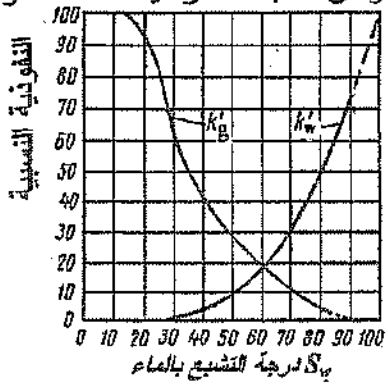
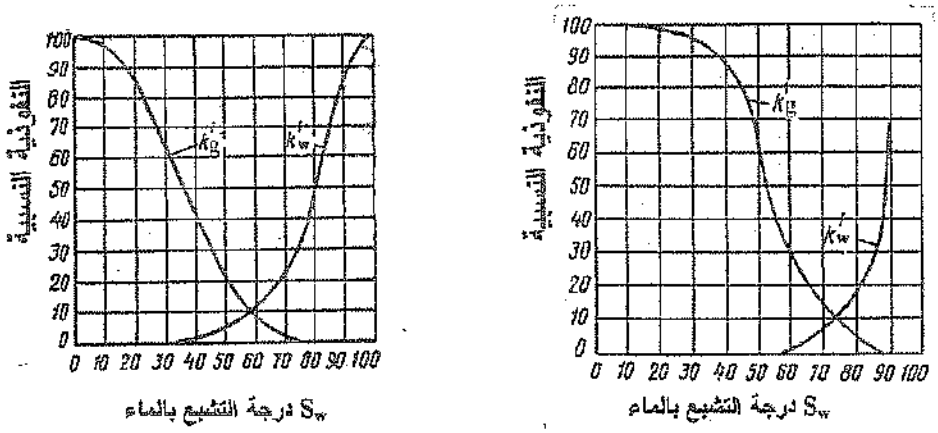
$$\frac{q_w}{q_o} = \frac{0.99 \times 3}{0.135 \times 1} = 22$$

1-4-2-2- الجريان الثنائي (ماء - غاز)

الشكل رقم (32) يوضح العلاقة بين النفوذية النسبية للماء والغاز مع درجة الفراغات المسامية للطبقة الرملية بالماء ، أما الشكل رقم (33-a) و(33-b) فيوضح نفس العلاقة السابقة ولكن للطبقات الرملية المسمنتة والكلسية .



الشكل رقم (32) النفوذية النسبية للصخور الرملية للماء والغاز بالعلاقة مع درجة التشبع بالماء

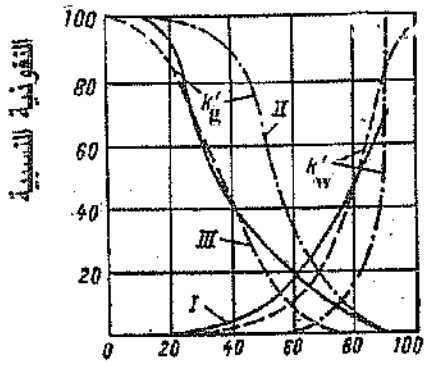


الشكل رقم (33) النفوذية النسبية للصخور الرملية للماء والغاز بالعلاقة مع درجة التشبع بالماء

من المنحنيات الموضحة بالشكلين رقم (32) و (33) يتبين أنه لدى نسبة مياه مترابطة للطبقات الرملية والكلسية 20 % وللطبقات الرملية المسمنتة 50 % نرى

أن النفوذية النسبية $\overline{K_w}$ للماء عند هذه القيمة من درجة تشبع الفراغات المسامية بالماء تساوي الصفر ، والنفوذية النسبية للغاز للطبقات الرملية والكلسية تساوي 0.9 وللطبقات الرملية المسمنتة 0.98 . من الشكلين السابقين (32) و (33) يتبين أنه لدى زيادة درجة التشبع بالماء من الصفر وإلى القيمة كمية المياه المترابطة (للصخور الرملية والكلسية 20 % وللصخور الرملية المسمنتة 50 %) أن جريان الغاز لا يتأثر مطلقا ، حيث أن البئر في مثل هذه الحالة سينتج غاز فقط .كذلك إذا وصلت درجة التشبع بالغاز بالنسبة للطبقة الرملية والرملية المسمنتة إلى 10 % وللطبقات الكلسية إلى 30 % فإن الغاز في الطبقة سيكون ساكنا ($K_g \approx 0$) ، ولكن إذا أسقطنا عموديا هذه النسبة على منحني النفوذية النسبية للماء فنرى أن هذه النفوذية ستصبح 0.22 للصخور الكلسية و 0.7 للصخور الرملية و 0.6 للصخور الرملية المسمنتة ، وهذا ما يعكس النتائج السلبية التي يخلفها الغاز المتحرر من النفط في الطبقة على ب الأرتشاح .

