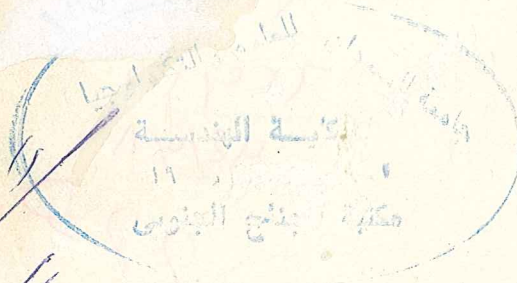


٤/١٥
ع

٣



٥

تَلْيَا تَسْجِيلِ الْآبَارِ
بِالْمَكَلَنِ الْبُتُولِيَّةِ وَالْغَايَةِ

Sudan University of Science
And Technology
Library

ACC
No.

11971

GL,
No.

700/10

Date

28/07/11

2.2.9

1097

UK

mor

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد

تحليلات تسجيل الآبار

لنقايء المكائ البترولفة والغافة

للصفوف الثالثة قسم هندسة النفط

اعداه

انطوان مهراان اففءفسكان

مدرس

قسم هندسة النفط / كلية الهندسة

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
 عمادة شؤون المكتبات
 قسم التزويد
 الرقم التسلسلي: ١٠١٨٤٩
 المصنف: إعادة تسجيل
 السعر:
 المكتبة: المكتبة
 التاريخ: ١١/١١/٢٠٠٤

رسالة الماجستير
 في
 التاريخ

من
 السيد
 الأستاذ

السيد

السيد

السيد

السيد

السيد

27 SEP 1995

الأهـدائـة

أهدي كتابي إلى رنجتي وأطفالي مع التحية



Contents

المحتويات

المقدمة الصفحة

(1) الفصل الاول ١٣

الخواص الاساسية للصخور . (Basic rock properties)

(2) الفصل الثاني ٥٣

الخواص الفيزيائية للصخور (Petrophysics)

(3) الفصل الثالث ١٠٥

تسجيل الجهد التلقائي (الطبيعي)
(SP log)

(4) الفصل الرابع ١٤٩

تسجيلات المقاومة النوعية المألوفة
(Conventional resistivity logs)

(5) الفصل الخامس ١٨٧

تسجيل الحث (log Induction)

(6) الفصل السادس ٢٣٧

تسجيل المقاومة النوعية الموجهة (نوع Laterolog)

٢٦٩

(7) الفصل السابع

تسجيل السرعة (الصوت)
(Sonic log)

٣٠٧

(8) الفصل الثامن

تسجيل الكثافة (Density log)

٣٢٩

(9) الفصل التاسع

تسجيل النيوترون (Neutron log)

٣٧٧

(10) الفصل العاشر

تسجيل زمن تلاشي النيوترونات
(TDT log)

٤١٧

(11) الفصل الحادي عشر

تسجيل تماسك الاسمنت (CBL log)

٤٣٣

(12) الفصل الثاني عشر

الطرق السريعة للكشف عن هيدروكربونات
(quick methods in hydrocarbon detection)

٥٣١

(13) الفصل الثالث عشر

تحليل المكامن الطفلية
(Analysis of shaly reservoirs)

٥٧١

(14) الفصل الرابع عشر

تحليل تسجيلات الآبار بواسطة الكمبيوتر
(Computer analysis of logs)

اكتشاف الشقوق بواسطة تسجيل الآبار
(Fracture detection by logs)

٦٥٥

الرموز والمختصرات

٦٦٦

المصادر

٦٧٧

جداول الصفات الفيزيائية والكيميائية لبعض
الصخور والمعادن

٦٨٤

جداول تحليل الوحدات

المقدمة

كتاب تحليلات تسجيل القياسات البئرية يعتبر مادة اساسية لطلبة قسم هندسة النفط ومفيد لجميع الاختصاصيين في حقل هندسة النفط والاستكشاف والحفر . يشمل الكتاب على العديد من الامثلة والمسائل الحقلية في هذا الاختصاص . ويشمل كذلك على تحليلات المسائل عن طريق الميكروكومبيوتر (PDC/4100) . بالاضافة الى ما ذكر ، يشمل الكتاب على وصف مختصر للأجهزة المختلفة التي تستخدم في القياسات الحقلية لمسح الآبار ، المخططات البيانية التي تستعمل لتصحيح القياسات المختلفة وحل المسائل بصورة سريعة ، قد اضيفت الى الفصول المتعددة . يساعد هذا الكتاب ايضاً محلي جس الآبار لتقييم المكامن البترولية والغازية وذلك بالامثلة المختلفة المحولة والطرق الحديثة غير المألوفة . أمل في النهاية أن يكون هذا الجهد المتواضع مفيداً لدى اختصاصي محلي تسجيل جس الآبار (Well log analysis) وجميع الاختصاصيين في حقل البترول . اقدم شكري الى ادارة كلية الهندسة في جامعة بغداد والى الست أميرة سعيد عبدالله التي ابدت مساعدة مشكورة والى جميع من ساعدوا في أنجاز هذا الكتاب .

وشكراً

المؤلف

الأستاذ انطوان مهران افيديسان

مدرس في قسم هندسة النفط

كلية الهندسة / جامعة بغداد

المقدمة

كتاب تحليلات تسجيل القياسات البئرية يعتبر مادة اساسية لطلبة قسم هندسة النفط ومفيد لجميع الاختصاصيين في حقل هندسة النفط والاستكشاف والحفر . يشمل الكتاب على العديد من الامثلة والمسائل الحقلية في هذا الاختصاص . ويشمل كذلك على تحليلات المسائل عن طريق الميكروكومبيوتر (PDC/4100) . بالاضافة الى ما ذكر ، يشمل الكتاب على وصف مختصر للأجهزة المختلفة التي تستخدم في القياسات الحقلية لمسح الآبار ، المخططات البيانية التي تستعمل لتصحيح القياسات المختلفة وحل المسائل بصورة سريعة ، قد اضيفت الى الفصول المتعددة . يساعد هذا الكتاب ايضاً محلي جس الآبار لتقييم المكامن البترولية والغازية وذلك بالامثلة المختلفة المحلولة والطرق الحديثة غير المألوفة . أمل في النهاية أن يكون هذا الجهد المتواضع مفيداً لدى أختصاصي محلي تسجيل جس الآبار (Well log analysis) وجميع الاختصاصيين في حقل البترول . اقدم شكري الى ادارة كلية الهندسة في جامعة بغداد والى الست أميرة سعيد عبدالله التي ابدت مساعدة مشكورة والى جميع من ساعدوا في أنجاز هذا الكتاب .

وشكراً

المؤلف

الأستاذ انطوان مهران افيديسيان

مدرس في قسم هندسة النفط

كلية الهندسة/ جامعة بغداد

الفصل الأول

الخواص الأساسية للصخور

(Basic rock Properties)

يستعمل تسجيل جس الابار (well log) لقياس الخواص الفيزيائية والكيميائية للصخور وبصورة خاصة خواص الصخور الرسوبية في الحقول البترولية .

تجرى القياسات بواسطة اجهزة خاصة تنزل داخل الآبار وتنقل البيانات أو القياسات الى جهاز التسجيل الموجود على سطح البئر بواسطة اسلاك معزولة .

البيانات أو القياسات تمثل على شكل تخطيط أو تسجيل بياني مع العمق يسجل الجس من خلال عملية رفع الجهاز الخاص من قاع البئر الى السطح .

قياسات مختلفة تجري حسب الاهمية من الناحية الاستكشافية للهيدروكربونات أو حسابات الاحتياط الموجود داخل المكنن النفطي أو الغازي Oil or gas reserve أو قياسات معينة تجري لدراسة المشاكل الانتاجية أو دراسة حالة التسميت داخل الآبار المبطنة وغيرها من القياسات المهمة .

الهدف من هذا الكتاب هو بيان الطرق المختلفة المستعملة في تحليل ودراسة تسجيل جس الآبار للحصول على خواص الصخور المكننية اي ايجاد طاقة انتاجية هذه الصخور (المسامية أو porosity) للموائع وايجاد النسب الحجمية لهذه الموائع

داخل المسامات (درجة التشبع Saturation) وإيجاد أو تقدير امكانية هذه الصخور لانتاج النفط أو الغاز (النفاذية Permeability) .

خواص الصخور (Rock Properties)

تصنف الصخور الرسوبية ذات الاهمية في تجميع الهيدروكربونات حسب التكوين المعدني الى صخور رملية تتكون من معدن الكوارتز او (SiO_2) بنسبة عالية مع نسب أخرى من معدن الفلسبار (felspar) أو معادن ثقيلة (heavy minerals) مثل (zircon) أو أكسيد الحديد (hematite) ومعادن أسمنتية وغيرها . هذه الصخور تكون نسبة كبيرة من المكامن النفطية والغازية في العالم ولها صفات مميزة في تسجيل الآبار . الصخور الكلسية الكربوناتية (carbonates) أيضاً تكون نسبة عالية من المكامن النفطية والغازية وتتكون من معدن الكلسيت (calcite) بنسبة عالية ولها صفات تميزها عن الصخور الرملية ولكنها لا تختلف عن الصخور الطباشيرية (chalk) في تسجيل الآبار بصورة عامة . أيضاً تختلف صخور الدولومايت (dolomite) عن الصخور الكلسية الكثيفة في تسجيل جس الآبار . اما صخور الطفل (shales) أو الطينية (clays) فهي تختلف تماماً عن الصخور المكمية المذكورة في تسجيل الآبار ويمكن تمييزها بسهولة .

(١) تأثير المعادن الطينية على المكامن المختلفة :

صخور الطفل (shales) تحتوي على معادن طينية (clay minerals) وبنسبة كبيرة على معدن (illite) حيث تكون تقريباً (59%) من الصخرة وعلى معدن الكوارتز (quartz) و (chert) (20%) وعلى معدن الفلسبار (8%) والكربونات (7% carbonates) وأكاسيد الحديد (3%) ومواد عضوية وغيرها (3%) .

لا يؤثر وجود المعادن الطينية داخل الصخور المكمية الفتاتية (clastic reservoirs) على قياسات تسجيل الآبار المختلفة فقط بل على الصفات الانتاجية للمكامن أيضاً . تؤثر الانواع المختلفة من المعادن الطينية وطرق توزيعها داخل المسامات على الصفات المكمية بشكل مختلف ، معدن المونتوريلونايت (montmorillonite) أو المونترونايت اذا وجد داخل الصخور المكمية فإنه يؤثر على تقليل نسبة المسامية ونفاذية هذه الصخور بدرجة كبيرة ، المعادن الطينية الاخرى مثل (illite) و (chlorite) تؤثر على تقليل مسامية ونفاذية الصخور المكمية ولكن بدرجة أقل ، معدن (kaolinite) أيضاً وجوده داخل الصخور المكمية يقلل من المسامية والنفاذية ولكن بدرجة أقل .

٧

توزيع المعادن الطينية داخل المسامات بأشكال مختلفة يؤثر على المسامية الفعالة (effective-porosity) أي المسامية التي تكون مجرى للموائع المختلفة وهي أقل من المسامية المطلقة (absolute porosity) للصخرة . توزيع هذه المعادن يكون داخل مسامات الممكن على الاشكال التالية : -

- | | |
|--------------|------------|
| (dispersed) | (١) مشتت |
| (structural) | (٢) تركيبي |
| (Laminated) | (٣) صفائحي |

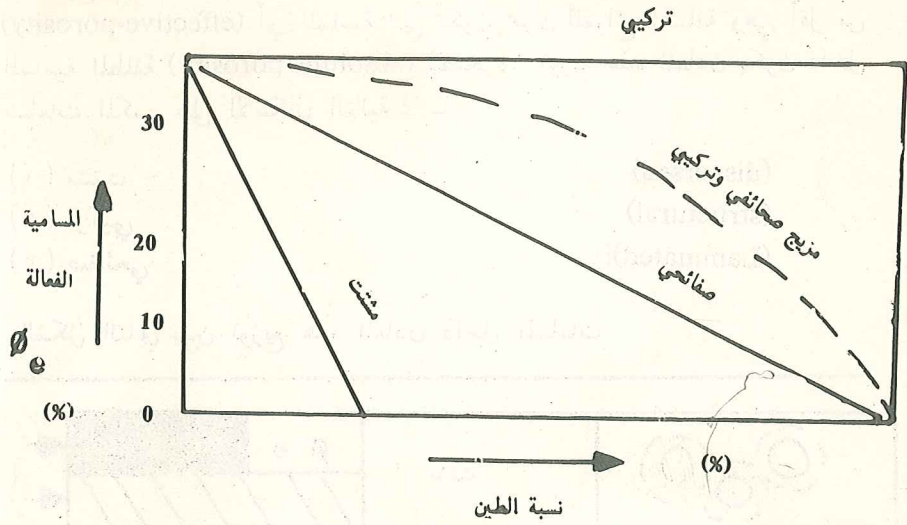
الشكل التالي يبين توزيع هذه المعادن داخل المسامات

	مشتت	ϕ_e	
		ϕ_e	
	صفائحي	ϕ_e	
		ϕ_e	
	تركيبي	ϕ_e	
		ϕ_e	

(شكل 1-1) نموذج لتوزيع المعادن الطينية داخل الصخور الكمنية الفتاتية (Clastic reservoirs) .

ممكن بيان تأثير نسبة المعادن الطينية واختلاف اشكال توزيعها داخل المسامات على مسامية الصخرة الكمنية بالشكل (2-1) :-

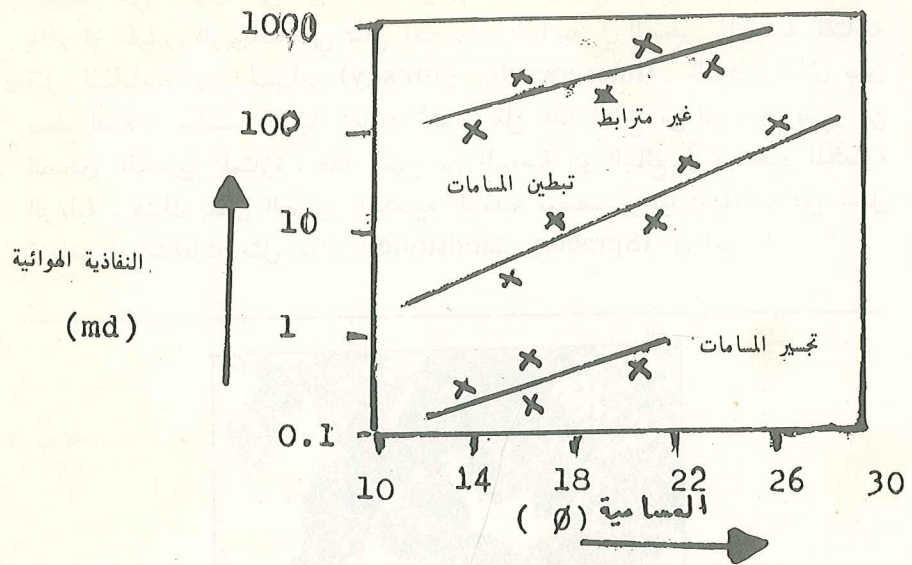
النوع الاول لا يؤدي الى التقليل في نفاذية او مسامية الصخور الكمنية مثل الانواع الاخرى . الشكل التالي يبين تأثير هذه الانواع من توزيع او انتشار المعادن الطينية داخل المسامات على نفاذية ومسامية الصخور الكمنية : -



شكل (1-2) تأثير نسبة الطين على المسامية الفعالة للمكمن

- للمعادن الطينية التي تكون داخل المسامات على شكل مشمت ممكن أن تكون
- (١) غير متقطعة (discrete)
 - (٢) او مترابطة وتغطي الحبيبات الرملية او تبطن سطح المسامات (Coating grains or lining the pores)
 - (٣) او تسد المسامات من طريق التجسير (pore-bridging)
- اذن نلاحظ من شكل (1-3) ان النموذج الذي يحتوي على مسامية معينة ممكن أن يحتوي على قيم مختلفة من النفاذية حسب توزيع المعادن الطينية او انتشارها داخل المسامات .

وجود المعادن الطينية أيضا يؤثر على المقاومة النوعية (resistivity) للصخور الكمونية حيث تؤدي الى زيادة درجة التوصيل للكهربائية لهذه الصخور وهذه القياسات تؤدي الى خطأ في حسابات درجات التشبع بالماء في المكامن التي تحتوي على نسب مختلفة من المعادن الطينية وهناك معادلات مطوره لمعادلة (Archie) تأخذ بنظر الاعتبار تأثير هذه المعادن على درجة التشبع بالماء مثل معادلة (هل وملبورن Hill and Milburn) (1956) ومعادلة وكسمن وسميث (Waxman and Smits) (1968) ووكسمان وتوماس (Waxman and Thomas) (1974)



شكل (1-3) تأثير الانواع المختلفة من تشتت المعادن الطينية داخل المسامات على المسامية والنفاذية .

(٢) المسامية (porosity)

صفة من الصفات البتروفيزيائية المهمة في الصخور المكنية وعن طريقها يقدر احتياط البترول او الغاز داخل المكامن . المسامية تمثل نسبة الحجم المملوء من الصخرة بالمائع الى الحجم الكلي او نسبة حجم المسامات للنموذج الى حجم النموذج الكلي .
المسامية تساوي

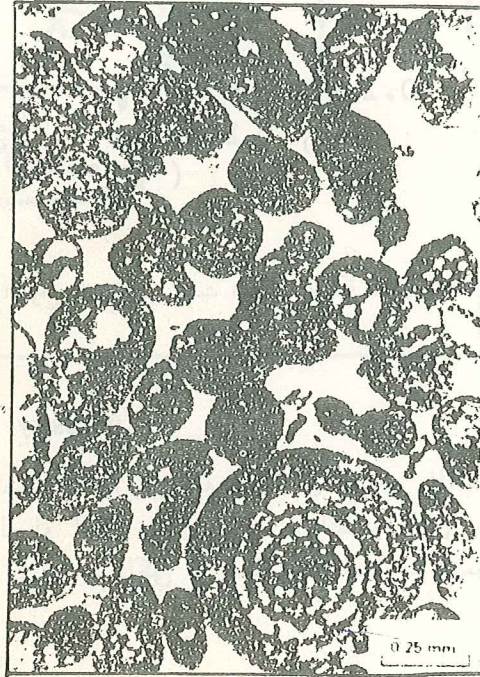
$$\phi = \frac{P.V.}{B.V.} \times 100 \quad \dots (1-1)$$

- حيث

- P.V. - حجم المسامات (سم^٣)
- B.V. - الحجم الكلي للنموذج (سم^٣)
- ϕ - المسامية (نسبة مئوية)

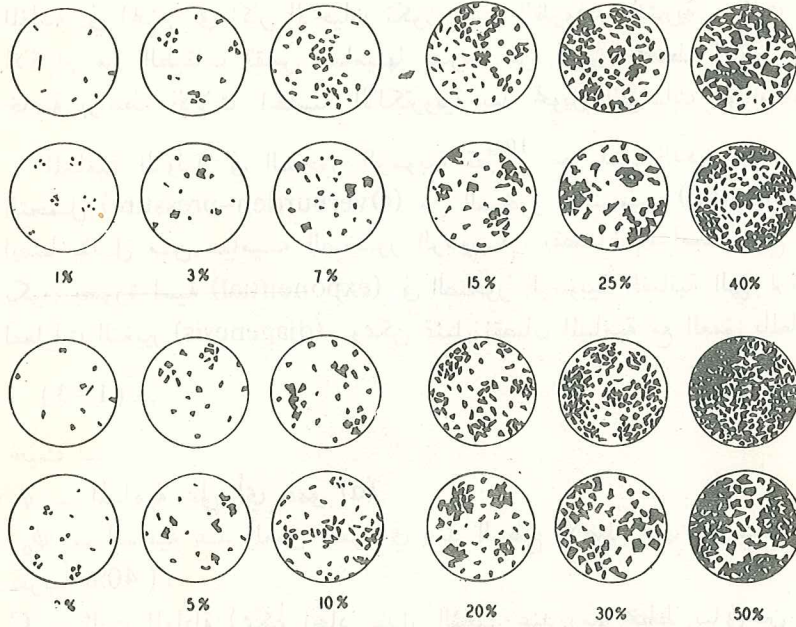
هذه المسامية المحسوبة تسمى المسامية المطلقة (absolute porosity) أو الكلية للنموذج . اما المسامية الفعالة (ϕ effective porosity) فهي تمثل المسامية

الحقيقة التي تحتوي على المسامات المترابطة (interconnected pores) المشبعة بالماء او الهيدروكربونات التي ممكن انتاجها ، المسامية في الصخور المكمية الفتاتية تمثل المسامات بين الحبيبات (intergranular porosity) . الشكل التالي يبين مقطع لصخرة مكمية كلسية شعابية تحتوي على هذا النوع من المسامية، تعتبر من الصخور المكمية الممتازة . هذا النوع من المسامية هو الشائع في الصخور المكمية الرملية ، هناك بعض الصخور المكمية الرملية تتصف بوجود مسامات على شكل قنوات او تشققات مثل مكن (Sprabery sandstone) في امريكا .



شكل (1-4) مقطع تحت المجهر لصخرة مكمية كلسية تحتوي على مسامية نوع (Intergranular) المسامية بين الحبيبات .

المسامات التي تتكون خلال عملية الترسيب تسمى المسامية الاولية او الاصلية (Primary or original porosity) . ممكن ³ حساب المسامية بواسطة المقارنة مع مخططات مرسومة تبين فيها مساحة المسامات بالنسبة للمساحة الكلية لكل نموذج . يجب اخذ مقاطع من الصخور الرملية وفحصها تحت المجهر ومقارنتها مع المخطط لتقدير نسبة المسامية . الشكل التالي يبين المخطط المستعمل لتقدير المسامية .



شكل (1-5) مخطط لتقدير المسامية بالمقارنة

هذا المخطط مبني على اساس ان المسامية السطحية مساوية للمسامية الحجمية .
 هناك طرق عديدة مختبرية لقياس المسامية من لباب الصخور او فتات الصخور
 المستخرجة من الابار . طريقة قياس الكثافة هي احدى الطرق لحساب
 المسامية : -

$$\phi = \frac{GD - BD}{GD} \times 100 \quad \dots (1-2)$$

حيث

GD - كثافة الحبيبات (غم / سم³)

BD - الكثافة الكلية للنموذج (غم / سم³)

ϕ - المسامية (نسبة مئوية)

المسامية ايضا تقاس عن طريق تسجيل الابار (well-log) وسوف يأتي ذكرها في الفصول الأخرى . المسامية المقاسة عن طريق تسجيل الابار اسرع من الطرق المختبرية وتمثل المسامية داخل المكمن او تحت الظروف المكنية بينما المسامية المقاسة في المختبر في اكثر الاحيان تكون تحت الظروف المختبرية . مئات والاف الاقدام من الطبقات تقاس مساميتها بسرعة من طريق مخطط الابار وبصورة خاصة بواسطة الآلات الحاسبة الالكترونية بعد تحويل القياسات الى مسامية .

المسامية الاولية في الصخور الرسوبية تقل¹⁰ مع عمق الدفن بسبب ضغط التحميل (Overburden-pressure) من الصخور ، التسميت (Cementation) ايضا يقلل من مسامية الصخور الرسوبية . نقصان المسامية مع العمق يكون بصورة اسية (exponential) في الصخور الرسوبية الفتاتية التي لم تتعرض لعمليات التغير (diagenesis) . ويمكن تمثيل نقصان المسامية مع العمق بالمعادلة -

$$\phi = \phi_0 e^{-cd} \quad \dots (1-3)$$

حيث -

ϕ - المسامية على أي عمق (d)

ϕ_0 - المسامية عند العمق صفر أي عند السطح الاصلي عند الترسيب (تساوي تقريبا 40%) .

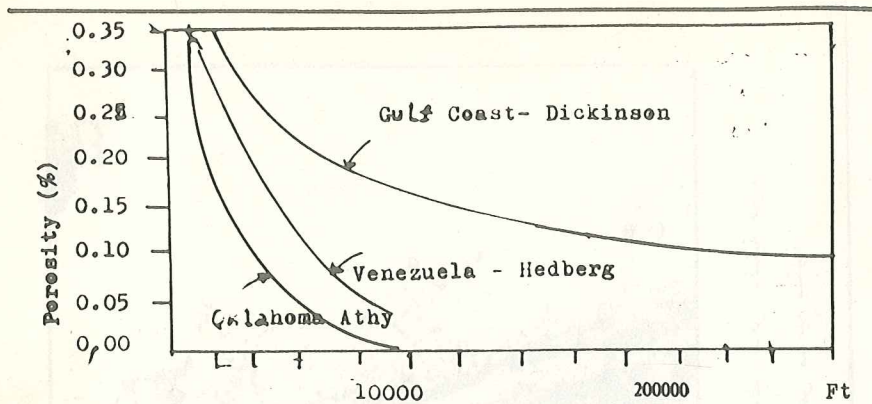
C - ثابت المعادلة (يمكن ايجاد مقدار الثابت عند رسم مخطط بياني بين المسامية والعمق على مقياس (نصف لوغريتمي) .

الشكل التالي يبين اختلاف المسامية مع العمق لمناطق مختلفة من الاحواض الرسوبية

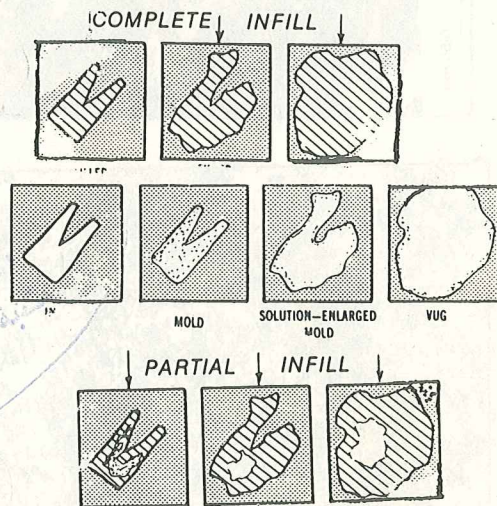
اعلى قيمة للمسامية في الصخور الرسوبية تساوي تقريبا (40%) واقل قيمة تساوي (0%) .

تتعرض المسامية الاولية للصخور المكنية لعمليات التغير او التحول خلال تكونها عند الترسيب وبعد الترسيب . هذه العمليات تشمل : -

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| ١ - عمليات الانضغاط | (Compaction) |
| ٢ - عمليات التسميت | (Cementation) |
| ٣ - عمليات الانحلال او الذوبان | (Solution) |
| ٤ - عمليات إعادة التبلور | (Recrystallization) |
| ٥ - عمليات الاحلال او الاستبدال | (Replacement) |
| ٦ - عمليات التشقق | (Fracturing) |



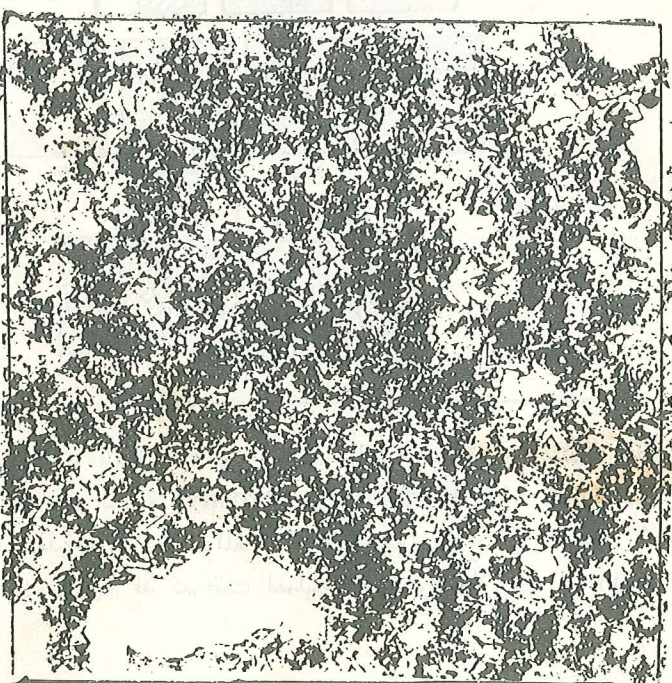
شكل (1-6) رسم بياني لتغير المسامية مع العمق



تساعد بعض هذه العمليات على زيادة مسامية الصخور المكنية وذلك عن طريق تكوين مسامية ثانوية (Secondary porosity) مثل عمليات الانحلال والاستبدال او عمليات التشقق. المقاطع التالية تبين نماذج من الصخور المكنية المنتجة في حقول بترولية قد تعرضت لعمليات التشقق والانحلال او الذوبان.



شكل (1-8) مقطع لصخرة مكمنية جيرية
تحتوي على مسامية متكثفة.

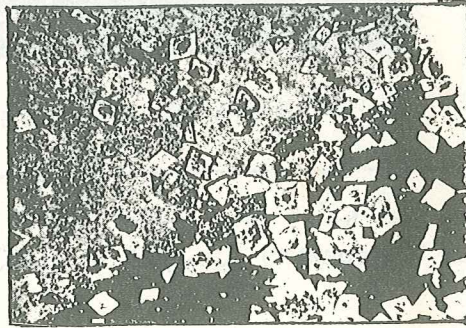


شكل (1-7) مقطع لصخرة مكمنية من الدولومايت دقيق
التبلور تحتوي على مسامية متكثفة (Vugular porosity).

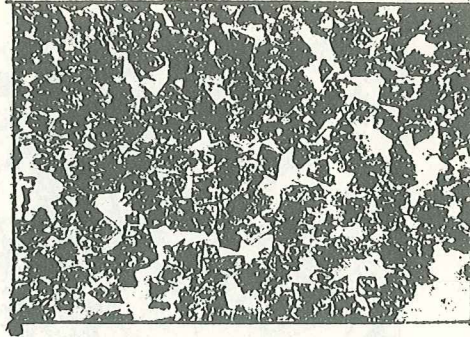


a

شكل (1-9) مقطع لصخرة مكمنية من احدى الحقول البترولية تحتوي على مسامية ثانوية نتيجة الذوبان .
المقاطع التالية : تبين تأثير الاستبدال أو الدلة (dolomitization) على مسامية الصخور المكمنية
الكلسية .

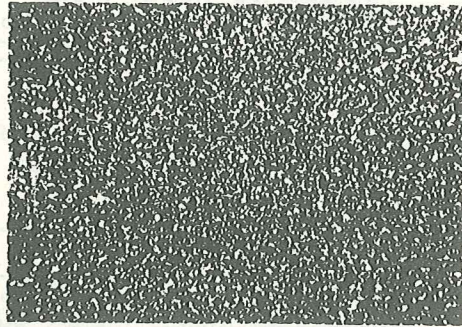


شكل (1-10) مقطع لصخرة مكمنية من احدى الحقول البترولية في السعودية تحتوي على مسامية ثانوية
($\phi = 11\%$) ونفاذية ($k = 25 \text{ md}$)



شكل (1-11) مقطع لصخرة مكمنية من احدى الحقول البترولية في السعودية تحتوي على مسامية ثانوية
($k = 416 \text{ md}$) ($\phi = 18\%$)

المقطع التالي يبين نموذج لصخرة غير مكمنية وغير متأثرة بعمليات التغيير .



شكل (1-12) مقطع لنموذج من صخرة غير مكمنية في احدى الحقول البترولية في السعودية ($k = \text{omd}$)
($\phi = 2\%$)

تتصف الصخور المكمنية الفتاتية بوجود مسامية اولية بصورة عامة . اما الصخور المكمنية الكلسية او الكربوناتية (Carbonates) تتصف بنوعين من المسامية .

Primary or matrix Porosity)
(Secondary Porosity)

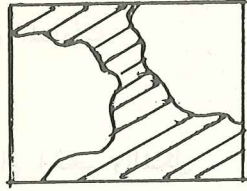
١ - مسامية اولية او حشوية

٢ - مسامية ثانوية

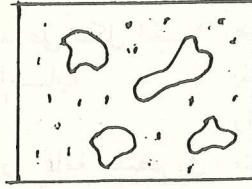
المسامية الثانوية تكون على اشكال مختلفة منها : -

(Fracture Porosity)
(Vugular Porosity)
(Cavernous Porosity)
(Channel Porosity)

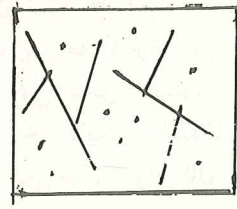
أ - المسامية المتشققة
ب - المسامية المتكهفة
ج - المسامية المتكهفة الواسعة
د - المسامية القنوية



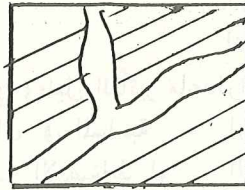
(ج)



(ب)



(ا)



(د)

شكل (1-13) اشكال مختلفة من المسامية الثانوية يبين الجدول التالي المقارنة بين المسامية في الصخور المكمية الرملية والصخور المكمية الكلسية أو الكربوناتية .

يوضح جدول رقم (1-1) مقارنة المسامية (ϕ) بين الصخور المكمية الرملية والكلسية .

الصفة المطلوبة	صخرة مكمية رملية	صخرة مكمية كلسية
مقدار المسامية الاولية	(25-40%) بصورة عامة	(40-70%) بصورة عامة
مقدار المسامية النهائية	نصف او اكثر من المسامية نسبة قليلة من المسامية الاولية (الاصلية)	نصف او اكثر من المسامية نسبة قليلة من المسامية الاولية
نوع المسامية الاولية	interparticle or Intergranular	ايضا بين الحبيبات او الحبيبات لكن انواع اخرى موجودة
	بين الحبيبات او الحبيبات	

نوع المسامية النهائية	اولية بين الحبيبات	مختلفة بنسبة كبيرة
حجم المسامات	يعود الى درجة التصنيف	ليس هنالك علاقة بين حجم المسامات ودرجة التصنيف
	وحجم الحبيبات	او حجم الحبيبات ان وجدت فتكون نسبة قليلة .
شكل المسامات	يعتمد على شكل الحبيبات	مختلف بدرجة كبيرة قسم او الحبيبات يعتمد على شكل الحبيبات وقسم آخر لا يعتمد اطلاقا .
انتظام الحجم والشكل والتوزيع	بصورة عامة منتظم في	متغير من حجوم واشكال منتظمة
	الناذج المتجانسة	الى حجوم واشكال متغيرة لنفس النموذج الصخري .
تأثير عوامل التغيير	ثانوي وقليل التأثير	ماعدارئيسي ، تكون مسامات جيدة نقصان في المسامية نتيجة الانضغاط او التسميت
تأثير التشقق	ليس مهم في الصفات المكمية	مهم جدا في الصفات المكمية ان وجدت .
حساب المسامية والنفاذية	تقدير شبه كمي ممكن بسهولة	المعاينة البصرية مختلفة من تقدير شبه كمي والى حالات غير ممكنة وتحتاج الى استعمال اجهزة لقياس المسامية والنفاذية والضغط الشعري .
صلاحية التحليل اللي للحسابات المكمية .	سدادة من اللباب (core plug) ذات قطر كافية وفي بعض حالات (1) انج تكفي لحساب المسامية الحسوية (matrix Porosity)	سدادة من اللباب غير كافية وفي بعض حالات المسامات الكبيرة فإن اللباب ذو القطع (3) انج غير كافية .
علاقة المسامية مع النفاذية نسبيا ثابتة وفي اكثر الحالات تعتمد على حجم وفي اكثر الحالات لا تعتمد الحبيبات ودرجة التصنيف على حجم الحبيبات ودرجة التصنيف		

في الدراسات الكمية ، ان تحديد نسبة المسامية الثانوية في الصخور الكمية الكلية من المسامية الكلية مهم من ناحية الاحتياط أو قدرة المكامن على الانتاجية . لحساب المسامية الثانوية ممكن استعمال المعادلة : -

$$V = \frac{\phi_t - \phi_b}{(K - \phi_b) \phi_t} \quad \dots (1-4)$$

حيث -

V - نسبة المسامية الكلية في مقطع النموذج المشغولة بالمسامات الثانوية (تشققات ، فجوات ، تكهفات)

ϕ_b - المسامية الكلية

ϕ_b - المسامية الحشوية (matrix or block porosity)

اذا كانت نسبة المسامية الحشوية داخل النموذج قليلة جداً فانه ممكن اختصار المعادلة الى : -

$$V = \frac{\phi_t - \phi_b}{\phi_t} \quad \dots (1-5)$$

ممكن حساب المسامية الحشوية (ϕ_b) والكلية (ϕ_t) من مقاطع اللباب ومقارنتها بالمخطط شكل (1-5) للحصول على المسامية الحشوية . اما المسامية الكلية تقدر عن طريق حساب نسبة المسامية المشغولة بالمسامات الاولية والثانوية تحت المظهر الى المساحة الكلية للمقطع . يفترض لهذه الطريقة ان المسامية السطحية تمثل المسامية الحجمية . أيضاً ممكن ايجاد قيمة (v) باستعمال طريقة (Locke-Bliss) والتي تشمل على ضخ ماء داخل نموذج من اللباب وتسجيل اختلاف الضغط مع مقدار حجم الماء المضخ التراكمي (Cumulative injected water) . يلاحظ زيادة فجائية بالضغط عند تشبع جميع المسامات الثانوية بالماء ، وهذه الزيادة دليل على بدء التشبع في المسامات الحشوية . لحساب (v) تستعمل العلاقة .

$$V = \frac{V_s}{V_t} \quad \dots (1-6)$$

حيث -

V_s - تشمل حجم الماء الموجود داخل المسامات الثانوية

V_t - الحجم الكلي للماء المضخ داخل النموذج

يفترض في هذه التجربة بان النموذج يتشبع بالماء كلياً عند وصول ضغط (1000 Psi) .

يمكن حساب المسامية الثانوية أيضاً باستعمال تسجيل الآبار . تقيس المسامية الكلية (ϕ_t) بعض الانواع من تسجيلات الآبار مثل تسجيل النيوترون أو الكثافة . وتسجيل الصوت (Sonic log) يقيس المسامية الحشوية أو الأولية . ومن هذه القيم يمكن حساب مقدار المسامية الثانوية داخل الطبقات المكمنية . وتعتبر المسامية الثانوية مهمة في المكامن الكلسية أو الكربوناتية من الناحية الانتاجية بدرجة كبيرة .

(٣) النفاذية (Permeability)

نفاذية المادة المسامية هي قابلية المادة لسماح الموائع من الجريان خلال شبكة من المسامات المتصلة (interconnected pores) الحجم الكلي للمسامات المتصلة بالنسبة لحجم النموذج يسمى المسامية الفعالة (effective porosity) ، اذا كانت المسامات غير متصلة فإن نفاذية الصخرة ستكون معدومة . نفاذية الصخور المكمنية ذات اهمية كبيرة حيث الهيدروكربونات (نفط او غاز) يجب ان تجرى من الطبقة المكمنية نحو البئر بفعل النفاذية . تقاس النفاذية بوحدات ملدارسي (millidarcy) وهي صفة من الصفات الفيزيائية للمكامن . كلما زادت كمية النفاذية كلما زادت سرعة جريان السوائل داخل الطبقة المكمنية . تمثل النفاذية بمعادلة (Darcy) .

حيث -

$$Q_f = \frac{KA (\Delta P)}{\mu (\Delta L)} \quad \dots (1-7)$$

Q_f - سرعة الجريان الحجمية (Volumetric flow trate) سم^٣ / ثا

K - النفاذية (دارسي)

A - مساحة المقطع للنموذج (سم^٢)

ΔP - فرق الضغط (جو - atmosphere)

ΔL - فرق المسافة التي يقاس بها فرق الضغط

μ - لزوجة المائع (سنتبوز - centipoise) .

تمثل هذه المعادلة الجريان الافقي الخطي للموائع .

تعتمد نفاذية الصخور بدرجة كبيرة على حجم وعدد المسامات التي تسمح بجريان الموائع ، كلما زادت حجم المسامات المتصلة كلما زادت نفاذية الصخرة . يزداد حجم المسامات مع زيادة حجم الحبيبات في الصخور الرملية ذات التصنيف الجيد (well sorted) . تؤدي زيادة في المسامية الى زيادة في نفاذية الصخرة ولكن هذه

العلاقة ليست صحيحة في كل انواع الصخور . قد يقل حجم الحبيبات وتبقى المسامية ثابتة في بعض الحالات ولكن تقل النفاذية ايضاً يؤثر معامل التمعج (coefficient of tortuosity) للنموذج على نفاذية الصخرة ، قيمة هذا المعامل يساوي (1.0) اذا كان مسار السائل داخل المسامات خط مستقيم اي ان النفاذية تكون عالية وتقل كلما زادت قيمة معامل التمعج داخل الصخرة . يعتمد معامل التمعج على حجم الحبيبات ودرجة تجانس حجم الحبيبات ودرجة التسميت في الصخرة . بعض الصخور المكمنية الكلسية لها مسامية قليلة وحجم المسامات كبير فان نفاذيتها تكون عالية ، اي ان العلاقة بين المسامية والنفاذية متغيرة جداً في الصخور المكمنية الكلسية ولا تعتمد على درجة تصنيف الحبيبات لكن هناك نوع من الصخور المكمنية الكلسية التي لها مسامية بين الحبيبات (intergranular) فان زيادة المسامية تؤدي الى زيادة نفاذية هذه الصخور .

تقدر نفاذية الشقوق¹¹ بالمعادلة : -

$$K = 50,000,000 \times W^2 \dots\dots\dots (1-8)$$

حيث : -

K - النفاذية (ملداسي)

W - عرض الشق (انج)

ويمكن استعمال معادلة⁶ مشابهة -

$$K = \frac{W^2}{12} \times 10^8 \dots\dots\dots (1-9)$$

W - عرض الشق (سم)

تدل هذه المعادلات على ان نفاذية المحشو (matrix) تعتبر معدومة مقارنة بنفاذية الشقوق داخل الصخور المكمنية . يمثل مقدار التشققات داخل الصخور (0.5-1.5%) من مسامية الصخور الكربونائية ولكن تسيطر هذه التشققات على جريان السوائل بشكل رئيسي .

العوامل الرئيسية المسيطرة على نوعية الطبقة المكمنية الكلسية او نفاذية هذه الطبقات⁸ هي : -

- (١) صفات المسامات وشكل القنوات او المسارات بين المسامات (Pore interconnection) وايضاً عرض الترابط بين المسامات وعدد الترابط .
- (٢) المسامية الفعالة (effective Porosity)

Porosity
Permeability
نفاذية

(٣) معدل حجم المسامات
(٤) شكل المسامات (Shape Of Pores)

(٥) نوع ومقدار الاسمنت

(٦) وجود الشقوق ومقدارها

يمكن تمثيل هذه العوامل بمعادلة تقريبية

$$K = A \times B \times C \times D \dots\dots\dots(1-10)$$

حيث -

K - النفاذية (ملدارسي)

A - معامل تجريبي (empirical coefficient) . يعتمد على الشكل العام لتوزيع

المسامات (مثال $A = 2.0$ اذا كانت القنوات قليلة وعرضها قليل ، و 32

= A اذا كانت القنوات عديدة وعريضة) .

B - معامل يعتمد على نسبة المسامية الفعالة داخل النموذج (مثال - اذا احتوى

النموذج على مسامية 25% فإن $B = 25, 30$ اذا احتوى على مسامية

قليلة اي اقل من 2% فإن $B = 0$)

C - معامل يعتمد على حجم المسامات (pore size) (مثال - اذا احتوى

النموذج على فجوات كبيرة اي لها قطر اكبر من (2mm) فإن $C = 16$

واذا احتوى النموذج على مسامات دقيقة حجمها بين (0.01-0. 1mm)

فإن $C = 0.25$)

D - معامل يعتمد على شكل المسامات (اذا كانت المسامات متساوية ودائرية فإن

$D = 1.0$ واذا كانت المسامات طولية الشكل ومتصلة بقنوات ايضا طولية فإن

$D = 4.0$) . نستطيع ان نستنتج بأن نفاذية الصخور المكنية الكلسية

تعتمد على معدل قطر القنوات الموصلة للمسامات فاذا كان قطر القنوات

الموصلة تقريبا (0.01 mm) فإن النفاذية المحسوبة تساوي تقريبا (md)

2-16) واذا كان قطر القنوات يساوي (0.04mm) فإن النفاذية المحسوبة

تتراوح بين (1200-1300md) .

تمثل النفاذية المذكورة اعلاه النفاذية المطلقة للمكامن . النفاذية الفعالة تكون

اقل من النفاذية المطلقة للصخرة وذلك عند وجود اكثر من سائل واحد داخل

النموذج (نفط وماء او نفط وغاز) .

يبذل الحبيبات الماء المتزامن (Connate Water) داخل المسامات ويكون

بدرجة تشبع قليلة فيقلل من المساحة الهيدروليكية للسائل الحاوي مثل النفط

ويؤدي الى تقليل النفاذية ، اذن كلما زادت درجة التشبع بالماء داخل المكن كلما

قلت النفاذية الفعالة للنفط او الغاز (يفترض بأن اكثر الصخور لها قابلية التبلل بالماء (Water-wet) .

(٤) الضغط الشعري (Capillary-Pressure)

تكون المسامات صغيرة داخل الصخور المسامية والنفاذية بحيث ممكن تمثيلها بالانابيب الشعرية (Capillaries) . الضغط الشعري هو ظاهرة ارتفاع اي مائع مبلل (Wetting Fluid) داخل الانبوب الشعري . كلما قل قطر الانبوب الشعري كلما زاد ارتفاع المائع المبلل داخل الانبوب الشعري . ايضاً يمثل الضغط الشعري فرق الضغط بين الطور المائي والطور الهيدروكربوني (Water and oil phase) في اي مستوى داخل المكمن النفطي أو الغازي فوق مستوى التشبع (100%) بالماء . يتوقف مقدار الضغط الشعري على حجم المسامات داخل المكمن وايضاً على فرق الكثافة بين الماء والنفط أو الغاز . ممكن تمثيل هذه العلاقة بالمعادلة⁶ .

$$P_c = \frac{2\gamma \cos \theta}{r} = (\Delta \rho) gh \quad \dots (1-11)$$

حيث -

P_c - الضغط الشعري (داين / سم^٢)

γ - الشد السطحي البيني (interfacial tension) (داين / سم)

θ - زاوية التماس (Contact angle) بين السائل المبلل والصخرة

R - نصف قطر الانبوب الشعري (سم)

$\Delta \rho$ - فرق الكثافة بين النفط والماء أو الغاز (غم / سم^٣)

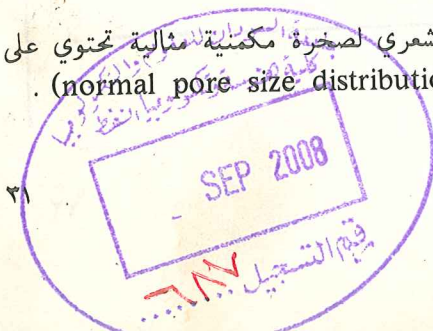
g - ثابت الجاذبية (980 سم / ثا^٢)

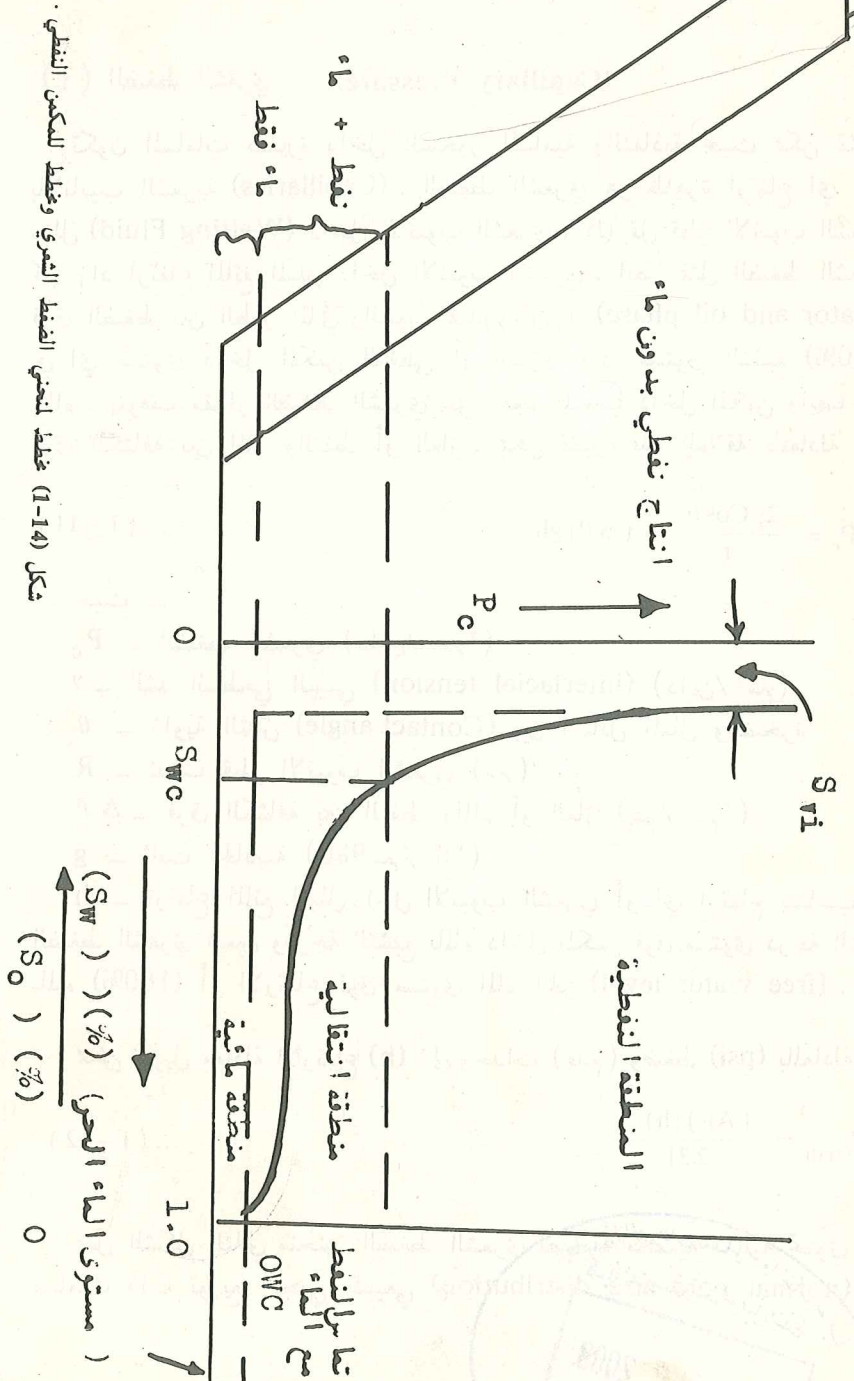
h - ارتفاع المائع المبلل داخل الانبوب الشعري أو اي ارتفاع يتناسب مع الضغط الشعري المعين ودرجة التشبع بالماء داخل المكمن فوق مستوى درجة التشبع بالماء (100%) أو الارتفاع فوق مستوى الماء الحر (free water level) .

ممكن تحويل معادلة الارتفاع (h) الى وحدات (قدم) وضغط (psi) بالمعادلة -

$$P_{c(psi)} = \frac{(\Delta \rho)(h)}{2.31} \quad \dots (1-12)$$

يمثل الشكل التالي منحنى الضغط الشعري لصخرة مكمنية مثالية تحتوي على مسامات ذات توزيع حجمي طبيعي (normal pore size distribution) .

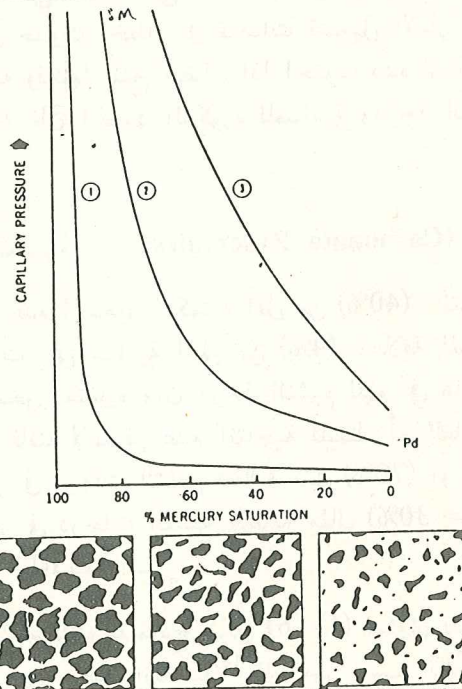




نلاحظ في شكل (1-14) ان ادنى درجة للتشبع بالماء داخل المكمن تساوي (S_{wi}) او تسمى درجة التشبع المستعصي بالماء او الدنيا ويحسب مقدار (S_{wi}) برسم خط المقارب على منحني الضغط الشعري .

المنطقة الانتقالية تمتد من درجة التشبع بالماء (100%) او من تماس النفط والماء الى الارتفاع داخل المكمن الذي تشبعه تساوي (S_{wc}) حرجة اي في هذه المنطقة يكون انتاج الماء مع النفط اما فوق المنطقة الانتقالية فلا يتوقع انتاج ماء بل فقط النفط .

إن طول المنطقة الانتقالية يتوقف على نفاذية المكمن أو مع حجم المسامات المكمن وعلى درجة التصنيف . (Tixier) وجد علاقة بين طول المنطقة الانتقالية ونفاذية المكمن اي كلما زاد طول المنطقة الانتقالية كلما قلت نفاذية المكمن ، (المسولات المذكورة في الفصل الثاني) المثال التالي يبين ثلاثة انواع من نماذج الضغط الشعري :



شكل (1-15) مخطط للضغط الشعري لنماذج مختلفة في درجة التصنيف و (S_w)

المنحني (3) هو الذي يمثل نموذج رديء التصنيف - أيضا يتوقع المكن له منطقة انتقالية طويلة ونفاذية قليلة. (P_D) يمثل ضغط الازاحة (displacement pressure) وهو اقل ضغط في منحني الضغط الشعري اللازم لبدء ازاحة السائل من داخل النموذج .

(5) تحديد انتاجية المكامن الرملية والكاربوناتية (Sandstone and carbonate reservoirs)

أ - المكامن الرملية

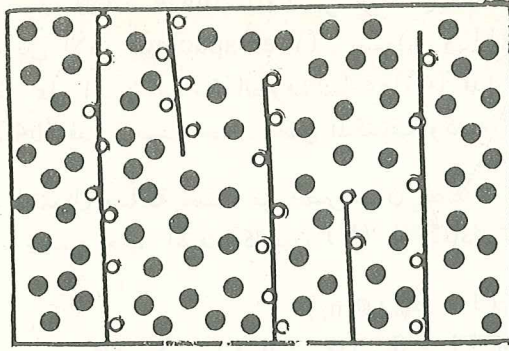
تكون مسامية الصخور الرملية عادة اقل من (40%) ، المكامن الرملية التي لها مسامية اقل من (8%) ، لايتوقع انتاجية منها حيث ان نفاذية هذه الصخور ستكون قليلة .

إذا كانت درجة التشبع بالماء في هذه المكامن اقل من (60%) مسامية اعلى . (8%) فاننا نتوقع انتاجية منها⁽¹¹⁾ . هناك بعض المكامن الرملية التي تنتج نفط أو غاز ولها مسامية اقل من (8%) فإن هذه المكامن ممكن ان تحتوي على مسامية ثانوية نوع الشقوق التي تساعد على الانتاجية أو ان بعض المكامن يكون سمكها قليلا مما تؤدي الى حدوث اخطاء في قياسات تسجيل الآبار وتؤدي الى حسابات المسامية تكون قليلة ولكنها تنتج ايضا . اذا احتوت هذه المكامن على نسب مختلفة من المعادن الطينية فان الحدود المذكورة للمسامية ودرجة التشبع بالماء لا تنطبق عليها .

ب - المكامن الكلسية (Carbonate Reservoirs)

تكون مسامية هذه الصخور المكنية اقل من (40%) . نتوقع انتاجية من هذه المكامن اذا احتوت على مسامية اعلى من (4%) . علاقة المسامية ودرجة التشبع بالماء في هذه الصخور متغيرة وان درجة التشبع للماء في هذه المكامن اذا كانت اكثر من (50%) فاننا لانتوقع عدم انتاجية للنفط أو الغاز فان بعض المكامن تنتج نفط أو غاز في درجات التشبع العالية مثل (70%) او اكثر . وبعض المكامن الكلسية تنتج ماء في درجات التشبع القليلة مثال ($S_w = 30\%$) يبين المثال التالي بعض هذه الحالات : -

إن درجة التشبع بالماء للنموذج شكل (16-1) تساوي ($S_w = 80\%$) . تدل هذه القيمة على عدم وجود انتاجية⁽⁸⁾ للمكن حسب الطرق التقليدية المعروفة



شكل (1-16) مخطط لمقطع صخرة مكمنية لها مسامية اولية و ثانوية
المسامية الثانوية ($\phi = 7\%$) ($K = 25md$) مشبعة بالنفط
المسامية الاولى ($\phi = 20\%$) ($K = 0.02md$) مشبعة بالماء

ولكن في الحقيقة ممكن ان نتوقع انتاجية للنفط من هذا المكمن حيث ان نفاذية الجزء المشبع بالنفط عالية . ممكن حدوث حالة معكوسة حيث المسامات الاولى تكون مشبعة بالنفط والثانوية بالماء اي ان $S_w = 20\%$ وهذه النتيجة تدل على احتمال وجود انتاجية للنفط من هذا المكمن ولكن في الحقيقة لاتوجد انتاجية ويحتمل ان تنتج ماء .

يفضل من الناحية الاستكشافية ان تدرس هذه المكامن بالتفصيل عن طريق اخذ نماذج من لباب الصخور ودراستها تحت المهر ومقارنة نتائج الدراسة المختبرية مع الدراسة الحقلية وتسجيل الابار للتوصل الى نتائج صحيحة من التوقعات الانتاجية .

(٦) - ايجاد حجم الهيدروكربون داخل المكامن البترولية

من احدى الفوائد الرئيسية لحسابات المسامية ودرجات التشبع بالماء للمكامن ايجاد الاحتياط البترولي للحقول . في هذا الجزء من الفصل نذكر بعض الامثلة عن كيفية حساب الاحتياط .

(١) ايجاد حجم الهيدروكربون للبئر الواحد

تشمل البيانات الضرورية لحساب الحجم على سمك الطبقة المكمنية (h) ومسامية الطبقة او الطبقات المكمنية (ϕ) ودرجات التشبع بالماء (S_w) . يجب

تقدير مساحة الصرف (drainage area) للبئر الواحد . تعتمد هذه المساحة على المسافة المستعملة بين الابار (Well-spacing) . يستعمل في الحقول البترولية توزيع المسافة بين الابار على اساس مساحة الصرف تساوي (40) فدان (acre) او (80) او (160) او (640) فدان حسب حجم الحقل المكتشف وكمية الانتاجية المطلوبة .

يفترض عند استعمال مساحة معينة من الصرف ان الصفات الكمينة لا تتغير في المساحة المعينة . يحسب حجم الهيدروكربون (V) في المعادلة ¹¹ :

$$V = A \times B \times \sum (1 - S_{wi}) \phi_i h_i \quad \dots (1-13)$$

$$V = A \times B \times (h_1 (1 - S_{w1}) \phi_1 + h_2 (1 - S_{w2}) \phi_2 + H_3 (1 - S_{w3}) \phi_3) + \dots$$

او
حيث -

V - حجم الهيدروكربون (برميل)
A - مساحة الصرف للهيدروكربون (فدان)
B - عامل تحويل يساوي (43560) اذا كانت وحدات (V) بالاقدام المكعبة وتساوي (7758) اذا كانت وحدات (V) بالبراميل .
h - سمك الطبقة الكمينة (قدم)
S_w - درجة التشبع بالماء
φ - المسامية
الارقام 1,2,3, تعني طبقات كمينة لها صفات مختلفة .

تستعمل المعادلات التالية للحصول على معدل المسامية ودرجة التشبع بالماء للمكمن -

$$\phi_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n (\phi_i H_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i)} \quad \dots (1-14)$$

$$S_{wavg} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{wi} h_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i)} \quad \dots (1-15)$$

مثال

يتألف مكمن رملي في حقل بترولي من سبعة مناطق (zones) لها صفات معينة للمسامية (φ) ودرجة التشبع بالماء (S_w) وسمك كل منطقة (10) قدم . احسب -
(1) مقدار حجم النفط داخل المكمن بالبراميل بافتراض مساحة الصرف (area draindge) تساوي (40) فدان .

(2) احسب معدل مسامية المكن الكلية ودرجة التشبع بالماء .

البيانات المتوفرة

جدول (1-2) قيم المسامية (ϕ) ودرجات التشبع (S_w)

Zone no.	($S_w\%$)	$\phi\%$
1	12	28
2	13	26
3	25	25
4	22	29
5	30	28
6	50	26
7	100	28

$$(1) V = 40 \times 7758 (10 \times (1-0.12) \times 0.28 + 10 \times (1-0.13) \times 0.26 + 10 \times (1-0.25) \times 0.25 + 10 \times (1-0.22) \times 0.29 + 10 \times (1-0.3) \times 0.28 + 10 \times (1-0.5) \times 0.26)$$

$$V = 40 \times 7758 \times (9.695)$$

$$= 2.997.381 \text{ bbls}$$

$$(2) \phi_{avg} = \frac{10 \times (1.9)}{70} = 0.271$$

$$= 27.1 \%$$

$$S_{wavg} = \frac{10 \times (1.52)}{70} = 0.217$$

$$= 21.7 \%$$

حساب حجم الهيدروكربون للحقل البترولي او الغازي

تستعمل طرق مختلفة لحساب حجم الهيدروكربون المخزون داخل المكامن البترولية او الغازية . اهم هذه الطرق المستعملة تشمل ¹⁵ على : -

- (1) الطرق الحجمية (Volumetric Methods)
 (2) طرق موازنة المادة (Material balance)
 (3) طرق انخفاض الانتاجية (Production decline)

الطريقة الاولى تستخدم بعد اكتشاف وتطوير الحقل اما الطرق الاخرى ، تستعمل بعد مرور فترة زمنية على الانتاج وتوفر بيانات عن تغير ضغط المكمن مع الزمن وتوفر بيانات كافية عن خواص الموائع المكمنية وبيانات الانتاجية .

(1) الطريقة الحجمية

تعتمد هذه الطريقة على حساب حجم المكمن بواسطة خرائط كونتورية تركيبية او خرائط السمك (isopach) ثم استعمال معادلات خاصة تمثل حجم المكمن (V_R). المعادلات المستعملة هي معادلة (Simpson) ومعادلة او قاعدة الشبه المنحرف (Trapezoidal rule) وقاعدة الهرم (pyramidal rule). خرائط السمك ترسم بعد توفر معلومات كافية عن اختلافات السمك الحقيقي للمكمن عن طريق تسجيل الآبار. الخرائط الكونتورية التركيبية ترسم بعد توفر بيانات عن اعماق السطح العلوي والسفلي للطبقة المكمنية عن سطح البحر . شكل (1-17) يمثل خريطة كونتورية تركيبية لحقل بترولي. الخطوط الكونتورية المرسومة بخطوط مستمرة تمثل السطح العلوي من المكمن والخطوط المرسومة بخطوط متقطعة تمثل السطح السفلي من المكمن. عمق تماس النفط مع الماء (OWC) وعمق تماس الغاز مع النفط (GOC) ايضا مملنان على الخريطة. هذه الاعماق تحدد عن طريق دراسة تسجيل الابار (logs) او عن طريق رسوم بيانية لتدرجات الضغط في المناطق الهيدروكربونية من المكمن. بعد تحديد مواقع السطوح الفاصلة على الخريطة ، يحسب حجم النفط المخزون او الغاز المخزون في المكمن .
 لحساب حجم المكمن الكلي (V_R) ، تستعمل معادلة (Simpson) او معادلات اخرى . حجم المكمن (V_R) يساوي -

$$V_R = \frac{h}{3} [(a_0 + a_n) + 4(a_1 + a_3 + \dots a_{n-1}) + 2(a_2 + a_4 + \dots a_{n-2})] \dots (1-16)$$

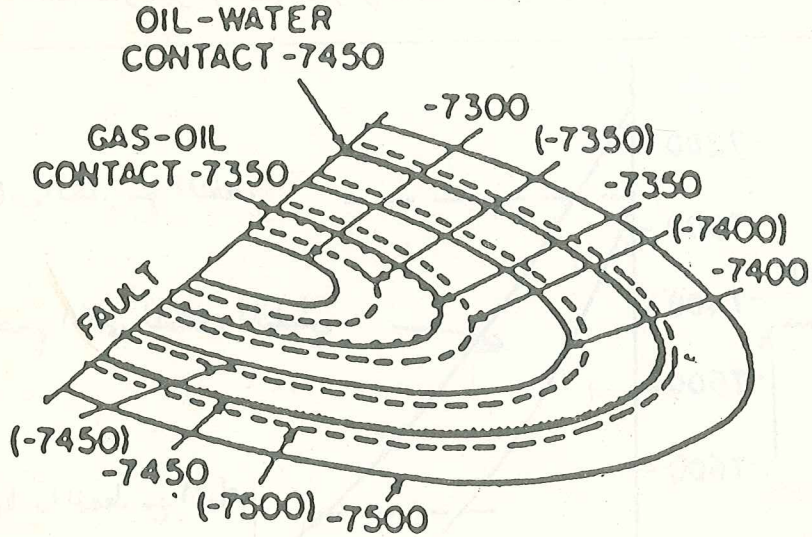
حيث : -

V_R حجم المكمن (فدان - قدم - acre-ft) او (m^3)

h - المسافة السمكية (C.I.) قدم او (م)

a_0 - الفرق في المساحة بين الخطوط الكونتورية للسطح العلوي والسفلي من الطبقة المكمنية في اعلى جزء منها .

a_n - الفرق في المساحة بين الخطوط الكونتورية للسطح العلوي والسفلي من الطبقة المكمنية في اوطاً جزء منها .
 a_1, a_2, a_3, \dots - تمثل فرق المساحات بين السطحين للمستويات المختلفة من الطبقة المكمنية .



شكل (1-17) خريطة كونتورية تركيبية لمكمن بترولي

المساحات داخل الخطوط الكونتورية تقاس بواسطة جهاز (planimeter) أو بواسطة تقسيم المساحة داخل الخطوط الكونتورية الى اشكال هندسية مختلفة وحساب جميع المساحات لهذه الاشكال . حجم المكمن (V_R) بطريقة قاعدة شبه المنحرف يساوي -

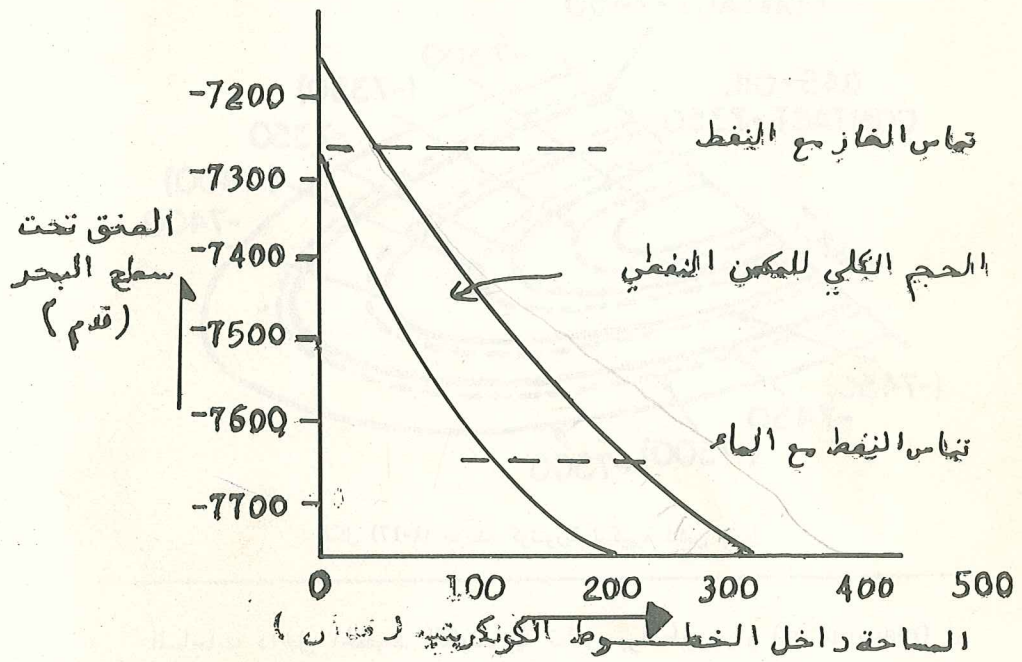
$$V_R = h \left[\frac{1}{2} (a_0 + a_n) + a_1 + a_2 + \dots a_{n-1} \right] \quad \dots (1-17)$$

حساب الحجم بهذه الطريقة اقل دقة من طريقة (Simpson) . اذا وجدت مناطق غير نفاذة في بعض اجزاء الطبقة المكمنية ، يجب حساب النسبة المئوية من المكمن الذي فيه طبقات غير نفاذة عن طريق تسجيل الابار وحساب الحجم الفعال الذي الذي يحوي على الهيدروكربون او مايسمى (Net pay Volume) من الحجم الكلي (gross volume) . يمكن حساب حجم المكمن ايضاً من الرسم البياني بين

المساحة داخل الخطوط الكونتورية وعمق الخطوط الكونتورية او ارتفاع المكمن .
شكل (1-18) يمثل رسم بياني من هذا النوع .

بعد حساب حجم المكمن (V_R) ، يحسب حجم النفط او الغاز المخزون .
تستعمل المعادلات التالية

(1) حجم الغاز الحر او حجم الغاز في المنطقة الغازية المغطية للمنطقة النفطية



شكل (1-18) رسم بياني من المساحة والعمق

$$G = \frac{(43,560)(V_g)(\phi)(1 - S_w)(P)(T_s)}{(Z)(T)(P_s)} \quad \dots (1-18)$$

حيث -

G - حجم الغاز بوحدات (SCF) اي قدم³ قياسي

V_g - حجم المكمن (فدان - قدم) أو (m^3)

ϕ - المسامية (%)

S_w - درجة التشبع بالماء (%)

٩٤٢ P - ضغط المكمن (psi) اي رطل لكل انج^٢

T_s - درجة الحرارة السطحية المطلقة القياسية

Z - عامل انحراف الغاز

T - درجة حرارة المكمن المطلقة

P_s - الضغط تحت ظروف قياسية

(2) حجم النفط داخل المكمن

$$N = \frac{(7758)(V_o)(\phi)(1 - S_w)}{B_o} \quad \dots (1-19)$$

حيث -

N - حجم النفط في المكمن (STB) (براميل سطحية)

V_o - حجم المكمن النفطي (فدان - قدم)

B_o - عامل التكوين الحجمي للنفط

(2) طريقة موازنة المادة

هنالك معادلات كثيرة للموازنة ، أبسط هذه المعادلات

$$N = \left[\frac{n\beta + \alpha(r_n - S)}{\alpha(S_o - S) - (\beta_o - \beta)} \right] \quad \dots (1-20)$$

حيث -

N - حجم النفط في المكمن

n - حجم النفط المنتج لغاية فترة زمنية من بدء الانتاج

β - عامل التكوين الحجمي للنفط

α - عامل التكوين الحجمي للغاز

r_n - نسبة الغاز الى النفط

S_o - نسبة الغاز الى النفط المذاب عند الضغط الاصلي للمكمن

β_o - عامل التكوين الحجمي للنفط عند الضغط الاصلي للمكمن

هذه الطريقة مبنية على أساس أن حجم المسافات داخل المكمن يبقى ثابتاً بعد الانتاج وانخفاض ضغط المكمن . تستعمل هذه الطريقة بعد توفر البيانات عن تغيير الضغط والانتاجية مع الزمن وتوفر الخواص الفيزيائية للموائع المكمنية .

(3) طريقة انخفاض الانتاجية

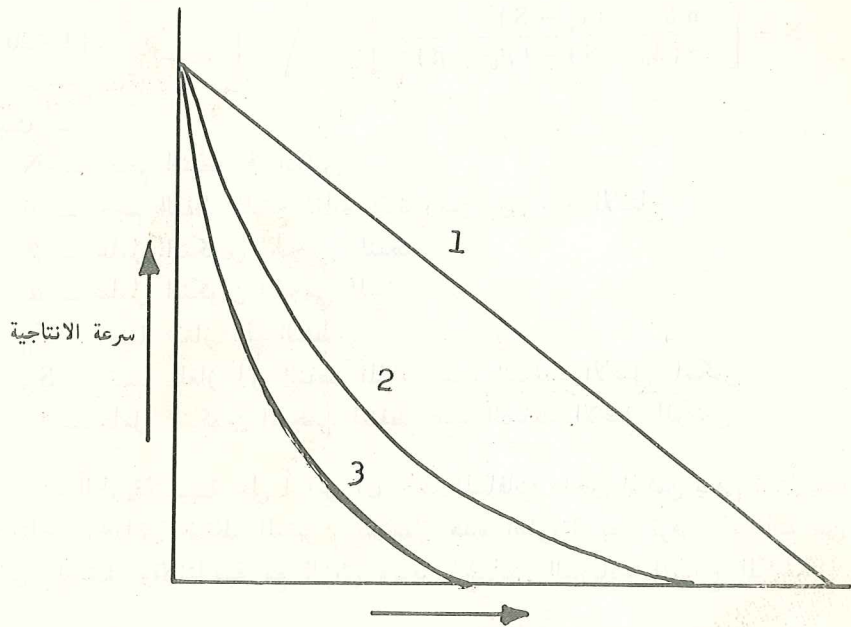
تستعمل هذه الطريقة لحساب حجم النفط أو الغاز الممكن استخراجه من الممكن وذلك عن طريق عمل رسوم بيانية من الضغط مع حجم الهيدروكربون المنتج ، في حالة الغاز يستعمل رسم بياني من (P/Z) مع الانتاجية . هنالك انواع مختلفة من منحنيات انخفاض الانتاجية مع الزمن . هذه المنحنيات تمثل بمعادلات خاصة . أهم هذه الانواع -

(1) انخفاض ثابت (Constant decline)

(2) انخفاض أسي (Exponential decline)

(3) انخفاض سريع (Fast decline or harmonic decline)

يتبع انخفاض الانتاجية في الحقول النوع الثاني في اكثر الحالات اما النوع الاخير فهو يمثل حقولاً نادرة . من تسقيط بيانات الانتاجية على اوراق بيانية اعتيادية أو على اوراق نصف لوغزمية أو على اوراق لوغزمية . شكل (1-19) يمثل مخططات لهذه الانواع من انخفاض الانتاجية تستعمل برامج خاصة بواسطة الكومبيوتر تمثل الانواع المختلفة لمنحنيات انخفاض الانتاجية . ممكن تحديد نوع

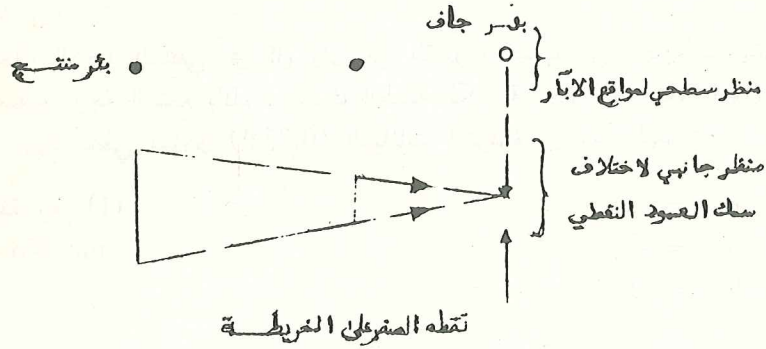


الحجم التراكمي للانتاجية (n)

شكل (1-19) مخططات بيانية لانخفاض الانتاجية

انخفاض الانتاجية للحقل من عمل نماذج مختلفة بواسطة الكمبيوتر . اختلافات هذه المنحنيات تتوقف على نوعية المكامن بالنسبة للطاقة الانتاجية . هنالك مكامن ينخفض فيها الضغط بشكل سريع ومكامن اخرى ينخفض فيها الضغط بشكل تدريجي أو بطيء .

من الممكن حساب حجم النفط او الغاز المخزون عن طريق حساب ارتفاع عمود النفط او الغاز في كل بئر ، ثم عمل خريطة كونتورية تمثل ارتفاعات او سمك العمود النفطي في كل بئر . في هذه الخريطة ، المسافة السميكية (contour interval) تمثل الفرق في سمك وارتفاع العمود النفطي أو الغازي . تستعمل طريقة تقديرية في الخريطة الكونتورية لايجاد الخط الكونتوري الممثل لسمك الصفر ولا يفضل استعمال البئر الجاف المحيط بالابار المنتجة ممثل لنقطة الصفر . يبين الشكل التالي كيفية تحديد الخط الكونتوري الممثل للصفر على الخريطة -



شكل (1-20) مخطط لاختلاف العمود النفطي بين الابار

ارتفاع العمود النفطي في كل بئر من الابار المخترقة للمكمن النفطي يقاس او يحسب عن طريق قياس سمك الطبقة المكمية المشبعة بالنفط والمسامية ودرجة التشبع بالماء . اذا وجدت عدة طبقات حاوية على النفط فإن سمكها يقاس وأيضا مساميتها ودرجات تشبعها بالماء وتجمع حاصل ضرب هذه المقادير اي -

$$(h)_{feet} = h_1 \times (1 - S_{w1}) \phi + h_2 (1 - S_{w2}) \phi_2$$

$$(oil\ column) + h_3 (1 - S_{w3}) \phi_3 + h_n (1 - S_{wn}) \phi_n \dots (1-21)$$

تسقط هذه القيم المختلفة على الخريطة المحتوية على مواقع الآبار وترسم خريطة كونتورية ممثلة لارتفاعات العمود النفطي . حجم النفط داخل المكمن الكلي يساوي -

$$V = h \left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \dots + \frac{a_n}{2} \right)$$

وهذه المعادلة مشابهة لمعادلة (1-17) .

مثال

الخريطة شكل (1-21) يمثل حقل نفطي ممثلة عليها مواقع الآبار المنتجة والجافة . الخطوط الكونتورية تمثل ارتفاعات العمود النفطي داخل المكمن في الآبار المختلفة . احسب حجم النفط داخل المكمن بالبراميل المكمية (reservoir bbls)

الحل

سمك العمود النفطي في كل بئر من الآبار ، يحسب من المعلومات المتوفرة للمسامية ، درجة التشبع بالماء ، وسمك الطبقة المكمية . بئر رقم (G) يحتوي على سمك عمود نفطي يساوي (0.73 ft) البيانات المتوفرة في هذا البئر : -

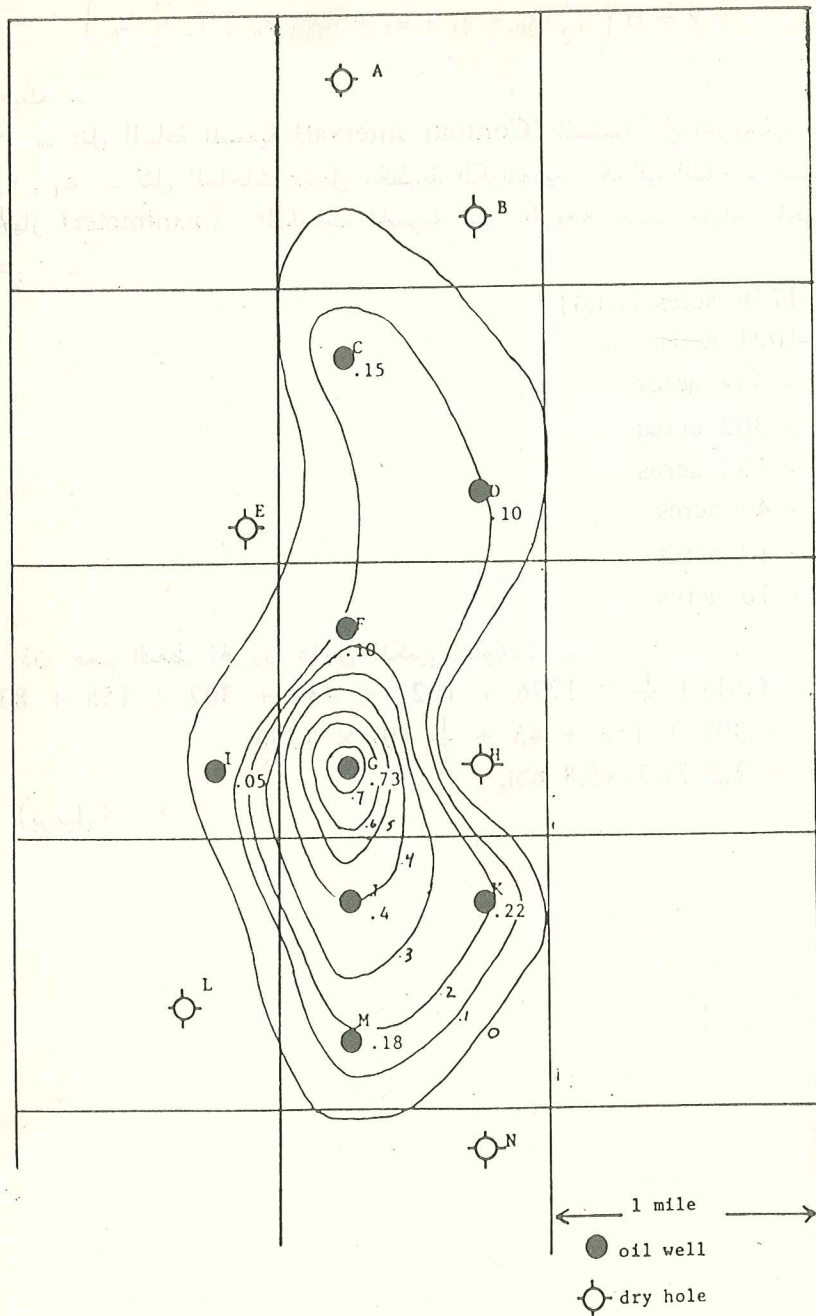
$$\begin{aligned} \phi_1 &= 12\% & \text{منطقة رقم (1)} \\ S_{w1} &= 45\% & \text{Zone No (1)} \\ h_1 &= 6\text{ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2 &= 10\% & \text{منطقة رقم (2)} \\ S_{w2} &= 53\% & \text{Zone No (2)} \\ h_2 &= 7\text{ft} \end{aligned}$$

اذن سمك العمود النفطي يساوي

$$\begin{aligned} H &= \Sigma (h_1 \times \phi_1 \times (1 - S_{w1}) + h_2 \times \phi_2 \times (1 - S_{w2})) \\ &= 6 \times 0.12 \times (1 - 0.45) + 7 \times 0.10 \times (1 - 0.53) \\ &= 0.396 + 0.329 \\ H &= 0.725\text{ ft} \end{aligned}$$

اذن يحسب سمك العمود النفطي لبقية الآبار بنفس الطريقة وبعدئذ ترسم خطوط كونتورية على الخريطة . لحساب حجم النفط المخزون داخل المكمن تستعمل المعادلة (1-17) أو



شكل (1-21) خريطة كوتتورية لحقل بترولي

$$V = H \left(\frac{1}{2} a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_{n-1} + \frac{1}{2} a_n \right)$$

حيث -

H - يمثل المسافة المسمقية (Contour interval) المستعمل في الخريطة .
 a_0, a_1 - تمثل المساحات داخل الخطوط الكونتورية . لحساب المساحات نستعمل جهاز (planimeter) . المساحات المحسوبة على الخريطة حسب مقياس الخريطة هي : -

a_0 - 1776 acres (فدان)

a_1 - 1021 acres

a_2 - 434 acres

a_3 - 302 acres

a_4 - 158 acres

a_5 - 43 acres

a_6 - 19 acres

a_7 - 10 acres

اذن حجم النفط المخزون داخل المكمن يساوي : -

$$V = (0.1) \left(\frac{1}{2} \times 1776 + 1021 + 434 + 302 + 158 + 83 + 302 + 158 + 45 + \frac{1}{2} 10 \right) \times 7758$$

$$= 2,2 \ 77,7 \ 48,8 \ \text{bbl},$$

(برميل)

(1) البيانات التالية تمثل قيم التشبع بالماء والمسامية لمكمن رملي ، هذه القيم حسبت من تسجيل الآبار . تمثل كل قيمة معدل القراءة لمنطقة سمكها (5) قدم . المطلوب -

- 1 - حساب النفاذية لكل منطقة
- 2 - تحديد موقع تماس النفط مع الماء
- 3 - تحديد نوع الانتاجية
- 4 - لو افترضنا أن مساحة الصرف (drainage area) لكل بئر تساوي (640) فدان ، احسب حجم الهيدروكربون المخزون داخل المكمن بالبراميل .

البيانات الحقلية -

المسامية ϕ (نسبة مئوية)	درجة التشبع بالماء (S_w) (نسبة مئوية)
28	12
26	13
25	25
29	22
28	30
26	50
22	100

(2) البيانات التالية تمثل قيم التشبع بالماء والمسامية لمكمن كليسي . المطلوب

- تحديد نوع الانتاجية لكل منطقة .
- تحديد تماس النفط مع الماء للمناطق المختلفة .
- اذ علمت أن الهيدروكربون الموجود داخل المكمن هو غاز ، احسب حجم الهيدروكربون بالاقدام المكعبة المخزون داخل المكمن . افترض أن مساحة الصرف (drainage area) تساوي 160 acres فدان .

البيانات الحقلية

المسامية ϕ (%) درجة التشبع بالماء (%) السمك (قدم)

1	100	20
3	90	5
8	90	4
1	100	7
10	30	12
5	65	10
2	100	2

(3) حقل بترولي على شكل طية محدبة مغلقة من جهة الشمال الغربي بفالق ، ومحدد من الجهات الأخرى بتماس النفط مع الماء . سمك الطبقة الكمنية يتراوح من (20-40) قدم . لا توجد اي ادلة لوجود غطاء غازي او دفع مائي في المكن . الخريطة الكونتورية شكل (1-22) تمثل تركيب الحقل مرسومة بمسافة سمكية (C.I.=100) المطلوب -

(١) حجم النفط المخزون داخل الحقل بوحدات براميل سطحية (STB) بالطريقة الحجمية .

تأكد من النتائج بطريقة معادلة موازنة المادة (N.B.E.)

الصفات الكمنية

طبقة رملية متاسكة نقية $\phi = 20\%$

المسامية

النفاذية

0.07 D بالنسبة للهواء

0.05 D بالنسبة للنفط

درجة التشبع بالماء الدنيا $S_{wi} = 25\%$

معامل التكوين الحجمي $B_o = 1.228$

صفات الموائع المكمنية

(Z)	(S)	B	
معامل انضغاطية الغاز	قدم / ٣ / برميل	الضغط (Press)	
نسبة الغاز المذاب الى النفط	معامل التكوين الحجمي النفطي		
-	1.228	2500 = P _o	
0.715	1.236	2000 = P _b	
0.720	1.205	1750	
0.725	1.179	1500	
0.745	1.158	1250	
0.775	1.137	1000	
0.815	1.118	750	
0.860	1.093	500	
0.920	1.058	250	
0.960	1.028	100	
1.000	1.00	14.7	

(alpha) (معامل التكوين الحجمي للغاز)

0.00615
0.00710
0.00833
0.01025
0.01337
0.01875
0.02962
0.06350
1.1720

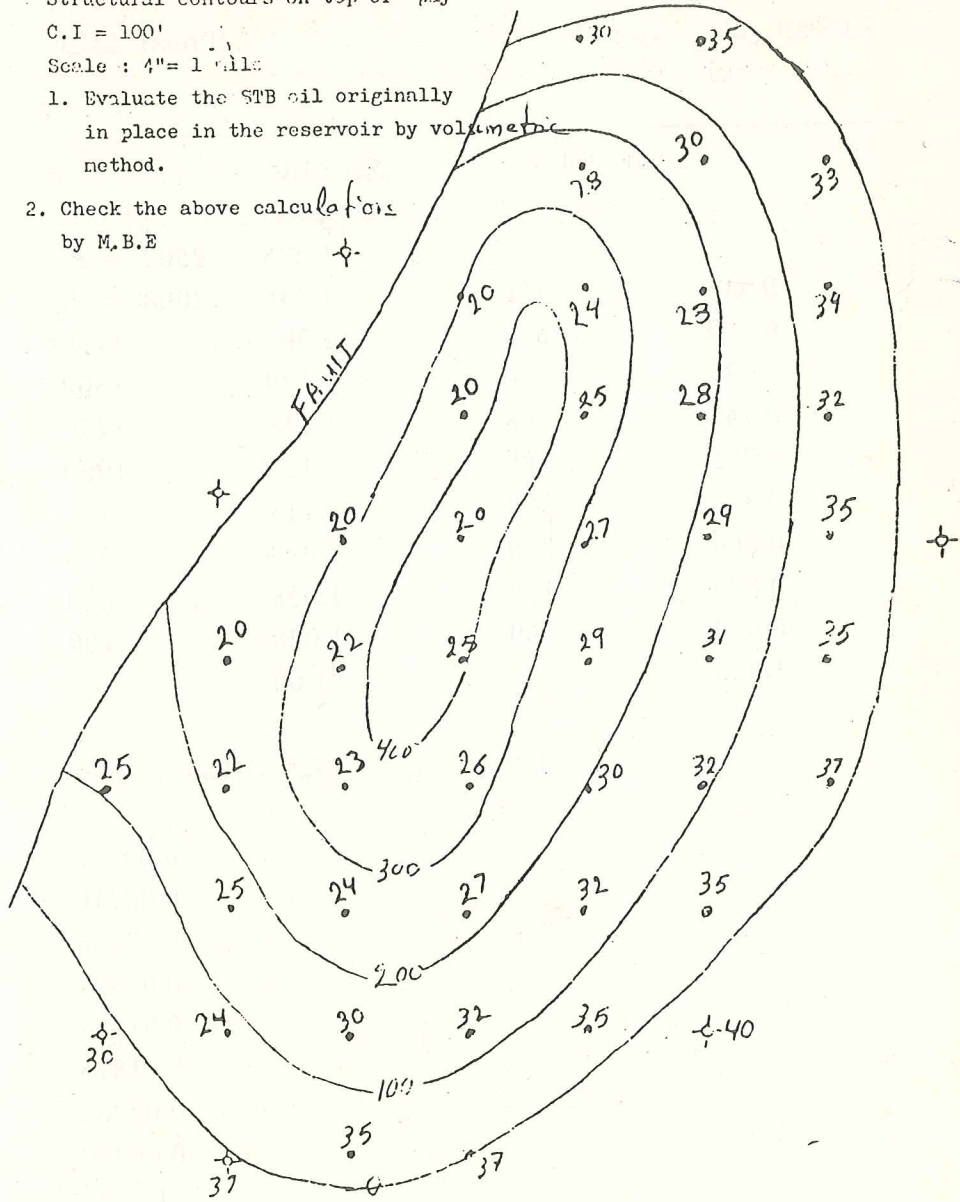
(4) البيانات التالية تمثل قيم الضغط الشعري ودرجات التشبع بالماء . الشد السطحي بين الهواء والماء تحت ظروف الاختبار يساوي (70) دايين / سم ، كثافة

Structural contours on top of pay

C.I = 100'

Scale : 4" = 1 mile

1. Evaluate the STB oil originally in place in the reservoir by volumetric method.
2. Check the above calculations by M.B.E



شكل (1-22) خريطة كونتورية تركيبية لحقل بترول

النفط في المكمن تساوي (0.8) غم / سم³ كثافة الماء المالح (brine) = (1.0) غم / سم³ والشد السطحي بين النفط والماء يساوي (15) دايين/سم .

احسب توزيع درجات التشبع بالماء فوق تماس النفط والماء الحر (Free oil-) (Water Contact) داخل المكمن اذا علمت ان توزيع الطبقات فوق تماس النفط والماء على الشكل التالي -

- 5 ft 1000 (md) sand (نفاذية ١٠٠٠ ملدارسي)
- 5 ft 200 (md) sand (نفاذية ٢٠٠ ملدارسي)
- 3 ft 1000 (md) sand (نفاذية ١٠٠٠ ملدارسي)
- 6 ft 200 (md) sand (نفاذية ٢٠٠ ملدارسي)
- 4 ft 1000 (md) sand (نفاذية ١٠٠٠ ملدارسي)
- 12 ft 200 (md) sand (نفاذية ٢٠٠ ملدارسي)

افتراض ان الطبقات الرملية المختلفة لها تماس نفط والماء مشترك

جدول (1-4) بيانات (P_c) , (S_w)

لباب ذو نفاذية (1000) ملدارسي	لباب ذو نفاذية (200) ملدارسي		
P_c (psi)	S_w	P_c (psi)	S_w
1	(P_d)	3.0	(pd)
1.5	0.8	3.6	0.9
1.8	0.4	4.0	0.6
2.2	0.2	4.5	0.3
3.0	0.13	5.5	0.2
4.0	0.12	7.0	0.18

(5) نموذج من لباب صخري اسطوانى الشكل له قطر = (10) سم وطول يساوي (18.5) سم . ان حجم الماء المضخ داخل المسامات الثانوية بطريقة (Lock-Bliss) يساوي (56) سم³ . حجم الماء المضخ الكلي عند استعمال ضغط يساوي (1000 Psi)

يساوي (231) سم³ . احسب -

(1) المسامية الكلية .

(2) نسبة المسامية الكلية المشغولة بالفجوات والتشققات

(3) المسامية الحشوية (block-porosity)

(6) نموذج من لباب صخري كلسي يحتوي على مسامات اولية وثانوية . قطر اللباب يساوي (6) انج والمسامية الاولية تساوي (2.5%) اذا علمت ان نسبة المساحة المشغولة من مقطع اللباب بالفجوات تساوي (7,5%) من المساحة الكلية . احسب -

(1) نسبة المسامات المشغولة بالفجوات بالنسبة للمسامية الكلية .

(2) مقدار المسامية الثانوية

(3) مقدار المسامية الكلية للنموذج .



الفصل الثاني ،

الخواص الفيزيائية للصخور

«Petrophysics»

الخواص الكهربائية

(١) انتقال التيار الكهربائي خلال الصخور :

الصخور المكمنية تكون بصورة عامة رسوبية تتألف من حبيبات (grains) ، حشو (matrix) والاسمنت (cement) . هذه المكونات تعتبر غير ناقلة للتيار الكهربائي (non-conductive) لأنها تتكون من معادن الكوارتز (quartz) ، السليكات (silicates) والاكاسيد (oxides) ، والكاربونات (carbonates) ومعادن اخرى . لكن التيار الكهربائي ينتقل خلال هذه الصخور بسبب وجود مسامات تحتوي على سوائل ناقلة للتيار الكهربائي مثل ماء التكوين (formation-water) الذي يكون اما من نوع (connate-water) اي ماء حبس متزامن أو من نوع المياه الجوفية (ground-water) أو يكون مزيج من هذه الانواع . الهيدروكاربونات تعتبر مواد عازلة للكهربائية ، هناك بعض المعادن تكون جيدة التوصيل للتيار مثل معدن البيرايت (pyrite) والمكنتايت (magnetite) . ولكن تكون هذه المعادن بكميات قليلة داخل الصخور إن وجدت . معدن الكلوكونايت

(glauconite) ان وجد بكميات غير قليلة فإنه يساعد على نقل التيار وهذه الحالة تعتبر شاذة .

(2) المقاومة والمقاومة النوعية (resistance and resistivity)

المقاومة حسب قانون اوم (Ohm's law) تعرف كما يلي : تتناسب سرعة التيار الكهربائي (i) في جسم موصل مع فرق الجهد (ΔE) المسبب لانتقال التيار ، اي :

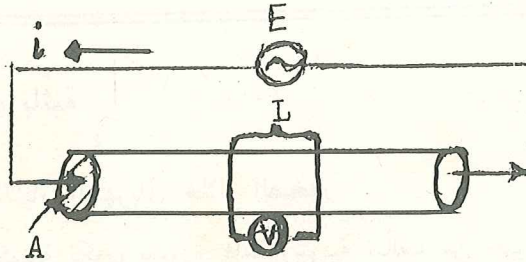
$$\Delta E = (i) r \dots\dots\dots(2-1)$$

حيث :

ΔE - فرق الجهد (فولت) .

i - مقدار التيار الكهربائي (امبير) .

r - ثابت التناسب بين (ΔE) و (i) ويساوي اوم أو مقاومة الجسم للتيار الكهربائي .



شكل (2-1) انتقال التيار الكهربائي خلال جسم اسطواني الشكل

إن مقاومة الجسم المبين في الشكل اعلاه للتيار الكهربائي لا تعتمد فقط على نوعية المادة وإنما أيضاً على شكل الجسم الذي يمر خلاله التيار الكهربائي . إن مقاومة الجسم تعتمد على طول الاسطوانة (L) والمقطع (A) الذي يمر خلاله التيار اي مساحة الاسطوانة العمودية لاتجاه التيار ، اي :

$$(r) \propto \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2-2)$$

اي ان مقاومة الجسم للتيار الكهربائي تتناسب طردياً مع طول الجسم وعكسياً مع المساحة . ثابت التناسب في المعادلة يساوي (R) اي المقاومة النوعية للجسم :

$$(r) = R \left(\frac{L}{A} \right) \quad \dots (2-3)$$

حيث :

- r مقاومة الجسم للتيار (اوم) .
- R ثابت التناسب ويسمى المقاومة النوعية (اوم - م) .
- L طول الجسم (م) .
- A المساحة (م²) .

ونستطيع ان نمثل انتقال التيار في الجسم بالمعادلة :

$$V = (i) R \left(\frac{L}{A} \right) \quad \dots (2-4)$$

$$V = (C) (R) \quad \dots (2-5)$$

حيث :

- V مقدار فرق الجهد (فولت) .
- i مقدار التيار (امبير) .
- R المقاومة النوعية للجسم (اوم - م) .
- L طول الجسم (م) .
- A المساحة السطحية التي من خلالها ينتقل التيار الكهربائي (م²) .
- C ثابت التناسب .

المقاومة النوعية (resistivity) للموائع الهيدروكربونية (نفط ، غاز) تكون بحدود الملايين (اوم - م) اي تعتبر مواد عازلة . المقاومة النوعية للمياه تعتمد على مقدار تركيز الاملاح فيها (salinity) . الماء المقطر له مقاومة نوعية اكثر من مليون (اوم - م) . اما الماء المشبع بالملح (saturated salt water) فله مقاومة نوعية اقل من (0.1) (اوم - م) . ملح (NaCl) موجود بصورة رئيسية في المياه الحقلية . ملوحة مياه الحقول تمثل بوحدات (ppm) اي (جزء / مليون جزء) من ملح (NaCl) . المقاومة النوعية للتكوينات المختلفة من اقل من (1.0) (اوم - م) في الطبقات الطفلية . اللينة (soft shales) والطبقات الرملية المشبعة بالماء الى عشرات من (اوم - م) في الطبقات الرملية الحاوية على الهيدروكربونات والى مقاومة نوعية مالا نهاية (∞) في التكوينات المدجة (compact formation) مثل الطبقات الكلسية الكثيفة (dense Limestone) .

إن قابلية محلول الالكتروليت (electrolyte) لنقل التيار الكهربائي تعتمد على عدد الايونات / وحدة حجم أو التركيز (concentration) ، سرعة الايونات المختلفة في المحلول (mobility) تحت تدرج وحدة جهد (unit potential gradient) ودرجة حرارة محلول الالكتروليت .

مثال : ماء البحر له تركيز يتراوح (30,000-35000 ppm) من (NaCl) ومحلول من الماء المشبع بملح (NaCl) له تركيز يساوي (250,000 ppm) . في درجة حرارة الغرفة ماء البحر له مقاومة نوعية تساوي (0.2Ωm) والمحلول المشبع بالملح له مقاومة نوعية تساوي (0.04Ωm) . أي ان المقاومة النوعية لمحلول الالكتروليت او نماذج المياه الحقلية تتناسب عكسيا مع التركيز والمقاومة النوعية للمحلول تتناسب ايضا مع ارتفاع درجة الحرارة .

نموذج من ماء التكوين له تركيز من ملح (NaCl) يساوي (10,000 ppm) . المقاومة النوعية لهذا النموذج في درجات الحرارة المختلفة :

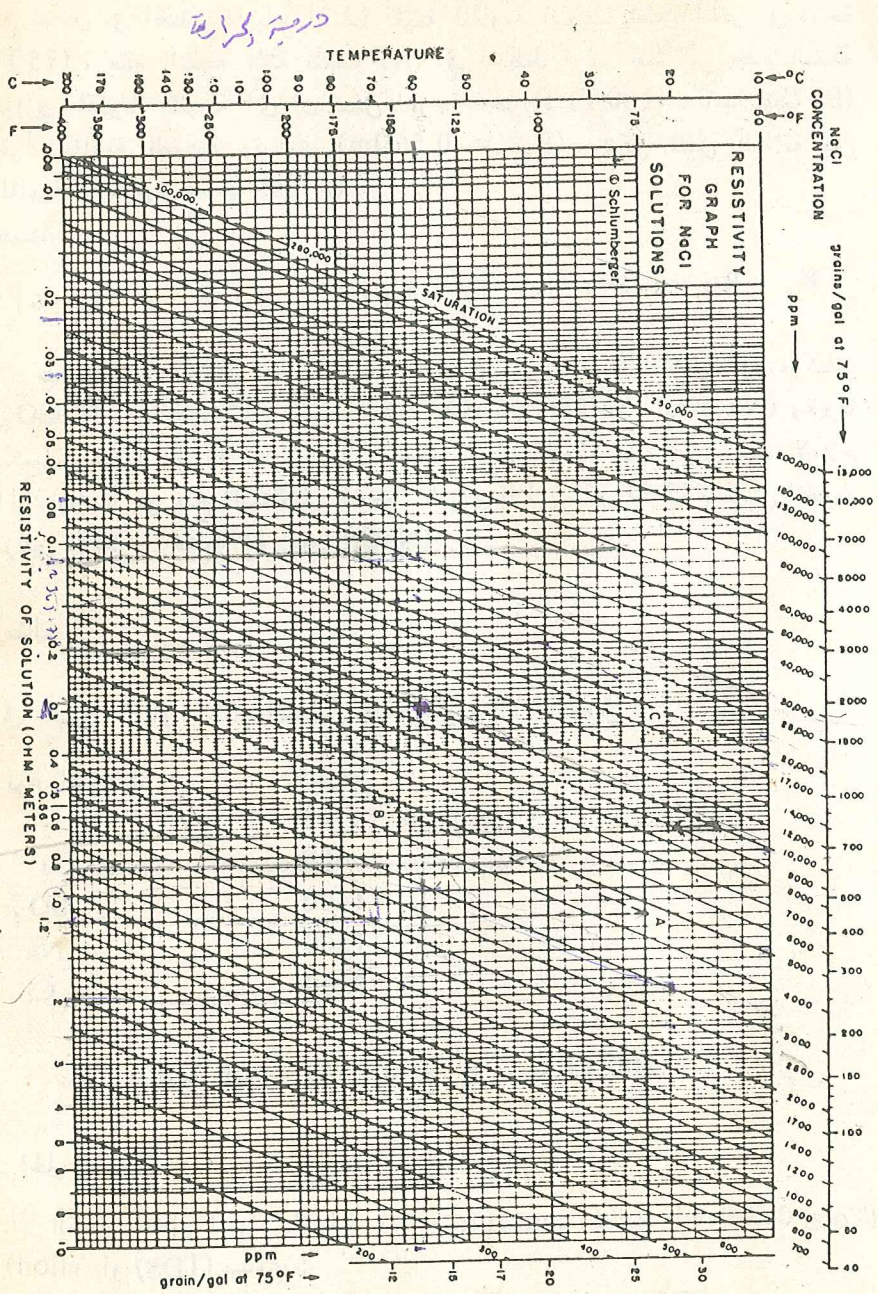
المقاومة النوعية (اوم - م)	درجة الحرارة
0.68	60°F
0.35	122°F
0.20	212°F

يمكن ايجاد المقاومة النوعية لماء التكوين (formation-water) الموجود داخل الطبقات بواسطة المخطط البياني رقم (2.2) اذا كان تركيز الاملاح (NaCl) ودرجة الحرارة معلومة .

مثال :

(1) لايجاد المقاومة النوعية لماء التكوين الذي ملوحته تساوي (10,000 ppm NaCl) في درجة (60°F) ، نستعمل خط الملوحة (10,000 ppm) الى أن نجد درجة الحرارة (60°F) في المخطط البياني ، ثم نرسم خط شاقولي يقطع محور المقاومة النوعية في القيمة ($R_w = 0.68\Omega m$) .

(2) اذا كانت المقاومة النوعية لطين الحفر في درجة (75°F) تساوي ($R_m = 1.2\Omega m$) ، ماهي المقاومة النوعية لطين الحفر في درجة (160°F) ؟



شكل (2-2) مخطط بياني للملوحة والمقاومة النوعية والحرارة للمحاليل (NaCl) (لشركة شلمبرجر)



ندخل في المخطط البياني (2.2) بقيمة المقاومة النوعية لطين الحفر في درجة (75°F)، هذه النقطة ممثلة بنقطة (A) في المخطط، نمد خط من هذه النقطة موازي لخطوط الملوحة الى أن نصبل لدرجة الحرارة (160°F). عند نقطة (B) نقرأ المقاومة النوعية وتساوي ($R_m = 0.56 \Omega m$). يمكن تمثيل العلاقة بين المقاومة والحرارة بمعادلة (Arps).
حيث :

$$R_{T_f} = R_{75} \times (75^\circ + 7^\circ) / (T_f + 7^\circ) \quad \dots (2-6)$$

مياه الحقول تحتوي على املاح اخرى بجانب ملح (NaCl) مثل مركبات ($CaSO_4$)، (Na_2SO_4)، (KCl)، ($CaCl_2$)، ($MgSO_4$)، (Na_2SO_4) وغيرها بكميات مختلفة. لذلك عند استعمال المخطط البياني (2-2) يجب تحويل هذه الاملاح الى مايعادلها من ملح (NaCl). المخطط البياني التالي شكل (2-3) يستعمل لتحويل تركيز الاملاح المختلفة الى ملح (NaCl).

مثال :

في الجدول التالي نتائج التحليل الكيميائي لماء التكوين :

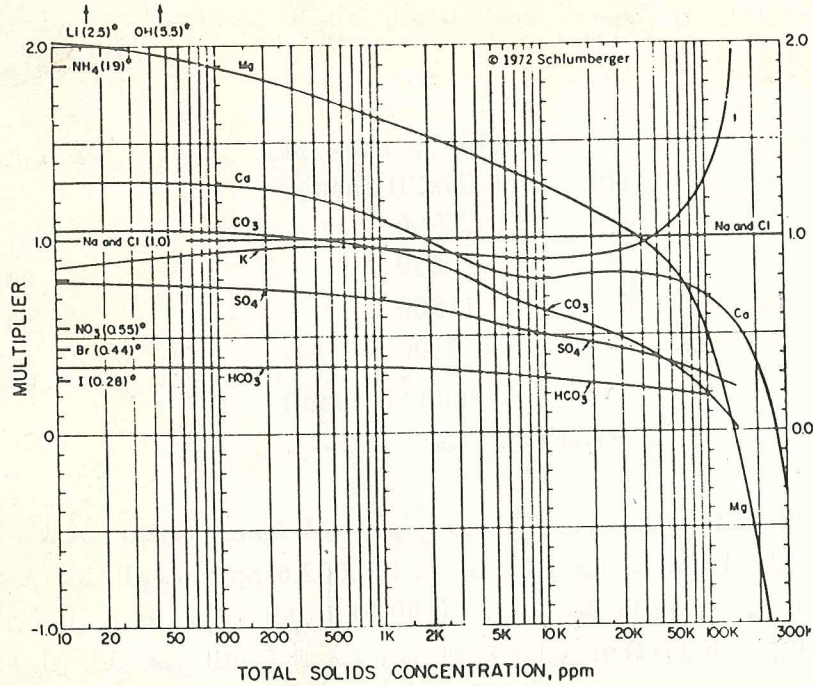
نوع الايونات	التركيز (جزء / مليون جزء)
Ca^{++}	460
SO_4^{--}	1400
Na^+	11500
Cl^-	7500

ماهي المقاومة النوعية لهذا النموذج في درجة (100°F) ؟

الحل :

التركيز الكلي للمواد الصلبة الذائبة-Total dissolved solid concentration (TDS) او (TDS) يساوي :

$$\begin{aligned} TDS &= 460 + 1400 + 11500 + 7500 \\ &= 20860 \text{ ppm} \end{aligned}$$



شكل (2-3) مخطط بياني لتركيز الايونات والعوامل المحلولة (لشركة شلمبرجر)

باستعمال شكل (2-3) نحصل على العوامل المحلولة (multipliers) او (conversion factors) التالية :

عامل التحويل	التركيز	نوع الايون
0.71 = 0.81	460	Ca^{++}
0.45	1400	$SO_4^{=}$
1	11500	Na_a^+
1	7500	Cl^-

نضرب التراكيز المختلفة للأيونات بالعوامل المحولة للحصول على تراكيز معادلة للملح (NaCl) :

تركيز معادل من (NaCl) equivalent (NaCl) salinity	نوع الايون
372.6	Ca ⁺⁺
630	so ₄ ⁼
11500	Na ⁺
7500	Cl ⁻
20002.6 (ppm)	
تركيز ماء التكوين لـ (NaCl)	

لحساب المقاومة النوعية لماء التكوين نستعمل المخطط البياني شكل (2-2) .
نختار خط الملوحة (20,002.6 ppm) وعند هذا الخط بموازات خطوط الملوحة الى
أن نصل درجة الحرارة المطلوبة (100°F) ، ونرسم خط شاقولي من هذه النقطة
الى أن يقطع محور المقاومة النوعية ونجد القيمة تساوي $R_w = 0.23 \Omega m$ اي
ان المقاومة النوعية لماء التكوين في درجة (100°F)

خلال عملية مسح الابار لتسجيل الخواص الفيزيائية للصخور ، تسجل درجة
الحرارة القصوى في اسفل البئر (bottom-hole temperature) او (BHT)
بواسطة محرار خاص من المقاومة . لايجاد درجة الحرارة في اي عمق داخل البئر
تستعمل المعادلة التالية ¹¹ :

$$T_f = T_0 + \frac{G \cdot G \cdot \times D_f}{100}$$

... (2-7)

درج حرارة البئر

حيث :

- T_f - درجة حرارة التكوين في أي عمق .
- T_0 - درجة الحرارة السطحية المعدلة .
- GG - معامل تدرج الحرارة الجوفية (geothermal gradient) ويمثل
بدرجات فهرنهايت / 100 قدم (°F/100) .
- العمق المطلوب حساب درجة حرارته .

في المعادلة (2-7) يفترض تغيير الحرارة مع العمق خطي (linear) وهذا صحيح
ان لم توجد شواذ (anomalies) تؤثر على تغيير الحرارة . تختلف درجة الحرارة

السطحية المعدلة (T_0) مع خط العرض على سطح الكرة الارضية ، تستعمل في المناطق الشمالية (60°F) كمعدل الحرارة السطحية خلال السنة . تستعمل في المناطق الاستوائية (80°F) او اكثر . ارتفاع الحرارة مع عمق الدفن ناتج عن انتقال الطاقة الحرارية من مركز الكرة الارضية نحو السطح . يلاحظ في الابار البترولية قيم مختلفة لتدرج الحرارة الجوفية المقاسة بوحدات ($^\circ\text{C Km}^{-1}$) او ($^\circ\text{F}/100\text{ft}$) . معدل تدرج الحرارة الجوفية المقاسة في العالم يساوي (25°C Km^{-1}) أي ما يعادل ($2.5^\circ\text{C}/100\text{m}$) يستعمل المخطط البياني التالى شكل (2.4) لحساب درجة الحرارة داخل الابار او درجة حرارة التكوين (formation-temperature) في اي عمق داخل البئر اذا كانت درجة الحرارة معلومة عند عمق معين .

مثال :

اذا كانت درجة الحرارة القصوى (BHT) داخل البئر في عمق (11.000 ft) قدم تساوي (200°F) فهذه نهايت . احسب التدرج الحراري داخل البئر بافتراض معدل الدرجة السطحية يساوي (80°F) . احسب درجة حرارة التكوين في عمق (5000 ft) قدم داخل البئر .

الحل :

$$T_f = T_0 + \frac{G. G. \times D}{100}$$

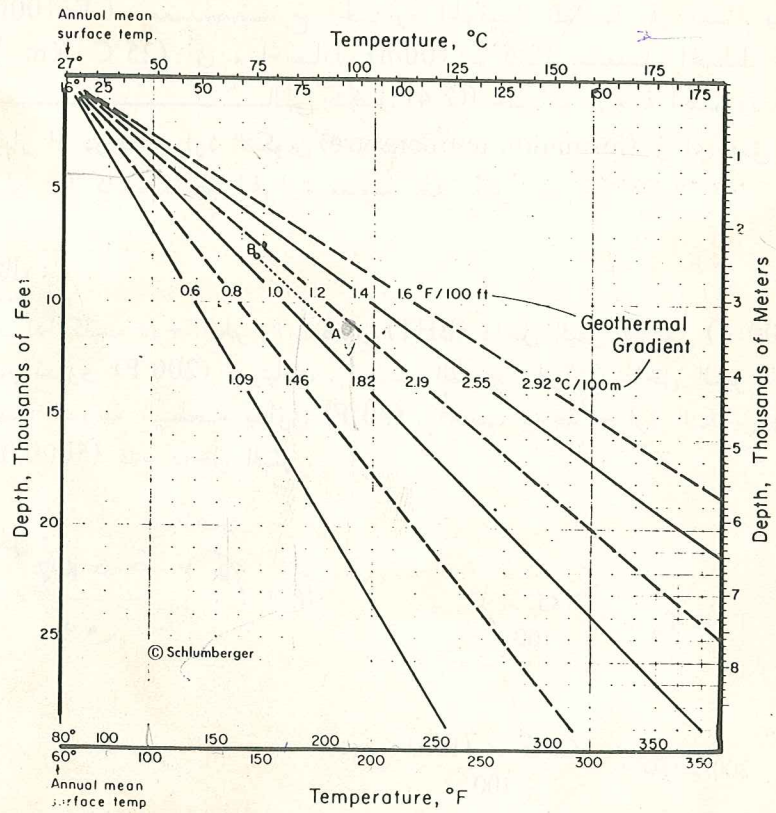
$$T_f = T_0 + \frac{G. G. \times D}{100}$$

$$200 = 80 + \frac{G. G. \times 11000}{100}$$

$$\therefore G. G. = \frac{120}{100} = 1.09^\circ\text{F}/100 \text{ ft.}$$

مقدار التدرج الحراري داخل البئر .

باستعمال المخطط البياني شكل (2-4) نجد ان التدرج الحراري متمثل بالخط المتقطع الواصل بين (A) وهي درجة الحرارة القصوى داخل البئر ونقطة (B) التي تمثل درجة حرارة التكوين في عمق (8000 ft) قدم وتساوي (167°F) . لحساب درجة حرارة التكوين في عمق (5000 ft) نستعمل المعادلة السابقة :



(2-4) مخطط بياني لحساب درجة حرارة التكوين (التدرج الحراري مع العمق يفترض خطي) (لشركة شلمبرجر)

$$T_f = 80 + \frac{1.09 \times 5000}{100}$$

$$= 134.5^\circ\text{F}$$

يمكن استعمال التحاويل التالية لتدرج الحرارة :

$$1^\circ\text{F} / 100 \text{ ft} = 1.823^\circ\text{C} / 100\text{m}$$

$$1^\circ\text{C} / 100 \text{ m} = 0.5486^\circ\text{F} / 100 \text{ ft.}$$

(3) طرق حساب المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w)

(Formation-water resistivity)

حساب المقاومة النوعية لماء التكوين مهم في دراسات تسجيل الآبار حيث انها تدخل في معادلات اساسية لحساب درجات التشبع بالماء في المكامن وغيرها . وهناك طرق عديدة لحساب المقاومة النوعية لماء التكوين منها :

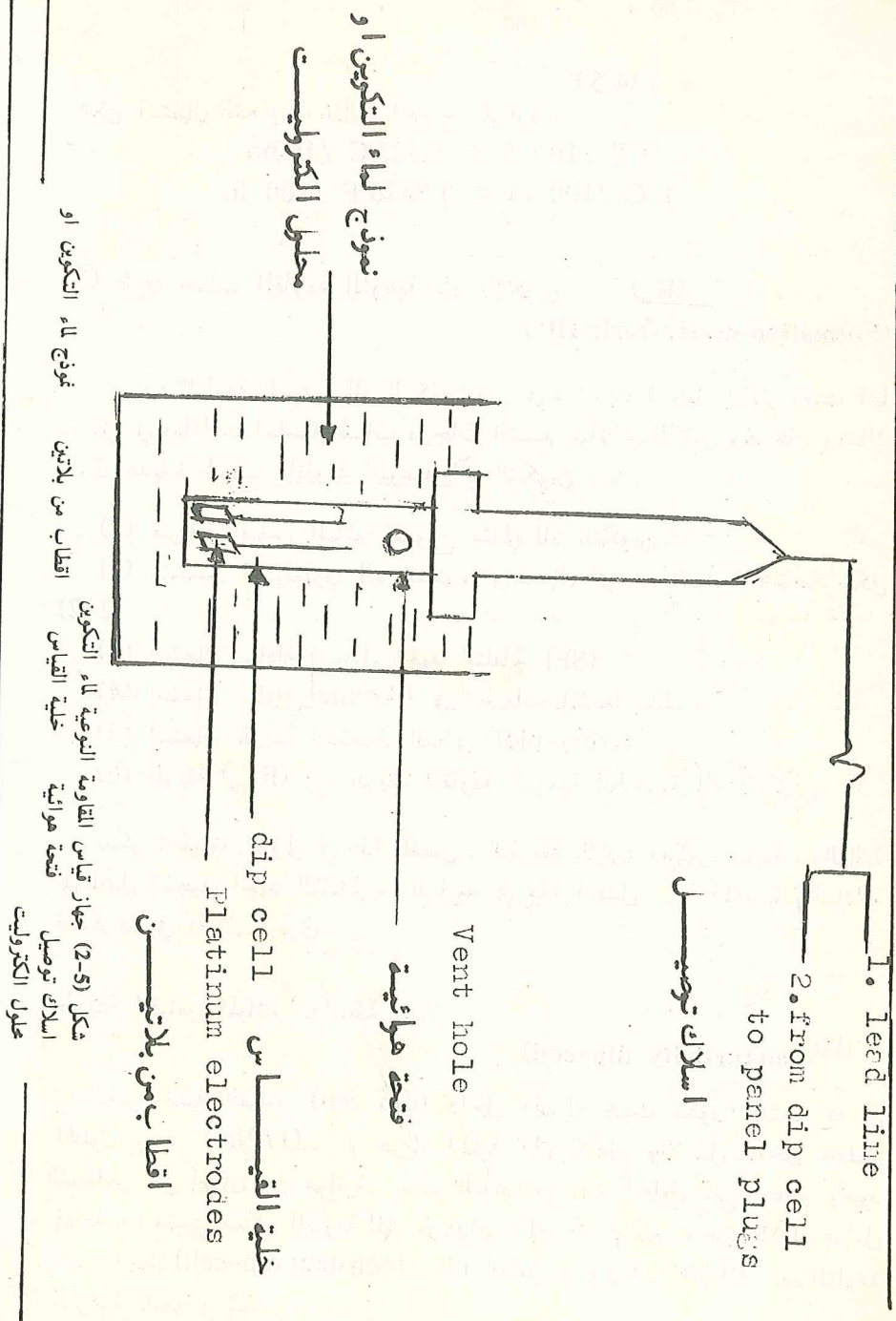
- (1) طريقة القياس المباشر لنموذج مثالي لماء التكوين.
- (2) التحليل الكيماوي لماء التكوين واستعمال الرسوم البيانية الخاصة شكل (2-2).
- (3) استعمال معادلة تسجيل الجهد التلقائي (SP).
- (4) استعمال معادلة (Archie) في الطبقات المشبعة بالماء .
- (5) استعمال طريقة التسقيط البياني (cross-plot) .
- (6) طريقة (R_{wa}) اي طريقة المقاومة النوعية الظاهرية لماء التكوين.

نذكر الطريقة الاولى في هذا الفصل . الطريقة الثانية مذكورة سابقا ، والثالثة في فصل تسجيل الجهد التلقائي ، والرابعة في هذا الفصل . اما الخامسة والسادسة فنذكرها في فصول اخرى .

طريقة القياس المباشر بواسطة جهاز

(18)(conductivity dip-cell)

تغمر خلية القياس (dip-cell) داخل المحلول بحيث تكون الفتحة داخل المحلول بعمق (1/2 in.) ، ثم تحرك الخلية الى الاعلى والاسفل داخل المحلول للتخلص من أي فقاعات هوائية . عند التأكد من ان المحلول نقي وعدم وجود فقاعات ، نقيس مقدار المقاومة للماء بوحدة (اوم) . ثم نضرب هذا المقدار بمعامل ثابت الجهاز (constant dip-cell) . هذا العامل يساوي (0.001 m) اذن المقاومة النوعية للنموذج تساوي :



$$R_w = (r) \times (C) \dots (2-8)$$

حيث :

r - مقدار المقاومة المقاسة (اوم) .

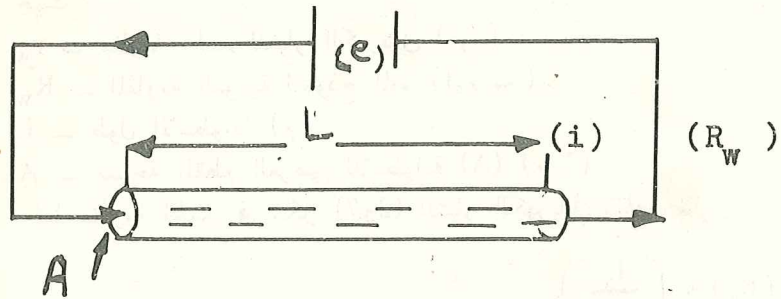
C - عامل ثبات الجهاز (م) .

R_w - المقاومة النوعية (اوم - م) .

يمكن الحصول على نموذج من ماء التكوين من عازلات الآبار المنتجة بنسب عالية من الماء او من انابيب الابار المنتجة بالضغط والتي نسب الماء فيها عالية او من اختبار جذع الحفر (drill-stem test) . اذا كانت هنالك صعوبات في الحصول على نموذج مثالي لماء التكوين ، نستعمل الطرق الاخرى المذكورة .

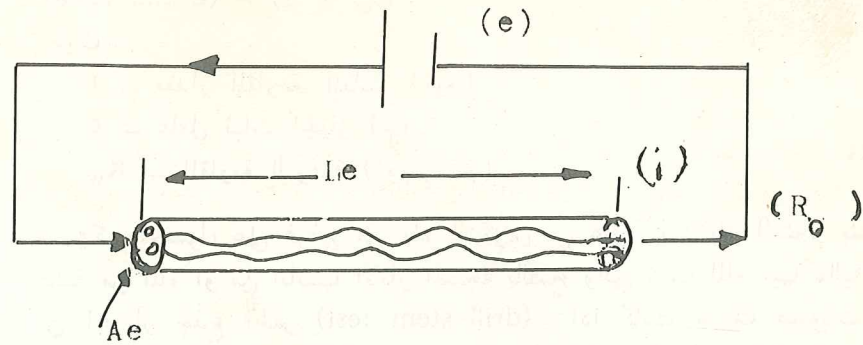
(4) المقاومة النوعية لصخرة مشبعة (100%) بماء التكوين (R_o)

خلال حفر الابار البترولية وغير البترولية تكتشف طبقات مشبعة بالماء واخرى مشبعة بالماء والهيدروكربون . المقاومة النوعية لهذه الطبقات تعتبر احدى الخواص الفيزيائية التي تمكننا من تمييز هذه الطبقات . العلاقة بين المقاومة النوعية للماء والمقاومة النوعية لصخرة مشبعة بالماء يمكن ان نمثلها بالخطط التالي :



شكل (2-6) نموذج من اسطوانة مملوءة بالماء ذات تركيز معين

نلاحظ في شكل (2-7) مسار التيار الكهربائي ممثل بانابيب شعيرية (capillary tubes) وان طول مسار التيار الكهربائي ممثل بالحرف (L_e) اي الطول الفعال (effective length) ، وهو اطول من طول الاسطوانة في شكل (2-6) .



شكل (2-7) نموذج من اسطوانة مملوءة بمجيبات زملية نقية ومشبعة بنفس الماء ذات التركيز المعين

نلاحظ ايضا مقدار التيار في شكل (2-7) ممثل بـ (i) اي يختلف عن مقدار التيار في شكل (2-6) (i). اي انه اقل من الحالة الاولى. المساحة الجانبية (A_e) الفعالة في شكل (2-7) ايضا اقل من المساحة الجانبية (A) للاسطوانة. مقاومة الجسم في شكل (2-6) للتيار الكهربائي تساوي :

$$r_w = (R_w) \times \left(\frac{L}{A} \right) \quad \dots (2-9)$$

حيث :

r_w - مقاومة الجسم للتيار الكهربائي (اوم).

R_w - المقاومة النوعية لنموذج الماء (اوم سم).

L - طول الاسطوانة (م).

A - مساحة المقطع العرضي للاسطوانة (A) (م²).

اما مقاومة الجسم في شكل (2-7) للتيار الكهربائي تساوي :

$$r_0 = (R_w) \times \left(\frac{L_e}{A_e} \right) \quad \dots (2-10)$$

حيث :

مقاومة الجسم للتيار الكهربائي⁸ (اوم) وهي اكبر من المقاومة المقاسة في شكل (2-6) بسبب اختلاف في طول مسار التيار الكهربائي (L_e) والمساحة الجانبية (A_e). يمكن تعويض المقاومات بفرق الجهد والتيار في المعادلات فتصبح :

$$E = (R_w) \times \left(\frac{L}{A} \right) \times (i) \quad \dots (2-11)$$

$$E = (R_w) \times \left(\frac{L_e}{A_e} \right) (i') \quad \dots (2-12)$$

اذن مقاومة الجسم للتيار الكهربائي في النموذج المملؤ بمجيبات رملية مشبعة بالماء اكبر من مقاومة الجسم للتيار في الحالة الاولى بمقدار يسمى معامل المقاومة النوعية للتكوين (formation-resistivity factor) ويرمز بالحرف (F) اي :

$$F = \frac{r_0}{r_w} \quad \dots (2-13)$$

اذن ممكن ان نعوض في المعادلة (2-12) بـ (F) فتصبح

$$E = (F) (R_w) \left(\frac{L}{A} \right) (i') \quad \dots (2-14)$$

اذا كانت المقاومة النوعية للنموذج الرملي ممثلة بـ (R_0) اذن المعادلة تصبح :

$$E = (R_0) \left(\frac{L}{A} \right) (i') \quad \dots (2-15)$$

$$r = R_0 \left(\frac{L}{A} \right) \quad \dots (2-16)$$

$$R_0 = (F) (R_w) \quad \dots (2-17)$$

حيث :

R_0 - المقاومة النوعية لصخرة مشبعة بالماء (اوم - م) .

F - معامل المقاومة النوعية للتكوين .

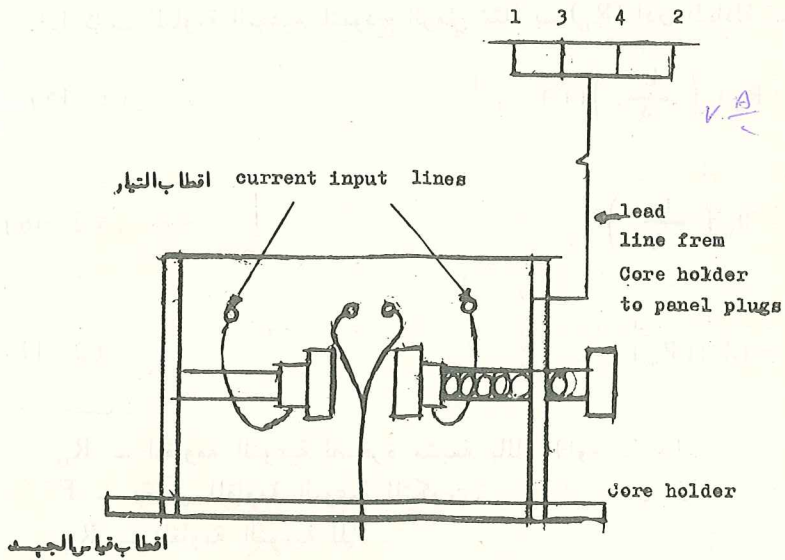
R_w - المقاومة النوعية للماء .

هذه العلاقة تعتبر مهمة في دراسات تسجيل الآبار وتحديد انتاجية الطبقات اي تحديد الطبقات الحاملة للماء او الهيدروكربونات حيث اذا كانت المقاومة النوعية المقاسة للطبقة تساوي (R_0) هذا يعني عدم وجود طبقة هيدروكربونية في المنطقة المعينة . ان معامل المقاومة النوعية للتكوين (F) يعتبر ثابت بالنسبة لصخرة معينة .

قياس المقاومة النوعية (R_0) مختبرياً :

لقياس المقاومة النوعية لنموذج صخري يجب اتباع الخطوات التالية :

- (1) يجب تشبييع النموذج بالماء ذات تركيز معين بالملح (طرق التشبييع المذكورة في مصادر عديدة في هندسة النفط) وتأكد من ان التشبييع (100 %).
- (2) قبل وضع النموذج داخل جهاز القياس ، يجب تشبييع الاقراص الجلدية الموجودة على سطح الاقطاب الكهربائية بالماء الذي استعمل لتشبييع النموذج .
- (3) ضع الاقراص الجلدية بعد التشبييع بالماء فوق الاقطاب النحاسية .
- (4) تأكد من ان اقطاب قياس فرق الجهد مربوطة بالجهاز .



(Resistivity apparatus) potential measuring probes

شكل (2-8) جهاز قياس المقاومة النوعية لنماذج الصخور

(5) انقل النموذج من اناء التشبيع بعد ازالة الماء الزائد من سطح النموذج ،
وضعه بين الاقطاب الكهربائية . تأكد من أن النموذج في تماس تام مع
الاقطاب .

- ملاحظة : قبل ان تقوم بالخطوات السابقة تأكد من ان التيار غير موصل بالجهاز .
(6) اربط الموصلات الكهربائية من الاقطاب الى جهاز قياس المقاومة النوعية .
(7) تأكد من ان موصلات التيار وفرق الجهد مستعملة خلال القياس .

- حساب المقاومة النوعية للنموذج (R_0) :

تحسب قيمة ثابت الجهاز (constant of cell) بقياس مقطع الاقطاب
الكهربائية بوحدات (m^2) وتقسم بالمسافة بين الاقطاب بوحدات (m) . يمكن
استعمال وحدات المساحة للاقطاب بـ (سم²) والمساحة بين الاقطاب تقاس بـ
(سم) ، اي :

$$R_0 = \frac{r}{(L/A)}$$

وهي معادلة (2-16) اذا استعملت وحدات (سم) فان المقاومة النوعية
للنموذج (R_0) ستكون بوحدات (اوم - سم) . اذن المقاومة النوعية تحسب من
قياس المقاومة بواسطة الجهاز وتقسم بثابت الجهاز ($\frac{L}{A}$) .

بعد حساب المقاومة النوعية (R_0) للنموذج المشبع بالماء وقيمة المقاومة النوعية
للماء (R_w) ، يمكن حساب معامل المقاومة النوعية للنموذج (F) من معادلة
(2-17) .

(5) العلاقة بين معامل المقاومة النوعية للتكوين (F) والمسامية (ϕ) :

لاحظنا سابقا ان معامل المقاومة النوعية يساوي :

$$F = \frac{r_0}{r_w}$$

لو عوضنا في المعادلة قيم المقاومة النوعية نلاحظ F تساوي :

$$F = \frac{R_w (L_e / A_e)}{R_w (L / A)} \quad \dots (2-18)$$

وبالاختصار تصبح هذه المعادلة :

$$F = \frac{(L_e/A_e)}{(L/A)} \quad \dots (2-19)$$

بما ان المسامية (ϕ) تساوي :

$$\phi = \frac{P. V.}{B. V.} \quad \dots (2-20)$$

اي ان نسبة حجم المسامات على الحجم الكلي للنموذج . نعوض للمسامية بما يلي :

$$\phi = \frac{(L_e)(A_e)}{(L)(A)} \quad \dots (2-21)$$

نعوض المسامية في المعادلة (2-19) فنحصل على :

$$F = \left(\frac{L_e}{L} \right)^2 \left(\frac{1}{\phi} \right) \quad \dots (2-22)$$

النسبة $\left(\frac{L_e}{L} \right)$ تمثل معامل التمعج (coefficient of tortuosity) ويمثل هذا المعامل بالحرف (t) فتصبح المعادلة (2-22) :

$$F = t^2 \left(\frac{1}{\phi} \right) \quad \dots (2-23)$$

او

$$t^2 = (F)(\phi)$$

ان معامل التمعج (t) ثابت لكل صخرة ويدل على درجة التماسك (consolidation) للصخرة او درجة التسميت اذا كانت الصخرة او النموذج غير متماسك : (unconsolidated) فان $L_e = L$ اي الماء الذي ينتقل خلاله التيار الكهربائي يساوي طول النموذج وان مقدار التمعج يساوي (1.0). اما اذا كانت الصخرة متماسكة جدا فان المعامل (t) يساوي تقريبا (3.0) . نستنتج من المعادلة (2.23) مايلي :

(1) ان معامل المقاومة النوعية للتكوين (F) يعتمد على نوع الصخرة ولا يعتمد على المقاومة النوعية للماء (R_w) . وقد وجدت من التجارب المختبرية بان المقاومة النوعية (R_w) للماء تؤثر على قيمة (F) اذا كانت قيمة (R_w) اكبر من واحد (اوم - م) . ولكن هذه الحالة غير موجودة في مياه الحقول بصورة عامة .

(2) العامل (F) يعتمد على المسامية (ϕ) وايضا على معامل التمعج (t) للصخرة وهذا العامل يدل على مقدار انحراف مسار التيار الكهربائي داخل المسامات من الخط المستقيم .

(3) لوجود معامل التمعج (t) فانه من الممكن ان يكون هناك نموذجان لهما نفس المقدار من المسامية (ϕ) ولكن لهما قيم مختلفة من عامل المقاومة النوعية (F) .

المسامية (ϕ) تسيطر على حجم الموائع الموجودة داخل المسامات والتي من خلالها ينتقل التيار الكهربائي . درجة التسميت (degree of cementation) تسيطر على حجم المسامات المتصلة مع بعضها (pores interconnected) ومقدار التمعج (t) في الصخرة . ظهرت معادلات عديدة من خلال الابحاث المختبرية ، تحاول ان تبين العلاقة بين عامل المقاومة النوعية للتكوين (F) والمسامية (ϕ) . من هذه المعادلات التي اصبحت مفيدة في التطبيقات الحقلية هي معادلة (Archie) :

$$F = \phi^{-m} \quad \dots (2-24)$$

حيث

m - عامل التسميت (cementation factor) او يسمى اس المسامية (porosity exponent) وهو يعتمد على درجة تماسك الصخرة او درجة التسميت . وكذلك يعتمد على درجة التصنيف (sorting) للصخرة ودرجة انضغاط الحبيبات (packing) . وهناك معادلة (Humble) :

$$F = (0.62) \phi^{-2.15} \quad \dots (2-25)$$

وهذه المعادلة تستعمل في التكوينات الناعمة (soft formations) مثل الصخور الرملية او الكلسية الحبيبة او ذات المسامية الحبيبة (intergranular porosity) شركة شلمبرجر تستعمل المعادلات التالية :

$$F = \frac{0.81}{\phi^{2.0}} \quad \dots (2-26)$$

وهذه المعادلة تستعمل للتكوينات الناعمة ايضا مثل معادلة (Humble) .

$$F = \frac{1.0}{\phi^{2.0}} \quad \dots (2-27)$$

وهذه المعادلة تستعمل للتكوينات او الطبقات المنضغطة (compact formations) او الصلبة . وهناك معادلة Shell .

$$F = \frac{1}{\phi^m}$$

$$m = 1.87 + 0.019/\phi \quad \dots\dots\dots(2-28)$$

تستعمل للتكوينات الكلسية ذات المسامية الواطئة وغير متشققة . المخطط التالي شكل (2-9) يبين العلاقة بين قيم (F) و (φ) مسقطه على ورقة لوغرمية .

نجد في المخطط البياني شكل (2-9) ان قيم (m) تتراوح من (1.8-2.8) وهي تختلف مع اختلاف ميل خط المستقيم . ولكن من التجارب المختبرية وجد بان (m) اس التسميت يتراوح بين (0.02-5.0) ، ثم نجد ثابت آخر في المعادلة يختلف مع اختلاف الصخرة حيث في معادلة (Humble) يساوي (0.62) ، ومعادلة شلمبرجر الثابت يساوي اما (0.81) او (1.0) ونستطيع ان نمثل العلاقة بين (F) و (φ) بالمعادلة العامة التالية :

$$F = \frac{a}{\phi^m} \quad \dots (2-29)$$

حيث

a — ثابت للصخرة او النموذج المعين وتتغير مع تغير (m) .
قيم (a) تتراوح بين (0.2-10.0) في التكوينات الرملية وتتراوح من (0.2-20.0) في التكوينات الكلسية . يمكن تمثيل العلاقة بين (m) والثابت (a) بالمعادلة :

$$m = 1.8-1.29 \log(a) \quad \dots (2-30)$$

في التكوينات الرملية و

$$m = 2.03-0.9 \log(a) \quad \dots (2-31)$$

في التكوينات الكلسية .

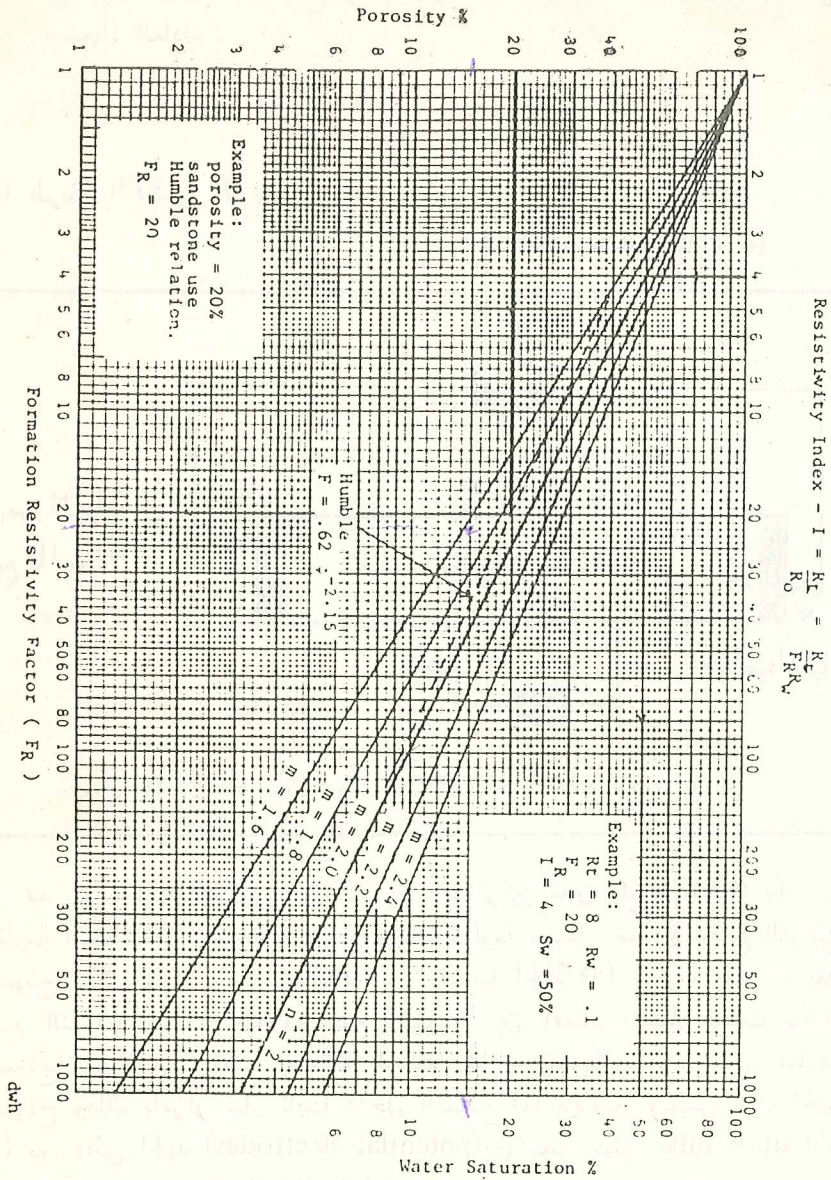
(6) طريقة ايجاد قيمة (F) عامل المقاومة النوعية للتكوين :

هناك طرق عديدة تستعمل لاجاد قيمة (F) منها :

- (1) طريقة الاقطاب الاربعة .
- (2) طريقة الضغط الشعري (capillary pressure) باستعمال طريقة (restored state method) .
- (3) طريقة معادلة (Archie)

$$R_0 = FR_w$$

$$F = R_0 / R_w \dots$$



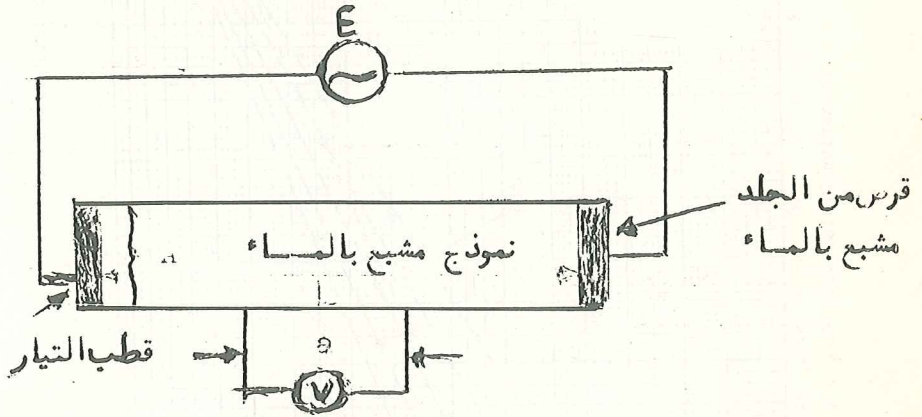
شكل (2-9) مخطط بياني لقيم (F) عامل التكوين والمسامية (ϕ) (شركة شلمبرجر)

(4) من قيمة المسامية للنموذج وإذا كان اس التسميت معلوما (m) فممکن استعمال المعادلة :

$$F = \frac{a}{\phi^m}$$

(1) طريقة الاقطاب الاربعة :

(4 electrodes method)



شكل (10-2) مخطط يبين طريقة قياس (F) باستعمال طريقة الاقطاب الاربعة

نجد في شكل (10-2) نموذج مشبع بماء له تركيز معين بملح (NaCl) وان - المقاومة النوعية للماء معلومة . أي ان (R_w) معلومة مسبقا . مساحة المقطع العرضي للنموذج (A) ايضا مقاسة . والمسافة بين اقطاب الجهد (a) معلومة وثابتة . بعد تشبع النموذج بالماء (100%) نضع النموذج بين اقطاب التيار بحيث يكون النموذج متصلا مع القطب بواسطة القطعة الجلدية المشبعة بالماء . نقيس مقاومة النموذج وذلك بامرار تيار ثابت داخل النموذج (i) بالامبير ونقيس فرق الجهد (v) بين قطبي الجهد (potential electrodes) بواسطة جهاز (Vacuum tube voltmeter) . باستعمال المعادلة التالية :

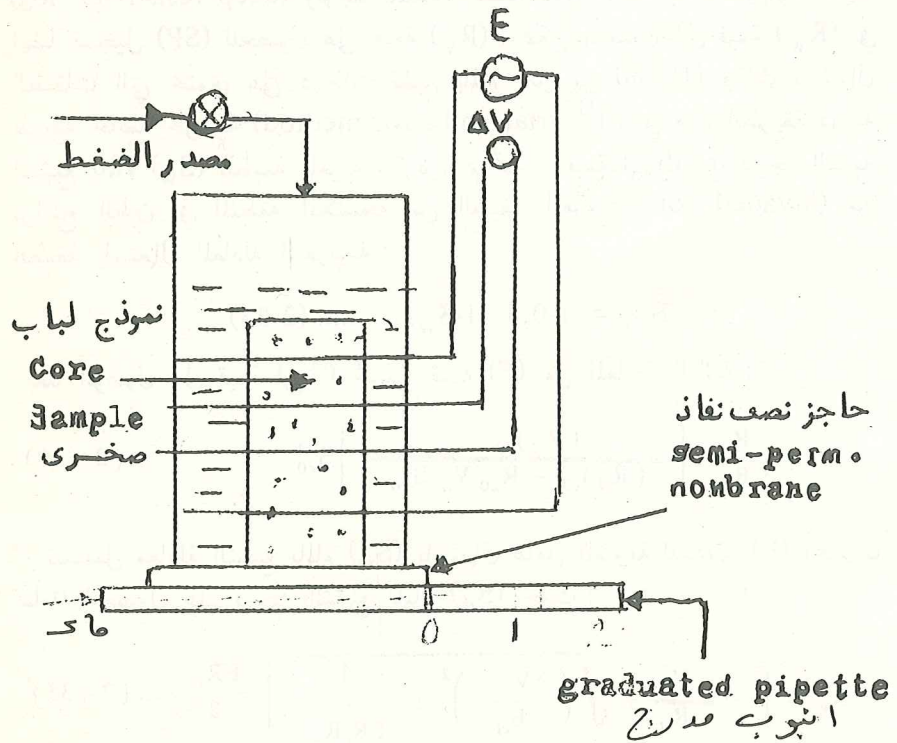
$$R_0 = \left(\frac{V}{i} \right) \left(\frac{A}{a} \right) \quad \dots (2-32)$$

نستطيع حساب المقاومة النوعية للنموذج (R_o) المشبع بالماء . وبما ان المقاومة النوعية للماء (R_w) معلومة ، اذن نستطيع حساب عامل المقاومة للتكوين (F) حيث :

$$F = R_o / R_w$$

(2) طريقة الضغط الشعري :

تشمل هذه الطريقة على وضع نموذج مشبع بالماء (100%) في خلية الضغط الشعري نوع (جهاز اعادة حالة restored state) وقياس المقاومة النوعية للنموذج في درجة تشبع (100%) ودرجات التشبع الاخرى التي هي اقل من (100%). الشكل التالي يبين خلية الضغط الشعري (capillary pressure cell) :



شكل (2-11) مخطط لجهاز قياس المقاومة النوعية في درجات التشبع المختلفة

قبل تسليط الضغط على النموذج ، تقاس المقاومة النوعية كما في الطريقة السابقة وهذه تمثل (R_o) ومقاومة الماء النوعية معلومة ، نستطيع حساب عامل المقاومة للتكوين (F) باستعمال معادلة (Archie) حيث :

$$F = R_o / R_w$$

لكن هذه الطريقة تستعمل لحساب أس التشبع (saturation exponent) للنموذج . سنذكر عن كيفية حساب اس التشبع في الصفحات اللاحقة .

(3) طريقة معادلة (Archie) ($F = R_o/R_w$)

يمكن استعمال هذه الطريقة في الحقل اذا توفرت لدينا المقاومة العميقة (deep resistivity log) وتوجد بالمنطقة طبقة نقية مشبعة بالماء . ويتوفر لدينا ايضا تسجيل (SP) للحصول على قيمة (R_w) . يمكن الوصول الى قيمة (R_w) في الطبقات التي تحتوي على درجات تشبع بالماء اقل من (100%) وذلك باستعمال طريقة خاصة تجريبية (trial and error method)⁽¹⁵⁾ . في هذه الطريقة درجة التشبع بالماء (S_w) للطبقة المعينة تفترض ثم تحسب قيمة (S_{xo}) اي درجة التشبع براشح الطين في المنطقة المكتسحة من الطبقة المغزوة (invaded zone) من الطبقة باستعمال المعادلة التقريبية :

$$S_{xo} = 1 - 0.5 (1 - S_w) \dots\dots\dots(2-33)$$

بعد الوصول الى قيمة (S_{xo}) نحسب قيمة (F) من المعادلة التالية :

$$F = \frac{R_{xo}}{R_{mf}} \left[\frac{(R_{cl})_{xo}}{(R_{cl})_{xo} - R_{xo} V_{cl} S_{xo}} \right] S_{xo}^2 \dots (2-34)$$

ثم نستعمل معادلة التشبع بالماء (S_w) باستعمال عامل المقاومة للتكوين (F) المحسوب سابقا للحصول على درجة التشبع بالماء (S_w) حيث :

$$S_w = \left[-\frac{V_{cl}}{R_{cl}} + \sqrt{\left(\frac{V_{cl}}{R_{cl}} \right)^2 + \frac{4}{FR_{cl}R_w}} \right] \frac{FR_w}{2} \dots (2-35)$$

إذا كان هناك اختلاف كبير بين قيمة درجة التشبع المحسوبة بالمعادلة والقيمة المفروضة فإننا نستعمل هذه القيمة محل القيمة المفروضة ونحصل على (S_{xo}) ونعيد العملية السابقة الى ان يصبح الفرق بين القيمة المفروضة للتشبع بالماء والمحسوبة قليل جداً أي لنفرض أقل من (0.01) . او اقل من (1.0%) . أي :

$$(S_w)_{\text{assumed}} - (S_w)_{\text{computed}} \leq 0.01$$

قيمة (F) المحسوبة عن هذا الحد تعتبر القيمة الصحيحة المثلى للتكوين في العمق المعين .

(7) اثبات العلاقة في معادلة (Archie) :

$$(R_o = F R_w)$$

في المعادلات السابقة بينا ان مقاومة النموذج المشبع بالماء للتيار الكهربائي تساوي :

$$r_o = R_w \left(\frac{L_e}{A_e} \right) \quad \dots (2-10)$$

$$r_o = R_o \left(\frac{L}{A} \right) = \frac{(R_w(t)(L))}{(A_e)} \quad \dots (2-36)$$

في المعادلة (2-36) عوضنا بالطول الحقيقي للنموذج بمعامل التمتع (t) .
لو فرضنا ان النموذج يحتوي على انايبب شعرية لها معدل نصف القطر (r) وعددها (n) ، فإن المساحة (A_e) للنموذج تصبح (n π r⁻²) فتصبح المعادلة ⁸ :

$$(R_o) \left(\frac{L}{A} \right) = \frac{R_w(t)(L)}{(n \pi r^{-2})} \quad \dots (2-37)$$

$$\frac{R_w(t)(L)}{(n \pi r^{-2})} = \frac{R_w(t^2)(L)}{n \pi r^{-2}(t)} \quad \dots (2-38)$$

مسامية النموذج الذي يحتوي على نفس العدد (n) من الانايبب الشعرية تساوي :

$$\phi = \frac{n \pi r^{-2}(t)(L)}{(A)(L)} \quad \dots (2-39)$$

$$\phi = \frac{n \pi \bar{r}^2(t)}{(A)} \quad \dots (2-40)$$

اذن :

$$\therefore \frac{(R_o)(L)}{A} = \frac{(R_w)(t^2)(L)}{(\phi)(A)} \quad \dots (2-41)$$

وبالاختصار تصبح لدينا المعادلة الاخيرة

$$R_0 = (F)(R_w)$$

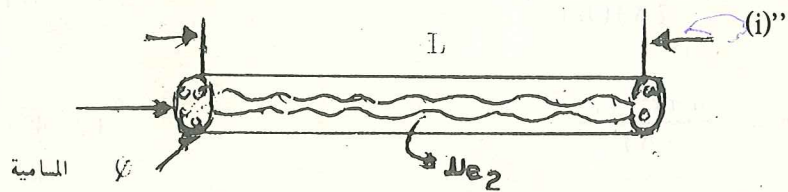
(8) المقاومة النوعية لنموذج مشبع جزئياً بالماء (R_f):

عند وجود موائع غير موصلة للتيار الكهربائي داخل المسامات مثل النفط أو الغاز بجانب ماء التكوين، فإن المقاومة النوعية للتكوين تكون اكبر من المقاومة النوعية (R_o). الرمز المستعمل (R_f) يعني المقاومة النوعية الحقيقية للنموذج أو الصخرة المشبعة جزئياً بالماء. هذه المقاومة تعتمد على حجم المسامات المملوءة بالماء أو مقدار التشبع بالماء وتعتمد على نوع النموذج أو الصخرة (التركيب المعدني، درجة التصنيف لذرات الصخرة، نوع المسامية، درجة التسميت وغيرها من العوامل) ومقاومة ماء التكوين. يمكن ان نبين هذه العلاقة بالمعادلة:

$$R_f = \frac{(R_w)(L_e)_2}{(S_w)(\phi)} \quad \dots (2-42)$$

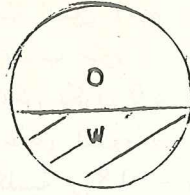
حيث:

- R_t - المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين (اوم - م).
 - R_w - المقاومة النوعية للماء (اوم - م).
 - L_{e2} - المسافة الحقيقية لانتقال التيار الكهربائي داخل النموذج أو التكوين (م).
 - (S_w) - درجة التشبع بالماء (نسبة مئوية).
 - (ϕ) - مسامية التكوين أو النموذج (نسب مئوية).
- ويمكن ان تمثل هذه العلاقة بالمخطط التالي:



شكل (2-12) مخطط لنموذج مشبع جزئياً بالماء

يمكن تمثيل درجة التشبع بالمخطط التالي



شكل (2-13) مخطط لمسام مكبرة مملوء بالنفط والماء

درجة التشبع بالماء (50%)
بعد تجارب مختبرية توصل (Archie) الى المعادلة :

$$(S_w)^n = \frac{(F)(R_w)}{(R_t)} \quad \dots (2-43)$$

حيث :

(S_w) - تمثل درجة التشبع بالماء (نسبة مئوية) .

(F) - معامل التكوين (بدون وحدة) .

(R_w) - مقاومة الماء النوعية (اوم - م) .

(R_t) - مقاومة النموذج أو الصخرة الحقيقية (اوم - م) .

n - اس التشبع (saturation exponent) ويساوي (2.0) بصورة عامة وفي حالات الصخرة تكون مبللة بالماء (water wet) ، في حالات الصخرة تكون ذات قابلية للتبليل بالنفط (oil wet) فإن اس التشبع يكون (3.0) أو (4.0) للحصول على نتائج صحيحة لدرجة التشبع بالماء للممكن يجب حساب اس التشبع للنموذج مختبرياً . إن معادلة (Archie) تعطي نتائج جيدة إذا كان التكوين نقي وله مسامية محبة (intergranular porosity) أو (intercrystalline) لكن في التكوينات التي لها مسامية ثانوية (secondary porosity) مثل الشقوق أو الفراغات (cavities) فإن النتائج تكون مشكوكة . في هذه الحالة يجب استعمال معادلات (Archie) المطورة في حالة المكامن غير النقية يفضل استعمال المعادلة :

$$\frac{1}{R_t} = \left[\frac{V_{cl} \left(\frac{1 - V_{clay}}{2} \right)}{R_{clay}} + \frac{\phi^{m/2}}{\sqrt{aR_w}} \right] S_w^{n/2} \quad \dots (2-44)$$

حيث :

R_t - المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين (اوم - م) .

V_{clay} - حجم الطين داخل التكوين (نسبة مئوية) .

R_{clay} - المقاومة النوعية للطين (اوم - م) .
 ϕ - مسامية التكوين (نسب مئوية) .
 m - اس التسميت (يمكن يكون 2.0 أو اي قيمة تمثل التكوين) .
 a - ثابت في معادلة عامل المقاومة مع المسامية وتستعمل شركة شلمبرجر
 $a = 1.0$ في الصخور الكلسية و $a = 0.8$ في الصخور الرملية عند استعمال
 $(m = 2.0)$

R_w - المقاومة النوعية لماء التكوين (اوم - م) .
 S_w - درجة التشبع بالماء (نسبة مئوية) .
 n - اس التشبع .
 لحساب درجة التشبع بالهيدروكربون فإننا نستعمل العلاقة :
 $S_h = 1 - S_w$ (2-45)

حيث :

S_h - تمثل درجة التشبع بالهيدروكربون (نسبة مئوية) .

يمكن حساب درجة التشبع بالماء بمعادلة (Archie) (2-43) وذلك باستعمال
 المخطط البياني شكل (2-13) .

مثال :

احسب درجة التشبع بالماء (S_w) في منطقة التكوين ، إذا علمت ان المسامية
 تساوي ($\phi = 20\%$) والتكوين رملي ومقدار المقاومة النوعية لماء التكوين
 $(R_w = 0.095)$ والمقاومة النوعية الحقيقية ($R_t = 15$) .

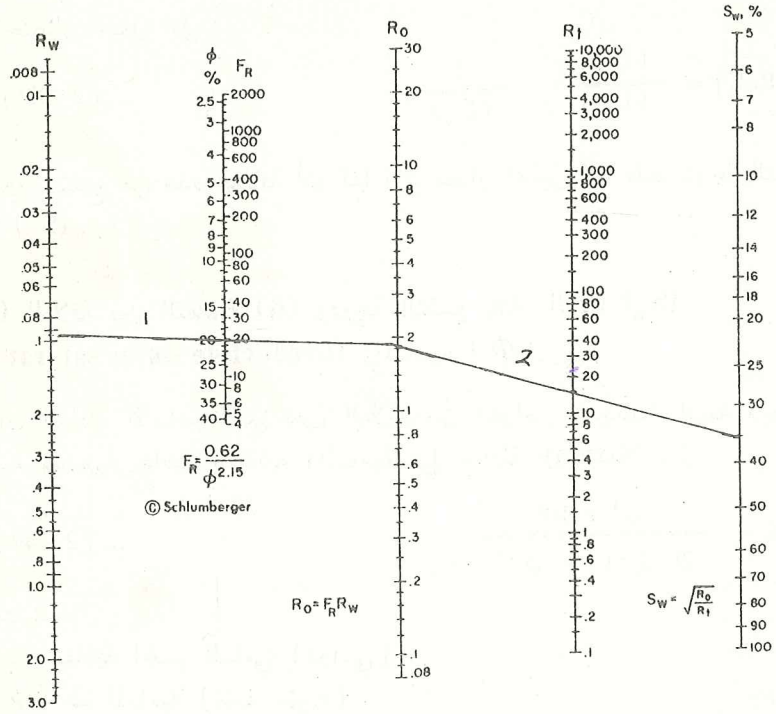
الحل :

نجد في المخطط البياني للتشبع شكل (2-14) خط مستقيم مرسوم بين نقطة
 (R_w) والمسامية (ϕ) لايجاد (R_o) وهذا الخط مؤشر برقم (1) . الخط الثاني مرسوم
 من قيمة (R_o) وقيمة (R_t) لحساب (S_w) وهو ممثل بخط رقم (2) ، الجواب
 $(S_w = 35\%)$.

(9) دليل المقاومة (Resistivity Index)

يعتبر دليل المقاومة طريقة لاكتشاف طبقات هيدروكربونية حيث كلما كان
 الدليل أكبر من واحد يعني احتمال وجود طبقات حاوية على هيدروكربونات هذا
 الدليل يعتمد على درجة التشبع بالماء ونوع التكوين . يعرف دليل المقاومة بأنه

0.62/2.15



شكل (2-14) مخطط بياني لحساب درجة التشبع بالماء (S_w) بطريقة (Archie) (لشركة شلمبرجر)

نسب المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين (R_t) على المقاومة النوعية لتكوين مشبع بالماء (R_o) أي:

$$(R.I.) = R_t / R_o \dots\dots(2-46)$$

للتوصل الى أن الدليل يعتمد على درجة التشبع بالماء نعوض في المعادلة (2-46) :

$$(R. I.) = \frac{(R_w)(L_{e2})}{(\phi)(S_w)} \times \frac{(\phi)}{(R_w)(L_{e1})} \quad \dots (2-47)$$

وبالاختصار نحصل على :

$$(R. I.) = \frac{(L_{e2})}{(L_{e1})} \times \frac{1}{(S_w)} \quad \dots (2-48)$$

أي نستنتج من هذه العلاقة أنه كلما زاد مقدار الدليل كلما قلت درجة التشبع بالماء (S_w) .

(10) العلاقة بين النفاذية (K) ودرجة التشبع بالماء الدنيا (S_w) (irreducible water saturation) والمسامية (ϕ)

إن المعادلة الأساسية التي تبين العلاقة بين الخواص الفيزيائية المهمة لاجسام مسامية وبصورة خاصة النفاذية والمسامية هي معادلة Kozeny⁸ :

$$K = \frac{\phi^3 \times 10^8}{2t^2 S_v^2 (1 - \phi)^2} \quad \dots (2-49)$$

حيث :

K - نفاذية الجسم المسامي (دراسي).

ϕ - المسامية (نسبة مئوية).

t - معامل التمعج (بدون وحدة).

S_v - السطح النوعي لوحدة حجم من الصخرة (سم² / سم³).

السطح النوعي لحبيبات كروية الشكل بعدد (n) ولها معدل نصف قطر (r^-) (سم) يساوي :

$$S_v = \frac{4n \pi \bar{r}^2}{n \frac{4}{3} \pi \bar{r}^3} = \frac{3}{\bar{r}} \quad \dots (2-50)$$

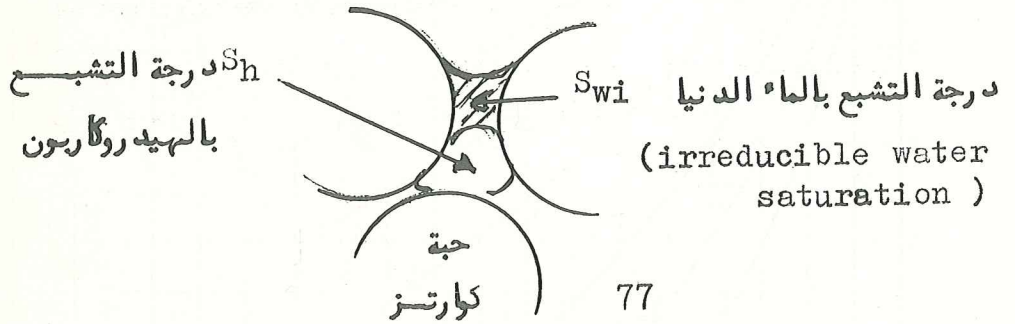
(سم² / سم³)

اذن ممكن الاستنتاج بأن نفاذية الصخرة (K) تعتمد بدرجة كبيرة على حجم الحبيبات بالإضافة الى المسامية (ϕ) ومعامل التمعج (t). من المعادلات (2-49) و (2-50) ممكن اذن قياس نفاذية الصخرة (k) بدون استعمال تجارب قياس سرعة جريان السائل داخل نموذج في المختبر وإنما ممكن الاعتماد على تسجيل الآبار في

الحصول على المسامية ومعامل التمعج والوصول الى حجم الحبيبات عن طريق قياس حجم فئات الصخور من الحفر (drill cuttings) باستعمال عدسة مكبرة او مجهر له مقياس لقياس حجم الحبيبة . او مقارنة حجم الحبيبات مع مقياس حجم الحبيبات .

المسامات داخل المكامن الحبيبة (granular reservoirs) تكون محتوية على الماء أي بدرجة تشبع (100%) او تكون محتوية على هيدروكربونات (نفط او غاز) وكذلك على نسب من الماء غير المتحرك (non-movable water) او مايسمى ب الماء المتزامن (connate water) .

الشكل التالي يبين مخطط لمسام مملوءه بالهيدروكربون

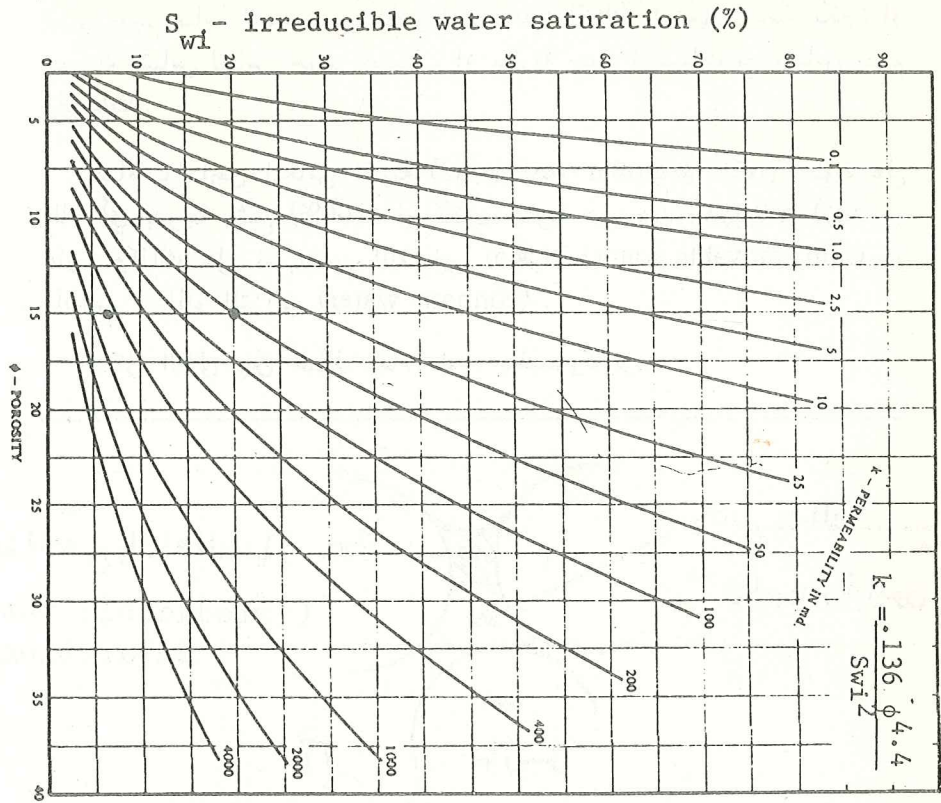


شكل (2-15) مقطع خلال مسامات مشبعة بالهيدروكربون والماء

الصخرة التي تحتوي على هذا النوع من توزيع الموائع داخل المسامات تسمى صخرة مبللة بالماء (water wet rock) مقدار ماء التبلل داخل المسامات يتناسب مع المساحة السطحية المحيطة بالمسام . اذن ممكن تعويض السطح النوعي (S_v) بدرجة التشبع بالماء المتبقي (S_{wi}) فتصبح معادلة (2-49) :

$$S_{wi} \approx S_v \approx \frac{1}{\sqrt{2Fk}} \frac{\phi}{(1-\phi)} \quad \dots (2-51)$$

النفاذية (k) في المعادلة بوحدات (ملدارسي) . المعادلة طبقت على نماذج صخرية نقية ووجد أن العلاقة صحيحة . المخطط التالي يبين العلاقة بين درجة التشبع بالماء الدنيا (S_{wi}) والمسامية (ϕ) والنفاذية (k) .



شكل (2-16) يبين العلاقة بين درجة التشبع بالماء الدنيا (S_{wi}) والمسامية (ϕ) والنفاذية (k).

من التجارب المختبرية ، وجد (Wyllie) و (Rose) العلاقة التالية بين النفاذية (k) والمسامية (ϕ) ودرجة التشبع بالماء الدنيا (S_{wi}):

$$k = (C)(\phi^3)/(S_{wi})^2 \quad \dots (2-52)$$

يساوي الثابت (C) (250) اذا كان السائل نفط خام ذو كثافة متوسطة (medium API gravity) وتساوي (C) (79) اذا كانت المسامات تحتوي على الغاز . وسبب اختلاف الثابت (C) في المعادلة التي تمثل نفاذية صخرة معينة هو الاختلاف في مقدار (S_{wi}) في حالة نموذج ذو نفاذية معينة مشبعة بالغاز او بالنفط حيث (S_{wi}) اقل في حالة النموذج المشبع بالغاز .

تستعمل شركة شلمبرجر لسح الآبار المعادلات التالية لحساب النفاذية (k) للتكوينات الرملية النقية والطفلية (sand-stones and shaly sands)

$$K^{1/2} = \frac{250 (\phi^3)}{(S_{wi})} \quad \dots (2-53)$$

إذا كان الهيدروكربون داخل المسامات متوسط الكثافة .

$$K^{1/2} = \frac{(79)(\phi^3)}{(S_{wi})} \quad \dots (2-54)$$

إذا كان الهيدروكربون داخل المسامات غاز .

يمكن أن تحسب النفاذية باستعمال مخطط بياني شكل (2-17) .

