الباب الأول
الخواص الأساسية للصخور

الأهداف

1- دراسة النفاذيه النسبيه

2- حساب النفاذيه النسبيه لطورين (النفط و الماء)

المحتويات

الموضـــوع	رقم الصفحة
الاستهلال	أ
الاهداء	ب
الشكر و التقدير	ج
التجريد باللغة العربية	د
التجريد باللغة الانجليزية	هـ
الأهداف	و
المحتويات	ز
قائمة الجداول	ط
قائمة الاشكال	ي
الباب الاول : الخواص الاساسية للصخور	
(1 - 1) المقدمة	1
(1 - 2) النفاذية	1
(1 - 3) النفاذية النسبية	4
(1 - 4) درجة التشبع	5
(1 - 4 - 1) درجات التشبع المائع المتبقي	7
(1 - 5) التبللية	8
(1 - 6) الضغط الشعري	9
الباب الثاني :النفاذية النسبية	
(2 - 1) مفاهيم النفاذية النسبية	11

(2 – 2) النفاذية النسبية للطورين	12
(2 – 2– 1) عملية الاستنزاف	13
(2 –2 – 2) عملية الامتصاص	13
(2 –3) الطريقة الحسابية لحساب النفاذيةالنسبية	15
(2 – 3 – 1) علاقة وايلي وغاردنر	15
(2 –3–2) معادلة بيرسون	16
(2–3–4) حساب النفاذية النسبية من معلومات الضغط الشعري	16
(2 –4) النفاذية النسبية لثلاثة اطوار	18
(2 –5) العوامل المؤثرة علي النفاذية النسبية	20
(2–6) استعمالات معلومات النفاذية والنسبية	21
الباب الثالث : طرق واجهزة بيانات النفاذية النسبية	
(3 – 1) طرق واجهزة قياس النفاذية النسبية	22
(3 – 1– 1) طريقة الحالة المستقرة	27
(3 – 1 – 2) طريقة الحالة الغير مستقرة	27
الباب الرابع : الحسابات	
(4 – 1) التطبيق الاول: حساب النفاذية النسبية بطريق أس كوري من بيانات اخذت من textbook	30
(4 – 2) التطبيق الثاني: حساب النفاذية النسبية بطريقة بيرسون من بيانات حقلية	32
الباب الخامس	
(5 – 1) التوصيات	37
المراجع	38

فهرس الجداول

الموضوع	رقم الصفحة
(4 - 1) جدول بيانات من textbook	30
(4 - 2) جدول بيانات حقلية	32
(4 - 2) جدول بيانات حقلية	33
(4 - 2) جدول بيانات حقلية	34
(4 - 2) جدول بيانات حقلية	35

فهرس الأشكال

الموضوع	رقم الصفحة
الباب الاول	
(1 - 1) يوضح ميلان الموائع للانتشار او الاتصاق بسطح صلب	8
الباب الثاني	
(2 - 1) يوضح منحني النفاذية باستخدام عمليتي التشرب و الاستنزاف	14
(2 - 2) يوضح النفاذية النسبية للماء و الزيت	15
الباب الثالث	
(3 - 1) يوضح طريقة الحالة المستقرة و الغير المستقرة	22
(3 - 2) جهاز الادخال المنتشر في قياس النفاذية النسبية	24
(3 - 3) جهاز النفاذية النسبي اساس هسلر	25
(3 - 4) جهاز ولاية بنسلفانيا لقياس النفاذية النسبية	25
(3 - 5) جهاز هافورد لقياس النفاذية النسبية	26
الباب الرابع	
(4 - 1) يوضح منحني النفاذية النسبية بطريقة أس كوري	31
(4 - 2) يوضح منحني النفاذية النسبية من بيانات حقلية بطريقة بيرسون	35

الخواص الأساسية للصخور

Fundamental Property Rocks

(1-1) المقدمة: Introduction

يصنف الصخر الرسوبي و الذي لهأهمية في تجميع الهيدروكربونات حسب التكوين المعدني إلى صخور كربونية و صخور رملية والتي تتكون من معدن الكوارتز بنسبة عالية مع نسب أخرى من معدن الفلسبار أو معادن أخرى ثقيلة مثل أوكسيد الحديد ومعادن إسمنتية أخرى.وهذه الصخور تكون نسب كبيرة من المخازن النفطية والغازية في العالم ولها صفات مميزة وتحدد الخواص الاساسية لهذه الصخور بواسطة أخذ عينة من المكمن حيث يتم دراستها لكي نستطيع تقييم المكمن وتتمثل أهم خواص الصخور الاساسية في الأتي:-

(1-2) النفاذية: Permeability

هي قابلية الوسط المسامي لامرار الموائع من خلاله (النفط و الماء و الغاز) عند وجود فرق ضغط ناتج عن اختلاف الكثافة.وتقاس النفاذية في الصناعة النفطية بالدارسي (Darcy) وهي وحدة كبيرة جداً تقسم إلى وحدات أصغر تسمى الملي دارسي.هناك علاقة متغيرة وشاذة بين النفاذية والمسامية فنجد أن الطين مسامية عالية جداً ولكنه ضئيل النفاذية في نفس الوقت نجد ان مسامية الرمال متوسطة ولكنها عالية النفاذية، وتتناسب النفاذية نظرياً مع السطح النوعي للحبيبات وهو مساوى لمسامات سطح حبيبات المادة الصخرية المحتواة في 1 سم^3 من الصخر. فلو كانت المسامية عالية ستقل مساحة الأسطح النوعية وتزداد النفاذية، وعندما تكون المسام صغيرة أي دقيقة يكون السطح النوعي كبيراً وبالتالي تقل النفاذية.نفاذية الصخور

المكمنية ذات أهمية كبيرة حيث أنها تسمح بإمرار الهيدروكربونات (النفط أو الغاز) داخل الطبقة المكمنية نحو البئر بفعل النفاذية تأخذ الرمز (K) ويمكن تمثيلها بمعادلة دارسي Darcy الآتية:

$$\text{النفاذية}(k) = \frac{Q_f \mu K \Delta L}{A(\Delta P)} \qquad (1-1)$$

حيث أن:

K ≡ النفاذية (Darcy)

μ ≡ لزوجة المائع (cp)

Q_F ≡ سرعة الجريان (cm^3/sec)

A ≡ مساحة المقطع(cm^2)

ΔP ≡ فرق الضغط (atm)

ΔL ≡ فرق المسافة التي يقاس بها فرق الضغط.(cm)

العلاقة أعلاه تمثل الجريان الأفقي الخطي للمائع.

تدخل النفاذية في تقسيم الصخور وذلك حسب نفاذيتها كالآتي:

- صخور ذات نفاذية ممتازة: أكبر من واحد دارسي معامل النفاذية.
- صخور ذات نفاذية جيدة ومعامل النفاذية بين 0.1-1 دراسي.
- صخور ذات نفاذية متوسطة وفيها يتراوح معامل النفاذية بين 0.1-0.01 دراسي.
- صخور قليلة النفاذية ومعامل النفاذية فيها بين 0.01- 0.001 دراسي.

- صخور ذات نفاذية مهملة ويكون معامل النفاذية أقل من واحد ملي دراسي.

وتعدد نفاذية الشقوق بالمعادلة الآتية:

$$\text{النسبيةالنفاذية}(k) = 50,000,000 * w^2 \qquad (2-1)$$

حيث:

W ≡ عرض الشق

ويمكن استخدام المعادلة المشابهة الآتية:

$$\text{النفاذية}(K) = \frac{w^2 \times 10^8}{12} \qquad (3-1)$$

ويمكن أن تعمل المعادلة السابقة بحيث أن عرض الشق 1 سم.

تستعمل العوامل الرئيسية المؤثرة على نفاذية الطبقات في الأتي:

صفات المسامات وشكل القنوات وأيضاً عرض الترابط.

المسامية الفعالة.

شكل المسامات.

نوع ومقدار السمنت.

وجود الشقوق ومقدارها.

عادة ما تكون خواص سريان الماء والذيت في الوسط المسامي لايجاد كفاءة الازاحة بالغمر بالماء هي ما يعبر عنها بخصائص النفاذية النسبية

وهذه الخصائص هي مقياس مباشر لمقدرة صخر المكمن المسامي على توصيل مائع عند وجود مائع اخر او اكثر.

وهذه الخصائص تعكس التاثير المركب لكل من الشكل الهندسي للمسام وتبلل الصخر وتوزيع المسام وتاريخ او عمر درجة التشبع

(1-3) النفاذية النسبية :

هي النسبة بين النفاذية الفعالة لمائع والنفاذية الاساسية للوسط المسامي

وعادة مايعبر عن النفاذية الاساسية بقيمة النفاذية الفعالة للزمن عند درجة التشبع بالماء الاصلي.

ويوجد فرق رئيسي بين منحنيات النفاذية النسبية في حالة الطبقة المائية التبلل ومنحنيات الطبقات زيتية التبلل ، وهذا الفرق هو مقدار النفاذية النسبية للماء عند درجة التشبع بالزيت المتبقي على منحنى النفاذية النسبية للماء.