إذا طبقت المنحنيات الثلاث الموضحة بالشكلين (32) و (33) على شكل واحد فسنحصل على منحنيات متشابهة ، انظر الشكل رقم (34) ، حيث نشاهد أن هذه



I الصخور الرملية
II الصخور الرملية المسمنتة
III الصخور الكلسية والدولوميتية

الشكل رقم (34) التوزع النسبي لمنحنيات النفوذية النسبية بالعلاقة مع درجة تشبع الفراغات المسامية بالماء

المنحنيات تتجه نحو اليمين وخاصة للصخور الكلسية ، والسبب الذي يؤدي إلى الحصول على مثل هذا الانزياح هو وجود مسامات ضيقة جدا في مثل هذا النوع من الصخور مملوءة بالماء حيث لا يستطيع الغاز التحرك من خلالها ، ولهذا السبب فجريان الماء ضمن هذه الصخور ، انظر الشكلين (32) و (33) ، سيبدأ عند درجة التشبع بالماء كبيرة تتراوح من 50 إلى 55 % . وبما أن توزع المسامات حسب مقاييسها له تأثير كبير على منحنيات النفوذية النسبية ، لذا ستكون هذه المنحنيات مختلفة حسب اتجاهها وانزياحها باختلاف أنواع هذه الصخور .

مما ذكر أعلاه نستنتج أنه من الضروري لدى إجراء الحسابات المخزونية استعمال منحنيات النفوذية النسبية الخاصة والمرسومة للصخر والسوائل الطبقية للحقل المقرر له هذه الحسابات . وبما أن تعيين صفة جريان عدة مواد في وسط مسامي في الشروط المخبرية لرسم منحنيات النفوذية النسبية لكل أنواع الصخور يعتبر من الأمور الصعبة ، لذلك ولإجراء الحسابات التقريبية تستعمل منحنيات النفوذية النسبية التي جرى التكلم عنها سابقا وعلى هذا الأساس يفترض أن المنحني المرسوم لصخر معين يصلح استعماله لجميع أصناف هذا الصخر .

1-4-2-3- جريان مزيج النفط والماء والغاز في الوسط المسامي

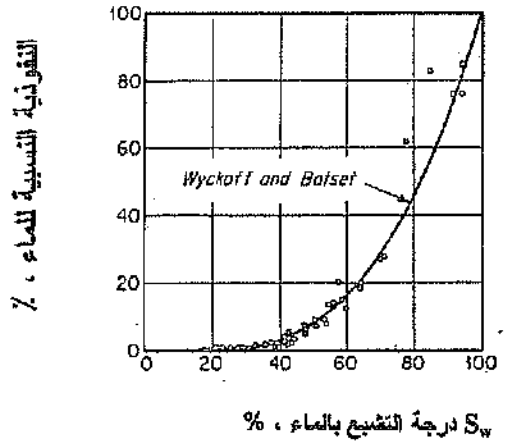
ذكرنا سابقا أنه من الممكن أن يوجد في الوسط المسامي الحقيقي في أثناء سير عملية الارتشاح ليس فقط جريانا ثنائي الطور وإنما جريانا ثلاثي الطور أيضا ، ولهذا السبب فنتائج النفوذية النسبية للجريان الثنائي الطور يجب أن تصحح وتعمم على الجريان الثلاثي الطور .

قام العالم ليفيريت (Leveret) بتوضيح نتائجه المخبرية عند الارتشاحات المستقرة في الصخور الرملية المسمنتة لجريان ثلاثي الطور (نفط وماء وغاز) في آن واحد وتوصل إلى الخواص المميزة لهذا النوع من الجريان في الوسط المسامي.

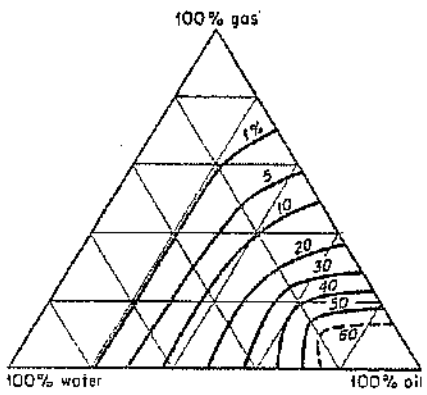
إن النتائج الأساسية لأبحاث ليفيريت وضحت بالأشكال (35) و (36) و (37)

و (38) ، حيث أنه ولدى القيام بهذه الأبحاث والتجارب للحصـــول علـــى النتـــائج اللازمة استعمل الآزوت والكيروسين والمياه الطبقية .

إن النفوذية النسبية التي حصل عليها ويكوف وبوتسيت (Wyckoff & Botset) الشكل رقم (35) ، هي تابعة لدرجة التشبع بالطور المبلل فقط . إن الطور المبلـــل

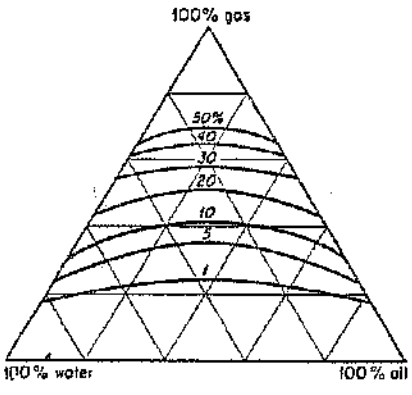


الشكل رقم (35) النفوذية النسبية للماء بالعلاقة مع درجة تشبع الفراغات المسامية بالماء



الشكل رقم (36) النفوذية النسبية بالعلاقة مع درجة التشبع

المنحنيات تمثل خطوط تساوي النفوذية النسبية للنفط عند نسب مختلفة من درجة التشبع بالنفط



الشكل رقم (37) النفوذية النسبية بالعلاقة مع درجة التشبع

المنحنيات تمثل خطوط تساوي النفوذية النسبية للغاز عند نسب مختلفة من درجة التشبع بالغاز

سيشغل قسما من الفراغات المسامية ويكون ملتصقا بالحبيبات الرملية المكونة للقنوات المسامية ، ولهذا السبب ولدى قيمة معينة من درجة تشبع الفراغات المسامية بالطور المبلل وبغض النظر عن قيم التشبع بالطورين الآخرين فإن الطور المبلل سيشغل نفس القسم من فراغات الوسط المسامي .

