

تقدير النفاذية

Estimating permeability

النفوذية : Permeability

هي مقياس لسهولة جريان الماء خلال الطبقة الصخرية ، وتبقى ثابتة بالنسبة لعينة صخرية معينة وأي ماء متجانس، بشرط أن لا يتفاعل الماء مع الصخر نفسه .

تعرف النفاذية بأنها طاقة الصخر على ترك السوائل تنفذ وتجول ضمنه وهي تفاص عموماً بوحدة الدارسي (Darcy) نسبة إلى مكتشفها ومحدد علاقتها (قانون دارسي) ويرمز للنفوذية بحرف K .

يستخدم قانون دراسي (قانون الارتشاح الخطى) للتحديد الكمى لنفوذية الصخور، وحسب هذا القانون فإن النفاذية تتناسب عكساً مع فرق الضغط وطرداً مع لزوجة السائل :

$$K = Q \cdot \mu \cdot L / F \cdot \Delta P$$

حيث :

-مساحة سطح الارتشاح (سطح العينة) F

-معدل التدفق الحجمي للسائل عبر الصخور Q

-لزوجة السائل μ

-المسافة الخطية بين نقطتي بدء الجريان وانتهائه L

-فرق في الضغط بين طرفي العينة ΔP

K : عامل النفاذية المميز للصخر

تعد قيمة النفوذية مساوية ل (Darcy) دارسي عندما يجتاز (1) سم³ من سائل لزوجته 1 سنتيمتر² عينة صخرية مقطوعها (1) سم³ وطولها (1) سم ، خلال ثانية واحدة وبتأثير ضغط متباين بين طرفي العينة قيمته (1) ضغط جوي

ونظرا لأن الدارسي وحدة كبيرة فقد استخدمت عموماً وحدة الميلي دارسي والتي = (1/1000) من الدارسي

تتراوح نفوذية أغلب الصخور بين 1000 - 0 ملي دارسي ، وقد اعتمد السلم التالي لتحديد قيم النفوذية :

-نفوذية ضعيفة أو معدومة 10 - 0 ملي دارسي

-نفوذية متوسطة 10 - 100 ملي دارسي

-نفوذية جيدة 1000 ملي دارسي

كما تقسم الصخور وفقاً لعامل نفوذيتها الفيزيائية إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

الصخور النفاذية: تترواح نفاذتها بين 10 إلى عدة آلاف من الميلي دارسي.

الصخور نصف النفوذة: ترواح بين 0.1 إلى 10 ملي دارسي.

الصخور غير النفوذة: يكون عامل النفاذية أقل من 0.1 ملي دارسي

تتراوح قيمة النفوذية في المستويات الخازنة في المكامن عموماً بين 5 و 1000 ملي دارسي وهناك بعض

الصخور الخازنة التي تصل نفوذتها إلى عدة آلاف من الميلي دارسي.

ويميز عادة في الصخور نوعان من النفوذية هما:

-النفوذية الأفقية أو الجانبية وهي توافق جريان انتقال السوائل بموازاة التطبق

-النفوذية العمودية وهي توافق جريان انتقال السوائل بشكل عمودي على التطبق

يندر أن تكون قيم النفوذية متساوية في كل الاتجاهات ، فتكون النفوذية العمودية أخفض بكثير من النفوذية تبعاً للتطبيق (النفوذية الأفقية)، وذلك باستثناء الأوساط الصخرية ذات الشقوق العمودية، ويفسر ذلك غالباً بوجود فلات غضارية في معظم الصخور الخازنة يكون توضعها موازياً للتطبيق، تحد من إمكانية انتقال السوائل بشكل عمودي.

- في بعض المكامن تكون الصخور الخازنة ضعيفة النفوذية جداً أو غير نفوذة في نسيجها الصخري (Matrix) بينما تتمتع هذه الصخور بنفوذية كبيرة نظراً لتشققها، أي توفر نفوذية على مقاييس كبير فيها.

ما هو دور النفوذية في إنتاج الفحوم الهيدروليتون من الصخور الخازنة بالنسبة للبتروليين للنفوذية أهمية أكبر من المسامية من الوجهة الإنتاجية، وقد وجد الكثير من الحالات صخور مسامية متشبعة بالبترول ولكنها غير قادرة على إنتاجه نظراً لفقدان نفوذيتها.