في حالة صخر زيتي التبلل نجد ان الزيت المتبقي يوجد في المسام الاصغر وعلى جدران الفراغات الاكبر ويسمى هذا التاثير والذي ينتج عن نفاذية نسبية منخفضة للماء عند نفاذية الغمر بالماء في صخر مائي التبلل مقارنة بالصخر زيتي التبلل.

وتعتبر النفاذية النسبية من اهم الخواص البتروفيزيائية والتي لها علاقة كبيرة بالاستخلاص المحسن للزيت ، يفرض سريان عدد من الاطوارالاحادية التكوين غيرالقابلة للانضغاط في وسط احادي البعد والسريان مستقرا (بمعني ان درجة التشبع بجميع الاطوار لا تتغيرمع الوقت والموضع)

والنفاذية النسبية دالة اساسية في درجة التشبع للطور او المائع وتعتمد هذه الدالة على خصائص الصخر مثل توزيع حجم المسام وتعتمد على تبلل الصخر ولاتوجد علاقة قوية بين النفاذية النسبية وخصائص المائع مقل الشد السطحي ، ومن الضرروي جدا ان تكون الرؤية واضحة في معاني كل من الحركة والحركية النسبية والنفاذية الفعالة لطور ما والنفاذية النسبية ، ولاض توجد معادلة عامة للتعبير عن النفاذية النسبية لذبك توجد لبعض الدوال النظرية لمنحنيات الزيت والماء وعند الحاجة الى علاقات تحليلية لبعض اشكال سريان الزيت والماء.

(1-4) درجة التشبع :

عبارة عن مقدار ما يحتويه لاصخر من ماء ، في اكثر التراكيب المحملة بالنفط يعتبر بانها كانت سابقا حاملة للماء ومشبعة كليا قبل دخول وانصهار النفط فيها ، يمكن اعتبار الهيدروكربونات الاقل كثافة تتحرك الى المناطق المتوازية كهروستاتيكي وكذلك المتحركة .

فلهذا تزيح الماء الموجود في الفتحتات. والتي هي في اعلى التركيب للصخرة . فالنفط لا يزيح كل الماء التي كان اصلا يشغل هذه الفتحتات .ولهذا فان الصخورالمكمنية بصورة اعتيادية يمكن ان تحوي كلا من النفوط الهيدروكربونية والماء (وبصورة عامة يشار اليها كماء متبقي) ويشغل نفس المسامات المجاورة . لكي نحسب كمية الهيدروكربونات المتجمعة في المسامات الصخرية يكون من المستوجب حساب السائل المشبع (النفط، الغاز ، الماء) لمادة الصخرة

درجة التشبع تمثل:

النسبة المئوية من حجم المسامات الحاوية على مياه طبقية فإذا كان الماء وحده هو الذي يملأ هذه الفراغات فتكون الطبقة مشبعة كلياً بالماء ويمكن أن تمثل درجة التسبع بالمعادلة الاتية:

$$Sw + So + Sg = 1 \qquad (4-1)$$

حيث:

Sw ≡ التشبع بالماء Water Saturation

So ≡ التشبع بالنفط Oil saturation

Sg ≡ التشبع بالغاز Gas Saturation

درجة التشبع بالنفط أو الغاز هو حجم المسامات المملوءه بالغاز أو النفط والتشبع يساوي مايتبقي 100% بعد أن تطرح منها قيمة التشبع بالماء في حالة وجود الطبقات الحاوية للماء في القاع والنفط في الأعلى فلا يكون السطح الفاصل بينهما حاداً دائماً بل في الإنتقال تدريجياً من 100% إلى الأغلبية النفطية وتصل درجة التشبع بالماء الجزء العلوي من حده الأدنى وتنقسم درجة التشبع إلى:

التشبع بالماء:

يقصد به نسبة الفراغات في الصخور التي تحتوي على مياه حيث:

$$\text{درجة التشبع بالماء} = \frac{\text{حجم الفراغات المتشبعة بالماء}}{\text{حجم الفراغ الكلي}} \qquad (5-1)$$

التشبع بالهيدروكربونات:

في بعض الصخور توجد هيدروكربونات متواجدة سوياً مع الماء في فراغات الصخور وتحسب نسبة التشبع بالهيدروكربونات من العلاقة الآتية:

(1-4-1) درجات تشبع المائع المتبقي

1- التشبع المائي الغير مرتجع

هو اقل تشبع بالماء يمكن الحصول عليه عند اعلى ضغط شعري . وهو التشبع الذي يكون عند قيمة النفاذية للزيت تساوي الصفر عمليا نحصل عليه عندما يكون الحد الفاصل بين الماء والنفط مرتفعا جدا وفي المعمل نحصل عليه فقط عندما يكون فرق الضغط كبير .

2- تشبع الماء الحبيس :

هو اقل تشبع مائي في المكمن عند اكتشافه ، قيم التشبع تكون اكبر من قيم التشبع الابتدائي حتى عندما تكون قيم النفاذية للماء منخفضة جدا .

3- تشبع الزيت المتبقي الحقيقي :

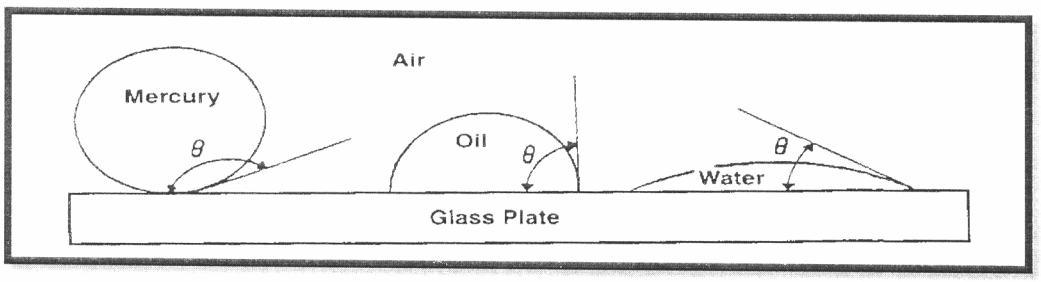
هو اقل تشبع بالزيت يمكن الحصول عليه تحت تاثير قوى اللزوجة والقوى الشعيرية وقوى الجذب وهو تشبع الزيت الذي يكون عنده النفاذية النسبية للزيت تقارب او تساوي الصفر . تشبع الزيت المتبقي نادرا مايتم الحصول عليه في المعمل خلال تجارب التدفق.

4- تشبع الزيت المتبقي :

وهو تشبع الزيت النهائي الذي يتم الحصول عليه من تجربة الازاحة في المعمل ، تشبع الزيت المتبقي مصطلح مثير للجدل لانها تنتسب الى تشبع الزيت في نهاية عملية التدفق عند اخر قيمة النفاذية النسبية للزيت او تنتسب الى متوسط التشبع بالزيت يمكن الحصول عليه في المعمل على اساس مايكروسكوبي وهو قيمة تعتمد على قيمة تشبع الزيت المتبقي الحقيقي بالاضافة الى اتزان قوى اللزوجة والقوى الشعيرية وقوى الجذب التي يتعرض لها المكمن

(1-5)التبللية: Wettability

هي ميلان أحد الموائع للانتشار أو الالتصاق بسطح صلب في وجود موائع أخرى غير قابلة الانتشار ومفهوم التبللية موضحاً في الشكل التالي :



شكل رقم (1 – 2) يوضح ميلان الموائع للانتشار أو الالتصاق بسطح صلب في وجود موائع أخرى (هندسة المكامن – طارق احمد)

يوضح الشكل ثلاثة سوائل وضعت في لوح زجاج نظيف – نلاحظ أن الزئبق حافظ على شكله الدائري والماء مال للانتشار في سطح الزجاج أما النفط أخذ الشكل نصف كروي.وميلان السائل أو انتشاره في الأسطح الصلبة يغير من خصائص تبللية السائل او انتشاره – ونسمي

زاوية التي تتكون بين السطح الصلب و السائل بزاوية الالتصاق.من الملاحظة من الشكل أن زاوية الالتصاق تنقص عند زيادة خصائص تبللية السائل . اكتمال التبللية للسطح الصلب دليل على أن زاوية الالتصاق تساوي صفر .أما في حالة اكتمال الطور غير المبلل فإن زاوية الالتصاق تكون ($180\ ^{o}$).معرفة التبللية مهمة جداً في الصخور المكونة للمكمن حيث نجد أن توزيع السوائل في أوساط المسام له علاقة بالتبللية بسبب القوة الجاذبية. حيث أن الطور المبلل يميل إلى شغل المسام الصغيرة للصخر أما الطور غير المبلل يميل إلى شغل القنوات المفتوحة (Open Channels) .