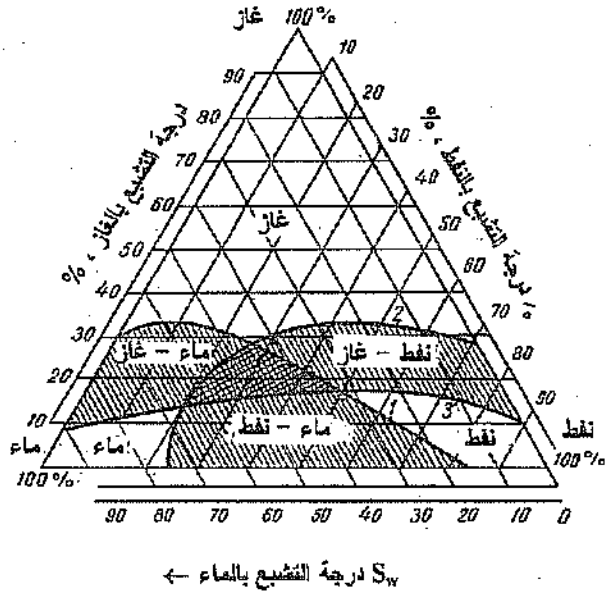
نتيجة الأبحاث التي قام بها ليفيريت توصل إلى أن النفوذية النسبية للغاز والنفط في الوسط المسامي تتعلق بدرجة تشبع الفراغات المسامية بالأطوار الثلاثة . الأشكال رقم (36) و (37) توضح النفوذية النسبية للغاز والنفط للنظام ثلاثي الطور. لتعيين درجة تشبع الصخور بالأطوار الثلاثة وضحت النتائج بشكل مثلث بياني وخطوط تساوي النفوذية النسبية .

أما علاقة النفوذية النسبية للنفط بدرجة التشبع بالأطوار الأخرى فيمكننا توضيحها على النحو التالي :

يبلل النفط سطح الجسم الصلب أفضل من الغاز . عدا عن ذلك فإن قوة التوتر السطحي على الحد الفاصل بين الماء والغاز . يشغل مجال الفراغات المسامية الملاصقة للمجال المشغول بالماء أو المسامات التي حسب مقاييسها تشغل المجال الواقع بين المسامات المملوءة بالغاز والماء . عند قيم صغيرة من درجة التشبع بالماء فإن النفط سيشغل القسم الأعظم من المسامات الصغيرة . كما أن زيادة طول القنوات المسامية التي يمر بها النفط تؤدي إلى تغير النفوذية النسبية للنفط في الوسط المسامي عند ثبات درجة التشبع بالنفط وتغير قيم درجة التشبع بالماء . عند درجة التشبع بالنفط 60 % ودرجة التشبع بالماء 40 % فإن النفوذية النسبية للنفط ، انظر الشكل رقم (36) ، ستساوي 34 % . أما عند نفس درجة التشبع بالنفط و 20 % من درجة التشبع بالماء فإن النفوذية النسبية للنفط ستصبح مساوية 38 % . عند القيمة من درجة التشبع بالماء المساوية صفر ودرجة التشبع بالنفط المساوية 60 % فإن النفوذية النسبية ستصبح مساوية 18 % ، وعلى هذا الأساس لدى تغير درجة التشبع بالماء ودرجة التشبع بالغاز ستظهر شروطا معينة تساعد على حركة النفط

في القنوات المسامية كثيرة التعرج . يوضح الشكل رقم (37) تغير قيـــم النفوذيـــة النسبية للغاز عند ثبات درجة التشبع بالغاز وتغير درجات التشبع بالأطوار الأخرى. من المتوقع لدى وجود الغاز في الوسط المسامي ، وبما أنه طور غير مبلل لســـطح الجسم الصلب أن تكون له صفات معينة تتعلق فقـــط بمجمـــوع درجـــات التشبـــع بالطورين الآخرين ، كما أن هذه الأطوار (النفط والماء) ستشغل القنوات المسامية الصغيرة جدا وتبلل سطح الجسم الصلب . كذلك فإن النفوذية النسبية للغاز يجب أن تتعلق بدرجة تشبع الفراغات المسامية بالسوائل (النفط والماء) مجتمعـــة ، وليـــس بدرجة تشبع كل منها على حدة .

