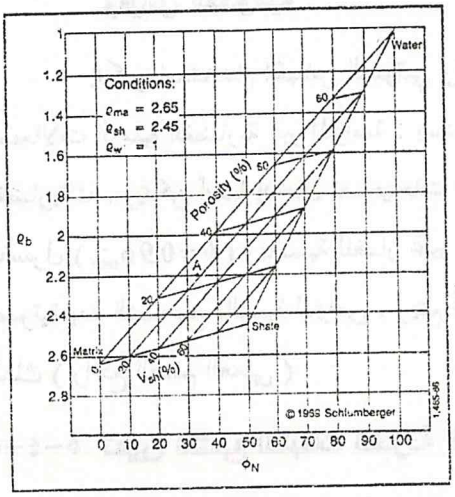
تحدد نقطة المادة الصخرية من أجل ($\phi_N = 0$, $\rho_{ma} = 2{,}65$) كوارتز . ونقطة الغضاريات ($\phi_{sh} = 50$, $\rho_{sh} = 2{,}45$) ونقطة الماء ($\phi_w = 100$, $\rho_w = 1$) . وكمثال إذا تم توقيع النقطة A داخل المثلث فيمكن قراءة ($\phi = 23\%$, $V_{sh} = 16\%$) .

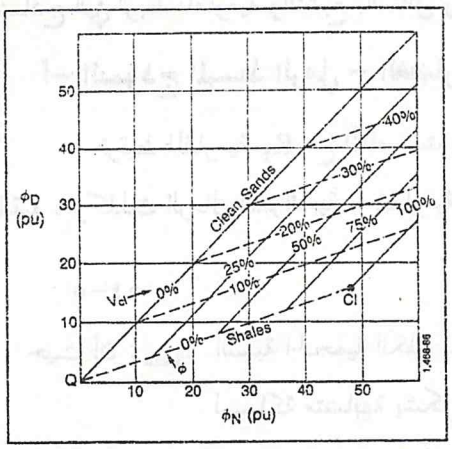


شكل ٥-٢٥ : مخطط تقاطعي لقياس نيوترون - كثافة يوضح نقاط المادة الصخرية والغضار والماء ، من أجل تعيين V_{sh} والمسامية .

أما الشكل (٥-٢٦) فيوضح المخطط التقاطعي بين قيم ϕ_D ، ϕ_N ، إن النقاط التي تقع على خط ميل 45° وتمر خلال المبدأ توافق الطبقة النظيفة ($V_{sh} = 0$) .

والنقاط التي تقع نحو الاسفل مع قيم منخفضة لـ ϕ ، تمثل تغيرات V_{sh} وتوافق الخطوط المستمرة ، أما التغيرات ϕ فتوافق خطوطاً متقطعة . يتم تعيين النسبة الحجمية للغضاريات حسب موقع النقطة من الخطوط المستمرة .

يؤدي وجود الغاز أو الهيدروكربونات الخفيفة إلى إزاحة النقاط باتجاه الأعلى وإلى اليسار .



شكل ٥-٢٦ : المخطط التقاطعي بين ϕ_D مقابل ϕ_N لتعيين نسبة الغضار والمسامية .

٥-٤-٤ تعيين المسامية المصححة ونسبة التشبع بالماء بالاستناد للقياس الصوتي وقياس المقاومية :

يمكن استخدام القياس الصوتي وقيم R_t من أجل تعيين ϕ المصححة و S_w للمجالات الرملية الغضارية غير المتراصة . يستخدم عامل الإرجاع (α) من أجل تصحيح تأثير الغضاريات . ويمكن أيضاً إدخال تصحيحات للمسامية بقيم تجريبية أخرى في حالة النفط غير المغسول ($\phi = 0,9\phi_{sec}$) وبالنسبة للغاز غير المزاح ($\phi = 0,7\phi_{sec}$) حيث إن ϕ_{sec} المسامية الصوتية بعد التصحيح بالنسبة للتراص . ويتم تحقيق ذلك عملياً باستخدام لوحة بيانية خاصة بذلك (راجع القسم العملي) .

٥-٤-٥ تعيين التشبع للطبقات الخازنة الغضارية باستخدام قياس المقاومية :

تتعلق علاقة التشبع بالماء لأرشي بمقاومية الصخر ومقاومية المياه الطبقية ، وباعتبار أن المياه الطبقية هي فقط المادة الناقلة الكهربائية في الطبقة ، فإن وجود مادة ناقلة أخرى (مثل الغضاريات) يتطلب إما تعديل علاقة أرشي أو تطوير نموذج رياضي جديد يربط مقاومية الصخر بمقاومية المياه في الطبقات الغضارية . وخلال السنوات الأخيرة ، تم اقتراح العديد من النماذج التي تربط المقاومية والتشبع بالسائل وبكمية وشكل الغضار .

