المسامية الخاملة = 100 - 23.74 = 76.26 %

1-1-7- العوامل المؤثرة على المسامية

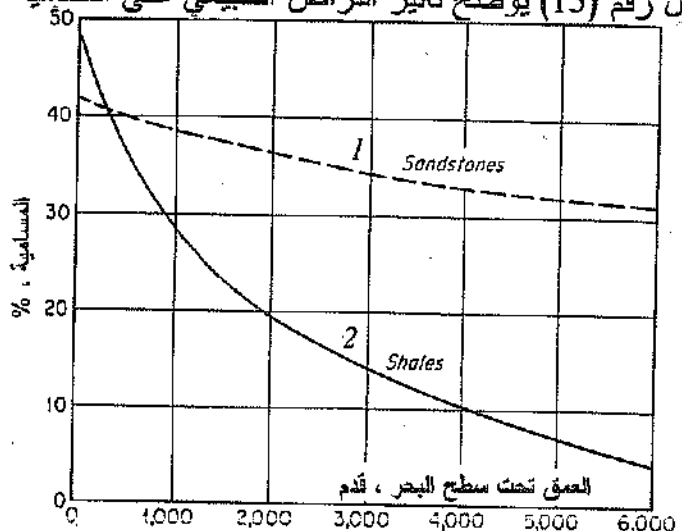
1-1-7-1- درجة تصنيف الحبيبات

يوجد نوعان من التصنيف : جيدة التصنيف وفيها تكون حبيبات الصخر كلها متساوية ومتماثلة سواء أكانت كبيرة أو صغيرة وهذه تعطي مسامية عالية تصل إلى 30 - 40 % ورديئة التصنيف وفيها تكون الحبيبات غير متساوية وغير متماثلة وبالتالي تتداخل الحبيبات بعضها ببعض الصغيرة بين الكبيرة وتنتج مسامية صغيرة.

1-1-7-2- الانضغاطية

هو عامل جيولوجي يساعد على تقليل المسامية نتيجة لوزن عمود الطبقة التي تعلو الطبقة المراد معرفة مساميتها مما يسبب انضغاطها وتعتمد درجة التأثير على عمق الطبقة وكذلك على معامل انضغاطية الصخر .

لقد وضح كرومباين وسلوس (Krumbein and Sloss) أن مسامية الصخور الرسوبية هي تابع لدرجة تراصها والتي بدورها تكون تابعة للعمق الأعظمي لتوضع الصخور . الشكل رقم (13) يوضح تأثير التراص الطبيعي على المسامية .



شكل رقم (13) تأثير التراص الطبيعي على المسامية

1- صخر رملي مسمنت 2- صخر غضاري

إن عملية التراص هذه ستكون ذات فعالية أكبر على مسامية الغضار ، حيث – وبزيادة الحمل على الغضار – يستبعد إمكانية وجود تكتل غير نظامي لذرات الغضار .

إذا رفعت الصخور الرسوبية المتوضعة على أعماق كبيرة إلى السطح فسيكون لها مسامية اقل بالمقارنة مع الصخور الرسوبية لنفس الصنف المتوضعة على أعماق ليست بكبيرة . إضافة إلى التكثف الذي تتعرض له الصخور نتيجة لتراصها، لإنها تتعرض للانضغاطية أيضا على كامل كتلتها .

يعتبر جيرستما (Geerstma) أنه يجب التمييز بين ثلاثة أنواع من انضغاطية الصخور .

آ – انضغاطية الجزء الصلب للصخور (C_{CM})

ب– انضغاطية الحجم الكلي للصخور (C_{Ct})

جـ– انضغاطية المسامات (C_{CP})

تمثل انضاطية الجزء الصلب للصخور نسبة تغير واحدة حجم الجزء الصلب إلى تغير واحدة الضغط . كذلك فإن انضغاطية الحجم الكلي للصخور تمثل نسبة تغير واحدة حجم الصخر ككل إلى تغير واحدة الضغط . أما انضغاطية المسامات فتمثل نسبة تغير واحدة حجم المسامات إلى تغير واحدة الضغط .

تتعرض الصخور التي تتوضع على أعماق كبيرة إلى ضغط داخلي من قبل السائل المشبعة به والمتوضع في فراغاتها المسامية ، وإلى ضغط خارجي نتيجة لتوضع الصخور العلوية فوقها . يعتبر الضغط الداخلي هيدروستاتيكيا أو بالأحرى مؤثرا في جميع الاتجاهات بشكل متساو ، أما الضغط الخارجي فيمكن أن يكون له قيم متباينة في اتجاهات مختلفة .

