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		

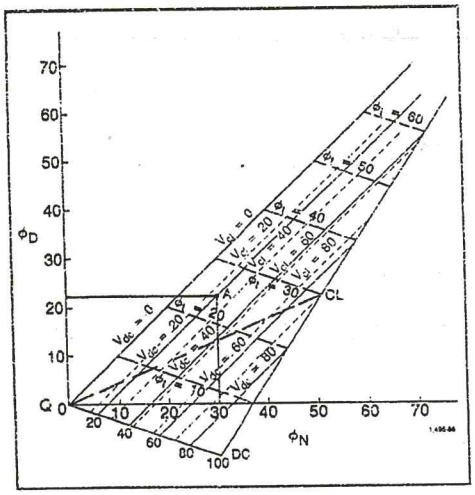
وبالنسبة لأغلب الصخور (ما عدا الفلزات الناقلية مثل البيريت) فإن الجزء المسامي في الصخور نأخذه بالاعتبار عند مناقشة الخصائص الكهربائية ، ويتم التعامل معه طبقاً لمعادلة أرشي للتشبع بالماء . ومن أجل تقويم الطبقة الغضارية باستخدام نموذج المياه الثنائية فإن أربعة معايير يجب أن تعين ، وهم $(R_w)C_w$ ، $(R_{wb})C_{wb}$ ، ϕ_t ، S_{wb} ، تزودنا مخططات رسومات المسامية بقيم جيدة لـ $S_{wb}.\phi_t$ نحصل عليها من القياسات المتأثرة بالغضار (SP , $GR-\phi_N$, R_t , $\rho_b-\phi_N$, ...) . تعين R_{wb} و R_w عادة من تحليل القياسات وتدخل كمعايير أساسية لتعيين نسبة التشبع وفق معادلات نموذج المياه الثنائية .

٥-٥-٢-٣-١ برنامج فولان (Volan) :

يعتبر برنامج فولان عاماً ، حيث يستخدم نموذج المياه الثنائية في حالة تكوين صخري مكون من تعاقب حطامي أو تركيب ليثولوجي كربوناتي .

تستخدم قياسات النيوتروني ، الكثافة ، المقاومية ، لتعيين المسامية ، التشبع بالسوائل ، نوع وكمية الهيدروكربونات ، تحليل للنفوذية وتحليل حجمي للمادة الصخرية الكلية ، نظام السوائل ، وضمناً الغضار والسيلت والمياه المرتبطة . ويمكن استخدام أيضاً قياسات أخرى لتحسين وتوسيع نتائج التفسير .

يعتمد البرنامج في الحل على النموذج الموضح في الجدول (٥-١) وعلى المعادلات الخاصة بنموذج المياه الثنائية (شلمبرجير 1989) . ويستخدم أيضاً المعلومات



شكل ٥-٣١ : المخطط التقاطعي للمسامية - نيترون -كثافة .

المستقاة من مخطط التقاطع البياني كثافة – نيوترون الموضحة في الشكل (٥-٣١) الذي يقدم معلومات عن قيم ϕ_t ، V_{sh} (حجم السيلت) . V_{sL} (حجم الغضار) ، ولضبط أو تدقيق قيمة S_{wb} .

تمثل النقاط الأربع :

المادة الصخرية الكوارتز (Q) ، الماء ، الغضار الجاف (DC) ، الغضار الرطب(CL).

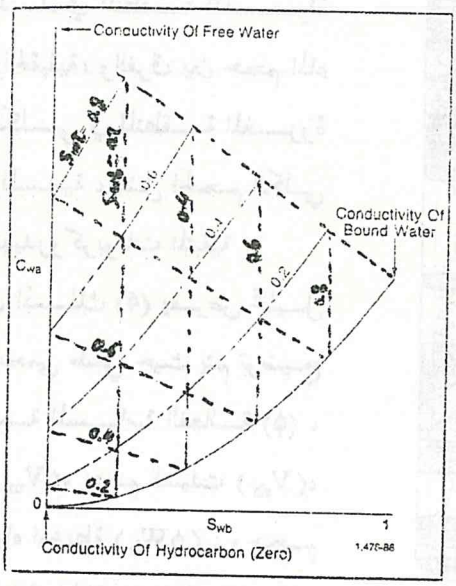
تتوزع خطوط الثابت S_{wb} مروحياً من النقطة Q و $S_{wb}=0\%$ تقع على خط نقطة ماء – Q و $S_{wb}=100\%$ على الخط Q-CL وبالنسبة للتقاطع البياني صوتي – كثافة

