعاع حفرات بیشتر و طبق رابطه، h کم تر می شود و بنابراین ارتفاع ناحیه انتقالی نیز کاهش می یابد.

$$\frac{\sigma \cos \theta \times 2}{\Delta \rho g R} = h$$



۴- در تمام ناحیه انتقالی، نفت تحرک پذیر نیست و می بایست اشباع آب از یک حد معینی کم تر شود (اشباع نفت از حد بحرانی خودش SOC عبور کند) تا نفت تحرک پذیر و قابل تولید شود.

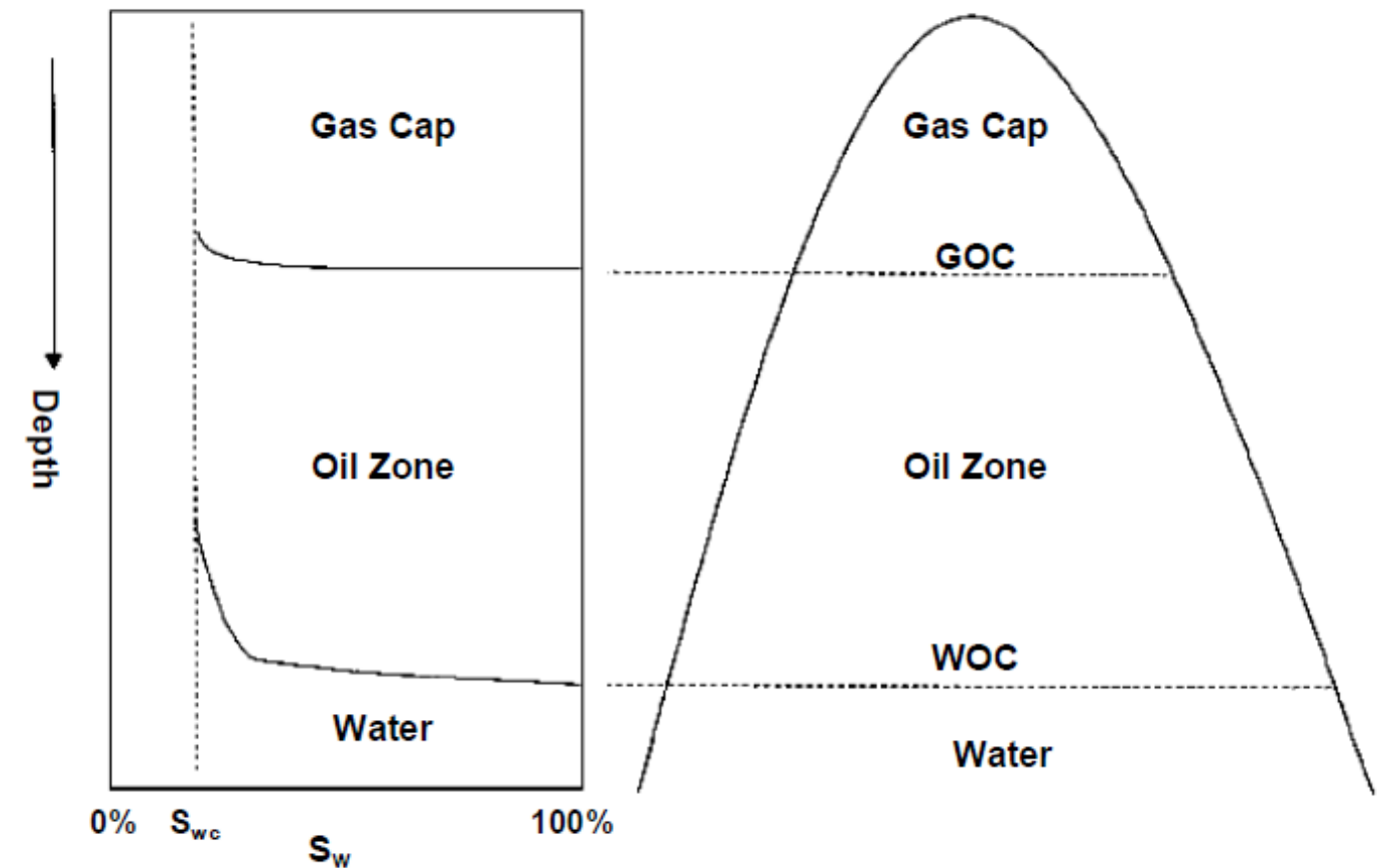




فشار موئینگی--Capillary Pressure

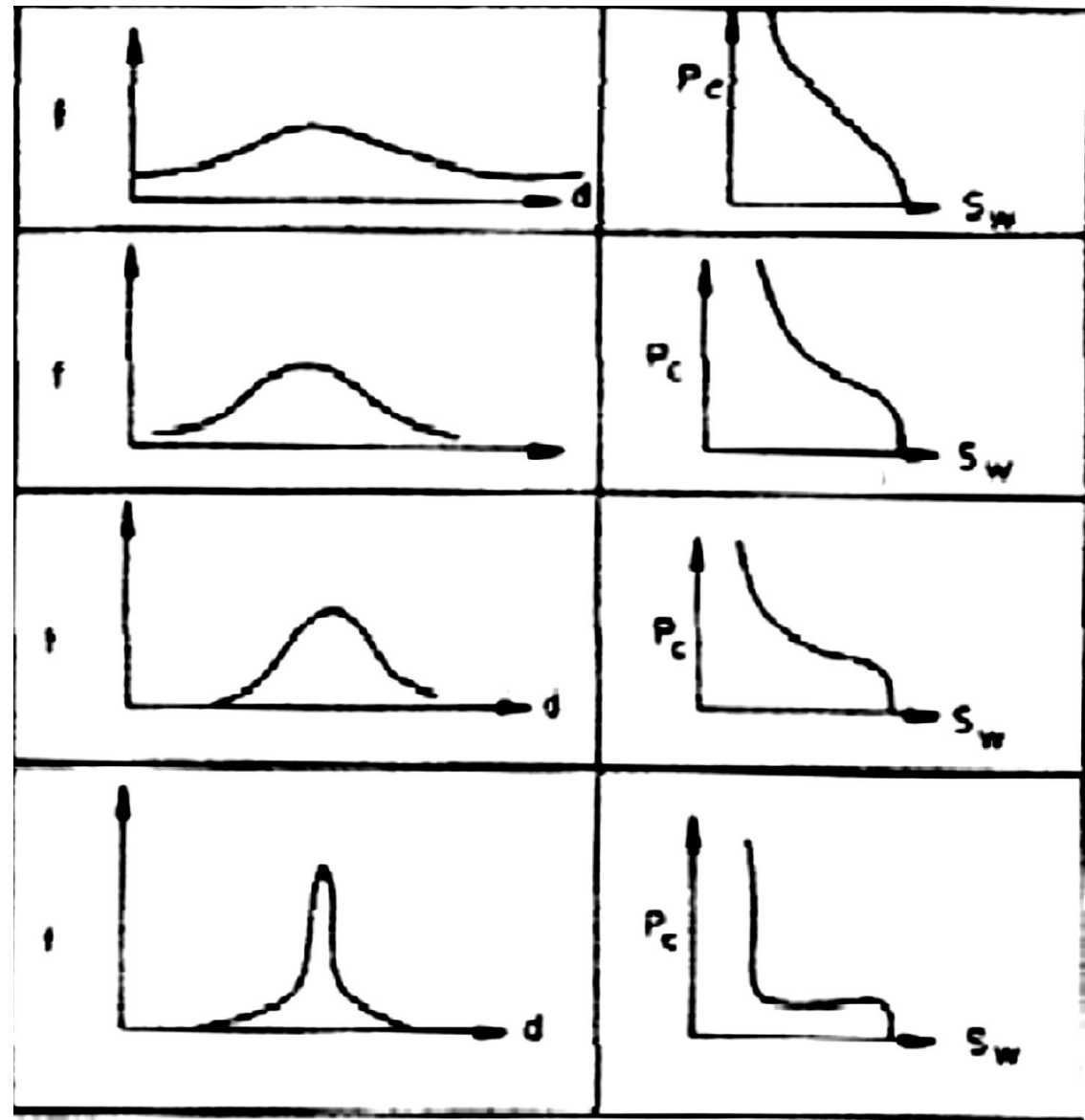
نکات نمودار فشار موئینگی

۵- در حالتی که گاز نیز در مخزن حضور داشته باشد علاوه بر سطح تماس آب و نفت سطح تماس گاز و نفت نیز اضافه خواهد شد.



نمودار فشار موئینگی

نمودار توزیع اندازه حفرات



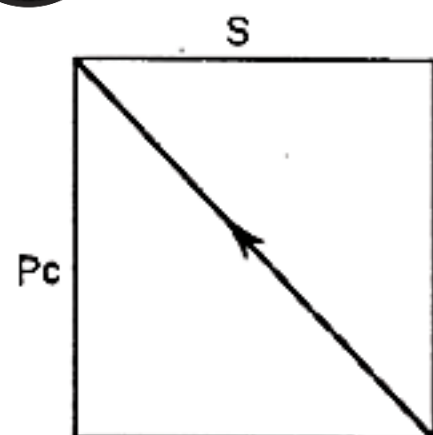
۶- هر چه مخزن ناهمگن تر باشد و در نتیجه نمودار توزیع اندازه حفرات آن پهن تر باشد، طول ناحیه ی انتقالی بزرگتر می شود.

افزایش میزان ناهمگنی سنگ

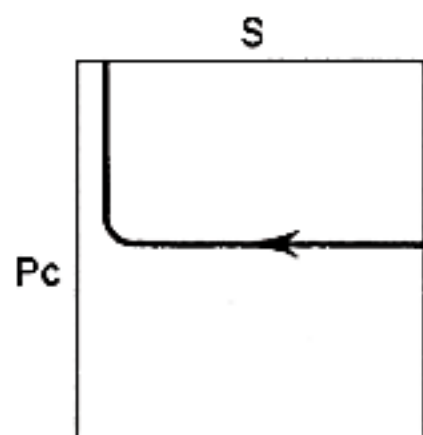


نکات نمودار فشار موئینگی

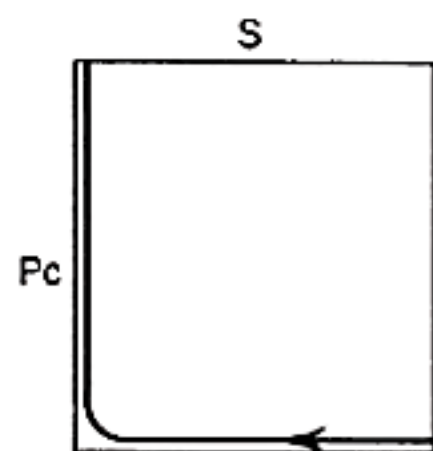
۷- نحوه جورشدگی (Sorting) حفرات نیز بر روی نمودار فشار موئینگی تاثیر دارد و هر چه ذرات جورشدگی بهتر باشد طول ناحیه انتقالی کم تر است. در نمودار های روبه رو تاثیر اندازه ذرات و میزان جورشدگی بر روی نمودار های فشار موئینگی قابل رویت است.