تستعمل هذه الطريقة لحساب النفاذية للمكامن التي درجة تشبعها بالماء هي الدنيا أو (S_{wi}) ولا يمكن استعمالها في الاجزاء الكمينة التي درجة تشبعها بالماء اكبر من (S_{wi}) او في المناطق الانتقالية (transition zones) . يمكن معرفة المناطق التي تجري لها الحسابات تمثل مناطق انتقالية داخل المكنن اولا وذلك بملاحظة منحنى الخط البياني الذي يربط عدة نقاط . اذا كان المنحنى على شكل مقطع زائد (hyperbola) كما مبينة على المخطط (2-17) حيث (S_w) (ϕ) = ثابت ، فإن القياسات تمثل مناطق داخل المكنن غير انتقالية ، الشكل (2-18) منحنى مرسوم من نقاط تمثل مكنن كلي وآخر من الدولومايت .

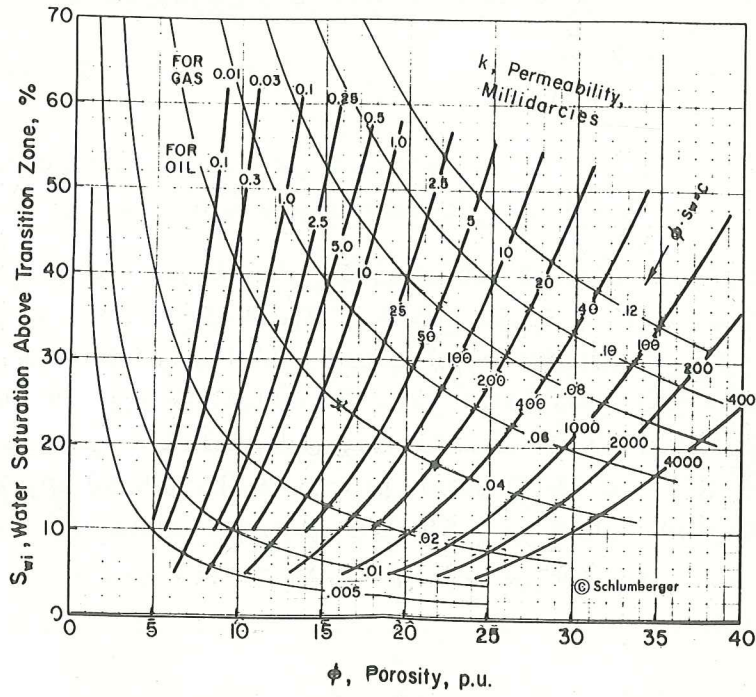
مثال :

طبقة رملية حاوية على النفط ، لها مسامية (ϕ) تساوي (25%) ودرجة التشبع الدنيا بالماء ($S_{wi} = 40\%$) مامقدار نفاذية الطبقة (k) ؟

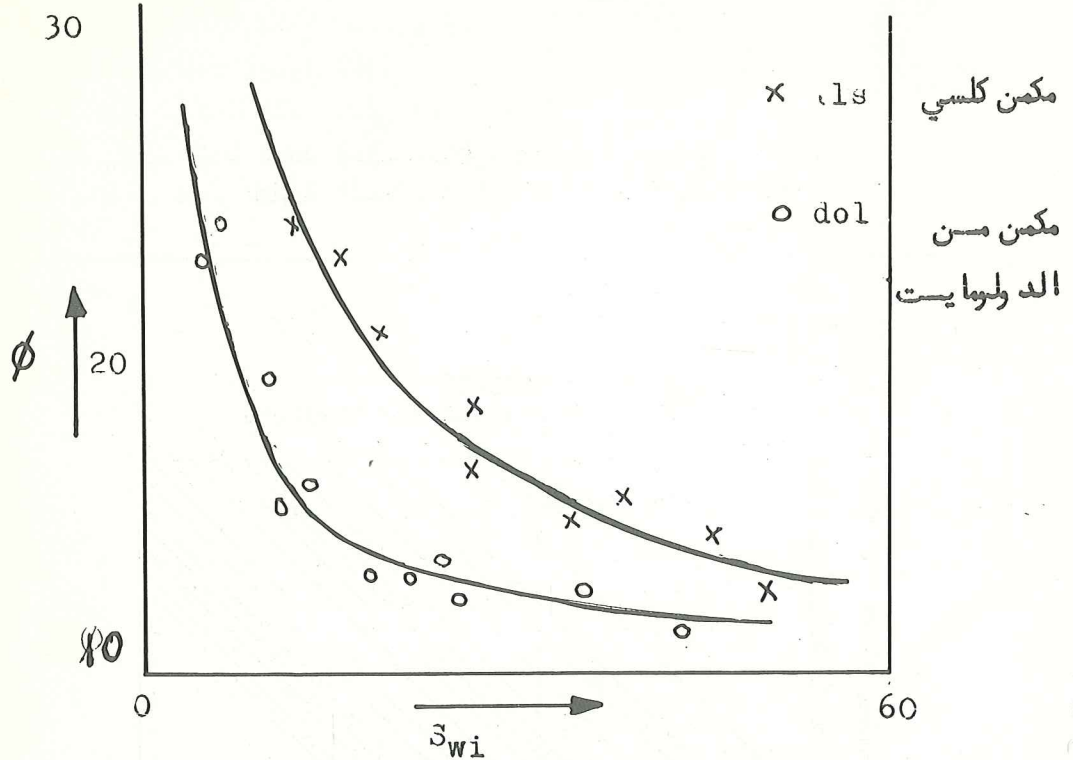
الحل :

باستعمال شكل (2-17) نحصل على مقدار النفاذية ($k = 100 \text{ md}$) هناك طريقة اخرى لحساب النفاذية تعتمد على سمك المنطقة الانتقالية داخل المكنن . لقد وجد من الدراسات الحقلية بأن سمك المنطقة الانتقالية داخل المكنن يتناسب عكسيا مع النفاذية ويتناسب طرديا مع (S_{wi}) .

PERMEABILITY: SANDSTONES, SHALY SANDS^{16, 17}



شكل (2-17) مخطط بياني لحساب نفاذية المكامن الرملية النقية وغير النقية (لشركة شلمبرجر)



(2-18) مخطط بياني لمنحني المسامية مع درجة التشبع بالماء الدنيا

(M.P. Tixier)² وجد طريقة لحساب نفاذية المكامن في المناطق الانتقالية مبنية على تدرج المقاومة النوعية في المنطقة الانتقالية وفرق الكثافة بين النفط والماء. تعتبر المكامن التي لها مناطق انتقالية كبيرة لها نفاذية قليلة والعكس صحيح أيضا.

المخطط البياني التالي شكل (2-19) يستعمل لحساب النفاذية بطريقة تدرج المقاومة (resistivity gradient).

المخطط البياني شكل (2-19) يمثل بالمعادلة :

$$k = c \left(a \times \frac{2.3}{\rho_w - \rho_o} \right)^2 \quad \dots (2-55)$$

حيث :

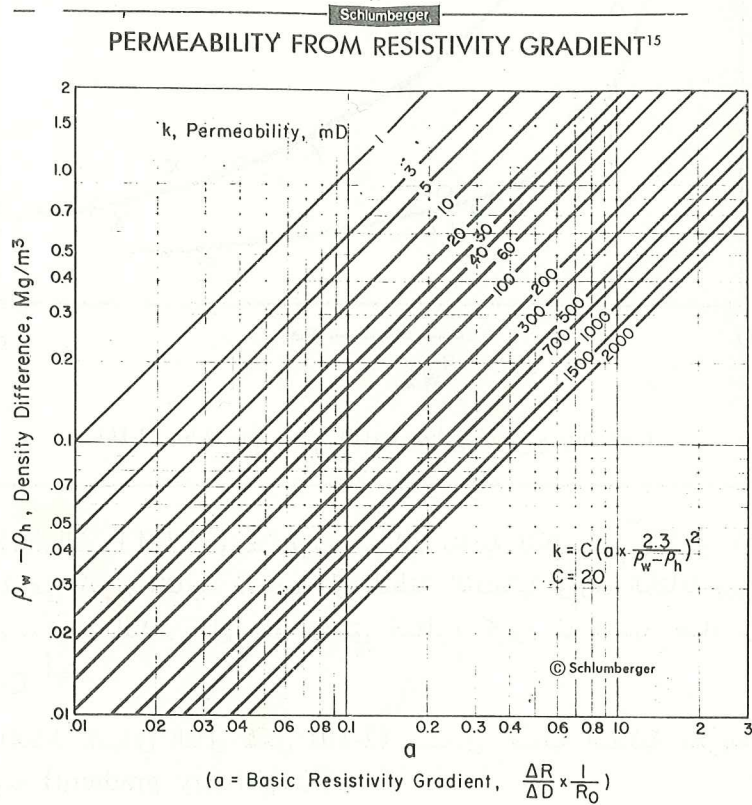
k - نفاذية المكمن (ملدارسي) .

C - ثابت ويساوي (20) .

ρ_w - كثافة الماء المكمني (غم / سم³) .

ρ_o - كثافة النفط (غم / سم³) .

a - تدرج المقاومة النوعية .



شكل (2-19) مخطط بياني لحساب نفاذية المكمن بطريقة تدرج المقاومة النوعية (لشركة شلمبرجر)

مقدار a يساوي :

$$a \left(\frac{\Delta R}{\Delta D} \times \frac{1}{R_0} \right) \quad \dots (2-56)$$

حيث :

- ΔR - فرق المقاومة النوعية مقاس على تسجيل المقاومة (اوم - م) .
- ΔD - فرق العمق (قدم) .
- R_0 - المقاومة النوعية للمنطقة المشبعة بالماء (اوم - م) .

مثال :

إذا كانت المقاومة النوعية (R_p) المسجلة في عمق (7010 ft) او (2137m) تساوي (35Ωm) والمقاومة المسجلة في عمق (7050 ft) او (2149 m) تساوي (15Ωm) ومقدار عامل التكوين للمقاومة (F) يساوي (50) والمقاومة النوعية للماء ($R_w = 0.035 \Omega m$) في درجة (220°F) وكثافة الهيدروكربون تساوي (30° API) احسب مقدار نفاذية المكمن .

الحل :

مقدار المقاومة النوعية (R_0) يساوي

$$R_0 = (F) (R_w)$$

$$R_0 = (50) (0.035)$$

$$= 1.75 \text{ (ohm-m)}$$

مقدار فرق المقاومة النوعية بين الاعماق المذكورة يساوي

$$\Delta R = 35 - 15 = 20 \text{ (ohm-m)}$$

وفرّاق العمق يساوي

$$\Delta D = 7050 - 7010 = 40 \text{ ft}$$

اذن مقدار تدرج المقاومة يساوي

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\Delta R}{\Delta D} \times \frac{1}{R_0} \right) \\ &= \left(\frac{20}{40} \times \frac{1}{1.75} \right) = 0.286 \end{aligned}$$

للحصول على كثافة الماء المكمني (ρ_w) يجب معرفة ملوحة الماء . الجدول التالي يبين اختلاف كثافة الماء مع الملوحة .

جدول رقم (2-1) كثافة محاليل (NaCl) مختلفة التراكيز
NaCl Solutions

14.7 psi, 60°F, 101.3kp a 16°C

Kppm or g/kg	gmlcc (غم / سم ³)
0	1.000
50	1.034
100	1.071
150	1.109
200	1.148
250	1.189

بما ان قيمة (R_w) تساوي (0.035) فإن ملوحة الماء حسب المخطط البياني (2-2) تساوي (75000ppm) في درجة (220°F) و (75Kppm) حيث ($K=1000$) ، حسب الجدول اعلاه فإن كثافة الماء تساوي ($\rho_w = 1.053$) للحصول على كثافة النفط ، نستعمل الجدول التالي الذي يبين اختلاف كثافة النفط مع درجة (API) .

جدول (2-2) اختلاف كثافة النفط مع درجة (API)

نفط (oil)

14,7 psi, 60°F, 101 ,3K Pa, 16°C

°API	gm / cc (غم / سم ³)
15	0.966
20	0.934
25	0.904
30	0.876
40	0.825
50	0.780

باستعمال جدول (2-2) نجد أن كثافة النفط تساوي ($\bar{\rho}_o = 0.876$) ، فرق الكثافة بين الماء المكمني والنفط يساوي

$$(\rho_w - \rho_o) = 1.053 - 0.876 = 0.177$$

اذن باستعمال المخطط البياني (2-18) بعد ادخال قيمة ($a = 0.286$) و ($S_w - S_o = 0.177$) نجد أن النفاذية ($k = 275$ md) .

امثلة محلولة :

(1) يحتوي نموذج من ماء التكوين او الماء المتزامن (connate water) على ملح (NaCl) بتركيز (200,000 ppm) النموذج مأخوذ من مكن في درجة (125°F) . احسب مقدار المقاومة النوعية للنموذج .

الحل :

باستعمال المخطط البياني (2-2) نجد ان المقاومة النوعية (R_w) للماء تساوي ($R_w = 0.275$ m) .

(2) اذا كان تركيز ايونات الكلور (Cl) في نموذج من ماء التكوين يساوي (mg/L) (100,000) في درجة (180°F) . ماهو مقدار المقاومة النوعية لهذا النموذج ؟

الحل :

للحصول على تركيز (NaCl) في ماء التكوين نستعمل العامل (1.65) لتحويل التركيز من (Cl) الى (NaCl) أي تركيز النموذج ب (NaCl) يساوي
 $100,000 \times 1.65 = 165,000 \text{ mg/L (NaCl)}$

باستعمال المخطط البياني (2-2) نجد أن المقاومة النوعية للنموذج ($R_w = 0.023 \Omega\text{m}$) .

(3) اذا كانت مسامية تكوين رملي صلب (hard) تساوي ($\phi = 10\%$) . ما مقدار عامل المقاومة النوعية للتكوين (F) ؟

الحل :

باستعمال المخطط البياني (2-9) نجد أن عامل المقاومة (F) يساوي ($F = 100$) .
 (4) نموذج من لباب صخري رملي اسطواناني الشكل ومشبع بماء مالح ذو تركيز

(50000 ppm) من (NaCl) في درجة (104°F) مقدار مقاومة هذا النموذج للتيار الكهربائي يساوي (980) اوم . قطر اللباب الصخري يساوي (3.5 in) وطوله (12 in.) احسب مسامية النموذج (ϕ) .

الحل :

مقدار المقاومة النوعية للنموذج (R_o) يساوي

$$R_o = \frac{(980)(3.5^2 \times \pi/4)}{12} \times \frac{1}{39.4}$$

$$= (2.0 \Omega m)$$

باستعمال المخطط البياني (2-2) نحصل على قيمة (R_w)

$$R_w = (0.10 \Omega m)$$

اذن مقدار عامل المقاومة النوعية (F) يساوي

$$F = (R_o / R_w)$$

$$= (2.0) / (0.10)$$

$$F = 20$$

اذن مسامية النموذج (ϕ) تساوي

$$F = 0.62/\phi^{2.15}$$

$$20 = \frac{0.62}{\phi^{2.15}}$$

$$\phi = 20\%$$

(4) اذا كان نموذج اللباب الصخري في المثال (3) مشبعاً جزئياً بالنفط بحيث المقاومة النوعية للنموذج اصبحت تساوي (20Ωm) . ما مقدار درجة التشبع للنموذج بالنفط ؟

الحل :

باستعمال معادلة (Archie) للتشبع او المخطط البياني (2-14) نجد ان درجة

التشبع للنموذج بالماء تساوي ($S_w = 32\%$) . اذن درجة التشبع للنموذج

باليهيدروكربون تساوي

$$\begin{aligned}
S_h &= 1 - S_w \\
&= 1 - 0.32 \\
S_h &= 68 \%
\end{aligned}$$

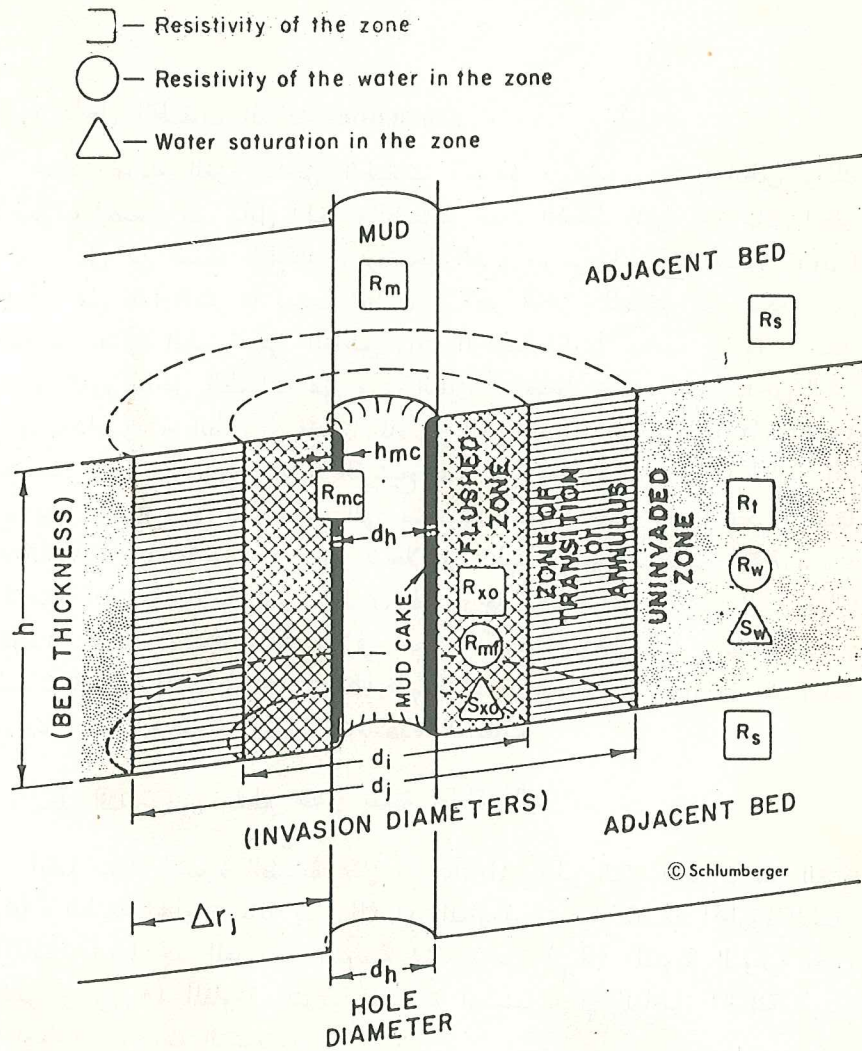
الغزو داخل الطبقات النفاذة (invasion):

تحدث عملية الغزو داخل الطبقات النفاذة من قبل راسح الطين وذلك لاختلاف الضغط بين سائل الحفر والطبقات حيث الضغط المتولد من سائل الحفر يكون أعلى من ضغط الطبقات. ونتيجة الغزو تترسب القشرة الطينية (mud cake) على هذا البئر مما تسبب نقصان في قطر البئر. المناطق التي تتكون على جدارها القشرة الطينية هي المناطق ذات الأهمية لكونها مسامية ونفاذة. يعتمد مقدار الغزو داخل الطبقات على وزن الطين أو ضغط عمود الطين داخل البئر وعلى مقدار راسح الطين أو فقدان الماء من الطين (mud water loss). القشرة الطينية المتكونة نتيجة عملية الترشيح تمنع من فقدان الماء من الطين وذلك لنفاذيتها القليلة. في التكوينات التي مساميتها قليلة، مقدار الغزو يكون عميقا (deep invasion) ويكون الغزو ضحلا في الطبقات التي مساميتها عالية بسبب الخاصية الشعرية ولأنها تحفر باطيان لها درجة واطئة من فقدان الماء (low water loss muds) وذلك لتلافي حدوث تكهفات داخل البئر نتيجة تعرض طبقات الطفلية للتميا (hydration) فإنها تتمدد وتنفصل من الجدار وتسبب زيادة في قطر البئر وحدوث كهوف أمام هذه الطبقات.

الشكل التالي يبين مقطع خلال طبقة محاطة بالبئر.

ايضا سمك القشرة الطينية ممثل بـ (hmc) وقطر البئر (d_H) وقطر الغزو (d_i). الطبقة المجاورة ممثلة بـ (R_i) أي المقاومة النوعية للطبقة المجاورة للطبقة النفاذة. ايضا نجد المقاومات النوعية ممثلة برموز (R_m) المقاومة النوعية لطين الحفر و (R_{mc}) المقاومة النوعية للقشرة الطينية. في المناطق المختلفة مبينة المقاومات ودرجات التشبع.

- (1) (R_{xo}) المقاومة النوعية للطبقة المكتسحة، (R_{mp}) المقاومة النوعية لراسح الطين، (S_{xo}) درجة التشبع براسح الطين في المنطقة المكتسحة.
- (2) (R_i) المقاومة النوعية للمنطقة المغزوة أو الانتقالية، (R_z) المقاومة النوعية للماء المترج، (S_{xi}) درجة التشبع بالماء في المنطقة المغزوة.
- (3) (R_f) المقاومة النوعية للمنطقة غير المغزوة أو المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة، (R_w) المقاومة النوعية لماء التكوين، (S_w) درجة التشبع بالماء في



(11)

شكل (2-20) مخطط لقطع بئر محاط بطبقة مفزوة

يلاحظ من الشكل وجود ثلاثة مناطق محيطة بالبئر ، هذه المناطق :

- (1) المنطقة المكتسحة (flushed zone)
- (2) المنطقة الانتقالية (fransition zone)
- (3) المنطقة غير المفزوة (uninvaded zone)

المنطقة غير المغزوة أو درجة التشبع الحقيقية بالماء في الطبقة .
اذن ممكن أن نميز المناطق المختلفة المبينة في الجدول .

جدول (2-3) اختلاف المقاومات والتشبع بالماء في المناطق المغزوة وغير المغزوة
من الطبقات النفاذة

المنطقة غير المغزوة المنطقة الانتقالية المنطقة المكتسحة
Uninvaded Zone Transition zone Flushed zone Virgin Zone

(المقاومة)	R_{xo}	R_i	R_t
(المسامية)	ϕ	ϕ	ϕ
(مقاومة الماء)	R_{mf}	R_z	R_w
(درجة التشبع بالماء)	S_{xo}	S_{xi}	S_w

(أ) اذا كانت الطبقة النفاذة حاوية على الماء فإن مقدار المقاومات في المناطق المختلفة تساوي :

$$R_{xo} = FR_{mf} \quad R_i = FR_z \quad R_o = FR_w$$

ودرجات التشبع بالماء تساوي :

$$S_{xo} = S_{xi} = S_w = 100 \%$$

اجهزة قياس المقاومات النوعية تصنف حسب عمق القياس داخل الطبقة . اذا كان عمق القياس بمض الانجات داخل الطبقة ، تسمى هذه الاجهزة (R_{xo} tools) أي اجهزة قياس المنطقة المكتسحة . اذا كان القياس ضمن عشرات الانجات داخل الطبقة ، فان الاجهزة تسمى (R_i tools) اي اجهزة قياس الطبقة المغزوة . اذا كان القياس أعمق من السابق فان الاجهزة تسمى (R_t tools) أي اجهزة قياس المقاومة النوعية الحقيقية أو العميقة . اذا كان مقدار الغزو جداً ضحل أو غير موجود فان الاجهزة المختلفة تقيس (R_p) .

(ب) اذا كانت الطبقة النفاذة حاوية على الهيدروكربون فان مقدار المقاومات النوعية في المناطق المختلفة يساوي :

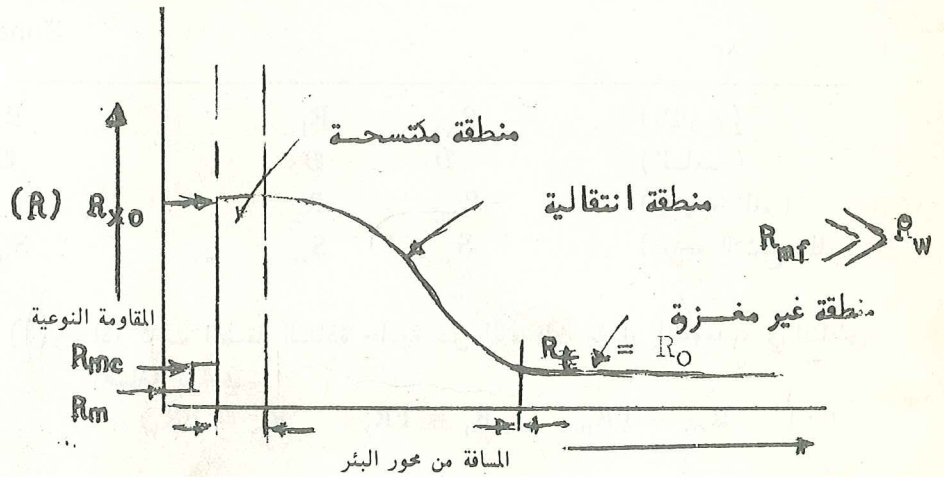
$$R_{x0} = \frac{F R_{mf}}{(S_{x0})^2} \quad R_i = \frac{F R_z}{(S_{xi})^2} \quad R_t = \frac{F R_w}{(S_w)^2}$$

وان مقدار

$$\begin{aligned} & (\text{إذا كانت الطبقة مغزوة}) \quad S_{x0} > S_{xi} > S_w \\ & (\text{إذا كانت الطبقة غير مغزوة}) \quad S_{x0} = S_{xi} = S_w \end{aligned}$$

و

(أ) بروفييل (مقطع) للمقاومة النوعية داخل طبقات مائية (١١) :

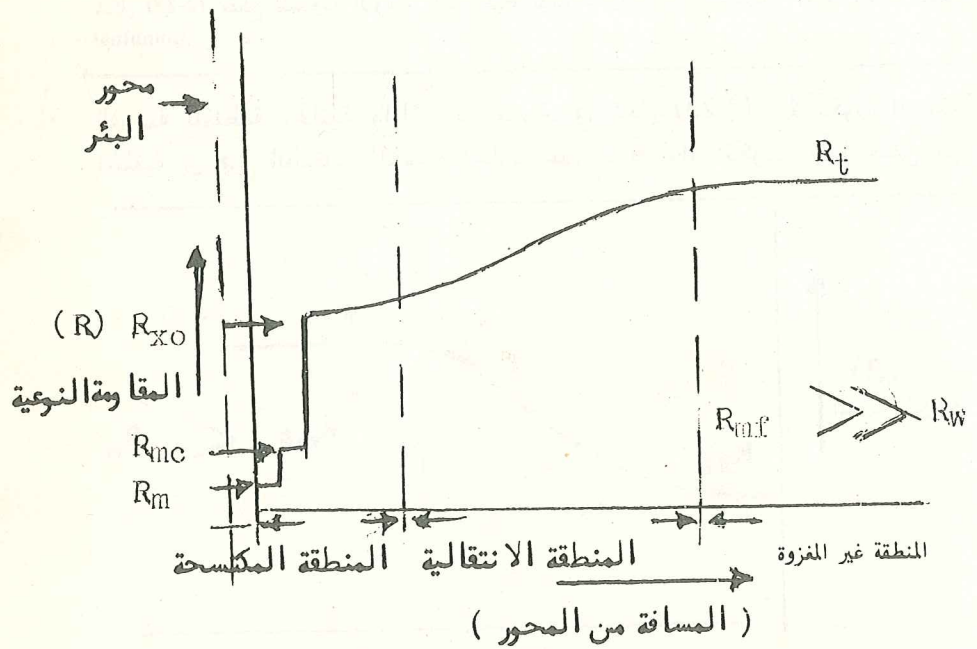
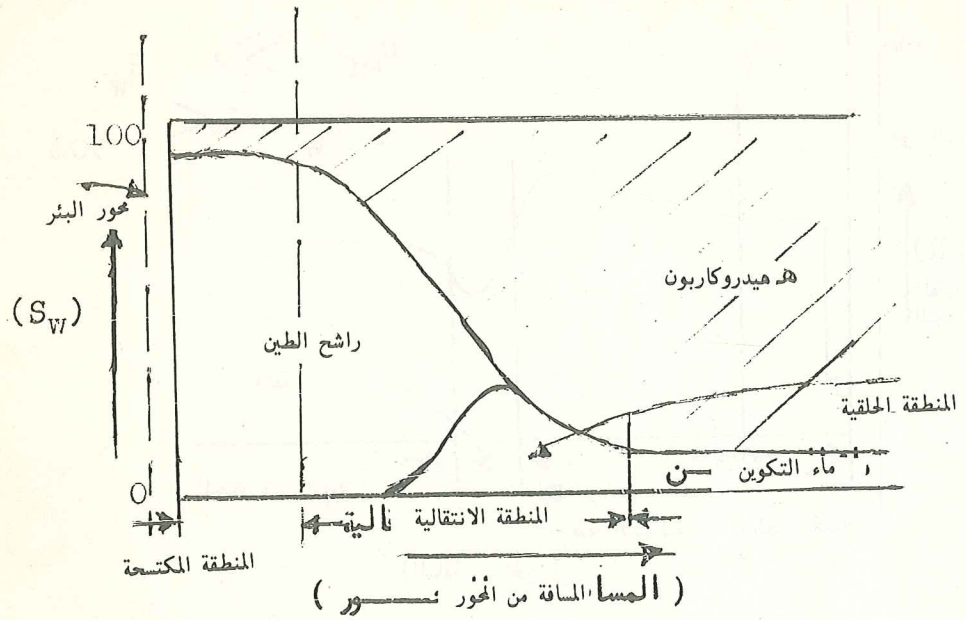


شكل (2-21) بروفييل للمقاومة النوعية داخل طبقة مائية مغزوة

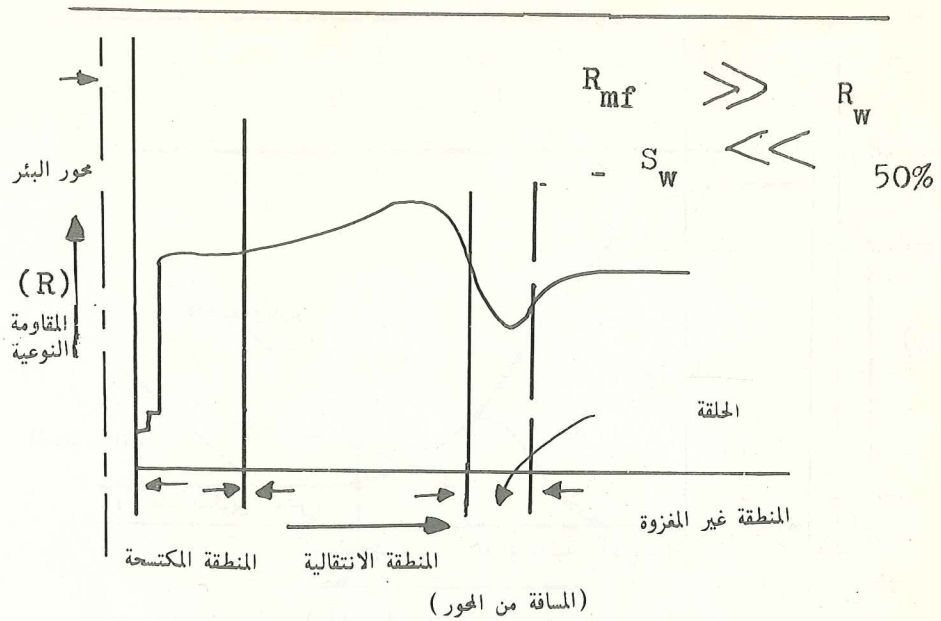
(ب) بروفييل (مقطع) لتوزيع السوائل والمقاومة النوعية داخل طبقات حاوية على الهيدروكربون

في حالة وجود منطقة حلقة (annulus) داخل الطبقة فان بروفييل المقاومة النوعية يكون :

تتكون المنطقة الحلقة في بعض الطبقات الحاوية على الهيدروكربون وذلك عندما تكون حركة الهيدروكربون أكبر من حركة ماء التكوين نتيجة الغزو بسبب اختلاف النفاذية النسبية بين الماء والهيدروكربون فتتكون منطقة من ماء التكوين درجة التشبع فيها أكثر من (S_{wi}) بين المنطقة المغزوة وغير المغزوة . تكون المقاومة

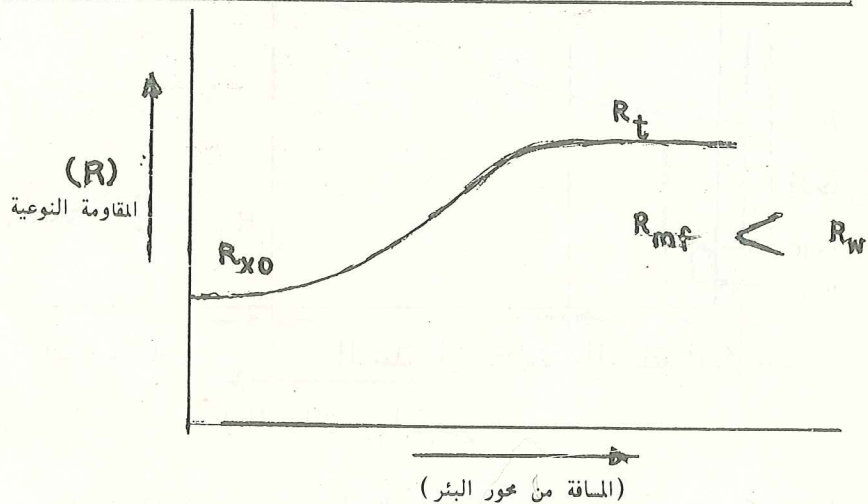


شكل (2-22) الاعلى يبين توزيع السوائل داخل الطبقة النفاذة الحاوية على هيدروكربون الاسفل يبين توزيع المقاومة النوعية داخل الطبقة النفاذة .



شكل (2-23) مقطع للمقاومة النوعية داخل طبقة نفاذة حاوية على هيدروكربون وفيها منطقة حلقيّة (annulus)

النوعية للمنطقة الحلقيّة واطئة كما مبينة في شكل (2-23). لا تتكون المنطقة الحلقيّة في جميع الطبقات الكمّية الحاوية على النفط وإذا تكونت فإنها تحتفي مع

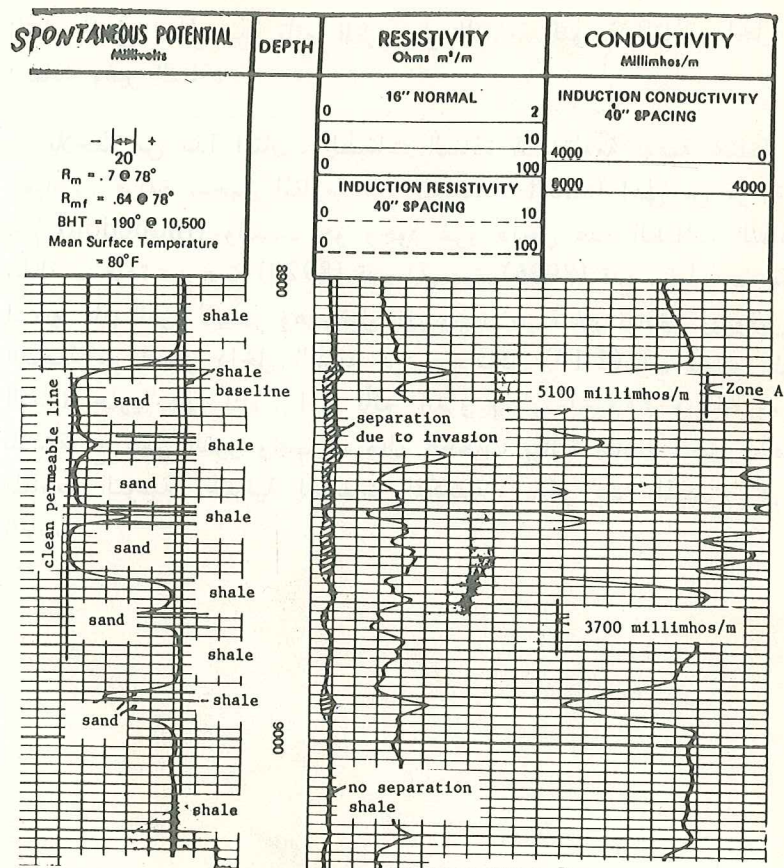


شكل (2-24) مقطع للمقاومة النوعية داخل طبقة نفاذة حاوية على هيدروكربون أو ماء

مرور الزمن . في الحالات المذكورة افترض ان المقاومة النوعية لراشح الطين (R_{mp}) أكبر من (R_w) المقاومة النوعية لماء التكوين . اذا كانت المقاومة النوعية لراشح الطين (R_{mp}) اقل من (R_w) كما في حالة استعمال طين ملحي فان بروفيل المقاومة يكون

المثال الحقلّي التالي يبين تأثير الغزو على المقاومة النوعية المقاسة داخل الطبقات النفاذة وغير النفاذة .

يلاحظ من هذا المثال ، الطبقات النفاذة لها مقاومة نوعية مختلفة مع عمق المقياس . قراءة تسجيل المقاومة نوع (short-normal) اعلى من قراءة المقاومة نوع (Induction) والسبب هو وجود غزو داخل هذه الطبقات النفاذة وهذه الحالة موجودة من عمق (8920) قدم الى عمق (8996) قدم . اما تحت هذا العمق الاخير فان الغزو لا يظهر وهو دليل على وجود طبقة غير نفاذة . وبروفيل المقاومة النوعية مع العمق داخل الطبقة من نوع شكل (19-2) أي نتوقع ان الطبقة النفاذة حاوية على الماء . اذن تأثير الغزو يسبب اختلاف في المقاومة النوعية للطبقة مع عمق الغزو ويجب استعمال مخططات بيانية خاصة لاجل الحصول على المقاومة النوعية الحقيقية للطبقات الكمّنية . نذكر هذا الموضوع في الفصول القادمة .



$$T_f = (B(T_i - T_{avg}) + T_{avg}) \frac{Q_f}{Q_r}$$

مسائل

- (1) بعد تحليل طين الحفر ، وجد بأن المقاومة النوعية (Rm) تساوي (0.48) في درجة (97 °F) . مامقدار المقاومة النوعية لهذا النموذج في عمق (3000m) داخل البئر ، اذا علمت ان درجة حرارة قاع البئر تساوي (BHT=213 °F) وعمق البئر يساوي (3300 m) ؟
- (2) نموذج من ماء التكوين يحتوي على ملح (NaCl) بتركيز (100,000 ppm) ماهي المقاومة النوعية لهذا النموذج اذا كانت درجة حرارة المكمن تساوي (175°F) ؟
- (3) طبقة مكمنية من الدولومايت في عمق (8000 ft) لها مسامية (18%) وملوحة ماء المكمن تساوي (NaCl 220,000 ppm) . عمق البئر يساوي (10,000 ft) ودرجة الحرارة تساوي (210°F) . المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين (R_t) تساوي (10 Ω m) . ماهي درجة التشبع بالماء في المكمن ؟ هل تعتقد ان الطبقة المكمنية منتجة أم لا ؟
- (4) املا الفراغات في الجدول التالي (درجة حرارة التكوين t_f = 200 °F) .

نوع التكوين	ملوحة الماء R _w	φ %	R _t	Sw %
رملي	150,000	35	10	—
رملي	—	27	0.21	—
رملي	—	27	2.2	—
كلسي	75,000	5	8	—
كلسي	—	9	100	—

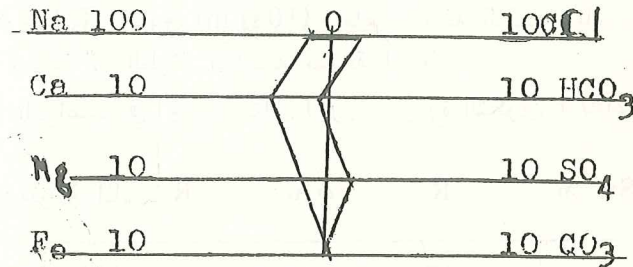
$$R_t = \frac{R_w}{\phi} \frac{1}{S_w}$$

- (5) تكوين رملي له مسامية تساوي (15% φ) والمقاومة النوعية للماء (Ω m) (R_w = 0.02) والمقاومة النوعية للتكوين (R_t = 22 Ω m) . ماهي درجة التشبع بالماء في هذا التكوين ؟ مامقدار النفاذية المتوقعة لهذا التكوين اذا كان يحتوي على النفط ؟ مامقدار النفاذية المتوقعة لهذا التكوين اذا كان يحتوي على غاز .
- (6) الجدول التالي يبين تحليل كيميائي لماء مكمني مأخوذ من حقل معين . احسب ملوحة هذا الماء مايعادل من ملح (NaCl) والمقاومة النوعية للماء في درجات الحرارة (100,150,200 °F) .

نوع الايون	التركيز (ppm)
Na	50000
Mg	10000
Cl	52000
SO ₄	6000
HCO ₃	4000

(7) الجداول التالية تبين نماذج لتحليل مياه الحقول . احسب تركيز هذه المياه مايعادل من ملح (NaCl) بوحدات (ppm) ثم بوحدات (mg./L) . ثم خطط على ورقة بيانية تراكيز الايونات المختلفة لكل نموذج كما في الشكل المبين ثم احسب المقاومة النوعية لكل نموذج في درجة (75 °F) .

مثال :



نماذج التحليل

حقل (A)

التركيز (ppm)	الايونات
587	Na
40	Ca
24	Mg
0	Fe
35	Cl
1647	HCO ₃
72	SO ₄
0	CO ₃
	١٠٢

(B) حقل

التركيز (ppm)

الايونات

13281

Na

1120

Ca

96

Mg

0

Fe

20500

Cl

504

HCO₃

480

SO₄

0

CO₃

(C) حقل

التركيز (ppm)

الايونات

27600

Na

4120

Ca

388

Mg

0

Fe

42480

Cl

216

HCO₃

528

SO₄

0

CO₃

بسم الله الرحمن الرحيم

قد مات قوم و ما مات مكارمهم

و قد عاش قوم و هم في الناس اموال

كثير

اشهد ان لا اله الا الله و ان محمدا رسله

و ان الله اعلم بالشاكرين

يا ارحم الراحمين

والله اعلم بالصواب

ومرشد سائل الحفر . يستعمل مقياس معين عند تسجيل (SP) من قبل مهندس التسجيل مثال 10 أو 20 أو 5 ويستعمل عادة مقياس كبير إذا كانت انحرافات (SP) قليلة امام الطبقات النفاذة وبصورة عامة يستعمل مقياس كبير في الاعماق الضحلة ومقياس صغير في الاعماق الكبيرة وذلك لتأثير الحرارة على انحراف (SP) . غير ممكن تسجيل (SP) في الآبار المملوءة بطين أو سائل حفر غير موصل (non-conductive) وايضاً يكون (SP) بدون فائدة في الآبار التي درجة توصيل سائل حفرها عالية .

اصل الجهد التلقائي (SP) :

التيارات الكهربائية الطبيعية داخل البئر والتكوينات المختلفة ناتجة عن القوة الدافعة الكهربائية التي تكون من اصل كهروكيميائي (electrochemical) وكهروحركي (electrokinetic) . الدراسات حول منشأ (SP) بدأت منذ سنة (1930) حيث وجد عند استعمال اقطاب لقياس المقاومة داخل البئر ، وجود اختلاف في الجهد امام الطبقات المختلفة مع عدم وجود مصدر خارجي للتيار . وكان يعتقد في البداية ان مصدر الجهد يعود الى ظاهرة الترشيع الكهربائي أو المنشأ الكهروحركي بسبب نفاذ راسح الطين داخل الطبقات النفاذة وإن الجهد الطبيعي المتولد يتناسب مع المقاومة النوعية للطين وفرق الضغط بين سائل الحفر وضغط الطبقات . لكن اكتشف بعد ذلك بأن تأثير الظاهرة على توليد (SP) كان قليلاً وإن ظاهرة الكهروكيميائية كانت المسبب الرئيسية لتوليد (SP) .

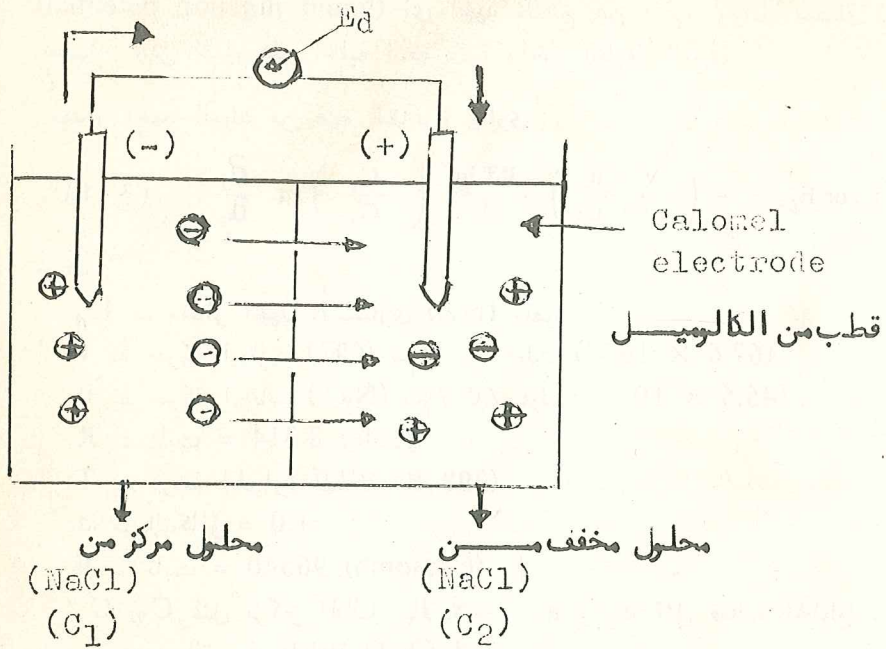
(أ) الجهد الكهروكيميائي (electrochemical potential)⁽³⁾

(١) الجهد الانتشاري (diffusion potential)

يتولد هذا الجهد بين محاليل الكتروليتية مختلفة في درجة التركيز بالاملاح . ملح (NaCl) هو من الاملاح الموجودة بنسبة عالية داخل ماء التكوين او مياه الحقول . الايونات تنتقل داخل محاليل الالكتروليت من المحلول الذي تركيزه عالي الى المحلول الذي تركيزه واطيء بوجود حاجز . الشكل التالي يبين خلية كهربائية فولتية من محاليل مختلفة التركيز .

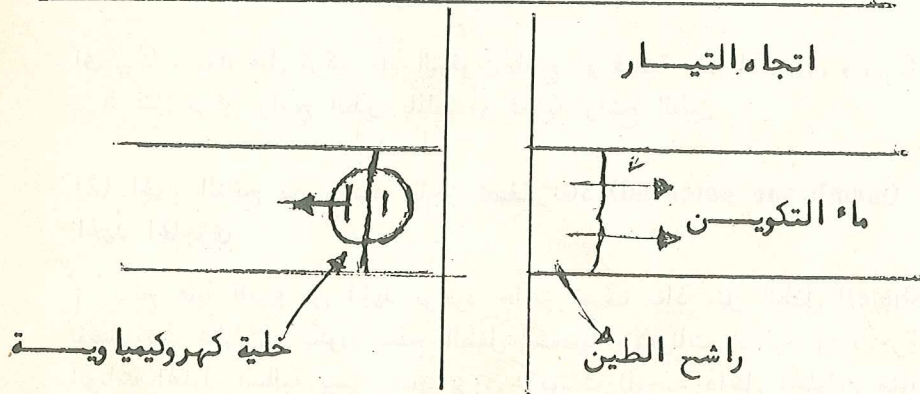
بما ان حركة (mobility) ايونات الكلور (Cl) اعلى من ايونات الصوديوم (Na⁺) حيث :

مقدار الجهد المقاس بجهاز كالفانومتر



(3-4) خلية كهروكيميائية فولتية من محاليل الكتروليتية مختلفة التركيز .

(mobility of Cl⁻ = 67.6 × 10⁻⁵ cm/sec/volt
mobility of Na⁺ = 45.6 × 10⁻⁵ cm/sec/volt



شكل (3-5) مقطع لطبة نفاذة ذات خلية كهروكيميائية .

الجهد المتولد عن هذه الظاهرة يسمى الجهد الانتشاري (diffusion potential) أو (liquid junction potential) اي الجهد الناتج عن وجود سوائل متصلة مع بعضها . يمكن تمثيل هذه الخلية الكهربائية داخل الطبقة النفاذة

مقدار الجهد المتولد من هذه الظاهرة يساوي :

$$E_d \text{ or } E_{Lj} = - \left(\frac{v - u}{v + u} \right) \frac{RT \ln}{nF} \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \text{ or } \frac{a_1}{a_2} \dots (3-1)$$

حيث :

- E_d - مقدار الجهد الانتشاري (mv.) ملفولت .
- v - حركة ايونات (Cl^-) سم / ثا / فولت (67.6×10^{-5})
- u - حركة ايونات (Na^+) سم / ثا / فولت (45.6×10^{-5})
- R - ثابت = 8.314 (joule)
- T - درجة الحرارة المطلقة (298 R)
- n - التكافؤ = 1.0
- F - ثابت = 96540 (Coulomb)
- C_1, C_2 تمثل تركيز المحاليل بالاملاح و a_1 و a_2 تمثل فعالية المحلولين .
- بتمويض هذه القيم في المعادلة (3-1) نحصل على :

$$E_{d(mv)} = - 11.6 \log \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \text{ or } \left(\frac{a_1}{a_2} \right) \dots (3-2)$$

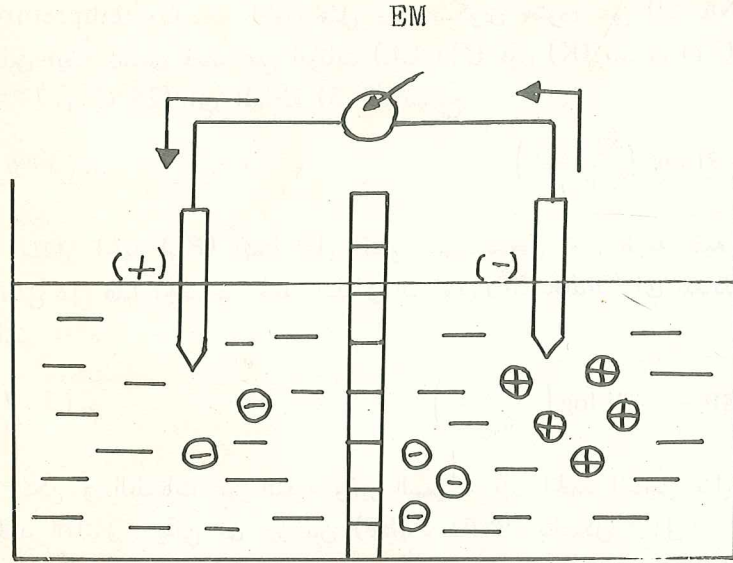
$$E_{d(mv)} = - 11.6 \log \left(\frac{C_w}{C_{mf}} \right) \text{ or } \left(\frac{a_w}{a_{mf}} \right)$$

اي C_w, a_w تمثل تركيز ماء التكوين بالملح أو فعالية ماء التكوين . و C_{mf}, a_{mf} تمثل تركيز راسح الطين بالملح أو فعالية راسح الطين .

(2) الجهد الناتج من وجود حاجز نصف نفاذ (membrane potential) او الجهد الحاجزي

ينتج هذا النوع من الجهد بوجود حاجز نصف نفاذ مثل الطفل (shale) يفصل بين محلولين . يكون سطح الطفل مشحوباً بالايونات السالبة ويمنع مرور ايونات المحلول السالبة بينما يسمح بمرور الايونات الموجبة داخل المحلول . هناك بعض الايونات السالبة التي يمكن ان تنفذ خلال الطفل مما يجعل تركيز الايونات السالبة في المحلول الحاوي على القطب الموجب قليل بالنسبة للايونات الموجبة

الموجودة في المحلول الحاوي على القطب السالب . هذا الاختلاف يؤدي الى توليد فرق جهد في المحلول . الشكل التالي يبين خلية كهربائية ناتجة عن وجود حاجز نصف نفاذ بين المحلولين .



شكل (3-6) خلية كهروكيميائية ناتجة عن وجود حاجز نصف نفاذ (semi-permeable membrane)

مقدار الجهد المتولد يساوي :

$$E_{m(mv)} = + 59.1 \log \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \text{ or } \left(\frac{a_w}{a_{mf}} \right) \quad \dots (3-3)$$

مجموع فرق الجهد الناتج من الظاهرتين الكهروكيميائيتين يساوي :

$$E_{c(mv)} = - (k_1 + k_2) \log \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \text{ or } \left(\frac{a_w}{a_{mf}} \right) \quad \dots (3-4)$$

حيث :

E_c يمثل الجهد الكهروكيميائي بالملفولت .

K_1, K_2 تمثل الثوابت في المعادلات (3-2 ، 3-3) .

إذا كانت الطبقة النفاذة نقية وسميكة فإن مقدار الجهد الكهروكيميائي (E_c)

يساوي :

$$E_c = - K \log \frac{a_w}{a_{mf}} \quad \dots (3-5)$$

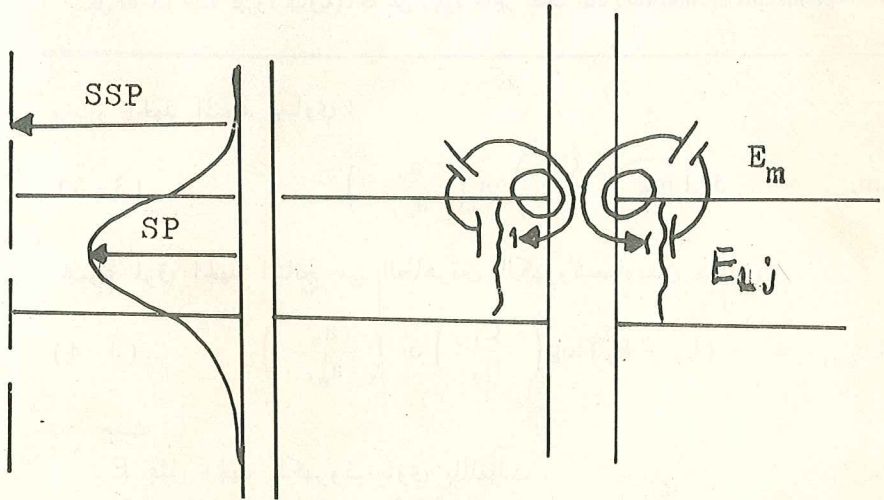
حيث (K) ثابت المعادلة وتناسب مع درجة الحرارة المطلقة (absolute temperature). وبالنسبة لمحلول يمثل ماء التكوين يحتوي على (Na Cl) وراشح الطين ايضاً يحتوي فقط على ايونات (Na CL) فإن (K) تساوي (71) في درجة (25°C و 77°F) اي المعادلة (3-5) تصبح :

$$E_c = - 71 \log \left(\frac{a_w}{a_{mf}} \right) \quad \dots (3-6)$$

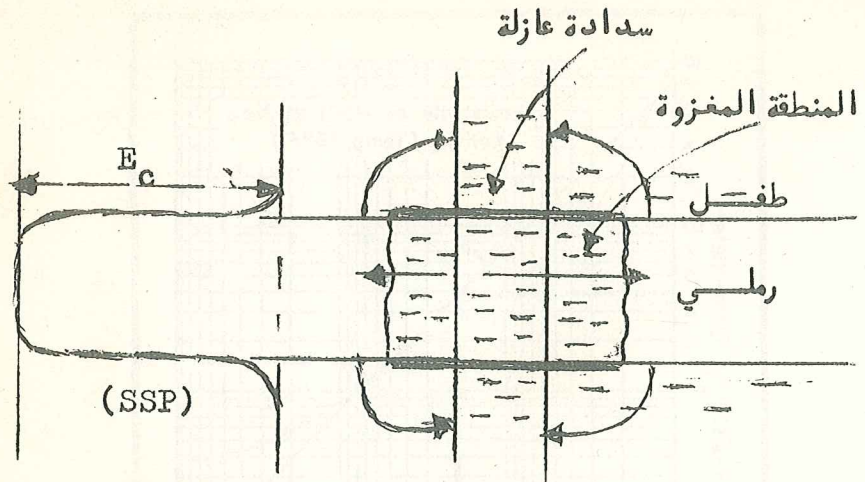
مقدار الجهد (E_c) ايضاً يمثل اقصى جهد يسجل امام طبقة نقية وسميكة . ويطلق على هذا الجهد بـ الجهد التلقائي السكوني (Static SP) اي المعادلة ممكن ان تكتب

$$E_c = SSP = - 71 \log \left(\frac{a_w}{a_{mf}} \right) \quad \dots (3-7)$$

لكن في الطبقات غير النقية وغير السميكة فإن الجهد المسجل يمثل (SP) اي الجهد التلقائي . يمكن ان نميز بين (SP) و (SSP) بالشكل التالي :



شكل (3-7) مقطع لطبقة نفاذة مع تيارات (SP) المتولدة وتسجيل (SP)



شكل (3-8) مقطع لطبقة نفاذة مع تيارات (SP) الساكنة لوجود جسم عازل وتسجيل (SP) يبين أقصى جهد ()

إذا كانت المحاليل تحتوي فقط على (NaCl) والتي تركيزها غير عالي (اقل من 80,000 ppm) فإن فعالية المحاليل تتناسب عكسياً مع المقاومة النوعية لهذه المحاليل. لو عوضنا فعالية المحاليل بالمقاومة النوعية في معادلة (3-7) نحصل على :

$$SSP = - K \log \frac{R_{mf}}{R_w} \quad \dots (3-8)$$

$$= - 71 \log \left(\frac{R_{mf}}{R_w} \right)$$

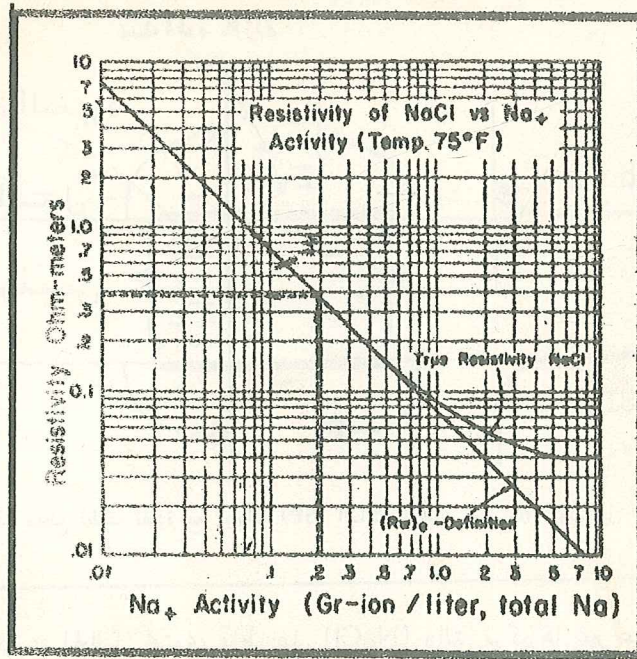
لكن المحاليل التي تركيزها عالي ، فإن التناسب غير عكسي بشكل خطي بين الفعالية والمقاومة النوعية كما مبين في الشكل (3-9) :

اذن اذا احتوت المحاليل على املاح اخرى او إذا كان تركيزها عالي فإن معادلة (3-8) تصبح :

$$SSP = - K \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}} \quad \dots (3-9)$$

حيث :

$\frac{R_{mfe}}{R_{we}}$ تمثل نسبة المقاومة النوعية المكافئة لراشح الطين وماء التكوين. المخطط - البياني شكل (3-10) يستعمل لحل هذه المعادلة .



شكل (3-9) مخطط بياني للعلاقة بين المقاومة النوعية والفعالية لأيونات الصوديوم (لشركة شلمبرجر)

بيننا سابقاً أن قيمة (K) تتناسب مع درجة الحرارة المطلقة . يمكن استعمال العلاقة التالية بين (K) والحرارة :

$$K = 0.133 (t)_{oF} + 61 \dots\dots\dots (3-10)$$

اذن معادلة (SP) تصبح :

$$SSP = - (0.133 (t)_{oF} + 60) \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}} \dots (3-11)$$

للحصول على (R_{we}) باستعمال المخطط البياني (3-10) أو المعادلة (3-11) نحتاج قيمة (R_{mfe}) . يمكن إيجاد قيمة (R_{mfe}) من (R_{mf}) بالطريقة التالية :

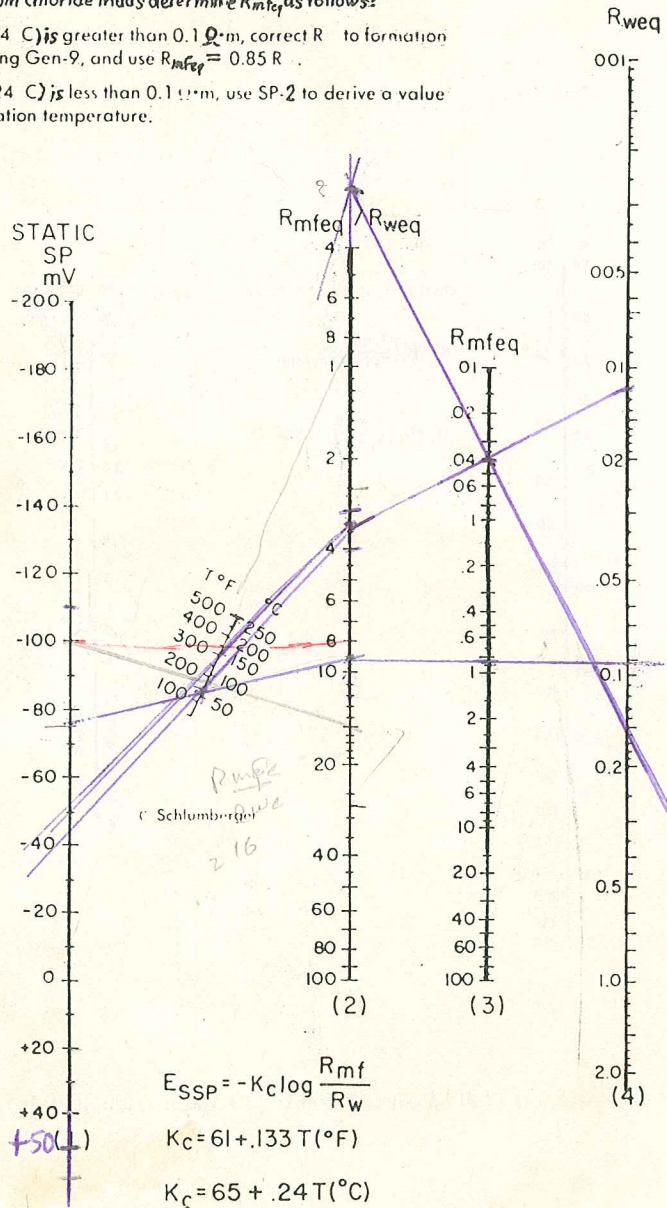
إذا كانت قيمة (R_{mf}) المقاسة في درجة (75°F) أو (24°C) أكبر من (0.1) صحح (R_{mf}) الى درجة حرارة التكوين باستعمال المخطط شكل (2-2) أو المخطط البياني شكل (3-11) ثم استعمل المعادلة :

$$R_{mf_e} = 0.85 R_{mf} \dots\dots\dots (3-12)$$

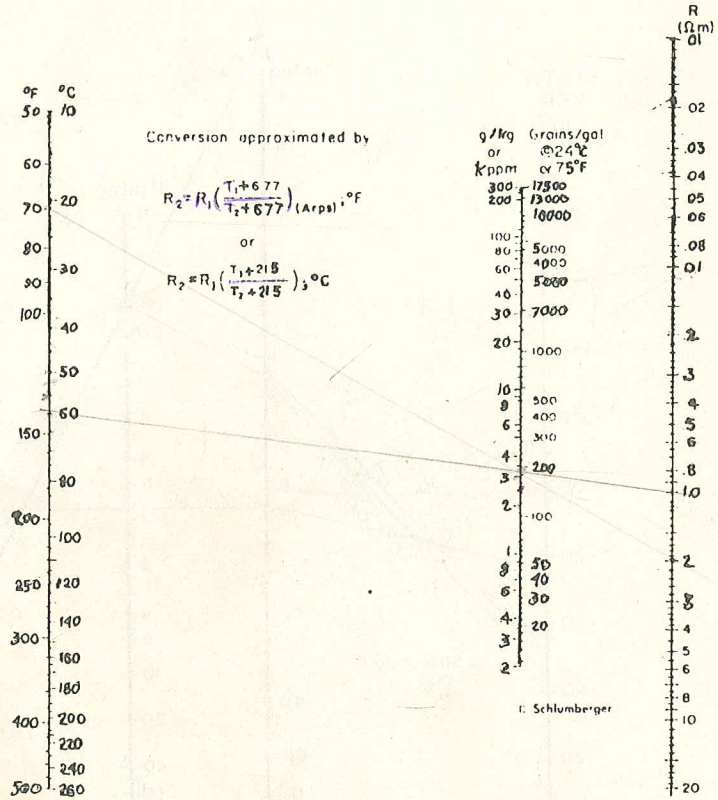
R_{weq} DETERMINATION FROM THE SSP (CLEAN FORMATIONS)

For predominantly sodium chloride muds determine R_{mf} as follows:

- If R_{sp} at 75 F (24 C) is greater than 0.1 Ω -m, correct R_{sp} to formation temperature using Gen-9, and use $R_{mf} = 0.85 R_{sp}$.
- If R_{sp} at 75 F (24 C) is less than 0.1 Ω -m, use SP-2 to derive a value of R_{mf} at formation temperature.



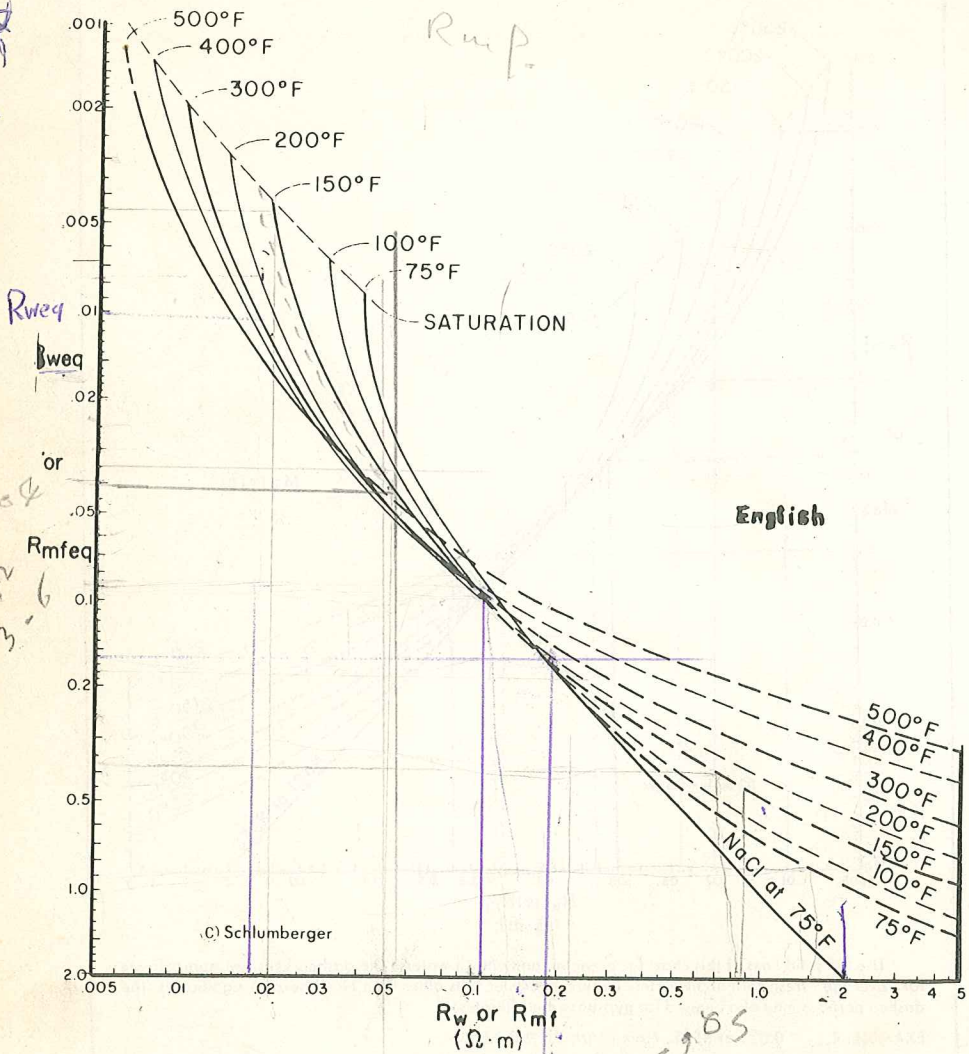
إذا كانت قيمة (R_{mf}) المقاسة في درجة (75°F) أو (24°C) اقل من (0.1) استعمال المخطط البياني شكل (3-12) أو (3-13) لإيجاد قيمة (R_{mfe}). وهذا المخطط أيضاً يستعمل لإيجاد قيمة (R_w) من (R_{we}).



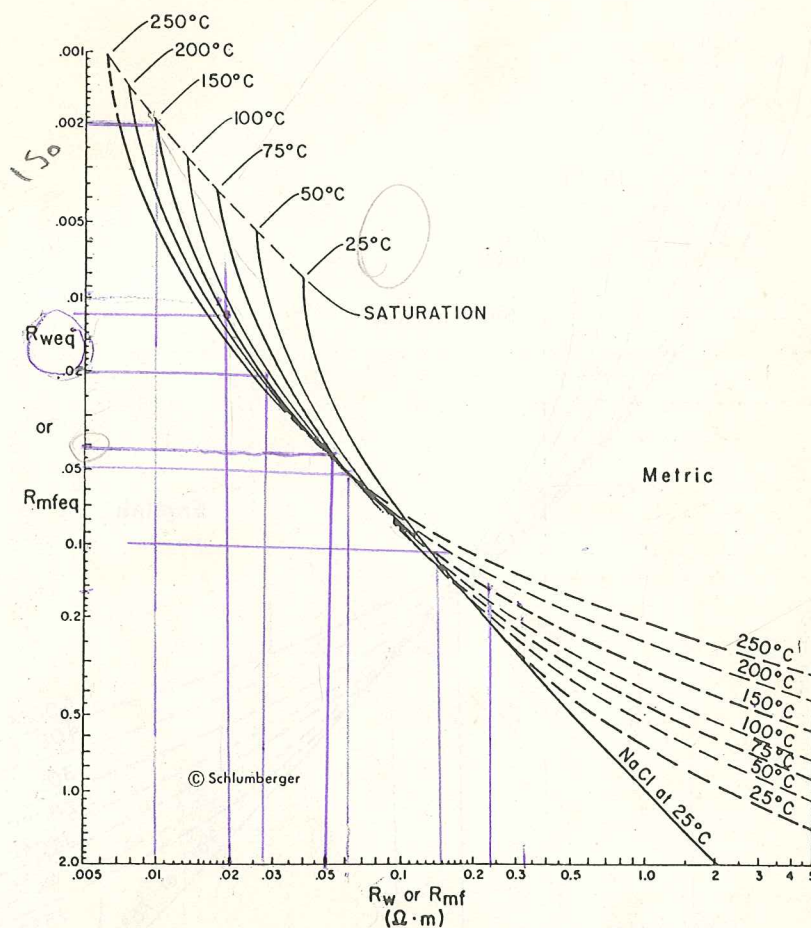
شكل (3-11) مخطط بياني لإيجاد المقاومة النوعية لمحاليل (NaCl) ذات التراكيز المختلفة في درجات الحرارة المختلفة (لشركة شلمبرجر)

Please Visit Schlumberger.com

Please Visit Schlumberger.com



شكل (3-12) مخطط بياني لايجاد (R_w) من (R_{we}) أو ايجاد (R_{mfe}) من (R_{mf}) (درجات الحرارة بوحدة فهرنهايت) (لشركة شلمبرجر)

R_w VERSUS R_{weq} AND FORMATION TEMPERATURE³

Use the solid lines of this chart for predominantly NaCl waters. The dashed lines are approximate for "average" fresh formation waters (where effects of salts other than NaCl become significant). The dashed portions may also be used for gyp-base mud filtrates.

EXAMPLE: $R_{mf} = 0.025$ at 65°C. From chart, $R_w = 0.038$

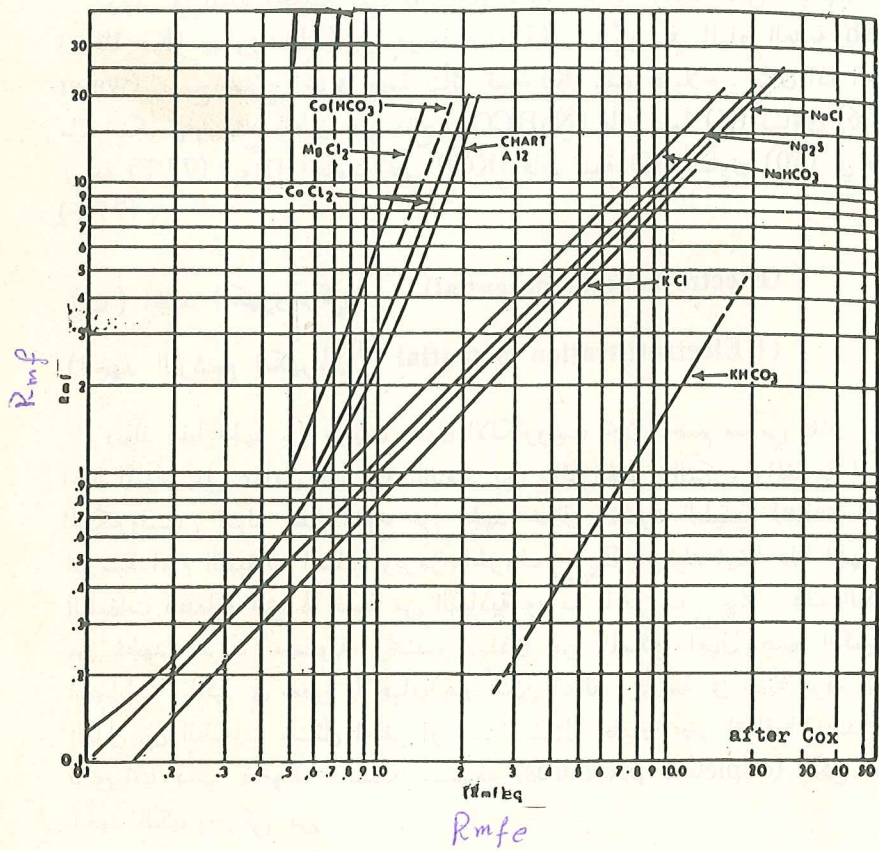
Special procedures for muds containing Ca or Mg in solution are discussed in the reference. Lime-base muds usually have a negligible amount of Ca in solution, and may be treated as regular mud types.

SP-2m

شكل (3-13) مخطط بياني لايجاد (R_w) من (R_{we}) أو ايجاد (R_{mf}) من (R_{mf}) درجات الحرارة بوحدة مئوية (شركة شلمبرجر)

في شكل (3-12) و (3-13) المنحنيات المرسومة بخطوط مستمرة تستعمل لمياه تحتوي على (NaCl) بصورة عامة . اما المنحنيات المرسومة بخطوط متقطعة لمياه عذبة التي يكون فيها تأثير املاح اخرى مهم على توليد (SP) وايضاً ممكن استعمال هذه المنحنيات المتقطعة لراشح الطين الذي يحتوي على الجبس .

إذا احتوى طين الحفر على مركبات البوتاسيوم أو الكالسيوم أو المغنيسيوم مثل KCl ، $KHCO_3$ ، $MgCl_2$ ، $CaCl_2$ تستعمل المخطط التالي للحصول على (R_{mf}) من (R_{mfe}) .



شكل (3-14) مخطط بياني لإيجاد قيمة (R_{mf}) من (R_{mfe})

إذا احتوى ماء التكوين (و) أو مرشح الطين على أيونات (Ca^{++}) و (Mg^{++}) بالإضافة إلى أيونات (Na^+) فإن معادلة (SP) يمكن أن تحول إلى (12):

$$SSP = -K \log \frac{(a_{Na} + \sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}})_w}{(a_{Na} + \sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}})_{mf}} \quad \dots (3-13)$$

حيث:

a_M تمثل فعالية الأيونات في ماء التكوين أو مرشح الطين بوحدة (غم أيون / لتر). للحصول على فعالية الأيونات، يجب أن يكون تركيز الأيونات في ماء التكوين أو مرشح الطين معلوماً. يستعمل الشكل 3-15 لإيجاد فعالية الأيونات في التركيز.

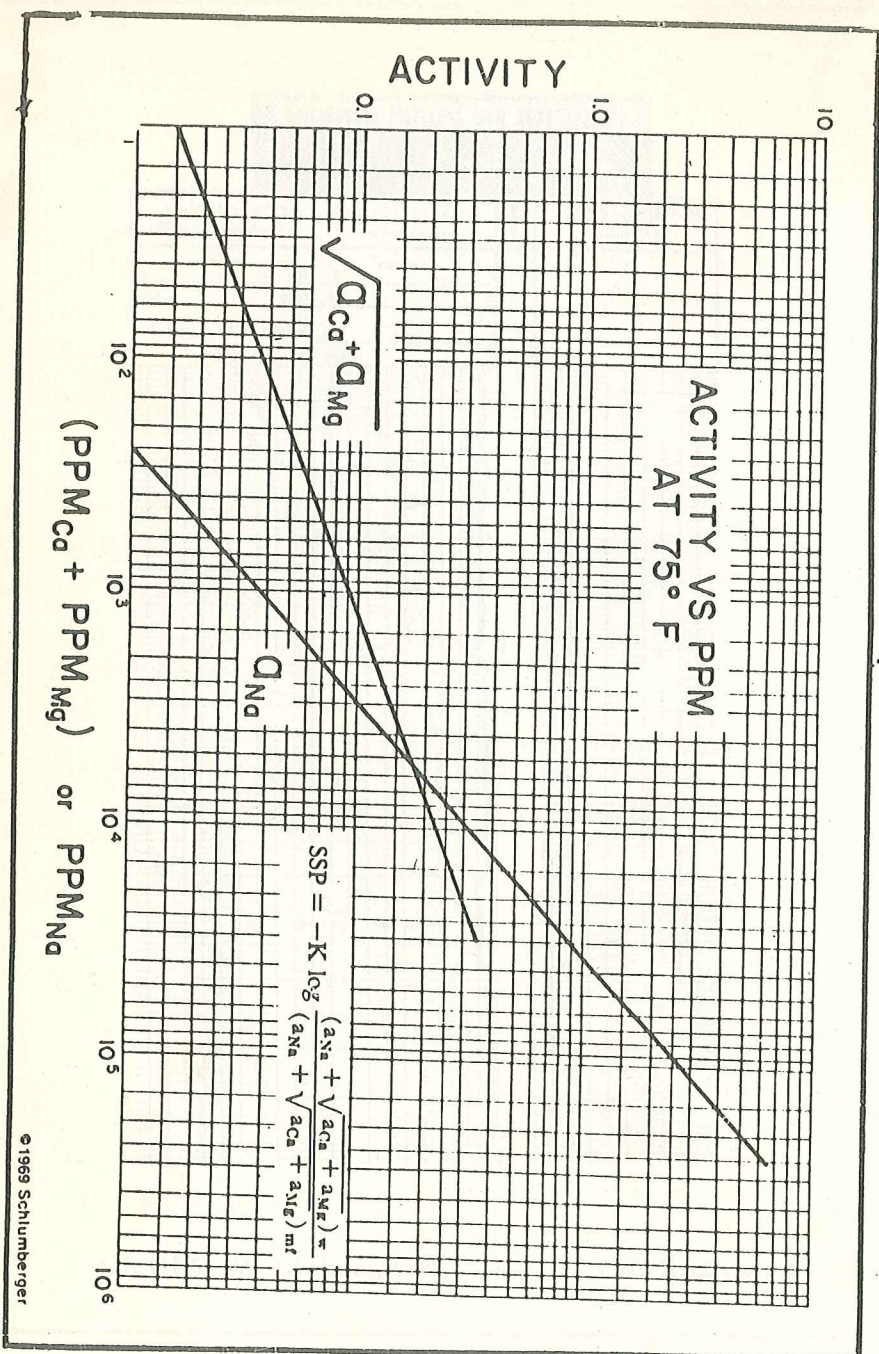
يوجد في المياه الحقلية ملح $(NaCl)$ بكمية عالية بحيث يمكن استعمال ثابت المعادلة (K) يساوي (71) في درجة (77°F). لكن في المياه العذبة (fresh water) تصبح أملاح أخرى مهمة تتأثر قيمة (K) بهذه الأملاح. مثال إذا احتوى ماء التكوين وراشح الطين على ملح $(NaHCO_3)$ فإن قيمة (K) تساوي (56) في درجة (77°F). وإذا احتوت على (KCl) فإن قيمة (K) تساوي (60) في درجة (77°F).

(ب) الجهد الكهروحركي (Electro-kinetic potential)

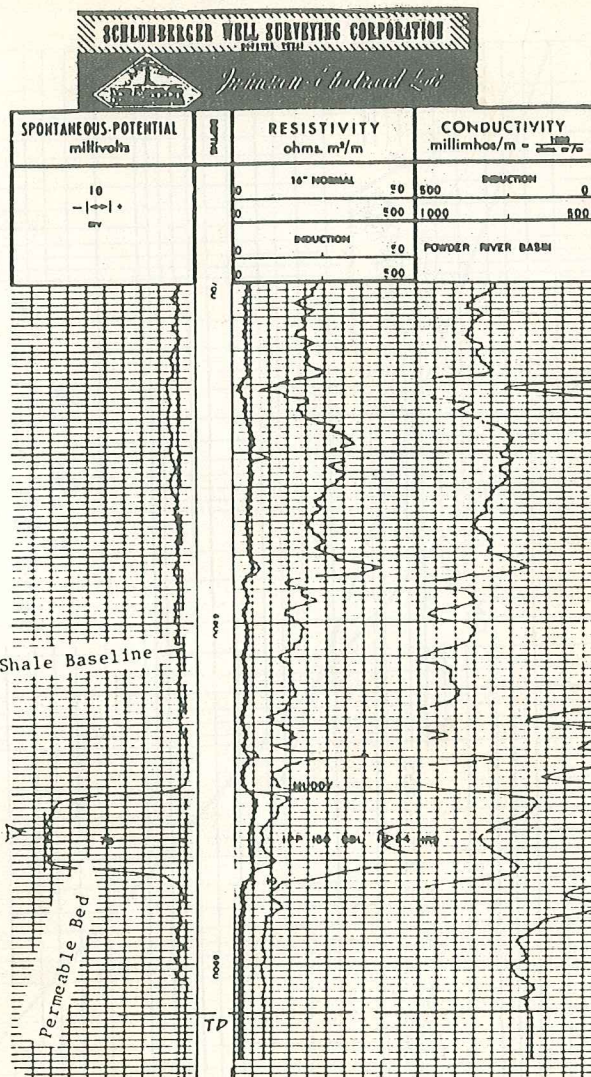
((جهد الترشيح الكهربائي ⁽⁵⁾ Electrofiltration potential))

يتولد هذا الجهد من جريان محلول الالكتروليت خلال جسم مسامي نفاذ. يعتمد الجهد المتولد على عوامل منها فرق الضغط بين سائل الحفر والتكوين والمقاومة النوعية للالكتروليت. يتولد هذا النوع من الجهد خلال القشرة الطينية (mud cake) المترسبة أمام الطبقات النفاذة ويرمز بالحروف $E_{k(mc)}$. يتولد أيضاً هذا الجهد أمام الطبقات الطفلية التي لها نسبة من النفاذية ويرمز بالحروف $E_{k(sh)}$. هذه الكميات من الجهد تقريبا متساوية وتختصر. اذن من الممكن إهمال هذه الكميات في الحسابات، لكن في بعض الأحيان غير ممكن إهماله وخاصة في حالة فرق الضغط العالي بين الطبقات وسائل الحفر أو عند استعمال أطياف حفر ثقيلة أو عند وجود تكوينات ذات ضغوط مكمينية مستنزفة (depleted pressures) يمكن حساب الجهد الكهروحركي من

$$E_{k(mv)} = -0.0391 \sqrt{R_{mc} \cdot t_{mc} \cdot f_1 \Delta p} \quad \dots (3-14)$$



شكل (3-15) يبيّن العلاقة النعالية مع تركيز الأيونات (شركة شلمبرجر)



شكل (3-16) مثال حقلي لتسجيل (SP) امام طبقة مكننية (لشركة شلمبرجر)

حيث :

- R_{mc} - المقاومة النوعية للقشرة الطينية بوحدات (اوم - م) .
 t_{mc} - سمك القشرة الطينية بوحدات (انج) .
 fl - فقدان الراشح (سم³ / ٣٠ دقيقة / ١٠٠ باوند / انج^٢) .
 ΔP - فرق الضغط بين سائل الحفر والتكوين (باوند / انج^٢) او (psi) .

علاقة النفاذية بتوليد (SP) :

يجب ان تكون الطبقات الحاوية على محاليل من الالكتروليت نفاذة لاجل ان يتولد (SP) امام هذه الطبقات . لكن مقدار (SP) المتولد بالملفولت لا يعتمد على النفاذية او المسامية ، بل يتطلب انتقال الايونات من داخل التكوين الى المنطقة المكتسحة وجود ادنى قيمة من النفاذية . لكن لا توجد علاقة مباشرة بين نفاذية التكوين ومقدار (SP) . اذا كان التكوين نفاذ وهناك اختلاف في تركيز الايونات بين راسح الطين وماء التكوين فان (SP) يتولد امام هذا التكوين . الشكل 16-3 يبين تسجيل (SP) امام طبقة مكمنية .

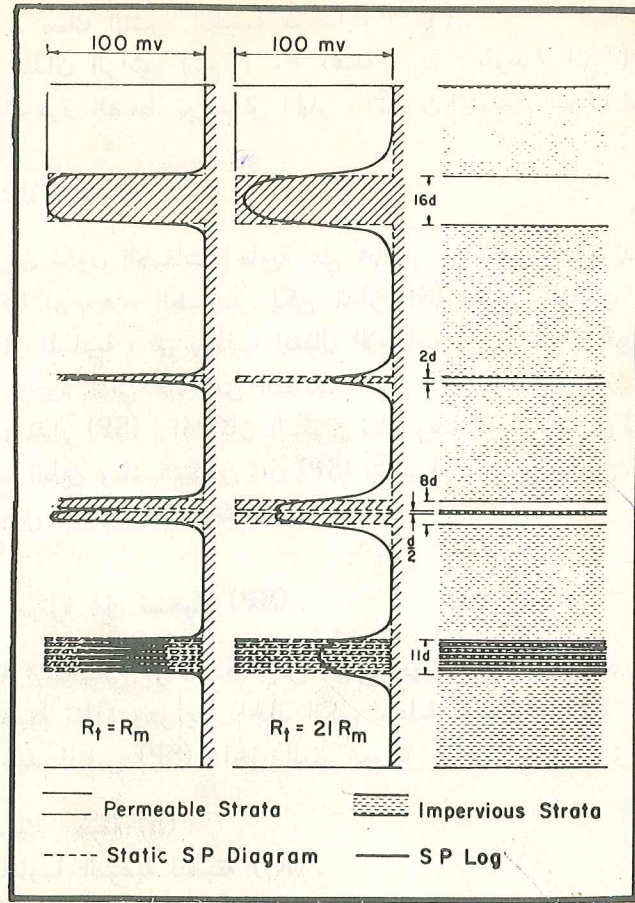
عوامل مؤثرة على تسجيل (SP) :

(SP) الستاتيكي او (SSP) يمثل اقصى جهد متولد من وجود طبقات طفلية مجاورة لطبقة نفاذة وهو يمثل الجهد الكلي للخلية الكهروكيميائية الساكنة . يتأثر مقدار الجهد المقاس (SP) داخل البئر بعوامل كثيرة منها⁽¹²⁾ :

- (1) سمك الطبقة (h) .
- (2) المقاومة النوعية للطبقة (R_t) .
- (3) تأثير الغزو (invasion) .
- (4) قطر البئر (borehole diameter) .
- (5) نسبة الطفل (shaliness) .
- (6) نسبة $(\frac{R_{mf}}{R_w})$.

يبين الشكل التالي تأثير اختلاف سمك الطبقات والمقاومة النوعية للطبقات واختلاف نسب الطفلية في الطبقات النفاذة على (SP) .

يمثل القسم الايسر من شكل (17-3) طبقات نفاذة ذات مقاومة نوعية واطئة اي ($R_t = R_m$) او المقاومة النوعية للطبقة تساوي المقاومة النوعية لطين الحفر .



شكل (3-17) مخطط لاختلاف اشكال (SP) مع اختلاف سمك الطبقات والمقاومة النوعية .

القسم الايمن من الشكل يمثل طبقات نفاذة ذات مقاومة عالية وتساوي تقريبا $(R_t = 21 R_m)$. نجد مقدار (SSP) يساوي (100 mv) . هذا المقدار مسجل امام الطبقة النفاذة التي سمكها يساوي (16-d) اي (16) مرة بمقدار قطر البئر . أي الطبقة السميكة يكون مقدار (SP) امامها يساوي (SSP) ويكون مسطح الشكل (flat top) بينما في حالة المقاومة النوعية العالية (القسم الايمن) نجد ان (SP) يكون مستدير الشكل (rounded) .

عندما يكون السمك اقل فان مقدار (SP) يكون اقل من (SSP) ويكون محدد الشكل وعند زيادة نسبة الطفل فان شكل (SP) يكون مسنن . اي في حالة المقاومة

النوعية للطبقات النفاذة عالية يكون شكل (SP) أكثر مستديراً ، وإذا كان السمك كبيراً فإن مقدار (SP) يصل تقريباً الى اقصى حد . كما ان حدود الطبقات يكون في مواقع انعطاف منحنى (SP) (inflection points) .

تستعمل المخططات البيانية شكل (3-18a,b,c) لتصحيح (SP) الى (SSP) اذا كان السمك قليلاً او المقاومة النوعية عالية .

يجب حساب قيمة R_i/R_m لاستعمال هذا المخطط شكل (3-18a) . (R_i) المقاومة النوعية للطبقة المغزوة تؤخذ من تسجيل المقاومة النوعية القصيرة (short-normal) أو من تسجيل (SFL) او (LL8) بعد التصحيح لتأثير السمك أو تأثير البئر إن وجد . وسمك الطبقة يحسب من تسجيل الجهد التلقائي (SP) . مقدار التصحيح للجهد التلقائي من المخطط يستعمل لتحويل قراءة الجهد التلقائي (SP) الى الجهد التلقائي الساكني (SSP) .

تقلل الطفلية (shaliness) من مقدار الجهد التلقائي امام الطبقات النفاذة الحاوية على الماء بمقدار نسبة الطفلية في الطبقة النفاذة . اما أمام الطبقات النفاذية التي تحتوي على هيدروكربونات ونسب من الطفلية فان الجهد التلقائي يقل بدرجة اعلى وذلك لاختلاف حالة التأكسد والاختزال بين الطبقات المائية والهيدروكربونية . لتحويل قيمة (SP) الى (SSP) تستعمل المعادلات التالية لوجود نسب من الطفلية في الطبقة :

$$\alpha = \frac{PSP}{SSP} \quad \dots (3-15)$$

حيث

PSP - مقدار الجهد التلقائي الظاهري المسجل امام طبقة مكمنية طفلية سميكة (shaly formation) .

α - عامل تقليل انحراف (SP reduction factor) (SP) .

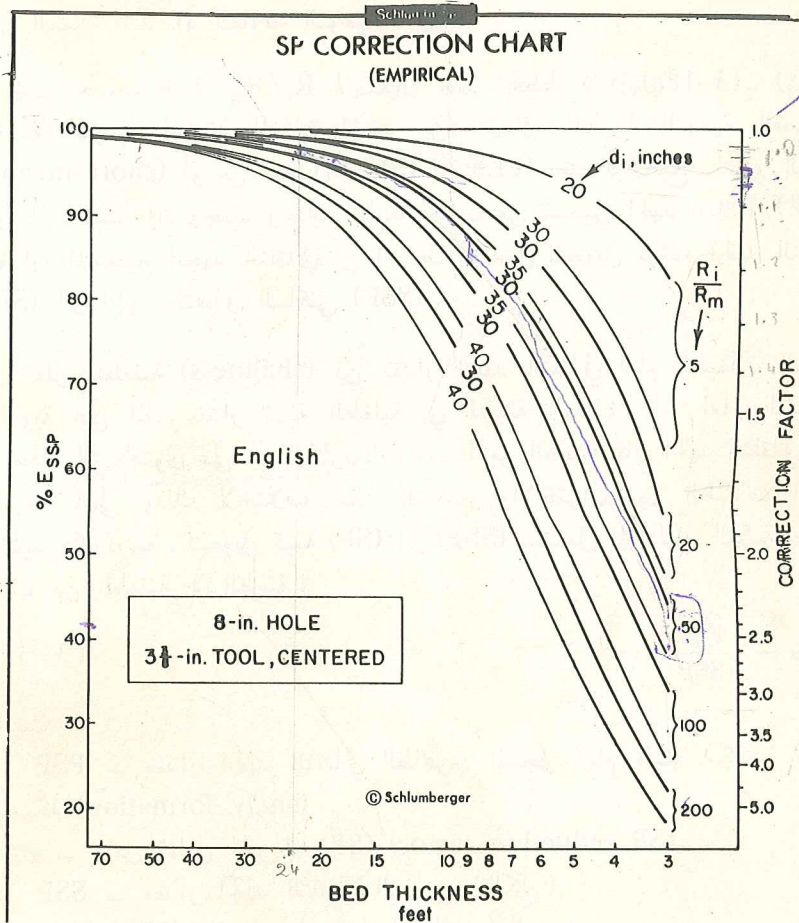
SSP - مقدار الجهد التلقائي الساكني (الكلي) .

لايجاد (SSP) يجب معرفة (α) والذي يساوي :

$$V_{SH} = 1 - \alpha \dots (3-16)$$

حيث :

V_{sh} - حجم الطفل داخل الطبقة النفاذة (نسبة مئوية) . هناك طرق عديدة لقياس حجم الطفل نذكرها في الفصول القادمة .



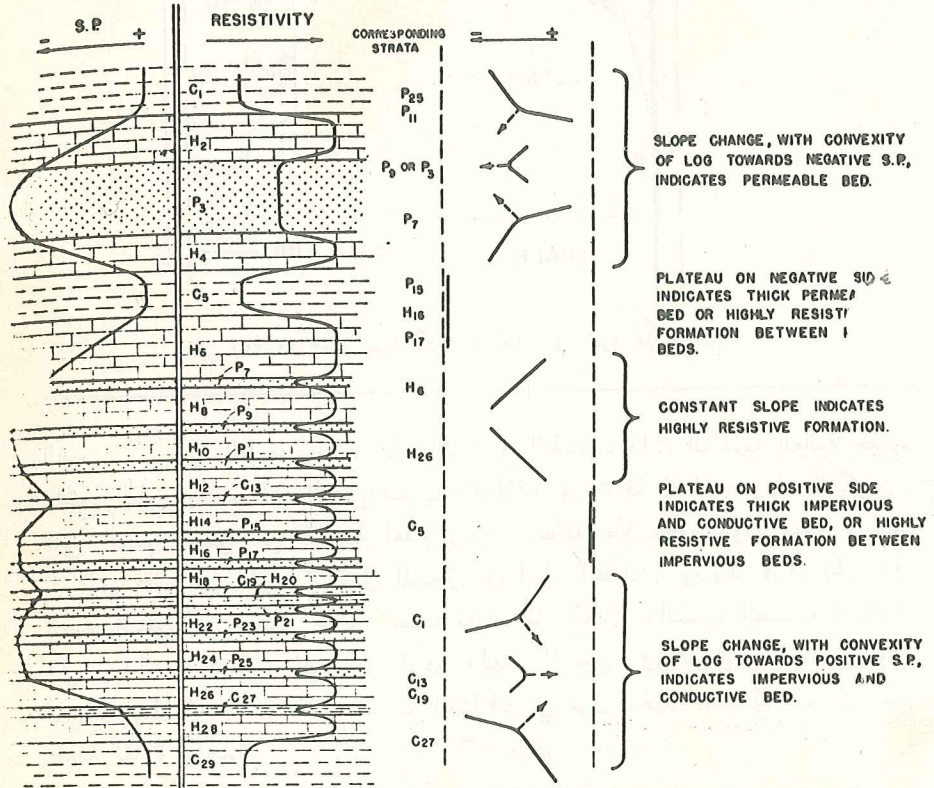
شكل (3-18a) خطط بياني تجريبي لتصحيح (SP).

(3)

$$R_2 = \frac{(12 + 6.77)}{(12 + 6.77)} = 1$$

25

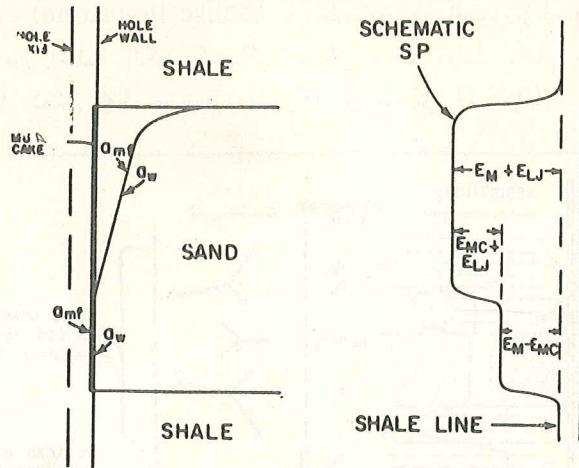
عند وجود طبقات غير نفاذة (impermeable beds) مثل طبقات كلسية كثيفة غير نفاذة (dense limestone) بين طبقات من الطفل وطبقات نفاذة فان الجهد المتولد من الخلية الكهروكيميائية يتركز داخل البئر امام هذه الطبقات وتسجيل (SP) يتمثل بخط مستقيم مائل كما في الشكل (3-19).



شكل (3-19) تأثير الطبقات غير النفاذة على اشكال (SP).

تأثير الغزو على الجهد التلقائي (SP) المسجل⁽⁹⁾:

يحدث تأثير الغزو داخل الطبقات على تسجيل (SP) عندما يكون اختلاف في عمق الغزو داخل الطبقة النفاذة كما في الشكل (3-20) حيث نلاحظ عمق الغزو يزداد نحو الاعلى من الطبقة النفاذة ، يكاد يكون العمق قليلاً جداً او معدوماً في



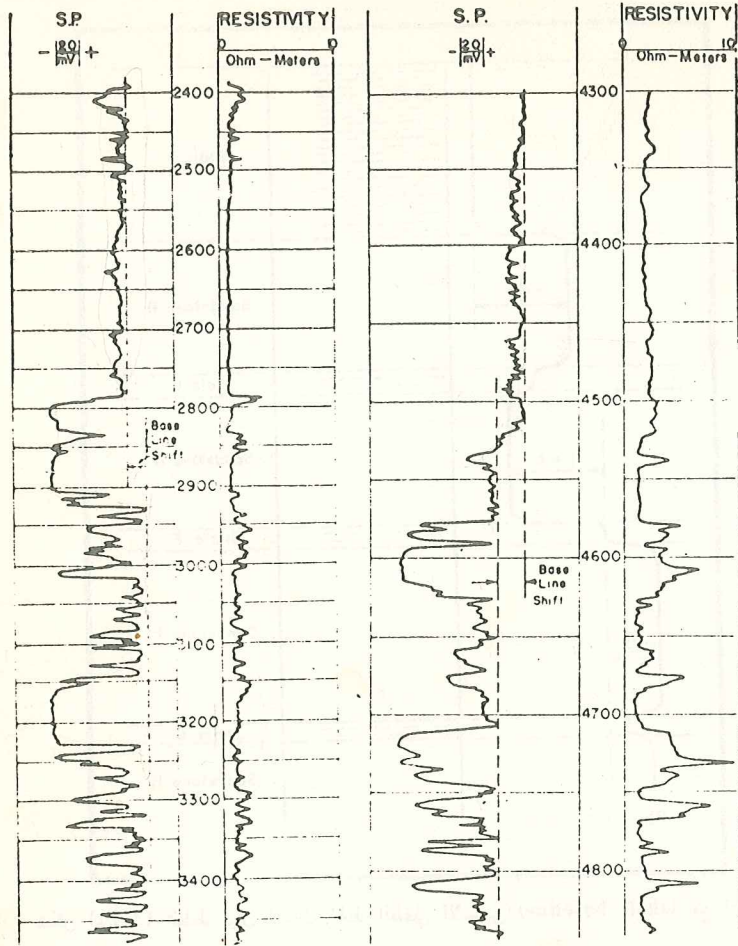
شكل (3-20) مخطط يبين تأثير اختلاف عمق الغزو على (SP)

القسم السفلي من الطبقة وتنتج هذه الحالة في الطبقات ذات النفاذية العالية حيث راسح الطين يرتفع نحو الاعلى بسبب اختلاف في كثافة الراشح وماء التكوين. ففي القسم السفلي من الطبقة لعدم وجود منطقة مكتسحة يكون مقدار الجهد التلقائي اقل من الجهد التلقائي المسجل في اعلى الطبقة ، ويتولد فرق الجهد في القسم السفلي من وجود حاجز نصف نفاذ مثل الطفل والقشرة الطينية المتكونة على جدار الطبقة. اي ان فرق الجهد المسجل في اسفل الطبقة يساوي $(E_m - E_{mc})$. نلاحظ لهذا السبب اختلاف في فرق الجهد التلقائي المسجل امام طبقة نفاذة واحدة.

انتقال الخط الاساسي الطفلي (11) (shale baseline shift)

يلاحظ انتقال الخط الاساسي الطفلي في بعض الابار وهو الخط الذي يستعمل لقياس (SP). انتقال هذا الخط مع العمق يسبب صعوبة في حسابات (SP). يحدث الانتقال في بعض الاحيان بسبب تغير نوع الطفل المترسب في عصور جيولوجية مختلفة. يبين المثال الحظلي شكل (3-21) انتقال الخط الطفلي الاساسي بسبب اختلاف في نوعية الطفل.

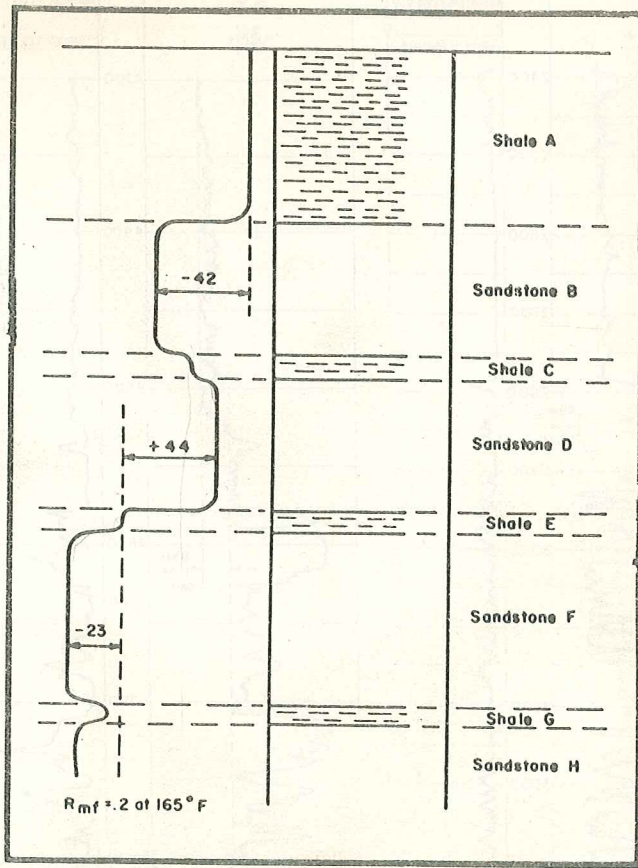
وفي حالات اخرى انتقال الخط الطفلي يكون بسبب عدم وجود طبقات طفلية ذات نفاذية عالية للأيونات الموجبة (cationic membrane not perfect)



شكل (3-21) مثال حقلي لانتقال الخط الطفلي الاساسي مع العمق (لشركة شلمبرجر)

تفصل بين طبقات نفاذة حاوية على مياه مختلفة الملوحة . الشكل (3-22) يمثل مخطط لانتقال الخط الطفلي الاساسي .

نلاحظ في شكل (3-22) ان الخط الطفلي الاساسي امام الطبقة (D) انتقل نحو اليسار من الخط الاصلي . اكتشفت هذه الحالة في احدى حقول الجزائر . يبين المثال الحقلي شكل (3-23) انتقال الخط الطفلي في احدى حقول الجزائر .



شكل (3-22) مخطط يبين انتقال الخط الطفلي الاساسي (shale baseline) مع العمق

في بعض الاحيان يحرك مهندس التسجيل موقع الخط الطفلي القاعدي بحيث لا تخرج ذبذبات (SP) في مجال التسجيل .

عوامل مؤثرة خارجية على تسجيل (SP)

تأثير المغنطة (magnetism)

تصبح في بعض الاحيان بعض الاجزاء المتحركة من جهاز تسجيل (SP) مثل الاسلاك ممغنطة وبما انها تتحرك تولد جهد اضا في على (SP) وتكون دورية وتظهر على شكل موجات على تسجيل (SP) يقوم في هذه الحالات مهندس التسجيل بتصحيح تسجيل (SP) شكل (3-24) يبين هذا التأثير .

تأثير الفلزات الثنائية (bimetallic effect)

يحدث هذا التأثير في بعض الاحيان عندما تكون الاجهزة المستعملة لقياس (SP) غير معزولة بصورة جيدة مما تؤدي الى تآكل الجزء غير المعزول عند الاستعمال داخل طين الحفر فينتج نتيجة ذلك اختلاف في درجة التأكسد او الاختزال بين الجزء المعزول من جهاز القياس والجزء غير المعزول ، وهذا يؤدي الى توليد فرق الجهد ويؤثر على تسجيل (SP) . يظهر هذا التأثير ايضا في بعض الاحيان عند تسجيل (SP) مع جهاز قياس السرعة . الشكل (25-3) يبين مثال حقيقي لهذا التأثير .

تأثير التيارات الارضية على تسجيل (SP) (Telluric currents)

يمكن ان تسبب العواصف المغناطيسية في توليد تيارات ارضية مما تعيق تسجيل (SP) . الشكل (26-3) يبين هذا التأثير على تسجيل (SP) مما يجعل تسجيل (SP) غير مفيد في هذه الظروف .

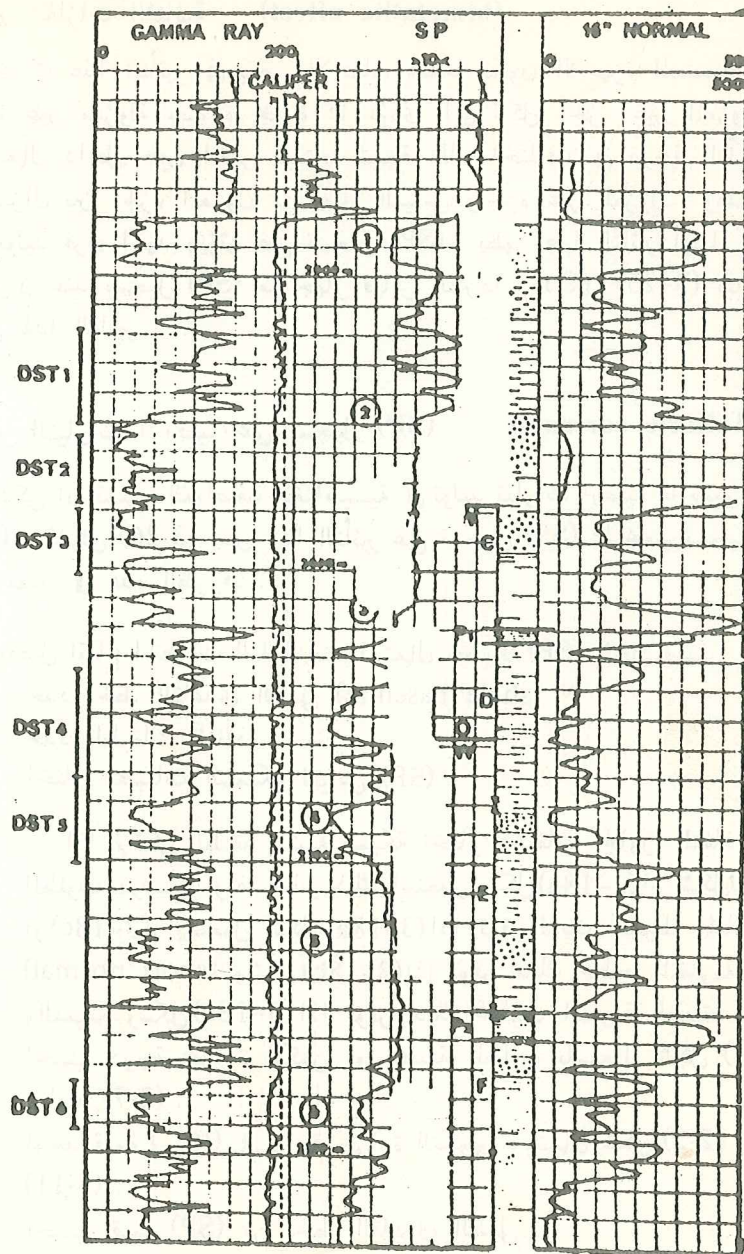
يفضل اتباع الخطوات التالية عند استعمال تخطيط (SP) لاجاد قيمة (R_w)

- (1) حدد الخط القاعدي الطفلي (shale baseline) .
 - (2) حدد الطبقات النفاذة .
 - (3) اختار الطبقات السميكة لقياس (SP) .
- اذا لم تكن الطبقة المعنية سميكة اختار الطبقات المجاورة النفاذة للطبقة المطلوب دراستها واذا تعذر ذلك استعمل شكل (3-18a) او شكل (3-18b) او (3-18c) . يستعمل شكل (3-18a) اذا توفر لديك تخطيط المقاومة نوع (short normal) وشكل (3-18b) اذا توفر لديك تخطيط المقاومة الدقيقة والعميقة وشكل (3-18c) اذا توفر لديك تخطيط المقاومة العميقة .
- (4) احسب درجة حرارة المكمن او الطبقة المطلوبة باستعمال شكل (2-4) او معادلة (2-7) .
 - (5) اوجد قيمة (R_{mf}) في درجة حرارة التكوين باستعمال شكل (2-2) او شكل (3-11) .

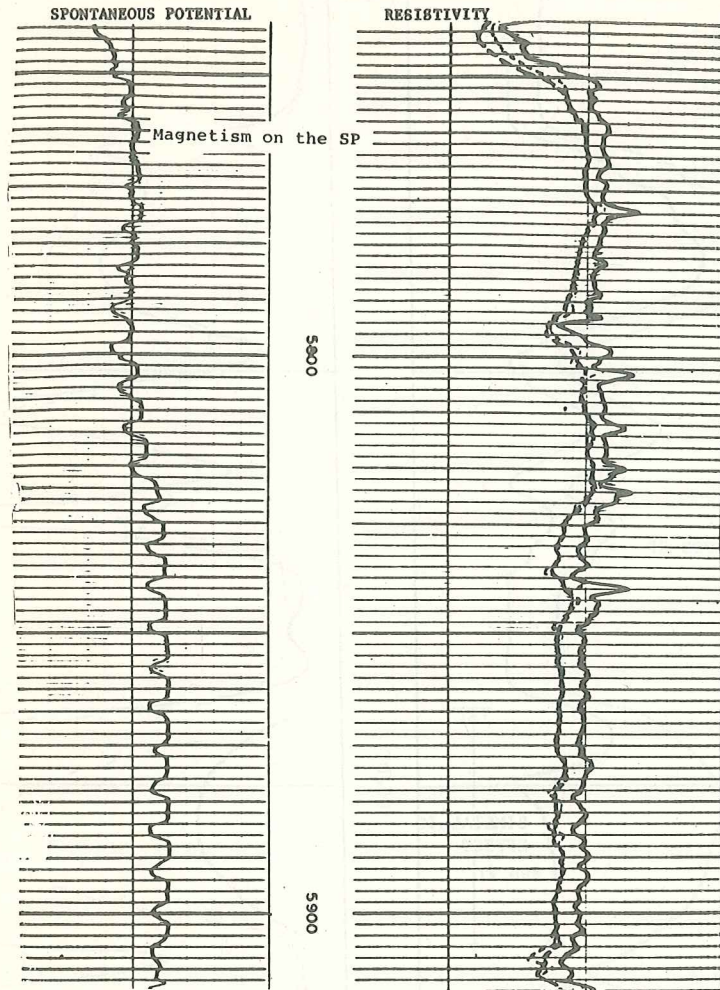
(6) احسب قيمة (SP) من الخط القاعدي الطفلي .

(7) استعمل شكل (3-10) لاجاد $\left(\frac{R_{mfe}}{R_{we}} \right)$.

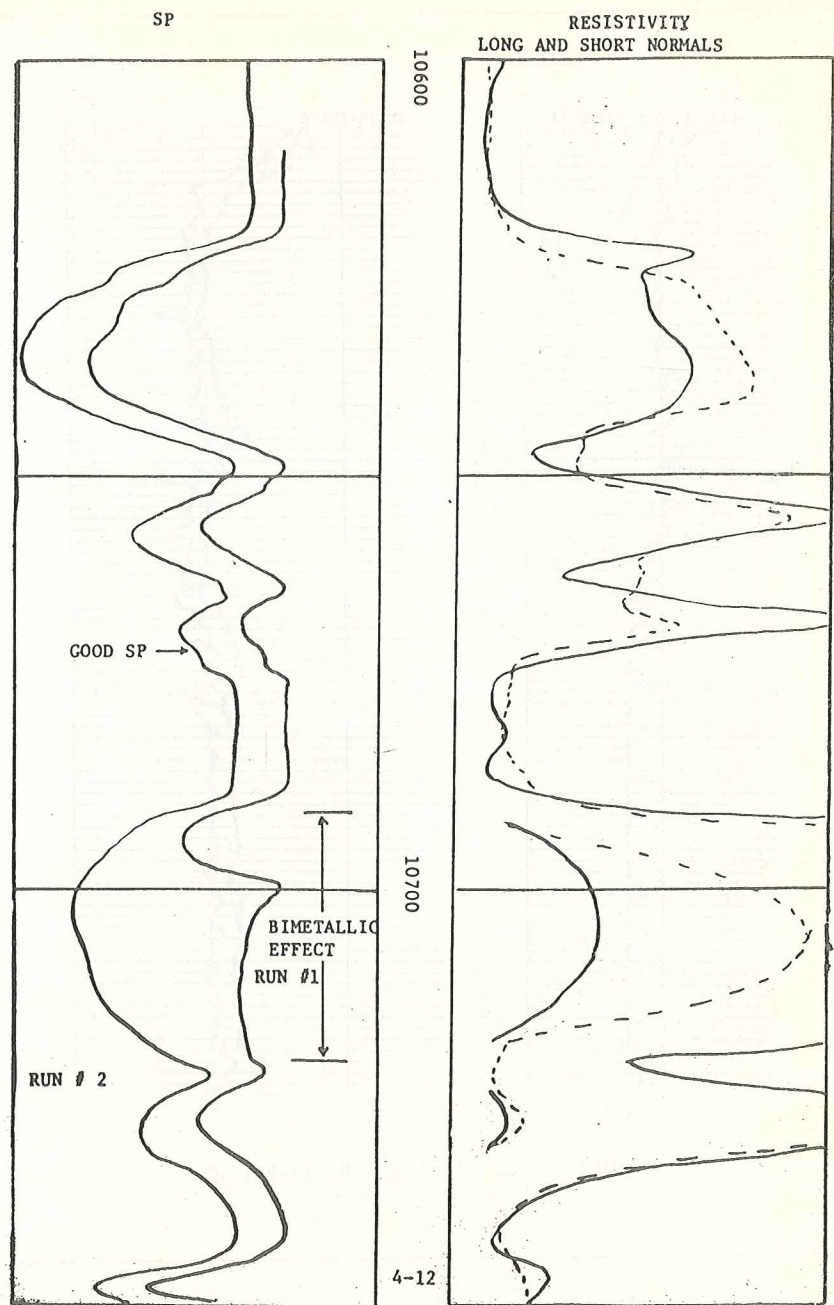
اذا كانت قيمة (R_{mf}) المقاسة في درجة (75°F) < 0.1 ، استعمل العلاقة :



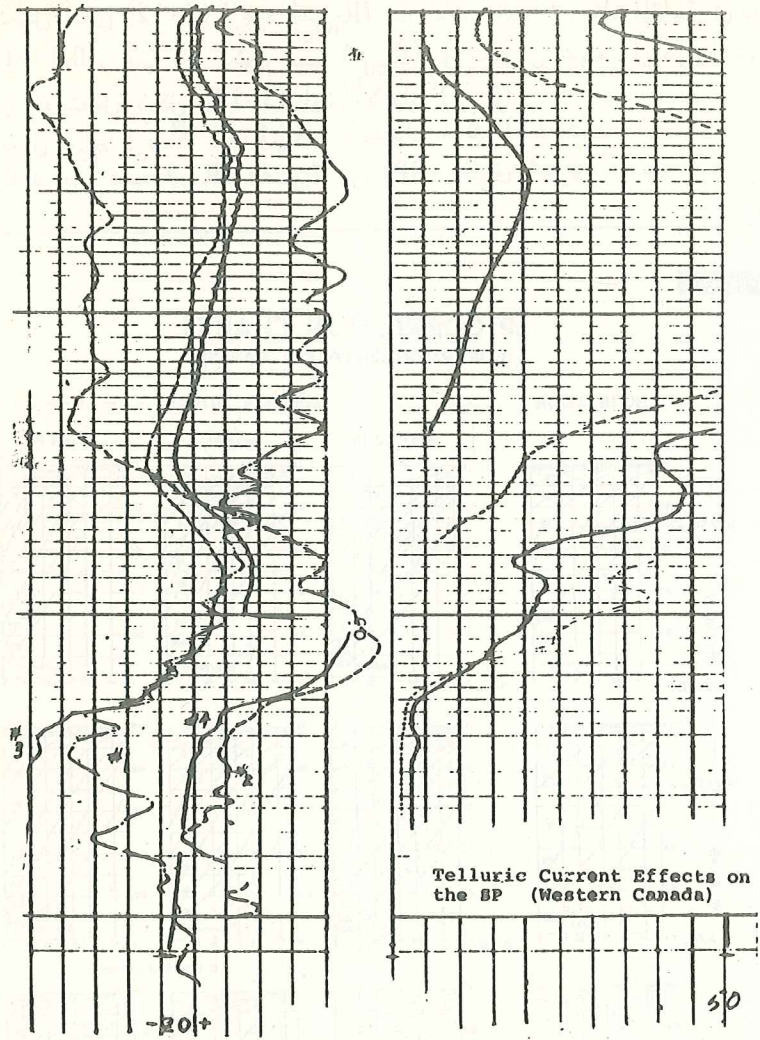
شكل (3-23) مثال حقلي لانتقال الخط القاعدي الطفلي (shale baseline shift) (لشركة شلمبرجر)



شكل (3-24) مثال حقلي لتأثير المغنطة على (SP)



شكل (3-25) مثال حقلي لتأثير الفلزات الشائبة على تسجيل (SP.)



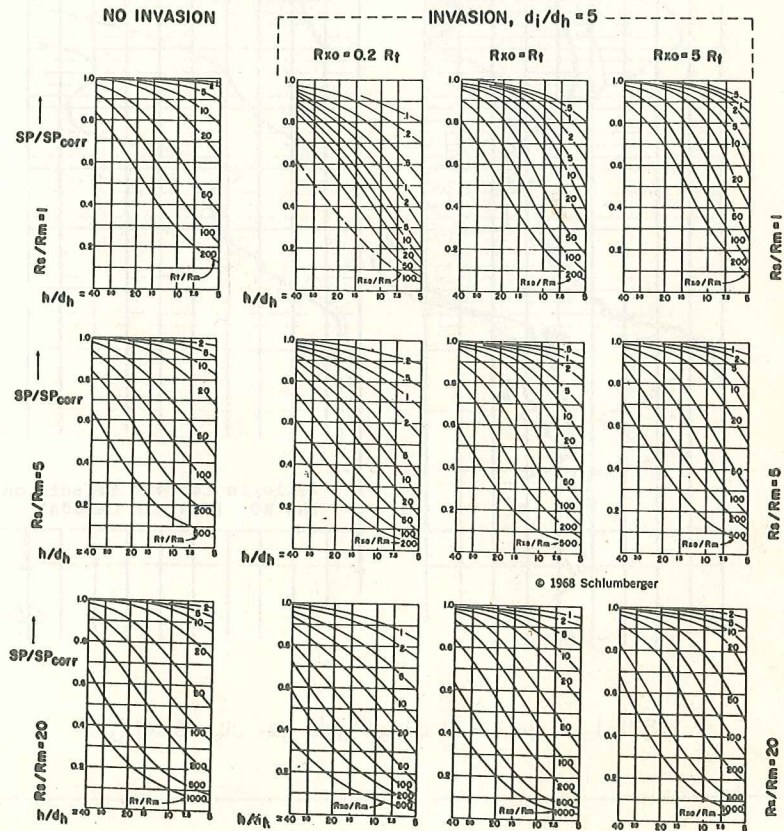
شكل (3-26) مثال حقلي لتأثير التيارات الأرضية على تسجيل (SP).

$$R_{mf_e} = 0.85 R_{mf}$$

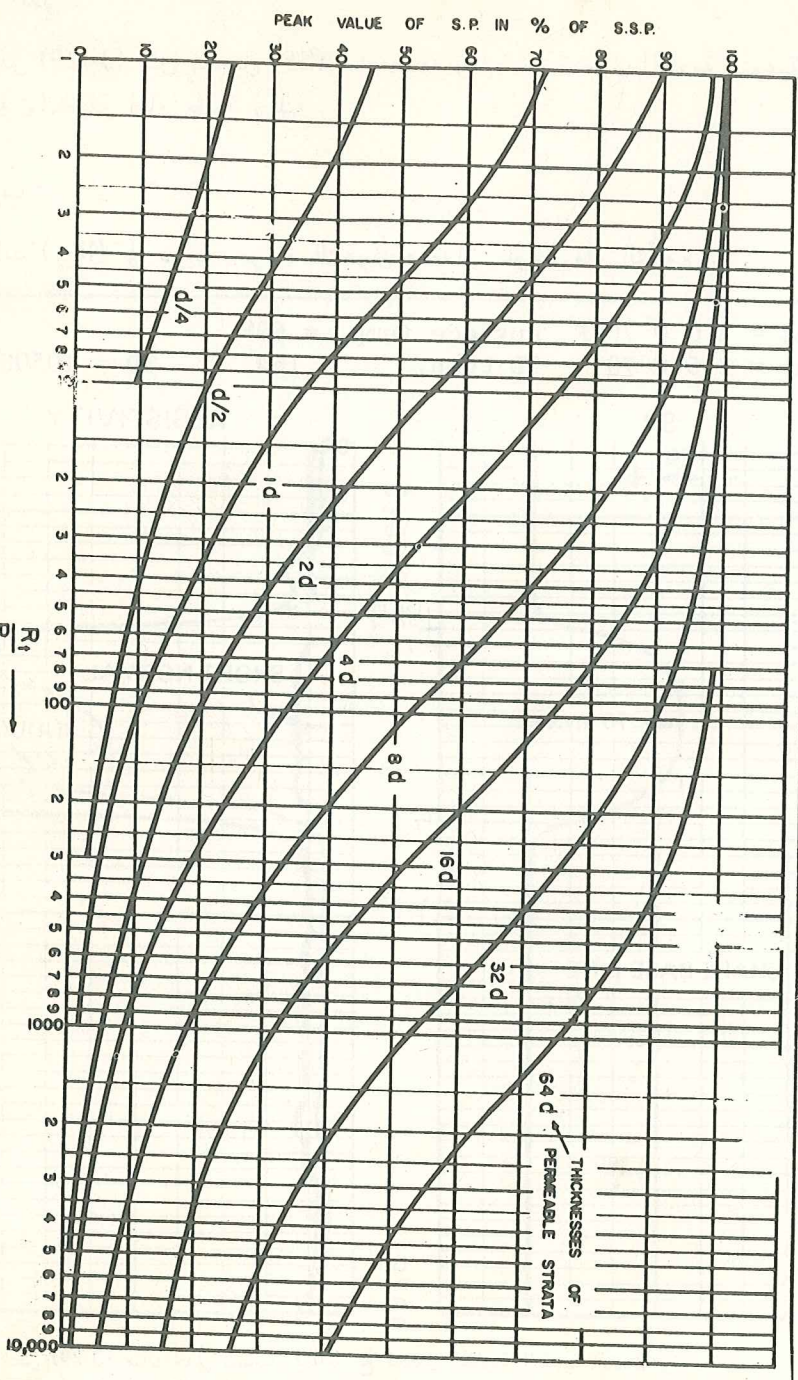
- استعمل شكل (3-12) لاجاد (R_{mf_e}) اذا كانت قيمة (R_{mf}) المقاسة في درجة $(75^\circ\text{F}) > 0.1$. يجب أن تكون قيمة (R_{mf_e}) في الحالتين محولة الى درجة حرارة التكوين. يستعمل شكل (3-10) ايضاً لاجاد (R_w).
 (8) حول قيمة (R_w) الى (R_w) باستعمال شكل (3-11).
 (9) تأكد من قيمة (R_w) المحسوبة من (SP) بطرق اخرى.

Schlumberger

SP CORRECTION CHARTS (FOR REPRESENTATIVE CASES)



شكل (3-18b) مخطط بياني لتصحيح (SP) لتأثير السمك والمقاومة النوعية (لشركة شلمبرجر).



شكل (3-18c) مخطط بياني لتصحیح (SP) لتأثیر السمك والتأویة النوعية.

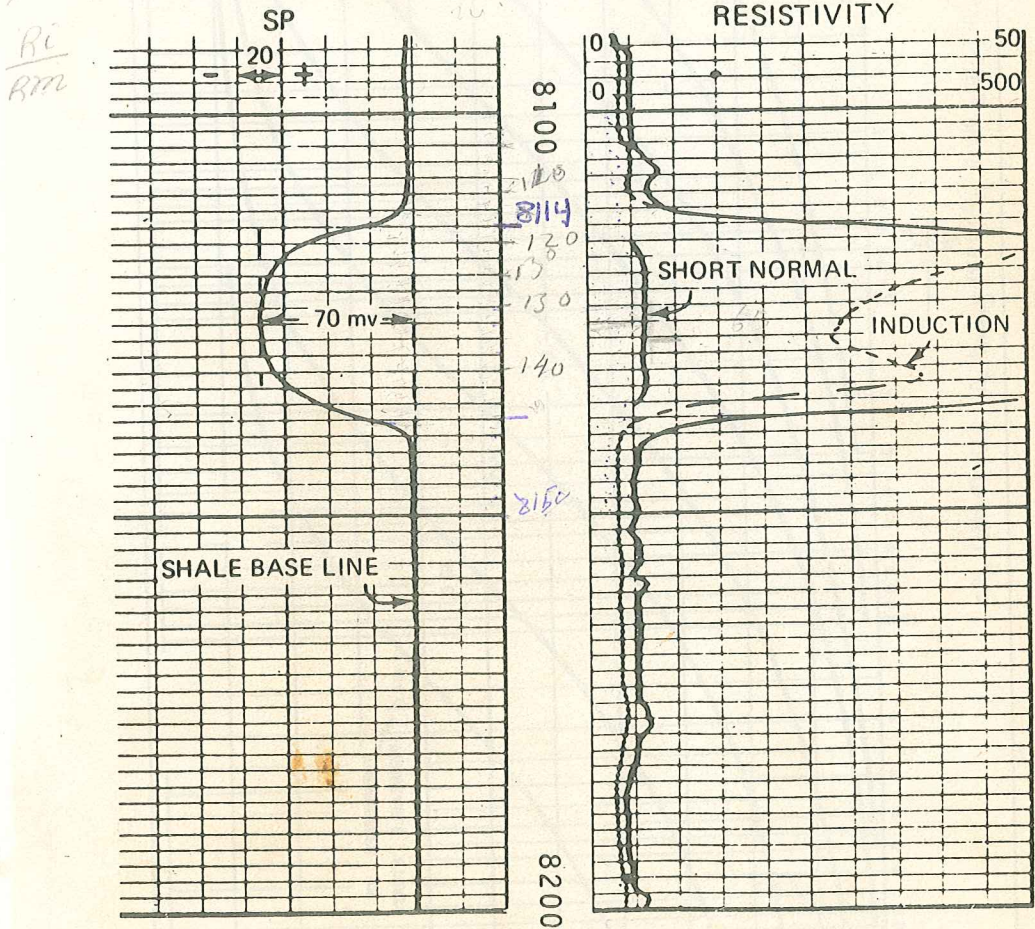
مثال حقلي :

شكل (3-29) يمثل تسجيل (SP) امام طبقة رملية مع تسجيل المقاومة النوعية الضحلة والعميقة امام طبقة رملية .

المطلوب :

حساب (R_w) في درجة حرارة التكوين ومقدار ملوحة ماء التكوين .

$R_{mf} = 2.0 @ 70^{\circ}F$ surface temp. = 60°
 $R_m = 2.5 @ 70$ TD temp. 164° TD = 10500



شكل (3-29) مثال حقلي لتسجيل (SP) مع تسجيل المقاومة النوعية الضحلة والعميقة .

الحرارة عند قاع البئر معلومة

$$t_f = (t_{td} - t_o) \left(\frac{d_f}{d_{td}} \right) + t_o \dots\dots (3-17)$$

حيث :

t_f - درجة حرارة التكوين عند اي عمق .

t_{td} - درجة حرارة قاع البئر (BHT) .

t_o - معدل درجة الحرارة السطحية .

d_f - عمق التكوين .

d_{td} - العمق الكلي للبئر .

هذه المعادلة تشبه معادلة (2-7) ولكن بشكل آخر . باستعمال المعادلة نجد :

$$\begin{aligned} t_f &= (104) (0.77) + 60 \\ &= 80.08 + 60 \\ &= 140.08 \\ &= 140 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

قيمة (R_{mf}) عند درجة حرارة المكنن تساوي ($R_{mf} = 1.0$) وقيمة (R_{mfe}) تساوي ($R_{mfe} = 0.85$) ، سمك الطبقة المكننية يساوي

8138

8114

24 ft.

لتصحيح (SP) الى (SSP) بالخطط البياني (3-18a) نحتاج الى (R_p) المقاومة النوعية للمنطقة المفزوة من الطبقة . نجد قيمة المقاومة المسجلة من تخطيط المقاومة نوع (short-normal) يساوي $R_{S.N.} = 65$ ويمكن اعتبار هذه القيمة ممثلة لقيمة (R_p) . اذن باستعمال الخطط البياني (3-18) نجد ان عامل التصحيح يساوي (0.07) (SP) المصححة تصبح :

$$\begin{aligned} SSP &= - (70) \times (1.07) \\ &= - 74.9 \text{ mv} \approx - 75 \text{ mv} \end{aligned}$$

باستعمال الخطط البياني شكل (3-10) :

$$\frac{R_{mfe}}{R_{we}} = 9.0$$

$$R_{we} = 0.093$$

$$\therefore R_w = 0.11 (\Omega m)$$

مقدار ملوحة ماء التكوين

$$\text{salinity} = 30,000 \text{ ppm (NaCl)}$$

(SP) طريقة استعمال معادلة (2) 61

$$SSP = -K \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}}$$

$$-75 = -K \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}}$$

$$K = 0.133 t_{of} + 61$$

$$= 18.62 + 61$$

$$= 79.62$$

$$\therefore -75 = 79.62 \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}}$$

$$\frac{R_{mfe}}{R_{we}} = 8.749$$

$$R_{we} = 0.097$$

$$\therefore R_w = 0.11 (\Omega m)$$



(3) طريقة الميكروكومبيوتر (micro computer PDC-4100)

البيانات المعطاة للكمبيوتر مبينة على الورقة المطبوعة وهي :

T_{BH} - درجة الحرارة عند قاع البئر .

T_{surf} - درجة الحرارة السطحية .

TD - العمق الكلي للبئر .

$TGRAD$ - تدرج الحرارة داخل البئر (محسوبة غير معطاة) .

R_{mf} - المقاومة النوعية لراشح الطين .

T_{Rmf} - درجة الحرارة عند قياس مقاومة راشح الطين .

$DEPTH$ - عمق المكمن .

$TFORM$ - درجة حرارة المكمن .

SP - مقدار فرق الجهد المسجل .

RW SP	
ROMAID-V	
Parameters	
T SH	= 164.0 °F
T SURF	= 60.0 °F
TD	= 10500.0 Ft
T GRAD	= 0.990 °F/ft
RMF	= 2.000 OHM·M
T RMF	= 70.0 °F
Data	
DEPTH	= 8135.0 Ft
T FORH	= 140.6 °F
-SP	= 75.0 mV
Results	
RH	= 0.109 OHM·M
RH 75	= 0.196 OHM·M
NACL	= 32.742 K-ppm

هناك طرق عديدة لحساب (R_w) بالطرق السريعة منها طريقة (R_{wa}) اي المقاومة النوعية الظاهرية لماء التكوين apparent formation water resistivity وطرق التسقيط على المخططات البيانية (cross-plots) وغيرها . سنذكر امثلة لهذه الطرق في الفصول القادمة .

مسائل :

- (1) مامقدار انحراف (SP) المتوقع امام طبقة نفاذة اذا علمت ان درجة الحرارة المسجلة عند عمق الطبقة تساوي (150°F) وقيمة 0.050hm-m و ($R_{mf} = 0.02\text{ ohm-m}$) و ($R_w = 0.02\text{ ohm-m}$) ؟ (الجواب $\text{SP} = -110.5\text{ mv}$)
- (2) اذا كان مقدار انحراف (SP) امام طبقة نفاذة يساوي ($+ 50\text{ mv}$) ودرجة الحرارة المسجلة عند الطبقة تساوي (150°F) و ($R_{mf} = 0.05$) ماهي قيم (R_w ، R_{we} ، R_{mf}) ؟ (الجواب $R_{mf} = 0.04$ ، $R_{we} = 0.16$ ، $R_w = 0.18$)
- (3) مامقدار ملوحة (salinity) ماء التكوين في مسألة (2) ؟ مامقدار انحراف (SP) باستعمال المعادلة في مسألة رقم (2) ؟
- (4) البيانات التالية سجلت من تخطيط (IES) :
 $\text{SP} = -70\text{ mv}$ ، $R_{16} = 40\text{ ohm-m}$
 عمق الطبقة المكنية = (5665) قدم .

العمق الكلي للبئر = (9010) قدم - (TD)

درجة حرارة قاع البئر (BHT) = 145°F

$R_m = 1.0$ at 60°F

$R_{mf} = 0.8$ at 65°F

سمك الطبقة المكمنية يساوي (5) قدم .

معدل درجة الحرارة السطحية يساوي (35°F) .

اوجد مقدار (R_w) من (SP) وملوحة الماء المكمني .

(الجواب : $R_w = 0.03 \text{ ohm-m}$)

الحل بواسطة الميكروكومبيوتر (PDC-4100)

(5) اوجد مقدار (R_w) من (SP) الماء التكوين في الطبقات النفاذة المبينة على تخطيط (IES) شكل (30-3) اذا علمت أن قراءة المقاومة النوعية للمنطقة المفزوة في عمق (8990) قدم تساوي (12 ohm-m) وفي عمق (9200) قدم تساوي (1.0 ohm-m) .

ملاحظة :

استعمل البيانات المسجلة في اعلى التخطيط ، نتائج الحسابات بواسطة الميكروكومبيوتر (PDC-4100) .

RW SP

ROMAID-V

Parameters

T_{BH} = 219.0 °F
T_{SURF} = 98.0 °F
TD = 11980.0 Ft
T_{GRAD} = 1.877 °F/ft
RMF = 0.648 OHM²/M
T_{RMF} = 98.0 °F

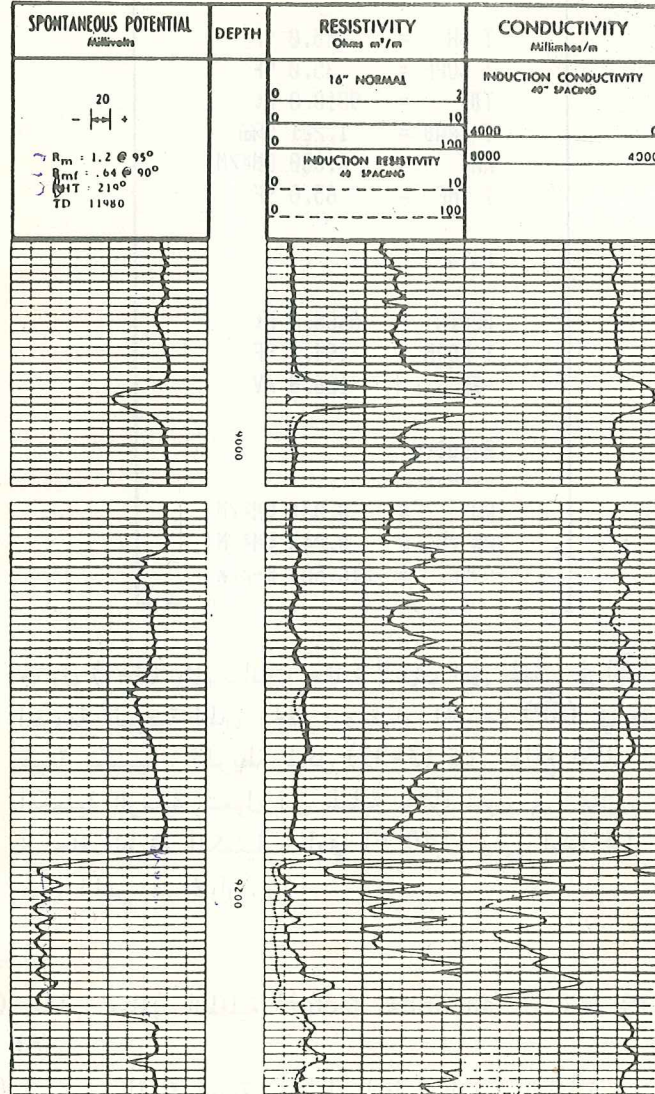
Data

DEPTH = 9200.0 Ft
T_{FORM} = 189.1 °F
-SP = 130.0 mV

Results

RH = 0.020 OHM²/M
RH 75 = 0.047 OHM²/M
NACL = 186.015 K-ppm

(6) شكل (3-31) يمثل تخطيط (IES) مسجل امام طبقات نفاذة رملية .
 احسب مقدار المسامية (ϕ) للطبقة المؤشرة على تخطيط (IES) (ZoneA)
 اذا علمت أن مقدار المقاومة النوعية للطبقة المشبعة بالماء في منطقة
 (A) تساوي (0.196) أوم - م .



شكل (3-30) مثال حقلي لتخطيط (IES) (لشركة شلمبرجر)

RW SP

ROMAID-V

Parameters

 T BH = 145.0 °F
 T SURF = 35.0 °F
 TD = 9010.0 Ft
 T GRAD = 1.221 °F/ft
 RMF = 0.800 QM²/M
 T RMF = 65.0 °F

Data

 DEPTH = 5665.0 Ft
 T FORM = 104.2 °F
 -SP = 126.0 MV

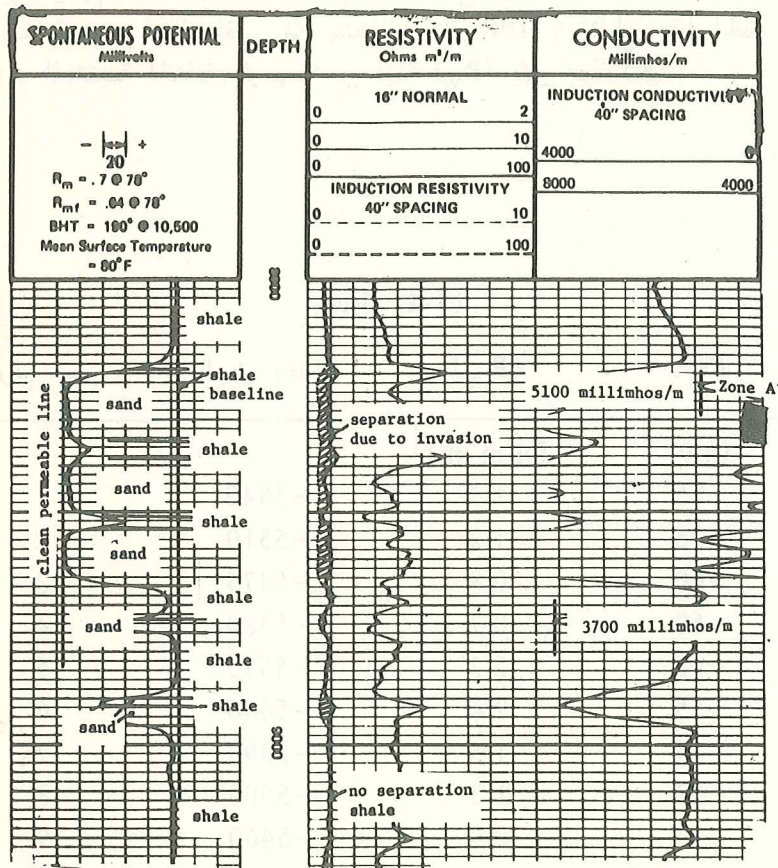
Results

 RW = 0.031 QM²/M
 RW 75 = 0.043 QM²/M
 NOCL = 216.582 K-PPM

(7) جدول (3-1) يمثل بيانات حقلية لاعمق افق طبقي في الآبار المختلفة وقيم المقاومة النوعية لطين الحفر ، ومقدار انحراف (SP) في هذه الابار امام طبقة مكمنية . الخريطة شكل (3-32) تمثل مواقع الآبار الجافة . الطبقة المكمنية الرملية تتحول الى طفلية باتجاه معين في الحقل . درجة الحرارة المسجلة للطبقة المكمنية تساوي (140 °F) وهي ايضاً تمثل درجة حرارة طين الحفر في الآبار .

المطلوب :

- (1) حساب معامل الطفلية (shaliness factor) او قيمة k الظاهرية في معادلة (SP) .
- (2) رسم خريطة كونتورية تبين اختلافات النسب الطفلية .
- (3) باستعمال الخريطة الكونتورية لنسب الطفل والميل الاقليمي في اي اتجاه يجب حفر بئر استكشافي؟



شكل (3-31) مثال لتخطيط (IES)

ملاحظة :

القيمة الظاهرية للثابت (K) تحسب من عمل مخطط نصف لوغريتمي (semi-log plot) لقيم R_m مع قيم (SP). قيمة R_w تتمثل بتقاطع خط المستقيم المرسوم خلال اوطأ النقاط في المخطط مع قيمة (SP = 0). بعد إيجاد هذه القيمة يرسم خط افقي من عند قيمة $(10R_w)$. تقاطع هذا الخط مع الخطوط المستقيمة المختلفة المرسومة من قيمة R_w يمثل قيمة (K).

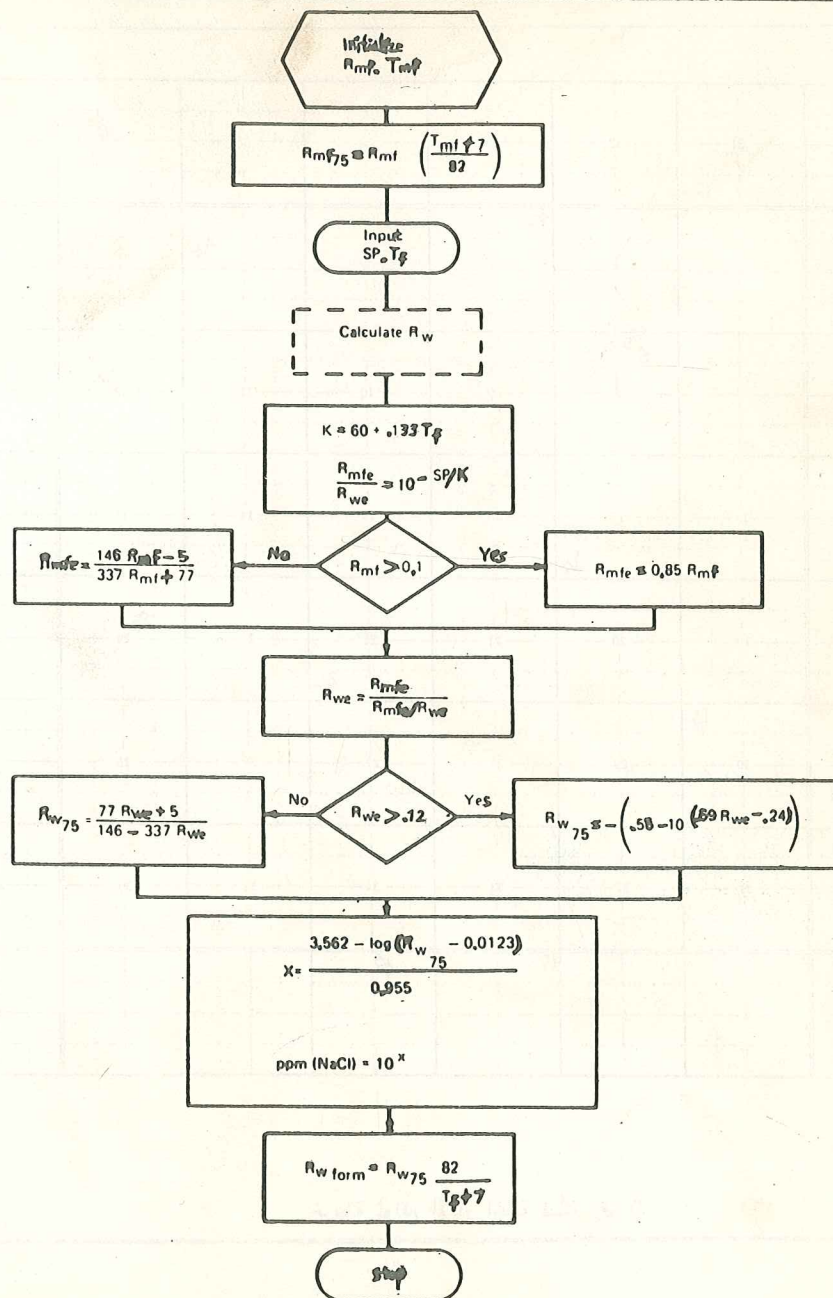
جدول (3-1)

رقم البئر	العمق (قدم)	(R_m)	(SP)
		(ohm-m)	(mv)
1	-5540	1.7	-85
2	-5510	1.2	-75
3	-5475	0.8	-60
4	-5380	0.7	-50
5	-5575	2.2	-90
6	-5460	2.4	-55
7	-5390	1.5	-45
8	-5500	1.3	-57
9	-5460	0.9	-52
10	-5325	0.8	-55

شكل (3.33) يمثل رسماً انسيابياً (SP-Rw) من تسجيل (SP) المستعمل في الحاسبة الالكترونية.

34	31	32	33	34	35	36	31
1	6	5	4	3	2	1	6
12	7	8	9	10	11	12	7
13	18	17	16	15	14	13	18
24	19	20	21	22	23	24	19
25	30	29	28	27	26	25	30
36	31	32	33	34	35	36	31
1	6	5	4	3	2	1	6

خريطة لمواقع الآبار الجافة لمسألة رقم (7)



شكل (3-33) رسم انسيابي لايجاد (R_w) من تسجيل (SP) بواسطة الكمبيوتر.

الفصل الرابع

تسجيلات المقاومة النوعية المألوفة

(Conventional resistivity logs)

استعملت انواع مختلفة من تسجيل المقاومة لمسح الآبار مع تسجيل الجهد الطبيعي (SP) خلال ربع قرن وفي جميع انحاء العالم، ظهرت بعد ذلك انواع اخرى لقياس المقاومة النوعية للطبقات اكثر دقة. الانواع المألوفة تستعمل لحد الآن لقياس المقاومة النوعية وخاصة نوع (16"N)، هذه الانواع موجودة في بلادنا ويمكن الاستفادة منها في الدراسات المستقبلية للآبار القديمة.

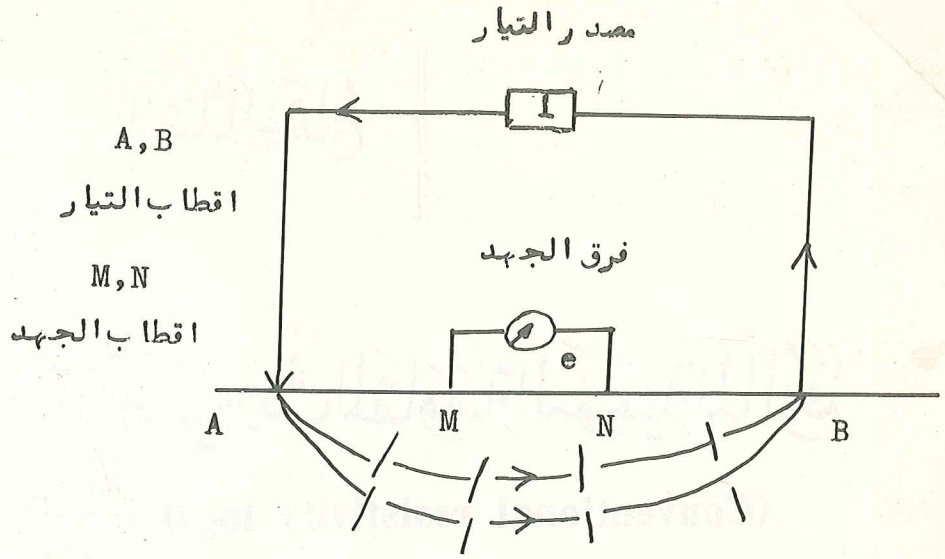
استعمل الاخوين كونراد ومارسيل شلمبرجر في سنة (1919) قياسات كهربائية في فرنسا للكشف عن المعادن والعمليات الاستكشافية للبترو. يبين المخطط التالي طريقة استعمال القياسات الكهربائية السطحية. يمكن من هذه القياسات حساب المقاومة النوعية الظاهرية حيث -

$$R_a = \left(\frac{e}{i} \right) (C) \dots\dots\dots (4-1)$$

R_a - المقاومة النوعية الظاهرية (أوم - م)

e - مقدار فرق الجهد المقاس (فولت)

i - مقدار التيار المستعمل (امبير)



شكل (4-1) مخطط لطريقة استعمال القياسات الكهربية السطحية في عمليات الاستكشاف .

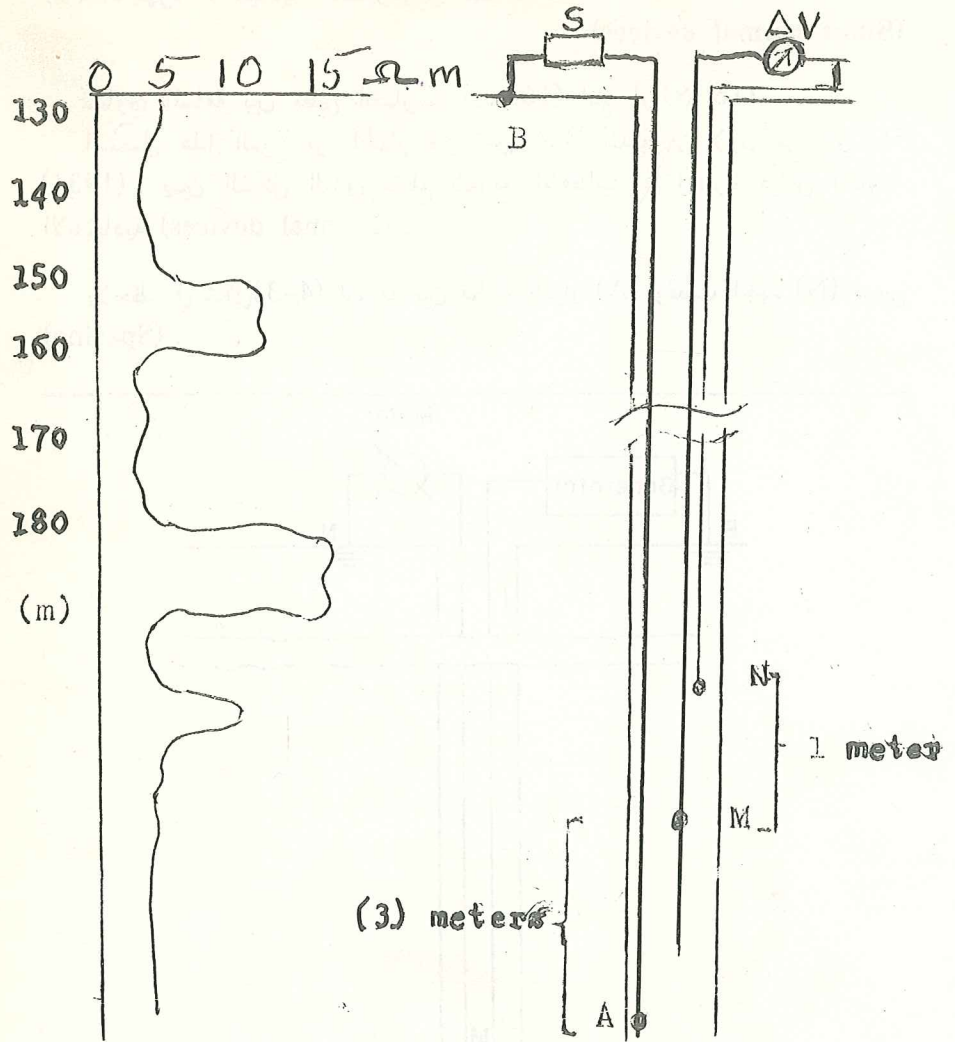
c - ثابت يعتمد على المسافة بين الاقطاب .

يمكن من قياسات المقاومة النوعية لنقاط مختلفة على السطح اكتشاف تراكيب حاوية على البترول أو اكتشاف خامات المعادن وغيرها .

استعملت الطرق الكهربية من قبل شلمبرجر في سنة (1927) لأول مرة لمسح الآبار المحفورة في حقل (Pechelbronn) في فرنسا ، يبين الشكل التالي مخطط لطريقة القياس والتسجيل الناتج للمقاومة النوعية .

انواع اجهزة قياس المقاومة النوعية

هناك انواع مختلفة من اجهزة لقياس المقاومة النوعية للطبقات وهي تختلف من حيث المبدأ بالمسافة (Spacing) بين قطب التيار (current electrode) وقطب الجهد (potential electrode) ، كلما زادت المسافة بين هذه الاقطاب كلما زاد عمق البحث للتيار داخل الطبقة المعنية .



شكل (4-2) مقطع لطريقة قياس المقاومة النوعية للطبقات مع تسجيل المقاومة النوعية للطبقات.

تشمل الانواع المألوفة المستعملة على (7)

(1) الاجهزة الاعتيادية (Normal devices)

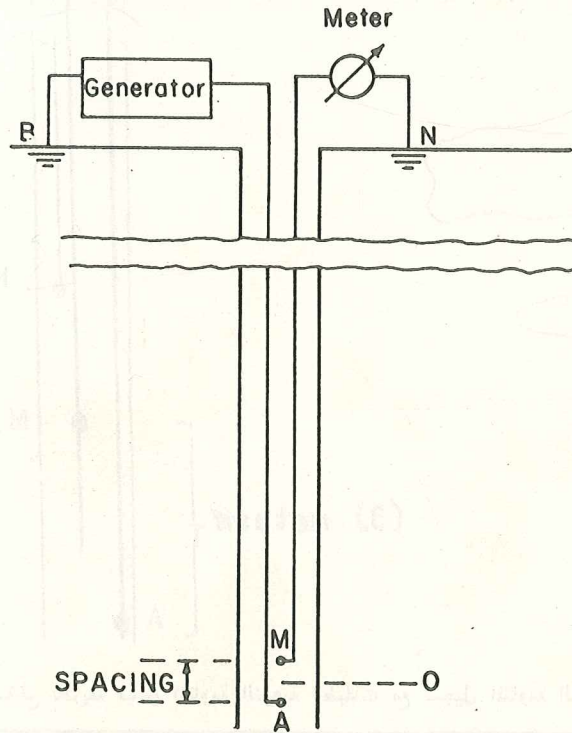
هناك نوعان من هذه الاجهزة

(أ) الأجهزة الاعتيادية القصيرة أو الضحلة

(Short-normal devices)

تساوي المسافة بين قطبي التيار والجهد (16) انج أو (N) 16). استعمال هذا النوع من الجهاز من قبل شركة شلمبرجر لأول مرة في سنة (1931). يبين الشكل التالي مقطع لتوزيع الاقطاب في أجهزة قياس المقاومة الاعتيادية (Normal devices).

يلاحظ في شكل (3-4) المسافة بين قطب التيار (A) وقطب الجهد (N) تسمى (Spacing).



شكل (3-4) مقطع لتوزيع الاقطاب في جهاز قياس المقاومة النوعية الاعتيادية .

(ب) الاجهزة الاعتيادية الطويلة أو العميقة

(Long-normal devices)

تساوي المسافة بين قطبي التيار والجهد (64) انج أو (N) 64 استعمل هذا النوع من الجهاز من قبل شركة شلمبرجر لأول مرة في سنة (1934) لمسح الابار .

الاختلاف بين النوعين من الاجهزة لقياس المقاومة هو عمق البحث (depth of investigation) للتيار داخل التكوين. يطلق على هذا العمق اصطلاح - نصف قطر البحث - (radius of investigation) .

يساوي نصف قطر البحث في هذه الاجهزة ضعف المسافة (twice spacing) الغاية من استعمال هذه الاجهزة هي قياس المقاومة النوعية للمنطقة المغزوة براشح الطين داخل الطبقة (resisivity of invaded zone R) ويستخدم التسجيل في عمليات ربط الآبار (Correlation) وبصورة خاصة تسجيل المقاومة القصيرة (short-normal) حيث يستجيب هذا التسجيل لتغيرات الخصائص الصخرية (lithology variation) أو الاختلافات في معامل التكوين (F) ونستطيع تحديد الطبقات بشكل واضح .

كيفية قياس المقاومة النوعية للتكوين⁽²⁾

يبحث تيار ثابت خلال أقطاب التيار (current electrodes) الى داخل التكوينات المختلفة خلال طين الحفر ويقاس فرق الجهد الناتج من انتقال التيارات بواسطة اقطاب الجهد (potential electrodes) .

يتناسب مقدار فرق الجهد المقاس (V) طردياً مع المقاومة النوعية للجسم أو التكوين. فرق الجهد الكلي المقاس داخل الطبقة يساوي .

$$V = + \frac{iR}{4\pi (AN)} \quad \dots (4-1)$$

حيث :

V - فرق الجهد (فولت) المقاس بين اقطاب الجهد

i - مقدار التيار المستعمل (أمبير)

R - المقاومة النوعية للتكوين أو للطبقة (أوم - م)

AM - المسافة بين قطبي التيار والجهد

4π - ثابت

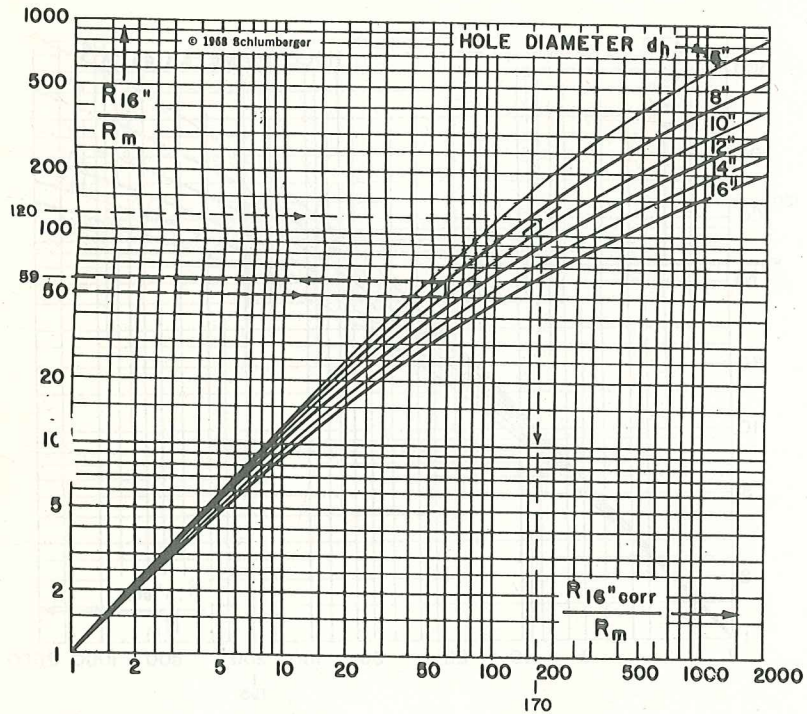
يلاحظ في المعادلة (4-1) بأن فرق الجهد يتناسب طردياً مع المقاومة النوعية للجسم حيث (i) و $(4\pi AH)$ كليهما مقادير ثابتة . يمكن اشتقاق هذه المعادلة عن طريق التكامل لمقدار فرق الجهد من مسافة (AN) من مصدر التيار الى اللانهاية (∞) .

- اشتقاق المعادلة مبني على افتراض ان الجسم الذي ينتقل فيه التيار هو متجانس (homogeneous) ومتماثل الخواص (isotropic) وذو سمك غير محدود (infinite extent) ففي هذه الحالة ان السطوح المتساوية الجهد (equipotential surfaces) المحيطة لقطب التيار تكون كروية الشكل . بما ان فرق الجهد المقاس يتناسب طردياً مع المقاومة فإن جهاز الكلفانومتر يمكن ان يعبر بوحدة المقاومة النوعية والمقاومة النوعية المقاسة تساوي المقاومة الحقيقية (R_p) اذا كان التكوين متجانس وموحد الخواص وغير مغزو براشع الطين وسميك ، لكن في اغلب الاحيان تكون المقاومة النوعية المقاسة ظاهرية ويجب تحويلها الى المقاومة النوعية الحقيقية باستعمال الرسوم او المخططات البيانية الخاصة ، حيث الطبقات المكمنية المختلفة لها اسمك مختلفة ومنها ذات سمك قليل ومنها تكون مغزوة براشع الطين او متأثرة بسائل الحفر الموجود داخل البئر . تمثل الاشكال التالية المخططات البيانية الخاصة المستعملة في تصحيح المقاومة النوعية المقاسة .



BOREHOLE CORRECTION FOR 16-INCH NORMAL

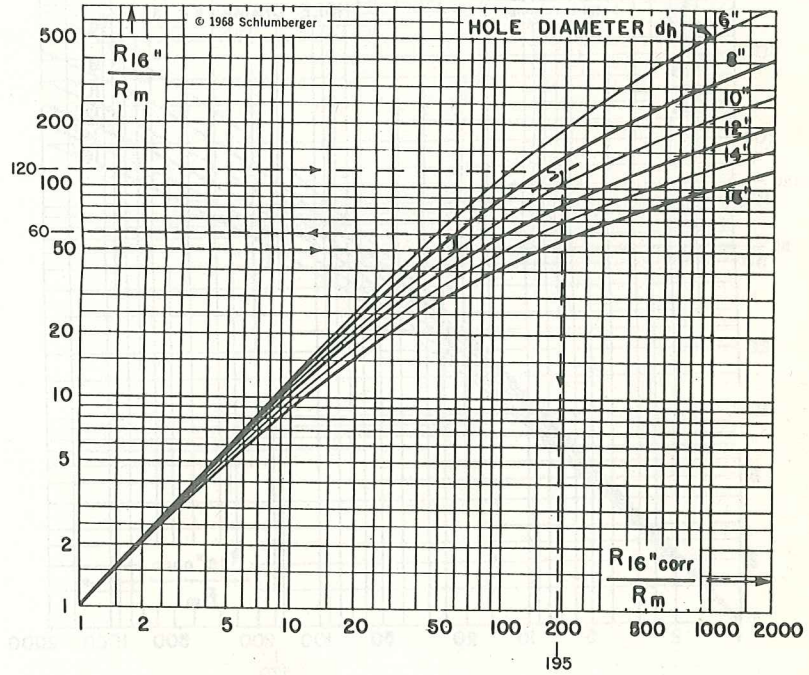
RECORDED WITH INDUCTION-ELECTRICAL LOG (6FF40-16"N) ✓



شكل (4-4) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة بواسطة (16"N) لتأثير البئر (يستعمل هذا المخطط إذا كان تسجيل المقاومة مع تسجيل الحث الكهربائي (Induction log) (الشركة شلمبرجر)

BOREHOLE CORRECTION FOR 16-INCH NORMAL

RECORDED WITH ELECTRICAL LOG



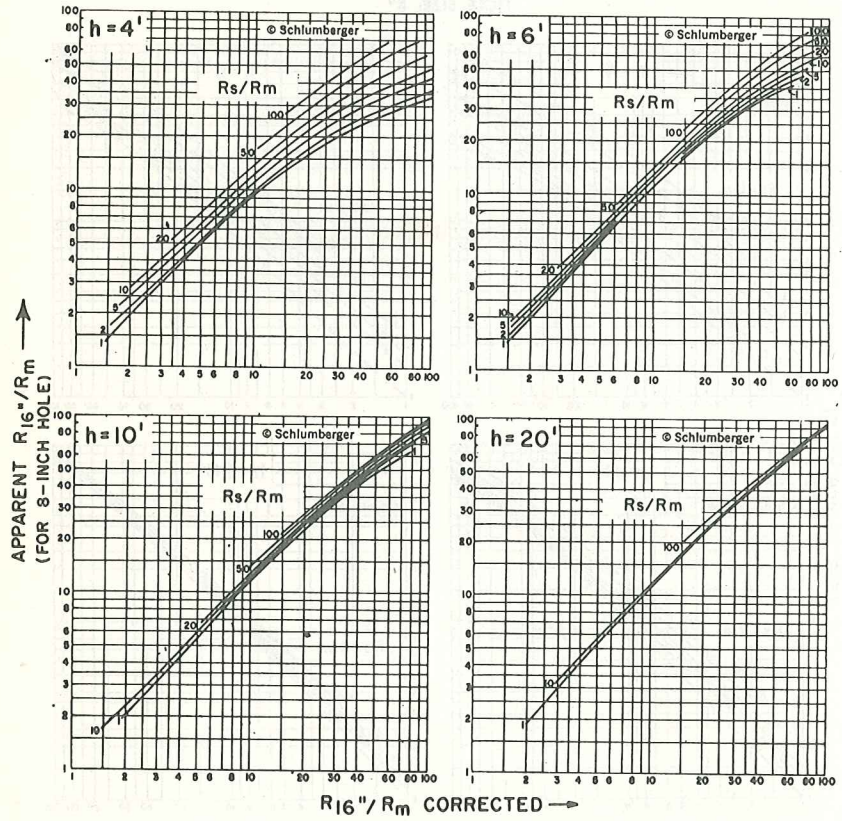
شكل (4-5) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة بواسطة (16''N) لتأثير البئر. (يستعمل هذا المخطط إذا كان تسجيل المقاومة مع التسجيل الكهربائي المألوف. (شركة شلمبرجر)

16" NORMAL CORRECTION CHARTS

INVADIED THIN BEDS

($2d_h < d_i < 10d_h$), $R_{xo}/R_t > 5$

HOLE SIZE: 8"



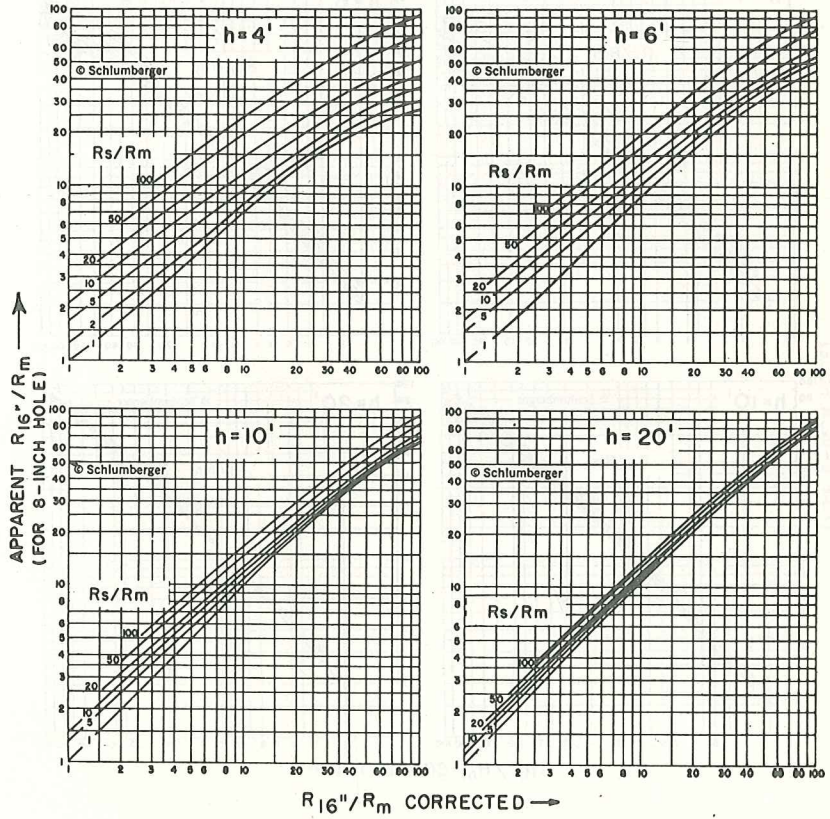
شكل (4-6) مخططات بيانية لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة بواسطة (16"N) لتأثير سمك الطبقات (يفترض الطبقة مفزوة براشع الطين) (لشركة شلمبرجر)

16" NORMAL CORRECTION CHARTS

THIN BEDS - NO INVASION

or $R_{xo} \approx R_i$

HOLE SIZE: 8"

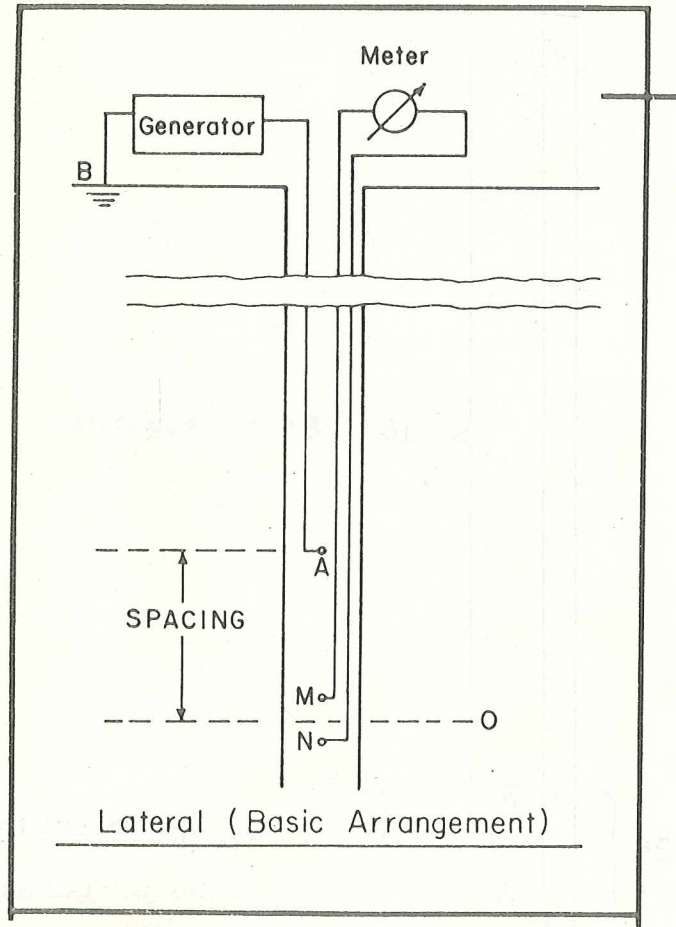


شكل (4-7) مخططات بيانية لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة بواسطة (16"N) لتأثير سمك الطبقات (يفترض الطبقة غير مفزوة براشح الطين) لشركة شلمبرجر

(2) جهاز قياس المقاومة النوعية الجانبية⁽⁷⁾

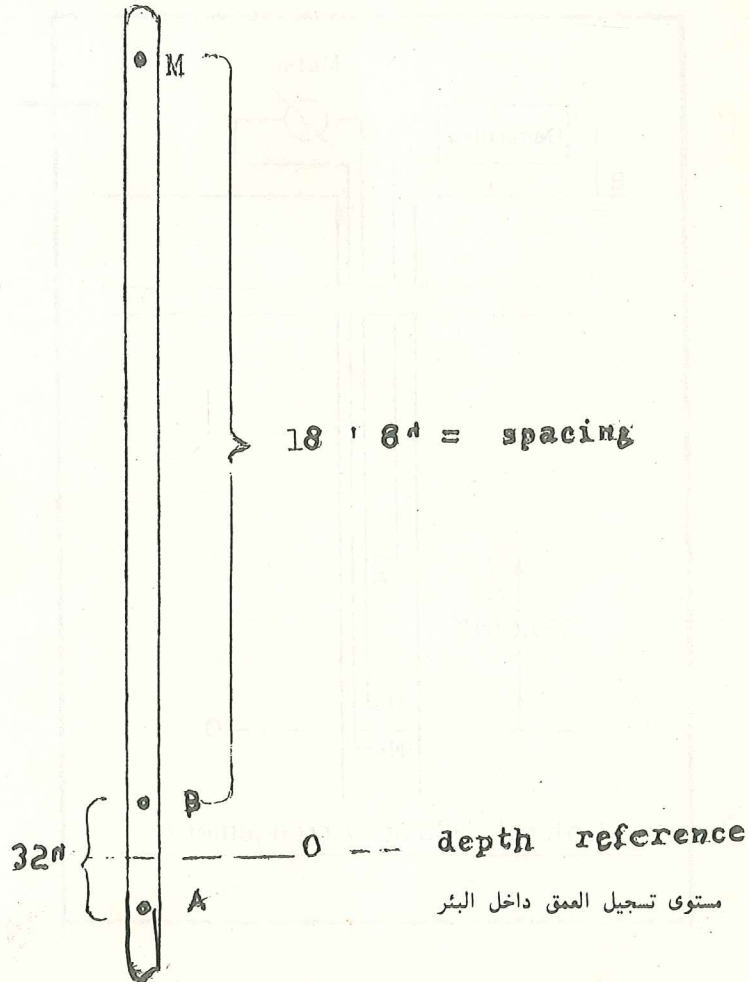
(Lateral device)

تكون المسافة بين قطب التيار (A) ومنتصف المسافة بين قطبي الجهد (M.N) كبيرة مقارنة بأجهزة قياس المقاومة الاعتيادية . تساوي المسافة (spacing) (18'18") او (18) قدم و (8) انج . يقاس فرق الجهد (V) بين قطبي الجهد (M.N) كما مبين في شكل (4-8) .