$S_{wb}=\frac{V_{Cl}}{V_{dcCl}}$ نحصل على

V_{Cl} ، ϕV_{dcCl} . بطريقة مشابهة للتقاطع البياني كثافة –نيوترون .

وبتعيين قيم التشبع المختلفة (S_w ، S_{wt} ، S_{wb}) يمكن تعيين C_{wa} .

يمثل الشكل (٥-٣٢) العلاقة بين S_{wb} و C_{wa} .وتتيح مقارنة S_{wb} و C_{wa} بمعرفة S_{wt} و S_{wf} (التشبع بالمياه البينية الطبقية) ويعرف التشبع بالهيدروكربونات من العلاقة ($1-S_{wt}$) .



شكل ٥-٣٢ : الرسم التقاطعي بين S_{wb} و S_{wb} المستخدم في برنامج فولان .

يمثل الشكل (٥-٣٣) نتائج برنامج فولان حيث يمكن تتبع النتائج التالية :

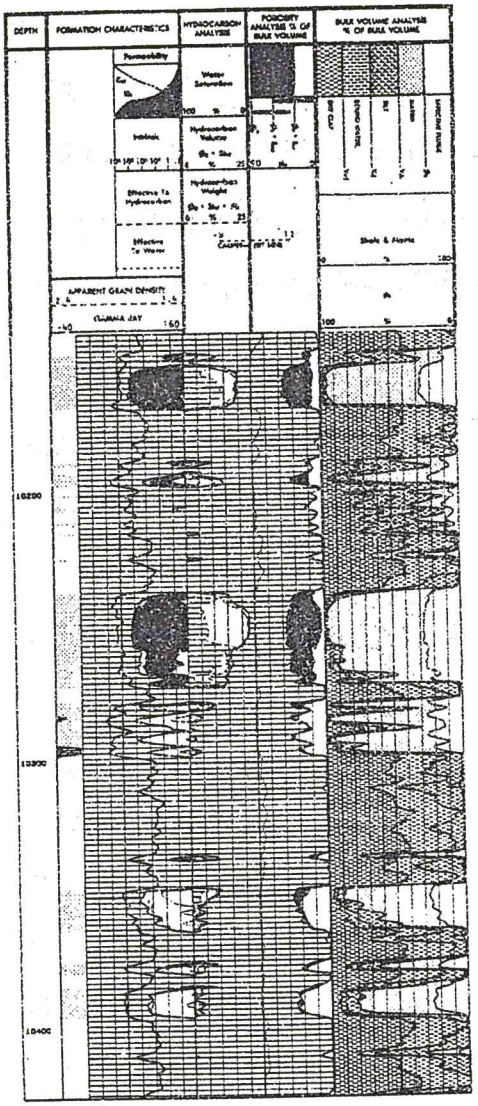
١-في المسلك (1) يتم عرض قياس GR للمقارنة ، الكثافة الظاهرية (ρ_{maa})، وتحاليل النفوذية المطلقة والفعالة للماء وللهيدروكربونات . إذا توفر قياس ليثو–كثافة ، فيوضع في المسلك (1) لبيان الحجم الجزئي للمركبات الفلزية الصخرية .

٢-في المسلك (2)يتم عرض قيم S_w ، ϕS_{hr} ، (ϕS_{hr} , ρ_b) . ويتم معرفة نوع الهيدروكربونات (الكثافة) بعمل المقارنة بين حجم الهيدروكربونات ووزن الهيدروكربونات .

