دورة التشبع المائي والتشبع النفطي

(Oil saturation and water saturation)

المقام في قاعة قسم الجيولوجيا من ١٦-٢٠/١٠/٢٠١٦

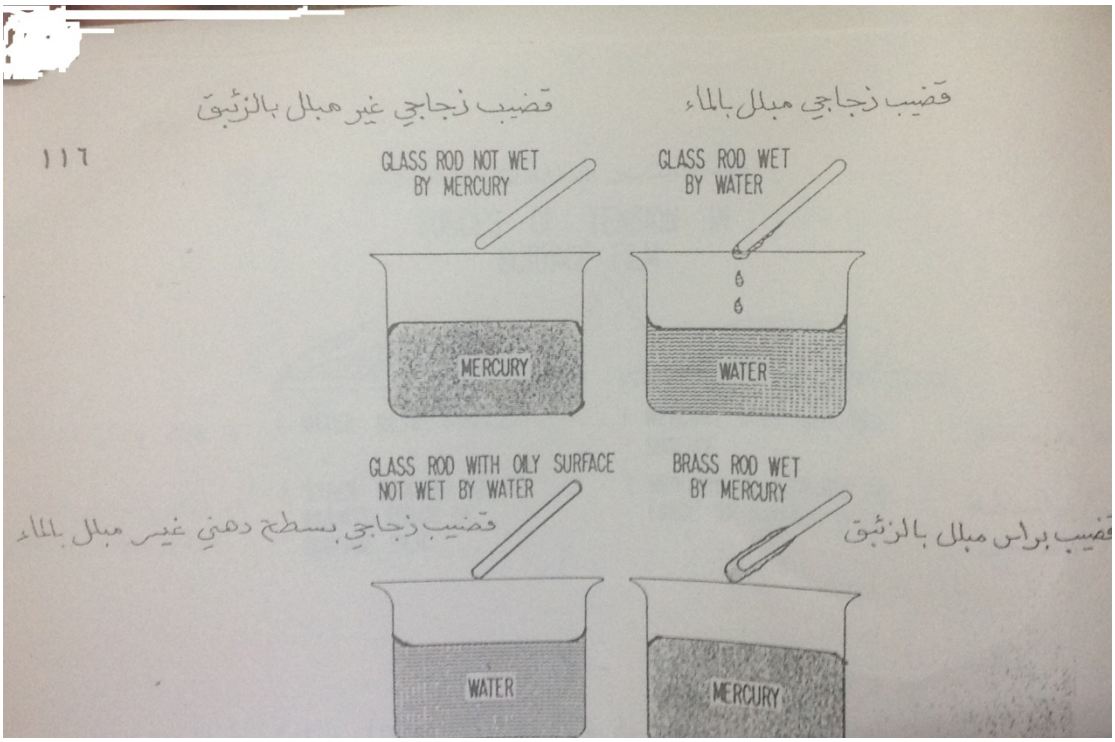
المحاضر

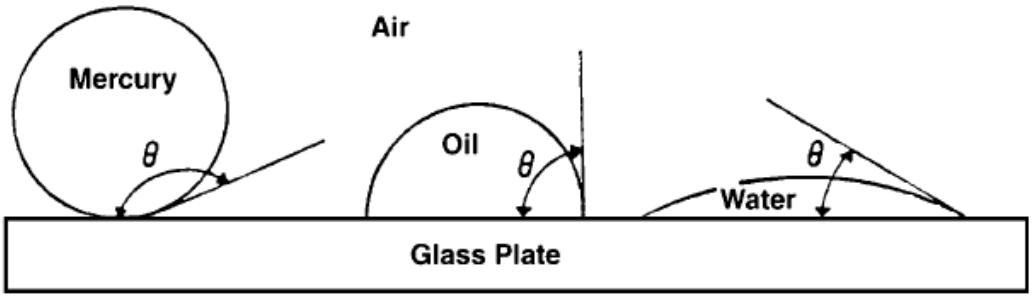
فرهاد حمزة محمد

ر. جيولوجيين

.

الابتلالية (wettability):- عبارة عن رغبة سائل ما في الانتشار او الالتصاق بسطح صلب بوجود سائل اخر غير ممتزج (immiscible) .





تلعب الابتلالية دورا رئيسيا في تحديد كيفية تواجد الهيدروكاربونات والماء في المسامات وتأثيراتها المتعددة على الخصائص المكمنية مثل الضغط الشعري والنفاذية النسبية وسلوك اختراق الماء للمكمن والخصائص الكهربائية للصخرة .

في الصورة ثلاث قطرات من الماء ونفط وزئبق وضعت فوق سطح زجاج ، نرى بان الزئبق ملتصق بالسطح على شكل كروي اما النفط شبه كروي hemispherical بينما الماء انتشر فوق السطح والتصق به، وهذا الانتشار للماء يدل على صفة الابتلالية نسبة الى ذلك السطح وتعبر عنه بواسطة قياس زاوية التماس بين السائل والسطح الصلب وتسمى contact angle ، هذه الزاوية قياس للابتلالية ، كلما يقل درجة الزاوية كلما زادت الابتلالية ،عندما تكون الزاوية صفرا تكون الابتلالية كاملا complete ، اما عندما تكون الزاوية اكبر من ٩٠ درجة تسمى غير مبلل non wetting واذا كانت الزاوية اقل من ٩٠درجة تسمى مبلل wetting phase.
الابتلالية مهم في المكامن النفطية لانها تؤثر على توزيع الموائع في وسط مسامي .

هناك نوعان من القوة من الضروري ذكرهما :- الاولى قوة التماسك cohesive force وهي قوة تجاذب بين جزيئات الماء نفسها ، ثانيا قوة التلاصق adhesive force وهي القوة الموجودة بين السائل والاجسام الصلبة ، عند وقوع كمية من الماء على سطح جسم نرى بانه ينتشر . اذا كانت قوة التلاصق اكبر من قوة التماسك يكونان زاوية اقل من ٩٠ درجة وتسمى ***wetting phase*** .

تأثير الابتلالية على الخصائص المكمنية

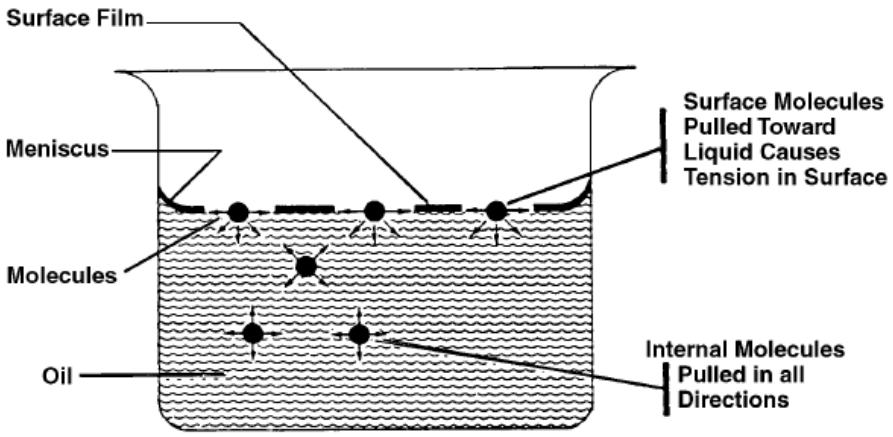
١-في الصخرة المنتظمة التبلل تزداد النفاذية النسبية في المائع الغير مبلل بسبب ان المائع غير مقيد في الفراغ المسامي وعليه يصبح اكثر حركة .

٢- تساهم wettability في ديناميكية الغمر بالماء (water flood) . مكامن water wet تنتج نفطا اكثر من المكامن oil wet وبعد الاختراق بالماء تنتج الماء فقط ، اما المكامن oil wet تستمر بالانتاج كلا من النفط والماء .

٣- في الصخور water wet وعند التشبع العالي بالماء فان النفط يحصر في وسط المسامات الكبيرة ويعطي تيار مستمر للكهرباء بواسطة الماء الذي يملاء المسامات الصغيرة ويغطي سطح الحبيبات الصخرية . عندما تنخفض نسبة التشبع بالماء فان المقاومة الكهربائية سترتفع بسبب انخفاض مساحة المقطع العرضي المتاح لجريان التيار الكهربائي .

الشد السطحي surface tension

سطح كل سائل عاده مغطاة بغشاء خفيف ذات قوة قليلة ،بالرغم من ان هذا الغشاء يمتلك بعض الشدة ولكن لايعمل ابدا كمثل غشاء رقيق تقاوم الكسر ، هذا الغشاء في سطوح السوائل نتيجة تجاذب بين الجزيئات ضمن المادة نفسها . ان وجود الغشاء يسبب شد في سطح السائل يسمى الشد السطحي (surface tension) ، اذا وضعت ابرة وباعتناء على سطح الماءفانها سوف تطفو على سطحه بالرغم من ان الابرة اكثر كثافة من الماء.في عمق السائل هناك قوة تجاذب بين جزيئات السائل حسب نظام خاص كما نراه في الشكل التالي :-



في الجزيئات الموجودة في العمق هناك تجاذب في جميع الاطراف وينتج في النهاية توازن بينهما والمحصلة يكون صفرا، اما الجزيئات الواقعة على السطح هناك نقص في الجزء العلوي فينتج عدم توازن في الجزيئات ، وبسبب فرق الضغط بين داخل الماء وخارجه حيث في الداخل اعلى من الخارج ينتج توازن على الماء و يتشكل غشاء ذات شد في اعلى السائل. وحدة الشد السطحي هو داين \سم . اذا ممكن ان نتعرف الشد السطحي بانه ***تماسك جزيئات سطح سائل بقوة تجعله يتحمل الضغط الواقع عليه الى درجة معينة*** .ويعتمد على عاملين اولها نوع السائل اي كثافة السائل كلما زادت كثافة السائل كلما زادت الشد السطحي مثلاالشد السطحي للزئبق اكثر من الماء بسبب زيادة كثافة الزئبق قياسا بالماء، ثانيا درجة الحرارة ،كلما زادت درجة الحرارة قلت الشد السطحي .

