

الشكل رقم (65) المنحني الوسطي للضغط الشعري بالعلاقة مع درجة تشبع الصخور بالماء لعينة ذات نفوذية 0.150 دارسي

من الشكل رقم (65) يتبين أن درجة تشبع الصخور بالماء الوسطية والتي تمثل المياه المترابطة تساوي 26 % .
إن هذه الطريقة جيدة للصخور الحاوية على كمية من المياه المترابطة تزيد عن 8 - 10 % من حجم المسامات ، حيث لم تجر الأبحاث الكافية على دون هذه النسبة .

1-7-9- تعيين خاصية التبلل للصخور الطبقيّة

هناك طريقتان لتعيين خاصية التبلل . تعين خاصية التبلل اعتماداً على الطريقة الأولى بواسطة زاوية التبلل . فإذا كانت زاوية التبلل مساوية للصفر ، عندها سيبلل السائل ذو الكثافة الكبيرة سطح الجسم الصلب كلياً ، أما إذا كانت زاوية التبلل مساوية 90° فهذا يعني أن السائلين سيبللان سطح الجسم الصلب بنفس الدرجة ، أما إذا كانت زاوية التبلل مساوية 180° ، فعندها سيبلل السائل ذو الكثافة الصغيرة سطح الجسم الصلب . مما ذكر يتبين أن زاوية التبلل تعتبر مقياساً لدرجة تبلل السائل للجسم الصلب .

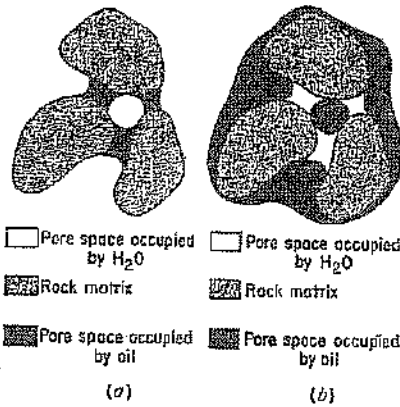
أما الطريقة الثانية لتعيين خاصية التبلل فهي نسبة ارتفاع القطرة عن سطح الجسم الصلب إلى طول القطرة . فإذا كانت هذه النسبة مساوية الواحد ، فهذا يعني أن السائلين سيبللان سطح الجسم الصلب ، أما إذا كانت هذه النسبة مساوية الصفر ، فهذا يعني أن السائل ذا الكثافة الكبيرة سيبلل سطح الجسم الصلب .

تعتبر خاصية التبلل للصخور المكمنية المشبعة بالسوائل الطبقيّة من الصفات

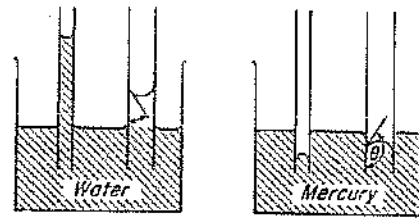
الهامة للصخور ، حيث يعتبر توزيع السائل في الفراغات المسامية تابعاً لخاصية التبلل .

الشكل رقم (66) يوضح الرسم التخطيطي لتغير توزيع مادة ما في نفس الصخر عند تغير خاصية التبلل لسطح هذه المسامات (من الصخور غير المحبة للماء إلى الصخور المحبة للماء) . إن القوى المتبادلة بين السوائل والصخور الطباقية تقودنا إلى أن السائل الذي يتصف بخاصية التبلل يحاول ملئ الفراغات المسامية ذوات المقاييس الصغيرة ، أما السائل الذي لا يتصف بخاصية التبلل فيسملئ القنوات ذوات المقاييس الكبيرة .

وبما أن الصخور الطباقية في أغلب الأحيان تتكون من حبيبات ذوات مقاييس صغيرة فإنه ليس بالإمكان تعيين خاصية التبلل اعتماداً على الطريقة الأولى والثانية التي ذكرناها أعلاه وإنما تعين بالطريقة غير المباشرة وذلك بمقارنة تأثير زاوية التبلل على الضغط الشعري في الأنابيب الشعرية .