٣-في المسلك 2، 3 (الكاليبر) قطر البئر التفاضلي .

٤-في المسلك (3) المسامية (ϕ) ، (ϕS_{xo}) ، (ϕS_w) . حجم الماء في المنطقة المغسولة والحقيقية، والفرق بين حجم الماء الكلي في المنطقة المغزوة والمسامية ، يمثل الحجم الكلي للهيدروكربونات المتبقية .

٥-في المسلك (4) يعرض تحليل حجمي طبقي حيث يتم توضيح قيمة المسامية الفعالة (ϕ) ، (V_{ma})، حجم السيلت (V_{sh})، المياه المترابطة (ϕW_b) ، وحجم الغضار الجاف (V_{dc}) . وحجم الغضار V_{sh} يحصل عليه بإضافة المياه المترابطة والغضار الجاف . وبالإضافة إلى عرض النتائج النهائية.



شكل ٥-٣٣ : نتائج برنامج فولان لتفسير قياسات بئرية .

يمكن أن يقوم البرنامج برسم منحنيات GR , SP , t , ρ_b من أجل مقارنتها مع

المنحنيات المسجلة الأصلية . ويتم إعادة رسم منحني ρ_b , t بعد حذف تأثير الهيدروكربونات ، من أجل استخدامه في برنامج جيوغرام (Geogram) شكل (٥-٣٥) .

ويقوم كذلك البرنامج بضبط القيم المحسوبة لـ S_{wb} بالاستناد إلى (C_w , N – D,, D – t , GR , SP) ، وأيضاً مقارنة المسامية ϕ_t مع مسامية التقاطع البيانية الأخرى .

٥-٥-٢-٣-٢ برنامج السيبرلوك (Cyberlook) :

يستخدم برنامج السيبرلوك طريقة التفسير المتكامل لمجموعة القياسات البئرية . وهو يستخدم نموذج المياه الثنائية لحساب تأثيرات نسبة الغضار ، والليثولوجيا والهيدروكربونات من أجل تعيين المعايير الخزنية .

تعطى ناقلية الطبقة الخازنة الغضارية الحاملة للماء في نموذج المياه الثنائية بالعلاقة :

$$C_o = \phi_t^2[S_{wb}C_{wb} + (1-S_{wb})C_w]$$

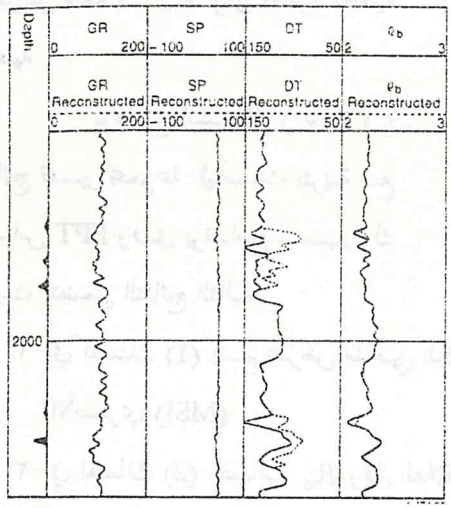
٥-٦٨

وبالتعبير عن العلاقة السابقة بالمقاومية ، تصبح على النحو التالي :