إن قدرة الصخور على تمرير السوائل والغازات من خلالها يعبر عن درجة نفوذيتها، فلا توجد في الطبيعة صخور عديمة النفوذية تماماً، ويمكن تحت الضغط المناسب دفع السائل أو الغاز عبر أي صخر.

مع أن قيمة النفوذية في المستويات الخازنة تتراوح بين 5 و 1000 ميلي داري و في بعض الحالات تصل إلى عدة آلاف من الميلي داري ، هناك مكامن خازنة صخورها كانت ضعيفة النفوذية أو غير نفوذة في نسيجها الصخري (Matrix) بينما تتمتع هذه الصخور بنفوذية كبيرة نظراً لتشققها، أي توفر نفوذية على مقاييس كبير فيها.

بناء على ذلك :

للنفوذية دور رئيسي جداً في إنتاج الهيدروليتون من الصخور الخازنة، وبقدر ما تكون نفوذية هذه الصخور مرتفعة القيمة بقدر ما يمكننا استثمار الهيدروليتون بشكل أسهل، وبعد قليل من الآبار الإنتاجية

بينما على العكس يجب أن نزيد عدد هذه الآبار عندما تكون نفوذية الصخور الخازنة منخفضة في قيمتها. ويعد المنتجون العلاقة التي تربط بين النفوذية K وسمكية الطبقة المنتجة h وهي (K^*h) كعلاقة مميزة في الآبار الإنتاجية.

إذاً : تتعلق إنتاجية الطبقات النفوذية الحاملة للنفط والغاز بشكل مباشر بقيمة عامل النفاذية

وتصنف حسب جونز في أربع مجموعات :

مواصفات الطبقة الحاملة للنفط أو الغاز	قيمة عامل النفاذية بالمليوني دارسي MD
عالية الإنتاجية	أكبر من 1000
متوسطة الإنتاجية	من 100 - 1000
ضعيفة الإنتاجية	من 10 - 100
غير منتجة عاليًا	أصغر من 10

تصنيف النفوذية من الناحية المنشئية

يمكن تمييز بين :

-نفوذية أولية اكتسبت خلال الترسيب

-نفوذية ثانوية نتجت عن حوادث الدياجينيز ومن التطورات اللاحقة للصخور.

خصائص رمل كوارتز نقي، أو كلاسي عضوي أو غير عضوي تعد خصائص أولية
(نفوذية أولية)

بينما تعد خصائص الكلس المدلّمة، أو المحتوي على فجوات ناتجة من حوادث الانحلال أو الكلس والحجر الرملي المشقق، خصائص ثانوية (نفوذية ثانوية).

الدور الكبير الذي يمكن أن تلعبه الحوادث اللاحقة لتشكل الصخر في تغيير الخصائص الأولية للرسوبات والصخور، فحادثة اللحام الصخري يمكن أن تمحو كلية مساميتها ونفوذيتها الأولى، بينما يمكن لصخر آخر لم يكن يتمتع بأي مسامية أو بمسامية ضعيفة جداً، كالكلس مثلاً يمكن أن يصبح شديد المسامية والنفوذية بتأثير حوادث الانحلال ،

ويمكن أيضاً لحادثة التشقق التي تصيب الصخور خلال تطورها البنوي اللاحق، غالباً تؤدي إلى إكسابها نفوذية ثانوية هامة، مما يمكنها من تحقيق دور الصخور الخازنة.

تحديد المسامية والنفوذية:

يمكن لقيم المسامية والنفوذية أن تتغير في حدود كبيرة في المستويات الخازنة للمكامن البترولية وفي بعض الحالات فإن قيمتها تتغير ضمن المستوى الخازن نفسه بين نقطة وأخرى، لذا كان من الضروري معرفة قيم هاتين الخاصتين في مختلف مناطق المستويات الخازنة وذلك بهدف

- تحديد طبيعة المستويات الخازنة بالتفصيل
- تقدير احتياطي الهيدروكربون فيها
- تخطيط أعمال الإنتاج والاستثمار.