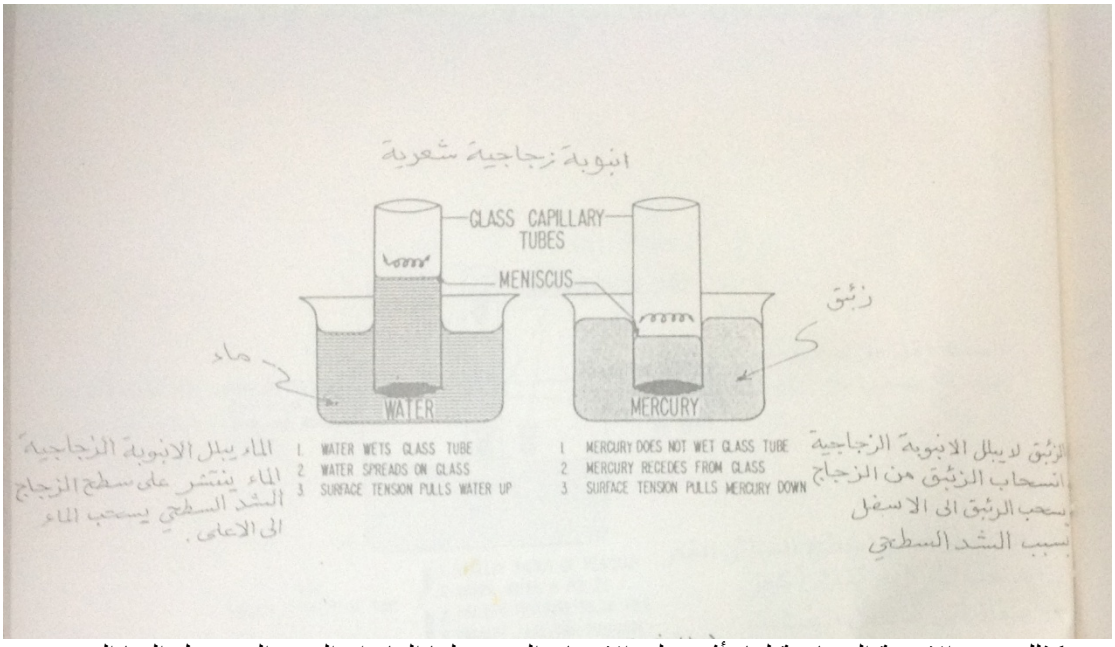
Inter facial tension الشد البيني:-

وهو القوة التي تحاول ان تقلل من مساحة الاتصال بين سائل واخر او بين سائل مع جسم صلب ، وحدته داين \سم . يتاثر الشد البيني في نظام المكامن النفطية بعدة عوامل منها تركيب النفط ، تركيب الغازات المذابة ، درجة الحرارة والضغط . ويمكن ان نعرف الشد البيني بانه القوة التي تحتاج لفصل سائلين في طول معين length /force .

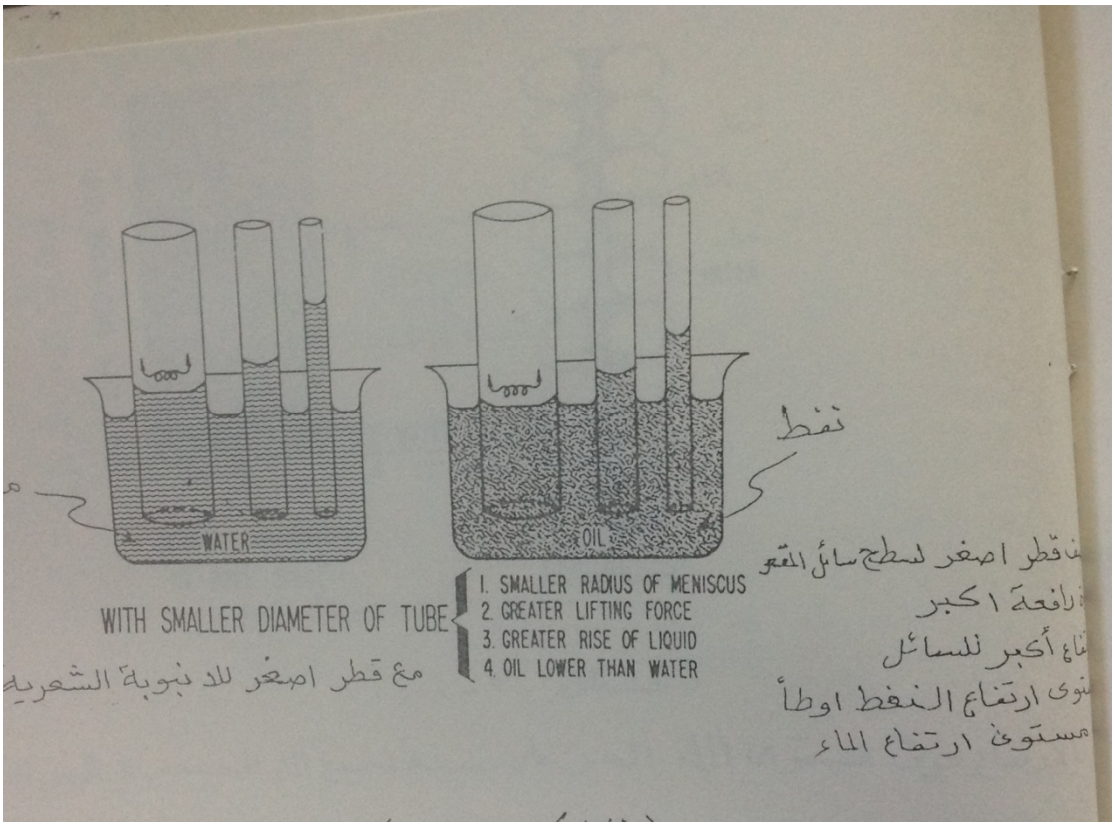
عند التعامل مع نظام متعدد الموائع من الضروري معرفة تأثير القوة على السطح في حالة تماس سائلان غير ممتزجان . عنما يكون المائعان هواء وسائل يستعمل مصطلح الشد السطحي surface tension لتوضيح القوة المؤثرة على السطح ، اما عند وجود سائلين غير ممتزجان مثل ماء ونفط يستعمل مصطلح (الشد البيني Interfacial tension) .

capillary pressure الضغط الشعري

دراسة تأثير الضغط الشعري مهم لمعرفة توزيع الموائع في المكامن . لالقاء الضوء على هذه الخاصية نعمل تجربة مختبرية :-



كذلك حجم الانبوبة الزجاجية لها تأثير على الارتفاع التي يصلها الماء او العمق التي ينزل اليها الزئبق



نستنتج من الشكل اعلاه بان النفط لايمكن ان يصعد الى نفس ارتفاع الماءتحت نفس الظروف بسبب ان الابتلالية للنفط اقل من الماء . في الانابيب الاقل قطرا مقدار التواء الغشاء اكثر من الانابيب العريضة .

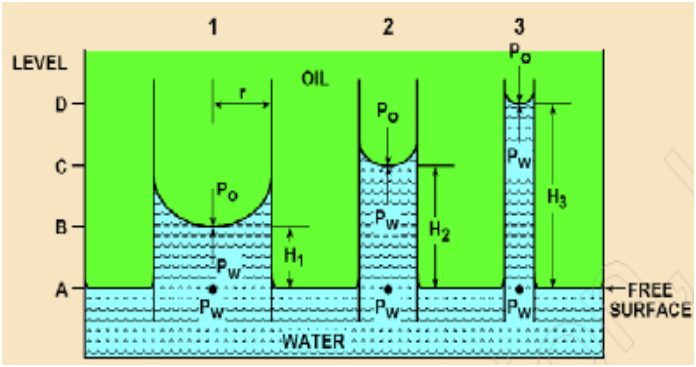
اذا هناك عاملان يؤثران على الخاصية الشعرية وهما الابتلالية والشد السطحي .

اذا الضغط الشعري عبارة عن فرق الضغط بين سائلين غير ممتزجين immiscible في طورين مختلفين مثلا الماء والنفط .

تجربة مختبرية للضغط الشعري في حالة وجود سائلين

نأتي بسائلين غير ممتزجين immiscible مختلفان في الكثافة هما الماء والنفط ، نضعهما في خزان نرى انهما ينفصلان حسب الكثافة النفط في الاعلى والماء في الاسفل ويظهر سطح حاد sharp بينهما

- في الخطوة التالية نأتي بثلاثة انابيب tubes ذات اقطار مختلفة ونغمرهم في الخزان ، نرى كما في الشكل بان الانبوب الاقل قطرا يرفع فيه السائل اكثر ويظهر o.w.c في الانابيب الثلاثة بمستويات مختلفة .



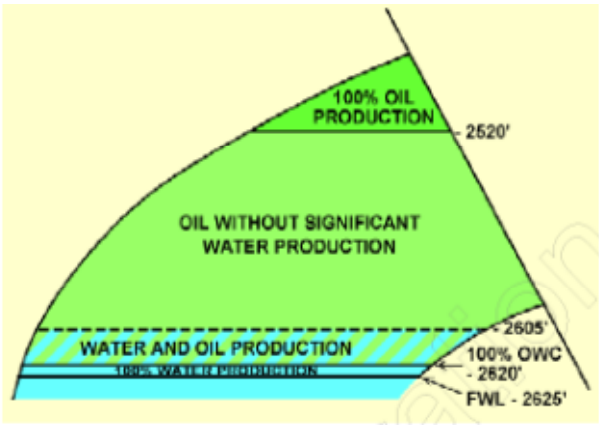
لتفسير هذه الظاهرة ممن ان نقول بان الضغط الشعري يعتمد على الابتلالية و الشد البيني ،. نستنتج من هذة التجربة بان الضغط الشعري يزداد في الفتحات الضيقة

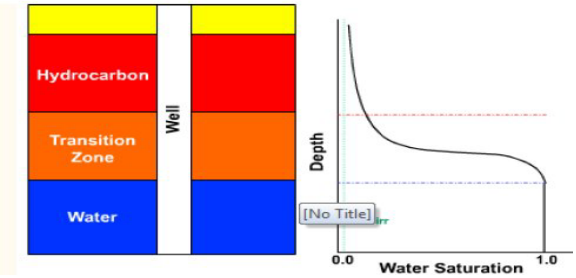
- **العامل الرئيسي التي يتحكم في رفع السائل هو الضغط الشعري capillary pressure وحدته psi**
- **Pc هو المحرك الرئيسي في السيطرة على توزيع البدائي للتجمعات الهايدروكاربونية وذلك يعتمد على كثافة الماء والنفط ، توزيع حجم المسامات ، النفاذية permaibility**

عند تطبيق هذه التجربة على المكمن النفطي نقول ان صخور المسامية للمكمن يحل محل الانبوبة الزجاجية ،المسامات المختلفة للصخرة المكمنية يحل محل الاقطار المختلفة للانابيب الزجاجية ، في المسامات الصغيرة بسبب تأثيرالضغط الشعري يرتفع الماء مسافة اكبر . الصخور ذات مسامية ونفاذية قليلة يحتوي على تشبع نفطي قليل في اي عمق من المكمن .