لقد أجريت الدراسات المخبرية للجريان الثلاثي النفط والماء والغاز في الوســـط المسامي وتم التوصل إلى أنه بالعلاقة مع درجة تشبع الفراغات المســـامية بـــالمواد المختلفة يمكن أن يكون لدينا جريان أحادي أو ثنائي أو ثلاثي الطور ، وهذه النتائج وضحت بمنحنيات بيانية على شكل مثلث ، انظر الشكل رقم (38) .



الشكل رقم (38) مجالات الجريانات الطورية (الأحادية والثنائية والثلاثية)

يبين هذا الشكل المنحنيات التي تصل النقاط التي تحتوي على نسب متساوية من مادة ما في أثناء الجريان .

يوضح المنحني 1 جميع نقاط تساوي النفوذيـــة النسـبية لـدى وجـود نسـبة 5 % من الماء في أثناء الجريان والمنحني رقم 2 وجود نسـبة 5 % مـن النفـط والمنحني رقم 3 وجود نسبة 5 % من الغاز في أثناء الجريان . تمثل رؤوس المثلث الموضحة بالشكل رقم (38) نسبة درجة تشبع الصخور 100 % لمادة مـــن هـذه المواد الداخلة في الجريان ، أما الطرف المعاكس لهذا الرأس من المثلـــث فيمثـل درجة التشبع صفر لهذه المادة . تحدد هـذه المنحنيـات التـي رسـمت بواسـطة المعلومات المخبرية أن هناك جريانا أحاديا أو ثنائيا أو ثلاثي الطور . فمثلا عندمـا تكون درجة تشبع الوسط المسامي بالغاز أقل من 10 % ودرجة التشبع بالنفط أقل من 23 % فسيكون الجريان أحادي الطور للماء فقط . أما مجال الجريـان ثلاثـي الطور ، انظر الشكل رقم (38) ، فسيكون عند الحدود التالية من درجات التشبـع : للنفط من 23 وإلى 50 % ، للماء من 33 وإلى 64 % وللغاز من 14 – 28 % .

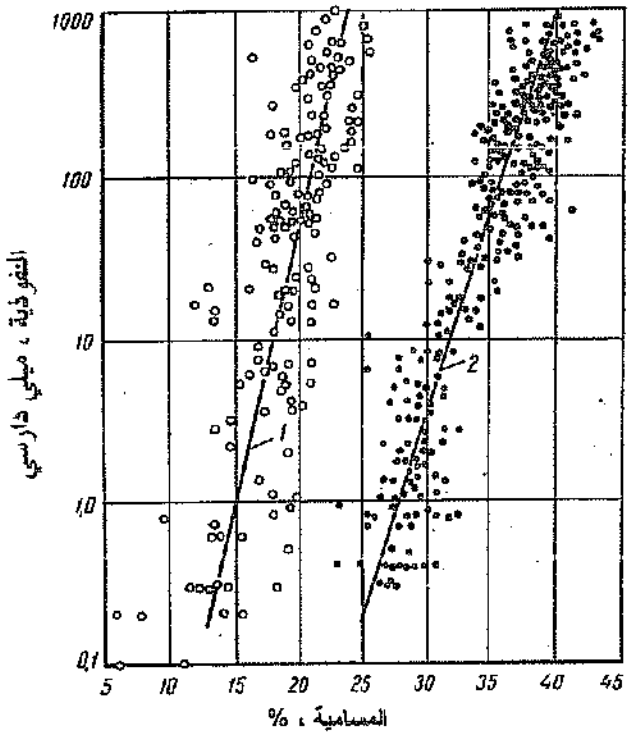
1-4-3- علاقة النفوذية والمسامية ومقاييس المسامات

ليس هناك علاقة خطية بين النفوذية والمسامية ، فمثلا الصخور الكلسية المتشققة لها مسامية ضعيفة ونفوذية كبيرة والعكس هو الغضار الذي يتصف بمسامية كبـيرة ويعتبر تقريبا غير نفاذ للسوائل والغازات ، حيث أن القنوات المسامية لهذا الصخـر هي ذوات مقاييس تحت شعرية ، ولكن – واعتمادا علـى الإحصـاءات الوسـطية للمعلومات المحللة يمكننا القول أن الصخور ذوات المسامية الكبـيرة سـيكون لـها نفوذية كبيرة أيضا ، انظر الشكل رقم (39) .

إن نفوذية الصخر للوسط المسامي لها علاقة أساسية بمقاييس القنوات المســامية المشكلة للفراغ المسامي ولهذا فدراسة تركيب وتوضع مقاييس المسامات لها أهميـة كبرى . من الممكن الحصول على علاقة النفوذية النسبية بالنسبة لمقاييس المسامات

وذلك بتطبيق قانون دارسي وقانون بواسيل (Poiseuille) للوسط المسامي المفترض بشكل أنابيب متساوية المقطع .

كمية السائل المصروفة Q حسب قانون بواسيل يمكننا كتابتها على النحو التالي:



الشكل رقم (39) علاقة النفوذية المطلقة مع المسامية

1- الصخور الرملية المسمنتة ذوات الحبيبات الكبيرة

2- الصخور الرملية المسمنتة ذوات الحبيبات الصغيرة

$$Q = \frac{n \cdot \pi \cdot R^4 \cdot F \cdot \Delta P}{8 \mu \cdot L} \qquad (18\text{-}1)$$

حيث أن :

n – عدد المسامات التي تقع على واحدة سطح الارتشاح .