(6-1) الضغط الشعري : Capillary Pressure

تكون المسامات الصغيرة داخل الصخور ذات المسامية والنفاذية بحيث يمكن تمثيلها بالأنابيب الشعري والضغط الشعري هو ظاهرة إرتفاع أي مائع مبلل داخل الأنبوب الشعيري كلما قل قطر الأنبوب الشعري كلما زاد إرتفاع المائع المبلل داخل الأنبوب الشعري ايضاً يمثل الضغط الشعري فرق الضغط بين الطور المائي والطور الهيدروكربوني في أي مستوى داخل المكمن النفطي أو الغازي فوق مستوى التشبع بالماء، يتوقف مقدار الضغط الشعري على حجم المسامات داخل المكمن أيضاً على فرق الكثافة بين الماء والنفط والغاز ويمكن تمثيل هذه العلاقة:

$$Pc = \frac{2\sigma \cos\theta}{r} \qquad (4-1)$$

حيث:

Pc ≡ الضغط الشعري.

σ ≡ الشد السطحي العيني.

θ ≡ زاوية الإلتماس بين السائل المبلل والصخرة.

r ≡ نصف قطر الأنبوب الشعري cm.

الباب الثاني
النفاذية النسبية

النفاذية النسبية

(1-2) مفاهيم النفاذية النسبية: Relative Permeability

Concepts توصلت العديد من الدراسات والتجارب المختبرية إلى أن النفاذية الفعالة المعتمدة على تشبع المائع وعلى التبليلة للصخرة على الشكل الهندسي ولهذا يكون مستلزماً علينا ان نعين تشبع المائع عندما تذكر النفاذية النسبية لأي مائع في وسط معين والنفاذية الفعالة يعبر عنها كقيمة عددية على بعض ظروف تشبع معين (K) وهو رمز النفاذية للنفط والماء والغاز (Kg, Kw, Ko) على التعاقب.النفاذيات الفعالة عادة تقاس مباشرة في المختبر من عينات لباب صغيرة وعلى كل حال وبسبب الكثير من الإندماجات المحتملة للتشبع لوسيط منفرد فإن بيانات المختبر تكون عادة مختصرة وتسجل كنفاذية نسبية.النفاذية النسبية تعرف كنسبة للنفاذية الفعالة لمائع مشبعاً 100% وافترضت النفاذية الفعالة هي نفسها لكل الموائع أو السوائل 100% تشبع، هذه النفاذية يشار إليها بنفاذية الوسط المسامي. ويمكن أن يعبر عن النفاذية النسبية بالعلاقات الرياضية التالية:-

$$Kro = \frac{Ko}{K}$$

$$\text{Krw} = \frac{\text{Kw}}{\text{K}} \qquad \text{(1-2)}$$

$$Krg = \frac{Kg}{k}$$

حيث ان :

K_{ro} ≡ النفاذية النسبية للنفط

K_{rw} ≡ النفاذية النسبية للماء

K ≡ النفاذية المطلقة

K_o ≡ النفاذية الفعالة للنفط

K_w≡ النفاذية الفعالة للماء

Krg=النفاذية النسبية للغاز

النفاذية الفعالة تتراوح بين الصفر وقيمة (K) والنفاذية النسبية قيمتها تتراوح بين الصفر والواحد (0-1).

(2-2) النفاذية النسبية لطورين: Two phases Relative Permeability

أثناء إنسياب الطور المبلل وغير المبلل معاً في صخر المكمن فإن كل طور تابع يسير منفصل وبطرق منفصلة عن الآخر وتوزيع الطورين بناءاً على الخصائص التبللية وينتج من خصائص الطور المبتل Wetting Phase وغير المبلل Non Wetting Phase والنفاذيات النسبية حيث أن الطور المبلل يشغل المسامات الصغيرة والمفتوحة على قيم تشبعات أقل. وهذه المسامات الصغيرة المفتوحة مادياً في الجريان وينتج عن ذلك تشبعات مائية ذات قيم أقل والتي سوف يؤثر فقط على نفاذية الطور الغير مبلل في نطاق محدود حيث أن الطور الغير مشبع يشغل المركز Central أو مسام مفتوحة أوسع والتي تساهم مادياً في جريان السائل خلال المكمن إلا أن التشبعات للطور الغير مبتل تكون ذات قيم أقل بالتالي تؤدي إلى تقليل نفاذية الطور المبتل بصورة هائلة.هناك عدة عمليات تحدث

(2-2-1) عملية الإستنزاف: Drainage Progress

ويعبر عنه كالتالي:

_انخفاض التشبع بالماء بينما يكتسح خزان مائي.

_انخفاض التشبع بالزيت نتيجة تمدد الغاز او نتيجة لحقن الغاز في نظام(غاز – زيت)

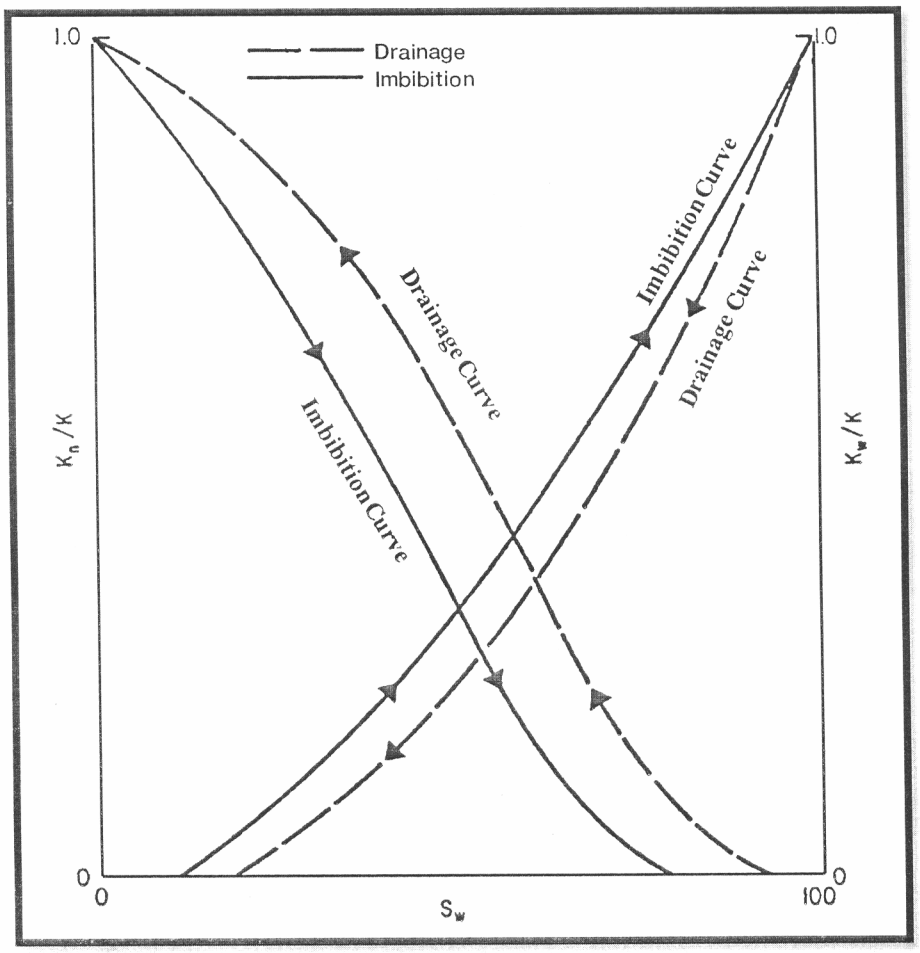
الاجراءات المعملية لعملية ازالة التشبع drainage process تتم اولا بتشبع العينة بالماء ثم ازاحة الماء الي ان يصل لحد تشبع الماء الحبيس بواسطة الزيت.

(2-2-2) عملية الإمتصاص: Imbibition process

يعبر عنها كالتالي:

- ارتفاع تشبع الماء نتيجة حدوث تدفق مائي water influx او غمر مائي water flood.
- إرتفاع تشبع الزيت عندما يحل محل القلنسوة الغازية gas cap نتيجة الميلان او تقلص حجم الاخير.

عندما يتم تشبيع العينة بالماء ، ثم ازاحة الماء الي ان يصل تشبع الماء الحبيس بوسطة حقن الزيت فان هذه العملية تعرف بالاستنزاف ، وعندما يتم اعادة ادخال الطور المبلل (الماء) الي داخل العينة بحيث يستمر ازدياد تشبع العينة بالماء فان هذه العملية تعرف باعادة التشبع Imbibition .