المنطقة الانتقالية TRANSITION ZONE

المنطقة الانتقالية :- عبارة عن المسافة الواقعة بين نهاية المنطقة النفطية OIL ZONE وبداية owcحيث يكون النفط والماء فيها حر الحركة .





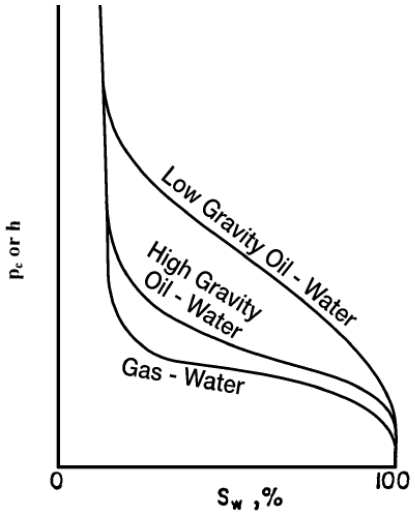
اجزاء المنطقة الانتقالية

- ١-منطقة منتجة للنفط مع ماء غير ذات اهمية
- تقسم النتطقة الانتقالية الى ثلاثة اجزاء من الاعلى الى الاسفل :-
  Oil without significant water production
- ٢- منطقه منتجه للماء والنفط water and oil product
- ٣- منطقة منتجة للماء ١٠٠% وتسمى ايضا o.w.c ولكن هذا لايعني عدم وجود النفط ولكن نفط غير متحرك residual oil
- بعد مسافه من o.wc وبالاتجاه الاسفل يأتي مستوى الماء الحر free water level ويرمز ب FRW حيث يحتوي على الماء المالح فقط ولاتوجد فيه النفط .
- يتراوح طول المنطقة الانتقالية بين قليل من الامتار الى مئات الامتار ، من المحتمل ان يشكل المنطقة الانتقالية جزء كبير من المكمن خاصة عندما تكون الطبقات المكونة لها ذات نفاذية قليلة .

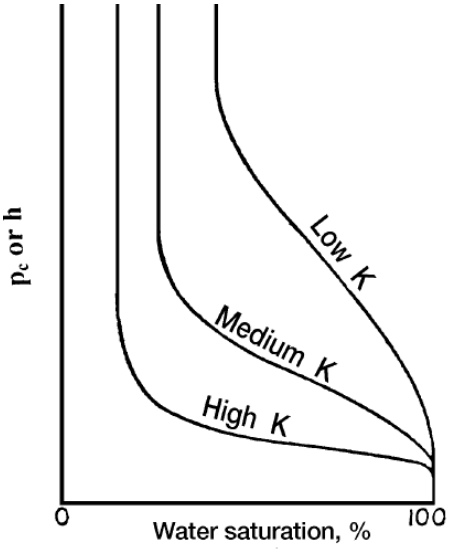
وجود المنطقة الانتقالية هو احد تأثيرات الضغط الشعري في المكامن الصخرية ، لاتوجد نقطة في المكامن بما في ذلك المنطقة النفطية حاوية على ١٠٠% نفط .

يزداد المسافة فوق FWL كلما قل فرق الكثافة بين الماء والهيدروكاربون ، لهذا السبب نرى بان في المكامن الغازية سمك المنطقة الانتقالية قليل جدا وذلك لفرق العالي بين كثافة الغاز والماء ، بينما في المكامن النفطية

ذات كثافة عالية او بمعنى اخر ذات Low API نفط ثقيل نرى منطقة انتقالية ذات ارتفاع اعلى من مكمن نفطي ذات High API

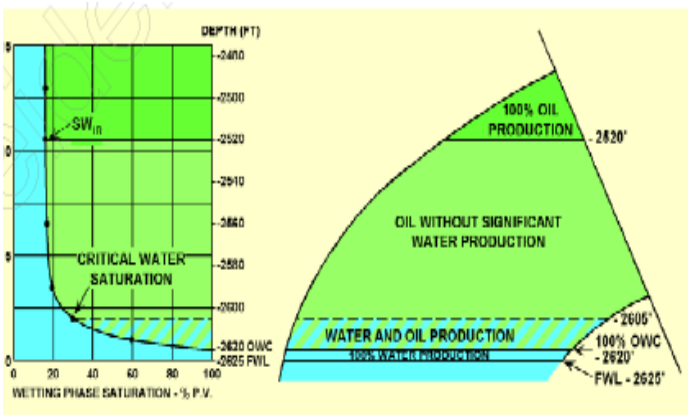


كذلك النفاذية عامل اخر من عوامل تحديد طول المنطقة الانتقالية ، كلما قلت النفاذية زاد طول المنطقة الانتقالية والعكس بالعكس كما في الشكل ادناه :-



لقطر المسامات (Porosity) ايضا دور مهم لانه كلما زاد قطر المسامات قلت سمك المنطقة الانتقالية ، من هذا نرى بان المكامن ذات المسامات الصغيرة طول المنطقة الانتقالية فيها اكثر من مكامن ذات المسامات الكبيرة .

كلما تكون المسافة بين المنطقة النفطية و FWL قليلة كلما يزداد النفط المتحرك Moveble oil



يختلف الضغط الشعري (PC)في الاعماق المختلفة للمكمن ، عند اي عمق في المكمن في حالة وجود النفط والماء الضغط الشعري يساوي الضغط في السائل الغير مبلل مطروحا منه الضغط في السائل المبلل

Pc = pressure of the non wetting phase –pressure of the wetting phase

Pc= Pnw-Pw

Pnw=Pressure at non wetting phase (like oil)

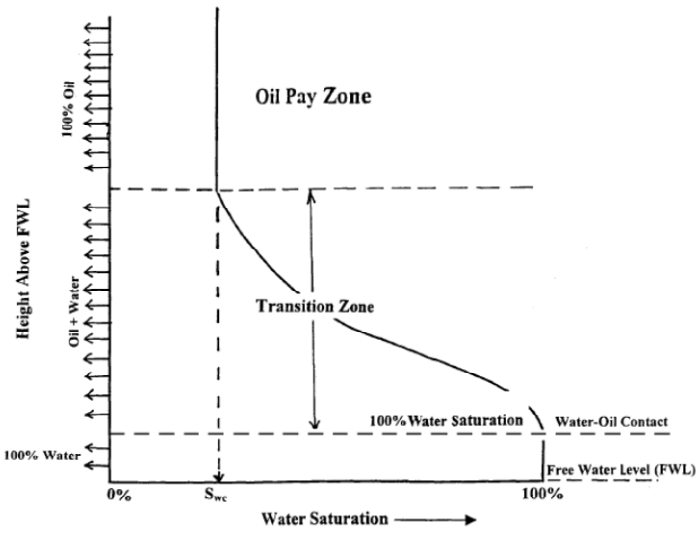
Pw= pressure at wetting phase (like water)

دائما يكون الضغط في non wetting phase اكبر من wetting phase

$$p_c = \left(\frac{h}{144}\right)\Delta\rho$$

where p_c = capillary pressure, psi
h = capillary rise, ft
$\Delta\rho$ = density difference, lb/ft^3

من المعلومات الضرورية معرفتها هي عمق مستوى الماء الحر (free water level—FWL) وهو يقع تحت OWC و دائما الضغط الشعري فيها صفر لانه يحتوي على الماء فقط ، واي ارتفاع نحصل عليه من المعادلة السابقة يعتبر من FWL . ونتيجة للمعلومات التي نحصل عليها من المجسات والمختبر نحصل على صورة للحالة المكمنية وهذه احد النماذج :-



ممكن تحويل معلومات pc and saturation الى height and saturation وحل الارتفاع فوق FWL عن

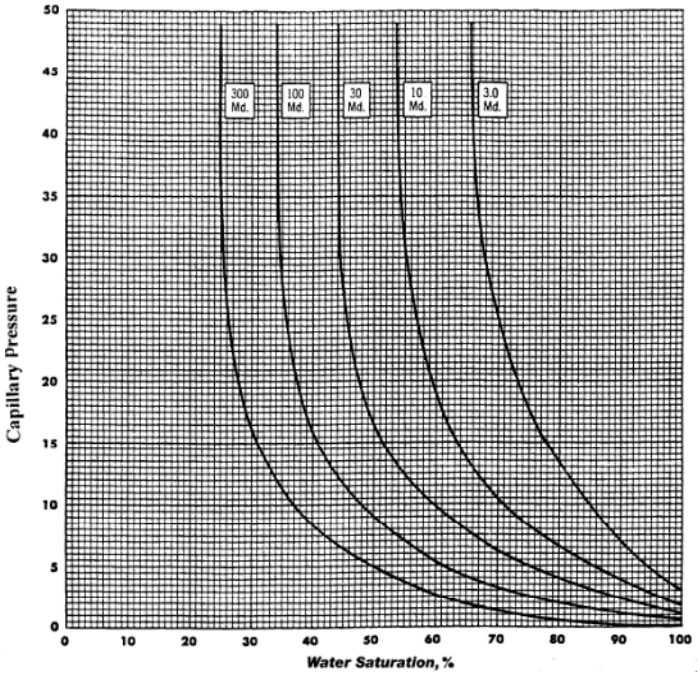
$$h = \frac{144\, p_c}{\Delta \rho} \qquad (4-34)$$

where p_c = capillary pressure, psia

$\Delta\rho$ = density difference between the wetting and nonwetting phase, lb/ft^3

H = height above the free-water level, ft

كلما تزداد النفاذية يقل Pc في حالة ثبوت sw SW . في الصورة ادنا اربع نماذج ذات نفاذية مختلفة :-



كما ذكرنا سابقا بان الضغط الشعري عبارة عن فرق الضغط بين سائلين غير ممتزجان مثل الماء والنفط هذا معناه بان الضغط المسلط على الماء والنفط في نفس العمق مختلفان وممكن ايجاد الضغط على كليهما بواسطة المعادلة التالية عندما يكون الضغط فيFWL ، الارتفاع و كثافة السائلين معلومين :-

$$P_c = (\rho_w - \rho_o)\,0.433 \times h$$

P_c = الضغط الشعري

ρ_w = كثافة الماء

ρ_o = كثافة النفط

0.433 = التدرج الضغطي (pressure gradiant)

h = طول المنطقة

مثال حقلي

- مكمن نفطي درجة الضغط المكمني في FWL يبلغ 3854 PSI في عمق 8900 FEET . كثافة النفط يساوي 0.693،كثافة الماء يساوي 1.115 علما PC في هذه النقطة تساوي صفر .جد ضغط الماء والنفط في ١٠٠قدم فوق FWL .