R – نصف قطر القنوات المسامية (أو نصف القطر الوسطي للوسط المسامي

ΔP – فاقد الضغط .

L – طول الوسط المسامي .

μ – اللزوجة التحريكية .

مما سبق يمكننا كتابة معادلة المسامية على النحو التالي :

$$\phi = \frac{V_P}{V_T} = \frac{n \cdot F \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L}{F \cdot L} = n \cdot \pi \cdot R^2 \qquad (19\text{-}1)$$

نعوض القيمة المحصول عليها من المعادلة (1–19) في المعادلة (1–18) فنحصل على :

$$Q = \frac{\phi \cdot R^2 \cdot F \cdot \Delta P}{8 \mu \cdot L} \qquad (20\text{-}1)$$

وحسب قانون دارسي فإن كمية السائل المصروفة ضمن هذا الوسط المسامي ستكون :

$$Q = \frac{K \cdot F \cdot \Delta P}{\mu \cdot L} \qquad (21\text{-}1)$$

حيث أن :

K – نفوذية الوسط المسامي .

وبما أن الطرفين في المعادلتين (1–20) و (1–21) متساويان ، لذا وبعد التعويض نحصل على :

$$K = \frac{\phi \cdot R^2}{8} \qquad (22\text{-}1)$$

ومنه نحسب R :

$$R = \sqrt{\frac{8 K}{\phi}} \qquad (23\text{-}1)$$

إذا عوضت قيمة النفوذية بالمتر المربع ، عندئذ نصف قطر القنوات المسامية R بالمتر سيكون :

$$R = \sqrt{\frac{8\,K}{\phi \cdot 10^{12}}} = \frac{2}{7\times 10^{5}}\sqrt{\frac{K}{\phi}} \qquad (24\text{-}1)$$

تمثل قيمة R المحسوبة من المعادلة (1-24) نصف القطر المثالي للوسط المسامي ذي المسامية ϕ والنفوذية K ، وإن هذه القيمة R لها معنى فرضي ، حيث لا تمثل نصف القطر الحقيقي للوسط المسامي وذلك لأنه لا تؤخذ بعين الاعتبار تعرجات القنوات المسامية والتركيب المعقد لهذا الوسط المسامي .

واعتمادا على فرضية كاتياخوف (Katiakhov) الذي يبين فيها أنه من الأفضل حساب نصف القطر الوسطي الحقيقي للوسط المسامي بالمعادلة التجريبية التالية :

$$R = \frac{2}{7\times 10^{5}}\sqrt{\frac{K\,.\,\varepsilon}{\phi}} \qquad (25\text{-}1)$$

حيث أن :

ε – عامل التركيب الذي يميز الصفات التركيبية للوسط المسامي للمكامن الحقيقية ، ويمكن تعيينه بالمعادلة التجريبية التالية :

$$\varepsilon = \frac{0.5035}{\phi^{1.1}}$$

1-4-4- الطرق المخبرية لتعيين نفوذية الصخور

هناك أجهزة عديدة لتعيين نفوذية الصخور المطلقة ، حيث أن أغلبية القطع المكونة لهذه الأجهزة متشابهة وتحتوي على نفس القطع الرئيسة وهي كالتالي :

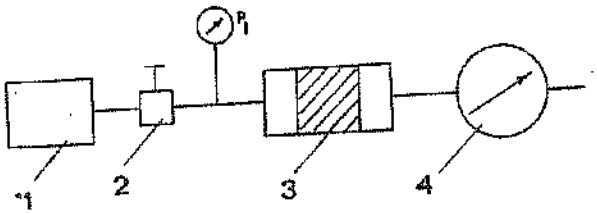
1. حامل العينة .
2. مقاييس لقياس الضغط عند دخول وخروج السائل أو الغاز من العينة .

3. عداد لقياس الكمية المصروفة من الغاز أو السائل .

4. منظم يجعل كمية السائل أو الغاز المصروفة ثابتة .

إن وجه الاختلاف بين الأجهزة التي تقاس بواسطتها النفوذية ، هـــو أن هنـــاك جهازا يقيس النفوذية عند ضغوط كبيرة (بالشروط الطبقية) وآخر عنـــد ضغـــوط صغيرة .

إن بعضا من هذه الأجهزة يعين النفوذية باستخدام الهواء أو الغاز ، أمـــا النـــوع الآخر فباستخدام السائل ولهذا السبب فإن بعضا من الأجزاء التي يتكون منها الجهاز الواحد ستكون مختلفة عن الأخرى الموجودة في الجهاز الآخر .



الشكل رقم (40) الرسم التخطيطي لجهاز تعيين النفوذية المطلقة باستخدام الغاز

الشكل رقم (40) يوضح الجهاز الذي تقاس بواسطته نفوذية الصخـــور المطلقـــة باستخدام الغاز عند ضغوط صغيرة .

يتكون الجهاز من منظم للضغط 2 الموصول مع أسطوانة الغاز 1 ، أما الغاز المضغوط فيصل بانتظام إلى مدخل حامل العينة 3 ، حيث أن الخط الـــذي يـــؤدي بالغاز إلى مدخل العينة موصول عن طريق أنبوب إلى مقياس الضغط P_1 وعلـــى مخرج حامل العينة عداد غازي 4 لقياس حجم الغاز الذي يمر من خلال العينـــة وإلى العداد لينطلق إلى الخارج .