الشكل (2- 1) يوضح منحي النفاذية النسبية باستخدام عمليتي التشرب و الاستنزاف (هندسة المكامن -طارق احمد)

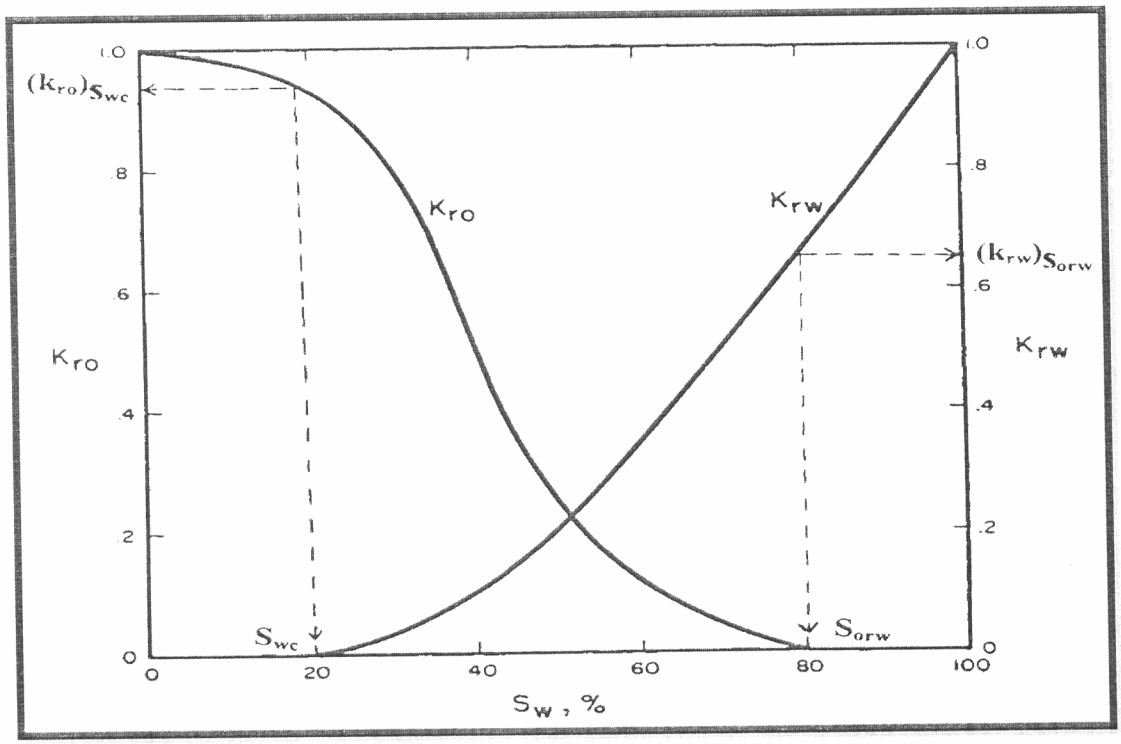
(2-3) الطريقة الحسابية لحساب النفاذية النسبية

(2-3-1) علاقة وايلي وغاردنر: Wyllie And Gardner Grrellation

لاحظ العالمان وايلي وغاردنر في العام 1958م في بعض الصخور العلاقة المتبادلة بين مقلوب مربع الضغط الشعيري $\left(\frac{1}{Pc^2}\right)$ وتشبع الماء الفعال (Sw) علاقة خطية لكل تشبع كامل. واقتراحاً للقوانين التالية والتي تستخدم عندما نوجد نفاذية نسبية واحدة.

نظام (النفط – الماء) $(Oil - Water)System$:

$$K_{rw} = (Sw^*)^2 - K_{ro}\left[\frac{Sw^*}{1-Sw^*}\right] \qquad (5-2)$$



شكل (2-2) يوضح النفاذية النسبية للماء والنفط(هندسة المكامن - طارق احمد)

(2-3-2) معادلة بيرسون: Person Correlation

من الإعتبارات البتروفيزيائية قام بيرسون في العام 1958م بتحويل المعادلة العامة لنفاذية الطور المبلل وغير المبلل لعمليتي الإمتصاص والإستنزاف والمعادلة التالية هي التي تطبق في حساب النفاذية النسبية للطور المبتل مرحلة الإمتصاص والإستنزاف و

$$K_{rw} = \sqrt{Sw^{*}Sw^{3}} \qquad (6-2)$$

(وهي مرحلتي الإمتصاص والإستنزاف للطور المبلل)

معادلة الطور غير المبتل لحساب النفاذية النسبية للطور غير المبتل في مرحلتي الإمتصاص والإستنزاف.

$$K_{ro} = \left[1 - \frac{(Sw-swc)}{1-Swc-Snw}\right]^{2} \qquad (7-2)$$

- للطور غير المبتل:

الإستنزاف Drainage:

$$K_r = (1-Sw^{*})\left[1-(Sw^{*})^{0.25}\sqrt{Sw}\right]^{0.5} \qquad (8-2)$$

$$K_r = (1-Sw^{*})\left[1-(Sw^{*})^{0.25}\sqrt{Sw}\right]^{0.5} \qquad (2-10)$$

(2-3-4) حساب النفاذية النسبية من معلومات الضغط الشعيري:

هنالك عدة معادلات لحساب النفاذية من بيانات الضغط الشعيري.العلاقة التي طورت بواسطة العالم بورسيل والتي يمكن ان تستعمل مباشرة لحساب النفاذية النسبية للطور المبلل. النفاذية

النسبية هي بواسطة التعريف، نسبة النفاذية الفعالة بتشبع معين إلى نفاذية الوسط. من المعادلة (9 - 2)

$$K = 10.24(6\cos\theta)^2\lambda\emptyset\int_{S=0}^{S=1}\frac{ds}{(Pc)^2} \qquad (9-2)$$

رابورت ويلس (Raport and Lease) قد أوجدا معادلتين للنفاذية النسبية للسائل المبلل وهم أساس العلامات السطحية ومعادلة كوزيني. المعادلات موجودة مثل قيم محددة ومعلومة أعلى أو أقل قيم للنفاذية النسبية بالنسبة إلى Krwt (Min).

المعادلة وهي: (2 - 10)

$$K_{rwt} = \left(\frac{Swt-m^s}{1-m^s}\right)^3 \frac{\int_1^{swt} Pcds}{\int_1^{sm} Pcds+\int_1^{swt} Pcds} \qquad (2-10)$$

حيث أن:

Sm = التشبع القليل المتيقي للطورالمبلل من منحنى الضغط الشعيري

Swt = تشبع الطور المبلل

فات وداكسترا (fatt and dykstra) أخذا الطريقة الأساسية ليورسيل لحساب النفاذية، قد طورا تغييراً للنفاذية النسبية، معتبراً أن عامل التصخر كالدالة على التشبع . عامل التصخر هو في الحقيقة تصحيح لإنحراف طول المجرى (path) المجرى عن طول الوسط المسامي. فات وديكسترا إفترضان أن إنحراف طول المجرى (path) كان يعتمد على تصنف قطر المسامات الموصلة ولهذا المعادلة هي:

$$\lambda = \frac{a}{r^b} \qquad (11-2)$$

حيث أن:

r = وهو نصف قطر المساحة.

b = ثابت المادة .

a = ثابت المادة.

لقد سجلت بيرادين (Burdine) معادلات لحساب منحنيات النفاذية النسبية لكل من الطور المبلل وغير المبلل.معادلات يمكن أن نلاحظ لأن تختزل بشكل يشابه تلك التي هي ليورسيل للنفاذية. يورداين قد اسهم أساساً في كيفية احتساب الالتوائية (Tortuosity).يعرف عامل الالتوائية للمسامة (i) عندما يكون الوسط المسامي مشبعاً فقط بمائع واحد (wti) معامل الالتوائية عندما يوجد طوران. نسبة الإلتواء يمكن أن تعرف المعادلة وهي:

(4-2)النفاذية النسبية لثلاثة أطور: Three Phase Relative Permeability

هنالك حالات فيها ثلاثة موائع بدلاً من أثنين في الصخرة في آن واحد لهذا فإن النفاذية النسبية تشمل نفاذية لثلاثة موائع العالم ليفيرين في العام 1941م سجل نتائج تجارب حالة الجريان المستقر على رمل غير متصلد والتي استعملت فيها الأطوار الثلاثة النفط والماء والغاز من هذه البيانات واحد هذه الدراسات الشاملة فقد سجل نفاذية نسبية لثلاثة أطوار والنتائج الأساسية لجريان موائع ذات ثلاثة أطوار.

الموائع التي استخدمت في تجربة ليفيرين كانت النتروجين والكيروسين وماء مالح. النفاذية النسبية للطور المبلل بالماء تعتمد على تشبع الطور الوحد.الطور المبلل يشغل أجزاء من الحيز