- الحل

- الخطوة الاولى نستخرج ضغط النفط وضغط الماء كل على حدة في ارتفاع 100F فوق FWL اي عمق 8800FEET بواسطة المعادلة التالية :-

ضغط النفط في عمق 8800F

$P_o = 3854 - (\rho_o)\,0.433 \times 100$

$P_o = 3824$ Psi

ضغط الماء في نفس العمق

$P_w = 3854 - (\rho_w) \times 0.433 \times 100$

$= 3865.7$ Psi

$P_c = P_o - P_w$

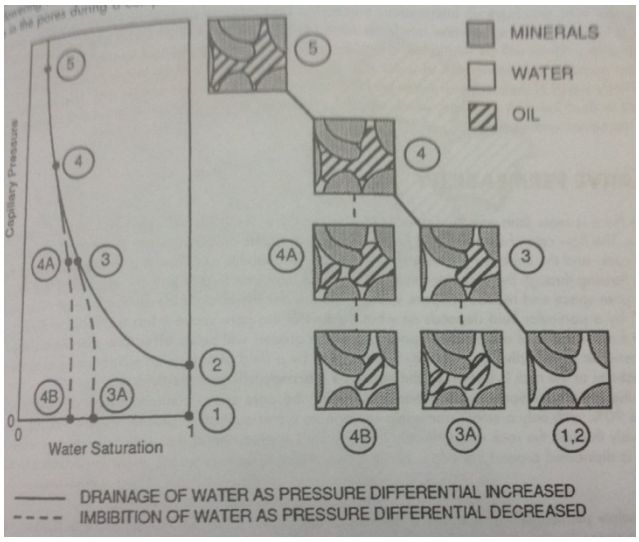
$= 3824 - 3865.7$

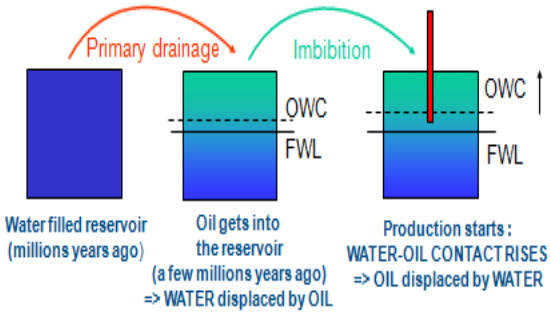
$= 18.3$ Psi

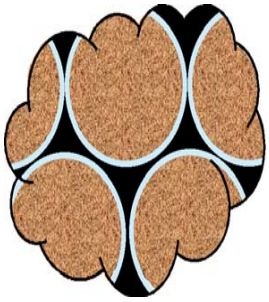
Driange and imbibition

في بداية الترسيب تكون المكامن مملؤة بالماء فقط لذلك تعتبر صخور معظم المكامن Water wet . بعد هجرة النفط من الصخور المصدرية source rock يحاول النفط ان يحل محل الماء ، ونتيجة لقلة الضغط في المسامات الكبيرة قياسا بالمسامات الصغيرة يحتل النفط المسامات الكبيرة ويبقى الماء ملتصق بجدار الخارجي لها. اما المسامات الصغيرة بسبب الضغط العالي فيها لايتمكن النفط الدخول اليها ويبقى الماء فيها .

وتسمى بعملية احلال النفط مكان الماء ب(driange) . اما بعد البدء بالانتاج تحل الماء مكان النفط وتسمى بهذه العملية (imbibition) . لتوضيح العمليتين نقوم بهذه التجربة المختبرية :-







لهذا السبب نرى بانه لايوجد مكمن نفطي ١٠٠% خالي من الماء اي يوجد فيه كمية ولو قليلة من الماء تسمى بالماء الغير قابل للاستخلاص irreducible water saturation وترمز بال Swirr . .

امثلة حسابية على المنطقة الانتقالية

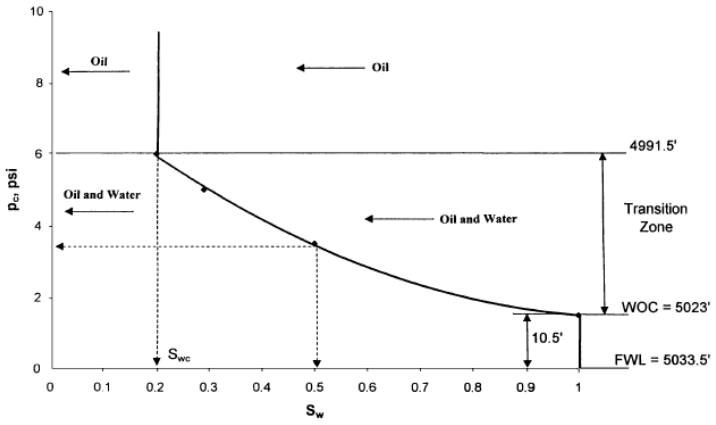
جميع المسائل المتعلقة بالمنطقة الانتقالية تحل بالمعادلة التالية :-

$$FWL = WOC + \frac{144\, p_d}{\Delta \rho}$$

where p_d = displacement pressure, psi
$\Delta\rho$ = density difference, lb/ft^3
FWL = free water level, ft
WOC = water-oil contact, ft

مثال -١

في الشكل ادناه نتيجة المعلومات المأخوذة من اللباب والمجسات حصلنا على الشكل ادناه :-



- Oil density = 43.5 lb/ft^3
- Water density = 64.1 lb/ft^3

احسب :-

- Connate water saturation (S_{wc})
- Depth to FWL
- Thickness of the transition zone
- Depth to reach 50% water saturation

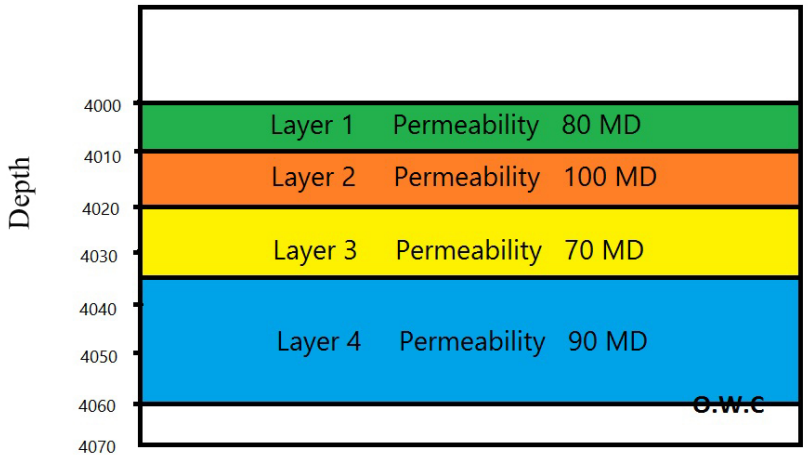
كلما تحدثنا عنه هو حول منطقة انتقالية متجانسة (uniform)من ناحية المسامية والنفاذية ، ولكن قليلا يوجد مكمن متجانس اي هناك طبقات مختلفة من حيث المسامية والنفاذية (non uniform)

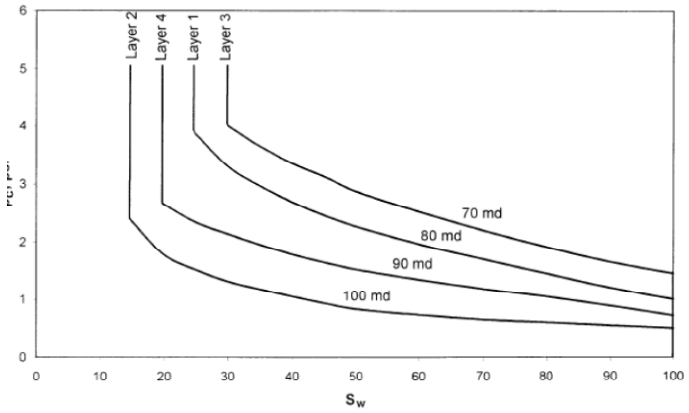
مثال -٢

مكمن نفطي يحتو ي على اربع طبقات مختلفة من حيث النفاذية ، ومن المعلومات المأخوذة من المجسات والمختبر حصلنا على اربع منحنيات مختلفة كما نراه في الشكل ، علما بان:-

WOC = 4060 ft
Water density = 65.2 lb/ft^3
Oil density = 55.2 lb/ft^3

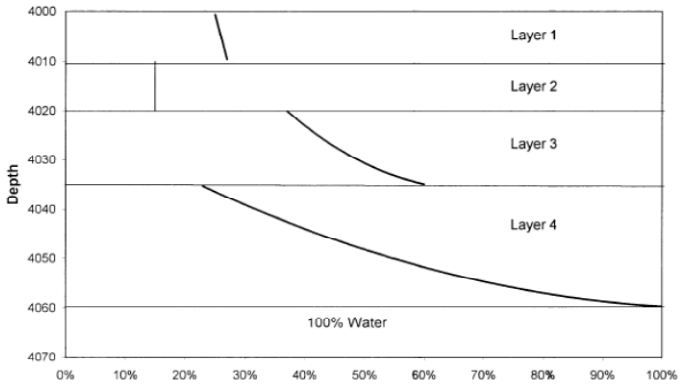
Layer	Depth, ft	Permeability, md
1	4000–4010	80
2	4010–4020	190
3	4020–4035	70
4	4035–4060	100





احسب التشبع المائي في كل الاعماق.