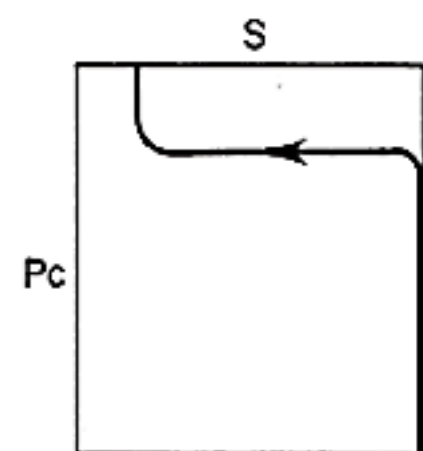
Unsorted



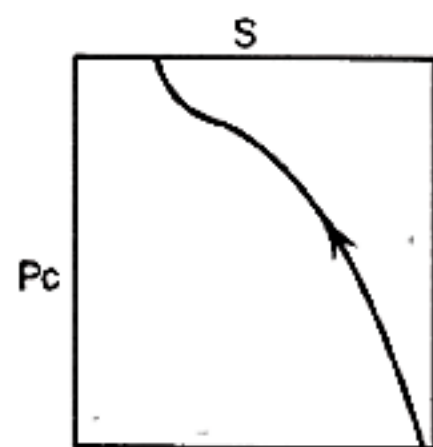
Well sorted



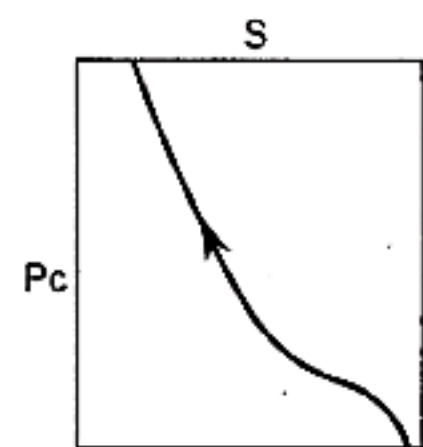
Well sorted
Coarse skewness



Well sorted
Fine skewness

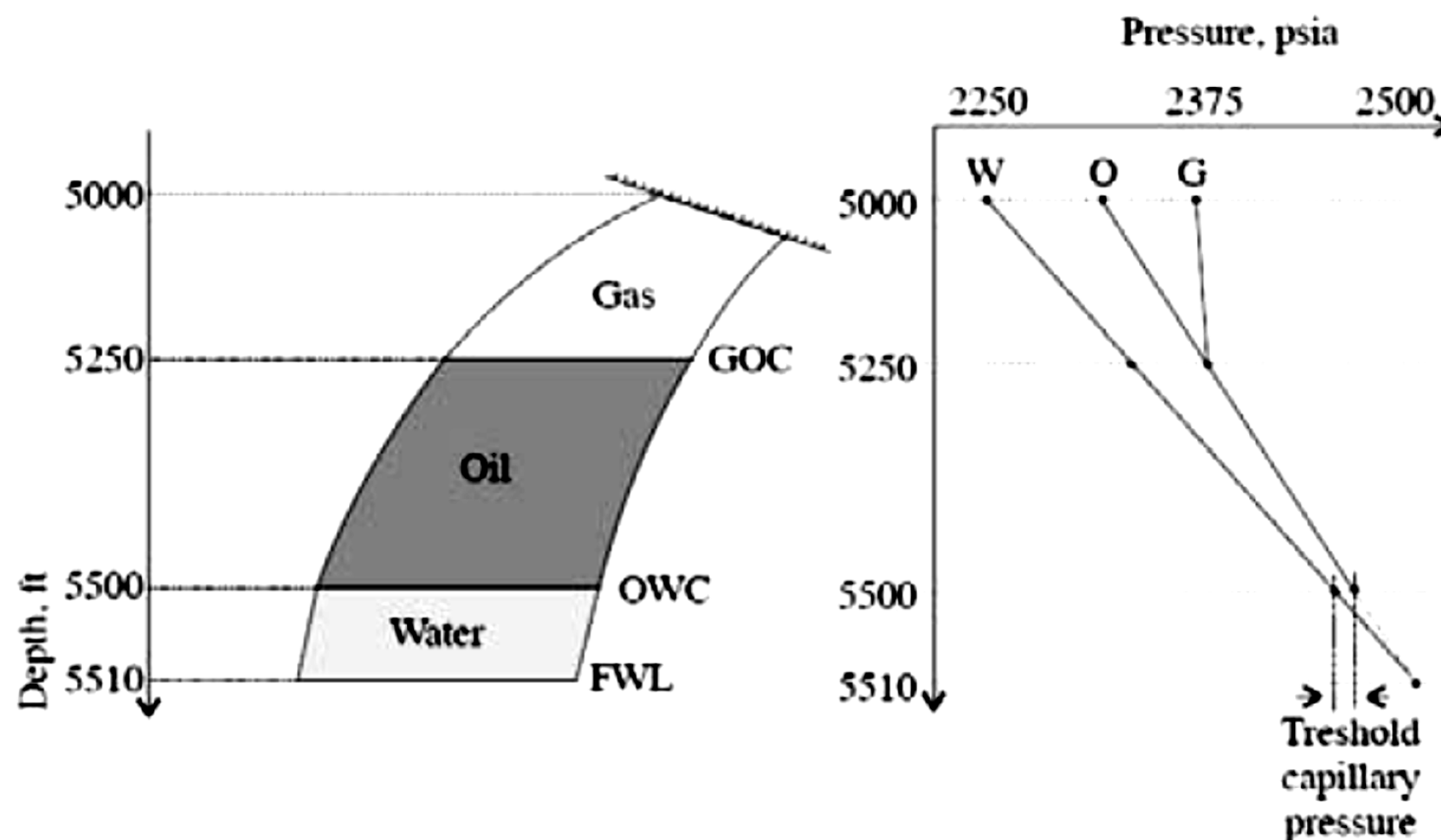


Poorly sorted
Slightly fine skewness



Poorly sorted
Slight coarse skewness

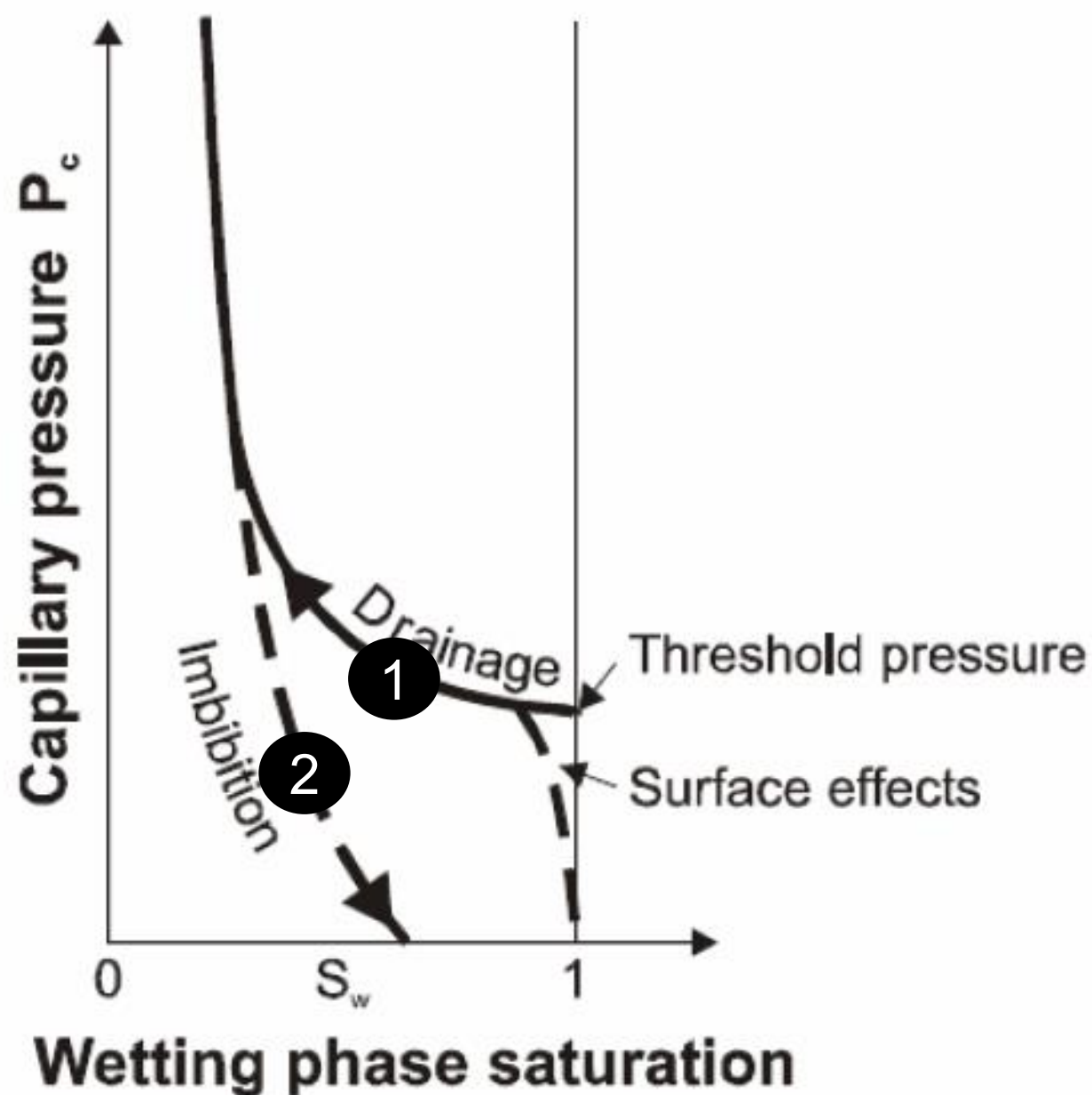
۸- نمودار تغییرات فشار برای هر فاز به تنهایی مطابق نمودار زیر است و فشار موئینگی در واقع بیان این اختلاف فشار است. نکته مهم اختلاف میان نمودار نفت و آب در سطح تماس آب-نفت است که در واقع همان فشار آستانه مورد نیاز برای ورود اولین قطره ی نفت است.





نمودار فشار موئینگی در حالت آشام و تخلیه.

اگر یک فرایند تخلیه و آشام را پشت سر هم و مطابق نمودار زیر انجام دهیم، منحنی فشار موئینگی آنها روی یکدیگر نمی افتد و این پروسه را **capillary hysteresis** می گویند. دلیل اصلی این تفاوت در یکسان نبودن زاویه های تماس پیش رونده و پس رونده با سطح سنگ است.