المسامي المجاورة لحبيبات الرمل ولهذا فهو يشغل فتحات مسامية أصغر. وهذا فإن مستوى تشبع الطور المبلل هو نفس الجزء من المسامات الذي يشغل بالسائل المبلل بغض النظر عن التشبع للطورين الأخرين ولهذه السلوكية تعتمد على تاريخ التشبع للوسط المسامي ويكون صحيحاً إذا أتبعت طريقة إزالة التشبع في كل الأوقات.والنفاذية النسبية للغاز والنفط قد وجدت لكي تعتمد على قيم التشبع الموجودة في السوائل الثلاثة في الصخرة.إعتماد النفاذية النسبية للنفط على تشبعات أوساط أخرى يمكن أن توضح بإتباع التحليل التالي:الطور النفطي له ميل أكثر لتبلل الصلب من الغاز بالإضافة إن قوة التلاصق بين الماء والنفط أقل من تلك التي بين الماء والغاز والنفط ينتقل لأجزاء الصخرة أو المسامات التي تشغل بالماء وبين التي تشغل بالغاز والنفط يشغل أكثر المسامات الصغيرة على قيم تشبعات مائية أقل مجرى الجريان الطويل المسبب الظاهرة هو المترخلي للتغير في النفاذية النسبية للنفط على تشبعات نفطية ثابتة على تشبعات مائية متغايرة.تشبع نفطي مقداره (60%) وتشبع مائي مقداره (40%) النفاذية للنفط كما هي مقروءة ونلاحظ ان النفاذية النسبية للنفط تزداد إلى (38%) تقريباً، وتشبع مائي صفراً فإن النفاذية النسبية تقريباً (18%). ولهذا يلاحظ أن بتغير تشبع الماء والغاز فإن خواص الجريان للنفط قد دخل طرق ذات إلتوائية أكثر.تغير النفاذية النسبية للغاز بتشبعات غازية ثابتة إلى تشبعات الأطوار الأخرى إن السبب للسلوكية الخاصة المؤشرة ليست محددة. إن النفاذية النسبية للغاز يجب أن تكون دالة (Function) وحيدة على تشبع الغاز. الدراسات الأخرى على أنظمة الجريان الثلاثة أطوار يكون مستلزماً تثبيت النفاذية النسبية للغاز في أنظمة الثلاثة أطوار ويكون متوقعاً عند الغاز يكون في نظام وسيكون الغاز هو السائل الأقل إحتمال أن يبلل سطح الصخرة ولهذا يجب أن يتخذ الصفة التي تعتمد فقط على التي تعتمد على التشبع الكلي للطورين الأخرين. ويجب أن يشغلا الطورين الأخرين النفط والماء فتحات المسامات الأصغر

ويبللان سطح الصخرة، لهذا فطور الغاز يجب أن يعتمد على تشبعات السائل الكلية ولا يعتمد على مقدار تشبع كل طور في ذلك التشبع الكلي.

(2-5) العوامل المؤثرة على النفاذية النسبية: (Factors (Affecting Relative permeability

قياس النفاذية النسبية كان الرجوع للنفاذيات النسبية للطور المبلل وغير المبلل.إذا كانت كل المواد تبلل الوسط المسامي إلى نفس الدرجة، فإن البيانات المأخوذة لنظام النفط مع الغاز تكون هي نفس الدرجة، فإن البيانات المأخوذة لنظام النفط مع الغاز تكون هي نفس البيانات المأخوذة لنظام الماء مع الغاز أو بنظام الماء مع النفط.ليس كل الموائع تبلل الصلب إلى نفس الدرجة وبما أن الماء يمكن أن لا يكون المائع الذي يفضل تبلل الصخرة، والبحوث قد أجريت على تأثير تبليل الصخرة على بيانات النفاذية النسبية لأنظمة النفط مع الماء المالح.تتأثر قيم النفاذية النسبية بالتغير في التوزيع الذي حصل من خواص التبليل المختلفة.يوضح التغيرات في النفاذية النسبية المسببة من اختلاف خواص التبليل.نلاحظ عندما تفضل الصخرة التبليل بالماء فإن الماء يفقد قدرته علىالحركة على قيم تشبع مائي عالية أكثر مما كانت الصخرة تفضل التبليل بالنفط.الحقيقة تشير إلى أن النفط يبقى في بعض المجاري الصغيرة التي هي أكثر التواء في الوسط، يصبح هذا مستلزماً أن نضف الصخور بأن تكون تبلل نفط وتبلل ماء، أو معتدلة هناك تأثيرات تاريخ التشبع على النفاذية النسبية، إذا النموذج البدداية مشبع بالطور المبلل وبيانات النفاذية النسبية قد حصل عليها بواسطة تقليل تشبع المائع المبلل بينما كان يجري المائع غير المبلل والمائع المبلل في آن واحد في اللباب فإن الطريقة تعرف بالاستنزاف (Drainage). أو إزالة التشبع (Desideration) البيانات التي يستحصل عليها بواسطة زيادة تشييع الطور المبلل والعملية تعرف بالامتصاص أو إعادة التشبع (imbibitions or

والعملية تعرف بالامتصاص أو إعـادة التشـبع (imbibitions or Restoration) والتسميات هي تتفق مع تلك المرتبطة بالضغط الشعيري الطريقة تستعمل للحصـول علـى بيانات النفاذية النسبية في المختبر يجب أن تتفق مع الطريقة الممكن التي سوف تنطبق عليها البيانات.يمكن أن يشاهد الفرق بين الطريقتين لقياس النفاذية بواسطة ملاحظة ، لقد لاحظ أن طريقة الامتصاص تسبب الطور غير المبلل (النفط) لأن يفقد قابليته على الحركة على قـيم تشبع أعلى من تلك التي هي بطريقة الاستنزاف (Drainage)، الطريقتـان لهمـا نفـس التأثيرات على منحنى الطور المبلل (water). طريقة الاستنزاف (Drainage) تسـبب للطور المبلل أن يفقد قابليته على الحركة على قيم تشبع أعلى للمائع المبلل مما تسببه طريقة الامتصاص.من المسامية والنفاذية، كان قد لوحظ أن الضغط المغطـى (overburden) يؤثر على القيم المستحصلة. سيحل فات كما يلاحظ في شكل أن الضغط المغطـى لا يـؤثر على بيانات النفاذية النسبية على الرغم من أن النفاذية الفعالة قد تغيرت.

(٢-٦) استعمالات معلومات النفاذية النسـبية: (uses Relative permeability data)

هنالك استعمالات عديدة لبيانات النفاذية النسبية أكثرها سيشرح بالتفصيل فيما بعد لارتباطـه بالتطبيقات الخاصة بالمشاكل قليل من هذه التطبيقات وهي:

(١) حساب تشبعات السائل المتبقي.

(٢) حسـابات الجريـان الجزئـي والوجـه المتقـدم لحركـة الموائـع داخـل الطبقـة (calculation flow and frontal advance for fluid mouvement in boundary)

(٣) التمكن من التكهن بالاستنباطات المستقبلية لسريان الطورين.

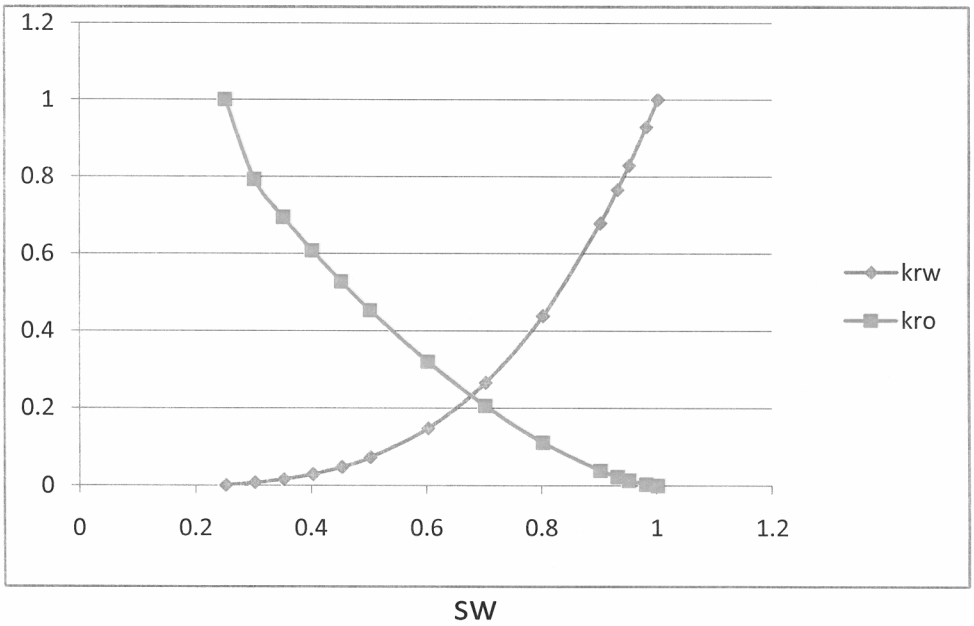
الباب الثالث

أجهزة قياس بيانات النفاذية النسبية

أجهزة قياس بيانات النفاذية النسبية
Relative Permeability Measuring Devices

(3-1)الطرق المعملية لحساب النفاذية يمكن ان تصنف الي قسمين :

طرق الحالة المستقرةSteady State و طريقة الحالة الغير مستقرة Unsteady State.عند تبللية مختلطة للصخور فان طريقة الخالةالمستقرة تفضل علي طريقة الحالة الغير مستغرة بالرغم من ان الحالة الغير مستقرة تثمر نتائج اسرع مقارنة مع طريق الحالة المستقرة و هذا ناشئ عن طبيعطة العمليات المتضمنة في كل طريقة .



الشكل (3 -1) يقارن بين النفاذية النسبية المأخوذة عن طريقة الحالة المستقرة و طريقة الحالة غير المستقرة .

هناك اجهزة عديدة لتعيين نفاذية الصخور حيث ان اغلبية القطع المكونة لهذه الاجهزة متشابهة وتحتوي علي نفس القطع الرئيسية وهي كالاتي :

1. حامل العينة .