$$R_o = \frac{R_w . R_{wb}}{\phi_t^2[S_{wb}R_w + (1-S_{wb})R_{wb}]}$$

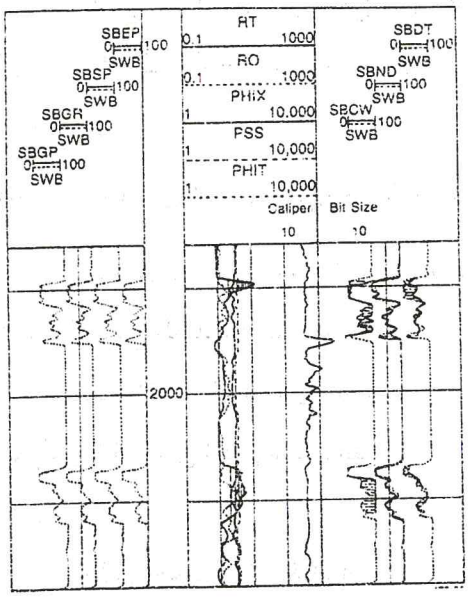
٥-٦٩

يتم الحصول على المسامية الكلية ϕ_t من مخطط التقاطع البياني N-D، S_{wb} يحصل عليها من مؤشرات الغضاريات التقليدية حيث يستخدم برنامج السيبرلوك معطيات الـ SP ، GR والقياس النيوتروني، R_{wb} ، R_w يتم اعتمادها من قبل مهندس الحقل وتدخل كمعايير أولية افتراضية .



شكل ٥-٣٤ : إعادة رسم قياسات بئرية باستخدام برنامج فولان .

يتم عمل مقارنة وبالرسم بين قيمة R_o وقيمة R_t (المأخوذة من قياس مقاومية عميق) ، ويحسب التشبع المائي وفق العلاقة $S_w = \sqrt{R_o / R_t}$. تحسب قيمة مقاومية السائل الظاهرية R_{fa} حسب العلاقة $R_{fa} = R_t . \phi_t^2$ ، ويستخدم المنحني الممثل لقيم R_{fa} من أجل الحصول على R_w للنطاقات الحاملة للماء والنظيفة وعلى R_{wb} للنطاقات الغضارية . وإذا لم يوجد في المقطع المدروس نطاقات نظيفة فتفرض قيمة لـ R_w وفق الخبرة الحقلية المحلية .



شكل ٥-٣٥ : ضبط قياسات الـ S_{wb} المحسوبة وفق برنامج فولان .

يوضح الشكل (٥-٣٦) نتائج تفسير مجموعة قياسات بئرية مع قياس EPT وفق برنامج السيبرلوك حيث يتضمن النتائج التالية :

١-في المسلك (1) يتم عرض منحني الكثافة الحبيبية الظاهرية (ρ_{maa}) ودليل الغضار الأصغري (MSI) .

٢-في المسلك (2) حساب R_o وفق العلاقة الأخيرة مع منحني المقاومية العميق . تتطابق المنحنيات مع بعضها في النطاقات الحاملة للمياه ($R_t > R_o$ في النطاقات الهيدروكربونية) .

٣-في المسلك (3) منحني التشبع المائي (S_w) ، الكاليبر التفاضلي (D_{CAL}) والمسامية الفعالة (ϕ_e) وحجم الماء في المنطقة المغسولة (ϕS_{xo}) وحجم الماء في المنطقة غير المغزوة (ϕS_w) .

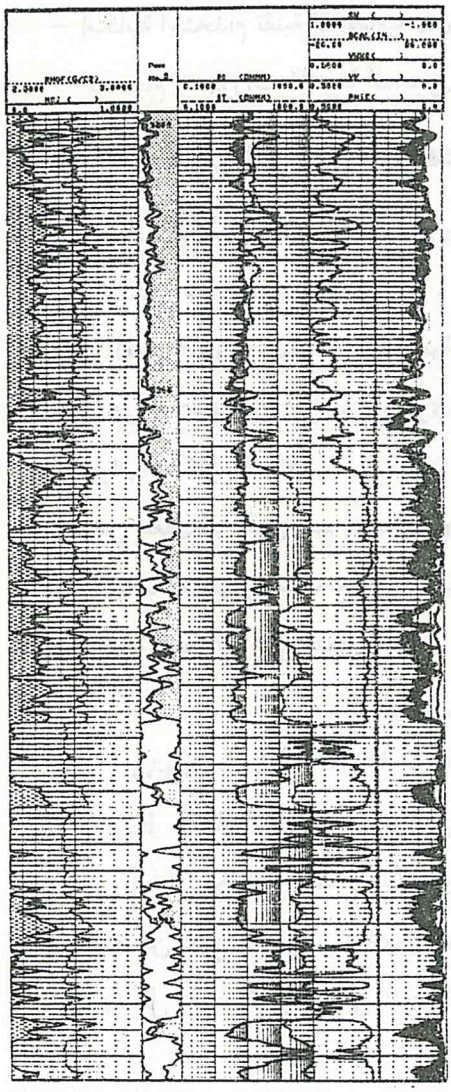
٥-٥-٢-٤ الطريقة الشاملة Global Method :