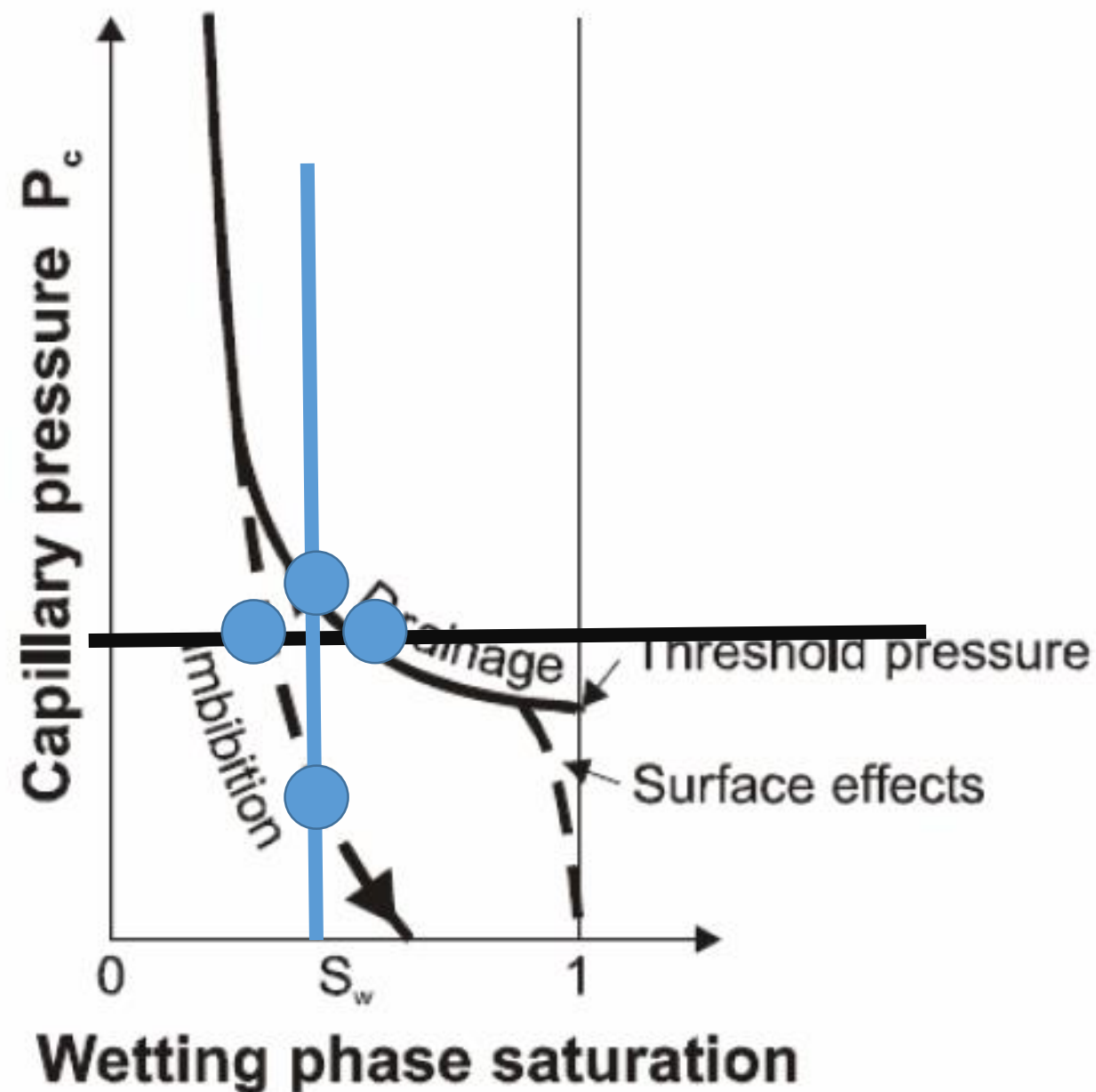


به زبان ساده تر سنگ تمایلی به ورود بیشتر فاز غیر تر ندارد بنابراین مقاومت بیشتری در برابر این فرایند دارد. بنابراین حتی در اشباع یکسان از آب بسته به این که چه فرایندی در حال انجام باشد میزان فشار موئینگی متفاوت است و سنگ در حالتی که فرایند مربوط به فرایند آشام باشد فشار موئینگی کم تری ایجاد می کند!

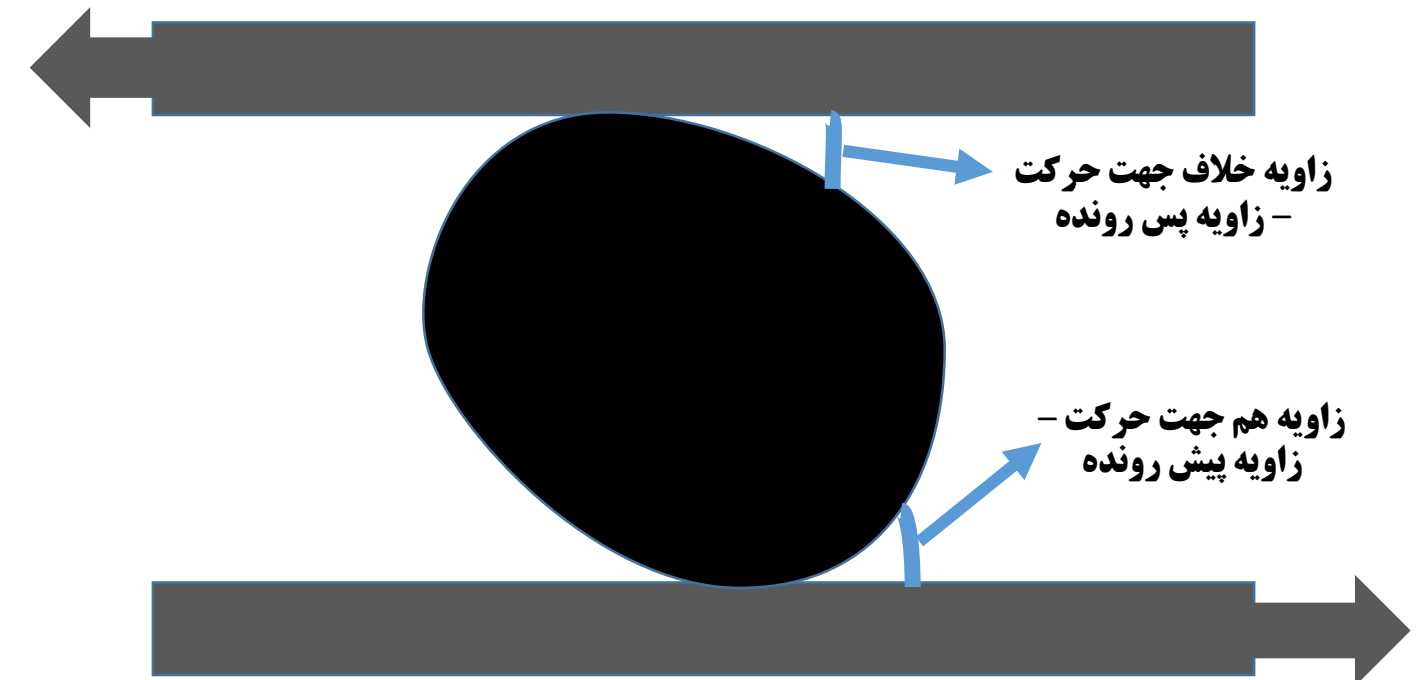


نمودار فشار موئینگی و تاریخچه اشباع

همان طور که گفته شد در حالتی که قرار باشد فرایند تخلیه انجام شود فشار موئینگی در اشباع یکسان بالاتر است. به زبانی دیگر در یک فشار موئینگی یکسان، در حال فرایند آشام نسبت به فرایند تخلیه اشباع کم تری از آب درون نمونه موجود است (خط مشکی روی نمودار) و در صورتی که هر دو اشباع یکسان شوند (خط آبی روی نمودار) فشار موئینگی در حالت آشام از تخلیه کم تر است و این رو نمودار هم قابل مشاهده است.



یادآوری



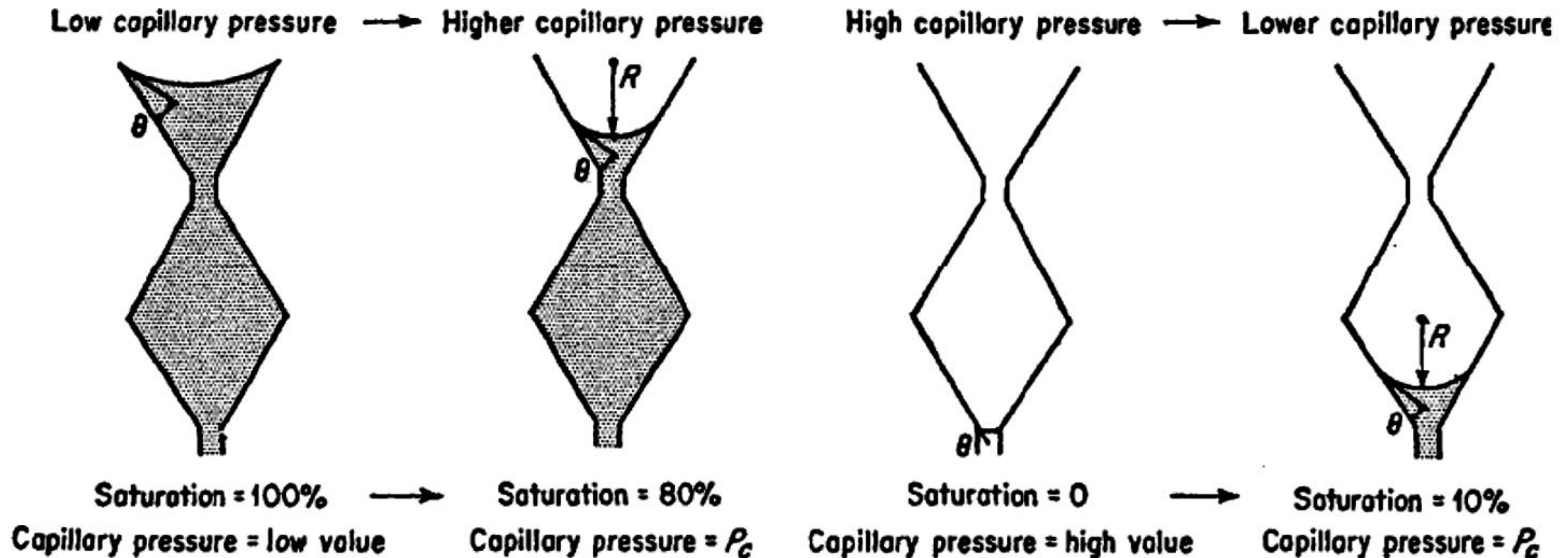
- ✓ زاویه پیش رونده متناظر با حالت آشام.
- ✓ زاویه پس رونده متناظر با حالت تخلیه است.



نمودار فشار موئینگی و تاریخچه اشباع

شکل زیر نیز بیانگر این فرایند های آشام (سمت راست) و تخلیه (سمت چپ) است. همانطور که مشخص است در فرایند تخلیه از فشار موئینگی کم به فشار موئینگی بیشتر و در فرایند آشام از فشار موئینگی زیاد به فشار موئینگی کم حرکت می کنیم.