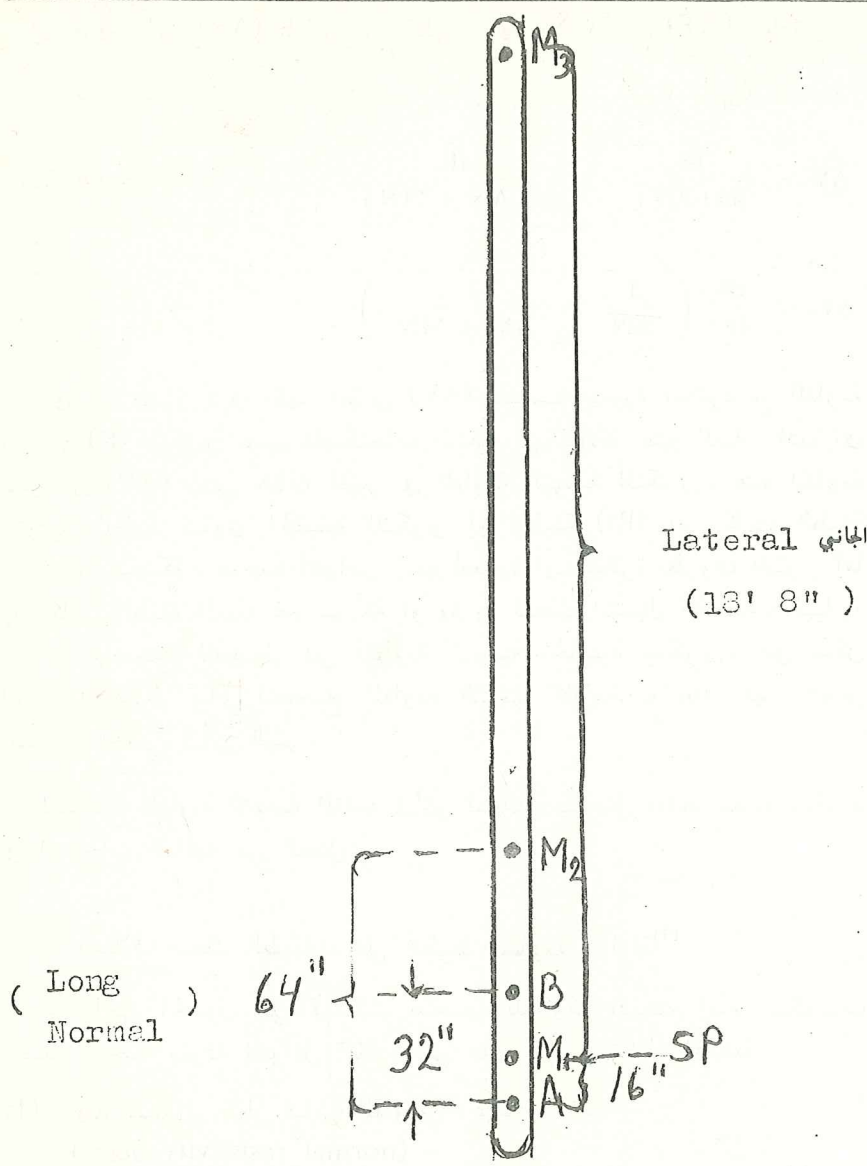
يبين شكل (4-8) مقطع توزيع الاقطاب في جهاز قياس المقاومة النوعية الجانبية .

تكون في القياسات الحقلية ، جميع الاقطاب داخل البئر ومواقع اقطاب التيار والجهد متغيرة في التوزيع كما مبينة في شكل (4-9) ولكن يؤثر هذا التغيير في توزيع الاقطاب على قياس المقاومة النوعية للتكوين . يكون موقع القطب (N) على مسافة (50) قدم و (10) انج من القطب (N) لكن تستعمل شركة شلمبرجر جهاز تسجيل لقياسات مختلفة في آن واحد اي تسجيل الجهد التلقائي للطبقة (SP) مع تسجيل المقاومات المختلفة (القصيرة ، الطويلة ، الجانبية أو العميقة) . يمثل شكل (4-10) مقطع لتسجيل القياسات المختلفة من قبل شركة شلمبرجر



شكل (4-9) مقطع لتوزيع الاقطاب في جهاز قياس المقاومة النوعية الجانبية الحقلية (لشركة شلمبرجر)

(3)



شكل (4-10) مقطع لتوزيع الاقطاب لجهاز تسجيل القياسات المختلفة المحلية .
(لشركة شلمبرجر)

كيفية قياس المقاومة النوعية الجانبية للتكوين⁽²⁾

إن فرق الجهد (ΔV) المقاس بين قطبي الجهد (MN) أو (AB) يساوي :

$$\Delta V = V_M - V_N \quad \dots (4-2)$$

$$\Delta V = \frac{iR}{4\pi (AN)} - \frac{iR}{4\pi (AN + MN)} \quad \dots (4-3)$$

$$\Delta V = \frac{iR}{4\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{AM + MN} \right)$$

أي أن مقدار فرق الجهد المقاس (ΔV) يتناسب بصورة مباشرة مع المقاومة النوعية (R) للتكوين حيث المصطلحات الباقية في المعادلة تعتبر ثابتة ، إذن أي تغيير في (ΔV) يعني هناك تغيير في المقاومة النوعية للتكوين ، هذه المقاومة النوعية المقاسة تساوي الحقيقية للتكوين أو للطبقة (R_t) إذا كانت الطبقة متجانسة ، سميكة ، موحدة الخواص ، غير مغزوة أو متناثرة بطرف البئر . أما إذا كانت الطبقة المعينة غير سميكة أو مغزوة فيجب استعمال المخططات البيانية الخاصة لتصحيح للحصول على المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين . يمثل شكل (4-11) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة بواسطة جهاز قياس للمقاومة الجاني لتأثير البئر .

لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة لتأثير السمك ، يستعمل قواعد معينة مذكورة في الصفحات القادمة من الفصل .

تأثير اختلاف سمك الطبقات على تخطيط المقاومة المألوفة⁽⁷⁾

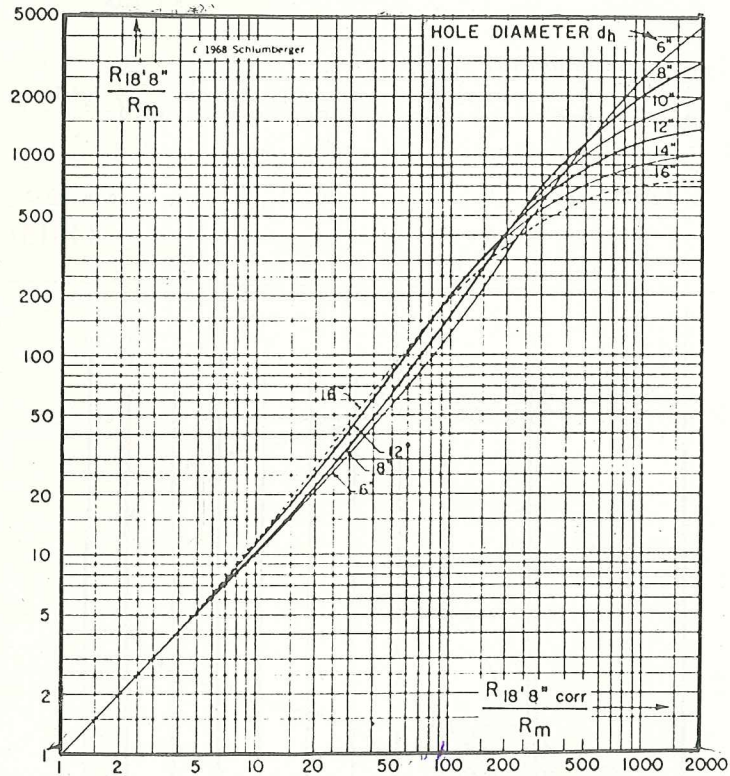
من أجل الحصول على قراءات صحيحة للمقاومة المسجلة أمام التكوينات المختلفة ، يجب معرفة العوامل المؤثرة على هذه القيم وأشكالها المختلفة .

(1) عند استعمال جهاز قياس المقاومة الاعتيادية : —
(normal resistivity deice)

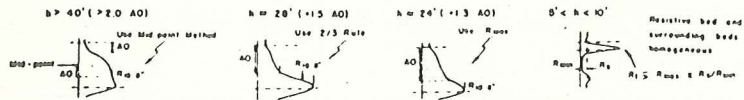
(أ) إذا كانت مقاومة التكوينات المعينة أعلى من مقاومة الطبقات المجاورة —
(resistive beds)

يكون شكل تسجيل المقاومة متناظرا إذا كانت الطبقة المعينة غير مغزوة (non-invaded) متجانسة ولها سمك يعادل عشرة أضعاف المسافة (AM) أي

BOREHOLE CORRECTION FOR 18'8" LATERAL RECORDED WITH ELECTRICAL LOG



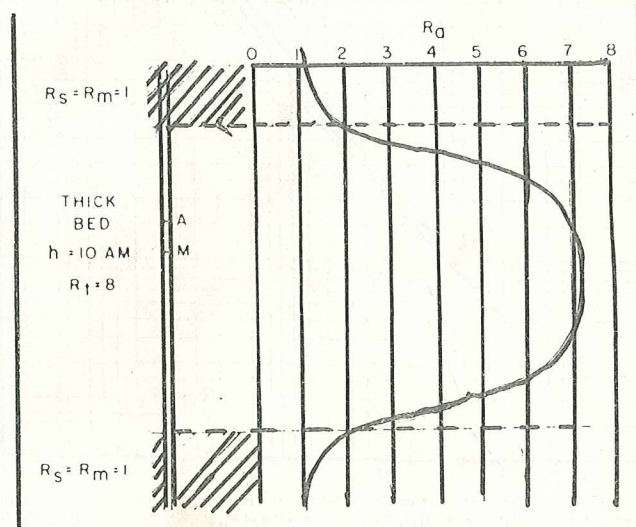
Procedure is similar to that described for 16-inch Normal. Since the Lateral is an unsymmetrical curve, special rules, summarized in the sketches below, apply for picking the value of $R_{18'8''}$. AO, the lateral spacing, equals 18'8".



شكل (4-11) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية المقاسة بواسطة جهاز قياس المقاومة الجاني لتأثير البئر.
(لشركة شلمبرجر)

الطبقة تعتبر سميكة والمقاومة القصوى المسجلة امام الطبقة تساوي تقريباً المقاومة الحقيقية للطبقة (R_t). للحصول على سمك الطبقة نستعمل قاعدة نقطة الانقلاب (inflection point) في اعلى واسفل التسجيل حيث يرسم خط افقي ماراً بنقطة الانقلاب في اعلى واسفل الطبقة ونحصل على السمك. في هذه الحالة ، السمك يكون ظاهري ، ويساوي اقل من سمك الطبقة الحقيقي بمقدار المسافة (spacing). شكل (4-12) يبين هذه الحالة .

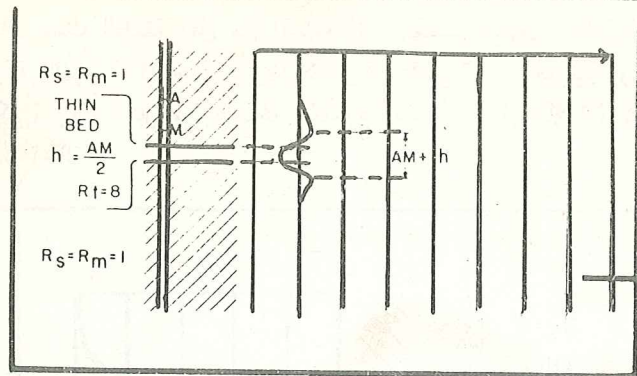
إذا كان سمك الطبقة المعينة اقل من المسافة (spacing) او ما يعادل نصف المسافة ($\frac{AM}{2}$) فإن المقاومة النوعية المسجلة تكون ظاهرية واقل من الحقيقية وتظهر الطبقة كأنها موصلة (conductive). سمك الطبقة المقاس من التسجيل ايضاً يكون ظاهري واكبر من السمك الحقيقي بمقدار المسافة (AM) كما مبين في شكل (4-13) .



شكل (4-12) تسجيل المقاومة الاعتيادية لطبقة سميكة ولها مقاومة نوعية اعلى من الطبقات المجاورة (لشركة شلمبرجر)

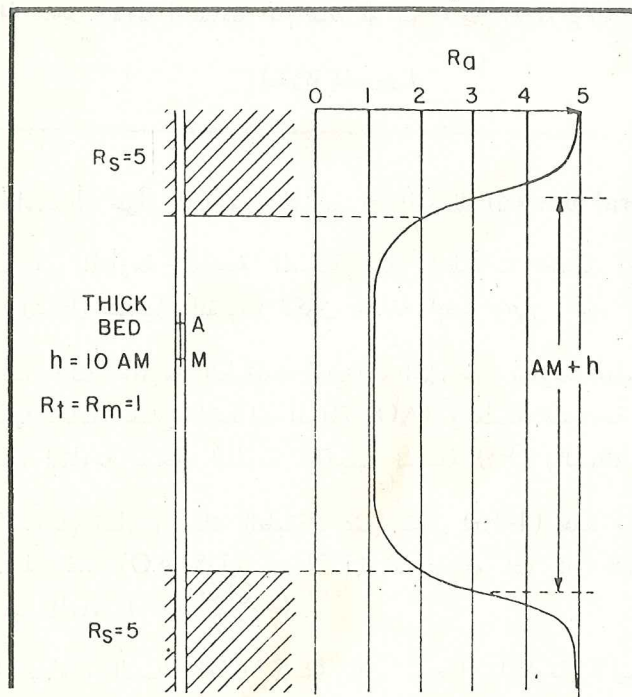
ب) اذا كانت مقاومة الطبقات المعينة اقل من مقاومة الطبقات المجاورة اي انها موصلة للتيار (conductive beds).

تسجيل المقاومة المسجل يكون متناظر الشكل اذا كانت الطبقة المعينة غير مغزوة (non-invaded) ومتجانسة وسميكة (عشرة اضعاف المسافة (10-AM)).



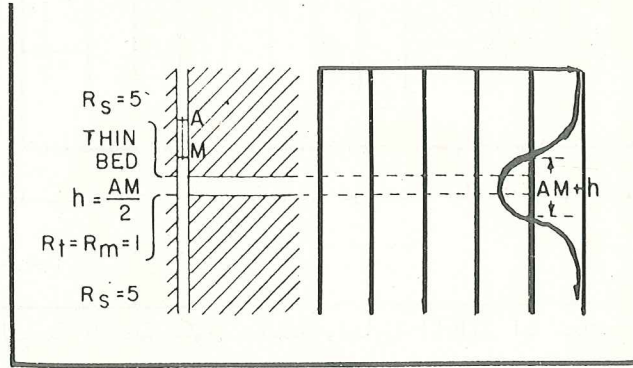
شكل (4-13) تسجيل المقاومة الاعتيادية لطبقة غير سميكة ولها مقاومة نوعية اعلى من الطبقات المجاورة .
(لشركة شلميرجر)

المقاومة النوعية المسجلة تكون حقيقية ومساوية (RT) . اما سمك الطبقة المسجل يكون اكبر من السمك الحقيقي بمقدار (AM) المسافة كما مبين في شكل (4-14) .



شكل (4-14) تسجيل المقاومة الاعتيادية امام طبقة سميكة ولها مقاومة نوعية اقل من الطبقات المجاورة .
(لشركة شلميرجر)

إذا كان سمك الطبقة اقل من المسافة أي ما يعادل نصف المسافة ($\frac{AM}{2}$) فإن المقاومة النوعية المسجلة تكون ظاهرية وأعلى من الحقيقية وسمك الطبقة المسجل يكون أيضاً أكبر من السمك الحقيقي للطبقة بمقدار (AM) شكل (4-15) يوضح هذه الحالة .



شكل (4-15) تسجيل المقاومة الاعتيادية امام طبقة غير سميكة ولها مقاومة نوعية اقل من الطبقات المجاورة .
(لشركة شلمبرجر)

(2) عند استعمال جهاز المقاومة الجانبية او العميقة (Lateral device)⁽⁷⁾

تختلف قيم المقاومة النوعية المسجلة امام الطبقات حسب اختلاف سمك الطبقات واشكال تسجيل المقاومة تكون مختلفة ايضاً وهي غير متناظرة .

(أ) اذا كانت مقاومة الطبقات المعينة ، أعلى من مقاومة الطبقات المجاورة وكان سمكها يعادل عشرة اضعاف المسافة (AO) والطبقة متجانسة وغير مغزوة فإن تسجيل المقاومة يسجل المقاومة الحقيقية للطبقة (R_t) والسمك المحدد .

من التسجيل يساوي سمك الطبقة . يمثل شكل (4-16) هذه الحالة وحالات اخرى السمك فيها (AO 1.5) اي (1.5) المسافة او اذا كان السمك اقل او ما يعادل نصف المسافة ($\frac{(AO)}{2}$) .

عندما يساوي السمك (AO 1.5) فإن تسجيل المقاومة لا يسجل المقاومة الحقيقية للطبقة بل أعلى وفي هذه الحالة تستعمل قاعدة ($\frac{2}{3}$) اي ان المقاومة النوعية تقرأ على مسافة ($\frac{2}{3}$) من انحراف التسجيل كما مؤشر في الشكل .

وعندما يساوي السمك نصف المسافة ($\frac{AO}{2}$) فإن المقاومة المسجلة تكون قليلة وللحصول على مقاومة الطبقة الحقيقية تستعمل قاعدة المقاومة القصوى والدنيا اي : -

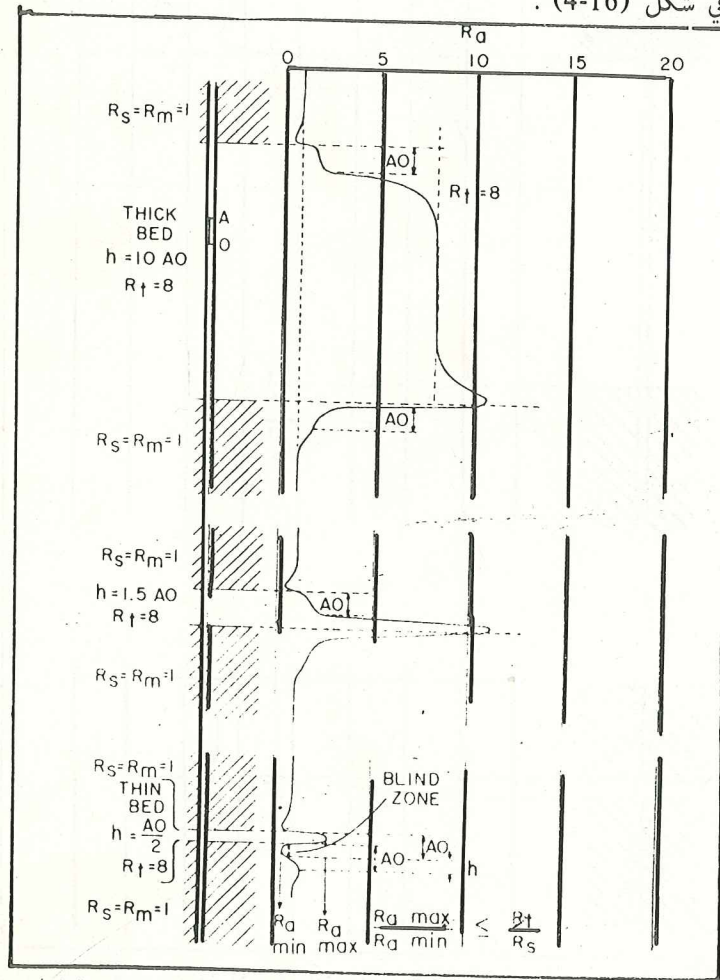
$$\frac{R_{\max}}{R_{\min}} \leq \frac{R_t}{R_s}$$

حيث

R_s - تمثل المقاومة النوعية للطبقة المجاورة وهي تقاس من التسجيل ()
 R_{\max} - تمثل المقاومة النوعية للطبقة القصوى وهي تقاس ايضاً من

التسجيل

R_{\min} - تمثل المقاومة النوعية للطبقة الدنيا وتُقاس من التسجيل ايضاً كما مبيّنة في شكل (4-16) .

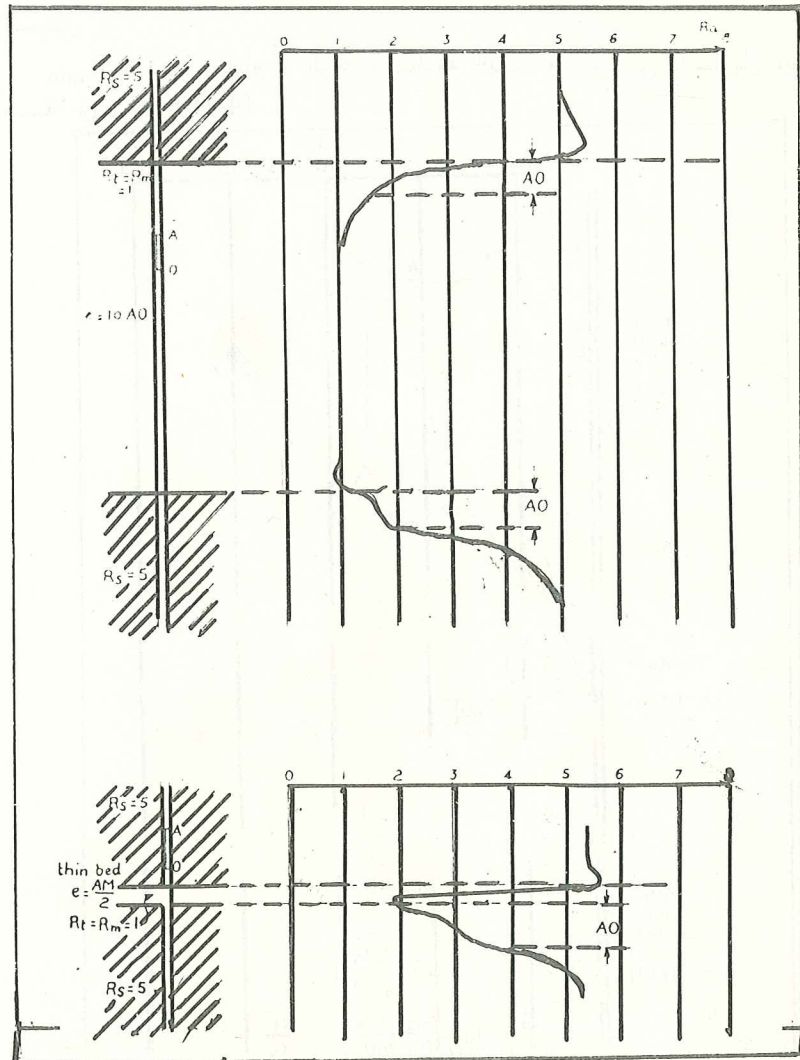


شكل (4-16) تسجيل المقاومة الجانبية امام طبقات مختلفة السمك ولها مقاومة نوعية اعلى من مقاومة الطبقات المجاورة .

(شركة شلمبرجر)

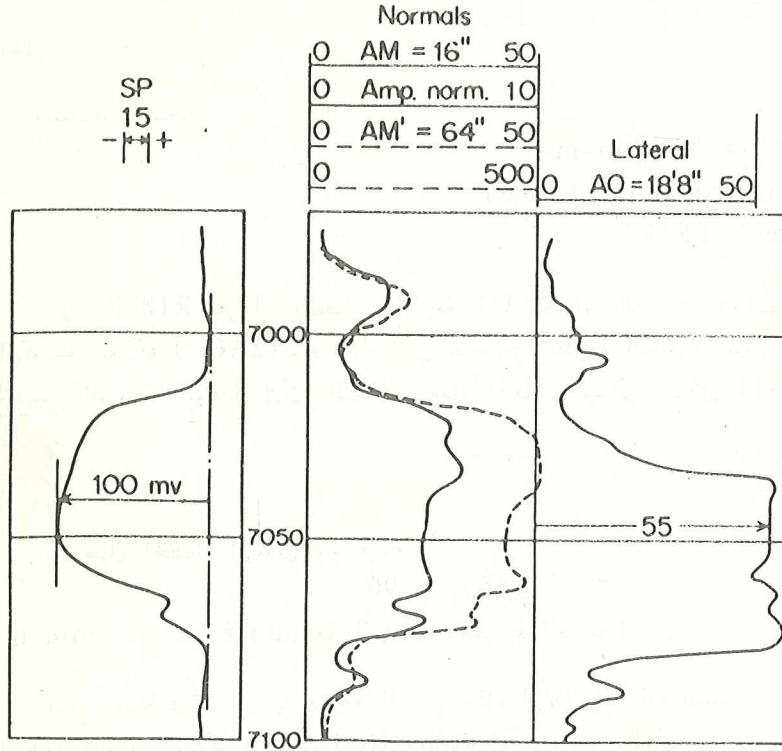
إذا كان سمك الطبقات مساوياً المسافة (AO) فإن المقاومة النوعية المسجلة تكون غير حقيقية وغير ممكن إيجاد القيمة الحقيقية فيجب استعمال تسجيل المقاومة المسجلة بواسطة الأجهزة غير المألوفة أو استعمال تسجيل الحث الكهربائي (Induction log) أو تسجيل (Laterolog) وغيرها .

ب) إذا كانت المقاومة النوعية للطبقات اقل من مقاومة الطبقات المجاورة أو ماتسمى بـ (conductive beds) وإذا كانت الطبقة سميكة أو مايعادل عشرة



شكل (4-17) تسجيل المقاومة الجانبية امام طبقات مختلفة السمك ولها مقاومة نوعية اقل من مقاومة الطبقات المجاورة .
(لشركة شلمبرجر)

اضعاف المسافة (AO) وهي غير مغزوة ومتجانسة فان المقاومة النوعية المسجلة تساوي المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) للطبقة . اما اذا كانت الطبقة غير سميكة او ما يعادل نصف المسافة ($\frac{AO}{2}$) فان المقاومة النوعية المسجلة تكون ظاهرية واعلى من الحقيقية ، يفضل استعمال تسجيل المقاومة للاجهزة الاخرى . شكل (4-17) يبين هذه الحالات .



Rm = 0.40 at 183°F
Bit size = 85/8"

شكل (4-18) مثال حقلي للتسجيل الكهربائي (electric log) .

مثال حقلي

شكل (4-18) يمثل تسجيل المقاومات المألوفة مع تسجيل (Sp) امام طبقة مكنية كلسية تحت عمق (7000) قدم (المجموعة من التسجيل ايضا تسمى التسجيل الكهربائي) .

المطلوب :

- 1 - حساب المقاومة الحقيقية للطبقة (R_p)
- 2 - حساب درجة التشبع بالماء (S_w)
- 3 - حساب المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w)
- 4 - حساب مسامية الطبقة (ϕ)

الحل

البيانات المسجلة :

$$R_{18'8''} = 55 \text{ ohm-m}$$

$$R_m = 0.40 \text{ ohm-m at } 183^\circ\text{F}$$

$$\text{Bit size} = 85/8''$$

تمثل $R_{18'8''}$ قراءة تسجيل المقاومة الجانبية او العميقة بما ان الطبقة المكمنية سميكة ($< 2\text{AO}$) ، لا نحتاج الى تصحيح المقاومة النوعية لتأثير السمك .
لتصبح المقاومة النوعية لتأثير البئر تستعمل المخطط البياني (شكل 4-11)

$$\frac{R_{18'8''}}{R_m} = 137$$

باستعمال المخطط البياني نجد قيمة

$$R_t/R_m = 90$$

$$R_t = 36 \text{ ohm-m (المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة)}$$

نحتاج قيمة R_o لحساب درجة التشبع بالماء (s_w) وبما ان التسجيل لا يحترق المنطقة المائية ، لا يمكن حساب (R_o) وخاصة لعدم وجود المسامية ، من معلومات البئر الجاف المجاور المحترق لنفس الطبقة وجد بأن $R_o = 0.9 \text{ ohm-m}$ ، اذن

$$S_w = (R_o/R_t)0.5$$

$$= \left(\frac{0.9}{36} \right)^{0.5} = \underline{0.16 \text{ or } 16\%}$$

وهذه القيمة تدل على ان الطبقة حاوية على الهيدروكربون . حساب (R_w) --
قيمة المحراف (SP) المقاسة تساوي -

$$\text{ASP} = - 100 \text{ mv}$$

وبما ان الطبقة سميكة ($h = 50 \text{ ft.}$) ، لا نحتاج الى تصحيح هذه القراءة ،

اذن

$$SSP = ASP = - 100 \text{ mv}$$

باستعمال المخطط البياني شكل (3-10) في درجة حرارة (185 °F) قيمة

$$\frac{R_{mf}}{R_{we}} = 16$$

$$R_{mf} = 0.75(R_m) \text{ حيث } (4-24) = 0.30 \text{ ohm-m}$$

اذن

$$R_{we} = 0.019 \text{ ohm-m}$$

باستعمال المخطط البياني شكل (3-13) --

$$R_w = 0.03 \text{ ohm-m}$$

حساب مسامية الطبقة المكنية -

نستعمل المعادلة (Archie) حيث -

$$\begin{aligned} F &= R_o / R_w \\ &= (0.9 / (0.03)) \\ &= 30 \end{aligned}$$

وباستعمال معادلة Archie

$$\begin{aligned} F \frac{1}{\phi_2} \\ \phi / &= \frac{1}{(F)^{0.5}} = \frac{1}{(30)^{0.5}} \\ &= \underline{0.18 \text{ or } 18\%} \end{aligned}$$

وهذه القيمة تمثل مسامية الطبقة المكنية .

- حساب (R_w) بواسطة الميكروكمبيوتر (PDC / 4100)

RW SP

ROMAID-V

Parameters

T BH = 183.0 °F
T SURF = 75.0 °F
TD = 7050.0 Ft
T GRAD = 1.532 °F/ft
RMF = 0.300 Ωm²/K
T RMF = 183.0 °F

Data

DEPTH = 7050.0 Ft
T FORM = 183.0 °F
-SP = 100.0 mV

Results

RW = 0.027 Ωm²/K
RW 75 = 0.061 Ωm²/K
NACL = .205 K-PPM

مسائل

- (1) يشمل المثال الحقل شكل (4-11) على تسجيل المقاومات مع تسجيل (SP) امام طبقة مكنمية زمالية حاوية على النفط تحت عمق (5500) قدم . بعد استعمال البيانات المؤشرة على التسجيل ، احسب درجة التشبع بالماء (S_w) في هذه الطبقة للتأكد من وجود الهيدروكربون .
الجواب (S_w = 26%)

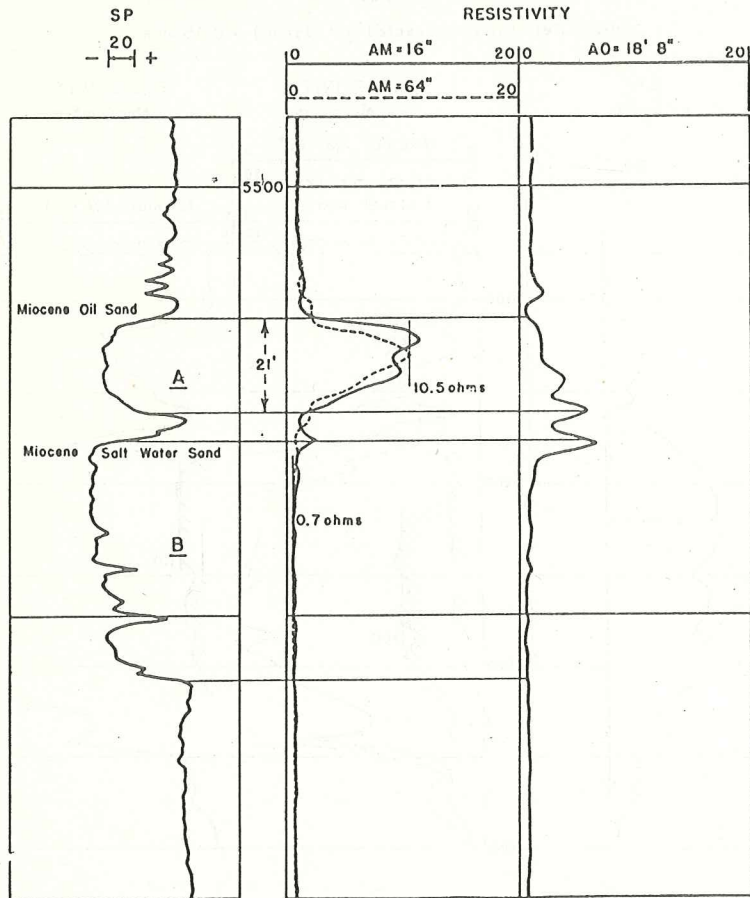
- (2) يمثل شكل (4-20) تسجيل المقاومات المألوفة مع (SP) او المسح الكهربائي (Electric survey) لطبقة مكنمية . المطلوب

- 1 - حساب مسامية الطبقة المكنمية اذا علمت ان المقاومة النوعية (R_o) من البئر المجاور تساوى 2.4 ohm-m
2 - احسب درجة التشبع بالماء (S_w)
درجة حرارة الطبقة المكنمية (tf = 130°F)

Miocene Sand (Gulf Coast)

Bit Size - 8³/₄"

Mud Resistivity (corrected for temp) = 1.2 ohms

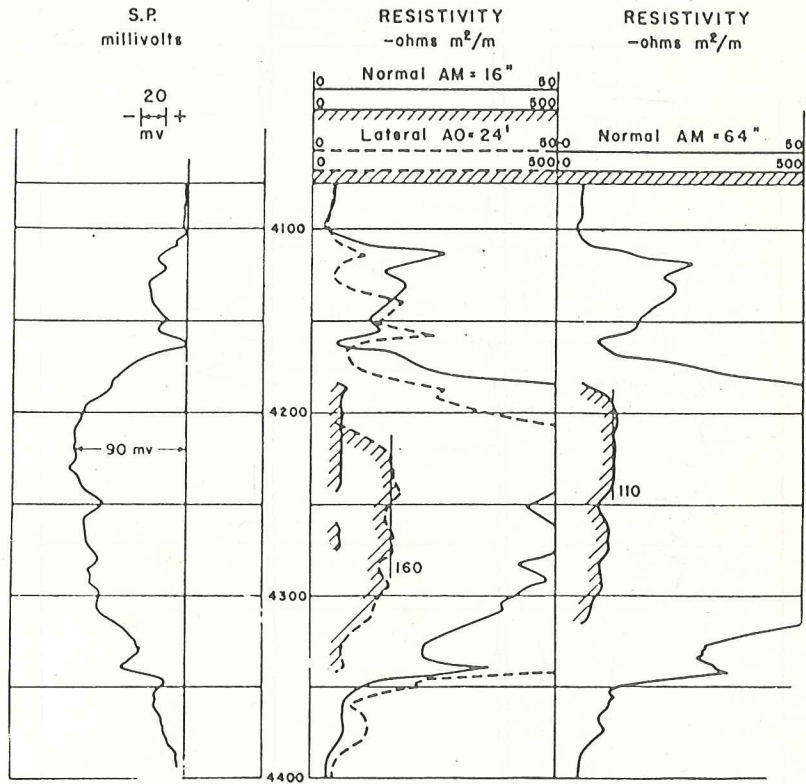


شكل (4-19) مثال حقلي لتسجيل المقاومات مع (SP)
(تسجيل كهربائي) (الشركة شلمبرجر)

Pennsylvanian Sand - (Mid - Continent)

Bit Size - 9"

Mud Resistivity (corrected for temp.) = 0.85 ohm



شكل (4-20) مثال لتسجيل المسح الكهربائي .

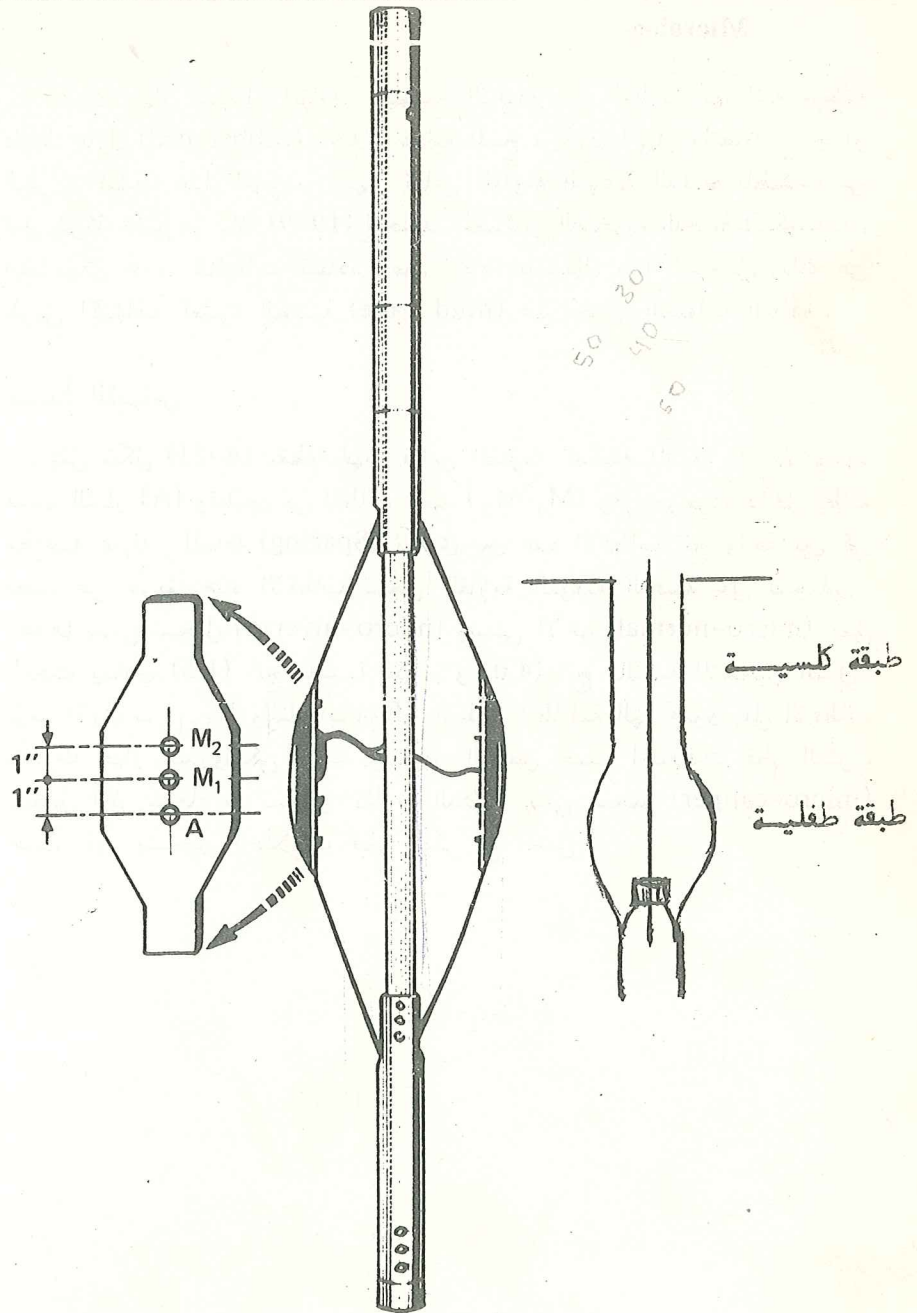
-Microlog-

يحتوي جهاز تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة على اقطاب كهربائية مبطنة بمطاط عازل (rubber pad). خلال عملية المسح ، يكون الجهاز ملتصقا مع جدار البئر . اكتشف هذا النوع من جهاز قياس المقاومة النوعية الدقيقة للطبقات من قبل شركة شلمبرجر سنة (1949) لتحديد الخصائص الصخرية الدقيقة للتكوينات . ايضا يمكن تحديد الطبقات النفاذة وغير النفاذة باستعمال هذا التسجيل وذلك عن طريق اكتشاف القشرة الطينية (mud cake) على جدار الطبقات النفاذة .

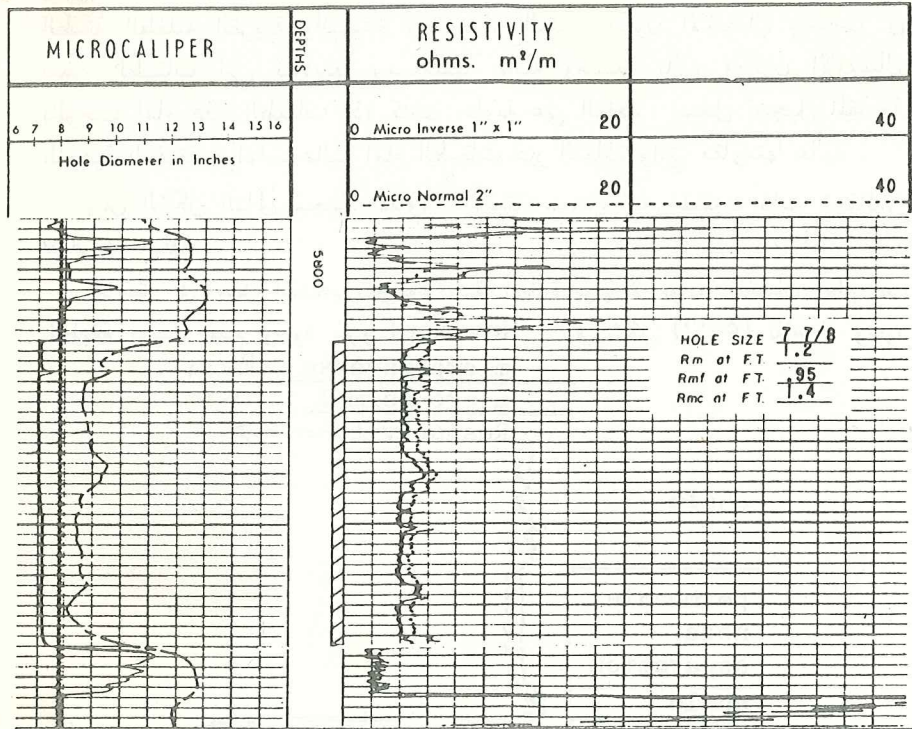
مبدأ القياس

يمثل شكل (21-4) مقطع لجهاز قياس المقاومة الدقيقة المألوفة نلاحظ وجود قطب التيار (A) وقطبين من اقطاب الجهد ($M_1 M_2$) وهي موجودة داخل بطانة مطاطية عازلة . المسافة (Spacing) تساوي بين هذه الاقطاب انج واحد بين كل قطب عن طريق هذه الاقطاب تسجل المقاومة النوعية الدقيقة على تسجيلين . احدهما يسمى تسجيل (micro-inverse) ويسمى الآخر (micro-normal) عمق البحث يساوي (1.5) انج بالنسبة للاول و (4.0) انج بالنسبة للتسجيل الثاني . يرمز الاول بـ " $R_{1 \times 1}$ " وللثاني بـ " R_2 " . البطانة المطاطية التي تحتوي على الاقطاب تتحرك بجهاز هيدروليكي فيمتد ويتقلص النابض حسب اختلافات قطر البئر ، تسجيل آخر يسجل مع تسجيل المقاومة الدقيقة يسمى تسجيل (micro-caliper) حيث يقوم بتسجيل اختلافات قطر البئر مع العمق .





شكل (21-4) مقطع لجهاز قياس المقاومة النوعية الدقيقة المألوفة وجهاز قياس قطر البئر (Caliper).



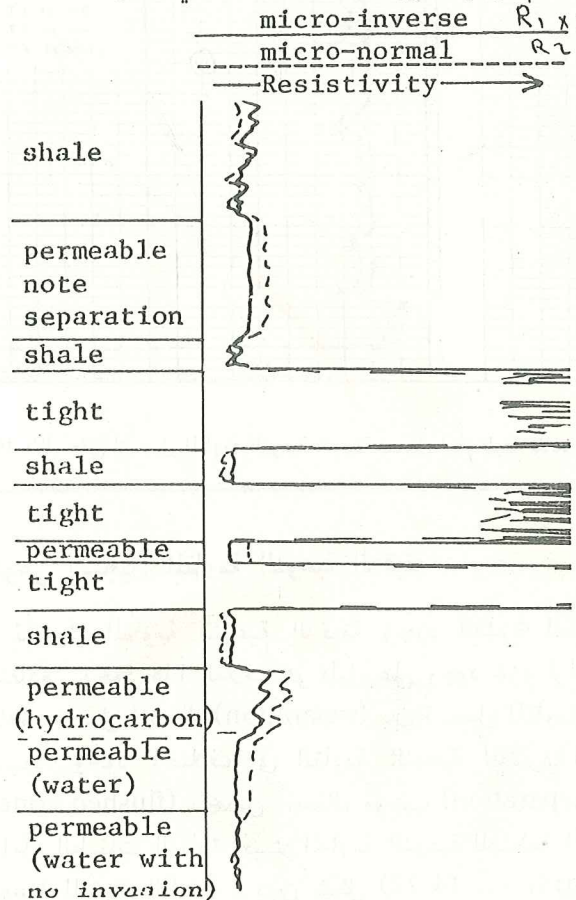
شكل (4-21) مثال حقلي لتسجيل المقاومة النوعية الدقيقة مسجل امام طبقة نفاذة (لشركة شلمبرجر).

التفسير النوعي لتسجيل المقاومة النوعية الدقيقة

يكشف تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة وجود القشرة الطينية على جدار الطبقات النفاذة . وجود هذا الغلاف هو دليل على وجود غزو لراشح الطين داخل الطبقة النفاذة . يحصل انفصال (separation) بين تسجيل المقاومة الدقيقة الضحلة والعميقة نتيجة وجود اختلاف في المقاومة النوعية للقشرة الطينية والمنطقة المكتسحة (flushed zone) ، يحصل انفصال موجب (positive separation) بين التسجيلين امام الطبقات النفاذة حيث المقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة اعلى من المقاومة النوعية للقشرة الطينية . يبين شكل (4-22) هذا الانفصال بين تسجيل (micro-normal) و (micro-inverse) ممكن ان يكون الانفصال معدوما عند

عدم وجود قشرة طينية كما يحدث عند استعمال طين ملحي وهذا لا يدل على وجود طبقات نفاذة . في الطبقات الطفلية والمفروض ان لا يحدث انفصال ولكن نلاحظ بعض الاحيان وجود انفصال سالب امام هذه الطبقات نتيجة اختلاف في صفات الطبقة الطفلية القريبة والبعيدة من جدار البئر . يكون الانفصال بالسالب في بعض الطبقات التي نفاذيتها ومساميتها عالية ومشبعة بالماء ويكون الانفصال بالموجب امام هذه الطبقات اذا كانت حاوية على النفط . يسجل تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة قراءات عالية امام الطبقات غير النفاذة والتي مقاومتها عالية .
يبين الشكل التالي تسجيل المقاومة الدقيقة مسجل امام طبقات ذات خصائص صخرية مختلفة .

نلاحظ في اسفل التسجيل وجود طبقة نفاذة بينما لا يوجد انفصال امام هذه الطبقة بسبب عدم وجود غزو (invasion) . في شكل (4-22) نلاحظ وجود



شكل (4-22) تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة المألوفة مسجل امام طبقات نفاذة وغير نفاذة .
(لشركة شلمبرجر)

تسجيل (microcaliper) ، هذا التسجيل مفيد في تحديد انواع التكوينات المختلفة . زيادة في قطر البئر غير طبيعية اي وجود كهف (cave) ممكن أن تمثل طبقات طفلية (shale) او طبقات ملحية او طبقات كلسية متشققة . طبعا نحتاج الى معلومات اخرى من القياسات لتحديد النوعية . وجود نقصان في قطر البئر (حجم البئر اقل من حجم المثقاب) او ($hole\ size < bit\ size$) يدل وجود القشرة الطينية امام طبقات نفاذة كما في شكل (4-22) . يفيد ايضا تسجيل المقاومة الدقيقة في تحديد سمك الطبقات الكمونية وكذلك في الحصول على المقاومة النوعية لسائل الطين (R_m) . في الحالات الاعتيادية يمكن حساب المسامية الفعالة (ϕ_e) والمقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة (R_{xo}) وهذه القيمة مفيدة في حسابات درجة التشبع بالماء (S_w) .

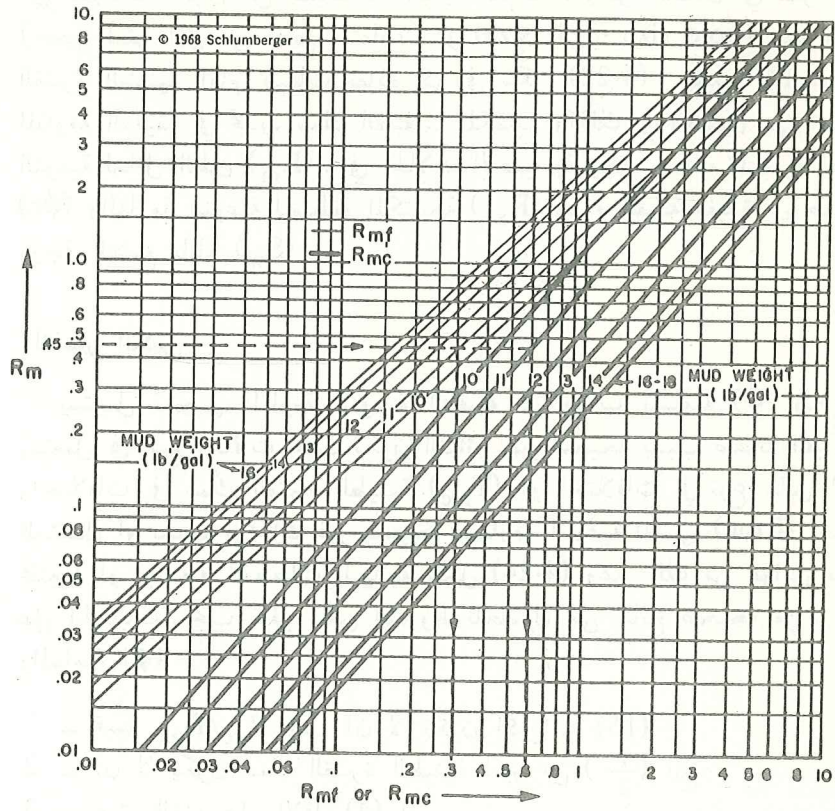
التفسير الكمي

يستعمل تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة في حساب المسامية (ϕ) ولكن لا يستعمل في جميع الحالات حيث تكون النتائج غير صحيحة بسبب صعوبة القياسات واختلافات في سمك القشرة الطينية (T_{mc}) او اختلافات في نوع سائل الحفر المستعمل او بسبب قراءات غير صحيحة للمقاومة النوعية للقشرة (R_{mc}) المحسوبة مختبريا او بواسطة المخططات البيانية شكل (4-24) وغير ذلك من عوامل مؤثرة على الحسابات . يجب توفر بعض الشروط للحصول على نتائج صحيحة من (R_{xo}) والمسامية (ϕ)

- 1 - قيمة R_{xo}/R_{mc} يجب ان لا تكون اكبر من (15)
- 2 - ان لا يكون سمك القشرة الطينية اكبر من ($\frac{1}{2}$) انج
- 3 - عمق الغزو على الاقل (4) انج .

اذا لم تتوفر هذه الشروط فان النتائج تكون غير صحيحة او مشكوك . شكل (4-25) يمثل اختلاف في المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة (sonic log) والمسامية من تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة .

نلاحظ عدم استجابة تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة لاختلافات المسامية .



شكل (4-24) مخطط بياني لحساب (R_{mc}) أو (R_{mf}) أي المقاومة النوعية للقشرة الطينية أو راسخ الطين .

مثال

شكل (4-22) يمثل تسجيل حقلي للمقاومة النوعية الدقيقة (microlog) امام طبقة نفاذة . الطبقة النفاذة محددة بين عمق (5812-5874) قدم بواسطة تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة (ML) وتسجيل (SP) . المطلوب -
- حساب مسامية (ϕ) الطبقة النفاذة

الحل

البيانات المسجلة

$$\begin{aligned} R_2 &= 5.0 & R_m &= 1.2 \text{ at } t_f \\ R_{1x1} &= 4.2 & R_{mc} &= 1.4 \text{ at } t_f \\ t_{mc} &= 3/8'' & R_{mf} &= 0.95 \text{ at } t_f \end{aligned}$$

(سمك القشرة الطينية)

$$t_{mc} = \frac{(\text{bit size} - \text{hole size})}{2}$$

$$\frac{R_2}{R_{mc}} = 3.6 \frac{R_1 \times 1}{R_{mc}} = 3.0$$

باستعمال المخطط البياني شكل (4-26) نحصل على -

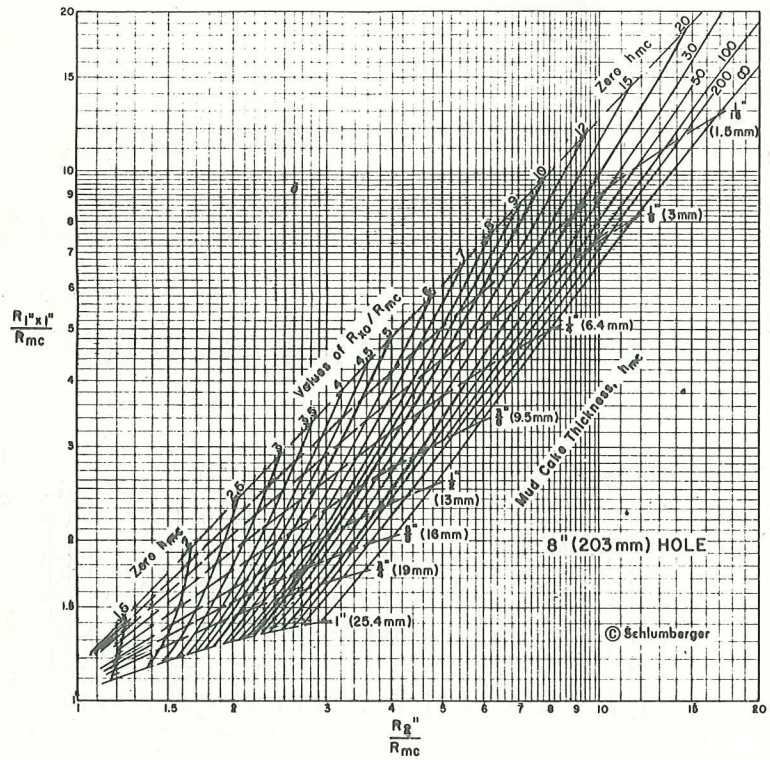
$$\frac{R_{x0}}{R_{mc}} = 7.5, R_{x0} = 11.0$$

للحصول على المسامية (ϕ) نستعمل المخطط البياني شكل (4-28) نحتاج في هذا المخطط الى درجة التشبع بالنفط المتبقي (oil saturation residual) في الطبقة النفاذة ، اذا كانت هناك معلومات اخرى تدل على ان الطبقة النفاذة مائية فان قيمة ($S_{or} = 0.0$) اما اذا كانت الطبقة النفاذة حاوية على النفط فنحسب قيمة (sor) وبعدئذ نستعمل المخطط المذكور ،
لو فرضنا ($sor - 0.0$) فان قيمة (F) -

$$F = 11.5$$

$$\phi = (25\%)$$

MICROLOG* INTERPRETATION CHART



شكل (4-26) مخطط بياني لحساب (R_{xo}/R_{mc}) من تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة (Microlog) لشركة شلمبرجر.

مسائل

(1) يمثل شكل (4-28) تسجيل المقاومات النوعية المختلفة مع تسجيل المقاومة الدقيقة والجهد التلقائي (SP) و (Microcaliper) المطلوب -

- حساب مسامية الطبقة المكنية من عمق
(7066 - 7076) قدم

البيانات المتوفرة -

$$R_m = 0.4 \text{ ohm-m at } t_f$$

$$R_{mf} = 0.25 \text{ ohm-m at } t_f$$

$$R_{mc} = 0.9 \text{ ohm-m at } t_f$$

$$d = 9 \text{ in.}$$

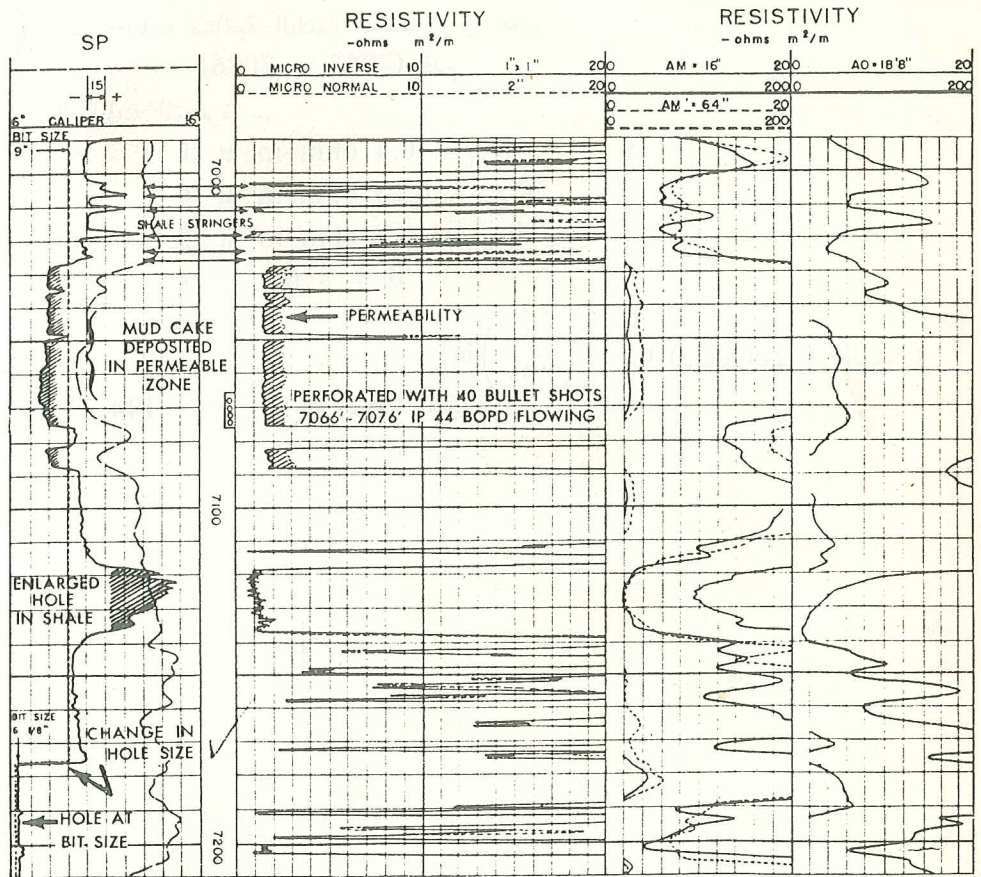
$$t_{mc} = \left(\frac{3}{4} \right) \text{ in. (سمك القشرة الطينية)}$$

$$t_f = 144 \text{ } ^\circ\text{F (درجة حرارة التكوين)}$$

MICROCALIPER

MICROLOG (H Pad)

ELECTRICAL LOG



شكل (4-28) مثال حقلي لتسجيل المقاومات المختلفة مع تسجيل (SP).
(لشركة شلمبرجر)

الفصل الخامس

أجهزة قياس المقاومة النوعية الموجهة

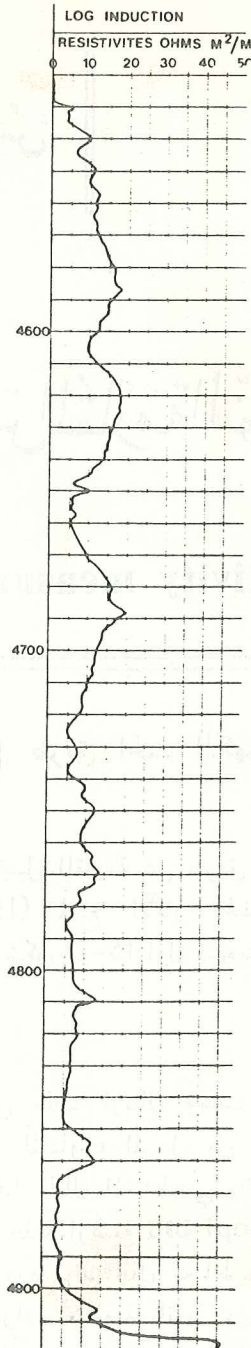
(Focused resistivity measuring devices)

جهاز قياس المقاومة عن طريق الحث الكهربائي^(١)
(Induction device)

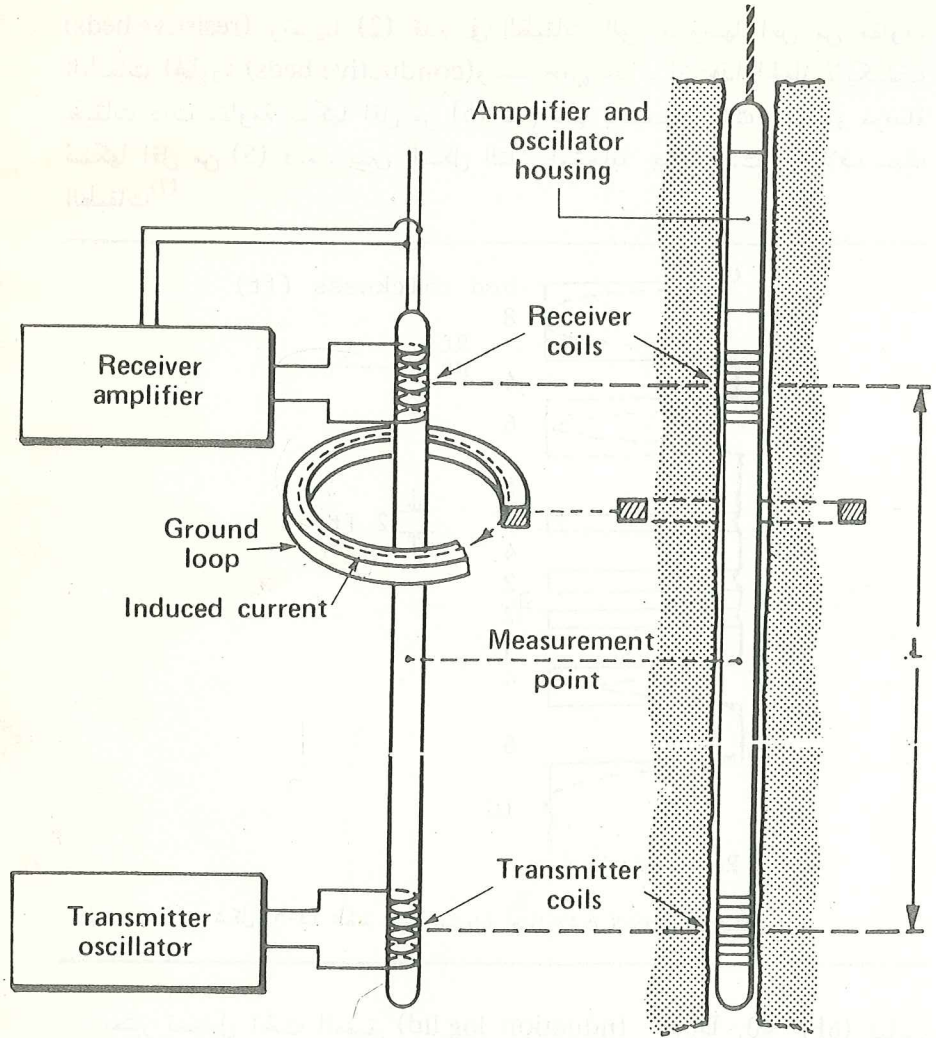
استعمل اول جهاز لتسجيل المقاومة عن طريق الحث الكهربائي من قبل شركة شلمبرجر في سنة (1948) لمسح الآبار المحفورة بالطين المزوج بالزيت (oil-base mud). يبين شكل (1-5) اول تسجيل للحث الكهربائي في العالم.

مبدأ القياس

يتكون هذا الجهاز من ملف ارسال وملف التقاط (transmitter and receiver coils). التيار المتناوب المرسل من قبل ملف الارسال يولد مجال مغناطيسي حول الملف. هذا المجال المغناطيسي بدوره يولد تيارات من اي جسم ناقل للكهربائية على شكل حلقة ارضية ناقلة (ground loop). التيار المتناوب المولد داخل هذا الجسم بدوره يولد مجال مغناطيسي يقطع ملف الالتقاط بحيث تتولد داخل هذا الملف تيارات متناوبة ثانوية عن طريق الحث. يتناسب مقدار التيار المتولد داخل هذا الملف مع درجة توصيل الحلقة الارضية (conductivity).



شكل (5-1) اول مثال حقلي لتسجيل الحث الكهربائي في العالم

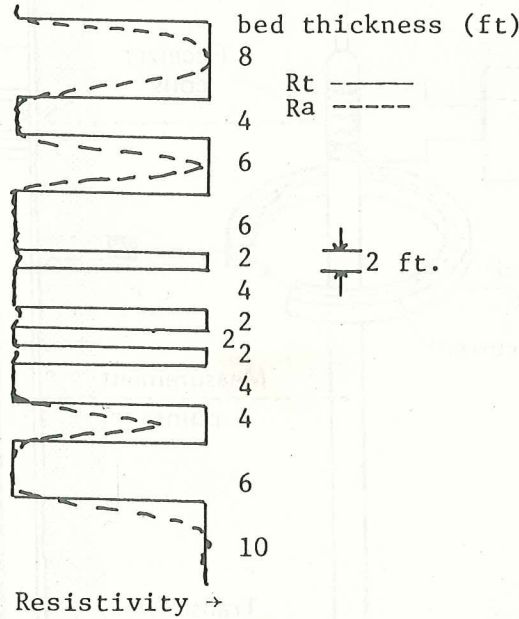


شكل (5-2) مخطط لجهاز قياس المقاومة النوعية عن طريق الحث (لشركة شلمبرجر)

في الحقيقة يتألف جهاز قياس المقاومة بالحث من عدد من الملفات ، خمسة ، ستة وثمانية ملفات : الهدف من زيادة عدد الملفات هو التخلص من تأثير المنطقة المغزوة على القياسات اي بتوجيه التيارات داخل التكوين .

يتراوح التحليل الراسي او العمودي (Vertical) resolution لهذا النوع من الجهاز من (5-6) قدم في الطبقات التي مقاومتها اعلى من الطبقات المجاورة

(resistive beds) وتقريبا (2) قدم في الطبقات التي مقاومتها اقل من مقاومة الطبقات المجاورة (conductive beds) ويستنتج من هذا ، ان هذا الجهاز لا يكتشف طبقات ذات مقاومة سمكها اقل من (5) قدم بينما يكشف طبقات ناقلة او موصلة سمكها اقل من (5) قدم . يبين الشكل التالي استجابة جهاز الحث لاختلاف سمك الطبقات (7)



شكل (3-5) مخطط يبين استجابة جهاز الحث لاختلاف سمك الطبقات

يعتبر تسجيل الحث العميق (6FF 40. Deep Induction log,ld) قياس المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين ويكون في كثير من الحالات قريبة من (R_p) بافتراض عدم وجود حاجة لتصحيح القراءات لتأثير الغزو او اختلافات قطر البئر .

يقيس جهاز الحث درجة توصيل الجسم للتيار الكهربائي (conductivity) ويمكن تحويل هذا المقياس الى مقاومة بالمعادلة التالية :

$$C = \frac{1000}{R} \dots\dots\dots (5-1)$$

حيث

C = درجة التوصيل بوحدات (ملم / متر millimhos / meter)

R = المقاومة النوعية بوحدات (اوم - متر ohm-m)

نجد المخطط المسجل في الآبار المسوحة بواسطة اجهزة الحث ، يشمل على تسجيل درجة التوصيل (conductivity log) مع تسجيل المقاومة النوعية (resistivity log) أي معكوس درجة التوصيل . الهدف من هذا النوع من التسجيل هو تكبير الاختلافات البسيطة في المقاومة على تسجيل درجة التوصيل ، اي للتمكن من قراءة المقاومات النوعية القليلة المسجلة بصورة دقيقة على مقياس درجة التوصيل ولهذا يستعمل جهاز الحث في الطبقات التي مقاومتها النوعية اقل من (100) اوم - متر .

مثال -

يساوي الفرق بين (2) اوم - متر و (1) اوم - متر على تسجيل درجة التوصيل (conductivity) ؟

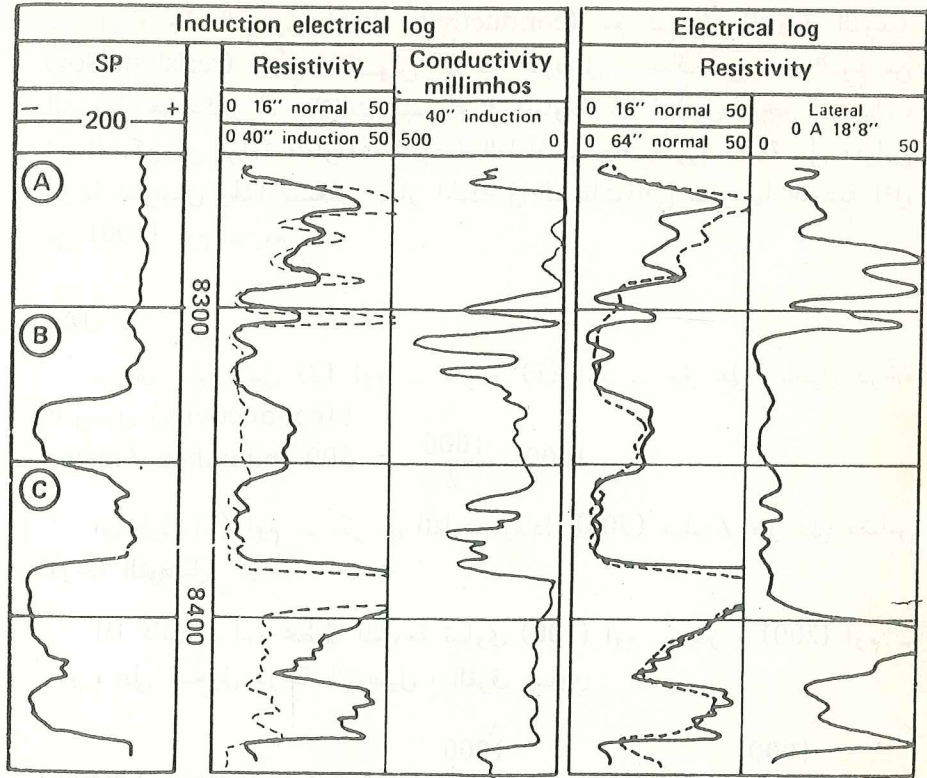
$$1000 - \frac{1000}{2} = 500 \text{ millimhos / meter}$$

اي فرق (1) اوم - متر في المقاومة يعادل (500) ميلمو / متر على مقياس درجة التوصيل .

اذا كانت قراءة مخطط المقاومة تساوي (100) اوم - متر و (200) اوم - متر ، على تسجيل درجة التوصيل ، الفرق يساوي : -

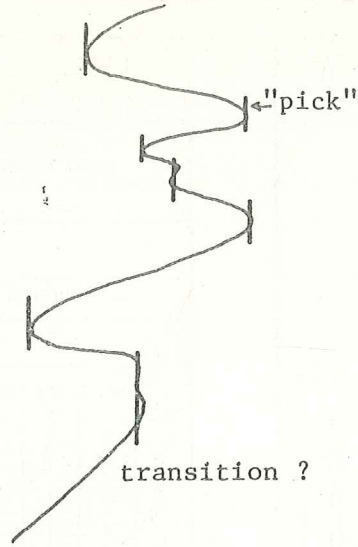
$$\frac{1000}{100} - \frac{1000}{200} = 5 \text{ millimhos / meter}$$

اي ان حساسية التسجيل تكون قليلة على مخطط الحث المسجل بقياس درجة التوصيل في الطبقات التي مقاومتها تكون عالية ، وتكون حساسيتها عالية في الطبقات التي مقاومتها النوعية تكون واطئة اقل من (100) اوم - متر يبين الشكل التالي مثال حقلي لتسجيل الحث الكهربائي (Induction-electric log) الذي يشمل على تسجيل الحث مع تسجيل المقاومة النوعية المألوفة نوع (16"N) وتسجيل (SP) ، يسمى هذا النوع من التسجيل (Induction electric (IES (survey) . يشمل المثال ايضاً على تسجيل المقاومة المألوفة نوع (16"N, 64" and Iateral) وذلك للمقارنة بين النوعين من المسح .



شكل (4-5) مثال حقلي لتسجيل (IES) وتسجيل المقاومات المألوفة .
(لشركة شلمبرجر)

يبين شكل (5-5) طريقة القراءات على تسجيل الحث . تؤخذ القراءات من مناطق التقصر او التحذب على انحرافات التسجيل وتترك المناطق الانتقالية (transition zone) .



شكل (5-5) تسجيل الحث مواقع تحديد القراءات .

انواع اجهزة الحث المستعملة في مسح الآبار

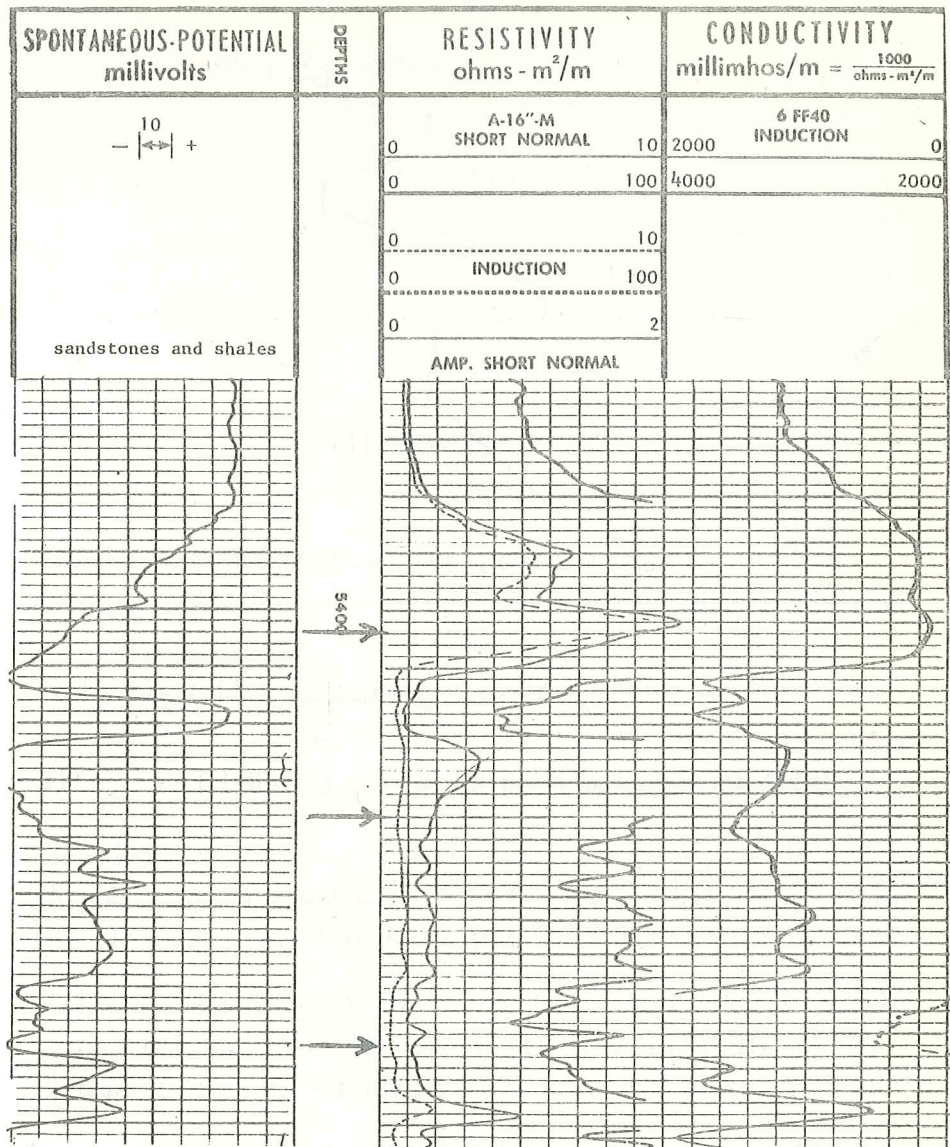
1) نوع (IES) 6FF40 (Inducton Electric survey) 6FF 40

يشمل هذا النوع من المسح على جهاز الحث الذي يحتوي على ستة ملفات الحث والتي لها مسافة (spacing) تساوي (40) انج وجهاز المقاومة النوعية الضحلة (16''N) وجهاز تسجيل الجهد التلقائي (SP)

ان هذه المجموعة من القياسات تسجيل المقاومة النوعية العميقة والضحلة والجهد التلقائي للطبقات المختلفة . شكل (5-6) يمثل تسجيل (IES) .

2) نوع (IES) 6 FF 28

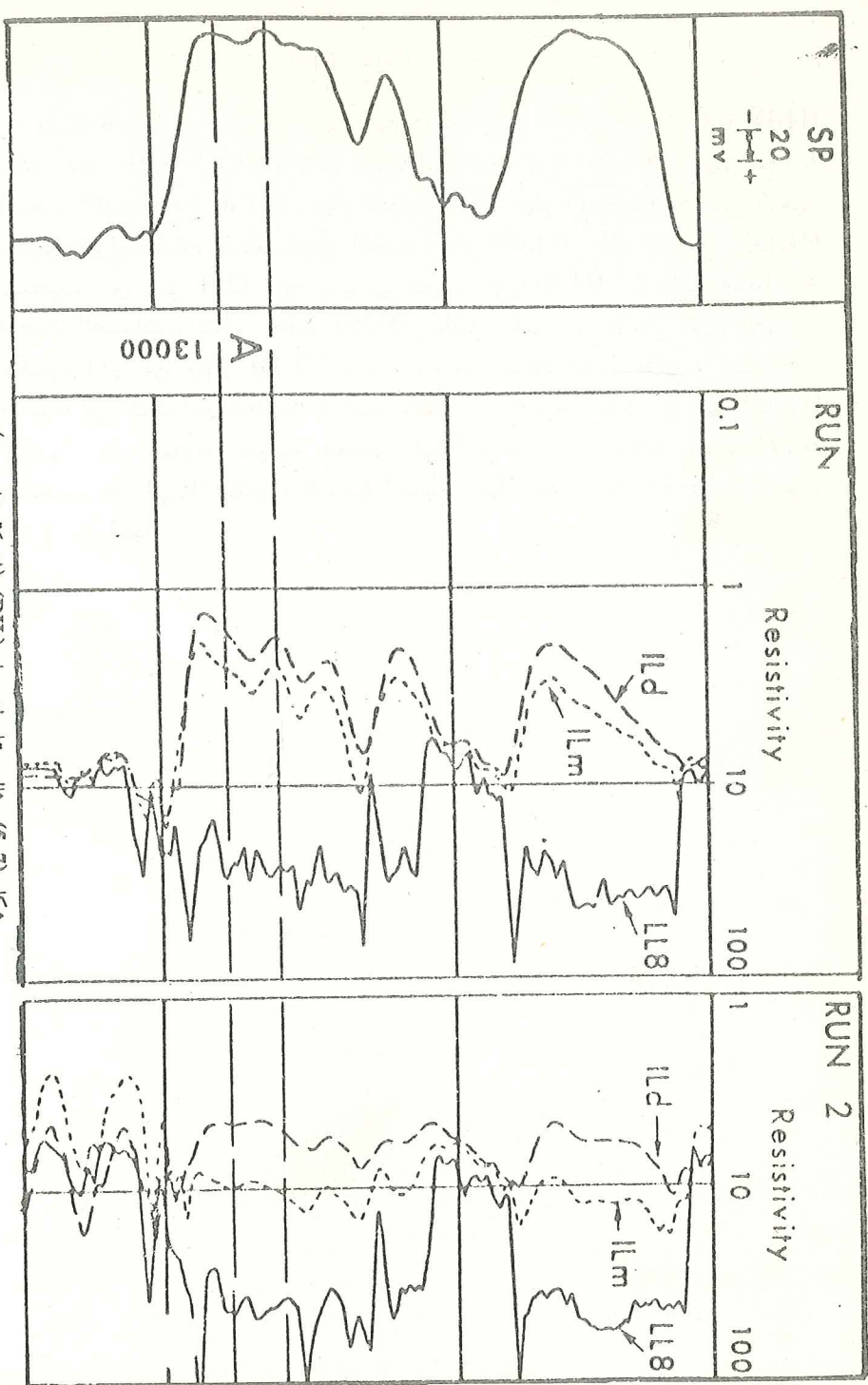
يشمل هذا النوع من المسح على جهاز الحث ذو القطر الصغير (25) انج وله مسافة تساوي (28) انج ويشمل ايضا على جهاز قياس المقاومة الضحلة (16''N) وجهاز تسجيل (SP) .



شكل (5-6) مثال حقلي لتسجيل (IES) (لشركة شلمبرجير)

(3) نوع Dual Induction-laterolog

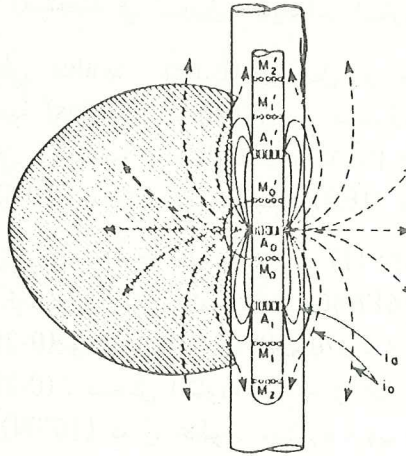
يشمل هذا النوع من المسح على جهازين من الحث ، احدهما عميق نوع (ILD) شبيه بجهاز (40 6FF) والآخر متوسط العمق نوع (IL_m) وجهاز المقاومة النوعية الضحلة نوع (LL8) وجهاز تسجيل (SP) جهاز (IL_m) له عمق البحث مساوي تقريبا نصف المسافة لعمق البحث لجهاز (ILD) . اي ان جهاز (IL_m) يستجيب الى عمق (30) انج بينما يستجيب جهاز (ILD) الى عمق (65) انج داخل الطبقات . يتأثر جهاز (IL_m) بسائل الحفر في الآبار ذات الاقطار الكبيرة اكثر من جهاز (ILD) وايضا بالآبار المملوءة بطين ملحي . تعتبر هذه المجموعة من القياسات للمقاومة في اعماق مختلفة من الطبقة افضل من جهاز (IES) للحصول على المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) للتكوين في حالات الغزو المختلفة والحصول على (R_{xo}) المقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة . شكل (5-7) مثال لهذا النوع من الجهاز .



شكل (5-7) مثال حقلي لتسجيل (DIL) (الشركة للبترول)

(4) جهاز (ISF/Sonic)

يشمل هذا النوع من الجهاز على جهاز الحث العميق مشابه الى (6FF40) وجهاز قياس المقاومة الموجهة. من طريق ارسال تيار بشكل كروي داخل الطبقة . وجهاز تسجيل الجهد التلقائي (SP) مع جهاز تسجيل السرعة (BHC) ويضاف في بعض الاحيان تسجيل اشعة كاما . يقوم جهاز قياس المقاومة الموجهة بمقام قياس المقاومة نوع (LL8) أي انه يقوم بقياس المقاومة في المنطقة المغزوة من الطبقة (R_i) . شكل (5-8) يبين مقطع لجهاز قياس تسجيل (SFL) او تسجيل المقاومة الموجهة الكروية (Spherically focused log) . نلاحظ في هذا الشكل انتقال التيارات داخل الطبقة على شكل كروي تقريبا وعدد الاقطاب الكهربائية تسعة ، قسم منها اقطاب التيار وقسم الآخر اقطاب الجهد .



Spherically Focused Log

شكل (5-8) مقطع لجهاز قياس تسجيل (SFL) (لشركة شلمبرجر)

البيانات المسجلة على تسجيل القياسات البئرية :

يمثل شكل (5-9) الجزء الاعلى من تسجيل الحث نوع (IES) مسجل في احد الآبار العراقية . نجد في الاعلى اسم الشركة ، اسم او رقم البئر ، اسم الحقل (Field) ، اسم البلد (country) ثم الموقع بالنسبة لخطوط العرض والطول ومرجع الاسناد الدائم (permanent datum) اي مستوى سطح البحر (MSL) .

وارتفاع البئر من حلبة عمود الحفر (Kelly Bushing) او (K.B) وارتفاع سطح الارض (Ground level) او (G.L) ثم تاريخ التسجيل والعمق الكلي للبئر مقاس بواسطة الحفار وبواسطة تسجيل العمق (Depth Logger) . ثم العمق السفلي والعلوي من البئر المسجل ، نوع السائل في البئر وملوحة السائل وكثافة ولزوجة سائل الحفر ودرجة القاعدية (pH) وفقدان المائع (Fluid loss) وأيضا اقصى درجة للحرارة المسجلة في البئر وايضا نجد معلومات عن المقاومة النوعية للطين (R_m) المقاسة في درجات الحرارة المختبرية وقيمة (R_{mf}) أي المقاومة النوعية لراشح الطين والمقاومة النزعية للقشرة الطينية (R_{mc}) وقيمة المقاومة النوعية للطين في درجة حرارة فا- البئر (BHT) وفي الاخير يسجل اسم مهندس التسجيل والشاهد .

انواع المقاييس المستعملة في تسجيل القياسات البئرية :

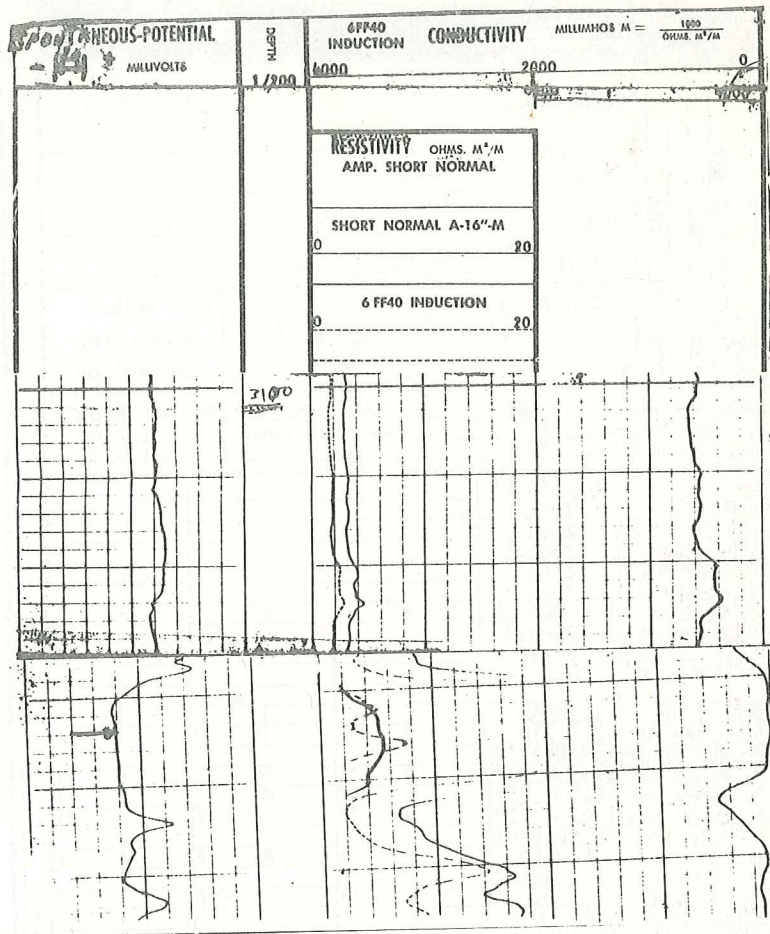
المقياس الخطي (Linea scale) يستعمل في تسجيل الحث نوع (IES) وتسجيلات المسامية (Porosity logs) وجميع تسجيلات الآبار القديمة . المقياس اللوغرتمي مستعمل في تسجيلات المقاومة الحديثة مثل تسجيل (DIL) و (DLL) وغيرها . شكل (5-10) مثالاً حقلي لتسجيل (IES) مسجل على مقياس خطي .

في هذا المثال تسجيل (SP) على مسار رقم (1) (track-1) بمقياس خطي لكل جزء (20-mv) ثم تسجيل المقاومة من الحث (6FF40) أيضا مسجل بمقياس خطي من (0-20 ohm-m) وتسجيل المقاومة الضحلة نوع (16"N) بمقياس خطي أيضا من (0-20 ohm-m) . تسجيل المقاومة من الحث ممثل بخطوط متقطعة أما مخطط المقاومة الضحلة (16"N) فمثل بخطوط مستمرة . ويوجد مخطط للمقاومة الضحلة (16"N) مكبر والمقياس من (0-2 ohm-m) وهو يظهر امام الطبقات ذات المقاومة الواطئة . بالاضافة الى المقاومة ، نجد تسجيل درجة التوصيل (Conductivity) وايضا بمقياس خطي من (4000-0 m-mho/m) ومقياس آخر مصفر من (6000-4000 mho/m) .

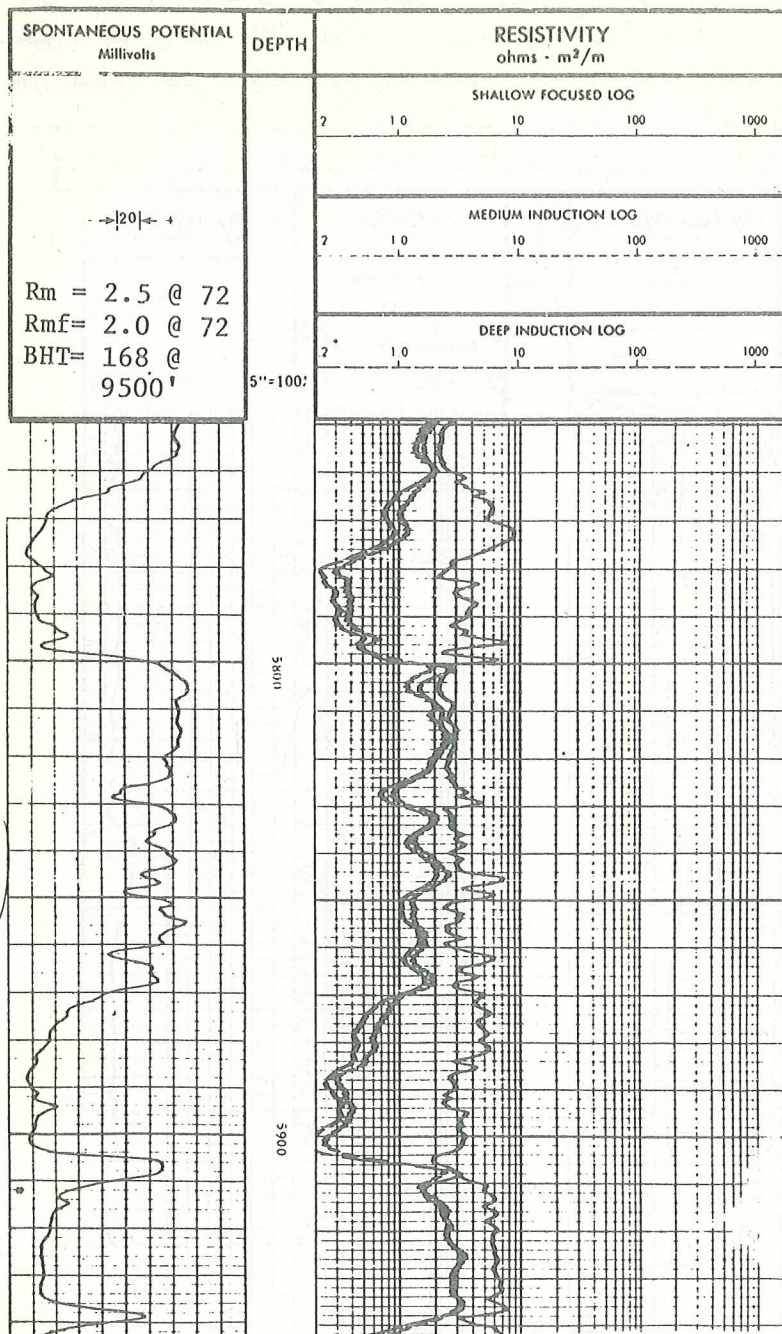
تحويل القياسات من درجة التوصيل الى المقاومة يكون من قبل مهندس التسجيل وفي حالات كثيرة نلاحظ اخطاء عند تحويل درجات التوصيل الحالية الى مقاومة واطئة . كانت تسجل سابقا الاعماق بوحدات (القدم) . اما الان تسجل الاعماق بوحدات (المتر) . تكون المقاييس المستعملة 1:1000 ، 1:500 ، 1:200 ، 1:40 ، 1:20 ، يستعمل المقياس الاولي والثاني في عمليات ربط الآبار (correlation) . اما قياس 1:200 فيستعمل للتفاصيل .

COUNTY	FIELD	LOCATION	WELL	COMPANY	INOC	(60/73)
WELL	NAHR	UMR				
COUNTY	IRAQ	STATE				
LOCATION	X: 755	544.8 E				Other Services:
	Y: 3402	693.4 N				ML/ML-FDC
Sec.	Twp.	Rge.				BMC-SNP/GR
Permanent Datum:	MSL	Elev.	0			Elev.: K.B. 8.04
Log Measured From	KB	Fi. Above Perm. Datum				D.F. 7.49
Drilling Measured From	KB					G.I. 3.37
Date	JUNE 24 79					
Run No.	THREE					
Depth-Driller	2665					
Depth-Logger	2666.5					
Btm. Log Interval	2666					
Top Log Interval	2498.3					
Casing-Driller	8.5 @ 2498					
Casing-Logger	2498.3					
Bit Size	7 1/2					
Type Fluid In Hole	MUD					
Rate Visc.	1.38/48					
Fluid Loss	2.6 @ 10 ml					
Source of Sample	CIRCULATION					
R _m @ Meas. Temp.	2.25 @ 87°F					
R _{at} @ Meas. Temp.	2.68 @ 85°F					
R _{ac} @ Meas. Temp.	1.07 @ 85°F					
Source R _{at} R _{ac}	PRESS PRESS					
R _a @ 84°F	0.47 @ 195°F					
Time Since Circ.	76 HRS					
Meas. Rec. Temp.	195 °F					
Equip. Location	4508 INOC					
Retested by	DELANOI-GIBENEZ					
Witnessed by	ISAAC RAWOOD					

شكل (5-9) مثال حقلي لتسجيل البيانات في اعلى تسجيل (IES) (لشركة شلمبرجر)

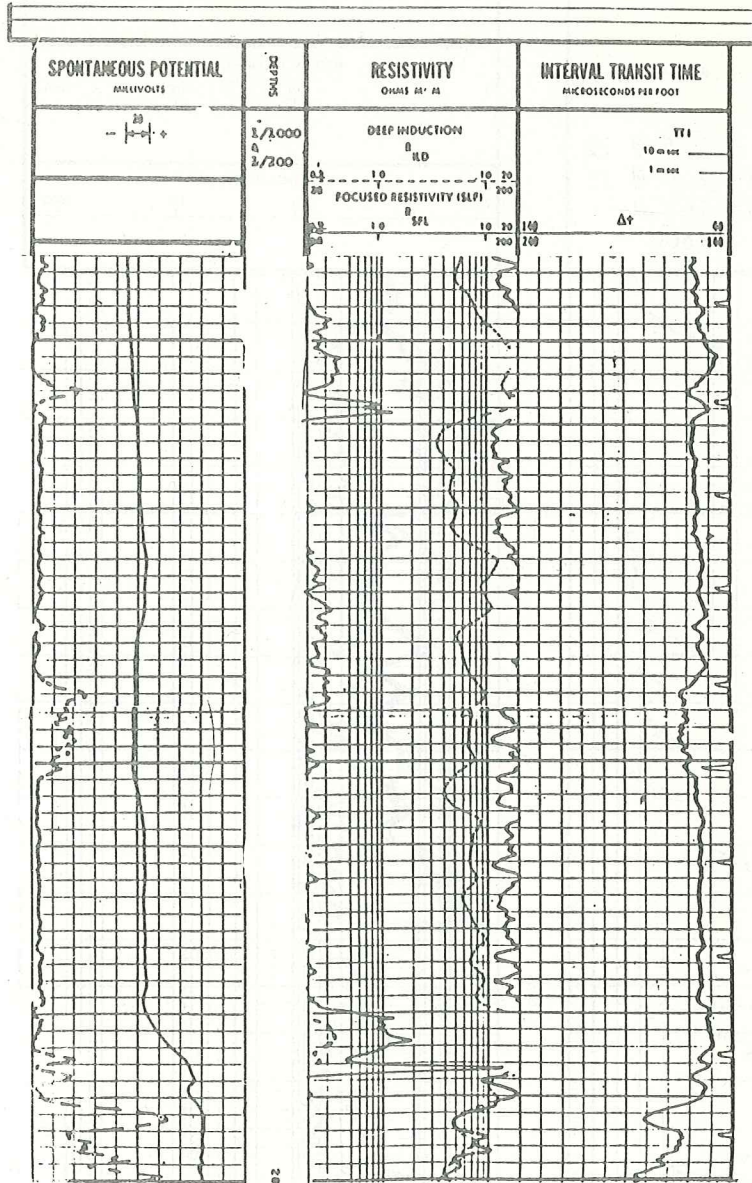


شكل (5-10) مثال حقلي لتسجيل (IES) في احد الابار المراقبة



شكل (5-11) مثال حقلي لتسجيل (DIL)

يبين شكل (5-11) مثال حقلي لتسجيل (DIL) بالمقياس اللوغرتمي المستعمل في التسجيل. نجد في هذا المثال المقاومات مسجلة على مقياس لوغرتمي اما (SP) فمسجل بمقياس خطي. لهذا النوع من التسجيل فوائد حيث نستطيع قراءة



شكل (5-12) مثال حقلي لتسجيل (ISF / sonic) مسجل في احدى الآبار

المقاومة النوعية للطبقات التي مقاومتها النوعية قليلة بصورة واضحة وأيضاً المدى الكبير من المقاومة حيث من الممكن تسجيل المقاومة النوعية من اقل قيمة (0.2 ohm-m) الى (1000 ohm-m) وهذه الفائدة غير موجودة في التسجيل الخطي .

يمثل شكل (5-12) تسجيل (ISF/Sonic) مسجل على مقياسين في المسار رقم 2 ورقم 3 . نجد تسجيل السرعة في المسار رقم 3 مسجل على مقياس خطي وتسجيل المقاومات (R_{SFL} و R_{LLD}) مسجلة على مقياس لوغرتي . اما تسجيل (SP) فهو دائماً يسجل على مقياس خطي .

تصحيح قراءات المقاومة من تسجيل الحث

تشمل التصحيحات الضرورية لقراءات تسجيل الحث على تصحيحات تأثير اختلاف سمك الطبقات ، اختلاف قطر البئر وتأثير الغزو على القياسات . تستعمل مخططات بيانية (charts) خاصة عائدة لشركات مسح الابار . تمثل هذه المخططات ظروف مثالية اي يفترض فيها وجود طبقات متجانسة مقاومتها النوعية ثابتة ومحاطة بطبقات متجانسة ومقاومتها النوعية ايضاً ثابتة .

(1) تصحيح القياسات لتأثير اختلاف السمك⁽⁸⁾ (bed thickness correction)

تستعمل المخططات البيانية شكل (5-13, 5-14, 5-15) العائدة لشركة شلمبرجر . يستعمل شكل (5-13) لتصحيح اختلاف السمك اذا كان الجهاز المستعمل للقياسات من نوع (6FF40, ILd, 6FF 28) وشكل (5-14) اذا كان الجهاز المستعمل للقياسات من نوع (IL_m) وشكل (5-15) اذا كانت الطبقات موصلة (conductive beds) وسمكها يتراوح من (2-4) قدم .

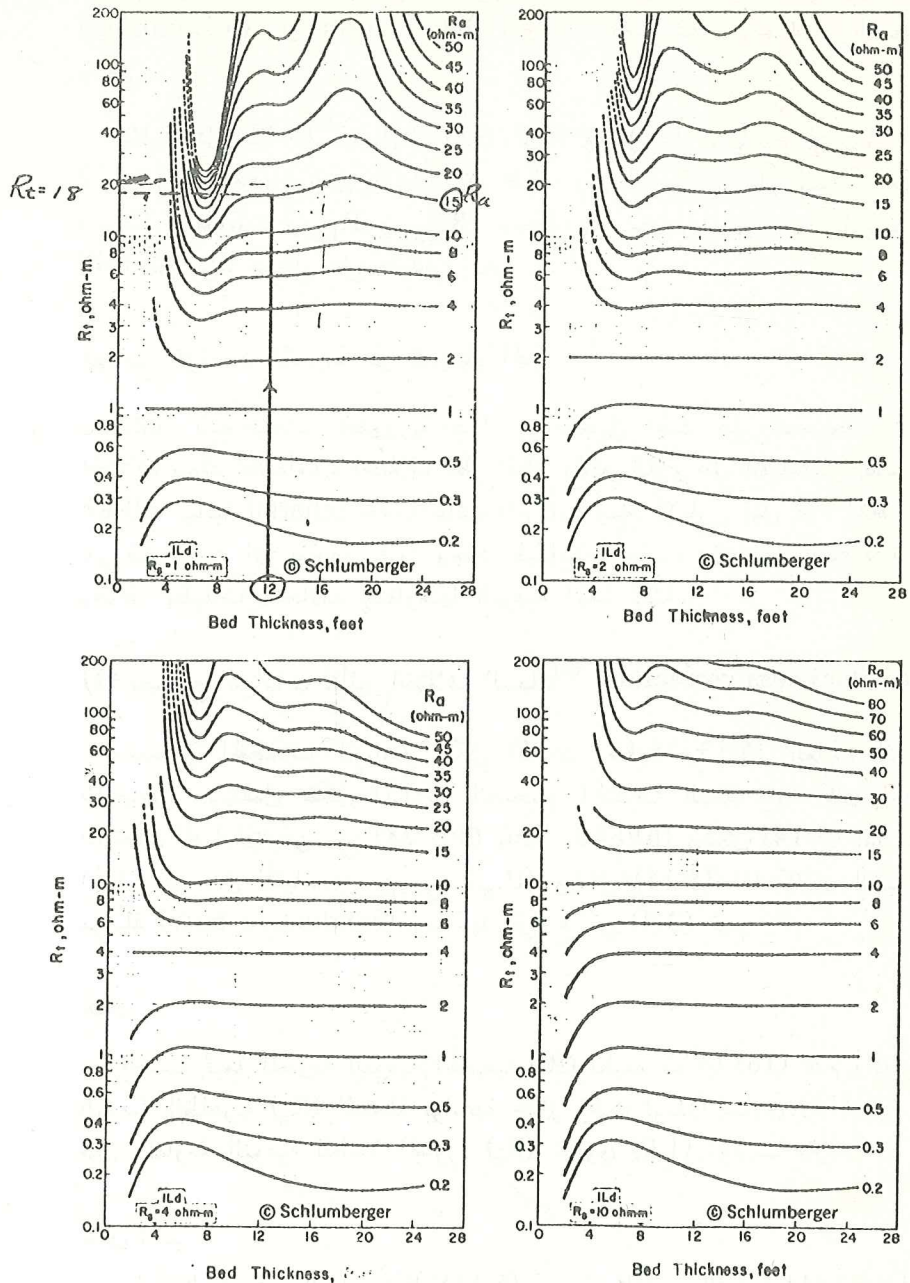
مثال

احسب قيمة المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) لطبقة سمكها (16) قدم والمقاومة النوعية الظاهرية (R_a) المسجلة بواسطة جهاز الحث (IL_d) تساوي (15) اوم - متر والمقاومة النوعية للطبقة المجاورة (R_g) تساوي (1.0) اوم - متر .

الحل : -

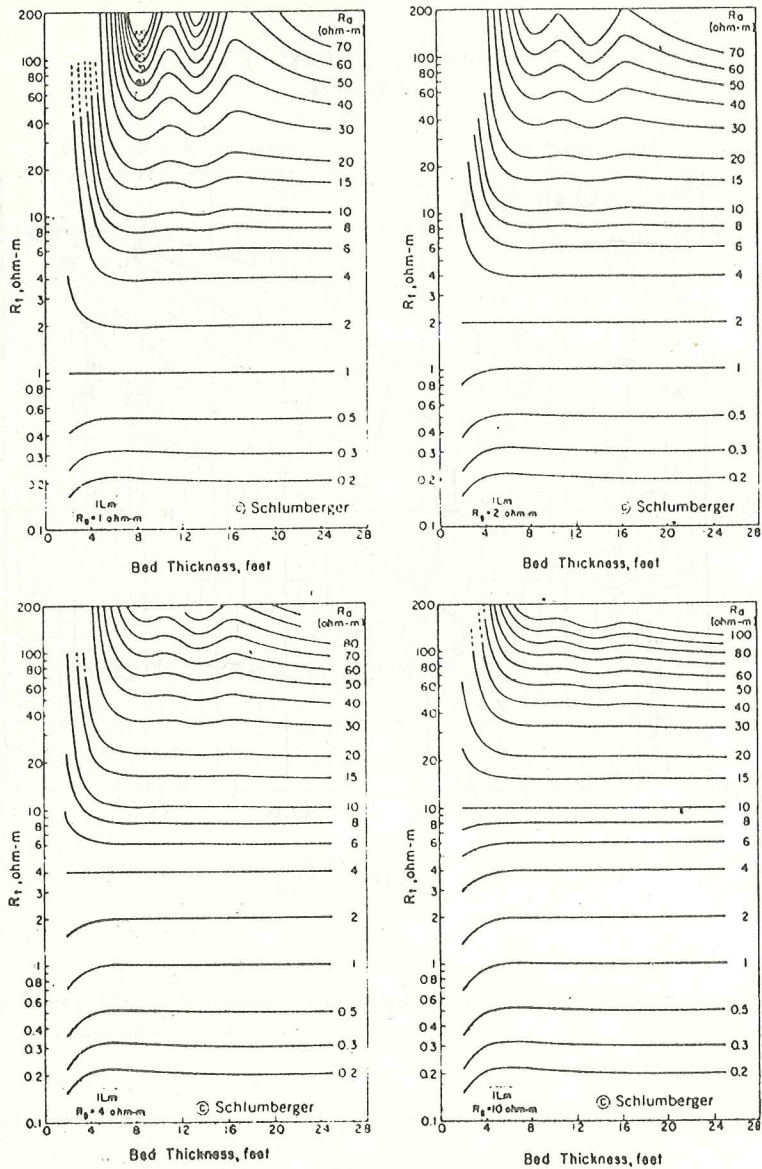
باستعمال المخطط البياني شكل (5-13) نجد ان المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة تساوي (20) اوم - متر .

INDUCTION LOG BED THICKNESS CORRECTION 6FF40 or ILd and 6FF28



شكل (5-13) مخطط بياني لتصحيح قياسات المقاومة النوعية لتأثير اختلاف سمك الطبقات (لشركة شلمبرجر)

INDUCTION LOG BED THICKNESS CORRECTION ILm



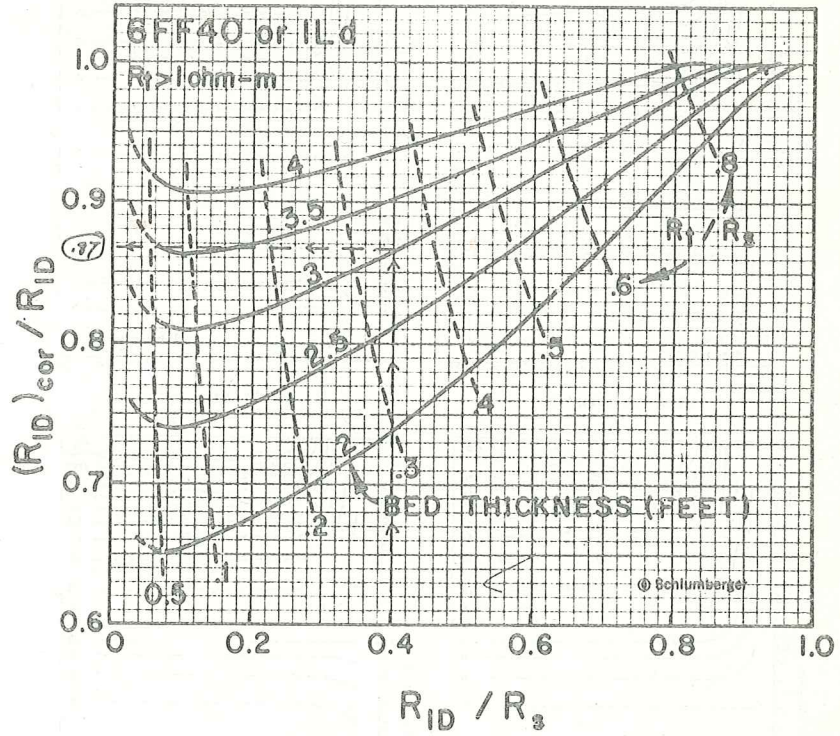
شكل (14-5) مخطط بياني التصحيح قياسات المقاومة النوعية لتأثير اختلاف سمك الطبقات (شركة شلمبرجر).

CORRECTION FOR THIN, CONDUCTIVE BEDS

6FF40, ILd, 6FF28

Note $R_{ID} = R_a$

(courtesy Schlumberger)



شكل (5-15) غطط بياني لتصحيح قياسات المقاومة النوعية لتأثير اختلاف سمك الطبقات الموصلة (conductive beds).

مثال : -

احسب قيمة المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) لطبقة سمكها (2.0) قدم والمقاومة النوعية الظاهرية المقاسة تساوي (2.0) اوم - متر وتساوي المقاومة النوعية للطبقة المجاورة (R_g) (4.0) اوم - متر . (الجهاز المستعمل من نوع (IL_d) .

الحل : -

نستطيع باستعمال المخطط البياني شكل (5-15) الحصول على المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) .

$$\frac{D_{ID}}{R_s} \text{ or } \frac{R_a}{R_s} = \frac{2.0}{4.0} = 0.5$$

اذن نحصل باستعمال منحني السمك (2) قدم كما مؤشر في شكل (5-15) على قيمة .

$$\frac{R_{IDc}}{R_{ID}} = 0.78, \frac{R_t}{R_s} = 0.38$$

$$\therefore (R_{IDc}) = (0.78) \times (2.0) = (1.56) \text{ ohm-m } R_t$$

$$\text{or } R_t = (0.38) \times (R_s)$$

$$= (0.38 \times 4.0) = 1.52 \text{ ohm-m}$$

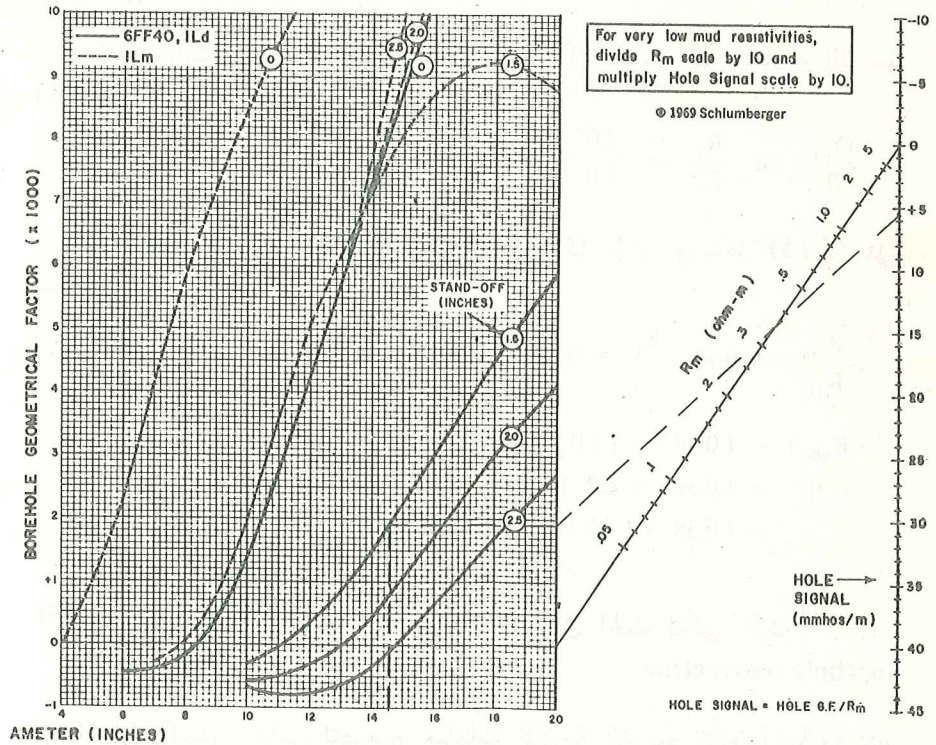
(2) تصحيح قياسات المقاومة النوعية من تسجيل الحث لتأثير البئر (8)

borehole correction

المخطط البياني الخاص لتصحيح قياسات المقاومة النوعية لتأثير اختلاف قطر البئر واختلاف المقاومة النوعية لسائل الحفر ، يفترض بان البئر دائري الشكل والمقاومة النوعية لسائل الحفر ثابتة لكن هنالك حالات تختلف عن الفرضية كوجود كهوف في بعض الاعماق داخل الطبقات . ففي هذه الحالات يمكن ان تحدث تصحيحات اكبر من الحقيقة او اقل من الحقيقة المطلوبة فيجب التأكد من قطر البئر او اهمال القياسات في هذه المناطق . يستعمل شكل (5-16) لتصحيح القياسات لتأثير اختلاف قطر البئر .

بعض الاصطلاحات موجودة في هذا المخطط مثل (stand-off) ويعني المسافة بين جهاز القياس داخل البئر وجدار البئر ، هذه المسافة تفرض (1.5) انج عند عدم وجود معلومات من التسجيل واصطلاح آخر مثل (borehole geometric)

INDUCTION LOG BOREHOLE CORRECTION



شكل (5-16) مخطط بياني لتصحيح قياسات المقاومة النوعية من جهاز الحث لتأثير اختلاف قطر البئر (لشركة شلمبرجر)

(factor) اي المعامل الهندسي للبئر ويمثل هذا المعامل موقع الجهاز في الفراغ بالنسبة للطبقة المقاسة واصطلاح آخر (hole signal) اي اشارة البئر أو درجة التوصيل المثلة لسائل الحفر وهذه الكمية يجب ان تطرح من درجة توصيل الطبقة للحصول على المقاومة النوعية الصحيحة للطبقة .

مثال : -

إذا كان مقدار المقاومة النوعية الظاهرية (R_a) المقاسة بواسطة جهاز (6 FF 40) للطبقة تساوي (20) اوم - متر وكان قطر البئر يساوي (14.6) انج وكانت المقاومة النوعية لسائل الحفر تساوي (0.35) اوم - متر ومقدار (stand-off) يساوي (1.5) انج ، مامقدار المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة ؟

الحل : -

باستعمال المخطط البياني شكل (5-16) نحصل على اشارة البئر (hole-signal) تساوي (5.5) ميلمو / متر درجة التوصيل (conductivity) المقاسة للطبقة تساوي

$$C = \frac{1000}{20} = 50 \text{ m-mho/m}$$

$$\therefore 50 - 5.5 = 44.5 \text{ m-mho/m}$$

تمثل درجة التوصيل الحقيقية للطبقة . المقاومة النوعية الحقيقية (R_t) للطبقة تساوي

$$R_{ILc} = R_t = \frac{1000}{44.5} = 22.4 \text{ (ohm-m)}$$

وهذه القيمة تمثل المقاومة النوعية الحقيقية إذا لم تكن هنالك تأثيرات اخرى على القياسات مثل تأثير الغزو أو السمك .

(3) تصحيح قياسات المقاومة النوعية لتأثير الغزو⁽⁸⁾

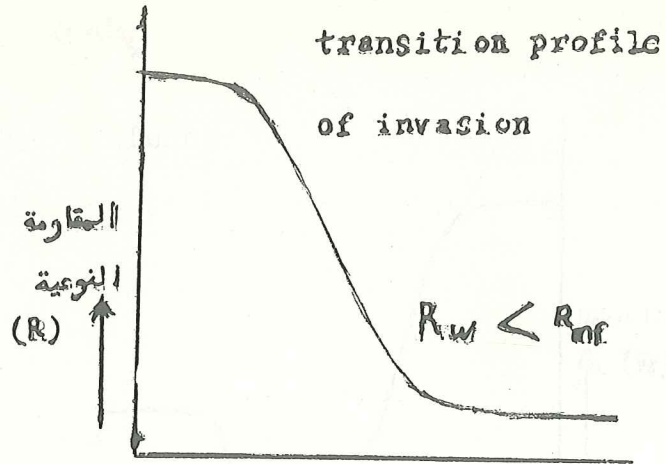
Invasion corrections

نحتاج لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية لتأثير الغزو الى قياس المقاومة النوعية في المناطق المختلفة من الغزو . تشمل هذه القياسات على قياس المقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة (R_{xo}) وقياس المقاومة النوعية لمنطقة الغزو (R_i)

وقياس المقاومة النوعية للمنطقة العميقة أو غير المغزوة مثل تسجيل الحث العميق (R_{ILd}). إذا كان الغزو عميقاً فإن جميع قياسات المقاومة ستكون متساوية أي تمثل (R_{xo}) وإذا كان الغزو ضحلاً جداً فإن جميع قياسات المقاومة ستمثل (R_t). في هذه الحالات يكون التصحيح بدون فائدة حيث المخططات البيانية محدودة بالنسبة لعمق الغزو. إذا كان مسح البئر بواسطة جهاز (IES) القديم، لا يمكن استعمال المخططات البيانية الخاصة لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية لتأثير الغزو وايضاً إذا كان المسح بواسطة (ISF) لا يمكن استعمال المخططات البيانية الخاصة. في هذه الحالات تستعمل معادلة تسجيل الحث لحساب المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة.

يسجل جهاز تسجيل المقاومة نوع (DIL) المقاومة باعماق مختلفة من الطبقة، يمكن استعمال المخططات البيانية الخاصة لتأثير الغزو. يمثل شكل (20-5) و (21-5) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية لتأثير الغزو. يفترض عند استعمال هذه المخططات البيانية ان الطبقات المعينة تكون سميكة وقطر البئر يكون (8) انج او (203) ملم، وعدم وجود تأثير القشرة على القياسات (skin-effect) يقصد من هذا الاصطلاح فقدان جزء من درجة التوصيل المقاسة نتيجة التفاعل الحاصل بين ملفات الجهاز لوجود طبقة ذات درجة توصيل عالية (highly conductive). في هذه الحالات يرفع مهندس التسجيل من قيمة درجة التوصيل المقاسة، اذن عند استعمال المخطط البياني يفترض هذا التأثير غير موجود. المخططات البيانية الخاصة لتأثير الغزو المنشورة سنة (١٩٧٢) كانت تفرض عدم وجود تأثير الحلقية (annulus) على القياسات وعدم وجود منطقة انتقالية داخل منطقة الغزو أو ان شكل الغزو يفرض غير انتقالي أي سلمي. تمثل الاشكال التالية الانواع المختلفة من الغزو داخل الطبقات النفاذة.

غزو انتظالي

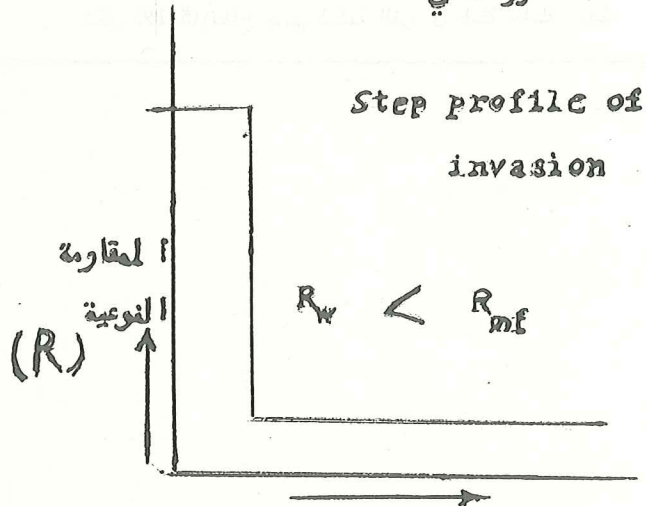


المسافة الأفقية داخل الطبقة النفاذه

ابتداءً من البئر

شكل (5-17) قطع جانب قطاع جانبي لمنطقة الغزو في طبقة حاملة للماء

غزو سلبي

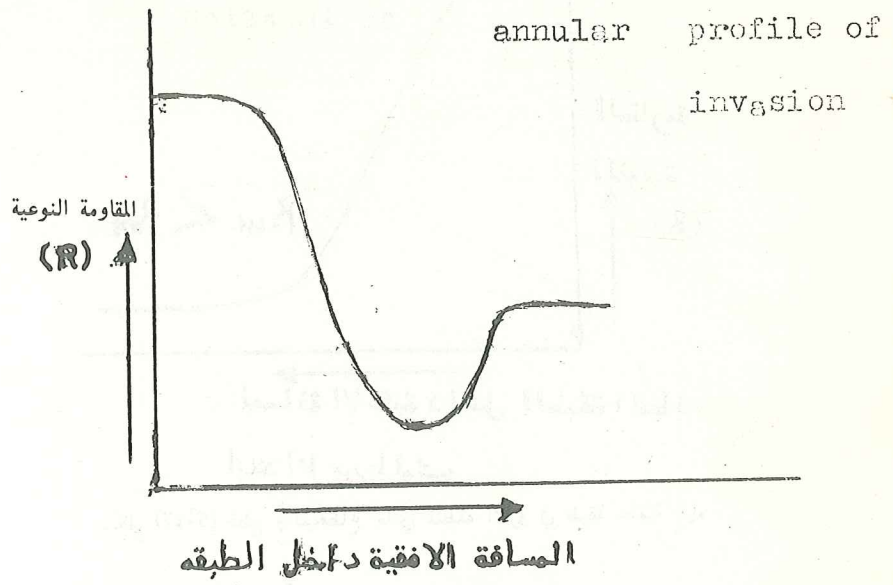


المسافة الأفقية داخل الطبقة النفاذه

ابتداءً من البئر

شكل (5-18) قطاع جانبي لمنطقة الغزو في طبقة حاملة للماء

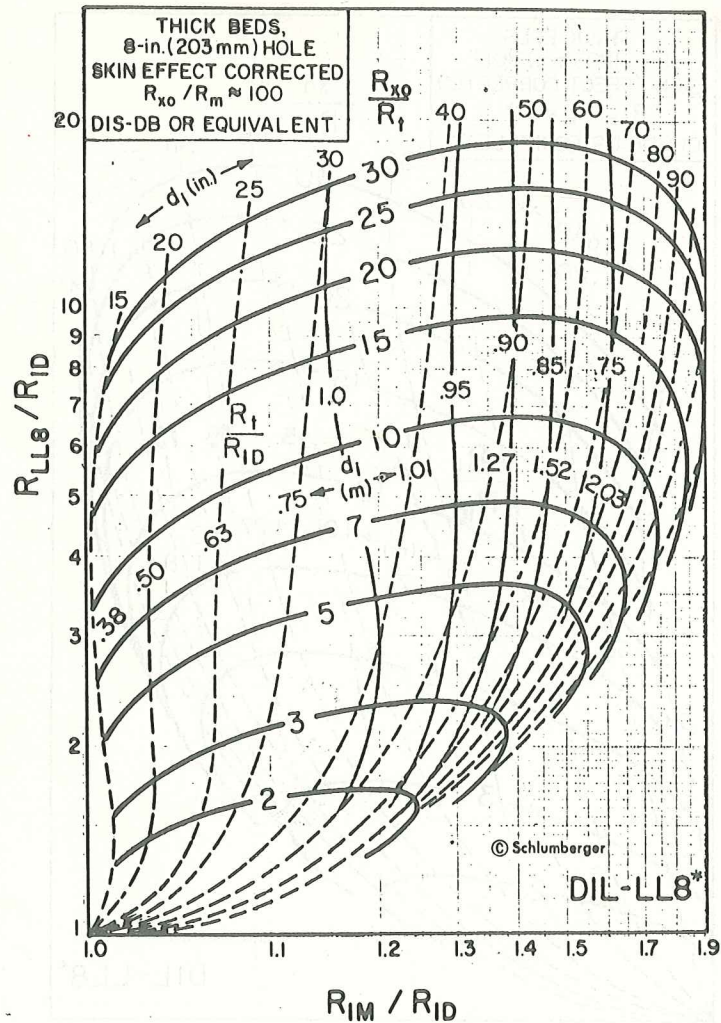
غزو حلقي



شكل (5-19) قطاع جانبي لمنطقة الغزو في طبقة حاملة للنفط

DUAL INDUCTION – LATEROLOG*

ILd — ILm — LL8



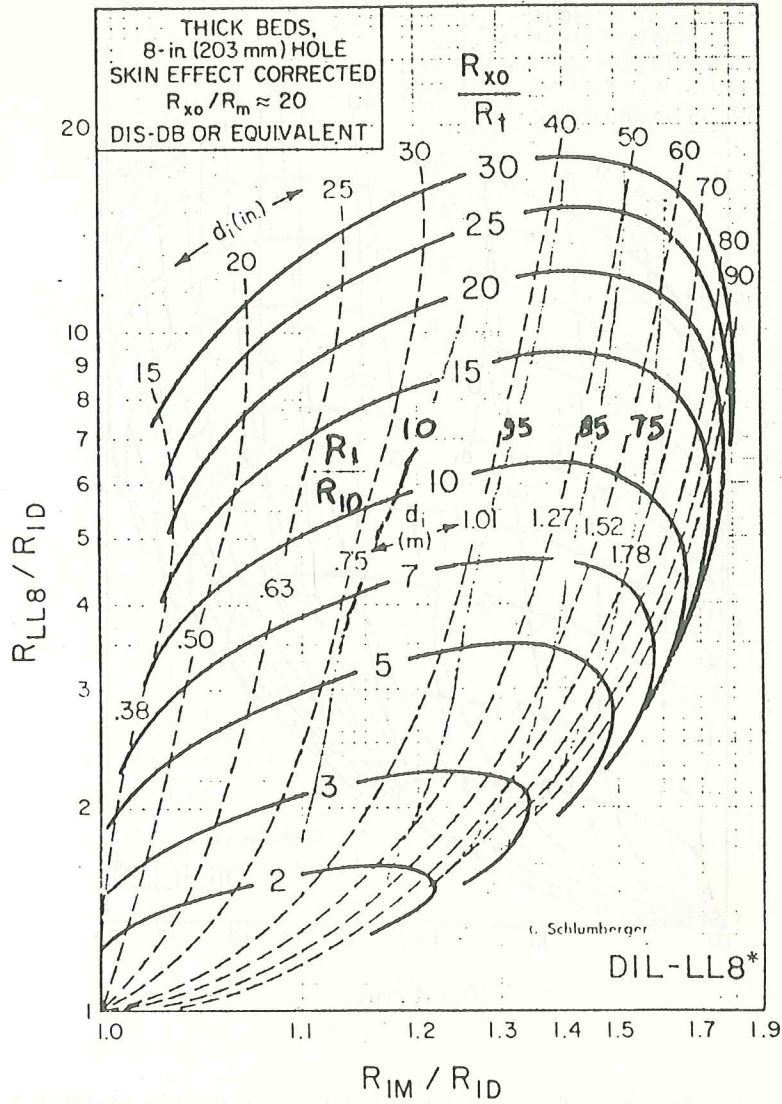
شكل (20-5) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة لتأثير الفوز. في حالة 100 =

$$\left(\frac{R_{x0}}{R_m} = 100 \right)$$

يستعمل للحصول على (d_i, R_{x0}, R_t) (نوع التسجيل) - (DIL)

DUAL INDUCTION - LATEROLOG*

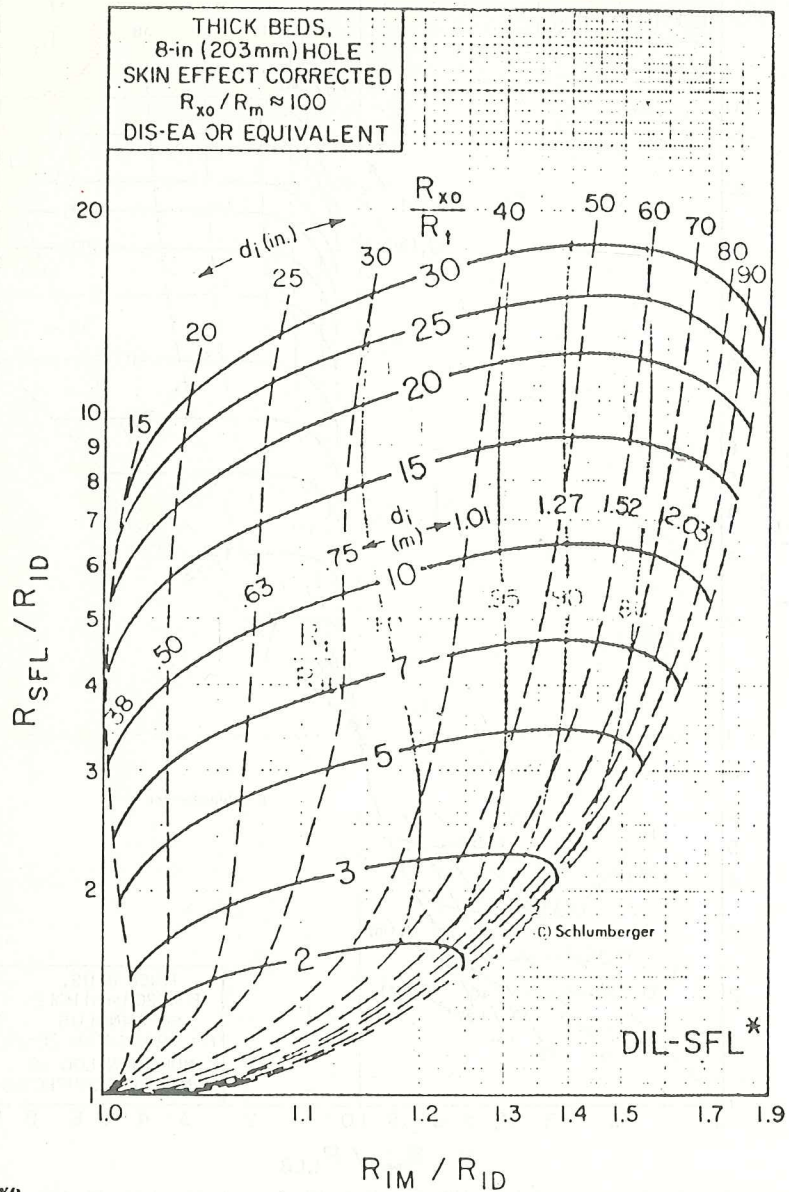
ILD - ILM - LL8



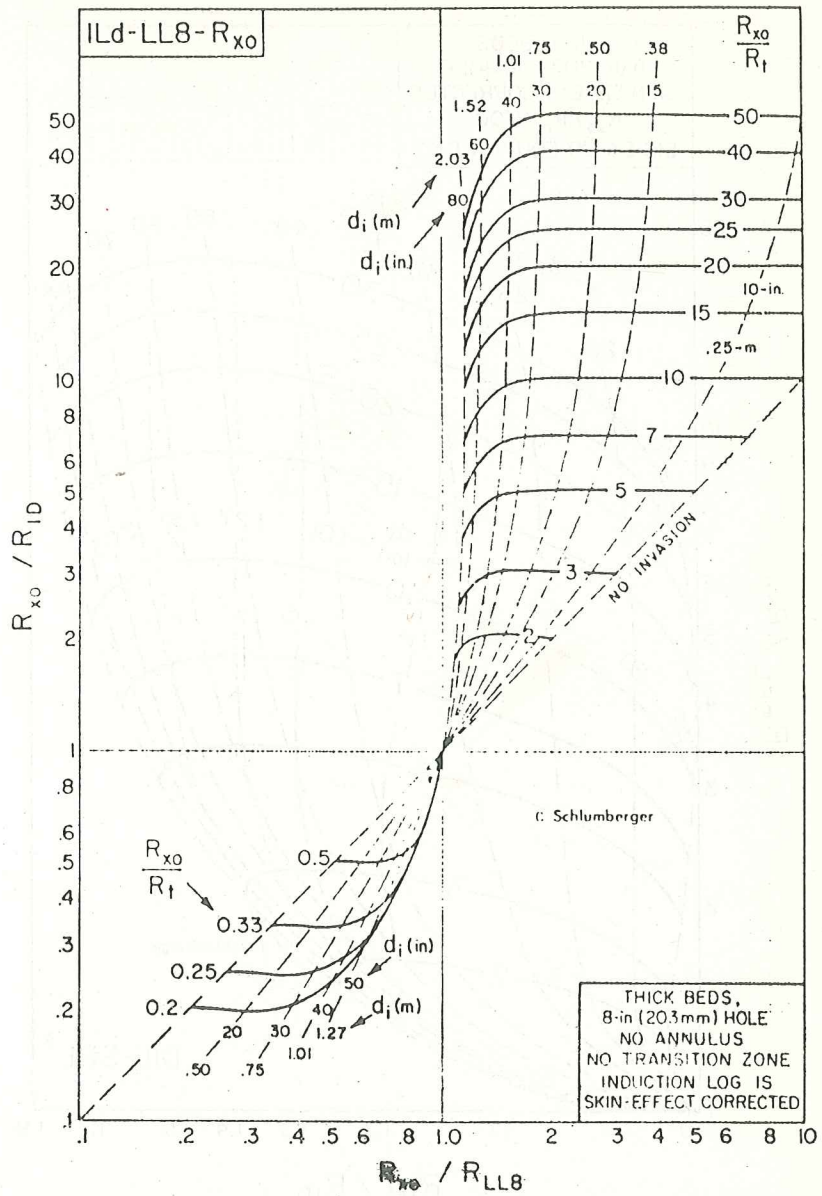
شكل (5-21) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة - لتأثير الغزو. في حالة (20) = $\frac{R_{x0}}{R_m}$ (يستعمل للحصول على (d_i, R_{x0}, R_t) نوع التسجيل (DIL) لشركة شلمبرجر)

DUAL INDUCTION - SPHERICALLY FOCUSED LOG

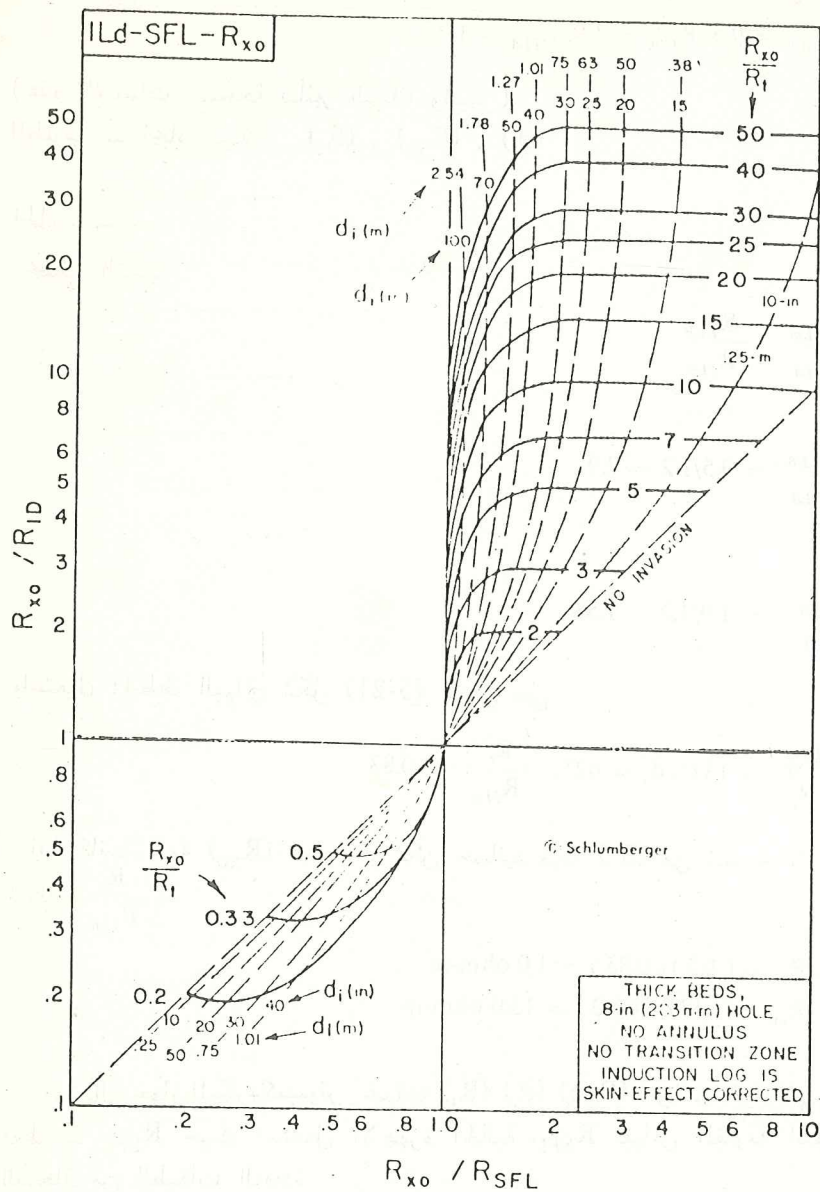
ILD - ILM - SFL*



شكل (5-22) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية لتأثير الغزو. في حالة $(\frac{R_{xo}}{R_m} = 100)$ للحصول على (d_i, R_{xo}, R_t) (نوع التسجيل (DISF) (لشركة شلمبرجر)

DEEP INDUCTION - LATEROLOG® - R_{xo} 

شكل (2-23) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية لتأثير الفزو . للحصول على R_{xo} , R_t
(لشركة شلمبرجر) نوع التسجيل (ILd-LL8- R_{xo}) (d_p)



شكل (5-24) مخطط بياني لتصحيح المقاومة النوعية الظاهرية لتأثير الغزو للحصول على (d_i, R_{x0}, R_i) (لشركة شلمبرجير) (نوع التسجيل ILd-SFL-Rx0)

مثال : -

سجلت البيانات التالية من تسجيل (DIL)

$$R_{LL8} = 9.5, R_{ILm} = 1.9, R_{ILd} = 1.2$$

(هذه القياسات مصححة لتأثير السمك والبئر)

المطلوب - إيجاد قيمة (R_i) , (R_{x0}) , (d_i)

الحل : -

تحسب النسب

$$\frac{R_{ILm}}{R_{ILd}}, \frac{R_{LL8}}{R_{ILd}}$$

$$\frac{R_{LL8}}{R_{ILd}} = 9.5/1.2 = 7.9$$

$$\frac{R_{ILm}}{R_{ILd}} = 1.9/1.2 = 1.58$$

باستعمال المخطط البياني شكل (5-21) نحصل على

$$\frac{R_{x0}}{R_i} = 13.0, d_j = 62'', \frac{R_i}{R_{ILd}} = 0.83$$

إذا كانت قيمة (R_{x0}) معلومة ، ممكن حساب قيمة (R_i) من النسبة بما
$$\frac{R_i}{R_{ILd}} = 0.83$$

$$\therefore R_i = (1.2)(0.83) = 1.0 \text{ ohm-m}$$

$$\therefore R_{x0} = (13.0)(1.0) = 13.0 \text{ ohm-m}$$

استعمال جهاز الميكروكمبيوتر لحساب (R_i) (d_i) (R_{x0}) عوضت قراءة R_{LL8}
فقط بـ R_{SFL} حيث تستعمل الاجهزة الحالية R_{SFL} لقياس المقاومة النوعية
الضحلة من الطبقات النفاذة

DIL : RT+DI	
Data	

R ID =	1.200 QM ² /M
R IM =	1.900 QM ² /M
R SFL =	9.500 QM ² /M
Results	

RT =	0.857 QM ² /M
DI =	65.6 ins
RXD/RT =	13.6

استجابة جهاز الحث الافقي⁽⁸⁾ Horizontal response of Induction tool

لاجل دراسة مدى استجابة جهاز الحث داخل الطبقات النفادة ، نتصور ان المناطق المختلفة من الغزو المحيطة بالجهاز تكون على شكل حلقات . في شكل (5-2) نجد حلقة واحدة من التيار المتولد تحيط بالجهاز لتبسيط مبدأ القياس . كل منطقة من المناطق المحيطة بالجهاز لها تأثير على توليد التيارات . لتحديد تأثير هذه الحلقات على الاشارة الكلية المستلمة من قبل جهاز الالتقاط نستعمل المعادلة :

$$C_{IL} = C_m G_m + C_{xo} G_{xo} + C_i G_i + C_t G_t \quad (5-2)$$

حيث : -

C_{IL} درجة التوصيل (conductivity) المقاسة من قبل الجهاز (ملم / م)

C_m درجة توصيل طين الحفر

G_m العامل الهندسي (geometric factor) لمنطقة البئر .

C_{xo} درجة التوصيل للمنطقة المكتسحة من الطبقة

G_{xo} العامل الهندسي للمنطقة المكتسحة .

C_i درجة التوصيل للمنطقة المغزوة من الطبقة

G_i العامل الهندسي للمنطقة المغزوة من الطبقة

C_t درجة التوصيل الحقيقية للطبقة

G_t العامل الهندسي للطبقة

يمكن تعريف العامل الهندسي بأنه يمثل جزء من الإشارة الكلية او درجة التوصيل الكلية الذي يتولد داخل حجم معين وفي اتجاه معين من الجهاز . هذا العامل ممكن حسابه من المعادلة -

$$g = \frac{\sin^3 (A)}{2L^2} \quad \dots (5-3)$$

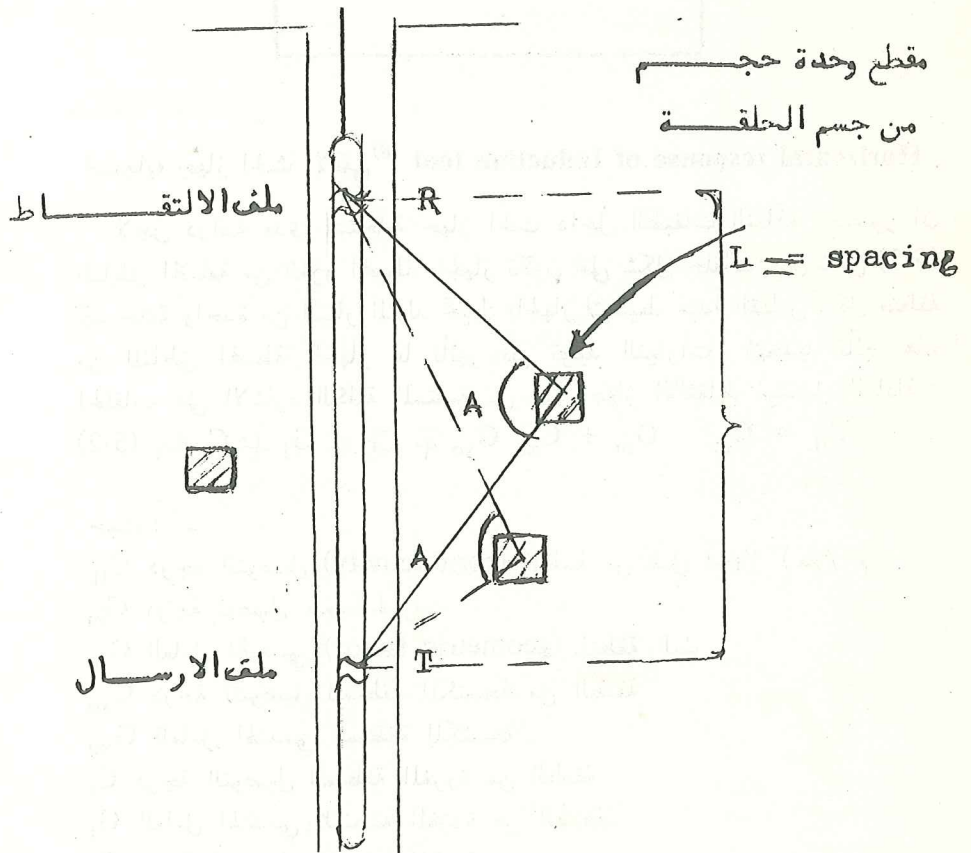
حيث : -

g العامل الهندسي (نسبة مئوية)

(A) الزاوية المحصورة بين الحجم المعين من الجسم او الطبقة وبين جهازي الالتقاط والارسال .

L المسافة (Spacing) بين ملفي الارسال والالتقاط .

الشكل التالي يبين فكرة العامل الهندسي .



شكل (5-25) مقطع يبين الوحدات الحلقية حول جهاز الحث وتأثيرها على العامل الهندسي .

يفترض في حساب العامل الهندسي (g) بأن الجسم يحيط الجهاز بصورة متناظرة. يعتمد مقدار درجة التوصيل للاجسام المختلفة المحيطة على موقع هذه الاجسام ودرجة توصيلها بالنسبة لدرجة التوصيل الكلية المقاسة. لو جزءنا المنطقة المحيطة من الطبقة الى منطقة مغزوة وغير مغزوة ، نلاحظ كلما زاد عمق الغزو ، يزيد مقدار العامل الهندسي أي ان معظم الاشارة المسجلة لدرجة التوصيل المقاسة تأتي من المنطقة المغزوة. يبين المخطط البياني شكل (5-26) اعتماد العامل الهندسي على عمق الغزو.

يمكن تبسيط معادلة (5-2) الى : -

$$C_a = C_{x0} G_{x0} + C_t G_t$$

اذا افترضنا أن شكل الغزو سلمي وغير انتقالي والعامل الهندسي قليل جدا بالنسبة للبئر ودرجة توصيل سائل الحفر قليلة جدا نستطيع من هذه المعادلة حساب درجة توصيل الحقيقية للطبقة ، واذا كانت المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة معلومة من مصادر أخرى يمكن حساب المقاومة النوعية الظاهرية التي يسجلها الجهاز.

مثال : -

اذا كانت قيمة المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة تساوي (10) اوم - متر وقيمة (R_{x0}) تساوي (50) اوم - م واذا كان قطر الغزو يساوي (60) انج ، احسب المقاومة النوعية الظاهرية للطبقة (R_a).

الحل : -

باستعمال شكل (5-26) نحصل على قيمة العامل الهندسي (G) يساوي (0.25)

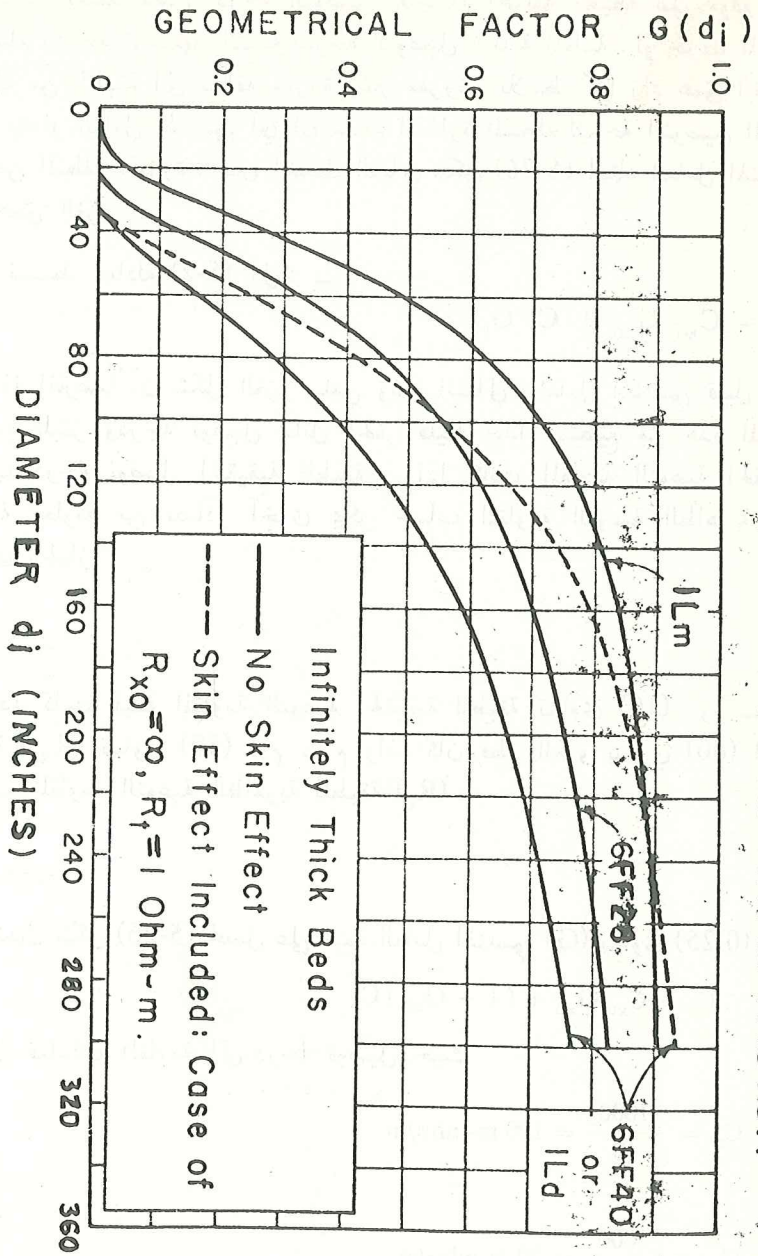
$$\therefore C_a = C_{x0} G_{x0} + (1 - G_{x0}) C_t$$

نحول قياسات المقاومة الى درجة توصيل حيث

$$C_t = \frac{1000}{10} = 100 \text{ m-mho/m}$$

$$C_{x0} = \frac{1000}{50} = 20 \text{ m-mho/m}$$

INTEGRATED RADIAL GEOMETRICAL FACTOR



© 1972 Schlumberger

شكل ب (5-26) يخطط بياني لعلاقة العامل الهندسي بقطر الثقب (يفترض أن الطبقة المبردة سميكة متجانسة ونوع الثقب سطحي) (الشركة شلمبرجر)

$$\therefore C_a = (20) (0.25) + (0.75) (100). \\ = 5 + 75 = 80 = \text{m-mho/m}$$

اذن قيمة المقاومة النوعية الظاهرية للطبقة

$$R_a = \frac{1000}{80} = 12.5 \text{ ohm-m}$$

يتوضح من هذا المثال ان المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة قريبة للمقاومة النوعية الحقيقية للطبقة اذا كان قطر الغزو داخل الطبقة يساوي (60) انج .

اذا استعمل جهاز الحث في الآبار المملوءة بطين ملحي نجد أن قيمة المقاومة النوعية الظاهرية تختلف كثيراً من القيمة الحقيقية . لو اخذنا نفس المثال السابق أي

$$R_t = 10 \text{ ohm-m} , d_i = 60 \text{ in.}$$

ولكن $R_{xo} = 2.0 \text{ ohm-m}$ نجد أن قيمة $R_a = 5.0 \text{ ohm-m}$ اي انها تمثل نصف القيمة الحقيقية ، واذا كان الغزو عميقاً فإن قيمة المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة ستختلف كثيراً عن الحقيقية ، إن يتحسن ، عدم استعمال جهاز الحث في قياس (R_p) في هذه الظروف .

مثال حقلي : -

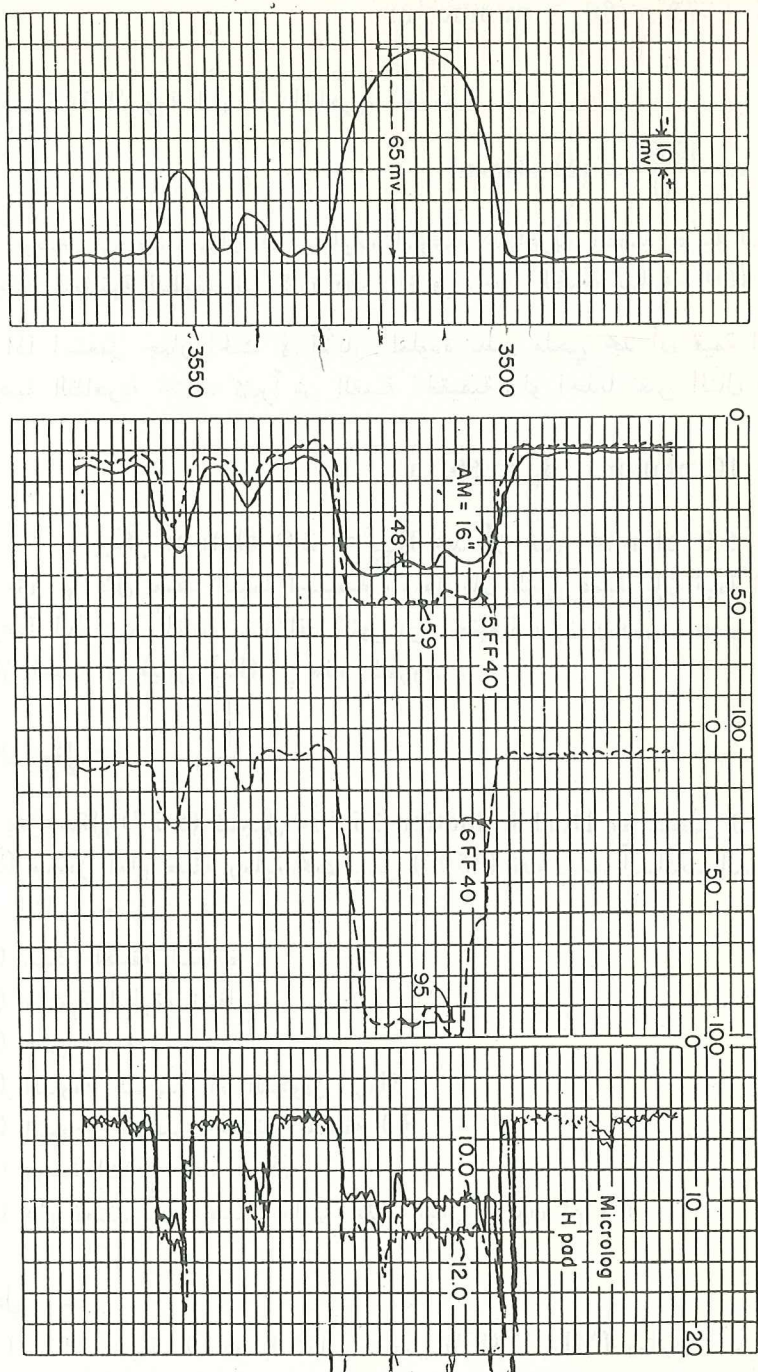
يمثل شكل (27-5) تسجيل "N" Dual induction-16 مع تسجيل (ML) و (SP) مسجل امام طبقة رملية تحت عمق (3500) قدم . من البيانات المسجلة في هذا المثال احسب : -

- (1) سمك الطبقة النفاذة
- (2) مسامية الطبقة النفاذة
- (3) عمق الغزو
- (4) المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w)
- (5) المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة (R_p)
- (6) درجة التشبع بالماء (S_w)
- (7) هل تعتقد بأن الطبقة حاوية على الهيدروكربون ام لا ؟

الحل : -

- (1) سمك الطبقة النفاذة باستعمال تسجيل (SP) و (ML) يساوي : -

$d = 7\frac{7}{8}"$ $t_f = 110^\circ F$ $R_m @ 75^\circ F = 2.7$ $pH = 9.1$ $f.l. = 3.5 \text{ cc}/30 \text{ min.}$ $D_m = 11 \text{ lbs.}$



شكل (5-27) مثال حثي لتسجيل (DL,16N) مع تسجيل (ML) و (SP) سجل امام طبقة نفاذة (شركة شلمرجر)

$$3530 - 3502 = 28 \text{ ft}$$

(2) البيانات المستحصلة من تسجيل (ML)

$$R_{IXI} = 10.0, R_2 = 12.0$$

$$\frac{R_{IXI}}{R_{mc}} = \frac{10.0}{1.7}, \frac{R_2}{R_{mc}} = \frac{12.0}{1.7}$$

باستعمال شكل (4-27) نحصل على : -

$$\frac{R_{x0}}{R_{mc}} = 18, R_{x0} = (1.7)(18) = 30.6$$

للحصول على المسامية (ϕ) نستعمل (شكل 4-28) حيث -

$$\phi = 21.5\%$$

عند افتراض درجة التشبع بالنفط المتبقي (Sor) % Sor = 0

عند افتراض

$$\text{Sor} = 20 \%$$

$$\phi = 26 \%$$

تعتمد القيمة الصحيحة للمسامية فيما اذا كانت الطبقة مشبعة بالماء او الهيدروكربون وتتوقف هذه على حساب (S_w).
(3) تحتاج النسب التالية لحساب قطر الغزو (d_i) :

$$\frac{R_{x0}}{R_{ILd}}, \frac{R_{x0}}{R_{LL8}}$$

$$R_{16''} \rightarrow R_{LL8}$$

بما أن المثال يشمل على تسجيل قديم، فنفرض

فتصبح النسب :

$$\frac{R_{x0}}{R_{ILd}} = \frac{30.6}{95} = 0.322$$

$$\frac{R_{x0}}{R_{LL8}} = \frac{30.6}{48} = 0.63$$

باستعمال المخطط البياني شكل (5-23) نحصل على :

$$\frac{R_{x0}}{R_i} = 0.25 \quad d_i = 50 \text{ in.}$$

او قطر الغزو يساوي (50) انج او (1.27) متر .

$$\frac{R_{x0}}{R_t} = 0.25$$

يعود هذا الجواب لفرع (5) المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة .

(4) نستعمل تسجيل (SP) للحصول على المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w) -
 $SP = (-65 \text{ mv}) = SSP$

(لا نحتاج لتصحيح القراءة لتأثير السمك او المقاومة النوعية) ممكن التأكد من
 صحة الفرضية باستعمال المخطط البياني شكل (3-18) . باستعمال المخطط البياني
 شكل (3-10) . نحصل على : -

$$R_{we} = 0.23$$

يفترض هنا ($R_{mfe} = R_{mf}$)

RW SP	
ROMAID-V	
Parameters	

T BH =	110.0 °F
T SURF =	75.0 °F
TD =	3500.0 Ft
T GRAD =	1.000 °F/ft
RMF =	1.500 OHM ² /M
T RMF =	110.0 °F
Data	

DEPTH =	3500.0 Ft
T FORM =	110.0 °F
-SP =	65.0 MV
Results	

RW =	0.203 OHM ² /M
RW 75 =	0.289 OHM ² /M
NACL =	21.222 K-PPM

المقاومة النوعية لماء التكوين

$$\therefore R_w = 0.3 \text{ ohm-m}$$

استعمل الميكروكومبيوتر لحساب (R_w) والنتائج مبينة على ورقة الطبع

(6) لحساب درجة التشبع بالماء ، نستعمل معادلة (Archie) او المخطط البياني شكل (2-13) . تستعمل القيم التالية في المخطط :

$$F = 11, \quad R_w = 0.3, \quad R_t = 122.4 \quad \therefore \quad S_w = 0.164 \text{ or } 16.4\%$$

(7) بما أن قيمة (s_w) قليلة والمسامية عالية فإن الطبقة تكون حاوية على الهيدروكربون .

مسائل

(1) احسب مقدار المقاومة النوعية المسجلة بجهاز الحث (Induction device) نوع (6FF40 ، 5FF40) .

إذا علمت : -

أ - قطر الغزو داخل الطبقة النفاذة يساوي ($d_i = 10 \text{ d}$)

$$R_t = R_m = 1.0 \text{ ohm-m} , \quad R_{xo} = 10 R_m, \quad d = 8 \text{ in}$$

ب - قطر الغزو داخل الطبقة النفاذة كبير حيث ($d_i = 20 \text{ d}$) .

ج - أي من القياسات (5FF40) او (6FF40) اقرب من المقاومة النوعية الحقيقية للطبقة ؟

(2) صنف الانواع التالية من تسجيل المقاومة النوعية -

IL_d , SFL, short-mormal, IL_m , 6FF40, LL8

أ - تسجيل القياس R_t

ب - تسجيل لقياس R_i او R_{xo}

(3) يسجل تسجيل المقاومة النوعية (IL_d) قراءة للمقاومة النوعية الظاهرية

تساوي (22-ohm-m) في طبقة سمكها (12ft) . ماهي قيمة (R_d) اذا كانت

المقاومة النوعية لطبقة (shale) المجاورة تساوي (2.0 ohm-m) ؟

(4) يسجل تسجيل (IL_m) مقاومة نوعية ظاهرية تساوي (20ohm-m) امام طبقة

معينة في عمق درجة حرارته تساوي (200°F) . اذا علمت أن حجم مثقاب

الحفر (bit-size) يساوي (10.75 in) اي (قطر المثقاب) وبعد الجهاز من

جدار البئر يساوي (1.5 in) والمقاومة النوعية لسائل الحفر تساوي

(1.0 ohm-m) في درجة (75°F) ماهي قيمة المقاومة النوعية المصححة

لتأثير البئر ؟ .

(5) سجلت القياسات التالية بواسطة تسجيل (DIL-SFL) امام تكوين معين :
 $R_{ILD} = 3.0$, $R_{ILm} = 4.0$, $R_{SFL} = 14$

احسب :

(1) قيمة المقاومة النوعية الحقيقية (R_f)

(2) قطر الفزو داخل التكوين

(3) قيمة (R_{x0})

(الجواب من الميكروكومبيوتر)

DIL : RT+DI

Data

 $R_{ID} = 3.000 \text{ QM}^2/\text{M}$
 $R_{IM} = 4.000 \text{ QM}^2/\text{M}$
 $R_{SFL} = 14.000 \text{ QM}^2/\text{M}$

Results

 $RT = 2.693 \text{ QM}^2/\text{M}$
 $DI = 45.8 \text{ ins}$
 $R_{X0}/RT = 7.1$

(6) في المثال الحفلي شكل (5-28) الذي يشمل على تسجيل (IES) ، حدد المناطق المؤشرة اذا كانت حاوية على هيدروكربونات او الماء وذلك بحساب :

(1) قيمة المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w) .