أما مراحل سير التجربة فهي على النحو التالي :

يتم في البداية تعيين مقاييس العينة (طول العينة ونصف قطر العينة r وبالتالي حساب سطح مقطع العينة F) ومن ثم اعتمادا على جداول أو منحنيات خاصة يتم تعيين لزوجة الغاز بالعلاقة مع درجة الحرارة . بعد تعييـــن ضغـــط القيـــاس P_1

وتعييره بواسطة المنظم 2 نبدأ التجربة وذلك بتمرير الغاز من خلال العينة والذي بدوره يمر من خلال العداد الغازي بعد خروجه منها ، حيث يقاس حجم الغاز المار لفترة زمنية محددة عند الضغط الجوي ودرجة الحرارة العادية . يمكن إهمال فساقد الضغط في العداد الغازي في أثناء القيام بالتجربة وذلك نتيجة لصغره بالمقارنة مع الضغط عند مدخل العينة ، وعلى هذا الأساس يمكننا اعتبار الضغط عند مخرج العينة مساويا للضغط الجوي . إن توزع الضغط في العينة ليس خطيا ، ولكن نتيجة لصغر مقاييس العينة وصغر فاقد الضغط فيها يمكننا اعتباره خطيا ولذلك فالضغط الوسطي على طول العينة $\overline{P}$ سيكون مساويا للمعدل الحسابي الوسطي بين الضغط عند مدخل ومخرج العينة . لنسب حجم الغاز V المقاس بواسطة العداد الغازي عند الضغط P_o وهو الضغط الجوي إلى الضغط الوسطي في العينة $\overline{P}$ يستعمل قانون بويل وماريوت ، حيث يتم التوصل بذلك إلى المعادلة (1-14) المذكورة سابقا والتي بواسطتها يتم حساب النفوذية المطلقة للعينة بعد الانتهاء من التجربة .

لقد أثبتت الدراسات المخبرية أن النفوذية المطلقة المقاسة باستخدام السائل ستكون في أغلب الأحيان أصغر من النفوذية المطلقة المقاسة باستخدام الغاز ، حيث تتساوى هاتان القيمتان في حالة واحدة فقط ، وذلك عندما تكون نفوذية الصخور كبيرة جدا . تعلل ظاهرة انخفاض نفوذية الصخر نفسه للسائل بالمقارنة مع نفوذيته للغاز بسبب انتفاخ الذرات الغضارية نتيجة لامتصاص جدران الوسط المسامي للسائل في أثناء عملية ارتشاح النفط والماء من خلاله وأحيانا يصل ثخن هذه الطبقة الرقيقة التي امتصها الصخر ، بحيث تعادل تقريبا مقاييس القنوات المسامية لصخر ذي نفوذية ضعيفة ، وبالتالي ستكون نفوذية الصخر للسائل أقل من نفوذيته للغاز ، لذا ولتعيين النفوذية المطلقة لهذا الصخر المعينة باستخدام الغاز والماء والنفط يصل عادة إلى قيم كبيرة..

كنا قد ذكرنا سابقا أن النفوذية الفعالة بالإضافة إلى علاقتها بدرجة تشبع الوسط المسامي بمواد مختلفة تتعلق بعوامل أخرى ، حيث ولإجراء الحسابات المخزونية

باستخدام منحنيات النفوذية النسبية ، نرى أن النتائج الحسابية تختلف عن النتائج الحقيقية . لتجنب هذه الأخطاء تعين علاقة النفوذية النسبية وذلك بإجراء دراسات عملية لهذه الطبقة وبالتالي رسم المنحنيات اللازمة لها ، مع الأخذ بعين الاعتبار عدا درجة التشبع الصفات الفيزيائية للصخور والسوائل الطبقية .

إن الأجهزة المخبرية التي تحقق لنا هذا الهدف هي معقدة بالمقارنة مع الأجهزة التي جرى ذكرها سابقا ، حيث أنه في مثل هذه الحالة يجب تصميم نموذجا عن جريان الأطوار المختلفة مع تسجيل درجات تشبع الفراغات المسامية بهذه الأطوار والكمية المصروفة منها .

تتألف أجهزة قياس النفوذية النسبية عادة من الأقسام التالية :

1. جهاز لتحضير المزيج من الأطوار المختلفة وتغذية العينة بها .
2. حامل عينة ذي تصميم خاص .
3. جهاز لاستقبال وفصل الكميات المنفصلة من السوائل والغاز .
4. جهاز لقياس درجة تشبع الفراغات المسامية بالأطوار المختلفة .
5. أجهزة لمراقبة وتنظيم عملية الارتشاح .

تعين درجة تشبع الفراغات المسامية بالأطوار المختلفة بعدة طرق منها :

1. قياس الناقلية الكهربائية للوسط المسامي .
2. الطريقة الوزنية .