أ- النموذج المبسط الرمل - الغضار الشرائحي :

ترتبط المقاومية R_t مع اتجاه مستويات التطبق حيث يأخذ الغضار شكل شرائح طبقية ، وكذلك الرمال الشرائحية ، بمقاومية الغضار R_{sh} والرمال R_{sd} حسب العلاقة :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1 - V_{Lam}}{R_{sd}} + \frac{V_{Lam}}{R_{sh}} \qquad ٥٤-٥$$

حيث أن : V_{Lam} النسبة الحجمية الكلية للغضار الموزع بشكل شرائح ، وذلك بالنسبة لسماكة متشابهة بشكل قليل أو كبير .

وبالنسبة للرمل الشرائحي (طبيقات) النظيف :

$$R_{sd} = F_{sd} R_w / S_w^2 \qquad ٥٥-٥$$

حيث : F_{sd} عامل التشكيلة لطبقة الرمل النظيف ويساوي $F_{sd} \cong \frac{a}{\phi_{sd}^2}$ (حيث ϕ_{sd}

مسامية الشريحة الرملية) و $\phi = (1 - V_{Lam})\phi_{sd}$ (المسامية الكلية للطبقة) .

وبجمع المعادلتين (٥-٥٤) و(٥-٥٥) يكون لدينا :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi^2 S_w^{\ 2}}{(1 - V_{Lam})aR_w} + \frac{V_{Lam}}{R_{sh}} \qquad ٥٦-٥$$

ولتعيين S_w حسب النموذج الشرائحي ، يجب تعيين R_t ، R_w ، ϕ ، V_{Lam} ، R_{sh} بالنسبة لطبقة نظيفة مجاورة ، أو باستخدام قياس مقاومية - مسامية . أما تعيين ϕ ، V_{Lam} فيتم باستخدام المخطط التقاطعي بين القياس النيوتروني وقياس الكثافة (ϕ_D) . وباستخدام النموذج في حالة الغضار الشرائحي فإن معادلة لـ R_{xo} بصورة مشابهة للمعادلة (٥-٥٦) يمكن كتابتها حيث تحل S_{xo} محل S_w و R_{mf} محل R_w وتبقى المعايير الأخرى (ϕ ، V_{Lam} ، R_{sh}) نفسها .

وبافتراض أن $S_{xo} = S_w^{1/3}$ ومعرفة النسبة $\alpha = psp / ssp$ وتعيين التشبع بالماء من (psp، R_{xo} / R_t) للطبقة الرملية الغضارية ، وبمعرفة R_{mf} / R_w لطبقة رملية نظيفة مجاورة يمكن تحديد V_{Lam} . وفي التطبيق العملي يتم ذلك باستخدام لوحة بيانية مناسبة (القسم العملي) .

ب - النموذج المبسط رمل - غضار مبعثر :

يفرض هذا النموذج أن التيار الكهربائي ينتشر في الطبقة من خلال شبكة مكونة من المياه التي تملأ المسامات ومن الغضار المبعثر . وحسب اقتراح Witle فإن انتشار التيار الكهربائي يشبه مزيجاً كهرليتياً. يقترح هذا الافتراض أن المقاومية تعطى بالعلاقة :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi_{im}^2 S_{im}}{a}\left(\frac{q}{R_{shd}} + \frac{S_{im} - q}{R_w}\right) \qquad ٥٧-٥$$

حيث أن : ϕ_{im} - المسامية بين المادة الصخرية التي تتضمن جميع الفراغات المشغولة بالسوائل وبالغضار المبعثر .

S_{im} -الجزء من المسامية بين الصخرية الممتلئة بالمياه الطبقية وبالغضار المبعثر .

q - الجزء من المسامية بين الصخرية المشغولة بالغضار المبعثر .

وأيضاً فإن $S_w = S_{im} - q / 1 - q$ حيث S_w التشبع بالماء في الجزء من مسامية الطبقة الفعلية .

وبدمج هذه العلاقات وإيجاد الحل بالنسبة لـ S_w نحصل على :

$$S_w = \frac{\sqrt{\frac{aR_w}{\phi_{im}^2 R_t} + \left[\frac{q(R_{shd} - R_w)}{2R_{shd}}\right]^2} \frac{q(R_{shd} + R_w)}{2R_{shd}}}{1-q} \qquad ٥٨-٥$$

وعادة ϕ_{im} يمكن أن نحصل عليها مباشرة من القياس الصوتي . و q نحصل عليها من مقارنة القياس الصوتي مع قياس الكثافة . وفي الحقيقة إذا كان $\rho_{shd} \cong \rho_{ma}$ عندها $q_{sv} \cong (\phi_{sv} - \phi_D)\phi_{sv}$ حيث ϕ_{sv} ، ϕ_D المسامية من القياس الصوتي وقياس الكثافة . ويكون في هذه الحالة ϕ_D تقريباً مساوية لـ ϕ .