2. عداد لقياس الضغط عند دخول و خروج السائل او الغاز الي العينة .

3. عداد لقياس الكمية المصروفة من الغاز او السائل .

4. منظم يجعل كمية السائل و الغاز المصروفة ثابتة .

ان درجة الاختلاف بين الاجهزة التي تقاس بواسطتها النفاذية هو ان جهاز يقيس النفاذية عند ضغوط كبيرة (بالشروط الطبقية) واخر عند ضغوط صغيرة .ان بعض من هذه الاجهزة يعين النفاذية باستخدمالهواء او الغاز و هنالك انواع أخرى تستخدم السوائل و لهذا السبب فان بعض من الاجزاء التي يتكون منها الجهاز الواحد ستكون مختلفة حسب نوع المائع المستخدم في جهاز تعين النفاذية و الذي قد يكون غاز او سائل .في طريقة الحالة المستقرة يتم حقن مائعين معا و بمعدل ثابت خلال وحدة اللباب الي ان تكتسب نسبة المائع المنتج حالة توازن مع نسبة المائع المحقون ، وعند هذا التشبع الذي حدثت فيه حالة التوازن فان النفاذية الفعالة لكل طور نتحصل عليها باستخدم قانون دارسي .

$$K = \frac{\mu VL}{APT} \qquad (1 - 3)$$

حيث :

K=النفاذية بالدارسي (D) .

μ= لزوجة السائل المستخدم عند درجة الحرارة المعينة (Cp) .

L= طول العينة (cm) .

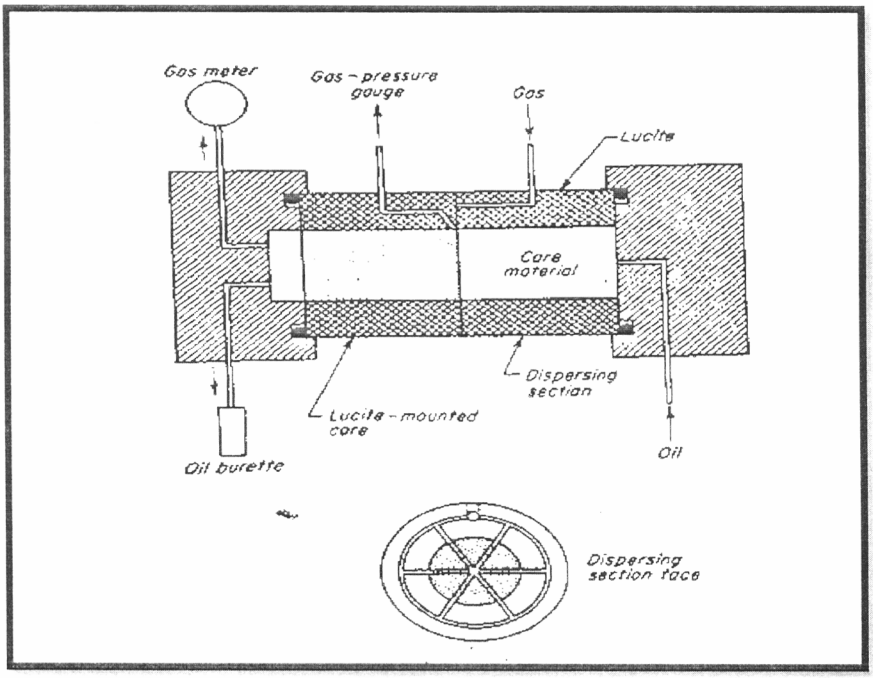
V= حجم السائل الذي يعبر العينة(cm^3) .

A= مساحة مقطع العينة (cm^2) .

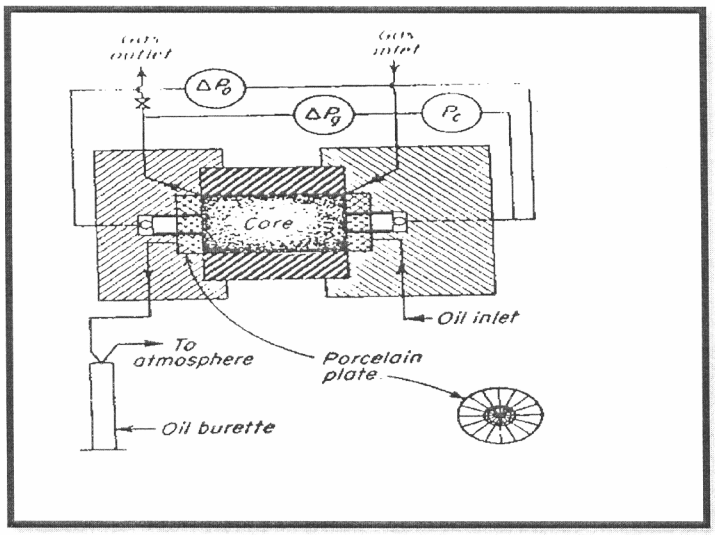
P= فرق الضغط و يقاس مباشر بمقياس الضغط (Kg/cm^2) .

T= الزمن اللازم لمرور السائل خلال العينة تحت تاثير فرق ضغط (Sec) .

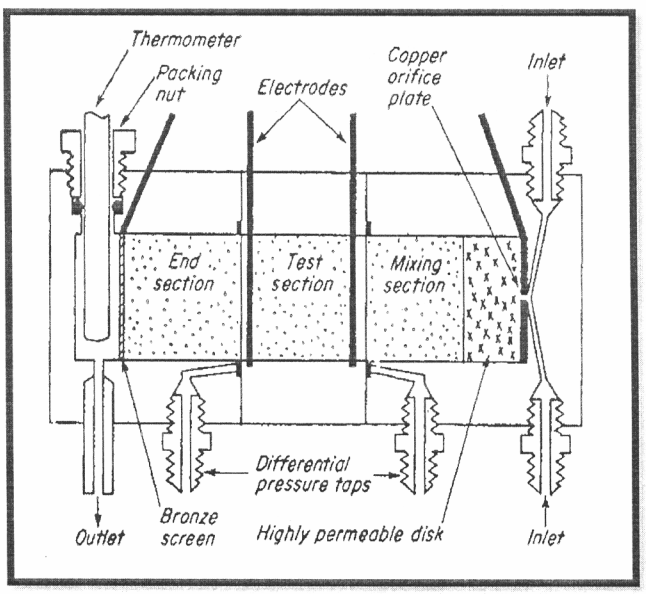
النسبة بين النفاذية الفعالة الي النفاذية المطلقة تثمر عنها النفاذية النسبية عند قيمة ذلك التشبع ، قيم النفاذية النسبية لتشبعات مختلفة لنحصل عليها بتغير نسبة المائع بالنسبة لمعدل الحقن .الاشكال من(3 - 1) الي(3 - 5) توضح بعض الاجهزة المستخدمة في طريقة الحالة المستقرة . الاجهزة الاربعة الموضحة تمثل جهاز هسلر شكل (3 - 3) و جهاز ولاية بنسلفانيا شكل (3 - 4) و جهاز هافورد شكل (3 - 5) و جهاز الادخال المنتشر شكل (3 - 2) . بعض الاجزاء التي يتكون منها الجهاز الواحد ستكون مختلفة حسب نوع المائع المستخدم لجهاز تعيين النفاذية و الذي قد يكون سائل او غاز



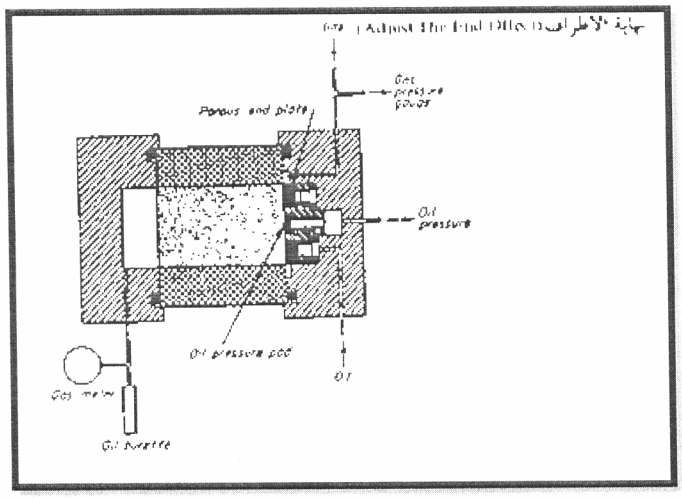
الشكل (3 - 2) جهاز الادخال المنتشر المستخدم في قياس النفاذية النسبية(هندسة المكامن النفطية الخواص الفيزيائية -حازم حسن العطار)



الشكل (3 – 3)يوضح جهاز النفاذية النسبية اساس هسلر (هندسة المكامن النفطية – حازم حسن العطار)



الشكل (3-4)جهاز ولاية بنسلفانيا لقياس النفاذية النسبية(هندسة المكامن النفطية - حازم حسن العطار)



الشكل (3-5)جهاز هافورد المستخدم لقياس النفاذية النسبية(هندسة المكامن النفطية -حازم حسن العطار)

في طريق الحالة الغير المستقرة Unsteady state فان المائع يزاح من موقعة الاصلي بواسطة دفع المائع عند معدل ثابت ، التشبع داخل عينة اللباب يتغير مع الزمن ، قيم النفاذية النسبية بالنسبة للمائع تحسب باستخدام معادلات مشتقة بواسطة Buckley & Leverett .