لدى استخدام الطريقة الأولى تقاس ناقلية الوسط المسامي الكهربائية ومن ثم مقارنة النتائج المحصول عليها مع منحني خاص (يمثل علاقة الناقلية الكهربائية للوسط مع احتواء الفراغات المسامية للأطوار المختلفة) ، نعين درجة تشبع الفراغات المسامية بالطور الموافق . يمكن استخدام مثل هذه الطريقة فيما إذا كان أحد السوائل المستخدمة ناقلا للتيار الكهربائي (مثلا المياه المالحة) .

أما لدى استخدام الطريقة الوزنية فإن درجة تشبع العينة بالسوائل والغاز تعين اعتمادا على تغير كتلتها ، حيث يحدث مثل هذا التغير نتيجة لتغير كمية احتواء

الفراغات المسامية للغاز .

لدى ترك عدة أطوار في الوسط المسامي فإن نفوذية الصخر لكل طـــور تحـــدد بالمعادلات التالية :

$$Q_w = \frac{K'_w \cdot F \cdot \Delta P}{\mu_w \cdot \Delta L} \qquad (26\text{-}1)$$

$$Q_o = \frac{K'_o \cdot F \cdot \Delta P}{\mu o \cdot \Delta L} \qquad (27\text{-}1)$$

$$\overline{Q_g} = \frac{K'_g \cdot F \cdot \Delta P}{\mu_g \cdot \Delta L} \qquad (28\text{-}1)$$

حيث أن :

$\overline{Q_g}$, Q_o , Q_w – الكمية المصروفة من الماء والنفط والغاز في واحدة الزمن

K'_g , K'_o , K'_w – النفوذية الفعالة للماء والنفط والغاز .

F – سطح مقطع الارتشاح .

ΔP – فاقد الضغط .

ΔL – طول الوسط المسامي .

كذلك هناك أجهزة لقياس النفوذية النسبية وذلك بإزاحة أحد هذه الأطوار بطـــور آخر ، كما هو الحال في مخبر فيزياء الطبقة النفطية والغازية فـــي كليـــة الهندســـة الكيميائية والبترولية بجامعة البعث .

1–5– الصفات الخزنية للصخور المتشققة

نتيجة للدراسات والأبحاث المكثفة التي أجريت في السنوات الأخـــيرة الماضيـــة على المكامن النفطية وبالتالي الحصول على كميات كبيرة من المعطيـــات الحقليـــة أصبح من المعروف أن الصفات الخزنية لصخور المكامن الكربوناتية المتشققـــة لا

تمثلها فقط المسامية المتشكلة بين فراغات الذرات الحبيبية وإنما بوجود كميات كبيرة أيضا من الشقوق .

إن قسما كبيرا من صخور المكامن المتشققة لها صفات الصخور الكربوناتية الكتيمة ، بينما يتميز القسم الآخر بصخور مسامية متشققة متكهفة ، كما هو الحال في بعض الحقول السورية . تتميز هذه الصخور الكتيمة بالمسامية الضعيفة جدا المتشكلة بين حبيبات الصخر الدقيقة ، حيث لا تسمح بارتشاح السوائل من خلالها أو بالأحرى ذوات نفوذية ضعيفة جدا . وبنفس الوقت فإن القسم الآخر من الصخور الكربوناتية المتميزة بمساميته وشقوقيته وتكهفه يسمح بشكل كبير بارتشاح السوائل الطبقية من خلاله وبالتالي إلى ارتفاع إنتاجية الآبار المخترقة لهذه الصخور .

1-5-1- تصنيف الطبقات المتشققة - معامل التشقق

تقسم المكامن النفطية والغازية إلى مجموعتين :

1. المكامن المسامية .
2. المكامن المتشققة .

أجريت في هذا الفصل تحت بنود أخرى دراسات وتحاليل على مكامن المجموعة الأولى للصفات الفيزيائية لها ، أما صخور المجموعة هذه التي يتصف بخاصية التشقق فسيجري بحثها في هذا البند وتقسم إلى :

1. المكامن ذوات الشكل المختلط المتكونة من الصخور المسامية والمتشققة المتكهفة ، حيث يتصف هذا النوع من المكامن بأن المسامية تعتبر الخزان الرئيسي للنفط فيها ، أما الشقوق المجهرية المتصلة مع بعضها المتكونة في الصخر تقوم بالدور الأكبر في عملية الارتشاح .
2. المكامن المتشققة التي تتصف بأن الشقوق المتكونة فيها تعتبر الخزان الرئيسي وهي القنوات الوحيدة التي تتم من خلالها عملية ارتشاح السوائل والغازات .

إن المكامن ذات الشكل المختلط من الممكن أيضا تقسيمها إلى أصنـــاف وهـــي الصخور المسامية المتشققة والصخور المتشققـــة المتكهفـــة والصخـــور المســـامية المتشققة المتكهفة .