لقد تم تاريخياً انجاز تفسيرات القياسات الجيوفيزيائية البئرية بأساليب متتابعة من العمليات المنطقية . وبدراسة القياسات يتم تعيين أحد المعايير ، وبعدها الآخر ، والتالي ، وهكذا ، حتى يتم حل المشكلة المطروحة .

وتقوم أغلبية برامج الحاسوب بحل المشكلة خطوة تلو خطوة ، تماماً كما في حالة الأسلوب المتبع عند إجراء التفسيرات اليدوية التقليدية . وقد تم تبني هذا الأسلوب المتبع وتحضير المعلومات بحيث أصبح من السهولة برمجة الحاسوب وفق منهجية هذا الأسلوب .

وهكذا يجب أن يتضمن البرنامج المستخدم في الحاسوب الأهداف التالية :

- استخدام جميع المعلومات المتوفرة : القياسات المسجلة ، نماذج التفسيرات ، الثوابت الفيزيائية والجيولوجية ، المعطيات المحلية .
- أن تكون النتائج النهائية متوافقة مع الاستخدام المثالي لهذه المعطيات .
- أن يتميز البرنامج المستخدم بقدرة على إدخال سهل لقياسات



شكل ٥-٣٦ : نتائج تفسير القياسات البئرية المعيارية مع قياس EPT وذلك باستخدام برنامج السيبرلوك .

جديدة ونماذج تفسير أخرى ، من أجل الحصول على تقييم ووصف أفضل للمشاكل المطروحة .

- قدرة على تدقيق وضبط نوعي لنتائج التفسير .
- إمكانية استخدام تقنية تقاطعات بيانية ذات n بعد بدلاً عن بعدين .
- استخدام التصورات المحتملة للحصول على الحلول الأكثر احتمالاً .

٥-٥-٢-٤-١ برنامج الغلوبال (Global) :

لقد تم تصميم برنامج الغلوبال وفق المفاهيم السابقة . يستخدم البرنامج النموذج المركب المستقل مع مجموعة القياسات . كذلك يستخدم نموذج الأخطاء المتعلقة بأجهزة القياس والمعايير البتروفيزيائية مثل المسامية - الليثولوجيا والتشبع بالسوائل . يعتمد برنامج الغلوبال على استخدام الأسلوب الأصغري للوصول إلى الحل ذو الخطأ الأصغري ، وهذا الحل يعتبر الجواب الأكثر احتمالاً .

تتضمن المعطيات التي يتم إدخالها ببرنامج الغلوبال بالنسبة لمجال أو عمق معين جميع القياسات المتوفرة مصححة من تأثير الأوساط المجاورة أو شروط القياسات . يمكن كتابة المعطيات على النحو التالي :

$$a=(\rho_b\ ,\ \phi_N\ ,\ t\ ,\ R_{xo}\ ,\ R_t\ ,\ GR\ ,\ SP\ ,\ etc.....)$$

ويتم إدخال أيضاً بمجموعة من المعايير الخاصة بالطبقات أو النطاقات المدروسة مثل R_w ، R_{mf} ، معايير الغضار ، ..... الخ .