إن قيمة R_{shd} صعبة التعيين وتؤخذ عادة مساوية لـ R_{sh} في الطبقات الغضارية المجاورة . ولحسن الحظ فإن قيمتها ليست حرجة جداً إذا كانت أكبر بعدة مرات من R_w . وعندما تكون R_w أصغر من R_{shd} وأن الرمال ليست غضارية تماماً ، يمكن أن نبسط المعادلة (٥-٥٨) بشكل مستقل عن R_{shd} .

$$S_w = \frac{\sqrt{\frac{aR_w}{\phi_{im}^2 R_t} + \frac{q^2}{4}} - \frac{q}{2}}{1-q} \qquad ٥٩-٥$$

ج- علاقة تعيين التشبع في حالة الغضاريات الكلية :

وفقاً للأخطاء الموضحة أعلاه فإن الدراسات المخبرية والخبرة الحقلية ، قد بينت أن علاقة بسيطة تكون جيدة للطبقات الغضارية الخازنة بشكل مستقل عن شكل وتوزع الغضار، وذلك بالنسبة لمجال معين من قيم S_w الأكثر مصادفة من الناحية العملية :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi^2 S_w^{\,2}}{aR_w(1-V_{sh})} + \frac{V_{sh}S_w}{R_{sh}} \qquad ٦٠-٥$$

ويطلب معرفة R_{sh} من أجل استخدام العلاقة السابقة ، وتؤخذ بالنسبة لطبقة غضارية مجاورة ، و V_{sh} حجم الغضاريات التي يمكن أن يعين من مؤشر الغضار الكلي (SP ، GR، النيوترون ...) .

وفي السنوات الأخيرة لاقت المعادلات (٥-٥٨) و(٥-٦٠) قبولاً كبيراً في تقويم الطبقات الرملية الغضارية .

٥-٤-٦ مؤشرات الغضاريات :

لمؤشرات الغضاريات استخدامات نوعية واضحة حيث تشير فيما إذا كانت الطبقة نظيفة أو غضارية ، وبالتالي يمكن متابعة أي نوع من التفسير . وتكون فائدتهم متميزة عندما تقدم تقديرات كمية لنسبة الغضار في الطبقة . وبعد ذلك يتم تقدير تأثير الغضار على قراءة القياسات وإجراء التصحيحات بالنسبة لطبقة نظيفة .

ويمكن أن نذكر مؤشرات الغضار حسب ما يلي :

- المخطط التقاطعي بين المسامية النيوترونية - والكثافة ، ويفيد بشكل كبير عندما تكون معايير المادة الصخرية للطبقة نسبياً ثابتة ويفضل أن تكون معروفة .
- المخطط التقاطعي صوتي - كثافة . ويكون مفيداً في حالة الرمال المتماسكة الحاوية على غضاريات شرائحية .
- قياس q (Q-Log) تعطى قيمة q بالعلاقة (٥-٥٢)حيث تستخدم كمؤشر للغضاريات المبعثرة في الرمال .
- قياس الإشعاع الطبيعي : يزودنا هذا القياس بالحد الأعلى للغضاريات في الطبقة التي تحوي على فلزات أو معادن مشعة غير غضارية . ونحصل على حجم الغضار وفق العلاقة :

$$V_{sh} \leq \frac{GR_{Log} - GR_{clean}}{GR_{sh} - GR_{clean}} \qquad ٦١-٥$$

حيث : GR_{clean} الإشعاعية المقروءة أمام مجال رملي نظيف .

- قياس الكمون الذاتي : ويستخدم في حالة الرمال المائية لأنه في حالة الرمال النفطية أو الهيدروكربونية فإنه يعطي قيمة أعلى لحجم الغضار . يعطى حجم الغضار بالعلاقة :

$$V_{sh} \leq 1 - \frac{psp}{ssp} \qquad ٦٢-٥$$

- القياس النيوتروني : حيث يعين حجم الغضار حسب العلاقة :

$$V_{sh} \leq \phi_N / \phi_{Nsh} \qquad ٦٣-٥$$

- قياس المقاومية : ويوجد عدة مؤشرات حسب قيم المسامية والتشبع بالمواد الهيدروكربونية ففي حالة طبقة قليلة المسامية (أو مشبعة بالهيدروكربونات) يكون

لدينا :

$$(V_{sh})_{R_t} = \left(\frac{R_{sh}}{R_t}\right)^{1/b} \geq V_{cl} \qquad b \cong 1,5 \qquad \text{٦٤-٥}$$

وفي حالة طبقة هيدروكربونية ومسامية عالية نحصل على :

$$(V_{sh})_{R_t} = \sqrt{\frac{R_{sh}}{R_t}\left(\frac{R_{sd} - R_t}{R_{sd} - R_t}\right)} \qquad \text{٦٥-٥}$$

حيث R_{sd} مقاومية طبقة رملية نظيفة ذات مسامية عالية .

****

الفصل الخامس

استخدام الحاسوب لتفسير القياسات الجيوفيزيائية البئرية

٥-٥-١ مفاهيم أولية :

تقسم معاملة نتائج القياسات الجيوفيزيائية البئرية باستخدام الحاسوب إلى ثلاث مراحل : الترقيم ، المعاملة الحقلية ،والمعاملة المكتبية .

٥-٥-١-١ مرحلة الترقيم :

إن العنصر الأساسي لترقيم القياسات هو عملية تحويل المنحنيات إلى أرقام يستطيع الحاسوب التعامل معها . تنقل القوائم الرقمية بعدها إلى بطاقات أو أشرطة ورقية أو مغناطيسية وذلك وفق نظام الحاسوب . وفي الوقت الحاضر يمكن للمحلل أن يختار نقاط المعطيات الأفضل ويتجاهل حدود الطبقات الفاصلة ويأخذ المتوسطات الحسابية المناسبة .