لدى استخراج السائل من الفراغات المسامية للصخور المكونة للطبقة سيتغير الضغط الداخلي وبالتالي ظهور قوى توتر مختلفة في الصخور . هذا التغير في توزع قوى التوتر سيغير النسبة بين حجم المسامات والحجم الكلي للصخور . إن

تغير حجم الفراغات المسامية له مدلول هام في استثمار الحقول النفطية والغازية والذي يحدث نتيجة لتغير الضغط الطبقي لدى سير عملية الاستثمار ، حيث يتناقص مع الزمن ويستعيد نفسه من جديد إذا استخدمت الطرق الاصطناعية للمحافظة على الضغط الطبقي في المكمن .

نتيجة للدراسات والأبحاث العملية التي أجريت على الانضغاطية تم التوصل إلى العلاقة التالية :

$$C_{CM} = \frac{1}{V_M} \cdot \frac{dV_M}{dP}$$

حيث أن :

V_M – حجم الذرات الصلبة .

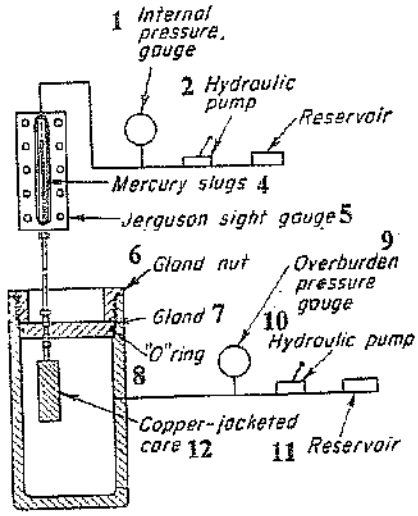
P – الضغط الجيوستاتيكي .

تعين قيم C_{CM} بالطرق المخبرية .

إن صخور المكامن النفطية لها شروط خاصة مختلفة تمام الاختلاف عن الشروط المخبرية ، لذلك يجب ادخال مفهوم آخر للانضغاطية . تتوضع الصخور على أعماق كبيرة معرضة لضغط الطبقات الفوقية ، حيث يطلق على هذا الضغط بالضغط الجيوستاتيكي الذي يكون في أغلب الأحيان أكبر من الضغط الهيدروستاتيكي الداخلي الذي يحدثه السائل المشبعة به الطبقة .

يستخدم لدراسة انضغاطية الصخور في المخابر عند هذه الشروط الجهاز الموضح بالشكل رقم (14) . توضح العينة الصخرية في غلاف نحاسي والذي بدوره يوضع في الوعاء الذي نحدث فيه الضغط اللازم . إن التجويف الداخلي للغلاف النحاسي أو بالأحرى العينة الصخرية توصل مع أنبوبة قياسية . نفذ النظام الهيدروليكي بالشكل التالي ، بحيث يمكن أن يتغير الضغط في السائل المشبعة به العينة أو في الوعاء الذي يحتوي على العينة الكائنة في الغلاف النحاسي ، حيث أن الضغط في الوعاء يمثل الضغط الخارجي أو بالأحرى الضغط الجيوستاتيكي . تتم

قراءة تغير حجم مسامات العينة حسب وضع قطرة الزئبق في الأنبوب القياسي .



شكل رقم (14) الجهاز المخبري لتحديد تغير حجم المسامات والانضغاطية الصخور

1- مقياس الضغط الداخلي	2- مضخة	3- خزانات
4- قطرة الزئبق	5- أنبوبة قياسية	6- عزقة
7- غطاء	8- حلقة	9- مقياس الضغط الجيوستاتيكي
10- مضخة	11- خزانات	12- العينة الصخرية الكائنة في غلاف نحاسي

عمد كاربينتر وسبينسير (Carpenter and Spencer) لدى استخدام هـذا الجهاز إلى تغيير الضغط الخارجي فقط . إن المنحنيات التي تم الحصـول عليـها بواسطة هذه التجربة موضحة بالشكل رقم (15) ، حيث وضع على محور السينات الضغط وعلى محور العينات تغير حجم المسامات . عين تغير حجم المسامات وذلك بقياس حجم الماء المطرود من العينة الكائنة في الغلاف لدى زيادة الضغط الخارجي كنموذج عن الضغط الجيوستاتيكي . تمثل ϕ قيمة المسامية وبالتالي فإن :