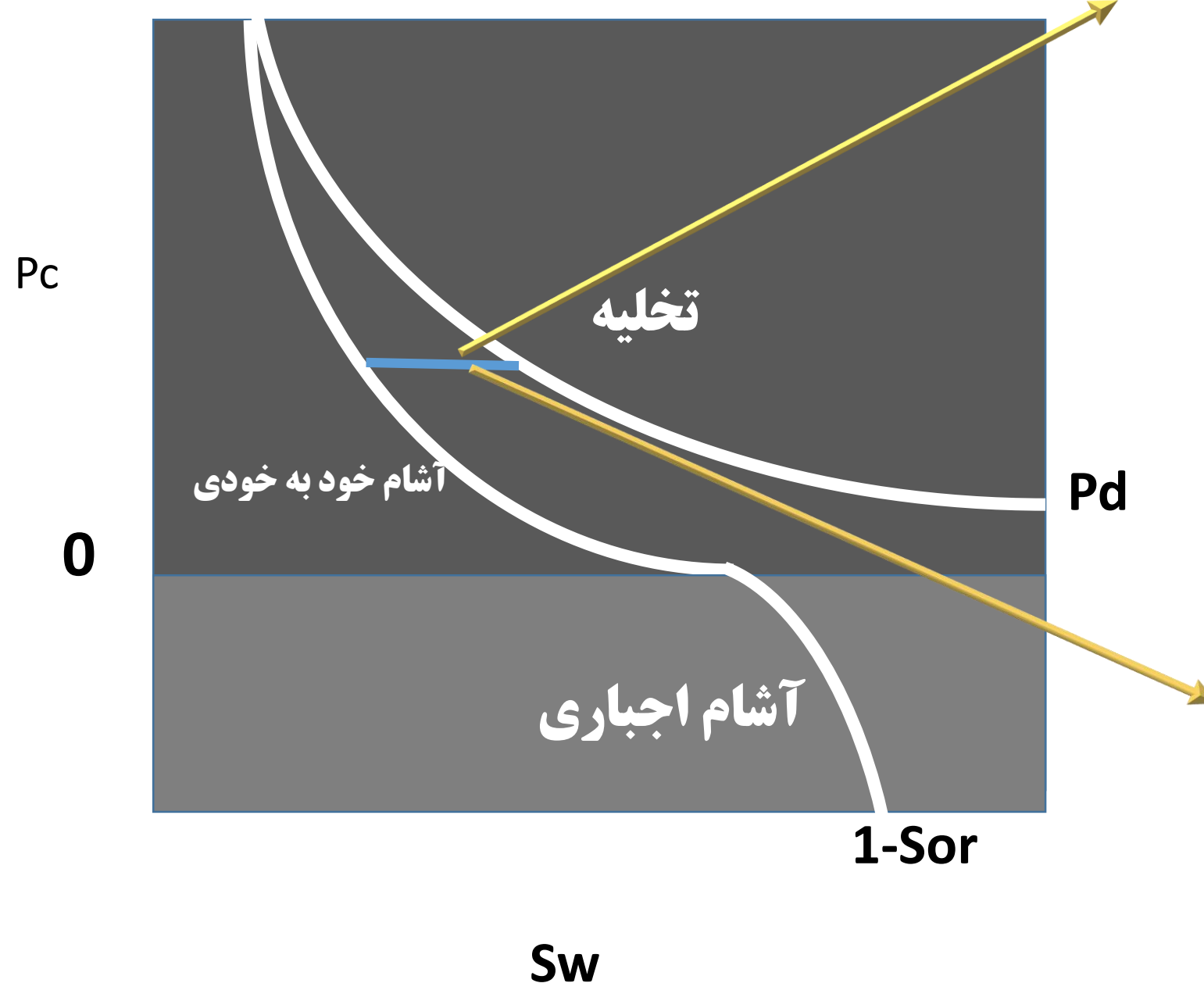
✓ رابطه میان فشار موئینگی و اشباع سیالات به اندازه و توزیع حفرات، نوع سنگ و سیال و تاریخچه ی اشباع وابسته است.





نمودار فشار موئینگی و تاریخچه اشباع

در فرایند آشام گاهی فاز تر به خوبی وارد سنگ نمی شود و اشباع فاز غیر تر به میزان غیر قابل کاهش نمی رسد. در این حالت نیاز است که فشار فاز تر را از طریق اشام اجباری افزایش دهیم که این موجب منفی شدن فشار موئینگی و افزایش اشباع آب و رسید به اشباع غیرقابل کاهش فاز غیر تر(نفت) می شود. به فاصله ی افقی بین دو نمودار **trap hysteresis** می گویند.



$$P_C = P_{NW} - P_W$$

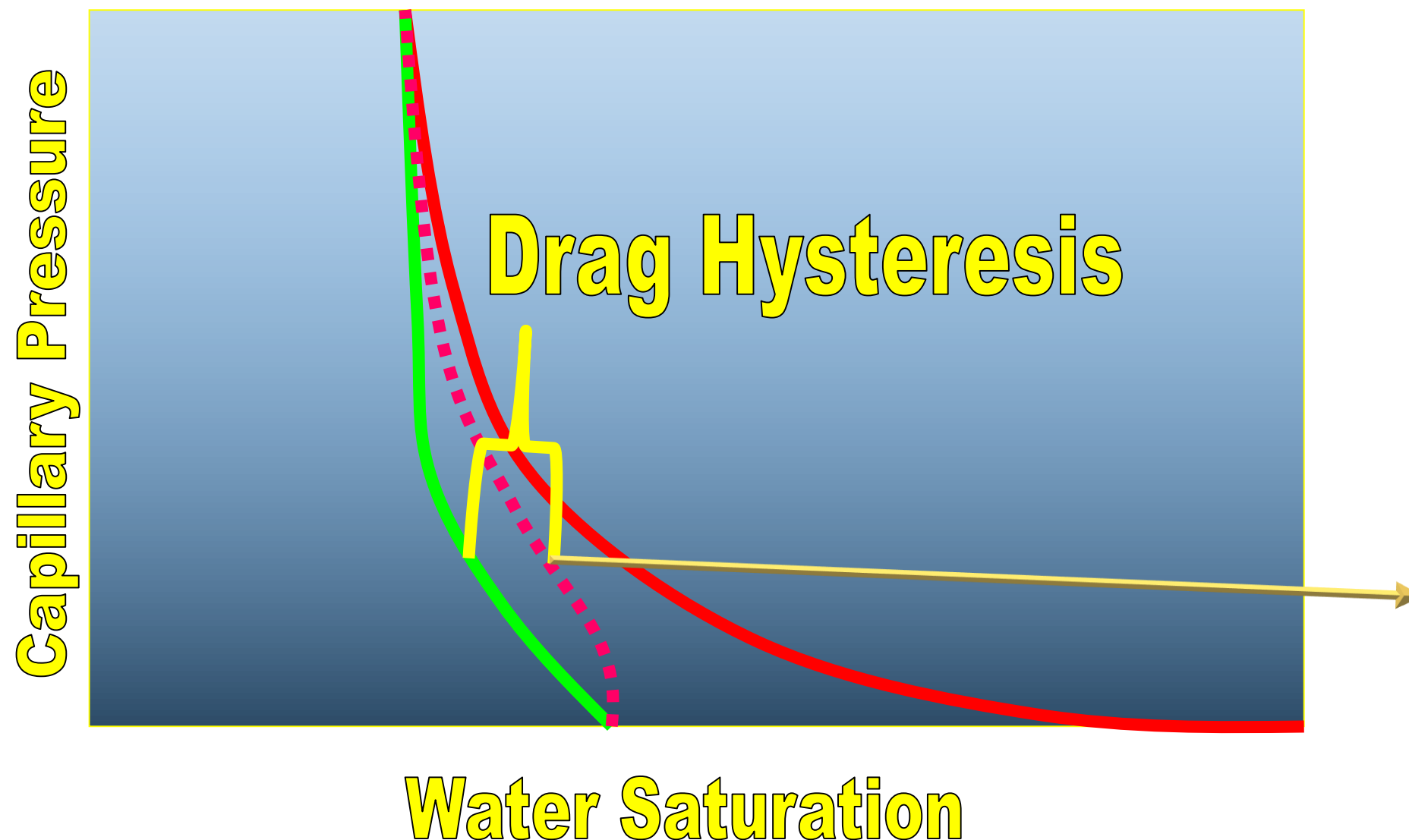
در حین فرایند آشام ممکن است بعضی از قطرات نفت به علت نیروهای موئینه درون حفرات بزرگ باقی بمانند و در نتیجه بخشی از فضای خالی را اشغال کنند که در نتیجه موجب کاهش اشباع آب شوند. به همین جهت به این فاصله **trap hysteresis** می گویند



نمودار فشار موئینگی و تاریخچه اشباع

اگر بعد از فرایند تخلیه و آشام مجدد فرایند تخلیه ثانویه انجام شود به علت نیروی درگ ناشی از حضور فاز تر درون محیط متخلخل فشار موئینه ی بیشتری برای رسیدن به اشباع یکسان از آب وجود دارد.

Secondary Drainage



به اختلاف اشباع بین نمودار فشار موئینگی تخلیه ثانویه و آشام در یک فشار ثابت Drag Hysteresis می گویند.



روابط فشار موئینگی و اشباع - مدل های S_w^*

۱- مدل توانی S_w^*

λ شاخص توزیع اندازه حفرات است و هر چقدر توزیع یکنواخت تر باشد این مقدار بیشتر است و نمودار توزیع حفرات نیز دارای پهنای کم تری است و همان طور که توضیح داده شده است بین نحوه توزیع اندازه حفرات و شیب ناحیه ی انتقالی رابطه وجود دارد و بنابراین می توان از شیب نمودار به این شاخص دست یافت