الشكل رقم (66) الحالات المختلفة لخاصية تبلل الصخور المكنية



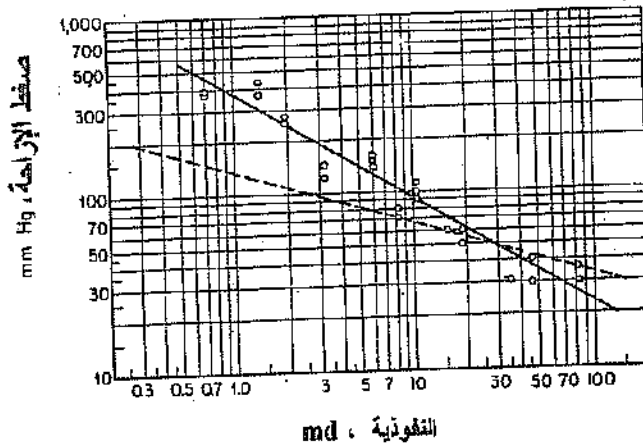
$$P_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}$$

الشكل رقم (67) العلاقة بين خاصية التبلل والضغط الشعري

الشكل رقم (67) يوضح الارتفاع الشعري للماء والهبوط الشعري للزئبق في الأنابيب الشعري .

إن السائل الذي يتصف بخاصية التبلل سيبتجه لملئ الفراغات المسامية أو

بالأحرى الأنابيب الشعرية ، أما السائل الذي لا يتصف بهذه الخاصية فستعيقه من المحاولة للارتفاع بالأنبوب الشعري. ولهذا السبب فإن خاصية التبلل أو بالأحرى الدرجة التي يملكها من هذه الخاصية من الممكن حسابها وتعيينها بواسطة الضغط الأصغري للإزاحة (الضغط الأصغري هو ذلك الضغط الذي يساعد السائل غير المتصف بخاصية تبلل جيدة من العبور في الوسط المسامي) .



الشكل رقم (68) ضغط الإزاحة بالعلاقة مع النفوذية و خاصية التبلل

الشكل رقم (68) يوضح علاقة الضغط الأصغري للإزاحة مع نفوذية العينات للوسط المسامي والمحصول عليه وفقا لأبحاث كالهاون و يوست و Callhoun & Yuste . يوضح الخط المنقط حالة عبور الماء في العينة المشبعة بالنفط ، أما الخط المتصل فيوضح حالة عبور النفط بالعينة المشبعة بالماء . مما ذكر يتبين أن الضغط الأصغري اللازم لإزاحة النفط بواسطة الماء أقل من الضغط اللازم لإزاحة الماء بواسطة النفط . ومنه نستنتج أن هذه الصخور التي أجريت عليها التجارب هي صخور مخبة للماء وليس للنفط .

إن طريقة تعيين خاصية التبلل بواسطة الضغط الأصغري للإزاحة ، طورها الباحث سلوبود Slobod لحساب عدد التبلل وزاوية التبلل الظاهرية وتعيين بالمعادلات التالية :

1- عدد التبلل :

$$\frac{\cos \theta_{wo}}{\cos \theta_{og}} = \frac{P_{Two} \cdot \sigma_{og}}{P_{Tog} \cdot \sigma_{wo}} \quad (57-1)$$

2- زاوية التبلل :

$$\cos \theta_{wo} = \frac{P_{Two} \cdot \sigma_{og}}{P_{Tog} \cdot \sigma_{wo}} \quad (58-1)$$

حيث أن :

$\cos \theta_{wo}$ - زاوية التبلل للعينة عند نظام ماء - نفط .

$\cos \theta_{og}$ - زاوية التبلل للعينة عند نظام نفط - هواء وتساوي الواحد.

P_{Two} - الضغط الأصغري لإزاحة الماء بالنفط من العينة .

P_{Tog} - الضغط الأصغري لإزاحة النفط بالهواء من العينة .

σ_{wo} - التوتر السطحي على الحد الفاصل بين الماء والنفط .

σ_{og} - التوتر السطحي على الحد الفاصل بين الهواء والنفط .

من المعلوم أن عدد التبلل إذا كان مساويا للواحد ، فهذا يعني أن الماء سيبلل كليا

الصخور الطبقية ، أما إذا كان مساويا للصفر فإن النفط سيبلل سطح هذه الصخور .

الفصل الثاني

الدراسة التحليلية لخصائص مؤشرات الطبقة

2-1- تقييم المسامية والنفوذية

لتقييم مسامية ونفوذية الصخور المكمية علينا القيام بحساب قيم المعدل الوزني لها ، حيث أن كل قيمة للمسامية والنفوذية تمثل الجزء الذي أخذت منه العينة الأسطوانية. إذا كانت كل المجالات المدروسة ذوات سماكات متساوية فإن قيم المعدل الوزني ستتطابق مع قيم المعدل الحسابي أما إذا اختلفت هذه السماكات عندئذ فإن قيم المعادلات ستكون مختلفة . المثال رقم 1 ، يوضح كيفية حساب المعدل الوزني للمسامية والنفوذية .