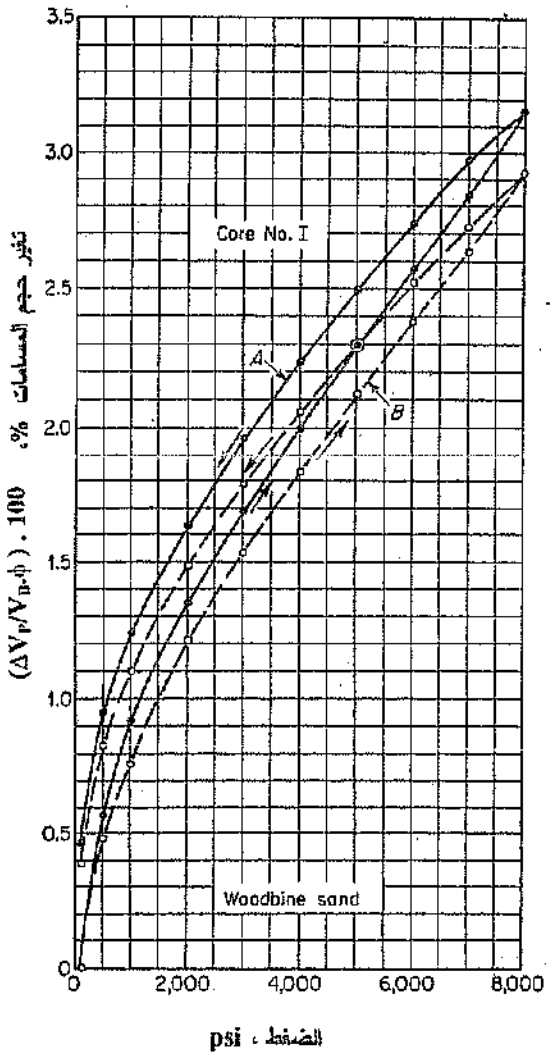
$V_n \cdot \phi = V_P$ (حجم المسامات) .

إن ميل المنحني على المخطط البياني يعكس الانضغاطية بالشكل :

$$\frac{1}{V_P}\left(\frac{\partial V_n}{\partial P^*}\right)_P$$

حيث أن :

P^* – الضغط الخارجي بالعلاقة مع (P) والذي يمثل الضغط الداخلي.



شكل رقم (15) نتائج دراسة انضغاطية الصخور لعينة معينة

المنحني A – يمثل المنحني الوسطي لتجربتين عند درجة الحرارة $t = 33\ C^\circ$

المنحني B – يمثل المنحني المحصول عليه من التجربة الثانية $t = 63\ C^\circ$

1-1-7-3- درجة التماسك والالتصاق

كلما زادت درجة الالتصاق بين الحبيبات ساعد ذلك على انسداد بعض الفراغات وبالتالي تتأثر المسامية وتقل بدرجة كبيرة كلما زادت نسبة ترسيب المواد اللاصقة بين الحبيبات .

1-1-7-4- نسبة الغضار بين الحبيبات

يؤثر وجود الغضار بين الحبيبات نفس تأثير المواد الأسمنتية اللاصقة وقد يترسب الغضار في أثناء فترة تكون الصخر ومرور السوائل قد يحدث انتفاخ لحبيبات الغضار الدقيقة ويكبر حجمها وخاصة إذا كانت السوائل غير مالحة أو ذات ملوحة بسيطة وتغلق المسام وبالتالي تقل المسامية .

1-1-7-5- التكسير

يحدث نتيجة لزيادة الانضغاطية وخاصة في الأعماق الكبيرة أن تتكسر وتتهشم الحبيبات الصخرية وتتفكك المواد الاسمنتية اللاصقة لها وتصبح ذات زوايا حادة وتتداخل فيما بينها وبالتالي تقل الفراغات وتقل المسامية .

1-1-7-6- نظام ترابط الحبيبات

ذكرت في مقرر هيدروليك الموائع الجوفية

1-2- خاصية التشبع بالسوائل

كما ذكر في المسامية فإن الصخر يحتوي على فراغات (V_P) وهذه الفراغات لا تكون خالية من السوائل بل توجد بها سوائل قد تكون ماء وزيت وغاز أو اثنين منهما ماء وزيت أو ماء وغاز أو غاز وزيت .