أما النتائج التي نحصل عليها أو المجاهيل المطلوب معرفتها بالنسبة لمجال أو عمق معين، فتتضمن جميع الخصائص البتروفيزيائية مثل ϕ ، S_{xo} ، S_w .... الخ . والتي أيضاً يمكن كتابتها بشكل ملاحظة مرتبة على النحو التالي :

$$\chi=(\phi\ ,\ S_{xo}\ ,\ S_w\ ,\ V_{sh}\ ,\ \rho_{ma}\ ,\ .....etc)$$

والعلاقة بين المعطيات المدخلة والنتائج الخارجة ، يمكن التعبير عنها بمجموعة معادلات تصف استجابات السوابر وذلك بمعدل معادلة لكل سابرة ، وللمثال : علاقة الكثافة يعبر عنها بالشكل :

$$\rho_b=\phi S_{xo}\rho_{mf}+\phi(-S_{xo})\rho_h+V_{sh}\rho_{sh}+.....$$

وبشكل عام ، يمكن كتابة معادلات استجابة السوابر على النحو التالي :

$$a_1 = f_1(\chi)$$
$$a_2 = f_2(\chi)$$
$$\vdots$$

حيث أن a أو (a_1 ، a_2 ، ....) مجموعة من الإدخالات عند مستوى معين ، و f_i تابع استجابة السابرة الذي يمكن أن يعتمد على متغيرات غير .... ، χ_2 ، χ_1 الخ ، وهذه المتغيرات مثل ρ_{ma} ، ρ_{mf} ، التي تخص نطاقات طبقية والتي يفترض أن تكون ثابتة داخل نطاق معين مدروس ، وتعين بالعادة مسبقاً عند تطبيق برنامج الغلوبال .

وبحل المعادلات المذكورة أعلاه ، يتم إيجاد الحلول التفسيرية . ودائماً يجب أن يؤكد أو يكمل الحل بتأكيد وضبط أو تدقيق النتائج السائدة والمرجحة لقيم بعض المعايير . مثل :

- المعيار الفيزيائي المحض ، مثل $0 \le \phi \le 1,0$ ، $0 \le S_w \le 1,0$ ، $0 \le V_{sh} \le 1$.
- المعيار الفيزيائي النوعي ، مثلاً في الكربونات $2,70 < \rho_m < 2,88$ وأن $S_w \le S_{xo}$.
- مجموعة المعايير المفروضة التي تحدد الحلول أو النتائج بالعلاقة مع القياسات المستخدمة .
- غرض أو هدف معرفة مجموعة معايير من خلال تحليل القياسات (مثال : المسامية الأعظمية ، التشبع بالماء الأصغري ..... الخ) .

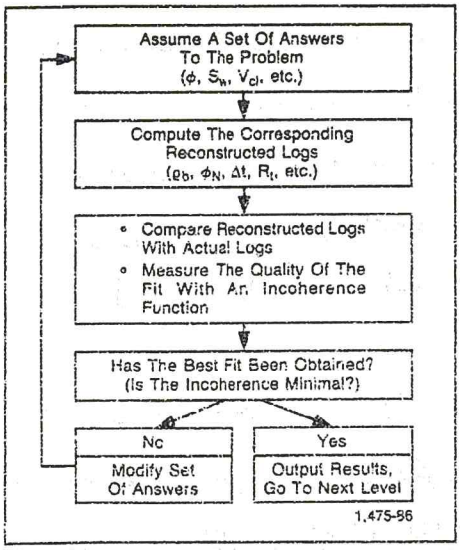
وفي الواقع ، يجب أن يكون البرنامج ذو نظام أكثر تعييناً ، أي يجب أن تكون المعادلات أكثر من المجاهيل . وحيث أنه لا يوجد حل دقيق لنظام متعدد الحلول ، فإن برنامج الغلوبال يبحث عن الحل الأكثر احتمالاً ، الذي يفترض أن يتوافق تماماً مع الحقيقة التي تفرض أن معادلات استجابات السوابر هي تقريبية للحقيقة الفيزيائية وأن القياسات خاضعة للأخطاء.

يوضح الشكل (٥-٣٧) تسلسل خطوات العمليات الحسابية المستخدمة في برنامج الغلوبال .

الخطوة الأولى : تتضمن مجموعة من الأحوبة الموافقة لمعايير الطبقة المطلوب دراستها . يعتمد تحديد هذه المجموعة من الأحوبة على اختيار نموذج تفسير القياس .