$$P_c = P_d (S_w^*)^{-1/\lambda}$$

فشار آستانه از محل تقاطع نمودار با محور عمودی قابل محاسبه است

$$S_w^* = \frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}}$$

اشباع آب کاهش نیافتنی

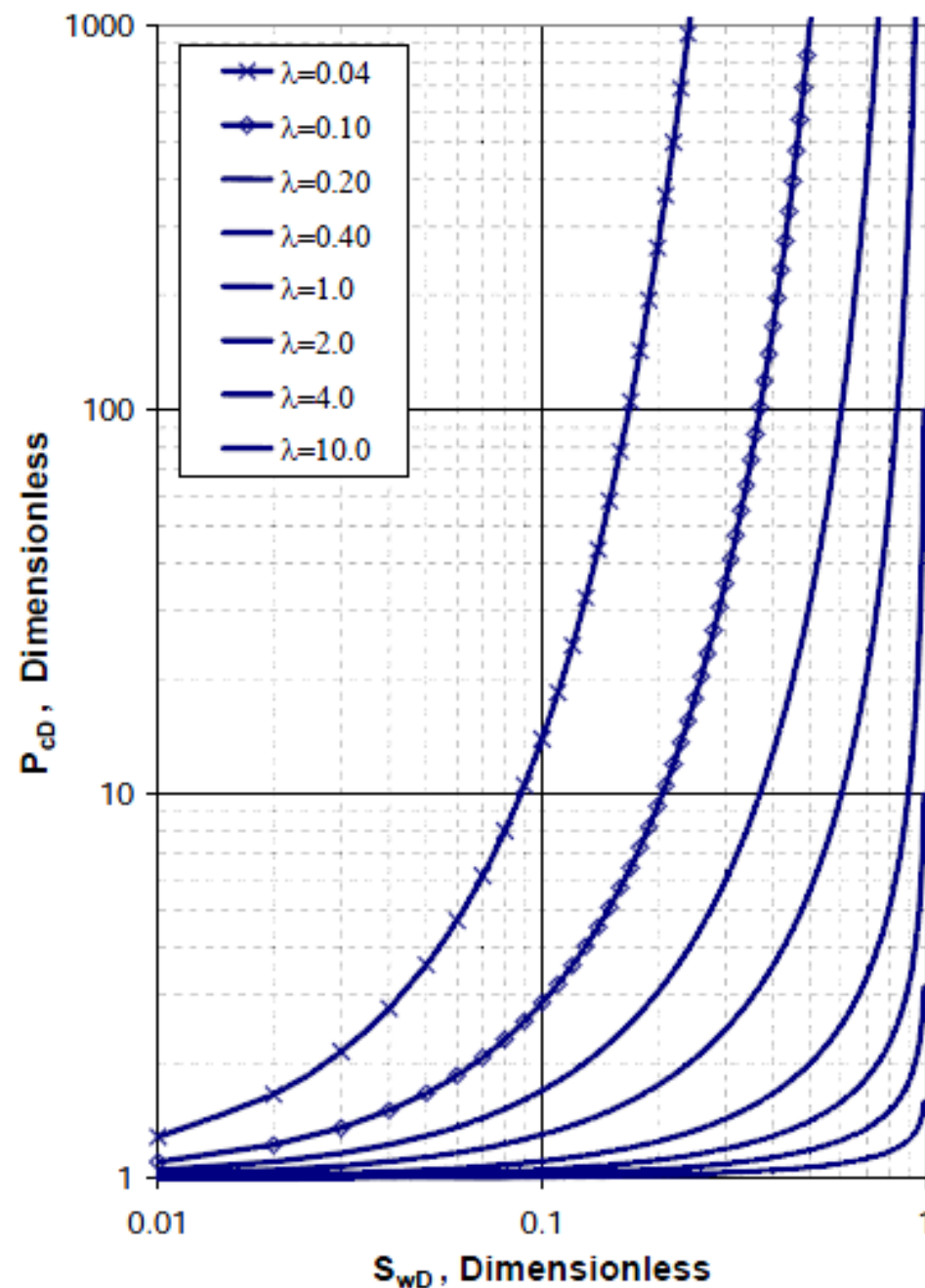


آنها نمودار های الگویی بر اساس روش خود توسعه دادن که با انطباق نمودار فشار موئینگی نسبت به $1-S_w$ بر این نموداره، می توان خاص بی بعد و در نتیجه مقادیر متناظر را محاسبه نموده

روابط فشار موئینگی و اشباع - مدل های S_w^*

۲- مدل corey&brooks

Dimensionless Capillary Pressure Type Curve



$$P_{cD} = \frac{P_c}{P_d}$$

$$P_{cD} = (1 - S_{wD})^{-1/\lambda}$$

$$S_{wD} = 1 - S_w^* = \frac{1 - S_w}{1 - S_{wi}}$$

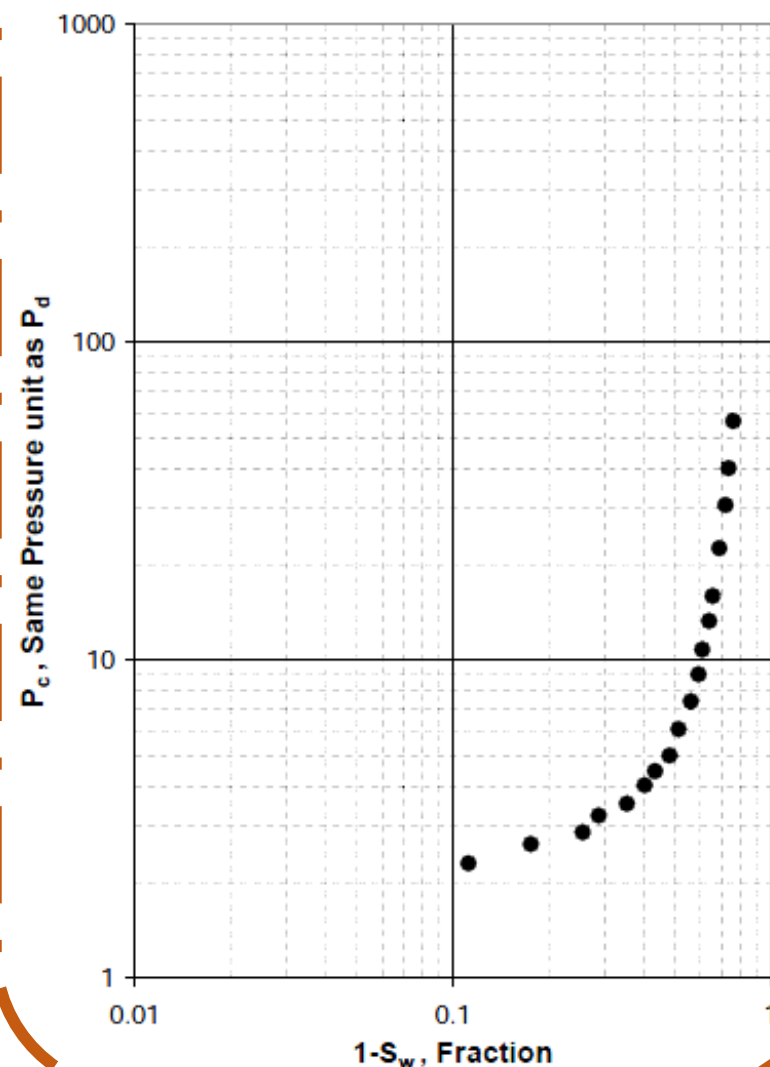


روابط فشار موئینگی و اشباع - مدل های S_w^*

۱-۲- نحوه استفاده از نمودار های الگو مدل corey&brooks

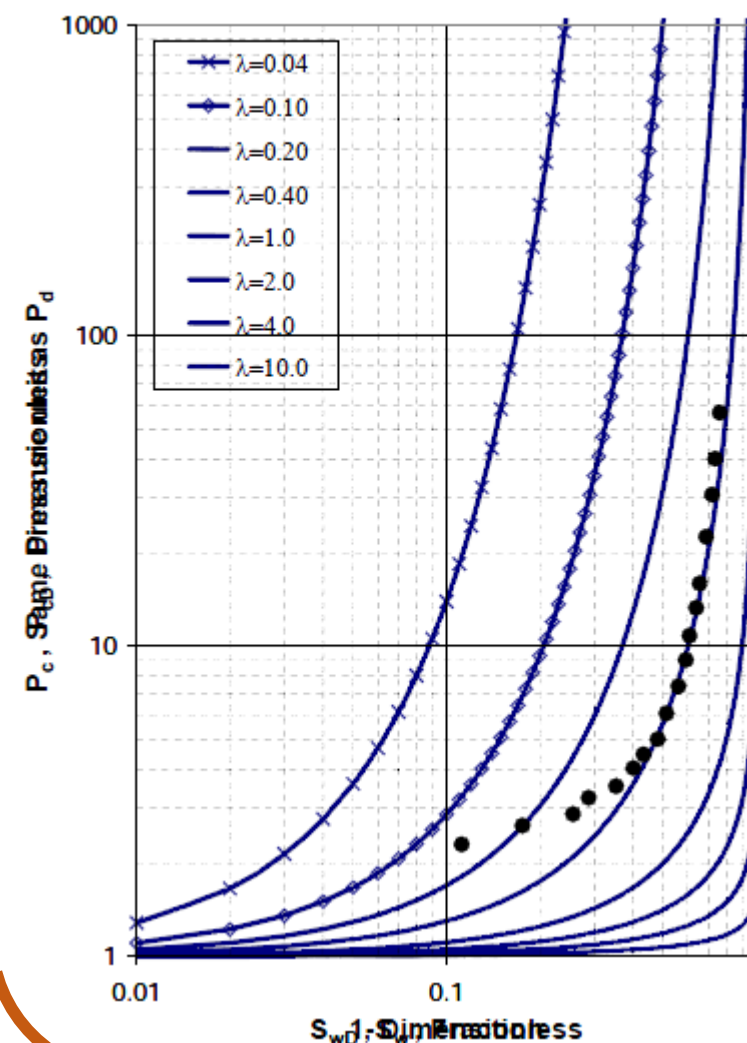
رسم داده های فشار موئینگی
نسبت به $1-S_w$

Dimensionless Capillary Pressure Data Sheet



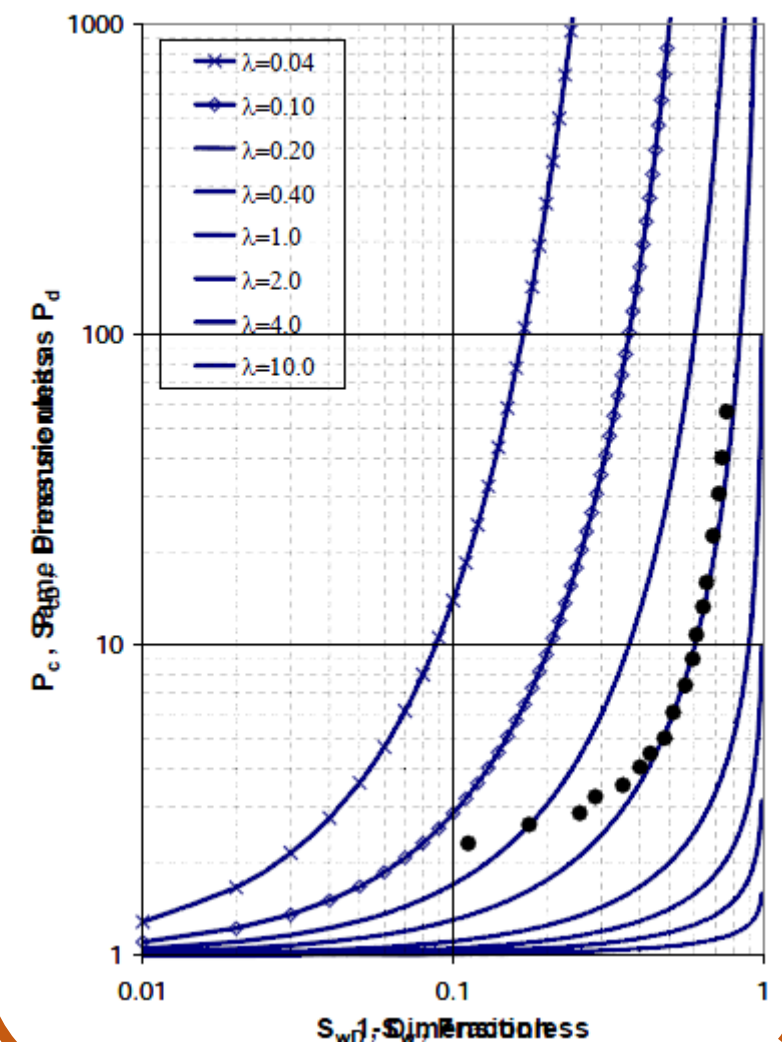
قرار دادن نمودار بر روی
نمودار های الگو

Dimensionless Capillary Pressure Data Sheet



جابه جایی نمودار به منظور یافتن بهترین
انطباق و محاسبه پارامتر های ضروری

Dimensionless Capillary Pressure Data Sheet





روابط فشار موئینگی و تراوایی

بر اساس مدل Purcell در صورتی که محیط متخلخل با مجموعه ای از لوله های موئین با اندازه های مختلف معادل شود می توان رابطه ی زیر را میان تراوایی و کشش سطحی برای لوله های موئین با توزیع اندازه های گسسته در نظر گرفت.