بعد اخراج الضغط الشعري والتشبع المائي في جميع الاعماق نحصل على الشكل التالية :-



بعض المصطلحات المتعلقة بالتشبع(saturation)

١- -: Residual oil saturation (Sor)

يحدث هذه الحالة اثناء عملية انتاج النفط واحلال الماء محل النفط المنتج حيث يبقى كمية من النفط داخل المسامات وغير قابلة للخروج والحركة ، تحدث هذا دائما في non wetting phase عنما يحله wetting phase .

٢- -: Movable oil saturation(Som)

عبارة عن حجم المسامات التي يشغلها نفط متحرك او نفط جاري ويمكن تعبيره في هذه المعادلة :-

Som=1-Swc-Soc

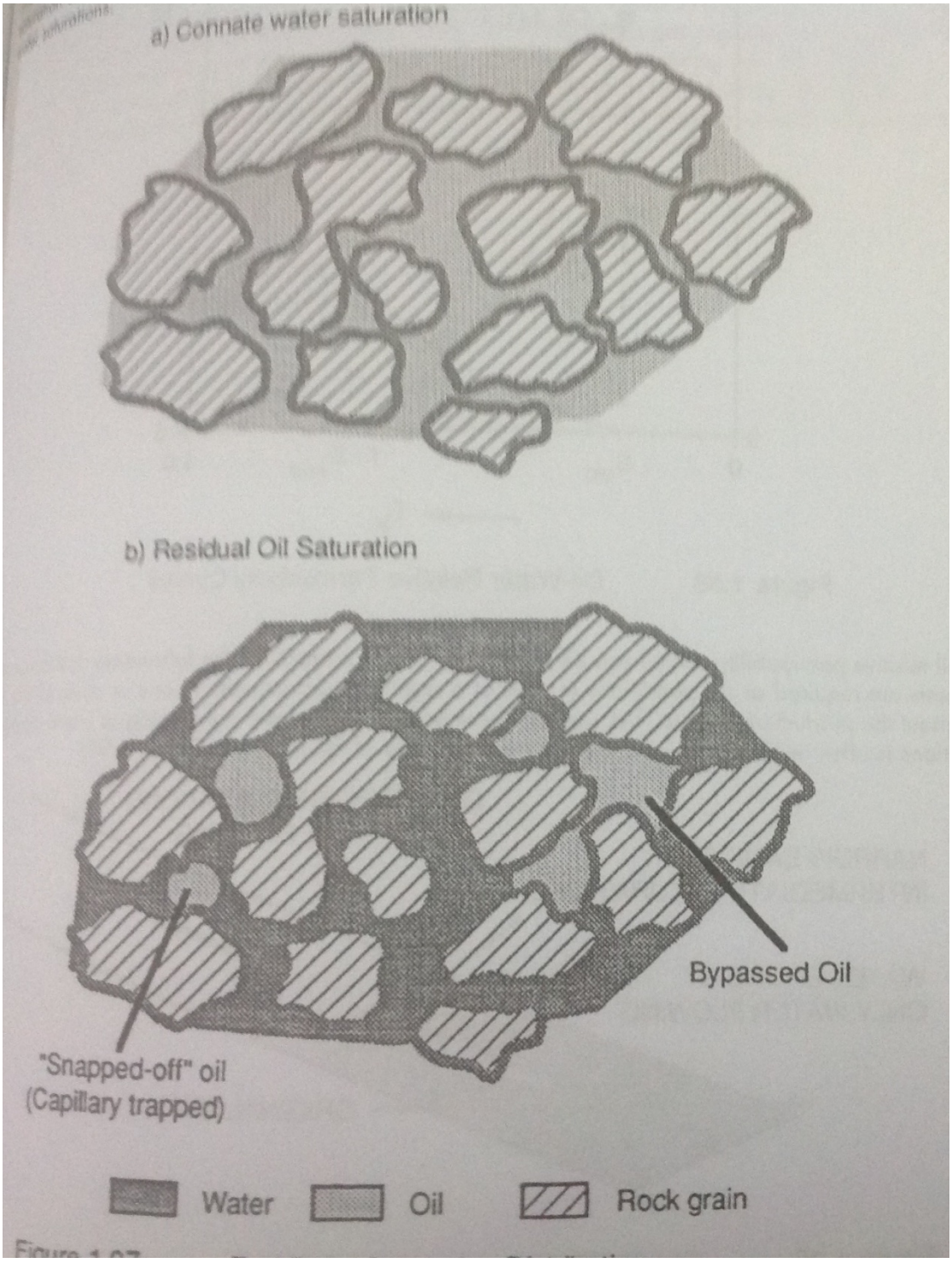
٣- -: Critical water saturation(Swc)

وهي النقطة التي يبقى فيها الماء ساكنا ، ويبدأ بالتحرك عند تجاوزها .

النفاذية Permiability :- احدى صفات الصخرة وتعرف بانها عبارة عن قابلية الصخرة لامرار السوائل . وحدة القياس هي دارسي او مللي دارسي .

في حالة وجود سائل واحد في الصخرة معدل جريان السائل خلال الصخرة يعتمد على اللزوجة ،نفاذية الصخرة والتدرج الضغطي المسلط . وتسمى بالنفاذية في هذه الحالة بالنفاذية المطلقة (absolute permaibility).

اما في حالة وجود اكثر من سائل في الصخرة كل من هذه السوائل يحتل جزء من مسامات الصخرة ويقلل من مساحة الحركة للسائل الاخر ،اي كل من هذه السوائل يعرقل حركة السائل الاخر . نفاذية السائل هنا يعتمد على نسبة المسامات المحتلة من قبله وتسمى بالنفاذية الفعالة(effective permaibility) ، اي منهم لها تشبع اعلى تمتلك نفاذية فعالة اكثر .النسبة بين النفاذية الفعالة في اي مستوى من التشبع الى النفاذية المطلقة للصخرة تسمى ب النفاذية النسبية (relative permaibility) .في الظروف الاولية (initial condition) الصخرة في حالة تشبع عالي للنفط يتراوح بين ٨٠-٩٠% مع كمية متبقية او محصورة من الماء (irreducble water saturation)كما نراه في الشكل :-



في الشكل (a) يمكن للنفط ان يتحرك بحرية خلال الصخرةولا يتأثر بوجود الماء المحصور لان في نظام التبلل بالماء يتوزع الماء حول حافة المسامات وهذا التوزيع لايخلق عائقا لجريان النفط .

تقسم النفاذية الى ثلاثة انواع :-

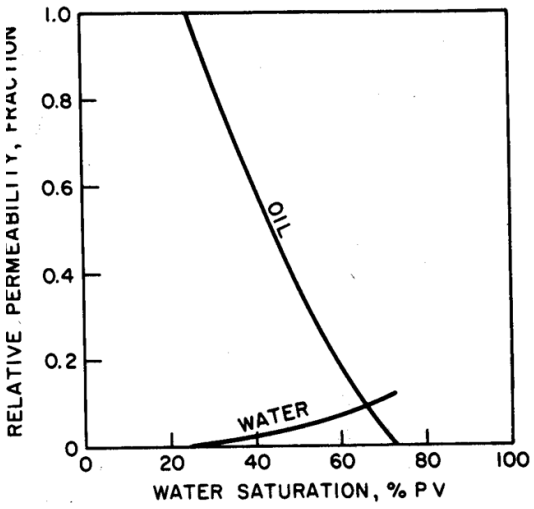
١- النفاذية المطلقة (absolute permeability) عبارة عن قابلية الصخرة لامرار السوائل في حالة وجود نوع واحد من السائل سواء كانت نفط او غازاي التشبع ١٠٠% . ترمز ب K .في هذه الحالة نفاذية الصخرة يساوي النفاذية المطلقة . النفاذية النسبية تساوي واحد .

٢- النفاذية الفعالة (effective permeability) عبارة عن قابلية الصخرة لامرار السائل في حالة وجود اكثر من سائل مثل الماء والنفط او الغاز وماءونفط .ترمز ب KW,KO,KG

٣- النفاذية النسبية (relative permeability) وهي النفاذية المطلقة على النفاذية المؤثرة وترمز ب Kro.Krw,Krg ويعتمد على العوامل التالية :- , pore geometry , natural of floods , wettebility,fluid distribution , saturation history .

في معظم الحالات النفاذية المطلقة اكبر من النفاذية الفعالة ، اذا كان المكمن في حالة connate water اي منطقة نفطية oil zone نفاذية الماء تساوي صفر Kw=zero النفاذية النسبية للنفط اقل من واحد نموذجيا بين (0.7-0.9) ،و النفاذية النسبية للماء يساوي صفر لان الماء محصور بواسطة تأثير الشعرية (CAPILLARY EFFECT) ولايتمكن الماء من التحرك في هذا التشبع القليل .بعد مرور فترة زمنية طويلة على انتاج النفط يحتل الماء معظم المسامات ولايمكن للنفط ان يتحرك تحت تشبع قليل مثلا ٣٠%لانه محصور بواسطة قوة الشعرية اثناء عملية الارتشاف (imbibition process) ، الان يصبح نفاذية النسبية للصخرة صفرا بالنسبة للنفط ، الماءقادر على الحركة ولاكن نوعا ما معاق بسبب وجود نفط متبقي (residual oil saturation) لان النفط الموجود في وسط المسامات يبدي مقاومة كبيرة لحركة الماء اكثر من مقاومة الماء المتبقي للنفط حيث (relative permaibility للماء في هذه الحالة اقل من واحد نموذجيا بين (0.2-0.4) . عندما يزداد التشبع المائي يقل R P للنفط حتى يصل الى RESIDUAL OIL SATURATION ويصبح RP للنفط صفرا اي عديم الحركة Immobile بالمقابل يزداد RP للماء .

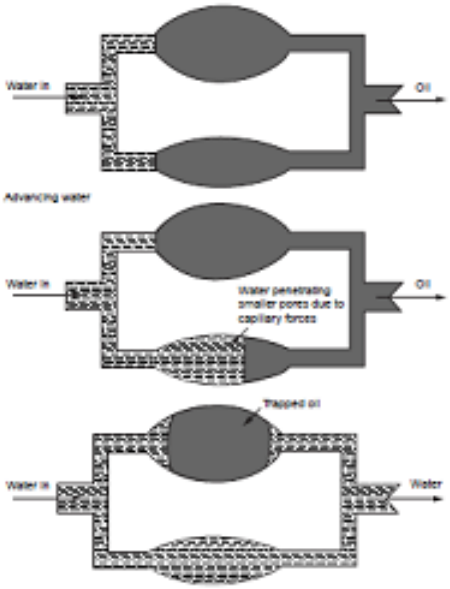
اما في المنطقة المائية عندما تكون التشبع المائي (SW) = ١٠٠% النفاذية المطلقة = النفاذية المؤثرة K=Kw والسبب هو وجود سائل واحد.