مثال رقم 1 :

العمق ، m	السماكة h , m	المسامية m , %	m.h	النفوذية K , md	K.h
1125.000 - 1125.305	0.305	20	6.10	10	3.05
1125.305 - 1125.615	0.310	23	7.13	100	31.0
1125.615 - 1125.920	0.305	21	6.41	50	15.25
1125.920 - 1126.835	0.915	26	23.97	200	183.0
1126.835 - 1127.140	0.305	18	5.49	70	21.35
1127.140 - 1127.750	0.610	22	13.42	120	73.20
	$\Sigma 2.75$	$\Sigma 130$	62.34	$\Sigma 550$	$\Sigma 326.85$

المعدل الحسابي للمسامية

$$m = 130 / 6 = 21.7 \%$$

المعدل الحسابي للنفوذية

$$K = 550 / 6 = 91.7 \text{ md}$$

$$\text{المعدل الوزني للمسامية} \quad m = 62.34 / 2.75 = 22.7 \%$$

$$\text{المعدل الوزني للنفاذية} \quad K = 326.85 / 2.75 = 118.8 \text{ md}$$

إن المعدل الوزني للمسامية أكبر من المعدل الحسابي بقيمة 1% والمعدل الوزني للنفاذية أكبر من المعدل الحسابي بقيمة 25% .

من هنا نلاحظ أن المعدل الوزني للنفاذية يوافق الافتراضات أن مجالات الطبقة موصولة على التوازي . إن مجموع (K.h) يسمى بقدرة النفاذ ومجموع (m.h) بقدرة المسام .

يعتبر تعيين المعدل الوسطي الوزني للمسامية والنفاذية بالطريقة المذكورة أعلاه كافياً فيما إذا كانت العينات الأسطوانية تمثل المجالات التي أخذت منها .

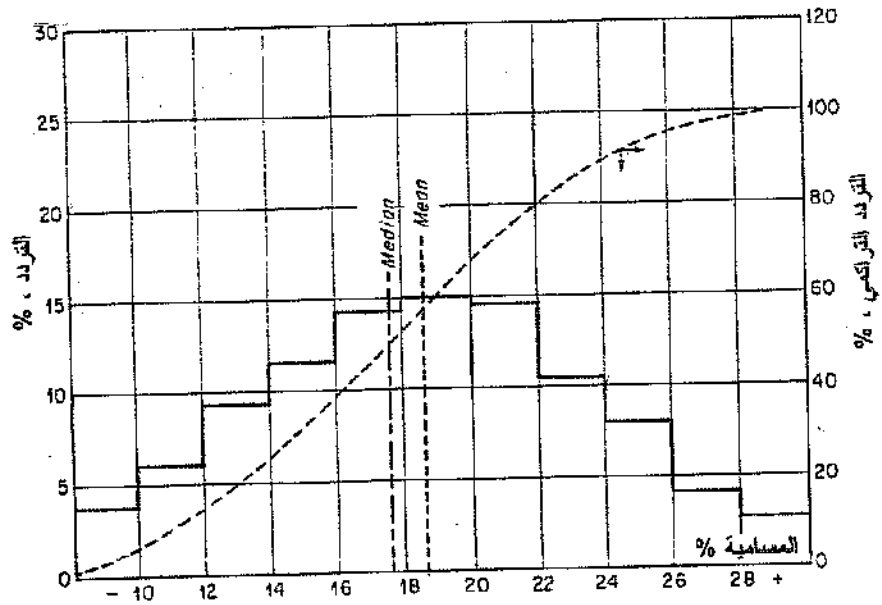
لدى تعيين الصفات الوسطية للطبقات اعتماداً على كميات كبيرة من العينات فإن الطرق الإحصائية ستقلل من الجهود وتزودنا بمعلومات إضافية عن الصفات الفيزيائية للمجال المدروس ، وقد ساهم كل من جان لو وإرت بولنيس (J.Low) (and A.Bulnes) بشكل كبير في تطبيق الطرق الإحصائية وتحليل العينات . الجدول رقم (3) يوضح تصنيف هذه المعطيات الإحصائية .