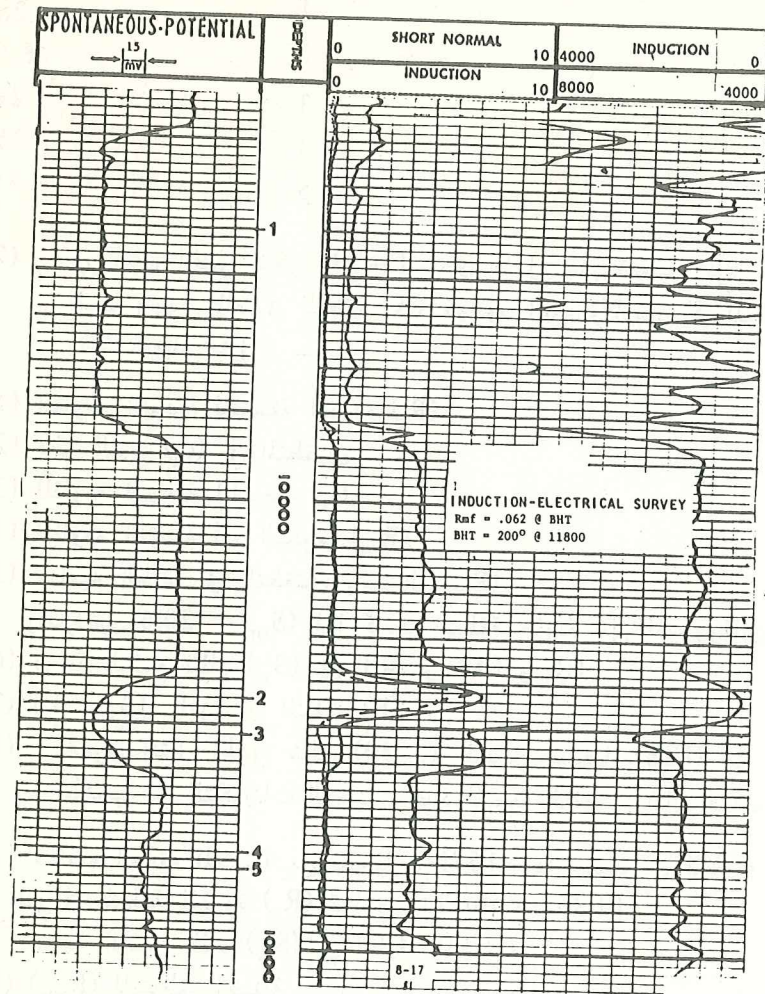
(2) مقدار المقاومة النوعية الظاهرية لماء التكوين (R_{wa}) اذا علمت : -

$$R_{wa} = (R_t/F)$$

تساوي هذه القيمة (R_w) القيمة الحقيقية اذا كانت المنطقة او الطبقة مشبعة

بالماء وتكون اكبر من R_w في المناطق الحاوية على الهيدروكربون

$$(R_{wa} \geq 3R_w)$$



شكل (5-28) مثال حقلي لتسجيل (IES) امام طبقات النفادة

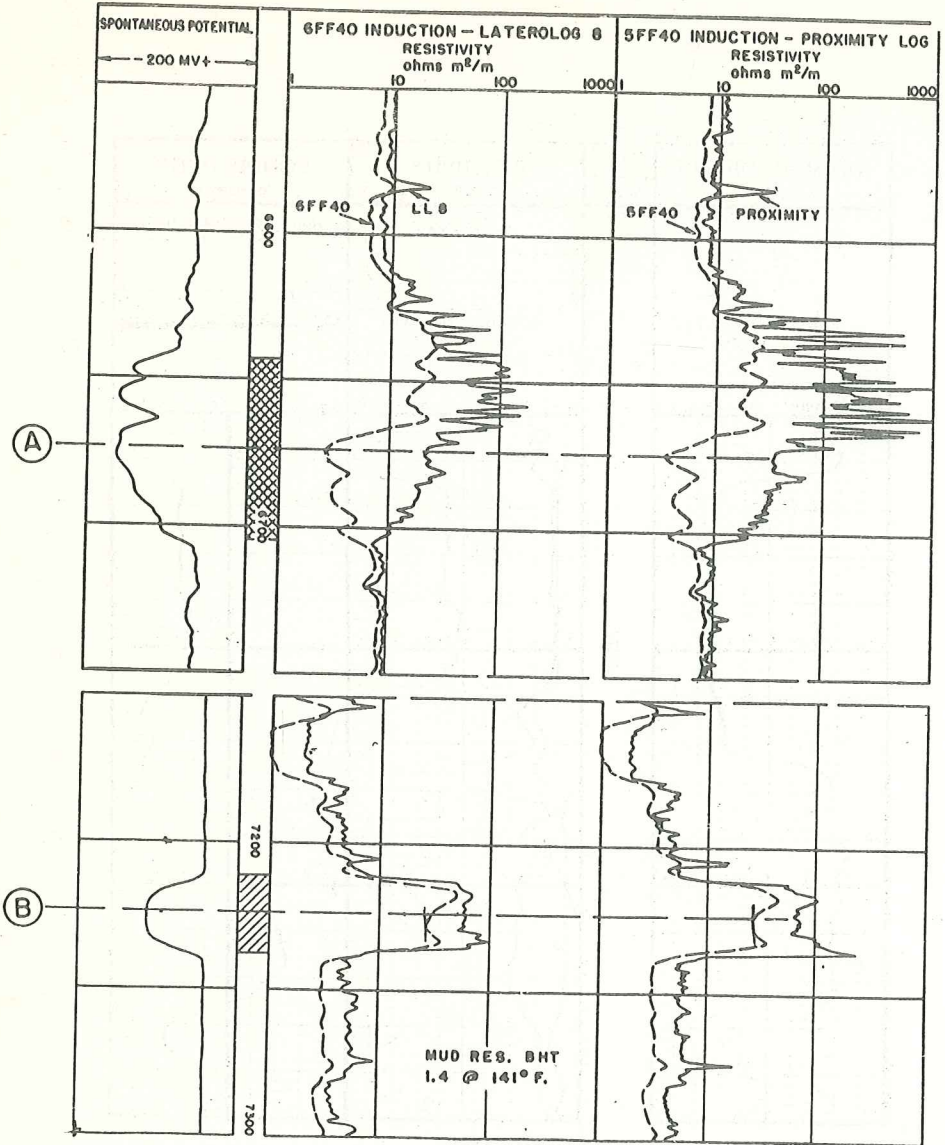
رقم المنطقة	المسامية (ϕ) (%)	قيم المسامية للمناطق المؤشرة
1	28	
2	6.5	
3	24	
4	18	
5	21	

(7) في المثال الحقل شكل (5-29) الذي يشمل على تسجيل نوع (DIL) ، اثبت وجود الماء في المنطقة (A) ووجود الهيدروكربون في المنطقة (B) وذلك بايجاد مايلي : -

- (1) المقاومة النوعية للمنطقة المغزوة (R_p)
- (2) قطر الغزو (d_p) في المنطقتين
- (3) المقاومة النوعية الحقيقية (R_p)
- (4) المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w)
- (5) مسامية الطبقة في المنطقتين باستعمال (PL)
- وافترض ($S_{or} = 20\%$) اذا كانت المنطقة حاوية على الهيدروكربون .
- (6) درجة التشبع بالماء (S_w) في المنطقتين (A) و (B)
- (7) نوع بروفييل الغزو في المنطقة (B)
- (8) يحتوي المثال الحقل شكل (5-30) المتضمن تسجيل (IES) على طبقات مكمنية من التكوينات الرملية . حدد المنطقة النفطية وذلك بحساب : -

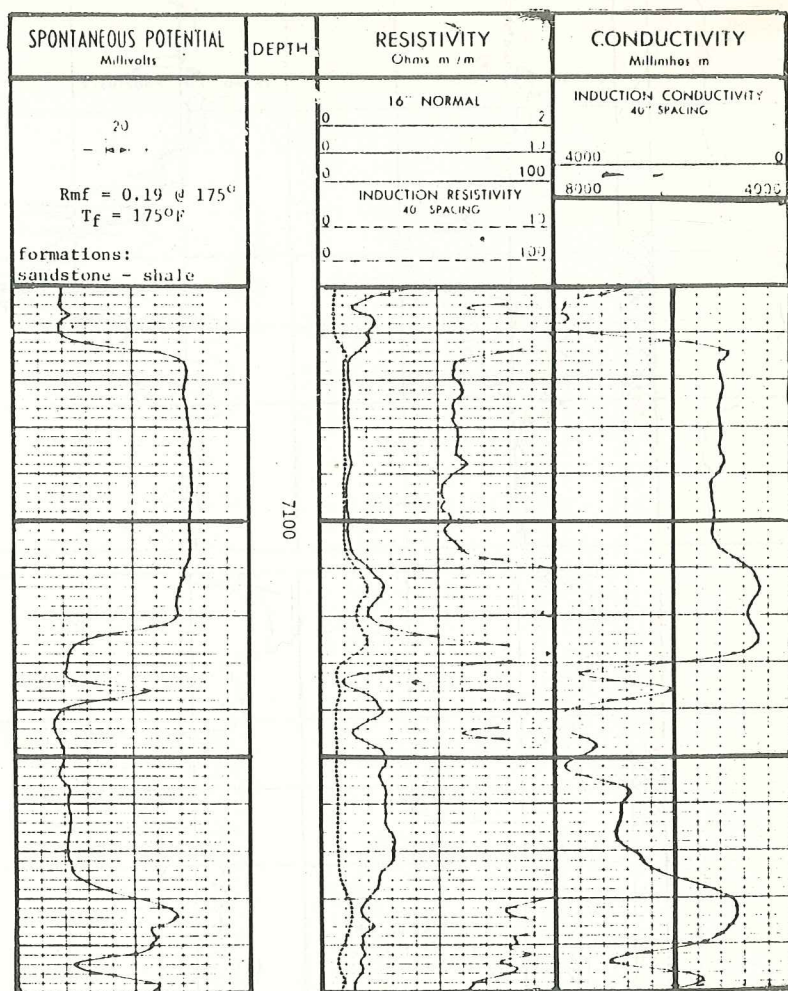
- (1) مسامية الطبقة المكمنية من تسجيل (16"N) اذا علمت ان المقاومة النوعية للسائل في المنطقة المغزوة (R_z) تساوي (0.252 ohm-m) .
- (2) درجة التشبع بالماء (S_w) في الطبقة المكمنية
- (3) (R_{wa}) للمناطق المختلفة
- (4) سمك المنطقة النفطية
- (5) اذا كان توزيع الآبار مبني على المسافة (Spacing) تساوي (40-acre) احسب حجم الهيدروكربون داخل المكن لكل وحدة مساحة من التصريف .

- (9) يمثل شكل (5-6) تسجيل (IES) امام طبقات نفاذة رملية . اذا علمت ان مسامية الطبقات النفاذة تساوي (32%) ، احسب
- (1) درجة التشبع بالماء بطريقة (R_{wa}) للمناطق المختلفة



شكل (29-5) مثال لتسجيل (DIL) امام طبقات نفاذة
(لشركة شلمير)

- (2) درجة التشبع بالماء بطريقة (Archie) للمناطق المختلفة
- (3) اي المناطق تعتبر منتجة للهيدروكربون واي المناطق تعتبر مائية ؟



شكل (5-30) مثال لتسجيل (IES) امام طبقات نفاذة
(لشركة شلمبر)

(10) يمثل شكل (5-31) تسجيل (DIL) امام طبقات نفاذة لها اعماق مختلفة من الغزو (depth of invasion) ، احسب -

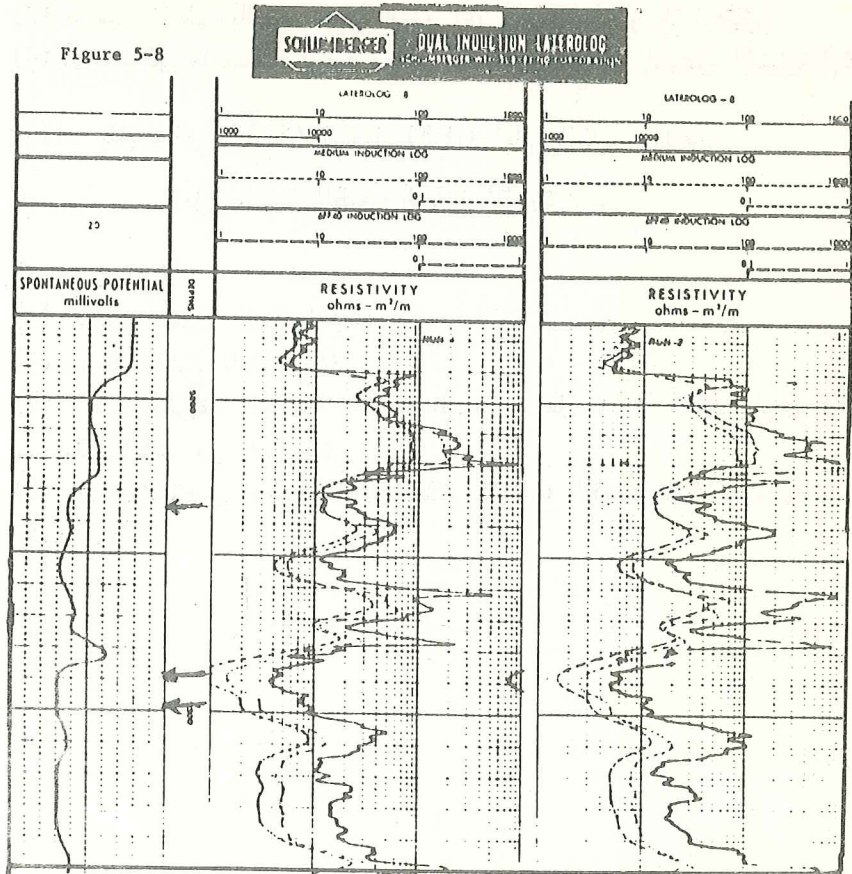
- (1) قطر الغزو (d_i) للمناطق المؤشرة
- (2) المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) لكل من المناطق المؤشرة
- (3) صنف المناطق بالنسبة لعمق الغزو اي (ضحل ، متوسط ، عمق)
- (4) اي المناطق لها مقاومة نوعية من (IL_p) تساوي المقاومة النوعية الحقيقية (R_p)

(11) يمثل شكل (5-32) تسجيل (IES) امام طبقات رملية .

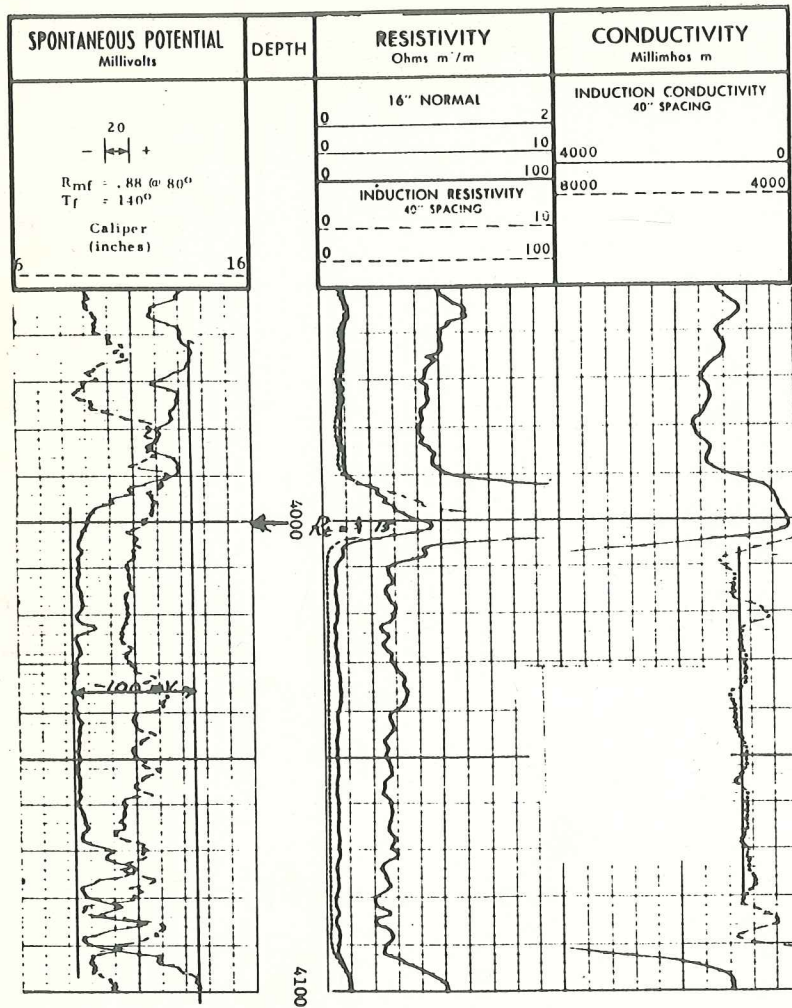
احسب مايلي بالنسبة للطبقة النفاذة المؤشرة : -

- (1) قيعة (R_w)
- (2) مسامية الطبقة المكنية (ϕ)
- (3) درجة التشبع بالماء (S_w)
- (4) ماهي الطريقة المستعملة لحساب المسامية ؟ هل هناك طرق أخرى وكيف تستعملها للتأكد من المسامية ؟
- (5) هل في التسجيل توجد منطقة لها نفس الصفات المكنية المنطقة المؤشرة ولكنها مشبعة بالماء ؟

Figure 5-8



شكل (5-31) مثال لتسجيل (DIL) امام طبقات نفاذة
(لشركة شلمبرجر)



شكل (5-32) مثال حقلي لتسجيل (IES) امام طبقات نفاذة

أجهزة قياس المقاومة النوعية الموجهة

نوع (3) Laterolg

صمم هذا النوع من الجهاز لقياس المقاومة النوعية الموجهة من قبل كونراد شلمبرجر في سنة (1927) واستعمل لأول مرة في العالم في حقل (Pechelbronn) في باريس. ترك هذا النوع من الجهاز لفترة زمنية واعيد تصميمه بشكل احسن سنة (1950). تختلف هذه الاجهزة من اجهزة قياس المقاومة النوعية المألوفة (conventional resistivity devices) من حيث ان القياسات لا تتأثر بدرجة كبيرة بسائل الحفر أو بالطبقات المجاورة. يكون التيار المتنقل داخل الطبقات موجها بصورة افقية وبصورة اوتوماتيكية. تستطيع هذه الاجهزة من قياس المقاومة النوعية في الآبار التي فيها طبقات ذات مقاومة عالية مثل الطبقات الكلسية الكثيفة أو الطبقات الملحية أو الانهيدريت كما في بلدان مختلفة منتجة للبترول أو آبار فيها طين ملحي في حين ان الاجهزة القديمة لا تستطيع من قياس المقاومة النوعية الحقيقية للطبقات في هذه الظروف وايضاً اجهزة قياس المقاومة عن طريق الحث الكهربائي لا تستطيع ان تعطي نتائج جيدة تحت هذه الظروف (R_t/R_m) عالية او (R_t/R_s) عالية).

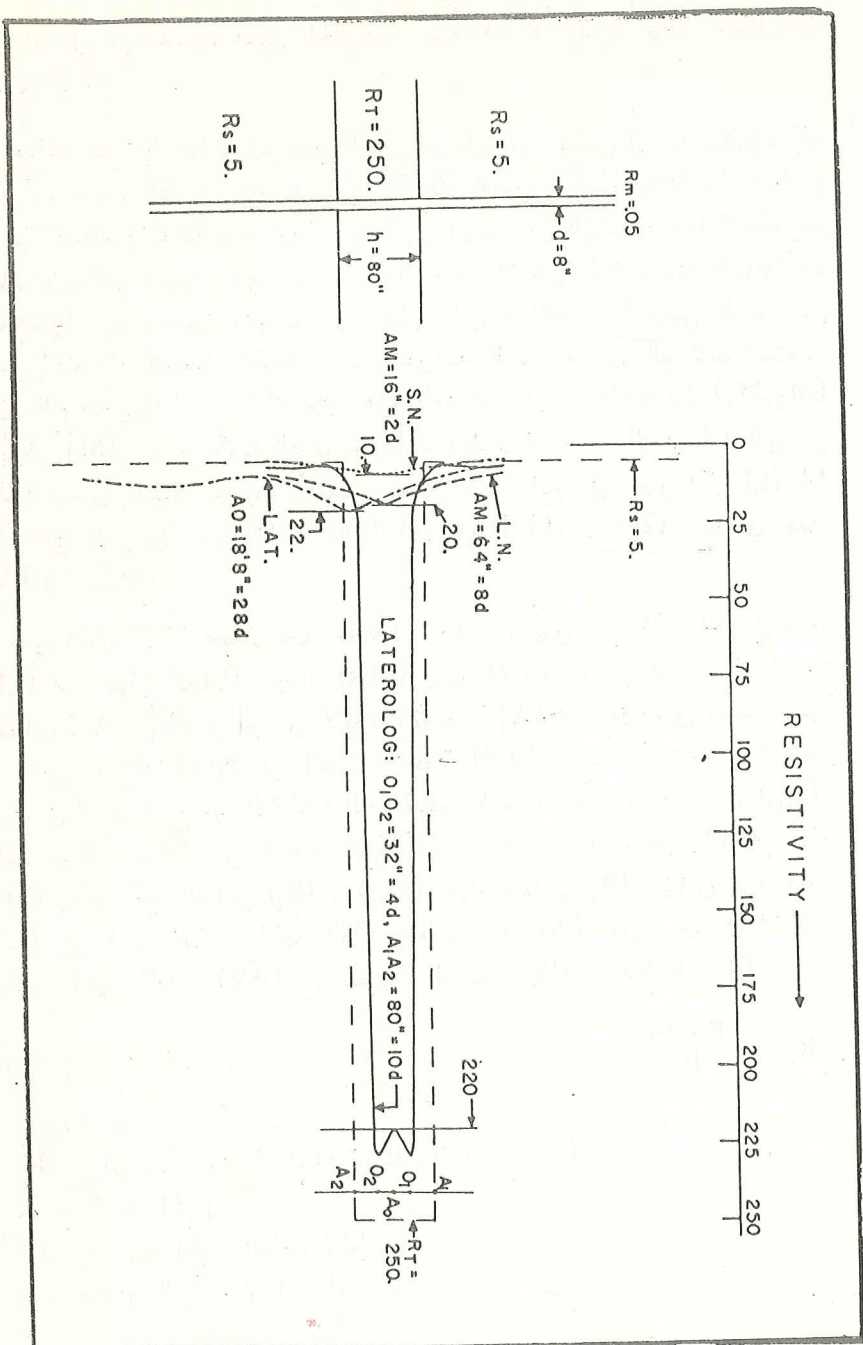
ولهذه الاجهزة ايضاً فائدة أخرى وهي تحديد الطبقات الرقيقة. صممت هذه الاجهزة بالاصل للاستعمال في الآبار التي تحتوي على طين ملحي .

بعض الاجهزة متخصصة لقياس المقاومة النوعية العميقة داخل الطبقات أو ما يسمى بـ (R_t -tools) وهي تشمل على انواع من LL7 (laterolog 7) ، LL3 ، LLd الذي يستعمل مع اجهزة (Dual laterolog DLL) . اما الاجهزة التي تقيس المقاومة النوعية الضحلة أو المتوسطة العمق فهي تشمل على LL8 (Laterolog 8) الذي يستعمل مع جهاز (DIL) و LLLs (Laterolog shallow) والذي يستعمل مع جهاز DLL (Dual Laterolog) و Spherically Focused log SFL الذي يستعمل مع جهاز ISF و sonic . اذن تعتبر هذه الاجهزة متخصصة لقياس (R_p) او المقاومة النوعية للمنطقة المغزوة من الطبقات النفاذة . تمثل الارقام المستعملة لنوع الجهاز تمثل عدد الاقطاب الكهربائية المستعملة في القياس . يبين الشكل التالي تسجيل المقاومة النوعية في المختبر لطبقة سمكها (80) انج ولها مقاومة نوعية تساوي (250 ohm-m) ومحاطة بطبقتين لها مقاومة نوعية تساوي (5 ohm-m) وتحيط هذه الطبقات بئر مملوء بسائل له مقاومة نوعية واطئة جداً (0.05 ohm-m) تشمل الاجهزة المستعملة للقياس (LL7) واجهزة قياس المقاومة المألوفة للمقارنة . نجد من هذا المخطط ان جهاز المقاومة الموجة (focused) يسجل قراءة تساوي (220 ohm-m) اي قريبة للمقاومة النوعية الحقيقية (R_p) بينما تسجل اجهزة قياس المقاومة المألوفة اقصى قراءة للمقاومة تساوي (22 ohm-m) .

اي انها بعيدة جداً من القيمة الحقيقية ، لهذا لاتستعمل اجهزة قياس المقاومة المألوفة حالياً في مسح الآبار البترولية وانما تستعمل الاجهزة الموجهة الحديثة .

مبدأ القياس ^(١)

طريقة قياس المقاومة النوعية للطبقات متشابهة في الانواع المختلفة من الاجهزة المذكورة لذلك نكتفي باعطاء فكرة مختصرة لجهاز (LL7) يحتوي هذا الجهاز على سبعة اقطاب كهربائية ، ثلاثة اقطاب يرسل منها التيار واربعة اقطاب تستعمل لقياس الجهد . يبين شكل (2-6) توزيع هذه الاقطاب في جهاز (LL7) ، وايضاً يبين توزيع الاقطاب في جهاز (LL3) و (SFL) . الاقطاب المرسلة للتيار (A_2 ، A_1) موضوعة بشكل متناظر مع قطب التيار (A_0) ، وايضاً اقطاب الجهد (M_2 ، M_1) و (M_1^1 ، M_2^1) موضوعة على جهتي قطب التيار A_0 بمسافات متساوية . ان التيار المرسل من القطب (A_0) ينتقل داخل الطبقة بصورة افقية ويمتد سمك المنطقة هذه من M_1 الى M_2 اي المسافة بين اقطاب الجهد الخارجية . اما



شكل (6-1) مخطط للمقاومة النوعية المسجل بواسطة الأجهزة الموجبة نوع (ILI 7) والأجهزة المألوفة القديمة
(النسبة شلمبرجر)

التيار المرسل من اقطاب التيار الخارجية ، ينحرف نحو الاعلى ونحو الاسفل كما مبين في الشكل .

اهداف هذه الاقطاب هو منع التيار المرسل من القطب (A_0) بالاتجاه نحو الاعلى أو اسفل الطبقة . نجد في شكل (2-6) يحتوي جهاز (LL3) على اقطاب خارجية طويلة والمهدف منها ايضاً منع التيار المرسل من القطب (A_0) للاتجاه نحو الاعلى أو اسفل الطبقة . وسميت هذه الانواع من الاجهزة (electrode devices guarded) اي تستعمل اقطاب تقوم بمقام الحراسة للقطب الرئيسي الذي يقوم بقياس المقاومة النوعية للطبقة . اذن لتوجيه التيار داخل الطبقات تستعمل اقطاب التوجيه مثل (A_2, A_1) تسيطر هذه الاقطاب على فرق الجهد بين (M_2, M_1) و (M_2^1, M_1^1) بحيث يكون الفرق في الجهد يساوي (C) . سمك المنطقة التي من خلالها ينتقل التيار بصورة أفقية يساوي (32) انج في جهاز (LL 7) M (12) انج في جهاز (LL3) و (14) انج في (LL8) و (24) انج في جهاز (LLd) و (LLs) .

يبين شكل (3-6) مخطط لجهاز (LLs , LLd) ، عمق الاستطلاع اقل في جهاز (LLs) من جهاز (LLd) وجهاز (LLs) يشبه (LL7) ولكن التيار المرسل من الاقطاب (A_1, A_1^1) يرجع الى الاقطاب (A_2 و A_2^1) مما يجعل عمق البحث قليل اي ضمن المنطقة المفزوة من الطبقة . جهاز (LLd) ايضاً يشبه (LL7) ولكن الفرق في اضافة زوج من الاقطاب الموجهة على طرفي القطب المرسل للتيار (A_0) . تساعد هذه الاضافة على توجيه التيار الى مسافات اكبر داخل الطبقة . اذن (LL_d) يعتبر جهاز لقياس (R_p) و (LL_s) جهاز لقياس (R_p) . يقاس فرق الجهد (ΔV) بين احد اقطاب الجهد (M) وقطب آخر (N) غير مبين في الشكل يتناسب الجهد المقاس (ΔV) مع المقاومة النوعية الظاهرية للطبقة (R_a) -

$$R_a = \frac{K (\Delta V)}{(i)} \quad \dots (6-1)$$

حيث :

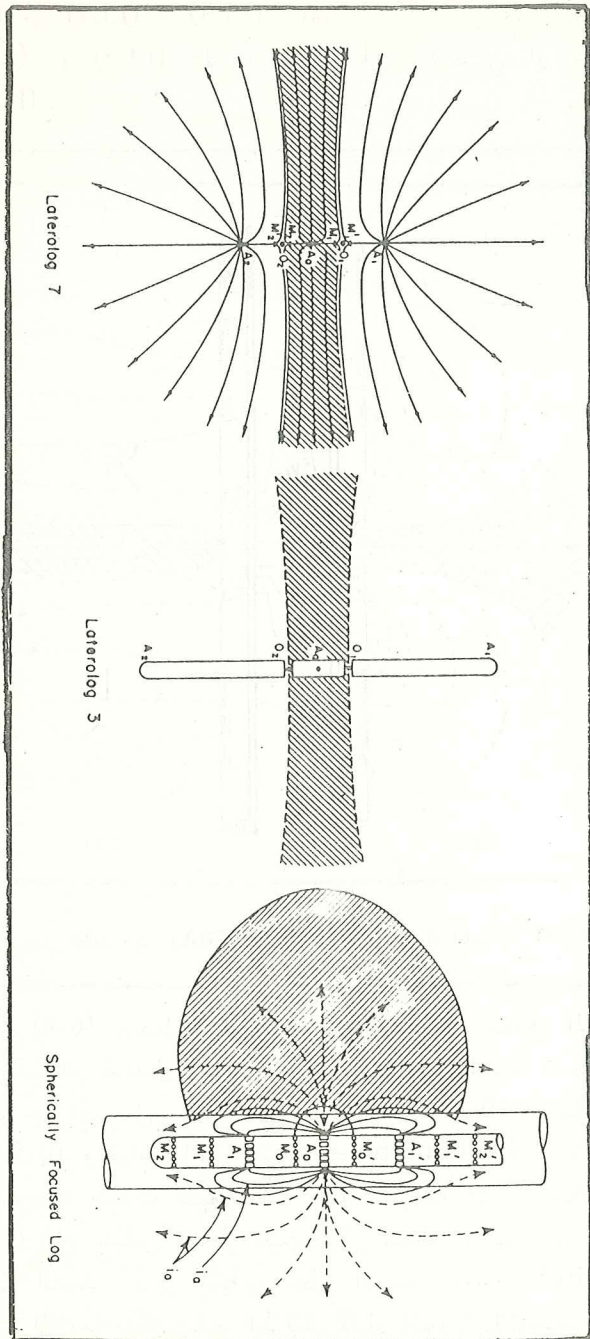
R_a - المقاومة النوعية الظاهرية للطبقة (اوم-سم)

K - ثابت الجهاز

ΔV - فرق الجهد المقاس (فولت)

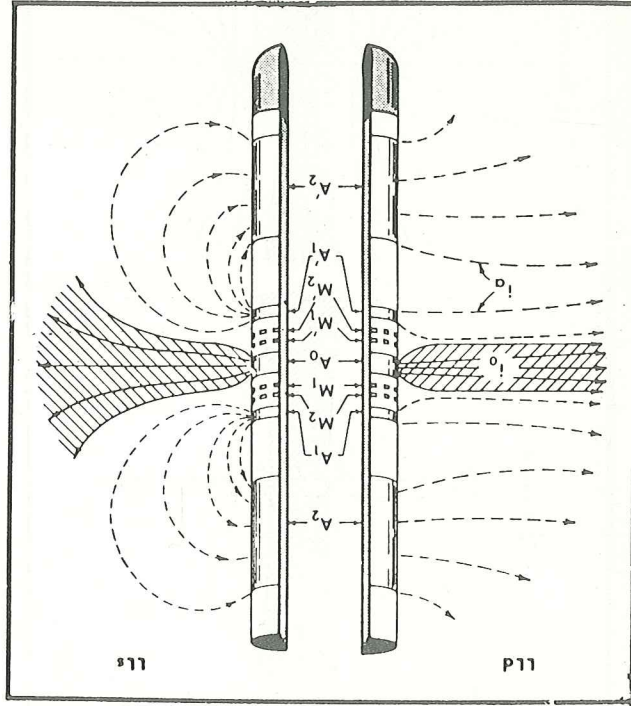
i - مقدار التيار المرسل (امبير)

يساوي عمق الاستطلاع لجهاز (LL7) (10) قدم و (15) قدم لجهاز (LL3) . تكون هذه المسافة في اغلب الحالات خارج النقطة المفزوة من الطبقات اي تستطيع



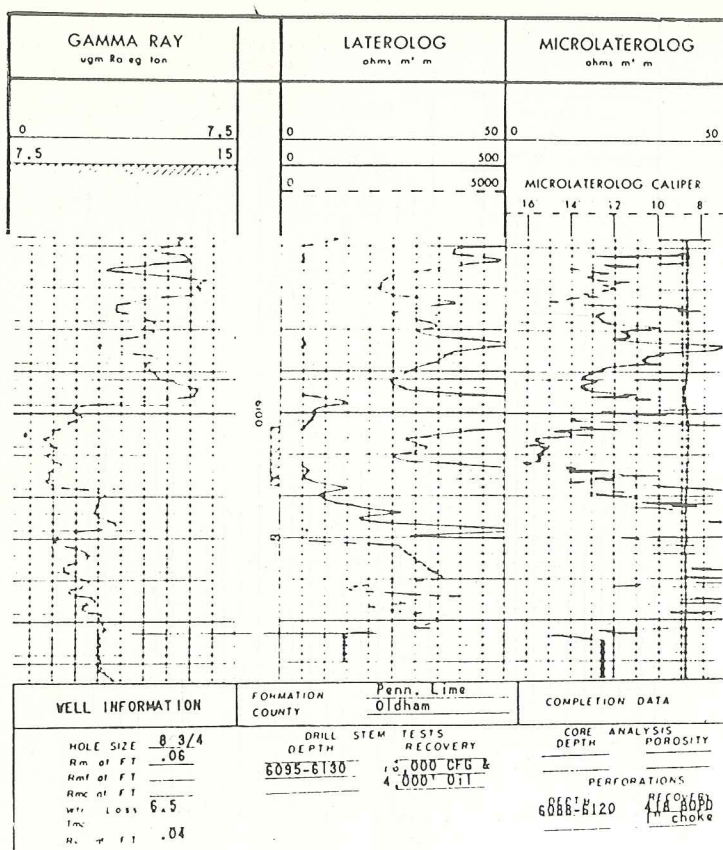
شكل (6-2) رسم مخطط لأجهزة قياس المقاومة النوعية الموجبة نوع (LL3) ، (LL7) ، (SFL)
(شركة شلمبرجير)

هذه الاجهزة من قياس (R_p) المقاومة النوعية الحقيقية للطبقات . عمق الاستطلاع لجهاز (LLd) من (LL7) و (LL3) ، اي () يتأثر قليلا بالغزو . يسجل تخطيط (LL7) او (LL3) على مقياس خطي ، لوغريتمي او مقياس مختلط (hybrid-scale) .



شكل (6-3) رسم مخطط لجهاز (DLL) لقياس المقاومة النوعية للطبقات (لشركة شلمبرجر)

يبين شكل (6-4) تسجيل (LL7) مع (MLL) اي تسجيل المقاومة النوعية الموجهة الدقيقة ومع تسجيل اشعة كاما امام طبقة مكمنية كلسية حاوية على النفط ، المقياس المستعمل خطي من (0-50 ohm-m) ومقياس آخر من (0-500-ohm-m) ومقياس اصغر من (0-5000-ohm-m) . تستعمل المقاييس الصغيرة عند وجود طبقات كثيفة ذات مقاومة نوعية عالية . شكل (6-5) يمثل تسجيل (LL3) على مقياس مختلط حيث يمثل النصف الايسر من المقياس خطي للمقاومة ويمثل النصف الايمن مقياس خطي لدرجة التوصيل (Conductivity) ممثلة بوحدات المقاومة يمكن بهذه الطريقة تمثيل المقاومة النوعية للطبقات ذات المقاومة العالية والواطئة .

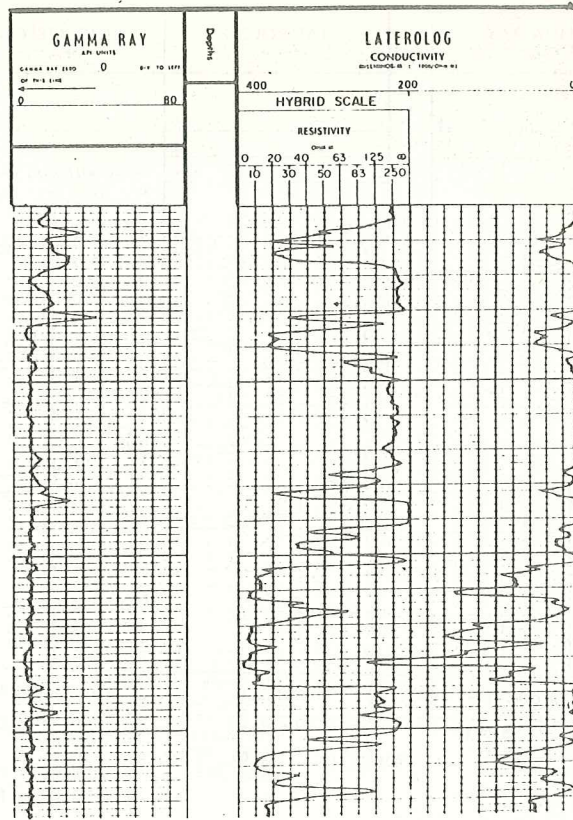


شكل (6-4) مثال حقلي لتسجيل (LL7) على مقياس خطي

يمثل شكل (6-6) تسجيل (DLL) على مقياس لوغريتمي وهو المقياس المستعمل حالياً.

تأثير البئر والغزو واختلاف السمك على القياسات⁽⁵⁾

الاجهزة- التي تقيس المقاومة النوعية في المناطق المجاورة للبئر مثل (LL8) أو (SFL) أو (LLs) تتأثر أكثر بالمقاومة النوعية لسائل الحفر من الاجهزة التي تقيس المقاومة النوعية العميقة مثل (LLd) أو (LL3) و (LL7). يمثل شكل (6-7) مخطط بياني لتصحيح قراءات (LL8) لتأثير البئر. يبين شكل (6-8) مخطط بياني لتصحيح قراءات (SFL) لتأثير البئر.



شكل (6-5) مثال حقل لتسجيل (LL3) على مقياس مختلط

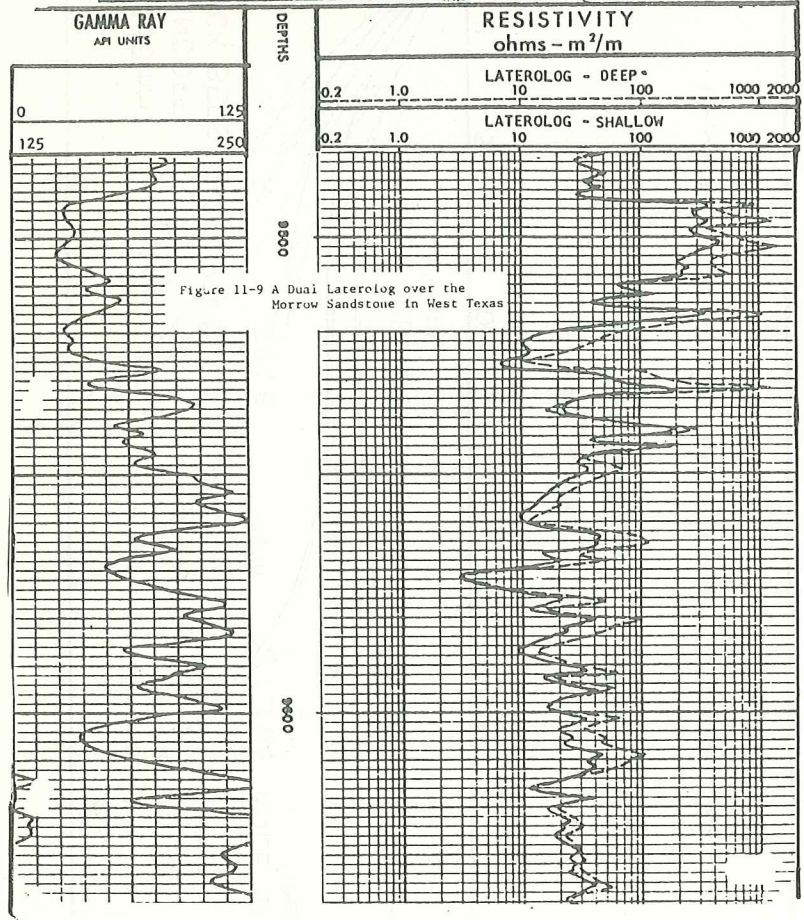
يبين شكل (6-9) مخطط بياني لتصحيح قراءات (LLd) (الاعلى) و (LLs) (الاسفل) لتأثير البئر. لا تتأثر تسجيلات المقاومة الموجهة بالنسبة لاختلافات السمك اذا كان سمك الطبقات اكثر من (10) قدم.

وحتى في حالات السمك القليل اذا لم يكن هناك تباين كبير بين المقاومة النوعية للطبقة المقاسة والمجاورة، اما اذا كان هناك تباين كبير في المقاومة بين الطبقات المجاورة والمقاسة فان القراءات تتأثر بمقاومة الطبقات المجاورة، في هذه الحالات القراءات تكون مشكوكه ويجب اهمالها.

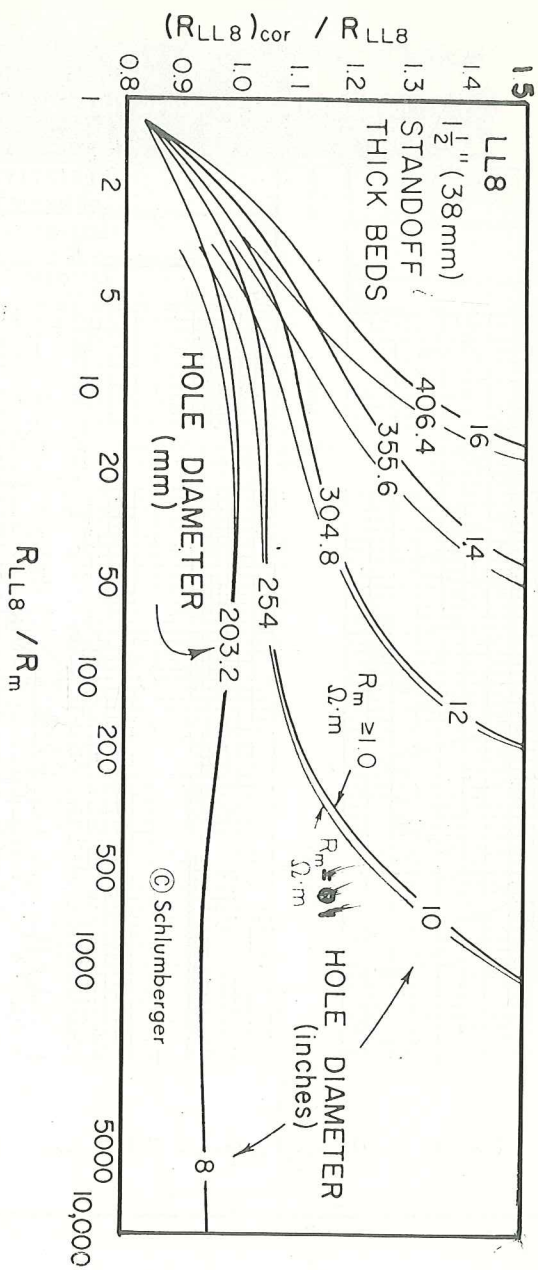
يستعمل المخطط البياني شكل (6-10) لتصحيح القراءات لتأثير الغزو لاستعمال هذا المخطط البياني نحتاج قياس (R_{xo}) من تسجيل (MLL) او (MSFL) او

Schlumberger

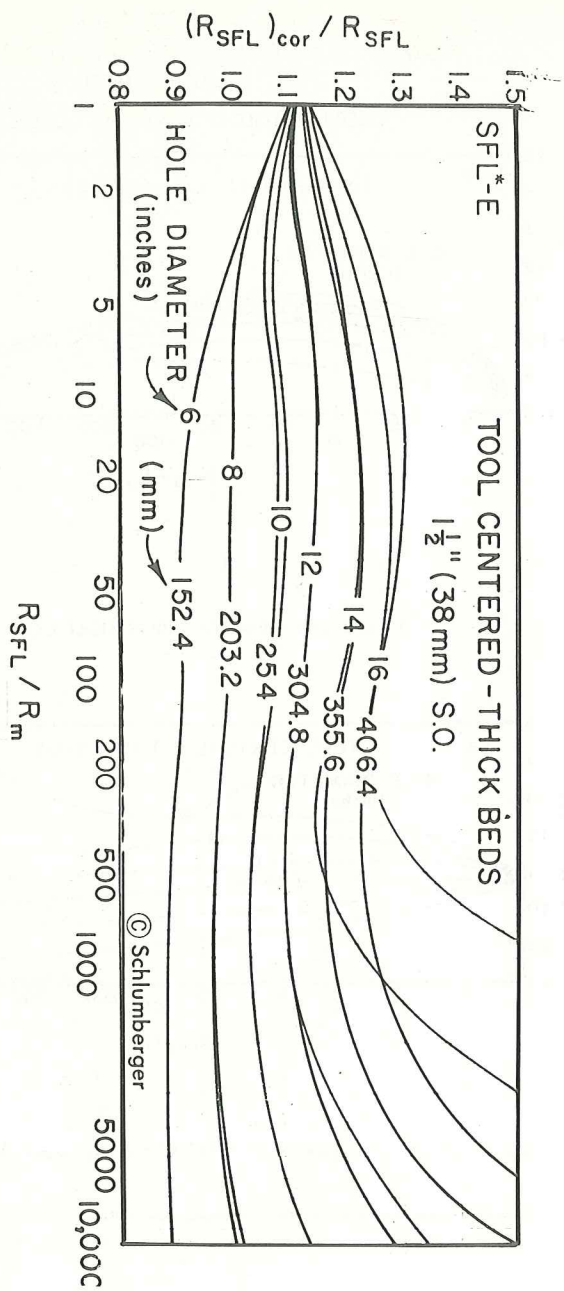
DUAL - LATEROLOG



شكل (6-6) مثال لتسجيل (DLL) على مقياس لوغريتي (شركة شلمبرجر)



شكل (6-7) مخطط بياني لتصحيح قراءات (LL8) الناتج بحجم البئر (الشركة Schlumberger)

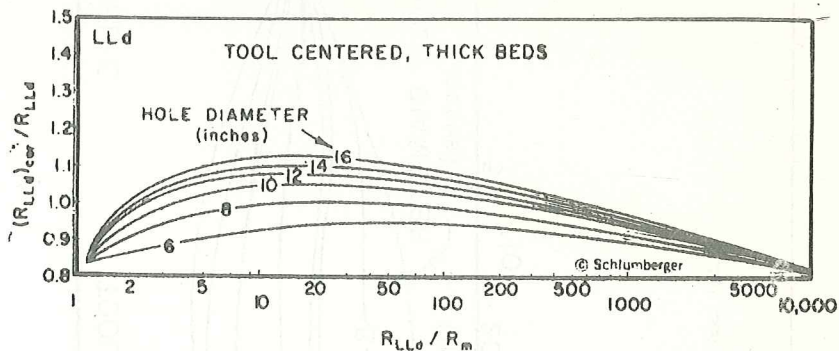


شكل (6-8) غطط بياني لتصحيح قراءات (SFL) الناتج بحجم البئر
(شركة شلمبرجر)

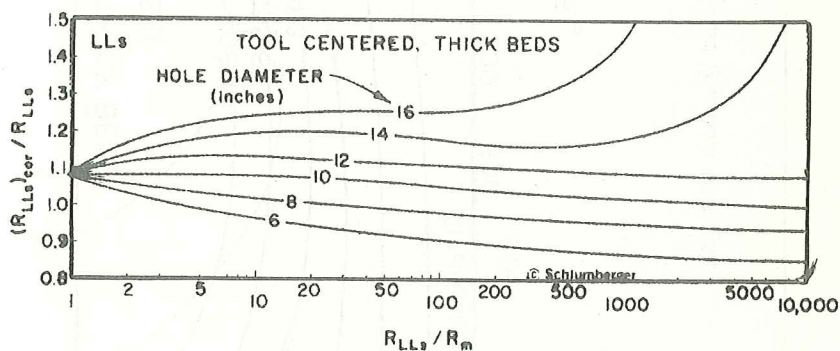
DUAL LATEROLOG* CORRECTION CHARTS

SONDE CENTERED

DEEP LATEROLOG* BOREHOLE CORRECTION



SHALLOW LATEROLOG BOREHOLE CORRECTION



شكل (6-9) مخطط بياني لتصحيح قراءات (DLL) المتك بحجم البئر (شركة شلمبرجر)

(PL) وقياس المقاومة النوعية الموجهة (R_{LLd}) و (R_{LLs}). نستطيع بعد استعمال المخطط البياني شكل (6-10) للحصول على (R_p) وقطر الغزو (d_i) داخل الطبقات .

يمكن استعمال المعادلة التالية لحساب (R_p) من المقاومة النوعية الظاهرية (R_a) المتأثر بالغزو -

$$R_a = R_{x0} J(d_i) + R_t [1 - J(d_i)] \quad \dots (6-2)$$

حيث $J(d_i)$ يمثل العامل الهندسي لجهاز (LL) وهو يشبه بالعامل الهندسي لجهاز الحث الكهربائي ويعتمد على عمق الغزو . يمثل شكل (6-11) مخطط بياني لقيمة (J) مع (d_i) عمق الغزو .

مثال : -

سجلت القياسات التالية من تسجيل (DLL) امام طبقة نفاذة :

$$R_{LLd} = 15 \text{ (ohm-m)}, R_{LLs} = 9 \text{ (ohm-m)}$$

$$R_{x0} = 2.0 \text{ (ohm-m)} .$$

احسب قيمة (R_p) وقطر الغزو (d_i) داخل الطبقة النفاذة .

الحل : -

$$R_{LLd} / R_{x0} = 15/2 = 7.5$$

$$R_{LLd} / R_{LLs} = 15/9 = 1.67$$

باستعمال شكل (6-10) نجد

$$R_t/R_{LLd} = 1.3 , d_i = 30 \text{ in.}$$

$$..R_t = 19.5 \text{ (ohm-m)}$$

مثال : -

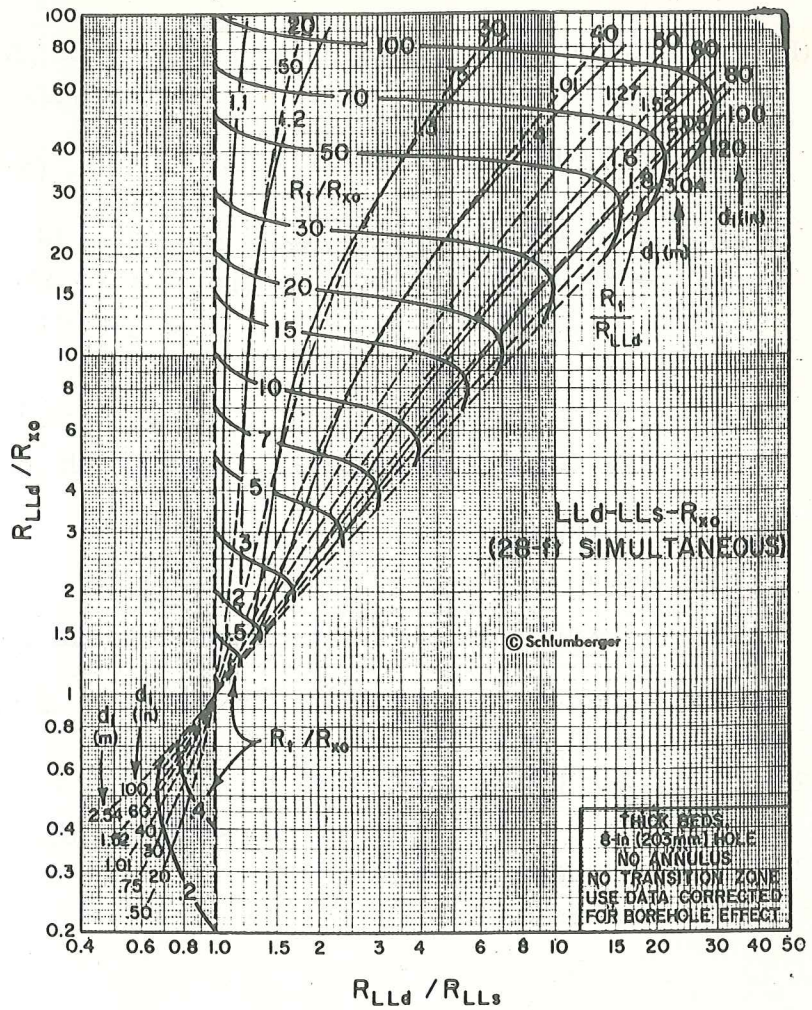
سجلت القياسات التالية من تسجيل (DLL) امام طبقة رملية نفاذة في عمق

(2000) قدم : -

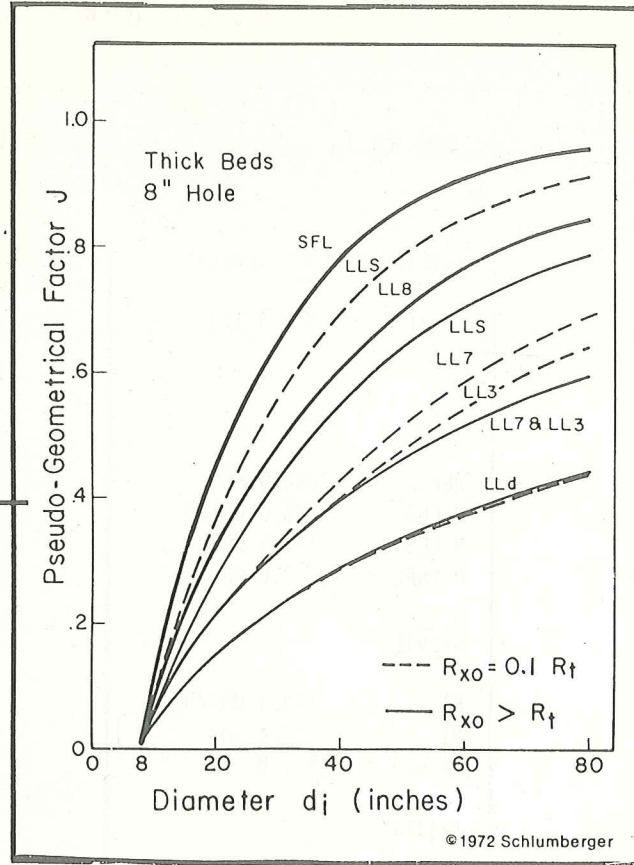
$$R_{LLd} = 33.0 \text{ (ohm-m)} \quad R_{LLs} = 11.0 \text{ (ohm-m)}$$

$$R_{MSFL} = 3.0 \text{ (ohm-m)}$$

احسب قيمة (R_p) وقطر الغزو (d_i) داخل الطبقة الرملية النفاذة . افرض



شكل (6-10) مخطط بياني لتصحيح قراءات (LLd) المتأثر بالفزو (لشركة شلمبرجر)



شكل (6-11) غطط بياني يبين علاقة (J) العامل الهندسي بعمق الغزو (d_i) لشركة شلمبرجر

قراءة ($R_{xo} = R_{MSFL}$) اذا كانت مسامية الطبقة تساوي (15%) ، ماهي المقاومة النوعية الظاهرية (R_{wa}) لماء التكوين؟

الحل :

نتائج الحسابات مبينة على ورقة الطبع بواسطة الميكروكومبيوتر .

DLL: RT+DI

Data

DEPTH = 2000.0 Ft
R LLD = 33.0 QM²/M
R LLS = 11.0 QM²/M
R MSFL = 3.0 QM²/M

Results

RT = 45.3 QM²/M
DI = 38.6 ins
RT/RXO = 15.110

RWA

Data

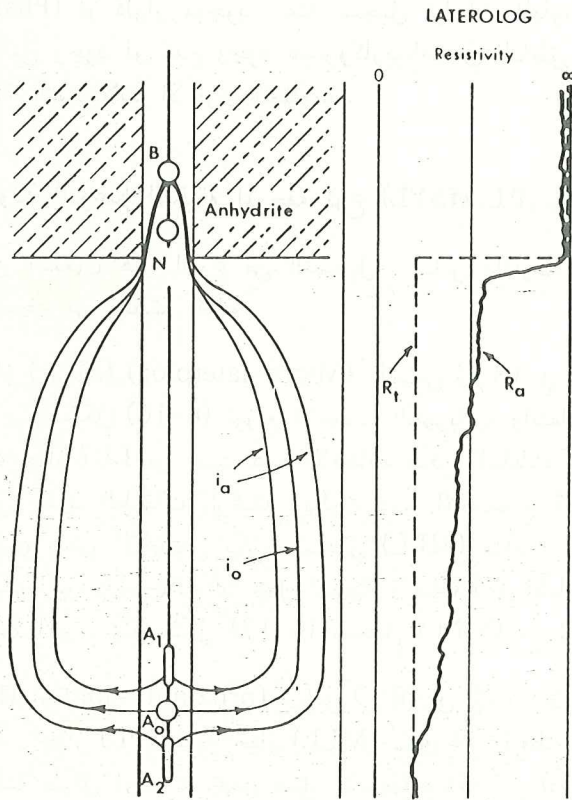
DEPTH = 2000.0 Ft
PHI = 15.5 %
RT = 45.300 QM²/M

Results

RWA 1 = 1.088 QM²/M
RWA 2 = 1.344 QM²/M
RWA 3 = 1.327 QM²/M

تأثير دلوar على قياسات المقاومة النوعية لاجهزة (LL)⁽⁵⁾
(Delaware effect)

ظهر هذا التأثير في منطقة حوض دلوar (Delaware-basin) في غرب تكساس وايضا في بعض المناطق من بحر الشمال على تسجيل (LL) وكانت الطبقات المستطلعة او المسجلة تقع تحت طبقات كثيفة ذات مقاومة نوعية عالية مثل الانهيدرايت . يبين شكل (6-12) هذا التأثير عند التسجيل حيث تظهر الطبقات النفاذة حاوية على الهيدروكربون . ان سبب هذه الظاهرة هو المقاومة العالية التي تلاقىها التيارات القادمة من اقطاب الارسال عند مرورها بمنطقة المقاومة العالية للطبقات المجاورة مما تسبب ظهور مقاومة عالية على التسجيل . تأثير الدلوar قليل على الاجهزة الحديثة مثل (DLL) .



شكل (6-12) تأثير دلوar على تسجيل المقاومة النوعية (LL3)
(لشركة شلمبرجر)

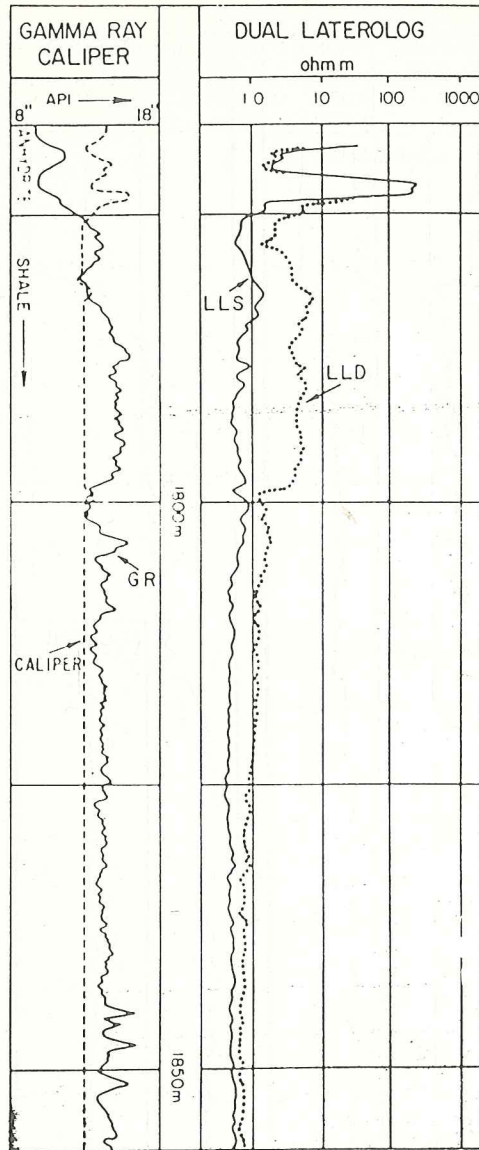
لكن ظهر التأثير على الاجهزة الحديثة ايضا كما في حقول بحر الشمال ، وسمي التأثير فانتوم (Phantom) . لوحظ التأثير (فانتوم) على شكل تدرج في المقاومة المسجلة مباشرة تحت الطبقات ذات المقاومة العالية جدا . الامثلة التالية شكل (6-13) (6-14) تبين حالتين . شكل (6-13) يمثل تأثير (Phantom) في احد آبار بحر الشمال حيث نلاحظ الانفصال الدال على وجود طبقة مكمنية حاوية على الهيدروكربون بينما الطبقة المعينة تتكون من الطفل . يمثل شكل (6-14) هذا التأثير امام طبقة رملية . تدل حسابات درجة التشبع بالماء امام هذه الطبقة على وجود هيدروكربونات ولكن عند الاختبار ظهرت المنطقة مائية . يمثل شكل (6-15) تأثير (Phantom) على الطبقات الحاوية على هيدروكربونات . نلاحظ الطبقة المكمنية الرملية حاوية على الغاز من دلائل المقاومة والمسامية المسجلة بواسطة (FDC,CNL) . تحت عمق (6090) قدم لا يوجد هيدروكربون ولكن تأثير (Phantom) مبين في هذا الجزء . اذن نستنتج من هذه الامثلة الحقلية ان تأثير (Phantom) او دلوام موجود . عند تسجيل قياسات المقاومة نوع (LL) . لاجل التأكد من وجود او عدم وجود هيدروكربونات في المناطق المسوحة يجب فحص ودراسة التسجيلات الاخرى للمقاومة .

تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة الموجهة نوع (MLL, PL, MSFL) (5)

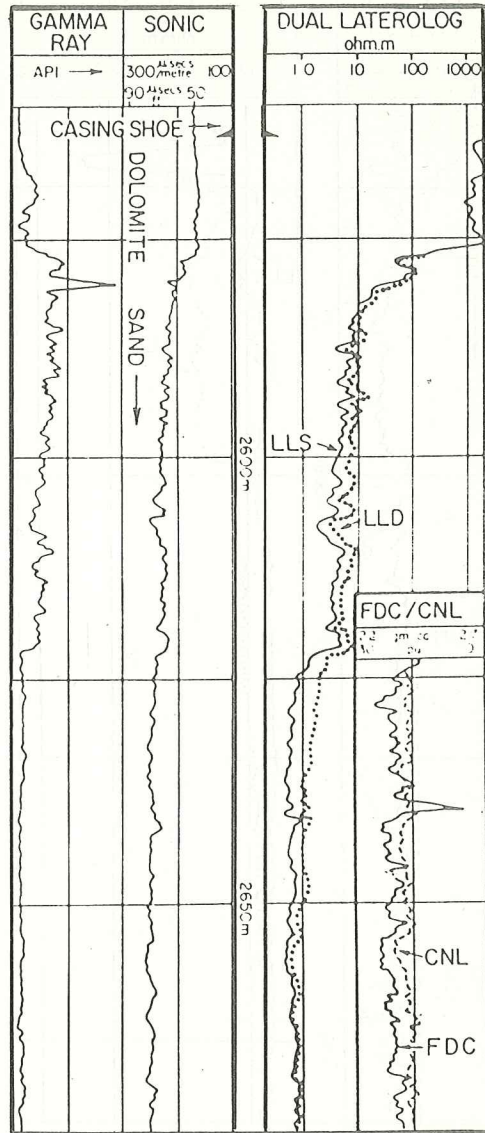
الغاية من استعمال هذا النوع من التسجيل ، قياس المقاومة النوعية (R_{x0}) للمنطقة المكتسحة من منطقة الغزو .

صمم جهاز (MLL) (Micro-laterolog) لقياس (R_{x0}) في الآبار التي فيها طين ملحي . يبين شكل (6-16) توزيع الاقطاب الكهربائية وانتقال التيار داخل الطبقة . يشبه جهاز LL7 من حيث عدد الاقطاب ولكن المسافات بينها اقل بكثير مما تساعد على تحديد الطبقات الرقيقة ويكون عمق الاستطلاع قريب من جدار البئر ولا يتعدى بعض الانجات . يكون تسجيل (MLL) متأثرا بالقشرة الطينية اذا كان السمك اكبر من $(\frac{1}{4})$ انج مما يجعل استعمال (MLL) في الآبار المملوءة بالطين المحلي ذا فائدة اكبر . يمثل شكل (6-17) تسجيل (MLL) مع (ML) .

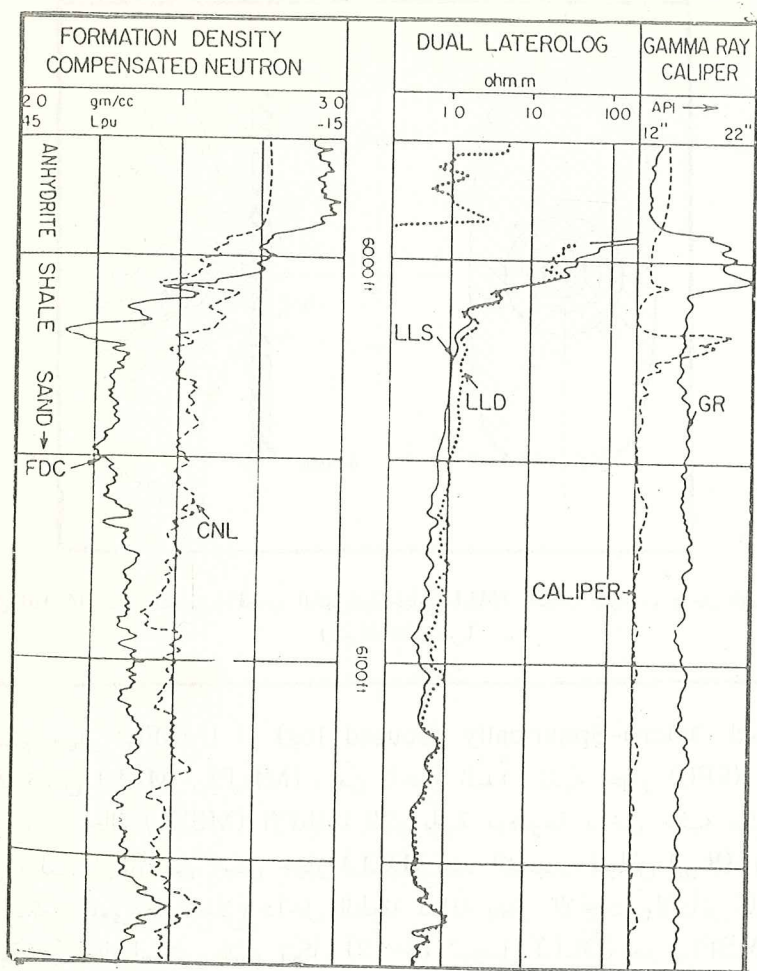
صمم (PL) او (proximity-log) لقياس (R_{x0}) في الآبار المحتوية على اطيان حفر اعتيادية . جهاز (PL) شبيه لجهاز (MLL) سوى ان الاقطاب موزعة داخل القطعة المطاطية بشكل اوسع مما يجعل عمق الاستطلاع اكبر من (MLL) . ويعطي الجهاز قياسات جيدة من (R_{x0}) اذا لم يكن سمك القشرة الطينية اكبر من (1.0) انج . يمثل شكل (6-18) تسجيل (MLL) مع تسجيل (PL) . بما ان عمق



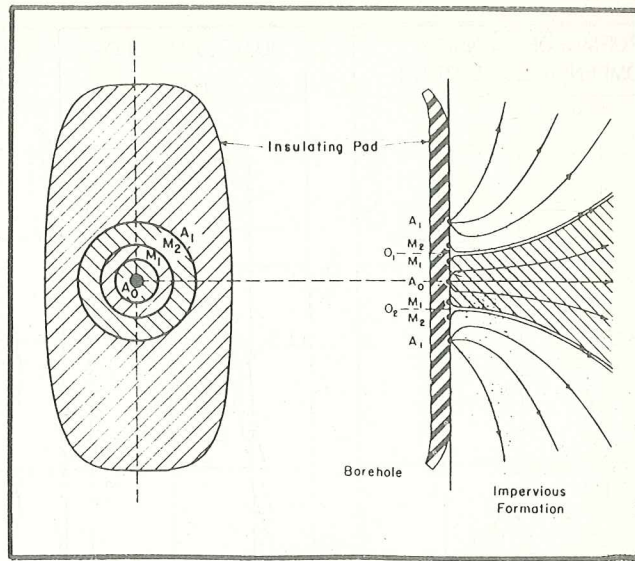
شكل (6-13) مثال حلقي لتسجيل (DLL) مع (GR) و (Caliper) في احد الابار في بحر الشمال (لشركة
شلمبرجر)



شكل (6-14) مثال حلقي لتسجيل (DLL) مع تسجيل السرعة و (CNL,FDC) في احد الابار في بحر الشمال (لشركة سلميبرجر)



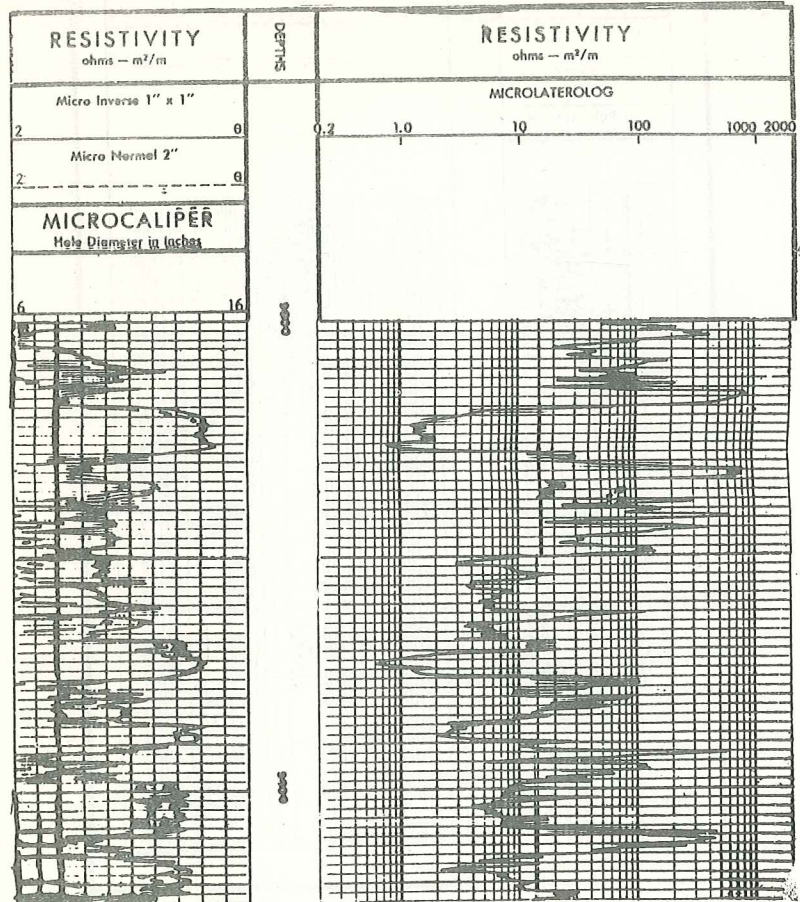
الاستطلاع اكبر لجهاز (PL) ، فان عمق الغزو داخل الطبقات يجب ان لا يكون ضحلا لانه في هذه الحالة تكون القراءة متأثرة بالمقاومة النوعية للطبقة (R_p) .



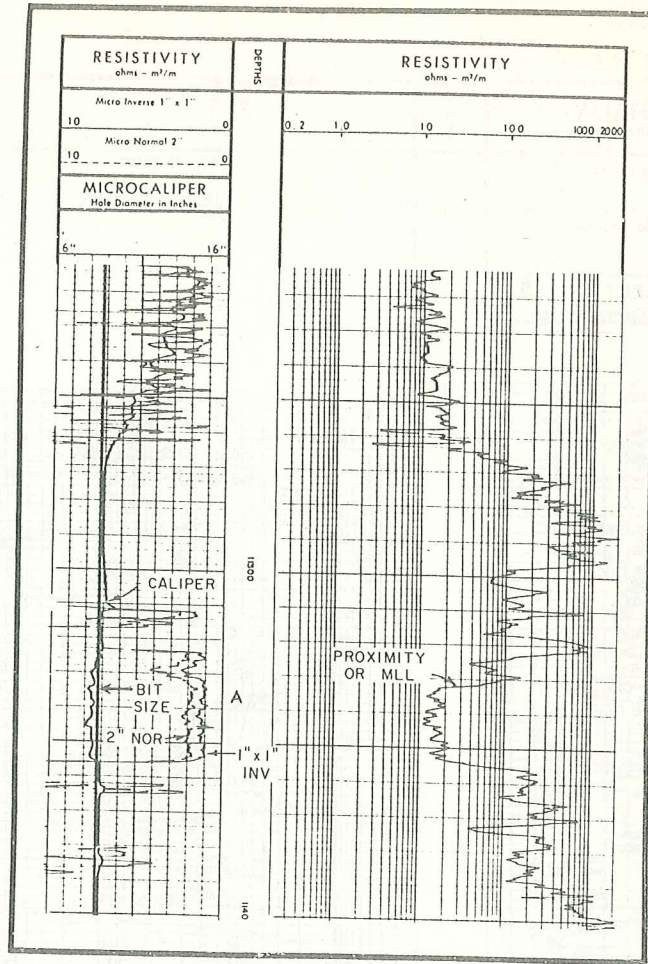
شكل (6-16) مخطط لتوزيع الاقطاب الكهربائية لجهاز (MLL) وانتقال التيارات داخل الطبقة .
(لشركة شلمبرجر)

صمم جهاز (MSFL) او (Micro-Spherically focused log) لتعويض اجهزة قياس (ML, PL, MLL) . من ناحية المبدأ يشبه جهاز (SFL) شكل (6-2) ، في حالة (MSFL) الاقطاب الكهربائية موضوعة داخل حشية مطاطية ويمكن تعليق الجهاز من اسفل جهاز (DLL) عند التسجيل لقياس (R_{xo}) في آن واحد يكون عمق الاستطلاع داخل الطبقة لمسافة بعض الانجحات ولا تتأثر بالقشرة الطينية عند القياسات.. يمثل شكل (6-19) تسجيل (DLL) مع (MSFL) في احدى الآبار البترولية . للحصول على (R_{xo}) اي المقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة من الطبقات النفاذة ، يستعمل المخطط البياني شكل (6-20) لتصحيح قياسات المقاومة النوعية من تسجيل (PL) او (MLL) او (MSFL) لتأثير سمك القشرة الطينية (mud-eake) . يمكن حساب (R_{xo}) من المعادلة التالية بالنسبة لتسجيل (MLL) و (PL) :

$$R_a = (J) (R_{xo}) + (1-J)R_t \quad (6-3)$$

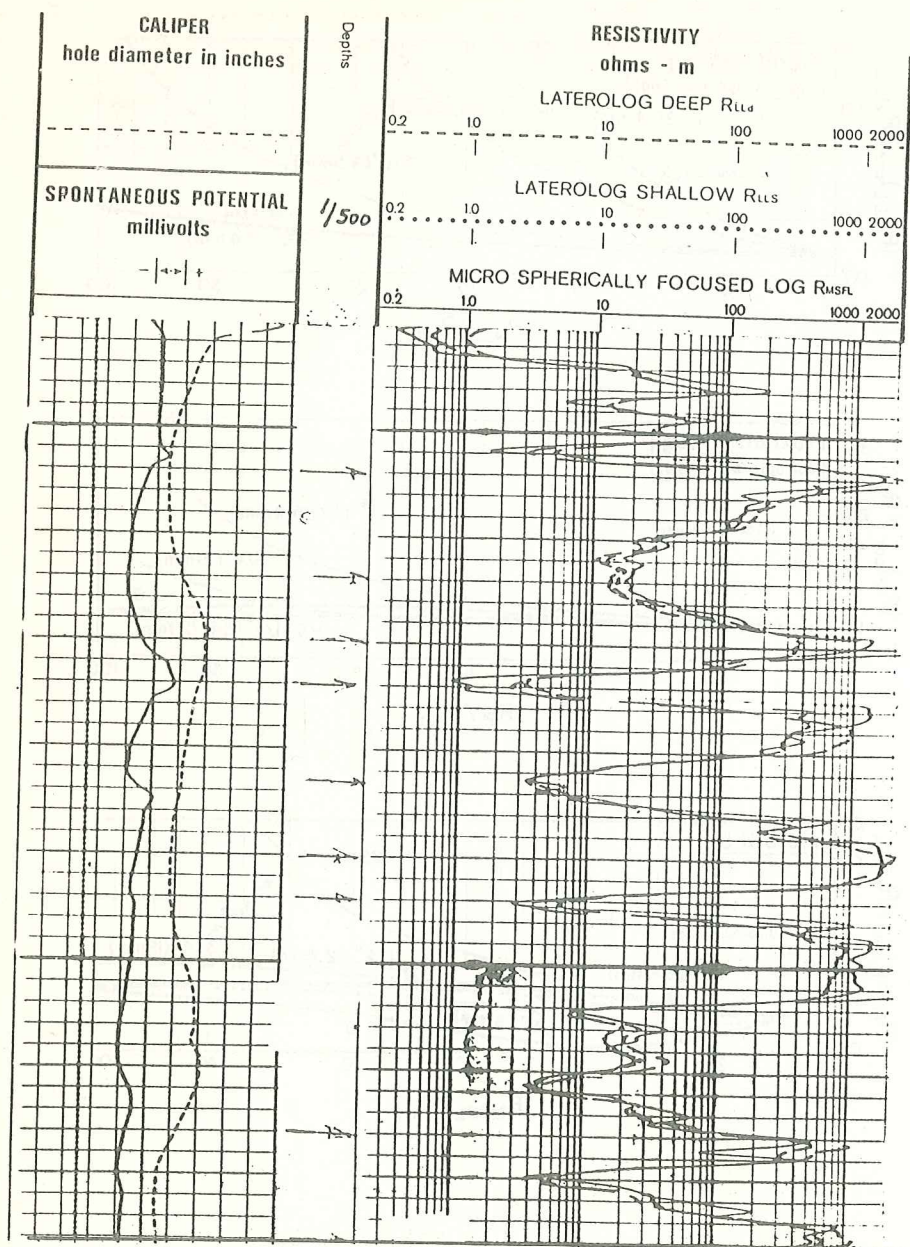


شكل (6-17) مثال حقلي لتسجيل (MLL) مع (ML)
(لشركة شلمبرجر)

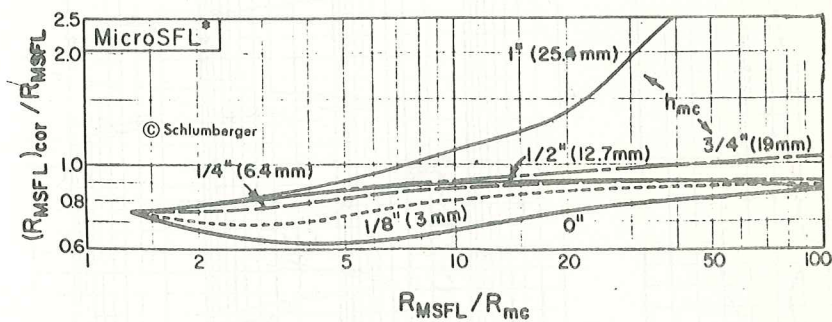
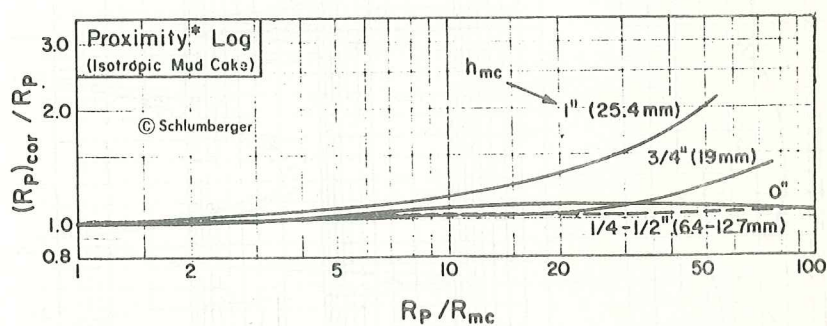
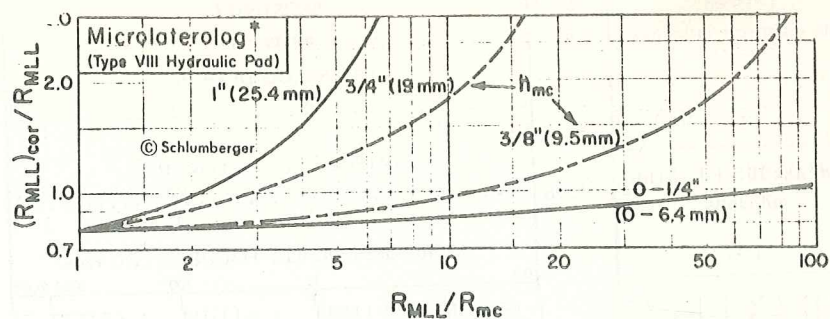


شكل (6-18) مثال حقلي لتسجيل (PL) مع (ML)

تشبه هذه المعادلة معادلة (6-2) ويمثل الفرق (R_a) حيث هنا تمثل اما (R_{PL}) او (R_{MLL}). يجب توفر (J) العامل الهندسي للتوصيل الى قيمة (R_{XO}) ففي هذه الحالة يستعمل المخطط البياني شكل (6-21)



شكل (6-19) مثال حقلي لتسجيل (DLL) مع (MSFL) في احدى الآبار البترولية



شكل (20-6) مخطط بياني لتصحيح قياسات المقاومة النوعية من تسجيل (MSFL), (PL), (MLL) المتأثرة بالقشرة الطينية.
(لشركة شلمبرجر)

مثال : -

سجلت القيم التالية من تسجيل المقاومة الموجهة الدقيقة نوع (MLL) -

$$R_{MLL} = 9.0 \text{ ohm-m}, R_{mc} = 0.15 \text{ ohm-m at } (t_f)$$

$$hmc = 9.5 \text{ mm} \left(\frac{3}{8} \text{ in} \right)$$

الحل :

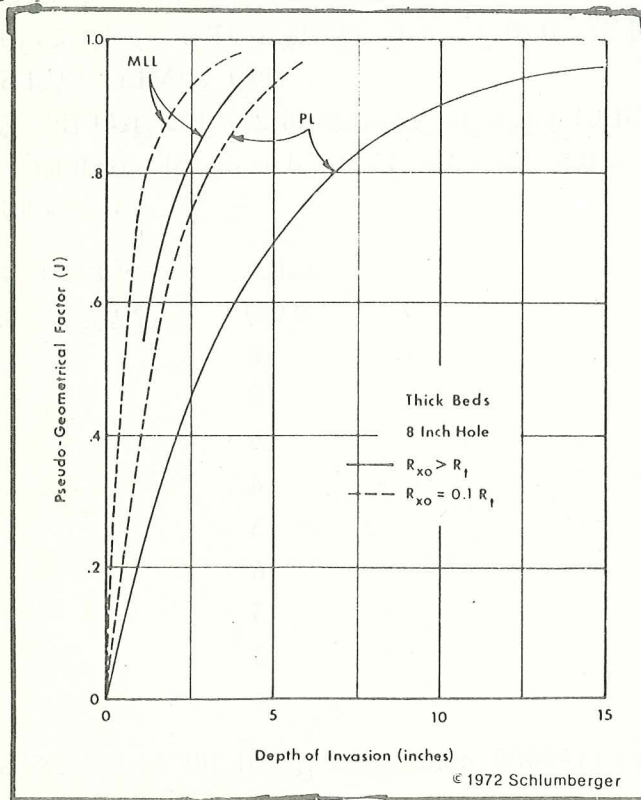
$$\frac{R_{MLL}}{R_{mc}} = \frac{9.0}{0.15} = 60$$

باستعمال المخطط البياني شكل (20-6)

$$\frac{R_{MLLc}}{R_{MLL}} = 2.0$$

اذن قيمة (R_{MLL}) المصححة تساوي

$$R_{MLLc} = (9.0) (2.0) = 18\text{-}\Omega\text{m}$$



شكل (21-6) مخطط بياني لاختلاف العامل الهندسي (J) مع عمق الغزو (لشركة شلمبرجر)

(1) يمثل شكل (6-4) تسجيل (LL7) مع (MLL) وتسجيل اشعة كاما امام طبقة مكمنية كلسية . احسب ماييلي بين عمق (6103-6118) قدم مستعينا بالبيانات المسجلة في المثال : -

- (1) مسامية الطبقة المكمنية (ϕ)
- (2) درجة التشبع بالماء (S_w)
- (3) هل ان نتائج الحسابات تؤيد نتائج الاختبار الانتاجية من هذه المنطقة ؟

(2) اذا علمت ان قيمة المقاومة النوعية (R_{xo}) تساوي (1.0 ohm-m) وقيمة المقاومة النوعية الحقيقية (R_p) تساوي (10.0 ohm-m) وقطر الغزو داخل الطبقة يساوي (60 in) وقطر البئر يساوي (8.0 in) ، احسب المقاومة النوعية الظاهرية (R_a) المسجلة بواسطة تسجيل (ILd) ، (LL3) ، (LL7) ، (LLS) ، (MLL) و (PL)

(3) في المثال الحقلي شكل (6-22) الذي يشمل على تسجيل (DLL) مع (MLL) و (caliper) ، اذا علمت ان المناطق المؤثرة تمثل طبقات كلسية لها القيم التالية المسامية : -

المسامية ϕ (%)	رقم المنطقة NO. of zone
6	9
8	8
9	7
4	6
5	5
6	4
5	3
5	2
4	1

واذا كانت ملوحة الماء المكمني تساوي (190000 ppm) (NaCl equiv.) في درجة (167°F) . احسب -

- (1) R_t في المناطق المؤشرة (المقاومة النوعية الحقيقية)
 (2) d_i (قطر الفزو)
 (3) درجة التشبع بالماء في المناطق المؤشرة
 (4) R_{wa} في المناطق المؤشرة
 (5) هل تعتقد ان المناطق المؤشرة تكون منتجة للهيدروكربون ام لا ؟ (قيمة R_t
 R_{wa} , d_i , R_{wa} محسوبة لمنطقة رقم (8) بالميكروكومبيوتر)

DLL : RT+DI

Data

DEPTH = 210.0 Ft
 R LLD = 9.0 QM²/M
 R LLS = 8.0 QM²/M
 R MSFL = 1.0 QM²/M

Results

RT = 9.9 QM²/M
 DI = 11.6 ins
 RT/RXO = 9.900

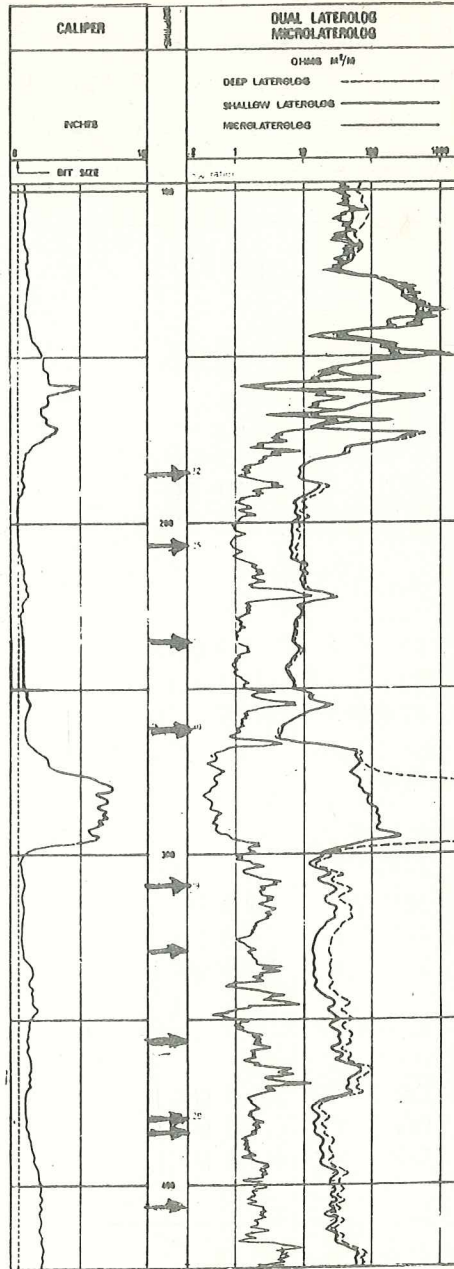
RWA

Data

DEPTH = 210.0 Ft
 PHI = 8.0 %
 RT = 9.900 QM²/M

Results

RWA 1 = 0.863 QM²/M
 RWA 2 = 0.870 QM²/M
 RWA 3 = 0.870 QM²/M



شكل (6-22) مثال حقلي لتسجيل (DLL) مع (MLL) و (Calliper) في احدى الآبار البترولية .
(لشركة شلميرجر)

(4) يشمل المثال الحقل شكل (6-23) على تسجيل (D.L) ، (M.L) وتسجيل المسامية (NL , FDC) واشعة كاما مع Caliper و (SP) . اذا علمت ان قيمة ($R_{mf} = 0.14 \text{ ohm-m}$) في درجة (150°F) . احسب .

(1) (R_w) للماء المكمني في درجة حرارة (150°F)

(2) (R_p) للاعماق التالية

(قدم)

7110

7160

7175

7180

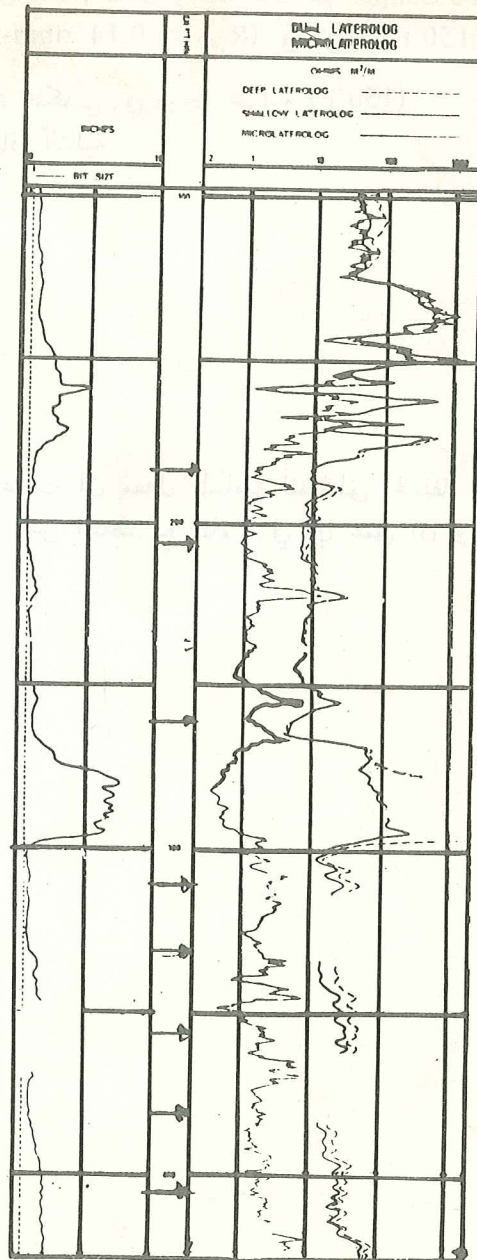
7350

7400

(3) (d_i)

(4) (S_w) اذا علمت ان معدل المسامية للمناطق المختلفة يساوي ($\phi = 25\%$)

(5) هل يوجد تماس النفط مع الماء ؟ في اي عمق ان وجد ؟



شكل (6-23) مثال حلقي لتسجيل (DLL) ، (MLL) ، (NL,,FDC) ، caliper ، اشعة كاما و (SP) .
(لشركة شلميرجر)

تسجيل الصوت أو السرعة

(Sonic log)

تطلق اسماء اخرى على هذا التسجيل منها (continuous Velocity log) او (CVL) اي تسجيل السرعة المستمر او (Acoustic log) اي التسجيل الصوتي . هذه الاسماء تطلق من قبل شركات المسح المختلفة . تستعمل شركة شلمبرجر اصطلاح (BHC) على هذا التسجيل ويقصد به (borehole compensated) اي تسجيل الصوت المصحح . لتأثير اختلافات قطر البئر على القياسات بصورة اوتوماتيكية .

ظهر تسجيل الصوت او السرعة مع الحاجة الماسة من قبل الجيوفيزيائيين في العمليات الاستكشافية الزلزالية لمعرفة سرعة انتقال الصوت داخل التكوينات المختلفة . المقطع التالي (7-1) يمثل طريقة قياس سرعة الامواج الصوتية داخل الطبقات .

ظهر اول جهاز لتسجيل سرعة الصوت سنة (1954) من قبل شركة (Magnolia) بعد استعمال الجهاز ، وجد بان اختلاف سرعة الصوت في الصخور او داخل الطبقات ، له علاقة بمسامية الصخور اي كلما كانت مسامية الطبقة عالية ، كلما كانت سرعة انتقال الصوت في الطبقة اقل . M.R.J.Wyllie مع Gardner و Gregory⁽¹⁾ ، عبروا عن هذه العلاقة بمعادلة رياضية :

$$\frac{1}{V_t} = \frac{\phi}{V_f} + \frac{1-\phi}{V_m} \quad \dots (7-1)$$

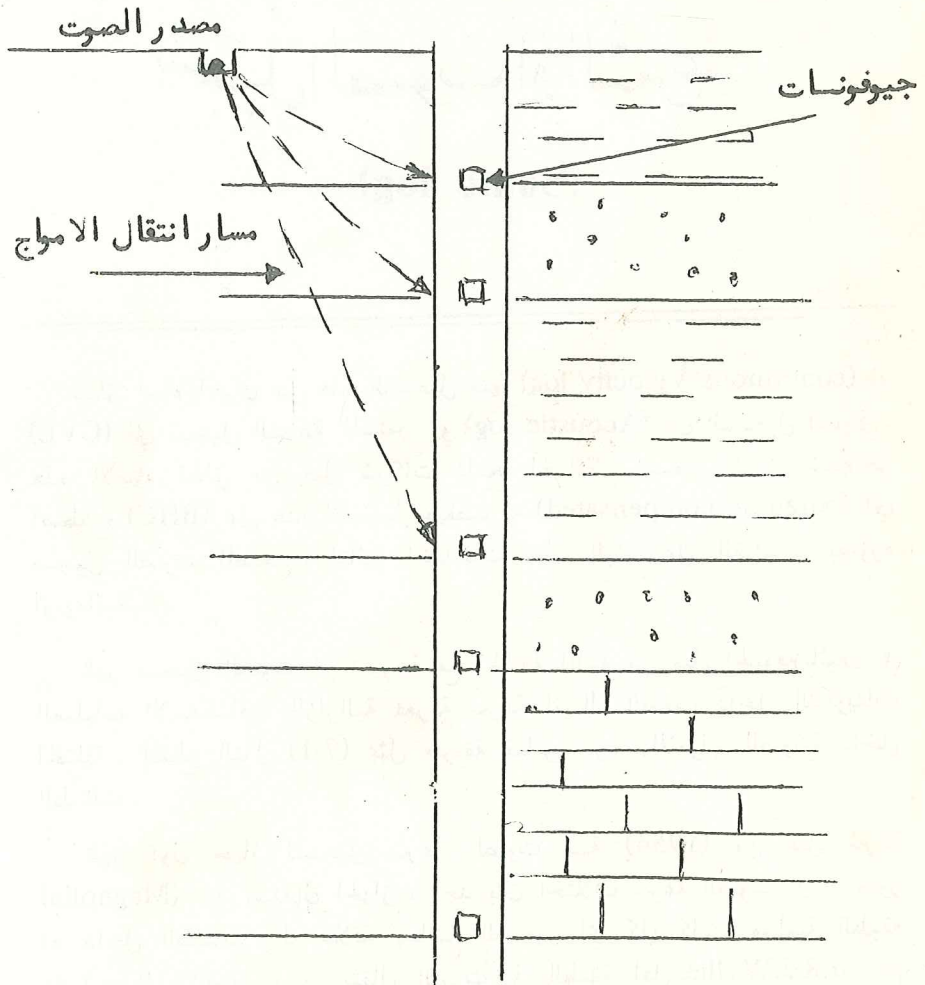
حيث :

V_t السرعة المقاسة (ميكروثا / قدم او ميكروثا / م) .

ϕ المسامية (نسبة مئوية) .

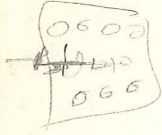
V_f سرعة انتقال الموجة داخل المائع .

V_m سرعة انتقال الموجة داخل الحشو (matrix) .



شكل (7-1) مقطع لبئر استكشافي يبين طريقة لقياس سرعة الامواج داخل الطبقات

سميت هذه المعادلة (معدل - الزمن) اي (time-average formula) او معادلة (Wyllie)، اي ان زمن انتقال الموجة خلال مسافة معينة من جسم مسامي يساوي مجموع زمن انتقال الموجة خلال السائل او المائع زائد زمن انتقال الموجة خلال الحشو او الحبيبات المعدنية. وهذه المعادلة هي معادلة تجريبية (emperical).



يقيس تسجيل السرعة أقل فترة زمنية تستغرقه الموجة الانضغاطية (compressional wave) للانتقال خلال قدم واحد او متر واحد من التكوين. هذه الفترة الزمنية ترمز بـ (dt) او (t) وتقاس بوحدات (ميكروثا / قدم) او (ميكروثا / م) وهي تعتبر معكوس السرعة. سرعة انتقال الموجة خلال النماذج الصخرية مختلفة حسب تركيب الحشو داخل هذه الصخور والمواد الاسمنتية الموجودة اي تعتمد على مرونة الصخور وكثافتها. سرعة انتقال الموجة خلال نموذج رملي تساوي (5500 m/s) او (18000-ft/s) وخلال المائع سرعة انتقال الموجة تساوي (1615 = m/s) او (5300-ft/sec). الجدول التالي يبين قيم (t_{ma}) في الصخور الكمونية المهمة وغير الكمونية (انتقال الموجة خلال الحشو).

جدول (7-1) - قيم (t_{ma}) للصخور

نوع الصخور	(t _{ma})	(t _{ma}) المستعملة
	(ميكروثا / قدم)	
رملية	55.5-51.3	55.5 51
كلسية	47.6-43.5	47.5
دولومايت	43.5-38.5	43.5
انهايدرايت	50	50
ملحية	67	67
البطانة (casing)	57	57
« مذكورة لاستعمالات خاصة »		

يمكن تحويل معادلة (7-1) الى:

$$\phi = \frac{t - t_{ma}}{t_f - t_{ma}} \quad \dots (7-2)$$

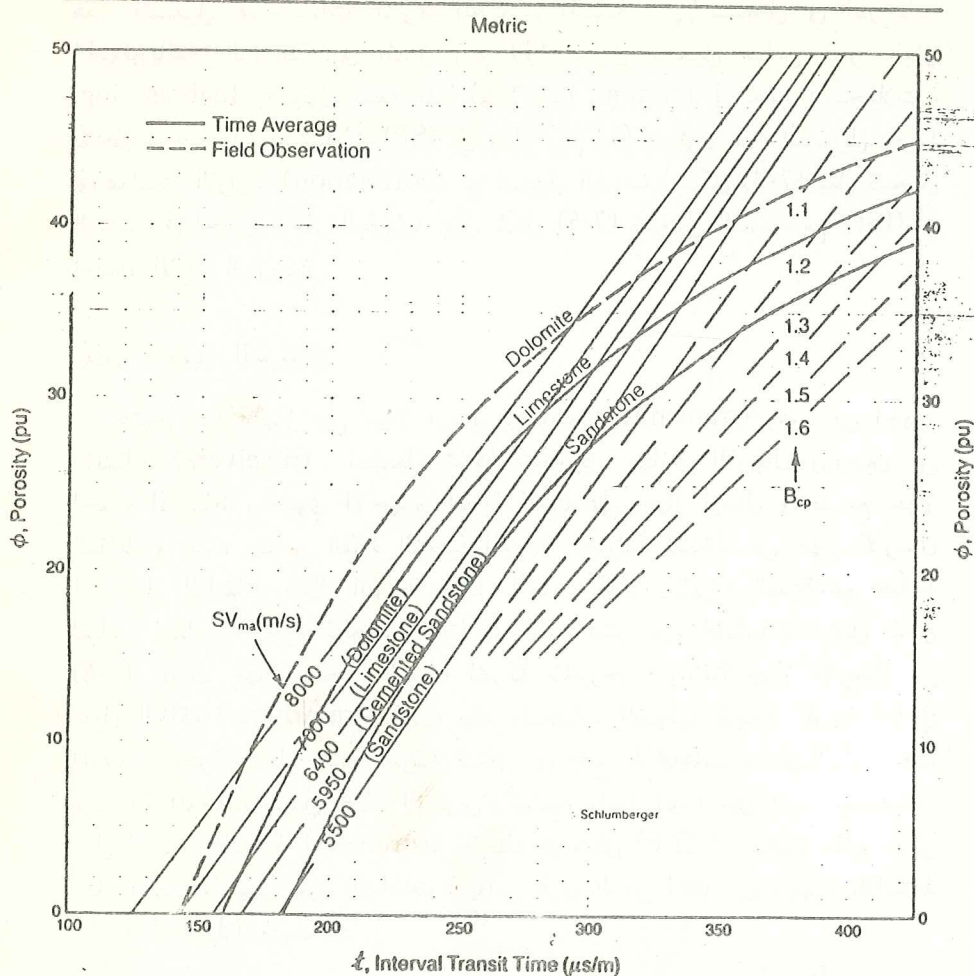
حيث:

ϕ - المسامية.

t زمن انتقال الموجة خلال التكوين ويقاس من تسجيل الصوت (sonic log) .
 t_{ma} زمن انتقال الموجة خلال الحشو (matrix) .
 t_p زمن انتقال الموجة خلال السائل او المائع . اذا كانت هذه القيمة غير معلومة
تستعمل ($t_p = 190 \text{ micro-sec/ft.}$) وتستعمل شركة شلمبرجر (t_p) تساوي
(189 ميكروثا / قدم) .

للحصول على المسامية (ϕ) يجب قياس (t) من تسجيل السرعة وقيمة (t_{ma})
يجب ان تكون معلومة وهي تعتمد على الصفات الصخرية (lithology) فاذا كانت
نوعية التكوين أو الطبقة معلومة من نماذج الصخور أو اللباب يستعمل جدول
(7-1) للحصول على (t_{ma}) . اذا كان نوع التكوين مجهولا في المنطقة المطلوبة
حساب المسامية ، فاننا نستعمل طرق التسقيط (cross-plot) بين المقاومة النوعية
للمناطق المختلفة وزمن انتقال الموجة (t) خلال هذه المناطق . ستذكر هذه الطرق
في الفصول اللاحقة . لاجل الحصول على المسامية بصورة سريعة ، تستخدم
المخططات البيانية الخاصة وهي تمثل معادلة (Wyllie) مع معامل الانضغاط
(C_p) . يمثل شكل (7-2) ، (7-3) مخططين بيانيين لحساب المسامية (ϕ) داخل
الطبقات الكمنية ، تفرض معادلة (Wyllie) وجود مسامية متجانسة
(homogeneous) داخل الصخور أو الطبقات . هناك نماذج عديدة من الصخور
التي لها مسامية غير متجانسة ففي هذه الحالة يجب تعديل معادلة (Wyllie)
للحالات الخاصة . كذلك تفرض المعادلة ، بان الطبقات أو الصخور متساكة ومدجة
(compactd) او منضغطة ، واذا كان التكوين غير منضغظ ، يستعمل في هذه
الحالة معامل الانضغاط (C_p) في المعادلة للحصول على المسامية (ϕ) ، كما مبينة قيم
(C_p) في المخطط البياني شكل (7-2) و (7-3) وهناك فرضية في المخططات حيث
تستعمل (V_p) ممثلة للسائل ، اذا كانت المسامات مشبعة بالغازات يجب في هذه
الحالة استعمال قيمة (V_p) الخاصة للغاز او اجراء تصحيح تقريبي للمسامية (ϕ) .
نلاحظ في المخطط البياني ايضا خطوطا متقطعة وهي تمثل انحرافات المسامية
المحسوبة من النماذج الحلقية من معادلة (Wyllie) .

يمثل تسجيل السرعة أو الصوت زمن انتقال الموجة مع العمق (interval
transit time) . يسجل هذا التسجيل في مسار رقم (2) ويسجل في مسار رقم
(3) اذا كان التسجيل مع تسجيل (ISF) . مدى المقياس الاعتيادي من (40-140)
ميكروثا / قدم ومقياس اخر من (140-240) ميكروثا / قدم في بعض الانواع
من تسجيلات السرعة ، يحتوي مقياس تسجيل السرعة على مدى (60) ميكروثا /
قدم أي (40-100) ميكروثا / قدم . يسجل في الجزء الايسر من مسار رقم (2)
تسجيل الفترة الزمنية الكلية (integrated travel time) لانتقال الموجة ويفيد



EXAMPLE: $t = 76 \mu\text{s}/\text{ft}$ ($249 \mu\text{s}/\text{m}$)

SV_{ma} = 19,500 ft/s (5950 m/s)–Sandstone

Thus, $\phi = 18\%$ (by either weighted-average or empirical transform)

For more information see References 18, 19, and 20.

	SV _{ma} (ft/s)	t _{ma} (μs/ft)	SV _{ma} (m/s)	t _{ma} (μs/m)
Sandstones	18,000-19,500	55.5-51.3	5486-5944	182-169
Limestones	21,000-23,000	47.6-43.5	6400-7010	158-143
Dolomites	23,000-26,000	43.5-38.5	7010-7925	143-126

Por-3m

شكل (7-2) مخطط بياني لحساب المسامية (ϕ) من تسجيل السرعة (sonic log) (شركة شلمبرجر)

هذا التسجيل في حسابات السرعة للطبقات المختلفة والتي تستعمل في الدراسات الجيوفيزيائية الزلزالية في المسار رقم (1) يسجل تسجيل قياس قطر البئر (caliper log) وتسجيل اشعة كاما (gamma ray log) في بعض التسجيلات ، يسجل تسجيل الجهد التلقائي (SP) في مسار رقم (1) ويكون هذا التسجيل مفيداً في عمليات الترابط (correlation) مع تسجيل الصوت . شكل (4-7) يمثل تسجيل السرعة في احدى الابار البترولية يمثل شكل (5-7) تسجيل السرعة مع (ISF) في احدى الابار البترولية .

جهاز تسجيل السرعة :

يحتوي هذا الجهاز على جهاز ارسال للصوت (transmitter) وعدد من اجهزة الالتقاط (receivers) . تستعمل شركة شلمبرجر جهازين للارسال وزوجين من اجهزة الالتقاط . تحتوي الاجهزة القديمة كانت على جهاز ارسال واحد مع جهاز التقاط واحد ، وتقاس الفترة الزمنية للموجة الصوتية المنتقلة من جهاز الارسال الى جهاز الالتقاط خلال الطبقة وسائل الحفر . كانت الانواع القديمة غير صالحة لقياس المسامية لوجود تأثيرات اختلاف قطر البئر على القياسات ، يمثل شكل (6-7) مخطط لجهاز تسجيل السرعة لشركة شلمبرجر . يتألف جهاز الارسال من محول الطاقة (transducer) الذي يولد النبضات الصوتية بذبذبة تقريباً تساوي (20) كيلوهرتز . الموجات الصوتية تنتقل في جميع الاتجاهات داخل البئر . قسم من هذه الموجات تنتقل خلال التكوين وتتكسر عائدة الى داخل البئر وتستلم من قبل اجهزة الالتقاط (receivers) تلاحظ في شكل (6-7) ان الجهاز مائل ولكن ميل الجهاز لا يؤثر على القياسات . يقاس فرق الزمن (dt) بين اجهزة الالتقاط رقم (1) و (3) حيث :

$$dt_1 = \frac{t_1 - t_3}{2}$$

ويقاس فرق الزمن في نفس الوقت ، بين جهاز الالتقاط رقم (2) و (4) حيث :

$$dt_2 = \frac{t_4 - t_2}{2}$$

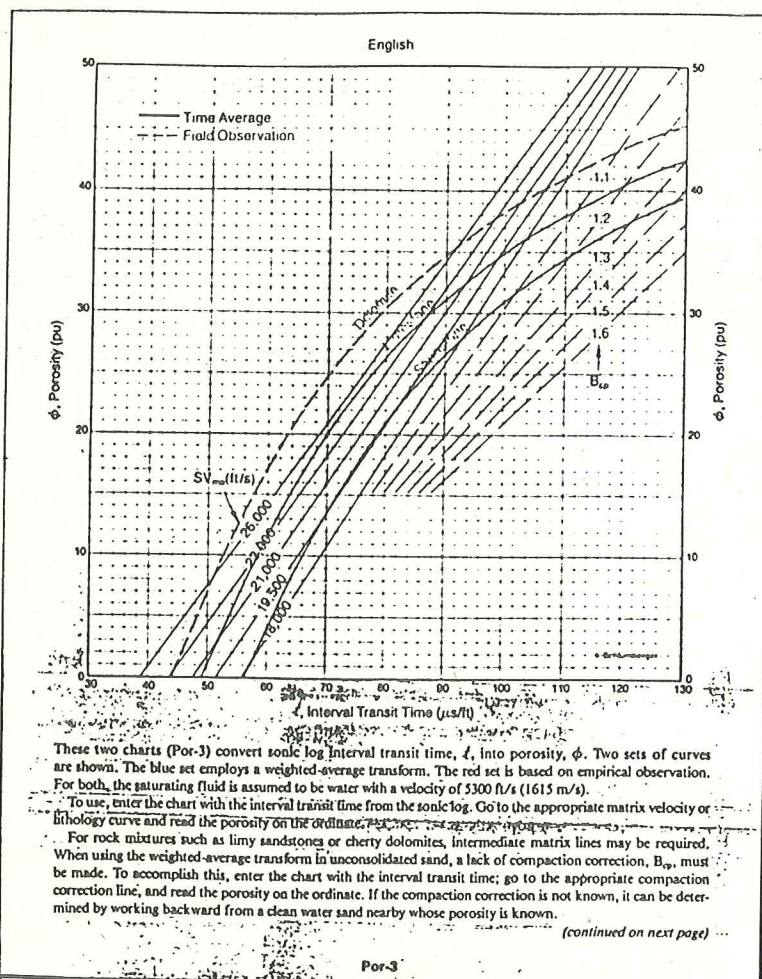
للحصول على (tavg.) اي معدل الزمن :

$$t_{avg.} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$\text{or } t_{avg.} = \frac{dt_{t1} + dt_2}{2}$$

Porosity Evaluation from Sonic

SV = 5300 ft/s

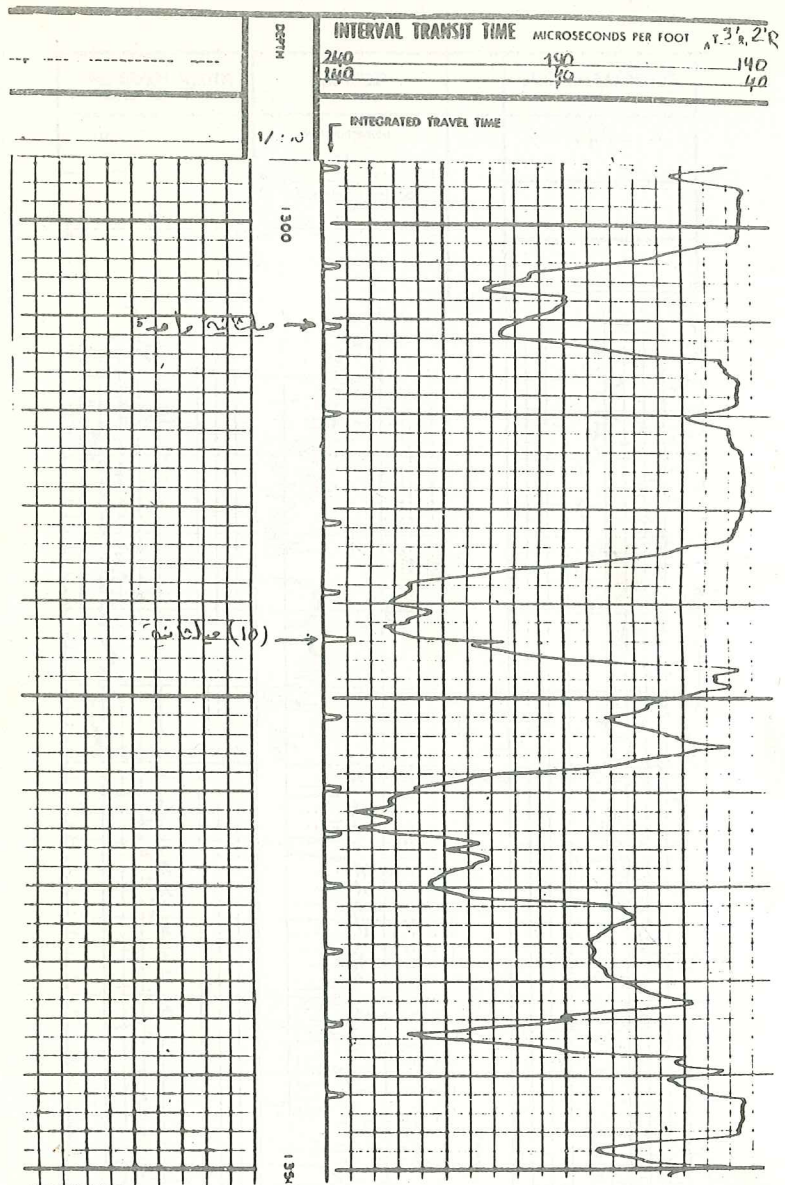


شكل (7-3) مخطط بياني لحساب المسامية (ϕ) من تسجيل الصوت (sonic log) (نظام متري) (لشركة شلمبرجر)

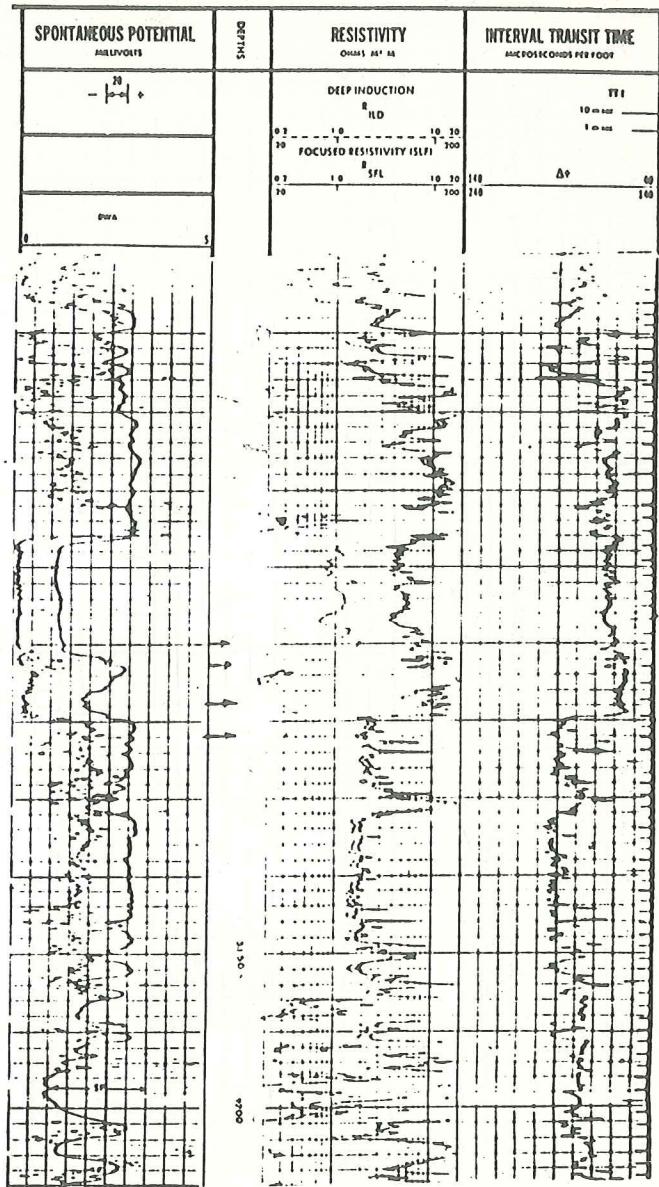
يمثل مقدار (iavg) المسجل زمن انتقال الموجة خلال الطبقة او التكوين بوحدات ميكروثا / قدم . ان المسافة بين كل زوج من اجهزة الالتقاط تساوي (2.0) قدم والمسافة بين جهاز الارسال واول جهاز التقاط تساوي (3.0) قدم وتسمى (spacing) . هذا التصميم مقدم من قبل شركة شلمبرجر لمسح الابار ، هناك تصاميم اخرى لشركات المسح - المختلفة . يستعمل هذا التصميم للتخلص من تأثير اختلافات حجم البئر وميل الجهاز داخل البئر على القياسات وسمي هذا الجهاز بـ (BHC) اي (borehole compensated) . شكل (7-7) يبين مقارنة بين تسجيل السرعة بالجهاز القديم المألوف والجهاز نوع (BHC) ، الحديث .

نجد في شكل (7-7) تسجيل السرعة القديم يبين اختلافات كبيرة في السرعة ناتجة عن قياسات خاطئة بسبب اختلافات قطر البئر مؤثرة من تسجيل (Caliper) ، اما في تسجيل السرعة الحديث نجد اختلافات قليلة في السرعة او في زمن انتقال الموجة داخل الطبقات . يمثل شكل (7-8) الطريقة المتبعة لتصحيح تأثير اختلافات قطر البئر على القياسات بصورة اوتوماتيكية .

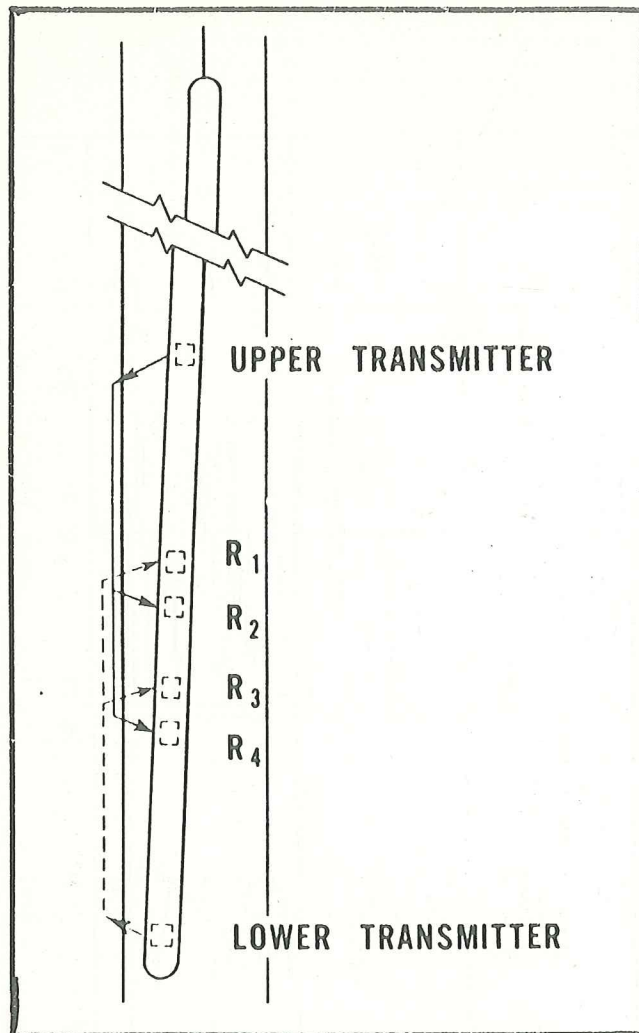
يلاحظ في شكل (7-8) جهاز الارسال السفلي يقيس فرق الزمن داخل كهف بالموجب والسالب اي جزء من البئر يقيس زيادة في فرق الزمن والجزء الاخر من البئر يسجل نقصان في فرق الزمن . نفس الحالة تتكرر بالنسبة لجهاز الارسال العلوي ولكن بشكل معكوس . وبواسطة الحاسبة الالكترونية يحسب معدل الزمن للتخلص من هذا التأثير .



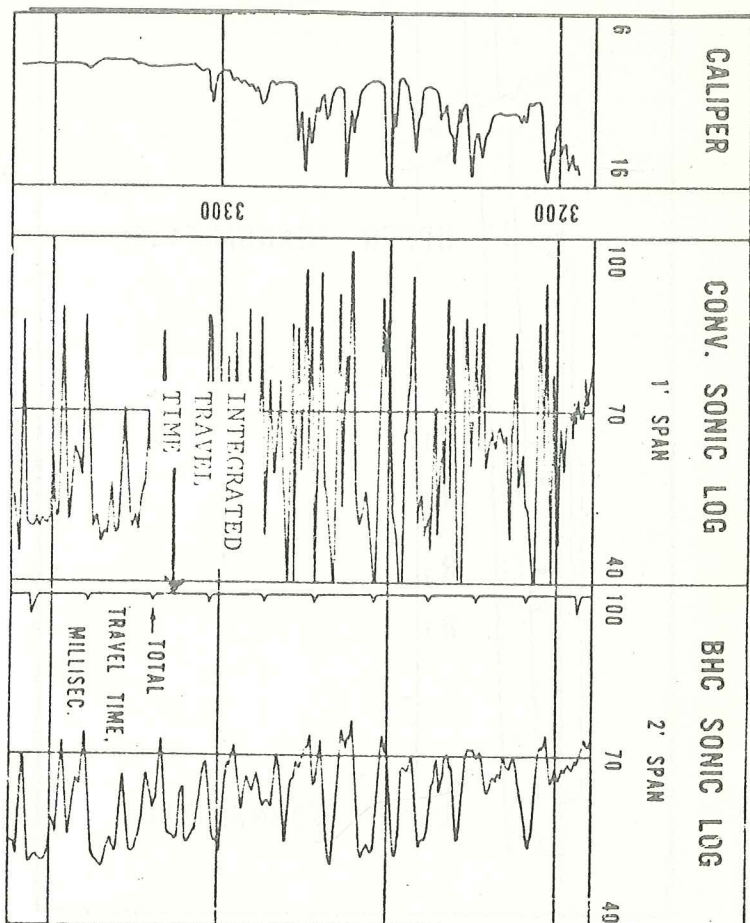
شكل (7-4) تسجيل السرعة في احدى الابار البترولية (لشركة شلمبرجر)



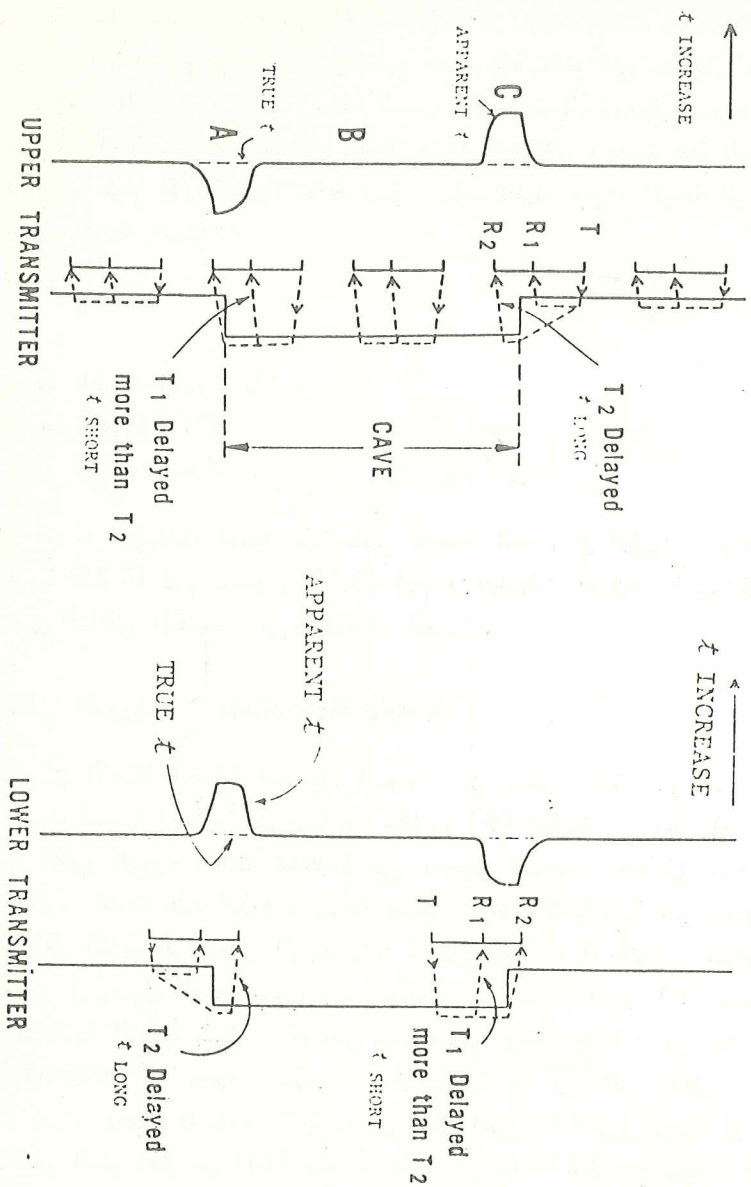
شكل (7-5) تسجيل السرعة مع (ISF) في احدى الابار البترولية (شركة نـشـلمـبـرـجـر)



شكل (7-6) مخطط لجهاز قياس السرعة نوع (BHC) (لشركة شلمبرجر)



شكل (7-7) مقارنة بين تسجيل السرعة القديم او الحديث (الشركة شلمبرجر)



شكل (7-8) طريقة تصحيح قياسات الزمن لتأثير اختلافات قطر البئر (لشركة شلمبرجير)

الاستجابة الشاقولية والافقية لجهاز قياس السرعة (Vertical and horizontal resolution)

تعتمد الاستجابة على المسافة بين اجهزة الالتقاط (receivers) ، إذا كانت المسافة تساوي (2.0) قدم فإن الجهاز يستطيع تحديد الطبقات التي سمكها لا يقل عن قدمين . وهذه الاستجابة جيدة ، ولهذا السبب يمكن استعمال تسجيل السرعة في عمليات ترابط الآبار . عمق الاستطلاع للجهاز داخل الطبقات ، يعتمد على المسافة (spacing) بين جهاز الارسال والالتقاط وعلى سرعة الطبقة وتردد الموجة المرسله أو على طول الموجة حيث :

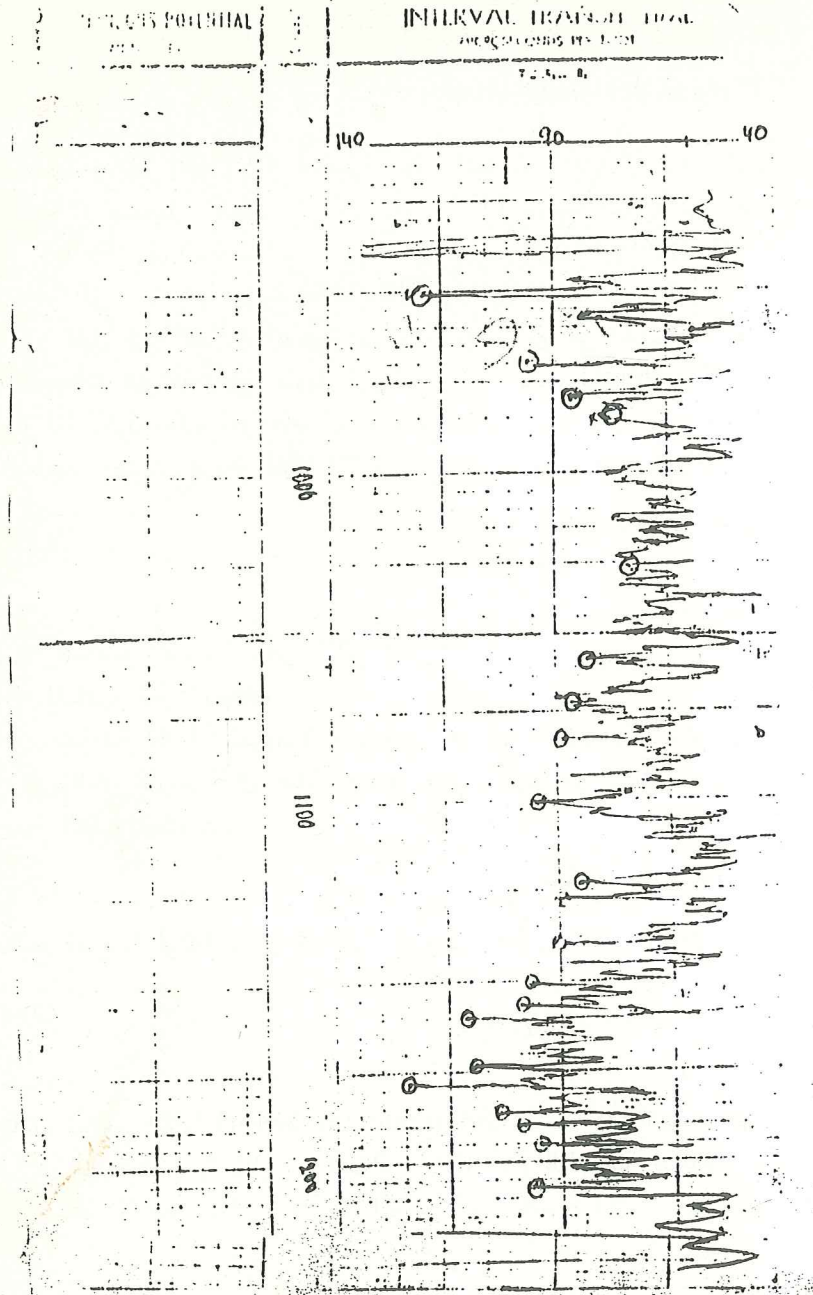
$$\lambda = \frac{V_f}{\eta} \quad \dots (7-3)$$

V_f سرعة الطبقة (قدم / ثا)
 η التردد (دورة / ثا)
 λ طول الموجة (قدم)

بما ان سرعة الطبقات مختلفة فإن عمق البحث المعدل في الطبقات الرخوة يساوي تقريباً (0.75) قدم ويساوي (3.75) قدم في الطبقات الصلبة . اذن تكون القياسات في المناطق المكتسحة من الطبقات المغزوة .

ظاهرة تخطي الدورة (Cycle Skipping)

نلاحظ في الامثلة الحقلية لتسجيل السرعة ، في بعض الحالات وجود هذه الظاهرة بحيث تسبب اخطاءً في حسابات مسطوية (ϕ) الطبقات . شكل (7-9) يبين تأثير تخطي الدورة (cycle-skip) على تسجيل السرعة ، المناطق المتأثرة مؤشرة بدوائر . تحدث هذه الظاهرة نتيجة ضعف الموجة الانكسارية عند وصولها جهاز الالتقاط الثاني فلا تسجل الموجة وإنما تسجل الموجات الانكسارية الثانوية وهذا التأخير في وصول الموجة بسبب زيادة مفاجئة في تسجيل الزمن (t) . ضعف الموجة الانكسارية الاولى يعود الى عوامل عديدة منها وجود طبقات غير متماسكة (unconsolidated) أو وجود طبقات اكسوية متشققة كما في المثال الحقلية شكل (7-9) أو بسبب وجود فقاعات غازية داخل سائل الحفر مما تسبب ضعف الموجة زيادة في قطر البئر اكثر من (14) انج أو ممكن ان تحدث الظاهرة بسبب خلل فني في جهاز الالتقاط .



شكل (7-9) مثال حقلي لتسجيل السرعة ، يبين ظاهرة تخطي الدورة (cycle-skip) (لشركة شلمبرجر)

(1) التكوينات او الطبقات الكمنية الرملية المتاسكة أو المنضغطة

(7)(Compacted sandstones)

تستعمل معادلة (Wyllie) للحصول على المسامية (ϕ) في هذا النوع من التكوينات أو يستعمل الخطط البياني شكل (2-7) نتائج المسامية بهذه الطريقة تكون صحيحة في التكوينات التي تتراوح مساميتها من (18-25%) أما التكوينات التي مساميتها عالية (30-35%) والحاوية على الهيدروكربونات ولها عمق غزو قليل فإن المسامية المحسوبة ستكون اعلى بكثير من الحقيقة . كذلك إذا كانت الطبقات غير نقية او حاوية على نسب من الطفل (Shaliness) فإن قيم (Δt) أو (t) تكون عالية ، وتحتاج الى تصحيح لتأثير اختلاف الموائع وتأثير الطفل على المسامية . هناك طريقة تقريبية لتصحيح تأثير الموائع ممثلة بالمعادلة : (5)

$$\phi_{sc} = (0.7) \times (\phi_s) \quad \dots (7-4)$$

حيث :

ϕ_{sc} المسامية المصححة لتأثير المائع (غاز) .
 ϕ_s المسامية غير المصححة .

اذن معادلة (7-4) تقريبية وتستعمل في حالة الطبقات الحاوية على هيدروكربونات غازية . في حالة وجود هيدروكربونات سائلة فإن المعادلة التقريبية التالية تستعمل :

$$\phi_{sc} = (0.9) \times (\phi_s) \quad \dots (7-5)$$

لتصحيح المسامية (ϕ_s) لتأثير الطفل ، تستعمل ايضاً معادلة تقريبية :

$$\phi_{sc} = (\phi_s) \left(\frac{1}{2 - \alpha} \right) \quad (7-6)$$

حيث :

α عامل تناقص (SP) (SP reduction factor) يعتمد هذا العامل على نسبة الطفل في الطبقات وهو يقلل من الانحراف (SP) امام الطبقات النفاذة . تستعمل العلاقة التالية لاجاد نسبة الطفل في الطبقات غير النقية :

$$V_{sh} = 1 - \alpha \quad \dots (7-7)$$

حيث :

V_{sh} النسبة الحجمية للطفل داخل الطبقة اي اذا علمنا نسبة الطفل داخل الطبقات ، يمكن تصحيح المسامية . إذا كانت نسبة الطفل غير معلومة ، يمكن استعمال المعادلة التالية للحصول على عامل تناقص (SP) :

$$\frac{PSP}{SSP} = \alpha \quad \dots (7-8)$$

حيث :

PSP - مقدار انحراف (SP) امام تكوينات رملية طفلية سميكة مشبعة بالماء .

SSP - مقدار انحراف (SP) امام تكوينات أو طبقات رملية سميكة نقية .

مثال :

(1) سجل تسجيل السرعة امام طبقة رملية نقية ومنضغطة (compacted) تحت عمق (2605 m) . إذا علمت ان قيمة (t) المسجلة تساوي (80) ميكروثا / قدم ، احسب مقدار المسامية (ϕ) لهذا الطبقة .

الحل : لحساب المسامية يمكن استعمال معادلة (Wyllie) أو المخطط البياني شكل ((7-2)) . نحتاج الى سرعة انتقال الموجة خلال الحشو حيث الصخور الرملية لها سرعة تتراوح من (18000-19500) قدم / ثا . كثافة الحشوة المحسوبة لهذا الجزء من الطبقات معلومة وتساوي (2.7) غم / سم³ ، لذا يفضل استعمال السرعة (19500) قدم / ثا لحساب المسامية (ϕ) . باستعمال المخطط البياني شكل ((7-2)) المسامية (ϕ) تساوي (21 %). حسبت المسامية (ϕ) عن طريق الميكروكومبيوتر وكانت النتيجة ($\phi_s = 20.8 \%$) كما مبينة على الورقة المطبوعة خطوات البرنامج المستعمل لحساب المسامية من تسجيل السرعة بواسطة الميكروكومبيوتر :

LRN
STO 1
R / S
STO 2
R / S
STO 3
RCL 1

RCL 2

RCL 3

RCL 2

R/S

LRN

CLR, RST

بعد هذه الخطوة نقرأ للحاسبة القيم المطلوبة لحل المعادلة وهي :

$$(t_p) , (t_{ma}) , (t)$$

مع استعمال R/S مع كل قيمة .

سرعة المائع ثابتة في المعادلة وتساوي (5300) قدم / ثا .

مثال :

(2) طبقة مكمنية رملية متضغطة غير نقية تحت عمق (2624 m) متر . اذا علمت أن نسبة الطفل في الطبقة تساوي (20%) وقيمة (t) المسجلة تساوي (82) ميكروثا / قدم ، احسب مقدار المسامية (ϕ) .

الحل : بما أن الطبقة المكمنية قريبة من المنطقة الاولى (مثال رقم "1") ، تستعمل سرعة الحشو في المثال الاول بافتراض ان الطبقة في المثال رقم (2) هي جزء من الطبقة في مثال رقم (1) . باستعمال المخطط البياني شكل (7-2) نحصل على المسامية ($\phi_s = 25\%$) . بما أن الطبقة المكمنية غير نقية ، يجب تصحيح المسامية (ϕ_s) .

$$(\phi_{sc}) = (22) \times \left(\frac{1}{2 - 0.8} \right) \\ = 18.3\%$$

تمثل هذه القيمة المسامية بعد التصحيح .

(2) التكوينات او الطبقات المكمنية الرملية غير المنضغطة⁽⁷⁾ :

(uncompacted sandstones)

زمن انتقال الموجة الصوتية خلال الصخور المكمنية غير المنضغطة اطول من زمن انتقال الموجة خلال الصخور المنضغطة والتي لها نفس القيمة من المسامية . هذه الزيادة في الزمن تسبب مسامية عالية غير حقيقية في هذا النوع من

التكوينات . إن الطبقات المكمية غير المنضغطة تكون حديثة التكوين وموجودة في اعماق ضحلة بصورة عامة ، ويمكن أن تتواجد في اعماق متوسطة اذا كانت هذه الطبقات ذات ضغوط غير اعتيادية (abnormal pressure) . تحدد هذه الطبقات باستعمال طريقة تجريبية وذلك باستعمال زمن انتقال الموجة خلال الطبقات الطفلية المجاورة لهذه الطبقات ، فإذا كان الزمن (t_{sh}) اكبر من (100) ميكروثا / قدم فإن الطبقات المجاورة الرملية تكون غير منضغطة والعكس صحيح أيضا . لفرض تصحيح المسامية (θ_s) المحسوبة لتأثير الانضغاط ، نستعمل معامل الانضغاط (C_p) (compaction coefficient) في معادلة (Wyllie)

$$(\phi_{sc}) = \frac{t - t_{ma}}{t_f - t_{ma}} \times \frac{1}{C_p} \quad \dots (7-9)$$

يحسب معامل الانضغاط (C_p) بطرق مختلفة منها طريقة مقارنة المسامية المحسوبة من المقاومة النوعية باستعمال معادلة (Archie) . تتطلب هذه الطريقة وجود طبقة رملية نقية مشبعة بالماء . يحسب من هذه الطبقة عامل التكوين (F) وتحول هذه القيمة الى مسامية (θ) ، معامل الانضغاط (C_p) يساوي :

$$\phi_s / \phi = C_p \quad \dots (7-10)$$

يمكن استعمال الطريقة التجريبية التالية (5):

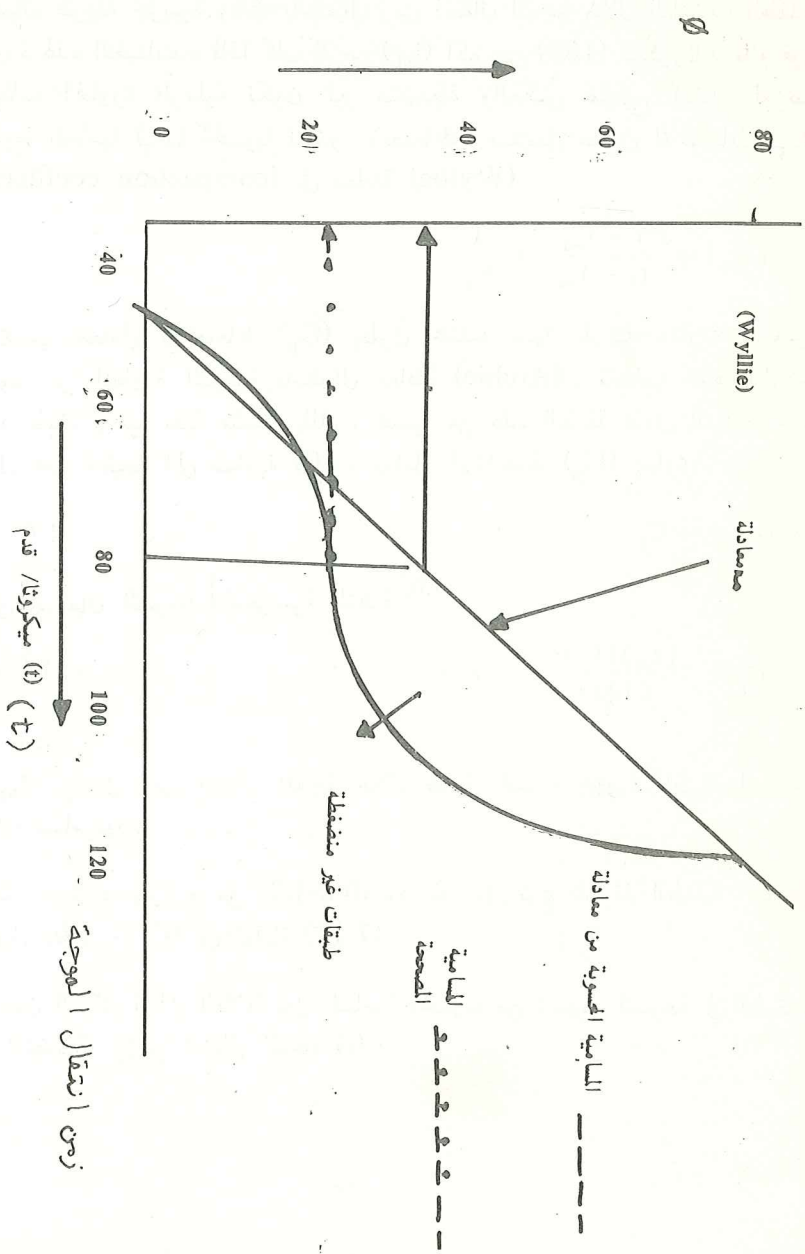
$$C_p = \frac{(t_{sh})(C)}{(100)} \quad \dots (7-11)$$

حيث :

t_{sh} - يمثل زمن انتقال الموجة خلال طبقة طفلية مجاورة للطبقة المطلوب حساب مساميتها .

C - ثابت يتراوح من (0.8-1.2) ويعتمد على نوع الطبقة الطفلية ، يفضل استعمال ($C = 1.0$) في المعادلة (7-11) .

يبين الشكل التالي العلاقة بين المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة في الطبقات غير المنضغطة وزمن انتقال الموجة (t) :



شكل (7-10) مخطط بين العلاقة بين المسامية وزمن انتقال الموجة في الطبقات المضغوطة وغير المضغوطة

(3) التكوينات الكلسية

تعطي معادلة (Wyllie) نتائج جيدة للمسامية للتكوينات الكلسية التي لها مسامية متجانسة (homogeneous porosity) اما التكوينات الكلسية التي لها مسامية ثانوية على شكل تشققات (fractures) او مسامية متكهفة (vugular) بالإضافة الى المسامية الاولية ، فإن المسامية المحسوبة تكون قليلة بمقدار المسامية الثانوية الموجودة داخل النموذج او التكوين الكلسي ، حيث أن الموجة تنتقل داخل هذه الصخور خلال المسار الذي يمثل اقل فترة زمنية وهذا المسار يتمثل بالحشو . يمثل شكل (7-11) العلاقة بين زمن انتقال الموجة (t) مع المسامية (φ) لنماذج كلسية مختلفة غير متجانسة .

معادلة اسية مقترحة لايجاد المسامية (φ) لهذه الانواع من الصخور الكلسية⁽⁹⁾ .

$$t = (t_r^{(\phi)}) \times (t_{am})^{(1-\phi)} \quad \dots (7-12)$$

او ممكن استعمال معادلة معدل الزمن بشكل آخر :

$$t = (A)(\phi) + B(1 - \phi) \quad \dots (7-13)$$

حيث :

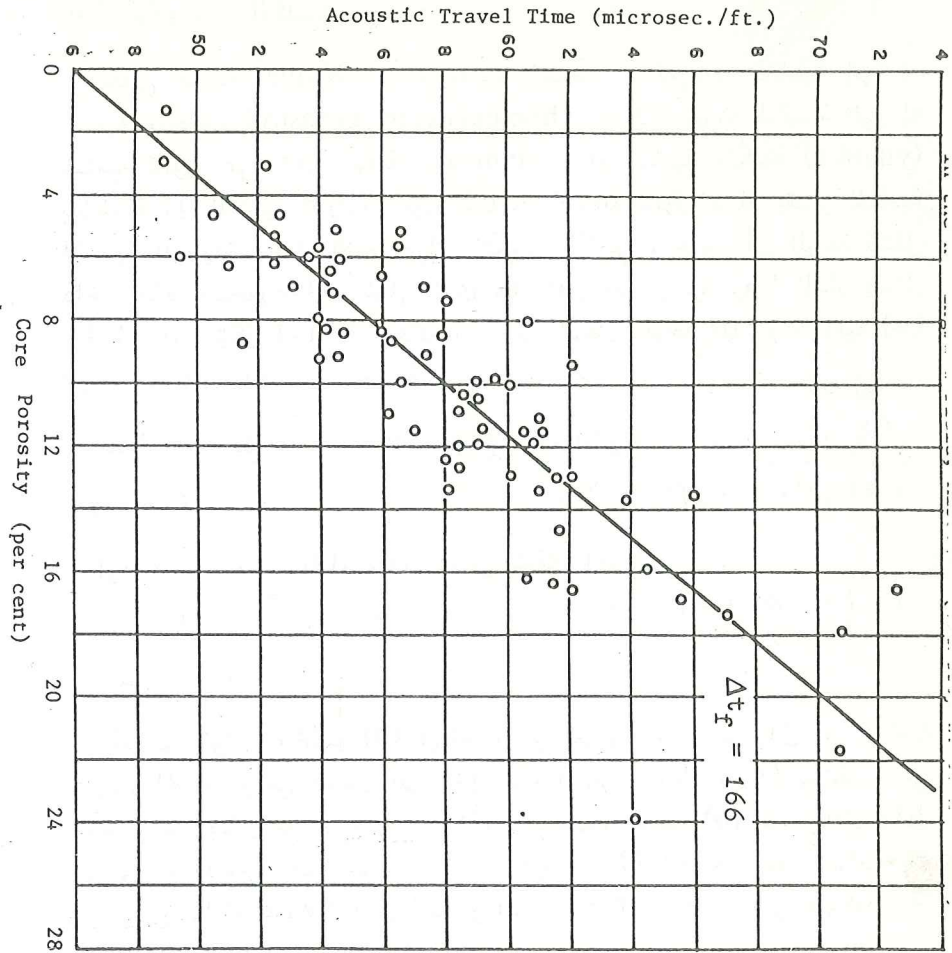
تحتسب الثوابت (A) و (B) في المختبر عن طريق عمل رسم بياني بين المسامية للنماذج المختلفة وزمن انتقال الموجة في هذه النماذج . الثابت (A) يستحصل من تقاطع خط بياني مع مسامية (100%) ويستحصل الثابت (B) من تقاطع الخط البياني مع المسامية عند الصفر . يمثل شكل (7-12) انحراف خط المسامية مع الزمن من معادلة (Wyllie) في الصخور المكمنية الكلسية المتشققة او المتكهفة .

اذن المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة ، تكون اقل من المسامية الكلية للنموذج الكلسي الذي يحتوي على مسامية ثانوية بجانب المسامية الاولية . لو فرضنا ان المسامية الاولية تساوي (φ₁) والمسامية الثانوية (φ₂) والمسامية المحسوبة من تسجيل السرعة تساوي (φ_s) ، فان العلاقة بينهما تكون كما يلي :

$$\phi_1 \leq \phi_s \leq \phi_1 + \phi_2 \quad \dots (7-14)$$

(4) التكوينات او الصخور المكمنية غير النقية المحتوية على طفل⁽⁷⁾ (Shaly reservoir rocks)

تأثير الطفل او الطين على قياسات السرعة هو زيادة من زمن انتقال الموجة (t) . تتمثل هذه الزيادة في المعادلة :



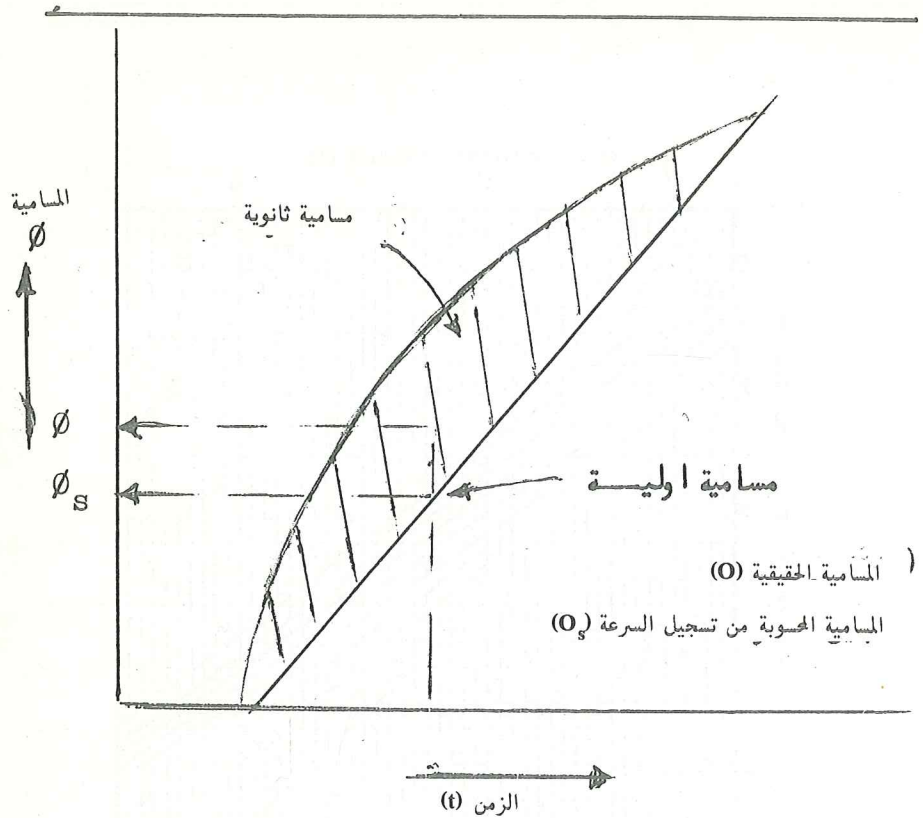
شكل (7-11) مخطط بياني يبين العلاقة بين زمن انتقال الموجة والمسامية في الصخور الكلسية غير المتجانسة

$$t = (\phi)(t) + (V_{clay})(t_{clay}) + (1 - \phi - V_{clay})t_{ma} \quad \dots (7-15)$$

حيث :

V_{clay} - حجم الطفل بالنسبة المئوية داخل الصخرة او حجم الطين .
 (t_{clay}) - زمن انتقال الموجة خلال الطفل او الطين .

قيمة (t) اي زمن انتقال الموجة داخل هذا النوع من المكامن يكون اطول من زمن انتقال الموجة داخل المكامن النقية التي لها نفس مقدار المسامية . تذكر طرق



شكل (7-12) مخطط بياني يمثل انحراف خط المسامية من معادلة (Wyllie) في الصخور الكلسية غير المتجانسة

حساب نسب الطفل داخل المكامن غير النقية في الفصول اللاحقة ، ممكن حساب المسامية (ϕ) في هذا النوع من المكامن باستعمال المخطط البياني شكل (7-13) .

امثلة حقلية :

(1) احسب مقدار المسامية (ϕ) في مكمن غازي غير منضغط (uncompacted gas sand) اذا توفرت لديك البيانات التالية :

زمن انتقال الموجة خلال المكمن يساوي (100) ميكروثا / قدم .

زمن انتقال الموجة خلال الطفل يساوي (120) ميكروثا / قدم .

اي ان القيم المعطاة :

$$t = (110) \mu \text{ sec/ft}$$

$$t_{sh} = (120) \mu \text{ sec/ft}$$

الحل : لايجاد (C_p) نستعمل معادلة (7-11) حيث :

$$C_p = \frac{(t_{sh})(C)}{100}$$

$$= \frac{(120)(1.0)}{(100)} = 1.2$$

اي معامل الانضغاط للطبقة المكنية .

لحساب المسامية (ϕ) نستعمل المخطط البياني شكل (7-2) فنحصل على :

$$\phi_s = 34\%$$

تمثل هذه القيمة مسامية المكن بدون تصحيح لتأثير الهيدروكربون الغازي لتسجيل السرعة . استعملت البيانات ايضا في الميكرو كومبيوتر وكانت النتيجة كما يلي

NEXT CASE

Data

$$dT_{MA} = 55.0 \mu S/ft$$

$$dT_{FL} = 189.0 \mu S/ft$$

$$C_p = 1.200$$

$$\Delta T = 110.0 \mu S/ft$$

$$\phi_s = 34.2\%$$

اي ان قيمة المسامية (ϕ) تساوي ((34.2%)) وهي مقاربة جدا للمسامية المحسوبة بواسطة المخطط البياني. تصبح باستعمال معادلة (7-4) المسامية الصحيحة :

$$\phi_{sc} = (\phi_s)(0.7)$$

$$= (34)(0.7) = 23.8\%$$

تمثل هذه القيمة المسامية الصحيحة للمكن الغازي .

(2) يبين المثال الحظي شكل (7-14) تسجيل السرعة مع تسجيل (IES) و (caliper) امام طبقة مكنية كلسية . نلاحظ ايضا تأثير (bimetalism) على تسجيل (SP) ، في المناطق المؤشرة (A,B,C) . تسجيل المقاومة مسجل

بمقياس (0-500) اوم - م . اذا علمت ان المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w) تساوي (0.018) اوم - م في درجة حرارة المكنن ، وقيمة (R_{mp}) تساوي (0.56) اوم - م في درجة ($76^\circ F$) . احسب ماييلي للمناطق المطلوبة :

- 1 - تحديد المناطق النفاذة وغير النفاذة .
- 2 - مسامية (ϕ) المناطق المختلفة .
- 3 - درجة التشبع بالماء (S_w) للمناطق المختلفة .

العمق	المنطقة المطلوبة
8444-48	1
8450	2
8456-58	3
8474-76	4
8491-93	5

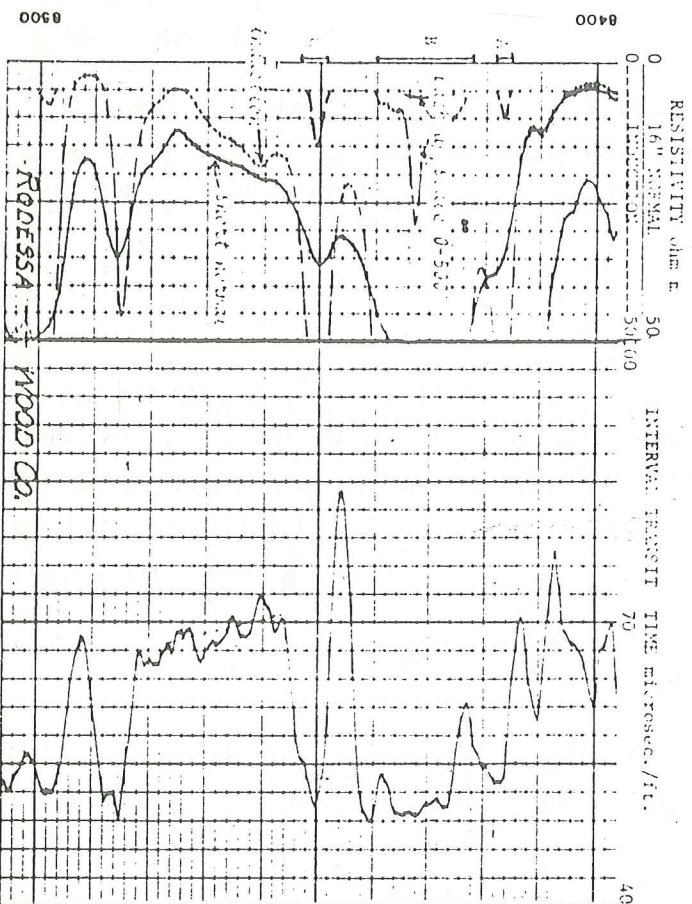
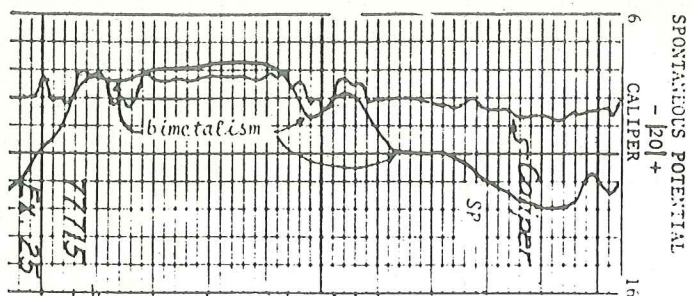
البيانات المتوفرة من تسجيل السرعة ، والمقاومة

المنطقة (Zone)	R_{IL}	t
1	22	84
2	150	50.5
3	17	70
4	5.0	69
5	2.5	68

الحل : تعطى النتائج لمنطقة رقم (1) فقط :

تعتبر المنطقة رقم (1) نفاذة وذلك من دلائل تسجيل (SP) و (Caliper) .
المسامية :

لحساب المسامية نستعمل ($V_{ma} = 21000 \text{ ft/sec}$) او مايعادل (6400) م / ثا وهذه تعتبر اقل سرعة بالنسبة للصخور الكمنية الكلسية (للحصول على القيمة الصحيحة لسرعة الحشو تستعمل طرق التسقيط المختلفة) .
باستعمال المخطط البياني شكل (2-7) للحصول على المسامية (ϕ) حيث :



شكل (7-14) مثال حثلي لتسجيل السرعة مع تسجيل Caliper و (IES)

$$t = 84$$

$$V_{ma} = 21000$$

$$\phi = 26\%$$

(3) حساب درجة التشبع (S_w) بالماء :

تصبح قراءة المقاومة النوعية المسجلة من تسجيل الحث بالنسبة لسلك الطبقة باستعمال شكل (5-13) .

$$R_t = (20.02) \text{ ohm-m}$$

لان سمك الطبقة قليل في هذه المنطقة . يفضل استعمال الطريقة النسبية لايجاد التشبع وذلك للتخلص من استعمال المسامية في هذه المنطقة (الطريقة النسبية للتشبع تذكر في الفصول القادمة) .

هذا الغرض يستعمل مخطط شكل (7-15) للحصول على درجة التشبع بالماء (S_w) . الطريقة المذكورة في المخطط تقريبية ، ففي حالات توفر معلومات اخرى ممكن استعمال طرق اكثر دقة لايجاد درجة التشبع بالماء . لاستعمال المخطط نحتاج الى النسب التالية :

$$\frac{R_{160}}{R_{ILc}}, \frac{R_{mf}}{R_w}$$

بما ان (R_{mp}) تساوي (0.56) اوم - م في درجة (76°F) ، نحتاج الى القيمة في درجة حرارة المكمن او في عمق (8450) قدم . ان درجة حرارة المكمن غير متوفرة ، نفرض التدرج الحراري الارضي في البئر يساوي ($1.15^\circ\text{F}/100$) اذن الحرارة في عمق المكمن تساوي (170°F) ، وقيمة (R_{mp}) في هذه الدرجة تساوي (0.26) اوم - م . اذن نسبة $\frac{R_{mf}}{R_w}$ تساوي :

$$\frac{R_{mf}}{R_w} = \frac{0.26}{0.018} = 14.44$$

قيمة (R_{16}) المقاسة تساوي (31) اوم - م . تصحح هذه القيمة لتأثير البئر باستعمال شكل (4-4) ولتأثير السمك باستعمال شكل (4-6) . بعد التصحيح نحصل على :

$$R_{16c} = 38 \text{ ohm-m}$$

اذن :

(R_{IL}) مصححة سابقا ، نستعمل النسب التالية في المخطط البياني شكل

$$\frac{R_{mf}}{R_w} = 14.44, \quad \frac{R_{16c}}{R_{ILc}} = \frac{38}{20.02} = 1.89$$

$$\therefore S_w = 38\%$$

المسامية للمناطق المختلفة محسوبة بواسطة الميكروكوسبيوتر كما مبينة على الورقة المطبوعة .

dt NA = 47.6 μ S/Ft
 dt FL = 189.0 μ S/Ft
 CP = 1.000

DELTA T= 84.0 μ S/Ft
 PHI S = 25.7 %

DELTA T= 50.5 μ S/Ft
 PHI S = 2.1 %

DELTA T= 70.0 μ S/Ft
 PHI S = 15.8 %

DELTA T= 69.0 μ S/Ft
 PHI S = 15.1 %

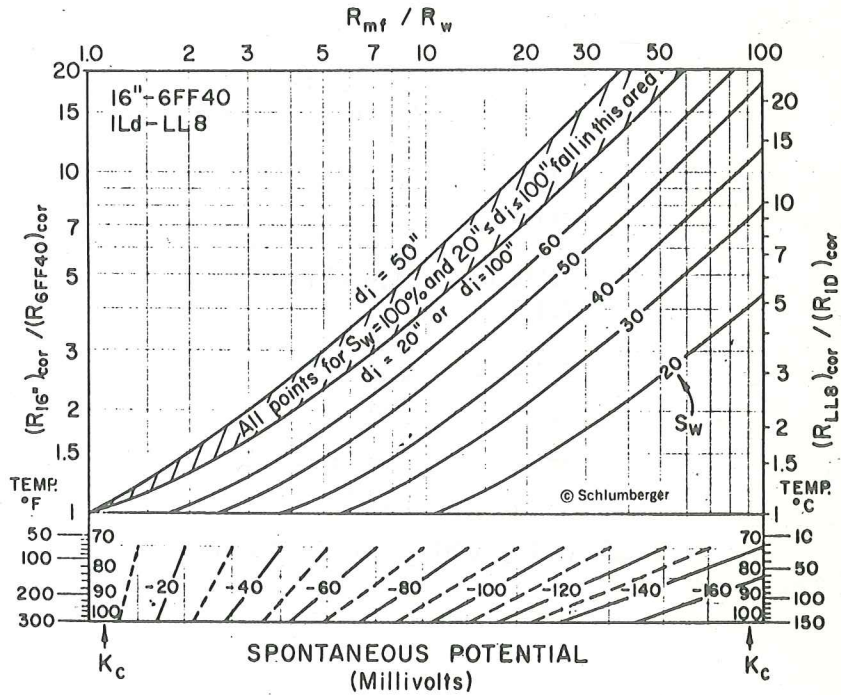
DELTA T= 68.0 μ S/Ft
 PHI S = 14.4 %

« ملاحظة - المناطق الاخرى تكمل كمسألة »

APPROXIMATE DETERMINATION OF S_w

6FF40-16" Normal, or ILd-LL8

THICK BEDS, 8" HOLE

 $20" < d_i < 100"$ 

شكل (7-15) مخطط بياني لحساب درجة التشبع بالماء (S_w) بصورة تقريبية (لشركة شلمبرجر).

مسائل

(1) يمثل شكل (7-16) تسجيل (IES) مع تسجيل السرعة امام طبقات مكمنية رملية . احسب ماييلي :

(1) تحديد المناطق النفاذة .

(2) (R_w) من (SP) .

(3) (S_w) للاعماق التالية :

3580-90

3604-14

3634-36

(4) حدد المناطق الهيدروكاربونية والمناطق المائية ، اذا وجدت .

(5) هل تعتبر المنطقة (3632-40) رملية ؟ ولماذا ؟

(2) شكل (7-17) يمثل تسجيل (ES) مع تسجيل السرعة امام طبقات مكمنية وغير مكمنية . احسب ماييلي :

(1) مسامية المناطق المؤشرة .

(2) درجة التشبع بالماء للمناطق المؤشرة .

(3) هل المناطق الحاوية على الهيدروكاربونات غازية ام نفطية ؟ لماذا ؟

(3) سجل تسجيل السرعة امام تكوين غير منضغط ووجدت القياسات التالية :

$$(t) = (112) \text{ micro- sec / ft}$$

$$(t_{sh}) = (125) \text{ micro- sec / ft}$$

احسب مسامية التكوين اذا كانت المنطقة :

(1) منطقة مائية (water zone)

(2) منطقة نفطية (oil zone)

(3) منطقة غازية (gas zone)

(4) يمثل شكل (7-18) تسجيل (IES) مع تسجيل السرعة calipe اما طبقة

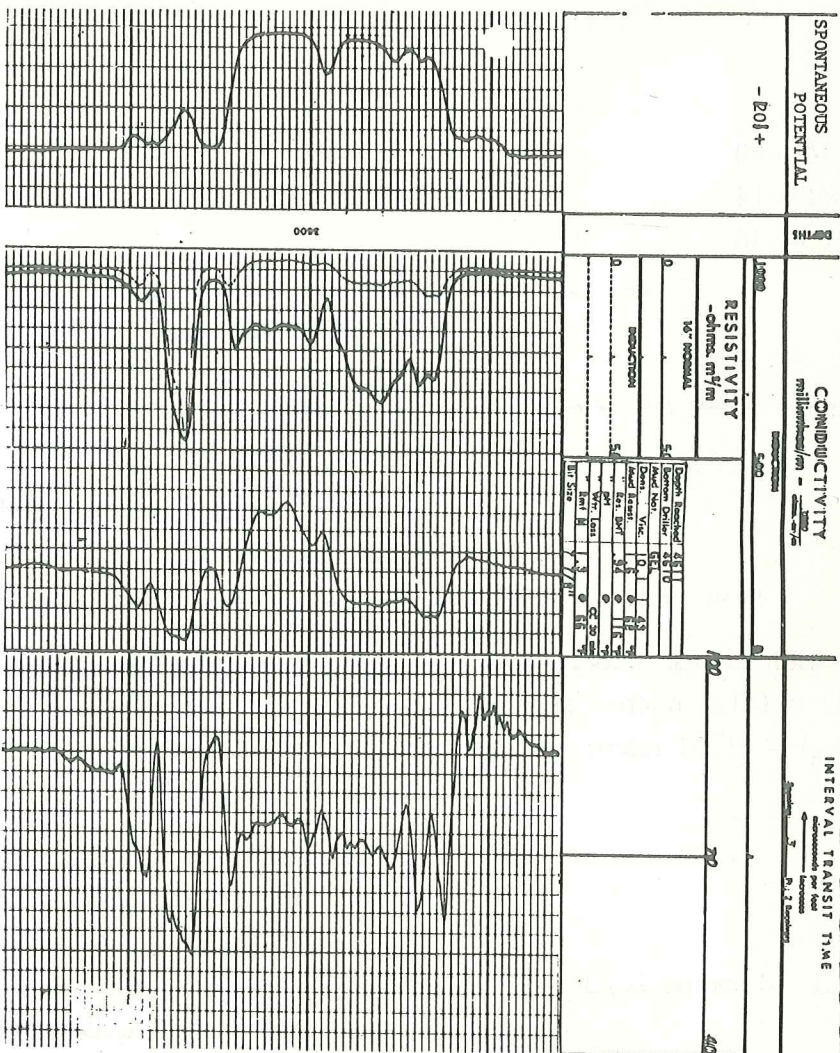
مكمنية كلسية . احسب ماييلي للمناطق المؤشر :

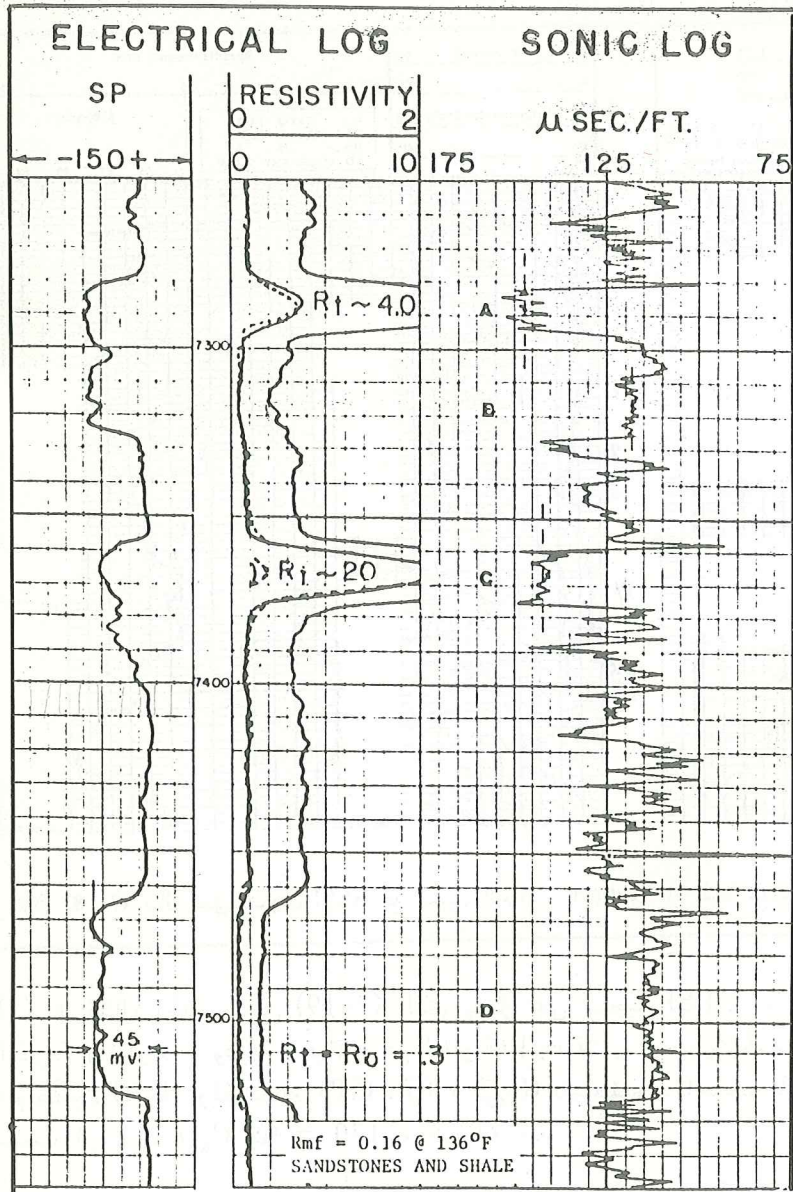
(1) R_w من تسجيل (SP) وطريقة (R_{wa}) .