تنتشر هذه السوائل وتتوزع تحت ظروف ضغط وحرارة المكمن في توزيع يختلف قليلاً عن حالة توزيعه في العينة عند إخراجها من المكمن إلى السطح في

درجات الضغط الجوي والحرارة العادية وذلك نتيجة لتداخل بعض سوائل الحفر في الفراغات أو تمدد وهروب بعض السوائل الموجودة نتيجة انخفاض الضغط عن ضغط المكمن .

يعبر عن حجم السوائل الموجودة في الفراغات بنسبة من حجم هذه الفراغات وهذه النسبة تسمى درجة التشبع وعلى هذا فإنه بعدد السوائل الموجودة في الفراغ يوجد عدد درجات تشبع في حالة وجود ماء وزيت وغاز يوجد درجة تشبع للماء وهي تساوي حجم الماء الموجود في الفراغات مقسمة على حجم الفراغات .

درجة التشبع بالزيت = حجم الزيت الموجود في الفراغات ÷ حجم الفراغات

درجة التشبع بالغاز = حجم الغاز الموجود في الفراغات ÷ حجم الفراغات

$$S_O = \frac{V_O}{V_P} \quad , \quad S_W = \frac{V_W}{V_P} \quad , \quad S_g = \frac{V_g}{V_P}$$

وحيث أن حجم الزيت V_O ، حجم الماء V_W ، حجم الغاز V_g يكون مجموعهما مساويا حجم الفراغات $V_P = V_O + V_g + V_W$

إذاً مجموع درجات التشبع = 100 %

$$S_O + S_W + S_g = \frac{V_O + V_W + V_g}{V_P} = 1 = 100\ \%$$

ويلاحظ أن درجات التشبع هي نسبة ويعبر عنها بنسبة مئوية أو كسر عشري .

في حالة وجود نوعين فقط من السوائل فإن مجموع درجتي تشبعهما يساوي 100 % .

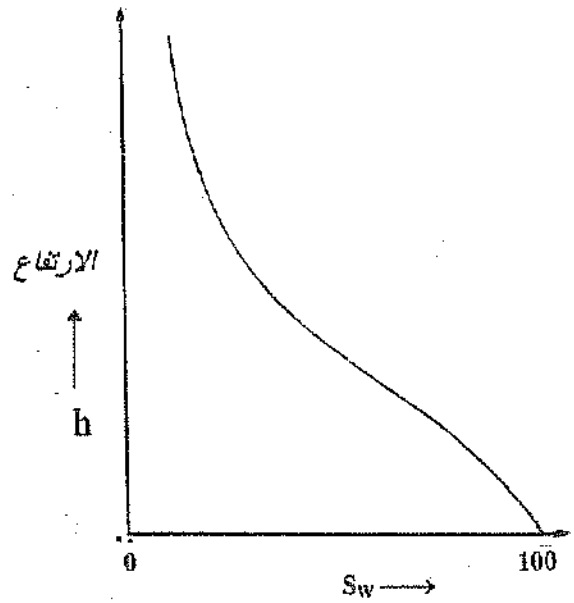
فإذا كان السائلان ماء ونفط $S_O + S_W = 100\ \%$

إذا كان السائلان نفط وغاز $S_O + S_g = 100\ \%$

إذا كان السائلان ماء وغاز $S_W + S_g = 100\ \%$

من الشكل رقم (16) يلاحظ أن درجة التشبع في نفس طبقة المكمن ، تختلف باختلاف العمق ، حيث تميل المياه لتقل وزنها بالنسبة للنفط والغاز إلى الهبوط

للأسفل وبالتالي تزيد درجة تشبع الماء كلما زاد العمق والعكس مع النفط والغـــاز ، حيث يكون الغاز أعلى من الزيت ويكون الزيت أعلى من الماء في العمق .