يتم تحويل المنحنيات المسجلة إلى قوائم رقمية بوساطة مرقم (Stylus) يتم بوساطته تتبع المنحني على قرص كبير يشبه لوح الرسم ، أو بوساطة راقم مكتبي هو الفاحص الآلي (Automatic Scanner) الذي يسجل كل شيء موجود على القياس ، بعدها يقوم برنامج الحاسوب بالابقاء فقط على المنحنيات بشكل رقمي .

وأحدث التقنيات الرقمية (أكبرها كلفة) هو الترقيم عند إجراء القياسات مباشرة في البئر . وقد أصبح الترقيم الحقلي شائعاً هذه الأيام . يستخدم الترقيم الحقلي أشرطة ورقية ، وبالإضافة لذلك تستخدم أشرطة مغناطيسية بسبع أو تسع حقول تسجيل (مسالك) .

ومن الطبيعي أن تكون الترقيمات الحقلية بدون مشاكل .ومع ذلك فمن الممكن أن تكون الأشرطة الرقمية لسبب أو لآخر غير صالحة للإستخدام ، لهذا فإن التسجيلات التقليدية عند رأس البئر يمكنها أن تفيد في ضبط صلاحية القياسات . يؤدي نظام التسجيل المضاعف إلى زيادة كلفة تنفيذ القياسات بقيمة 15% عن فاتورة القياسات التقليدية وبقيمة أقل عند الترقيم المكتبي .

يتم عادة أخذ القراءة بالنسبة لعمق معين ، بمعدل كل ست بوصات من البئر المحفور

في حالة الترقيم الحقلي . أما في حالة الترقيم المكتبي فتؤخذ قراءة واحدة (عينة) لكل قدم واحدة .

– **ضبط العمق** : من المشاكل المهمة في القياسات المرقمة هو التأكد من أن جميع القياسات تعود لعمق واحد . والإزاحات الآلية لقياس أو أكثر بمقدار قدم واحد بالنسبة لمحال معطى يؤدي في بعض الأحيان إلى صعوبات في المعاملة نظراً لتناقضات الأعماق بالنسبة لمحال معطى . ويحدث ذلك في حالة حدوث شد في شريط (كابل) القياس أو عدم إمكانية ضبط القياسات عند عمق معين من قبل مهندس القياسات. ولذلك من الأفضل عند الترقيم المكتبي إجراء مطابقة وربط بين القياسات قبل التحويل إلى عبارات رقمية .

– **بعض الملاحظات حول الترقيم الحقلي** : يتميز الترقيم أو الحساب للقياسات عند رأس البئر ببعض المميزات المحددة . أحدها هو أن القياسات يمكن معايرتها بوساطة الحاسوب للتأكد من أن المعايرة قد تمت بقدر الإمكان . ويكون التقويم الحقلي الأولي للقياسات سريعاً . وكذلك التأكد من عدم وقوع مهندس القياسات بأخطاء نتيجة التعب والسهر . والملاحظة الأخرى ، هي المقدرة على إعادة حساب القياسات من أجل قيم مختلفة لمقاومية المياه الطبقية والمادة الصخرية .

٥-٥-١-٢ المعاملة الحقلية :

تتم عادة المعاملة الحقلية للقياسات بإستخدام تقنيات بسيطة مثل حساب R_{wa} ، الرسومات أو المخططات التقاطعية مع تقنيات مبسطة متعلقة بتقويم الحجر الرملي الغضاري.

٥-٥-١-٣ المعاملة المكتبية :

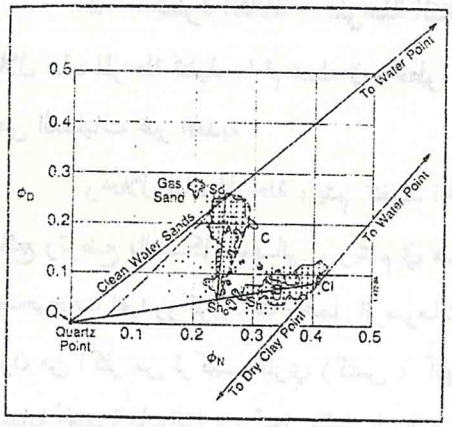
أ – الطباعة : في أغلب الأحيان ، يتم استخدام الشريط المغناطيسي لطباعة المعطيات على شكل منحنيات وذلك من أجل كشف الأخطاء المتماثلة ، وأخطاء التقييم وضبط القراءات مقابل التسجيلات الأولية التقليدية عند رأس البئر وبعدها يتم تصحيح الأخطاء وتجهيز المعطيات للمعاملة .