يمثل الشكل رقم (69) العلاقة بين التردد والتردد التراكمي والمسامية للمعطيات المدونة في الجدول رقم (3) . هناك إجراءات إحصائية من أجل الحصول على القيمة الوسطية :

1. متوسط المسامية للمعطيات المصنفة ويساوي 17.8 % .
 2. المتوسط الحسابي للمسامية للمعطيات المصنفة ويساوي 18.6 % .
- يمثل المتوسط بالتحديد قيمة المؤشر المقابلة للنقطة 50 % على منحنى التردد التراكمي ، حيث يقسم الرسم البياني الموضح بالشكل (69) إلى مساحتين متساويتين . أما قيمة المتوسط الحسابي للمعطيات غير المصنفة فيمثل مجموع التقييم الفردية مقسومة على عددها .

الجدول رقم (3) توزيع المسامية حسب مجالات تغيرها ضمن الحدود 2% لكل العينات

التردد التراكمي (تابع التوزيع) Fc	التردد F %	عدد العينات	مجال المسامية %
3.780	3.780	161	أصغر من 10
9.820	6.040	257	10 - 12
19.70	9.350	398	12 - 14
30.75	11.58	493	14 - 16
45.03	14.28	608	16 - 18
59.97	14.94	636	18 - 20
74.60	14.63	623	20 - 22
85.10	10.50	447	22 - 24
93.09	7.990	340	24 - 26
97.22	4.130	176	26 - 28
100	2.750	117	28 + ...
	$\Sigma 99.97$	$\Sigma 4256$	



شكل (69) الرسم البياني للمسامية بالعلاقة مع التردد والتردد التراكمي

أما قيمة المتوسط الحسابي للمعطيات المصنفة فتحسب بالعلاقة التالية :

$$\phi_a = \sum_{i=1}^n \phi_i \cdot F_i \quad (1-2)$$

حيث أن :

ϕ_a - المتوسط الحسابي للمسامية .

ϕ_i - متوسط مسامية المجال i في الصف .

F_i - تردد المجال i في الصف .

n - عدد المجالات .

يطابق هذا التعريف التعريف الإحصائي العادي ، حيث أن المعلومات يوضحها الشكل رقم (69) . المتوسط الحسابي المحسوب من المعطيات المصنفة باستخدام المعادلة (1-2) يساوي 18.62 % في حين أن المتوسط الحسابي المحسوب من المعطيات غير المصنفة يساوي 18.65 % . 18,626

بالإضافة إلى إجراءات حساب المتوسط المذكورة أعلاه ، هناك ثلاث إجراءات إحصائية أخرى يجب أن تجرى بوقت واحد معا :

1. القيم المميزة (الشكل) .

2. المتوسط التوافقي .

3. المتوسط الهندسي .

يعتبر المتوسط الهندسي من أهم هذه العناصر الثلاث من وجهة النظر الإحصائية لتقييم صفات الصخور التطبيقية . أما الشكل فهو صعب الوصف رياضيا ولكن يمكن أن يعرف بشكل تقريبي كتابع لقيمة المؤشر الذي يحدث كثيرا بشكل متكرر وبالتالي فإن الشكل يقع في مجال التصنيف ذي التردد الأعظمي ويلعب دورا بسيطا في التقييم الكلي للمؤشرات الحقلية .

يعين المتوسط التوافقي كقيمة معاكسة لقيم المتوسط الحسابي المعاكسة أو بالأحرى :

$$\bar{X}_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^n F_i / x_i} \quad (2-2)$$

حيث إن :

$\bar{X}_h$ - المتوسط التوافقي .

x_i - القيمة الوسطية لمجال الصنف الواحد i .

أما بقية عناصر المعادلة (2-2) فقد جرى ذكرها سابقا .

يعين المتوسط الهندسي للمجالات المكونة من L عدد كجذر من الدرجة L لحاصل ضرب المؤشرات أو بالأحرى :

$$\bar{X}_g = (x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_L)^{1/L} = \left[\prod_{i=1}^L x_i \right]^{1/L} \quad (3-2)$$

بأخذ لوغاريتم طرفي المعادلة نحصل على :

$$\text{Log } \bar{X}_g = 1/L (\text{Log } x_1 + \text{Log } x_2 + \dots + \text{Log } x_L)$$

وبالتالي فإن :

$$\log \bar{X}_g = \frac{\sum_{i=1}^L \log x_i}{L} \quad (4-2)$$

وللمعطيات المصنفة إلى مجموعات نكتب :

$$\log \bar{X}_g = \sum_{i=1}^L F_i \cdot \log x_i \quad (5-2)$$

حيث أن المجال يعين بتقسيمه لغاريتمية .