شكل رقم (16) علاقة درجة التشبع بالماء بالارتفاع

1-2-1- تحرير العينة الصخرية من محتوياتـــها (النفـــط والمـــاء) وطرق قياس درجات التشبع بالسوائل

تعين كمية المياه الموجـــودة فـــي العينـــة وكذلـــك النفـــط بواســـطة الجـــهاز (ASTM) ، توضع العينة المراد تعيين درجة تشبعـــها فـــي الجـــهاز ، بحيـــث أن أبخرة المادة المذيبة والتي تســـمى بـــالتولوين (Toluene ، C_7H_8 كثافتـــها 867 كغ/م^3 ودرجة غليانها 111 درجة مئوية) تمر من خلال العينة إلى المكثـــف وبعد تكثفها بشكل سائل تعود مرة أخرى من خلال العينة إلـــى الحوجلـــة ، وبـــهذه الطريقة يتم استخلاص النفط والماء من العينة . إن الماء المكثف والسائل المذيـــب ينسابان على جدران المكثف متجهين إلى أنبوب مدرج ، وبما أن المـــاء ذو كثافـــة أكبر من السائل المذيب ، لذا فسيتجمع في القسم السفلي من الأنبوب ، بينما الســـائل

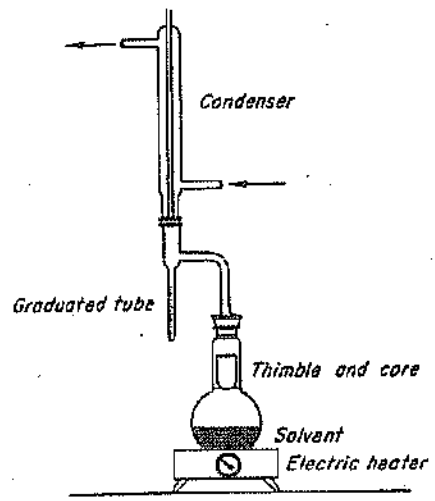
المذيب فسيملأ القسم العلوي منه وبعد امتلائه بالسائل المذيب يعود من خلال العينة إلى الحوجلة مستخلصاً قسماً من النفط الموجود فيها . إن هذه العملية ستستمر إلـــى حين معرفة عدم زيادة حجم الماء في الأنبوب المدرج .

الشكل رقم (17) يوضح الرسم التخطيطي للجهاز ASTM . تعين درجة التشبع بالماء وذلك بالقياس المباشر لحجم الماء الموجود في العينة وتقسيمه علـــى حجـــم الفراغات المسامية الفعالة .

$$S_W = \frac{\text{حجم المـــاء بـــالســـم}^3}{\text{حجم الفراغات المسامية بالسم}^3}$$

أما درجة التشبع بالنفط فتعين بصورة غير مباشرة ، حيث يتـــم تعيينـــها وذلـــك بوزن العينة المشبعة بالماء والنفط قبل وبعد عملية الغسل وتعين بالشكل التالي :

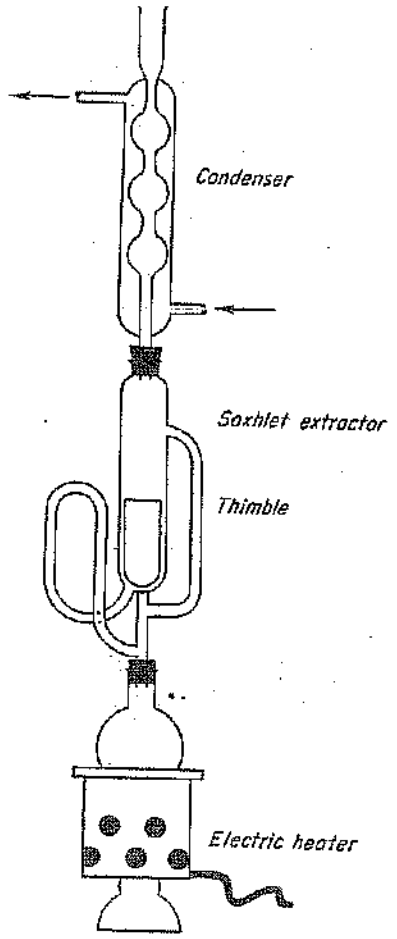
$$S_O = \frac{\text{وزن العينة المشبعة بالغرام – وزن العينة الجافة بالغرام – وزن الماء بالغرام}}{(\text{حجم الفراغات المسامية بالسم}^3)\ (\text{كثافة النفط بالغرام /سم}^3)}$$



شكل رقم (17) الجهاز ASTM لغسل العينات وقياس درجة التشبع بالماء والزيت

باستخدام الجهاز ASTM يتم غسل العينة كليا ، حيث توقف التجربة بعد انتهاء عملية استخلاص الماء من العينة ، أما في الحالة الثانية فتستمر العملية حتى انتهاء الغسل .