استخدمت طرائق عديدة لقياس المسامية والنفوذية، يمكن أن نجمع هذه الطرائق بشكل عام في زمرةتين رئيسيتين هما:

1- طرق مباشرة: تتم من خلالها القياسات على العينات المأخوذة من الآبار، أو من التكتشفات السطحية

2- طرائق غير مباشرة: تعتمد على تفسير الخصائص الفيزيائية للتشكلات الصخرية المقاسة بالأبار بطرق القياسات الجيوفизيائية البئرية وحساب قيم المسامية والنفوذية من خلال قيمها المقاسة، ويعتمد على نتائج القياسات الكهربائية والأشعاعية والصوتية

تقديرات وقياسات تقريبية للمسامية والنفوذية:

قد يكون من المفيد أحياناً تكوين فكرة سريعة عن قيم المسامية والنفوذية للصخور، قبل إجراء القياسات المخبرية أو البئرية، وقد اتبع في ذلك طرائق مختلفة من قبل الباحثين، تسمح بتحديد تقريري لقيم هذه الخصائص في الصخور بفحصها المبسط والسرع بواسطة المكورة ويستند التقدير في هذه الطرائق إلى فحص طبيعة الصخر، وبنيته النسيجية وكتافة مساماته ونتائج هذا الفحص يؤدي إلى تقدير قيم المسامية والنفوذية وترتيبها بجداول خاصة.

-العوامل المؤثرة في قياس النفوذية :

1- تأثير الضغط الزائد :Over Burden Pressure

تتغير أشكال الممرات التي تجري من خلالها المواقع بشكل جزئي ونتيجة لذلك تنخفض النفوذية بنسبة تصل إلى 25% تقريباً فمن الضروري معرفة مسامية الطبقة وضغطها . للحصول على نتائج دقيقة يجب أن نجري تصحيحات بسبب تغير الضغط المطبق على العينة .

2- تأثير السوائل المتفاعلة :

يؤدي وجود مثل هذه السوائل إلى تفاعلات تأثير السوائل المذكورة مع الصخر أو مع السوائل الأخرى الموجودة في الصخر ويحدث تغيير في التركيب الحبيبي والفلزي للصخر ويحصل تغير في النفوذية إما بالزيادة أو بالنقصان (الزيادة نتيجة التآكل أما النقصان فنتيجة ترسب بعض المواد بالفراغات الموجودة في الصخر ولانتاج الغضار) .

3- تأثير أبعاد الحبيبات :Grain Size

يتناصف معدل الجريان طرداً مع مربع نصف قطر الحبيبات وعلى ذلك فإن الصخر ذا الحبيبات والفراغات الصغيرة أقل نفوذية من الصخر ذي الحبيبات والفراغات الكبيرة .

تأثير نظام التعبئة :

تتأثر النفوذية بنظام الترابط بين الحبيبات ويمكن ربط النفوذية بقطر الحبيبات ونظام التعبئة بالعلاقة :

$$K = 20 \cdot d^2 / C$$

حيث إن :

D قطر الحبيبات و C ثابت يعتمد على نوع الترابط وعلى قيمة المسامية

4- تأثير محتوى الغضار :Clay content

تؤثر كثيرة من المواد الغضارية تأثير المواد الاسمنتية وتتصرف كجزء من صخر لخزن وهي ذات تركيب معقد تحمل على سطحها شوارد موجبة مثل (H^+, Na^+, C^{++}) حيث إن هذه المحاليل لها خاصية التشد وقابلية امتصاص الماء فيزداد حجمها وبالتالي يقل حجم الفراغات وتقل النفوذية .

5- تأثير درجة الحرارة : من المعروف أن ازدياد درجة الحرارة يؤدي إلى تمدد الصخر على حساب حجم الفراغات المسامية مما يقلل من نفوذية .

تأثير النفوذية في دقة الحسابات الخزنية :

تكمّن المهمة الرئيسية وال مباشرة لدراسة الآبار والطبقات عموما في الحصول على معطيات تبيّن الخواص الجيولوجية والفيزيائية للطبقات المنتجة للنفط والغاز . وعند دراسة الآبار يتم بصورة مباشرة قياس الإنتاجية والضغط والمسافة بين الآبار وكذلك درجة الحرارة ولزوجة السائل والغاز ومسامية الصخور ونفوذيتها لدى اختبار الطبقات المنتجة .