ب– الخطوة الأولى – تنفيذ التفسير الأولي : يتم عادة عمل التفسير الأولي من أجل التأكد من إجراءات التصحيحات : قطر البئر ، كعكة الحفر ، الحرارة . وإبعاد بعض

الأخطاء الحاصلة عند تنفيذ بعض القياسات . وعادة لا يتم تنفيذ التصحيح بالنسبة لثخانة الطبقات . ويتم ضمن هذه الخطوة استخدام قيم متعددة وسطية من أجل الوصول إلى قيمة وسطية جيدة ، وينفذ مثل هذا العمل على القياسات الإشعاعية (النووية) التي تبدي تغيرات سكونية كبيرة .

ويتم بعد عمل التصحيحات ، تنفيذ المخططات التقاطعية لقياسات المسامية (الكثافة - نيوترون -، صوتي -نيوترون) أو إدخال قراءة الإشعاع الطبيعي من أجل بيان النطاقات الغضارية شكل (٥-٢٧) .

وتنفذ حسابات القياسات الرقمية بالنسبة لكل مستوى طبقي (مجال) بشكل متتال. وحيث أن تصحيح تأثير سماكات الطبقات يكون مستحيلاً، فيمكن أن نجد بعض الإزاحات لبعض المستويات على لوحات مخططات الرسوم التقاطعية للمسامية ، حيث تقع بعض القيم خارج الخطوط العامة ، ويعود ذلك إما لتأثير حدود الطبقات أو للاختلافات في الإستجابة العمودية للأجهزة .



شكل ٥-٢٧ : الرسم التقاطعي نيوترون - كثافة موقع عليه نقاط الملاحظة لمجال طبقي رملي غضاري ، مستخدم في برنامج سارابند .

ويمكن أن تختلف الحسابات بالنسبة لبئر واحدة عن برامج حسابات الآبار الأخرى والواقعة في نفس الحقل ، ولهذا يجب إدخال بعض التعديلات على النتائج بشكل أفقي من أجل الحصول على نتائج ذات نوعية جيدة .

ج-الخطوة الثانية - المرحلة الثانية من التفسيرات : ويتم التأكد في هذه المرحلة من أن التصحيحات أو التقريبات التي تمت في المرحلة الأولى كافية ، وكذلك يتم مرة أخرى تنفيذ رسومات التقاطعات البيانية للمسامية وحساب R_{wa} (من قياسات متنوعة)

وتعيين الليثولوجيا ، المسامية المصححة ، وتأثير الهيدروكربونات الظاهري ، وتأثير الغضار الظاهري ....الخ . وفي بعض الأحيان ، يتم تجاهل النطاقات الهيدروكربونية والغضارية من أجل الحصول على تعيين أفضل للنطاقات النظيفة الحاملة للماء . ويتم أيضاً خلال هذه المرحلة توقيع قيم M-N أو MID من أجل تعيين التركيب الليثولوجي بصورة أفضل .وكذلك يتم إدخال بعض الاقتراحات الشخصية المتعلقة بالخصائص الجيولوجية الخاصة بالمنطقة من أجل الحصول على نتائج تتطابق مع الواقع الجيولوجي .

والمعايير التي يمكن أن تخضع للتعديل هي R_w ، الأنواع الصخرية ، أنواع المسامية ، العلاقات S_w ، ϕ ، F ... الخ . ويتم في هذه المرحلة أيضاً دراسة النطاقات الرملية الغضارية عن طريق اختيار أو تعيين مؤشر الغضار ، ويتم أيضاً تقدير كثافة الهيدروكربونات الفعلية والأصغرية .

د- **الخطوة الثالثة – المرحلة الثالثة من التفسيرات** : ويتم في أغلب الأحيان خلال هذه المرحلة تنفيذ ما تم عمله في الخطوة الثانية ، مع بعض التعديلات التي تتناول إقصاء بعض العمليات غير المجدية .

وخلال هذه المرحلة ، يتم تنفيذ الحسابات لجميع المستويات أو الحالات وتجمع النتائج وتوضع بالشكل النهائي . ويتم في هذه الخطوة عمل جميع تصحيحات الغضار ، وتصحيحات الهيدروكربونات وعمل الرسومات التقاطعية النهائية . وإذا كان الصخر الخازن مكون من أكثر من تركيب فلزي (كلس ، أنهيدريت ، دولوميت .....) فتوضع معادلات استجابة أجهزة المسامية من أجل الحصول على التركيب الليثولوجي وتصحيح قيم المسامية . وأيضاً في هذه المرحلة ، يتم حساب المسامية الثانوية بصورة تقريبية وحساب التشبع بالماء للطبقات النظيفة أو للطبقات الخازنة الغضارية وكذلك التشبع في المنطقة المغسولة .

٥-٥-١-٤ تقويم نتائج الحاسوب :

يمكن أن ندعو النتائج التي نحصل عليها من الحاسوب بقياس الحاسوب (Computer Log) أو بنتائج الحاسوب (Computer Output) . ينصح دائماً بالنظر إلى القياسات الأولية (المنحنيات) قبل النظر إلى نتائج الحاسوب ، حيث يعطينا شعوراً بحجم المشكلة المدروسة وبالنتائج المتوقعة ولا يستثنى من ذلك قياس تغير قطر البئر (الكاليبر) الذي

يجب إعطاؤه عناية وأهمية خاصة . يتم تدقيق قيم المسامية المحسوبة بالنسبة للنطاقات الرخوة التي تتأثر بها قيم قياس الكثافة وأيضاً فإن المسامية تكون عالية للطبقات الصخرية القاسية إذا حوت على نطاقات أو مجالات قابلة للتفتت (Washedout Zone) ، ويعني هذا أن التصحيحات كانت غير ملائمة . وكذلك يتم تدقيق جميع القياسات في حالة النطاقات المنتجة للتأكد من أن الحسابات تمت على أساس أنها غير غضارية .