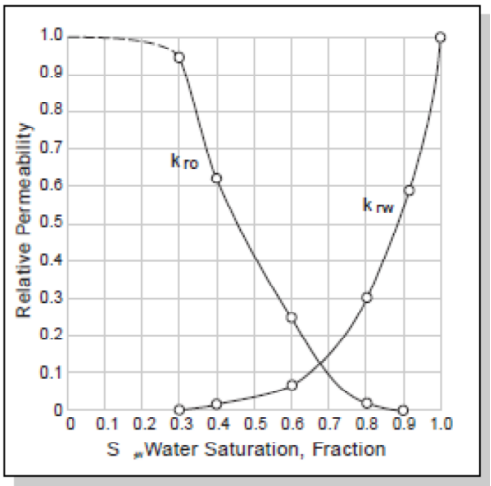
Water wet rock

هذا الشكل يمثل مكمن نفطي توجد الماء على شكل طبقة خفيفة حول الحبيبات اي من نوع irrecuble water saturation اما النفط يشغل داخل الفجوات . الماء لها تأثير قليل على جريان النفط لان Kr للنفط يتقارب من ١٠٠% وKr للماء يقترب من الصفر . بعد مدة من الانتاج تكتسح جزء من المسامات الكبيرة والصغيرة في

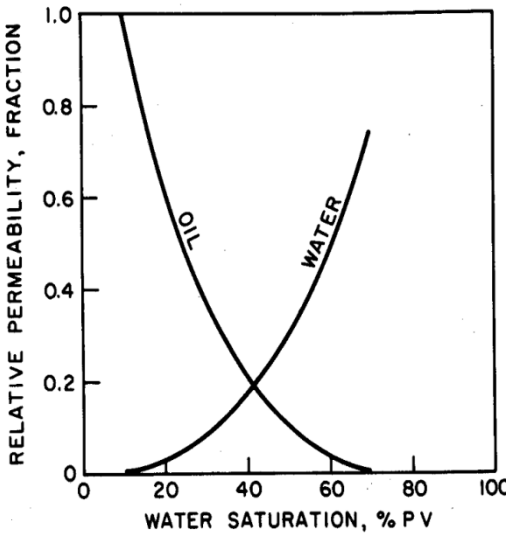
المنطقة النفطية من قبل الماء (water invation) بذلك تزداد SW ويزداد Kr للماء ، ويقل Oil saturationويقل معه Kr للنفط ، النفط المتبقي في المسامات التي لايمكن ازاحته تسمى Residual oil عندئذ يصل Kr للماء حده الاقصى ولكن اقل من النفاذية الحقيقية لان Residual oil الموجود في مركز المسامات يعرقل جريان الماء الى حد ما ، وتحت تأثير الضغط الشعري و الشد البيني (inter facial tension) .



وهذا مثال اخر على النفاذية النسبية



في حالة water wet نقطة التقاء Krwو Kro يزداد عن ٥٠% اما في حالة oil wet يقل عن ٥٠% كما في هذا المثال



معادلات التشبع المائي والتشبع النفطي

عبارة عن نسبة المسامات التي يشغلها سائل معين سواء أكانت ماء او نفط او غاز، تعبر عن هذه الخاصية عن طريق المعادلة التالية :-

Fluid saturation= volume of fluid/pore volume

Sf=Vf/Vp

SF= Fluid saturation

Vp= pore volume

Vf=volume of fluid

لاتشغل المسامات نوع واحد من السائل بل هناك ماء وغاز ونفط ، وممكن تحديد تشبع كل منهم بواسطة المعادلات الاتية:-

So=volume of oil/pore volume

Sg=volume of gas/pore volume

Sw=volume of water/pore volume

So=oil saturation

Sg=gas saturation

Sw=water saturation

So+Sw+Sg=1 or100%

نلاحظ من المعادلات السابقة بان جميع انواع التشبع مبني على حجم المسامات وليس الحجم الكلي للمكمن ، يتراوح قيمة التشبع بين صفر – ١٠٠% ومجموع ثلاثتهم تساوي ١٠٠% او ١.

يعتقد بان السوائل في معظم المكامن وصل الى درجة التوازن لذا اعتمادا على اختلاف كثافاتهم تم فصلهم عن بعضهما البعض الغازالى الاعلى النفط في الوسط والماء في الاسفل ، بالاضافة الى هذا هناك ماء حبيس (connate water) موزعة داخل النفط او الغاز ولكن بنسبة اقل . توزيع connate water في المكمن ليس متجانسا بل مختلفا حسب النفاذية والصخارية وارتفاعه من free water level .

هناك حالتان للتشبع المائي :-

١- BOUND WATER :

عبارة عن طبقات من الماء ملتصقة بسطح جزيئات الطين (SWB)

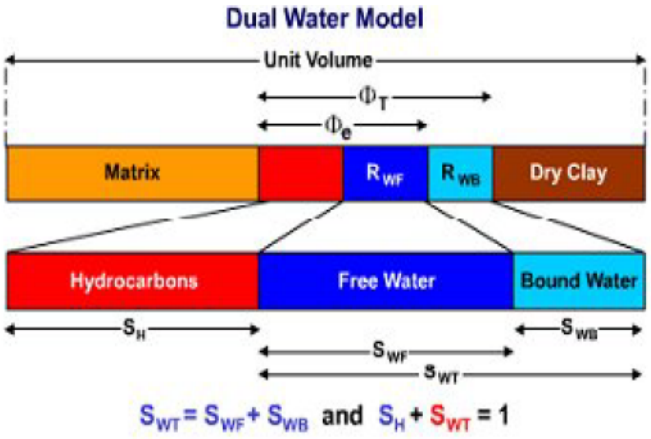
٢- FREE WATER:

عبارة عن الماء الغير ملتصق أي حر الحركة (SWF)

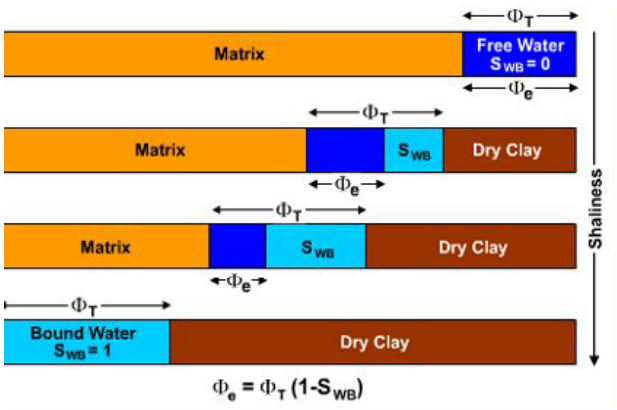
SWT=SWB + SWF

SWT = TOTAL WATER

في المكامن يشغل FREE WATER + HYDROCARBONE المسامية الفعالة



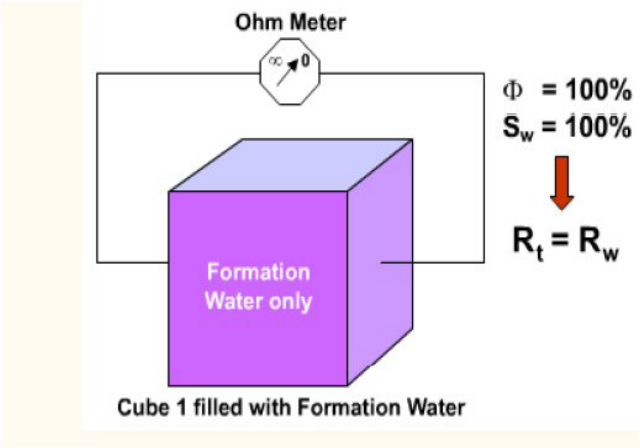
SWB يتغير طرديا مع كمية CLAY في صخرة كلما ازداد كمية CLAY كلما ازداد SWB ويقل المسامية الفعالة EFFECTIVE PORSITY



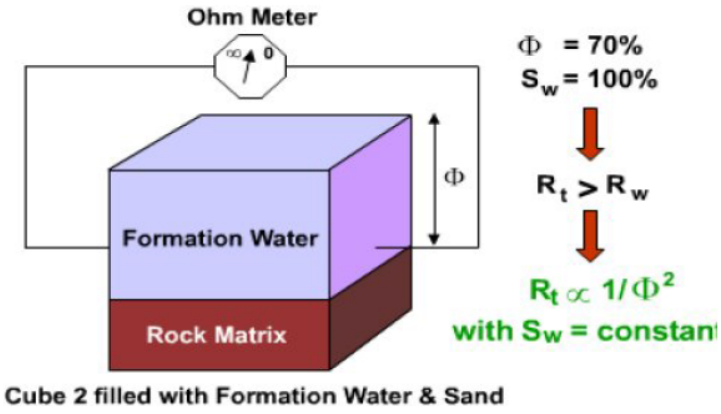
مجسات الابار يستجيب الى المسامية الكلية وكذلك التشبع الكلي للماء وليس الى المسامية الفعالة او FREE WATER

لغرض توضيح علاقة المسامية بالتشبع نقوم بهذه التجربة المختبرية الاتية:-

١- عندما يكون السائل ماء فقط

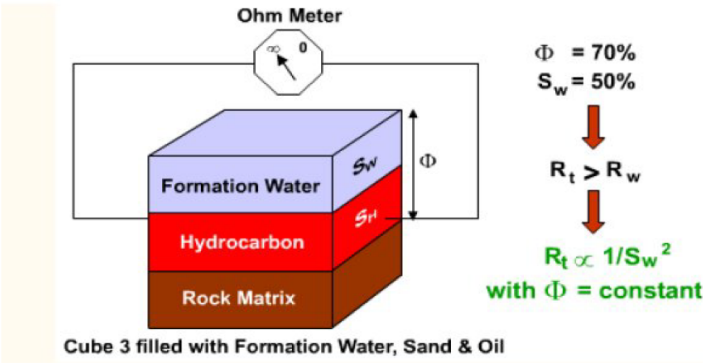


٢- في حالة اضافة صخرة من SAND الى المكعب يتغير المسامية الى ٧٠% كمثال يبقى SW 100% لانه لا توجد سائل اخر معه يصبح RT > RW بسبب وجود صخرة غير موصلة حلت محل ماء التكوين الموصل ، كلما تغير كمية الصخرة كلما تغير المسامية و من ثم يتغير RT .