(2) المسامية (ϕ)

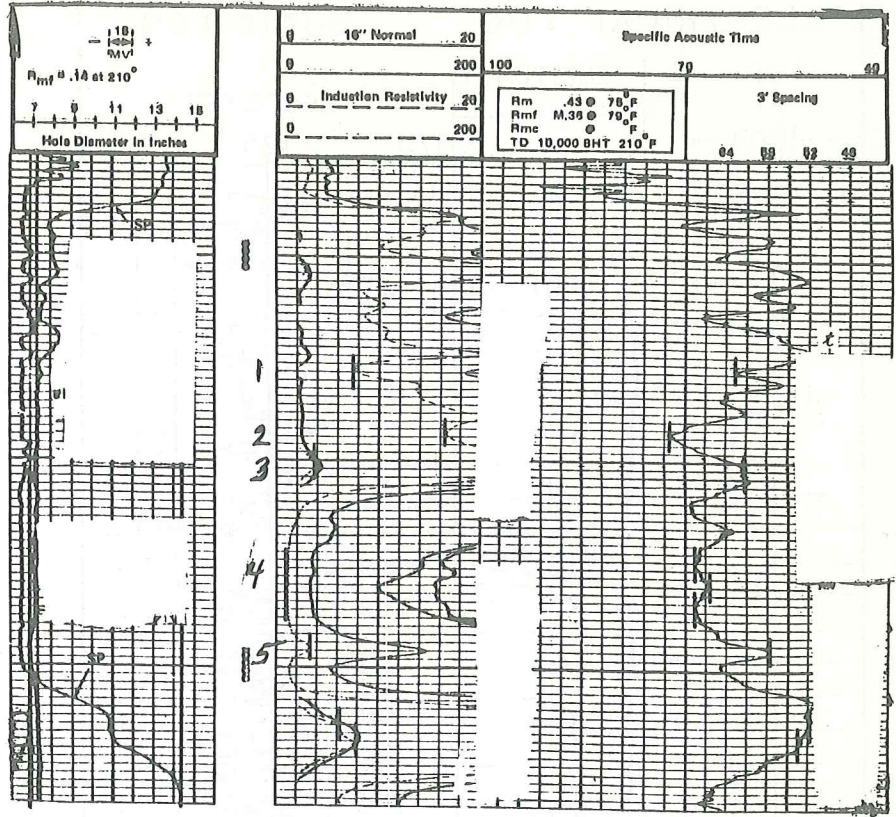
(3) درجة التشبع بالماء (S_w) .

(4) هل تعتبر المناطق المؤشرة مائية ام نفطية ؟ حدد هذه المناطق .





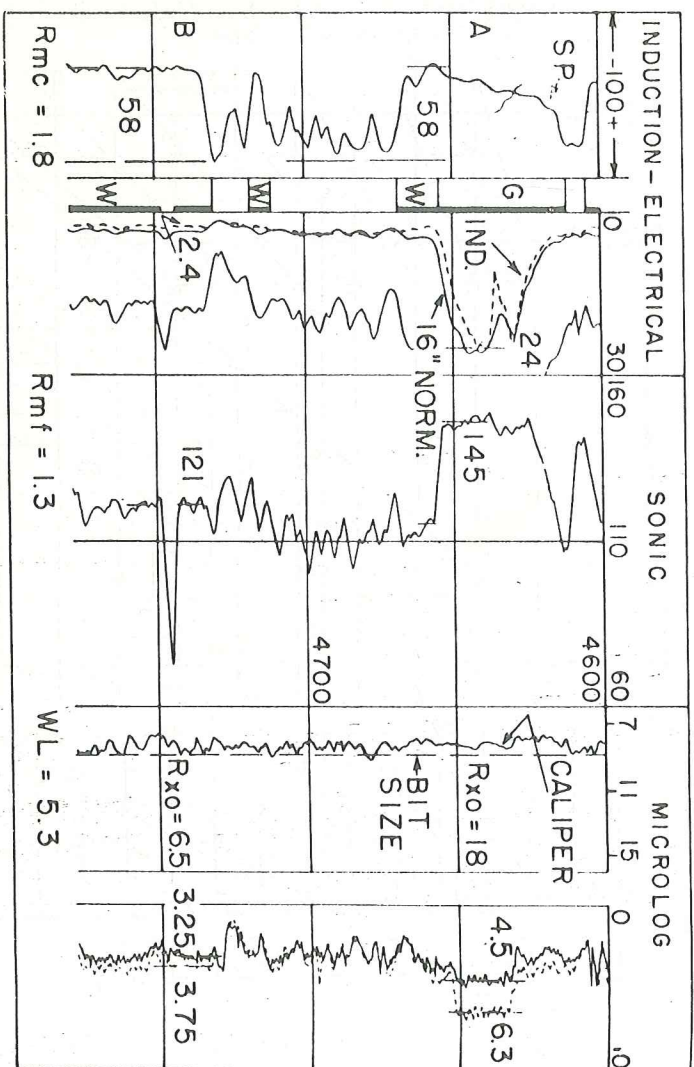
شكل (7-17) مثال حقلي لتسجيل (ES) مع تسجيل السرعة



شكل (7-18) مثال حقلي لتسجيل (IES) مع تسجيل السرعة و caliper امام طبقة مكنية كلسية

(5) في المثال الحقلي شكل (7-19) الذي يشمل على تسجيل (IES) مع تسجيل السرعة والمقاومة النوعية الدقيقة ، قيم المقاومة النوعية من تسجيل الحث مؤشرة للمنطقتين (B,A) وكذلك قيم (SP) ، (t) و (R_{xo}) للمنطقتين . احسب ماييلي اذا علمت ان قيمة (t_{sh}) (c) = 170 ميكروثا / قدم :

- (1) R_w
- (2) المسامية (ϕ) للمنطقتين بواسطة تسجيل السرعة والمقاومة النوعية الدقيقة .
- (3) درجة التشبع بالماء (S_w) بطريقة (Arhie) والطريقة النسبية باستعمال المخطط البياني شكل (7-15) وباستعمال المخطط البياني شكل (7-20) .



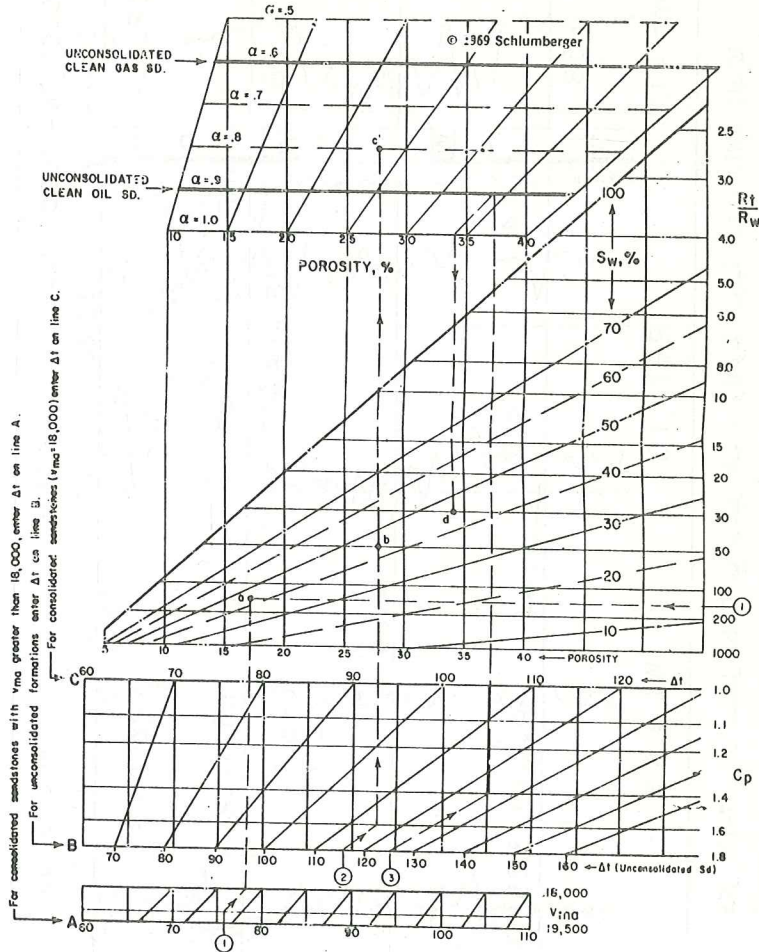
شكل (7-19) مثال لتسجيل (IES) مع تسجيل السرعة والمقاومة النوعية الدقيقة (NML) (شركة
مليدور)

POROSITY & SATURATION FROM SONIC & RESISTIVITY LOGS

Consolidated, Unconsolidated, or Shaly Sands

$$v_r = 5,300 \text{ ft/sec}, F = .62/\phi^{2.15}$$

REFERENCE: "Sonic Logging," by Tixier, M. P., Alger, R. P., and Goh, C. A. Presented at Annual Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of the AIME, in Houston, October 5-9, 1958.



شكل (7-20) مخطط بياني لحساب المسامية ودرجة التشبع بالماء (S_w) من تسجيل السرعة والمقاومة النوعية (لشركة شلمبرجر)

- (4) هل هناك فرق في نتائج (S_w) المحسوبة من الطريقة النسبية وطريقة المخطط البياني شكل (7-20) ؟ اذا وجد فرق ماهو السبب ؟
- (5) هل هناك فرق في قيم المسامية (ϕ) المحسوبة من تسجيل السرعة ومن المقاومة النوعية الدقيقة (ML) ؟ ما هو النسب ان وجد فرق في النتائج ؟

6، اي النتائج تعتبر صحيحة بالنسبة لدرجة التشبع (S_w) والمسامية (ϕ) ؟

(6) سجلت القياسات التالية امام طبقة مكنية رملية :

$$dt = 76 \text{ micro-sec/ (ft)}$$

$$V_{ma} = 19,000 \text{ (ft/sec)}$$

$$R_t / R_w = 150, \alpha = 1.0$$

احسب :

1 مسامية الطبقة المكنية (ϕ) .

2 درجة التشبع بالماء (S_w) .

(7) سجلت القياسات التالية امام طبقة رملية طفيلية غير متماسكة (unconsolidated) :

$$dt = 115 \text{ (micro-sec/ft)}, C_p = 1.6$$

$$R_t / R_w = 50, \alpha = 0.8$$

احسب :

(1) مسامية الطبقة (ϕ)

(2) درجة التشبع بالماء (S_w) .

تسجيل الكثافة

«Formation Density log»

ظهرت الطرق النووية لقياس المسامية بعد سنة ١٩٥٧ . تقاس المسامية عن طريق قياس الكثافة الكلية (ρ_b) اي (bulk density) للصخور . يمكن حساب المسامية اذا كانت كثافة الحشو (matrix density) وكثافة السائل داخل المسامات معلومة . كثافة الحشو لمختلف الصخور تتراوح بين (2.65-2.87) غم / سم^٣ . هذه القيم تمثل معدل كثافة الحشو للصخور المكمنية . كثافة السائل تكون في اغلب الاحيان (1.0) غم / سم^٣ حيث جهاز الكثافة يقيس في المناطق المغزوة من الطبقات النفاذة التي تتمثل بسائل راسخ الطين . الطبقات المكمنية الغازية التي لها عمق الغزو فيها قليل فان استعمال هذه القيمة من الكثافة تؤدي الى اخطاء في حسابات المسامية . اذن الكثافة الكلية (S_p) المقاسة للتكوينات تعتمد على مسامية هذه التكوينات اذا كانت الصفات الصخرية (lithology) ثابتة . المعادلة التالية تبين علاقة الكثافة الكلية بالمسامية (ϕ): (2)

$$\rho_b = \rho_{ma} (1 - \phi) + \rho_f (\phi) \quad \dots (8-1)$$

حيث :

- ρ_b - الكثافة الكلية للتكوين (غم / سم^٣) .
- ρ_{ma} - كثافة الحشو (matrix) (غم / سم^٣) .

ϕ - مسامية التكوين (نسبة مئوية) .
 ρ_f - كثافة المائع (غم / سم^٣) .

كثافة السائل تساوي (1.0) غم / سم^٣ في الآبار المملوءة بطين حفر اعتيادي وتساوي (1.1) غم / سم^٣ في الآبار المملوءة بطين ملحي . يبين الجدول التالي كثافة الحشو لانواع مختلفة من الصخور المتواجدة في الحقول :

جدول (8-1) :
 نوع الصخرة

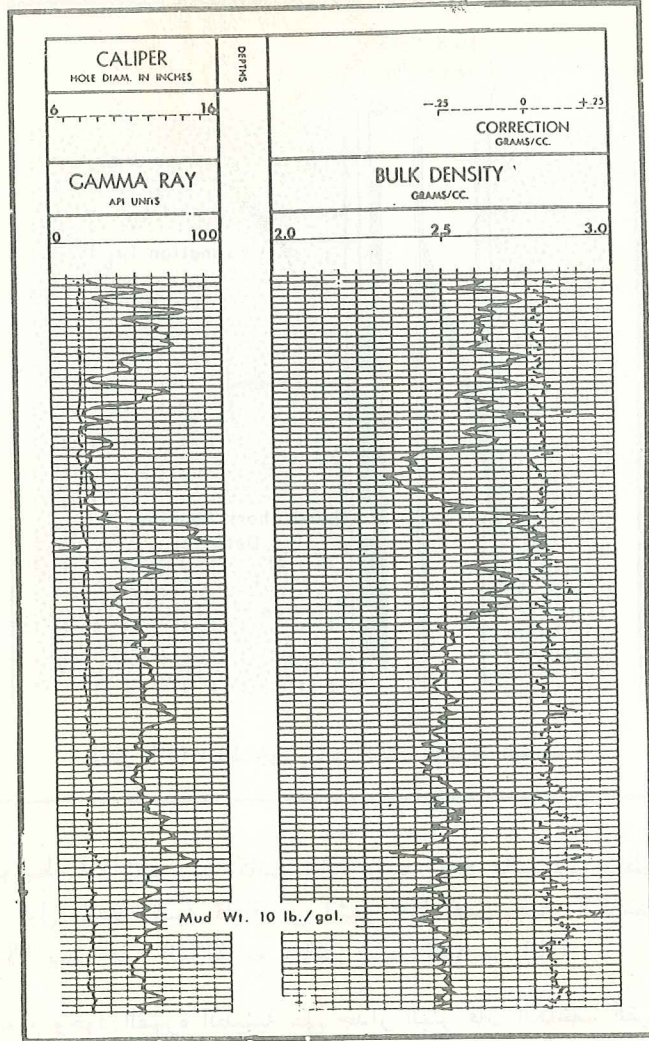
كثافة الحشو	كثافة الحشو	نوع الصخرة
المستعملة	(غم / سم ^٣)	
2.65 or 2.69	2.65-2.70	رملي
2.71	2.71	كلسي
2.83 or 2.87	2.83-2.89	ذلولومايت
2.98	2.94-3.0	انهيدريت
2.03	2.03	ملح (halite)

تسجيل الكثافة مفيد في حسابات المسامية واكتشاف خامات المعادن في ترسبات المتبخرات (evaporites) . كذلك مفيد في اكتشاف مكامن غازية وحسابات كثافة الهيدروكربونات المخزونة داخل الطبقات . هذا التسجيل مفيد ايضاً في تحديد الصفات الصخرية للطبقات المكمنية عند استعمال بيانات الكثافة مع بيانات تسجيلات اخرى وايجاد المسامية الحقيقية للطبقات المكمنية ومفيد في تحليل المكامن الطفلية وايجاد نسب الطفل . كذلك يفيد هذا التسجيل في اكتشاف مناطق ذات ضغوط غير اعتيادية عند الحفر .
 يبين شكل (8-1) تخطيط الكثافة مسجل في احدى الآبار .

مبدأ القياس (2)(principle of measurement)

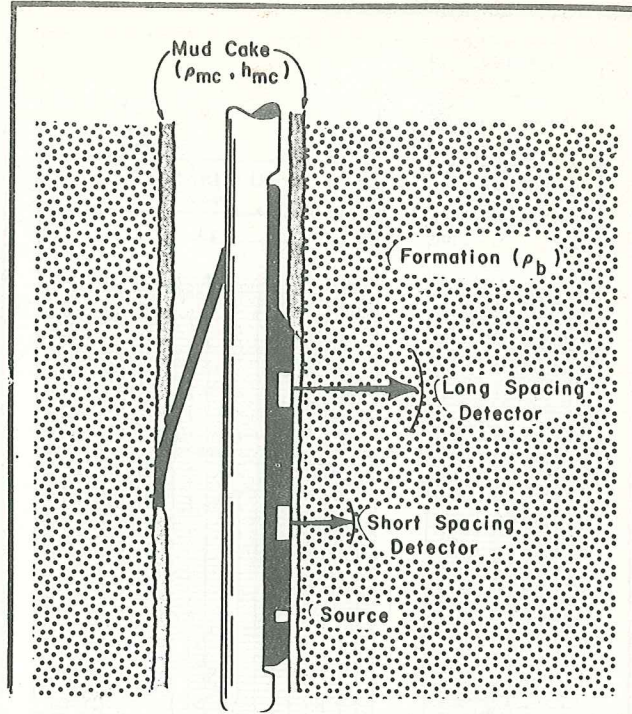
يتألف جهاز قياس الكثافة الكلية من مصدر مشع لاشعة كاما الذي يتكون من عنصر الكوبلت (C^{60}) المشع ، وكاشف (detector) قريب من المصدر وآخر بعيد من المصدر . يقوم كل كاشف بالتقاط اشعة كاما المبعثرة (scattered gamma rays) . الكاشفان مثبتان على مسند (pad) يلتصق بجدار البئر . يقيس الكاشف البعيد الكثافة الكلية للتكوين بينما يقيس الكاشف القريب كثافة التكوين في المنطقة المكتسحة القريبة من جدار البئر .

(8.2)



شكل (8-1) مثال حقلي لتخطيط الكثافة واشعة كاما و caliper
(لشركة شلمبرجر).

اشعة كاما المنطلقة من المصدر تصطدم مع الالكترونات المادة او التكوين . تفقد اشعة كاما جزءاً من طاقتها للالكترونات مع كل تصادم وتنتقل الى الالكترونات الاخرى . هذا النوع من التفاعل يطلق عليه اسم (Compton Scattering) . مقدار اشعة كاما المبعثرة دليل على كثافة المادة او كثافة الالكترونات اي الاشعة

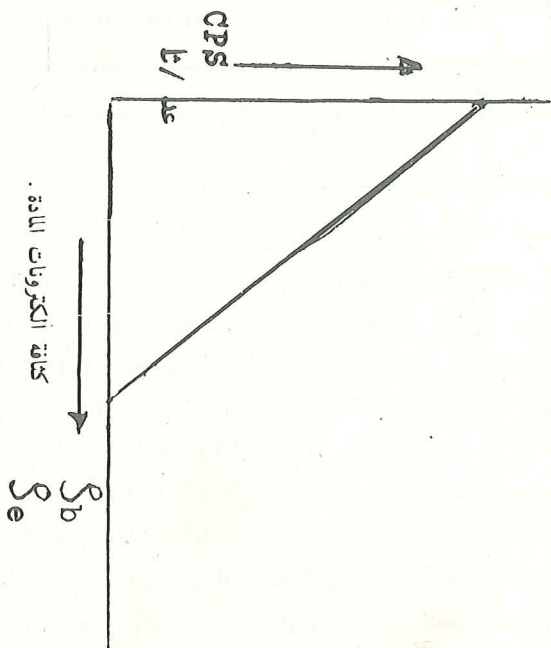
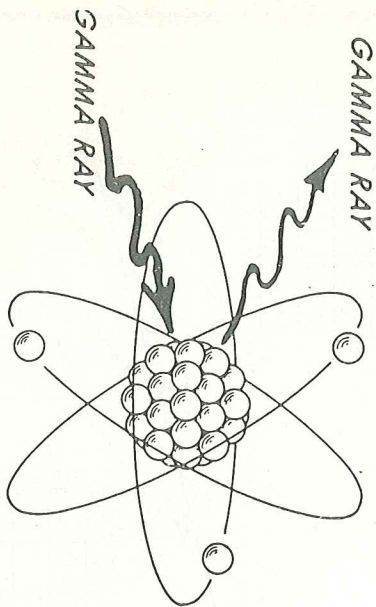


شكل (8-2) مخطط لجهاز قياس الكثافة (لشركة شلمبرجر)

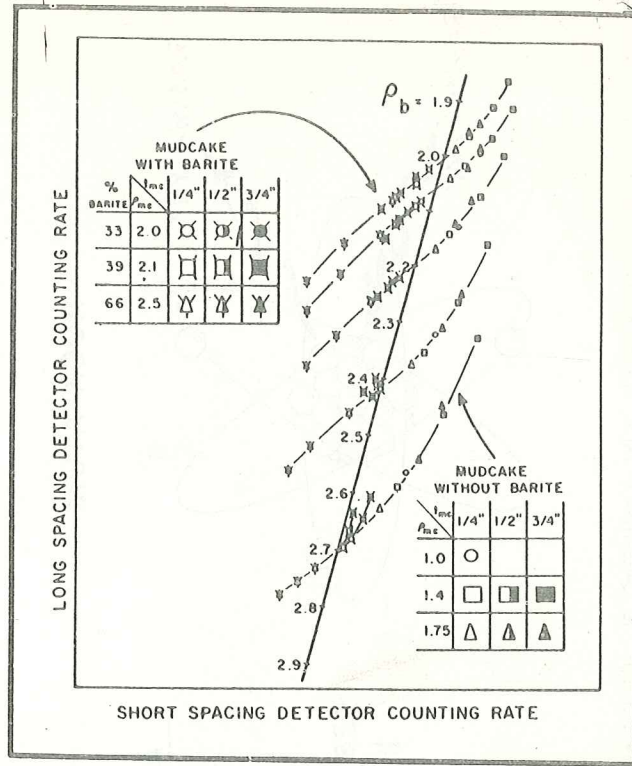
الملتقطة بواسطة الكاشف . اذا كانت المادة ذات كثافة عالية فان معظم اشعة كاما تمتص من قبل المادة ونسبة قليلة من اشعة كاما تصل جهاز الكاشف وتسجل . شكل (8-3) يبين هذه العلاقة مع تفاعل اشعة كاما مع المادة .

عند عدم وجود القشرة الطينية على جدار البئر فان الكاشف القريب والبعيد يسجلان نفس الكثافة . يبين الشكل التالي تأثير كثافة القشرة الطينية على قياس الكثافة .

ROCK ATOM



شكل (8-3) يخطط بين العلاقة بين مقدار اشعة كاما المسجلة وكثافة المادة او الالكترونات وتفاعل اشعة كاما مع المادة . .



شكل (8-4) مخطط يبين تأثير اختلاف سمك وكثافة القشرة الطينية على تسجيل الكثافة (5) (لشركة شلمبرجر)

يمثل الخط المستقيم في الشكل الكثافة وعلى هذا الخط يكون تسجيل الكثافة متساويا بالنسبة للكاشفين ، اي عند عدم وجود قشرة طينية ذات كثافة واطئة (اقل من كثافة التكوين) فان الكاشف القريب يسجل كثافة اوطأ من كثافة التكوين. تمثل نقطة (x) في المخطط هذه الحالة . ايضا يقرأ الكاشف البعيد كثافة اقل من الحقيقية ولكن بمقدار اقل . كلما زاد سمك القشرة الطينية كلما زاد مقدار التصحيح كما مبين في الشكل بنقطة (Y) . مقدار التصحيح او فرق الكثافة (S_p) الذي يجب اضافته مبين أيضا في الشكل . عند وجود قشرة طينية ذات كثافة عالية (نقطة z) في الشكل ، فإن الجهاز سيسجل كثافة أعلى من كثافة التكوين .

يؤشر اتجاه السهم طريقة التصحيح او الكثافة الصحيحة . عند التسجيل يضاف او يطرح مقدار من الكثافة (S_p) بصورة اوتوماتيكية للحصول على الكثافات الصحيحة . يمثل شكل (8-1) تسجيل الكثافة مع تسجيل مقدار التصحيح مع

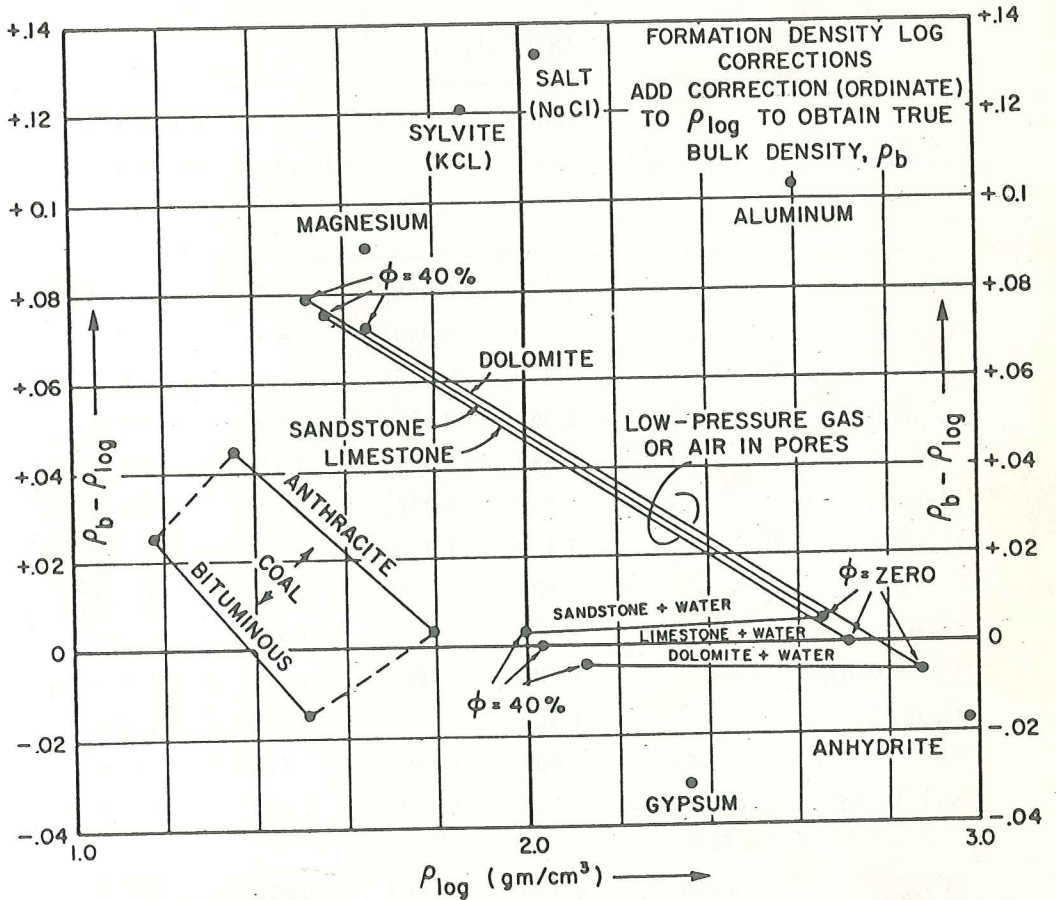
العمق . عند التسجيل ، يكون جهاز الكثافة ملتصقا بمجدار البئر وقد يحصل اختلاف في الكثافة المسجلة لعدة مرات داخل البئر . الصخور المكمية لها كثافة الكترولونات تتناسب طرديا مع الكثافة الكلية المسجلة وهذه العلاقة ممكن اثباتها .
يبن جدول (8-1) الكثافات الحقيقية لبعض المركبات والاختلاف بين كثافة الالكترولونات وكثافة المادة ⁽⁵⁾ . نلاحظ الاختلاف بسيط جدا بين هذه القيم ، ولكن هناك بعض مركبات المسادن المثلثة لترسيبات المتبخرات (evaporites) أي مركبات الاملاح مثل (NaCl) ، (KCl) والانهايدرايت والجبس .
فمثلاً يسجل جهاز الكثافة كثافة الانهيدريت

جدول (8-1)

Compound	Formula	Actual Density S_b	$2\Sigma Z$'s Mol. Wt.	S_e (Eq. 8-1)	S_a (Eq. 8-2) as seen by (tool)
Quartz	SiO_2	2.654	0.9985	2.650	2.648
Calcite	$CaCO_3$	2.710	0.9991	2.708	2.710
Dolomite	$CaCO_3 MgCO_3$	2.870	0.9977	2.863	2.876
Anhydrite	$CaSO_4$	2.960	0.9990	2.957	2.977
Sylvite	KCl	1.984	0.9657	1.916	1.863
Halite	NaCl	2.165	0.9581	2.074	2.032
Gypsum	$CaSO_4 2H_2O$	2.320	1.0222	2.372	2.351
Anthracite		1.400	1.030	1.442	1.355
Coal		1.800		1.852	1.796
Bituminous		1.200	1.060	1.272	1.173
Coal		1.500		1.590	1.514
Fresh Water	H_2O	1.000	1.1101	1.110	1.00
Salt Water	200,000 ppm	1.146	1.0797	1.237	1.135
"Oil"	$n(CH_2)$	0.850	1.1407	0.970	0.850
Methane	CH_4	Smeth	1.247	1.247	1.335 Smeth
				Smeth	0.18
"Gas"	$C_{1,1}H_{4,2}$	S_g	1.238	1.238 S_g	1.325 $S_g - 0.1$

(5)

مساوية (2.977) غم / سم³ بينما الكثافة الحقيقية تساوي (2.960) غم / سم³.
وايضا مركب (KCl) له كثافة حقيقية مساوية (1.984) غم / سم³ بينما جهاز
الكثافة يسجل قيمة اقل تساوي (1.863) غم / سم³. يمكن استعمال المخطط البياني
شكل (8-5)⁽⁵⁾. لاجزاء التصحيح لهذه الانواع من المركبات ان وجدت. يحتوي
هذا المخطط أيضا على تصحيح الكثافة المسجلة اذا كانت التكوينات حاوية على
هايدروكربونات غازية.



شكل (8-5) مخطط بياني لتصحيح الكثافة المسجلة

تعبير جهاز الكثافة :

يعبر جهاز الكثافة بواسطة نموذج كلسي نقي مملوء بالماء العذب وذو كثافة معلومة بصورة دقيقة . توجد أيضا نماذج قياسية ثانوية للمعايرة مثل الألمنيوم والكبريت . عند موقع البئر ، يستعمل مصدر مشع ذو مقدار ثابت من الاشعاع لاجل التأكد من سلامة اجهزة الالتقاط قبل القياس .

حساب المسامية (ϕ) (5)

حسابات المسامية (ϕ) لا تتأثر بوجود الهيدروكربون في الصخور الكمينة التي لها مسامية متوسطة او قليلة . اما الصخور الكمينة التي مساميتها عالية ، فإن حسابات المسامية تتأثر بوجود هيدروكربونات وخاصة الغازية فيجب اجراء تصحيحات على المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة . أيضا لا تتأثر المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة بالانضغاطية (compaction) لان القياسات تتم عن طريق التفاعلات الذرية .

تحسب المسامية باستعمال معادلة (8-1) . للحصول على المسامية (ϕ) تبسط المعادلة الى :

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad \dots (8-2)$$

يمكن استعمال المخطط البياني شكل (8-6) لحساب المسامية (ϕ) .

مثال :

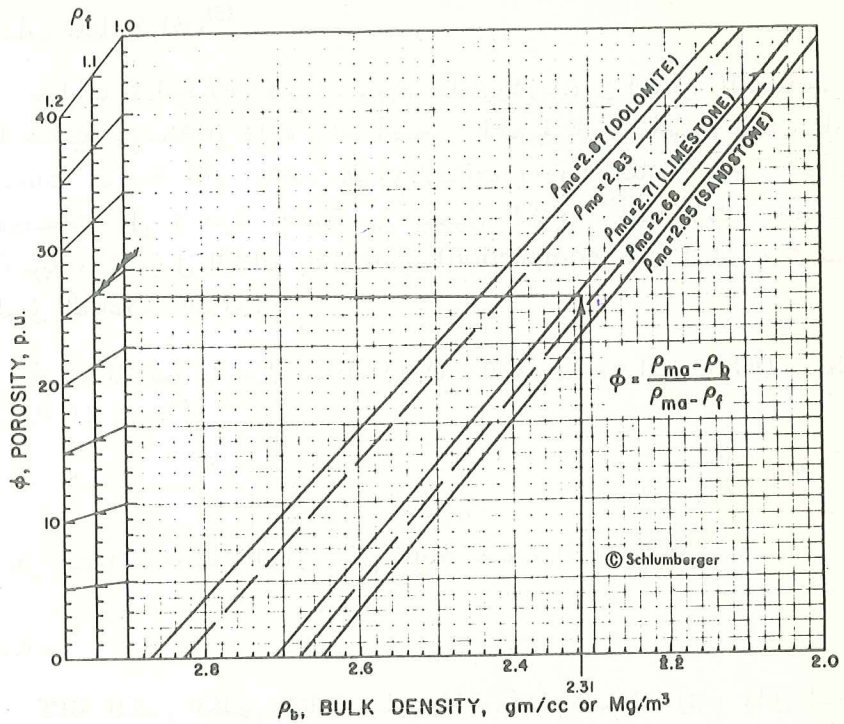
كثافة المكنم الكلسي المقاسة تساوي (2.31) غم / سم³ ، ونوع سائل الحفر المستعمل طين ملحي (salt mud) . ما مقدار مسامية المكنم ؟

الحل :

نستعمل المخطط البياني شكل (8-6) . ندخل في المخطط قيمة الكثافة (S_p) تساوي (2.31) على محور الكثافة ونرسم خطا عموديا يقطع خطوط كثافات الحشو عند قيمة كثافة الحشو للمكنم الكلسي المساوي (2.71) غم / سم³ . ترسم خطا افقيا الى نقطة التقاطع مع خطوط كثافة السائل ونحصل على المسامية . الحل مبين في المخطط البياني .

المسامية تساوي $(\phi_D = 25 \%)$

FORMATION DENSITY LOG DETERMINATION OF POROSITY



شكل (8-6) مخطط بياني لحساب المسامية من تسجيل الكثافة (FDC) (شركة شلمبرجر)

حساب المسامية (ϕ) بواسطة الميكروكومبيوتر (PDC-4100)

$$\text{RHO MA} = 2.710 \text{ gm/cc}$$

$$\text{RHO MF} = 1.100 \text{ gm/cc}$$

$$\text{RHO S} = 2.310 \text{ gm/cc}$$

$$\text{PHI D} = 24.8 \%$$

لحساب المسامية للصخور الكمنية التي مساميتها عالية والتي عمق الغزو فيها قليل ، اذا كانت هذه الصخور او الطبقات حاوية على ماء التكوين الذي ملوحتة عالية ، نستعمل كثافة السائل مساوية (1.1) غم / سم³ . اذا كانت هذه الطبقات حاوية على هيدروكربونات ، نستعمل المعادلة التالية لحساب المسامية (ϕ_D):⁽⁶⁾

$$\rho_b = (1 - \phi) \rho_{ma} + \phi [S_{x0} (\rho_{mf}) + (1 - S_{x0}) \rho_h] \quad \dots (8-3)$$

اذا كانت كثافة الهيدروكربونات متوسطة اي بحدود (0.7) او (0.8) غم / سم³ ، فإن كثافة المائع داخل المسامات ستساوي تقريبا (1.0) غم / سم³ ، اي افترض هذه القيمة عند حساب المسامية للطبقات الكمنية لايسبب أخطاء في المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة . في حالة وجود غازات هيدروكربونية داخل المسامات فإن المسامية ستتأثر وكثافة السائل المفروضة تؤدي الى قيم عالية للمسامية المحسوبة (ϕ_D) . كثافة المائع في هذه الحالات من الطبقات الكمنية تساوي :

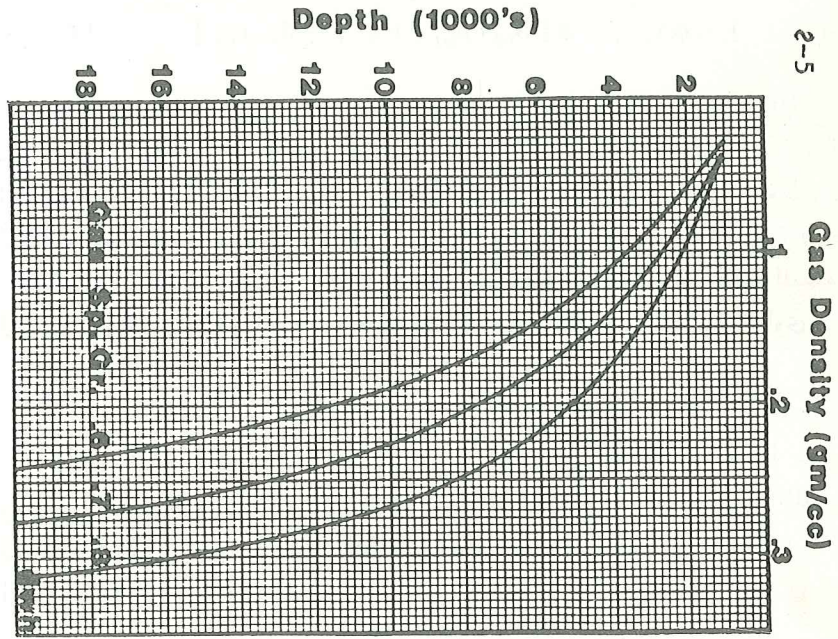
$$\rho_f = (S_w) (\rho_w) + (1 - S_w) \rho_h \quad \dots (8-4)$$

لحساب كثافة المائع يجب أن تكون درجة التشبع في الطبقات الكمنية معلومة وكثافة الهيدروكربون معلومة ، كثافة ماء التكوين (ρ_w) تعتمد على الملوحة . الجدول (8-2) يستعمل لايجاد الكثافة ، شكل (8-7) الذي يبين اختلاف كثافة الغاز مع العمق .

②

جدول (8-2)

كثافة الماء	ملوحة الماء
(غم / سم ³)	(ppm) (NaCl)
1.0	0
1.01	20000
1.03	50000
1.07	100000
1.11	150000
1.15	200000
1.19	250000



شكل (8-7) خطط اختلاف كثافة الغاز مع العمق

تأثير الطفل (shale) على المسامية (ϕ_D)

وجود الطفل داخل المسامات ممكن أن يؤثر على المسامية المحسوبة . كثافة طبقات الطفل متغيرة مع العمق ومع الموقع . تتراوح كثافة هذه الطبقات بين (2.2-2.65)

غم / سم³ . الكثافة تزيد مع عمق الدفن بصورة عامة . هذه الحالة لا تصلح في المناطق او الاعماق التي فيها ضغوط غير اعتيادية بحيث نلاحظ نقصان في الكثافة مع العمق . هذه الحالة مفيدة في التنبأ بالضغوط العالية غير الاعتيادية . لتصحيح المسامية لتأثير الطفل ، نستعمل المعادلة التالية (5) :

$$\rho_b = \phi \rho_f + (\bar{V}_{sh}) \rho_{sh} + (1 - \phi - \bar{V}_{sh}) \rho_{ma} \quad \dots (8-5)$$

مثال :

يمثل شكل (8-8) تسجيل (IES) وشكل (8-9) تسجيل الكثافة و caliper امام طبقات مكمنية رملية حاوية على الغاز وغير مغزوة . المطلوب :

حساب المسامية الصحيحة للمكمن ودرجة التشبع بالماء (S_w) .

الحل :

تقع المنطقة النفاذة بين (4659-4665) قدم في تسجيل (IES) . وتقع بين (4659-6453) قدم في تسجيل الكثافة . اي انه يوجد اختلاف في العمق بين التسجيلين لنفس المنطقة النفاذة .

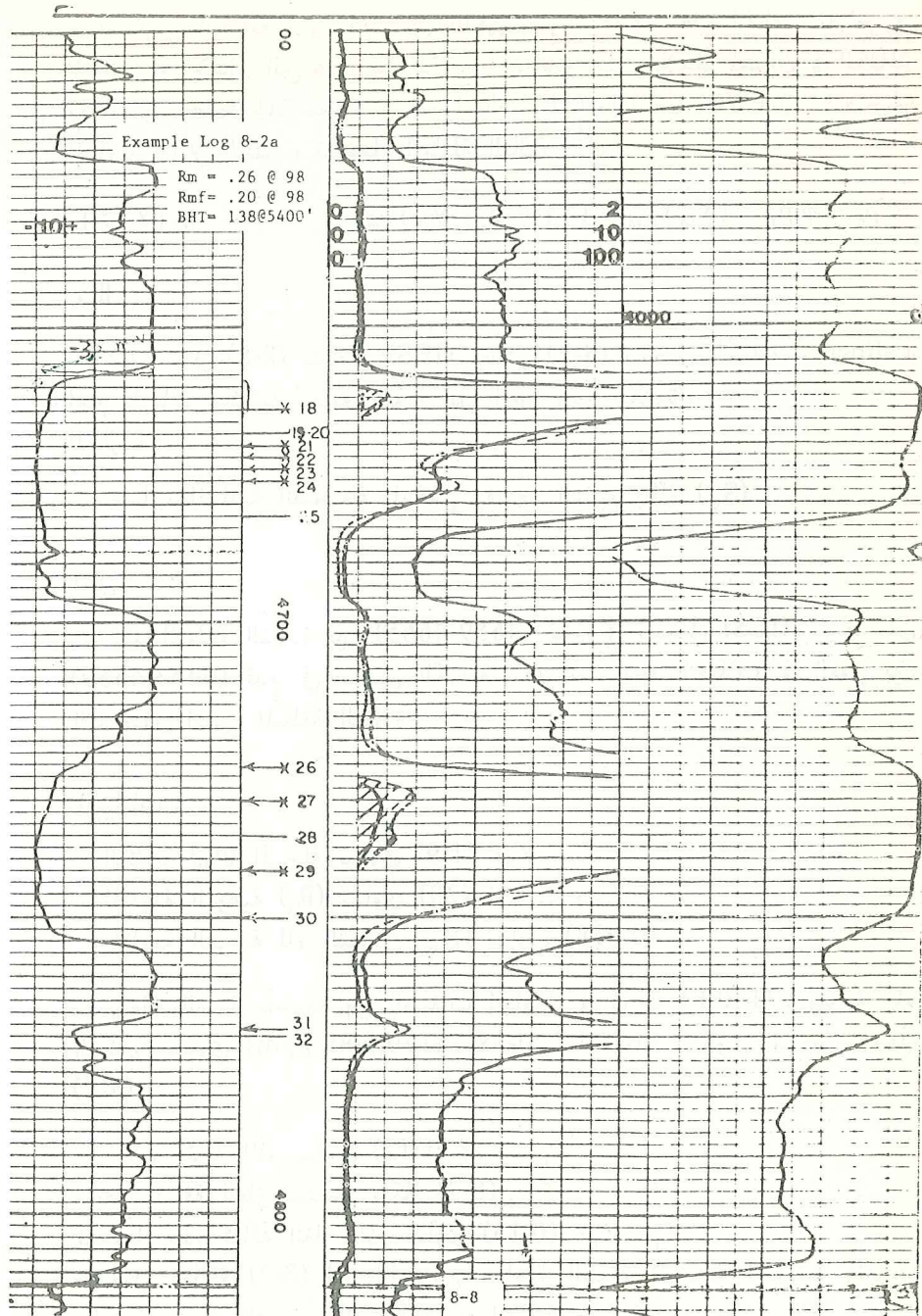
البيانات :

الكثافة (ρ_p) المسجلة تساوي (1.9) غم / سم³
المقاومة النوعية (R_p) تساوي (20) اوم - م .
المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w) تساوي (0.028)

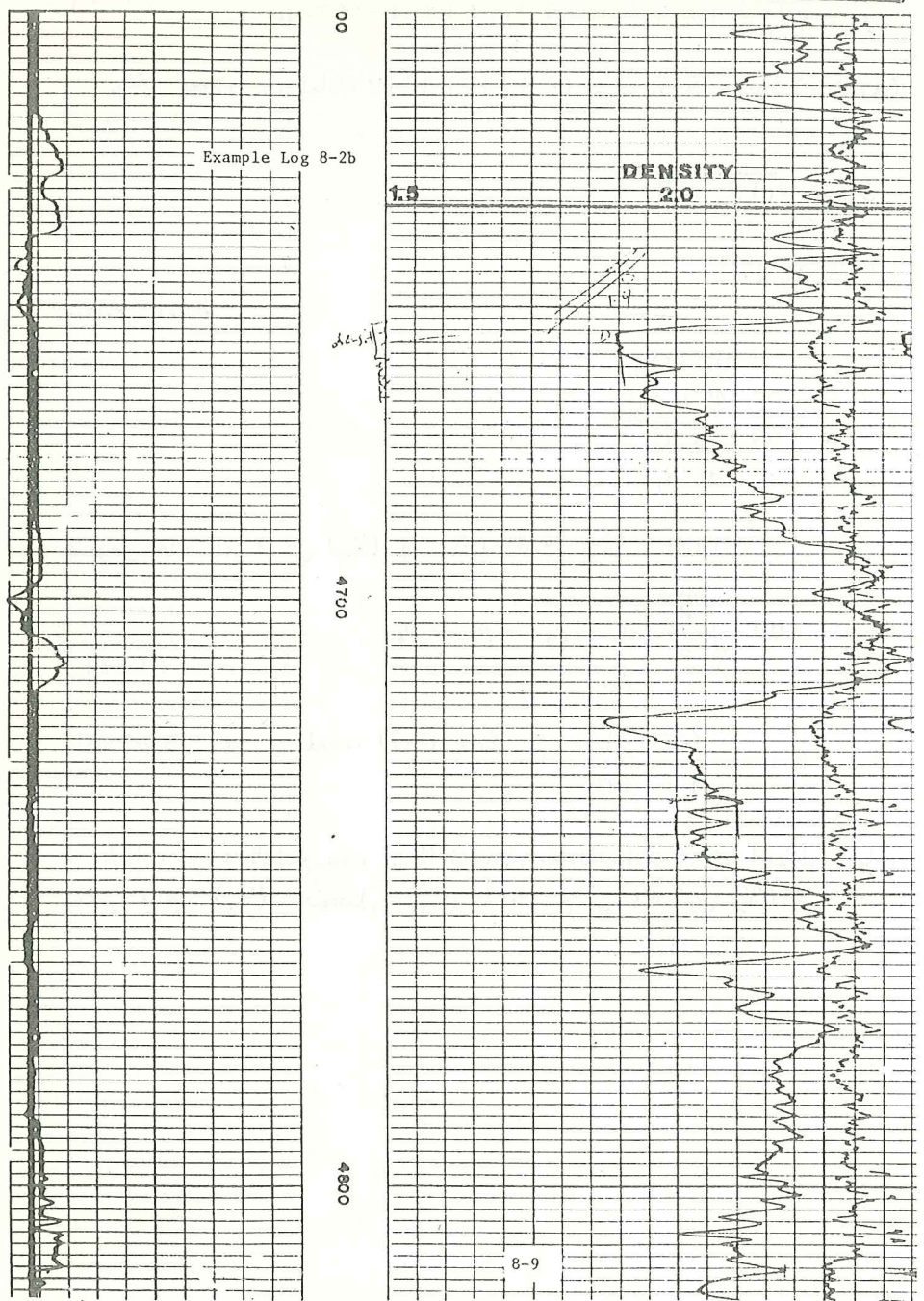
وهذه القيمة مأخوذة من الطبقات المجاورة في درجة (140°F) . ملوحة ماء التكوين تساوي (170,000 ppm) . لايجاد كثافة ماء التكوين نستعمل جدول (8-2) .

اذن كثافة الماء تساوي (1.12) غم / سم³
لايجاد كثافة الغاز نستعمل شكل (8-7) .

ف نحصل على كثافة الغاز التي تساوي (0.15) غم / سم³
نستعمل معادلة (8-3) للحصول على مسامية الطبقة المكمنية الحقيقية ونعوض بالمعادلة درجة التشبع بالماء (S_w) في المنطقة غير المغزوة محل (S_{xo}) . فتصبح المعادلة (6) :



شکل (8-8) مثال حقلی لتسجيل (IES)



شكل (8-9) مثال حقلي لتسجيل الكثافة (calliper)

$$\rho_b = \phi [(S_w) \rho_w + (1 - S_w) \rho_h] + (1 - \phi) \rho_{ma} \quad \dots (8-6)$$

يوجد مجهولان في المعادلة (8-6): (ϕ) ، (S_w) نعوض (S_w) بمعادلة (Archie) حيث :

$$S_w = \sqrt{(FR_w) / R_t}$$

$$F = 0.81 \phi^{-2}$$

فتصبح المعادلة

$$\begin{aligned} S_w &= \sqrt{\frac{(0.81) R_w}{(\phi^2) (R_t)}} \\ &= \frac{0.9}{\phi} \sqrt{\frac{R_w}{R_t}} \end{aligned}$$

فنعوض هذه القيمة عن (S_w) في معادلة (8-6) فتصبح المعادلة :

$$\phi = \frac{0.9 \sqrt{\frac{R_w}{R_t}} (\rho_w - \rho_h) + \rho_{ma} - \rho_b}{(\rho_{ma} - \rho_h)} \quad \dots (8-7)$$

بعد تعويض القيم في المعادلة (8-7) نحصل على المسامية (ϕ)

$$\phi = 30\%$$

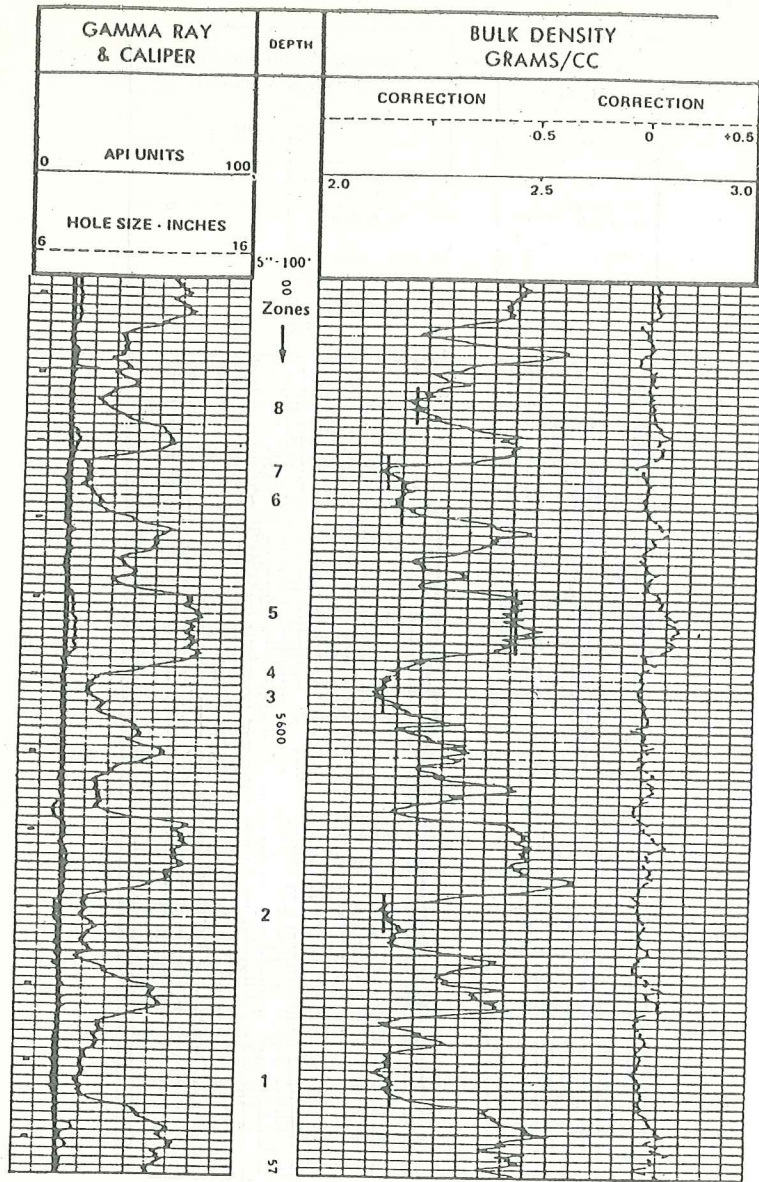
لحساب درجة التشبع بالماء (S_w) نستعمل معادلة Archie او المخطط البياني الخاص لايجاد (S_w) ، فنحصل على درجة التشبع (S_w) تساوي (10%) .

مسائل :

- (1) المثال الحقلي شكل (8-10) يشمل عدة مناطق نفاذة مؤشرة على تسجيل (IES) وكذلك تسجيل الكثافة شكل (8-11) . حدد المناطق النفاذة والمناطق التي يمكن أن تكون حاوية على هيدروكربونات باستعمال طريقة (R_w) . ماهي قيمة (R_w) بهذه الطريقة وبطريقة (SP) ؟
- (2) يمثل شكل (8-12) تسجيل المسامية من الكثافة والمسامية المحسوبة من المقاومة او درجة التوصيل ، وتسجيل (SP) مع (caliper) في المسار رقم (1) . المسامية محسوبة من تسجيل الحث بافتراض ان المناطق المختلفة من الطبقات المشبعة بالماء فالمسامية من معادلة (Archie) تساوي
- $$\phi = 0.9 (R_w / R_p)^{0.5}$$

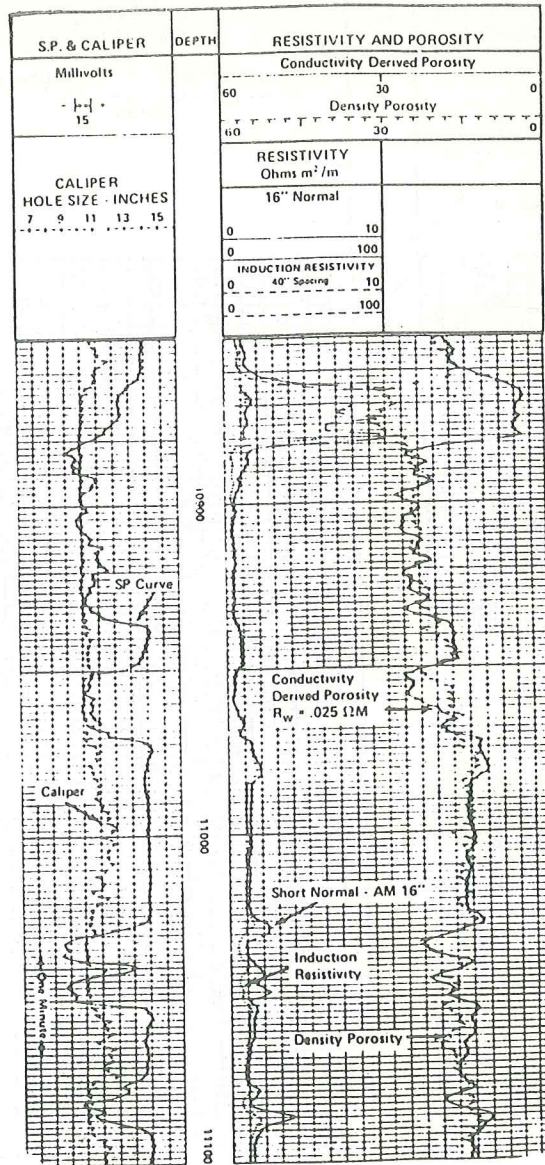
المطلوب :

- 1 - تحديد المنطقة او المناطق الحاوية على الغاز
 - 2 - حساب مسامية المنطقة او المناطق الحاوية على الغاز
 - 3 - حساب درجة التشبع بالماء (S_w) .
- (3) في المثال الحقلي شكل (8-13) و (8-14) ، حدد المناطق التي تحتوي على هيدروكربونات بعد دراسة حالة التشبع والمسامية للمناطق المؤشرة على تسجيل (IES) والكثافة . هل توجد طبقة كلسية في إحدى هذه المناطق ؟ اذا نعم ، في أية منطقة ؟

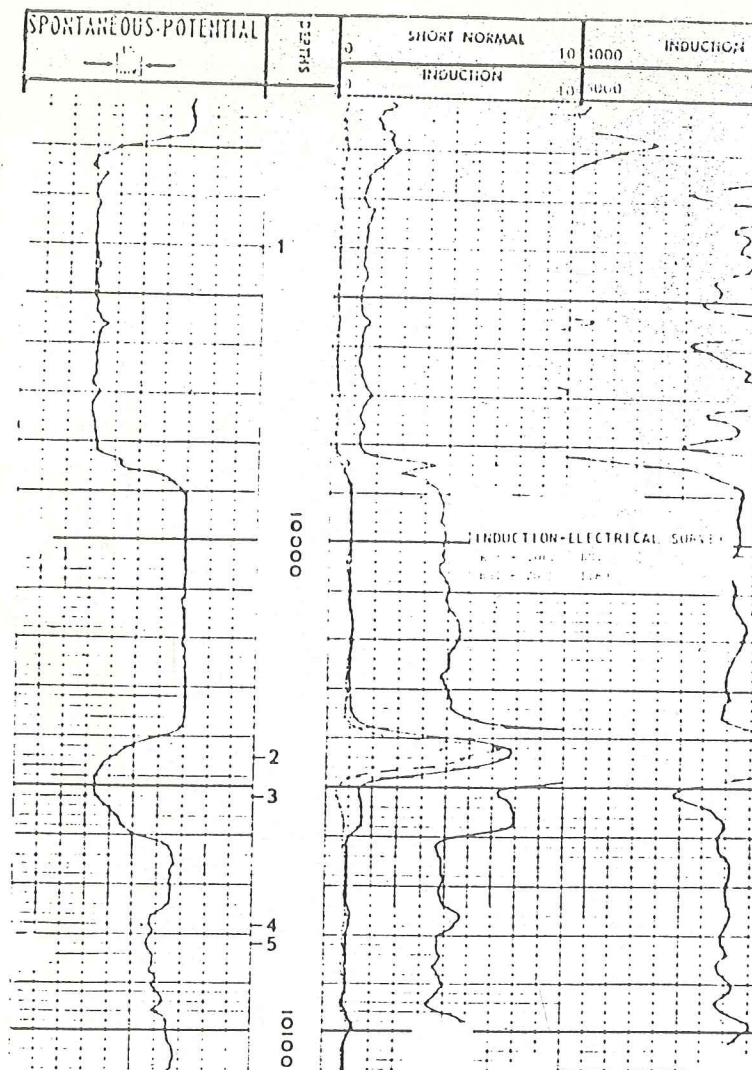


L. Cretaceous Sand, in Mississippi
Assume all sands are clean.

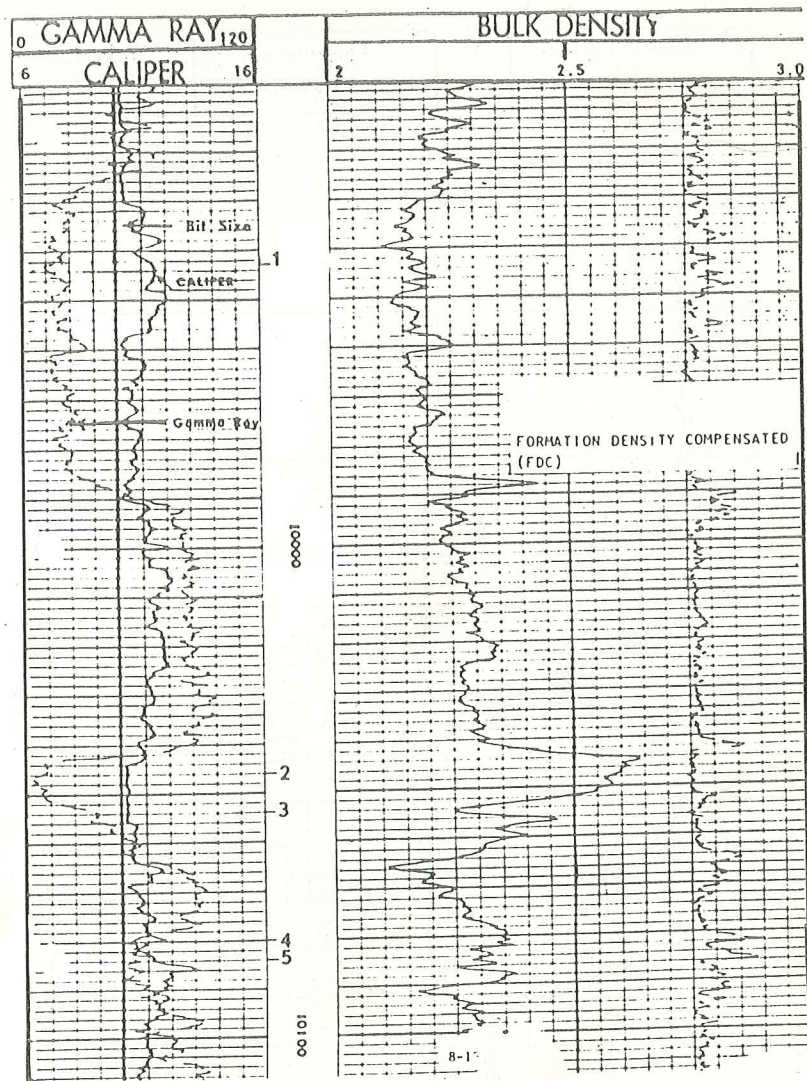
شكل (8-11) مثال حقلي لتسجيل الكثافة مع (GR) و (caliper) (لشركة شلمبرجر)



شكل (8-12) مثال حقلي لتسجيل (IES) مع تسجيل المسامية من الكثافة



شکل (8-13) مثال حقلي لتسجيل (IES)



شكل (8-14) مثال حقلي لتسجيل الكثافة مع (GR) و (caliper)

تسجيل النيوترون

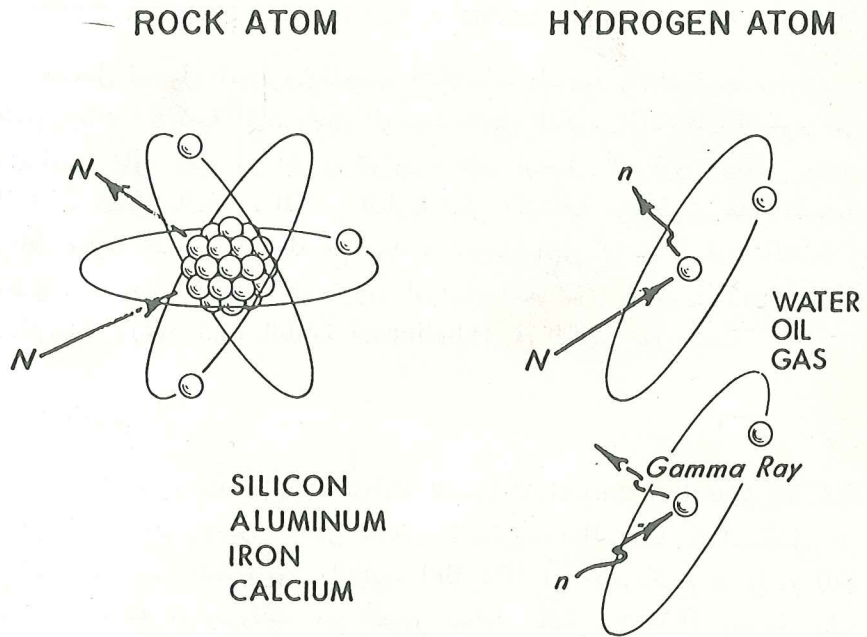
(Neutron log)

يستعمل تسجيل النيوترون لتحديد التكوينات المسامية وإيجاد قيمها . تستجيب النيوترونات الى كمية الهيدروجين الموجودة داخل التكوين . اذا كان التكوين نقي والمسامات مملوءة بالماء أو الهيدروكربون ، فإن تسجيل النيوترون يعكس مقدار المسامات المملوءة بالسائل . المكان الغازية يمكن اكتشافها من طريق هذا التسجيل وذلك بمقارنة المسامية المسجلة مع مسامية تسجيل آخر أو مع المسامية المقاسة في المختبر . يستعمل تسجيل النيوترون لدراسة الخصائص الصخرية (lithology) للتكوينات وإيجاد نسب الطفاية (shaliness) في المكان غير النقية .

مبدأ القياس: (7)

تعتبر النيوترونات جزيئات متعادلة الشحنة (neutral particles) ولها كتلة مشابهة لكتلة الهيدروجين . تشمل مصادر النيوترونات المستعملة في التسجيل على عناصر مشعة من البلوتونيوم والبرليوم (Pu-Be) أو الامريكيوم والبرليوم (Am-Be) . تقذف النيوترونات من المصدر بطاقة عالية (4MeV) وسرعة عالية وتضطدم مع نواة المادة في سائل الحفر والتكوين . مع كل تصادم ، مع كل تصادم ، تفقد النيوترونات جزءاً من طاقتها وتفقد أكبر كمية من الطاقة عند اصطدامها

بنواة ذرة الهيدروجين اي ان سرعة النيوترونات تقل بدرجة كبيرة عند توفر الهيدروجين داخل المسامات أو الحشو . وعندما تصل سرعة النيوترونات الى سرعة حرارية (thermal velocity) أو طاقتها تصل الى (0.025 ev.) تمتص من قبل عناصر الكلور ، الهيدروجين السليكون وغيرها . النواة التي تمتص النيوترونات تصبح متهيجة وتشتع اشعة كاما وتسمى هذه الاشعة باشعة كاما للامتصاص (capture gamma rays) . حسب نوعية جهاز التسجيل ، تلتقط قسم من هذه الاجهزة فقط النيوترونات فوق الحرارية (epithermal neutrons) ، وتلتقط بعض الاجهزة النيوترونات الحرارية وبعضها تلتقط اشعة كاما الامتصاص ، اذا كان تركيز الهيدروجين في التكوين عالي فإن معظم النيوترونات تصبح حرارية و تمتص من قبل عناصر التكوين وجزء قليل من النيوترونات يصل جهاز الالتقاط ويسجل وتكون سرعة العد (counting rate) قليلة اما إذا كان تركيز الهيدروجين في التكوين قليل فان النيوترونات تستطيع ان تنتقل مسافات بعيدة ومعظم النيوترونات تلتقط من قبل جهاز الالتقاط فتكون سرعة العد عالية . شكل (9-1) يبين مسار النيوترونات داخل التكوين .



شكل (9-1) مخطط لمسار النيوترونات داخل التكوين

أنواع اجهزة تسجيل النيوترونات :

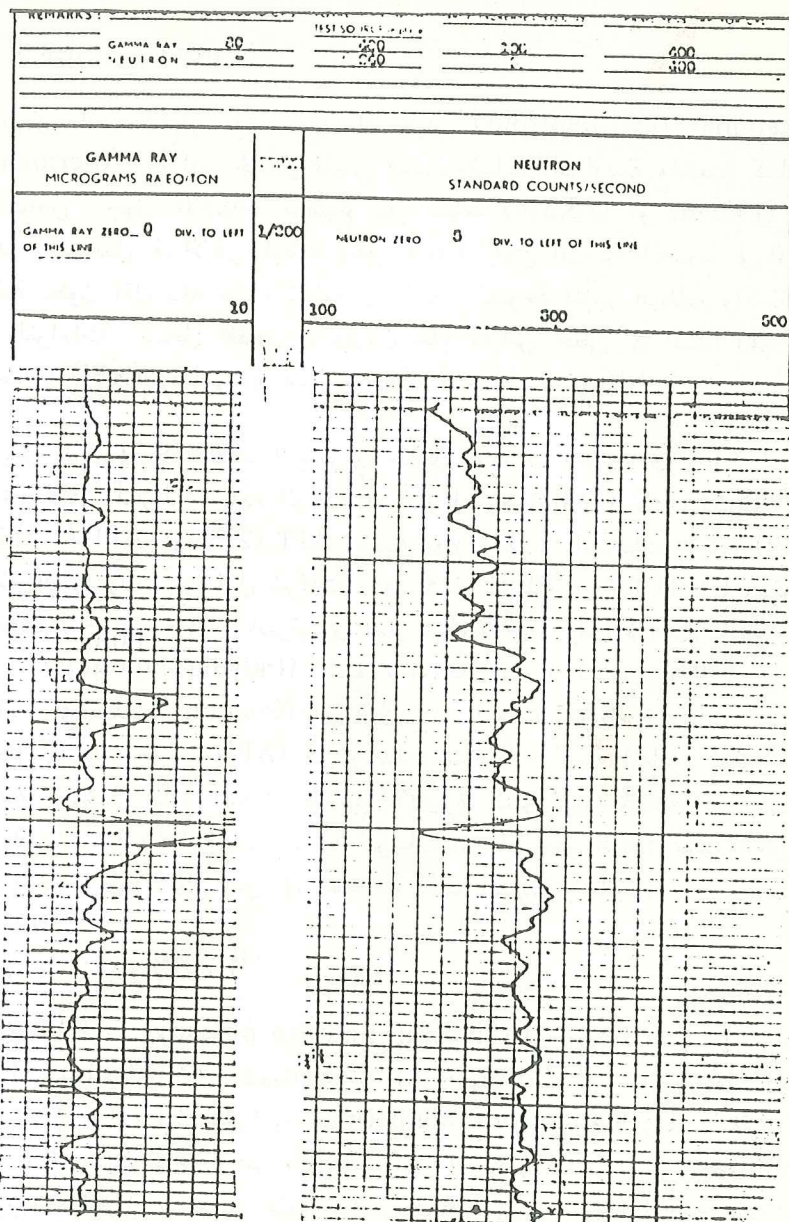
(١) جهاز نوع (GNT)⁽²⁾

يرمز اسم. الجهاز الى نوع التسجيل (gamma ray neutrons thermalized) اي ان الجهاز يقيس النيوترونات الحرارية واشعة كاما الامتصاص. جهاز الالتقاط موضوع على مسافة (15.5in) أو (19.5in) من المصدر. يستعمل في الآبار المبطنة وغير المبطنة ولكن المسامية المحسوبة في الآبار المبطنة تكون اقل دقة من استعمالها في الآبار المفتوحة لتأثير البطانة والاسمنت على القراءات. يسجل مخطط النيوترون على مقياس خطي في المسار رقم (2) وبوحدات (API) ويسجل في مسار رقم (١) مخطط اشعة كاما.

يمثل شكل (2-9) مخطط النيوترون مسجل بوحدات (cps) اي (عد / ثا) في احدى الابار البتروولية. هذه الوحدة قديمة وكل وحدة (cps) تعادل (API 5.5) او (API 1.55) او (API 2.7) حسب نوع الجهاز. استعملت وحدة (API) لقياس النيوترونات من قبل شركات مسح الابار المختلفة. وحدة (API) نيوترون تعرف بـ $(-\frac{1}{1000}-)$ من الفرق بين صفر قراءة الجهاز وقراءة الجهاز امام نموذج كلسي (Indiana limestone) مشبع بالماء له مسامية تساوي (19%) في بئر المعايرة في مدينة Houston في الولايات المتحدة. تحول قياسات تسجيل النيوترون من وحدات (API) الى وحدات مسامية بواسطة المعايرة المختبرية او الحقلية. يعتمد عمق البحث بالنسبة لاجهزة النيوترون المختلفة على مسامية الطبقات المختلفة ، اذا كانت المسامية تقريبا صفر فان عمق البحث يكون اكبر من قدم واحد وهذا العمق يقل في الطبقات ذات المسامية العالية.

(٢) جهاز نوع (SNP)⁽³⁾

يقصد بالرمز (Sidewall neutron porosity) اي ان الجهاز يسجل مباشرة بوحدات مسامية ويكون ملتصقا بجدار البئر عند التسجيل. يلتقط هذا الجهاز فقط النيوترونات فوق الحرارية (neutrons epithermal) التي لها طاقة تعادل (0.4 ev.) وذلك للتخلص من تأثير امتصاص النيوترونات من قبل عناصر الكلور والبورون فالجهاز يستجيب فقط لعنصر الهيدروجين. معظم التصحيحات على القياسات تجرى بصورة اتوماتيكية كتصحيح تأثير ثقل الطين ، ملوحة الطين ، اختلافات قطر البئر تأثير الحرارة. حساب المسامية ايضا يكون بصورة اتوماتيكية في جهاز التسجيل. يستعمل هذا الجهاز فقط في الابار المفتوحة المملوءة بسائل الحفر



شكل (9-2) مثال حلقي لتسجيل النيوترون نوع (GNT) مسجل في احد الابار البترولية (لشركة
شلمبرجر)

او الفارغة . ادنى قطر للبئر لاستعمال هذا الجهاز هو (5 in) يسجل تسجيل (caliper) واشعة كاما مع تسجيل النيوترون (SNP) . شكل (3-9) يمثل تسجيل النيوترون نوع (SNP) مسجل في احد الابار البترولية .

يلاحظ من تسجيل النيوترون في المسار رقم (2) مسجل بوحدات مسامية مختلفة حسب نوعية التكوين اذا كان رملي ، من الدولومايت او كلسي . وتسجيل (caliper) اي قطر من البئر من (6-16 in) واشعة كاما بوحدات (API) من (0-150) معدل المسامية للطبقات النفاذة تساوي تقريبا (23%) وهذه القيمة تمثل المسامية بدون تصحيح لتأثير القشرة الطينية وهي تمثل المسامية الحقيقية تقريبا .

(٣) جهاز نوع (CNL)⁽⁴⁾

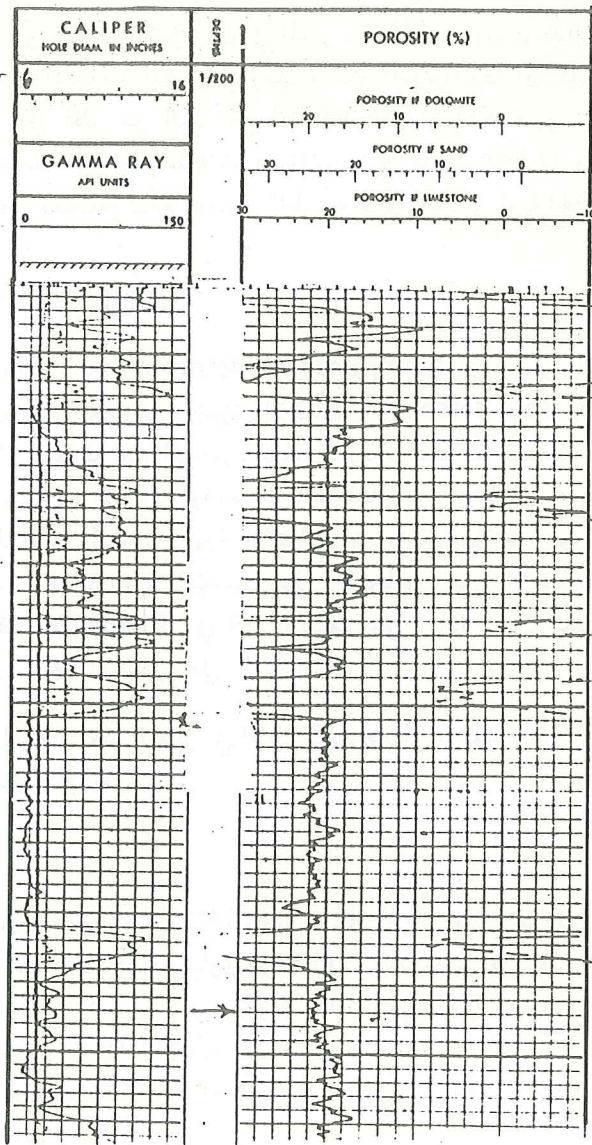
يقصد بالرمز (compensated neutron log) اي جهاز النيوترون المعادل وهو يحتوي على عدد من اجهزة الالتقاط (dual spaced detectors) . عدد النيوترونات المقذوفة من المصدر ، يساوي اربعة اضعاف النيوترونات المقذوفة من اجهزة النيوترون الاخرى وهذه الزيادة تساعد في اختراق النيوترونات داخل الطبقات لمسافات ابعد . اجهزة الالتقاط موضوعة بمسافات معينة من المصدر . يساعد هذا النوع من التصميم على التخلص من الاختلافات الاحصائية (statistical variations) في العد وكذلك على زيادة عمق البحث للنيوترونات وعلى تقليل تأثيرات البئر على القياسات .

يمكن استعمال هذا الجهاز في الابار المفتوحة او المبطنة وغير ممكن استعمال الجهاز في الابار المملوءة بالغاز .

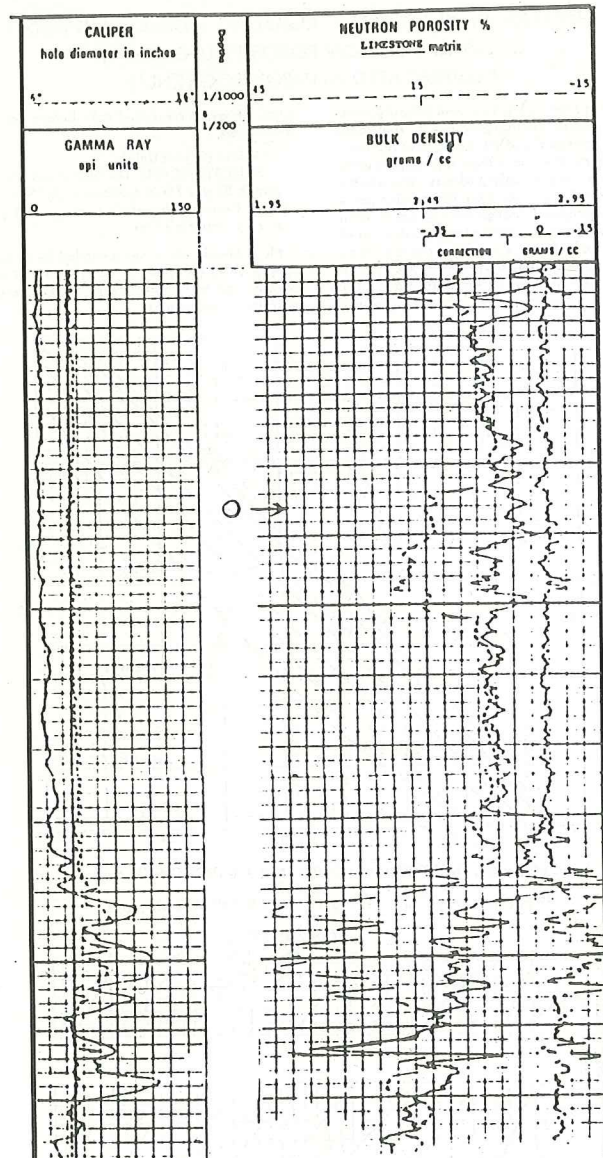
مثال :

تمثل الطبقة المؤشرة في المثال الحقل شكل (4-9) طبقة من دولومايت والمسامية المسجلة بواسطة (CNL) تساوي (15%) بدون تصحيح . هذه المسامية مسجلة بوحدات مسامية كلسية ، يجب تحويل هذه القيمة الى مسامية ممثلة للدولومايت فتستعمل شكل (5-9) لتصحيح المسامية فتصبح المسامية تساوي (7.5%) تقريبا بدون اجراء تصحيحات اخرى لتأثير البئر على القياسات لتسجيل النيوترون نوع (CNL) فوائد منها :

(١) تأثيرات البئر على القياسات اقل من الانواع الاخرى وخاصة في الابار الوعرة (rough boroholes) .



شكل (9-3) مثال حلقي لتسجيل النيوترون نوع (SNP) في احدى الابار البترولية (لشركة شلمبرجر)



شكل (9-4) مثال حقلي لتسجيل النيوترون نوع (CNL) في احدى الابار البترولية (لشركة شلمبرجر)

NEUTRON POROSITY EQUIVALENCE CURVES SIDEWALL NEUTRON POROSITY LOG (SNP*) COMPENSATED NEUTRON LOG (CNL*)

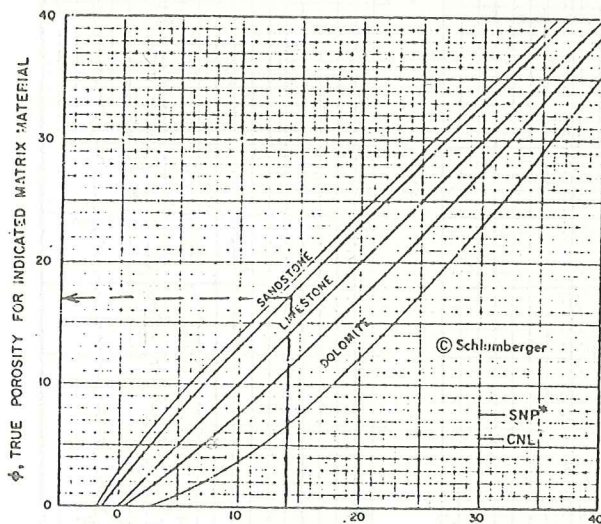
When the SNP is recorded in limestone porosity units, the large chart is used to find true porosities in sandstones or dolomites. First, correct the SNP for mud-cake thickness using the small chart. The upper chart is in English units, the lower in SI units. For mud-cake thickness value use the full hole-diameter reduction shown on SNP caliper (since the backup shoe usually cuts through the mud cake). Then the corrected porosity value is entered on the abscissa of the chart and carried to the appropriate matrix line. Read ordinate for true porosity. The chart can also be used to find limestone porosity (needed for entering Charts CP-1 and CP-2) if recording is in sandstone or dolomite porosity

units. Always correct mud cake before entering equivalence chart.

EXAMPLE (English Units):

SANDSTONE BED: This SNP reads 13 p.u. (limestone). Bit size 7½ in. Caliper reads 7½ in., so $h_{mc} = \frac{1}{4}$ in. Corrected limestone porosity is 11 p.u. Sandstone porosity is 14 p.u.

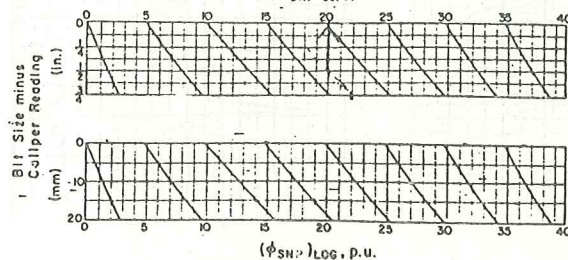
No mud-cake correction is needed for CNL conversions. Simply enter the chart in abscissa with CNL limestone porosity, go to appropriate matrix line, and read true porosity on the ordinate.



$(\phi_{SNP})_{cor}$ NEUTRON POROSITY INDEX (LIMESTONE), p.u.

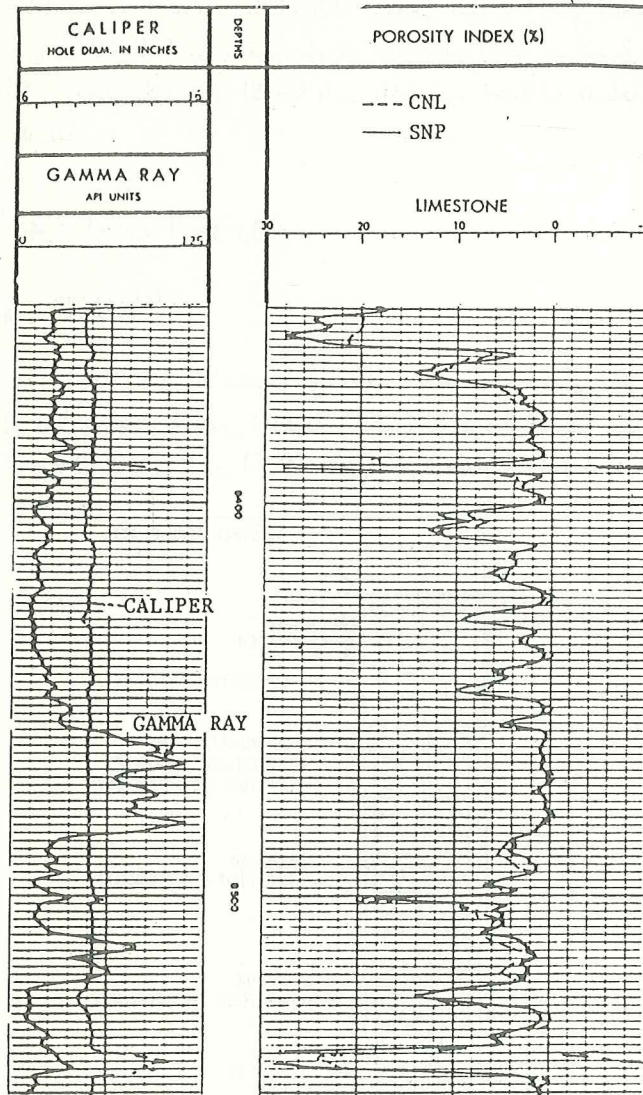
$(\phi_{CNL})_{cor}$ NEUTRON POROSITY INDEX (LIMESTONE), p.u.

$(\phi_{SNP})_{cor}$, p.u.



شكل (9-5) خطوط بياني لتصحيح المسامية من تسجيل (SNP) و (CNL) (شركة شلمبرجر)

- (٢) ممكن استعمال هذا النوع من جهاز النيوترون في الابار المبطنة .
 (٣) ممكن تسجيل (CNL) مع تسجيل الكثافة .
 شكل (9-6) يبين مقارنة بين تسجيل النيوترون نوع (SNP) .



شكل (9-6) مثال حقلي لتسجيلات النيوترون نوع (SNP) و (CNL) في احدى الابار البترولية

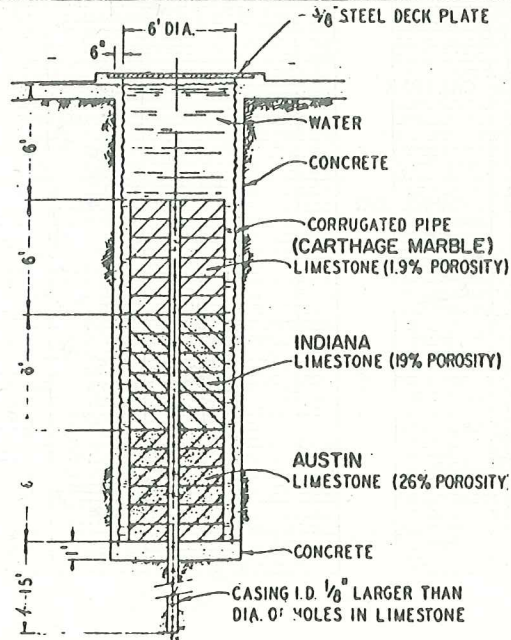
و (CNL) . يلاحظ من شكل (9-6) تطابق القراءات فوق معظم اجزاء البئر ولكن هناك انحرافات بين القراءات عند وجود تكهفات داخل البئر حيث تسجيل النيوترون نوع (SNP) متأثر في هذه الاعماق .

تختلف استجابة مخطط النيوترون للطبقات الطفلية لاختلاف انواع اجهزة القياس فمثلا شركة (Drosser Atlas) تسجل مسامية امام الطبقات الطفلية تتراوح من (30-40%) بينما تسجل شركة شلمبرجر مسامية تتراوح من (50-70%) . يعتقد بان هذه الاختلافات ناتجة من اختلاف المسافة (Spacing) للاجهزة المختلفة .

تعبير اجهزة قياس النيوترون :

(1) جهاز (GNT)⁽²⁾

يمر هذا الجهاز قبل الاستعمال في الابار امام نموذج كلسي نقي مشبع بالماء يحتوي على مسامية معلومة بصورة دقيقة . تكون المعايرة في مدينة هيوستن في ولاية تكساس الامريكية . يمثل شكل (9-7) مقطع لحفرة المعايرة (calibration pit) .



شكل (9-7) مخطط لمقطع حفرة المعايرة لجهاز النيوترون (GNT) (لشركة شلمبرجر)

يلاحظ من الشكل (9-7) وجود ثلاثة نماذج للمعايرة وهي :

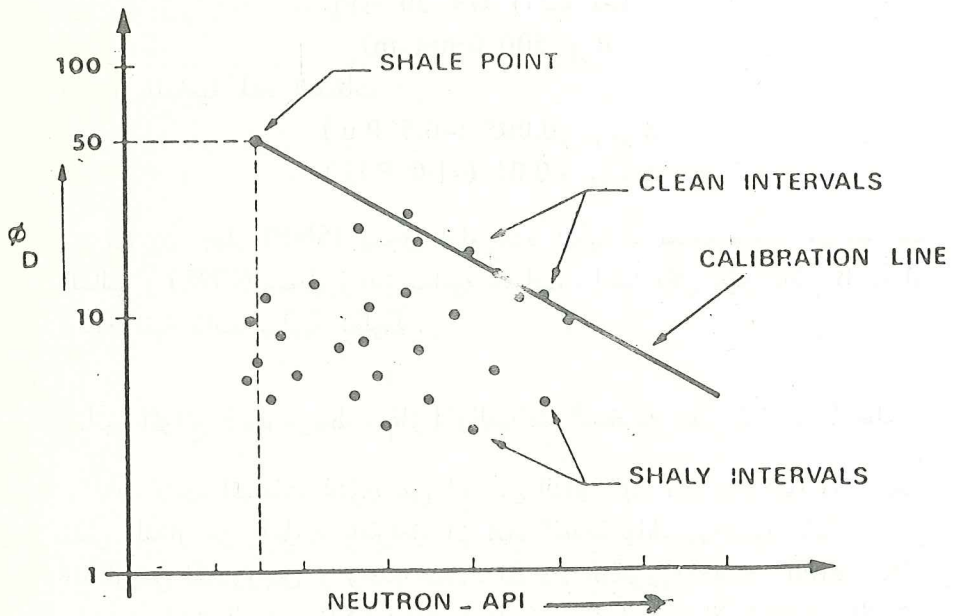
(١) 1- (Carthage marble) له مسامية (1.9%)

2- (Indiana limestone) له مسامية (19%)

3- (Austin limestone) له مسامية (26%)

تشمل هذه النماذج على المساميات المختلفة المسجلة في الحقول . يسجل جهاز النيوترون API (1000) امام النموذج الذي تساوي مساميته (19%) . كانت تسجيلات النيوترون مثلة بوحدات (standard counts per second) او (cps) قبل استعمال وحدات (API) كما مبينة في شكل (9-2)

تم المعايرة الحقلية لجهاز النيوترون باستعمال المعلومات من تسجيل اخر مثل تسجيل الكثافة (FDC) مع تسجيل النيوترون⁽⁸⁾ . يبين شكل (9-8) المعايرة الحقلية لجهاز النيوترون (GNT) والتي تشمل على تسقيط قيم المسامية من تسجيل الكثافة مع قيم (API) من تسجيل النيوترون .



شكل (9-8) مثال حقل لمعايرة تسجيل النيوترون (GNT) (لشركة شلمبرجر)

يفضل في المعايرة الحقلية أن تكون طبقات المعايرة نقية ومشبعة بالماء . اذا كانت الطبقات كلسية او من الدولومايت ، تحسب المسامية من تسجيل الكثافة باستعمال كثافة الحشو مساوية (2.71) غم / سم³ . يرسم خط المعايرة من خلال اعلى النقاط في التسقيط مارا بنقطة الطفل (shale) (point) يفترض في المعايرة بأن مسامية الطفل المسجلة تساوي (50%) . ممكن تعويض المسامية من الكثافة بالمسامية من تسجيل المقاومة (ϕ_R) اذا كانت قيمة (R_w) المحسوبة صحيحة ولا تتغير في الطبقة المطلوبة معايرتها وكانت الطبقة نقية مشبعة بالماء .

(٢) جهاز (SNP) و (CNL)⁽⁸⁾

تستعمل في المعايرة طبقات ذات مسامية واطئة وذلك للتخلص من تأثير الهيدروكربونات إن وجدت وتأثير الطفلية على قراءات النيوترون . تشمل الطبقات المستعملة على الانهيدريت او الطبقات الملحية .

الصفات الفيزيائية لطبقات الانهيدريت :

ρ_b 2.90 (gm/ec) (الكثافة الكلية)

$\Delta t = 48-52$ micro-sec/ft (فرق الزمن من مخطط السرعة)

GR 20 API (أشعة كاما)

R_{LL} 500 (ohm-m)

تسجيل المسامية لهذه الطبقات

$\phi_{SNP} -0.005$ (-0.5 P.u.)

$\phi_{CNL} -0.01$ (-1.0 P.U.)

اي ان جهاز (SNP) يسجل امام هذه الطبقات نصف وحدة مسامية نحو السالب و (CNL) يسجل وحدة مسامية بالسالب . ايضاً يمكن تعيير نماذج كلسية أو رملية نقية ذات مسامية معلومة .

تأثير الموائع (ماء ، النفط ، غاز) والصفات الصخرية على المسامية المسجلة

اذا كانت المسامات تحتوي على الماء او النفط فإن تسجيل النيوترون يسجل نفس المقدار من المسامية بافتراض ان للماء العذب والهيدروكربون السائل نفس المقدار من الهيدروجين في وحدة حجم . ان ماء التكوين (formation water) داخل مسامات الصخور الكمنية يحتوي على نسب مختلفة من الاملاح وهذه الاملاح تقلل من نسبة الهيدروجين الموجود في ماء التكوين وتسبب نقصان في المسامية المسجلة ، جهاز (GNT) و (CNL) يتأثران بهذا العامل وهناك مخططات بيانية

خاصة (شكل 9-9 و 9-10 و 9-11 و 9-12) تستعمل لتصحيح تأثير الملوحة في ماء التكوين وداخل البئر. بما ان تعيير اجهزة النيوترون في المختبر يتم في درجة حرارة المختبر فإن ارتفاع الحرارة داخل الآبار مع العمق يؤثر أيضاً على المسامية المسجلة وذلك بتقليل الهيدروجين داخل السوائل وتستعمل المخططات البيانية أيضاً شكل (9-9 ، 9-10 ، 9-11 ، 9-12) لتصحيح هذا التأثير. كذلك تؤثر أنواع سوائل الحفر واوزانها على اجهزة النيوترون عند التسجيل. ويؤثر سمك القشرة الطينية (mud-cake) على جهاز النيوترون (SNP) ، ووجود البطانة او عدم وجودها أيضاً يؤثر على القياسات. كل هذه العوامل مبينة في المخططات المؤشرة. عند وجود غازات هيدروكربونية داخل مسامات الصخور المكمية وخاصة في المناطق المكتسحة من الطبقات فإن اجهزة النيوترون تسجل مسامية واطئة بسبب نقصان مقدار الهيدروجين داخل هذه المسامات. تستعمل مخططات بيانية خاصة مثل شكل (9-13). يجب التأكد من وجود غازات او سوائل هيدروكربونية داخل المسامات ، بما ان استجابة الكثافة والنيوترون متعاكسة بالنسبة للغاز ، فانه من الممكن اكتشاف مكامن غازية عن طريق تسجيل الكثافة والنيوترون معا. يبين شكل (9-14) مثال حقيقي لتسجيل المسامية من الكثافة والنيوترون واكتشاف الكمن الغازي تحت عمق (5400) قدم.

بما ان جهاز النيوترون يستجيب لجميع ذرات الهيدروجين الموجودة داخل التكوينات (السائل داخل المسامات والحشو) ، لذلك يجب تصحيح المسامية المسجلة لتأثير الحشو. في التكوينات الرملية او الكلسية غير النقية او التي تحتوي على نسبة مختلفة من الطفل ، فإن الماء موجود في المعادن الطينية المختلفة وهذا يؤدي الى زيادة في كمية الهيدروجين الموجودة مما تسبب زيادة في المسامية المسجلة. لاجراء تصحيح لتأثير الطفل تستعمل المعادلة التالية :

$$\phi_N = \phi + V_{sh} \phi_{Nsh} \quad \dots (9-1)$$

حيث

ϕ_N - المسامية المسجلة من تسجيل النيوترون

ϕ - المسامية الصحيحة

V_{sh} - النسبة الحجمية للطفل داخل التكوين

ϕ_{Nsh} - مسامية الطفل

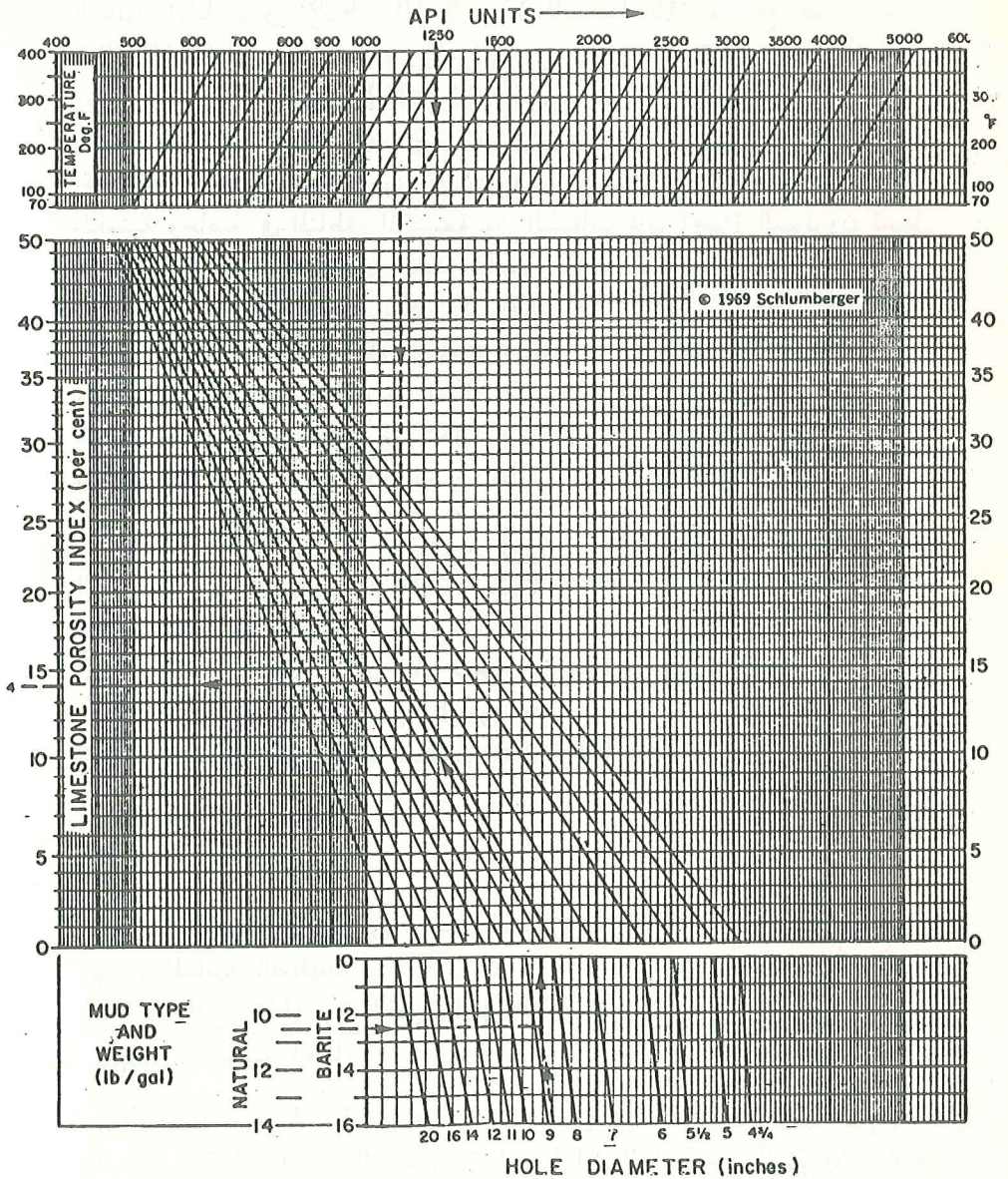
تكون المسامية المحسوبة من هذه المعادلة صحيحة اذا كان التكوين مشبع بالماء ولا توجد تأثيرات اخرى التي ذكرت على قياسات المسامية من النيوترون. كذلك وجود بعض المعادن مثل الجبس ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) داخل الطبقات الكلسية

NEUTRON DEVIATION CURVES

GNT F, G, or H

Pu-Be or Am-Be Source, 15½" Spacing

FRESH MUD, UNCASD HOLES, LIMESTONE

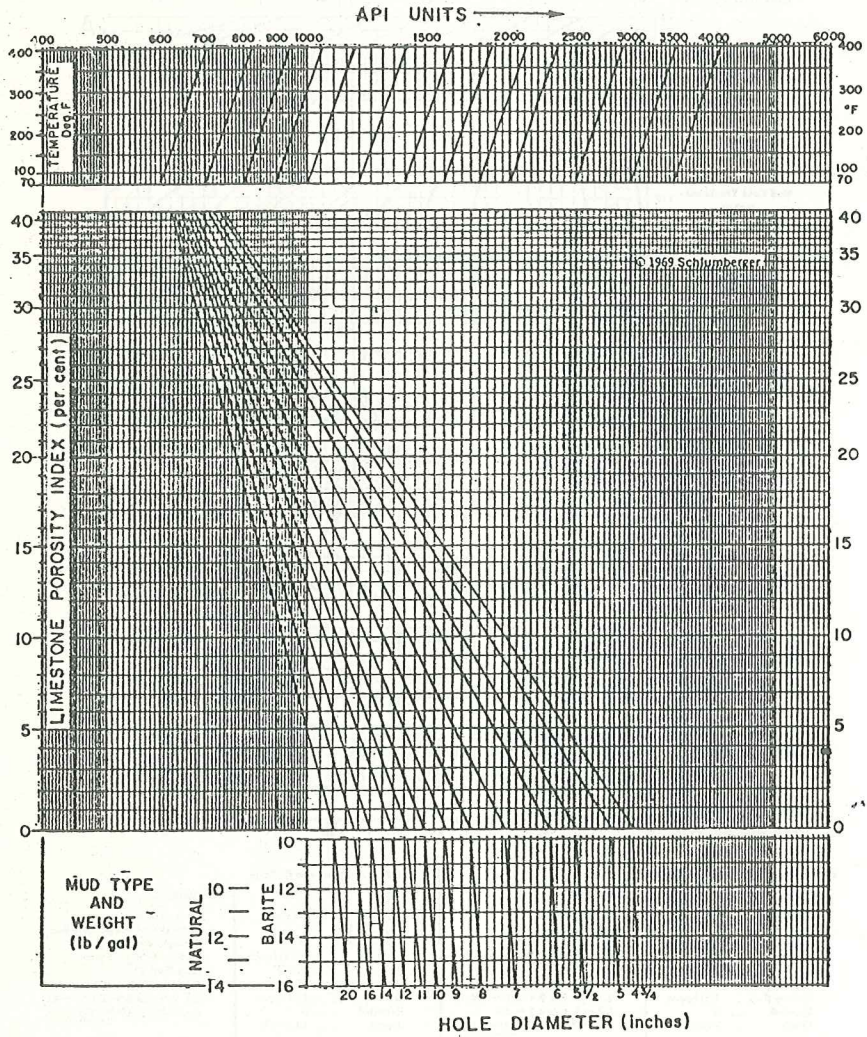


شكل (9-9) مخطط بياني لحساب المسامية من تسجيل (GNT) وتصحيحها (لشركة شلمبرجر)

NEUTRON DEPARTURE CURVES GNT[®] F, G, or H

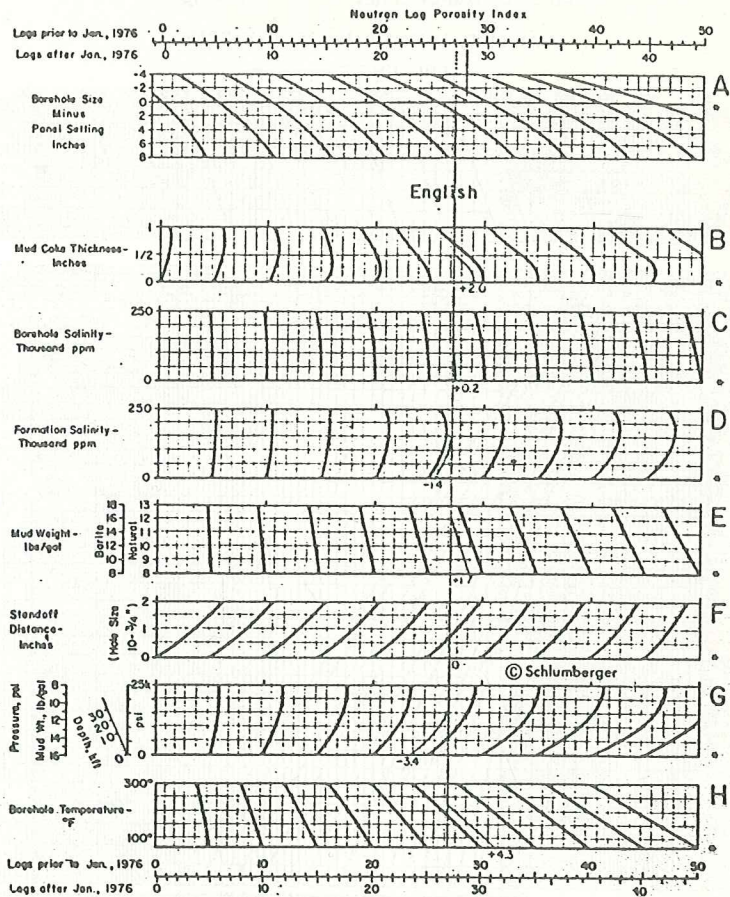
²⁴¹Am-Be or Am-Be Source, 15½" Spacing

SALTY MUD, UNCASSED HOLES, LIMESTONE



شكل (9-10) مخطط بياني لحساب المسامية من تسجيل (GNT) وتصحيحها (لشركة شلمبرجر)

DUAL SPACING NEUTRON LOG (CNL*) CORRECTION NOMOGRAPH FOR OPEN HOLES³



EXAMPLE 1. Auto. Calliper (in red)

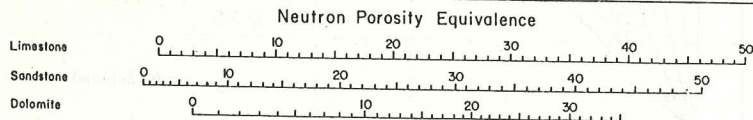
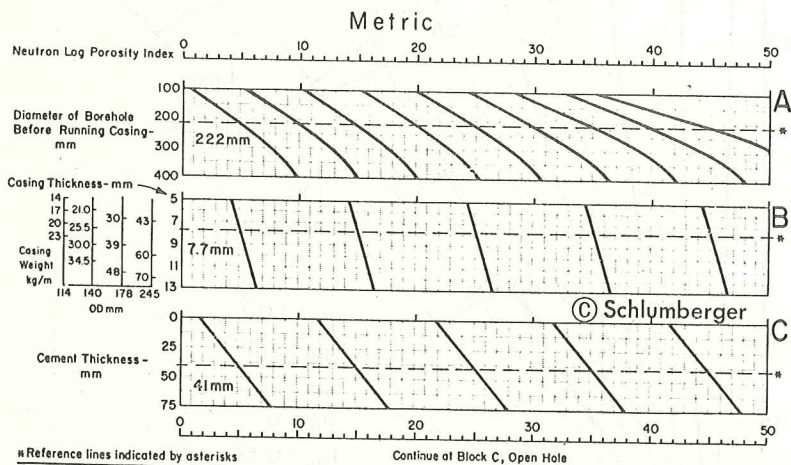
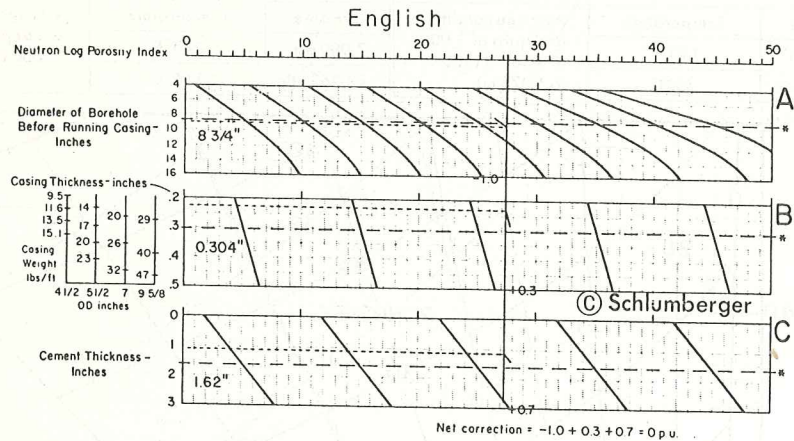
GIVEN	SOLUTION
CNL Rdg. 28 p.u. (corr. for bh)	Enter at 28 p.u.
Mud Wt. 12 lb/gal	Go to Index, Block A.
t_w 1/2 in.	Follow trend lines to $1/2$ in.
T_w 225°F	Draw chart-base line at this point (27 p.u.)
Salinity (bh) 100 kppm	Find corrections as shown:
Salinity (fm) 150 kppm	$3.4 = +2.0 + 0.2 - 1.4 +$
Standoff 0	$1.7 - 3.4 + 4.3 = 3.4$
Depth 21,000 ft	$\phi_{ne} = 27 + 3.4 = 30.4 \text{ p.u.}$

EXAMPLE 2. Separator Calliper

GIVEN	SOLUTION
CNL Rdg. 20 p.u. (corr. for bh)	Enter at 20 p.u.
"BH - Cal" +4 in.	Draw chart-base porosity line through all blocks.
Mud Wt. 9.3 lb/gal	Find corrections as shown:
t_w 175°F	(skip Block B)
Salinity (bh) 50 kppm	$2.4 = -4.0 + 0 - 1.3 +$
Salinity (fm) 150 kppm	$0.2 + 0 - 2.3 + 3.3 = -4.0$
Standoff 0	$\phi_{ne} = 20 - 4.0 = 26 \text{ p.u.}$
Depth 12,500 ft	

شكل (9-11) مخطط بياني لتصحيح السامية من تسجيل (CNL) (لشركة شلمبرجر)

DUAL SPACING NEUTRON LOG (CNL*) CORRECTION NOMOGRAPH FOR CASED HOLE CNL ENVIRONMENTAL CORRECTIONS (Cased and Open Hole)



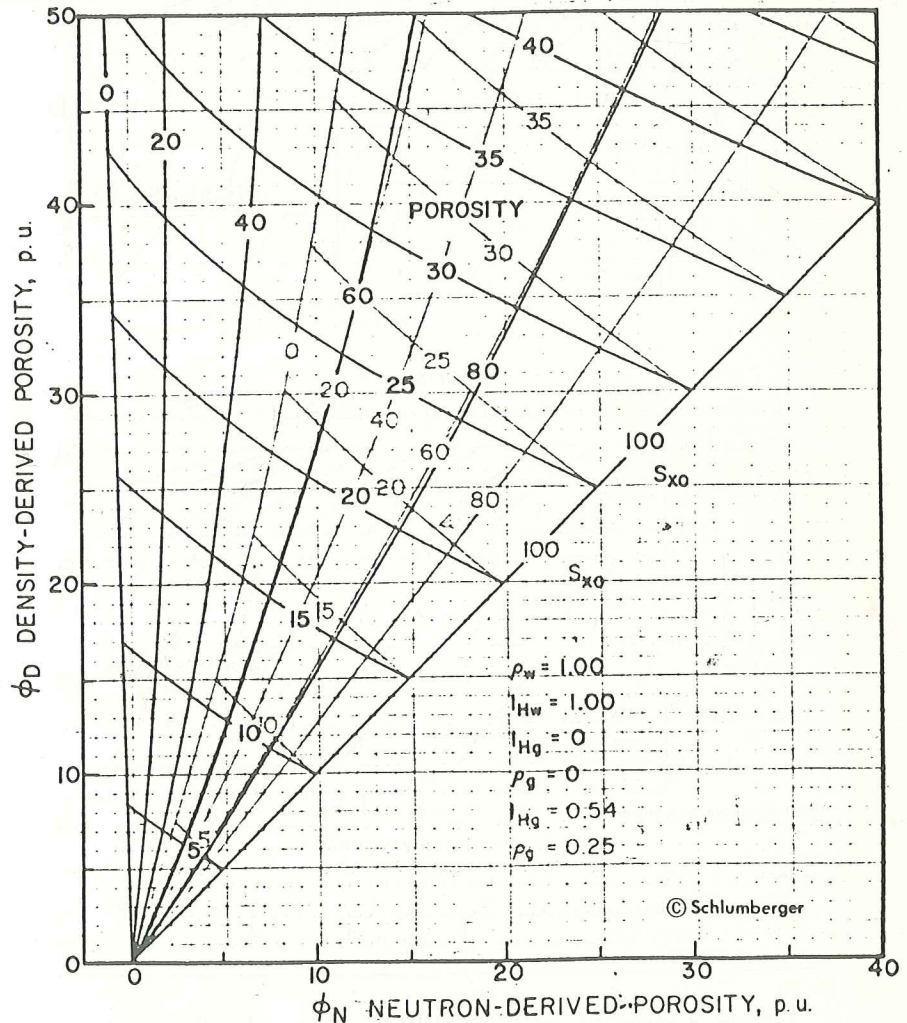
شكل (9-12) مخطط بياني لتصحيح المسامية من تسجيل (CNL) (شركة شلمبرجر)

GAS-BEARING FORMATIONS POROSITY FROM DENSITY AND NEUTRON LOGS⁶

Enter the chart with matrix-corrected porosity values. S_{w0} (average water saturation in the flushed zone) and porosity are derived. This chart assumes fresh water and gas of composition $C_{1,1}H_{4,2}$, and includes correction of the Neutron log for "excavation effect".

The conditions represented by the curves are as follows:

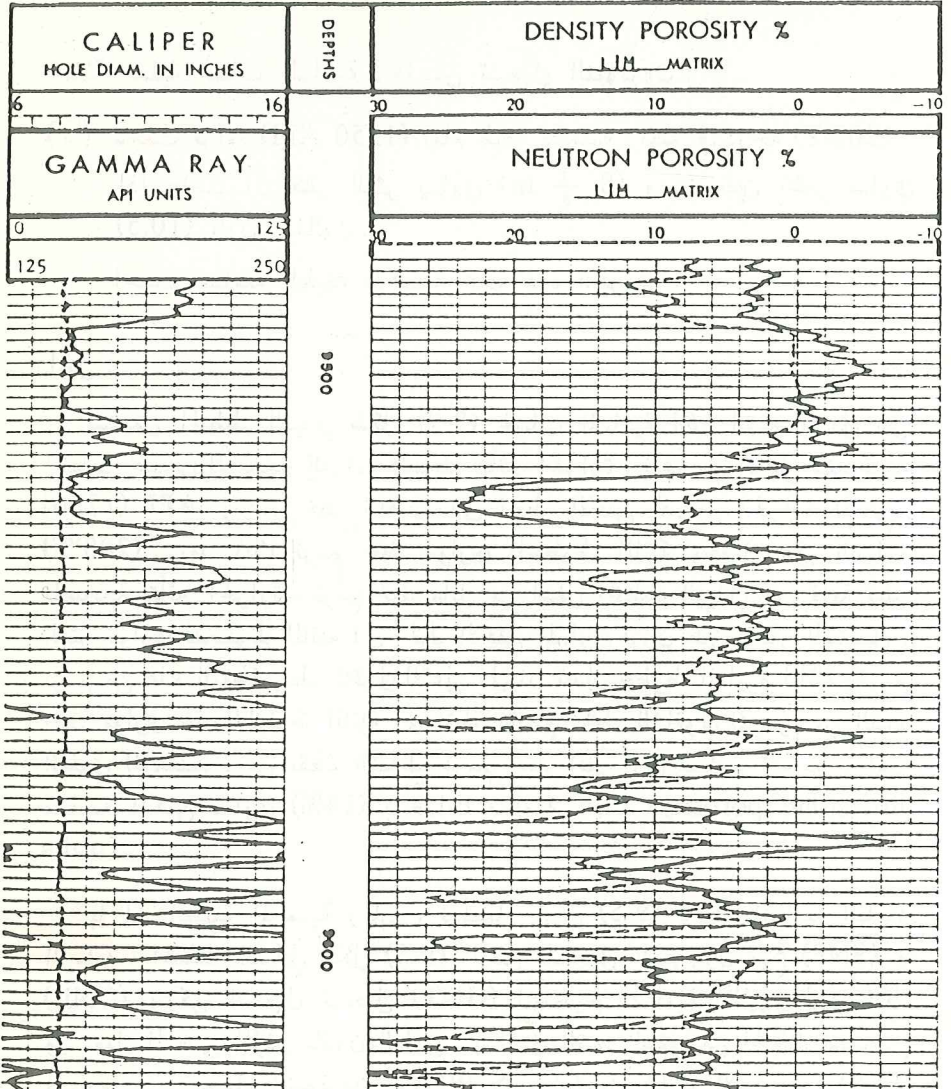
BLACK			RED		
Pressure	Temperature	Average conditions at depths of 1,000 to 4,500 ft (300 to 1,375 m)	Pressure	Temperature	Average conditions at a depth of 15,000 ft (4,570 m)
2,000 psi	120°F		7,000 psi	240°F	
13,790 kPa	49°C		48,263 kPa	116°C	



شكل (9-13) مخطط بياني لتصحيح المسامية من تسجيلات النيوترون والكثافة في التكوينات الغازية (لشركة شلمبرجر)

Schlumberger

COMPENSATED NEUTRON- FORMATION DENSITY



شكل (9-14) مثال حقلي لتسجيل الكثافة مع النيوترون و caliper وأشعة كاما .

يسبب زيادة في المسامية المسجلة فيجب تصحيح المسامية اذا كانت نسبة هذه المعادن عالية في الطبقة . يمكن حساب المسامية الصحيحة في الصخور الكمونية المعقدة التركيب وذلك باستعمال طريقة المسامية الثلاثية (Tri-porosity method) لاجتاد نسب المعادن الاساسية والمسامية الصحيحة .

امثلة حقلية- لحساب المسامية (ϕ) من تسجيل النيوترون :

- (١) سجلت قراءة (1250 API) امام طبقة كمونية رملية في درجة (200°F) . اذا علمت أن قطر البئر يساوي ($8 \frac{3}{4}$ in) ووزن طين الحفر يساوي (10.5) باون/ غالون . احسب مسامية الطبقة الكمونية تحت هذه الظروف .

الحل :

يستعمل المخطط البياني شكل (9-9) لحساب المسامية (θ) القسم الاعلى من المخطط مخصص لتصحيح القراءة المسجلة لتأثير الحرارة . نبدأ من الاعلى عند قيمة (1250) API ونرسم خط شاقولي الى الخط الافقي لدرجة الحرارة المساوية (200°F) . بعد ذلك نرسم خط موازي للخطوط المائلة ونحصل على القراءة المصححة لتأثير الحرارة . نرسم خط مائل من اسفل المخطط البياني عند قيمة قطر البئر موازي للخطوط المائلة الى الخط الافقي المساوي لوزن طين الحفر المستعمل . نرسم من هذه النقطة خط شاقولي للاعلى الى ان تصل خطوط المعايير المائلة ونرسم خط موازي لهذه الخطوط المائلة الى نقطة تقاطع الخط الشاقولي المرسوم من القسم العلوي للمخطط . من نقطة التقاطع نرسم خط افقي الى مقياس المسامية . اذن مسامية المكمن تساوي (14%) بوحدات مسامية كلسية (limestone porosity) . (units)

بما ان الطبقة الكمونية رملية ، نستعمل شكل (9-5) لاجتاد المسامية للطبقة الرملية . المخطط البياني شكل (9-5) خاص لتسجيل النيوترون نوع (SNP) و (CNL) ويمكن استعمال تسجيل (GNT) لتصحيح المسامية لتأثير الحشو فقط ويستعمل المنحني المؤشر باللون الغامق . يستعمل القسم السفلي من المخطط لتصحيح المسامية من تسجيل النيوترون نوع (SNP) . نستعمل الجزء الاعلى من المخطط للحصول على المسامية لتسجيل (GNT) فتحصل على المسامية الصحيحة وتساوي (17%) .

(٢) المثال الحقلي شكل (9-3) يشمل على تسجيل النيوترون نوع (SNP) مع تسجيل اشعة كاما و caliper في احدى الابار البترولية ، احسب مسامية الطبقة المكمية في المنطقة المؤشرة اذا علمت ان الطبقة النفاذة رملية .

الحل :

البيانات التالية توفرت من تسجيل caliper -

$$\text{hole size} = 7 \text{ in}$$

$$\text{bit size} = 7.5 \text{ in}$$

من تسجيل النيوترون (SNP) مقدار المسامية المسجلة تساوي (22%) بوحدات مسامية رملية . سمك القشرة الطينية يساوي

$$\text{bit size} - \text{hole size} = 7.5 - 7.0 = 0.5 \text{ in.}$$

نستعمل شكل (9-5) لتصحيح المسامية (ϕ) فنحصل على المسامية الصحيحة تساوي (20%)

(٣) تسجيل النيوترون نوع (CNL) سجل مسامية امام طبقة كلسية تساوي (27%) البيانات التالية توفرت من التسجيل :

$$\text{وزن الطين} - 12 \text{ (lb/gal)}$$

$$\text{سمك القشرة الطينية} - 1/2 \text{ in.}$$

$$\text{درجة الحرارة (} 225^\circ \text{F)}$$

$$\text{ملوحة سائل الحفر} - 100,000 \text{ ppm} \text{ ملوحة ماء التكوين} - \text{ppm}$$

$$150,000$$

$$\text{العمق (21000 ft)}$$

بعد الجهاز من الجدار - صفر

يصحح الجهاز تأثير اختلافات قطر البئر على القياسات بصورة اتوماتيكية .

يستعمل المخطط البياني شكل (9-11) لتصحيح المسامية (ϕ)

في المخطط المذكور لانستعمل الجزء المؤشر (A) لان تصحيح اختلافات قطر

البئر معمول بصورة اتوماتيكية .

التصحيحات الاخرى تشمل :

$$d \phi_1 = -1.0 \text{ p.u} \text{ (تأثير سمك القشرة الطينية)}$$

$$d \phi_2 = +0.4 \text{ p.u} \text{ (تأثير ملوحة سائل الحفر)}$$

$$d \phi_3 = -1.4 \text{ p.u} \text{ (تأثير ملوحة ماء التكوين)}$$

$$\begin{aligned} d \phi_4 &= + 1.65 \text{ P.U} & (\text{تأثير وزن سائل الحفر}) \\ d \phi_5 &= - 3.1 \text{ p.u} & (\text{تأثير الضغط}) \\ d \phi_6 &= + 6.2 \text{ p.u} & (\text{تأثير الحرارة}) \end{aligned}$$

اذن مجموع التصحيحات على المسامية المسجلة يساوي $2.7 \text{ p.u} +$ المسامية الصحيحة تساوي :

$$2.7 + 2.7 = 29.7 \text{ p.u.} = 29.7 \%$$

تشمل تسجيلات المسامية (porosity logs) المستعملة حالياً في الابار البترولية ، على تسجيل النيوترون والكثافة في ان واحد . يستفاد من هذه الطريقة في تحديد الصفات الصخرية (lithology) للطبقات المختلفة بالطرق السريعة التي تتطلب تسجيل النيوترون والكثافة في آن واحد كذلك يستفاد من الطريقة في اكتشاف هيدروكربونات غازية بسهولة . وتحديد الطبقات المائية وكذلك ايجاد المسامية الصحيحة بسرعة باستعمال الطرق السريعة او استعمال المخططات البيانية المختلفة (شكل 9-15) ، (9-16) ، (9-17) ، (9-18) ، (9-19) ، (9-20) تفرض هذه المخططات البيانية ان المناطق المطلوب تحديد صفاتها الصخرية والمسامية هي مناطق نقية ومشبعة بالماء وايضا تفرض بان قراءة المسامية من النيوترون هي بوحدات مسامية كلسية ومصححة لتأثير البئر ، وايضا تفرض بان الصخور المكمية الرئيسية الموجودة في الحقول البترولية تتألف من صخور رملية او كلسية او من الدولومايت . تسبب وجود معادن اخرى داخل هذه الطبقات ازاحة النقطة من المخطط البياني من الموقع الصحيح مثل تواجد الكبريت او الملح او الانهيدريت بنسب معينة يسبب اخطاء في تحديد هذه الصفات . يلاحظ في هذه المخططات سهم يؤشر نحو الجنوب الشرقي من المخطط اي اذا وجدت هيدروكربونات غازية في المنطقة المطلوب دراستها فان النقطة المسقط في المخطط يجب ازاحتها بهذا الاتجاه حسب كمية تأثير الغاز على تسجيلات النيوترون والكثافة .

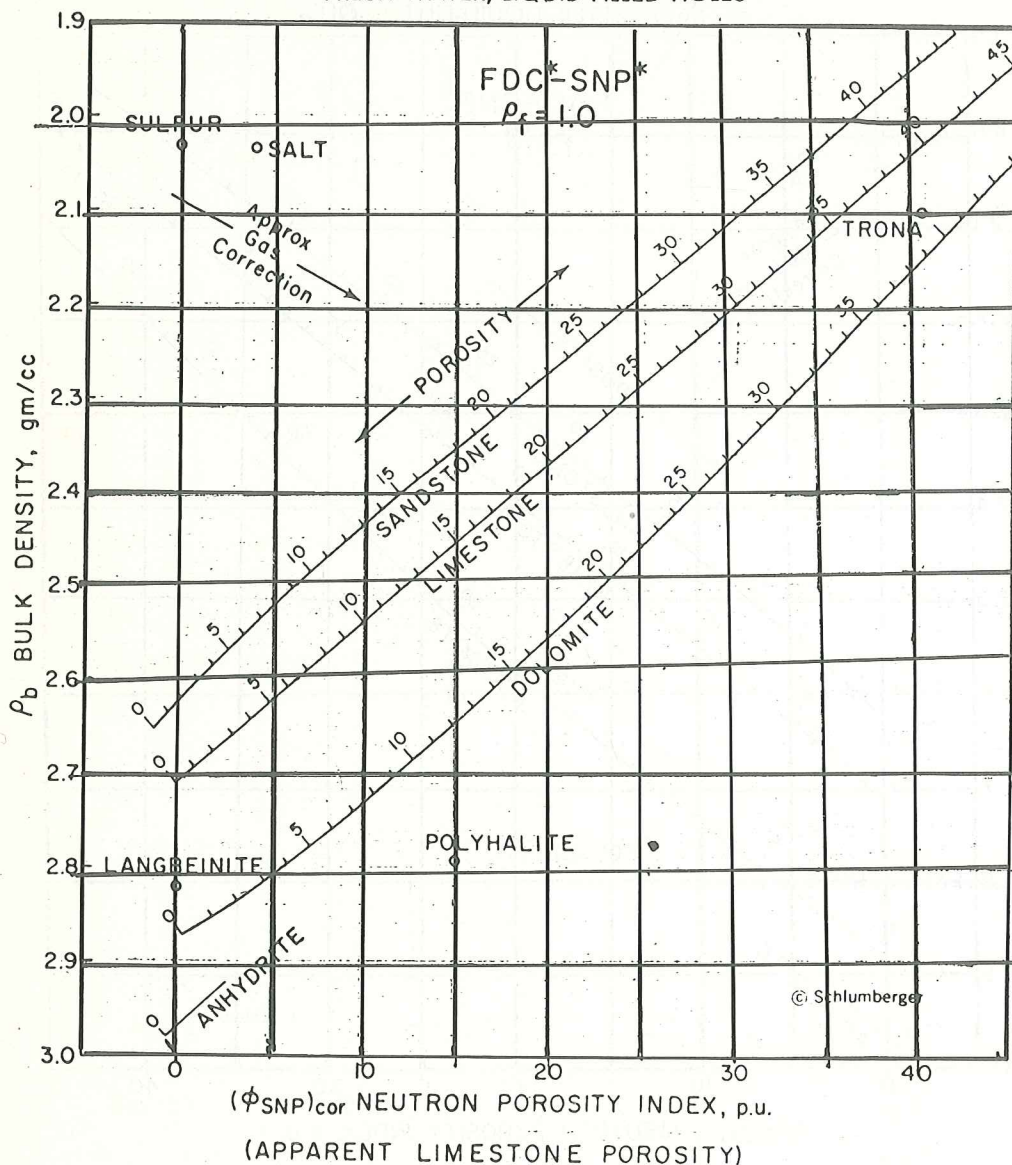
مثال :

سجلت البيانات التالية امام طبقة مكمية مشبعة بالماء تحت عمق (3040) م :

$$\phi_{\text{CNL}} = 15\% , \rho_b = 2.45 \text{ (gm/ec)}_1 \rho_f = 1.2 \text{ gm/ec}$$

اذا كان مقدار التصحيحات لتأثير البئر على القياسات يساوي (1.5) وحدة مسامية ، احسب المسامية الصحيحة للطبقة المكمية والتركيب المعدني للطبقة المكمية .

POROSITY AND LITHOLOGY DETERMINATION FROM
FORMATION DENSITY LOG AND
SIDEWALL NEUTRON POROSITY LOG (SNP*)
MAY ALSO BE USED WITH GNT F, G, or H NEUTRON LOGS
FRESH WATER, LIQUID-FILLED HOLES

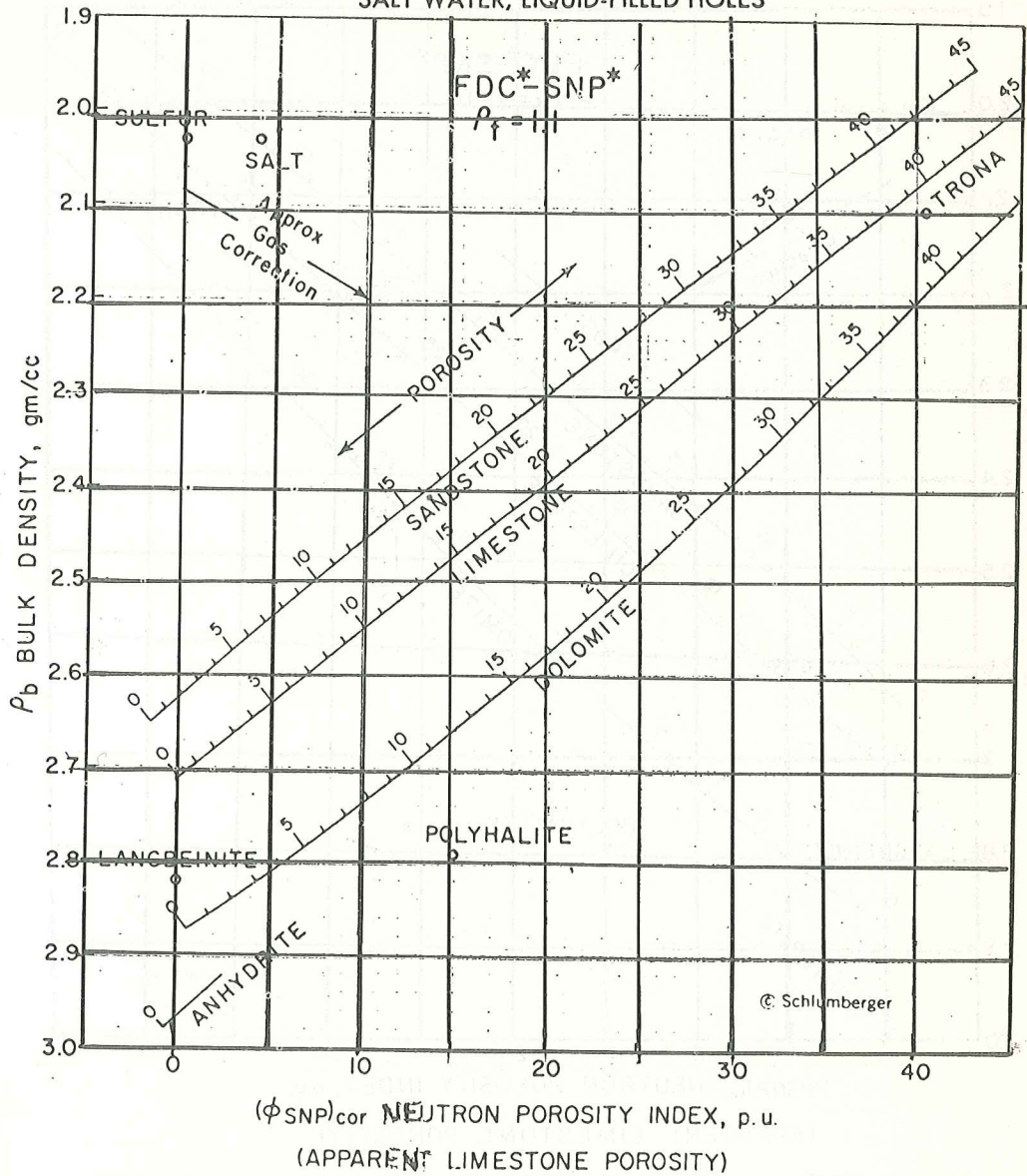


شكل (9-15) مخطط بياني لحساب المسامية والتركيب المعدني من مخطط النيوترون (SNP) والكثافة (ابار مملوءة بالماء العذب) (لشركة شلمبرجر)

**POROSITY AND LITHOLOGY DETERMINATION FROM
FORMATION DENSITY LOG AND
SIDEWALL NEUTRON POROSITY LOG (SNP*)**

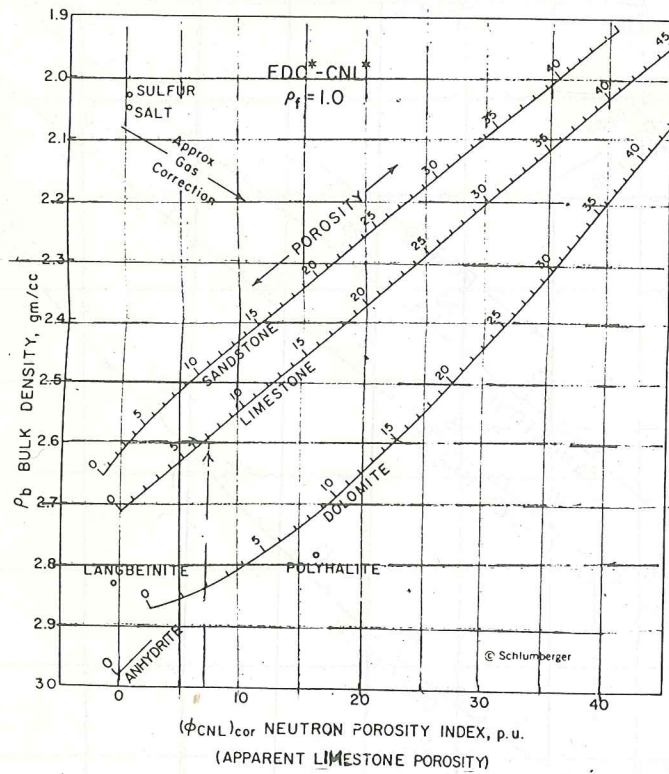
MAY ALSO BE USED WITH GNT F, G, or H NEUTRON LOGS

SALT WATER, LIQUID-FILLED HOLES



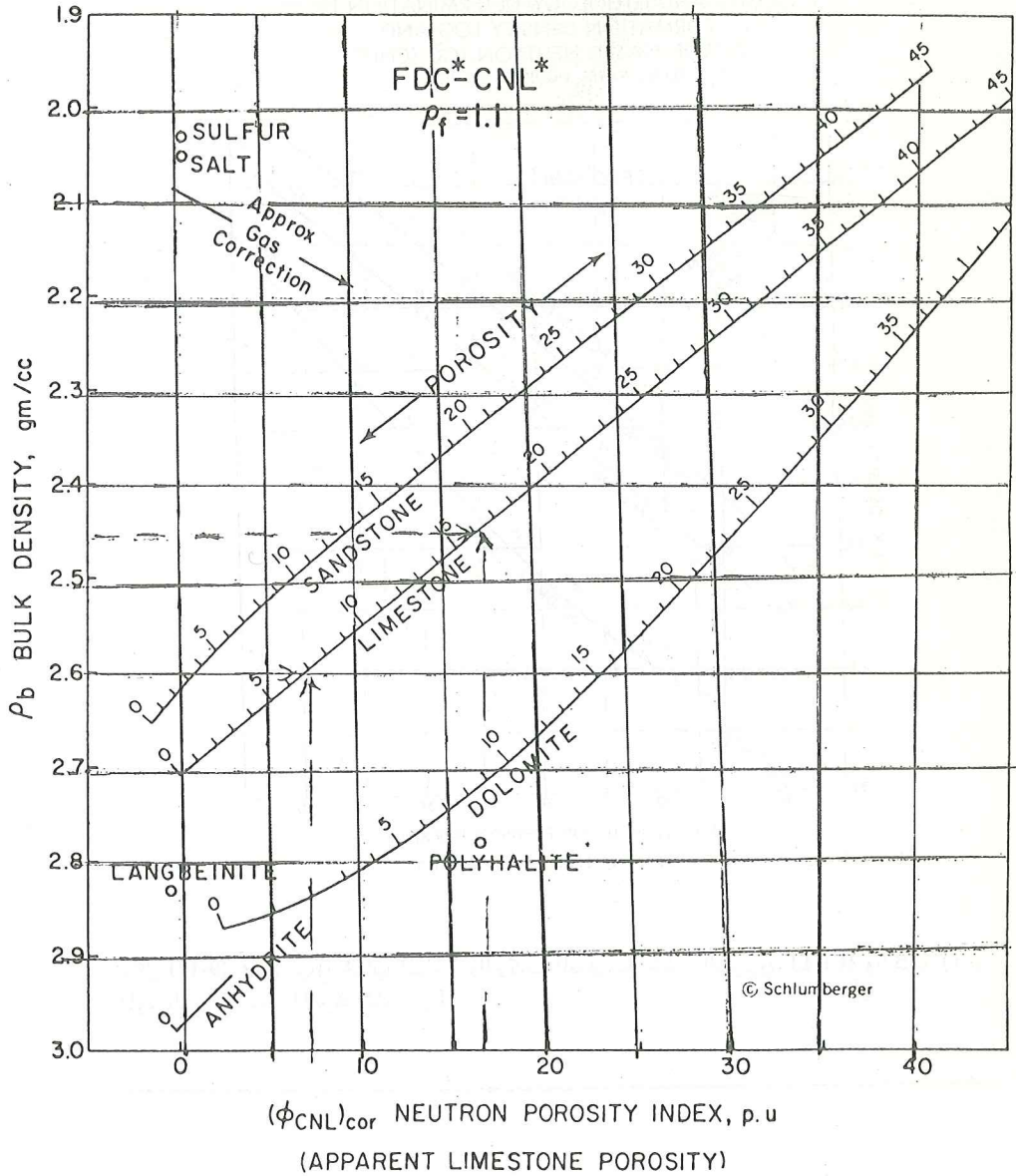
شكل (9-16) خطط بياني لحساب المسامية والتركيب المعدني من خطط النيوترون (SNP) والكثافة (أبار
مملوءة بالماء المالح) (لشركة شلمبرجر)

POROSITY AND LITHOLOGY DETERMINATION FROM
FORMATION DENSITY LOG AND
COMPENSATED NEUTRON LOG (CNL*)
FRESH WATER, LIQUID-FILLED HOLES



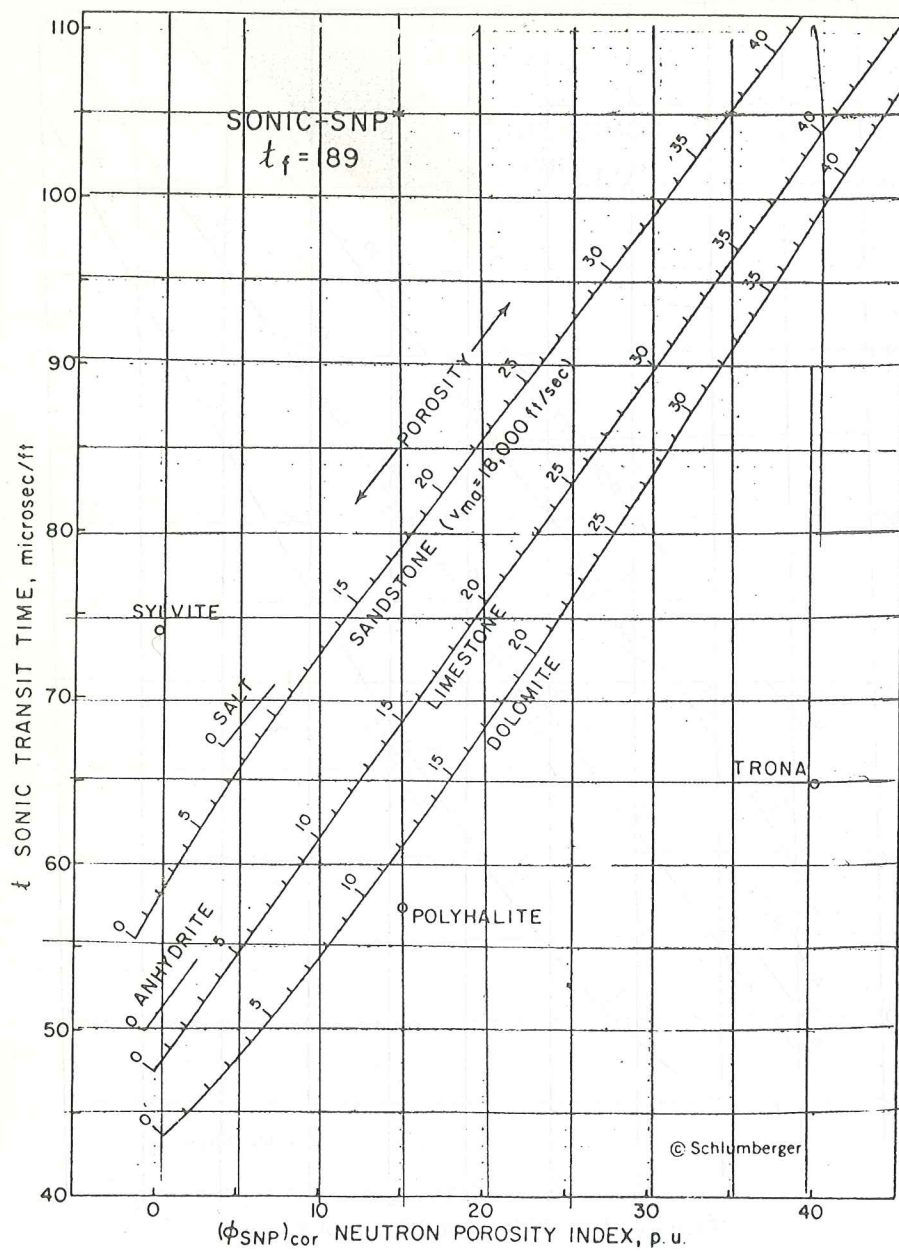
شكل (9-17) مخطط بياني لحساب المسامية والتركيب المعدني من مخطط النيوترون (CNL) والكثافة (أبار مملوء بالماء العذب) (لشركة شلمبرجر)

**POROSITY AND LITHOLOGY DETERMINATION FROM
FORMATION DENSITY LOG AND
COMPENSATED NEUTRON LOG (CNL*)
SALT WATER, LIQUID-FILLED HOLES**



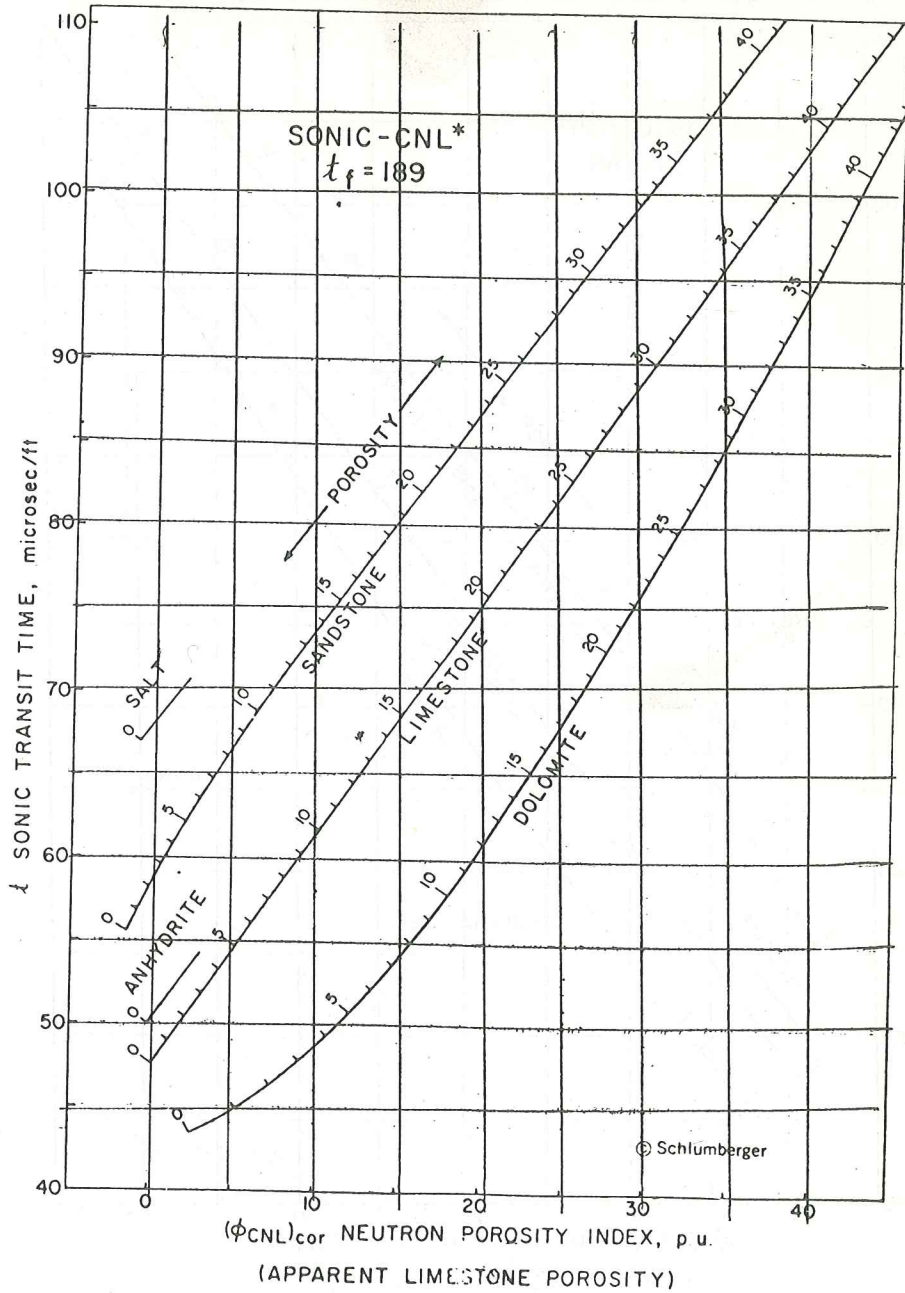
شكل (9-18) مخطط بياني لحساب المسامية والتركيب المعدني من مخطط النيوترون (CNL) والكثافة (ابار مملوءة بالماء المالح) (لشركة شلمبرجر)

POROSITY AND LITHOLOGY DETERMINATION FROM SONIC LOG AND SIDEWALL NEUTRON POROSITY LOG (SNP*)



شكل (9-19) مخطط بياني لحساب المسامية والتركيب المعدني من مخطط السرعة والنيوترون (SNP) لشركة
شلمبرجر

POROSITY AND LITHOLOGY DETERMINATION FROM SONIC LOG
AND COMPENSATED NEUTRON LOG (CNL*)



شكل (9-20) خطوط بياني لحساب المسامية والتركيب المعدني من مخطط السرعة والنيوترون (CNL) (لشركة
شلمبرجر)

الحل :

نضيف مقدار التصحيح للمسامية (1.5) الى المسامية (ϕ) $15 + 1.5 = 16.5\%$
 $\phi_{CNL} = 16.5\%$ وهي المسامية المصححة لتأثير البئر .

نستعمل المخطط البياني شكل (9-18) لحساب المسامية الصحيحة للطبقة
المكمنية

$$\rho_b = 2.45 \phi_{CNLc} = 16.5\%$$

اذن من المخطط البياني $\phi = 16.2\%$
والتركيب المعدني او نوع الطبقة كلسي (limestone)

بما ان المخططات البيانية المختلفة تفرض المناطق المطلوبة حساب مساميتها ان
تكون مشبعة بالماء ، فان المخطط البياني شكل (9-21) يمكن استعماله للحصول على
المسامية في المناطق الحاوية على هيدروكربونات . اذا توفر تسجيل (R_{xo}) فانه من
الممكن حساب كثافة الهيدروكربون في الطبقات الحاوية على النفط او الغاز وذلك
باستعمال المخطط البياني شكل (9-22)

مثال :

اذا كانت قيمة المسامية المصححة لتأثير الطفلية تساوي $\phi_{CNLc} = 12\%$ وقيمة
المسامية المصححة لتأثير الطفلية من تسجيل الكثافة تساوي $\phi_{Dc} = 38\%$ ومقدار
التشبع بالهيدروكربون المتبقي يساوي $(Sh_r = 50\%)$ محسوب من تسجيل (R_{xo})

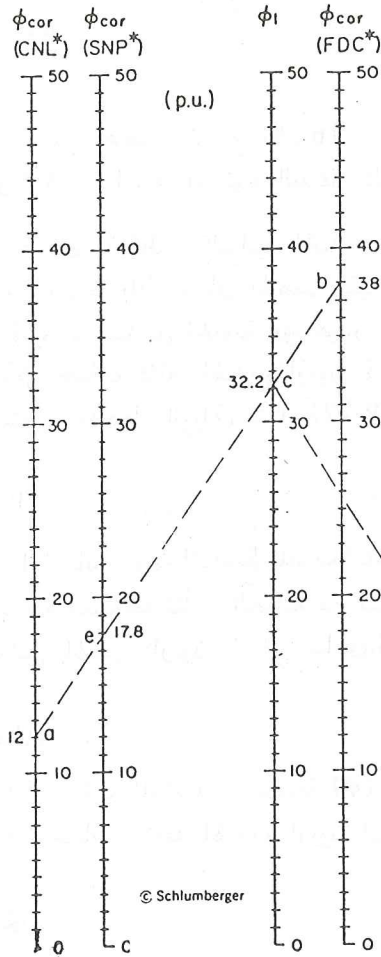
المطلوب :

- (١) حساب المسامية الصحيحة (ϕ)
- (٢) حساب كثافة الهيدروكربون (ρ_h) في المنطقة

الحل :

بما ان المسامية مقاسة من تسجيل (CNL) ، نستعمل العمود المخصص لهذا
التسجيل في شكل (9-21) فنحدد نقطة المسامية (ϕ_{CNL}) نقطة (a) في الشكل .
نحدد المسامية المقاسة من تسجيل الكثافة نقطة (b) في شكل (9-21) . الخط
الواصل بين نقطة (a) و (b) يمر بمقياس (ϕ_1) في قيمة ($\phi_1 = 32.2\%$) وهذه
مثلة بنقطة (c) .

POROSITY ESTIMATION IN HYDROCARBON-BEARING FORMATIONS FROM NEUTRON, DENSITY, AND R_{xo} LOGS



EXAMPLE:

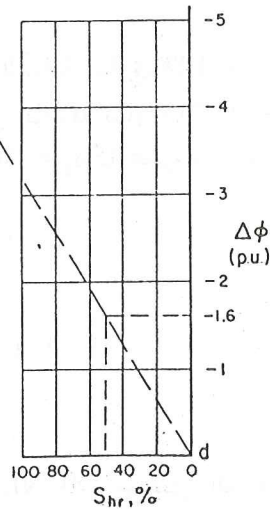
$\phi_{CNL_{cor}}$ corrected for shaliness, is 12 p.u.
 $\phi_{SNP_{cor}}$ corrected for shaliness, is 38 p.u.
 $S_{hr} (= 1 - S_{sh})$ is 50% (determined from an R_{10} log).

SOLUTION:

Plot Point a on appropriate ($\phi_{CNL_{cor}}$) Neutron stem and Point b on ϕ_{SNP} stem. Line ab locates Point c on ϕ_i stem. Using grid at lower right. Line cd indicates that $S_{hr} = 50\%$ corresponds to $\Delta\phi = -1.6$. Then $\phi = \phi_i + \Delta\phi = 32.2 - 1.6 = 30.6$ p.u. Point e represents an equivalent $\phi_{SNP_{cor}}$ point.

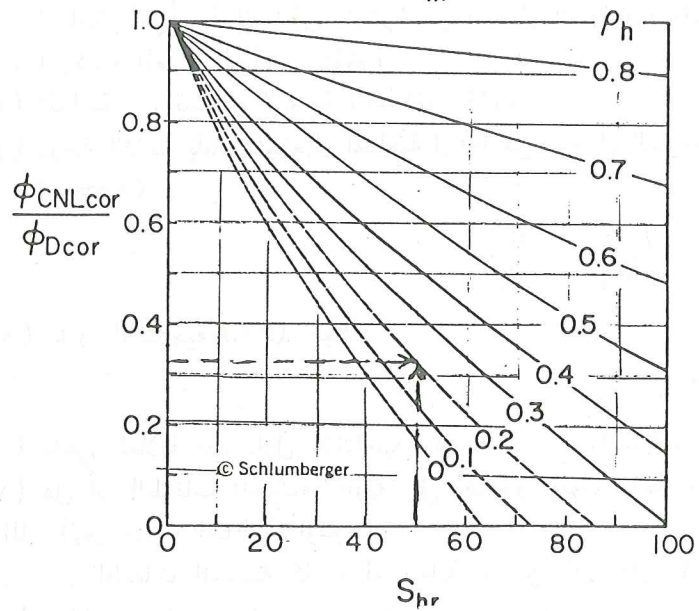
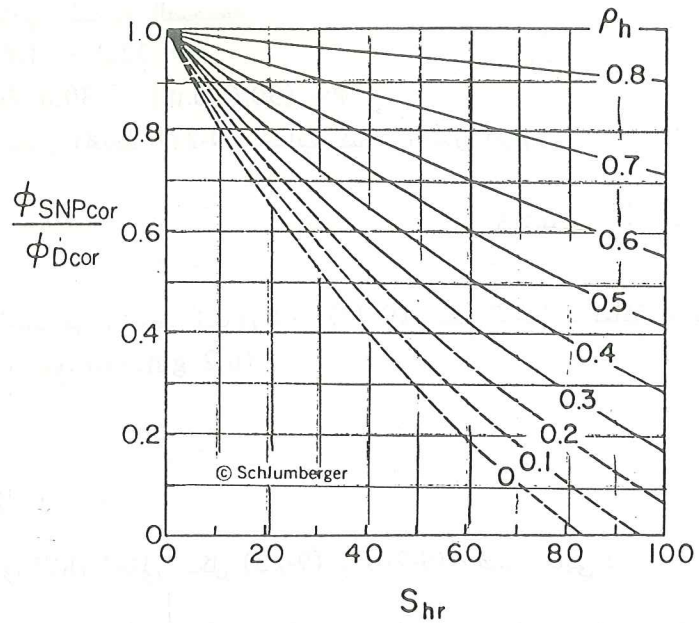
NOTE:

The chart includes approximate correction for excavation effect, but if $P_h < .25$ (gases) the chart may lose accuracy in some extreme cases: very high values of porosity (> 35 p.u.) coupled with medium to high values of S_{hr} , and for $S_{hr} \approx 100\%$ for medium to high values of porosity.



شكل (9-21) مخطط بياني لحساب المسامية (ϕ) في المناطق او المكامن الحاوية على هيدروكربونات (لشركة شلمبرجر)

ESTIMATION OF HYDROCARBON DENSITY FROM NEUTRON AND DENSITY LOGS



شكل (9-22) مخطط بياني لحساب كثافة الهيدروكربونات (لشركة شلمبرجر)

نرسم خطا مستقيما بين نقطة (c) ونقطة (d) كما مبين في الشكل . نرسم عمودا على محور (S_{hr}) من قيمة ($Shr = 50\%$) فنحصل على ($\phi = -1.6 \text{ p.u.}$) اي (-0.016)

تساوي المسامية الصحيحة

$$\phi = 32.2 - 1.6$$

$$\phi = (30.6 \text{ p.u.}) = 30.6 \%$$

نستعمل المخطط (9-22) لحساب كثافة الهيدروكربون

$$\frac{\phi_{CNLC}}{\phi_{Dc}} = \frac{12}{38} = 0.315$$

نلاحظ من المخطط البياني شكل (9-22) القسم الاسفل ، كثافة الهيدروكربون (ρ_h) تساوي (0.2 gm/cc) .

مسائل :

(1) في المثال الحظلي شكل (9-23) و (9-24) احسب ماييلي :

- (١) المسامية الصحيحة للمناطق المؤشرة من تسجيل النيوترون والكثافة .
- (٢) التركيب المعدني للمناطق المؤشرة .
- (٣) المسامية من تسجيل السرعة للمناطق المؤشرة .
- (٤) درجة التشبع بالماء باستعمال المسامية (ϕ_s) من تسجيل السرعة في معادلة (Archie)

$$S_{ws} = \sqrt{\frac{1}{\phi_s^2} \times \frac{R_w}{R_t}}$$

(٥) دليل الانتاجية (P.I.) حيث

$$(P.I.) = \phi_{ND} \times S_{ws}$$

- (٦) ماهي العلاقة بين دليل الانتاجية ودرجة التشبع المحسوبة .
- (٧) هل أن الطبقات المكنية حاوية على الهيدروكربون (نفط او غاز) او على الماء (بين حسب المناطق المؤشرة)
- (٨) هل الطبقات المكنية كلسية او رملية او من الدولومايت ؟
(البيانات الخاصة بالبئر -

Salinity = 40000 ppm Cl

density = 1.20 gm/cc

Max. rec. temp. = 160°F

no casing in logged interval

$R_{mf} = 0.20$ at 59°F

$t_f = 158^\circ\text{F}$

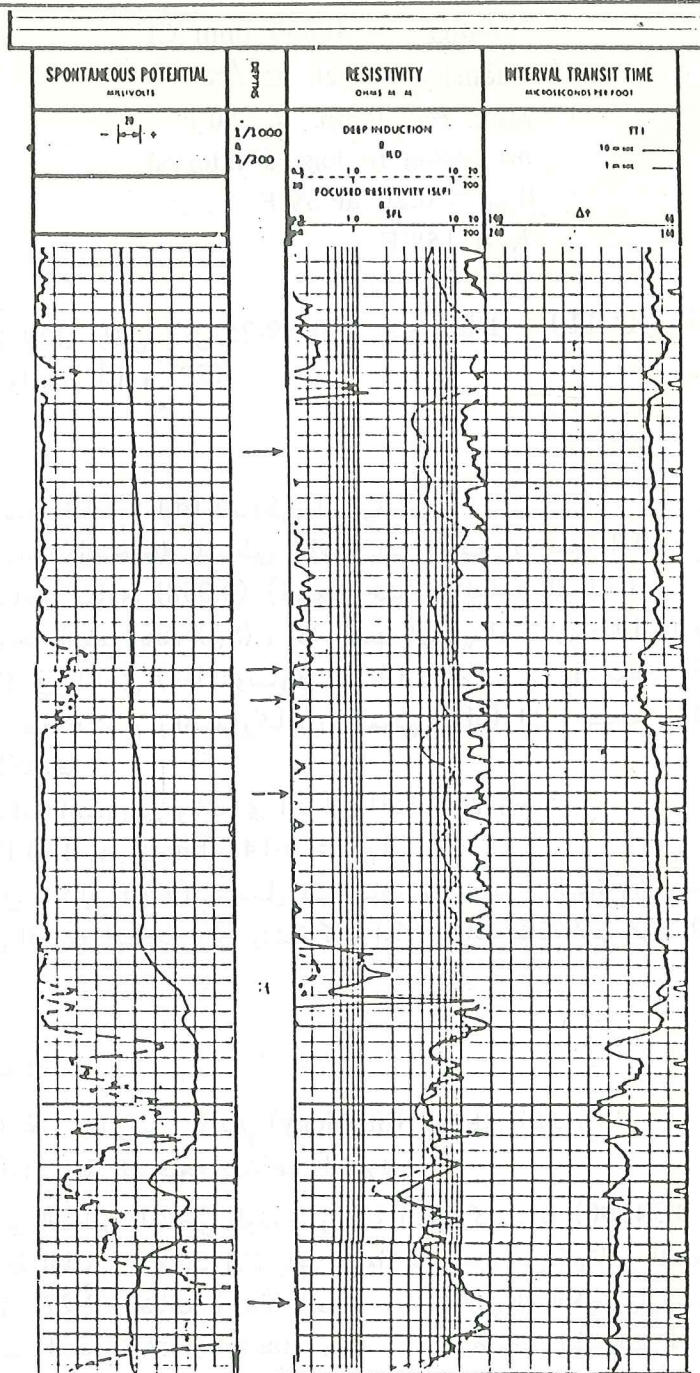
(2) يشمل المثال الحقل شكل (9-25) على تسجيل (DLL) مع (MLL) و (FDC) مع (SNP) و اشعة كاما و (SP).

المطلوب :

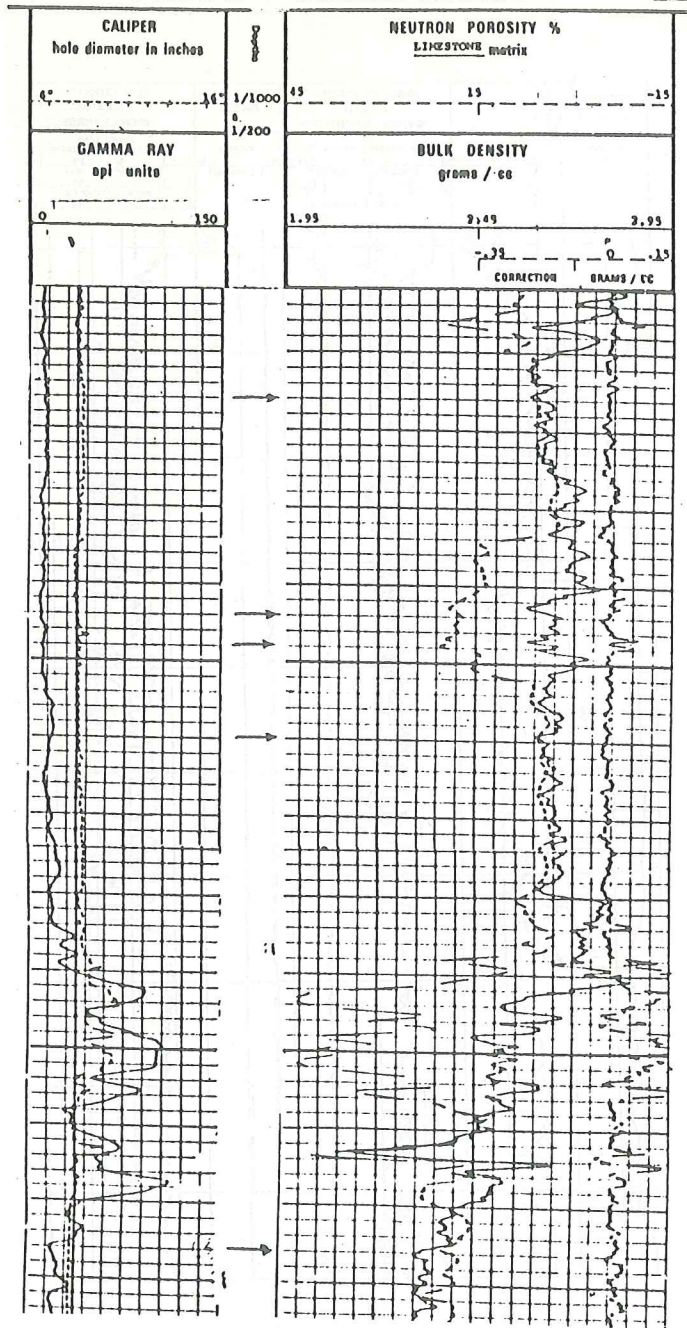
- (١) حساب (R_p) و (d_i) للمناطق المؤشرة .
 - (٢) المسامية الصحيحة للمناطق المؤشرة اذا علمت أن نسبة الطفلية في هذه المناطق تساوي (0.058) (استعمل مقياس المسامية الرملية) .
 - (٣) درجة التشبع بالماء (S_w) ، اذا علمت ان (R_w) تساوي (0.14) (اوم - م) في المناطق (1-4) وتساوي (0.22) (اوم - م) في منطقة (5)
 - (٤) درجة التشبع بالهيدروكربون المتبقي (Shr) إن وجدت في المناطق المكتسحة .
 - (٥) كثافة الهيدروكربونات في المناطق المختلفة إن وجدت ($R_{mf} = 0.14 \text{ ohm-m at } 150^\circ\text{F}$)
- (3) يمثل شكل (9-26) تسجيل المساميات (السرعة ، النيوترون والكثافة) وتسجيل المقاومة النوعية (R_p) و اشعة كاما امام طبقات نفاذة تحت عمق (12000) قدم .

المطلوب :

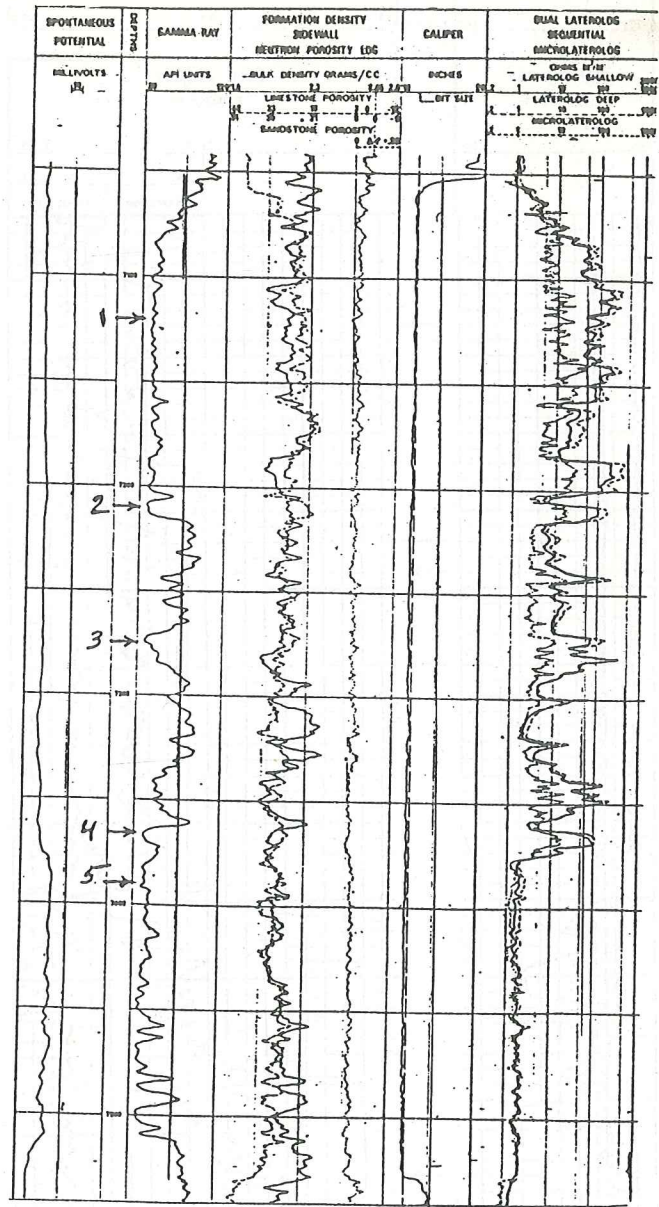
- (١) تحديد التركيب المعدني (lithology) للمناطق المؤشرة
 - (٢) المسامية الصحيحة للمناطق المؤشرة
- نتائج التحليل للمناطق المؤشرة بواسطة الميكروكومبيوتر (PDC 4100) مبينة على ورقة الطبع . والمخطط الانسيابي الشامل على جزء من البرنامج المستعمل مبين في شكل (9-27) مضاف في هذا المخطط حساب (R_{wa}) الكومبيوتر عند اعطاء المعلومات المتغيرة (parameters) وهذه - الفرضيات استعملت لعدم وجود معلومات دقيقة عن الطبقة الكمنية . وأيضا قيم المقاومة لم تصحح لتأثيرات البئر والغزو وغيرها من العوامل .