$$k = \frac{(\sigma \cos(\theta))^2}{2} \phi \sum_{i=1}^n \frac{(S_w)_i}{(P_c^2)_i}$$

- k cm²
- σ dyne/cm
- P_c dyne/cm²

برای توزیع یکنواخت این معادله تبدیل به معادله زیر می شود.

$$k = \frac{(\sigma \cos(\theta))^2}{2} \phi \alpha \int_{S_w=0}^{S_w=1} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w$$

واحد های میدانی

$$k = 10.66 (\sigma \cos(\theta))^2 \phi \alpha \int_{S_w=0}^{S_w=1} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w$$

ضریب شناسی است که گاهی اوقات با λ نشان داده می شود.

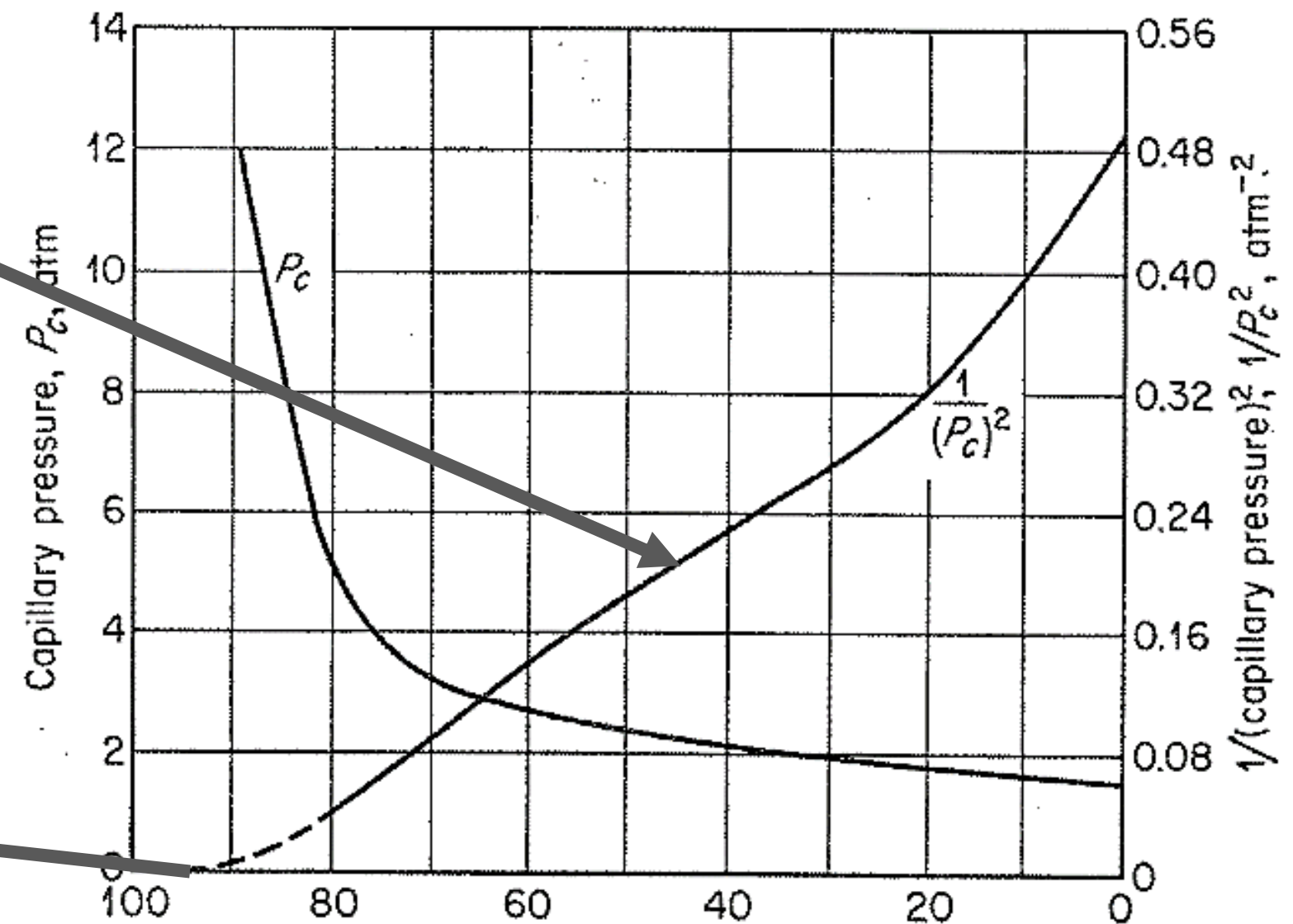
اگر در یک سیستم دو فاز دامنه انتگرال گیری از ۰ تا اشباع آب S_w باشد در واقع تراوایی فاز آب محاسبه شده است. اگر از S_w تا ۱ باشد تراوایی فاز نفت اندازه گیری شده است.



روابط فشار موئینگی و تراوایی

بنابراین بر اساس این رابطه و مساحت زیر نمودار عکس مجذور فشار موئینه نسبت به اشباع می توان تراوایی را محاسبه نمود.

$$k = 10.66 (\sigma \cos(\theta))^2 \phi \alpha \int_{S_w=0}^{S_w=1} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w$$



برای اشباع های کم تر از S_{wi} میزان $\frac{1}{P_c^2}$ برابر با ۰ در نظر گرفته می شود



برای اشباع های کم تر از S_{wi}
میزان $\frac{1}{P_c^2}$ برابر با ۰ در نظر گرفته
می شود

صفر

می توان رابطه تراوایی و فشار موئینگی را مطابق زیر ساده سازی نمود

$$\int_{S_w=0}^{S_w=1} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w = \int_{S_w=0}^{S_w=S_{wi}} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w + \int_{S_w=S_{wi}}^{S_w=1} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w$$

$$S_w^* = \frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}}$$

$$dS_w = (1 - S_{wi}) dS_w^*$$

$$\int_{S_w=S_{wi}}^{S_w=1} \frac{1}{(P_c)^2} dS_w = \int_{S_w^*=0}^{S_w^*=1} \frac{(1 - S_{wi})}{(P_c)^2} dS_w^*$$



روابط فشار موئینگی و تراوایی

می توان رابطه تراوایی و فشار موئینگی را مطابق زیر ساده سازی نمود

$$P_c = P_d (S_w^*)^{-1/\lambda}$$

$$\int_{S_w^*=0}^{S_w^*=1} \frac{(1-S_{wi})}{(P_c)^2} dS_w^*$$

$$= \int_{S_w^*=0}^{S_w^*=1} \frac{(1-S_{wi})}{\left(P_d (S_w^*)^{(-1/\lambda)}\right)^2} dS_w^*$$

$$= \frac{(1-S_{wi})}{P_d^2} \left[\frac{\lambda}{\lambda+2} S_w^{*((\lambda+2)/\lambda)} \right]_{S_w^*=0}^{S_w^*=1}$$

$$= \frac{(1-S_{wi})}{P_d^2} \int_{S_w^*=0}^{S_w^*=1} S_w^{*(2/\lambda)} dS_w^*$$

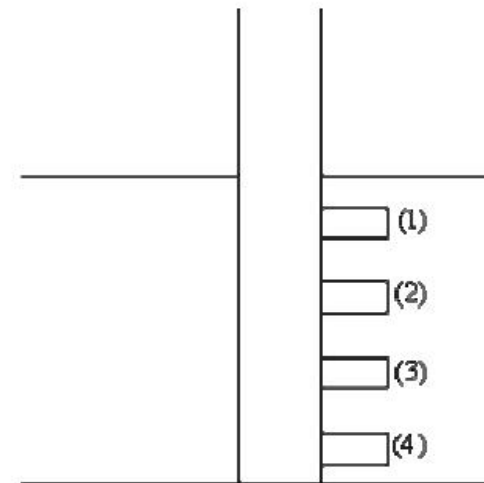
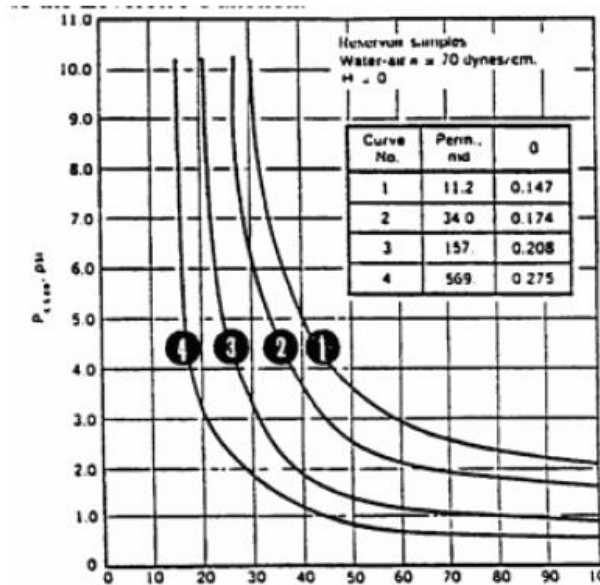
$$= \frac{(1-S_{wi})}{P_d^2} \left[\frac{\lambda}{\lambda+2} \right]$$

$$k = 10.66 (\sigma \cos(\theta))^2 \phi \alpha \frac{(1-S_{wi})}{P_d^2} \left[\frac{\lambda}{\lambda+2} \right]$$



اندازه گیری فشار موئینگی از روی نمونه های مغزه

زمانی که یک مغزه برای اندازه گیری نمودار فشار موئینگی استفاده می شود، بسته به این که این نمونه مربوط به کدام بخش باشد ممکن است نمودار متفاوتی به دست آید.