Cube 2 filled with Formation Water & Sand

٣- اذا اضيف كمية من النفط وحلت محل الماء يبقى المسامية ثابتة ٧٠% هنال يتغير SW من ١٠٠% الى ٥٠% كمثال حسب كمية النفط المضاف . RT يصبح اعلى بسبب وجود الهيدروكاربون



Cube 3 filled with Formation Water, Sand & Oil

من الممكن حساب التشبع المائي في المختبر او بواسطة الضغط الشعري (capillary pressure) او عن طريق المجسات خاصة مجس المقاومة .

معظم معادلات التشبع المائي مشتقة من معادلة ارجي

$$S_w = \frac{1}{\Phi}\sqrt{\frac{R_w}{R_t}}$$

$$S_{xo} = \frac{1}{\Phi}\sqrt{\frac{R_{mf}}{R_{xo}}}$$

التشبع المائي في المنطقة المغزوة Flushed zone

قيمة sxo مهم لانه يدلنا على كمية النفط المتحرك في المكمن . عندما يحدث عملية الاكتساح لايحدث الازاحة ل Formation water فقط بل يشمل جزء من النفط ايضا .اما في المنطقة المغزوة تسمى بحجم الهيدروكاربون Residual hydrocarbon اي الهيدروكاربون المتبقي ويساوي

Shr =(1-sxo)

هناك معادلة مشتقة من من معادلة ارجي للمنطقة المغزوة وغير مغزوة

$$Sw=\{(Rxo/Rt)/(Rmf/Rw)\}^{5/8}$$

هذه المعادلة مفيدة في حالة عدم معرفة المسامية

مثال:

احد ابار حقل باي حسن

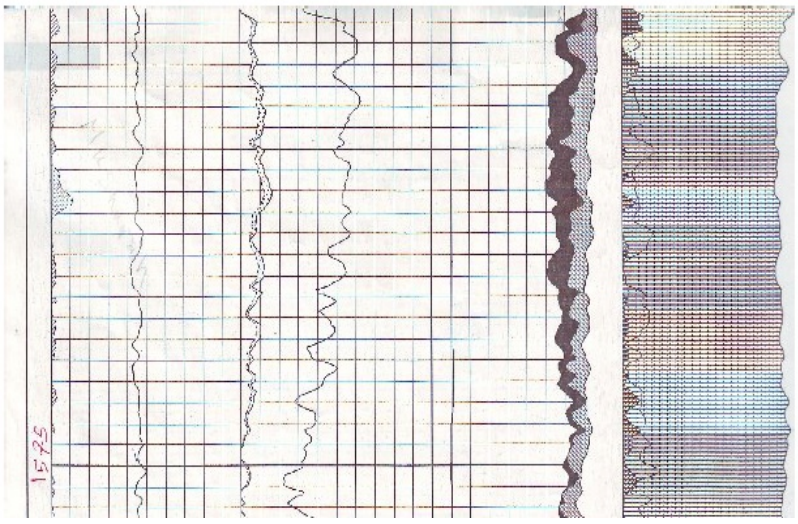
Rxo=10.5 Rt=11.5 Rw=0.075 Rmf=0.90

بتطبيق المعادلة نحصل على sw=11.8% وهذا النسبة موجود في cpi

مثال اخر نفس البئر اعلاه تكوين باجوان عمق 1090m

Rxo=70 Rt=100Rw=0.075 Rmf=0.88

احد تطبيقات RXOهو استخراج النفط المتحرك (MOVABLE OIL) وذلك بعد تطبيق معادلة ارجي في المنطقة المغزوة ينتج عنه SXO اذا كان SW /SXO < 0.7 هو مؤشر بوجود النفط المتحرك وقيمته يساوي SXO-SW



Bulk volume water (B.V.W)

عبارة عن حجم المشغول من المسامات من قبل الماء

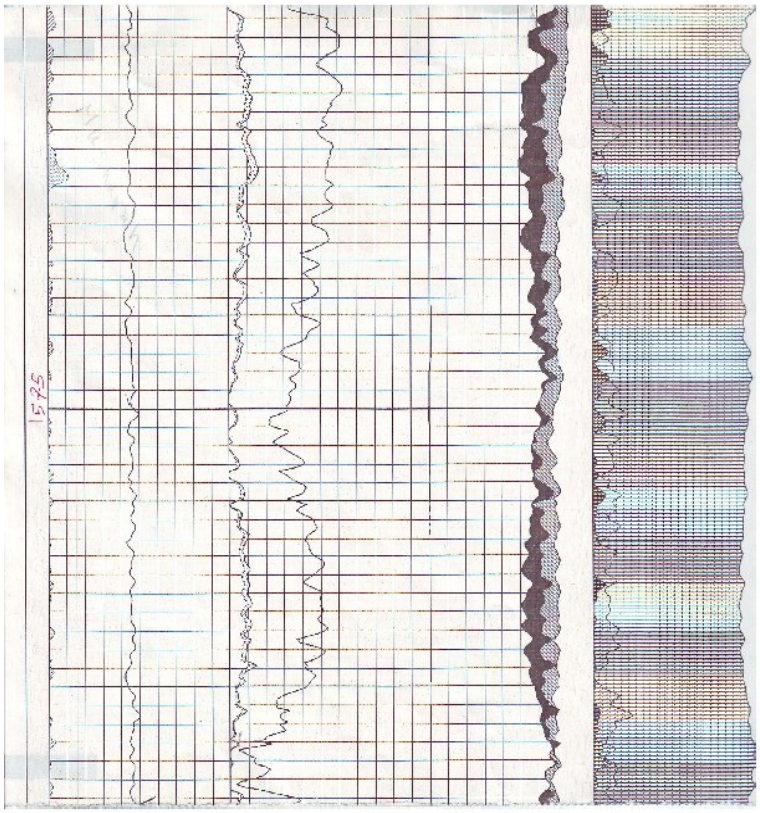
B.V.W = Ø *SW

<u>مثال</u>

احد ابار حقل باي حسن

Ø=18% sw=50% RW =0.075

B.V.W= Ø *SW=0.18*0.50=0.09عند العودة الى CPI للبئر نلاحظ نفس القيمة



معدل التشبع

في اي مكمن نفطي نادرا ما تصادف مسامية متجانسة للطبقات اي كل طبقة ذات مسامية يختلف عن بقية الطبقات لذلك نلجأ الى ايجاد معدل التشبع (average saturation) بواسطة المعادلة التالية :-

$$So=\sum ø1*h1*S01/\sum ø1*h1$$

$$Sw=\sum ø1*h1*Sw1/\sum ø1*h1$$

مثال

احسب معدل تشبع النفط والماء الحبيس (connate water) من القياسات الاتية :-

sample	hi, ft	ø	So%	Swc%
1	1	0.10	0.75	0.25
2	1.5	0.12	0.77	0.23
3	1	0.11	0.79	0.21
4	2	0.13	0.74	0.26

الحل

بعد استعمال المعادلات اعلاه نحصل على القيم التالية :-

sample	ø*h	ø* So *h	Swc ø* *h
1	0.100	0.075	0.0250
2	0.180	0.1386	0.0414
3	0.110	0.0869	0.0231
4	0.260	0.1924	0.0676
	0.1625	0.1232	0.03927

Average oil saturati on(So)=0.1232/0.1625≒%75.8

Average water saturati on (Sw) =0.03927/o.1625=%24.2

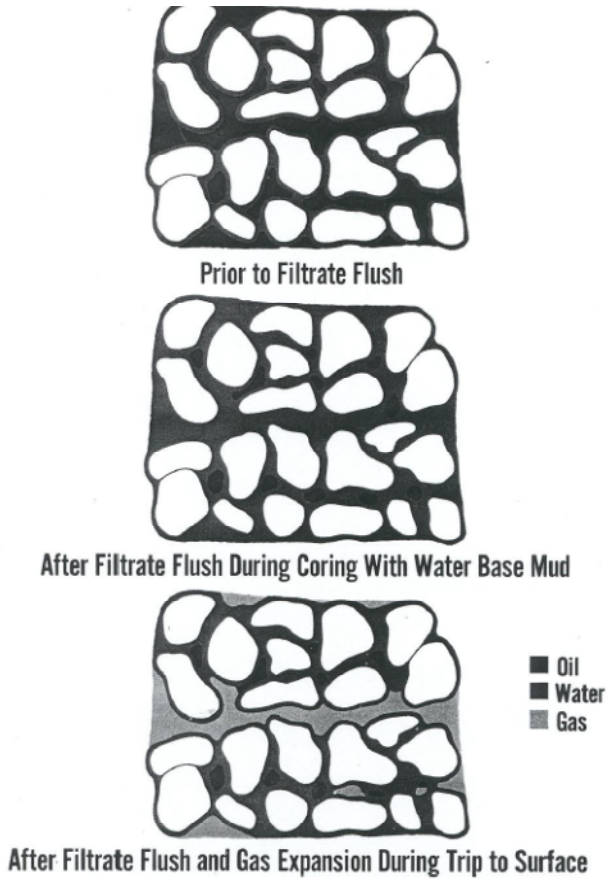
ايجاد التشبع المائي والنفطي في المختبر

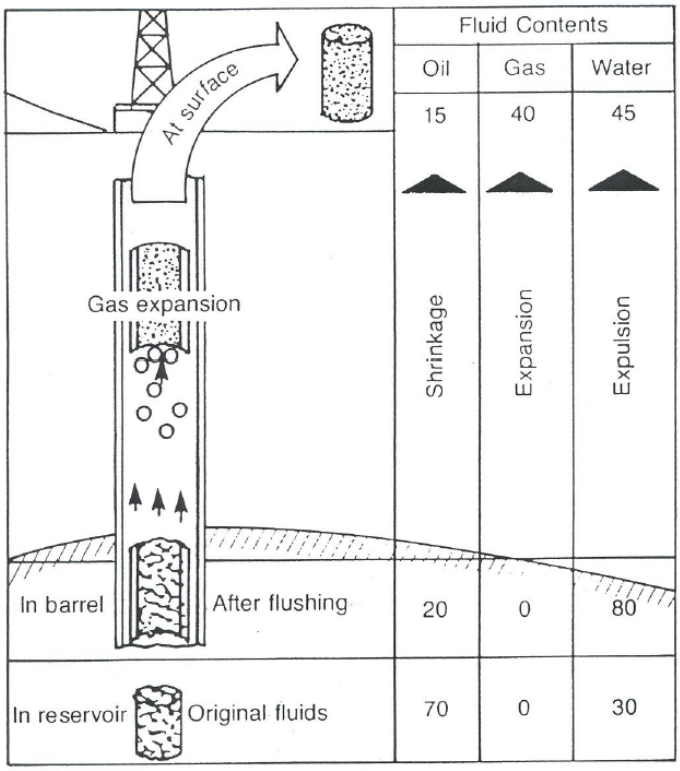
عندما نأخذ نموذج من المكمن الى المختبر لغرض ايجاد التشبع فيها من الضروري مراعاة نقطتين مهمتين قبل البدء بالتجربة :-

١- Mud flashing اوmudfiltrate :- اثناء الحفر يكتسح سائل الحفر النموذج ويغير من نسبة الموائع فيه ..