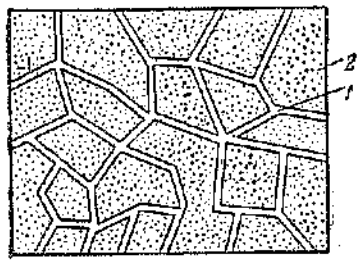
يعتبر المعامل الرئيسي والأساسي في الصخور المكمنية المتشققة هـــو معـــامل التشقق ϕ_T ويمثل نسبة علاقة حجم الشقوق المتصلة τ_T إلى حجم العينة ككل τ وواحدة قياسه هي النسبة المئوية :

$$\phi_T = \frac{\tau_T}{\tau} \qquad (29\text{-}1)$$

هناك نوعان من الفراغات الطبيعية الموجودة ضمن المكامن المسامية المتشققة :

1. المسامية الأولية المتشكلة من الفراغات المتكونة بين الحبيبات المكونة لـــهذا الصخر المشابهة لمسامية الصخور الرملية .
2. المسامية الثانية المتكونة من الشقوق التي حدثت نتيجة لتأثير عوامل متنوعة.

إن مقاييس القنوات المسامية المتشكلة من الشقوق ستكون أكبر بكثير من مقاييس القنوات المسامية ولها دوما الخاصية التوصيلية في أثناء عمليـــة ارتشـــاح الســـائل والغاز في المكامن المسامية المتشققة . الشكل رقم (41) يوضح ذلك ، حيث أن :



الشكل رقم (41) الرسم التخطيطي لوسط مسامي متشقق

(1) يمثل الشقوقية ، بينما (2) تمثل الوسط المسامي ، ولهذا السبب فإنه عدا عن معامل الشقوقية ϕ_T ، علينا إدخال معامل آخر هو معامل المسامية ϕ_0 الذي يمثل مسامية الوسط المسامي (2) . عندئذ فالمسامية الكلية للمكامن المسامية المتشققة من

الممكن الحصول عليها وذلك بجمع معامل التشقق ϕ_T والمسامية المتصلة ϕ_o .

يعتبر المعامل الأساسي الثاني للأوساط المتشققة كثافة الشقوق ويمثل نسبة عدد الشقوق n التي تقطع الناظم على طوله وواحدة قياسها هي الواحدة المعاكسة لواحدة الطول .

$$G = \frac{n}{L} \qquad (30\text{-}1)$$

نمثل الطبقة المتشققة بنموذج مكون من شبكة أفقية من الشقوق ذوات الأبعاد والمقاييس المتساوية فيما بينها ، انظر الشكل رقم (42) ، عندئذ فمعامل الشقوقية سيساوي :

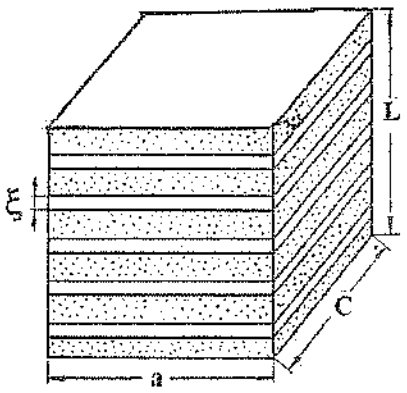
$$\phi_T = \frac{\tau_T}{\tau} = \frac{n \cdot a \cdot C \cdot \xi}{a \cdot C \cdot L} = G \cdot \xi \qquad (31\text{-}1)$$

حيث أن :

ξ – انفتاح الشقوق .

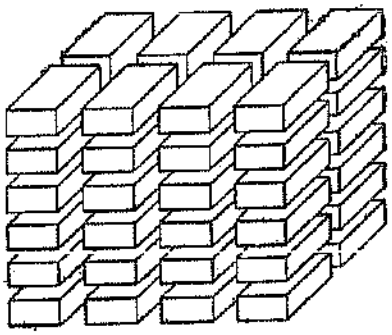
C , a – طول وعرض العينة

L – السماكة .



الشكل رقم (42) الرسم التخطيطي لنموذج الوسط المسامي المتشقق

إن الدراسات التي أجريت على الطبقات المتشققة بينت أن هذه الطبقات في أغلب الأحيان تتصف بأنها تحتوي – عدا عن الشقوق الأفقية – على شقوق عمودية ، حيث أن انفتاح الشقوق الأفقية يكون مساويا لانفتاح الشقوق العمودية ، انظر الشكل رقم (43) .



الشكل رقم (43) الرسم التخطيطي لنموذج الطبقة المتشققة ذات ثلاث شبكات من الشقوق

فإذا كان لدينا شقوق عمودية ممثلة بعمودين اثنين ، عندئذ فإن :

$$\phi_T = 2 \cdot G \cdot \xi$$

أما إذا مثلت بثلاثة أعمدة ، كما هو موضح على الشكل رقم (43) ولدى تساوي انفتاح الشقوق العمودية والأفقية فإننا سنحصل على :

$$\phi_T = 3 \cdot G \cdot \xi$$

ومنه وفي الحالة العامة سنحصل على المعادلة التالية :

$$\phi_T = \alpha \cdot G \cdot \xi \qquad (32\text{-}1)$$

حيث أن :

α – معامل بدون واحدة قياس ويتعلق بهندسية نظام الشقوق في الصخور .

1-5-2- معامل النفوذية

تكتب العلاقة في الطبقات المتشققة بين سرعة الارتشاح والسرعة الوسطية لحركة السوائل W ضمن الشقوق على النحو التالي :

$$V = - \phi \cdot W \qquad (33\text{-}1)$$

يمكن كتابة معادلة السرعة الوسطية لحركة السائل بين سطحين أفقيين متوازيين