يتم تدقيق قيم R_w المستخدمة تماماً مثل قيم الغضار والمادة الصخرية للصخور . ويجب كذلك تدقيق النطاقات الحاملة للغاز ومراجعة قياس الكثافة والنيوترون بعناية من أجل التأكد من الحسابات للمسامية ونسبة التشبع بالماء .

وكذلك يجب مراجعة قيم المسامية الثانوية وضرورة التأكد من أنها تعود فعلاً لطبقات تحوي مسامية ثانوية ، وأيضاً التأكد من الكثافة الحبيبية لبعض الطبقات بشكل تتوافق مع الواقع (مثلاً خطأ في تعيين كثافة الغضار - مثلاً $3g/cm^3$) .

وعندما نريد الحصول على نتائج جيدة من الحاسوب ، فيجب أن يتم التدقيق بنوعية الصخر وبقيم R_w وقيم التشبع بالماء المتوقعة وكذلك النفوذية ... وينصح دائماً الحصول على نسخ عن مخططات الرسوم التقاطعية أو أي وثيقة حسابات مرحلية من أجل تقويم نتائج الحاسوب .

وباعتبار جميع ما ذكر أعلاه ، يجب عدم قبول نتائج الحاسوب كأفضل تفسير ما لم يتم ضبط والتأكد من كل شيء بما فيه بعض الحسابات وأن نكون راضين عن كل شيء تم عمله بشكل صحيح .

٥-٥-٢ برامج التفسير المستخدمة في الحاسوب من قبل شركة شلمبرجير :

تختلف برامج تفسير القياسات الجيوفيزيائية البئرية المستخدمة في الحاسوب بحسب المعطيات المتوفرة وحسب الخصائص الجيولوجية والتركيبية للتشكيلات المحفورة وأيضاً حسب النتائج التي يرغب في الحصول عليها . وسنعرض هنا وباختصار المعطيات المستخدمة في كل برنامج ومراحل المعاملة ثم نتائج الحاسوب النهائية .

٥-٥-٢-١ برنامج ساراباند (Saraband) :

يستخدم برنامج ساراباند في حالة تركيب ليثولوجي مكون من رمل - غضار وسيلت (رمل غضاري ناعم جداً) حيث تكون الغضاريات شرائحية (متطبقة) أو موزعة

(مبعثرة) أو غضاريات تركيبية .

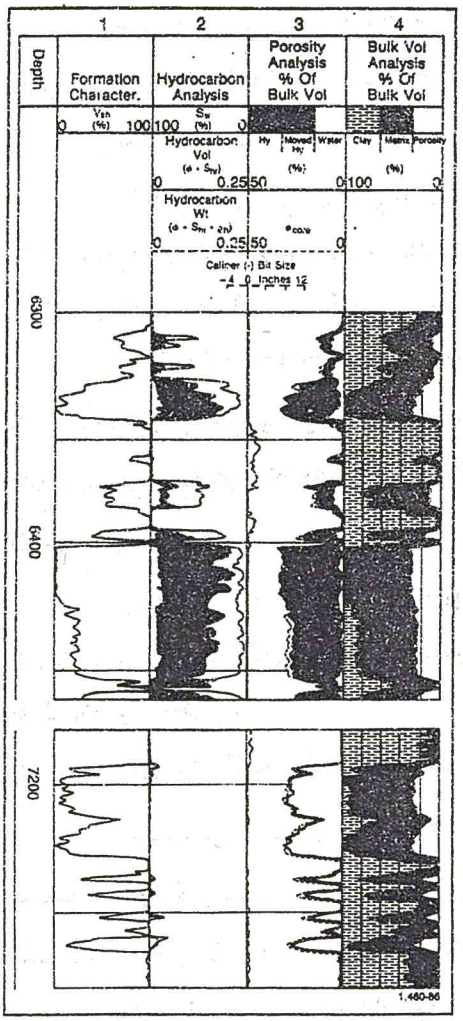
يعتمد تصميم برنامج ساراباند على استخدام استجابات قياس الكثافة والنيوتروني والمقاومية الدقيقة وكذلك الكمون الذاتي والإشعاع الطبيعي أو بعض القياسات الأخرى التي تكون متأثرة بحجم الغضار. فمثلاً تعطى استجابة قياس الكثافة لتعاقب رملي غضاري حامل للهيدروكربونات على النحو التالي :

$$\rho_b = \phi[S_{xo}\rho_{mf} + (1-S_{xo})\rho_h] + (1-\phi)[V_{sh}\rho_{sh} + (1-V_{sh})\rho_{ma}] \qquad ٦٦-٥$$

يوجد في هذه المعادلة خمس مجاهيل (ρ_{ma} , V_{sh} , ρ_h , S_{xo} , ϕ) ويمكن كتابة معادلات مشابهة بالنسبة لقياسات أخرى (نيوتروني ، صوتي ، ...) بحيث يكون عدد المعادلات متوافقاً مع عدد المجاهيل وبمعرفة أو فرض قيمة أحد المجاهيل يتناقص عدد المعادلات .