هناك جهاز آخر يستخدم لغسل العينات ويسمى بجهاز ساكس ليت (Soxhlet Extractor) انظر الشكل رقم (18) .



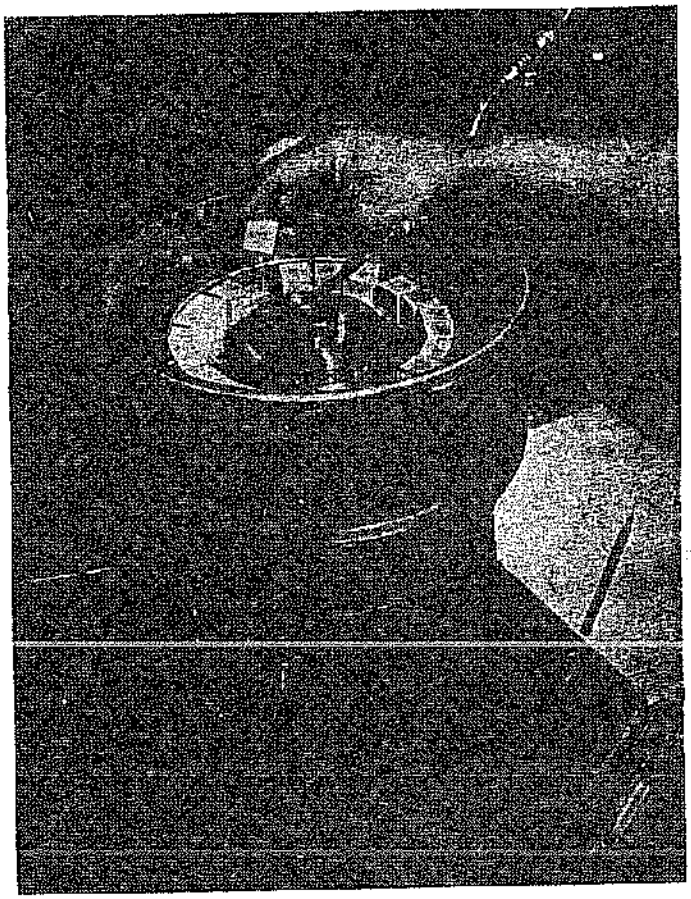
شكل رقم (18) جهاز ساكس ليت لغسل العينات

إن مبدأ عمل هذا الجهاز هو تقريبا كالجهاز الأول بفارق أن الجهاز الثاني لا يحتوي على أنبوبة مدرجة والتي بواسطتها يتم حساب كمية الماء على حدة، وبالتالي كمية النفط . وهكذا يتم تعيين درجة التشبع لكل منهما ، بينما الجهاز الثاني فهو لإجراء عملية غسل العينة فقط وذلك لتجهيزها من أجل تعيين الصفات الفيزيائية لهذه العينة .

وكما ذكر أعلاه فإن أبخرة السائل المذيب سوف ترتفع للأعلى إلى المكثف ، حيث تعود وبعد التكثيف من خلال العينة إلى الحوجلة مستخلصة قسما من الماء والنفط الموجودة فيها ، وهكذا ستستمر العملية حتى انتهاء عملية الغسل وبالتالي تكون بعد التجفيف جاهزة لتعيين صفاتها الفيزيائية (المسامية والنفوذية) . أما الطريقة الثانية لتعيين درجة تشبع الفراغات المسامية بالماء فهي باستخدام الجهاز النابذ ، انظر الشكل رقم (19) .

يوضع السائل المذيب في مركز الجهاز ويتم تشغيله ، ونتيجة لتأثير القوة النابذة فإن السائل المذيب سيتجه إلى الأطراف مخترقا بذلك العينة المراد غسلها لاستخلاص النفط والماء منها اللذان يتجمعان في أنبوب مدرج يمكن بواسطته قياس

كمية الماء في العين .



الشكل رقم (19) الجهاز النابذ لغسل وتعيين درجة تشبع العينات

تعتبر هذه الطريقة من أسرع الطرق لإجراء عملية غسل العينات لاستخلاص النفط والماء منها ، حيث أن هذه العينات بعد غسلها تعتبر جاهزة لإجراء القياسات عليها لتعيين خواصها الفيزيائية .