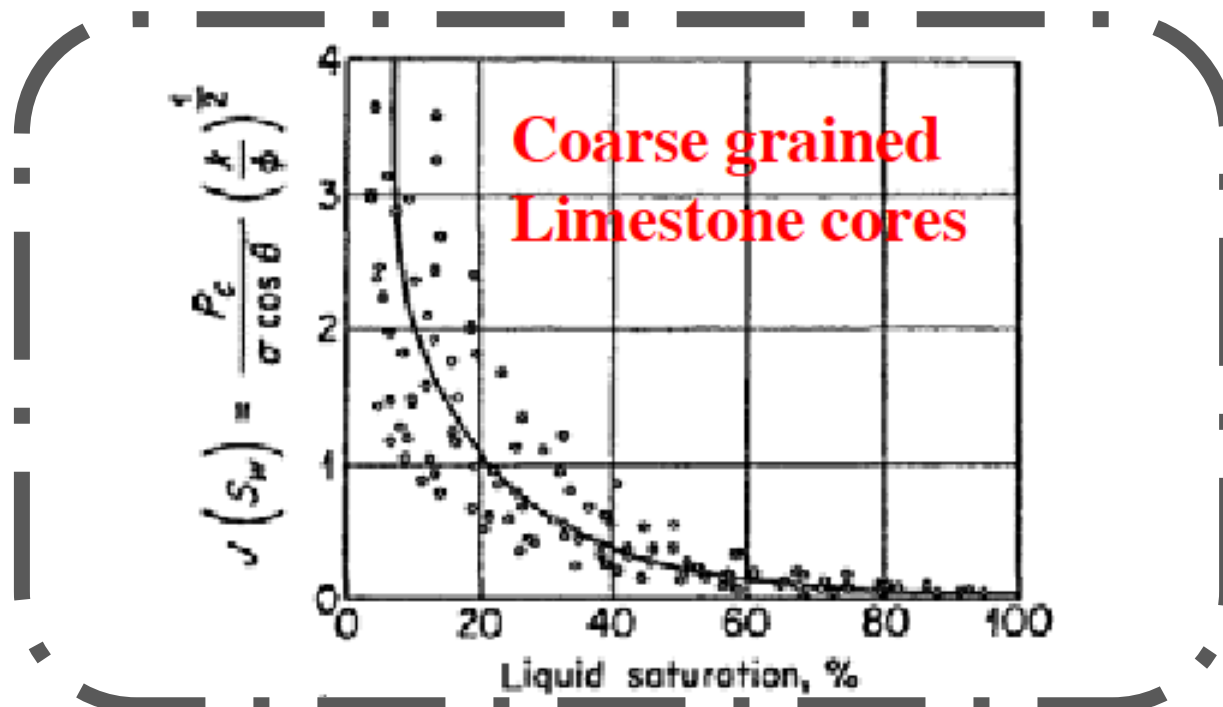
بنابراین لازم است که یک نمودار واحد برای یک مخزن استفاده شود که فارغ از موقعیت و شرایط خاص نمونه باشد و برای تمام نمونه ها یکسان باشد.

بدین منظور از تابع بی بعد Leverette استفاده می شود که به شرح زیر است.

$$J(S_w) = C \cdot \frac{P_c}{\sigma \cdot \cos \theta} \sqrt{\frac{K}{\phi}}$$

C یک ثابت است که برای واحد های میدانی برابر با ۰/۲۱۶۴۵ است.

✓ در واقع این رابطه تاثیر عوامل ایجاد نوسان در اندازه گیری را با یکدیگر خنثی می کند و همواره نمودار ثابتی را به دست می آورد.





اندازه گیری فشار موئینگی از روی نمونه های مغزه

به طور کلی فشار موئینگی که در آزمایشگاه اندازه گیری می شود نسبت به حالت واقعی مخزن متفاوت است. با فرض ثابت بودن J برای هر دو نمونه می توان رابطه ی زیر را برای تبدیل داده های آزمایشگاهی به شرایط مخزن پیشنهاد نمود.

$$J(S_W) = C \cdot \frac{P_c}{\sigma \cdot \cos \theta} \sqrt{\frac{K}{\phi}} \quad \longrightarrow \quad (p_c)_{\text{res}} = (p_c)_{\text{lab}} \frac{\sigma_{\text{res}}}{\sigma_{\text{lab}}} \sqrt{(\phi_{\text{res}} k_{\text{core}}) / (\phi_{\text{core}} k_{\text{res}})}$$



اندازه گیری آزمایشگاهی فشار موئینگی

روش های مختلفی برای اندازه گیری فشار موئینگی وجود دارد که به صورت مختصر به شرح زیر اند. توضیحات کامل از هر بخش در ادامه آورده شده است.

روش تزریق جیوه

در این روش جیوه تحت فشار جایگزین هوا می شود و از آنجایی که جیوه فاز نادر است با اندازه گیره حجم جیوه ی وارد شده می توان اشباع هوا را به دست آورد. با مشخص بودن فشار و اشباع می توان نمودار فشار موئینگی را رسم نمود.

روش دیافراگم متخلخل

این روش بر اساس وارد نمودن (تحت فشار مشخص) سیال غیر تر به نمونه اشباع شده از سیال تر انجام می گیرد. بر اساس فشار اعمال شده و اشباع سیال تر خروجی می توان نمودار فشار موئینگی را رسم نمود. در واقع این کار در مراحل مختلف و با افزایش تدریجی فشار انجام میگیرد. فشار اعمالی در واقع فشار مورد نیاز برای غلبه بر نیروهای موئینگی است.

روش دینامیک

در این روش دو سیال مختلف وارد سنگ می شوند. با اندازه گیری و تفاضل فشار مربوط به هر فاز می توان فشار موئینه را اندازه گرفت. اشباع نیر با تغییر میزان سیالی ورودی متغیر و قابل اندازه گیری است.

روش سانتریفیوژ

در این روش نمونه اشباع از سیال تحت دوران قرار میگیرد از آنجایی که در این وضعیت هوا که فاز نادر است وارد نمونه می شود بنابراین سیال تر از نمونه خارج شده و حجم آن قابل اندازه گیری است. با مشخص بودن سرعت دروانی می توان فشار را اندازه گیری نمود و در نتیجه نمودار فشار موئینگی قابل رسم است.



اندازه گیری آزمایشگاهی فشار موئینگی

روش دیافراگم متخلخل

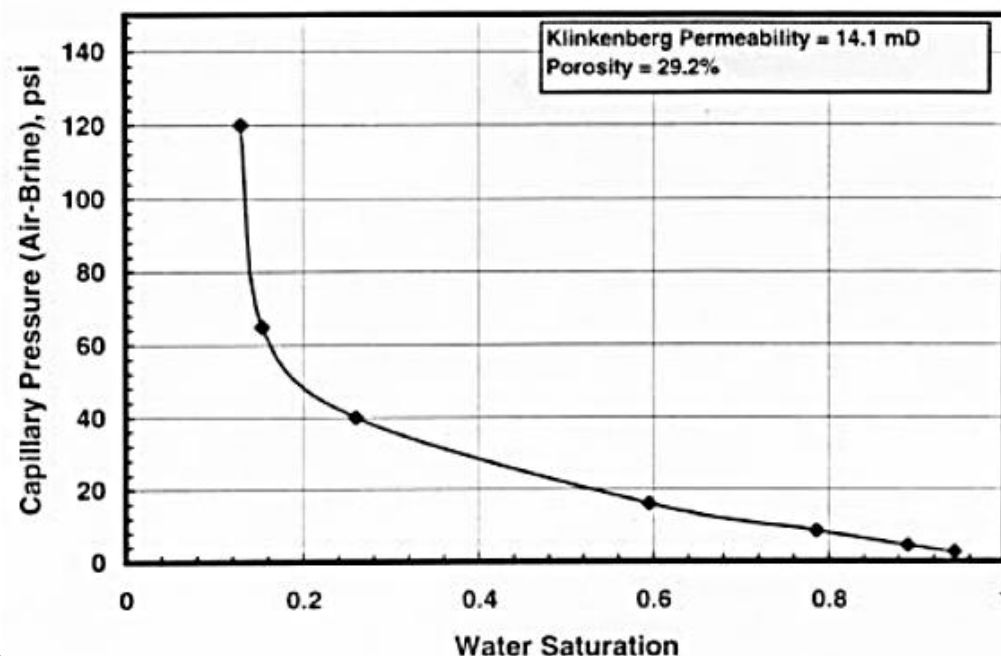
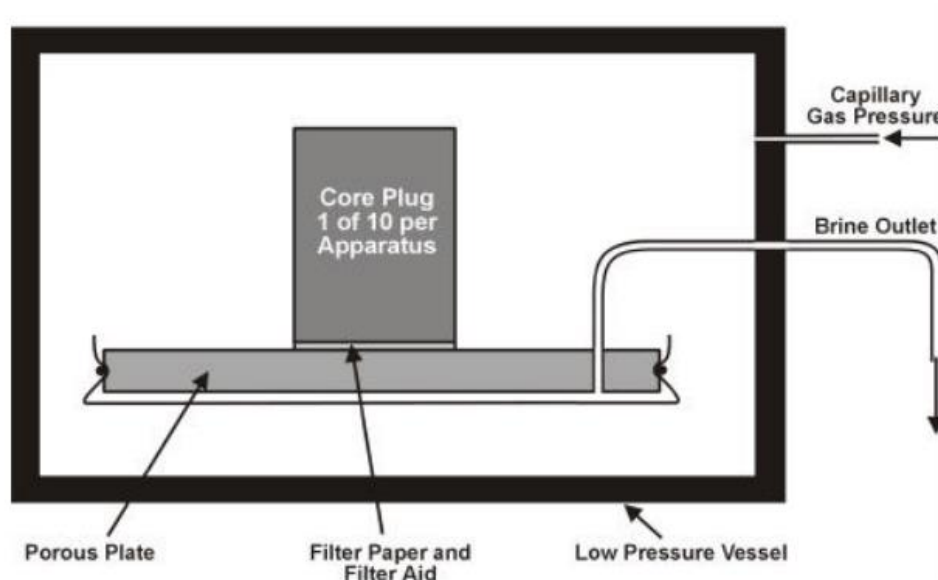
این روش بر اساس وارد نمودن (تحت فشار مشخص) سیال غیر تر به نمونه اشباع شده از سیال تر انجام می گیرد. بر اساس فشار اعمال شده و اشباع سیال تر خروجی می توان نمودار فشار موئینگی را رسم نمود. در واقع این کار در مراحل مختلف و با افزایش تدریجی فشار انجام میگیرد. فشار اعمالی در واقع فشار مورد نیاز برای غلبه بر نیروهای موئینگی است. **این روش نسبت به سایر روش ها دارای دقت بیشتری است و به عنوان روش استاندارد در نظر گرفته می شود.**

مضرات:

- ✓ وقت گیر است
- ✓ تماس موئینگی با صفحه متخلخل ممکن است در فشارهای زیاد از بین برود. این امر باعث می شود اشباع آب همزاد به اشتباه بالا خوانده شود.
- ✓ اندازه گیری در حالت آشام عموماً انجام نمی شود.
- ✓ برای نمونه های کم تراوا نامناسب است.

مزیتها:

- ✓ وجود مواد معدنی درون سنگ مانع از تورم شیل های می شود و این یک مزیت خوب نسبت به روش تزریق جیوه است.
- ✓ دقت اندازه گیری بالا است
- ✓ امکان استفاده از سیال مخزن وجود دارد.