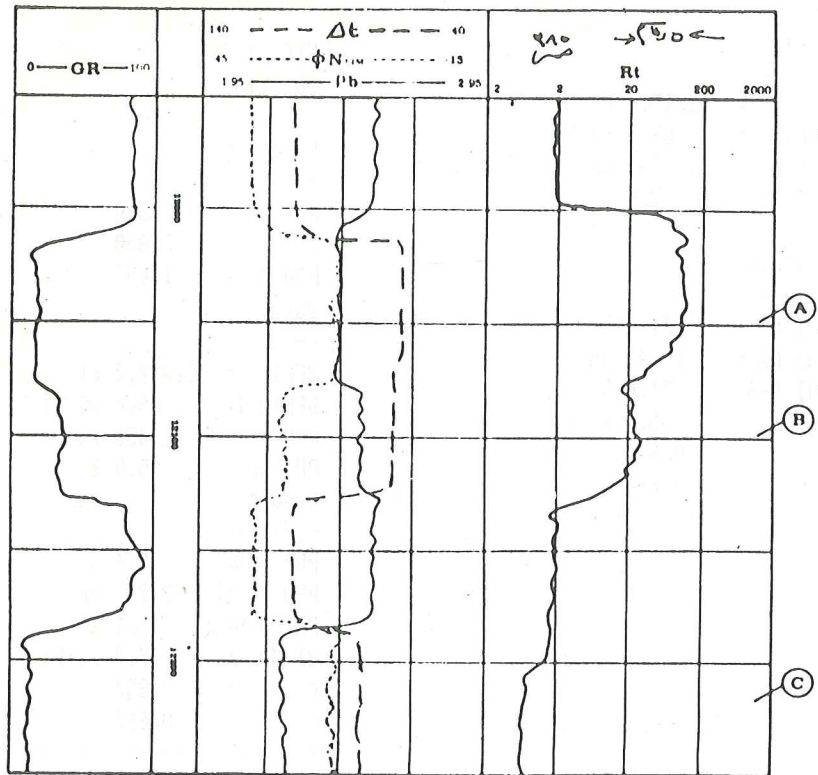
شكل (9-23) مثال حقلي لتسجيل ISF / sonic في احدى الآبار البترولية (لشركة شلميرجر)



شكل (9-24) مثال حقلي لتسجيل النيوترون (CNL) والكثافة في احدى الآبار البترولية (الشركة
شلمبرجر)



شكل (9-25) مثال حقلي لتسجيل (FDC) , (SNP) (DLL) , (MLL) مع اشعة كاما و (SP) (لشركة شلمر جر)



شكل (9-26) مثال حقلي لتسجيل المساميات (تسجيل السرعة ، النيوترون والكثافة) مع المقاومة النوعية
واشعة كاما

نتائج التحليل للمناطق المؤشرة في مسألة رقم (3) بواسطة الميكروكومبيوتر (PDC/4100)

CNL/FDC/SON

NEXT CASE

Data

DEPTH = 12215.0 Ft
DELTA T= 83.5 μ S/Ft
RHO B = 2.300 gm/cc
PHI NL = 17.0 %

Results

PHI N-D= 21.6 %
RHO MA = 2.645 gm/cc
PHI N-S= 21.0 %
dT MA = 55.4 μ S/Ft
M = 0.844
N = 0.664

INPUT OPTION

FDC GM/CC
CNL LINE %

Parameters

A = 1.000
M = 2.000
RHO MF = 1.050 gm/cc

Data

DEPTH = 12050.0 Ft
DELTA T= 69.0 μ S/Ft
RHO B = 2.450 gm/cc
PHI NI = 15.0 %

Results

PHI N-D= 15.4 %
RHO MA = 2.705 gm/cc
PHI N-S= 15.1 %
dT MA = 47.7 μ S/Ft
M = 0.857
K = 0.607

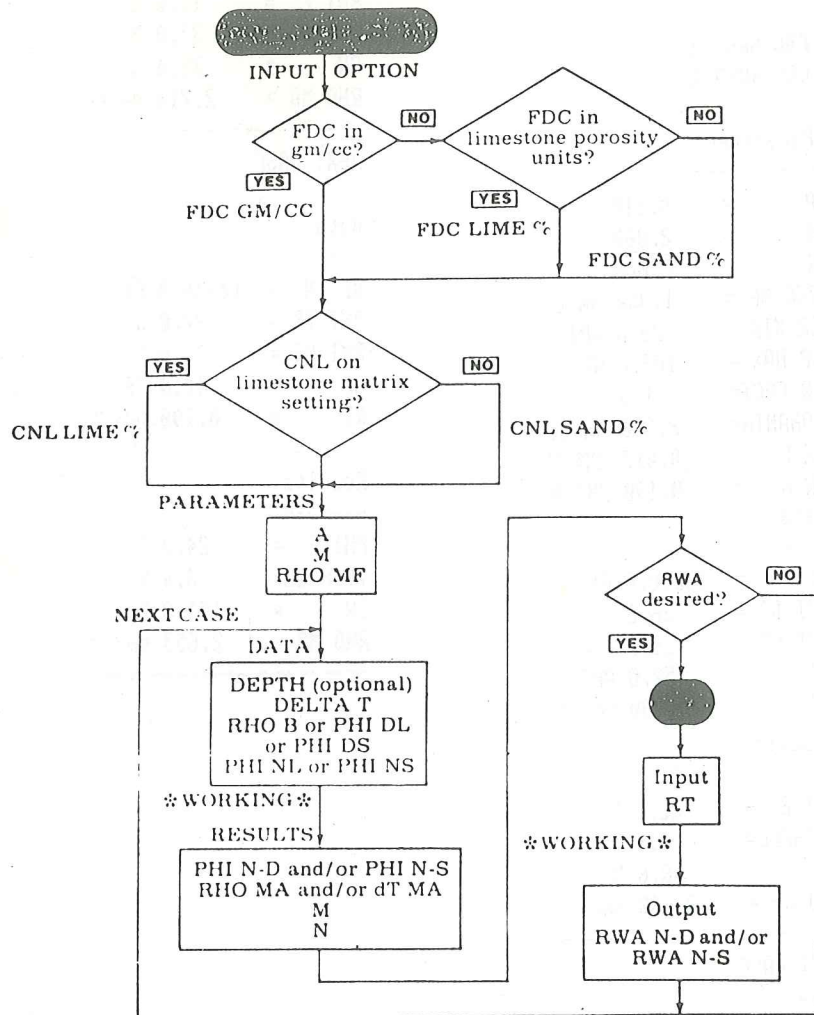
NEXT CASE

Data

DEPTH = 12100.0 Ft
DELTA T= 70.0 μ S/Ft
RHO B = 2.550 gm/cc
PHI NL = 25.5 %

Results

PHI N-D= 18.2 %
RHO MA = 2.884 gm/cc
PHI N-S= 18.1 %
dT MA = 43.7 μ S/Ft
M = 0.793
N = 0.497



شكل (9-27) مخطط انسيابي (flow-chart) لمسألة رقم (3)

DUAL WATER

INPUT OPTION

FDC SAND %

CNL SAND %

Parameters

A = 0.810
M = 2.000
N = 2.000
RHO MF = 1.050 gm/cc
GR MIN = 20.0 API
GR MAX = 102.0 API
GR FACT = 1.5
ROMANIN = 2.600 gm/cc
RW-F = 0.017 DM²/M
RW-B = 0.190 DM²/M
Data

DEPTH = 10220.0 Ft
PHI DS = 26.0 %
PHI NS = 26.0 %
GR = 52.0 API
RT = 6.700 DM²/M

Results

PHI E = 22.1 %
V SHALE = 16.9 %
SW = 18.6 %
RHO MA = 2.668 gm/cc

NEXT CASE

Data

DEPTH = 10230.0 Ft
PHI DS = 17.0 %
PHI NS = 25.0 %
GR = 72.0 API
RT = 2.860 DM²/M

Results

PHI E = 12.6 %
V SHALE = 37.0 %
SW = 39.4 %
RHO MA = 2.710 gm/cc

NEXT CASE

Data

DEPTH = 10330.0 Ft
PHI DS = 27.0 %
PHI NS = 27.0 %
GR = 40.0 API
RT = 0.190 DM²/M

Results

PHI E = 24.9 %
V SHALE = 8.4 %
SW = 101.8 %
RHO MA = 2.653 gm/cc

مسائل :

(1) المثال الحقلي شكل (13-11) و (13-12) و (13-13) و (13-14) يشمل على تسجيلات مختلفة من احدى الآبار في منطقة (Louisiana Gulf Coast) . المطلوب :

- 1 - إيجاد المسامية الحقيقية للتكوين بين (12905-12918) قدم .
- 2 - درجة التشبع بالماء (S_w) .

(2) شكل (13-15) يمثل تسجيل حقلي من (GR) ، (ϕ_{Ds}) ، (ϕ_{NS}) ، (R) من احدى الآبار البترولية تحت عمق (12000) قدم . اذا علمت أن قيم $0.105 = R_{WB}$ ، ($R_{WF} = 0.05$) كما مبينة في الشكل . اوجد :

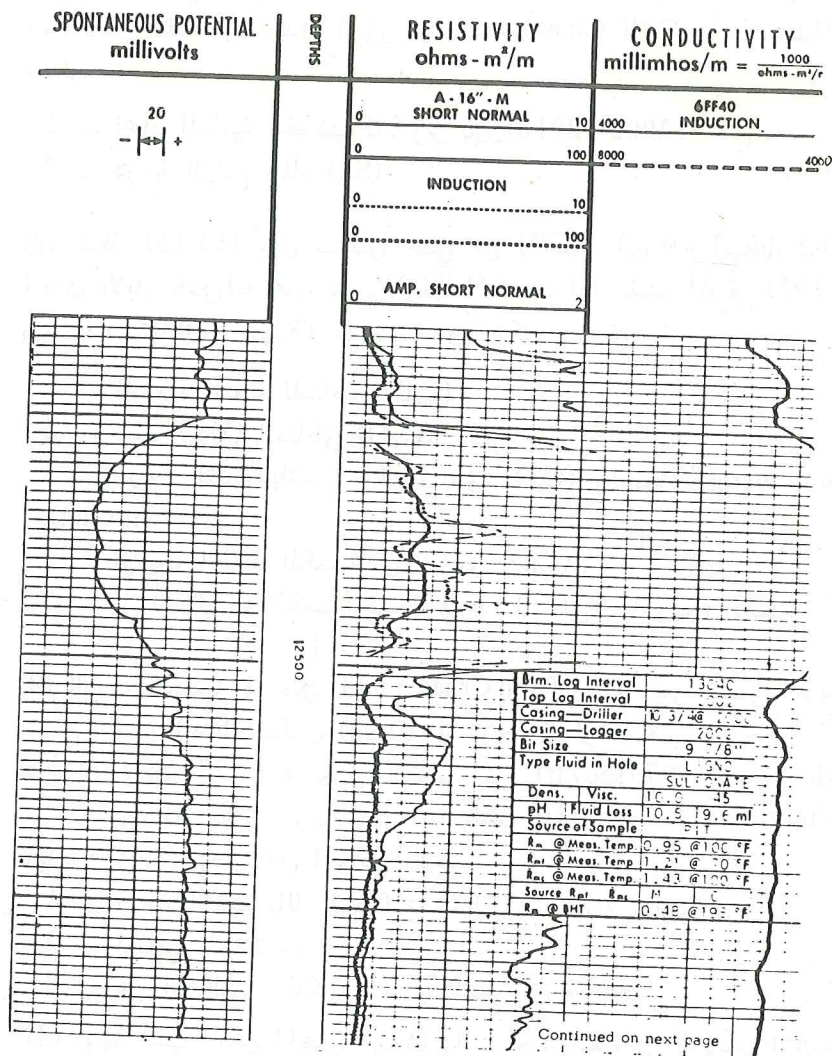
- 1 - المسامية الفعالة للمناطق (C_pD) .
- 2 - نسب (V_{sh}) للمناطق (C_pD) .
- 3 - درجة التشبع بالماء () للمناطق (C_pD) بطريقة (Dual water model)
- 4 - تركيب الطبقة المكمنية في المناطق (C_pD) .
- 5 - هل أن الطبقة المكمنية منتجة في هذه المناطق ؟ ماهو نوع الانتاج ؟

(3) الطبقة المكمنية في حقل (Bell Creek Field) رملية وتعود لعصر الكريتاسي السفلي . قيمة (R_w) تساوي (0.22) في درجة حرارة المكن . تسجيل الكثافة يقرأ (2.27 gm/cc) وتسجيل السرعة يقرأ ($97 \mu\text{sec/ft}$) وتسجيل المقاومة النوعية بواسطة جهاز الحث يقرأ (10 ohm-m) . هل ان الطبقة المكمنية طفلية ؟ كيف تتوصل الى الجواب ؟ احسب .

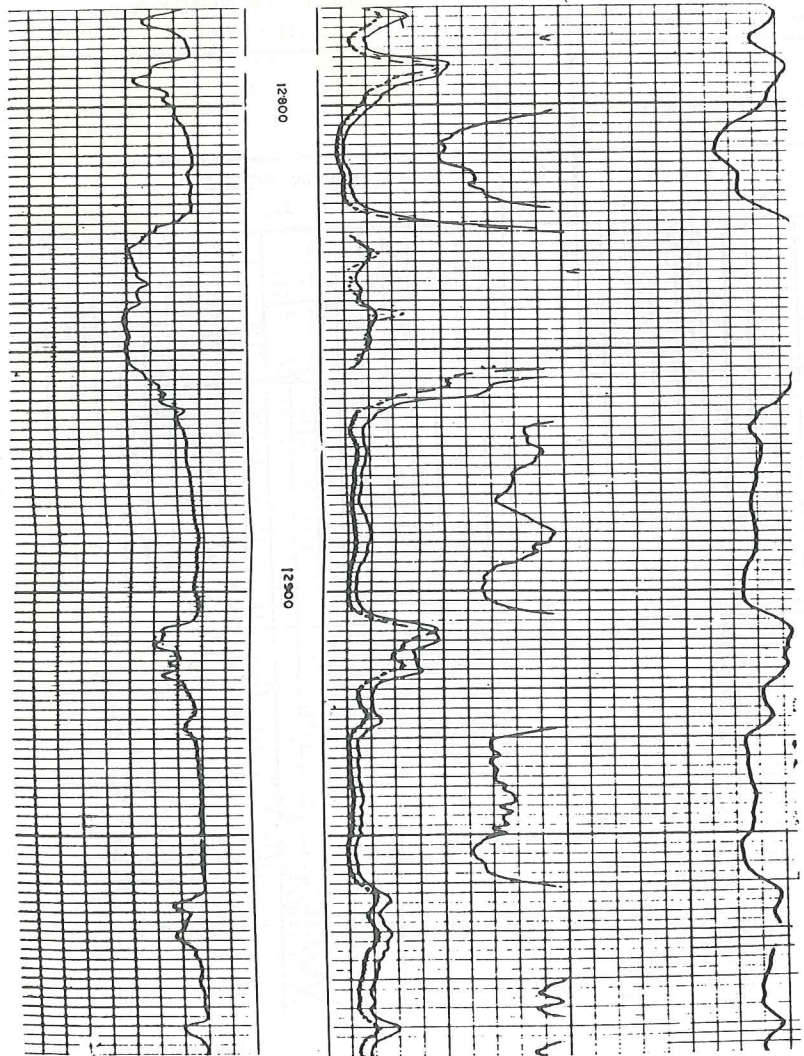
- 1 - درجة التشبع بالماء (S_w) باستعمال اية طريقة مناسبة .
- 2 - المسامية الحقيقية .
- 3 - هل ان الطبقة المكمنية منتجة للهيدروكربونات ؟

(4) اوجد نسب الطفل الحجمية (V_{sh}) والمسامية الحقيقية من البيانات التالية :

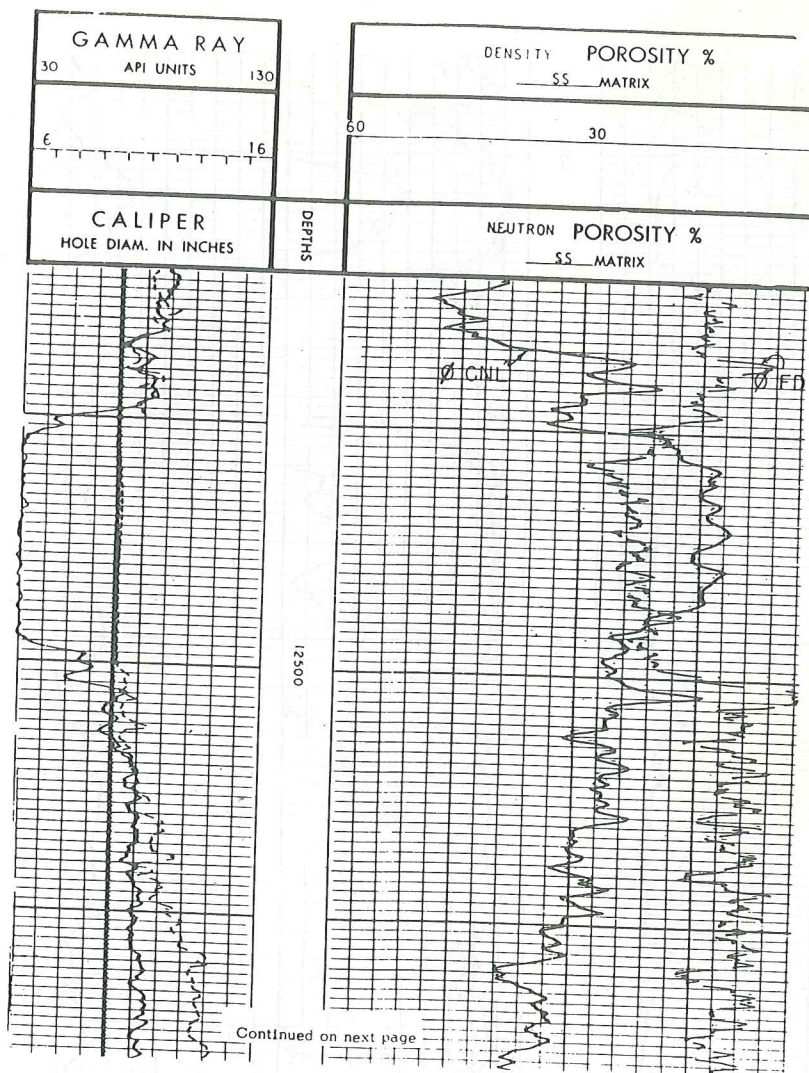
ϕD_s (%)	$\phi CNL-s$ (%)
10	10
10	15
20	22
18	30
$\phi D_{sh} = 8 \%$	$\phi CNL_{sh} = 35 \%$



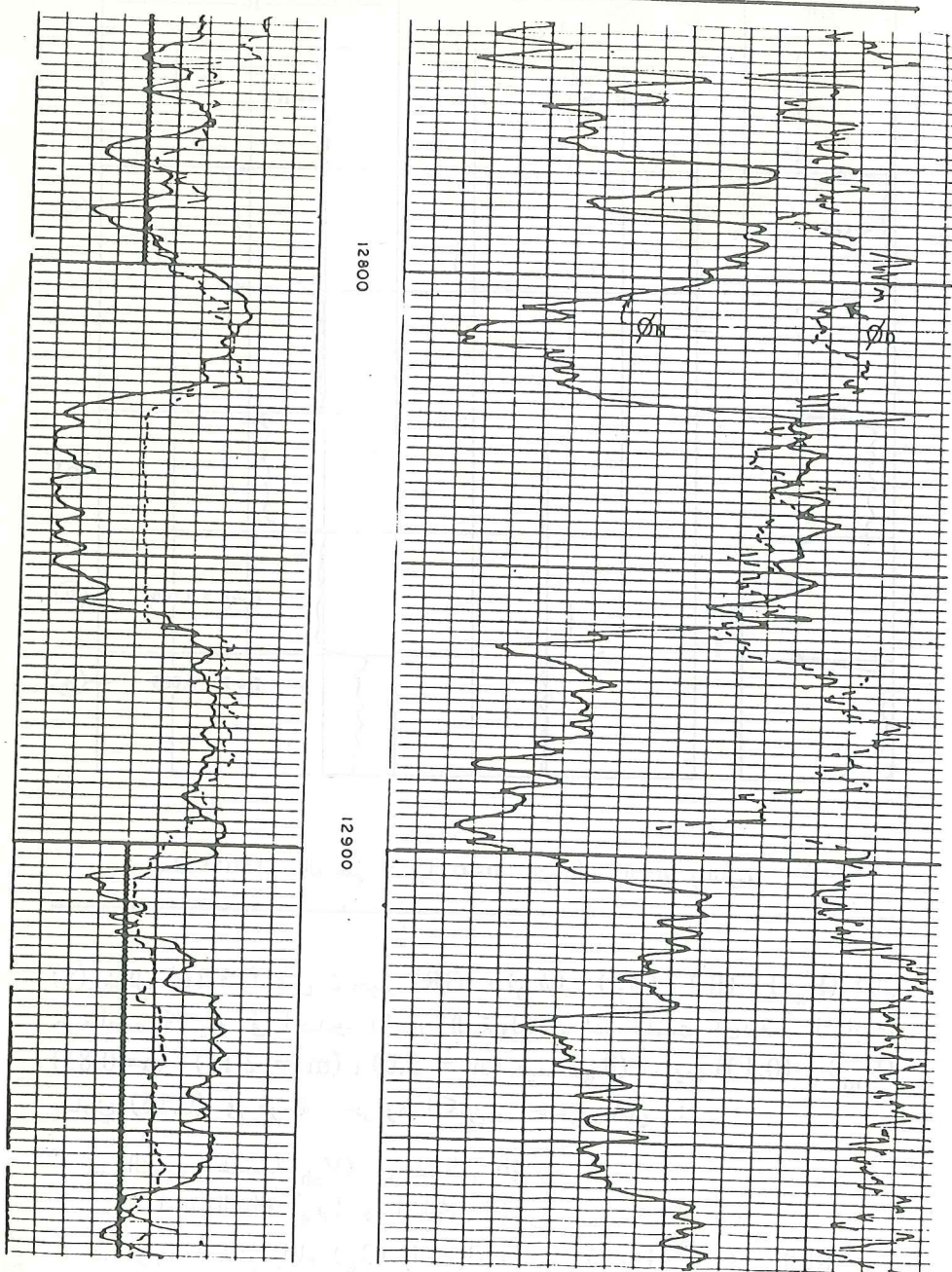
شكل (13-15) مثال حقلي لتسجيل (IES) (لشركة شلمبرجر)



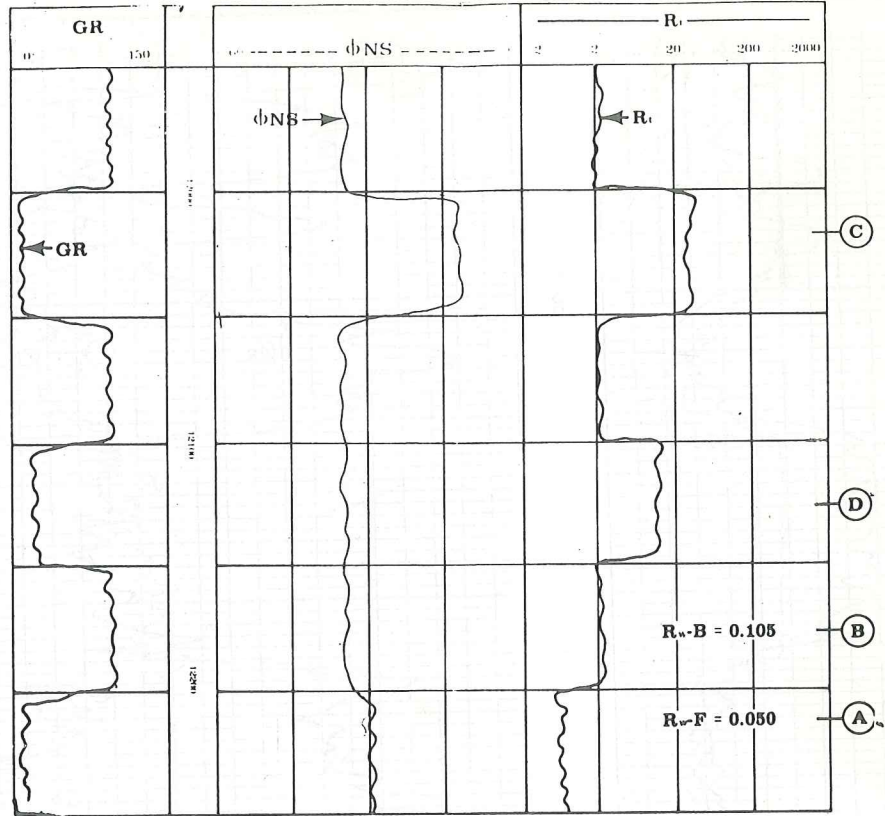
شكل (13-16) مثال حقلي لتسجيل (IES) (لشركة شلمبرجر)



شكل (13-17) مثال حقلي لتسجيل الكثافة والنيوترون مع (GR) و (caliper) (لشركة شلمبرجر)



شكل (13-18) مثال حقلي لتسجيل الكثافة والنيوترون مع (GR) و (caliper) (لشركة شلميرجر)



شكل (13-19) مثال حقلي لتسجيل (GR) ، النيوترون والكثافة والمقاومة

(5) شكل (13-16) يمثل تسجيل (GR) ، (ϕ_D) ، (ϕ_N) ، (R_p) ، (R_{x0}) امام طبقات مكمنية في احدى الابار البترولية . اذا علمت ان قيم الثوابت $(a=0.81)$ ، $(m = 2.15)$ ، $(n = 2.0)$ قيمة (R_w) تساوي (0.13) و (R_{mf}) تساوي (0.15) في درجة حرارة المكمن . احسب مايلي :

- 1 - النسب الحجمية (V_{sh}) في المناطق المؤشرة .
- 2 - المسامية الفعالة (ϕ_e) في المناطق المؤشرة .
- 3 - درجة التشبع بالماء (S_w) باستعمال معادلة (13-13) في نفس المناطق .
- 4 - درجة التشبع بالماء في المنطقة المكتسحة (S_{x0}) في نفس المناطق .

5 - كثافة الهيدروكربونات (ρ_h) ان وجدت .

6 - ماهو الفرق بين المنطقتين ؟

نتائج التحليل بواسطة الميكروكومبيوتر PDC مبينة على ورقة الطبع للمنطقة تحت عمق (6135) .

SHALY SANDS

ROMADD

Parameters

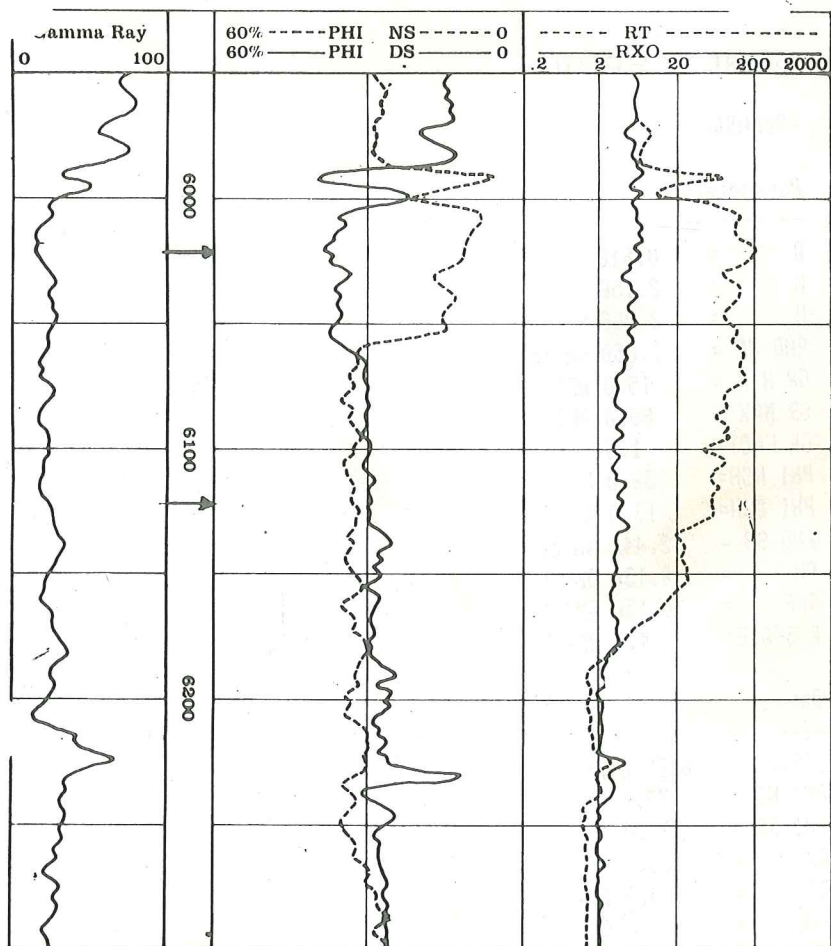
R = 0.810
N = 2.150
N = 2.000
RHO MF = 1.050 gm/cc
GR MIN = 15.0 API
GR MAX = 80.0 API
GR FACT = 1.5
PHI NSH = 30.0 %
PHI DSH = 13.0 %
RHO SH = 2.442 gm/cc
RW = 0.130 QMS/K
RMF = 0.150 QMS/K
R SHALE = 4.0 QMS/K

Date

DEPTH = 6135.0 Ft
PHI NS = 33.0 %
PHI DS = 30.0 %
GR = 25.0 API
RT = 60.0 QMS/K
RXO = 2.0 QMS/K

Results

PHI E = 27.7 %
V SHALE = 17.6 %
SW = 12.4 %
SXO = 69.2 %
RHO HY = 0.8 gm/cc



شكل (13-20) مثال حقلي لتسجيل (R_{x0}) ، (R_p) ، (ϕ_D) ، (ϕ_N) ، (CR)

الفصل العاشر

تسجيل زمن تلاشي النيوترونات الحرارية

(TDT log)

(Thermal decay time log)

يمثل هذا النوع من التسجيل زمن تلاشي النيوترونات الحرارية داخل التكوين مع العمق ، أو سرعة تلاشي النيوترونات الحرارية (rate of decay of thermal neutrons) . تكون هذه السرعة عالية اذا احتوى التكوين على عنصر الكلور ويكون هذا العنصر مبرك من ملح (NaCl) في ماء التكوين . يستعمل هذا النوع من التسجيل في الابار المبطنة ويمكن استعمال التسجيل في الابار المفتوحة ولكن نتائج دراسة هذه التسجيلات تكون مشكوكه لتأثير الغزو على القياسات . يستفاد من هذا التسجيل للكشف عن الهيدروكربونات في الابار المبطنة ودراسة المشاكل الانتاجية كتحديد المناطق التي تبدأ بانتاج الماء وتفيد ايضا في دراسة الابار القديمة المبطنة يستخدم هذا التسجيل ايضاً في فترات متفاوتة من الانتاج لغرض التسجيل تتبع ومعرفة مقدار التشبع في المكمن .

مبدأ القياس (١). (Principle of measurement)

تطلق من المصدر الموجود داخل جهاز (TDT) نيوترونات ذات طاقة عالية تعادل (14 Mev) يحتوي المصدر على نظائر من عنصر الهيدروجين المتأينة داخل جهاز التعجيل (accelerator) . يمثل التفاعل النووي التالي طريقة انتاج النيوترونات من المصدر

$${}_1\text{H}^3 + {}_1\text{H}^2 = {}_2\text{He}^4 + {}_0\text{n}^1 \quad \dots (10-1)$$

تصبح النيوترونات المقذوفة من المصدر بطيئة الحركة داخل البئر والتكوين و تقتص من قبل نواة العناصر مع اطلاق اشعة كاما . تتلاشى كمية النيوترونات الحرارية بصورة أسية (exponentially) مع الزمن داخل التكوين . تلاشي النيوترونات داخل التكوين يكون اما بسبب امتصاص النيوترونات من قبل نواة العناصر وهذه الطريقة هي المعتبرة عند قياس زمن التلاشي ، بسبب عامل اخر التلاشي وهو الانتشار (diffusion) . يقيس تسجيل (TDT) زمن تلاشي النيوترونات الحرارية داخل التكوين . عملية الامتصاص تعتبر المسببة الرئيسية لتلاشي النيوترونات الحرارية . يتمثل تناقص كثافة النيوترونات الحرارية مع الزمن بالمعادلة⁽⁴⁾

$$N = N_0 e^{-t/T_{int}} \quad \dots (10-2)$$

حيث :

N - كثافة النيوترونات الحرارية في أي فترة زمنية بعد اطلاق النيوترونات .

N_0 - كثافة النيوترونات الحرارية بعد زمن الصفر أو t_0 بعد اطلاق النيوترونات .

t - الفترة الزمنية بوحدات ميكروثا بعد زمن (t_0)

T_{int} - الزمن الحقيقي لتلاشي النيوترونات الحرارية بوحدات ميكروثا يمكن ان تمثل زمن تناقص كثافة النيوترونات الحرارية مع الزمن بالمعادلة

$$I_t = I_0 e^{-\Sigma vt} \quad \dots (10-3)$$

حيث :

I_t - كثافة أو شدة النيوترونات الحرارية في أي فترة زمنية بعد اطلاق النيوترونات من المصدر

I_0 - كثافة أو شدة النيوترونات الحرارية بعد زمن (t_0) من اطلاق النيوترونات Σ مقطع امتصاص التكوين للنيوترونات بوحدات (سم²/سم³)

v - سرعة النيوترونات الحرارية (2200 m/sec)

t - الفترة الزمنية بوحدات ميكروثا بعد زمن (t_0) من اطلاق النيوترونات

تحتوي التكوينات المختلفة على عدد من العناصر او المركبات ، لكل عنصر مقطع امتصاص يسمى مقطع الامتصاص الدقيق أو (microscopic capture cross-section) ويمثل بوحدات (سم²) . بما ان مقطع الامتصاص بوحدات

(سم⁻¹) كبير بالنسبة لمقطع امتصاص العناصر ، تستعمل وحدة امتصاص اصفر وتسمى وحدة امتصاص العنصر (capture unit) أو وحدة تأسير أو (c.u.) اي
 $(1 \text{ c.u.}) = 10^{-3} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$

يمثل الجدول التالي مقاطع الامتصاص لبعض العناصر الشائعة داخل التكوينات المختلفة .

جدول رقم (1-10) مقاطع امتصاص العناصر

العناصر الشائعة	مقطع الامتصاص وحدة امتصاص (غم/سم ³)
Cl	570
H	200
N	83
K	32
Fe	28
Na	14
S	9.8
Ca	6.6
Al	5.4
P	3.9
Si	3.4
Mg	1.7
C	0.16
O	0.01

عناصر نادرة ذات مقطع امتصاص كبير

العنصر مقطع الامتصاص

B	45,000
Cd	18000
Li	6200
Hg	1100
Mn	150

(6) تمثل العلاقة بين مقطع الامتصاص Σ وزمن التلاشي (T) بالمعادلة التالية :

$$T_{int.} = \frac{4,55}{\Sigma_{abs.} (cm^{-1})} \quad \dots (10-4)$$

حيث :
 Σ_{abs} - مقطع امتصاص التكوين للنيوترونات (سم⁻¹)
 T_{int} - الزمن الحقيقي لتلاشي النيوترونات (ميكروثا)

يقصد بزمن التلاشي الحقيقي ، زمن تلاشي النيوترونات الناتج من التفاعل النووي أو امتصاص العنصر للنيوترونات ، لكن تختفي بعض النيوترونات في التكوين نتيجة الانتشار (diffusion) اي زمن تلاشي النيوترونات يجب ان يكون اكبر من الزمن المقاس اي .

$$T_{int} > T_{meas.}$$

يمكن تصحيح هذا التأثير على حسابات مقاطع امتصاص التكوينات وذلك باستعمال العلاقة

$$\Sigma_{app.} = 1.6 \Sigma_{true} \quad \dots (10-5)$$

حيث :
 $\Sigma_{app.}$ - يمثل مقطع الامتصاص الظاهري المقاس
 Σ_{true} - يمثل مقطع الامتصاص الصحيح .
 زمن التلاشي المقاس حقيقياً يساوي :

$$T_{(log)} = \frac{4.55}{\Sigma_{log} (1 -)} \quad \dots (10-6)$$

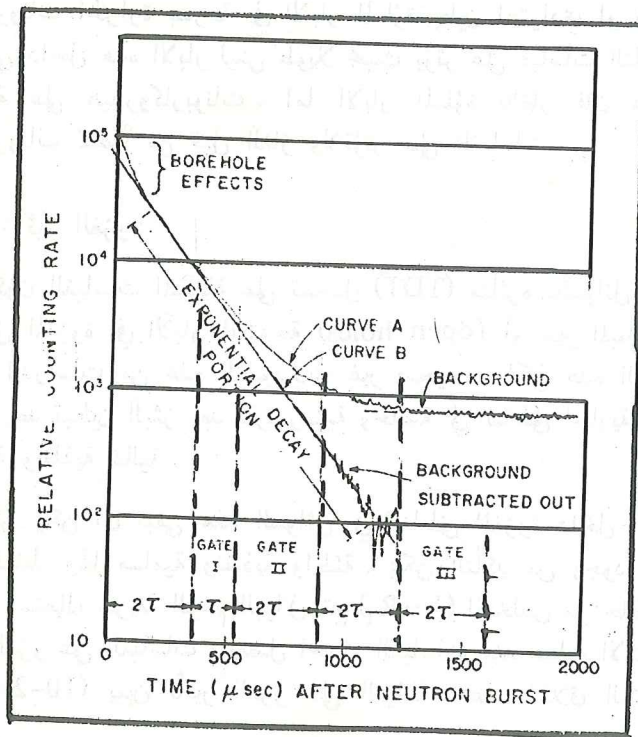
حيث :
 T_{log} = يمثل زمن تلاشي النيوترونات المقاس من تسجيل (TDT)
 Σ_{log} - يمثل مقطع امتصاص التكوين للنيوترونات عند استعمال وحدات امتصاص أو تأشير ، تصبح المعادلة (10-6) -

$$\Sigma_{(c.u.)} = \frac{4550}{T_{log(sec.)}} \quad \dots (10-7)$$

إن تسجيل (TDT) يستطيع التمييز بين الطبقات الحاملة للهيدروكربونات والطبقات المائية التي لها تركيز عالي من املاح (NaCl) اما الطبقات المائية التي تركيز املاحها قليل فإن التسجيل لا يستطيع التمييز بين هذه الطبقات . يستطيع

تسجيل (dual-spaced TDT)⁽⁷⁾ من اكتشاف طبقات هيدروكربونية التي لها ملوحة واطئة أو مسامية واطئة .

يقاس زمن تلاشي النيوترونات الحرارية من ميل خط التلاشي داخل التكوين .
يمثل شكل (10-1) مخطط بياني لزمن تلاشي النيوترونات الحرارية والفترات الزمنية المحددة للقياس . يلاحظ من الشكل وجود ثلاثة بوابات لقياس زمن التلاشي - بوابة رقم (١) ، رقم (٢) ، رقم (٣) بوابة رقم (١) ورقم (٢) مخصصة للقياس اما البوابة رقم (٣) مخصصة لقياس الخلفية الاشعاعية (background-radiation) الناتجة من الاشعة الكونية لقد وجدت من تجارب حقلية بانه بعد مرور فترة زمنية تعادل (2T) من اطلاق النيوترونات من المصدر يمكن قياس زمن تلاشي النيوترونات الحرارية داخل التكوين . يمثل الرمز (T) (178) ميكروثا . الفترة الزمنية (2T) كافية للتخلص من تأثيرات البئر والبطانة على القياسات .



شكل (10-1) مخطط بياني لزمن تلاشي النيوترونات الحرارية داخل التكوين

العوامل المؤثرة على قياسات زمن التلاشي (6)

(١) تأثير الانتشار (diffusion effect)-

تساعد عملية انتشار النيوترونات داخل التكوين على تقليل عدد النيوترونات المقاسة مما يجعل زمن التلاشي المقاس اقل من الحقيقي . تستعمل لتصحيح هذا التأثير المعادلة التقريبية (5-10) أو تستعمل مخططات بيانية خاصة تستعمل لتصحيح هذا التأثير .

(٢) تأثير البئر:

إذا كان البئر مبطناً ومملوئاً بالماء المالح فإن النيوترونات الحرارية تتلاشى بسرعة في هذه المنطقة قبل البدء بقياس زمن التلاشي للتكوين . لا تتلاشى النيوترونات الحرارية بسرعة في الآبار المملوءة بطين اغتيادي او زيتي ولكن زمن التلاشي داخل هذه الآبار ليس طويلاً بحيث يؤثر على قياسات التلاشي للتكوينات الحاوية على هيدروكربونات . اما الآبار المملوءة بالغاز فان عدداً قليلاً من النيوترونات تمتص من قبل الغاز ولا تؤثر على القياسات .

(٣) تأثير الغزو:

تكون القياسات المسجلة على تسجيل (TDT) متأثرة بالسوائل الموجودة داخل المناطق المغزوة في الآبار المفتوحة (open holes) أو غير المبطنة بحيث تكون نتائج الدراسات من هذه التسجيلات غير صحيحة . لكن هذه السوائل يمكن ان تختفي بعد تبطين البئر بعد فترة زمنية وخاصة في المناطق الحاوية على الماء وذات مسامية ونفاذية عالية .

لكن يمكن ان تبقى هذه السوائل في المناطق المغزوة داخل الطبقات الحاوية على النفط ولها مسامية ونفاذية واطئة . يمكن التأكد من وجود المناطق المغزوة وذلك باستعمال طريقة الرسم البياني لقيم $(\Sigma - R_p)$ للتخلص من حالة الشكوك حول تأثير الغزو على القياسات ، يفضل اجراء القياسات عند عملية الانتاج من الآبار . شكل (2-10) يبين تأثير الغزو على القياسات عند اغلاق البئر وعند انتاج البئر .

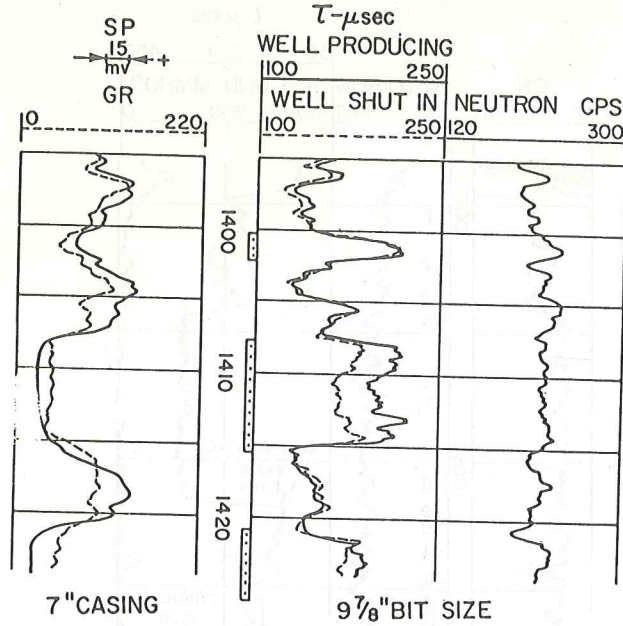


Fig. 3—Water contamination of two lower sets of perforated zones during shut-in.

شكل (10-2) مثال حقلي لتأثير الفزو على تسجيل (TDT) عند اغلاق وانتاج البئر

التفسير النوعي لتسجيل (TDT)

(Qualitative interpretation of TDT log)

يشبه تسجيل (TDT) بدرجة كبيرة تسجيل المقاومة حيث يتأثر كلاهما بدرجة تشبع المكنن بالماء (S_w)، مسامية الطبقات المكننية (ϕ) وملوحة ماء التكوين. شكل (10-3) يمثل تسجيل (TDT) ودرجة التوصيل (Conductivity) امام طبقة مكننية حاوية على هيدروكربونات. نلاحظ تشابهاً كبيراً بين التسجيلين في المناطق الهيدروكربونية والمناطق المائية

التحليل الكمي لتسجيل (TDT)⁽⁵⁾

(Quantitative analysis of TDT log)

التحليل الكمي لتسجيل (TDT) مبني على اساس ان مقاطع الامتصاص للمواد أو المكونات المختلفة التي تتألف منها الطبقات أو التكوينات مضافة أو

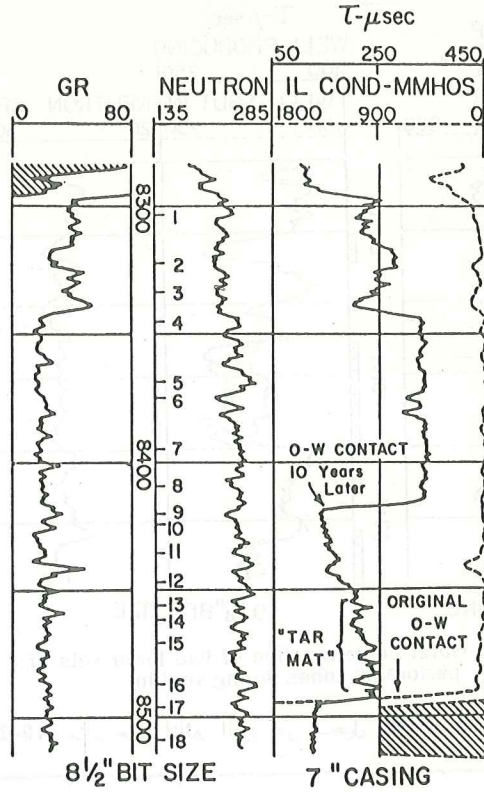


Fig. 1—Example of logs from a Middle East reservoir.

شكل (10-3) مثال حقلي لتسجيل (TDT) مع تسجيل درجة التوصيل (لشركة شلمبرجر)

مجمعة (additive) أي أن مقطع امتصاص المادة أو التكوين هو مجموع مقاطع امتصاص العناصر المكونة للمادة. يعتبر أي تكوين مزيج من مكونات مختلفة موجودة بنسب مختلفة داخل التكوين (الحشو، طفيل النفط، غاز، ماء، الخ). كل جزء من هذه المكونات له مقطع امتصاص خاص ويشغل نسبة معينة من الحجم (V_i) داخل التكوين.

(1) التكوينات أو الطبقات المكمية الطفلية (shaly formations)
الحاوية على الماء والهيدروكربون:

تتمثل استجابة (TDT) في هذه التكوينات بالمعادلة التالية:

$$\Sigma_{log} = \frac{(1 - V_{sh} - \phi)}{\phi(1 - S_w)} \Sigma_{ma} + \frac{(V_{sh})}{\phi(1 - S_w)} (\Sigma_{sh} + \frac{(\phi)(S_w)}{\phi(1 - S_w)} (\Sigma_w) + \dots (10-8)$$

حيث :

$$\Sigma_h, \Sigma_w, \Sigma_{sh}, \Sigma_{ma}$$

تمثل مقاطع امتصاص الحشو ، الطفل ، الماء ، الهيدروكربون و Σ_{log} يمثل مقطع امتصاص التكوين المقاس .

ϕ - تمثل مسامية التكوين المملوء بالسائل .

V_{sh} - حجم الطفل لكل وحدة حجم من التكوين (نسبة مئوية)

S_w - درجة التشبع بالماء أو النسبة الحجمية للماء داخل المسامات .

تمثل اجزاء المعادلة الموشرة بخطوط النسب الحجمية للمكونات المختلفة ، بالنسبة الحجمية للحشو تمثل مختلف النسبة الحجمية المكونة للحشو من معادن ، وسمنت ومواد اخرى .

نستعمل المعادلة التالية لايجاد درجة التشبع بالماء (S_w) في المنطقة المعينة من الطبقة الكمينة :

$$S_w = \frac{(\Sigma_{log} - \Sigma_{ma}) - \phi(\Sigma_h - \Sigma_{ma}) - V_{sh}(\Sigma_{sh} - \Sigma_{ma})}{\phi(\Sigma_w - \Sigma_h)} \dots (10-9)$$

(٢) التكوينات أو الطبقات الكمينة النقية الحاوية على الماء والهيدروكربون :

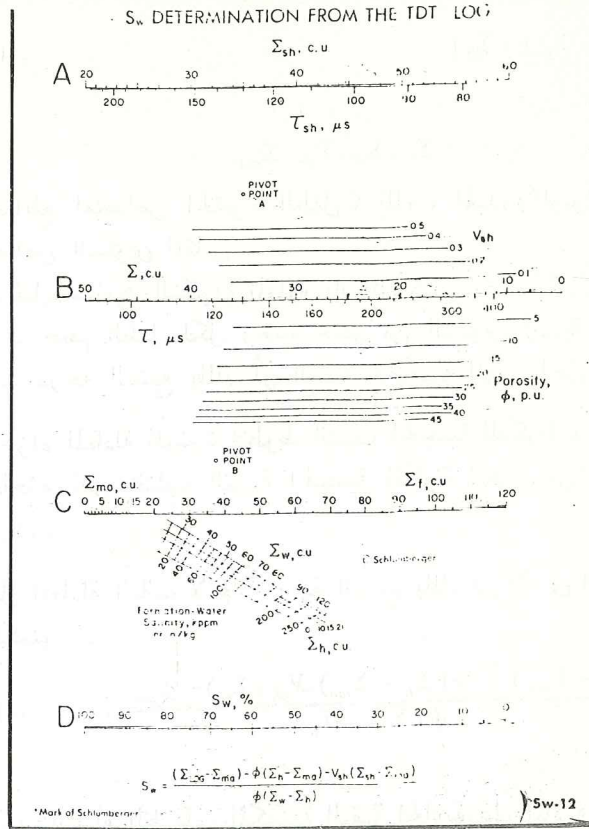
تتمثل في هذه الحالة استجابة (TDT) بالمعادلة التالية :

$$\Sigma_{log} = (1 - \phi) \Sigma_{ma} + \phi(S_w)(\Sigma_w) + \phi(1 - S_w) \Sigma_h \dots (10-10)$$

لايجاد درجة التشبع بالماء (S_w) في المنطقة المعينة من الطبقة الكمينة ، نستعمل المعادلة التالية :

$$S_w = \frac{(\Sigma_{log} - \Sigma_{ma}) - \phi(\Sigma_h - \Sigma_{ma})}{\phi(\Sigma_w - \Sigma_h)} \dots (10-11)$$

يمكن حساب (S_w) عن طريق معادلة (10-9) أو (10-11) أو استعمال المخطط البياني شكل (10-4) وايضاً ممكن حساب درجة التشبع للمناطق المختلفة من الطبقات الكمينة باستعمال طريق التسقيط على اوراق بيانية (crossplot method) التي سوف يأتي ذكرها في الصفحات القادمة .



شكل (10-4) مخطط بياني لحساب (S_w) من تسجيل (TDT) (شركة شلمبرجر)

لحساب (S_w) عن طريق المعادلة أو المخطط البياني يجب توفر قيم يمكن حساب

$$\Sigma_h, \Sigma_w, \Sigma_{sh}, \Sigma_{ma}, V_{sh}, (\phi)$$

(V_{sh}), (φ) من دراسة تسجيلات الآبار المفتوحة (open-hole logs). أما
المجاهيل الأخرى فتتوصل إليها بالطرق المختلفة
Σ_{ma} - (مقطع امتصاص الحشو)

بحسب مقطع امتصاص المعادن المختلفة من التركيب الكيميائي وكثافة هذه
المعادن باستعمال جدول (10-1) عند حساب مقاطع الامتصاص يفترض ان معدن

(SiO_2) النقي يمثل الطبقة الرملية ومعدن (CaCO_3) يمثل الحجر الكلسي ومعدن ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) يمثل الدولومايت .

تجعل هذه الفرضية مقاطع الامتصاص المحسوبة ان تكون اقل من مقاطع امتصاص الطبقات المختلفة المقاسة في الحقول . الفرق بين المقاطع المحسوبة والحقيقية ناتج عن وجود نسب قليلة من معادن نادرة أو غير نقية مثل معدن الفلسبار ، الكلوكونايت والبايرايت وغيرها والتي لها مقاطع امتصاص اعلى من المعادن الاساسية .

يمكن استعمال مقاطع الامتصاص التالية في الحسابات الحقلية للصخور الكمنية الشائعة .

جدول (2-10) مقاطع الامتصاص الظاهرية المستعملة

نوع التكوين	مقطع الامتصاص (وحدات امتصاص)
رملي نوع (orthoquartzite)	8.0
رملي نوع (suba kosic)	10.0
كلسي	12.0
دولومايت	8.0

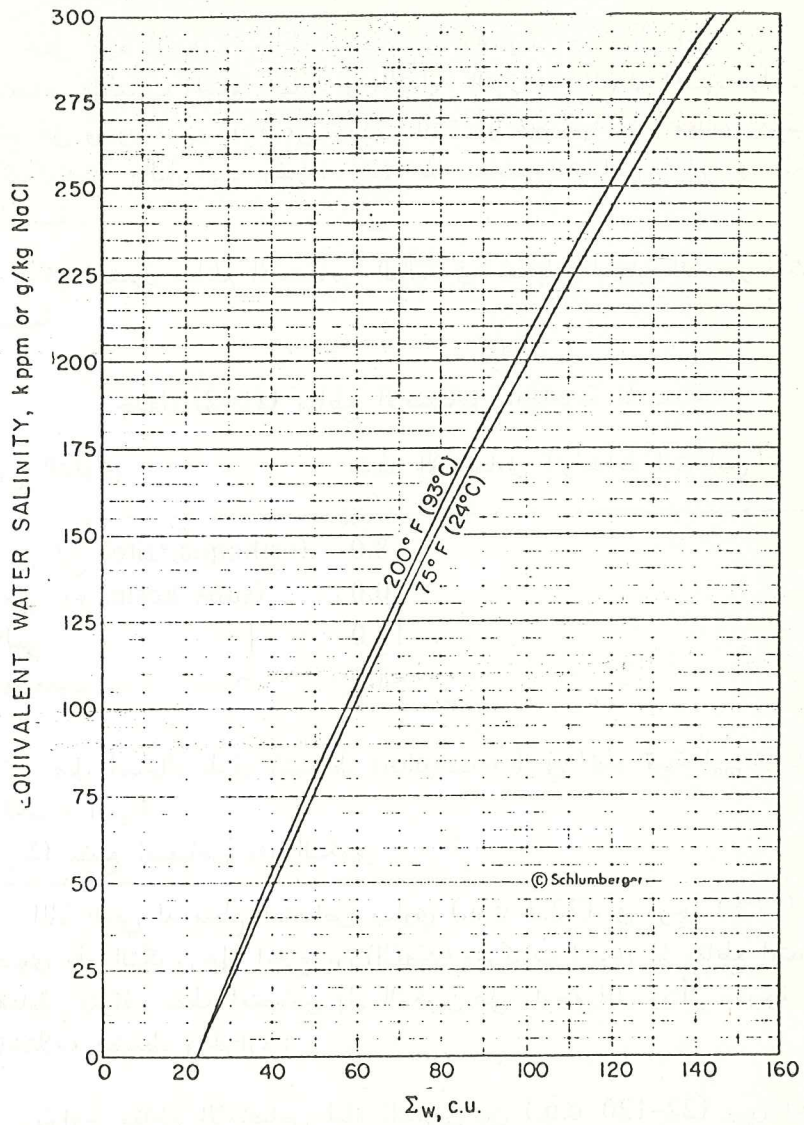
يفضل استعمال طرق التسقيط (cross-plot) في ايجاد قيمة (Σ_{ma}) للطبقة الكمنية المعينة .

(Σ_w) مقطع امتصاص ماء التكوين

الماء النقي له مقطع امتصاص يساوي (22.2 c.u.) في درجة (77°F) لكن يحتوي ماء التكوين على املاح من (NaCl) ومركبات اخرى لها مقاطع امتصاص مختلفة . يتوقف مقطع امتصاص ماء التكوين على ملوحة الماء ويتأثر بدرجة قليلة باختلاف الضغط والحرارة .

تتراوح مقاطع الامتصاص لمياه التكوين بين (22-120 c.u.) يبين المخطط البياني شكل (5-10) علاقة ملوحة ماء التكوين مع مقطع الامتصاص (Σ_w) الملوحة ممثلة بما يعادل من ملح (NaCl) . مياه الحقول تحتوي على عناصر نادرة لها مقطع امتصاص عالي مثل عنصر البورون والليثيوم . عند وجود هذه العناصر في ماء التكوين تحسب ملوحة ماء التكوين المكافئة (equivalent) بالطريقة التالية :

TDT LOG
EQUIVALENT WATER SALINITY



Tcor-2

*Mark of Schlumberger

شكل (10-5) مخطط بياني لحساب مقطع امتصاص ماء التكوين (لشركة شلمبرجر)

$$[Cl_{ppm} + (80)B_{ppm} + (11)L_{ipm}] \times 1.65 = (NaCl)_{equiv ppm} \dots (10-12)$$

يمكن حساب (Σ_w) أيضا من (R_w) المحسوبة من تسجيلات الآبار المفتوحة ، اذا لم تكن ملوحة مباح الحقول عالية جدا لانه يسبب وجود خطأ صغير في (R_w) فرق كبير في الملوحة . في هذه الحالات ايضا ممكن حساب (Σ_w) عن طريق التسقيط . (cross-plot)
 (Σ_h) - مقطع امتصاص الهيدروكربون

يتوقف مقطع امتصاص الهيدروكربون بشكل اساسي على كمية ذرات الهيدروجين الموجودة حيث العنصر يعتبر من العناصر الرئيسية لامتناس النيوترونات ومقدار الهيدروجين يتوقف على التركيب الكيميائي للنفط ومعامل التكوين الحجمي ، يمكن حساب (h) باستعمال المعادلة التالية :

$$\Sigma_h = \frac{\rho_0}{B_0} (53.5 - 32\rho_0) + \frac{R_s}{1000} \left(\frac{\gamma_g}{B_0} \right) + (13.5 - 3.4 \gamma_g)$$

... (10-13)

حيث :

ρ_0 - للوزن النوعي للنفط في ظروف قياسية $(60^\circ F, 1 \text{ atm.})$

B_0 - معامل التكوين الحجمي للنفط

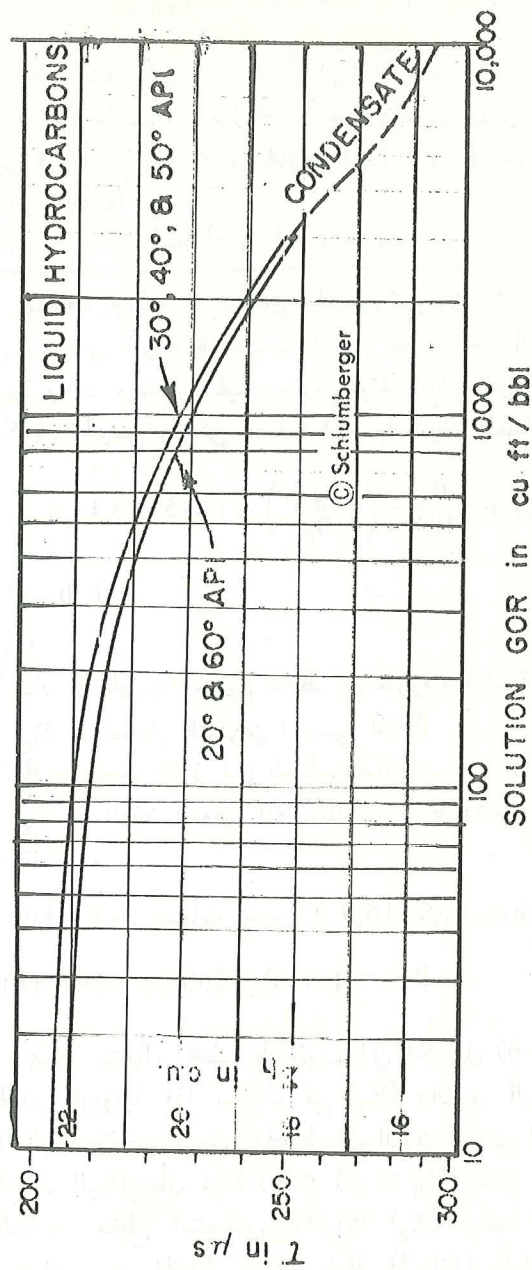
R_s - نسبة الغاز الى النفط المذابة

γ_g - الوزن النوعي للغاز المذاب في ظروف قياسية (الوزن النوعي للهواء = 1.0)

اذا لم تتوفر بيانات مختبرية لـ (B_0) ممكن استعمال العلاقة التقريبية التالية :

$$B_0 = 1 + R_s/2000 \dots (10-14)$$

يمكن استعمال المخطط البياني شكل (10-6) لحساب (Σ_h) للسوائل الهيدروكربونية اذا توفرت قيم (R_g) والوزن النوعي للهيدروكربون بوحدة (API) . يفترض في هذا المخطط ان الوزن النوعي للغاز يساوي (0.7) يلاحظ من المخطط البياني بأن قيمة $(\Sigma_h = 21 \text{ c.u.})$ تعتبر القيمة المثلى لاغلب الظروف الحقلية . مقطع امتصاص الغازات (Σ_g) يعتمد على تركيب الغاز والضغط والحرارة يبين المخطط البياني شكل (10-7) مقطع امتصاص غاز الميثان تحت ظروف مختلفة من الضغط والحرارة . يمكن استعمال هذا المخطط لايجاد مقطع امتصاص الغاز الطبيعي اذا وجد داخل المكن حيث غاز الميثان يعتبر المركب



Tcor-1

*Mark of Schlumberger

شكل (10-6) مخطط بياني لحساب امتصاص الهيدروكربون (ΣH) (نسبة شلمبرجر)

الرئيسي من المركبات الهيدروكربونية . يمكن استعمال المعادلة التالية لحساب مقطع امتصاص الغاز

$$\Sigma_g = \Sigma_{CH_4} \times (0.23 + 1.4 \gamma_g) \quad \dots (10-15)$$

تُحسب (Σ_{CH_4}) في المعادلة من المخطط البياني شكل (10-7) Σ_{sh} - مقطع امتصاص الطفل

يتراوح مقطع امتصاص الطفل من (35-55 c.u.) يقاس (Σ_{sh}) من (TDT) المسجل امام طبقات تحتوي على الطفل مجاورة للطبقة الكمونية من التحليل الكيميائي، وجد بأن عنصر البورون يعتبر المسبب الرئيسي لمقطع الامتصاص العالي للطفل ويمثل نسبة $(\frac{2}{3})$ من قيمة مقطع امتصاص الطفل ونسبة $(\frac{1}{3})$ مسبة من عنصري الهيدروجين والحديد .

القيمة العالية لمقاطع امتصاص طبقات الطفل ووجود الملوحة العالية لماء التكوين داخل الطبقات النفاذة تجعل تسجيل (TDT) شبه بتسجيلات المقاومة . تجعل هذه الصفات من الممكن دراسة تسجيل (TDT) مع المقاومة نوعيا لتحديد مستوى تماس النفط مع الماء في اي فترة من فترات الانتاج كما مبين في شكل (10-3) . ويمكن ايضا اكتشاف طبقات هيدروكربونية بالتحليل النوعي للتسجيل .

طرق التسقيط البياني (cross-plot techniques)⁽⁵⁾

باستعمال بيانات $(\Sigma), (\phi)$

نستعمل هذه الطرق لايجاد (Σ_{ma}) او مقطع امتصاص الحشو او التكوين وايجاد (Σ_w) او مقطع امتصاص الماء . وكذلك تستعمل هذه الرسوم البيانية لحساب درجات التشبع بالماء (S_w) في المناطق المختلفة من الطبقات الكمونية بشكل سريع وايضا تفيد هذه الرسوم البيانية في اكتشاف مناطق غازية داخل المكامن واكتشاف المناطق المستنزفة من الطبقات المنتجة .

(1) طبقات مكمونية نقية : (Clean reservoirs)

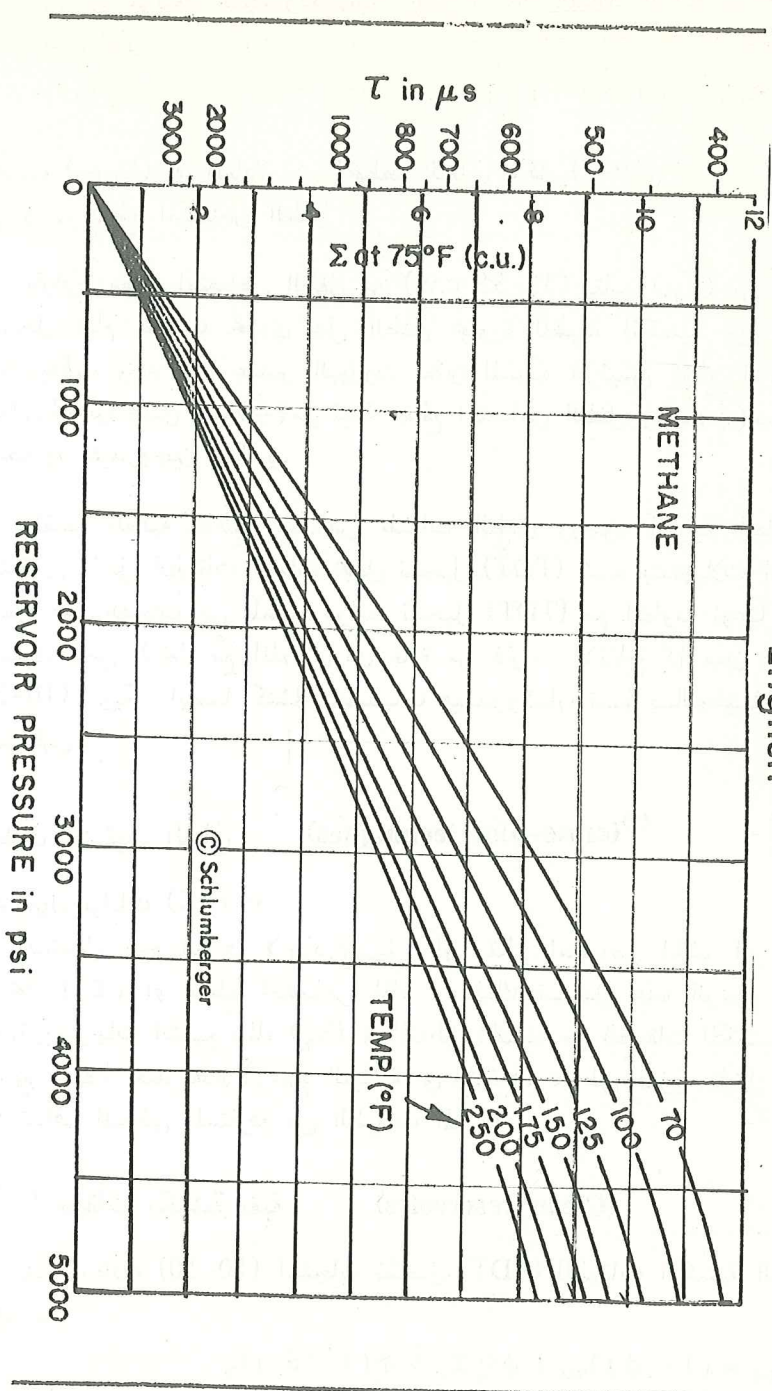
تمثل معادلة (10-10) استجابة تسجيل (TDT) للطبقات الكمونية النقية -

اي -

$$\Sigma_{log} = (1 - \phi) \Sigma_{ma} + \phi S_w \Sigma_w + \phi (1 - S_w) \Sigma_h$$

TDI* LOG-HYDROCARBON CORRECTIONS^{10,11}

English



شكل (10-7) خط ياتي لحاب قطع امتصاص غاز الميثان (الشركة شلبرجر)

نلاحظ من المخطط البياني، قيمة (Σ_{log}) عند المسامية (50%) تساوي

$$\Sigma_{50} = (0.5) \Sigma_{ma} + 0.5 \Sigma_w$$

اذن

$$\Sigma_w = 2 \times \Sigma_{50} - \Sigma_{ma} \quad \dots (10-17)$$

يمكن ان نحسب اذن قيمة (Σ_w) او مقطع امتصاص الماء للنيوترونات ، اذا كانت قيمة (Σ_{ma}) و (Σ_w) معلومتين من مصادر اخرى ، فانه يمكن تحديد الخط المائي او الخط الذي درجة تشبعه (100%) في المخطط بشكل دقيق . لتحديد خطوط التشبع المختلفة نستعمل معادلة (10-10) بعد تعويض قيمة (Σ_{ma}) ، (Σ_w) المحسبتين وتعويض قيمة (Σ_h) اذا كانت الصفات الفيزيائية للهيدروكربون معلومة أي كثافة الهيدروكربون بدرجات (API) ونسبة الغاز المذاب الى النفط (GOR) اما اذا كانت هذه المعلومات غير متوفرة فإنه من الممكن افتراض مقطع امتصاص الهيدروكربون المعدل يساوي ($\Sigma_h = 21 \text{ c.u.}$)

في المخطط البياني (10-8) حدد خط التشبع يساوي صفر باستعمال القيم التالية :

$$\Sigma_{ma} = 9.0 \text{ c.u.} , \Sigma_w = 70 \text{ c.u.}$$

$$\Sigma_h = 21 \text{ c.u.}$$

بتعويض هذه القيم في معادلة (10-10) وتعويض قيمة ($S_w = 0.0$) وقيمة المسامية (ϕ) تساوي (50%) فإن قيمة Σ_{log} تساوي

$$\begin{aligned} \Sigma_{log} &= (0.5) \times (9.0) + (0.5) \times 21 \\ &= 4.5 + 10.5 \\ &= 15 \text{ c.u.} \end{aligned}$$

اذن نحدد خط التشبع صفر برسم خط مستقيم يربط بين نقطة على محور (T) عند المسامية (50%) ، (Σ_{log}) يساوي (15 c.u) وبين قيمة (Σ_{ma})

لتحديد خطوط التشبع المختلفة ، نقسم المسافة على محور (T) بين خط درجة التشبع صفر وخط درجة التشبع (100%) الى 4 أقسام متساوية ونرسم خطوط التشبع (75, 50, 25 S_w) . كل نقطة ممثلة لمعق معين على الورقة البيانية الخاصة يمكن ايجاد درجة تشبعها بالماء من المخطط بهذه الطريقة . اذا كانت الطبقة المكمنية حاوية على غاز فإن خط التشبع ($S_w = 0\%$) يقع في اسفل خط التشبع يساوي صفر الممثل لطبقة مكمنية حاوية على النفط حيث أن قيمة (Σ_h) المستعملة

في المعادلة للغاز ستكون اوطأ من قيمة (Σ_H) المثلة للسائل الهيدروكربوني. وتؤدي هذه القيمة الى انخفاض قيمة (Σ_{log}). تسقط المناطق الحاوية للغاز في المكن تحت المناطق الحاوية على النفط في المخطط البياني. وتفيد هذه الطريقة في اكتشاف مناطق غازية من المكامن.

(2) طبقات مكمنية طفلية او غير نقية (shaly reservoirs)

يمكن دراسة هذا النوع من الطبقات المكمنية باستعمال نفس الطريقة السابقة ولكن بعد تصحيح بيانات المسامية (ϕ) ومقطع الامتصاص (Σ) لتأثير الطفل. تستعمل المعادلات التالية للتصحيح

$$\phi_e = \phi - (V_{sh}) \phi_{N(sh)} \quad \dots (10-18)$$

$$\Sigma_c = \Sigma_{log} - V_{sh} (\Sigma_{sh} - \Sigma_{ma}) \quad \dots (10-19)$$

يبين شكل (10-9) تأثير الطفلية على ازاحة النقاط في المخطط البياني أو التأثير على درجات التشبع للمناطق المختلفة المدروسة. نلاحظ من شكل (10-9) تمثل النقاط المثلة بالمثلثات قيم غير مصححة وتمثل النقاط المثلة بالدوائر النقاط بعد اجراء التصحيح بواسطة معادلات التصحيح (10-18) و (10-19). تحسب (Σ_{sh}) من قراءة (TDT) امام طبقات طفلية مجاورة للطبقة المكمنية وتحسب $\phi_{N(sh)}$ من قراءة المسامية للنيوترون امام هذه الطبقات، اما (V_{sh}) اي النسبة المئوية للطفل داخل المناطق المختلفة من الممكن أن تحسب من طرق مختلفة نذكرها في الفصول اللاحقة. طريقة اشعة كاما هي احدى الطرق وتتمثل بالمعادلة:

$$V_{(sh)} \leq \frac{GR_{log} - GR_{clean}}{GR_{(sh)} - GR_{clean}} \quad \dots (10-20)$$

$GR_{(sh)}$ ، $GR_{(clean)}$ تمثل قياسات اشعة كاما امام المناطق المختلفة ، الطبقات الطفلية وامام الطبقات النقية. وجود مواد مشعة عدا المعادن الطينية ، بسبب زيادة في النسب المحسوبة لـ V_{sh} . بهذه الطريقة تصحح المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون والسرعة لتأثير الطفل أما المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة يمكن أن تمثل المسامية الصحيحة اذا كانت كثافة الحشو للطبقة المكمنية مساوية الى كثافة الطفل.

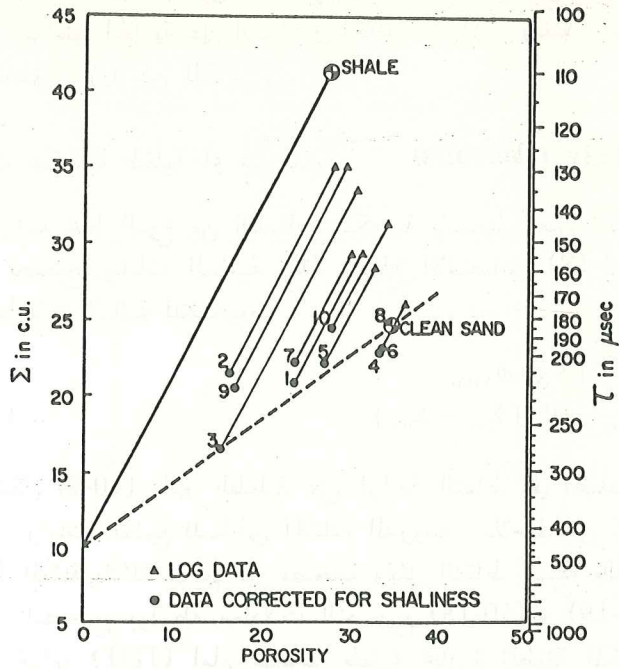


Fig. 10—Shale correction applied in a Σ - ϕ_D crossplot.

شكل (10-9) مخطط بياني لقيم (Σ) و (ϕ_D) مع تأثير الطفلية على النقاط (لشركة شلمبرجر)

تأثير اختلاف الصفات الصخرية (lithology) على المخطط البياني لحساب درجات التشبع (5):

لو فرضنا أن الطبقة المكمية هي كلسية ، وحدوث خطوط التشبع المختلفة يسبب أي تغيير في اللثولوجي من كلسية الى رملية اودولومائيتية في الطبقات المكمية اخطاء في درجات التشبع المحسوبة بهذه الطريقة يمثل شكل (10-10) مخطط ثنائي لقيم (Σ) و (ϕ_N) المخطط مرسوم بافتراض القيم التالية :

$$\Sigma_w = 78 \text{ c.u.}, \Sigma_h = 21 \text{ c.u.}, \Sigma_{ma(ss)} = 8.0 \text{ c.u.}$$

$$\Sigma_{ma(ls)} = 12 \text{ c.u.}, \Sigma_{ma(dol)} = 8.0 \text{ c.u.}$$

نلاحظ في شكل (10-10) إن قيم درجات التشبع ستكون اوطأ من القيم الحقيقية لو حصل تغيير في الطبقات المكمية من الكلسية الى رملية او الى طبقات

اخرى غير كلسية . مثال طبقة من الدولومايت حاوية على الماء لها مسامية تساوي (10%) ، تظهر هذه المنطقة على المخطط البياني المرسوم بافتراض الطبقة الكمنية كلسية ، لها درجة تشبع ($S_w = 22\%$)

اذن يجب توفر معلومات عند الصفات الصخرية للمكان عند تحليل المكان المختلفة باستعمال طرق التسقيط (cross plot) للكشف عن هيدروكربونات

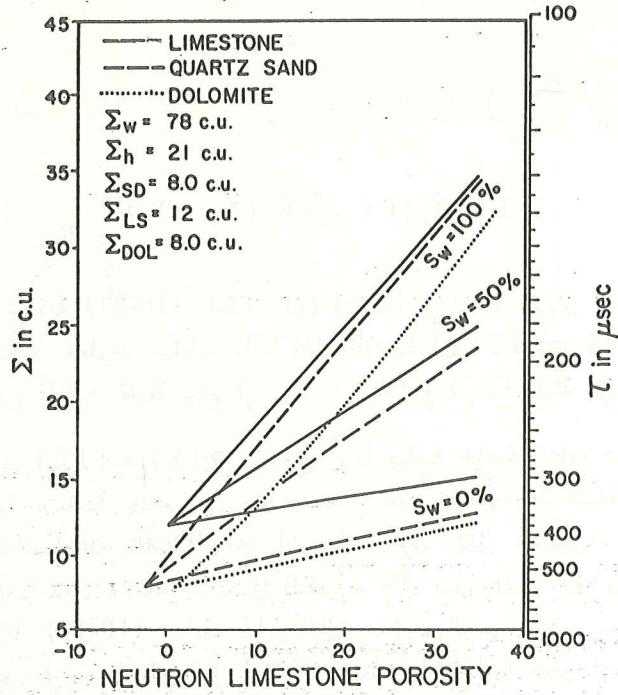


Fig. 6—Effect of lithology on the Σ - ϕ_N crossplot.

JUNE, 1971

شكل (10-10) مخطط بياني لقيم (Σ) و (ϕ_N) مع تأثير اختلاف الطقات الصخرية (lithology) (لشركة شلمبرجر)

طريقة المخطط البياني باستعمال بيانات المقاومة مع مقاطع الامتصاص $(R_t - \Sigma \text{ c.p.})^{(8)}$

تفيد هذه الطريقة في تحديد المناطق الهايدروكربونية والمائية من المكان اذا لم تتوفر تسجيلات المسامية او عند عدم وجود اختلافات في مسامية المناطق المختلفة

من الممكن ، للتوصل الى نتائج جيدة بهذه الطريقة ، يجب تسجيل (TDT) بعد عملية انجاز البئر لاجاد علاقة بين مقاطع الامتصاص (Σ) والمقاومة (R_p) ، نعوض حجم الماء (ϕS_w) لكل وحدة حجم من المسامية من معادلة (Archic) في معادلة (TDT) رقم (10-10) حيث :

$$\Sigma_{log} = (1 - \phi) \Sigma_{ma} + \left(\sqrt{\frac{a R_w}{R_t}} \Sigma_w + \phi (1 - S_w) \Sigma_h + \phi \Sigma_h \right. \\ \left. - \left(\sqrt{\frac{a R_w}{R_t}} \right) (\Sigma_w) \Sigma_h \right) \dots (10-21)$$

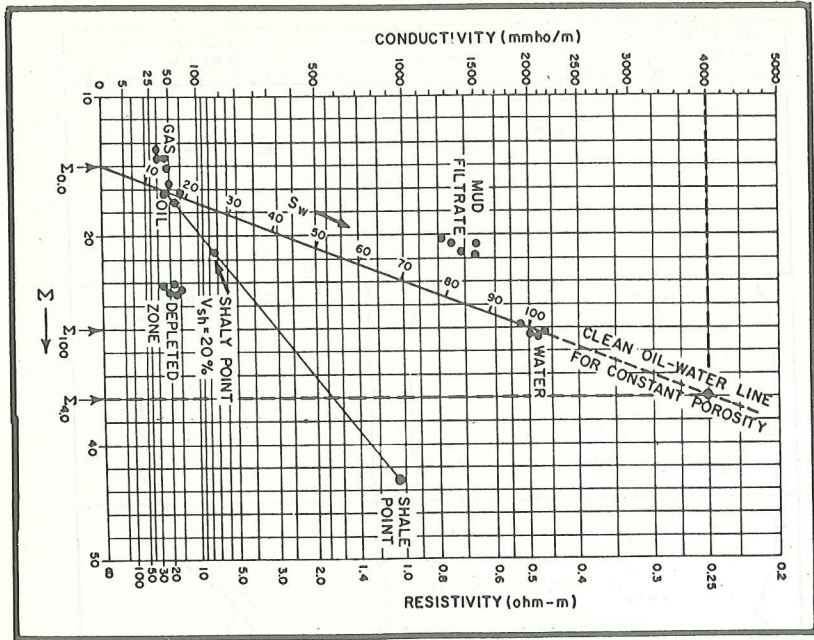
$$\Sigma_{log} = \Sigma_{ma} + \phi (\Sigma_h - \Sigma_{ma}) + \sqrt{a R_w} (\Sigma_w - \Sigma_h) \frac{1}{\sqrt{R_t}}$$

تمثل معادلة (10-21) العلاقة بين (Σ_{log}) و (R_p) ويعتبر الجزء الايمن من المعادلة المؤشر بخطوط متقطعة ثابتا اذا افترضنا أن اختلافات في مسامية المناطق المختلفة من المكمن قليلة وقيم (Σ_{ma}) و (Σ_h) و (Σ_w) ثابتة في المكمن .

اذن لو اسقطنا قيم (Σ) / $\sqrt{R_t}$ اعلى ورقة بيانية خاصة ، فإن جميع النقاط التي لها مسامية منتظمة ستقع على خط مستقيم يعرف باسم خط النفطى المائى النقي (clean oil-water line) أي ان هذا الخط يمثل مستويات مشبعة بالنفط ومستويات اخرى مشبعة بالماء في المكمن ، يمثل ميل هذا الخط ($\Sigma_w - \Sigma_h$) $\sqrt{a R_w}$ ويمثل شكل (10-11) مخطط بياني لمثال حقلي ، الرمز $\Sigma_{0.0}$ يعني قيمة مقطع الامتصاص في درجة التوصيل (conductivity) المساوية صفر او قيمة (Σ) عند تقاطع الخط النفطى المائى مع محور (Σ) حيث

$$\Sigma_{0.0} = \Sigma_{ma} + \phi_{avg} (\Sigma_h - \Sigma_{ma}) \dots (10-22)$$

اي انه من الممكن التأكد من قيمة تقاطع خط النفطى المائى من هذه المعادلة يمكن حساب (Σ_{ma}) من هذه المعادلة اي التعرف على نوع المكمن حيث يحسب ($\Sigma_{0.0}$) من المخطط البياني شكل (10-11) ويكون معلوما (ϕ_{avg}) معدل مسامية النقاط المختلفة و Σ_h تفرض (21 c.u.) يمكن حساب قيمة (Σ_w) من ميل خط النفطى المائى اذا كانت قيمة (R_w) معلومة من مصادر اخرى مثل تسجيل (SP) او اي مصدر آخر . نجد في شكل (10-11) تكون منطقة مستنزفة تقع هذه المنطقة في اسفل الخط النفطى المائى حيث تكون قيمة (S_w) هذه المنطقة اعلى من القيمة الاصلية عند بداية الانتاج . تمثل المناطق المائية المغزوة براشح الطين بنقاط



شكل (10-11) مخطط بياني لقيم (R_p) (لشركة شلمبرجر)

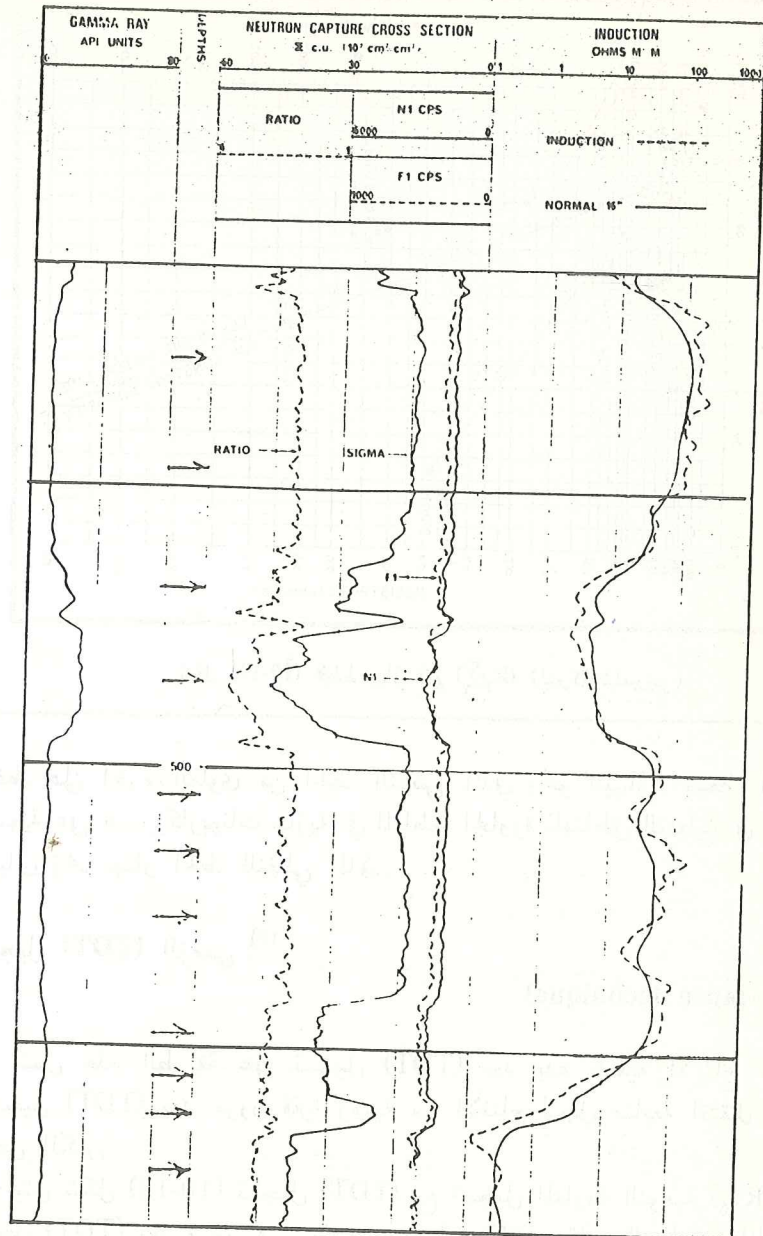
تسقط على الجزء العلوي من الخط النفطي المائي ونحو اليسار. تسقط المناطق المحتوية على هيدروكربونات غازية في المناطق المجاورة للمناطق النفطية في المخطط البياني ونحو يسار الخط النفطي المائي.

تسجيل (TDT) الزمني (9)

(Time-lapse technique)

تشمل هذه الطريقة على تسجيل (TDT) بعد بدء عملية الانتاج مباشرة وتسجيل (TDT) بعد مرور فترة زمنية من الانتاج لاجل متابعة انتقال الموائع داخل المكمن.

يمثل شكل (10-12) تسجيل (TDT) مع تسجيل المقاومة النوعية (R_{IL} R_{16}) مسجل (TDT) بعد مرور 9 سنوات من عملية الانتاج تماس النفط مع الماء كان يقع على عمق (563) عند بدء الانتاج وبعد مرور 9 سنوات من الانتاج نجد أن التماس قد ارتفع الى عمق (541) كما مؤشر على تسجيل (TDT) تاركا طبقة قيرية في المنطقة المجاورة ل تماس النفط مع الماء الاصلي.



شكل (10-12) مثال حقلي لتسجيل (TDT) الزمني (لشركة شلمبرجر)

يمثل شكل (10-13) تسجيل (TDT) الزمني مع المقاومة النوعية امام طبقة مكمنية كلسية . نلاحظ في المثال وجود شذوذ في تسجيل (TDT) الاول والثاني امام المناطق المؤشرة رقم (2,3) . ممكن ان تدل الزيادة في قيم (Σ) على دخول الماء في الطبقة المكمنية في هذا المستوى . يؤكد هذه النتيجة تسجيل (TDT) الثاني بعد مرور سنوات من التسجيل الاول .

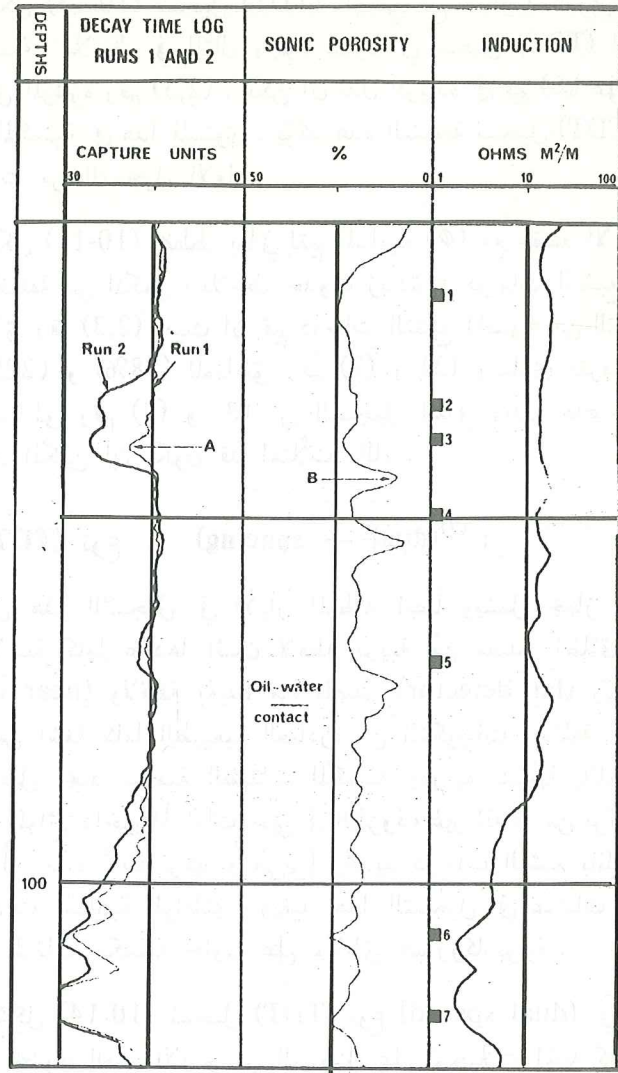
يمثل شكل (10-14) مخطط بياني لقيم المسامية (ϕ) مع مقطع الامتصاص (Σ) للمناطق المختلفة من المكنن ، نلاحظ حدوث زيادة في درجات التشبع بالماء بشكل كبير للمناطق رقم (2,3) حيث ان قيم درجات التشبع المحسوبة من التسجيل الاول تساوي (22%) و (38%) للمناطق رقم (2) و (3) وتساوي تقريباً (82%) و (72%) للمناطق رقم (2) و (3) من التسجيل الثاني وتدل هذه على ان هذه المناطق من المكنن ان تكون قد امتلأت بالماء .

تسجيل (TDT) نوع (dual — spacing)⁽⁷⁾ :

يستعمل هذا التسجيل في الآبار المبطنة ايضاً ويشمل جهاز التسجيل على لاقطات لاشعة كاما عددها اثنان لاقطة قريبة من مصدر اطلاق النيوترونات (near detector) ولاقطة بعيدة من المصدر (far detector) ويوجد بالاضافة جهاز لقياس اشعة كاما الطبيعية الصادرة من التكوينات المختلفة . يمكن بواسطة هذا التسجيل ايجاد مسامية الطبقات المكمنية ودرجة تشبعها بالماء (Sw) . اي تحديد نوع الموائع داخل المسامات حتى في الظروف غير الملائمة من تركيز املاح مياه التكوين (أي مياه ذات تركيز واطيء) وتحديد درجات التشبع بالماء في الطبقات المكمنية ذات المسامية الواطئة . وفي هذا التسجيل في عمليات ترابط الآبار واكتشاف طبقات مكمنية حاوية على مناطق هيدروكاربونية .

يمثل شكل (10-14) تسجيل (TDT) نوع (dual spaced) في احدى الآبار البترولية . يحتوي القسم الايسر من التسجيل على تسجيلات اشعة كاما (γ ray) وتسجيل الخلفية الاشعاعية الموجودة في الجو وتسجيل النوعية (quality) ويخص هذا التسجيل مهندس التسجيل للتأكد من سلامة القياسات . يحتوي القسم الايمن من التسجيل على تسجيل مقطع الامتصاص (Σ) وتسجيل النسبة (ratio) وهذه النسبة تساوي -

$$\text{ratio} = \frac{(N_1)}{(F_1)} \quad \dots (10 - 22)$$



شكل (10-13) مثال حقلي لتسجيل (TDT) الزمني (لشركة شلمبرجر)

حيث -

(N₁) تمثل سرعة العد بالنسبة لجهاز الالتقاط القريب من المصدر .

(F₁) تمثل سرعة العد بالنسبة لجهاز الالتقاط البعيد من المصدر .

ويوجد بالاضافة الى التسجيلات السابقة ، تسجيل العد بوحدات (cps) اي

(عد / ثا) لجهاز الالتقاط القريب والبعيد .

نلاحظ في شكل (10-14) تسجيل النسبة العالية يتفق مع تسجيلات اشعة كاما العالية ، أي مع الطبقات الطفلية . اذا كانت الصفات الصخرية للطبقة المكمية ثابتة فان انحراف تسجيل النسبة نحو اليمين قد يدل على وجود غازات هيدروكربونية أو وجود مسامية واطئة داخل الطبقة المكمية . يمثل شكل (10-15) تسجيل حقلي لاحدى الآبار ، وتحليل الطبقة المكمية . نشاهد اكتشاف مناطق هيدروكربونية غازية عن طريق التسجيل .

يفيد تسجيل (dual spacing TDT) ايضاً في الحقول القديمة التي ليس فيها عدد كافى من تسجيلات الآبار .

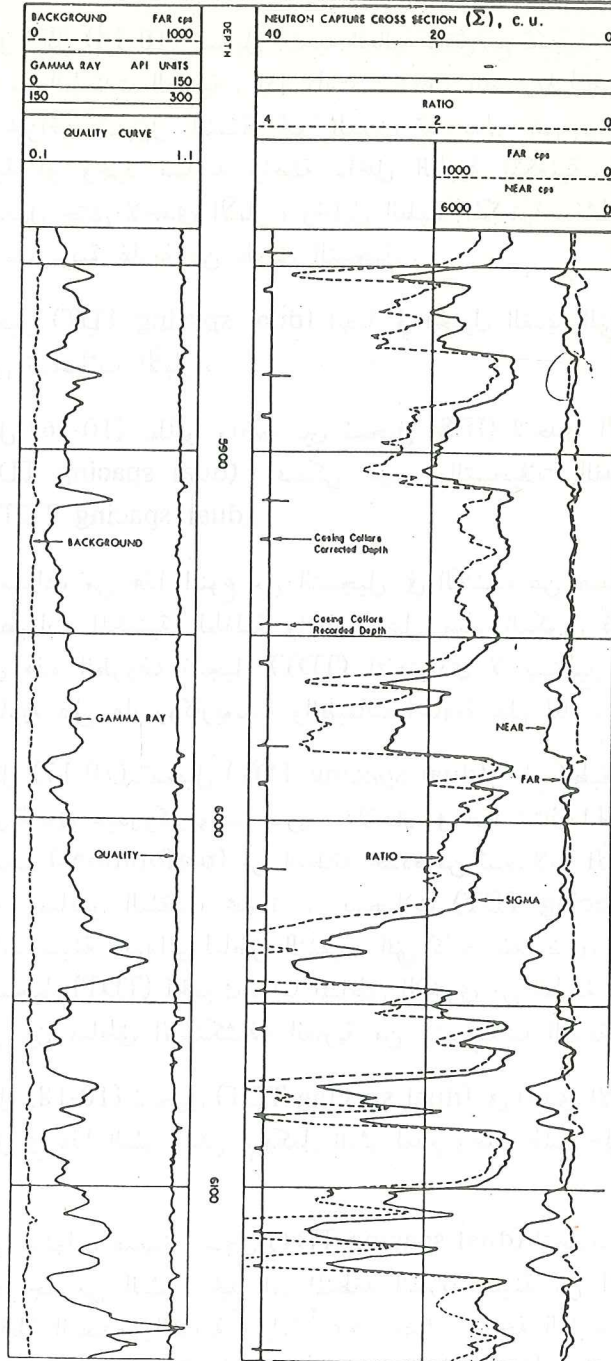
يمثل شكل (10-16) تطابق واضح بين تسجيل (IES) لاحدى الآبار القديمة وتسجيل (dual spacing TDT) . فيمكن تعويض التسجيلات القديمة المفقودة بتسجيلات (dual spacing TDT) .

يمكن الاستفادة من هذا النوع من التسجيل في الكشف عن هيدروكربونات غازية في الطبقات المكمية الطفلية والحاوية على مياه التكوين ذات الملوحة الواطئة . في هذه الظروف تسجيل (TDT) الاعتيادي لا يستطيع التمييز بين الطبقات الحاوية على هيدروكربونات والطبقات الحاوية على الماء .

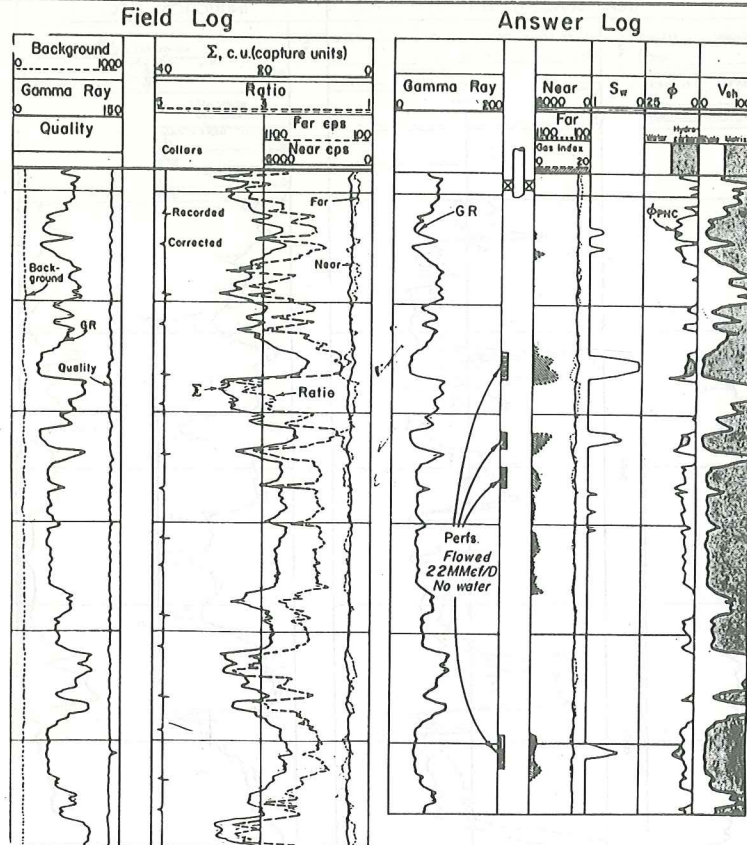
يمثل شكل (10-17) تسجيل (dual spacing TDT) امام الطبقات المكمية الطفلية الحاوية على هيدروكربونات غازية . نلاحظ في هذا المثال الحقلي تأشيريات مناطق الثقيب (perforations) من البطانة محددة من تسجيلات الآبار المفتوحة ايضاً تأشيريات مناطق الثقيب محددة من تسجيلات (dual spacing TDT) . هناك تأشيريات مبينة بالدوائر لمناطق الثقيب التي كانت غير ضرورية بناءً على المقارنة مع تسجيل (TDT) الحديث . اما المناطق الاخرى من الطبقة المكمية فان هناك توافق بين مناطق الاستكشاف الغازية من التسجيلات القديمة والحديثة .

يمثل شكل (10-18) تسجيل (dual spacing TDT) في احدى الآبار القديمة . اكتشاف الغاز في هذا البئر ولكن لم يكمل البئر لعدم وجود طلب على الغاز عند اكتشافه .

بعد مرور سنوات عديدة ، سجل (dual spacing TDT) لتحديد منطقة الغاز لاجل استخراجها من البئر . نجد ان المنطقة الغازية مبينة من الانفصال بين تسجيلي اللاقطة البعيدة والقريبة . وايضاً يمكن حساب درجة التشبع بالغاز (Sg) داخل الطبقة المكمية باستعمال العلاقة بين المسامية الحقيقية المحسوبة من تسجيلات الابار المفتوحة والمسامية الظاهرية المحسوبة من تسجيل (TDT) أي : -



شكل (10-14) مثال حقلي لتسجيل نوع (TDT) (dual-spaced) في احدى الآبار البترولية . (لشركة
شلمبرجر)



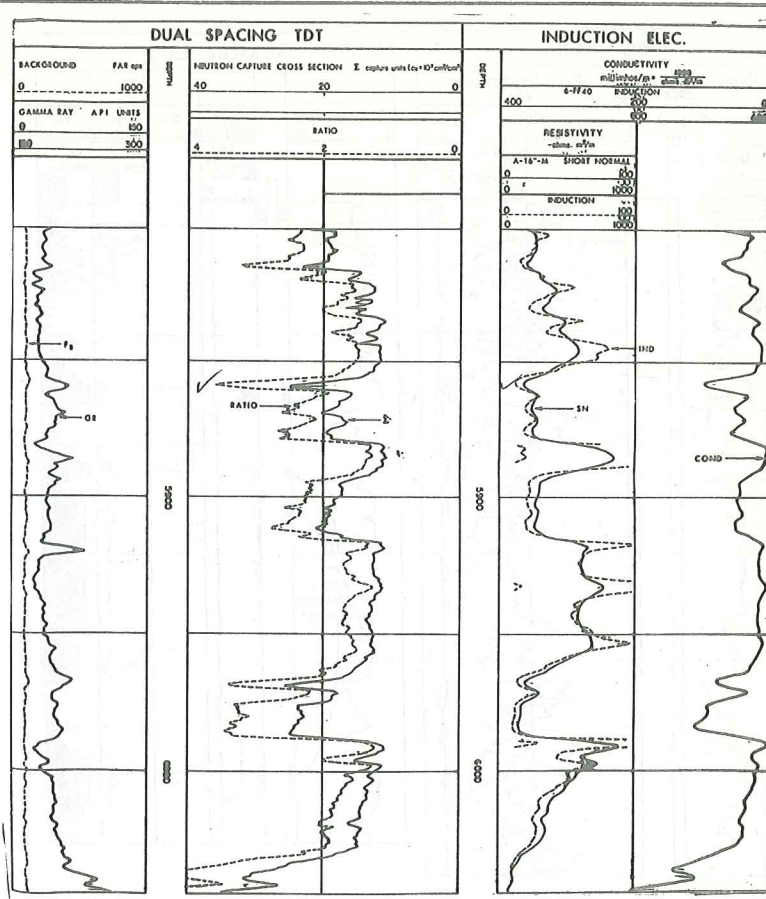
شكل (10-15) مثال حقلي لتسجيل (dual spacing TDT) مع نتائج تحليل الطبقة المكمنية .
(لشركة شلمبرجر) .

$$S_l = \phi_{PNC} / \phi_t \dots\dots(10-23)$$

حيث :

- ϕ_{PNC} - المسامية الظاهرية المحسوبة من تسجيل (TDT) .
- ϕ_t - المسامية الحقيقية المحسوبة من تسجيلات المسامية .
- S_l - درجة التشبع للسائل .

يمكن حساب المسامية الظاهرية من تسجيل (TDT) عن طريق استعمال المخطط شكل (10-19) . في المثال الحقلي ، في شكل (10-18) تساوي المسامية الحقيقية المحسوبة (ϕ_t) (18%) ، ويساوي حجم البطانة في البئر (5 1/2 in) ونوع سائل



شكل (10-16) مثال حقلي لتسجيل (IES) لأحدى الآبار القديمة مع تسجيل (dual spacing TDT).
(لشركة شلمبرجر).

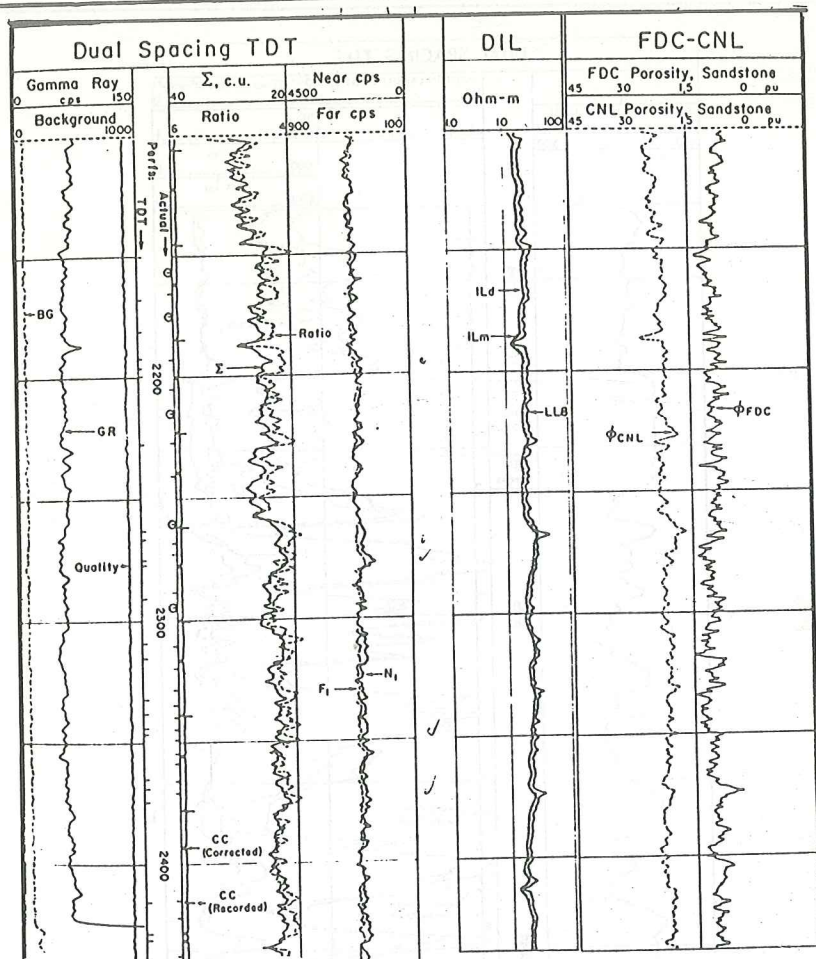
البطانة هو ماء عذب . بأستعمال قيم النسبة (ratio) ومقطع الامتصاص (Σ) من التسجيل ، نجد ان المسامية الظاهرية تساوي (9%) . اذن درجة التشبع : -

$$S_1 = 9/18 = 0.5$$

ودرجة التشبع بالغاز (S_g) تساوي : -

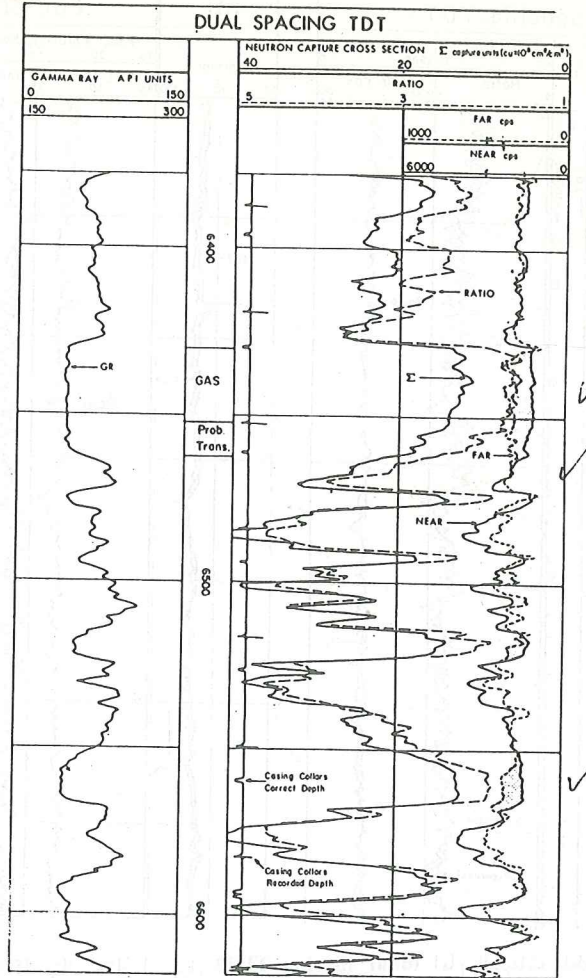
$$S_g = 1 - 0.5 = 0.5 \text{ or } 50\%$$

وقد تأكدت الشركة من هذا الناتج من التحليل بانتاج الغاز من المنطقة المحددة .



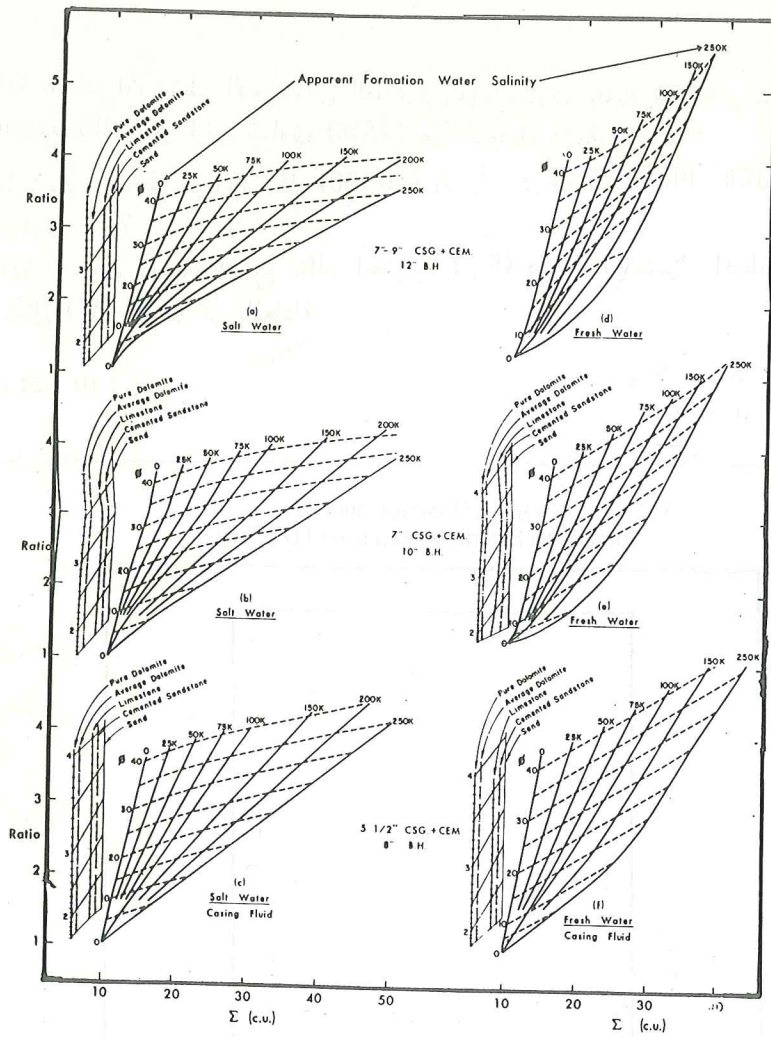
ايجاد درجات التشعب بالماء الكلية والحقيقية (الحررة) من تسجيلات (Dual spaced-TDT)⁽¹⁰⁾

- (1) نقطة الماء غير الحر (Σ_{WB})
- (2) نقطة الماء الحر (Σ_{WF})
- (3) نقطة الهيدروكربون (Σ_h)



شكل (10-18) مثال حقلي لتسجيل (TDT) . نوع (dual spacing) لاحدى الآبار القديمة . (لشركة شلمبرجر) .

بعد تحديد هذه النقاط في المخطط ، ترسم خطوط مستقيمة بين هذه النقاط . الخط الواصل بين نقاط الماء يمثل خط التشبع (10%) بالماء وترسم خطوط التشبع الأخرى موازية لهذا الخط ويعتبر الخط الذي يمر بنقطة الهيدروكربون مساويا لدرجة التشبع بالماء (0%) . وتقسّم المسافة بين خط التشبع (0%) وخط التشبع (100%) الى اقسام متساوية . يجرأ المحور الأفقي في المخطط الى اقسام لدرجة



شكل (10-19) مخطط لحساب المسامية من تسجيل (TDT) نوع (dual spacing) لاختلاف حجوم البطانات واختلاف تركيز سائل البطانة. (لشركة شلمبرجر)

التشبع بالماء (SW_B) من صفر الى (100%) ويجزأ المحور الشاقولي الى قيم مختلفة لـ (Σ_{wa}) المتوقعة.

مثال

قيمة نقطة الماء الحر = 61 c.u.

(من قراءة TDT في طبقة رملية نقية حاوية على الماء)

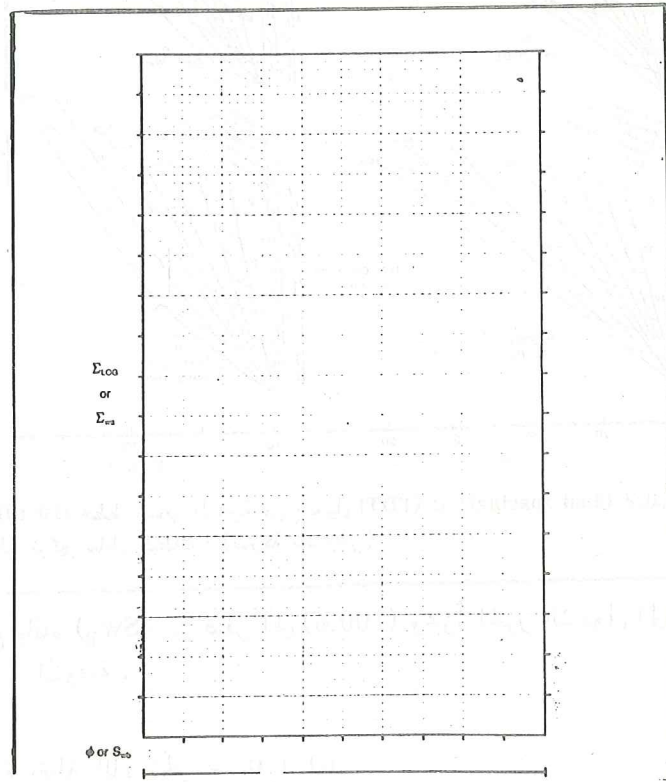
قيمة نقطة الهيدروكربون = 21. c.u.

(من قراءة TDT امام الطفل)

إذا علمت ان مقطع الامتصاص الظاهري للماء يساوي $\Sigma_{wa} = 54 \text{ c.u.}$ ودرجة التشبع بالماء غير الحر تساوي (25%) من تسجيل اشعة كاما .
 باستعمال المخطط البياني شكل (10-20) نجد أن درجة التشبع بالماء الكلية (S_{wt}) تساوي 72%
 اذن تساوي درجة التشبع بالماء الحقيقية (S_w) 63% (باستعمال المخطط البياني شكل (10-21) او بالمعادلة

$$S_w = \frac{S_{wt} - S_{wB}}{1 - S_{wB}} \quad \dots (10 - 24)$$

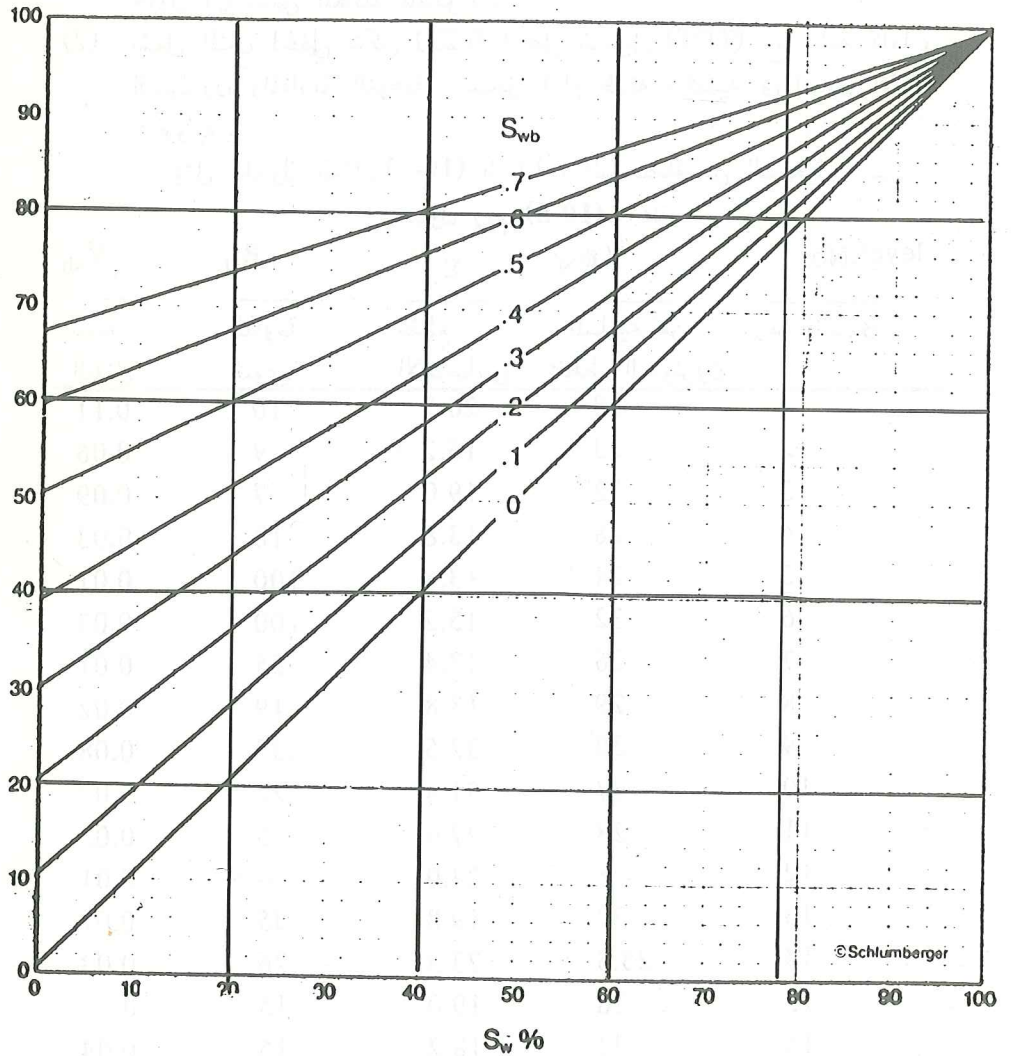
Graphical Determination of
Total Water Saturation (S_{wt}) from TDT* Log



شكل (10-20) مخطط بياني لحساب درجة التشبع بالماء الكلية (S_{wt}) من تسجيل (TDT) (لشركة شلمبرجر)

Graphical Determination of S_w from S_{wt} and S_{wb}

$$S_w = \frac{S_{wt} - S_{wb}}{1 - S_{wb}}$$



شكل (10-21) مخطط بياني لحساب درجة التشبع الحقيقية بالماء (S_w) من تسجيل (TDT) (الشركة شلمبرجر)

مسائل :

- (1) معادلة رقم (10-4) تبين العلاقة بين مقطع امتصاص المادة للنيوترونات وزمن تلاشي النيوترونات الحقيقي ، أي : -

$$T_{int.} = \frac{4.55}{\Sigma_{abs.} (cm^{-1})}$$

حاول أن تشتق المعادلة المذكورة .

- (2) يشمل المثال الحظي شكل (10-22) على تسجيل (TDT) مع أشعة كاما ، النيوترون والمقاومة النوعية . مسجل امام طبقة مكمية في احدى الآبار البترولية .

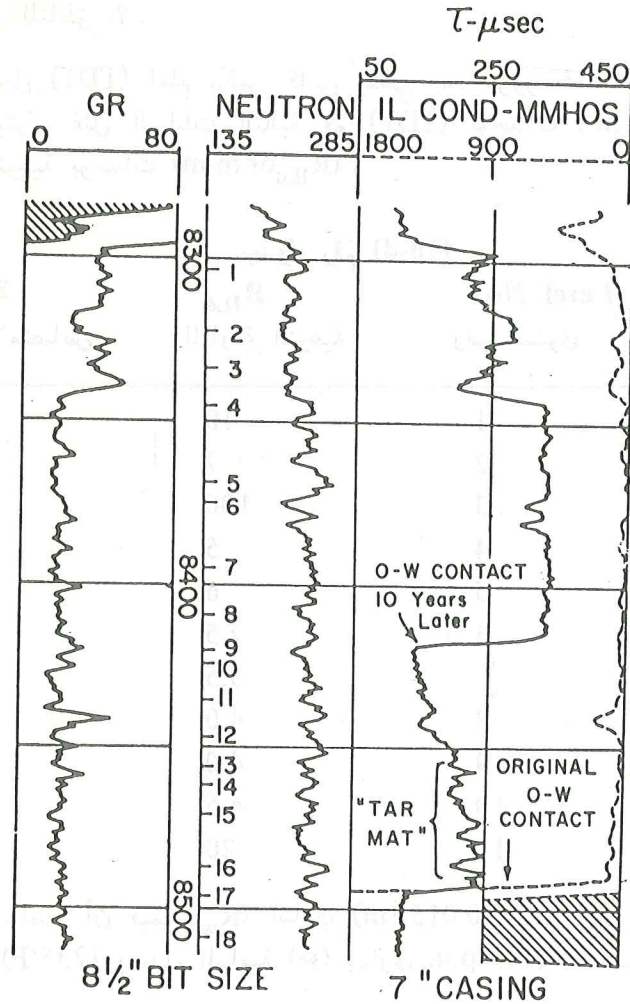
يمثل الجدول التالي (10-3) البيانات المستحصلة من التسجيل : -

جدول رقم (10-3)

level No.	ϕ_N	Σ	R_{IL}	V_{sh}
رقم المستوى	المسامية من مخطط النيوترون	مقطع الامتصاص	المقاومة النوعية	نسبة الطفل
1	28	20.7	10	0.11
2	33	16.2	9	0.06
3	32	19.0	7	0.09
4	28	13.8	18	0.03
5	24	13.8	100	0.01
6	32	15.2	100	0.03
7	26	13.4	55	0.01
8	29	13.8	19	0.02
9	30	32.5	37	0.08
10	27	31.4	27	0.02
11	28	27.6	5	0.03
12	25	24.0	—	0.01
13	27	19.8	35	0.01
14	25.5	23.3	26	0.03
15	26	19.0	15	0
16	23	18.2	15	0.04
17	28	35.0	0.36	0.04
18	27	36.4	0.36	0.07
Shale	42.5	50.5		

إن الطبقة المكنية الرملية ، وقيمة (R_w) محسوبة من (SP) تساوي (0.024) في درجة (178°F) . المطلوب : -

- (١) حساب المسامية الفعالة (ϕ_e) للمناطق المختلفة .
- (٢) حساب مقطع الامتصاص الصحيح ($\Sigma_{cor.}$) .
- (٣) حساب درجات التشبع بالماء (S_w) للمناطق المختلفة بواسطة المخطط البياني لقيم (ϕ_e - Σ_{cor}) باستعمال شكل (10-23) .



شكل (10-22) مثال حقلي لتسجيل (TDT) ، اشعة كاما ، النيوترون والمقاومة النوعية امام طبقة مكنية في احدى آبار الشرق الاوسط . (لشركة شلمبرجر) .

٤) درجات التشبع بالماء (S_w) للمناطق المختلفة باستعمال طريقة المقاومة النوعية .

٥) حساب (Σw) مقطع امتصاص ماء التكوين وملوحة الماء .

٦) هل هنالك اختلاف في قيم درجات التشبع بالماء بالطرق المختلفة ، وما السبب إن وجد ؟

٧) هل ممكن تجزئة الطبقة الكمنية الى (٤) مناطق ؟ ماهي هذه المناطق ؟.

(3) سجل (TDT) امام مكنن كلسي نقطتي بعد مرور خمسة أيام من انجاز البئر . قتل البيانات التالية قيم (TDT) بوحدات ($\Sigma c.u.$) والمقاومة النوعية بوحدات (R_{ILD} ohm-m) :

جدول رقم (10-4)

Level No.	R_{ILD}	$\Sigma (c.u.)$
رقم المستوى	المقاومة النوعية	مقطع الامتصاص
1	10	17
2	7	18
3	100	13.5
4	5	22
5	6	20
6	2.5	22
7	3.5	20
8	4.0	23
9	4.0	25.26
10	4.5	24
11	20	16

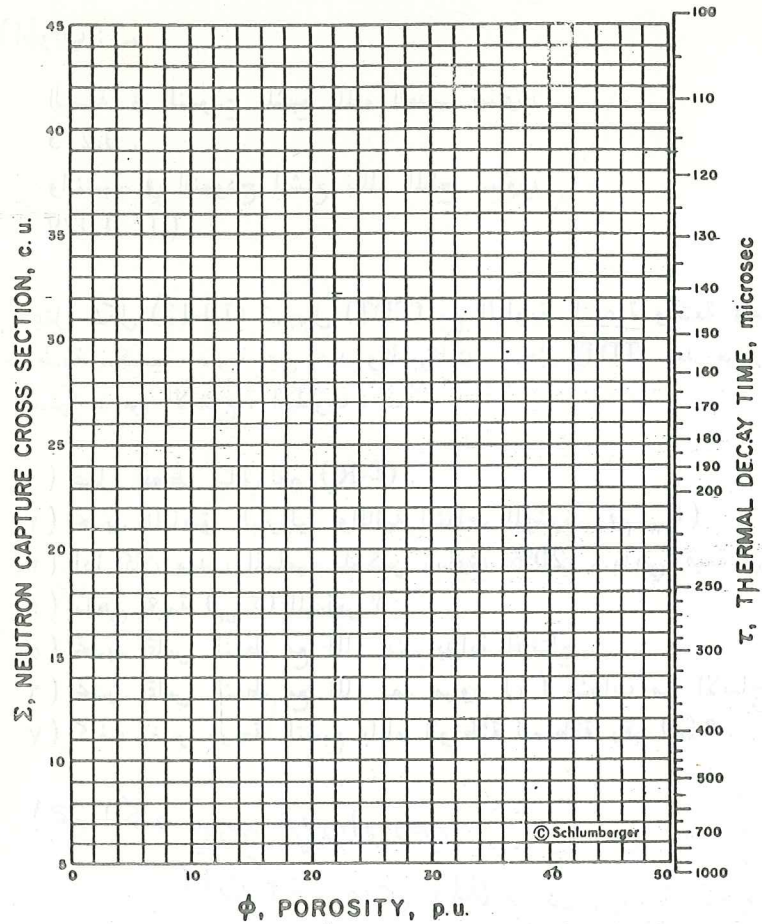
إذا علمت أن قيمة (R_w) تساوي ($0.015 \Omega m$) في درجة حرارة المكنن المساوية ($236^\circ F$) ومعدل المسامية (ϕ) يساوي p.u. (14) ، احسب : -

١ - (Σ_w) من الخطط البياني ($1/\sqrt{R_t - \Sigma}$) بافتراض قيمة ($\Sigma_h = 21 c.u.$) .

٢ - ملوحة ماء التكوين (Salinity) .

٣ - ($\Sigma 0.0$) من الخطط البياني .

GRAPHIC DETERMINATION OF S_w FROM
THE TDT* LOG (CLEAN FORMATIONS)



شكل (10-23) ورقة بيانية خاصة لعمل خطط بياني من تسجيل (TDT) والمسامية (ϕ).
(لشركة شلمبرجر).

٤ - هل ان المستويات الممثلة بالنقاط (4,8,9,10) تقع على خط النفط المائي ام لا ؟ لماذا ؟

(4) مقطع امتصاص (Σ) لنموذج رملي مشبع بالماء العذب للنيوترونات الحرارية يساوي ($\Sigma = 0.0099 \text{ cm}^{-1}$) ومقطع امتصاص نموذج رملي مشبع بالماء المالح يساوي ($\Sigma = 0.0269 \text{ cm}^{-1}$). ماهي نسبة النيوترونات الحرارية بين البوابتين (gates) عند القياس ، اذا علمت ان الفرق في فترة زمن قياس البوابتين يساوي (600 micro-Sec).

((((الجواب : -

النسبة في النموذج المشبع بالماء العذب تساوي
0.275 .

والنسبة في النموذج المشبع بالماء المالح تساوي
0.029 .(((

(5) يمثل شكل (10-12) تسجيل (TDT) مع المقاومة النوعية واشعة كاما امام طبقة مكمنية حاوية على هيدروكربونات . سجل (TDT) بعد مرور (٩) سنوات من الانتاج . المطلوب : -

- (١) عمل مخطط بياني لقيم $(\Sigma-R_p)$.
- (٢) تحديد المناطق البترولية والمائية للنقاط المؤشرة (قيم S_w) .
- (٣) اذا كان معدل المسامية للمكمن يساوي (20%) ، ماهي قيمة (Σ_w) ؟
- (٤) ماهي قيمة (Σ_{ma}) للمكمن ؟
- (٥) تحديد تماس النفط مع الماء عند بداية الانتاج .
- (٦) تحديد تماس النفط مع الماء بعد مرور (٩) سنوات من الانتاج .
- (٧) كيف تفسر درجة التشبع بالماء الواطئة للمنطقة رقم (2) ؟ .

اجمل اكلوبه وبه عهده وبه
كان انت ناسي ولما نسينا حانا
انا هالو بكون كفت الحقد
انا وانت تمانى نعود لبيتنا

» يا صعلوك ...
انت هاي تقترأ
ولا ولا هاي تحب رقتي

» طاب آخريمت »

تسجيل درجة تماسك الاسمنت

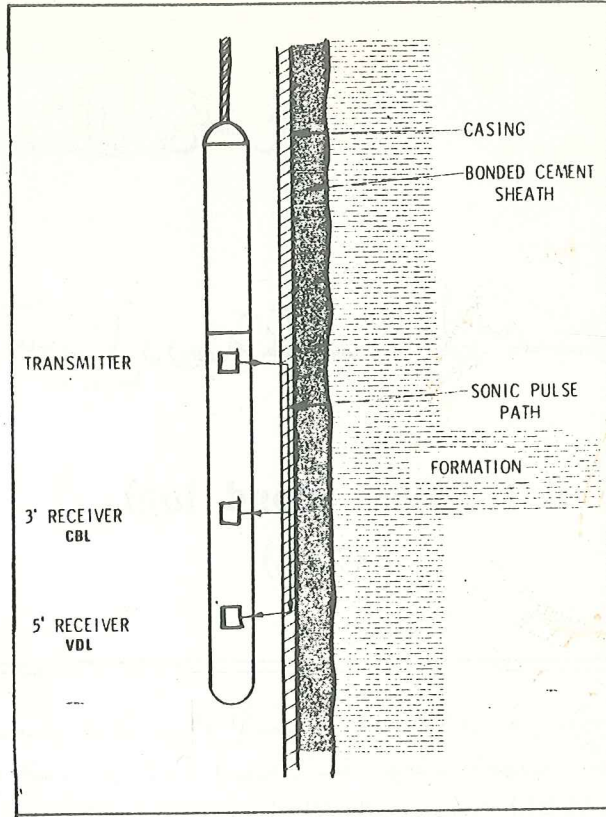
(Cement Bond log)

(CBL)

يمثل تسجيل درجة تماسك الاسمنت اختلافات في سعة الموجات الانكسارية الاولى مع العمق في الآبار المسمتة . سعة الموجات الصوتية بوحدة ميلفولت تسجيل على بعد ثلاثة اقدام من جهاز الارسال في تسجيل (CBL) . وتسجيل اخر يسمى (VDL) او (Variable density log) يمثل اختلاف كثافة الالوان من الاسود او الفامق الى الابيض او الفاتح ، يسجل على بعد خمسة اقدام من جهاز الارسال⁽⁴⁾ .

يمثل شكل (11-1) مخطط لجهاز تسجيل السرعة مع مسار الموجات الانكسارية . تضعف الموجات الصوتية المنتقلة خلال البطانة عند انتقال الطاقة الى المحيط او اذا كانت درجة التماسك جيدة (good bonding) بين البطانة والاسمنت . تنتقل الموجات المرسلة من جهاز الارسال خلال البطانة ، التكوين وسائل الحفر . يمثل شكل (11-2) مخطط للموجات المسجلة .

تصل الموجات الانكسارية المنتقلة خلال البطانة تصل قبل الموجات المنتقلة خلال التكوين والموجات المنتقلة خلال التكوين تصل قبل الموجات المنتقلة خلال وسائل الحفر . يعود الاختلاف في زمن وصول هذه الموجات الى اختلاف في سرعة انتقال هذه الموجات في الاجسام المختلفة .



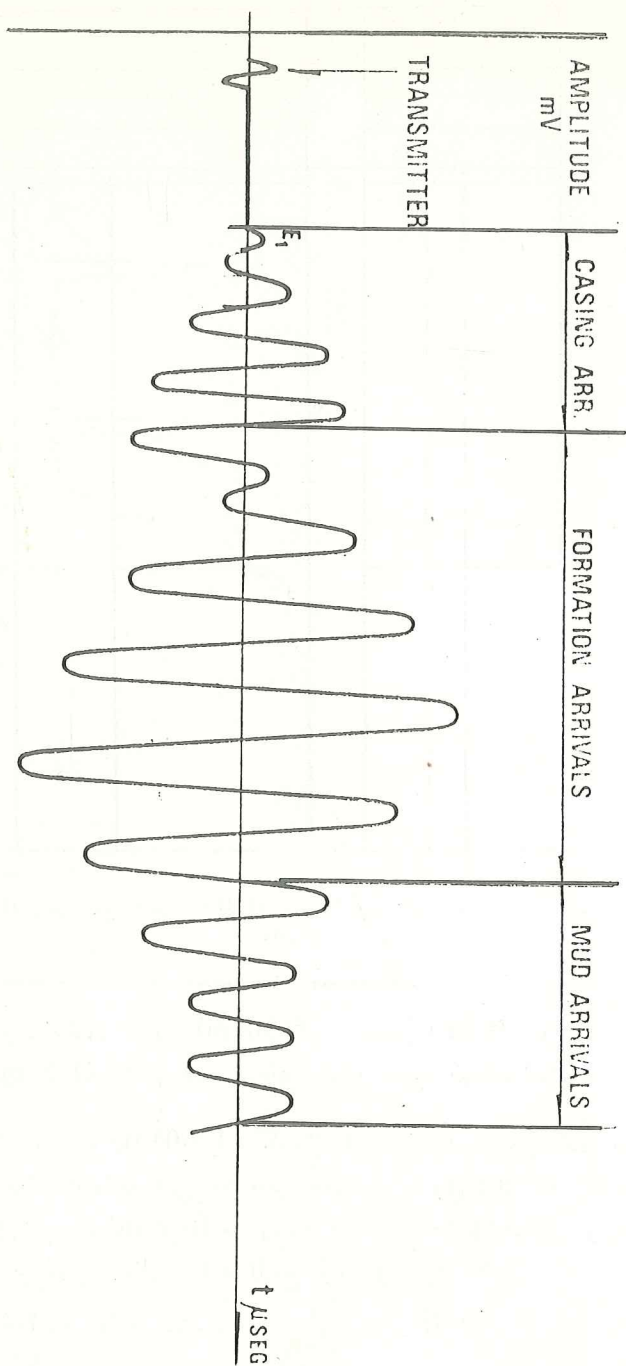
شكل (11-1) مخطط لجهاز تسجيل السرعة ومواقع تسجيل (CBL) و (VDL) (لشركة شلمبرجر)

يمثل تسجيل (CBL) زمن وصول الموجة على بعد ثلاثة اقدم من جهاز الارسال وايضا تسجيل سعة الموجة الانكسارية الاولى (first arrival amplitude).

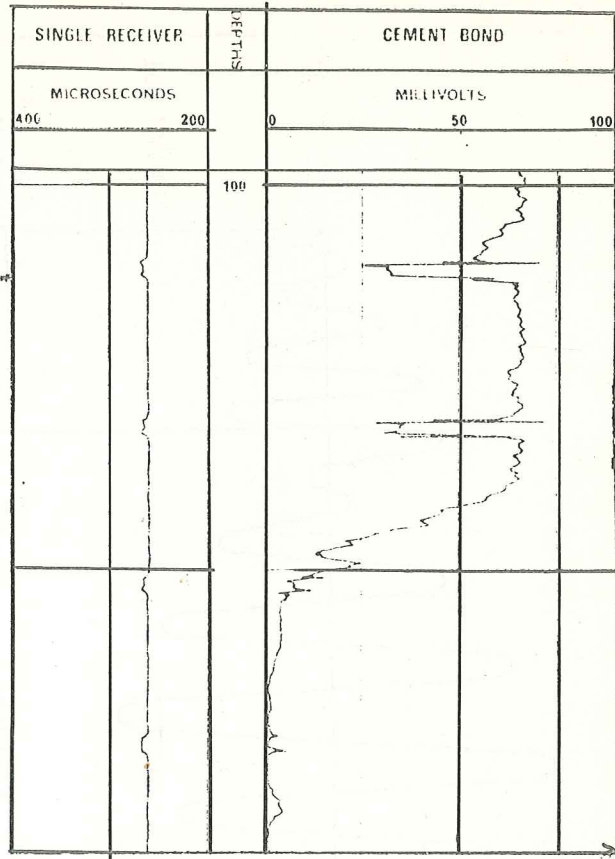
يمثل تسجيل (VDL) الموجات المنتقلة خلال البطانة والتكوين على شكل اشربة من اللون الاسود والابيض.

تكون سعة الموجة المسجلة قصوى في الانبوب الحر (free-pipe) او البطانة غير المسمة وتكون الدنيا في البطانة المسمة.

يمثل شكل (11-3) تسجيل (CBL). يلاحظ في هذا المثال (CBL). يسجل طاقة ثابتة تقريبا فوق العمق (145 m) بمقدار (65 mv) ومواقع حلقات للفصل في البطانة (casing collars) واضحة في التسجيل وهذا دليل وجود الانبوب الحر



شكل (11-2) خطوط الموجات السجلة . (الشركة للمحرج)

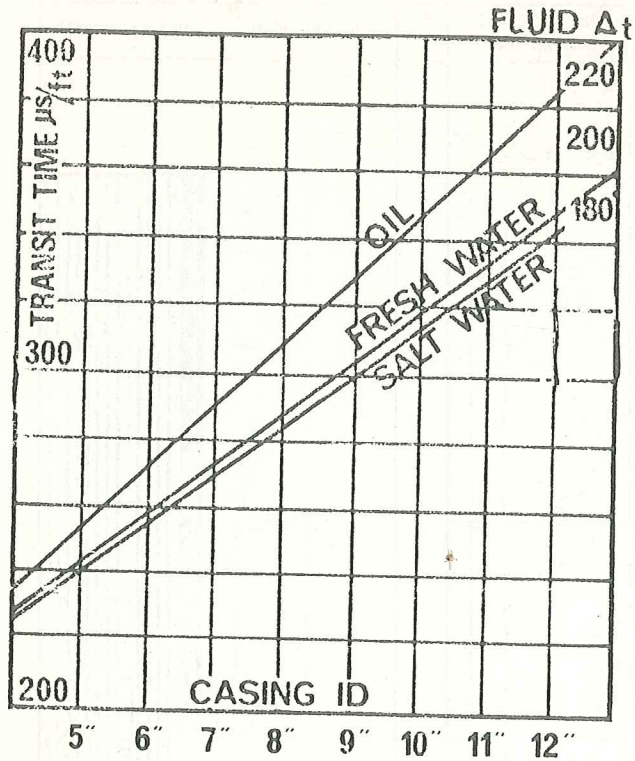


شكل (11-3) مثال حقلي لتسجيل (CBL) امام الانبوب الحر وامام البطانة المسمتة .
(لشركة شلميرجر)

فوق العمق المؤشر . وتحت العمق (150 m) ، يسجل (CBL) اقل سعة للموجة وتتراوح بين (1-5 mv) وتمثل هذه درجة تماسك جيدة (good bonding) .

يقيس تسجيل السرعة (t) (260) ميكروثا تقريبا ، وهو الزمن الذي تستغرقه الموجة للانتقال خلال البطانة التي لها قطر خارجي يساوي (7 in) وكثافة (1b) 29 و قطر داخلي يساوي (6.2 in) مع وجود ماء مالح داخل البئر . ويؤكد هذا التسجيل على ان الجهاز خلال عملية المسح كان في مركز البئر .

يمثل شكل (11-4) العلاقة بين زمن انتقال الموجة (t) خلال البطانة واختلاف قطر البطانة في الآبار المملوءة بسوائل مختلفة .

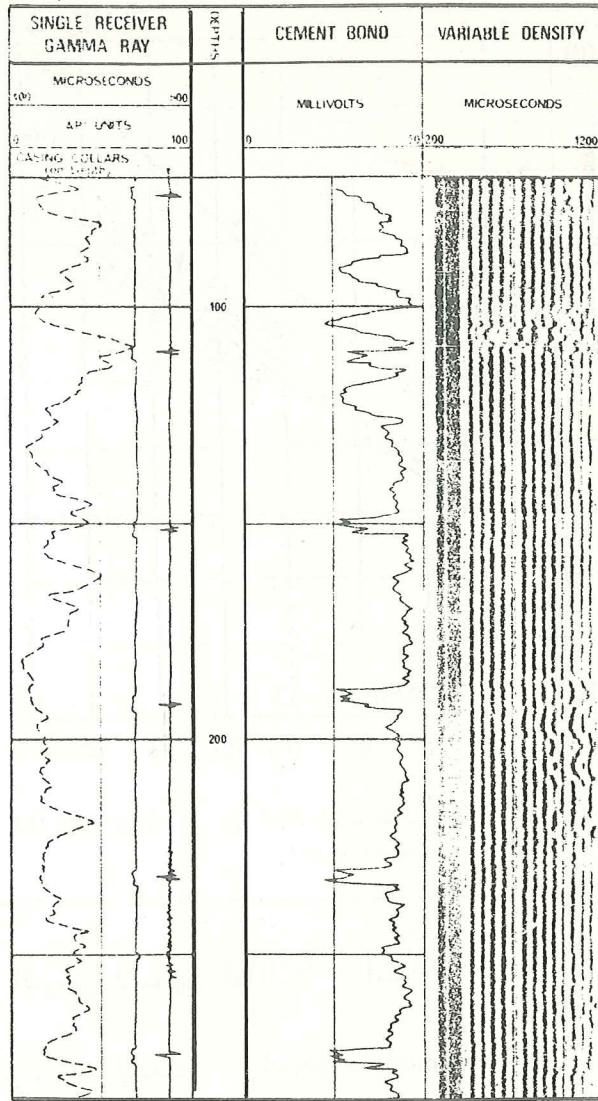


شكل (11-4) مخطط للعلاقة بين زمن انتقال الموجة خلال البطانة واختلاف قصر البطانة .
(لشركة شلمبرجر)

التفسير النوعي لتسجيل (CBL) و (VDL)

(1) الانبوب غير المسمت (uncemented pipe) :

- تنتقل معظم الطاقة الصوتية خلال البطانة ،
 - CBL - يسجل (t) بمقدار ثابت وسعة الموجة عالية .
 - VDL - يسجل الموجات المنتقلة خلال البطانة على شكل اشربة مستقيمة باللون الاسود والابيض مع وجود اشكال (W) تظهر عند حلقات الفصل في البطانة .
- شكل (11-5) يمثل هذه الحالة



شكل (11-5) مثال حقلي لتسجيل (CBL ، VDL) ، اشعة كاما والسرعة في البطانة غير المسمتة في احدى الابار البترولية .
(لشركة شلمبرجر)

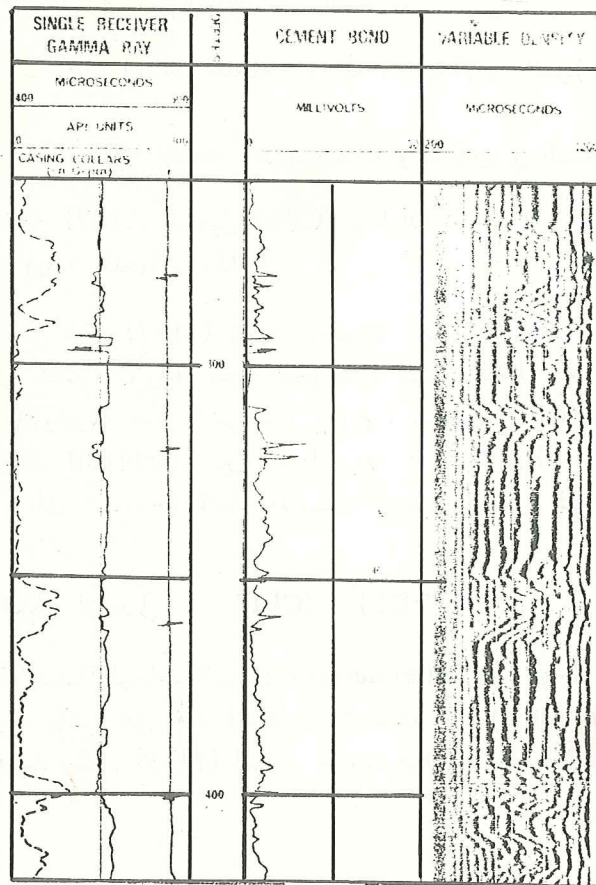
(2) الانبواب المسمت :

تظهر الموجات المنتقلة خلال التكوين بوضوح في تسجيل (VDL) ، اما الموجات المنتقلة خلال البطانة تكون ضعيفة او لا تظهر في التسجيل .

CBL - يسجل سعة واطئة للموجة المنتقلة خلال التكوين .

VDL - يسجل الموجات المنتقلة خلال التكوين وتكون باشكل متموجة وتختفي الموجات المنتقلة خلال البطانة .

شكل (6-11) يمثل هذه الحالة .



شكل (6-11) مثال حقلي لتسجيل (CBL ، VDL) اشعة كاما والسرعة في البطانة المسمّنة في احدى الآبار البترولية .
(لشركة شلمبرجر)

(3) وجود الفجوة الحلقية الدقيقة بين البطانة والاسمنت .
(micro-annulus)

تظهر في بعض الآبار المسمتة ، فجوات دقيقة حلقية بين البطانة والمنطقة المسمتة نتيجة تمدد البطانة أو وجود بقع من الزيت ، وتؤدي هذه الفجوات الى منع انتقال جزء من الطاقة الصوتية الى التكوين .
نجد في تسجيل (VDL) الموجات المنتقلة خلال البطانة والتكوين ظاهرة .

إذا كانت الفجوات غير متصلة مع بعضها وموجودة بنسبة قليلة فإنها لا تؤثر على نقل السوائل في هذه المناطق من البئر .

CBL - تكون الطاقة المسجلة متوسطة و فرق الزمن المسجل ثابت تظهر مع العمق .

VDL - الموجات المنتقلة خلال البطانة والتكوين في التسجيل .

يمثل شكل (11-7) تسجيل (CBL) و (VDL) في احدى الآبار البترولية المسمتة مع وجود الفجوات الحلقية .

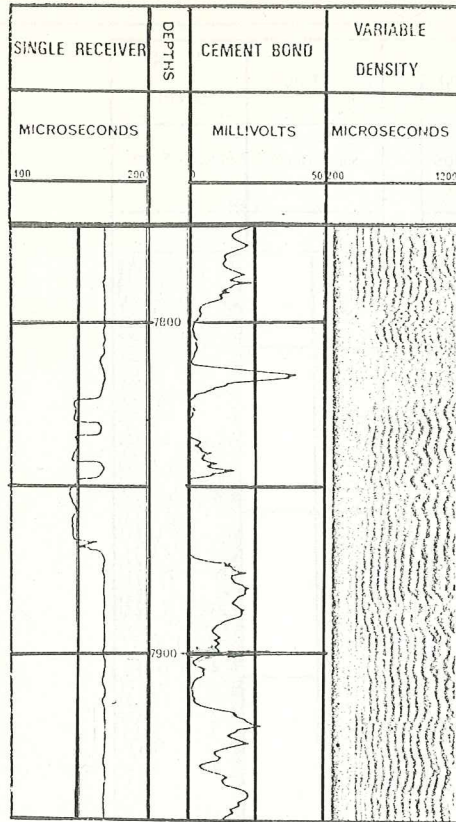
نلاحظ في شكل (11-7) وجود الفجوات الحلقية بين عمق (7815-7850) قدم داخل البئر . لازالة هذه الفجوات ، يسلط ضغط على البطانة بمقدار (1000 psi) وجرى مسح البئر مرة اخرى . تسجيل (CBL) و (VDL) بعد استعمال ضغط (1000 psi) بين اختفاء هذه المناطق في (CBL) كما في شكل (11-8) ، اي ان درجة تماسك الاسمنت تحسنت في هذه الفترة .

التفسير الكمي لتسجيل (CBL) و (VDL)⁽⁴⁾ :

يتوقف ضعف الموجات الصوتية (attenuation) على درجة تماسك الاسمنت وهذا بدوره يؤثر على قوة انضغاط الاسمنت (compressive strength) . يستعمل مخطط شكل (11-9) لغرض حساب قوة انضغاط الاسمنت .

مثال : -

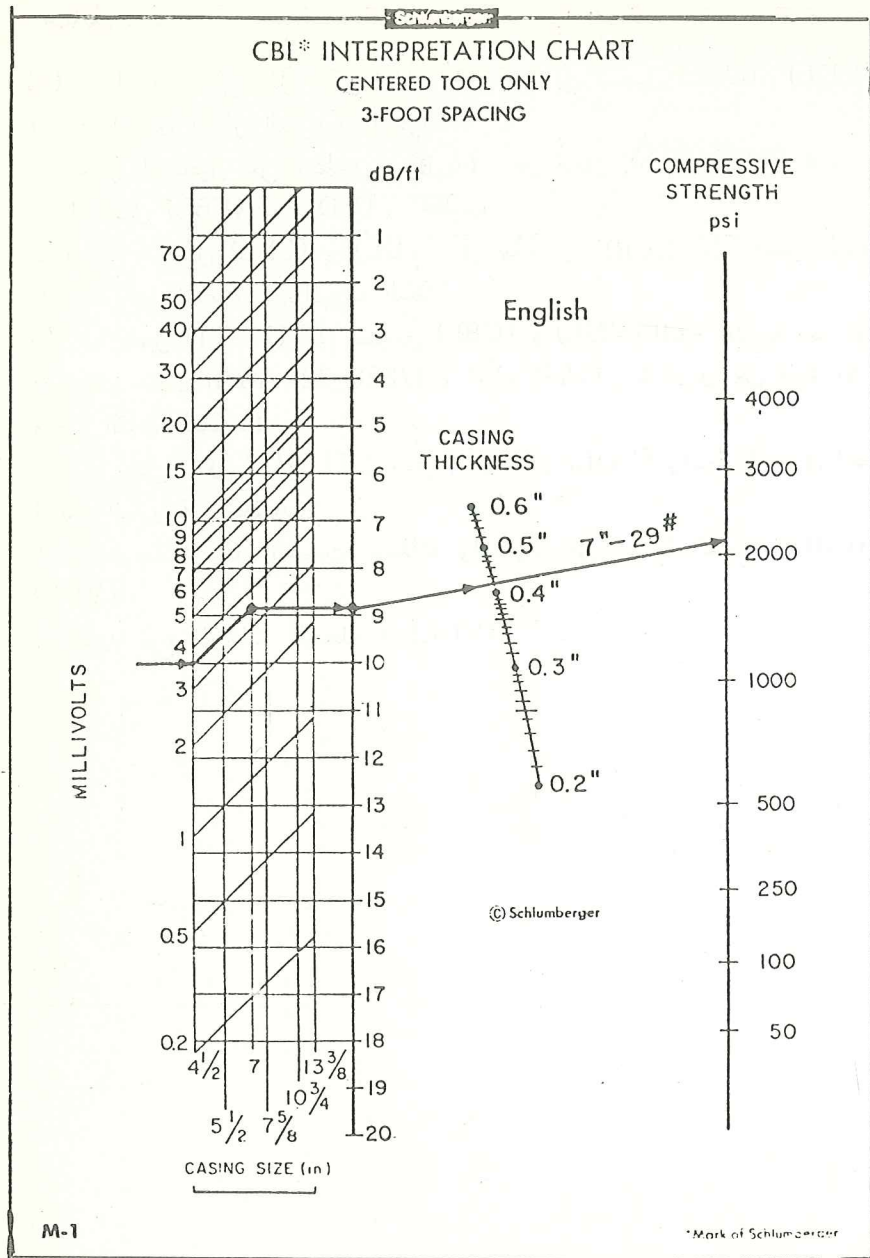
المطلوب حساب درجة تماسك الاسمنت أو قوة انضغاط الاسمنت في المثال الحقلي شكل (11-6) بين عمق (370-380m) ، إذا علمت ان قطر البطانة يساوي (95/8 in) ، وسمك البطانة يساوي (0.5 in) .



شكل (11-7) مثال حقلي لتسجيل (CBL) و (VDL) والسرعة في احدى الآبار البترولية .
(لشركة شلمبرجر) .

الحل : -

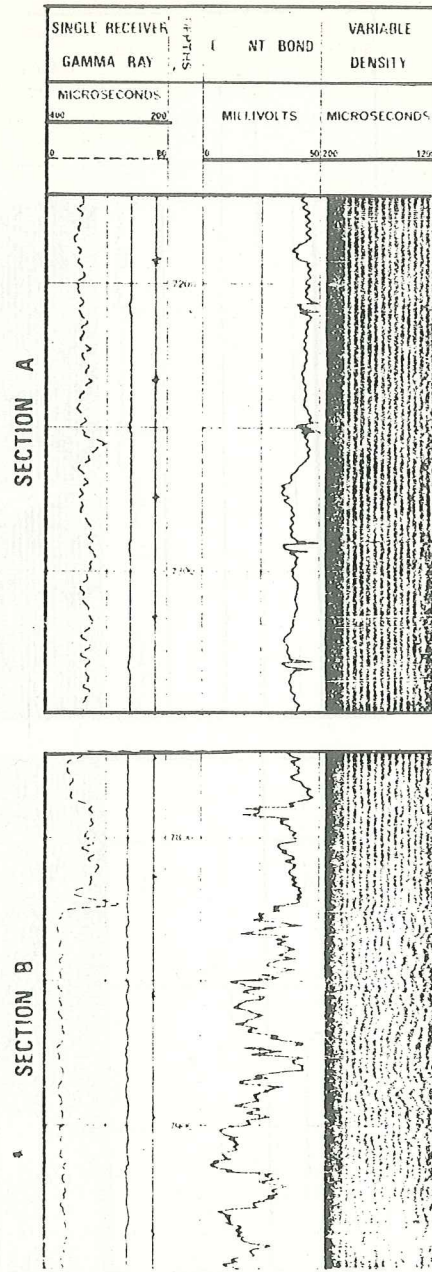
سعة الموجة المسجلة في المنطقة المعينة من (CBL) تساوي (3 mv) . نحصل على
قوة انضغاط الاسمنت تساوي (3000 psi) باستعمال المخطط شكل (11-9) .



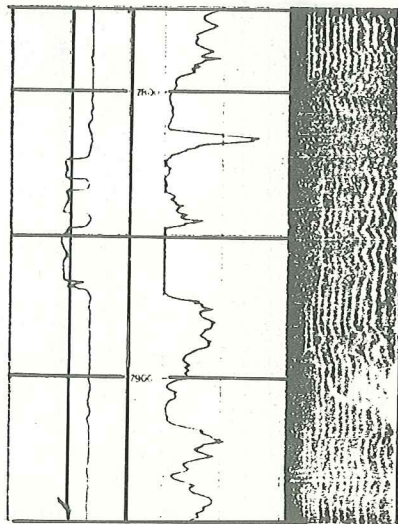
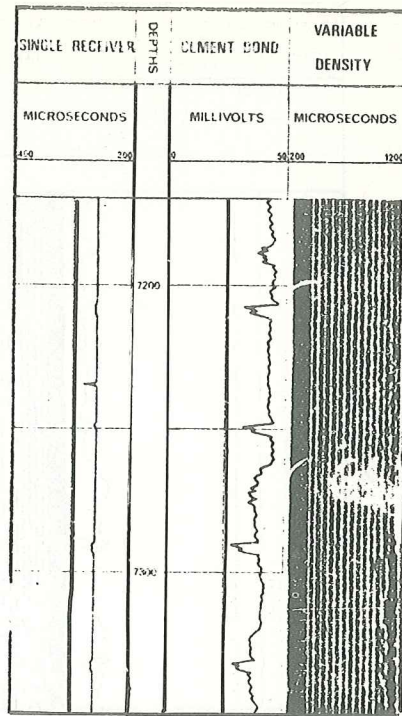
شكل (11-9) مخطط لحساب قوة انضغاط الاسمنت في الآبار المسمتة (لشركة شلمبرجر)

مسائل : -

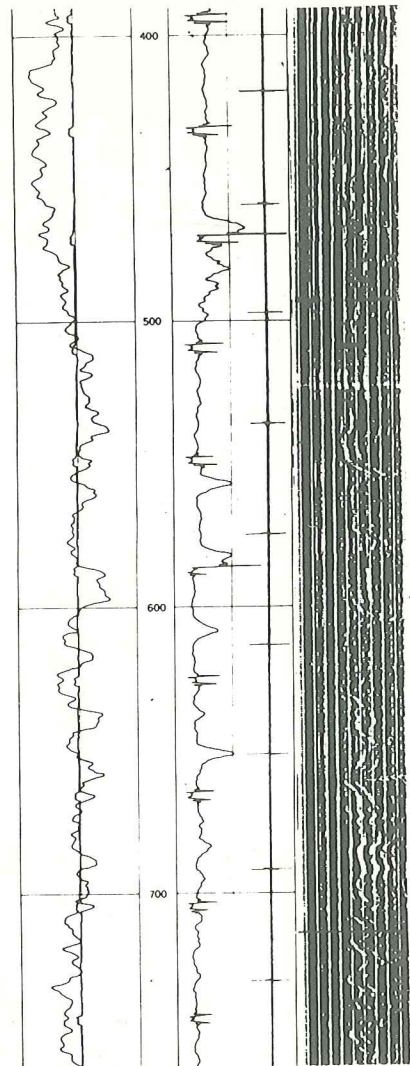
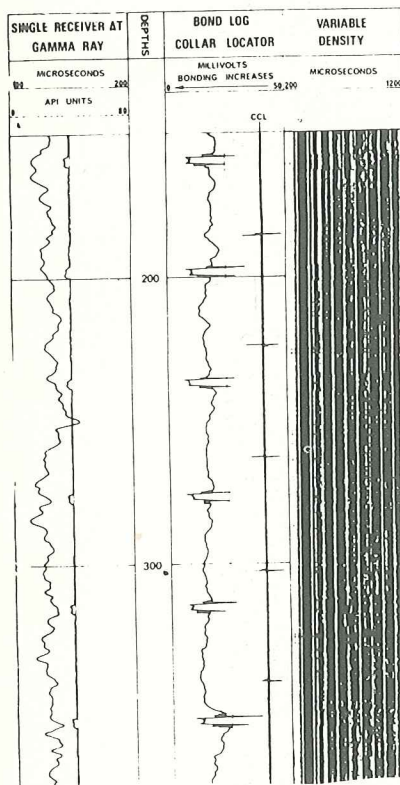
- (1) - المثال الحقيقي يمثل شكل (10-11) جزء من تسجيل (CBL) ، (VDL) ،
() في احدى الآبار البترولية البحرية .
يشمل التسجيل على مقطعين (A,B) بين عمق (7200-7900) قدم .
لتسجيل (CBL) و (VDL) . المطلوب :
- دراسة تسجيل (CBL) و (VDL) في المقطعين (A,B) اي تحديد المناطق
المسمتة وغير المسمتة من انبوب البطانة .
- (2) - يشمل (11-11) على تسجيل (CBL) و (VDL) للمرة الثانية بعد طبخ
الاسمنت خلال الاعماق (22-7820) و (38-7836) . ما الفرق بين المرة الاولى
والمرة الثانية للتسجيلين .
- (3) - يمثل شكل (11-12) تسجيل (CBL) و (VDL) واشعة كاما في احدى
الآبار البترولية . المطلوب :
- 1 - درجة تماسك الاسمنت للبطانة والتكوين من دراسة تسجيل (CBL) و
(VDL) .
- تحديد نوع الموجات المسجلة في (VDL) .



شكل (10-11) مثال حقلي لتسجيل (CBL) و (VDL) والسرعة واشعة كاما في احدى الآبار البترولية .
(لشركة شلميرجر) .



شكل (11-11) مثال حقلي لتسجيل (CBL) و (VDL) للمرة الثانية بعد ضخ الاسمنت في مناطق معينة داخل البئر.
(لشركة شلمبرجر)



شكل (11-12) مثال حقلي لتسجيل (CBL) و (VDL) مع اشعة كاما في احد الآبار البترولية (شركة
شلمبرجر)

الفصل الثاني عشر

تحليل تسجيلات الآبار كمياً بالطرق السريعة للكشف عن الهيدروكربونات

(Quantitative analysis of logs by quick techniques)

الهدف من استعمال الطرق السريعة عند موقع البئر وهو اختيار المناطق التي تحتوي على هيدروكربونات ودراستها بعد ذلك بالتفصيل .

(1) طريقة التسقيط البياني لقيم المسامية (ϕ) والمقاومة النوعية (R) :
(Resistivity-porosity crossplot)

هذه الطريقة مبنية على قانون (Archie)⁽¹⁾ للتشبع :

$$(S_w)^n = (F)(R_w)/(R_t) \quad \dots (12-1)$$

بما أن معامل المقاومة النوعية للتكوين (F) يتناسب مع المسامية (ϕ) أي :

$$F = (a) \phi^{-m} \quad \dots (12-2)$$

اذن ممكن تمويض معامل المقاومة النوعية (F) بالمسامية (ϕ) فتصبح معادلة (12-1) :

$$(S_w)^n = \frac{(a)(R_w)}{(\phi^m)(R_t)} \quad \dots (12-3)$$

لو افترضنا أن قيمة (m) تساوي (n) وتساوي (2.0) بصورة عامة وقيمة (a) تساوي (1.0) فتصبح المعادلة (12-3):-

$$(\phi)(S_w) = \sqrt{\frac{R_w}{R_t}} \quad \dots (12-4)$$

هذه المعادلة تبين أن كمية ماء التكوين $(S_w)(\phi)$ لكل وحدة حجم من المكمن تتناسب عكسياً مع الجذر $\left(1/\sqrt{R_t}\right)$ إذا افترضنا أن (R_w) ثابتة. أيضاً ان العلاقة بين المسامية (ϕ) وجذر المقاومة النوعية $\left(1/\sqrt{R_t}\right)$ للتكوين عكسية للمناطق المشبعة بالماء، أي: -

$$\phi \propto 1/\sqrt{R_0} \quad \dots (12-5)$$

والمناطق التي لها درجة تشبع معينة في المكمن فإن المسامية فيها أيضاً تتناسب عكسياً مع جذر المقاومة النوعية، أي: -

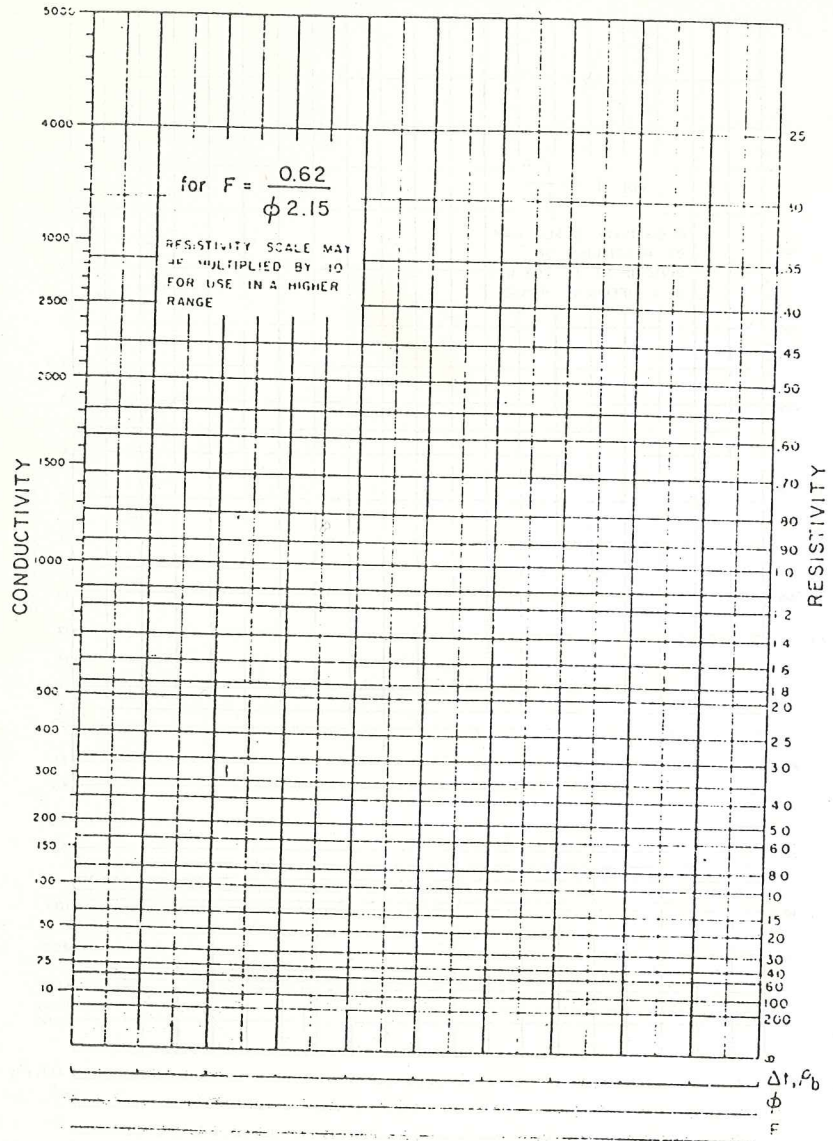
$$\phi \propto 1/\sqrt{R_t} \quad \dots (12-6)$$

أي ان العلاقة بين المقاومة النوعية والمسامية خطية للتشبع المعين في المكمن. تستعمل اوراق بيانية خاصة لفرض عمل تسقيط بيا في لقيم المسامية (ϕ) والمقاومة النوعية (R_p) .

يمثل شكل (12-1) و (12-2) الاوراق البيانية الخاصة. ويستعمل شكل (12-1) بصورة عامة للمكمن الرملية او المكمن ذات المسامية المحبة. العلاقة بين معامل المقاومة النوعية (F) والمسامية (ϕ) تكون $(F = 0.62/\phi^{2.15})$. ممكن استعمال قيم درجة التوصيل (conductivity) محل المقاومة النوعية في محور (ص). وايضا ممكن مضاعفة قيم المقاومة النوعية بعشرة مرات اذا كانت قيم المقاومة النوعية لاغلب المناطق عالية. محور (س) يمثل قيم المسامية (ϕ) او فرق الزمن (Δt) اذا استعمل تسجيل السرعة او الكثافة الكلية للتكوين (ρ_b) اذا كان تسجيل الكثافة مستعمل مع المقاومة في عملية التسقيط البياني.

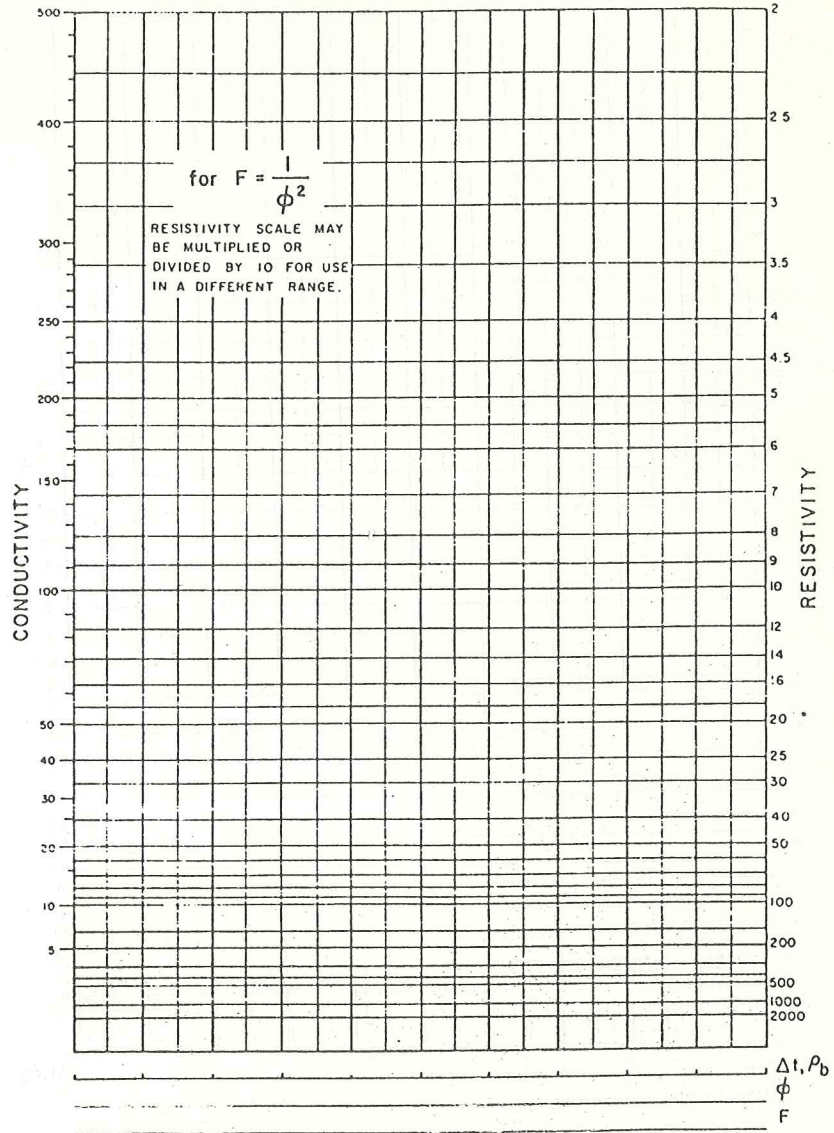
يستعمل شكل (12-2) بصورة عامة للمكمن الكلسية او المكمن غير المحبة والتي تكون العلاقة بين المسامية (ϕ) ومعامل المقاومة النوعية (F) $(F = 1/\phi^2)$

RESISTIVITY VS POROSITY



شكل (12-1) ورقة بيانية خاصة لعمل تسطيط بياني لقيم (R) و (ϕ) .