1-2-2- العوامل المؤثرة على درجة التشبع

تؤخذ العينات المستعملة في المخابر لتعيين درجة التشبع في أثناء الحفر من الطبقات المنتجة بواسطة جهاز التلبيب بطريقة الحفر الطاحوني ، وهذه العينات

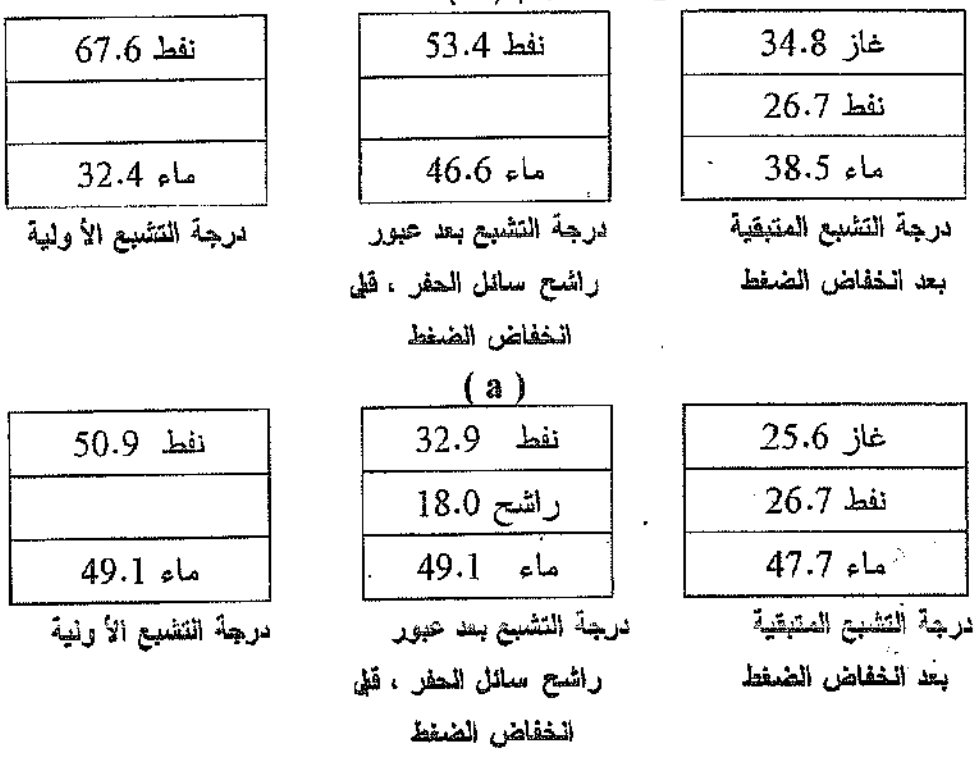
سوف لا تحتفظ بدرجة التشبع الأولية وإنما ستحدث عليها بعض التغيرات وذلك للسببين التاليين :

السبب الأول : يؤثر في أثناء أخذ العينة الأسطوانية بطريقة الحفر الطاحوني على الطبقة ضغط عمود سائل الحفر الذي يكون أكبر من الضغط الطبقي ونتيجة لهذا الفارق في الضغط فسيدخل للطبقة راشح سائل الحفر وبالتالي سيعمل على طرد قسم من النفط ومن المحتمل أن يطرد قسما من المياه المترابطة وهذا سيؤثر على درجة التشبع وبالتالي ولدى قياسها سوف لا نحصل على درجة التشبع بالماء والنفط الأولية .

السبب الثاني : عند رفع العينة إلى السطح فسيتغير الضغط عليها وبالتالي يؤدي ذلك إلى تمدد الغاز والماء والنفط ضمن العينة ، حيث أن عامل التمدد يكون أكبر ما يمكن بالنسبة للغاز وعلى هذا الأساس فدرجة التشبع للسوائل الموجودة ضمن العينة عند الشروط السطحية تختلف عن درجة التشبع الأولية في الشروط الطبقية .