اندازه گیری آزمایشگاهی فشار موئینگی

روش تزریق جیوه

در این روش جیوه تحت فشار جایگزین هوا می شود و از آنجایی که جیوه فاز نادر است با اندازه گیره حجم جیوه ی وارد شده می توان اشباع هوا را به دست آورد. با مشخص بودن فشار و اشباع می توان نمودار فشار موئینگی را رسم نمود.

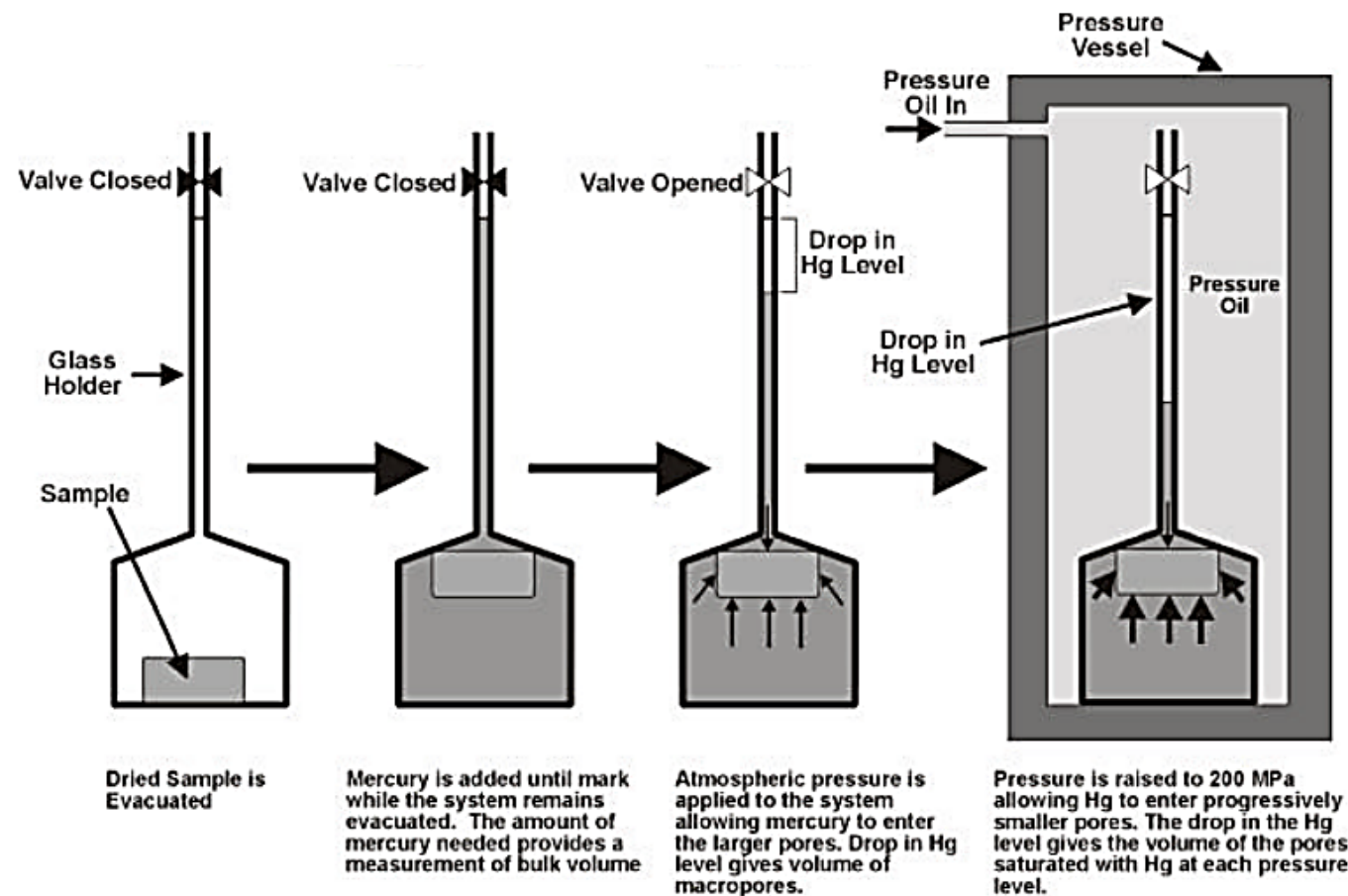
مقدار اندازه گیری شده بر اساس این روش نسبت به روش دیافراگم متخلخل برای سیستم آب- هوا ۶.۹ برابر است و این نسبت میان این دو روش وجود دارد.

مضرات روش:

- ✓ یک آزمایش مخرب است.
- ✓ روی مغزه ی خشک شده انجام می شود که امکان تعامل سطح سیال را ندارد.
- ✓ می تواند باعث ریزش انباشت مواد معدنی پوشش دهنده ی سطح دانه ها شود.
- ✓ جیوه ماده سمی است.

مزایای روش:

- ✓ سرعت بالای انجام آزمایشگی
- ✓ امکان استفاده از اشکال نامنظم
- ✓ محدوده ی فشاری گسترده
- ✓ سادگی وسایل مورد نیاز



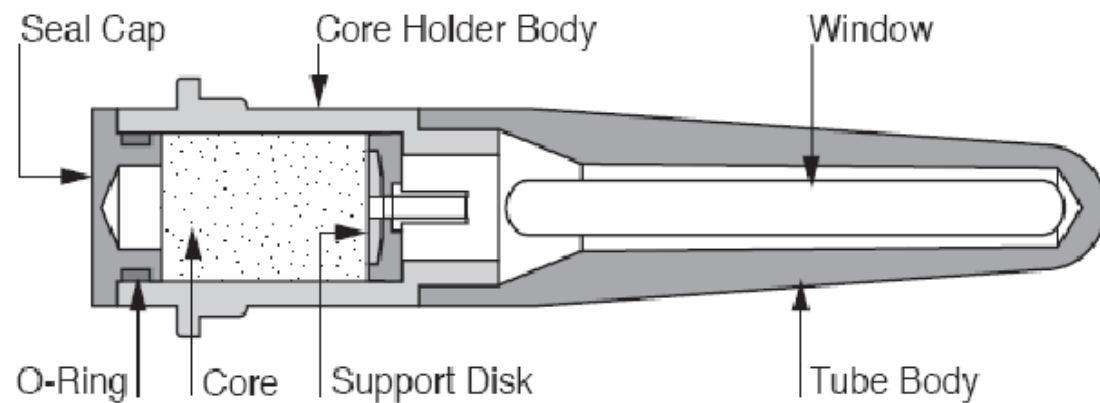


اندازه گیری آزمایشگاهی فشار موئینگی

روش سانتریفیوژ

در این روش نمونه اشباع از سیال تحت دوران قرار میگیرد از آنجایی که در این وضعیت هوا که فاز نادر است وارد نمونه می شود بنابراین سیال تر از نمونه خارج شده و حجم آن قابل اندازه گیری است. با مشخص بودن سرعت دروانی می توان فشار را اندازه گیری نمود و در نتیجه نمودار فشار موئینگی قابل رسم است.

مقدار اندازه گیری شده بر اساس این روش نسبت به روش دیافراگم متخلخل تقریباً یکسان است



مضرات روش:

- ✓ پیچیدگی آنالیز عها و بالا بودن خطای محاسبات
- ✓ فقط برای فرایند تخلیه است

مزایای روش:

- ✓ سرعت بالای انجام آزمایشگی
- ✓ امکان استفاده از سیال مخزن
- ✓ دقت مناسب

شعاع دوران پایین نمونه

$$P_c \text{ (psi)} = 7.9 \times 10^{-8} (\rho_1 - \rho_2) R^2 (r_b^2 - r_t^2)$$

شعاع دوران بالای نمونه

سرعت دورانی

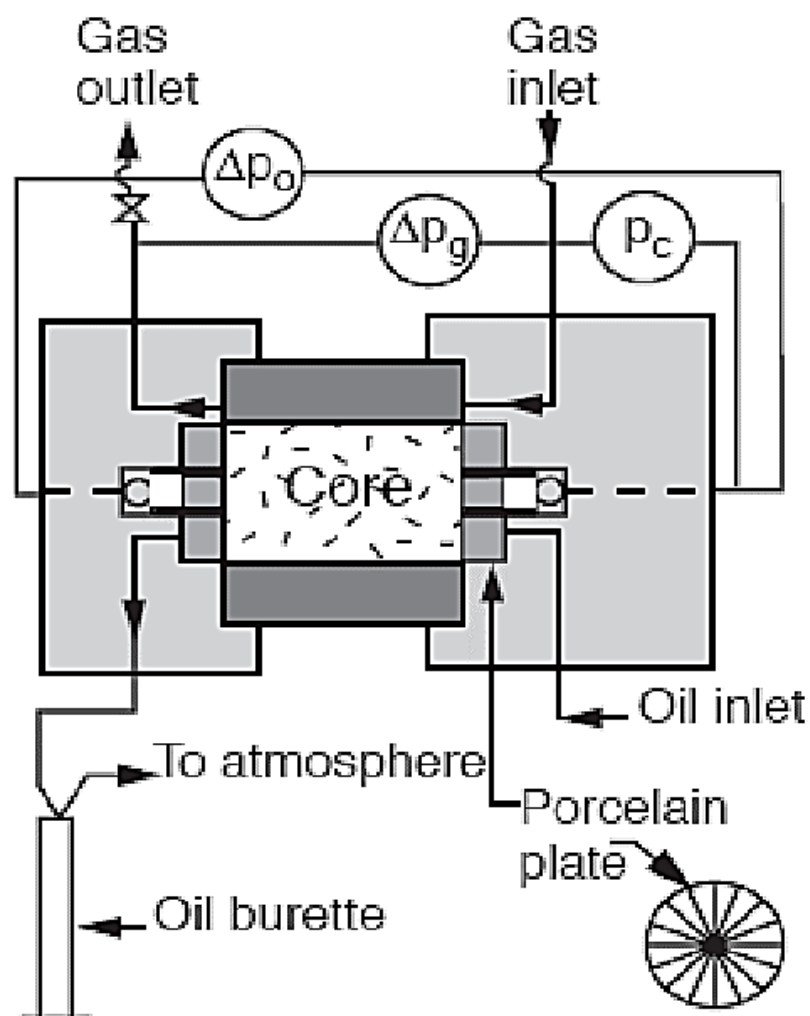


اندازه گیری آزمایشگاهی فشار موئینگی

روش دینامیک

در این روش دو سیال مختلف وارد سنگ می شوند. با اندازه گیری و تفاضل فشار مربوط به هر فاز می توان فشار موئینه را اندازه گرفت. اشباع نیر با تغییر میزان سیالی ورودی متغیر و قابل اندازه گیری است.

مقدار اندازه گیری شده بر اساس این روش نسبت به روش دیافراگم متخلخل بسیار مشابه است



مضرات روش:

- ✓ زمان زیاد انجام آزمایش
- ✓ هزینه ی بالا

مزایای روش:

- ✓ شبیه سازی شرایط آزمایشگاهی
- ✓ امکان استفاده از سیال مخزن