تستخدم معطيات مخططات التقاطع لقياسات الكثافة - نيوترون ، وأيضاً قيم الإشعاع الطبيعي لإيجاد مسامية الطبقة ومعطيات المقاومية الدقيقة لإيجاد التشبع في المنطقة المغسولة (ماء + هيدروكربونات) ، ومعرفة نوعية الهيدروكربونات وحجم الغضار وكذلك فإن إضافة معطيات قياس مقاومية عميق ومعلومات عن R_w (sp) يسمح بتعيين التشبع بالهيدروكربونات والماء في الطبقة غير المغزوة براشح سائل الحفر .

يمثل الشكل (٥-٢٨) نتائج

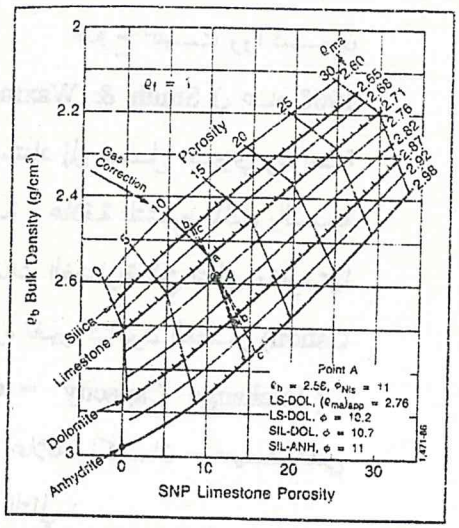


شكل ٥-٢٨: مثال عن نتائج استخدام برنامج ساراباند لتفسير قياسات أمام مجال لطبقات حاملة للماء وأخرى حاملة للهيدروكربونات .

تطبيق برنامج ساراباند لتفسير القياسات البئرية أمام طبقات حاملة للمـاء والهيدروكربونـات . يتكـون القيـاس مـن أربـع مسـالك (حقـول) الأول - نسـبة الغضـار ، الثـاني - دراسـة الهيدروكربونات وحجمها ووزنها وكذلك التشبع بالمـاء ، الثالث - تعيين المسامية والحجم المشغول بالماء وبالهيدروكربونـات وكذلـك قيم المسامية مـن العينـات الإسـطوانية(ϕ_{core}) ، الرابع - تحليل حجمي كامل لنسبة المادة الصخرية والغضار والمسامية .

٥-٥-٢-٢ برنامج كوري باند (Cori band) :

يستخدم هذا البرنامج في حالة أن التكوين الصخري مكون مـن تركيـب ليثولوجـي متنـوع ويحـوي أيضـاً غضاريـات . يزودنـا هـذا البرنـامج بتصحيـح للمسـامية مـن تأثـير الهيدروكربونـات في حالـة تركيـب ليثولوجي واحد أو مزدوج معروف .



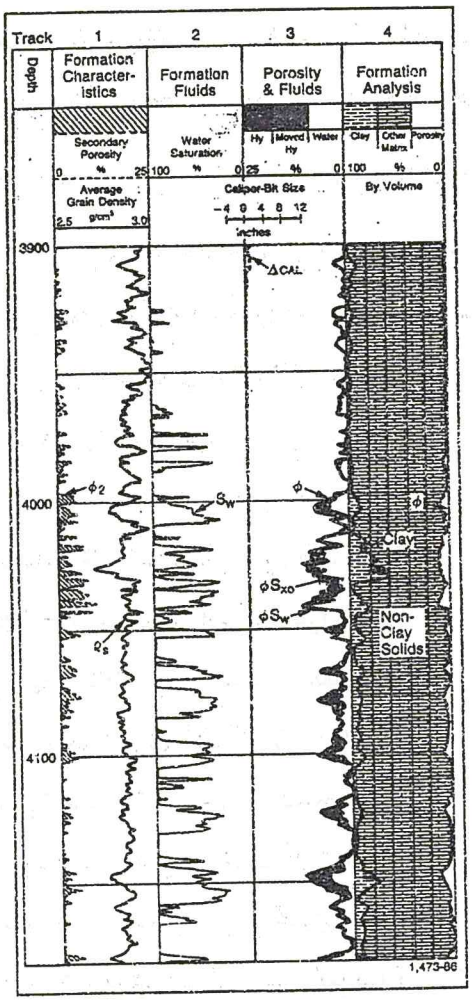
شكل ٥-٢٩ : الرسم التقاطعي في حالة تركيب ليثولوجي متنوع ذو كثافة ظاهرية متغيرة .