لفهم التغيرات الفيزيائية التي تحدث في العينة الأسطوانية في أثناء دوران سائل الحفر وتحرر الغاز وتمدد السائل في أثناء انخفاض الضغط فهما جيدا ، أجريت الدراسات والأبحاث على نموذج يمثل عملية أخذ العينة الأسطوانية . لعمل هذا النموذج أخذت عينة أسطوانية مثقوبة من منتصفها ، بحيث تمثل البئر ثم أشبعت بالزيت وحل به غاز وحقن بها ماء يمثل المياه المترابطة . ضخ في الثقب الذي يمثل البئر سائل حفر تحت ضغط بحيث أن راشح سائل الحفر يستطيع العبور في العينة ، حيث أن كمية النفط والماء المطرودة نتيجة لعبور راشح سائل الحفر في العينة يمكن قياسها ، وبهذا الشكل من الممكن تعيين تغير درجة التشبع نتيجة لعبور راشح سائل الحفر بالعينة . خفض بعدها الضغط في العينة إلى الضغط الجوي وعينت درجة تشبع العينة بالزيت والغاز ، وفي النهاية وبهذا الشكل تم التوصل إلى تعيين التغيرات التي تحدث نتيجة لعبور راشح سائل الحفر ذي الأساس المائي

والنفطي بالعينة ، ولانخفاض الضغط وتحرر وتمدد السائل ، حيث أن النتائج المحصول عليها وضحت على الشكل رقم (20) .



الشكل رقم (20) تغير درجة التشبع نتيجة لعبور راشح سائل الحفر ولانخفاض الضغط في العينة

من الشكل رقم (18) تبين أن عبور راشح سائل الحفر ذي الأساس المائي ، الشكل رقم (20–a) ، قد يغير درجة التشبع الأولية إلى 14 % ، كما يتبين أنه لدى تخفيض الضغط إلى الضغط الجوي يخرج قسم آخر من النفط والماء وبالتالي فدرجة التشبع بالماء ستكون أكبر من درجة التشبع بالماء الأولية في أثناء استعمال سائل حفر ذي أساس نفطي ، الشكل رقم (20– b) ، فإنه لدى عبور راشح سائل الحفر إلى العينة ونسبته تصل إلى 20 % من نسبة درجة التشبع بالنفط الأولية ، حيث أن درجة التشبع بالماء الأولية سوف لا يحدث عليها أي تغير ولكن وخلال تخفيض الضغط في العينة إلى الضغط الجوي سيحدث تغيرا بسيطا لدرجة التشبع

بالماء وستتغير من 49.1 إلى 47.7 % أما درجة التشبع بالنفط الأولية فستتغير في أثناء عبور راشح سائل الحفر وخلال انخفاض الضغط في العينة تغيرا كبيرا من 50.9 والى 26.7 % . مما سبق نستنتج أن درجة التشبع بالماء لدى استعمال سائل حفر ذو أساس نفطي لا تتغير إلا تغيرا بسيطا ويمكن اعتبارها درجة التشبع بالماء الأولية . لذلك وللحصول على معلومات صحيحة حول درجة التشبع في أثناء عملية أخذ العينة الأسطوانية يجب اختيار سائل الحفر اللازم استعماله .

1-3- التركيب الحبيبي للصخور

تتكون الطبقات الرملية من حبيبات ذوات أقطار وأشكال مختلفة ، حيث أن كمية احتواء الصخور لهذه الحبيبات يسمى بالتركيب الحبيبي (الميكانيكي) وهذه الصفة لها تأثير كبير على المسامية والنفوذية والسطح النوعي والصفات الشعرية وغيرها. تكون المسامية أكبر كلما كانت الحبيبات المشكلة للصخور متجانسة وكلما كانت غير متجانسة قلت المسامية وزاد السطح النوعي والسطح الكلي القابل للتبلل وذلك بسبب توضع الحبيبات الصغيرة ضمن الفراغات المتشكلة من تجمع الحبيبات ذوات الأقطار الكبيرة وبالتالي ستؤدي إلى تقليل النفوذية . باستخدام التركيب الحبيبي يمكننا معرفة الشروط الجيولوجية لترسب وتشكل صخور المكمن ولذلك يعتبر التركيب الحبيبي المرحلة الأولى للبدء بدراسة أصل ومنبت تشكل الصخور الرسوبية . وبما أن هذه الحبيبات الرملية ذوات المقاسات المختلفة تكون السطح الكلي للطبقة المقاسة مع النفط ، نرى أن التركيب الحبيبي له تأثير فعال على النفط المتبقي في المكمن بعد انتهاء عملية الاستثمار على شكل طبقة رقيقة والتي تغطي سطوح هذه الحبيبات .

إن التركيب الحبيبي للصخور الرملية له أهمية عملية كبيرة في استثمار الحقول النفطية ، حيث بواسطته – ولمنع دخول الرمل من الطبقة إلى البئر – يتم اختيار المصفاة اللازم وضعها في القاع .