2-1-1- الانزياح المربع وتابع التردد

يعتبر الانزياح المربع فكرة أخرى هامة في علم الإحصاء ، حيث هو في الواقع

تشتيت (تبديد) للمعطيات حول المتوسط الحسابي ويحدد للمعطيات المصنفة
بالعلاقة التالية :

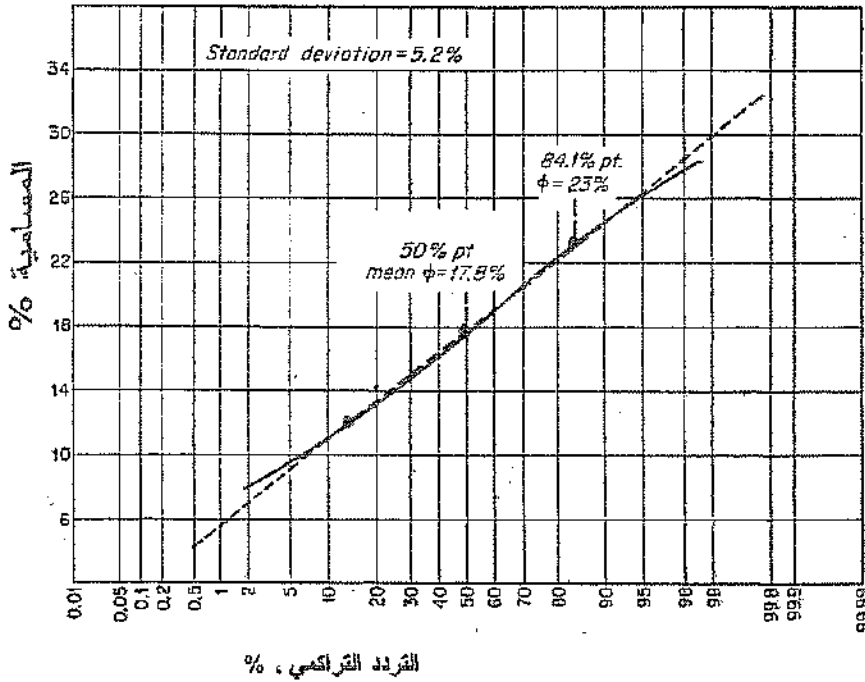
$$S = \left[\sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x}_a)^2 \cdot F_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6-2)$$

حيث أن :

S - الانزياح المربع .

$\bar{x}_a$ - المتوسط الحسابي .

كذلك نلاحظ أن واحدة قياس الانزياح المربع هي نفس واحدة قياس القيم
الاحتمالية .



الشكل رقم (70) توزيع المسامية على مخطط التوقعي للحقل (A)

من أجل التحليل الرياضي يجب تبديل الرسم البياني بالمنحني المستمر الذي يطلق عليه اسم المنحني الطبيعي . إن المنحني الطبيعي سيكون له شكل جرسى متمائل ونستطيع معرفته بشكل كامل باستعمال المتوسط الحسابي والانزياح المربع . يعبر تابع التردد للتوزيع الطبيعي بالعلاقة التالية :

$$f(X) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{X - \bar{X}_n}{S} \right)^2} \quad (7-2)$$

حيث أن :

S - الانزياح المربع .

e - أساس اللوغاريتم الطبيعي .

$\bar{X}_n$ - المتوسط الحسابي .

X - القيم الاحتمالية .

يتم اختيار المنحني الطبيعي وذلك بالرسم على ورقة نصف لغاريتمية القيم الاحتمالية بالعلاقة مع التردد . يمثل الخط المنقط منحنيًا خطيًا يمر من خلال النقاط المعينة .