بغية إنجاح الدراسات الخزنية لا بد من التحديد الدقيق للمعاملات التي تدخل في حساب المؤشرات الخزنية و تعد النفوذية أحد المعاملات الهامة التي تدخل في معظم الحسابات الخزنية ذات الأهمية الكبرى بالنسبة لأعمال التخطيط المتعلقة باستثمار حقول النفط والغاز وتنظيم عمل الطبقات واستغلال الآبار ومراقبتها .

كيف يستدل جيولوجي الحفر على وجود طبقات عالية المسامية والنفوذية أثناء عملية الحفر ؟؟ من خلال الشواهد التالية :

1-**زيادة معدل الحفر واحتراق الطبقات**، مما يعني الوصال لطبقات ضعيفة التماسك أو مشقة ذات مسامية عالية.

2-استهلاك كمية كبيرة من سائل الحفر Drilling mud أكثر من المعتاد، مما يؤشر لفقدان سائل الحفر داخل الطبقات المختربة، ويعود إلى طبقات عالية النفوذية ذات ضغط أقل من ضغط سائل الحفر.

3-**تغير ملوحة سائل الحفر** بشكل ملحوظ وفاجئ مما يؤكد اختلاطه ب المياه عذبة أو مالحة ناتجة من الفراغات الصخرية أثناء الحفر مما يدل على زيادة المسامية والنفوذية.

4-**صعوبة الحصول على عينة لبابية كاملة للصخور المختربة**، مما يدل على أنها غير متتماسكة أو مشقة مما يسبب فقدان أجزاء منها عند استخراج العينة.

5-عند استخراج عينة لبابية أثناء الحفر يلاحظ **محتواها من المواقع** (الهيدروكربون) فخلوها منه رغم احتواها عليه تحت السطح **يدل** على أنها فقدت سرعة أثناء صعودها إلى السطح داخل البئر، مما يعني أن لها مسامية ونفوذية عالية، أما إذا وصلت هذه العينة وهي محتفظة بكل ما فيها من مواقع فذلك يعني أن نفوذيتها ضعيفة مما يجعل خروج المواقع منها ليس سهلاً.

من المعلوم أن تقدير احتمال وجود هذه التشكيلات المسامية والنفوذية، بشكل مبكر خلال أعمال الحفر الاستكشافي يعد أمراً ضروري جداً وذلك لأخذ الاحتياطات الضرورية لاجتيازها، كي لا تتسرب الفحوم الهيدروجينية التي يحتمل وجودها إلى السطح .

وبخاصة الغازية منها والتي يمكن أن تسبب انفجارات على السطح، واقتلاع البئر كلياً في بعض الأحيان، تحت تأثير الضغط المرتفع السائد في الأعمق والذي تخضع له هذه الفحوم الهيدروجينية.

تكون مراقبة سرعة تقدم الحفر أكثر الوسائل سرعة في تقدير الوصول إلى التشكيلات المذكورة، وهي تمكن عموماً من تحذير مهندس الحفر لأخذ الاحتياطات اللازمة حتى قبل وصول العينات الصخرية الصاعدة مع طينة الحفر (الفتات الصخري) إلى السطح .

العلاقة بين المسامية والنفوذية:

لا يوجد علاقة واضحة وثابتة بين النفوذية والمسامية لأن المسامية سعة تخزينية والنفوذية حركة ديناميكية (حركة المواقع)

مع أن الرسوبات الشديدة المسامية بشكل عام هي في الوقت نفسه نفوذة في الكثير من المستويات الخازنة ، إلا أن معظم البتروليين يعتبرون أنه ليس ثمة علاقة فعلية واضحة بين الـ الخاصتين.

وكمثال نموذجي لعدم توافق الخاصتين

الغضاريات، التي تعد نموذجاً للصخور غير النفوذة، وهي في الوقت نفسه كبيرة المسامية ويمكن أن تصل نسبة الفراغات فيها إلى ٩٥-٩٠٪، غير أن مسامتها صغيرة جداً من جهة، وبسبب قوى التوتر السطحي المترتفعة التي تعارض بحركة السوائل ضمنها من جهة أخرى، تؤدي هذه الأسباب إلى جعل هذه الصخور غير نفوذة.