الخطوة الثانية : والمدعوة بإعادة بناء أو حساب القياسات التي تؤخذ من مجموعة الأحوبة المرتبطة بمعادلات استجابات السوابر .

الخطوة الثالثة : يتم في هذه الخطوة مقارنة القياسات المحصول عليها خلال المرحلة الثانية بالقياسات الفعلية ، حيث يتم استخدام تابع غير ترابطي لقيس نوعية التطابق (الملاءمة) بين المجموعتين من القياسات ويتم متابعة العملية الحسابية حتى يتم الحصول على عدم ترابط أصغري .



شكل ٥-٣٧ : مخطط خطوات تسلسل الحسابات المستخدمة في برنامج غلوبال .

يوضح الشكل (٥-٣٨) مثال عن نتائج حسابات برنامج الغلوبال ، حيث يعين قيم معايير الطبقة المدروسة مع مجموعة من المنحنيات المفيدة لضبط النوعية.

تتيح المقارنة بين المنحنيات المحسوبة والمنحنيات الفعلية المسجلة ، إمكانية تقدير دقة الحسابات ، وكذلك دراسة الانحراف المعياري الثابت للقياس مع أحوبة المعادلات لاستجابة أجهزة القياس ، الذي يلاحظ من خلال المساحة الظلية حول القياس الفعلي ، والذي يمكن اعتباره كمساحة دقة أو ثقة حيث يجب أن يقع القياس المحسوب داخل هذه المسامية إذا كانت معادلة الاستجابة ضمن الاحتمال .

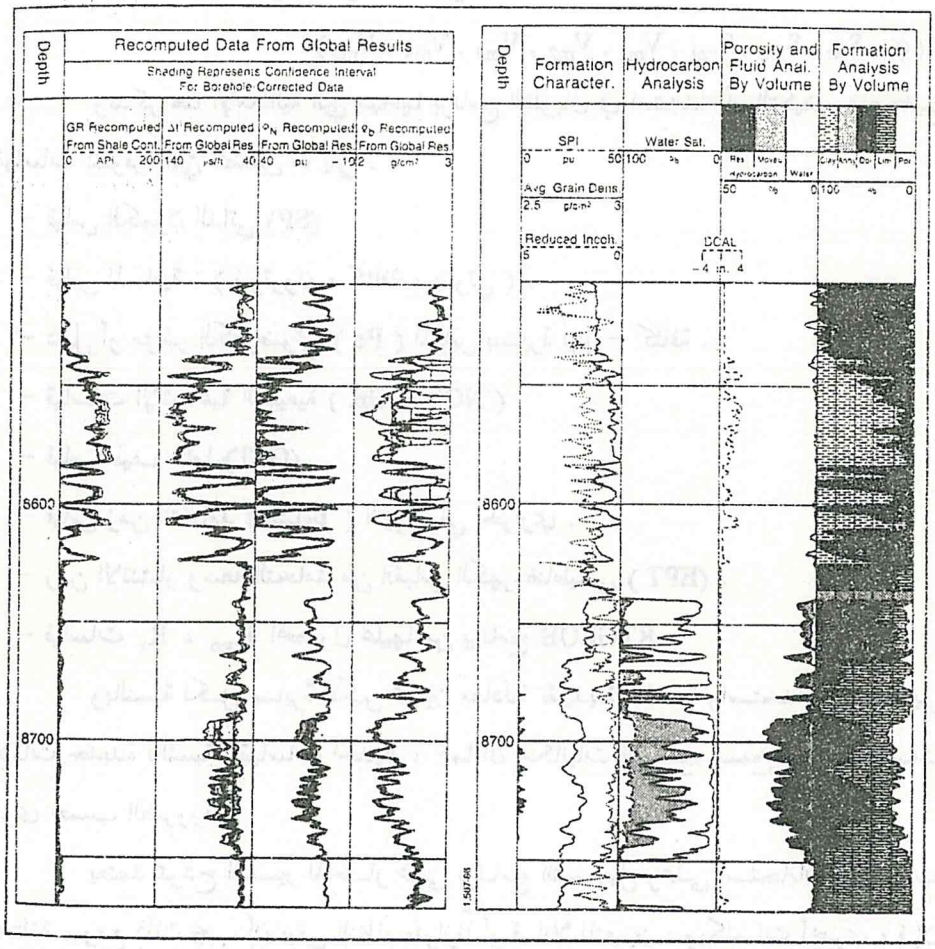
يوضح الشكل (٥-٣٨) بوضوح تأثيرات عدم انتظامية حفرة البئر على قياس الكثافة ، حيث يلاحظ عدم الدقة في ρ_b على طول المجال A وكذلك فإن قياس الكثافة المحسوب يقع داخل المساحة الظلية الموافقة .