طريقة الازاحة الغازية Displacement Process:-هي الاساس حاله جريان غير مستقرة Non Steady State Process حيث تكون العينة اساسا مشبعة 100% بالطور المبلل ، وبدلا من ضخ الغاز و السائل فانة يتم ضخ الغاز فقط في اللبابة ، حيث فيها مائع واحد يدخل الي اللبابة و مائعين يتركانها .طريقة اجراء تجربة الازاحة الغازية هي نوعا ما بسيطة و سريعة حيث يختار نموذج Sample متجانس تقريبا و خواصه الفيزيائية مثل الحجم الكلي و المساحة تكون محسوبة ، العينة توضع بعناية في الماسك بحيث تكون مشبعة 100% بالطور المبلل (النفط) ، العينة تستنزف تشبعها اي يزال

تشبعها بواسط ضخ غاز في احد نهايتيها واستخراج كلا من النفط و الغاز من النهاية الاخرى للعينة . فيما يلي وصف لتجربة قياس النفاذية النسبية للماء و الزيت في الحالة المستقرة و الحالة غير المستقرة :

(3 -1 -1) طريقة الحالة المستقرة : Steady State

عندما يكون الجريان مستقراً اي يتم حقن مائعين انياً بمعدل ثابت حتي يكون معدل الانتاج مساوياً لمعدل الحقن . يجب ان تقاس قطعة اللباب عند حصول الاتزان في كل مرة يتغير فيها معدل التدفق وبتكرار هذه العملية يتم تحديد النفاذية النسبية . معظم التجارب تبدأ بأن تشبع العينة بنسبة 100% بالطور المبلل (الماء) ثم يتم إنقاص التشبع (التصريف) ، هذه الطريقة قد لا تعطي التشبع عند نقطة النهاية وفقاً لتشبع الزيت المتبقي .التحدي الحقيقي في طريقة الجريان المستقر أ ننا نستخدم معادلة Material Balance في حسابات القياس عند بعض التشبعات . بالاضافة الي مشكلة التأثير الشعيري و التي يمكن التغلب عليها باستخدام معدل تدفق عالي و فرق ضغط مرتفع أو أن تكون نهايات العينة مجهزة بأفتراض مسامية ووحدات قياس لتقليل هذه الأثر .من مميزات هذه الطريقة أنها واضحة من حيث المبدأ و تعطي نتائج النفاذية النسبية علي طول مدى التشبع .

(3 -1 -2) طريقة الحالة الغيرة مستقرة : Unsteady State

الاجراء المستخدم للجريان غير المستقر هو نوعاً ما أسهل و ابسط و فيما يلي و صفة لتجربة ماء – زيت مع العلم ان مبدأهذا الإجراء هو نفسه بالنسبة لتجارب غاز-زيت أو ماء-غاز .اولاً يتم تشبع العينة بالماء بنسبة 100% ثم حقنها بالزيت حتي ينقطع إنتاج الماء . يتم تدوين معدل إنتاج الماء و حساب تشبع الماء الابتدائي ثم يتم قياس النفاذية الفعالة للزيت عند التشبع الابتدائي .يتم ازاحة الزيت بالماء أو زيت معلوم النفاذية ليتم تحديد فرق الضغط بين طرفي العينة ، أو عن طريق تثبيت فرق الضغط بين طرفي العينة

و تغيير معدل التدفق . باستخدام قراءة كمية المحقون التجميعية وفرق الضغط و حجم الزيت المنتج يمكننا حساب النفاذية النسبية من نظرية التي وضعها العلم Welge. كمان هو الحال في طريقة الجريان المستقرة الضغط خلال قطعة اللباب يجب ان يكون كبيراً بحيث عنده تجاهل التأثير الشعيري و تاثيرات الجاذبية .

- مميزات طريقة الجريان غير المستقرة :

1. اسرع بشكل كبير من طريقة الجريان المستقرة .
2. هذه العملية تمثل الالية المكمنية و تعطي بيانات افضل عند نقطة النهاية End Point .
3. اسهل معملياً و افضل عند تطبيق الظروف المكمنية من الضغط و درجة الحرارة عليها .
4. تتطلب كميات قليلة من الموائع .

- مساوئ طريقة الجريان غير المستقر :

1. بيانات النفاذية النسبية قد لا تغطي كل مجال التشبع و في بعض الأحيان تتقيد بيانات النقاط النهائية .
2. عدم الاتصال في الضغط الشعيري عبر قطعت اللباب قد تؤدي الي تشوية بيانات الضغط و قياسات المائع المنتج .
3. تتطلب عدد كبير من الحسابات لكن يكمن حلها رياضياً باستخدام الحاسوب .

فيما يلي بعض التوصيات التي ينصح بها لتحسين النتائج :

- استخام طريقة الجريان غير المستقر لتقدير بيانات نقاط النهاية End Point لل(التشبعات و النفاذية النسبية) حيث تستخدم هذه البيانات لحساب الإحتياطي بالإضافة الي كسر الماء Water Cat خلال المكمن . لكن هذه التجربة عند الظروف المكمنية تكون باهظة الثمن .

- استخدام طريقة الجريان غير المستقر في ظروف المعيارية علي كمية كبيرة من اللباب و مطابقتها رياضياً مع بيانات الفقرة السابقة يعطي نتائج مقبولة و رخيصة الثمن .

- استخدامات طريقة الجريان غير المستقر علي عدد قليل من قطع اللباب المختارة لتقدير المنحنى و شكل معادلات النفاذية النسبية .(بحث تصحيح منحنيات النفاذية)(2006).

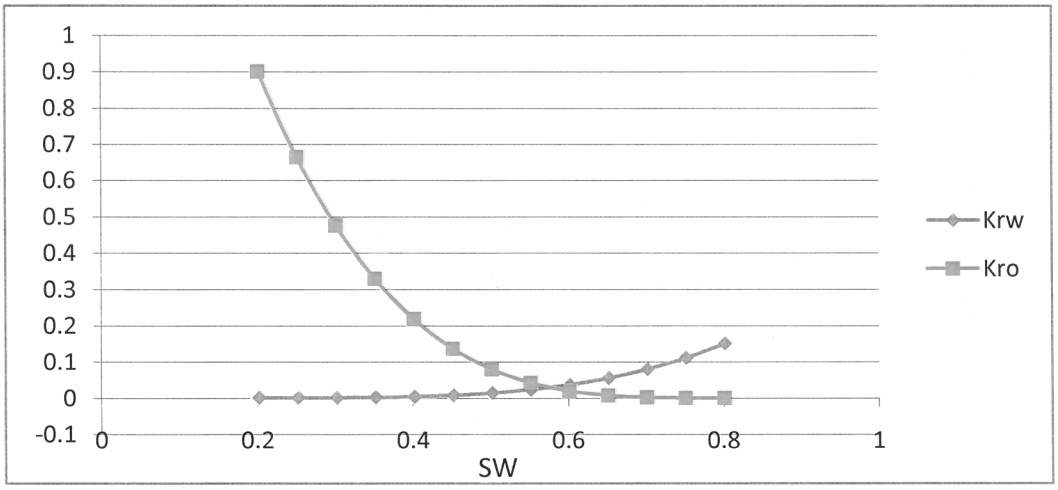
الباب الرابع
الحســـابات

الحسابات

(4 -1) التطبيق الاول:

لقد تم اخذ البيانات التالية من textbook لحساب النفاذية النسبية بطريقة اس كوري :

Sw	Krw (2-4)	Kro (1-4)
0.20	0.0000	0.9000
0.25	0.0000	0.6637
0.30	0.0003	0.4755
0.35	0.0012	0.3288
0.40	0.0032	0.2177
0.45	0.0070	0.1364
0.50	0.0133	0.0795
0.55	0.0227	0.0420
0.60	0.0363	0.0192
0.65	0.0548	0.0070
0.70	0.0792	0.0017
0.75	0.1106	0.0002
0.80	0.1500	0.0000



الشكل (4 –1) منحني النفاذية النسبية بطريقة أس كوري

Initial water saturation, Swi 0.2

$K_{rw} = \sqrt{Sw^{*}Sw^{3}}$ (2 – 9)Residual oil saturation to water, Sorw 0.2

Oil curve end point, kro@Swi 0.9

Water curve end point ,krw@sorw 0.15

Corey exponent 3.5

$$Kro = Kro@Swi\left(\frac{1 - Sw - Sorw}{1 - Swi - Sorw}\right)^{n} \quad (1 - 4)$$

$$Krw = Krw@sorw\left(\frac{Sw - Swi}{1 - Swi - Sorw}\right)^{n} \quad (2 - 4)$$

حيث:

Swi= تشبع الماء الإبتدائي

Sorw = تشبع الماء والزيت المتبقي

N= قيمة ميل منحنى النفاذية النسبية للنفط والماء

Kro = النفاذية النسبية للنفط

krw= النفاذية النسبية للماء

(4 -2)التطبيق الثاني باستخدام معادلة بيرسون:

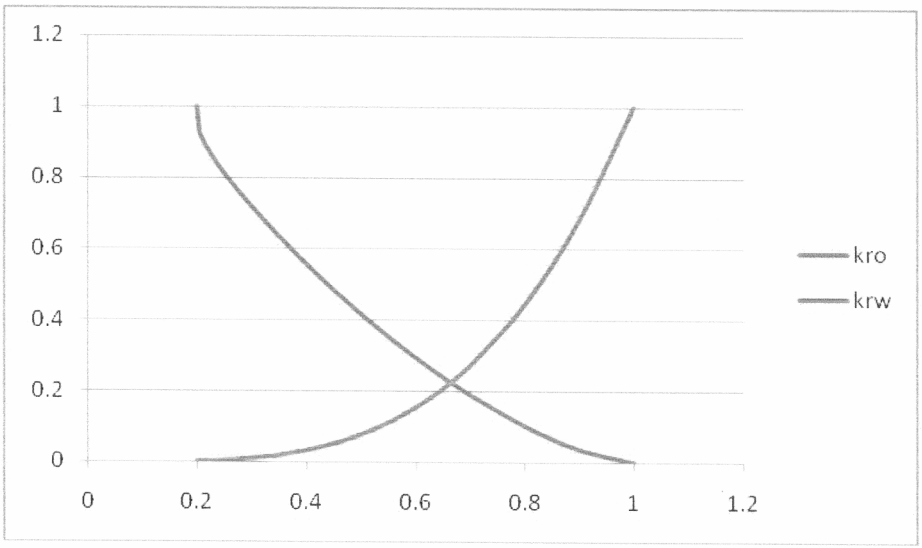
حساب النفاذية النسبية بطريقة بيروسون من بيانات حقلية مأخوذة من مركز النفط ثم رسم المنحني

Sw	Kro (5-4)	Krw (4-4)	sw* (3-4)
0.2	1	0	0
0.205	0.928343	0.000681	0.00625
0.21	0.9087	0.001035	0.0125
0.215	0.893109	0.001361	0.01875
0.22	0.87939	0.001684	0.025
0.225	0.866782	0.002014	0.03125
0.23	0.854924	0.002356	0.0375
0.235	0.843613	0.002715	0.04375
0.24	0.832723	0.003091	0.05
0.245	0.822172	0.003488	0.05625
0.251	0.809874	0.003993	0.06375
0.256	0.79988	0.004439	0.07
0.261	0.790084	0.00491	0.07625
0.266	0.780463	0.005406	0.0825
0.271	0.770997	0.005929	0.08875
0.276	0.761671	0.00648	0.095
0.281	0.752474	0.00706	0.10125
0.286	0.743394	0.00767	0.1075
0.291	0.734422	0.008311	0.11375
0.296	0.725552	0.008984	0.12
0.301	0.716777	0.00969	0.12625
0.306	0.708092	0.01043	0.1325
0.311	0.699492	0.011205	0.13875
0.316	0.690973	0.012016	0.145
0.321	0.682531	0.012864	0.15125
0.326	0.674163	0.01375	0.1575

sw	Kro	Krw	sw*
0.331	0.665866	0.014675	0.16375
0.336	0.657638	0.01564	0.17
0.341	0.649477	0.016647	0.17625
0.346	0.64138	0.017695	0.1825
0.352	0.631745	0.019011	0.19
0.357	0.623783	0.020156	0.19625
0.362	0.61588	0.021347	0.2025
0.367	0.608035	0.022585	0.20875
0.372	0.600246	0.02387	0.215
0.377	0.592513	0.025204	0.22125
0.382	0.584833	0.026588	0.2275
0.387	0.577207	0.028023	0.23375
0.392	0.569633	0.02951	0.24
0.397	0.562111	0.03105	0.24625
0.402	0.55464	0.032644	0.2525
0.407	0.547218	0.034294	0.25875
0.412	0.539846	0.036001	0.265
0.417	0.532523	0.037765	0.27125
0.422	0.525248	0.039588	0.2775
0.432	0.510842	0.043416	0.29
0.437	0.503709	0.045423	0.29625
0.442	0.496622	0.047493	0.3025
0.447	0.489582	0.049628	0.30875
0.453	0.481193	0.052277	0.31625
0.458	0.474253	0.054558	0.3225
0.463	0.467357	0.056908	0.32875
0.468	0.460507	0.059328	0.335
0.473	0.4537	0.061819	0.34125
0.478	0.446938	0.064382	0.3475
0.483	0.44022	0.067018	0.35375
0.488	0.433545	0.069729	0.36

sw	Kro	Krw	sw*
0.493	0.426914	0.072515	0.36625
0.498	0.420326	0.075379	0.3725
0.503	0.413782	0.078321	0.37875
0.508	0.407281	0.081343	0.385
0.513	0.400822	0.084446	0.39125
0.518	0.394406	0.087631	0.3975
0.523	0.388033	0.090899	0.40375
0.528	0.381703	0.094253	0.41
0.533	0.375415	0.097692	0.41625
0.538	0.369169	0.101219	0.4225
0.543	0.362966	0.104834	0.42875
0.548	0.356805	0.108539	0.435
0.554	0.349467	0.113106	0.4425
0.559	0.343399	0.117014	0.44875
0.564	0.337373	0.121016	0.455
0.569	0.33139	0.125114	0.46125
0.574	0.325448	0.129308	0.4675
0.579	0.319548	0.133601	0.47375
0.584	0.313691	0.137994	0.48
0.589	0.307876	0.142487	0.48625
0.594	0.302103	0.147083	0.4925
0.599	0.296372	0.151783	0.49875
0.604	0.290683	0.156587	0.505
0.609	0.285037	0.161499	0.51125
0.614	0.279433	0.166518	0.5175
0.619	0.273871	0.171646	0.52375
0.624	0.268352	0.176885	0.53
0.629	0.262876	0.182237	0.53625
0.634	0.257442	0.187701	0.5425
0.639	0.252051	0.193281	0.54875
0.644	0.246703	0.198978	0.555

sw	Kro	Krw	sw*
0.649	0.241398	0.204792	0.56125
0.655	0.235088	0.211926	0.56875
0.66	0.229878	0.218005	0.575
0.665	0.224711	0.224206	0.58125
0.67	0.219588	0.23053	0.5875
0.675	0.214508	0.236981	0.59375
0.68	0.209472	0.243558	0.6
0.685	0.20448	0.250264	0.60625
0.69	0.199533	0.257099	0.6125
0.695	0.19463	0.264066	0.61875
0.7	0.189771	0.271165	0.625
0.8	0.10236	0.443405	0.75
0.9	0.035896	0.681917	0.875
1	0	1	1



الشكل (4 – 2) يوضح منحني النفاذية النسبية من بيانات حقلية و بطريقة بيرسون

$$Sw^* = \frac{S_w - S_{wc}}{1 - S_{wc}} \qquad (3-4)$$

$$Krw = \sqrt{Sw^*}Sw^3 \qquad (4-4)$$

$$Kro = (1 - Sw^*)(1 - (Sw^*)^{0.25}\sqrt{Sw})^{0.5} \qquad (5-4)$$

حيث :

Kro = النفاذية النسبية للزيت

Sw* = تشبع الماء الفعال

Swc = تشبع الماء الحبيس

Sw= تشبع الماء

Krw = النفاذية النسية للماء

الباب الخامس

التوصيات

(٥-١) التوصيات:

بعمل حساب النفاذية النسبية ورسم المنحنيات لبيانات الماخوذة من المركز الـنفط الفني و اخرى من مرجـع(Engineering Reservoir handbook_ Tarek Ahmed) ويمكن الاستفادة من ذلك في تحديد اقصى تركيز نفط يمكن انتاجها و ما يقابلها من انتاج اقل تركيز ماء والاسهام في تحديد الاحتياطي المكمني. عند الوصول إلي انتـاج اقصـى كمية من الماء يتوقف انتاج النفط في هذه الحالة يوصي بإستخدام طـرق الاسـتخلاص الثانوي.

كما يوصي باستخدام طريقة وايلي وغاردنر لحساب النفاذية النسبية اذا تم تـوفير البيانات التي تساعد في استخدام هذه الطرق ثم مقارنتها بالطرق السابقة.

References:المراجع

1-Engineering Reservoir Hand Book _ Second Edition, 2000, Houston _ Texas -Tarek Ahmed.

2 - الخواص الفيزيائية ، القاهرة للنشر ، 1986 م -حازم حسن العطار ، نور زاد عمر عبد الرحيم ، محمد باقر خضر السنبلي ، يسرى اسعد - هندسة المكامن النفطية.

3 - تحليلات و تسجيلات الآبار 1988م- انطوان مطران.

4 -مشروع تخرج - حساب تصحيح منحنيات النفاذية النسبية، أحمد محمد عبدالله ، وآخرون، أغسطس 2006 م .