RESISTIVITY VS POROSITY



57

شكل (12-2) ورقة بيانية خاصة لعمل تسقيط بياني لقيم (R) و (ϕ)

يمكن استعمال قيم المقاومة النوعية بدون تصحيح لتأثير الغزو اذا كان التسجيل من نوع المقاومة النوعية العميق مثل (R_{LL}) او (R_{IL}) .

اذا كان الغزو في بعض المناطق عميقا ، يفضل اجراء تصحيح للمقاومة قبل التسقيط البياني . اذا توفرت مناطق مائية في الطبقات المكمنية ، فإن قيم المسامية (ϕ) لهذه الطبقات والمقاومة النوعية (R_p) ، تسقط على خط مستقيم واحد على الورقة البيانية ويتمثل هذا الخط بالمعادلة : -

$$\phi = \sqrt{\frac{R_w}{R_o}} \quad \dots (12-7)$$

نستطيع ايجاد قيمة (R_w) من هذه المعادلة ، حيث تمثل (R_w) ميل خط المستقيم . لو كانت العلاقة بين (F) و ϕ - $F = \frac{1}{\phi^2}$ فان (R_w) تساوي - $R_w = \left(\frac{Ra}{F} \right)$ ايضا النقاط المتمثلة لدرجات التشبع بالماء المختلفة تسقط على خط مستقيم حيث في المعادلة (12-4) النسبة $\left(-\frac{R_w}{S_w} \right)$ ثابتة ، اذا كانت (S_w) و (R_w) ثابتة للمناطق المعينة .

يفضل في عملية التسقيط البياني أن تكون المناطق المختلفة نقية او نسبة الطفل قليلة في هذه المناطق .

اذا كانت الطبقات المكمنية غير نقية ، يجب اجراء تصحيح للمسامية قبل اجراء التسقيط البياني .

يمكن استعمال قيم (Δt) او (ρ_p) مباشرة عند عمل المخطط البياني للحصول على نتائج صحيحة من المخطط البياني يجب توفر بعض الشروط : -

- (1) تكون قيمة (R_w) ثابتة لماء التكوين او الماء المكمني .
- (2) يجب ان يكون اختلاف في قيم المسامية للمناطق المختلفة من المكان لتحديد الخطوط المستقيمة وخاصة الخط المائي .
- (3) يجب ان تكون الخصائص الصخرية (lithology) للمكان ثابتة .
- (4) يجب ان لا تكون قيم المقاومة النوعية متأثرة بعملية الغزو .

كيفية عمل المخطط البياني للمقاومة (R) والمسامية (ϕ)⁽¹¹⁾ :
Resistivity-porosity crossplot

يمثل شكل (12-3) مخطط بياني من المقاومة النوعية والكثافة . الطبقة المكمنية رملية ولها كثافة الحشو ($\rho_{ma} = 2.65$) . تمثل النقاط المرقمة في المخطط البياني

مناطق او مستويات مختلفة من الممكن . خطوط التشبع بالماء مبينة ايضا وهي تمثل درجات التشبع بالماء ($S_w = 100, 50, 25\%$).

النقاط التي تمثل درجة التشبع ($S_w = 100\%$) تعتبر طبقات مائية والنقاط التي تقع اسفل خط التشبع ($S_w = 50\%$) تمثل مناطق هيدروكاربونية .

بعد تسقيط النقاط المختلفة في الورقة البيانية الخاصة ، نرسم خط التشبع ($S_w = 100\%$) من نقطة الحشو (matrix point) التي تساوي ($\text{conductivity} = \infty, \rho_b = 2.65$) خلال النقاط الاعلى في المخطط والتي تتمثل بالنقاط (4,6,8,12) يمثل هذا الخط خط التشبع ($S_w = 100\%$) او يسمى بالخط المائي .

يمكن ايجاد قيمة (R_w) من ميل الخط المائي . نحول قراءات الكثافة الى مسامية (ϕ) عن طريق استعمال مخطط بياني شكل (6-8) او استعمال معادلة تسجيل الكثافة .

مثال :

اذا كانت الكثافة الكلية المسجلة تساوي (2.4) فان المسامية المحسوبة تساوي (15%) ، اذا افترضنا ان كثافة السائل ($\rho_f = 1.0$) .

نلاحظ في شكل (3-12) جميع قيم الكثافات محولة الى مسامية (ϕ) . قيم المسامية ايضا محولة الى معامل المقاومة النوعية للتكوين (F) عن طريق المعادلة ($F = 0.62$) . لايجاد قيمة (R_w) نختار اي قيمة للمسامية (ϕ) على محور الكثافة .

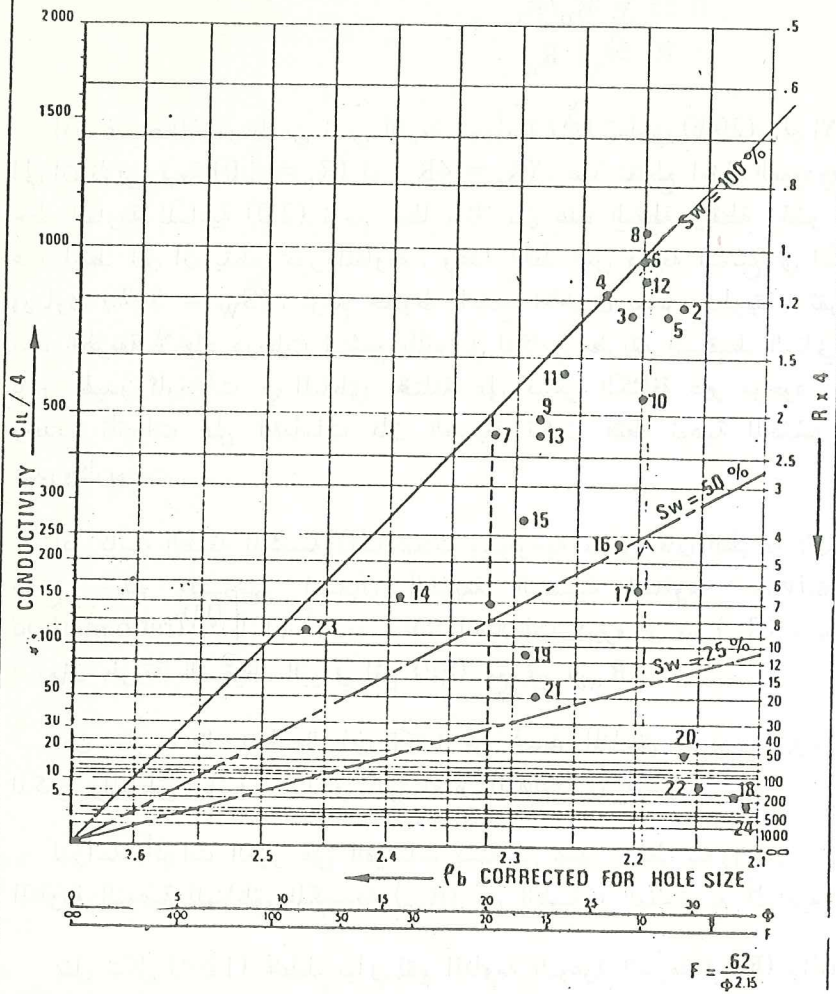
مثال : - ($\phi = 20\%$)

ترسم خط عمودي على محور الكثافة من نقطة المسامية ($\phi = 20$) الى ان يقطع الخط العمودي خط درجة التشبع ($S_w = 100$) . ونرسم خط افقي من نقطة التقاطع الى ان يقطع محور المقاومة النوعية . نجد قيمة المقاومة النوعية ($R = 0.5$) وهذه القيمة تمثل المقاومة النوعية للطبقة الرملية المشبعة بالماء ، او (R_o) .

اذن (R_w) تساوي : -

$$R_w = R_o / F \\ = (0.5)/(20)$$

GRID FOR SONIC RESISTIVITY OR FD RESISTIVITY PLOTS



شكل (3-12) مثال لحقل لخط بياني من المقاومة النوعية (R) والكثافة (ρ_b) .

$$= 0.025 \text{ (ohm-m)}$$

بعد تحديد خط درجة التشبع ($S_w = 100$) وإيجاد قيمة (R_w) ، نحدد خطوط درجات التشبع المختلفة . مثلاً لو أردنا تحديد خط التشبع ($S_w = 50\%$)

نستعمل معادلة (Archie) للتشبع ونحصل علاقة (R_o) و (R_t) اذا كانت درجة التشبع تساوي $(S_w = 50\%)$:

$$(0.5)^2 = R_o/R_t$$

$$0.25 = R_o/R_t$$

$$R_t = 4 R_o$$

اذن نمد خطا عموديا من نفس القيمة للمسامية (ϕ) تساوي (20%) الى الاعلى الى ان نلاقي قيمة $(R_t = 2.0)$ او $(R_t = 4R_o)$ ، عند تقاطع الخط العمودي مع خط المقاومة المساوية (2.0) نرسم خطا مائلا بين هذه النقطة ونقطة الحشو ونمد هذا الخط الى ان يقطع محور المقاومة . وهذا الخط يمثل درجة التشبع في الممكن ويساوي $(S_w = 50\%)$. ترسم خطوط التشبع الاخرى بنفس الطريقة . تفرض هذه الطريقة لاجاد درجات التشبع بالماء في المكان بطريقة التسقيط البياني ان تأثير الهيدروكاربونات في المناطق المختلفة على قياس الكثافة غير موجود . اذا وجدت تأثيرات على القياسات فان الطريقة تكون فقط نوعية للكشف عن هيدروكاربونات .

اذا كانت الطبقة الكمونية ذات صفات ليثولوجية متغيرة فان الطريقة لاتعطي نتائج جيدة ويستحسن استعمال الطريقة التنسية للمقاومة (resistivity ratio method)⁽¹¹⁾ اما اذا كانت هنالك اختلافات كبيرة في قيم (R_w) يستحسن استعمال طريقة التسقيط البياني لقيم (SP) مع قيم (R_{wa}) .

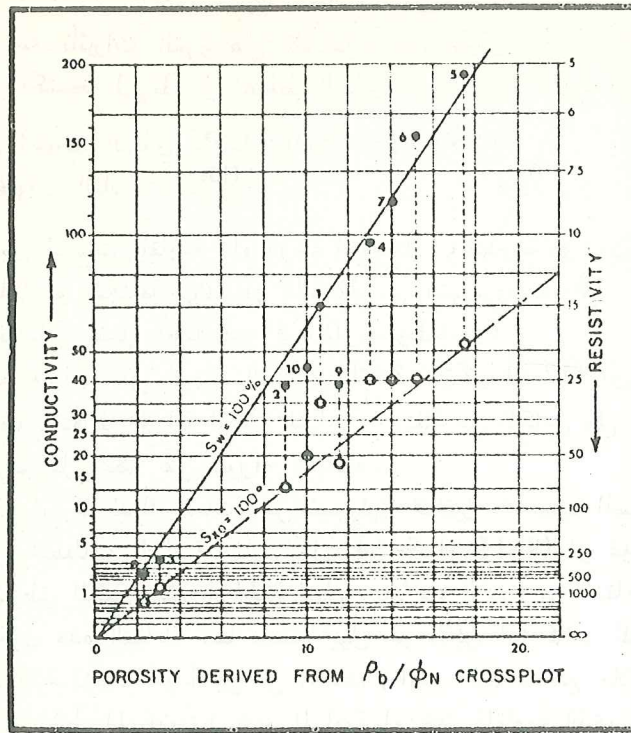
اذن بطريقة التسقيط البياني تمكنا من تحديد المناطق الهيدروكاربونية في الممكن والمناطق المائية والمناطق التي تعتبر انتقالية في الممكن .

لدراسة تأثيرات الغزو على القياسات يستحسن عمل مخطط بياني اخر من قيم المقاومة النوعية للمناطق المكتسحة (R_{xo}) من الطبقات النفاذة مع المسامية .

يمثل شكل (4-12) مخطط بياني لقيم المقاومة النوعية العميقة (R_{LL}) والمقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة من الطبقات او (R_{mLL}) مع المسامية (ϕ) .

قراءات المقاومة مأخوذة من نفس المستويات للطبقات الحاوية على الماء لغرض دراسة تأثير الغزو على القياسات .

المسامية محسوبة من تسجيلات (ρ_b/ϕ_N) خاصة شكل (14-9 او 15-9) . نلاحظ في شكل (4-12) ان النقاط تكون اتجاهين في المخطط محددة بدرجة التشبع



شكل (4-12) غنط بياني لقيم المقاومة النوعية نوع (R_{LL}) و (R_{MLL}) مع السامية (ϕ).
(لشركة شلمبرجر)

اذن هذه النقط لا تمثل طبقات هيدروكربونية او طبقات ذات درجات التشبع بالماء اقل من (100%) ولكنها تعتبر نقاط متأثرة اما بالغزو العميق او هذه النقط مأخوذة من طبقات سمكها قليل وتأثرت القياسات بالطبقات المجاورة . نلاحظ ايضا في الغنط بعض النقط تسقط على الغنط المائي ($S_w = 100\%$) مثال النقط (2, 9, 10) ولكنها تقع قرب الغنط ($S_{xo} = 100\%$).

اذن هذه النقط لا تمثل طبقات هيدروكربونية او طبقات ذات درجات التشبع بالماء اقل من (100%) ولكنها تعتبر نقاط متأثرة اما بالغزو العميق او هذه النقط مأخوذة من طبقات سمكها قليل وتأثرت القياسات بالطبقات المجاورة . نلاحظ ايضا في الغنط بعض النقط تسقط على الغنط المائي ($S_w = 100\%$) مثال (1,4,7) ولكنها تسقط فوق الغنط الذي فيه ($S_{xo} = 100\%$) وهذه النقط قد تأثرت بالغزو الضحل مما جعل قراءات (R_{mLL}) فيها اقل من القيم الحقيقية . اذن

يمكن دراسة تأثيرات الغزو على القياسات عن طريق اضافة المقاومة النوعية للمناطق المكتسحة (R_{xo}) في المخطط البياني .

لعمل المخطط البياني (resistivity-porosity C.P.)
اتبع الخطوات التالية : - (15)

- (1) سجل قياسات المقاومة (او درجة التوصيل) ، السرعة او زمن انتقال الموجة (Δt) او الكثافة (ρ_p) او المسامية من النيوترون (ϕ_N) . تأكد من ان القياسات تشمل اختلافات في المقاومة والمسامية .
- (2) ضع مقياس على الورقة البيانية الخاصة ، شكل (12-1) او (12-2)
- (3) سقط النقاط المختلفة المثلة للمناطق المختلفة من المكامن على الورقة البيانية ورقم كل نقطة على الورقة البيانية .
- اذا توفرت لديك مسامية من تسجيلين مختلفين ، احسب المسامية الصحيحة من مخططات المسامية مثل شكل (14-9 او 15-9) او غيرها .
- (4) المناطق المائية ستقع في الجهة العليا وبالاتجاه الايسر من النقاط في المخطط . تكون هذه النقاط خطا مستقيما يميل نحو اليمين اذا كانت المسامية في محور المسامية تزداد نحو اليمين من المخطط . ارسم خط مستقيم خلال هذه النقاط ومد الخط الى ان يقطع محور المسامية او خط المقاومة الذي يساوي اللانهاية او ($R = \infty$) . نقطة تقاطع هذا الخط مع خط المقاومة اللانهاية تمثل نقطة الحشو (matrix point) لتسجيلات الكثافة او السرعة او مسامية الصفر لتسجيل النيوترون .
- (5) ضع مقياس المسامية لتسجيلات النيوترون او السرعة .
- (6) يتوقف ميل الخط المائي على (R_w) . تحسب قيمة هذا الميل كما في المثال شكل (12-3) .

اذا كانت قيمة (R_w) المحسوبة من هذه الطريقة تساوي قيمة (R_w) من (SP) او من قياسات مختبرية لنماذج مياه الحقول ، انتقل الى الخطوة التالية .

اذا حصل خلاف في قيمة (R_w) المحسوبة من القيمة الحقيقية ، حاول تغيير ميل هذا الخط ، وذلك بحساب (R_o) من قيمة (R_w) الصحيحة والمسامية مفروضة في المخطط البياني ، سقط هذه القيمة على المخطط وارسم خط مستقيم من نقطة الحشو الى هذه النقطة . حرك هذا الخط باتجاه اليمين بدون تغيير ميل الخط الى ان يكون الخط مماس للنقاط الاعلى في المخطط ، يمثل هذا الخط المائي الجديد وبقية جديدة لنقطة الحشو . بعد هذه الخطوة يعدل مقياس المسامية ابتداءً من نقطة الحشو الجديدة .

يمثل شكل (12-5) طريقة تصحيح (R_w) في المخطط البياني .

اذن ستمثل هذه الخطوط درجات التشبع بالماء المختلفة في المكنن حسب سقوط النقاط المختلفة من هذه الخطوط .

(2) طريقة المقاومة النسبية⁽¹³⁾ :

(Resistivity ratio method)

اذا كانت الصفات الصخرية تختلف في المكنن ، يستحسن استعمال هذه الطريقة للتسقيط البياني ، للكشف عن الطبقات الحاوية على هيدروكربونات .
الطريقة النسبية للمقاومة لا تحتاج الى المسامية (ϕ) في التسقيط البياني .
تمثل المعادلة التالية درجة التشبع بالماء بالطريقة النسبية : -

$$S_w = \left(\frac{R_{x0} / R_t}{R_{mf} / R_w} \right)^{5/8} \quad \dots (12-8)$$

يفترض في الطريقة النسبية للمقاومة ، أن ينقسم التكوين الى منطقتين

1 - المنطقة المكتسحة براشح الطين . و :

2 - المنطقة غير المفروزة من التكوين .

هذه المناطق لها نفس المسامية . للتوصل الى معادلة (12-8) نحسب درجة التشبع بالماء في المنطقتين حيث : -

$$\frac{S_w}{S_{x0}} = \frac{\sqrt{FR_w / R_t}}{\sqrt{FR_{mf} / R_{x0}}} \quad \dots (12-9)$$

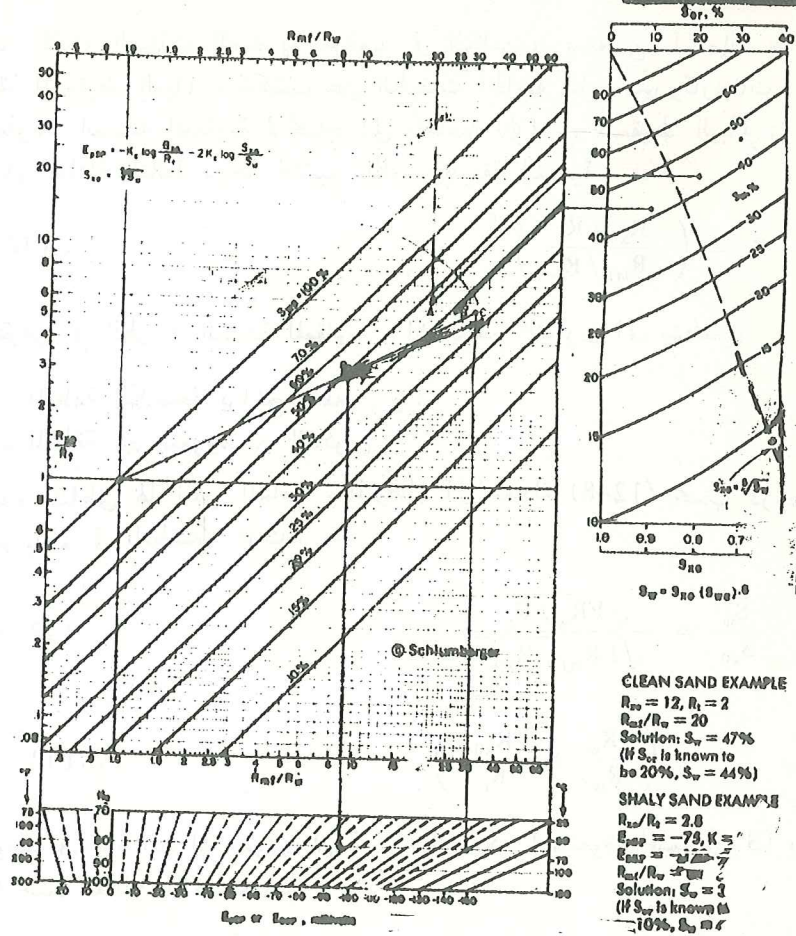
$$= \left(\frac{R_w}{R_{mf}} \times \frac{R_{x0}}{R_t} \right)^{1/2} \quad \dots (12-10)$$

يوجد في هذه المعادلة مجهولان (S_{x0} , S_w) ، يمكن ان نعوض قيمة (S_{x0}) بـ (S_w) حيث هناك علاقة تقريبية : -

$$S_{x0} = S_w^{1/5} \quad \dots (12-11)$$

فتصبح معادلة (12-10) مثل معادلة (12-8) بعد التعويض . لايجاد درجات التشبع بالماء بالطريقة النسبية تستعمل معادلة (12-8) او مخطط بياني شكل (12-7) .

SATURATION DETERMINATION (RATIO METHOD)¹²



شكل (12-7) مخطط بياني لإيجاد درجة التشبع بالماء للمكامن بالطريقة النسبية.
(لشركة شلمبرجر)

مثال : -

طبقة مكنية رملية نقية ، مسحت بتسجيلات المقاومة المتنوعة وتسجيل الجهد الطبيعي (SP) .

البيانات المسجلة : -

$$R_{xo} = 12 \text{ (ohm-m)} \quad R_t = 2.0 \text{ (ohm-m)}$$

$$R_{mf}/R_w = 20$$

المطلوب : - حساب درجة التشبع بالماء لهذه المنطقة من الطبقة المكنية .

الحل :

ندخل المخطط البياني شكل (7-12) بالقيم التالية : -

$$\frac{R_{xo}}{R_t} = 6.0, \quad \frac{R_{mf}}{R_w} = 20 \quad \dots\dots\dots$$

فنحصل على نقطة (A) ونقرأ درجة التشبع بالماء من الخطوط المائلة في المخطط ، وتساوي ($S_w = 48\%$) هذه القيمة محسوبة بافتراض ان نسبة التشبع بالنفط المتبقي في المنطقة المكتسحة تعتبر معدلة ، اما إذا كانت نسبة درجة التشبع بالنفط المتبقي معلومة ، نفرض النسبة تساوي ($S_{or} = 20\%$) ففي هذه الحالة تنتقل في المخطط الى الجزء الايمن لتصحيح قيمة (S_w) فنحصل على درجة التشبع بالماء المساوية : -

$$(S_w = 43\%)$$

يستعمل المخطط البياني (7-12) ايضاً لايجاد درجات التشبع بالماء للمكان غير النقية (الطفلية) .

مثال : -

طبقة مكنية رملية طفلية (Shaly sand reservoir) سجلت امام هذه الطبقة القياسات التالية : -

$$SP = -75 \text{ (mv)}$$

$$R_{xo}/R_t = 2.8$$

$$K = 80$$

$$SSP = -120 \text{ (mv)}$$

نسبة من (SP) تساوي (25) .

المطلوب : حساب درجة التشبع بالماء لهذه المنطقة من الطبقة المكمية .

الحل :

ندخل المخطط البياني شكل (7-12) بالقيم $2.8 =$ و $SP = -75$ ،
نحصل على نقطة (B) . نرسم خطاً مستقيماً من نقطة الارتكاز الى نقطة (B) ونمد
هذا الخط الى ان يقطع الخط الشاقولي المرسوم من قيمة $(SSP = -120)$ ونحصل
على نقطة (C) . نرسم خطاً افقياً من نقطة (C) الى ان يقطع الخط المرسوم من
 $25 =$ ونحصل على نقطة (C) . درجة التشبع بالماء عند هذه النقطة تساوي
 $(S_w = 38\%)$.

إذا كانت قيمة (S_{xo}) او (S_{or}) معلومة ولنفرض أنها تساوي $(S_{or} = 10\%)$ ،
فإن قيمة (S_w) تصبح :

$$S_w = 40\%$$

نستعمل معادلة (8-12) في التسقيط البياني للكشف عن هيدروكربونات ولكن
بشكل آخر . تكون النسبة (R_{xo}/R_t) قصوى وتساوي (R_{mf}/R_w) في المناطق
الحاوية على الماء من الطبقات المكمية . تدل قيم (R_{xo}/R_t) اقل من القصوى على
وجود هيدروكربونات أو طبقات غير مغزوة .

إذا قمنا بتسقيط قيم (R_{xo}) مع (R_t) على ورقة بيانية لوغزمية فإننا نستطيع
تحديد المناطق الهيدروكربونية من المناطق المائية في المكامن . او يمكن تسجيل
المقاومة النوعية (R_{MLL}) و (R_{IL}) أو (R_{LL}) على مقياس لوغزتي في نفس
المسار ، نلاحظ في هذا النوع من التسجيل إذا تطابقت قيم (R_{MLL}) مع (R_{IL})
في المناطق المعنية من الطبقات المكمية ، فيدل هذا على احتمال وجود طبقات
مائية ، وإذا اختلفت قيم (R_{MLL}) و (R_{IL}) اي إذا كانت (R_{MLL}) اقل من
 (R_{IL}) ، فهذا دليل احتمال وجود هيدروكربونات ، لكن هناك بعض الحالات
الخاصة التي يجب ان تتأكد من القياسات قبل الوصول الى النتائج :

- (1) إذا كانت قراءات (R_{xo}) أو (R_{MLL}) المسجلة فيها خطأ بسبب حدوث
تكهفات في بعض الاعماق من البئر او اذا كان سمك القشرة الطينية كبيراً .
- (2) وجود طبقات غير نفاذة او قليلة النفاذية بحيث $R_{MLL} = R_{IL}$ وقد تكون
حاوية على هيدروكربونات .

كيفية عمل المخطط البياني للمقاومة النسبية (R_{MLL}) مع (R_{IL})⁽¹¹⁾ :

لعمل المخطط البياني ، يمكن ان نستعمل قيم المقاومة المختلفة من التسجيل بدون تصحيح ، اذا لم تكن هنالك اخطاء في التسجيل بسبب الغزو او اختلاف سمك الطبقات . نستعمل ورقة بيانية لوغزمية ، شكل (8-12) لهذا الغرض . يفضل ان يكون محور السينات (الافقي) للمقاومة (R_{IL}) ان يتألف من ثلاثة دورات .

يمثل شكل (9-12) طريقة التسقيط البياني لمناطق مختلفة من المكن . نرسم خطا مستقيما بدرجة (45) من اعلى النقاط باتجاه الشمال الشرقي من الورقة . سيمثل هذا الخط درجة التشبع ($S_w = 100\%$) اذا كانت في المناطق المسوحة طبقات مائية . عند هذا الخط تعتبر قيمة (R_{xo}/R_t) قصوى وتساوي (R_{mf}/R_w) ، في هذا المثال النسبة تساوي (2.85) ، اذن ($R_{mf}/R_w = 2.85$) فاذا كانت (R_{mf}) معلومة ، نستطيع حساب قيمة (R_w) . لرسم خطوط التشبع بالطريقة النسبية ، حيث : -

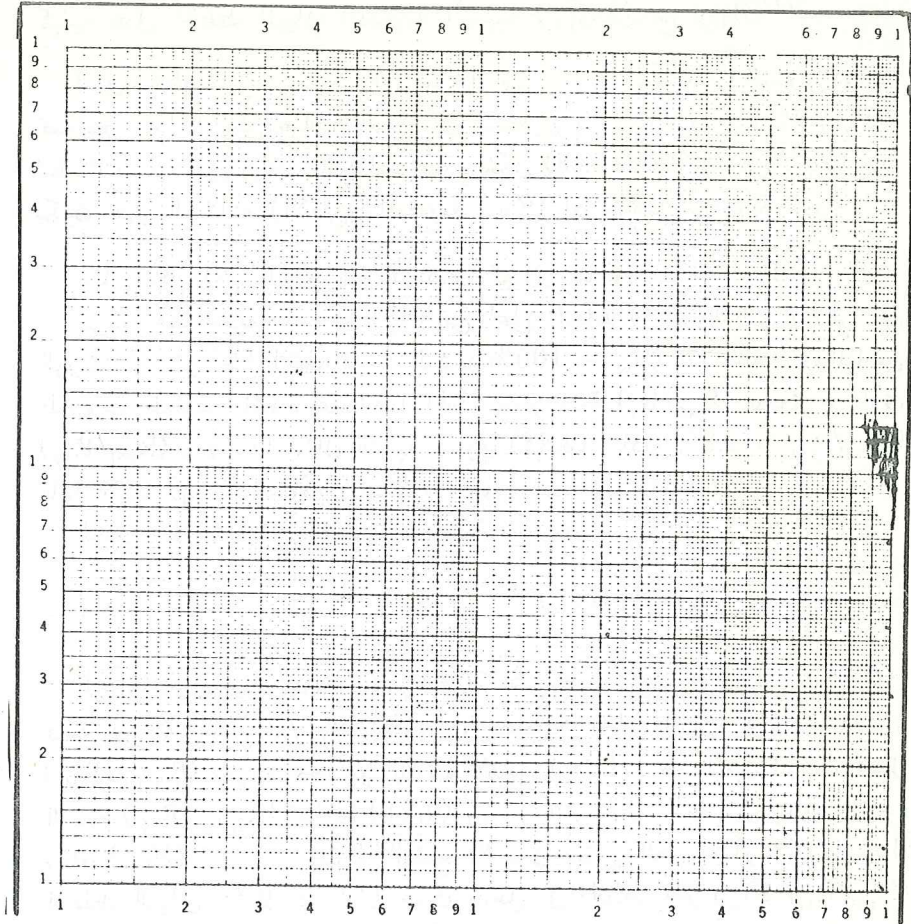
$$(R_{xo}/R_t) = (R_{mf}/R_w) (S_w)^{1.6} \quad \dots (11-12)$$

لو اردنا أن نرسم خط التشبع ($S_w = 20\%$) ، نعوض في المعادلة (11-12) قيمة (S_w) و (R_{mf}/R_w) محسوبة ، نستطيع ايجاد النسبة (R_{xo}/R_t) او (R_{MLL}/R_{IL}) ، نرسم خطا موازيا لخط التشبع (100%) نحو اليمين الى أن نحصل النسبة (R_{MLL}/R_{IL}) تساوي (0.21) ونرسم هذا الخط الذي يمثل درجة التشبع بالماء (20%) . ونرسم خطوط التشبع الاخرى بنفس الطريقة أو ممكن استعمال المخطط البياني ، شكل (7-12) حيث تدخل في المخطط بقيم (S_w) (R_{mf}/R_w) ونحصل من المخطط النسبة (R_{xo}/R_t) وهذه النسبة نرسم الخط التشبع المعين في الورقة البيانية .

اذن نستطيع بهذه الطريقة تحديد المناطق المائية والهيدروكاربونية من المكامن .

تعتبر قيمة (R_w) ثابتة بطريقة المخطط البياني للمقاومة النسبية وبطريقة المخطط البياني للمقاومة (R) والمسامية (ϕ) . في بعض الحقول البترولية ، نجد أن قيمة (R_w) تتغير بشكل فجائي مع العمق . توجد امثلة حقلية في حقول نيجيريا والجزائر وغيرها من الحقول البترولية .

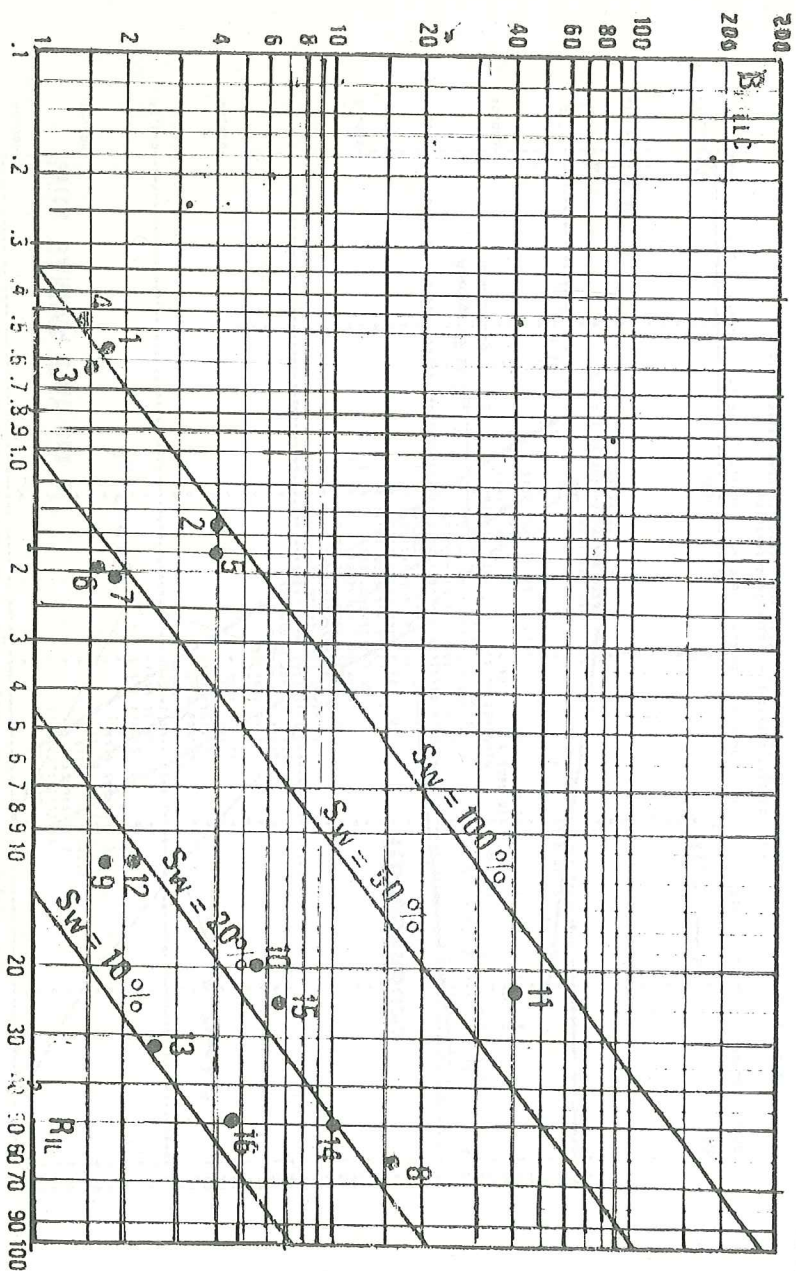
تستعمل طرق معينة للكشف عن هيدروكاربونات في هذه الحالات الصعبة ، تذكر من هذه الطرق ، طريقة التسقيط البياني لقيم (SP) مع (R_{wa}) والتسقيط البياني لقيم (SP) مع (R_{xo}/R_t) .



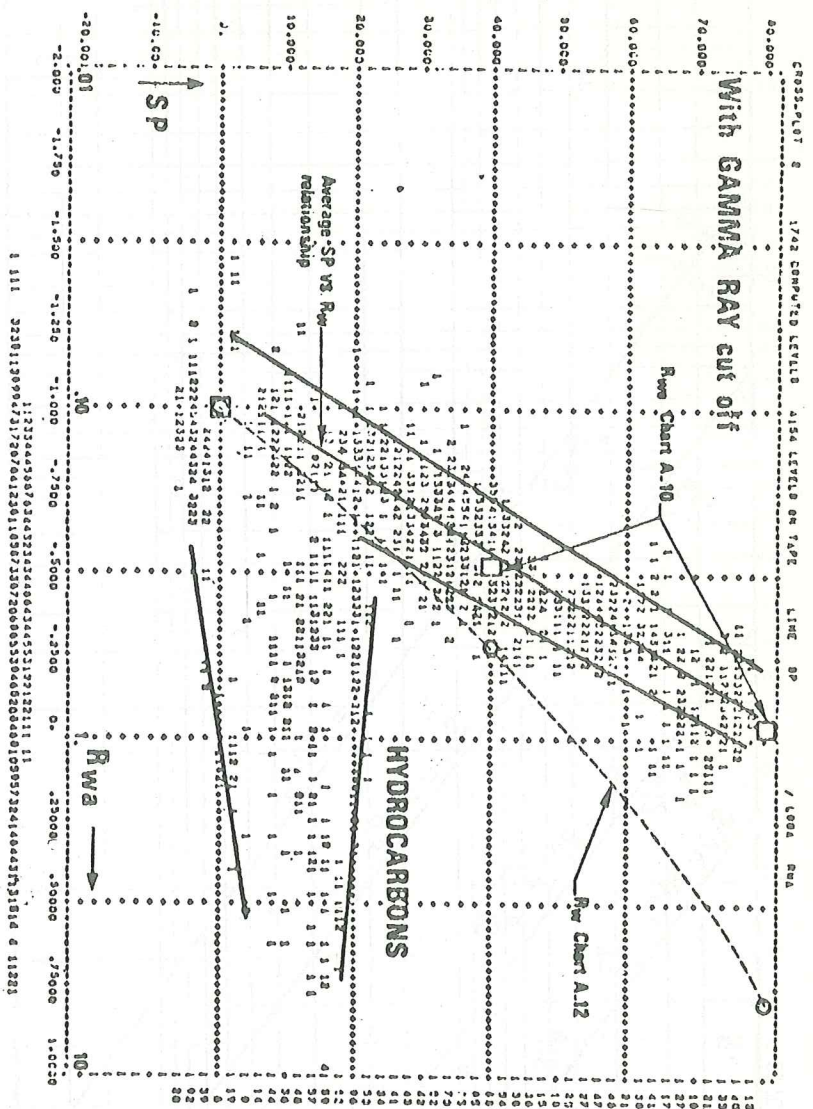
شكل (12-8) ورقة بيانية لوغزمية لعمل المخطط البياني بالطريقة النسبية للمقاومة.

يمثل شكل (12-10) و (12-11) مخططات بيانية عن طريق الحاسبة الالكترونية (computer). نرى في شكل (12-10) المناطق المائية ممثلة بخطوط مستقيمة متوازية، أما المناطق الهيدروكاربونية فإنها تقع في مواقع لا تتفق العلاقة بين (SP) و (R_{wa}).

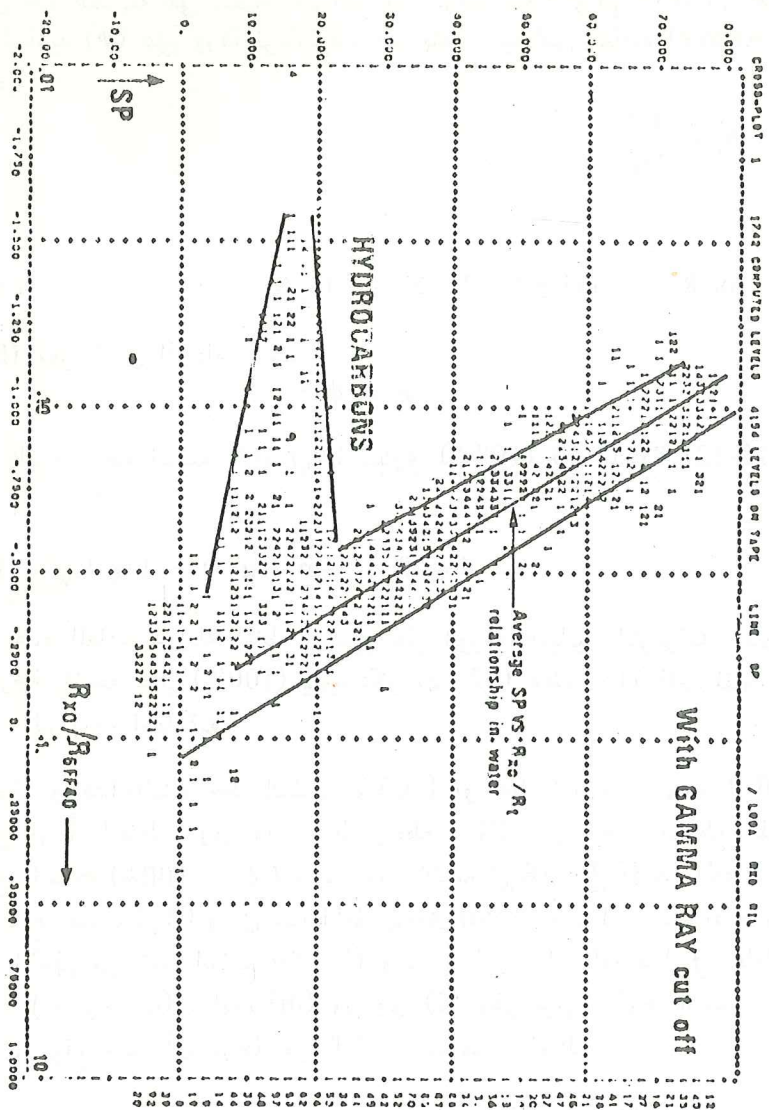
يبين شكل (12-11) المناطق المائية محصورة بين الخطوط المتوازية والمناطق الهيدروكاربونية التي لا تتفق مع معادلة (SP) و (R_{xo}/R_t) وهذه المنطقة تقع في القسم الجنوبي الغربي من المخطط البياني.



شكل (9-12) مثال حقل محط مائي بالطريقة النسبية للمقايمة .



شكل (12-10) مثال حقل نقطه بياني قيم (SP) مع (Rwa) عن طريق الكمبيوتر.
(الشركة شلمجر)



شكل (12-11) مثال حقل غطط بياني لقيم (SP) مع R_{FF40} / R_{xo} عن طريق الكمبيوتر.
(الشركة شلمبرجر)

(3) طريقة التسقيط البياني لقيم لوغاريتم المقاومة والمسامية
(15) (Log-log resistivity-porosity crossplot)

تشمل هذه الطريقة على تسقيط قيم المقاومة النوعية (R_p) او (R_{LL}) او (R_{IL}) مع قيم المسامية (ϕ) على ورقة لوغاريتمية . الطريقة مبنية على معادلة (Archie) المحولة حيث :

$$R_t = \frac{FR_w}{S_w^n}$$

$$\log R_t = -m \log \phi + \log R_w - n \log S_w \quad \dots (12-12)$$

قيمة (F) معوضة في المعادلة حيث :

$$F = \phi^{-m}$$

إذا كانت درجة التشبع بالماء (S_w) تساوي (100%) فإن المعادلة (12-12) تصبح :

$$\log R_t = -m \log \phi + \log R_w \quad \dots (12-13)$$

تمثل هذه المعادلة معادلة الخط المستقيم على الورقة البيانية اللوغاريتمية الذي تساوي درجة تشبعه بالماء (100%) يمثل شكل (12-12) مخطط بياني لقيم المقاومة والمسامية على ورقة لوغاريتمية .

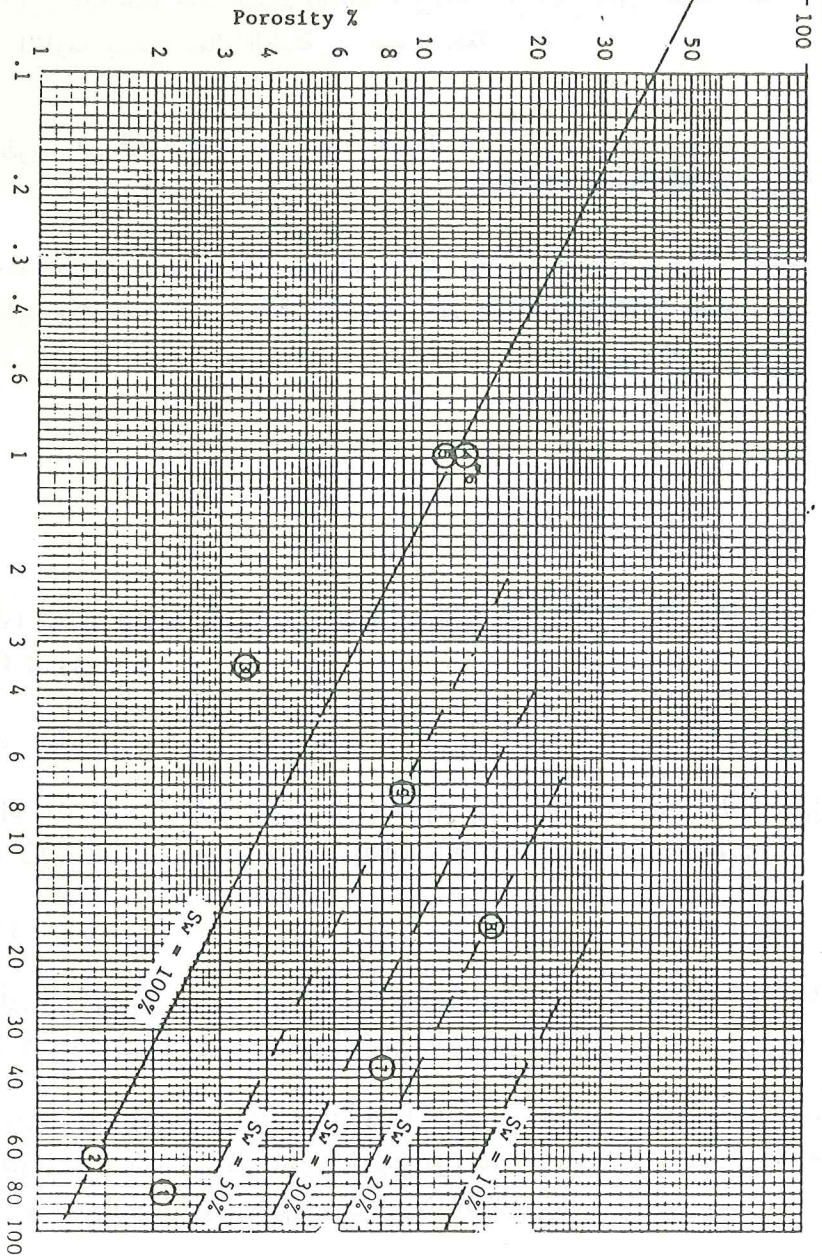
نلاحظ في هذا المثال خط التشبع (100%) او خط المقاومة النوعية (R_o) يرسم من اوطأ النقاط ، ويمر هذا الخط بنقطة (R_w) التي تتحدد بتقاطع هذا الخط مع المسامية ($\phi = 100\%$) ، عند هذه القيمة ($R_p = R_w$) من المخطط . اذن نستطيع حساب (R_w) وميل هذا الخط يساوي ($-m$) . خطوط التشبع الأخرى تقع نحو الأعلى من خط التشبع (100%) وبنفس الميل ، اذا افترضنا في معادلة (12-12) إن قيمة (n) تساوي (m) وتساوي (2) وهو ميل خطوط التشبع . لايجاد موقع خط أي درجة من التشبع ، نستعمل المعادلة :

$$R_t = \frac{R_o}{S_w^2}$$

تساوي قيمة (R_o) اذا كانت المسامية المفروضة (12%) - (1.0) اوم -م من المخطط . اذا اردنا أن نرسم خط التشبع (50%) فإن R_t تساوي ($4R_o$) من

شكل (12-12) مثال حثلي بخطوط بياني لقيم المقاومة والمسامية على ورقة لوفريتي.

Resistivity (ohm m) .



المعادلة ، فمن قيمة المسامية (12%) نمد خط افقي الى أن نصل عند قيمة $(4R_o)$ عند هذه النقطة نرسم خط مستقيم بنفس الميل موازي الى خط التشبع (100%) . وهكذا نرسم بقية خطوط التشبع . نلاحظ في شكل (12-12) نقطة رقم (3) ساقطة تحت خط التشبع (100%) والسبب في ذلك يمكن حدوث خطأ في قياس المقاومة بسبب سمك الطبقة في هذه المنطقة .

(4) طريقة (R_{wa}) للكشف عن هيدروكربونات: (15) (R_{wa} comparison method)

هذه الطريقة تستعمل بكثرة عند فسح الآبار بمختلف التسجيلات وذلك للكشف عن الهيدروكربونات بسرعة الطريقة مبنية على طريقة (Archie) حيث : -

$$S_w^2 = \frac{(F)(R_w)}{R_t}$$

$$R_w = \frac{(S_w^2)(R_t)}{F}$$

إذا كانت المنطقة المعينة من الطبقات مائية فإن $(S_w = 100\%)$ وقيمة (R_w) تساوي : -

$$R_w = \frac{R_t}{F} \quad \dots (12-14)$$

أما إذا كانت المنطقة تحتوي على هيدروكربونات فإن المسامية او (F) تبقى ثابتة لكن المقاومة ستزيد ، فتصبح المعادلة (12-14) كما بالشكل التالي : -

$$R_{wa} = \frac{R_t}{F} \quad \dots (12-15)$$

أي أن المقاومة النوعية لماء التكوين ستكون غير حقيقية او ظاهرية لان قيمة (R_t) لاتساوي (R_o) حيث درجة التشبع اقل من (100%) .

عند حساب (R_{wa}) لمناطق مختلفة داخل البئر من الطبقات المكمية فإن قيمة (R_{wa}) ستكون الدنيا ، اذا كانت الطبقة حاوية على الماء وستكون قيمة $(R_{wa}) = R_w$ في هذه المنطقة . ونستطيع حساب (S_{wa}) أيضا من هذه الطريقة حيث : -

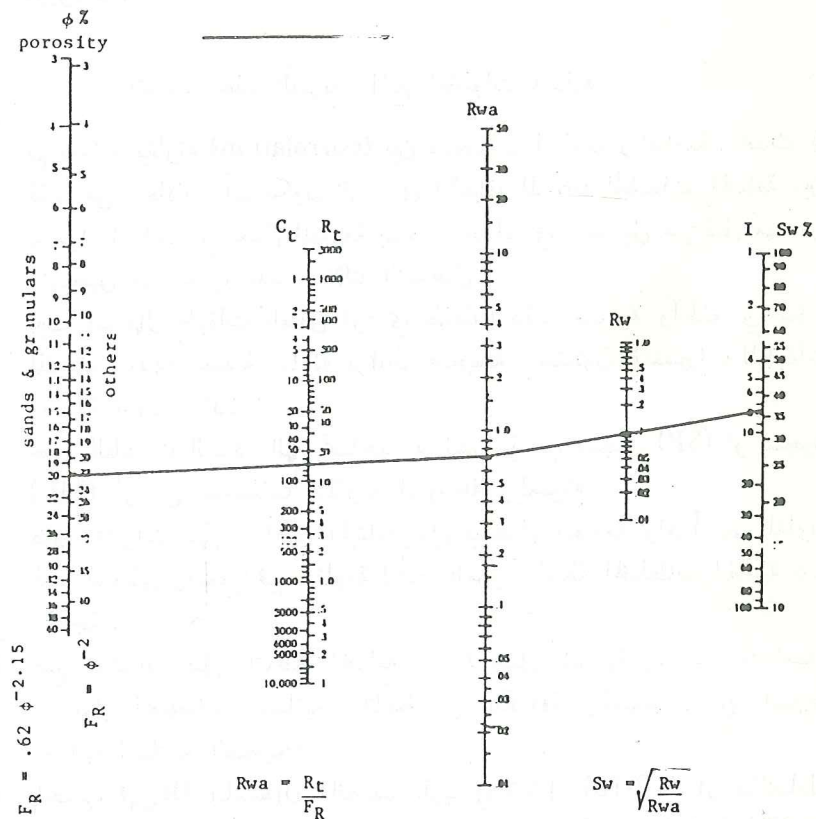
$$S_{wa} = \sqrt{\frac{R_w}{R_{wa}}} \quad \dots (12 - 16)$$

إن جميع المناطق التي قيمة (R_{wa}) فيها اكبر من ($3R_w$) يحتمل أن تكون فيها هيدروكربونات .

لتطبيق هذه الطريقة اتبع الخطوات التالية : -

- (1) قم بعملية مقارنة (correlation) بين تسجيلات المقاومة والمسامية . تحدث في كثير من الحالات أن يكون فرق في الاعماق المسجلة للطبقات المختلفة بين تسجيل المسامية وتسجيل المقاومة بسبب اخطاء في التسجيل من قبل مهندس التسجيل او بسبب تمدد اسلاك التسجيل .
يجب استعمال طبقات الطفل او أي طبقات ذات مسامية واطئة في عملية المقارنة . بدون عملية مقارنة ترابط صحيحة ، ستكون التفسيرات للطبقات المختلفة بدون فائدة .
- (2) حدد الطبقات النفاذة التي تحتاجها في الدراسة من تسجيل (SP) او تسجيل (ML) او من تسجيلات المقاومة المتوسطة والعميقة .
- (3) ضع مؤشرات على المناطق المختلفة على تسجيل المقاومة وقرأ قيم المقاومة لهذه المناطق وصحح قيم المقاومة لتأثير الغزو بواسطة المخططات الخاصة عند الحاجة .
- (4) ضع مؤشرات على المناطق المختلفة على تسجيل المسامية واحسب المسامية . استعمال المخططات البيانية الخاصة من الكثافة والنيوترون او السرعة لحساب المسامية الصحيحة .
- (5) احسب (R_{wa}) باستعمال المخطط البياني شكل (12-13) او بالمعادلة (12-15) ، يجب استعمال العلاقة الصحيحة عند تحويل المسامية (ϕ) الى (F) .
- (6) ان اقل قيمة من (R_{wa}) يحتمل أن تكون (R_w) اذا كانت في المنطقة طبقة مائية . واذا كانت البيانات المسجلة صحيحة .
- (7) يجب التأكد من القيمة الدنيا لـ (R_{wa}) بانها (R_w) وذلك عن طريق المقارنة مع نموذج حقلي لماء التكوين او من قيمة (R_w) المحسوبة من (SP) .
- (8) المناطق التي فيها قيمة R_{wa} اكبر او تساوي $3R_w$ تعتبر مناطق يحتمل ان تكون محملة بالهيدروكربونات . هذه العلاقة صحيحة اذا كانت الطبقات نقية والتسجيلات غير متأثرة بالغزو او السمك . واذا لم تكن في الحقل تغييرات سريعة في قيمة (R_w) واذا كانت في المنطقة طبقة مائية .

Rwa and Sw Chart



Example: Porosity is 20% in a sandstone. R_t is 15. These give you an R_{wa} of 0.72. If R_w is .095 then $S_w = 36\%$

شكل (12-13) مخطط بياني لحساب (R_{wa}) ودرجة التشبع بالماء (S_w).

يمثل شكل (12-14) تسجيل حقلي نوع (ISF / sonic) ، ويشمل على حساب (R_{wa}) للمناطق المختلفة في احدى الآبار البترولية .

تعتبر طريقة (R_{wa}) مفيدة في اختيار المناطق الهيدروكربونية وإيجاد قيمة (R_w) اذا توفرت الشروط التالية : -

- (1) يجب ان يكون الغزو ضئيلا
- (2) يجب ان تحتوي المناطق المطلوب دراستها على عدد كبير من المناطق النفاذة .
- (3) يجب ان تكون (R_w) ثابتة او تتغير بشكل منتظم في المناطق المدروسة .
- (4) يجب ان تكون الصفات او الخصائص الصخرية (lithology) والطفلية ، ثابتة فوق المناطق المدروسة .

اذا استعمل تسجيل السرعة في حساب المسامية في الطبقات المكمية الطفلية فان (R_{wa}) في المناطق المائية تكون اكبر من (R_w) . واذا استعمل تسجيل الكثافة فان النتائج ايضا تكون غير معتمدة في هذه الطبقات .

يمكن استعمال المخطط البياني شكل (12-15) لحساب (R_{wa}) من تسجيلات السرعة والمقاومة . يجب تجزئة تسجيل السرعة والمقاومة ، الى مقاطع ذات صفات صخرية (lithology) ثابتة ونسبة ثابتة للطفلية و (R_w) .

سجل بيانات السرعة والمقاومة في جدول واحسب قيم (R_{wa}) من المخطط شكل (12-15) .

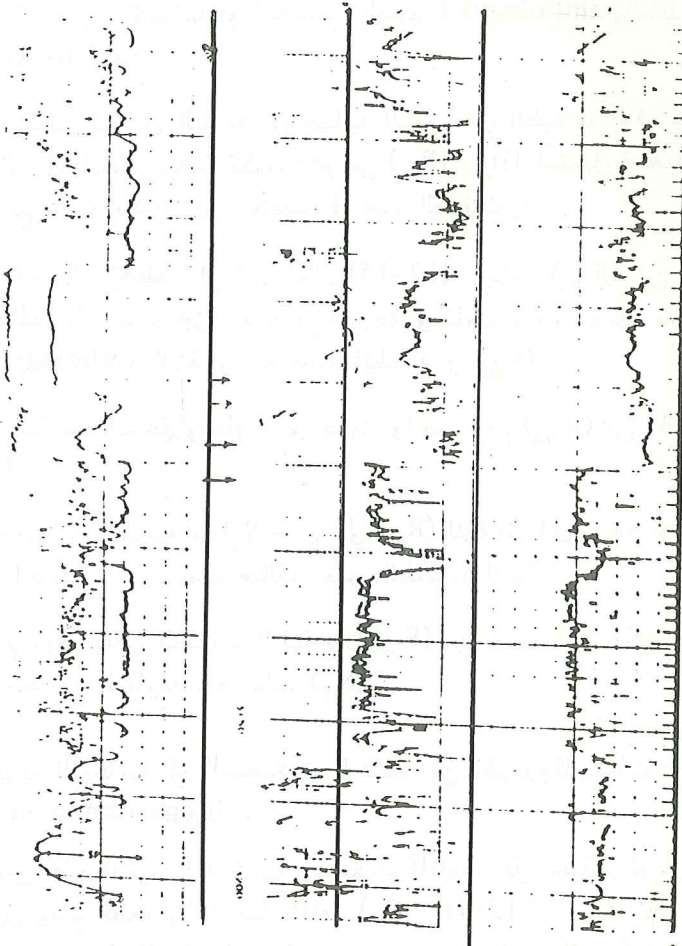
من خصائص الطريقة بانها لا تحتاج الى (R_w) للوصول الى درجة التشبع (S_w) للمناطق المختلفة ، اذا كانت هنالك بعض الطبقات المائية .

اذا لم تتوفر بعض الطبقات المائية فان (R_w) من مصدر اخر ممكن ان يستعمل في هذه الطريقة للمقاومة ، وحساب (S_w) .

(5) الطرق اللوغارتمية في التسجيلات للكشف عن الهيدروكربونات : (Logarithmic overlays)

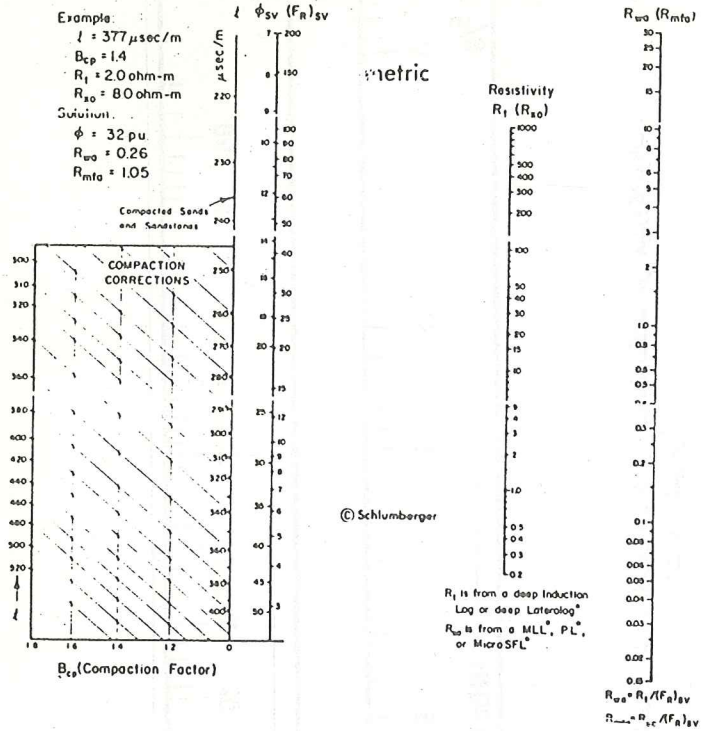
تستعمل هذه الطرق اذا كانت تسجيلات المقاومة على مقياس لوغاريتمي وذلك عن طريق وضع قطعة بلاستيكية شفافة (شكل 12-16) على التسجيل وحساب درجة التشبع (S_w) بالمناطق المختلفة . تحتوي هذه المساطر البلاستيكية على مقياس لوغاريتمي من ثلاثة الى خمسة دورات . وقسم منها تمثل معادلة المقاومة النسبية ذات اس واحد واخرى ذات اس (5/8) .

SPONTANEOUS POTENTIAL mV	SH420C	RESISTIVITY OHMS CM	INTERVAL TRANSIT TIME MICROSECONDS PER FOOT
20 10 0		DEEP INDUCTION 10 100 1000	TTI 10 100 1000
		FOCUSED RESISTIVITY (SFL) 10 100 1000	ΔT 10 100 1000
0VVA	5		



شكل (12-14) مثال حقلي لتسجيل المقاومة نوع (ISF) مع تسجيل السرعة و (SP) وحسابات (R_{wa}).
(لشركة شلمبرجر)

R_{wa} and R_{mfa} COMPARISON METHODS: FOR UNCONSOLIDATED SANDS¹³ CLEAN FORMATIONS

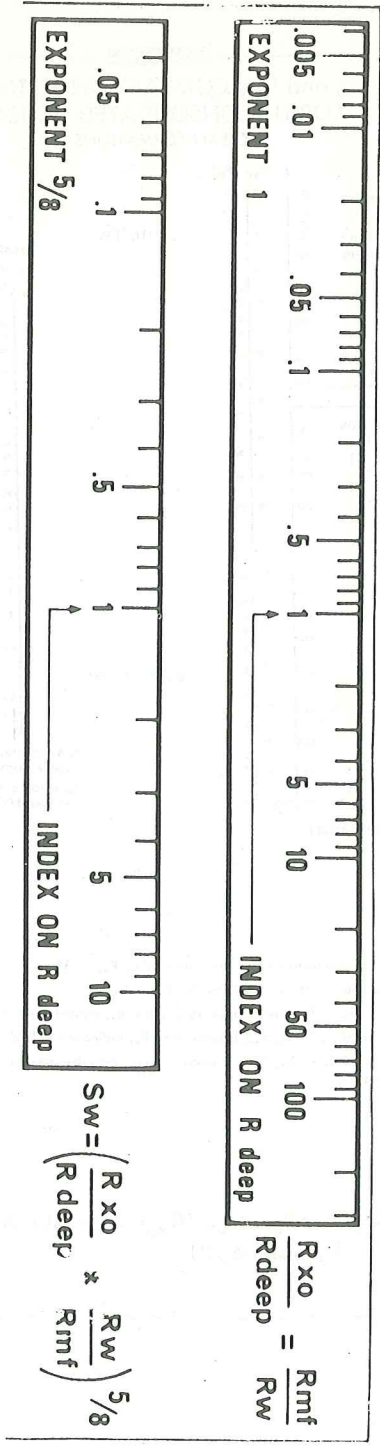


Under normal conditions productive zones are indicated by $R_{wa} \geq 3R_s$.

Use R_{mfa} to check abnormal invasion conditions. For $R_s < R_{mfa}$:

1. If $R_{wa} = R_{mfa} = R_s$, R_{mfa} invasion is very shallow. R_{wa} indications are probably OK.
2. If $R_{wa} \geq 3R_s$ and $R_{mfa} > R_{wa}$, R_{mfa} is confirming R_{wa} indication of hydrocarbons.
3. If $R_{wa} = R_{mfa}$ and $R_s < R_{wa} \leq R_{mfa}$, deep invasion may be present. Investigate favorable R_{wa} indications further.

شكل (12-15) مخطط بياني لحساب (R_{wa}) من تسجيلات السرعة والمقاومة النوعية.
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-16) مقياس لوغاريتمي خاص للاستعمال بالطريقة السريعة للكشف عن هيدروكربونات .
(الشركة شلمبرجر)

تعتبر هذه المساطر البلاستيكية الات حاسبة بسيطة تستعمل في الحقل . هنالك طرق مختلفة منها : -

- (1) طريقة لوغارتم (R_{deep}) - لوغارتم (F) .
- (2) طريقة لو (R_o) - لو (R_{deep}) .
- (3) طريقة لو (R_{deep}) - لو (R_{ml}) .
- (4) طريقة لو (F_{deep}) - لو (F_{xo}) - لو (F_{D-N}) .

(1) طريقة لوغارتم (R_{deep}) ، لوغارتم (F) (13)

تستعمل هذه الطريقة اذا كان تسجيل المقاومة العميقة (R_{IL}) او (R_{IL}) على مقياس لوغارتمي مع تسجيل (F) على نفس المقياس . نستعمل المقياس اللوغارتمي البلاستيكي الشفاف الذي يحتوي على ثلاثة دورات ، نجعل لـ (1) هو الدليل . نضع الدليل فوق تسجيل (F_s) وهنا الرمز (s) يقصد به معامل المقاومة المحسوب من تسجيل السرعة ، ونقرأ تقاطع المقياس مع تسجيل المقاومة العميقة .

قيمة التقاطع على المقياس تمثل قيمة (R_{wa}) ، حيث : -

$$\log (R_{wa}) = \log (R_{deep}) (\log F) \dots (12-17)$$

يعني الاس (1) على المقياس ان مقياس اللوغارتمي على القطعة الشفافة مشابهة الى مقياس اللوغارتمي لتسجيل (F) والمقاومة .

يبين شكل (12-17) مثال حقيقي لحساب (R_{wa}) بالطريقة السريعة ، في القسم العلوي من التسجيل نجد ان قيمة $(R_{wa} = 2.2)$ وفي القسم السفلي تساوي $(R_{wa} = 0.027)$.

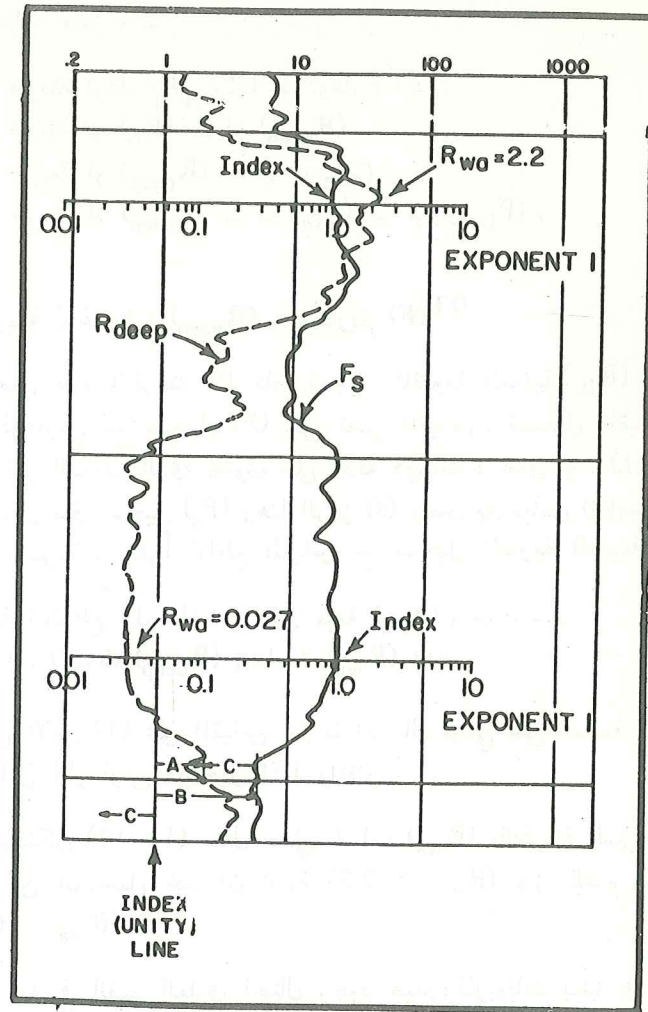
اي انه في القسم العلوي احتمال وجود هيدروكربونات بينما في القسم السفلي لا توجد هيدروكربونات .

(2) طريقة لوغارتم (R_o) - لوغارتم (R_{deep}) (13)

تحسب (R_o) من العلاقة المعروفة $R_o = F(R_w)$. لوغارتم R_o تساوي

$$\log(R_o) = \log(F) + \log (R_w) \dots (12-18)$$

تحسب درجة التشبع بالماء الظاهرية (S_{wa}) من مقدار الانفصال بين لوغارتم (R_o) ولوغارتم (R_{deep}) ، حيث : -



شكل (12-17) مثال لحساب (R_{wa}) بالطريقة السريعة.
(لشركة شلميرجر) ...

$$S_w^2 = R_0 / R_{deep}$$

$$2 \log S_w = \log R_0 - \log R_{deep} \quad \dots (12-19)$$

اذن مقدار الانفصال بين تسجيل R_0 و R_{deep} على المقياس اللوغرتمي سوف يكون ضعف لو. (S_w).

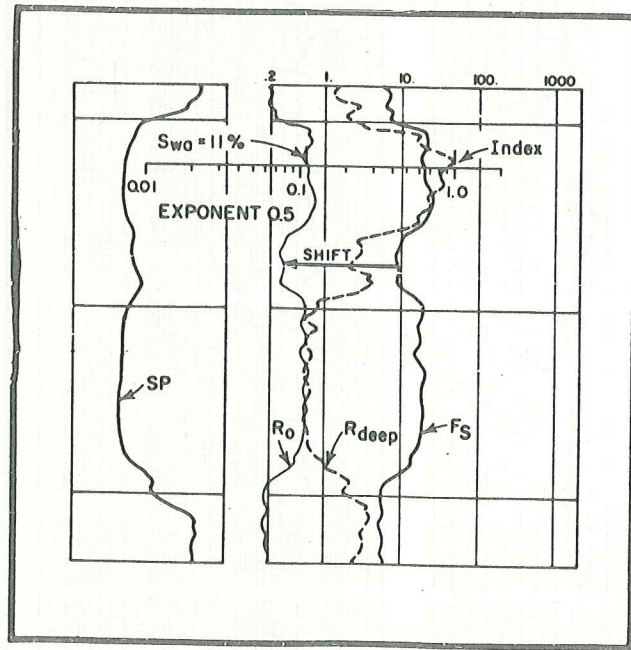
نستعمل مسطرة بلاستيكية شفافة ذات مقياس لوغريتمي والاس المستعمل (0.5). أي ان الانفصال في التسجيل هو ضعف المسافة على المقياس. نضع المسطرة البلاستيكية بحيث يقع الدليل على (R_{deep}) ونقرأ تقاطع (R_o) مع المقياس وهو يمثل درجة التشبع الظاهرية (S_{wa}) بهذه الطريقة.

يبين مثال (12-18) حساب (S_{wa}) بالطريقة السريعة حيث نجد ($11\% = S_{wa}$). لو وضعنا المقياس في المنطقة التي يتطابق التسجيلان فان قيمة (S_{wa}) تساوي (100%) أي ان المنطقة حاوية على الماء.

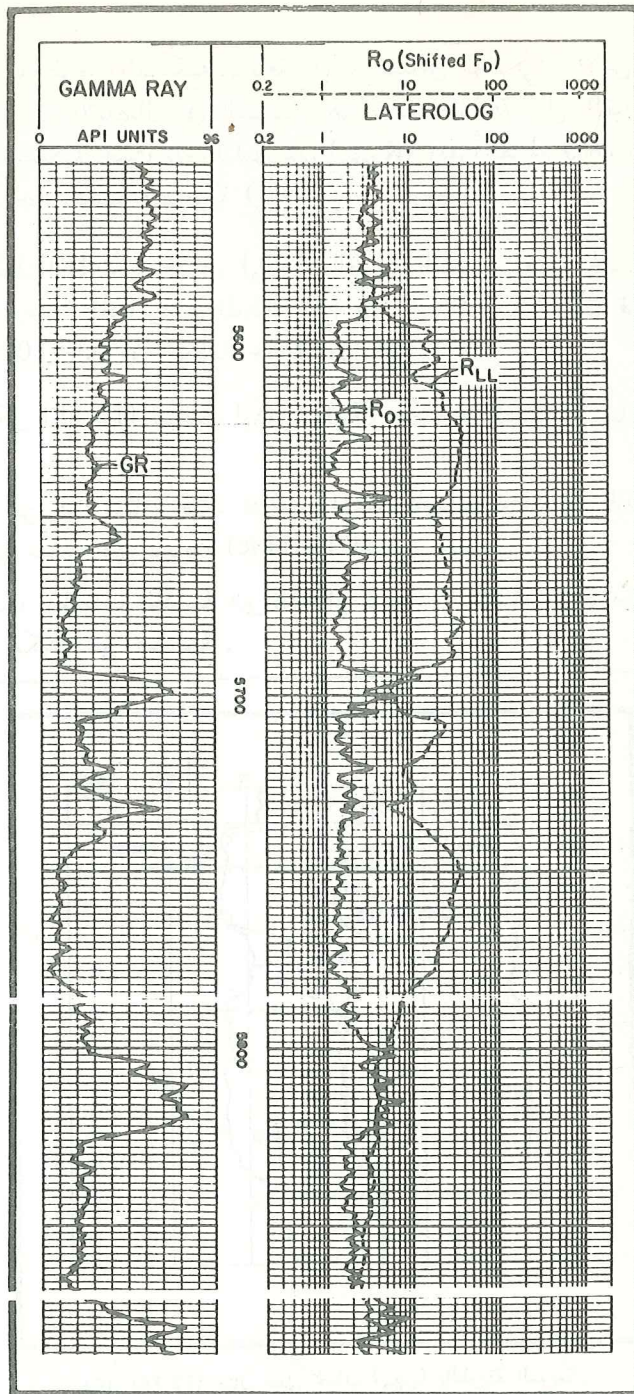
يمثل شكل (12-19) تسجيل لوغاريتم (R_o) ولوغاريتم (LL) امام الطبقات النفاذة.

نستطيع من هذا المثال تحديد المناطق الهيدروكاربونية والمناطق المائية. طبعا هذه الطريقة مبنية على معادلة (Archie) للتشبع بالماء.

إذا كانت الطبقات المكمنية غير نقية او كلسية ذات مسامية غير متجانسة فان النتائج قد تكون غير صحيحة.



شكل (12-18) مثال حقيقي لحساب (S_{wa}) بالطريقة السريعة.
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-19) مثال حقيقي (R_0) و (R_{LL}) على مقياس لوغاريتمي لحساب (S_{wa}) بالطريقة السريعة.
(لشركة شلمبرجر)

(3) طريقة لوغاريتم (R_{deep}) لوغاريتم (R_{mLL}) (13) :

هذه الطريقة مبنية على إيجاد درجة التشبع بالماء (S_w) بالطريقة النسبية للمقاومة . درجة التشبع (S_w) تساوي : -

$$S_w = \left(\frac{R_{x0}}{R_t} \times \frac{R_w}{R_{mf}} \right)^{5/8}$$

$$\log S_w = \frac{5}{8} (\log R_{x0} - \log R_t) + (\log R_w - \log R_{mf}) \dots (12-20)$$

اذن تعتمد درجة التشبع (S_w) على مقدار الانفصال بين (R_{x0}) و (R_t) و (R_w) و (R_{mf}) على التسجيل . في المناطق المائية النسبة : -

$$R_{x0}/R_t = R_{mf}/R_w$$

او $R_w/R_{mf} = R_t/R_{x0}$ ، اي من الممكن الحصول على النسبة (R_w/R_{mf}) وذلك بتعويض النسبة (R_t/R_{x0}) في المناطق المائية .

يمثل شكل (12-20) تسجيلين للمقاومة على مقياس لوغرتمي امام طبقات مكمنية .

لايجاد (S_w) ، نضع المقياس الشفاف الذي أسه ($\frac{5}{8}$) في المنطقة المائية بحيث يقع الدليل على تسجيل المقاومة (R_{mLL}) ونضع دليل جديد في منطقة تقاطع المقياس مع تسجيل المقاومة (R_{IL}) . نأخذ المقياس في اي منطقة مطلوب فيها حساب (S_w) . نضع الدليل الجديد للمقياس فوق تسجيل المقاومة (R_{IL}) ونقرأ تقاطع المقياس مع تسجيل المقاومة (R_{mLL}) وتمثل هذه القيمة درجة التشبع بالماء (S_w) .

لايجاد (R_w) نضع مقياس اللوغارتي الذي اسه (1.0) فوق المنطقة التي فيها النسبة (R_{x0}/R_t) اعلى قيمة او في اي منطقة مائية بحيث يقع دليل المقياس على تسجيل المقاومة العميقة (R_{LL}) ونقرأ تقاطع المقياس مع تسجيل المقاومة (R_{mLL}) ويمثل هذا التقاطع قيمة (R_{mf}/R_w) او (R_{x0}/R_w) وفي المثال تساوي (1.8) ، فاذا كانت قيمة (R_{mf}) معلومة فان قيمة (R_w) يمكن ان تحسب . هذه الطريقة سريعة لاختيار المناطق التي من المحتمل ان تكون حاوية على مناطق بترولية .

يجب التأكد من هذه النتائج وذلك باجراء حسابات دقيقة ومفصلة . اخطاء كثيرة يمكن ان تنتج وخاصة اذا كان الغزو في الطبقات النفاذة ضحلاً جداً او

عميقاً جداً ، وكذلك لاتدخل المسامية في الحسابات ولكنها تؤثر في بعض المكامن حيث انواع معينة من المسامية تكون مشبعة بالماء والاخرى مشبعة بالهيدروكربون لنفس الطبقة . كذلك تأثير الطفلية مهمل في حسابات التشبع بهذه الطرق السريعة . وايضا العلاقة بين (S_{x0}) و (S_w) معتبرة صحيحة في كل الحالات عند التعويض في المعادلة .

يمكن اهمال النسبة (R_{mf}/R_w) في حسابات التشبع بهذه الطريقة السريعة . اذا كان تسجيل المقاومة العميقة مفصولا عن تسجيل المقاومة الضحلة (R_{MLL}) ، في هذه الحالة نضع تسجيل المقاومة (R_{IL}) فوق تسجيل المقاومة (R_{MLL}) بحيث تنطبق التسجيلات فوق المناطق المائية . في هذه الحالة ($\frac{R_{x0}}{R_t}$) تساوي (1.0) او ($\frac{R_{mf}}{S_w}$) تساوي (1.0) اذن (S_w) تساوي :

$$S_w = (R_{x0} / R_t)^{5/8} \quad \dots (12-21)$$

اي ان مقدار (S_w) يتوقف على مقدار الانفصال بين التسجيلين بقياس لوغاريتمي .

(4) طريقة لوغاريتم (F_{deep}) - لوغاريتم (F_{x0}) - لوغاريتم (F_{D-N})⁽¹⁷⁾

نحسب بهذه الطريقة معامل المقاومة النوعية (F) بثلاثة طرق :

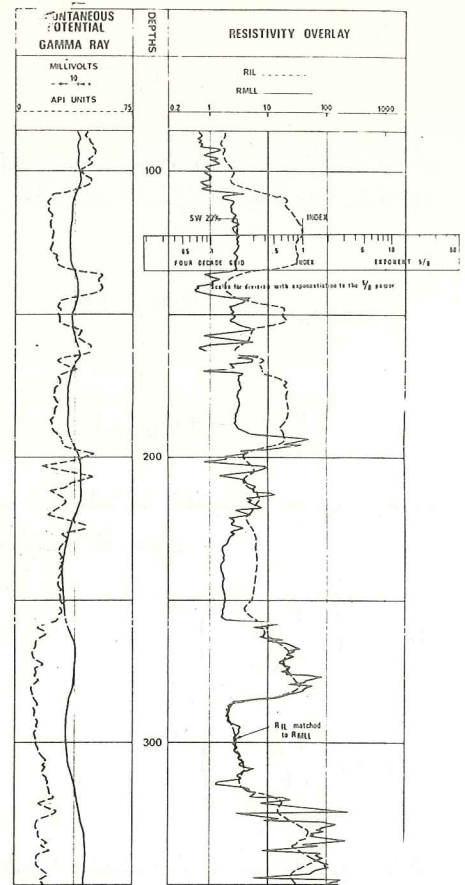
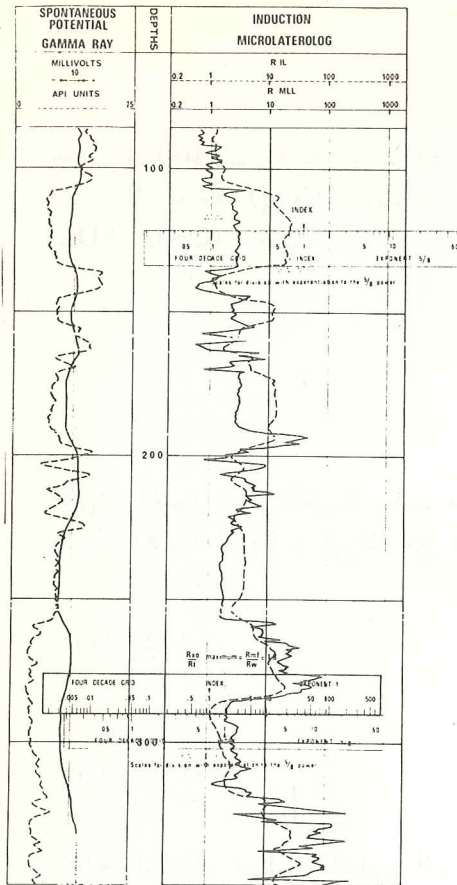
$$F_{deep} = \frac{R_{deep}}{R_w} = \frac{F_{true}}{S_w^2} \quad \dots (12-22)$$

$$F_{x0} = \frac{R_{x0}}{R_{mf}} = \frac{F_{true}}{S_{x0}^2} \quad \dots (12-23)$$

$$F_{D-N} = \frac{1}{(\phi_{D-N})^2} = F_{true} \quad \dots (12-24)$$

تساوى هذه القيم من (F) في المناطق المائية والنقية وتساوي معامل المقاومة النوعية للتكوين الصحيح .

في المناطق التي فيها هيدروكربونات مزاحة او متحركة (movable) فان قيم درجات التشبع تكون : -



شكل (12-20) مثال حقلي لتسجيل المقاومة بمقياس لوغري مع اشعة كاما و (SP).
(لشركة شلمبرجر)

$$S_w < S_{x0} < 1.0$$

وهذه العلاقات تنتج : -

$$F_{deep} > F_{x0} > F_{D-N}$$

ففي هذه الحالة (F_{D-N}) تبقى صحيحة .

في الطبقات الحاوية على هيدروكربونات غير متحركة فان العلاقة التالية تكون للتشبع : -

$$S_{x0} = S_w$$

$$\therefore F_{deep} = F_{x0} > F_{D-N}$$

يسجل في الحقل F_{deep} بعد تقسيم قيم R_{deep} بقيمة (R_w) ويسجل F_{x0} بعد تقسيم قيم R_{x0} بقيمة (R_{mf}) . ويسجل F_{D-N} عند تسجيل النيوترون والكثافة (CNL, FDC)، حيث :-

$$\phi_{D-N} = \frac{\phi_{Nls} + \phi_{Dis}}{2}$$

$$F_{D-N} = \frac{1}{(\phi_{D-N})^2}$$

ϕ_{D-N} المحسوبة بهذه الطريقة تكون قريبة الى المسامية الحقيقية . تحسب درجات التشبع المختلفة (S_w) و (S_{x0}) من تسجيلات (F) حيث :

$$S_w = \left(\frac{F_{D-N}}{F_{deep}} \right)^{0.5} \quad \dots (12-25)$$

$$S_{x0} = \left(\frac{F_{D-N}}{F_{x0}} \right)^{0.5} \quad \dots (12-26)$$

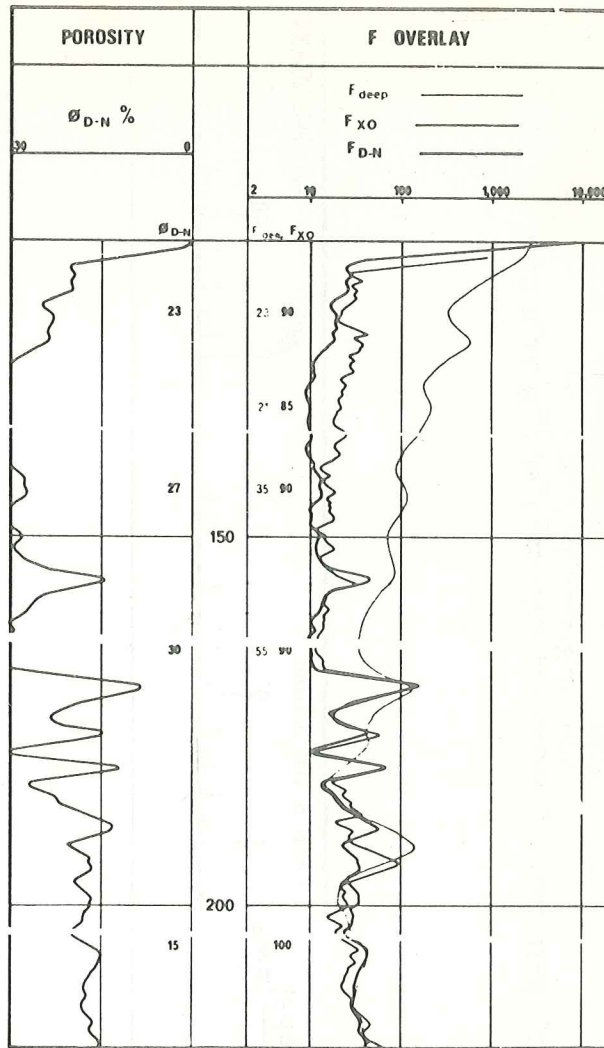
وذلك باستعمال مسطرة القياس اللوغاريتمي الشفاف الذي أسه (1/2) شكل (12-21) في المناطق المختلفة . نضع الدليل على تسجيل (F_{deep}) ونقرأ تقاطع (F_{D-N}) مع المسطرة الشفافة وهذه القيمة تمثل (S_w) . ثم نضع الدليل على تسجيل (F_{x0}) ونقرأ التقاطع من تسجيل (F_{D-N}) وتمثل هذه القيمة (S_{x0}) . اذا حدث انفصال في التسجيل بين F_{deep} و F_{x0} و F_{D-N} هذا دليل وجود هيدروكربونات في المناطق المختلفة . واذا حصل تطابق للتسجيلات المختلفة من (F) ، هذا دليل وجود طبقات مائية . بهذه الطريقة السريعة ايضا يمكن الفصل بين هيدروكربونات متحركة وغير متحركة ، حيث الانفصال بين (F_{x0}) و (F_{D-N}) هو دليل الحالة الاولى وعدم وجود انفصال بين (F_{D-N}) و (F_{x0}) هو دليل الحالة الثانية .

شكل (12-22) يمثل هذه الحالات .



$$S_w = \left(\frac{F_{DN}}{F_{deep}} \right)^{1/2} \text{ or } S_{xo} = \left(\frac{F_{DN}}{F_{xo}} \right)^{1/2}$$

شكل (12-21) مطرة قياس لوزا رتمية - لحاب درجات التشع (S_w) و (S_{xo}) بالطريقة السريعة .
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-22) مثال حقلي لتسجيل (F) بالطرق المختلفة لحساب (S_w) و (S_{xo}) بالطرق السريعة .
(لشركة شلمبرجر)

(5) طريقة تسجيل (R_{xo}/R_t) مع تسجيل (SP) (13) :

هذه الطريقة للكشف عن طبقات هيدروكربونية مبنية على النسبة (S_w/S_{xo}) كدليل لانتقال هيدروكربونات (انتاجية الطبقة للهيدروكربونات) .

إذا كانت النسبة (S_w/S_{x0}) مساوية (1.0) في المنطقة النفاذة ، المنطقة ستنتج ماءً أو تكون غير منتجة للهيدروكربون مهما كانت درجة التشبع بالماء .

إذا كانت النسبة (S_w/S_{x0}) أقل من واحد ، فهذه تدل أن المنطقة نفاذة والهيدروكربونات قد أزيلت في الطبقة بواسطة الغزو ، لذا فإن المنطقة تحتوي على هيدروكربونات منتجة . النسبة $\left(\frac{S_w}{S_{x0}}\right)$ تساوي : -

$$\frac{S_w}{S_{x0}} = \left(\frac{R_{x0}/R_t}{(R_{mf}/R_w) SP} \right)^{1/2}$$

هذه المعادلة مشابهة إلى معادلة (10-12) أو (8-12) بإضافة (S_{x0}) . إذن يمكن إيجاد هذه النسبة وذلك بمقارنة (R_{x0}/R_t) مع (R_{mf}/R_w) المحسوبة من (SP) . وكذلك المقارنة يمكن أن تكون بين لوغاريتم (R_{x0}/R_t) و (SP) للحصول على لوغاريتم (S_w/S_{x0}) .

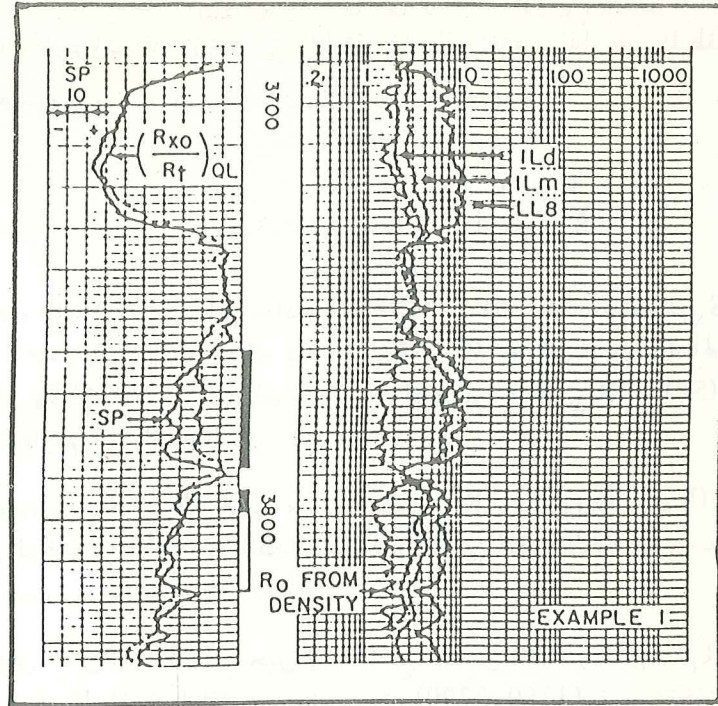
لوغاريتم (R_{x0}/R_t) تحسب من (R_{LL8}/R_{ILD}) أو (R_{SFL}/R_{ILD}) على نفس المسار لتسجيل (SP) . أي انفصال بين لو (R_{x0}/R_t) و (SP) يمثل منطقة نفاذة فيها هيدروكربونات قابلة للإنتاج .

يمثل شكل (23-12) تسجيل (DIL) مع تسجيل (SP) ولوغاريتم (R_{x0}/R_t) . نلاحظ المنطقة الواقعة بين عمق (3760-3790) قدم تكون منتجة للهيدروكربونات . تحتوي هذه المنطقة على طبقة رملية طفلية مشبعة بالغاز وذلك من معلومات حقلية . تعتبر المناطق الأخرى طبقات نفاذة مائية لعدم وجود انفصال بين التسجيلين .

تعتمد قيم (R_{x0}/R_t) على قيم (R_{LL8}/R_{ILD}) أو (R_{SFL}/R_{ILD}) في حالات مختلفة من الغزو ومن (100-20) أنج لقطر الغزو . هنالك معادلة بسيطة تحول قراءات (R_{LL8}/R_{ILD}) أو (R_{SFL}/R_{ILD}) إلى (R_{x0}/R_t) : -

$$(12-27) \quad (R_{x0}/R_t) = 1.85 (R_{LL8}/R_{ILD}) - 0.85$$

يجب أن لا تستعمل المناطق غير النفاذة في هذه الطريقة ، ويمكن إهمال هذه المناطق عن طريق (SP) أو (ML) .



شكل (12-23) مثال حقلي لتسجيل (DIL) مع تسجيل لو (R_{x0}/R_t) و (SP).
(لشركة شلمبرجر)

إذا كان الغزو في الطبقات النفاذة ضعلاً جداً أو عميقاً فإنه يجب استعمال معامل ثابت آخر غير المعامل (1.85) وذلك عن طريق دراسة (R_{x0}/R_t) و (SP) في الطبقات النفاذة المائية وتحديد المعامل بموجب الانفصال الموجود.

طريقه (R_{x0}/R_t) لا تكتشف هيدروكربونات دائماً، حيث يتأثر تسجيل (SP) بوجود الهيدروكربونات، وايضاً وجود الطفلية تسبب نقصان في انحراف (SP) فيجب استعمال الطريقة بحدري.

(6) طريقة سريعة لحساب المسامية (ϕ) وتحديد الخصائص الصخرية (lithology) للمكان واكتشاف هيدروكربونات⁽¹²⁾

تأثر بعض الطرق السريعة المذكورة التي تستعمل في الكشف عن الهيدروكربونات بالخصائص الصخرية (lithology) للطبقات المكنية ، حيث تفترض طريقة (R_{wa}) أن المناطق المدروسة ذات صفات صخرية ثابتة وايضاً إذا زادت نسب الطفلية في المناطق المختلفة فإن قيم (R_{wa}) تتأثر وتعطي نتائج غير صحيحة . لذلك يجب التعرف على صفات المكان أو الطبقات الصخرية لتصحيح الاخطاء الناتجة من عمليات الكشف .

يمكن ان نتوصل الى مسامية الطبقات الصحيحة باستعمال مخططات بيانية خاصة من النيوترون والكثافة أو السرعة وكذلك الصفات الصخرية لهذه الطبقات .

تعتمد الطريقة السريعة لايجاد المسامية والصفات الصخرية على استعمال مقياس بلاستيكي خاص شفاف .

تستعمل تسجيلات النيوترون والكثافة والسرعة بكثرة في الحقل لحساب المسامية للطبقات النفاذة ودراسة الصفات الليولوجية وإيجاد النسب الطفلية في المكان ونوع الهيدروكربونات . نتوصل الى هذه الصفات عن طريق مخططات بيانية خاصة او تسقيط قيم الكثافة والنيوترون على ورقة بيانية .

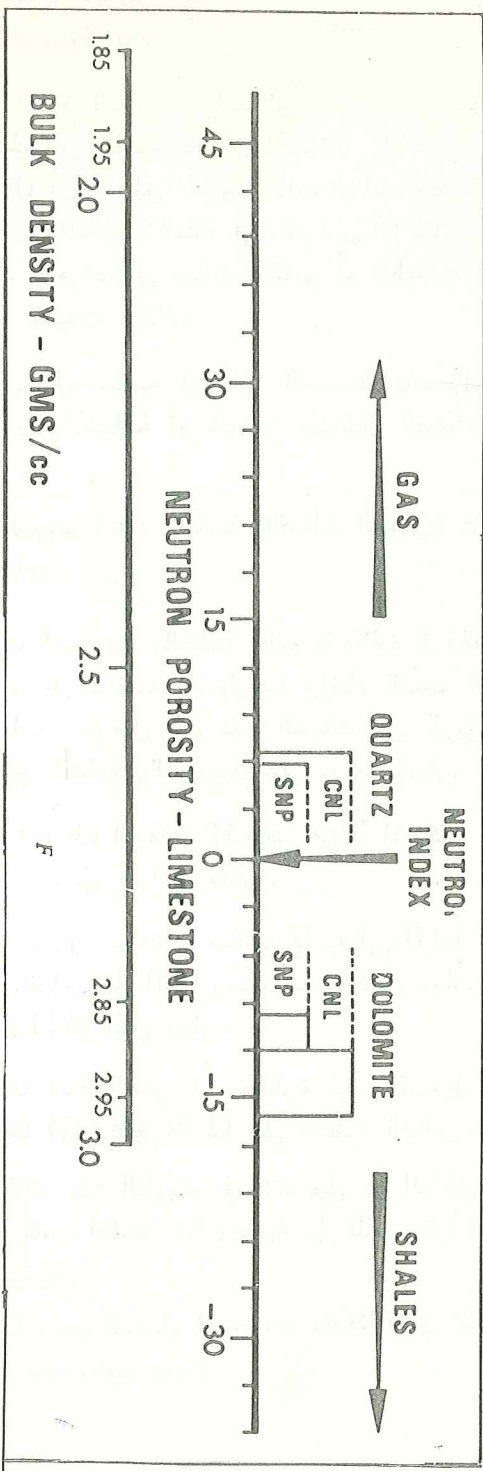
يمكن أن نتوصل الى هذه الصفات للطبقات المختلفة اذا كان تسجيل النيوترون والكثافة في آن واحد وعلى مقياس خاص .

يكون تسجيل النيوترون بوحدات مسامية كلسية (L_{pu}) او (limestone units porosity) ويشمل المقياس على (30) وحدة مسامية لكل مسار ، وتسجيل الكثافة يشمل على 0.5 gm/cc لكل مسار .

تقع مسامية ذات قيمة الصفر على مسطرة قياس تسجيل النيوترون عندما تسجل كثافة مقدارها (2.70 gm/cc) على مسطرة القياس .

يتطابق التسجيلان بهذه الطريقة في التسجيل في المناطق التي تكون فيها طبقات كلسية ، اذا كانت الطبقة نقية وحاوية على الماء . نقرأ المسامية مباشرة من مقياس تسجيل النيوترون .

اذا حدث انفصال بين تسجيل النيوترون والكثافة في المناطق الاخرى من الطبقات المسوحة ، فقد يكون بسبب : -



شكل (12-24) مسطرة قياس خاصة لحساب السامية وإيجاد الصفات الصخرية للطبقات بالطريقة السريعة.
(الشركة شلمبرجير)

- (1) الطبقة المعينة غير كلسية .
- (2) وجود طفل في المنطقة .
- (3) وجود هيدروكازبونات .

يبين الجدول رقم (12-1) طريقة تحديد الصفات الصخرية للطبقات من الانفصال بين تسجيل الكثافة والنيوترون
جدول (12-1) :

Lithology	Sidewall Epithermal Neutron	Compensated Neutron
100 % Limestone (CaCO ₃)	0	0
100 % Quartz (SiO ₂)	+ 6	+ 7
100 % Dolomite (CaMg (CO ₃) ₂)	- 10 to - 12	- 12 to - 16
100 % Anhydrite	- 16	- 15
Shales	up to - 30	up to - 45
Gas	up to + 30	up to + 45
Density Calibrated with 0.5 gm/cc/track, Neutron Calibrated with 30 Lpu/track. Zero porosity set at 2.70 gm/cc.		

لحساب المسامية للطبقات النفاذة وغيرها ، يوضع دليل المقياس للنيوترون على مقياس تسجيل النيوترون في موقع الصفر . المسامية (ϕ_D) و (ϕ_N) تقرأ من تقاطع تسجيل الكثافة والنيوترون مع مقياس النيوترون على المقياس البلاستيكي . للحصول على المسامية الصحيحة نحسب المعدل : -

$$\phi_{D-N} = \frac{\phi_D + \phi_N}{2} \quad \dots (12-28)$$

يجب أن تكون المسامية في هذه المعادلة من تسجيل الكثافة والنيوترون ، بوحدات مسامية كلسية . تكون هذه المسامية قريبة من المسامية الصحيحة للطبقة المعينة . هذه الطريقة تكون جيدة عند استعمال تسجيل النيوترون من نوع (CNL) .

إذا استعمل تسجيل النيوترون نوع (SNP) فإن المسامية المحسوبة تكون صحيحة إذا كان الحشو رملي ولكن في حالة الدولومايت، فإن المسامية المحسوبة تكون خطأ. وايضا لا تعطي المعادلة نتائج جيدة للمسامية إذا كانت الطبقة تتكون من الدولومايت ذات مسامية واطئة (اقل من 5%).

مثال : -

سجلت المسامية التالية في عمق معين داخل البئر :

$$\phi_N = 11 (1_{pu})$$

$$\phi_D = 8 (1_{pu})$$

المطلوب : حساب المسامية الصحيحة للمنطقة .

$$\phi_{D-N} = \frac{8 + 11}{2} = 9.5 \text{ p.u.}$$

مثال : -

يحتوي شكل (12-25) على تسجيل المسامية نوع (FDC-CNL) على مقياس خاص مع تسجيل اشعة كاما و (caliper).
المطلوب : تحديد الصفات الصخرية للطبقات المكمنية والمسامية في بعض الاعماق.
تعتبر الطبقة المسوحة في شكل (12-25) من الطبقات المكمنية المنتجة للبترول .

توجد في عمق (249m) قراءات تسجيل النيوترون والكثافة :

$$\phi_N = 11 (1_{pu})$$

$$\phi_D = 8 (1_{pu})$$

$$\phi_{D-N} = 9.5$$

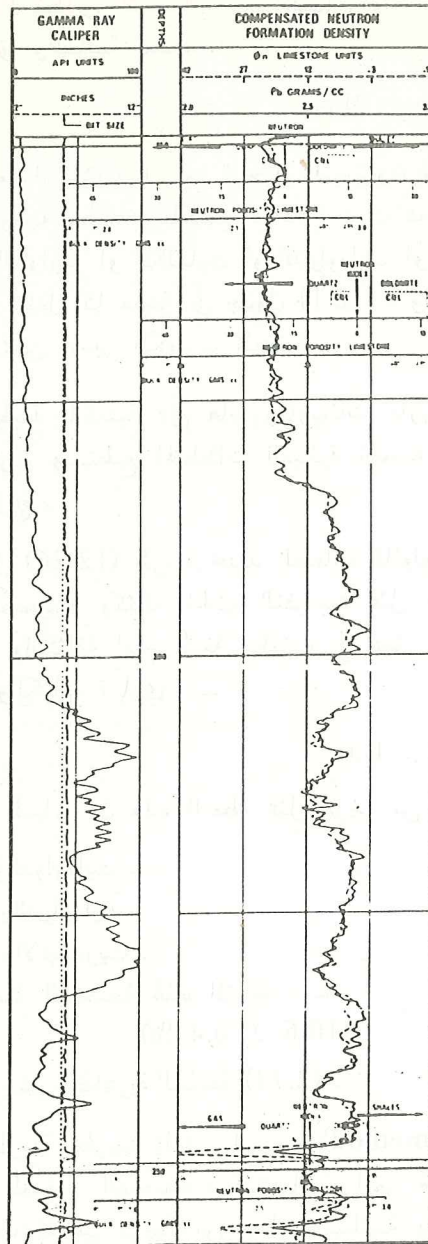
يساوي الانفصال في هذه المنطقة ($\phi_D - \phi_N$) يساوي (p.u.) (-3) مما يدل على أن الطبقة كلسية وفيها نسبة من الدولومايت في عمق (167m) البيانات التالية سجلت : -

$$\phi_D = 19.5 \text{ p.u.}$$

$$\phi_N = 21.5 \text{ p.u.}$$

$$\phi_{D-N} = 20.5 \text{ p.u.}$$

يدل الانفصال أيضا على نفس الصفات المكمنية .



شكل (12-25) مثال حقلي لتسجيل المسامية نوع (FDC-CNL) على مقياس خاص مع اشعة كاما و (caliper) (شركة شلمبرجر)

في عمق (159 m) يتطابق التسجيلان مع بعضهما وهو دليل أن الطبقة المكمنية
كلسية في هذا العمق والمسامية المسجلة : -

$$\phi_D = \phi_N = \phi_{D-N} = 21 \text{ p.u.}$$

طريقة حساب مقدار الانفصال بين تسجيل النيوترون والكثافة ، تستطيع أن
تحدد الصفات اللثولوجية للطبقات المكمنية ، اذا احتوت هذه الطبقات على معدن
واحد ، أي معدن الكوارتز او الكلسيات او الدولومايت او الانهايدريت او كانت
الطبقة تحتوي على الطفل كما مبينة في جدول (12-1) . واذا احتوت على مزيج
من معدنين فايضا ممكن تقدير المكونات المعدنية .

اذا احتوت الطبقة المكمنية على هايدروكربونات غازية فإن تحديد الصفات
اللثولوجية غير ممكن . وتستطيع المخططات البيانية الخاصة من تحديد نسب هذه
المعادن الثنائية المزيج .

يبين مثال شكل (12-26) طريقة تحديد الصفات اللثولوجية للطبقات المكمنية
وتحديد المسامية الصحيحة وكثافة الحشو التقريبية تمثل نقطة (A) في المخطط
تسجيل النيوترون والكثافة امام طبقة مكمنية في عمق معين من البئر . وإن
قراءة النيوترون والكثافة تساوي : -

$$\rho_b = 2.58 \quad \phi_N = 11.0$$

نجد من المخطط البياني أن لهذه النقطة تمثل مزيجا من المعادن التالية : -

الكالسييت والدولومايت .

او الكوادتز والدولومايت .

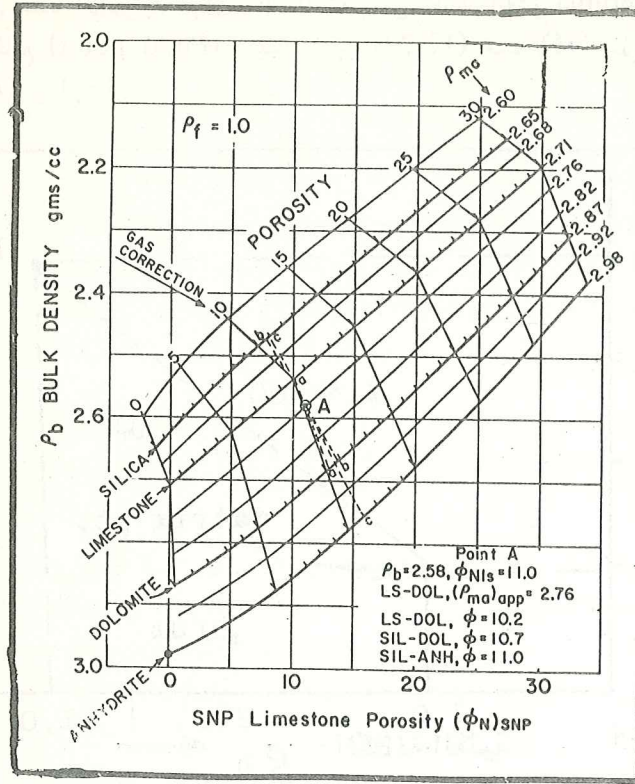
او الكوادتز والانهايدريت .

وتساوي المسامية الصحيحة لهذه المنطقة : -

$$(10.6 \pm 0.4 \%)$$

وتساوي كثافة الحشو الظاهرية للطبقة (2.78) .

تسمى هذه الطريقة بطريقة المعدن المزدوج (Dual-mineral method)⁽¹⁰⁾
لايجاد المكونات المعدنية الصحيحة ، تستعمل برامج خاصة بواسطة الحاسبة
الالكترونية حيث تفرض مزيجا من معادن ثنائية وتحسب المسامية وتجري
تصحيحات على المسامية لتأثير الطفل او الهيدروكربونات على تسجيلات النيوترون
والكثافة ثم تحسب كثافة الحشو للمزيج . وتجري عمليات اخرى سنذكرها في فصول
اخرى .



شكل (12-26) مخطط بياني خاص لايجاد الصفات اللثولوجية للطبقات من تسجيلات النيوترون والكثافة .
(لشركة شلمبرجر)

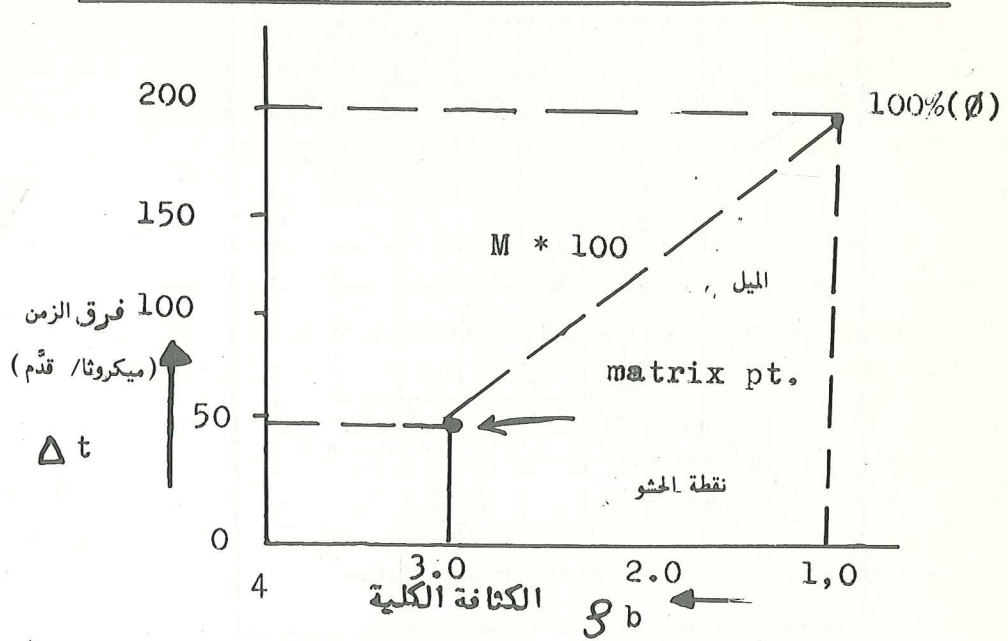
يمكن استعمال مخطط بياني من قيم (M,N) لايجاد التركيب المعدني للصخرة المكنية وغيرها من الصخور الرسوبية . لا تتأثر المتغيرات (M,N) باختلاف المسامية لحساب (M) و (N) تستعمل المعادلات التالية

$$M = \frac{\Delta t_f - \Delta t_{ma} \times 0.01}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad \dots (12-29)$$

و

$$N = \frac{\phi_{NF} - \phi_{N(ma)}}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad \dots (12-30)$$

تمثل هذه المتغيرات ميل خط المستقيم من نقطة الحشو (matrix point) الى نقطة المائع (Fluid point) ، يمثل شكل (12-27) قيمة (M) على الرسم البياني من (Δp) و (ρ_b)



شكل (12-27) رسم بياني من $(\Delta p, \rho_b)$ لتحديد قيمة (M)

كذلك تحدد قيمة (N) من الرسم البياني او المعادلة . لكون قيمة (M) تكون عادة اكبر من (N) باضعاف ، لذلك استعمل الثابت (0.01) في المعادلة لجعل القيم متقاربة . يمثل شكل (12-28) مخططاً بيانياً من (M و N) تمثل النقاط المختلفة في المخطط المعادن الرئيسية المكونة للصخور الكمونية المتواجدة في الحقول البترولية . توجد معادن اخرى مثل الانهادرية والجبس وتتواجد ايضاً في الحقول كصخور الفطاء . بالاضافة الى هذه النقاط ، توجد منطقة الطفل في الاسفل . وفي الاعلى من نقاط المعادن الرئيسية توجد المسامية الثانوية اي ان قياسات (M) متأثرة بالمسامية الثانوية وادت الى ازاحة النقاط نحو الاعلى . تكون (Δp) المسجلة اقل حيث تسجل السرعة يهمل هذا النوع من المسامية . اما قيم (N) فلا تتأثر بالمسامية الثانوية . اذا احتوت الطبقة الكمونية على هيدروكربونات غازية ، فان النقاط تزاح نحو اليمين من مثلث المعادن الرئيسية حيث قيم (N) تتأثر بدرجة عالية .

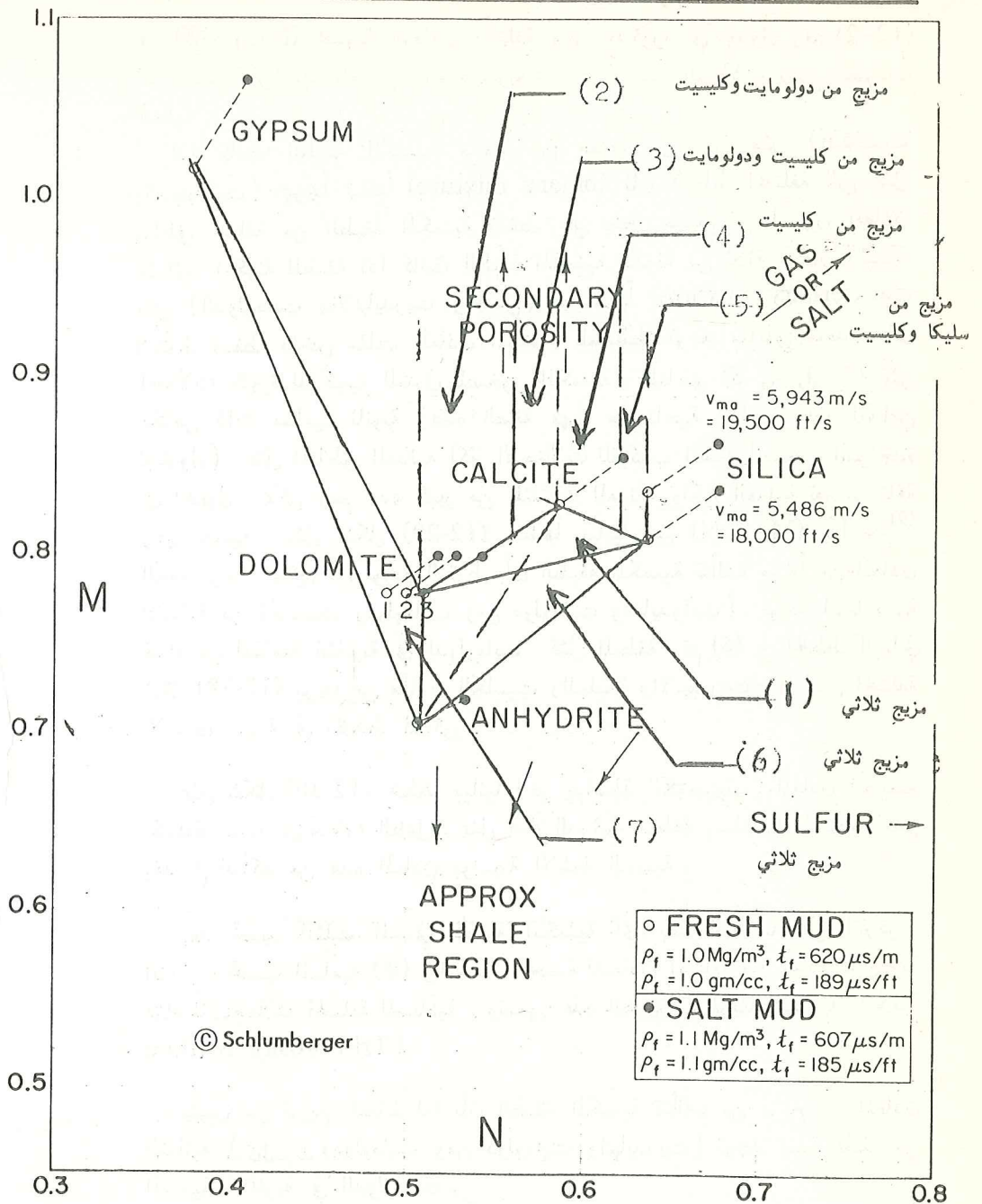
قيم (M) و (N) محسوبة للمعادن المختلفة وهي مذكورة في جدول رقم (2-12) لتحديد التركيب المعدني بصورة سريعة من المخطط البياني ، تتبع الطريقة التالية : -

إذا كانت الطبقة المكمنية مكونة من معدنين رئيسيين مثل (الكاليسيت والدولومايت) ايمزجاً ثنائياً (binary mixture) فان النقاط المختلفة التي تمثل مناطق مختلفة من الطبقة المكمنية تسقط على خط مستقيم يربط بين المعادن الثنائية المكونة للطبقة اذا كانت الطبقة المكمنية مكونة من ثلاثة معادن رئيسية مثل (الدولومايت والانهيدريت والجبس) او ثلاثياً (ternary mixture) فان النقاط تسقط داخل مثلث المعادن المبينة . للمخطط توجد مناطق متعددة اي احتمالات كثيرة للتركيب المعدني للصخور المكمنية . المناطق (2, 3, 4, 5) تمثل أماكن ذات مسامية ثانوية (هذه الصفة مهمة من ناحية انتاجية هذه الأماكن للبترو). تمثل المناطق المعدنية اكثر الاحتمالات للتركيب المعدني للصخور المتواجدة في الحقول . ممكن رسم عدد كبير من المثلثات المعدنية ولكن العملية تصبح شاقة وغير عملية . يمثل شكل (12-29) مخططاً بيانياً من (M و N) بواسطة (9) الكومبيوتر . يتبين من توزيع النقاط بأن الطبقة المكمنية تتألف مزيجاً من المعادن الثنائية من (كاليسيت ودولومايت ومن دولومايت وانهيدريت) . توجد أيضاً نسبة قليلة من المسامية الثانوية في الدولومايت . تمثل المنطقة رقم (6) في المخطط البياني شكل (12-28) مزيجاً من معادن الكاليسيت والسليكا والانهيدريت . المناطق المختلفة الاخرى مبينة في المخطط المذكور .

يمثل شكل (12-30) مخططاً بيانياً اخر بواسطة الكومبيوتر . المعادن الطينية المختلفة مبينة في منطقة الطفل . تمثل هذه الدراسة منطقة بنسلفانيا المنتجة للفحم وقد تم التأكد من هذه المعادن بواسطة الاشعة السينية .

بعد تحديد المثلث المعدني للطبقة المكمنية اي بعد التعرف على التركيب المعدني ، تحسب المسامية (ϕ) والنسب الحجمية للمعادن المختلفة من معادلات جبرية مثلة للتسجيلات المختلفة للمسامية ، وتسمى هذه الطريقة (طريقة المسامية الثلاثية (Tri-Porosity method)

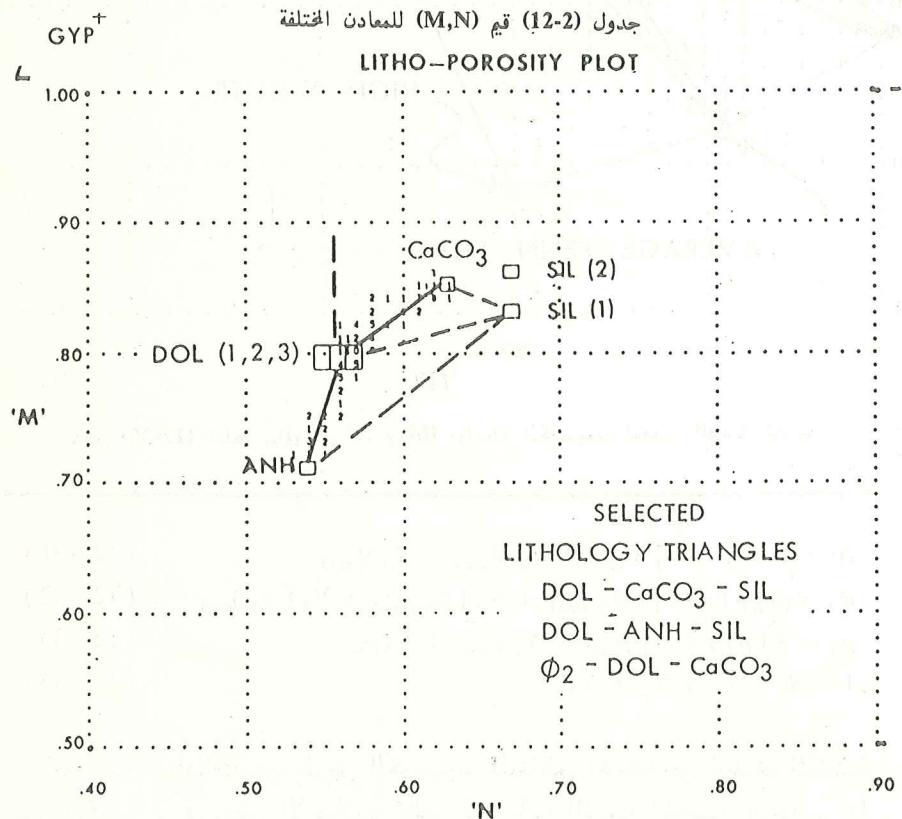
يتبين من توزيع النقاط لنا بأن الطبقة المكمنية تتألف من مزيج من المعادن الثنائية (كاليسيت ودولومايت ومن دولومايت وانهيدريت) توجد نسبة قليلة من المسامية الثانوية في الدولومايت .



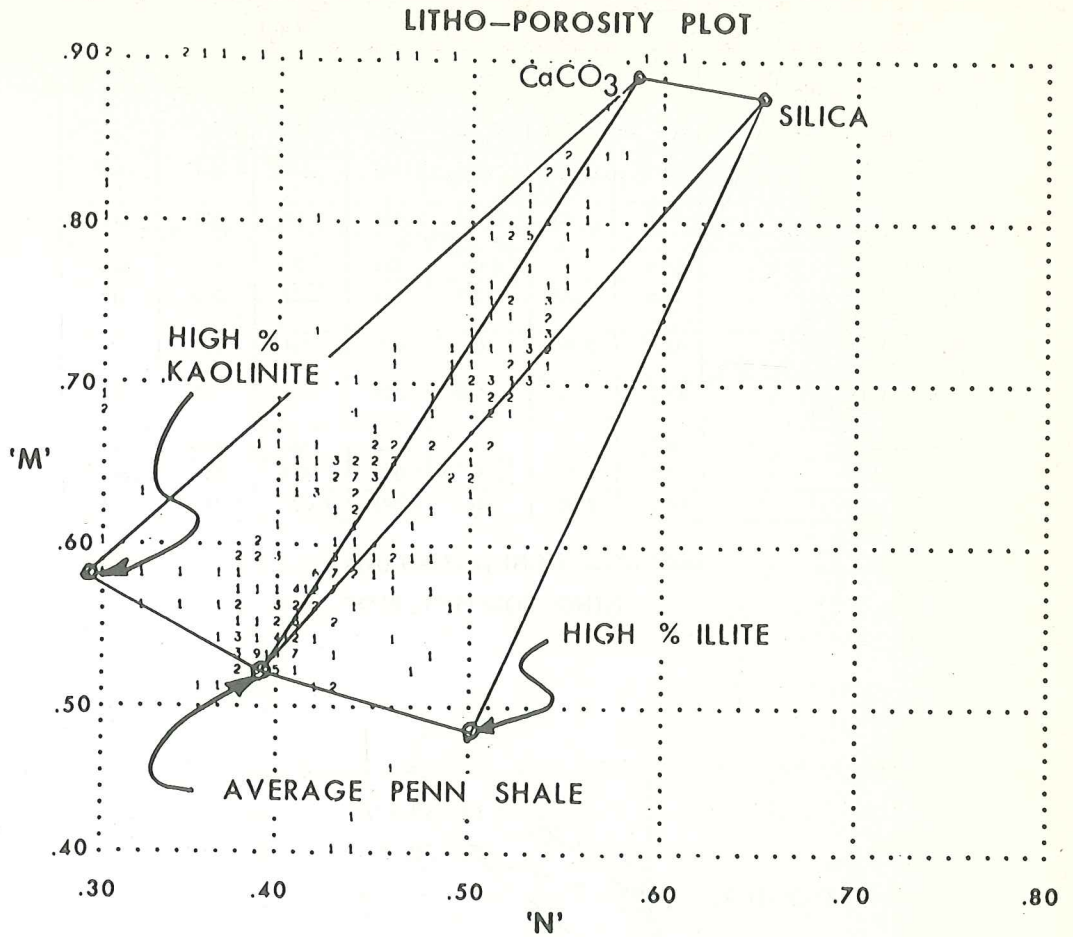
شكل (12-28) مخطط بياني من (M و N) لتحديد التركيب المعدني

MATRIX COEFFICIENTS AND M & N VALUES FOR SOME COMMON MINERALS

MINERAL	MATRIX COEFFICIENTS			SALT MUD $\Delta t_f = 185$ $\rho_f = 1.10$		FRESH MUD $\Delta t_f = 189$ $\rho_f = 1.00$	
	Δt_{ma}	ρ_{ma}	$(\Phi_{SNP})_{ma}$	M	N	M	N
SILICA (1) ($v_{ma} = 18,000$)	55.5	2.65	-.035	.835	.669	.810	.628
SILICA (2) ($v_{ma} = 19,500$)	51.2	2.65	-.035	.862	.669	.835	.628
$CaCO_3$	47.6	2.71	0.00	.854	.621	.827	.585
DOLOMITE (1) ($\Phi = 5.5\%$ to 30%)	43.5	2.87	.035	.800	.544	.778	.513
DOLOMITE (2) ($\Phi = 1.5\%$ to 5.5% & $> 30\%$)	43.5	2.87	.02	.800	.554	.778	.524
DOLOMITE (3) $\Phi = 0.0\%$ to 1.5%	43.5	2.87	.005	.800	.561	.778	.532
ANHYDRITE	50.0	2.98	0.00	.718	.532	.702	.505
GYP SUM	52.0	2.35	0.49	1.060	.408	1.015	.378
SALT	67.0	2.05	0.04	1.240	1.010	1.16	.914



شكل (12-29) مثال حقلي لخطط بياني من (M,N) بواسطة الكومبيوتر



شكل (12-30) مخطط بياني من (M و N) بواسطة الكومبيوتر لتحديد المعادن الطينية

$$\Delta t = \phi \Delta t_f + V_1 \Delta t_{ma1} + V_2 \Delta t_{ma2} + V_3 \Delta t_{ma3} \quad \dots (12-31)$$

$$\phi_N = (\phi_N)_f + V_1 (\phi_N)_{ma1} + V_2 (\phi_N)_{ma2} + V_3 (\phi_N)_{ma3} \quad \dots (12-32)$$

$$\rho_b = \phi (\rho_f) + V_1 \rho_{ma1} + V_2 \rho_{ma2} + V_3 \rho_{ma3} \quad \dots (12-33)$$

$$1 = \phi + V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots (12-34)$$

تحل هذه المعادلات عن طريق الكومبيوتر للمناطق المختلفة من الطبقة الكمنية وغير الكمنية . في بعض الاحيان ، تظهر قيم سالبة للنسب الحجمية للمعادن اذا

كانت المعادن المفروضة غير صحيحة اي لا تمثل التكوين اي ان النسبة السالبة تمثل المعدن المفروض بالخطأ . في هذه الحالة يكون مجموع النسب الاخرى في المعادلة زائد المسامية تصبح اكبر من واحد . الكومبيوتر يعالج هذه الحالة بجعل القيمة السالبة صفراً ويحسب المجموع الكلي للنسب مساوياً واحد ، لحساب المسامية الثانوية من المسامية الكلية في مزيج من الدولومايت والكلسيت .

نجعل (Δt_f) مساوية (Δt_{ma}) للمزيج اي -

$$\Delta t_{f2} = \Delta t_{ma} = (0.5)(43.5) + (0.5)(47.6) \\ = 45.5$$

وتصبح المعادلات الجبرية : -

$$\Delta t = \phi_1 \Delta t_f + \phi_2 \Delta t_{f2} + V_1 \Delta t_{ma1} + V_2 \Delta t_{ma2} \quad \dots (12-35)$$

$$\phi_N = \phi_1 (\phi_N)_f + \phi_2 (\phi_N)_{f2} + V_1 (\phi_N)_{ma1} + V_2 (\phi_N)_{ma2} \quad \dots (12-36)$$

$$\rho_b = \phi_1 (\rho_f) + \phi_2 (\rho_{f2}) + V_1 \rho_{ma1} + V_2 \rho_{ma2} \quad \dots (12-37)$$

$$1 = \phi_1 + \phi_2 + V_1 + V_2 \quad \dots (12-38)$$

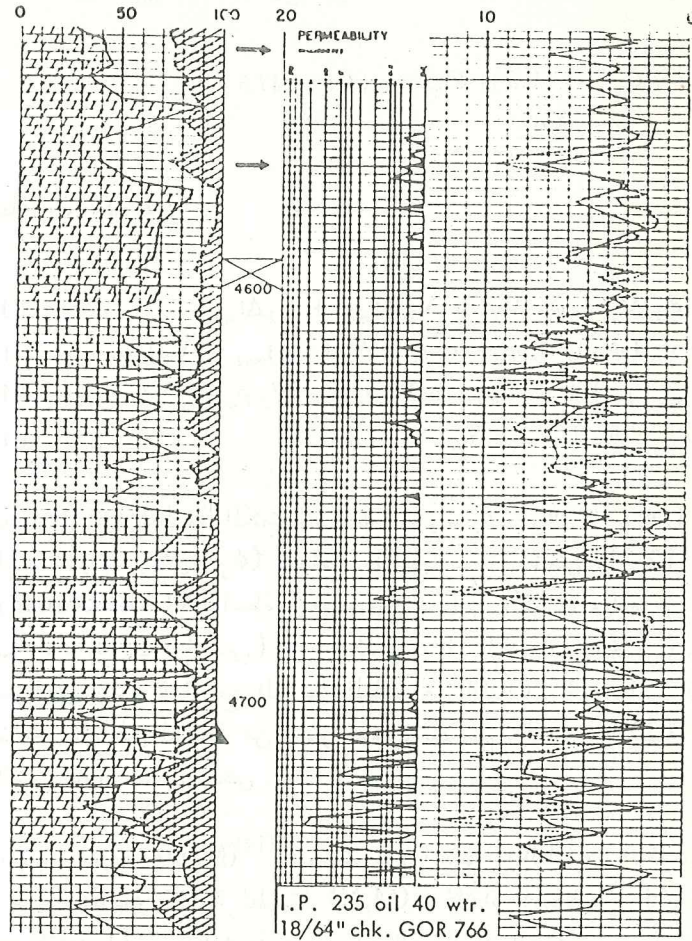
تساوي المسامية الكلية للطبقة المكمنية ϕ_T ، وتساوي $(\phi_1 + \phi_2)$. تمثل (ϕ_1) المسامية الاولى وتمثل (ϕ_2) المسامية الثانوية ، يمثل شكل (12-31) نتائج التحليل (Litho-porosity) بواسطة الكومبيوتر لطبقات مكمنية مؤلفة من معادن (الدولومايت الانهيدريت والجبس) و (الكلسايت الانهيدريت والجبس) . ايضاً المسامية محسوبة وتوجد مقارنة مع المسامية المقاسة من اللباب . نجد توافق كبير في الاعماق المختلفة . المناطق المنتجة من البئر مؤثرة بالاسهم . انتجت المنطقة النفاذة في اسفل البئر ماءً عند الفحص .

يمكن استعمال طريقة (MID)⁽¹⁴⁾ لتحديد نوع الحشو في الطبقات المكمنية وغير المكمنية . هذه الطريقة مشابهة لطريقة (M,N) . لايجاد الخصائص اللثولوجية ، يجب حساب كثافة الحشو الظاهرية وزمن انتقال الموجة الظاهري خلال الحشو ، يستعمل البياني شكل (12-32) لايجاد هذه التغيرات . ثم يستعمل شكل (12-33) لتحديد نوع الحشو .

A Clearfork Well in Crane County, Texas

Dolomite  Limestone  — Calculated true porosity
Anhydrite  Gypsum  - - - Average core porosity

Percent Composition



شكل (12-31) مثال حقلي للتحليل اللثولوجي بواسطة الكمبيوتر.

مثال

سجلت القراءات التالية امام طبقة نفاذة

$$\Delta t = 63 \mu \text{ sec/ft}$$

$$\rho_b = 2.50 \text{ gm / cc}$$

$$\phi_{CNL} = 27 \text{ p.u.}$$

المطلوب : -

تحديد التركيب المعدني للطبقة النفاذة .

الحل

باستعمال المخططات البيانية الخاصة في الفصل التاسع لايجاد المسامية الظاهرية ϕ_a نحصل على

$$\phi_{aND} = 20$$

$$\phi_{aNS} = 20$$

نستعمل المخطط البياني شكل (12-32) للحصول على الكثافة الظاهرية وزمن الانتقال الظاهري خلال الحشو .

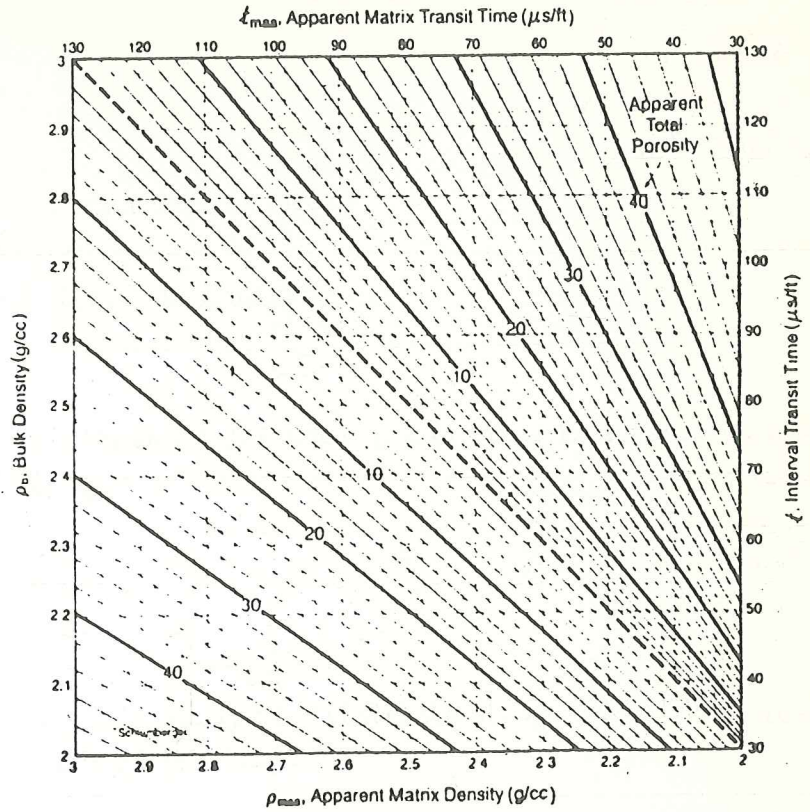
اذن :

$$\Delta t_{maa} = 44 \mu \text{ s / ft}$$

$$\rho_{maa} = 2.88 \text{ gm/ cc}$$

ندخل بهذه القيم في المخطط البياني شكل (12-33) ونحصل على الدولومايت . اذن تحتوي الطبقة النفاذة على الدولومايت .

تستعمل حاليا طرق حديثة لدراسة الخصائص اللثولوجية باستعمال تسجيل حديث يسمى (LDT)⁽¹⁴⁾ مع تسجيل النيوترون (CNL) . ويقصد بهذا الرمز (litho-density tool) التسجيل، الحديث يقيس الكثافة الكلية للمنطقة (density Bulk) وهذا القياس مشابه لقياس (FDC) ولكن قياس الكثافة عن



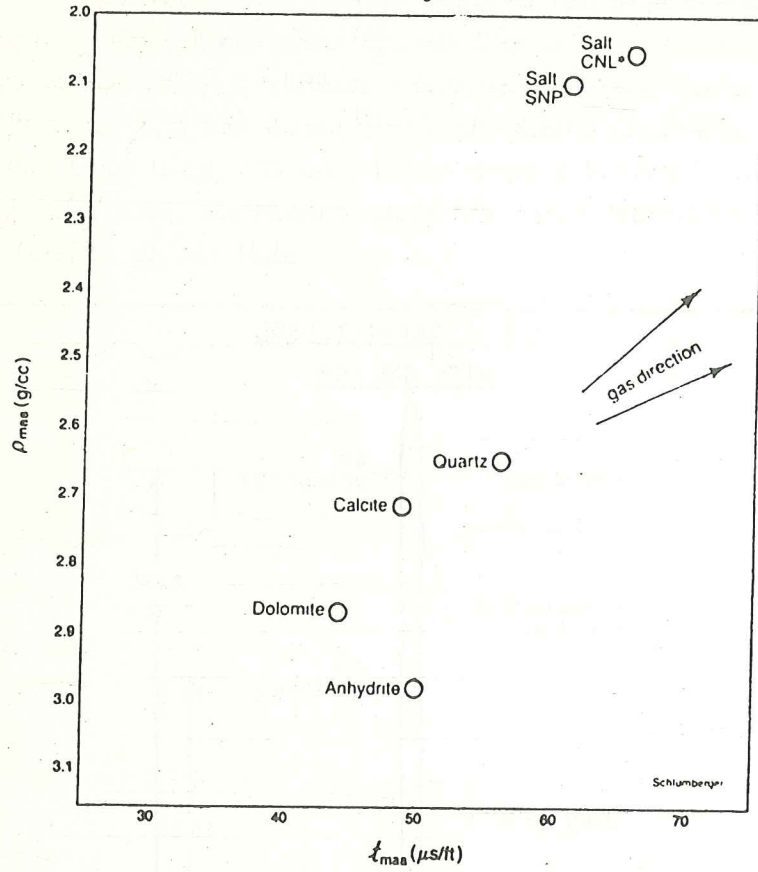
شكل (12-32) مخطط بياني لاجداد كثافة الحشو الظاهرية وزمن انتقال الموجة الظاهري خلال الحشو (لشركة شلمبرجر).

طريق (LDT) ادق . يقيس ايضا جهاز (LDT) مقطع امتصاص التكوين او المادة لاشعة كاما عن طريق التفاعل النووي بين اشعة كاما والكترونات المادة وتسجيل مقاطع الامتصاص بوحدات ، (barns / electron) ووحدة (barn) تساوي (10^{-24}cm^2). نوع التفاعل بين اشعة كاما والالكترونات يسمى (photo-electric reaction) ويرمز تسجيل مقطع الامتصاص ب (P_e) .

The Matrix Identification (MID) Plot

ρ_{maa} vs t_{maa}

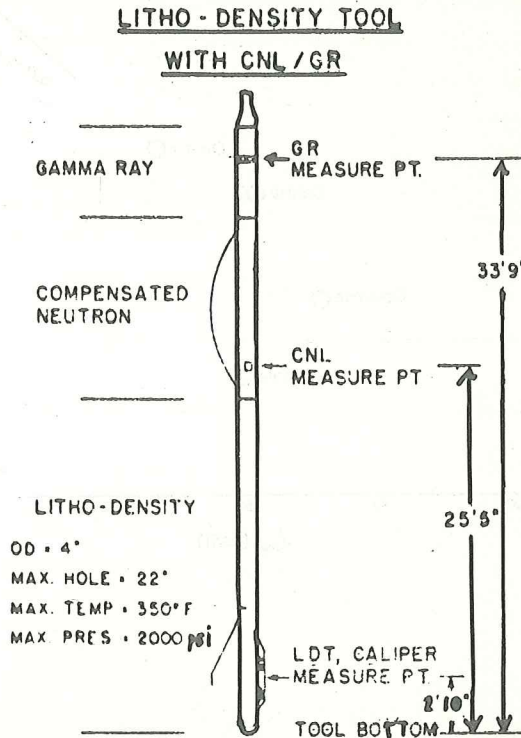
English



شكل (12-33) مخطط بياني (MID) لتحديد نوع الحشو (لشركة شلمبرجر).

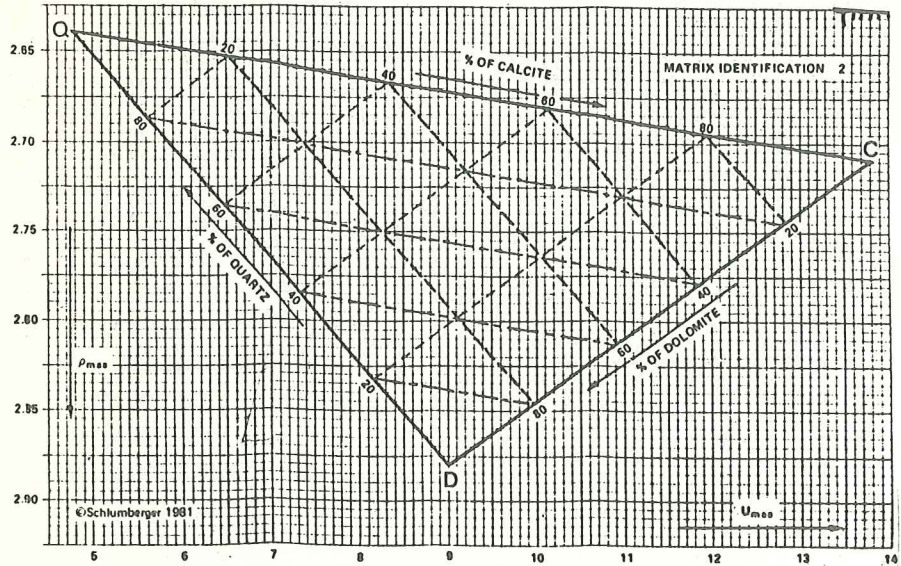
للتفصيل في هذا الموضوع يمكن مطالعة مصادر الفيزياء النووية (Sourcebook on atomic energy) يمثل شكل (12-34) مخططا لجهاز (LDT) مع جهاز تسجيل (CNL) واشعة كاما (GR) وجهاز تسجيل قطر البئر (caliper).

نستطيع تحديد المكونات المعدنية أو الصفات اللثولوجية للطبقات بشكل ادق وأيضا ممكن تحديد ثلاثة أنواع من المكونات المعدنية اذا احتوت الطبقات الكمونية على مزيج من المعادن الثلاثية وتحديد نسب هذه المكونات أي اذا احتوت الطبقة الكمونية على معدن الكوارتز والكالسيت والدولومايت بنسب مختلفة فيمكن تحديد هذه النسب عن طريق هذا التسجيل⁽¹⁴⁾ باستعمال مخططات بيانية خاصة تسمى المخططات البيانية لتحليل ثلاثة معادن (3-mineral analysis chart) أو يمكن استعمال معادلات تمثل هذه المخططات بواسطة الآلة الحاسبة الالكترونية . شكل (12-35) يمثل هذا المخطط .



شكل (12-34) مخطط لجهاز (LDT) مع جهاز تسجيل (CNL) واشعة كاما .
(لشركة شلميرجر)

لاستعمال المخطط شكل (12-35) نحتاج الى كثافة الحشو الظاهرية (ρ_{maa}) ومقطع الامتصاص الحجمي للمادة (U_{maa}) الظاهرية . نستطيع حساب كثافة الحشو باستعمال المخططات البيانية (Dual-mineral analysis) تحليل المعادن المزدوجة . اما من تسجيلات النيوترون والكثافة او من تسجيلات (LDT) أي ($\rho_b - P_e$) .



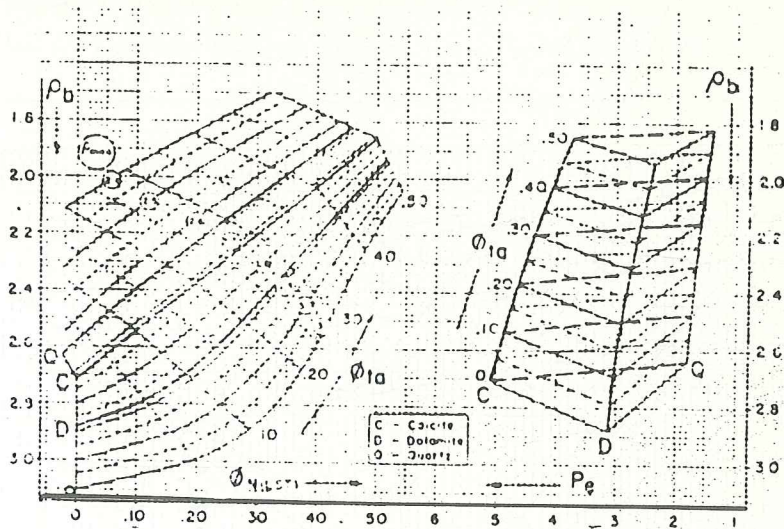
شكل (12-35) مخطط بياني لتحليل المعادن الثلاثية في الحشو .
(لشركة شلمبرجر)

يمثل شكل (12-36) هذه المخططات البيانية لتحديد المكونات المعدنية وكثافة الحشو الظاهرية .

بعد حساب كثافة الحشو الظاهرية ، نستعمل المخطط البياني شكل (12-37) لايجاد مقطع الامتصاص الحجمي (U_{maa}) .

مثال : -

إذا كانت الكثافة الكلية (S_p) المسجلة امام طبقة مكمنية من الكلسيت والدولومايت تساوي (2.52) ومقطع الامتصاص بوحدة (barn / electron) تساوي (3.65) او (P_e) .



شكل (12-36) مخطط بياني لتحديد المكونات المعدنية الثنائية والمسامية الظاهرية .
(لشركة شلمبرجر)

ماهي قيمة المسامية الكلية الظاهرية (ϕ_{ta}) ومقطع الامتصاص الحجمي (U_{maa}) للتكوين؟ .

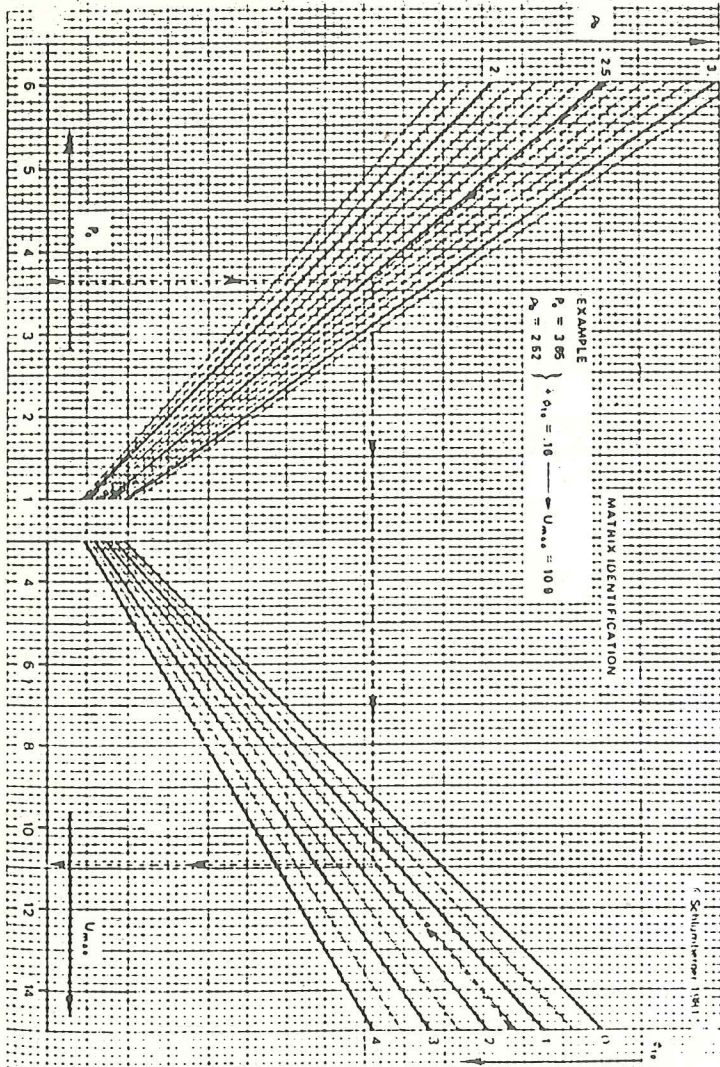
الحل : -

لايجاد المسامية الكلية الظاهرية (ϕ_{ta}) نستعمل المخطط البياني شكل (12-36) فنجد أن المسامية الظاهرية : -

$$(\phi_{ta}) = 0.16$$

لايجاد مقطع الامتصاص الحجمي نستعمل المخطط البياني شكل (12-37) فنجد أن قيمة مقطع الامتصاص الحجمي : -

$$(U_{maa}) = 10.9$$



شكل (12-37) مخطط بياني لحساب مقطع الانكسار الحي للمادة (U_{max}).
 (انظر شلميرجر)

تمثل المعادلات التالية المخطط البياني شكل (12-36) : -

$$\rho_b = (\phi_{ta}) \rho_f + V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 \quad \dots (12-39)$$

$$p_e \rho_e = (\phi_{ta}) U_f + V_1 U_1 + V_2 U_2 \quad \dots (12-40)$$

$$1 = \phi_{ta} + V_1 + V_2 \quad \dots (12-41)$$

حيث تمثل (ρ_b) ، $(p_e \rho_e)$ قياسات تسجيل (LDT) .

(ϕ_{ta}) - المسامية الكلية الظاهرية .

(ρ_f) - كثافة السائل او المائع .

$V_1 V_2$ - تمثل النسب الحجمية المئوية للمكونات المعدنية .

$\rho_1 \rho_2$ - تمثل كثافة المعدنين (معلومة أو مفروضة) .

U_f ، U_1 ، U_2 - تمثل مقاطع الامتصاص الحجمية للمعدنين ومقطع الامتصاص الحجمي للسائل .

نستطيع من هذه المعادلات حساب كثافة الحشو الظاهرية والمسامية الظاهرية الكلية .

تمثل المعادلة التالية المخطط البياني شكل (12-37) : -

$$(U_{maa}) = \frac{p_e \rho_e - (\phi_{ta})(U_f)}{1 - \phi_{ta}} \quad \dots (12-42)$$

تمثل المعادلات التالية المخطط البياني شكل (12-35) : -

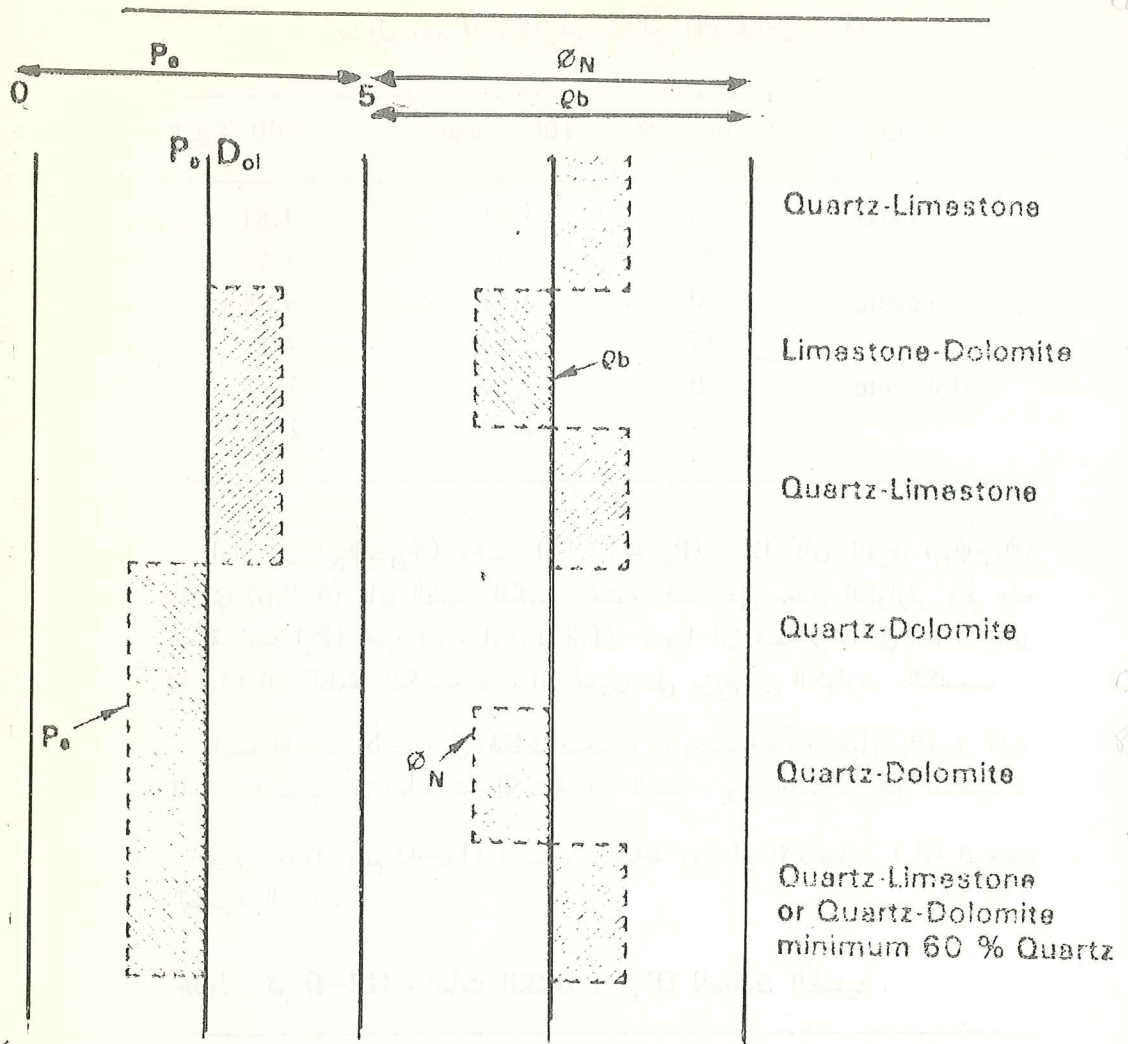
$$(\rho_{maa}) = V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 + V_3 \rho_3 \quad \dots (12-43)$$

$$(U_{maa}) = V_1 U_1 + V_2 U_2 + V_3 U_3 \quad \dots (12-44)$$

$$1 = V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots (12-45)$$

يمثل المخطط شكل (12-38) طريقة سريعة لتحديد مكونات الطبقات الكمية للمعادن الثنائية .

هذه الطريقة مشابهة للطريقة المستعملة في تحديد المعادن الثنائية عن طريق الانفصال بين $(\phi_D - \phi_N)$ ، ولكن يضاف في هذه الطريقة تسجيل (P_e) .



شكل (12-38) مخطط لتحديد مكونات المعادن الثانوية للمكامن بالطريقة السريعة .
(لشركة شلميرجر)

الخط المؤشر بـ $(P_e - D_{ol})$ يمثل قيمة مقطع امتصاص الدولومايت .
في الجدول رقم (12-3) مبينة قيم (P_e) للمعادن الاساسية المكونة للصخور .
نجد في المخطط ، المثال في الاعلى ، يحتوي على مزيج من الكوارتز والكلسيت ،
اي ان الطبقة المكمية تحتوي على هذا المزيج .

جدول رقم (12-3) قيم مقاطع الامتصاص (P_e) :

matrix	Porosity %	100 % water	100 % gas
quartz	0	1.81	1.81
	35	1.54	1.66
calcite	0	5.08	5.08
	35	4.24	4.70
dolomite	0	3.14	3.14
	35	2.70	2.95

إذا كان $(\phi_D > \phi_N)$ وقيمة ($P_e = 3.14$) ، إذا كان الفرق $(\phi_D - \phi_N)$ يساوي (6 P.u) فإن الطبقة الكمينة تحتوي فقط على معدن الكوارتز وفي هذه الحالة قيمة (P_e) يجب ان تساوي (1.81) ، وبما ان قيمة (P_e) في المثال مقدار (3.14) فإن الطبقة الكمينة يجب ان تحتوي على مزيج من الكوارتز والكلسيت .

ايضاً الامثلة الاخرى في المخطط صحيحة ، ويفيد ايضاً تسجيل (P_e) في تحديد المعادن الطينية في الطبقات الكمينة غير النقية ، وفي الطبقات غير الكمينة .

يبين جدول رقم (12-4) قياسات الكثافة ومقاطع الامتصاص (P_e) للمعادن الطينية النقية .

جدول رقم (12-4) قياسات الكثافة و (P_e) للمعادن الطينية .

Mineral	ρ_b	P_e
kaolinite	2.41	1.8
chlorite	2.76	6.3
illite	2.52	3.45
montmorillonite	2.52	2.30

يمثل شكل (39-12) تسجيل (LDT) والنيوترون واسعة كما وتسجيل قطر البئر امام طبقات مختلفة التكوين في الحقل .

باستعمال الطريقة السريعة على المنطقة العليا من المثال ، نجد ان الطبقة رملية حيث $(\phi_D > \phi_N)$ و (P_e) تساوي تقريباً (1.81) . وبين الانفصال (6 p. u.) واكثر ، وهذا دليل احتمال وجود هيدروكربون خفيف . وتسجيل اشعة كما قراءة واطئة .

يدل المثال الثاني على وجود (shale) أو الطفل ، وهذا صحيح حيث $\phi_D > \phi_N$ ومقدار الانفصال بالسالب واكثر من (15 p. u.) و (P_e) تساوي تقريباً (3.5) و (3.6) . وهذه القيمة تدل على وجود معدن (illite) في الطبقة الطفلية وتسجل اشعة كما قراءة عالية امام هذه الطبقة وايضاً تسجيل قطر البئر عالي .

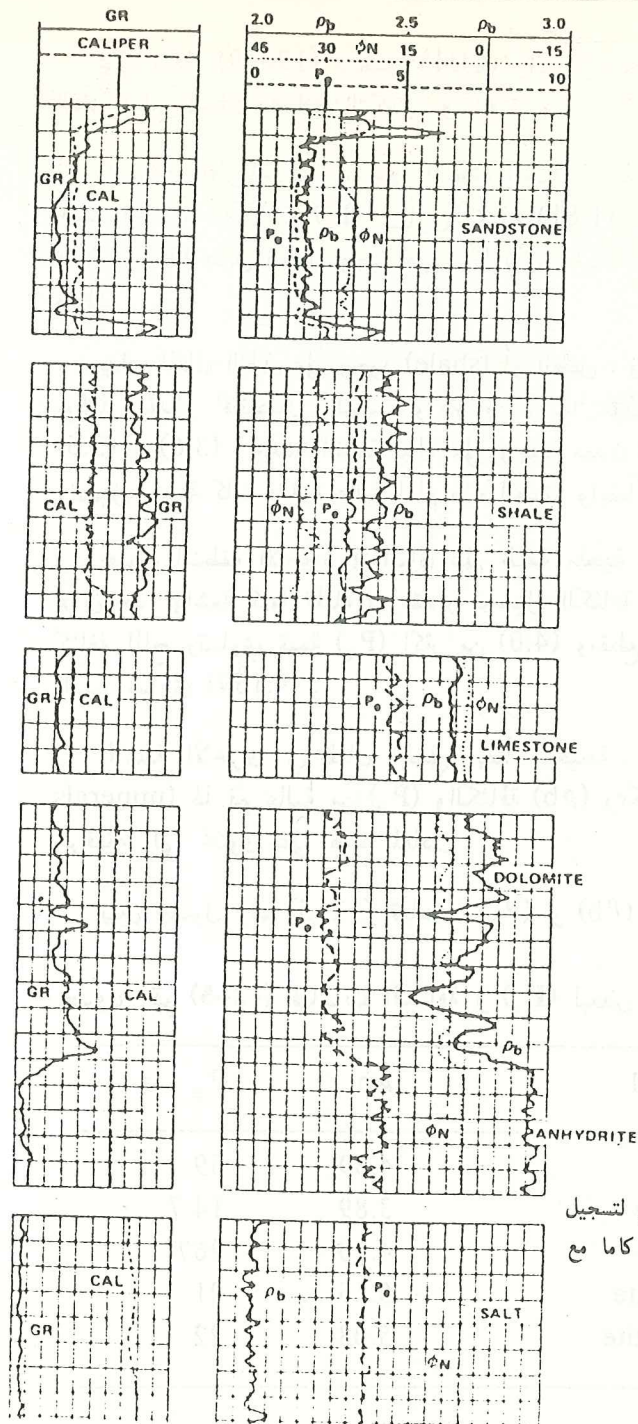
تحتوي المنطقة الاخيرة في المثال على طبقة ملحية ، حيث تسجيل قطر البئر عالي جداً واشعة كما قليلة ، ومقدار تسجيل الكثافة هو (2.1) ويدل هذا على كثافة الملح وتساوي قيمة (P_e) اكثر من (4.0) ومقطع امتصاص الملح (NaCL) النقي يساوي (4.169) .

الامثلة الاخرى في المثال الحقل ايضاً صحيحة . المعادن الثقيلة (heavy minerals) لها قيم عالية من (P_e) والكثافة (ρ_b) ويمكن اكتشاف بعض الطبقات الرقيقة التي تحتوي على هذه المعادن .

يبين جدول رقم (5-12) قياسات (P_e) و (ρ_b) لبعض المعادن الثقيلة .

جدول رقم (5-12) قياسات الكثافة و (P_e) لبعض المعادن الثقيلة .

Mineral	ρ_b	P_e
Zircon	4.39	69
Siderite	3.89	14.7
Barite	4.10	267
Hematite	5.15	21
Magnetite	5.08	22



شكل (12-39) مثال حقلي لتسجيل
(LDT) والنيوترون واشعة كاما مع
(caliper).

(لشركة سلميبرجر)

نلاحظ من الجدول ان قيم (ρ_e) عالية وبصورة خاصة معدن الباريت (barite) . وهذا المعدن يستعمل في اطياف الحفر في بعض الآبار .

اذن تسجيل (ρ_e) في الآبار التي تستعمل هذا المعدن ، اذا لم يكن طين الحفر محتويا على معدن (barite) فان القياسات العالية لتسجيل (ρ_e) تدل على وجود معادن ثقيلة في المنطقة . اكتشاف مناطق فيها معادن ثقيلة مفيد في عملية ترابط الآبار .

يمثل جدول رقم (12-6) قيم مقاطع الامتصاص (P_e) والكثافة (ρ_b) وكثافة الالكترونات (ρ_e) ومقاطع الامتصاص الحجمية (U) لبعض الصخور الكمنية وغير الكمنية والمعادن الطينية والفحم والمعادن الثقيلة .

جدول رقم (12-6) قيم مقاطع الامتصاص (ρ_e) ، الكثافة (ρ_b) كثافة الالكترونات (ρ_e) ، مقاطع الامتصاص الحجمية (U) .

Minerals	P_e	ρ_b	ρ_e	U
Dolomite	3.142	2.877	2.864	9.00
Limestone	5.084	2.710	2.708	13.77
Sandstone	1.806	2.648	2.650	4.79
Anhydrite	5.055	2.977	2.957	14.95
Gypsum	3.420	2.351	2.372	8.11
Halite	4.169	2.032	2.074	8.65
Chlorite *	6.30	2.79	2.79	17.58
Illite *	3.45	2.52	2.52	8.69
Kaolinite *	1.83	2.41	2.41	4.41
Montmorillonite *	2.04	2.12	2.12	4.32
Coal *	.180	1.400	1.468	.26
Barite	266.8	4.105	4.011	1070.
Hematite	21.48	5.150	4.987	107.
Sylvite	8.51	1.863	1.916	16.3
Zircon	69.10	4.392	4.279	296.

* Approximate values

(8) طريقة المقارنة بين المسامية (ϕ_{EPT}) والمسامية (ϕ_{N-D}) للكشف عن هيدروكربونات

تعتبر هذه الطريقة السريعة حديثة ، حيث ظهرت في سنة (1983) وطبقت لأول مرة في حوض البرمي (Permian basin) ، الغني في البترول .

الطرق التقليدية للمقاومة في الكشف عن الهيدروكربونات ليست ناجحة في جميع الحقول او في اكتشاف طبقات بترولية .

هنالك اسباب تؤدي الى حدوث اختلاف بين نتائج التحليل من تسجيلات الآبار ونتائج الانتاج الحقيقية في بعض الطبقات ، من هذه الاسباب : -

- (1) حدوث اخطاء في قيم أس التسميت (m) وأس التشبع (n) المفروضة في المعادلات الخاصة لحساب (S_w) .
- (2) اختلافات في قيم (R_w) .
- (3) اخطاء في حسابات المقاومة النوعية للطبقات المختلفة ، هذا الخطأ ممكن ان يحدث بسبب : -

- (1) تأثير عمق الغزو على القياسات .
- (2) تأثير الطبقات المجاورة على القياسات .
- (3) اختلافات في حجم ذرات الطبقة المكمية ، مما تؤدي الى اختلافات في (S_w) المحسوبة لنفس الطبقة .
- (4) وجود بعض الطبقات الكلسية الرقيقة داخل الطبقات الرملية ، مما تؤدي الى قياسات عالية للمقاومة .
- (5) وجود بعض الانواع من المعادن الطينية مثل (illite) او (chlorite) تؤثر على المقاومة ، اسباب اخرى مذكورة في فصل فيزياء الصخور (petrophysics) .

يقيس جهاز (EPT)⁽¹⁸⁾ او (Electromagnetic propagation tool) زمن انتقال الموجة الكهرومغناطيسية خلال التكوين . يرسل هذا الجهاز موجات ذات ذبذبات عالية تقدر بحوالي (1.1-GHz) داخل التكوين وملتقط الامواج المنتقلة خلال التكوين اجهزة الالتقاط الموجودة على جهاز (EPT) .

يمكن حساب المسامية (ϕ) من فرق الزمن لانتقال الموجة داخل التكوين ، حيث : -

$$\phi_{EPT} = \frac{t_{p1} - t_{pma}}{t_{pmf} - t_{pma}} \quad \dots (12-46)$$

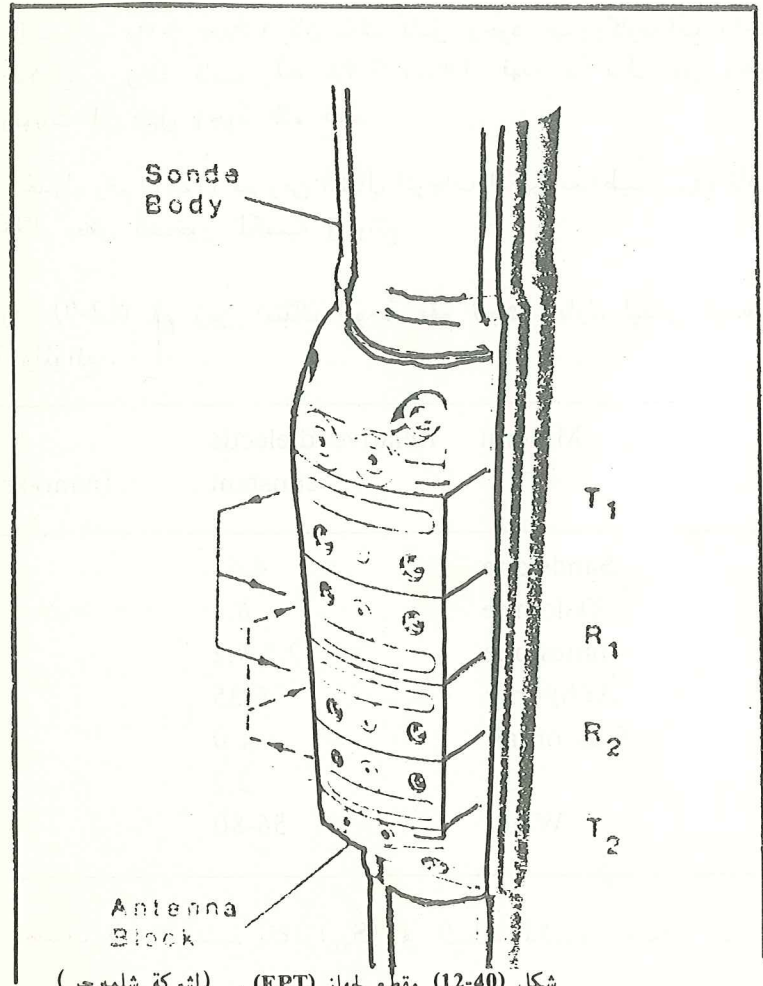
t_{p1} - زمن انتقال الموجة خلال التكوين .

t_{pma} - زمن انتقال الموجة خلال الحشو .

t_{pmf} - زمن انتقال الموجة خلال راسح الطين .

هذه المعادلة شبيهة بمعادلة حساب المسامية من معادلة (Wyllie) باستعمال جهاز (BHC) لقياس السرعة .

شكل (12-40) يمثل جهاز (EPT) .



شكل (12-40) مقطع جهاز (EPT) . (لشركة شلمبرجر)

الماء الموجود داخل مسامات التكوين له ثابت العازل (constant dielectric) اعلى بكثير من قيمة ثابت العازل للهيدروكربونات او المكونات المعدنية للصخور ، لذلك فإن جهاز (EPT) يستجيب للمسامية المملوءة بالماء بغض النظر عن تركيز الاملاح داخل الماء .