لقد طورت ثلاث نماذج من برامج غلوبال من أجل تفسير متكامل للقياسات الجيوفيزيائية المتعددة وهي :

- RT GLOB (Rt غلوبال) ويتم حساب قيم R_t , R_{xo} , di من جميع قياسات المقاومية المتوفرة .

- RIG (التفسير الخزني لبرنامج الغلوبال) مع برنامج تقويم خزني كامل وحساب المسامية والتشبع بالماء .... الخ .

- DWRIG (التفسير الخزني لنموذج المياه الثنائية بواسطة برنامج غلوبال) .



شكل ٥-٣٨ : نتائج برنامج الغلوبال مع بعض المنحنيات المحسوبة لبعض المعايير المقاسة .

يستخدم برنامج التقويم الخزني ونموذج المياه الثنائية لتعيين نسبة التشبع .

تتضمن نماذج برامج التفسير المتوفرة في الوقت الحاضر :

- نموذج متعدد الفلزات يتعلق بست فلزات مختلفة بالإضافة إلى مجموعة من المجاهيل وهي :

. (ϕ_e , V_{sh} , S_{xo} , V_{m1} , V_{m2} , V_{m3} , V_{m4} , V_{m5})

- نماذج الرمل الغضاري أو ثنائية الفلز وهي حالات بسيطة لنموذج متعدد الفلزات .
- نماذج المياه الثنائية ، ويفضل استخدامه من أجل تعيين التشبع بالماء في الطبقات الخازنة الغضارية ، حيث تكون مجموعة المجاهيل :

. (ϕ_t , S_{wt} , S_{wb} , S_{xot} , V_{m1} , V_{m2} , V_{m3} , V_{m4} , V_{m5})

ونذكر هنا الإمكانية التي يتيحها برنامج الغلوبال في استخدام أو التكيف مع جميع القياسات المتوفرة التي تتضمن ما يلي :

- قياس الكمون الذاتي (SP) .
- قياس المسامية : (نيوترون ، كثافة ، صوتي) .
- دليل أو مؤشر الكهرضوئي (Pe) المقاس بسابرة ليثو - كثافة .
- قياسات الإشعاعية الطبيعية (NGS - GR) .
- قياس طيف غاما (GST) .
- قياس زمن التخامد (التباطؤ) النيوتروني الحراري .
- زمن الانتشار وسعة التخامد من القياس الكهرمغناطيسي (EPT) .
- قياسات R_t ، R_{xo} المحصول عليها من برنامج RTGLOB .

وبالنسبة لكل سابرة يمكن تعيين معادلة تقليدية مناسبة واستخدامها أو تطوير علاقات جديدة بالنسبة للقياسات الحديثة ، كما أن إمكانيات البرنامج تسمح بإضافة قياسات أخرى حسب الضرورة .

يعتمد نموذج التفسير المختار على برنامج التسجيل وعلى استجابات القياسات المختلفة ، ومع ذلك يجب أن يبقى النظام متوازناً أو قابلاً للتعيين ، وبكلمات أخرى ، فإن عدد القياسات المدخلة يجب أن لا تكون أقل من عدد المجاهيل .

****