إذا اقتربت النقاط من بعضها فسيكون من الملاحظ أن توزع المسامية للحقل A تقترب بدقة من التوزيع الطبيعي . تحدد معادلة المنحني الطبيعي كما وضعنا سابقاً بواسطة المتوسط الحسابي والانزياح المربع للتوزيع ، حيث يمكن تحديدها من المخطط البياني المرسوم على الورقة نصف اللوغاريتمية وذلك اعتماداً على الطريقة التالية :

تمثل القيم المتوسطة نقاط تقاطع المستقيم المار بين قيم المنحني 15.9 و 84 % وقيم منحنى تابع التوزيع (التردد) 50 % . من الشكل رقم (70) نجد أن هذه القيمة تساوي 17.8 % حيث تتوافق هذه القيمة بدقة عالية مع القيمة المتوسطة المحصول عليها من الشكل رقم (69) . عند قيمة التردد 84.1 % فإن المسامية من

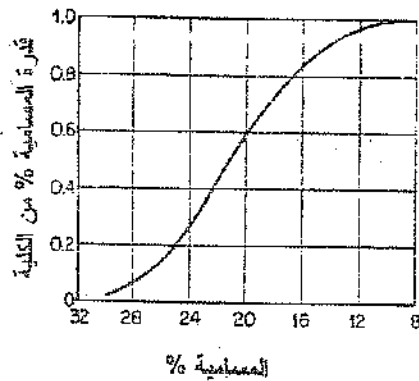
الشكل رقم (70) ستكون مساوية 23 % .

يمثل الانزياح المربع الفرق بين المسامية في النقطة 84.1 % والمسامية في النقطة 50 % على محور التردد .

تنشأ هذه العلاقة من الصفات المعروفة للمنحني الطبيعي ، حيث أن 68.2 % من القيم الملاحظة تقع ضمن مجال الانزياح المربع عن المتوسط ، وتمثل قيمة الانزياح المربع لتوزيع المسامية هذا 5.2 % .

يتم حساب الحجم الفعلي للطبقة لبعض الطبقات من منحني توزيع المسامية . تختار قيمة حدية للمسامية ، حيث تعتبر العينات التي مساميتها أكبر من هذه القيمة منتجة . حسب حجم الفراغات المسامية الكلي للمعطيات المصنفة للحقل A بالمثال رقم 2 ، ومن ثم رسم على أساسها المخطط البياني الموضح بالشكل رقم (71) .

إن العينات الأسطوانية المأخوذة من الحقل A والتي تمثل 98.171 % من حجم الطبقة لها مسامية 10 % أو أكبر . وهكذا يمكن اعتبار قيمة المسامية المساوية 10 % هي القيمة الحدية مع اعتبار جميع القيم التي تكون أكبر منها منتجة ، وبالتالي ولدى حساب حجم الطبقة المنتجة سيتم إظهار 98 % على الأقل من الاحتياطي الإنتاجي للفحوم الهيدروجينية .



شكل رقم (71) توزيع القدرة المسامية للحقل A

مثال رقم 2 توزيع المسامية حسب المعطيات المصنفة لتحديد حجم الطبقة المنتجة الفعلي .

القدرة الكلية $\sum_{i=1}^n \frac{m_i \cdot F_i}{m_n}$	$\frac{m_i \cdot F_i}{m_n}$	$M_i \cdot F_i$	التردد F_i	قيم وسطية للمجال $m_i \%$	مجال المسامية $\%$
0.99998	0.01827	0.34020	0.0378	9	10 >
0.98171	0.03568	0.66440	0.0604	11	12 - 10
0.94603	0.06527	1.21550	0.0935	13	14 - 12
0.88076	0.09328	1.73700	0.1158	15	16 - 14
0.78748	0.13037	2.42760	0.1428	17	18 - 16
0.65711	0.15244	2.83860	0.1494	19	20 - 18
0.50467	0.16500	3.07235	0.1463	21	22 - 20
0.33967	0.12969	2.41500	0.1050	23	24 - 22
0.20998	0.10727	1.99750	0.0799	25	26 - 24
0.10271	0.05988	1.11510	0.0413	27	28 - 26
0.04283	0.04283	0.79750	0.0275	29	28 <
18,62					

$$\phi_a = \sum_{i=1}^n \phi_i \cdot F_i = 18.62 \%$$

2-2- تقييم درجة التشبع بالماء

نوقشت في الفصل طرق تحديد درجة التشبع بالماء الأولية لعينة صغيرة من الصخر وقد تم إثبات أن من أفضل الطرق المتوفرة للمهندس البترولي هي استخدام معطيات الضغط الشعري . تقاس معطيات الضغط الشعري على عينات صغيرة للغاية ومن المحتمل الحصول على عدد ضخم من منحنيات الضغط الشعري لنفس الطبقة . لقد تم الاقتراح في الفصل الأول أيضا أن درجة التشبع بالماء عند قيم