يستند هـذا البرنـامج علـى معطيـات مخططـات الرسـوم التقاطعيـة كثافة - نيوترون من أجل الحصول علـى المسامية وكثافة المادة الصخرية الظاهرية كما هو موضح في الشـكل (٥-٢٩) . وقبـل توقيـع النقـاط المحتملـة للمجـالات المدروسة على اللوحـة يجـب أن تصحـح بالنسبة لتأثير الغضار . ويتم تحقيق ذلـك مـن خـلال مؤشـرات الغضـار العديـدة (SP، GR ، ... الخ) وتحديـد ϕ ، V_{sh} ، R_w ، R_{sh} المعروفة أو المعينة مـن تقاطعـات المقاومية ، يمكـن تعيـين التشبع بالماء للطبقة غير المغزوة باستخدام قياس مقاومية عميق .

يمثل الشكل (٥-٣٠) مثـال عـن نتـائج برنـامج كـوري بـاند . تتضمـن النتـائج المحسوبة ما يلي :

في المسلك **الأول** – متوسط الكثافة لمكونات الطبقة الصلبة وضمناً الغضار الجاف،

الثاني – تعين دليل المسامية الثانوي (SPI) في حالة توفر ثلاث قياسات للمسامية ، **الثالث** – المسامية وحجم الماء في المنطقة المغزوة ، وفي المسلك الرابع – نسبة الغضار ونسبة المواد الصلبة والمسامية .



شكل ٥-٣٠ : تمثيل لنتائج حسابات برنامج كوري باند .

٥-٥-٢-٣ نماذج المياه الثنائية : Daul Water Models

اقترح سميث وواكسمان Smith & Waxman في عام 1968 بالاستناد إلى عمل تجريبي ودراسة نظرية ، علاقة للتشبع بالماء بالنسبة للطبقات الغضارية التي تتعلق مقاومتها بقدرة تغير كاتيون الغضار (Cation Exchange Capacity = CEC) . تعطى علاقة واكسمان – سميث على النحو التالي :

$$\frac{1}{R_t}=\frac{S_w^2}{F^*R_w}+\frac{BQ_vS_w}{F^*}$$

٥-٦٧

حيث أن : F^* – عامل التشكيلة المتعلق بالمسامية الفعلية (المتصلة) .

S_w – نسبة التشبع بالماء للمسامات المتصلة فيما بينها .

B – الناقلية المكافئة للغضار الصودي – تغير الكاتيونات تابع لناقلية المياه الطبقية.

Q_v – هي CEC للصخر في وحدة الحجم المسامي .

ولا يمكن توفر قيمة قدرة تغير كاتيون الغضار (CEC) بصورة عملية . ولهذا فإن نوذج المياه الثنائية قد طور كحل عملي .

تستند طريقة المياه الثنائية على ثلاث فرضيات :

١ – إن ناقلية الغضار تابعة لخاصية قدرة تغيرات الشوارد الموجبة CEC .

٢ – إن قيمة CEC للغضاريات النقية تتناسب مع مساحة السطح النوعي للغضار .

٣ – تتجه الشوارد السالبة في المحاليل الملحية نحو سطح الحبيبات الغضارية وتشكل غلافاً طبقياً .

تتناسب ناقلية الغضار مع حجم غلاف طبقة الشوارد التي تبدو ملتصقة بسطح حبيبات الغضار . وبالنسبة للغضار فإن المياه الملتصقة ذات السماكة القليلة جداً تعتبر مهمة جداً بسبب مساحات السطح الكبيرة للغضاريات بالنسبة لحبات الرمل .

ولذلك ، في نموذج المياه الثنائية ، يدخل الغضار في النموذج كأنه مكون من مركبتين ، مياه مرتبطة (ملتصقة) وفلزات غضارية . تعتبر الفلزات الغضارية حاملة كهربائياً، ولهذا فإن الناقلية الكهربائية للغضار ناتجة عن ناقلية المياه المرتبطة Cwb ، وتكون الناقلية مستقلة عن نوعية الغضار ، تتغير كمية المياه المرتبطة طبقاً لنوع الغضار ، فتكون عالية في المونتموريلونيت وأقل بالنسبة للغضاريات الخشنة مثل الكاولينت ، وأيضاً تؤثر درجة الملوحة والحرارة على امتداد الطبقة المائية المغلفة للغضاريات .

والمياه المرتبطة غير قابلة للحركة تحت الشروط العادية ، ولهذا فإن الحجم الذي تحتله لا يمكن إزاحتها منه بوساطة الهيدروكربونات . وبما أن فلزات الغضار تعتبر حاملة كهربائيا ، فيمكن معاملتهم تماماً مثل الفلزات الأخرى المكونة للصخر . وقد تم اعتبار الطبقات الغضارية من المكونات الصلبة في نماذج المياه الثنائية ، كما هو موضح في الجدول (٥-١):

جدول ٥-١ : نموذج المياه الثنائية

المكونات الصلبة			المكونات السائلة		
مادة صخرية Matrix	سيلت Silt	غضار جاف	مياه مرتبطة	مياه حرة	هيدروكربونات
مادة صخرية	غضاريات Shale		مسامية فعالة		
			مسامية كلية Total Porosity		