إذاً لا توجد علاقة خطية بين النفوذية والمسامية ، فالصخور الغضاريات ذات مسامية كبيرة لكنها غير نفوذة للسوائل والغازات والصخور الكلسية المتشققة لها مسامية ضعيفة ونفوذية كبيرة ، حيث إن القنوات المسامية للصخر الغضاري ذوات أبعاد تحت شعرية لكن الصخور ذوات المسامية الكبيرة سيكون لها نفوذية كبيرة أيضاً .

لنفوذية الوسط المسامي علاقة أساسية بمقاييس القنوات المسامية المشكلة للفراغ المسامي لهذا فإن لدراسة تركيب المسامات وتوضعها ومقاييسها أهمية كبيرة. يحسب نصف قطر القنوات المسامية r بالمعادلة :

$$r=2/(7\times 10^5)(K.\epsilon/\Phi)^{1/2}$$

٢ - نصف قطر قنوات الوسط المسامي ذو المسامية Φ والنفوذية K

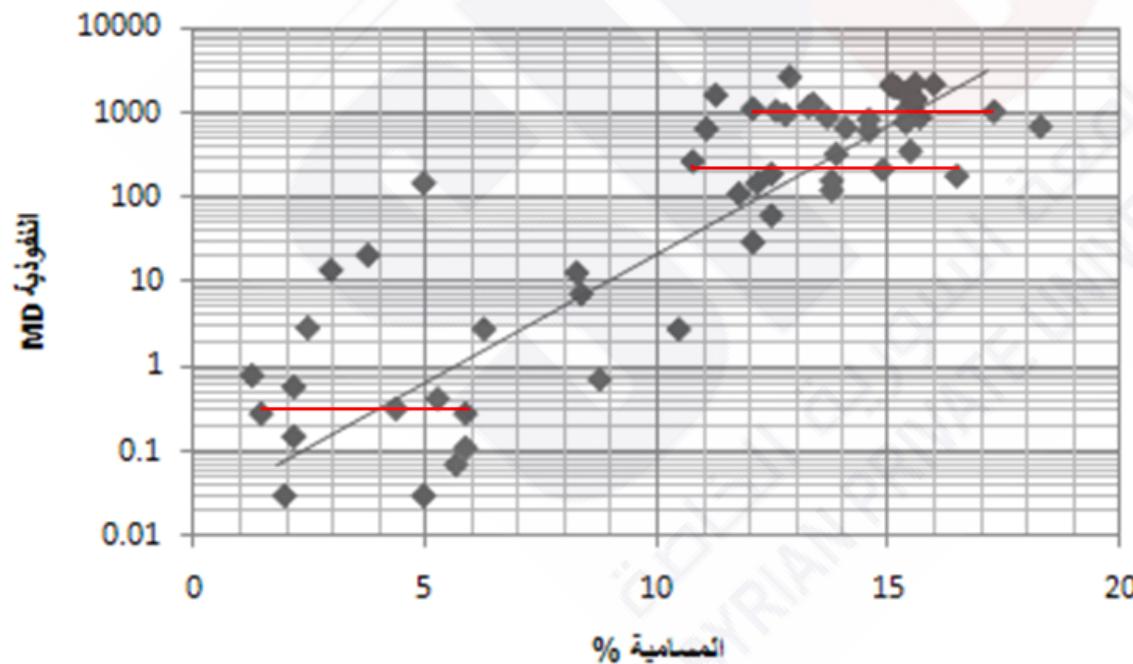
٤ - عامل التركيب يميز الصفات التركيبية للوسط المسامي يمكن تعبينه من العلاقة التالية

$$U = 0.5035 / \Phi^{1/2}$$

عند تمثيل قيم المسامية والنفوذية المقاسة على العينات الصخرية المنتزعة من المستويات الخازنة لبعض المكامن، أو القيم المحددة من القياسات البئرية نجد في كثير من الأحيان تزايد طردي في قيم المسامية والنفوذية

ولكن تبعثر النقاط الممثلة لقيم هذه الخواص كما في الشكل أدناه

يبين عدم وجود علاقة مباشرة وثابتة بين هاتين الخاصتين، نجد مثلاً أنه بالنسبة لقيمة واحدة للنفوذية تكون قيم المسامية متعددة ومتغيرة .



العلاقة بين المسامية والنفاذية لتشكيلة F: في البئر X