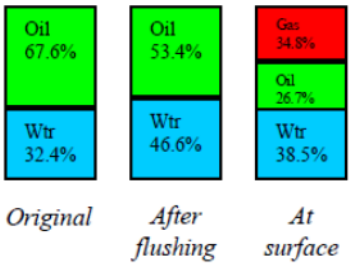
٢- هبوط الضغط المكمني اثناء سحب اللباب الى سطح الارض

هناك ثلاث اشكال اولها شكل مقطع من اللباب قبل الحفر السائل الموجود فيها نفط و connate water ، الشكل الثاني بعد الحفر نرى بان التكوين مغزو من قبل سائل الحفر وزاد من التشبع المائي ، اما الشكل الثالث نلاحظ فيها تمدد الغازوطرد الماء وانكماش النفط بسبب هبوط الضغط والحرارة عند جلب اللباب الى السطح ، اما تقليل التشبع النفطي يعود الى عملية الاكتساح (invation).

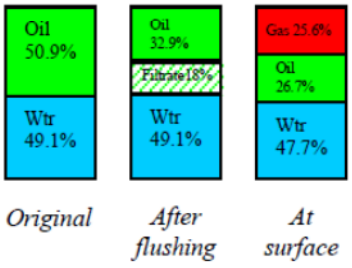




ولتقليل تأثير هذين العاملين من الافضل استعمال (oil based mud) اثناء اخذ اللباب(coring) ، في المثال الاتي هناك مقارنة بين استمعال (oil based mud) و عدم استعماله :-



Water-based Muds



Oil-based Muds

هناك طريقتان حديثتان لتحديد او تقيم sw و so في المختبر ، الطريقة الاولى تسمى (retord) وذلك بتبخير الموائع الموجودة في مسامات اللباب ، الطريقة الثانية تسمى (Dean-stark extraction) .

طريقة (Retord) :-

توضع اللباب داخل علبة مصنوعة من الالمنيوم وتسخن الى درجات حرارة عالية من 400 f -100 . لايتجاوز ٢٤ ساعة . ومن مساوىء الطريقة هو بالتزامن مع تبخير الماء يحترق جزء من النفط ويؤثر على نسبة النفط المستخلص ،ولتصحيح الخطاءهنا chart .

مثال :- بعد اجراء تجربة مختبرية على نموذج من اللباب وبعد اجراء التصحيحات حصلنا على النتائج التالية :-

حجم النفط = 4.32ml

حجم الماء=1.91ml

حجم الكلي (bulk volume) =34.98ml

حجم الحبيبات(grian volume)= 26.34ml

جد نسبة التشبع المائي والنفطي ،علما بان مسامية اللباب =24.7%

الحل :-

Pore volume(Vp)= bulk volume-grian volume(Vb-Vg)

34.98-26.34=8.64ml

So=Vo/Vp=4.32/8.61=50%

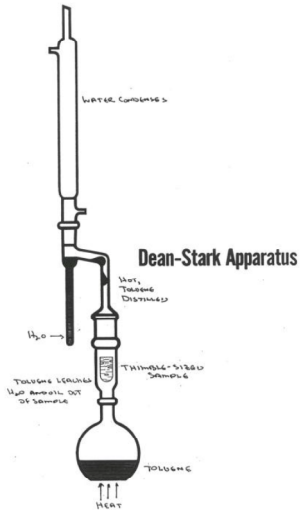
Sw=Vw/Vp=1.91/8.64=22%

اما نسبة الغاز(Sg) لايمكن قياسه ولكن بوجود نسبة الماء ةالنفط ممكن استخراجه

Sg=1-Sw-So=28%

الطريقة الثانية dean-stark extraction

في هذه الطريقة تستعمل بخار احد المذيبات لترشيح او عزل الماء والنفط الموجود داخل اللباب ، الماء المكثف يتجمع في اسطوانةمدرجة (gradular cylinder) وتستخلص النفط والمذيب في مكان اخر علما بانهما يمتزجان ولكن لا يمتزج مع الماء .



بواسطة المعادلة التالية يمكن ايجاد التشبع النفطي (So)

So=Wwet-Wdry-Vwtr/Vp*oil density

نحتاج الى المعلومات التالية:-

كتلة اللباب قبل اجراء التجربة،كتلة اللباب بعد اجراء التجربة و تجفيفه ، حجم المسامات ، كثافة النفط

مثال

نتيجة احد التجارب المختبرية على طريقة (Dean –stark) حصلنا على المعلومات الاتية :-

Mass of saturated sample=5.7gm

Bulk volume=25cc

Oil density=0.88gm/cc

Volume of water aft er collecti on(Vw)=1.41ml

Aft er cooling obtain dry weight=53gm

لايجاد (pore volume) نعيد تشبع (resaturate) النموذج مع ماء عذب والتي كثافته =1gm/cc ويصبح

58gm

Vp=weight of sample after saturating-dry weight/density of water=58-53/1=5cc

Porosity=pore volume/bulk volume=5/25=20%

Sw=Vw/Vp=1.4/5=28%

So=Wwet-Wdry-Vwtr/VP*Oil density=57-53-1.4/5*0.88=59%

Sg=1-Sw-So=13%

احد مساوىء الطريقة هي حاجتها الى وقت طويل ربما عدة اسابيع .

امثلة حسابية حول المساميةو التشبع المائي والنفطي

Example 1

A-dry weight of sample in air=20gm

B-water saturati on sample in air=22.5gm

c-water saturati on sample immersed in water=12.6gm

Find the porosity of the sample ?

Example 2

Acore 2.54cm long and 2.54cm in diameter has aporosity of 22% it is saturated with oil and water ,where the oil content= 1.5cc :-

A- Find the pore volume of the sample

B- Find the saturation

of each phase

Example 3

The following informationis available from acore sample :-

Dry weight of sample =42.7gm

Weight of sample when saturated with water =448.69gm

Water density= 1 gm/cc

Weight of water saturated sample immersed in water=269.6gm

Find(1) :-porosity of the sample

Example 4

Calculate the porosity of the sample described below:-

Mass of dry sample= 104.2gm

Mass of water saturated sample =120.2gm

Mass of saturated sample immersed in water =64.7gm

الضغط في المنطقة المائية والنفطية

يتعرض المكمن الى نوعين من الضغط هما (over burden and hydrostatic pressure) ، الاول مصدره هو الضغط الناتج من وزن الصخور والتي تنتقل من السطح بواسطة اتصال الحبيبات مع بعضها والتدرج الضغط (pressure gradiant) وعادة تساوي(1psi/ft) ويتغير حسب العمق والكثافة .

التدرج الضغطي في نظام الهيدروكاربون يحكمه كثافة الماء والنفط(specific gravity) كالتالي :-

التدرج الضغطي في الماءGW=0.45psi/ft

التدرج الضغطي في النفطGO=0.35psi/ft

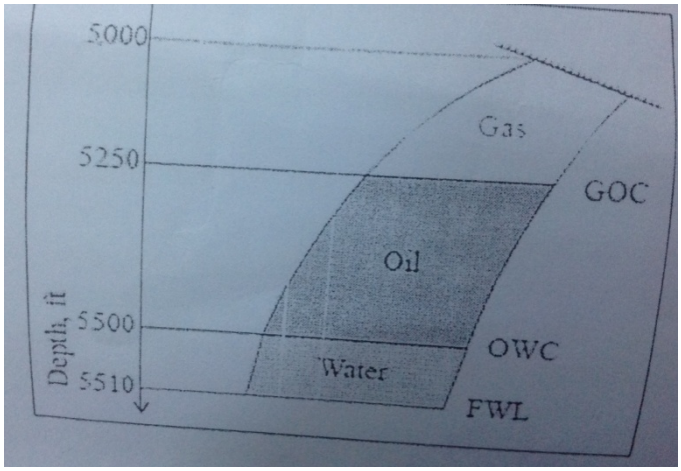
التدرج الضغطي في الغازGg=0.08

الضغط عند اي عمق من العمود المائي= Gw*h

Gw= pressure gradiant,

h= depth بما ان الماء المكمني مالح فبزيادة درجة الحرارة مع العمق يقل كثافته

بسبب اختلاف في تدرج الضغط في الماء والنفط والغاز نرى بان الضغط في بداية المنطقة النفطية اعلى من O-W-C وذلك بسبب قلة كثافة النفط مقارنة بالماء ، بينما المنطقة الغازية الضغط يكون اعلى من الماء والنفط وذلك بسبب قلة كثافته .



مثال

اذا كان الضغط عند O.W.C بلغ 3625psi،طول العمود النفطي 600ft ،احسب الضغط في اعلى المنطقة النفطية وفرق الضغط بين النفط والماء في اعلى المكمن .

الحل

Pressure at seal=3625-(0.35*600)=3415psi

لحساب فرق الضغط عبر seal :-

=(0.45-0.35)*600=60psi

اذا كان المكمن غازيا فرق الضغط يساوي :-

=(0.45-0.08)*600=222psi

اما في حالة عدم معرفة (gradiant pressure) ولكن بمعرفة الضغط في FWL وكثافة الماء والنفط والعمق من الممكن ايجاد ضغط الماء والنفط عن طريق معادلتي الضغط الشعري :-

Pressure at oil zone=P-ρo*g*h

Pressure at water zone=P-ρw*g*h

الفرق بينهما هو الضغط الشعري