ان جهاز (EPT) يقيس مقدار الماء الموجود داخل المنطقة المكتسحة من الطبقات النفاذة ، اذن بمقارنة المسامية من (EPT) مع المسامية الكلية المحسوبة من (ϕ_{N-D}) ، نستطيع اكتشاف هيدروكربونات متبقية داخل المناطق المكتسحة (flushed zones) من الطبقات الهيدروكربونية ، حيث يتأثر جهاز (EPT) فقط بالمسامية المملوءة بالماء .

اذا كانت $(\phi_{EPT} = \phi_{N-D})$ فان ذلك دليل وجود هيدروكربونات داخل الطبقة الكمئية ، واذا كانت $(\phi_{EPT} < \phi_{N-D})$ فهذا لا يدل على وجود هيدروكربونات او دليل وجود الماء فقط .

يبين الجدول رقم (12-7) قيم زمن انتقال الموجات الكهرومغناطيسية وقيم ثابت العازل خلال بعض الصخور الكمئية والموائع .

جدول رقم (12-7) قيم زمن انتقال الموجة وقيم ثابت العازل لبعض الصخور الكمئية والموائع .

Mineral	Relative dielectie constant	tpl (nano-sec / m)
Sandstone	4.65	7.2
Dolomite	6.8	8.7
limestone	7.5-9.2	9.1-10.2
Anhydrite	6.35	8.4
Gas or air	1.0	3.3
Oil	2.2	4.9
Water	56-80	25-30

يمكن حساب درجة التشبع بالماء (S_{xo}) في المنطقة المكتسحة حيث : -

$$S_{x0} = \frac{\phi_{EPT}}{\phi_t} \dots (12-47)$$

ϕ_{EPT} - المسامية المحسوبة من تسجيل (EPT) .
 ϕ_t - المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون او الكثافة ، وهذه الدرجة للتشبع مفيدة في تحديد الطبقات الكمئية الحاوية على هيدروكربونات منتجة او غير منتجة .

يستعمل جهاز (EPT) فقط في الآبار المفتوحة والمملوءة بسائل حفر اعتيادي .

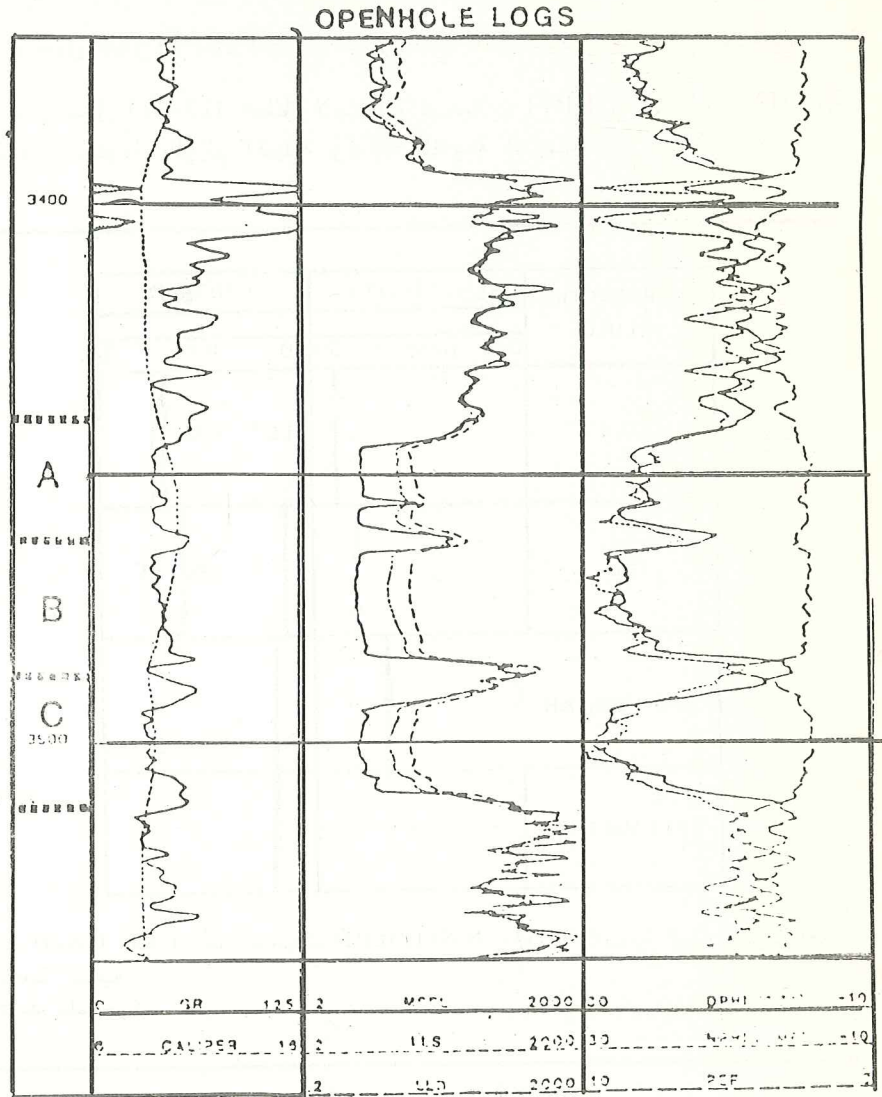
يمثل شكل (12-41) مخططا لاستجابة تسجيلات (EPT) ، (CNL) ، (LDT) للمسامية المملوءة بالموائع المختلفة وكذلك المقاومة النوعية لهذه الحالات .

FORMATION FLUID	RESISTIVITY		POROSITY		
	0	ohm-m	50	30	p.u. 0
GAS				LDT CNL	
OIL				EPT	
FRESH WATER					
SALT WATER					

شكل (12-41) مخطط لاستجابة تسجيلات (EPT) ، (CNL) ، (LDT) للمسامية المملوءة بالموائع المختلفة والمقاومة النوعية .
 (لشركة شلمبرجر) .

يمثل شكل (12-42) تسجيلات (DLL/MSFL) مع (LDT/CNL) مع اشعة كاما وقطر البئر ، توجد ثلاثة طبقات مكمنية رملية في المثال . ظهرت هذه الطبقات الثلاثة بعد التحليل بواسطة الحاسبة الالكترونية بأنها منتجة للهيدروكربونات .

يمثل شكل (12-43) تسجيل النتائج عن طريق الحاسبة .



شكل (12-42) مثال حقلي لتسجيلات (DLL/MSFL) مع (LDT/CNL) واشعة كاما وقطر البئر .
(لشركة شلمبرجر)

[illegible]

0.7

لقد تبين من نتيجة الاختبار لهذه الطبقات في الآبار الاخرى بأن الطبقتين (A,B) حاويتان على الماء .

اجري مسح آخر لهذا البئر باستعمال جهاز (EPT) وظهر بأن الطبقتين (A,B) غير منتجتين اما الطبقة (C) فهي منتجة .

حصل الانتاج بعد عملية التثقيب لهذه المنطقة .

يمثل شكل (12-44) تسجيل المسامية بواسطة (EPT) والمسامية بواسطة تسجيلات اخرى مع تسجيل النسب الطفلية وقطر البئر .

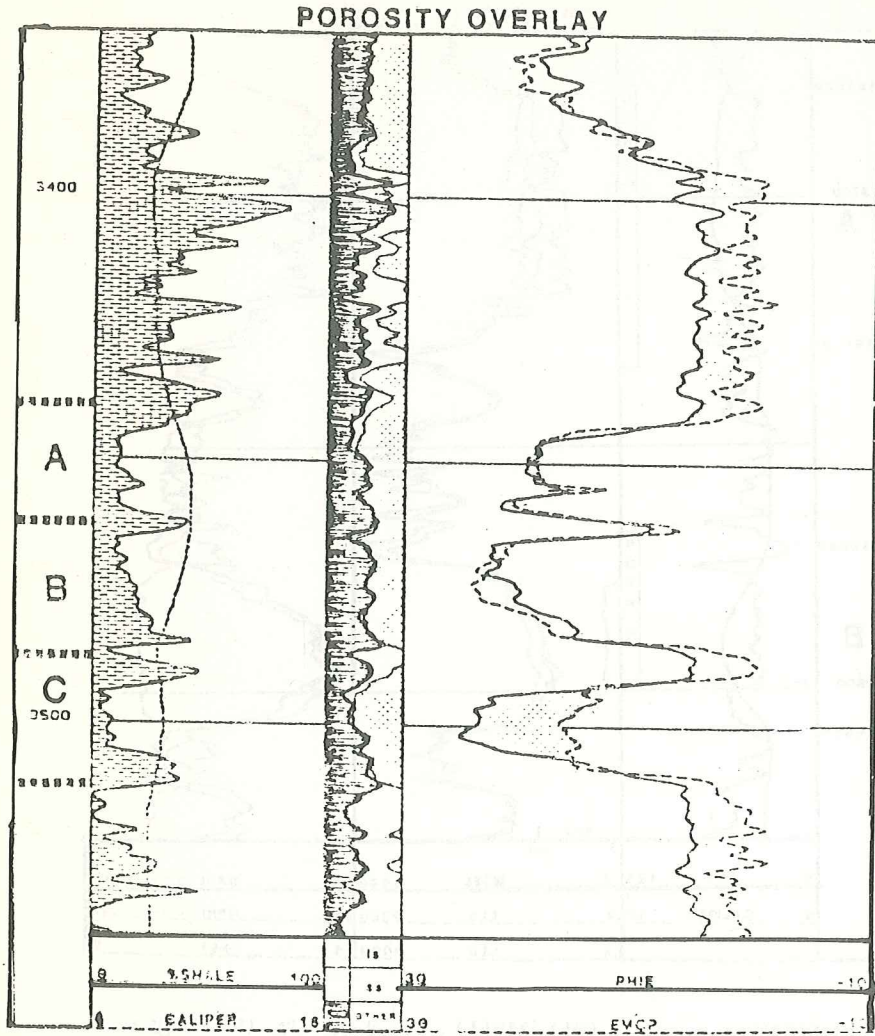
يمثل شكل (12-45) تسجيلات (DLL/MSFL) مع (LDT/CNL) مع اشعة كاما وقطر البئر في بئر آخر .

يتبين باستعمال الطرق التقليدية للتحليل بأن المنطقة (A) من المحتمل ان تكون منتجة ، اما المنطقة (B) فتظهر غير منتجة او مشبكة بالماء .

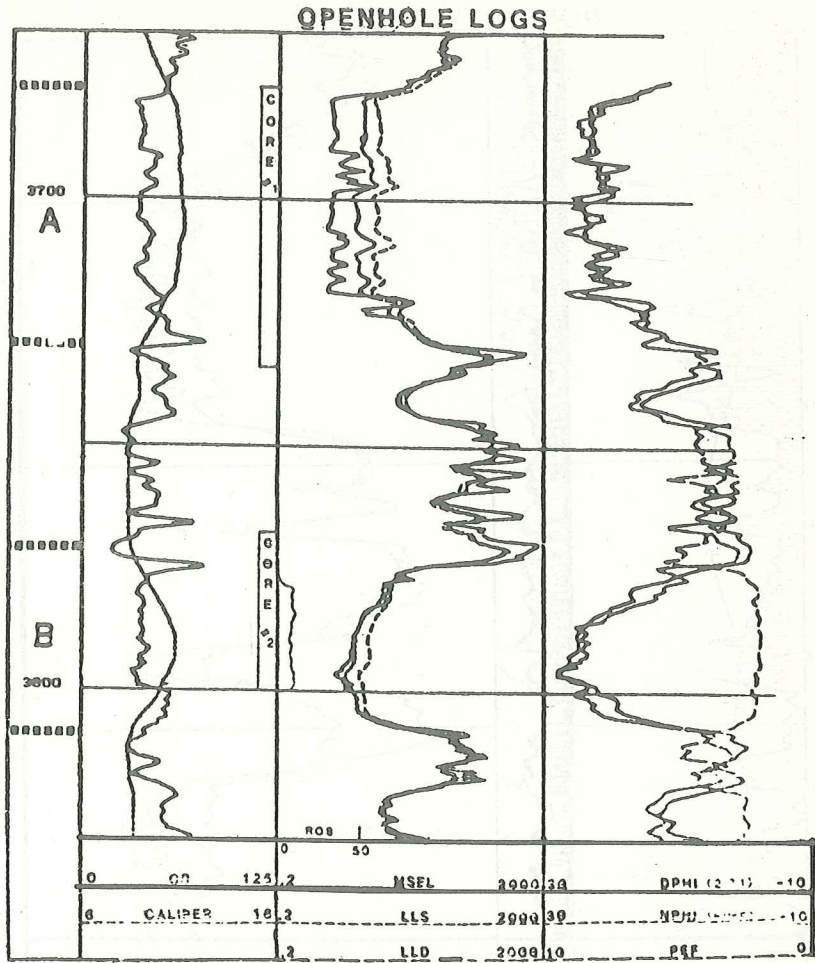
لقد ظهر من نتائج لباب الصخور من منطقة (A) بأنها مشبعة بالماء (100%) وتحتوي المنطقة (B) على هايدروكربونات متبقية .

اجري مسح آخر لهذه المنطقة شكل (12-46) بواسطة (EPT) وظهر من هذا التسجيل بأن المنطقة (B) منتجة ، واما المنطقة (A) فهي غير منتجة اي ان هذه النتائج تؤكد على نتائج فحص لباب الصخور .

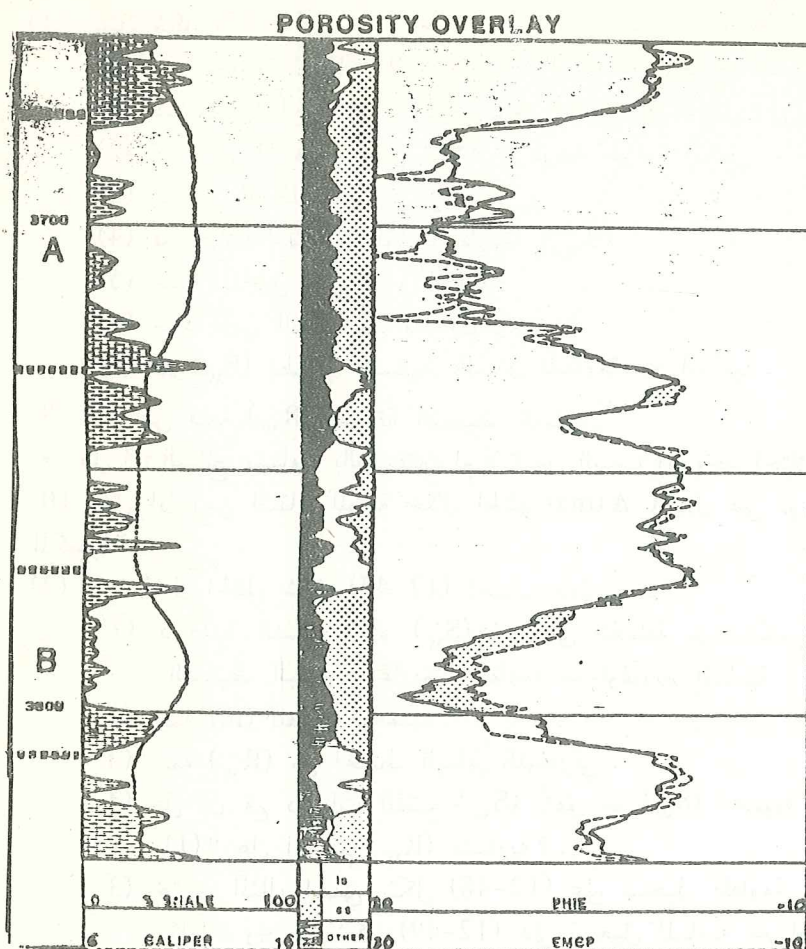
بعد عملية التثقيب حصل الانتاج من منطقة (B) بمقدار (139) برميل نפט يوميا .



شكل (12-44) مثال حقلي لتسجيل المسامية بواسطة (EPT) والمسامية من تسجيلات أخرى.
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-45) مثال حقلي لتسجيلات (DLL/MSFL) مع (تسجيلات (LDT/CNL) .
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-46) مثال حقلي لتسجيل المسامية بواسطة (EPT) والمسامية من تسجيلات اخرى .
(لشركة شلمبرجر)

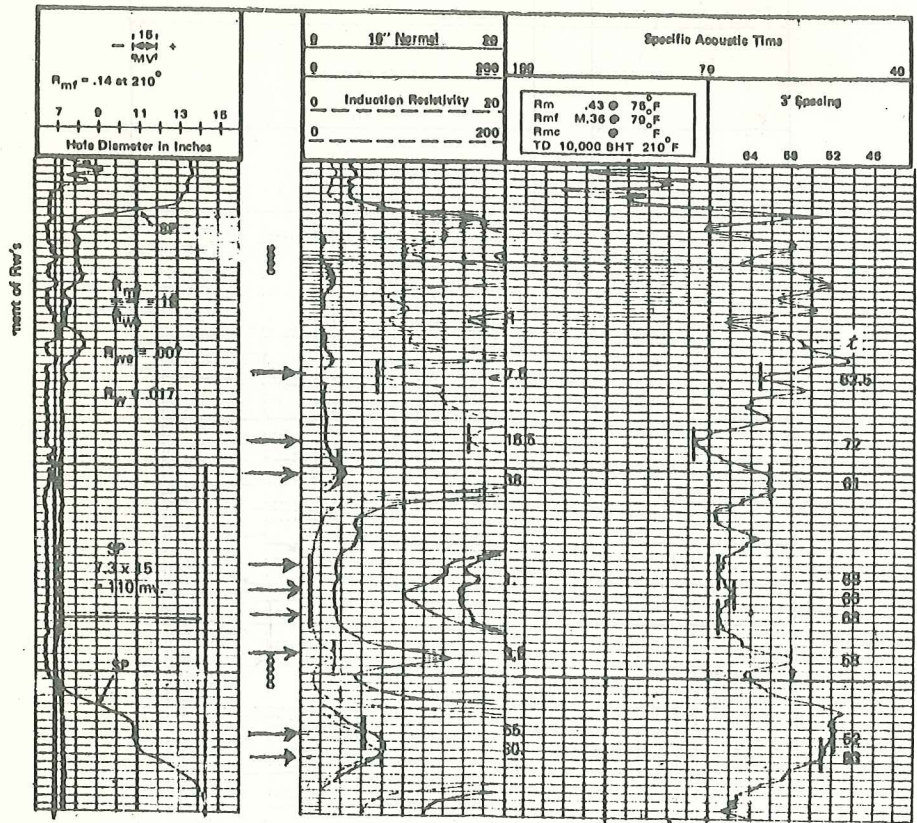
مسائل : -

- (1) يمثل شكل (12-47) تسجيل (IES) مع تسجيل السرعة امام طبقة مكمنية كلسية . استعمل البيانات المتوفرة في المثال واحسب ماييلي : -
 (1) المسامية (ϕ_s) للمناطق المؤشرة (ترقم المناطق من الاسفل الى الاعلى) .
 (2) قيمة (R_w) من تسجيل (SP) في درجة حرارة المكن .
 (3) قيم (R_{wa}) للمناطق المؤشرة .
 (4) قيم (S_w) للمناطق المؤشرة بطريقة (R_{wa}) .
 (5) حدد المناطق النفطية والمائية .
 (6) حدد تماس النفط مع الماء إن وجد .
 (7) قيم (S_w) بطريقة التسقيط البياني للمقاومة مع المسامية .
 8 تأكد من قيمة (R_w) بطريقة التسقيط البياني .
 9 هل ان النتائج متساوية بالطريقتين ام لا ؟ بين السبب إن وجد اختلاف ؟ .
 10 هل ان زمن انتقال الموجة خلال الحشو (Δt_{ma}) يدل على نوع الطبقة المكمنية ؟ .

- (2) في المثال الحقلي شكل (12-47) احسب ماييلي : -
 (1) درجات التشبع بالماء (S_w) للمناطق المختلفة من المكن بطريقة التسقيط البياني للوغاريتم . المقاومة مع لوغاريتم المسامية .
 (2) قيمة (m) للطبقة المكمنية .
 (3) قيمة (R_w) من المخطط البياني للوغاريتم .
 (4) هل ان قيم درجات التشبع (S_w) تتفق مع (S_w) المحسوبة في تمرين (1) ؟ هل ان قيم (R_w) متساوية ؟ .
 (3) يحتوي المثال الحقلي شكل (12-48) على تسجيل المقاومة مع اشعة كاما ، ويحتوي شكل (12-49) على تسجيل المسامية مع اشعة كاما وحجم البئر (caliper) لطبقة مكمنية في احدى الحقول البترولية .

المطلوب : -

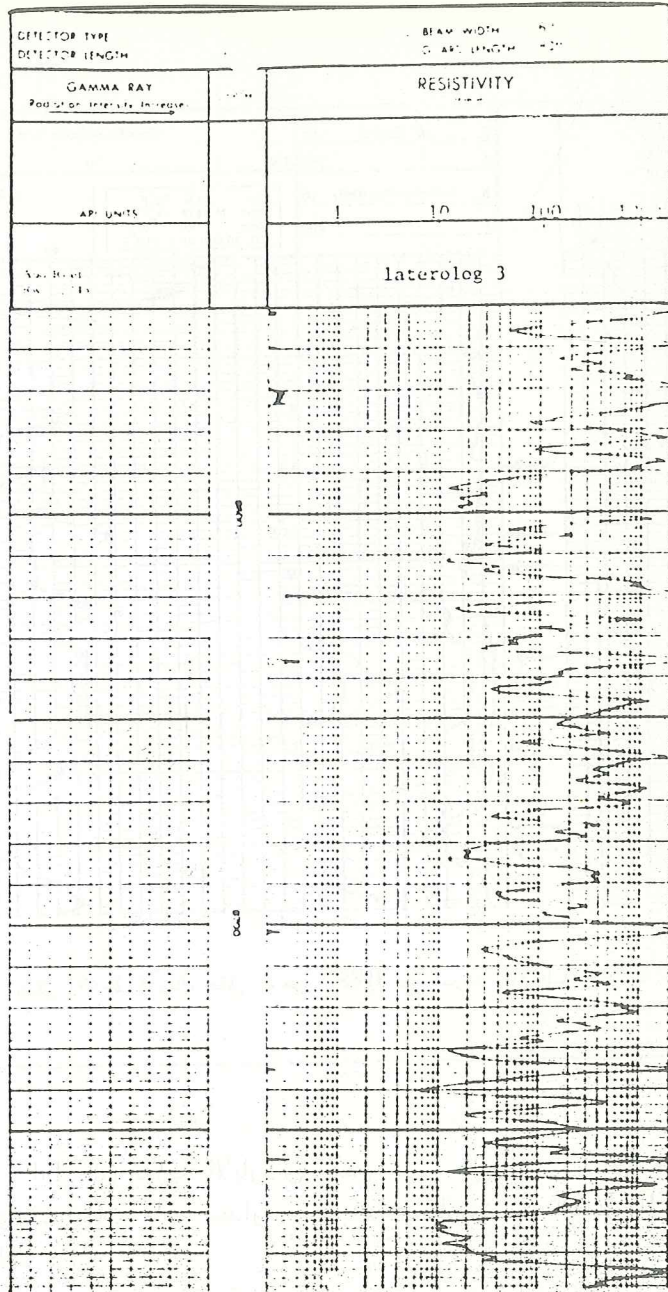
- (1) عمل مخطط بياني لقيم المقاومة مع المسامية .
 (2) احسب درجات التشبع بالماء (S_w) للمناطق الهيدروكاربونية .
 (3) عمل مخطط بياني للوغاريتم المقاومة مع لوغاريتم المسامية للمناطق المختلفة من الطبقة المكمنية .
 (4) استعمل طريقة (R_{wa}) لتحديد المناطق النفطية والمائية في المثال الحقلي شكل (12-50) و (12-51) ، ماهو سمك الطبقة النفطية ، وماهي مسامية ودرجة التشبع بالماء لهذه الطبقة ؟



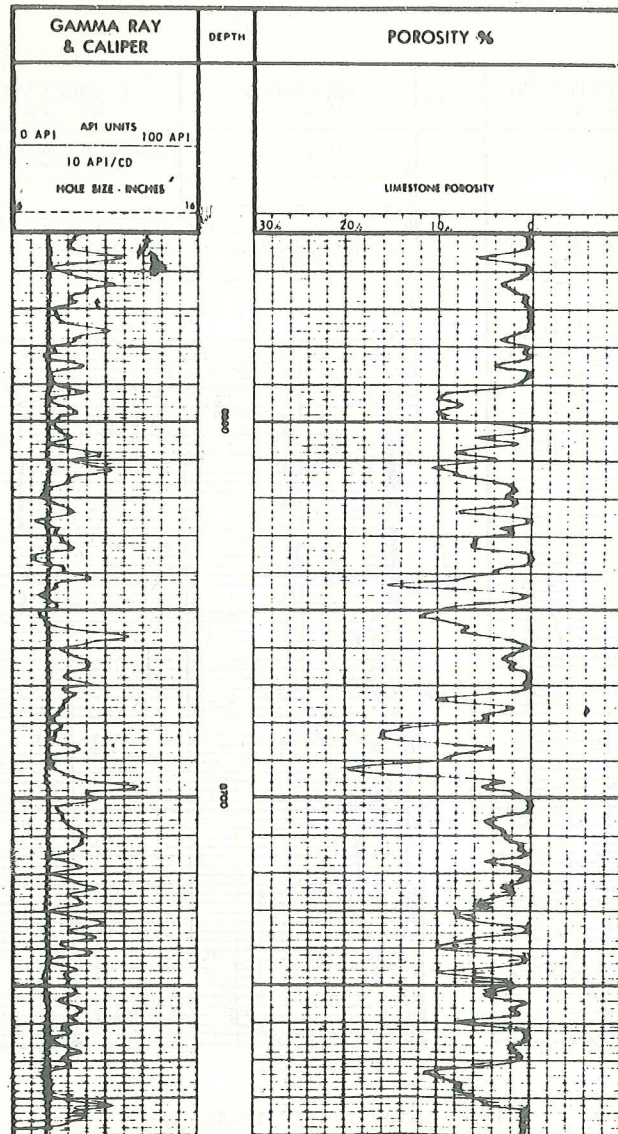
شكل (12-47) مثال حقلي لتسجيل (IES) مع السرعة امام طبقة مكمنية كلسية .

إذا كان توزيع الآبار في الحقل مبني على أساس (40) فدان المسافة (spacing) ، ماهو مقدار حجم الهيدروكربون في الطبقة المكمنية حول البئر ؟ .

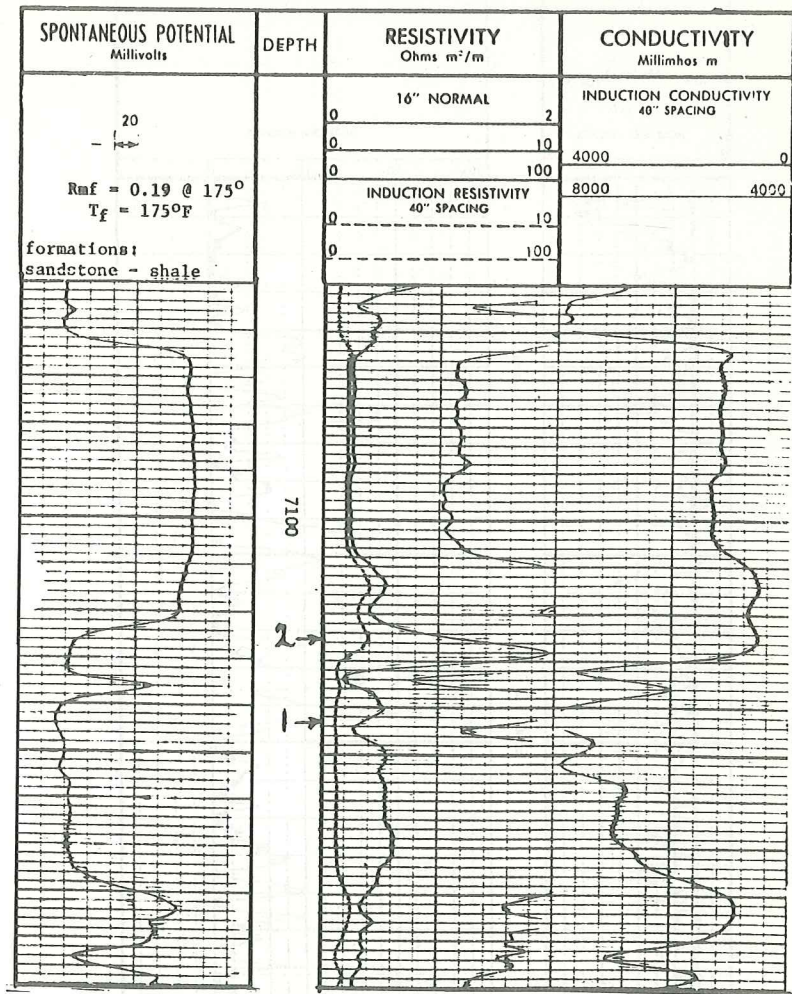
(5) اجري مسح في بئر بترولي عند طريق تسجيل الآبار . القياسات الحقلية مبينة في جدول رقم (8-12) .
يبين شكل (52-12) تسجيلات الآبار امام الطبقة المكمنية .



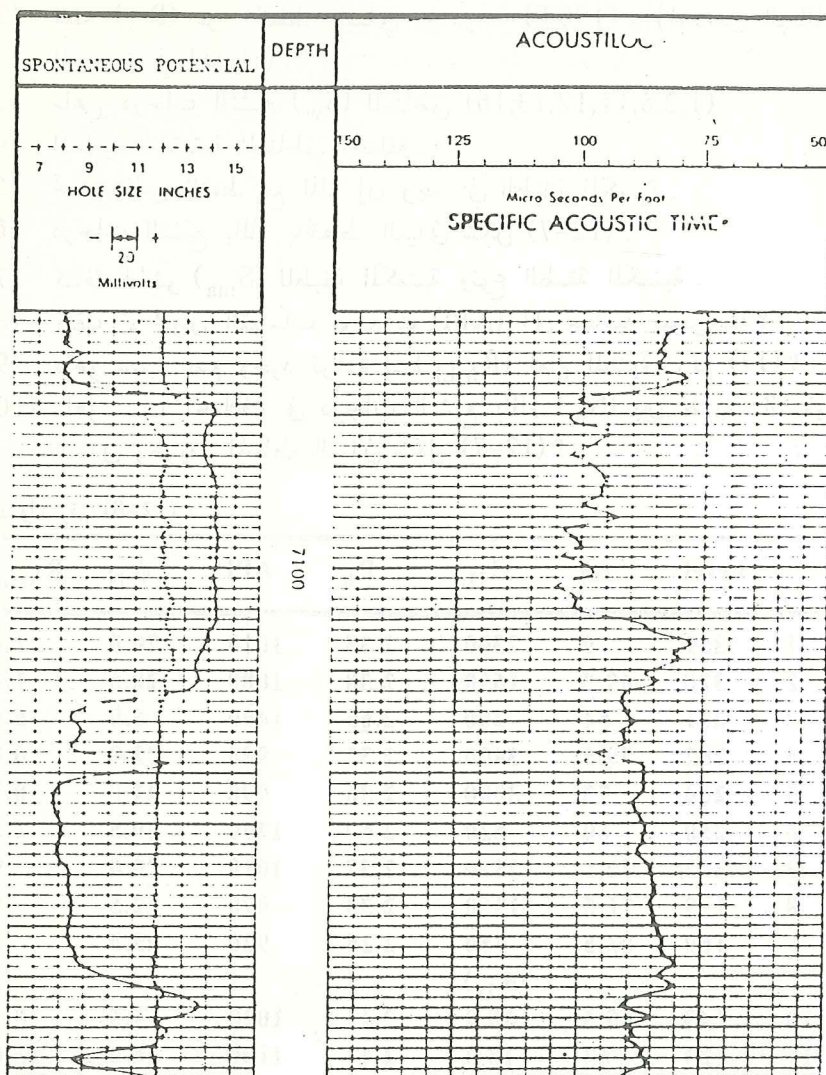
شكل (12-48) مثال حقلي لتسجيل المقاومة مع اشعة كاما في احدى الحقول البترولية .



شكل (12-49) مثال حقلي لتسجيل المسامية مع اشعة كاما وحجم البئر (caliper) في احدي الحقول
البترولية .



شكل (12-50) مثال حقلي لتسجيل (IES).



شكل (51-12) مثال حقلي لتسجيل السرعة مع (SP) وتسجيل حجم البئر.

المطلوب : -

- (1) إيجاد درجات التشبع بالماء (S_w) للمناطق المؤشرة بطريقة التسقيط البياني للوغاريتم (R_{MLL}) مع لوغاريتم (R_{IL}) .
- (2) قيمة (R_w) من المخطط البياني في درجة (190°F) ، (استعمل البيانات الموجودة في الجدول) .
- (3) ماهي درجات التشبع (S_w) للمناطق (1,2,6,11,12,13,16) .
- (4) المسامية الحقيقية للمناطق المختلفة .
- (5) تحديد تماس النفط مع الماء إن وجد في الطبقة المكمنية .
- (6) درجات التشبع بالماء بالمخطط البياني شكل (7-12) .
- (7) كثافة الحشو (S_{ma}) للطبقة المكمنية ونوع الطبقة المكمنية .
- (8) كيف تم تحويل القياسات بوحدات (API) الى مسامية نيوترونية ؟ .
- (9) ماهو سبب عدم وجود قراءة لـ (R_{MLL}) امام المستوى رقم (17) ؟ .
- (10) ماهو سبب اختلاف في درجات التشبع بالماء (S_w) بين طريقة التسقيط البياني وطريقة المخطط البياني شكل (7-12) ؟ .

جدول رقم (8-12) :

	Level	Δt	C_{IL}	P_b	API	ϕ_N	R_{MLL}
1	359	70	2300	2.38	1010	20.0	1.0
2	320	69.5	1650	2.38	1000	20.5	1.4
3	291	54	200	2.65	1490	6.0	5.5
4	282	79.5	3400	2.32	980	22.0	0.8
5	264	73	3000	2.36	990	21.0	0.7
6	250	60	520	2.53	1270	10.5	4.5
7	222	72.5	2350	2.37	1010	20.0	.9
8	199	71.5	1950	2.34	970	22.5	.8
9	169	82.5	750	2.25	920	25.5	.4
			(R_{IL})				
10	143	65.5	18.0	2.42	1020	19.5	8.5
11	123	63	18.0	2.47	1100	16.0	13.0
12	077	86.5	4.0	2.21	910	26.0	0.7
13	067	90	5.0	2.16	890	27.5	0.85
14	054	68	15.0	2.44	1040	18.5	3.5
15	043	56.5	17.0	2.59	1140	14.5	10.0
16	034	78	12.0	2.29	840	31.0	1.5
17	026	50	25.0	2.97	1940	1.0	*

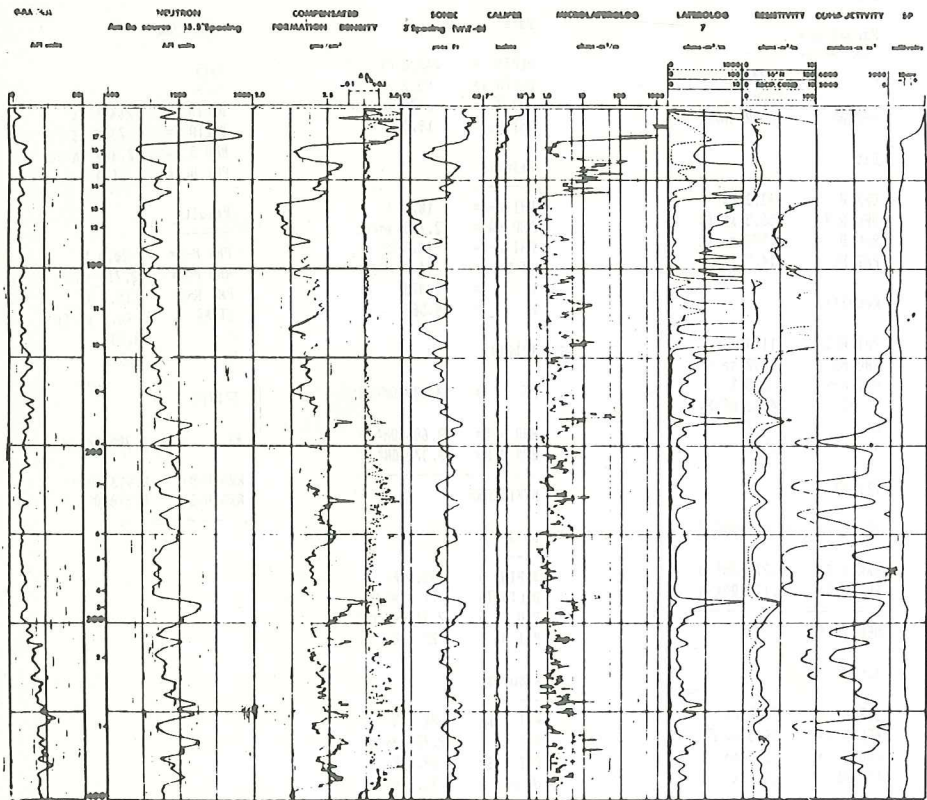
٥١٨ - قراءات (C_{IL}) و (S_p) مصححة لتأثيرات البئر .

البيانات الحقلية الاخرى : -

درجة حرارة المكمن = 190°F

$R_{mf} = 0.045$ at 190°F

Bit size = 85/8"



شكل (12-52) مثال حقلي لتسجيلات الآبار المختلفة امام طبقة مكمنية في احدى الآبار البترولية .
(لشركة شلميرجر)

نتائج الميكروكومبيوتر نوع (PDC/4100) لبعض المناطق المكنية لمسألة رقم (5)

CNL/FDC/SON

INPUT OPTION

FDC CM/CC
CNL LINE %

Parameters

A = 1.000
M = 2.000
RHO MF = 1.000 gm/cc

Data

DEPTH = 43.0 Ft
DELTA T = 56.5 μ S/Ft
RHO B = 2.590 gm/cc
PHI NL = 14.5 %

Results

PHI N-D = 11.3 %
RHO MA = 2.792 gm/cc
PHI N-S = 8.5 %
dT MA = 44.2 μ S/Ft
M = 0.833
N = 0.538

RWA

RT = 17.000 QM²/M

RWA N-D = 0.216 QM²/M
RWA N-S = 0.122 QM²/M

NEXT CASE

Data

DEPTH = 77.0 Ft
DELTA T = 86.5 μ S/Ft
RHO B = 2.210 gm/cc
PHI NL = 26.0 %

Results

PHI N-D = 28.0 %
RHO MA = 2.602 gm/cc
PHI N-S = 26.8 %
MA = 49.0 μ S/Ft
= 0.847
= 0.612

RWA

RT = 4.000 QM²/M

RWA N-D = 0.315 QM²/M
RWA N-S = 0.207 QM²/M

NEXT CASE

Data

DEPTH = 143.0 Ft
DELTA T = 65.5 μ S/Ft
RHO B = 2.420 gm/cc
PHI NL = 19.5 %

Results

PHI N-D = 18.3 %
RHO MA = 2.739 gm/cc
PHI N-S = 14.3 %
dT MA = 44.8 μ S/Ft
M = 0.870
N = 0.567

RWA

RT = 18.000 QM²/M

RWA N-D = 0.606 QM²/M
RWA N-S = 0.370 QM²/M

NEXT CASE

Data

DEPTH = 199.0 Ft
DELTA T = 71.5 μ S/Ft
RHO B = 2.340 gm/cc
PHI NL = 22.5 %

Results

PHI N-D = 22.1 %
RHO MA = 2.720 gm/cc
PHI N-S = 18.2 %
dT MA = 45.3 μ S/Ft
M = 0.877
N = 0.570

RWA

RT = 0.500 QM²/M

RWA N-D = 0.024 QM²/M
RWA N-S = 0.017 QM²/M

NEXT CASE

Data

DEPTH = 264.0 Ft
DELTA T = 73.0 μ S/Ft
RHO B = 2.360 gm/cc
PHI NL = 21.0 %

Results

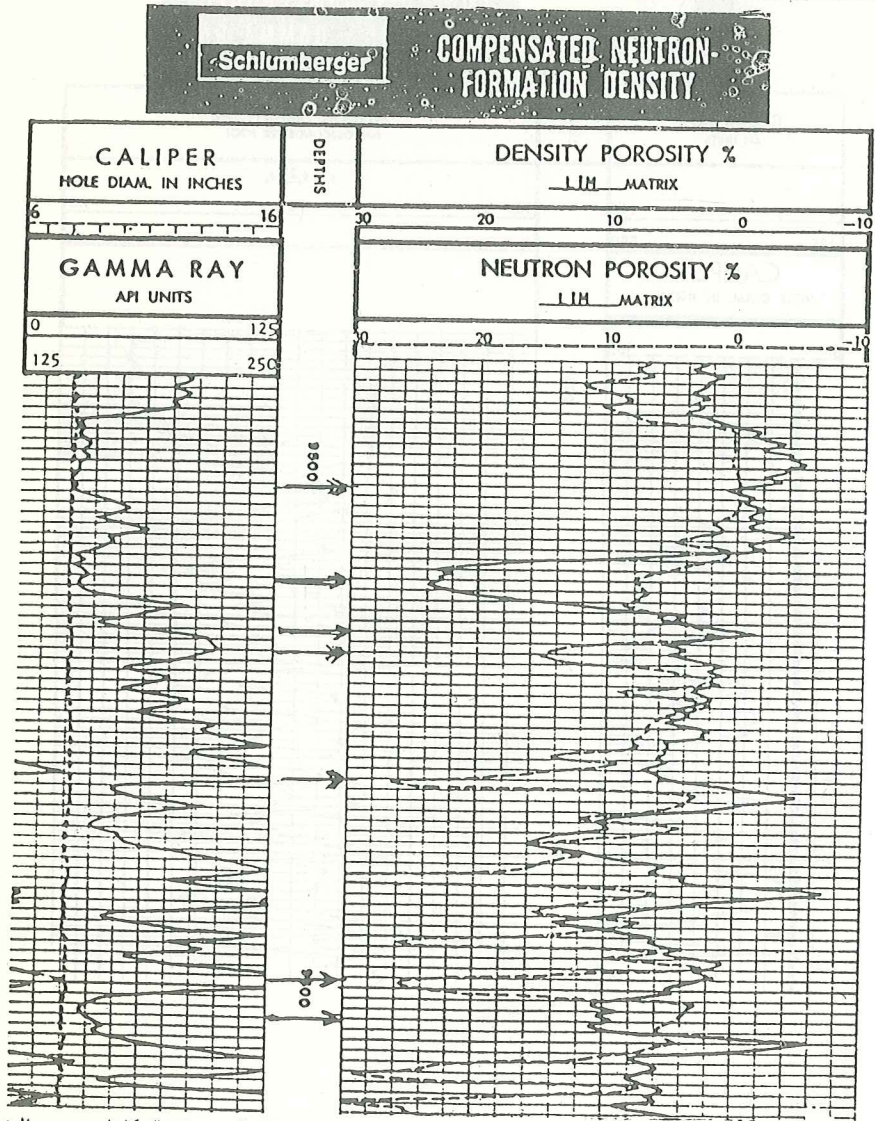
PHI N-D = 20.8 %
RHO MA = 2.716 gm/cc
PHI N-S = 18.7 %
dT MA = 46.3 μ S/Ft
M = 0.853
N = 0.581

RWA

RT = 0.300 QM²/M

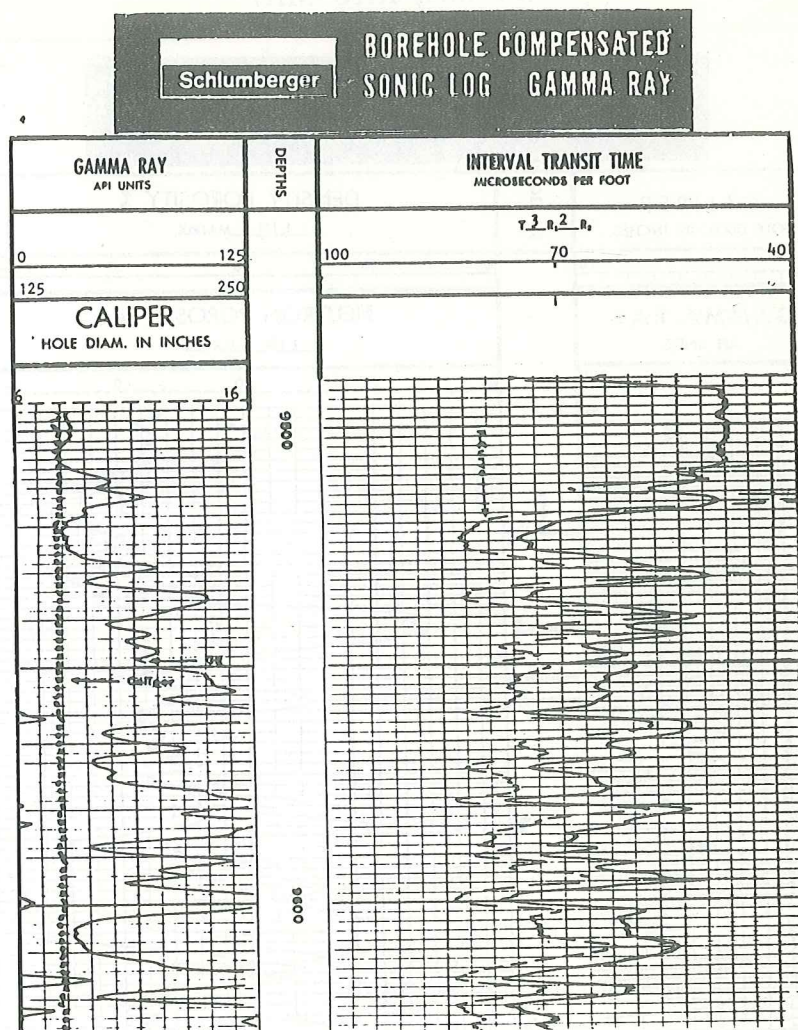
RWA N-D = 0.013 QM²/M
RWA N-S = 0.010 QM²/M

لقد تم تحليل بعض المناطق من هذا الجدول بواسطة الميكروكومبيوتر نوع -
PDC / 4100 وقد شمل التحليل على حساب المسامية الصحيحة ،
كثافة الحشو زمن انتقال الموجة خلال الحشو :
(dT-MA, RHO-MA)



شكل (53-12) مثال حقلي لتسجيل النيوترون والكثافة بالطريقة الخاصة مع اشعة كاما وحجم البئر
(caliper) .

(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-54) مثال حقلي لتسجيل السرعة مع اشعة كاما وحجم البئر (caliper).
(لشركة شلمبرجر)

وقيم (R_{wa}) .

(6) يحتوي المثال الحقلي ، شكل (12-53) على تسجيل النيوترون والكثافة بالطريقة الخاصة لدراسة الخصائص التلوجية واكتشاف هيدروكربونات ان وجدت .

شكل (12-54) يمثل تسجيل السرعة لنفس الطبقة المكنية مع تسجيل اشعة كاما وحجم البئر (caliper) .

المطلوب : -

- (1) تحديد الخصائص التلوجية للمناطق المؤشرة (نوع التكوينات) .
- (2) ايجاد المسامية الصحيحة للطبقات المكنية .
- (3) تحديد الطبقات المكنية الهايدروكربونية ونوع الهايدروكربونات ان وجدت .

(7) استعملت طريقة لوغاريم (R_{xo} / R_p) مع تسجيل (SP) للكشف عن المناطق الهايدروكربونية في المثال الحقلي شكل (12-55) .

المطلوب : -

- (1) تحديد المناطق الهايدروكربونية والمناطق المائية باستعمال طريقة الانفصال بين التسجيلين .
- (2) هل تعتبر المنطقة في عمق (4700) حاوية على الهايدروكربون أو الماء ؟ .
- (3) هل ممكن تطبيق الطريقة في كل الحالات بنجاح ؟ اشرح ذلك .
- (8) تمثل المناطق المؤشرة في المثال الحقلي شكل (12-56) تكوينات او طبقات مختلفة منها مكنية وغير مكنية .

يشمل المسار رقم (1) على تسجيل : -

(القسم الايسر) GR, SP, Caliper

(القسم الايمن) : كثافة الحشو الظاهرية (ρ_{maa}) بطريقة المخططات المخططات البيانية (ρ_b / ϕ_N) وبطريقة المخطط البياني ($\rho_b - p_e$) شكل (12-36) بافتراض ان المزيج اما من معادن الكوارتز والكلسيت او الكلسيت والدولومايت .

يشمل القسم الوسطي من التسجيل على بروفيل كثافة الحشو الظاهرية بافتراض ان المزيج يتكون من معادن ثلاثية (كوارتز ، كلسيت ، ودولومايت) بنسب مختلفة .

يشمل المسار رقم (2) على تسجيل المقاومات : -



(LL8) , (IL_D) , (IL_m)

وبالإضافة لمقاومة الموائع الظاهرية داخل المسامات (R_{fa}) .
يشمل المسار رقم (3) على تسجيل المسامية بالطريقة الخاصة ($\phi_D - \phi_N$)
وتسجيل مقاطع الامتصاص (ρ_e) والمسامية الظاهرية من مخططات
($\rho_b - \phi_N$) .

المطلوب : -

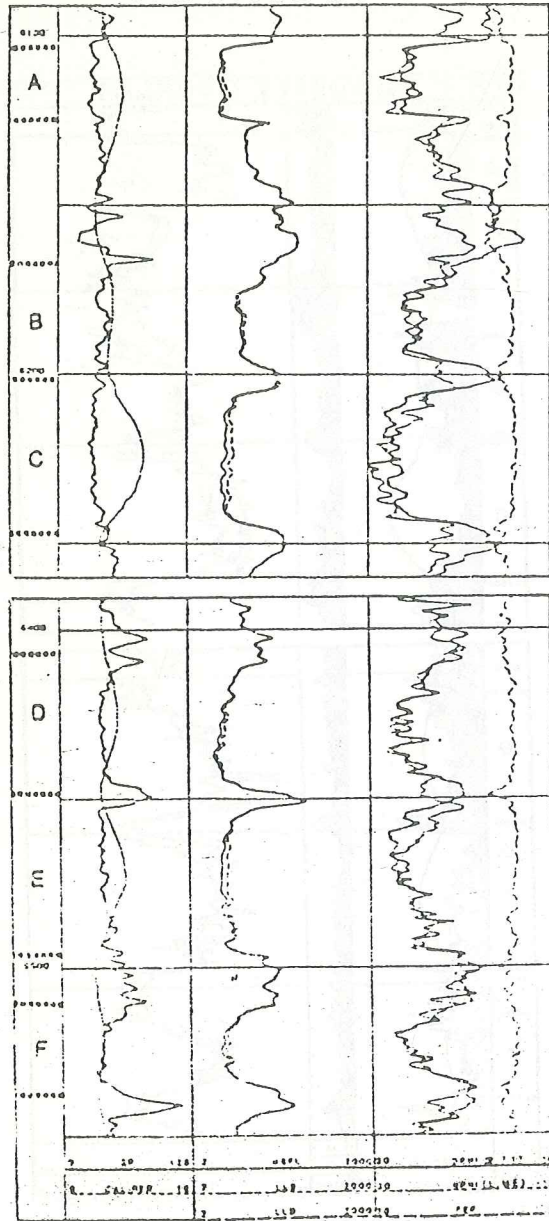
- (1) تحديد نوعية الطبقات او التكوينات باستعمال كافة المعلومات المتوفرة للمناطق المؤشرة .
- (9) يبين شكل (12-57) تسجيلات (DLL) و (LDT/CNL) امام طبقات مكمنية رملية ذات مسامية عالية (اكثر من 20%) .
لقد تبين من الطرق التقليدية لحسابات درجات التشبع بالماء (S_w) ، ان الطبقتين (B,C) حاويتان على هيدروكربونات .
لقد اجري مسح لهذا البئر بواسطة (EPT) ، وشكل (12-58) يبين تسجيل (ϕ_{EPT}) و (ϕ_E) لنفس الطبقات .

المطلوب : -

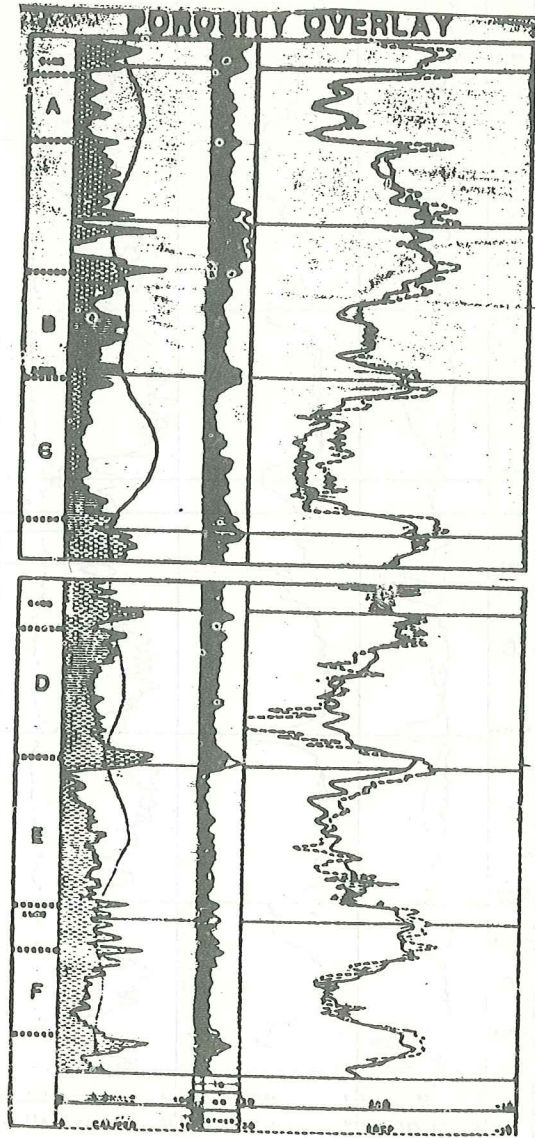
- (1) تحديد الطبقات الهيدروكربونية المنتجة في هذا البئر .
- (2) هل يوجد اختلاف بين الطرق التقليدية والطريقة الحديثة في الكشف عن الهيدروكربونات في هذا البئر؟
- (10) يمثل شكل (12-59) مخططا بيانيا من (M,N) بواسطة الكمبيوتر والنقاط ممثلة لطبقة مكمنية معينة . ارقام النقاط تمثل تردد النقاط التي تسقط في المخطط او مايسمى ب (frequency plot) المطلوب -
(1) تحديد التركيب المعدني للطبقة المكمنية .
(2) في اي جزء من الطبقة المكمنية تكثر المسامية؟
- (11) يمثل شكل (12-60) مخططا من (M,N) بواسطة الكمبيوتر لطبقة مكمنية .
المطلوب .

- 1 - تحديد التركيب المعدني للطبقة المكمنية .
- 2 - في اي المعادن الرئيسية المكونة للطبقة المكمنية تكثر المسامية؟
مانوع هذه المسامية؟

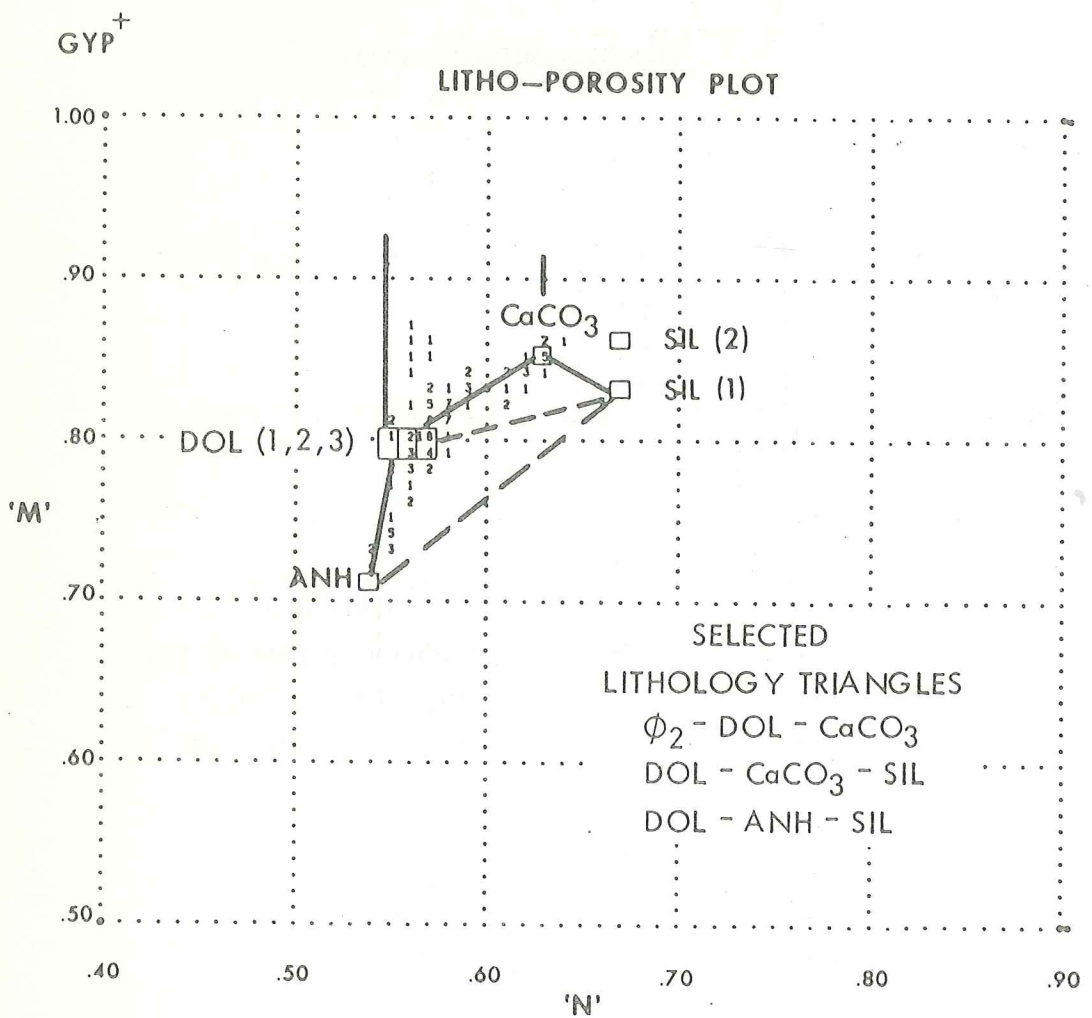
OPENHOLE LOGS



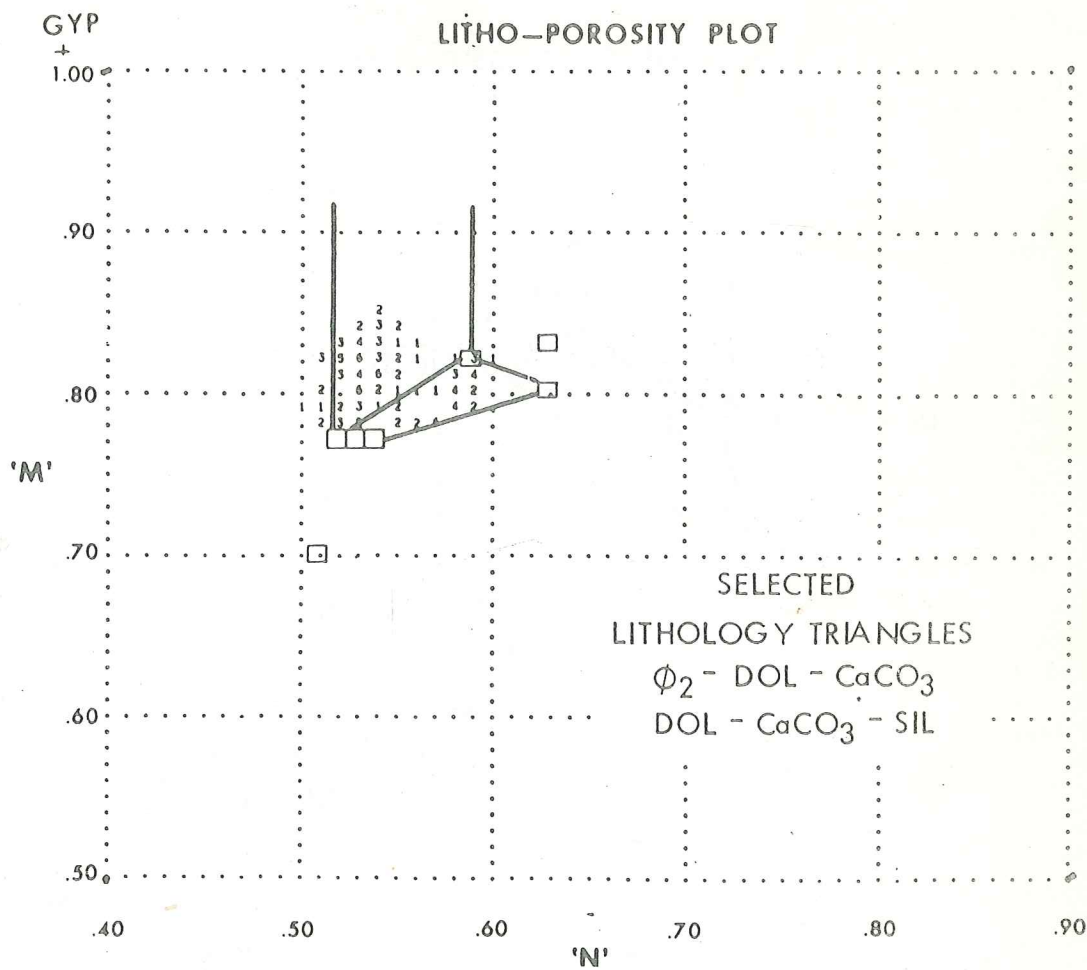
شكل (12-57) مثال حقلي لتسجيل (DLL) و (LDT/CNL) امام طبقات مكمنية في احدى الابار البترولية .
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-58) مثال حقلي لتسجيل المسامية بواسطة (EPT) والمسامية من تسجيلات اخرى .
(لشركة شلمبرجر)



شكل (12-59) مثال حقلي لخطط بياني (M.N) بواسطة الكمبيوتر



شكل (12-60) مثال لخطط بياني من (M,N) بواسطة الكمبيوتر

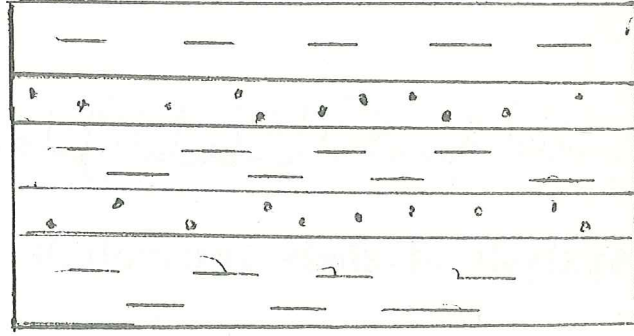
تحليل الطبقات المكمّنة الطفليّة

((Analysis of shaly reservoirs))

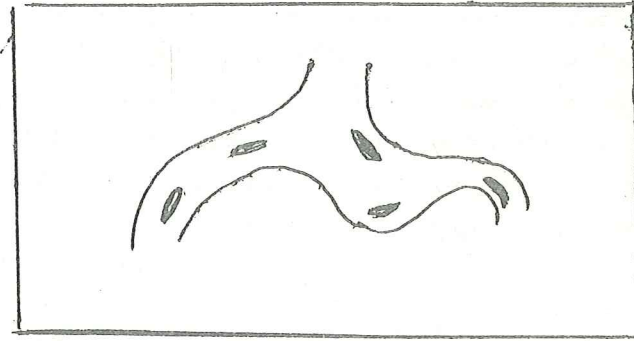
وجود المعادن الطينية داخل المكامن ، يسبب نتائج غير صحيحة لحسابات درجات التشبع بالماء (S_w) والمسامية (ϕ) عن طريق تسجيلات الآبار . المعادن الطينية التي يكثر وجودها داخل الطبقات المكمّنة الطفلية تتألف من معادن - الاليت (illite) او المونتموريلونايت (montmorillonite) او الكاولينات (kaolinite) او الكلوريت (chlorite) . توجد معادن طينية اخرى في بعض المكامن منها البنتوناييت (bentonite) او الكلوكوناييت (glauconite) او المسكوفاييت (muscovite) .

تتأثر المقاومة النوعية للتكوينات بوجود الطفل بحيث يصعب التمييز بين الطبقات الحاوية على النفط والماء . يؤثر وجود الطفل على انتاجية الطبقات المكمّنة أيضا وخاصة اذا كان الطفل مشتتا داخل المسامات فاذا زادت نسبة الطفل الى (40%) من تكوين الصخرة ، فإن الطبقة المكمّنة تصبح غير نفاذة ولا يتوقع انتاجية من هذه الطبقات . اما اذا كان الطفل داخل الطبقات على شكل صفائح (laminated) فإن زيادة الطفلية لا تؤثر على النفاذية . يبين شكل (1-13) مخططا لنوعين من الطبقات الحاوية على الطفل . يمكن التمييز بين هذه الانواع من الطبقات من تسجيلات الآبار وتسجيل الجهد الطبيعي (SP) والمقاومة النوعية الضئيلة حيث ظهرت موجات على تسجيل (SP) وتناقص في سرعة الجهد عند وجود طفل داخل المنطقة المكمّنة من النوع الصفائحي . توجد طبقات مكمّنة

من النوعين في الحقول البترولية . الطفل المشتت وخاصة اذا كان يحتوي على معدن المونتموريلونيت داخل الطبقة المكنية يسبب انسداد المسامات عند حدوث الغزو بواسطة راسح الطين ، وهناك طبقات مكنية تحتوي على مزيج من النوعين من الطفل .



شكل (13-1) (أ) مخطط لطبقة رملية طفلية صفائحية (laminated)



شكل (13-1) (ب) مخطط لطبقة رملية طفلية مشتتة (dispersed)

الطبقات المكنية الرملية الطفلية الحاوية على معادن الكلوكونايت او المعروفة باسم الرمال الخضراء (green sands) لها مقاومة نوعية واطئة جدا حتى وإن احتوت هذه الطبقات على هيدروكربونات منتجة حيث توجد لهذه المعادن درجة توصيل عالية ولا تسبب هذه الطبقات المكنية تقليل في الجهد الطبيعي المسجل وتنصف هذه الطبقات بقم واطئة لمعامل التكوين واس المسامية او معامل التسميت .

تقلل جميع التصحيحات المطبقة على الطبقات المكمية الطفلية من درجات التشبع بالماء (S_w) المحسوبة عن طريق معادلات (Archie). إذا قلت نسب الطفلية في الطبقات المكمية من (10%) فإن الطفلية لا تؤثر على تحليل الطبقات المكمية. حددت هذه النسب من الدراسات الحقلية للطبقات المكمية التي فيها نسب مختلفة من الطفلية.

تأثير الطفلية على تسجيلات الآبار :

(1) تسجيل المقاومة النوعية (Rresistivity log) :

تؤدي زيادة نسبة الطفلية في التكوينات الحاوية على هيدروكربونات الى تقليل المقاومة النوعية. إذا كانت النسبة عالية فإن هذه التكوينات تظهر كأنها حاوية على الماء. تختلف المقاومة النوعية للمعادن الطينية حسب المساحة السطحية وقابلية هذه المعادن على تبادل الايونات الموجبة (cation exchange capacity). تزداد المساحة السطحية مع صغر حجم الحبيبات. المعادن الطينية الفعالة (effective clay minerals) تؤثر مثل معادن الاليت والمونتموريلونايت والبنتوناييت على المقاومة النوعية المسجلة للطبقات المكمية الطفلية. اما المعادن الطينية غير الفعالة مثل معادن الكاولينات والكلوريت فإنها لا تؤثر على المقاومة النوعية المسجلة. قيم (CEC) او قابلية تبادل الايونات الموجبة للمعادن الطينية.

نوع المعدن	CEC (meg / gm)
Chlorite	0.0
Kaolinite	0.03
illite	0.2
montmorillonite	1.0

نستنتج من هذا الجدول بأن المعادن الطينية مثل الكلورايت والكاولينات ان وجدت داخل الصخور المكمية فإنها لا تؤثر على القياسات المختلفة لتسجيل الآبار. عن اجراء تصحيح للقياسات المختلفة نفترض بأن المعادن الطينية الموجودة داخل الطبقات المكمية هي نفس المعادن الموجودة في الطبقات الطفلية المجاورة وهذه الفرضية قد لا تكون صحيحة وتسبب اخطاء في التفسيرات اذا كان ماء التكوين داخل المسامات يحتوي على ملوحة واطئة من (NaCl) أي اقل من (20,000 ppm) فإن وجود الطفلية يسبب اخطاء في الحسابات ان لم تصحح. اما اذا كانت الملوحة عالية فإن الطفلية لا تؤثر على التفسيرات.

(2) تسجيل السرعة الصوتية (Acoustic or velocity log)

زيادة نسبة الطفلية في الصخور المكمية من الممكن ان تؤدي الى زيادة زمن انتقال الموجة وهذه تؤدي الى زيادة المسامية المحسوبة فتكون المسامية ظاهرية ويجب اجراء تصحيح .

(3) تسجيل الكثافة (Density log)

تؤدي زيادة في نسبة الطفلية في الصخور المكمية الى نقصان في المسامية المحسوبة اذا كانت كثافة المعادن الطينية اعلى من كثافة الصخور المكمية . اما اذا كانت كثافة المعادن الطينية مساوية تقريبا الى كثافة الصخور المكمية فإنها لا تؤثر على المسامية المحسوبة .

(4) تسجيل النيوترون (Neutron log)

تؤدي زيادة في الطفلية داخل الصخور المكمية الى زيادة المسامية . يجب اجراء تصحيح لتحويل المسامية الى حقيقة .

(5) تسجيل اشعة كاما (Gamma ray log)

تؤدي زيادة في نسبة الطفلية الى زيادة اشعة كاما المسجلة وتستعمل اشعة كاما لحساب نسبة الطفلية داخل الصخور المكمية . نفترض في هذه الطريقة أن العناصر المشعة مثل البوتاسيوم واليورانيوم والثوريوم موجودة فقط في المعادن الطينية . اذا وجدت عناصر مشعة داخل الصخور المكمية فإن طريقة اشعة كاما ستعطي نتائج غير صحيحة بالنسبة للطفلية الموجودة .

(6) تسجيل (SP)

تسبب زيادة في الطفلية تناقص في سعة (SP) المسجلة كما ذكرنا سابقا ، ويستعمل تسجيل (SP) في حساب نسبة الطفلية في الطبقات اذا كان التناقص في السعة مسببة بالطفلية .

حساب نسبة الطفل في الطبقات المكمية :

تستعمل لحساب نسبة الطفلية تسجيلات اشعة كاما وتسجيلات المسامية (تسجيل الكثافة مع النيوترون) او تسجيل (الكثافة مع السرعة) او تسجيل (النيوترون مع السرعة) . كذلك ممكن استعمال طرق المقاومة في حساب الطفلية او تسجيل

(SP) او تسجيل النيوترون لحساب الطفلية . نتائج الطفلية المحسوبة بهذه الطرق تختلف حسب الظروف الملائمة لكل طريقة .

(1) طريقة المقاومة (12)

$$V_{cl.} \leq \left(\frac{R_{cl}}{R_t} \times \frac{R_{lim} - R_t}{R_{lim} - R_{cl.}} \right)^{1/b} \quad \dots (13-1)$$

حيث :

$V_{cl.}$ نسبة الطفلية حيميا (لكل سم³ من حجم الصخرة) .
 $R_{cl.}$ المقاومة النوعية للطفل (في هذه المعادلة نسبة الطين او المقاومة النوعية للطين مذكورة - يقصد من هذه المعادلة أيضا المقاومة النوعية للطفل) .
 R_t المقاومة النوعية للتكوين او الطبقة .
 R_{lim} المقاومة النوعية القصوى المسجلة أمام الطبقة المكمنية النقية الحاوية على الهيدروكربونات .
 b - يساوي (2.0) اذا كانت نسبة $\left(\frac{R_{cl}}{R_t} \right)$ صغيرة جدا . ويساوي (1.0) اذا كانت نسبة $\left(\frac{R_{cl}}{R_t} \right)$ اكبر من (0.5) .

(2) طريقة (SP) (12) :

$$V_{cl.} \leq 1 - \frac{PSP}{SSP} \quad \dots (13-2)$$

تقاس قيم (PSP) و (SSP) امام الطبقات التي لم تتأثر بالسلك او الغزو وان

تكون نسبة $\left(\frac{R_{mf}}{R_w} \right)$ اكبر من واحد . يجب أن تكون المعادن الطينية منتشرة داخل الصخرة على شكل صفائح وأن لا تكون مشتتة حيث نسب الطفلية ستكون عالية جداً .

(3) طريقة اشعة كاما :

- كيفية استعمال تسجيل اشعة كاما (GR log) :

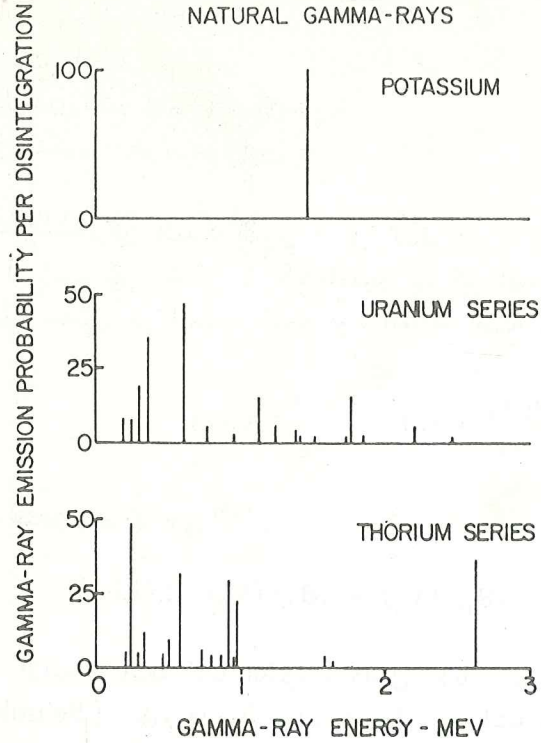
يمثل تسجيل اشعة كاما قياس الاشعاع الطبيعي للتكوينات . يفيد هذا التسجيل في اكتشاف وتقييم الترسبات الحاوية على معادن مشعة مثل خامات البوتاسيوم واليورانيوم . يعكس تسجيل اشعة كاما مقدار الطفل داخل التكوينات حيث العناصر المشعة تتركز في المعادن الطينية بصورة عامة . التكوينات النقية لها نسبة ضئيلة من الاشعاع كما مبينة من الدراسات الحقلية والمختبرية ولكن بعض التكوينات النقية مثل الصخور الرملية نوع الاركوز (arkose) و (graywacke) وكذلك بعض الصخور الكلسية المترسبة تحت الظروف المختزلة الغنية بالمواد العضوية مثل الصخور الكلسية القيرية فتتصف بنسبة من الاشعاع المسجل وقد تكون عالية وهي لا تحتوي على الطفل . ويمكن ان تكون التكوينات نقية ولكنها تحتوي على ماء التكوين داخل المسامات الذي يحتوي على املاح البوتاسيوم او املاح اليورانيوم مما يؤدي الى تسجيل قراءات في اشعة كاما بحيث يسبب اخطاء في حسابات نسب الطفل داخل هذه التكوينات . يمثل شكل (15-16) طبقة مكمنية رملية فيها ترسبات اليورانيوم .

- صفات اشعة كاما :

تعتبر اشعة كاما موجات كهرومغناطيسية تنطلق بصورة مستمرة من العناصر المشعة . تأتي نسبة عالية من الاشعاعات المسجلة من الطبقات المختلفة من عنصر البوتاسيوم النظير K^{40} (isotope) وتوجد عناصر مشعة اخرى داخل الصخور ولكن بنسبة اقل مثل اليورانيوم والثوريوم (U^{238} , Th^{232}) يشع كل عنصر من هذه العناصر اشعة كاما ولكن تختلف طاقة الاشعاع بين عنصر وآخر . يمثل شكل (13-2) الطاقات المسجلة لاشعة كاما الاتية من هذه العناصر المشعة . عنصر البوتاسيوم له طاقة واحدة تساوي (46 Mev.) ولكن عناصر الثوريوم واليورانيوم لها طاقات مختلفة من اشعاعات كاما . اذن من الممكن فصل هذه العناصر المشعة عن طريق استعمال التحليل الطيفي لاشعة كاما الطبيعية او (natural gamma ray spectroscopy) والتسجيل الذي يقوم بالتحليل يسمى تسجيل (NGS) (14)

تأثير كثافة التكوين على اشعة كاما :

تمتص اشعة كاما المنطلقة من العناصر المشعة تمتص من قبل ذرات التكوين وتفقدها من طاقتها خلال انتقالها داخل التكوين . مقدار الامتصاص يختلف مع



شكل (13-2) مخطط لطاقات العناصر المشعة (K^{40} , U^{238} , Th^{232}).

اختلاف كثافة التكوينات . وهذا يؤدي الى أن التكوين الذي كثافته اعلى يتص أكبر كمية من الاشعاعات مقارنة بالتكوينات ذات الكثافة الواطئة . أي اذا كان تكوينان يحتوي كل منهما على نفس الكمية من العنصر المشع فإن التكوين الذي كثافته اقل يسجل اعلى كمية من الاشعاعات . لذلك يجب اجراء تصحيح لقراءات اشعة كاما بالنسبة للكثافة بعد اجراء التصحيحات الاخرى مثل تصحيح تأثير البئر والبطانة وغير ذلك . يمثل شكل (13-3) مخطط بياني لتصحيح قراءات اشعة كاما لتأثير حجم البئر ووزن الطين

تمثل المعادلة التالية تسجيل اشعة كاما امام اي مستوى داخل البئر :

$$GR = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_b} (A_1) \quad \dots (13-3)$$

حيث :

GR قراءة اشعة كاما بوحدات (API) .

ρ_1 كثافة العنصر المشع (غم / سم³) .

V_1 الحجم الكلي للمعدن المشع (سم³) نسبة مئوية .

ρ_b الكثافة الكلية للتكوين (غم / سم³) .

تمثل النسبة $\frac{(\rho_1)(V_1)}{\rho_b}$ تركيز المعدن الوزني داخل التكوين .
 A_1 - عامل التناسب بين مقدار الاشعاع المسجل وتركيز المعدن المشع اذا
 احتوى التكوين على معدنين من المعادن المشعة فإن المعادلة تصبح :

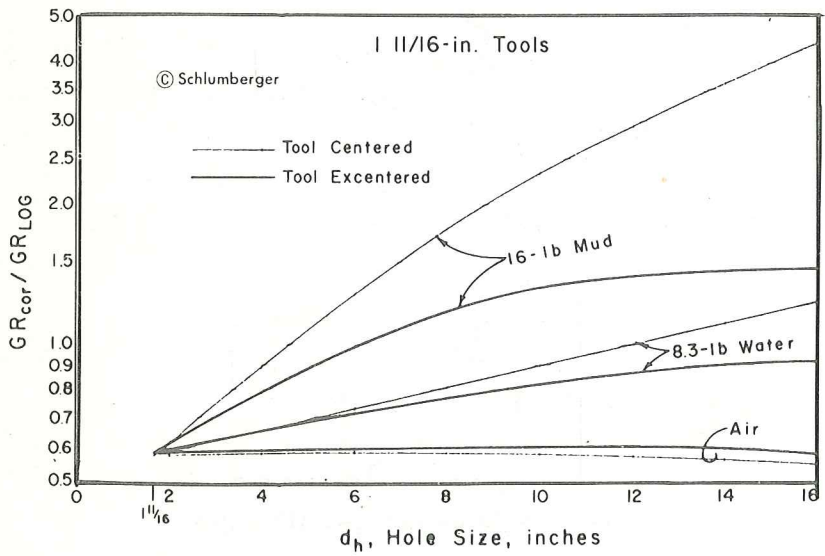
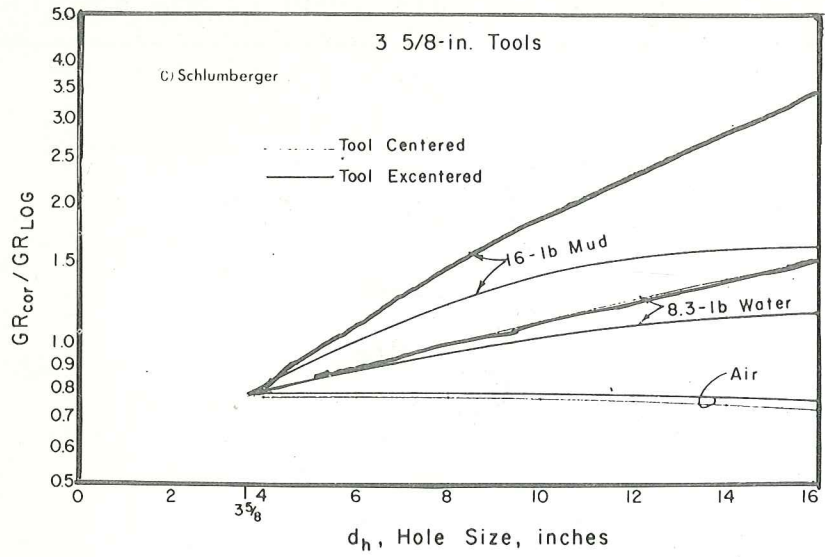
$$GR = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_b} (A_1) + \frac{\rho_2 V_2}{\rho_b} (A_2) \quad \dots (13-4)$$

او ممكن ان تختصر المعادلة الى (10) :

$$\rho_b XGR = (B_1) (V_1) + (B_2) (V_2) \dots (13-5)$$

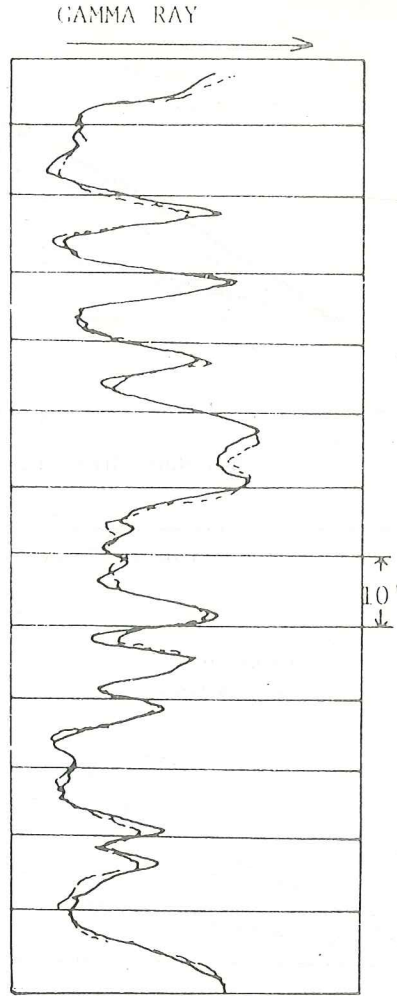
تستعمل اجهزة الالتقاط اشعة كاما الطبيعية داخل الآبار تسمى (عدادات Scintillation counters) . تقوم هذه الاجهزة بتسجيل عدد اشعاعات كاما عن طريق بلورة عادة تكون (يود الصوديوم Sodium iodide) مع عنصر (الثاليوم thallium) . تعطي هذه البلورة شرارة ضوئية عند سقوط اشعة كاما وتكبر هذه الشرارة الضوئية عدة مرات وتسجل بواسطة دوائر الكترونية على شكل انحرافات لمقدار التيار المقاس نتيجة وجود اشعاعات كاما . يتغير مقدار او عدد اشعاعات كاما المسجلة مع الزمن عند التسجيل امام اي مستوى . لكن يبقى عدد اشعاعات كاما المسجلة ثابتا عند مرور فترة زمنية معينة . الفترة الزمنية اللازمة لاجل الحصول على عدد ثابت من اشعة كاما او (عد / ثا) يتراوح بعض الشواحي . ثابت الزمن (time constant) الذي يساوي (؟) ثا ، يعتبر كافيا للحصول على قراءة صحيحة . ينظم معدل الزمن وسرعة التسجيل داخل البئر بحيث تمثل اشعة كاما المسجلة اشعاعات التكوينات المختلفة . اذا سجلت اشعة كاما بسرعة فإن الطبقات التي سمكها قليل سوف لاتبين على التسجيل . يفضل استعمال ثابت الزمن (3) ثا وسرعة التسجيل (20) قدم / دقيقة .

الاستجابة الرأسية لاشعة كاما تساوي تقريبا (2.5) قدم وعمق البحث يساوي تقريبا (6) انج .



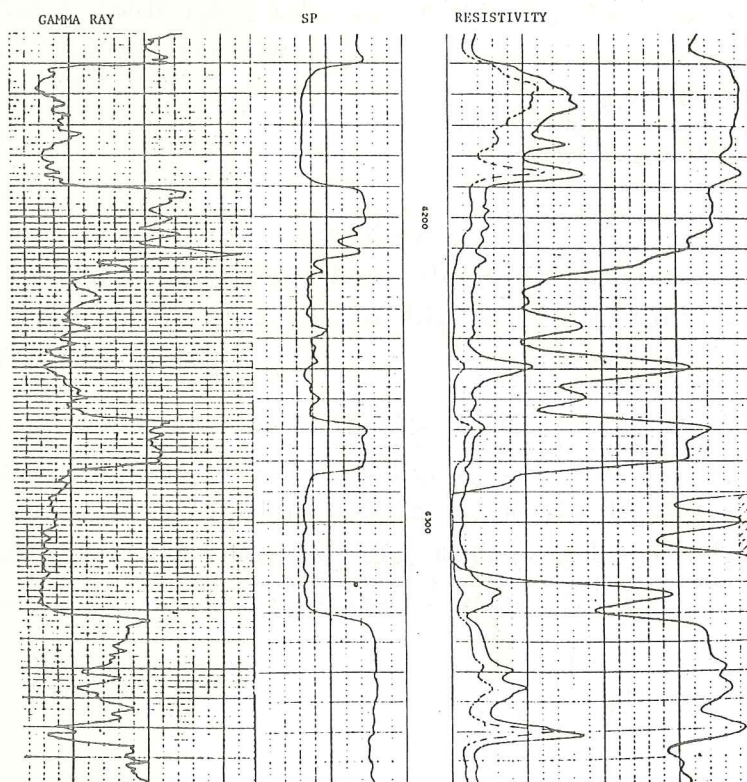
شكل (13-3) مخطط بياني لتصحيح قراءات اشعة كاما لتأثير حجم البئر ووزن الطين (لشركة شلمبرجر)

يبين شكل (13-4) تسجيل اشعة كاما لفترتين متتاليتين والسرعة المستعملة في التسجيل (20) قدم / دقيقة . يلاحظ اختلافات بسيطة بين التسجيلين . يمثل شكل (13-5) مقارنة بين تسجيل (SP) و (GR) .



شكل (13-4) تسجيل اشعة كاما لفترتين متتاليتين

ولكن هناك بعض المناطق التي تعتبر غير نفاذة من قبل (SP) ولكنها تعتبر نقية من قبل تسجيل (GR) ويمكن ان تمثل هذه المناطق طبقات كلسية ذات نفاذية واطئة جداً وهي نقية او تحتوي على نسبة ضئيلة من الطفل .



شكل (13-5) مقارنة بين تسجيل (SP) و (GR)
(لشركة شلمبرجر)

لاشعة كما فوائد عديدة منها حساب نسب الطفل داخل الطبقات المختلفة وتحديد طبقات الطفل والطبقات الكمينة النفاذة عندما يكون تسجيل (SP) غير مفيد . ويستعمل تسجيل اشعة كما في اكتشاف معادن مشعة ، وتحديد الطبقات الفحمية . ويستعمل في عملية الترابط بين الآبار المبطنة .

تستعمل المعادلة التالية لحساب نسب الطفل داخل المكامن غير النقية من تسجيل اشعة كما (GR log)

$$V_{cl.} \leq \frac{GR - GR_{clean}}{GR_{cl.} - GR_{clean}} \quad \dots (13-6)$$

حيث :

GR - مقدار الاشعة المسجلة (API) .

GR_{clean} - مقدار الاشعة المسجلة امام تكوينات نقية .

GR_{cl.} - مقدار الاشعة المسجلة امام تكوينات أو طبقات حاوية على (100%) طفل أو الطين .

يعطي حساب الطفلية بهذه الطريقة نتائج اعلى للنسب الطفلية من الحقيقية إذا كانت مواد أو عناصر مشعة داخل التكوين غير المعادن الطينية . لاجل التوصل الى نسب حقيقية للطفل داخل التكوينات باستعمال هذه الطريقة يجب استعمال طريقة تحليل اشعة كما الصادرة من عناصر البوتاسيوم أو الثوريوم أو اليورانيوم . يحسب (V_{sh}) أو النسبة الحجمية للطفل بأربعة طرق :⁽¹⁴⁾

$$(V_{sh})_u = \frac{U - U_{min.}}{U_{sh} - U_{min.}} \quad \dots (13-7)$$

$$(V_{sh})_{Th} = \frac{Th - Th_{min.}}{Th_{sh} - Th_{min.}} \quad \dots (13-8)$$

$$(V_{sh})_K = \frac{K - K_{min.}}{K_{sh} - K_{min.}} \quad \dots (13-9)$$

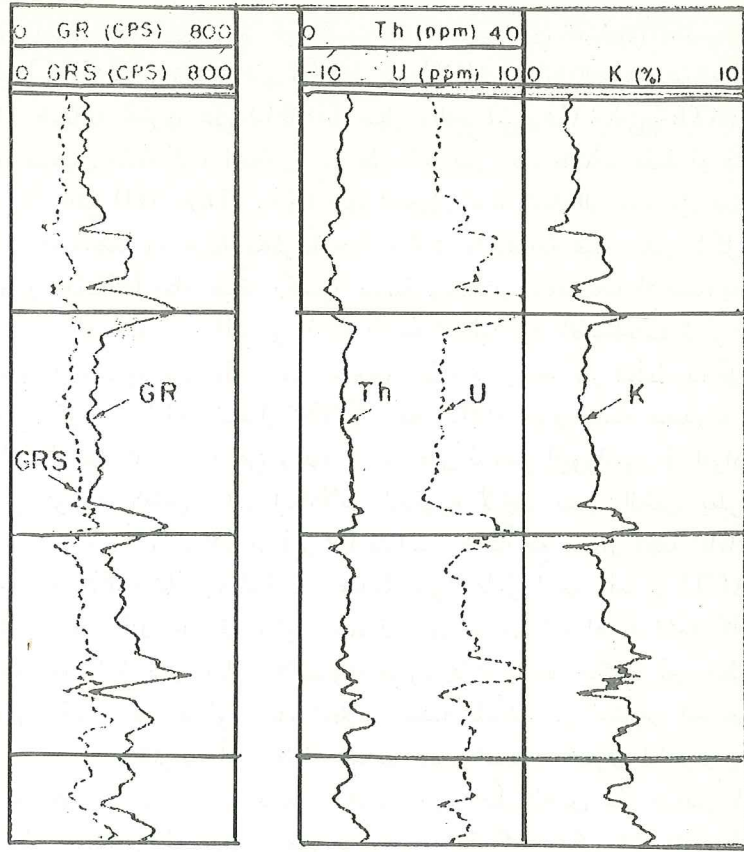
$$(V_{sh})_{GRS} = \frac{GRS - GRS_{min.}}{GRS_{sh} - GRS_{min.}} \quad \dots (13-10)$$

حيث -

(V_{sh})_u ، (V_{sh})_{th} ، (V_{sh})_k تمثل النسب الحجمية للطفل باستعمال طريقة اشعة كما من العناصر المشعة المختلفة و (V_{sh})_{GRS} تمثل النسب الحجمية للطفل

باستعمال مقدار اشعة كاما الكلية مطروحة منها الاشعة الصادرة من عنصر اليورانيوم حيث ان عنصر اليورانيوم يتواجد ايضاً في الصخور الكلسية العضوية . القيم (U_{sh}) ، (Th_{sh}) ، (K_{sh}) تمثل تسجيل اشعة كاما الصادرة من هذه العناصر امام طبقات تحتوي على (100%) طفل والقيم (U_{min}) ، (Th_{min}) ، (K_{min}) تمثل تسجيل اشعة كاما الصادرة من هذه العناصر امام طبقات نقية او ذات القيمة الدنيا . القيم (U) ، (Th) ، (K) تمثل تسجيل اشعة كاما الصادرة من هذه العناصر امام اي منطقة أو طبقة مطلوب حساب النسب الطفلية فيها . يمثل شكل (6-13) تسجيل (NGS) امام طبقة مكمنية كلسية وتسجيل اشعة كاما الاعتيادية . يلاحظ من هذا التسجيل ان المناطق ذات القيمة العالية من الاشعاعات تدل على تركيز عنصر اليورانيوم فيها وليس بسبب وجود طبقات رقيقة من الطفل داخل المكن . يبين شكل (7-13) تسجيل (NGS) مع (GR) امام طبقة مصدريه . القراءة العالية لاشعة كاما ناتجة عن وجود تركيز عالي لعنصر اليورانيوم في المواد العضوية وليس لوجود الطفل . إن المعادلات المذكورة لاجتاد نسب الطفل بطريقة اشعة كاما ، تفترض ان (V_{cl}) او (V_{sh}) تتناسب خطياً مع مقدار اشعة كاما المسجلة . يبين شكل (8-13) هذه العلاقة . عندما يكون عامل اشعة كاما او (GR FACT) مساوياً صفر فإن العلاقة تكون خطية بين مقدار انحرافات اشعة كاما ونسب الطفل اما إذا كان العامل لايساوي صفرأ فإن العلاقة تكون غير خطية ونسب الطفل تكون اقل مما لو كانت العلاقة خطية للتأكد من استعمال اية علاقة يجب اجراء تجارب مختبرية أو حقلية لحساب نسب الطفل بالطرق الاخرى . لاستعمال طريقة كاما لتحديد نسب الطفل ، يجب تحديد خط الطفل على تسجيل اشعة كاما (الخط الاساسي الطفلي) . اعلى قراءات اشعة كاما ممكن ان تمثل طبقات من الطفل .

في بعض الاحيان يكون تحديد هذا الخط ليس سهلاً حيث يكون الطفل غير نقي واحياناً يكون اختلاف في نوعيات الطفل . في هذه الحالات تكون نتائج حسابات نسب الطفل غير صحيحة . ويجب ايضاً تحديد الخط النقي (clean line) ويحدد هذا الخط عند وجود طبقات نقية لا تحتوي على اية نسب من الطفل . تكون الطبقات الكلسية أو الانهيدريت في اغلب الاحيان ممثلة لهذه الانواع من الطبقات النقية .



شكل (6-13) مثال حقلي لتسجيل (NGS) وأشعة كاما الاعتيادية الطبيعية امام طبقة مكمنية كلسية (لشركة شلمبرجر)

(4) طريقة تسجيل النيوترون (8)

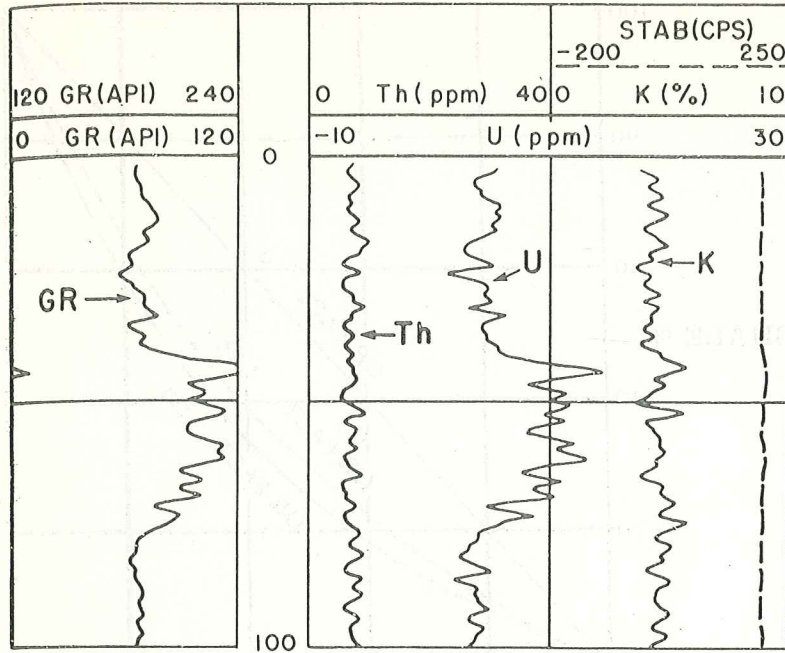
إن نسبة الطفلية تساوي :

$$(V_{cl.}) \leq \frac{\phi_N}{\phi_{Ncl.}} \quad \dots (3-11)$$

حيث :

ϕ_N - تمثل المسامية المقاسة من تسجيل النيوترون .

ϕ_{NCL} - تمثل المسامية المسجلة امام طبقة تحتوي على طفل بنسبة (100%) .



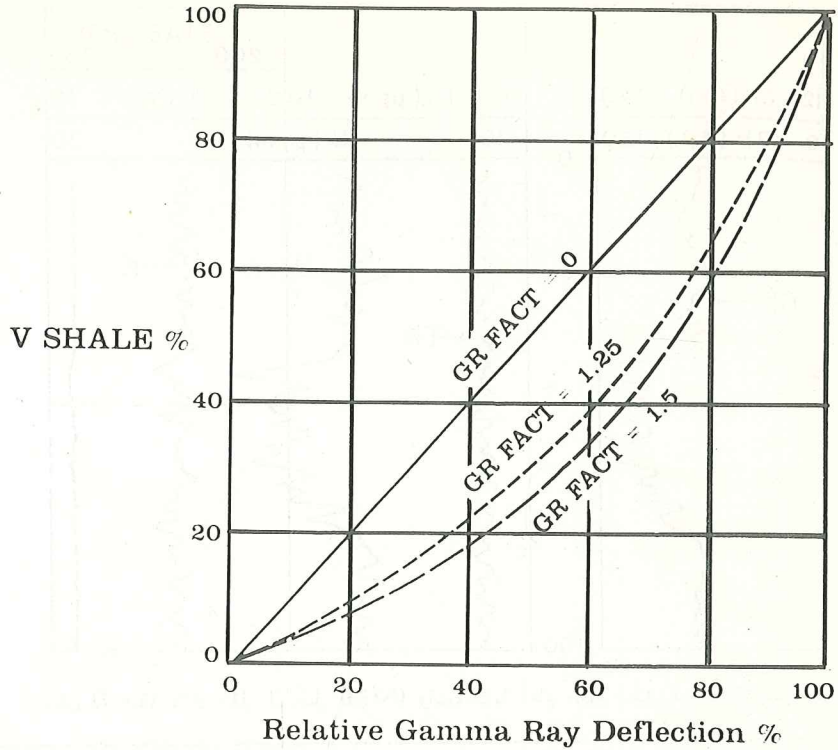
شكل (13-7) مثال حقلي لتسجيل (NGS) واشعة كاما أمام طبقة مصدرية (لشركة شلمبرجر)

يفضل استعمال هذه الطريقة في التكوينات ذات المسامية الواطئة او التكوينات التي لها درجة عالية من التشيع بالغاز .

(5) طريقة التسقيط والمخطط البياني (Cross-Plot) :

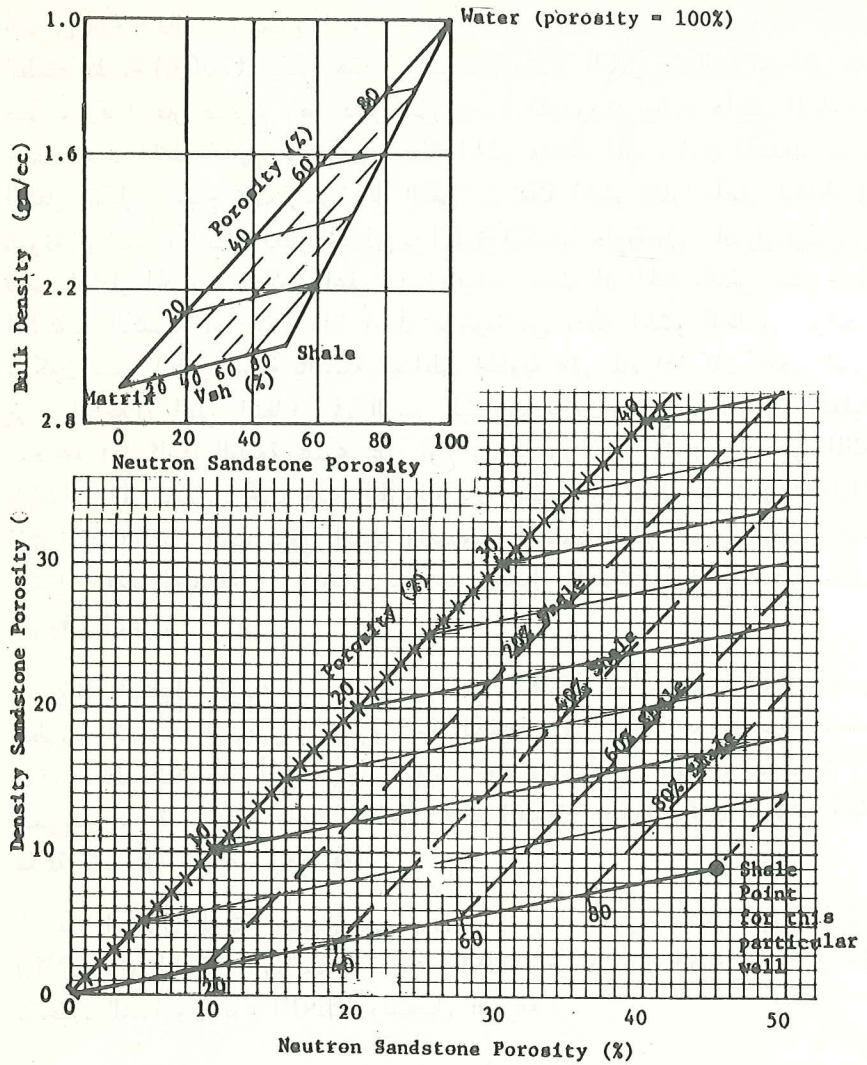
- 1- يمكن استعمال طرق التسقيط التالية :
- (2) طريقة تسجيل النيوترون مع الكثافة .
- (3) طريقة تسجيل السرعة مع الكثافة .
- (4) طريقة تسجيل النيوترون مع السرعة .

لاستعمال اية طريقة يجب تحديد نقطة الطفل او الطين (clay point) وتحديد الخط النقي (clean line) . تحسب نسب الطفل بطريقة خطية بين الخط النقي حيث ($V_{cl.} = 0\%$) ونقطة الطفل حيث ($V_{cl.} = 100\%$) يرسم الخط النقي من نقطة الحشو (matrix point) للطبقة الكمونية المعينة مارا بأعلى النقاط في ورقة التسقيط . يمثل شكل (13-9) طريقة تسقيط تسجيل النيوترون مع الكثافة . يمكن



شكل (8-13) العلاقة بين نسب الطفل ومقدار اشعة كاما المسجلة .

كبير شكل (9-13) بحيث تشمل المحاور فقط على المسامية من الكثافة محدود (0-40%) والمسامية من النيوترون محدود (0-50%) لنتمكن من حساب نسب الطفل بشكل أدق . يلاحظ في شكل (9-13) ان خطوط نسب الطفل موازية للخط النقي وان خطوط المسامية موازية للخط الواصل بين نقطة الحشو ونقطة الطفل . يمكن ان يكون محور الكثافة مسجلا بوحدات (غم / سم³) او بوحدات مسامية للحشو المعين ، ومحور النيوترون ممكن ان يسجل بوحدات مسامية كلونية (I_{pu}) أو بوحدات مسامية رملية (S_{pu}) حسب طبيعة الطبقة المكمنية . ان نتائج حسابات الطفلية بهذه الطريقة ممكن ان تكون غير صحيحة اي ممكن ان تكون قليلة او عالية . ان شكل (9-13) يمثل تسقيط النيوترون مع الكثافة مفترضا ان الطبقة المكمنية متجانسة اي تحتوي على نوع واحد من تركيب الحشو وان المسامات حاوية على الماء وتحتوي الطبقة المكمنية على نسب مختلفة من الطفل . لكن اذا كانت تحتوي الطبقة المكمنية المعينة على هيدروكربونات وتحتوي على



شكل (9-13) طريقة تسقيط النيوترون مع الكثافة لإيجاد (V_{sh}) أي نسب الطفل والمسامية الصحيحة

نسب مختلفة من انواع الحشو فان نتائج حسابات الطفلية ستكون غير صحيحة .
لنفرض ان الطبقة الكمينة المطلوب حساب نسب الطفلية تحتوي على الكلس
والدولومايت بنسب مختلفة مع الطفل ، وان الطبقة حاوية على الهيدروكربونات .
نجد في هذه الحالة ان بعض النقاط ستسقط فوق الخط النقي الكلسي اذا كانت
الطبقة كلسية (100%) ويعني هذا انه سيكون مقدار الطفل بالسالب اي اقل من
صفر ، وهذا غير صحيح وهو دليل على وجود الهيدروكربونات داخل المسامات
حيث حدد الخط النقي من تحديد نقطة الحشو ونقطة الماء . اذن لتحديد نسب
الطفل بشكل صحيح يجب رسم الخط النقي من نقطة الحشو ومارا بأعلى النقاط في
الورقة البيانية . اذا كانت بعض المناطق من الطبقة الكمينة حاوية على الدولومايت فإن
نسب الطفل المحسوبة ستكون اعلى من الحقيقية حيث ان الخط النقي يمثل فقط
الطبقات الكلسية اذا كان هذا الخط مرسوما من نقطة الحشو الكلسي . وايضا
ستكون نسب الطفل عالية بالنسبة للمناطق الحاوية على الماء اذا كان الخط النقي
مرسوما خلال أعلى النقاط في الرسم البياني . تكون نتائج حسابات الطفلية
صحيحة اذا كانت الطبقة تحتوي على نوع واحد من الحشو ونوع واحد من المائع
بالاضافة الى الطفل . تحت هذه الظروف فان تسقيط اية نقطة في شكل (9-13)
تمثل نسبة الطفل حسب موقع النقطة والمسامية المصححة لتأثير الطفل . يفضل عدم
استعمال هذه الطريقة اذا كانت قياسات تسجيل النيوترون او الكثافة تتأثر
بظروف البئر .

يمكن استعمال طريقة تسجيل السرعة مع الكثافة لحساب نسب الطفل بنفس
الطريقة المستعملة لتسجيل النيوترون مع الكثافة . من مميزات هذه الطريقة ، فان
موقع الخط النقي لا يتأثر بدرجة كبيرة باختلافات نوع الحشو او المائع كما في
الطريقة السابقة . ايضاً يفضل استعمال هذه الطريقة عندما تكون ظروف البئر
ملائمة لتسجيل السرعة والكثافة .

عند استعمال طريقة تسجيل النيوترون مع السرعة يفضل تسجيل النيوترون نوع
(CNL) او (GNT) ولا يستعمل نوع (SNP) حيث تأثير الطفل متساوي على
تسجيل النيوترون نوع (SNP) وتسجيل السرعة .

تصحيح المسامية لتأثير الطفل :

طرق التسقيط او المخططات البيانية المذكورة سابقا لتصحيح المسامية ممكن ان
تموض بالمعادلات
حيث :

$$\phi_c = \phi - (V_{sh})(\phi_{sh}) \quad \dots (13-12)$$

ϕ_c - المسامية المصححة لتأثير الطفل .

ϕ - المسامية غير المصححة .

V_{sh} - نسبة الطفل في تكوين .

(ϕ_{sh}) - المسامية المسجلة امام طبقة من الطفل .

تمثل معادلة (13-12) تسجيل النيوترون او الكثافة حيث عند استعمال تسجيل النيوترون تصبح المعادلة (13-12) :

$$\phi_{Nc} = \phi_N - (V_{sh})(\phi_{Nsh})$$

او عند استعمال تسجيل الكثافة فالمعادلة تصبح :

$$\phi_{Dc} = \phi_D - (V_{sh})(\phi_{Dsh})$$

$$\rho_b = \rho_{ma}(1 - \phi - V_{sh}) + (\rho_{sh})(V_{sh}) + (\rho_f)\phi \quad \dots (13-13)$$

حيث :

ϕ - تمثل في هذه المعادلة المسامية المصححة .

للحصول على المسامية المصححة لتأثير الطفل وتأثير الهيدروكربونات إن وجدت يجب أن تستعمل المعادلات التالية :

(أ) عند استعمال تسجيل النيوترون : (10)

$$\phi_N = \phi(S_{x0})\phi_{Nmf} + (V_{sh})(\phi_{Nsh}) + \phi(S_{hr})\phi_{Nh} - \Delta\phi_{Nex} + (1 - \phi - V_{sh})\phi_{Nma} \quad \dots (13-14)$$

حيث :

ϕ - المسامية الصحيحة للطبقة المكمية .

ϕ_N - المسامية المقاسة من تسجيل النيوترون .

S_{x0} - درجة التشبع بالماء في المنطقة المكتسحة .

ϕ_{Nmf} - استجابة تسجيل النيوترون لراشح الطين اذا كان الراشح يحتوي

على ماء عذب فان مقدار $(\phi_{Nmf} 1.0)$

Shr - درجة التشبع بالهيدروكربونات المتبقي .

ϕ_{wh} - استجابة تسجيل النيوترون للهيدروكربون ، اذا كان الهيدروكربون

متوسط الكثافة فان $(\phi_{Nh} \approx 1.0)$. اذا كانت الكثافة قليلة اي هيدروكربونات

غازية فانه يستعمل تصحيح آخر (ذكر في الفصول السابقة) .

ϕ_{Nax} - تأثير الغاز على تسجيل النيوترون ويمثل مقداراً ثابتاً (ذكر في الفصول السابقة) .

ϕ_{Nma} - استجابة النيوترون للحشو وهذه القيمة تساوي صفر .
تستعمل معادلات مشابهة لمعادلة (13-14) لتسجيل الكثافة او السرعة لتصحيح المسامية لتأثير الطفل والهيدروكربون .

حساب درجة التشبع بالماء (S_w) في الطبقات المكمنية الطفلية :

توجد معادلات مختلفة لحساب درجة التشبع بالماء في هذا النوع من الطبقات المكمنية . نذكر بعض الامثلة من هذه المعادلات (ليست مذكورة معادلة Archie) حيث تطبق فقط في الطبقات المكمنية النقية) .

$$(1) \text{ معادلة التشبع } = \frac{(5) \text{Total shale}}{\text{model}}$$

$$S_w = \left(\frac{R_0}{R_t} + \left[\frac{R_0 (V_{sh})}{2 (R_{sh})} \right]^2 \right)^{0.5} - \frac{(R_0) (V_{sh})}{2 (R_{sh})} \quad (13-15)$$

لا تعتمد هذه المعادلة على نوع انتشار الطفل داخل المسامات وتعطي نتائج جيدة وتستعمل من قبل شركة شلمرجر عند حساب درجات التشبع بالماء بواسطة الكومبيوتر يمكن استعمال هذه المعادلة بشكل آخر بحيث :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi^2 S_w^2}{a (R_w) (1 - V_{sh})} + \frac{(V_{sh}) S_w}{(R_{sh})} \dots\dots (13 - 16)$$

$R_{(sh)}$ - تمثل المقاومة النوعية للطبقة الطفلية المجاورة للطبقة المكمنية .
الرموز الاخرى في المعادلة معروفة .

(2) معادلة التشبع

$$\frac{(\text{Modified Total})}{\text{shale model}}$$

$$S_w = \left(\frac{R_0 (1 - V_{sh})}{R_t} + \left[\frac{R_0 (V_{sh}) \times (1 - V_{sh})}{2 (R_{sh})} \right]^2 \right)^{0.5} - \frac{R_0 (V_{sh}) \times (1 - V_{sh})}{2 (R_{sh})} \dots\dots (13 - 17)$$

(Indonesian Model)

(3) معادلة التشبع

$$S_w = \left[\frac{(V_{sh})^c}{(R_{sh}) / R_t)^{0.5}} + \left(\frac{R_t}{R_0} \right)^{0.5} \right]^{-2/n} \quad \dots (13-18)$$

$$c = 0.5 (2 - V_{sh})$$

(9)(Dispersed Shale)
model

(4) معادلة التشبع

$$S_w = \frac{\left(\phi_t^2 \times \frac{R_0}{R_t} + \left[\frac{V_{sh} (R_{sh} - R_w)}{2 R_{sh}} \right]^2 \right)^{0.5} - \frac{V_{sh} (R_{sh} + R_w)}{2 R_{sh}}}{\phi_t - V_{sh}}$$

تستعمل هذه المعادلة عندما تكون ذرات الطفل منتشرة داخل المسامات وليست على شكل صفائح .
 ϕ_t - تمثل المسامية الكلية ولا تمثل المسامية الفعالة (ϕ_e) . لا يجاد هذا النوع من المسامية نستعمل العلاقة

$$V_{sh} = \phi_t - \phi_e \quad \dots (13-20)$$

(4)(Waxman + Smit's model)

(5) معادلة التشبع

$$I = S_w^{-n^x} \left[\frac{(1 + R_w B Q_u)}{1 + R_w R_{Q_v} / S_w} \right] \quad \dots (13-21)$$

$$I = 1 / S_w^n \quad \dots (13-22)$$

حيث :

- n^x - اس التشبع لنموذج رملي طفلي .
- n - اس التشبع لنموذج صخري نقي .
- B - درجة التوصيل المكافئة للايون الموجب⁴ (Na) المتبادل مع الطفل بوحدات (mho-sq-cm-meq⁻¹) .
- Q_v التركيز الحجمي للايونات الموجبة المتبادلة مع الطفل بوحدات (eq.cm⁻²) .
- I - دليل المقاومة النوعية .
- (بقية الرموز معروفة) .

نحتاج لاستعمال هذه المعادلة الى معرفة قيمة الجاهيل (B) و (Q_v) عند تحليل الصخور المكمية غير النقية وهذا يحتاج الى تجارب مختبرية ، لذلك تستعمل معادلات اخرى تعطي نتائج جيدة بدون الحاجة الى معرفة هذه الجاهيل .

(6) معادلة التشبع (Dual-water model)⁽¹³⁾

$$S_{WT} = Y + \left(\frac{R_{WT}}{R_i \phi_T^2} + Y^2 \right)^{1/2} \quad \dots (13-23)$$

$$Y = \frac{S_{WB} (R_{WB} - R_{WF})}{2 R_{WB}} \quad \dots (13-24)$$

حيث :

- R_{WF} - المقاومة النوعية لماء التكوين الحر .
- S_{WT} - درجة التشبع بالماء الكلية .
- S_{WB} - درجة التشبع بالماء غير الحر .
- R_{WB} - المقاومة النوعية لماء التكوين غير الحر .
- S_{WB} لايجاد (S_W) أي درجة التشبع بالماء التقليدية تستعمل العلاقة :

$$S_{WF} = S_W = \frac{S_{WT} - S_{WB}}{1 - S_{WB}} \quad \dots (13-25)$$

حيث : (S_W) تمثل درجة التشبع بالماء الحقيقية او بالماء الحر .
تفرض هذه الطريقة لحساب درجة التشبع بالماء للطبقة المكمية الطفلية وجود نوعين من الماء داخل مسامات هذه الطبقة المكمية (ماء حر وماء غير حر) . قام باشتقاق هذه المعادلات كل من (Dumanoir, Coates, Clavier) وتعطي هذه المعادلات نتائج جيدة لدرجات التشبع للصخور المكمية غير النقية .

مشاكل التحليل للطبقات المكمية غير النقية :

المشكلة الرئيسية في تحليل هذه المكامن هي ايجاد المقاومة النوعية للطفل داخل هذه التكوينات . قابلية الطفل لتبادل الايونات الموجبة تعتبر دليل المقاومة النوعية للطفل . (hinke, Johnson) وجدا القيم التالية من (CEC) لانواع الطفل

chlorite - 0.0 (mcq. / gm)

Kaolinite - 0.303

illite - 0.2

montmorillonite - 1.0

يتضح من هذا الجدول بأن المعادن (chlorite) و (kaolinitc) لا تؤثر على المقاومة النوعية مثل باقي المعادن الطينية أي أنها لا تؤثر على التسجيلات المختلفة . لتحديد أي نوع من المعادن الطينية الموجودة داخل هذه الطبقات المكمية يجب قياس (CEC) لهذه النماذج واستعمال معادلة (Waxman and Smits) .

افتراض الطبقات الطفلية المجاورة للطبقة المكمية لها نفس الصفات للمعادن الطينية الموجودة داخل الطبقات المكمية ، تؤدي الى نتائج غير صحيحة أحيانا وتعتبر هذه أيضا مشكلة في التحليل . تقع مشاكل أخرى في هذه الطبقات المكمية عندما يكون ماء التكوين داخل المسامات غير مالح أي أقل من (20,000 ppm) . عندما تكون الملوحة عالية لماء التكوين فإن تأثير وجود الطفل داخل المسامات على التحليل يكون قليلا .

مثال حقيقي : قامت شركة (Dresser Atlas) بمسح إحدى الآبار في منطقة (Louisiana Gulf Coast) . التسجيلات الحقلية شكل (10-13) و (11-13) يمثلان قياسات أشعة كاما ، المقاومة النوعية ودرجة التوصيل والكثافة والنيوترون نوع (SNP) لجزء من البئر تحت عمق (10100) قدم امام طبقات مكمية رملية غير نقية لعصر الثلاثي (Tertiary) . لقد حفر البئر بطين زيتي

المطلوب :

- (1) إيجاد قيمة (R_w) .
- (2) إيجاد المسامية الحقيقية ومقدار (V_{sh}) في المناطق المؤشرة (A,B,C) بطريقة (GR) و (cross-plot) .
- (3) إيجاد درجة التشبع بالماء (S_w) في المناطق (A B C) بأي طريقة مناسبة .

الحل :

- (1) لعدم وجود تسجيل (SP) ، نستعمل طريقة (R_{wa}) لإيجاد قيمة (R_w) . تسجيل المقاومة النوعية للمناطق (A B C) .

Zone	C(m-mho/m)	R(ohm-m)
A	150	6.7
B	350	2.86
C	5250	0.19

المسامية المسجلة للمناطق (A B C)

Zone	ϕ_{SNP}	ϕ_D
A	26	26
B	24	17
C	27	27

المسامية (ϕ) من المخططات البيانية الخاصة لتسجيل النيوترون والكثافة تساوي -
(بدون تصحيح لتأثير الطفل)

Zone	ϕ (c.p.)chart	F
A	26	12
B	23	15
C	27	11.2

قيم (R_{wa}) للمناطق المؤثرة بواسطة ميكروكومبيوتر

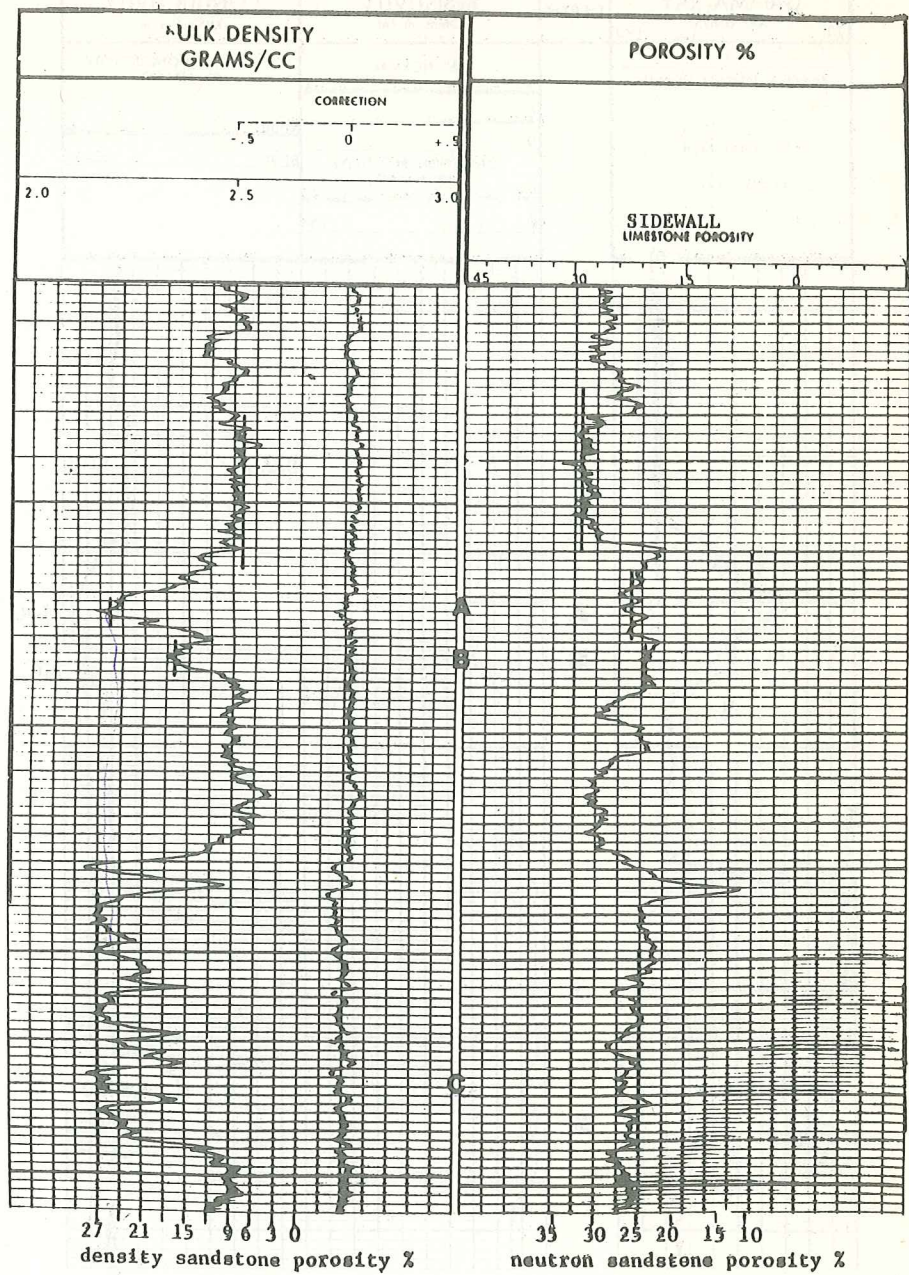
A	0.55
B	0.19
C	0.017

اقل قيمة في الجدول تساوي 0.017 وتمثل هذه القيمة (R_w) تقريبا بافتراض أن المنطقة مشبعة بالماء .

حساب قيم درجات التشبع بالماء بطريقة (Archie)

Zone	$(S_w) \%$
A	17
B	28
C	100

تمثل هذه القيم درجات التشبع بالماء بدون اجراء تصحيحات لتأثير الطفل .



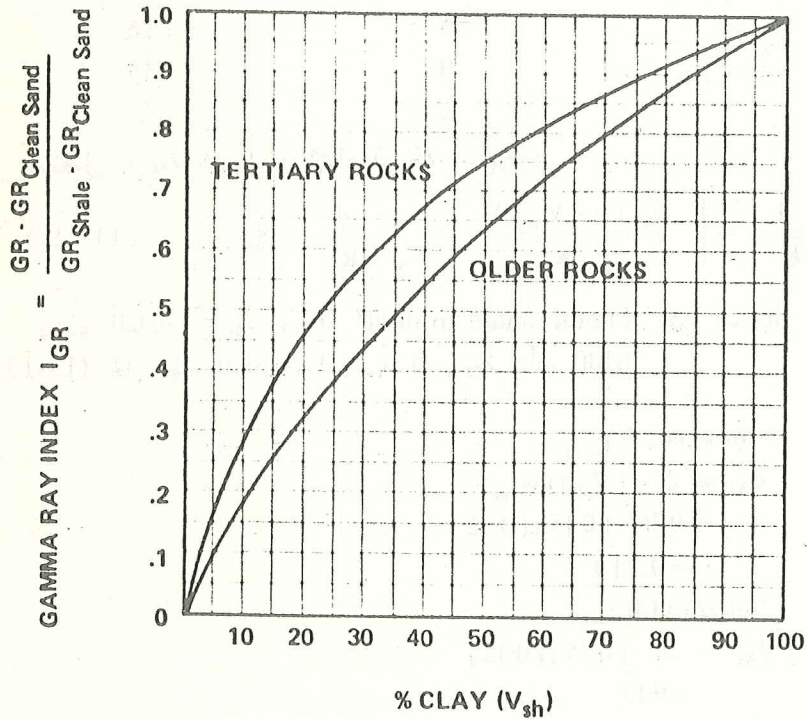
شكل (13-11) مثال حقلي لتسجيل الكثافة والنيوترون (لشركة Dresser Atlas)

حساب مقدار (V_{sh}) بطريقة (GR) :

نحدد مقدار انحرافات اشعة كاما للمناطق النقية والمنطقة التي فيها انحراف اشعة كاما اقصى قيمة انحرافات (GR) للمناطق المؤشرة . نجد في شكل (13-6) مقدار الانحرافات .

$$\begin{aligned} (GR)_{\max.} &= 8.2 \\ (GR)_{\min.} &= 0.0 = (GR)_{\text{clean}} \\ (GB)_{\log} &= 3.2 \text{ for zone A} \\ &= 5.2 \text{ for zone B} \\ &= 2.0 \text{ for zone C} \end{aligned}$$

بما ان العلاقة بين انحرافات (GR) ونسب (V_{sh}) ليست خطية وذلك بناءً على التجارب الحقلية لنماذج الطفل من عصر الثلاثي . نستعمل شكل (13-12) لاجتاد نسب (V_{sh}) .



شكل (13-12) يبين العلاقة بين دليل (GR) ونسب (V_{sh}) .

$$\therefore I_{GR} = \frac{3.2}{8.2} \text{ for zone (A)}$$

$$= 0.39$$

$$I_{GR} = \frac{5.2}{8.2} \text{ for zone (B)}$$

$$= 0.63$$

$$I_{GR} = \frac{2.0}{8.2} \text{ for zone (C)}$$

$$= 0.24$$

اذن نستعمل شكل (13-12) لايجاد (V_{sh})

zone	V_{sh} (%)
A	16
B	35
C	7

نستعمل طريقة شلمبرجر لايجاد (S_w) . حيث :

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \left[\frac{V_{cl.} (1 - V_{cl.}/2)}{\sqrt{R_{cl.}}} + \frac{\phi}{\sqrt{aR_w}} \right] S_w \quad \dots (13-26)$$

وهذه المعادلة شبيهة بمعادلة (Total shale model) يمكن استعمال شكل (13-13) لحل هذه المعادلة . المسامية المصححة لتأثير الطفل .

for zone (A)

$$\phi_{NC} = 26 - (V_{sh})(\phi_{Nsh})$$

$$= 0.26 - (0.15)(0.32)$$

$$= 0.212$$

for zone (B)

$$\phi_{NC} = 24 - (0.35)(0.32)$$

$$= 0.13$$

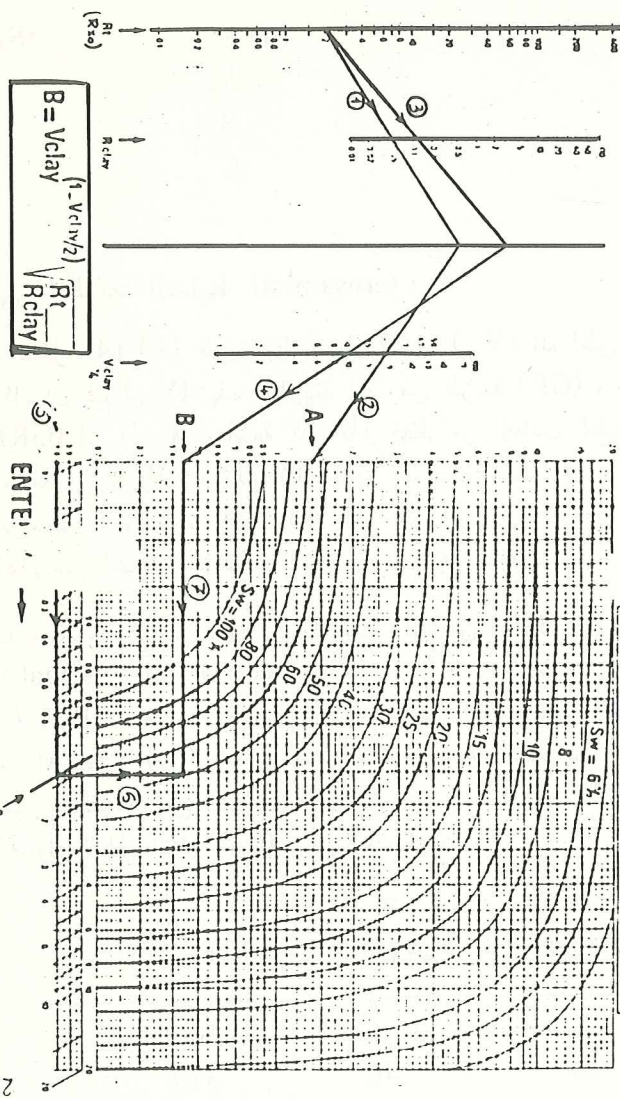
for Zone (C)

Rt BY RKO AND R_w BY R_{mf}.

$$A = \phi \sqrt{\frac{R_t}{R_w}}$$

ϕ \downarrow A.B \downarrow

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \frac{V_{clay} (1 - V_{sh}/2)}{\sqrt{R_{clay}}} + \frac{\phi}{\sqrt{R_w}} Sw$$



$$B = V_{clay} \sqrt{\frac{R_t}{R_{clay}}}$$

شكل (13-13) مخطط بياني لإيجاد درجة التبع بالـ (S_w) بطريقة شلوسر (الشركة شلوسر)

$$\begin{aligned}\phi_{NC} &= 0.27 - (0.07) (0.32) \\ &= 0.27 - 0.022 = 0.248\end{aligned}$$

نستعمل المخطط البياني شكل (13-13) لإيجاد (S_w)

Zone	(S_w) (%)
A	18
B	42
C	100

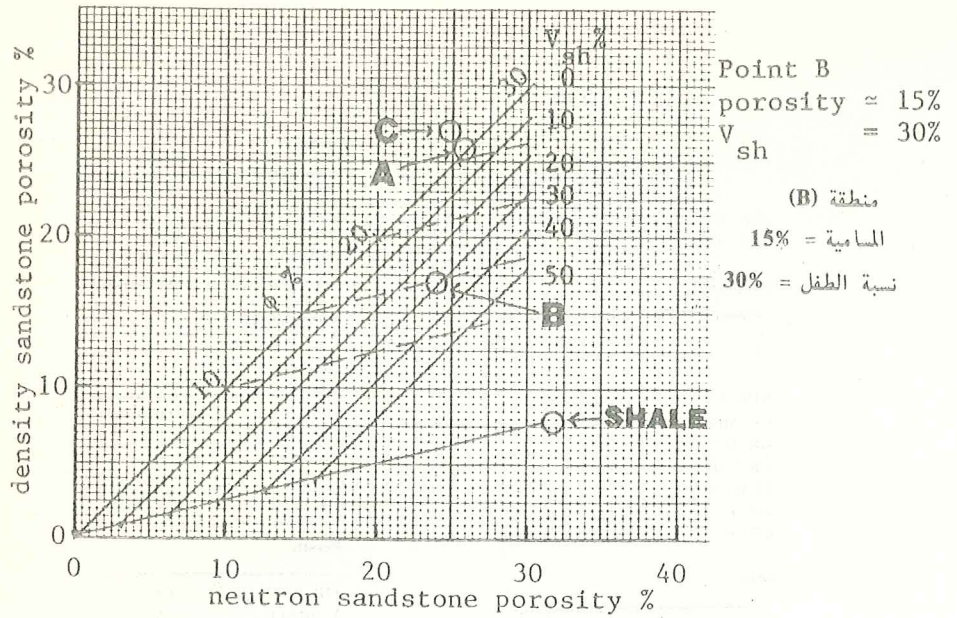
إيجاد (V_{sh}) بطريقة التسقيط (cross-plot) :

يمثل شكل (13-14) طريقة التسقيط لإيجاد (V_{sh}) للمناطق المختلفة يلاحظ من الشكل ان قيم (V_{sh}) بهذه الطريقة اقل من طريقة (GR) ، حيث يفترض في طريقة (GR) ان الانحرافات اشعة كاما تأتي فقط من المعادن الطينية فاذا وجدت معادن مشعة اخرى فان قيم (V_{sh}) تكون اعلى من الحقيقة . عند تحليل مناطق مختلفة بواسطة الكمبيوتر يختار اقل قيمة من (V_{sh}) . لان جميع الطرق تعطي نتائج اعلى من الحقيقة للأسباب التي ورد ذكرها سابقاً .

حساب درجة التشبع بالماء (S_w) لنفس المناطق (A B 'C) بطريقة (Model Dual-Water) والمسامية الفعالة وقيم (V_{sh}) باستعمال الكمبيوتر الدقيق (PDC / 4100) . يحسب البرنامج الخاص بالكمبيوتر ايضا كثافة الحشو (ρ_{ma}) للمناطق المختلفة . (هذا الجزء من الحسابات غير مطلوب في المثال) . نتائج الكمبيوتر مطبوعة على الورقة .
يبين الجدول التالي نتائج (S_w) ، (V_{sh}) ، (ϕ_e)

zone	S_w (%)	V_{sh} (%)	ϕ_e (%)
A	18.6	16.9	22.1
B	40	37.8	13.3
C	103.3	8.5	24.8

نلاحظ ان نتائج التحليل من الجدول متقاربة جدا مع طريقة (Total Shale Model) . درجة التشبع بالماء (S_w) لمنطقة (C) اكثر من



شكل (13-14) مخطط بياني لاجاد (V_{sh}) والمسامية

(100%) وهذا ممكن أن يحدث حيث هنالك فرضيات كثيرة استعملت في الكومبيوتر عند اعطاء المعلومات المتغيرة (parameters) واستعملت هذه الفرضيات لعدم وجود معلومات دقيقة عن الطبقة المكنية . ولم تصحح ايضا قيم المقاومة لتأثيرات البئر والغزو وغيرها من العوامل .

DUAL WATER

INPUT OPTION

FDC SAND %
CNL SAND %

Parameters

A	=	0.810 $\frac{1}{2}$
M	=	2.000
N	=	2.000
RHO MF	=	1.050 gM / CC
GR MIN	=	20.0 API
GR MAX	=	102.0 API
GR FACT	=	1.5
ROMAMIN	=	2.600 gM / CC
RW-F	=	0.017 OM ² /M
RW-B	=	0.190 OM ² /M

Data

DEPTH	=	10220.0 Ft
PHI DS	=	26.0 %
PHI NS	=	26.0 %
GR	=	52.0 API
RT	=	6.700 OM ² /M

Results

PHI E	=	22.1 %
V SHALE	=	16.9 %
SW	=	18.6 %
RHO MA	=	2.668 gM / CC

NEXT CASE

Data

DEPTH	=	10230 Ft
PHI DS	=	17.0 %
PHI NS	=	25.0 %
GR	=	72.0 API
RT	=	2.860 OM ² /M

Results

PHI E	=	13.3 %
V SHALE	=	37.8 %
SW	=	40.0 %
RHO MA	=	2.751 gM / CC

NEXT CASE

Data

DEPTH	=	10330.0 Ft
PHI DS	=	27.0 %
PHI NS	=	27.0 %
GR	=	40.0 API
RT	=	0.190 OM ² /M

Results

PHI E	=	24.8 %
V SHALE	=	8.5 %
SW	=	103.3 %
RHO MA	=	2.653 gM

مسائل :

(1) يشمل المثال الحقل شكل (13-15) و (13-16) و (13-17) و (13-18) على تسجيلات مختلفة من احدى الآبار في منطقة (Louisiana Gulf Coast). المطلوب :

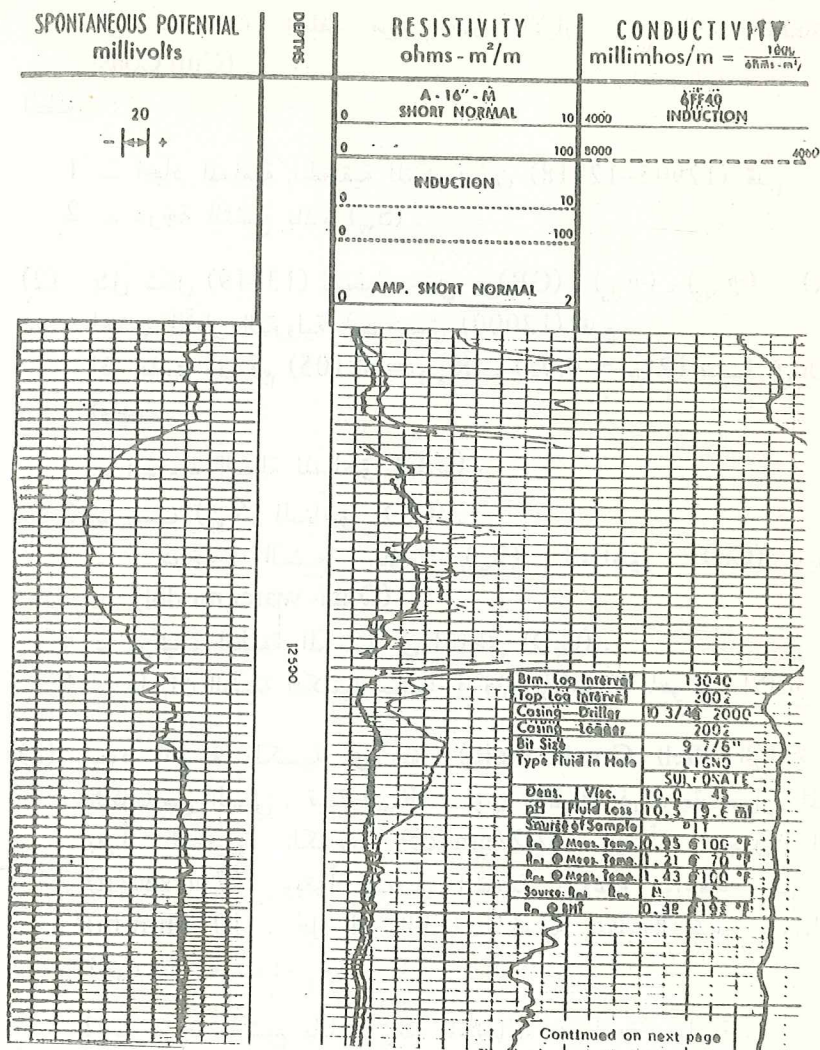
- 1 - ايجاد المسامية الحقيقية للتكوين بين (12905-12918) قدم .
- 2 - درجة التشبع بالماء (S_w) .

(2) يمثل شكل (13-19) تسجيل حقل من (GR) ، (ϕ_{ds}) ، (ϕ_{Ns}) ، (R) من احدى الآبار البترولية تحت عمق (12000) قدم . اذا علمت ان قيم ($R_{wB} = 0.105$) ، ($R_{wf} = 0.05$) مبنية في الشكل . اوجد :

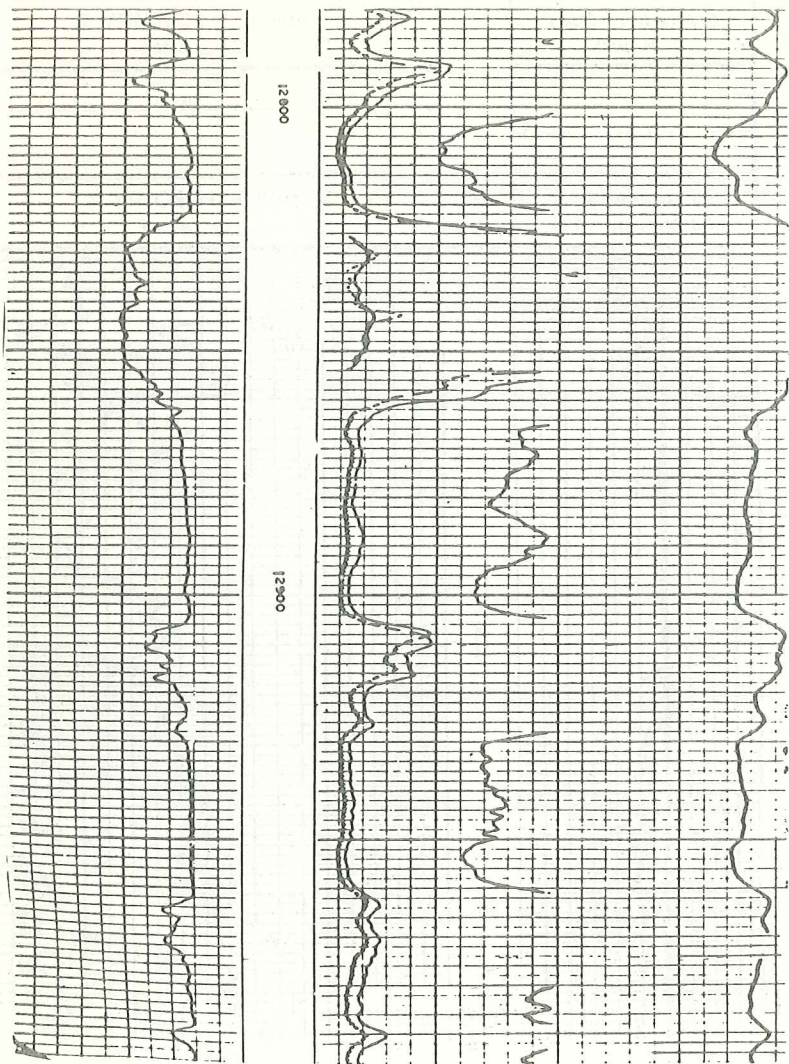
- 1 - المسامية الفعالة للمناطق (C,D) .
- 2 - نسب (V_{sh}) للمناطق (C,D) .
- 3 - درجة التشبع بالماء (S_w) للمناطق (C,D) بطريقة (Dual-water model) .
- 4 - تركيب الطبقة المكمية في المناطق (C,D) .
- 5 - هل ان الطبقة المكمية منتجة في هذه المناطق ؟ ماهو نوع الانتاج ؟

(3) تعود الطبقة المكمية في حقل (Bell Creek Field) الرملية لعصر الكريتاسي السفلي . قيمة (R_w) تساوي (0.22) في درجة حرارة المكن ، يقرأ تسجيل الكثافة ($2.2/\text{gm/cc}$) ويقرأ تسجيل السرعة (97_μ sec/ft) ويقرأ تسجيل المقاومة النوعية بواسطة جهاز الحث (10 ohm-m) . هل ان الطبقة المكمية طفلية ؟ كيف تتوصل الى الجواب ؟ احسب :

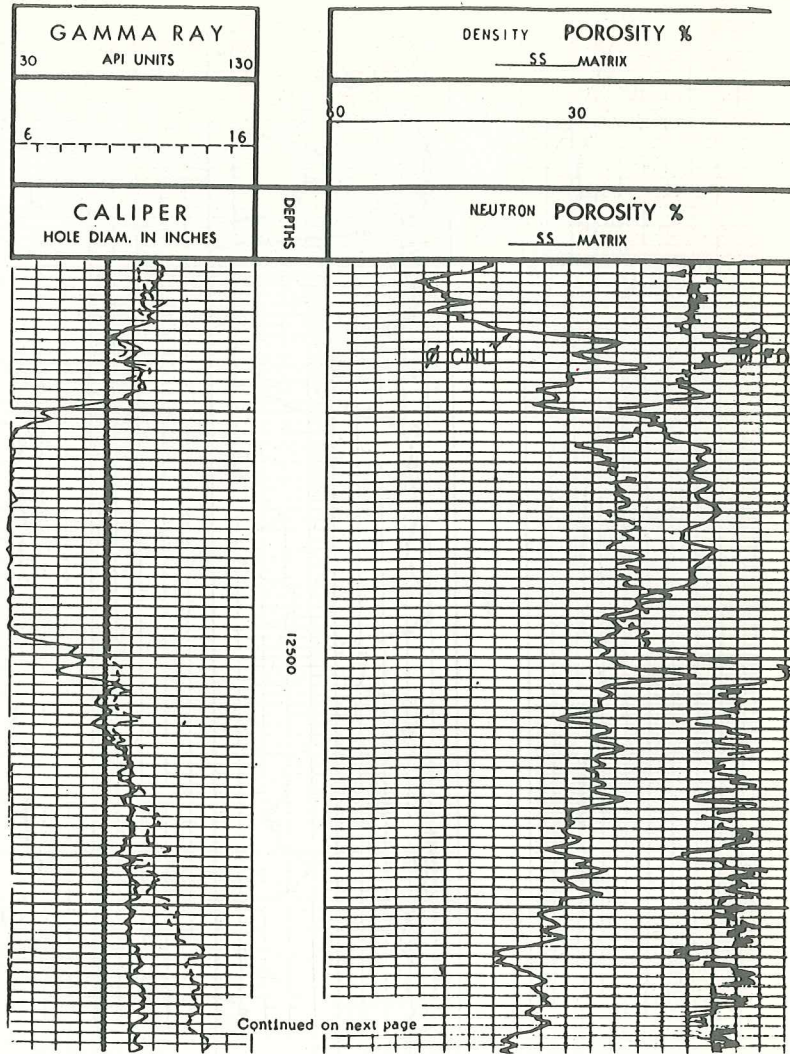
- 1 - درجة التشبع بالماء (S_w) باستعمال اية طريقة مناسبة .
- 2 - المسامية الحقيقية .
- 3 - ان الطبقة المكمية منتجة للهيدروكربونات ؟



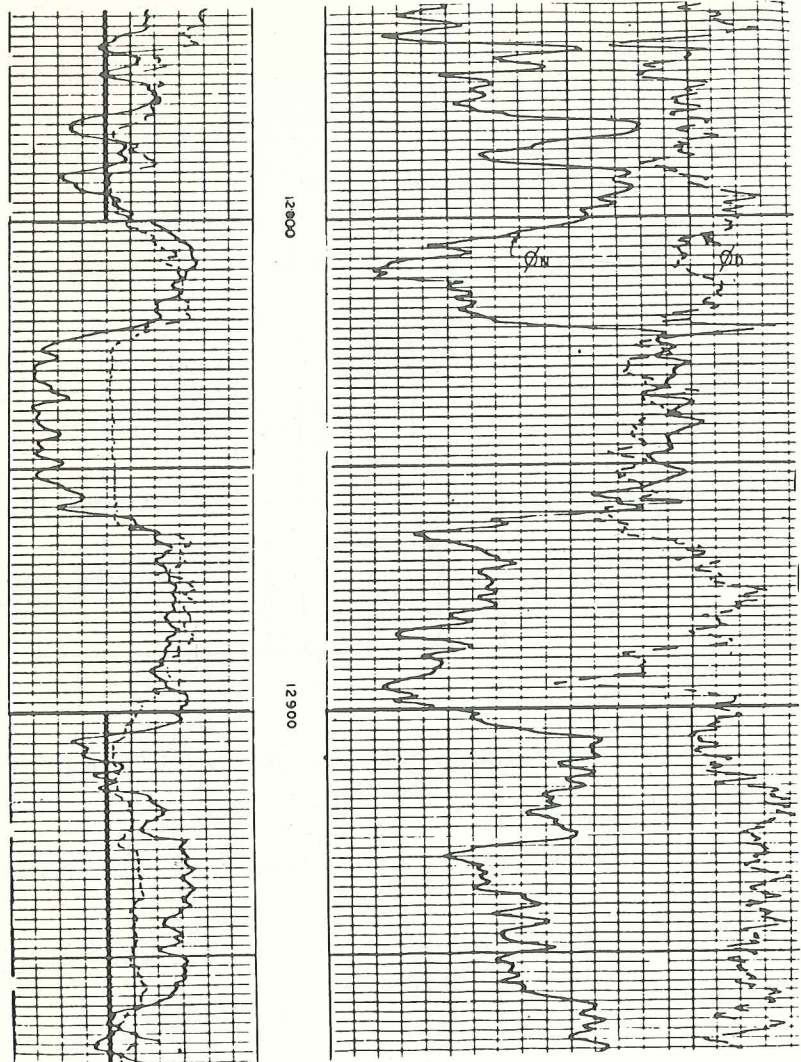
شكل (13-15) مثال حقلي لتسجيل (IBS)
(لشركة شلمبرجر)



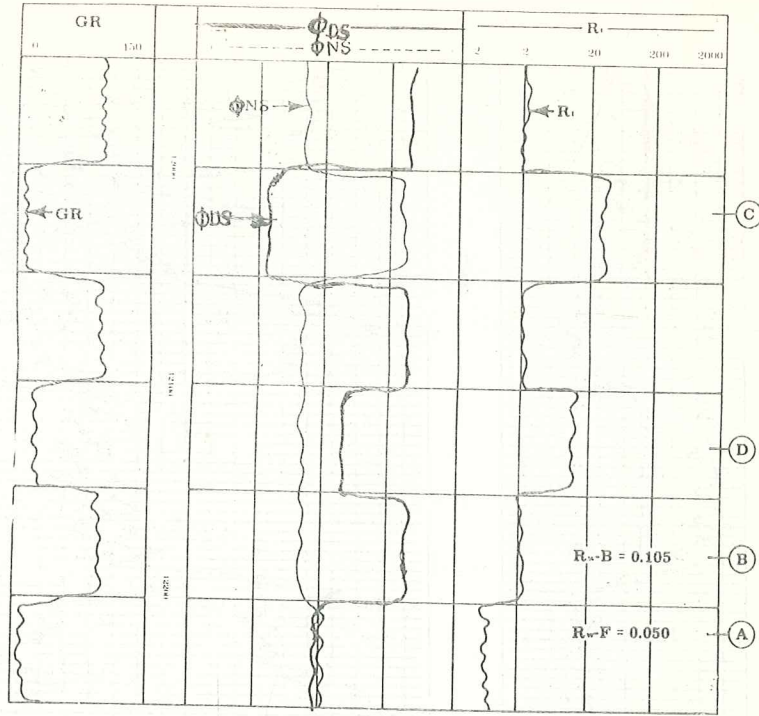
شكل (13-16) مثال حقلي لتسجيل (IES)
(لشركة شلميرجر)



شكل (13-17) مثال حقلي لتسجيل الكثافة (GR) و (caliper) (لشركة شلمبرجر)



شكل (13-18) مثال حقلي لتسجيل الكثافة والنيوترون مع (GR) و (caliper) (لشركة شلمبرجر)



شكل (13-19) مثال حقلي لتسجيل (GR) ، النيوترون والكثافة والمقاومة

(4) اوجد نسب الطفل الحجمية (V_{sh}) والمسامية الحقيقية من البيانات التالية :

$\phi_{DS}(\%)$	$\phi_{CNI-s}(\%)$
10	10
10	15
20	22
18	30
$\phi_{Dsh} = 8\%$	$\phi_{CNLsh} = 35\%$

(5) يمثل شكل (13-20) تسجيل (GR) ، (ϕ_D) ، (ϕ_N) ، (R_t) ، (R_{xo}) امام طبقات مكمنية في احدى الآبار البترولية . اذا علمت ان قيم الثوابت

($a = 0.81$) ، ($m = 2.15$) ، ($n = 2.0$) قيمة (R_w) تساوي (0.13) و (R_{mf}) تساوي (0.15) في درجة حرارة المكمن . احسب ما يلي :

- 1 - النسب الحجمية (V_{sh}) في المناطق المؤشرة .
- 2 - المسامية الفعالة (ϕ_e) في المناطق المؤشرة .
- 3 - درجة التشبع بالماء (S_w) باستعمال معادلة (13-13) في نفس المناطق .
- 4 - درجة التشبع بالماء في المنطقة المكتسحة (S_{xo}) في نفس المناطق .
- 5 - كثافة الهيدروكربونات (ρ_h) إن وجدت .

نتائج التحليل بواسطة الميكروكومبيوتر (PDC/4100) مبينة على ورقة الطبع للمنطقة تحت عمق (6100) .

SHALY SANDS

RONADD

Parameters

A	=	0.810
M	=	2.150
N	=	2.000
RHO HF	=	1.050 g/cc
GR MIN	=	15.0 API
GR MAX	=	80.0 API
GR FACT	=	1.5
PHI NSH	=	30.0 %
PHI DSH	=	13.0 %
RHO SH	=	2.442 g/cc
RH	=	0.130 OH ² /M
RMF	=	0.150 OH ² /M
R SHALE	=	4.0 OH ² /M

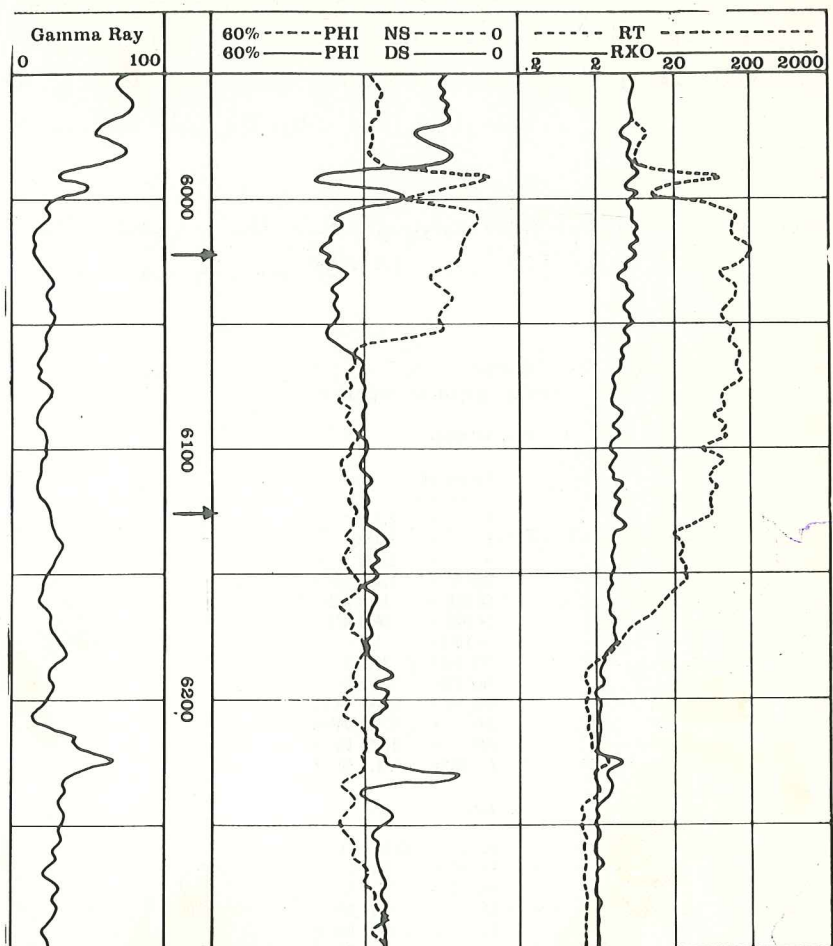
Data

DEPTH	=	6135.0 Ft
PHI NS	=	33.0 %
PHI DS	=	30.0 %
GR	=	25.0 API
RT	=	60.0 OH ² /M
RXO	=	3.0 OH ² /M

Results

PHI E	=	27.7 %
V SHALE	=	17.6 %
SH	=	12.4 %
SXO	=	69.2 %
RHO HY	=	0.8 g/cc

Example



شکل (13-20) مثال حقلی لتسجيل (GR) ، (ϕ_N) ، (ϕ_D) ، (R_t) ، (R_{x0}) .

الفصل الرابع عشر

تحليل تسجيلات الآبار بواسطة الكمبيوتر

تحليل بيانات تسجيل الآبار (logs) يتم على ثلاث مراحل رئيسية :

(1) تسجيل البيانات (Data Recording)

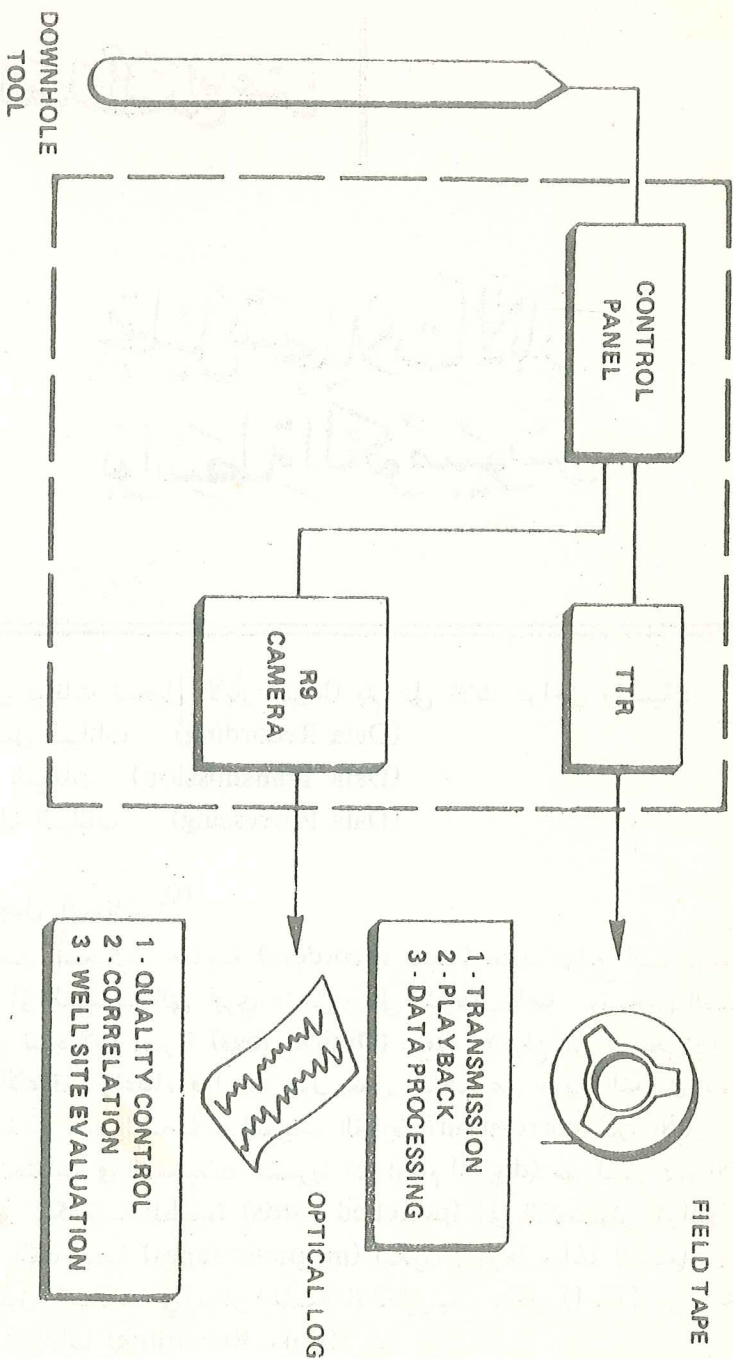
(2) نقل البيانات (Data Transmission)

(3) معالجة البيانات (Data Processing)

(1) تسجيل البيانات :

تستعمل مسجلات خاصة (tape recorders) عند موقع البئر لتسجيل البيانات او القياسات التي تجري داخل ، على اشرطة خاصة . وتسجيل القياسات ايضاً على تسجيلات بصرية (Optical logs) . هذه الانواع من التسجيلات مهمة لتحديد الاعماق ، واعطاء قراءات حول بعض المناطق عن طريق التحليل السريع ، وكذلك مفيدة هذه التسجيلات لعمليات الترابط (correlation) بين الآبار . لكن تحويل المنحنيات في التسجيلات البصرية الى ارقام (digits) مهم لنقل هذه الارقام عن طريق الكارتات المطبوعة (punched cards) الى الكمبيوتر لقراءتها على الاشرطة المغناطيسية (magnetic tapes) لتكون بدورها صالحة للاستعمال داخل مركز تحليل البيانات في مركز الحاسبة الالكترونية . شكل (1-14) يبين مخططاً لتسجيل البيانات (Data Recording) .

SCHLUMBERGER UNIT



شكل (14-1) نظام تسجيل البيانات
(الشركة Schlumberger)

(Data Transmission)

(2) نقل البيانات (1)

يمثل شكل (2-14) مخططا لنقل او انسياب البيانات . نجد في هذا المخطط موقع البئر وهو مصدر البيانات ومنه تنقل المعلومات الى القاعدة بواسطة الاشرطة الحلقية ومنها الى مركز التحليل او مركز الحاسبة الالكترونية ، بينما ترسل التسجيلات البصرية (Optical logs) الى شركات النفط المعينة لدراساتها واعطاء القرارات بشأن البئر الاستكشافي وترسل ايضا الى الشركة البترولية نتائج الحسابات بواسطة الكمبيوتر .

لتوسع عمليات الحفر وانتقالها من البر الى البحر اصبح من الضروري نقل المعلومات من مواقع الآبار الى مراكز الشركة بشكل سريع . كانت تنقل البيانات في السابق عن طريق الطائرات العمودية والزوارق وغيرها ، وكانت تتوقف الفترة الزمنية لنقل المعلومات على المسافة بين البئر المعين وموقع الشركة على وسائل النقل بينما يستغرق تحليل المعلومات عن طريق الحاسبة وقتا قصيرا .

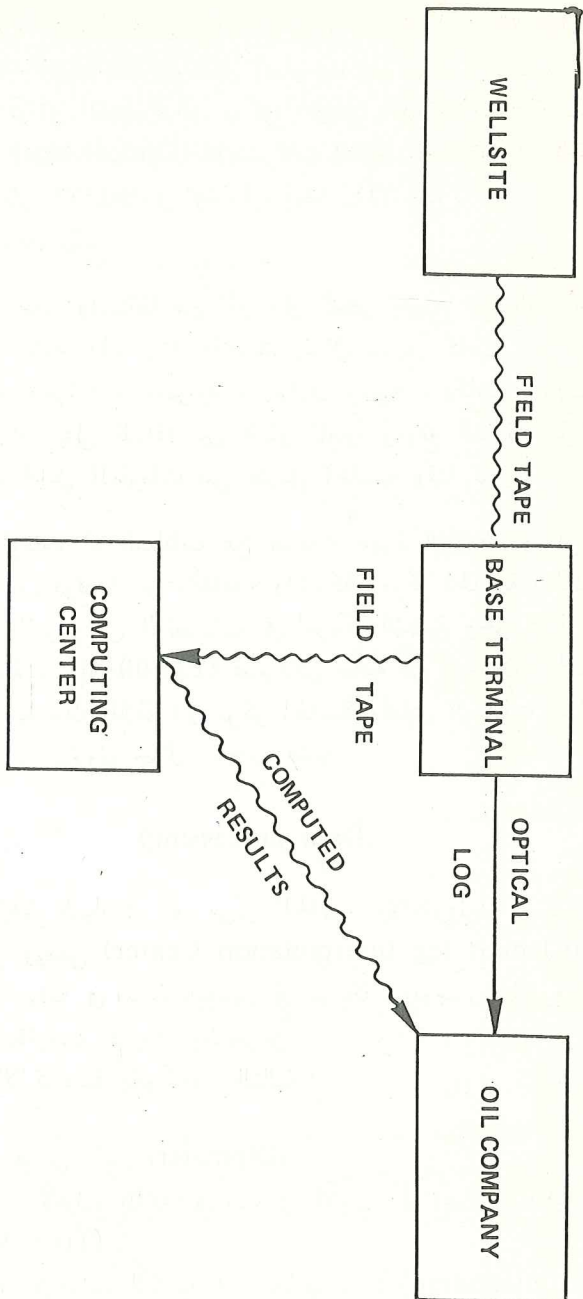
تنقل حاليا المعلومات او البيانات عن طريق اجهزة التلفون او الراديو او التلكس التي تربط بين موقع البئر والقاعدة والشركة ومركز الحاسبة الالكترونية . تستعمل حاليا هذه الانواع من الاتصالات في امريكا الشمالية وبحر الشمال . تقدر سرعة النقل المستعملة بـ (22,500 ft) قدم لكل ساعة من تسجيلات الآبار . يتم نقل البيانات تحت الظروف الملائمة الى مركز الحاسبة وتحليل البيانات ونقل نتائج الحسابات الى شركات البترول خلال ساعات قليلة .

(Data processing)

(3) معالجة البيانات (2)

يقع مركز معالجة البيانات او مركز الحاسبة الالكترونية بالنسبة لشركة شلمبرجر في باريس ويسمى (Clamart log Interpretation Center) وهناك مركز للحاسبة الالكترونية في مدينة هيوستن في امريكا . وتوجد في الشرق الاوسط مراكز للحاسبة الالكترونية في دبي والبحرين . تقوم الحاسبة الالكترونية بالوظائف التالية :

- (1) تحليل بيانات قياس الميل (Dipmeter)
- (2) (أ) تحويل الاعماق المائية في تسجيل الآبار الى اعماق شاقولية حقيقية (True Vertical Depth) .
- (ب) تحويل قراءات السرعة الى تكامل سرع (Sonic integration) .



شكل (14-2) خط نقل او انسياب المعلومات
(الشركة شلمبرجر)

- (3) تطابق الاعماق (depth matching) بين تسجيلات الآبار .
 (4) تصحيح القياسات لظروف البيئة او البئر (enviromental correction) او (normalization) .
 (5) تحليل التكوينات بواسطة برامج خاصة مثل (SARABAND) او (Shaly sand processing) (Shaly sandstone reservoir analysis) و (CORIBAND) اي (Complex reservoir analysis) .

وايضا تسمى هذه العملية (تقييم التكوين Formation evaluation) .
 التسجيل الذي يظهر بعد التحليل بواسطة الكمبيوتر يسمى (CPI) او (Computer processed Interpretation) .

بالاضافة الى الوظائف المذكورة ، يقوم الكمبيوتر بمعايرة التسجيلات (calibration of logs) حيث يقوم البرنامج الخاص بتحديد الطبقات التي تحتوي على الانهيدريت (anhydrite) او الطبقات الملحية (salt beds) او مناطق ذات مسامية مساوية صفر تقريبا ، ومناطق حاوية على الماء .
 تتحدد طبقات الانهيدريت من القراءات التالية :

$$\rho_b = 2.97 \pm 0.02 \text{ gm / cc}$$

$$\phi_{CNL} = 0 \pm \text{pu} .$$

$$t = 50 \pm 1 \text{ sec / ft}$$

$$Rt = \text{infinite}$$

$$GR = 20 \text{ API}$$

وايضا يقوم الكمبيوتر باختبار او حساب القيم الاساسية (parameters) التي تدخل في الحسابات التفصيلية بعد ذلك . من هذه القيم تحديد صفات طبقات الطفل وذلك لايجاد (V_{sh}) بعد ذلك . ثم تحديد قيم (R_w) في المناطق المائية التي حددت مسبقا . تحسب قيم (R_w) عن طريق تحليل الرسوم البيانية او (crossplots) من قيم (R_{xo}) مع (R_p) او استعمال قيم تسجيلات المسامية من (b) ، (ϕ_N) او (t) مع (R_p) او تحليل تسجيلات (SP) وغير ذلك من الطرق المختلفة . وكذلك يقوم الكمبيوتر بحساب كثافة الهيدروكربون (S_H) بصورة اوتوماتيكية ، وذلك عن طريق استعمال تسجيلات المسامية (ϕ_N) ، (ρ_p) ، حيث يعتمد اختلاف قيم (ϕ_N) ، (ϕ_D) على نوع التكوين او (lithology) ومقدار وكثافة الهيدروكربون المتبقي (residual hydrocarbon) .

إذا لم يكن في القطاع الجيولوجي مناطق أو تكوينات مشبعة بالماء أو لم تكن طبقات تحتوي (100%) على الطفل فإنه يجب ادخال معلومات عن ملوحة ماء التكوين وخصائص الطفل من مناطق أخرى في الحقل داخل البرنامج .

تحليل التسجيلات في الحقل :

تستعمل الطرق التكنيكية البسيطة لتحليل التسجيلات مثل طريقة (R_{wa}) وطرق التسقيط (crossplots) وغيرها . وهذه الطرق مفيدة في الحقل المكشف عن طبقات حاوية على هيدروكربونات أو طبقات مائية وإيجاد قيمة (R_w) ومعرفة نوع التكوين وغير ذلك من الصفات التي تساعد في إصدار القرارات بشأن البئر الاستكشافي .

تحليل المكامن بواسطة الكومبيوتر باستعمال برامج (CORLBAND) (4)

يقوم (CORIBAND) بتحليل المكامن أو الصفات الكمية (reservoir characteristics) في مركز الحاسبة الالكترونية عن طريق استعمال تسجيلات المقاومة ، النيترون ، الكثافة ، والسرعة بالإضافة الى تسجيل (SP) و (GR)، نتائج التحليل تشمل على :

- كمية الطفل أو الطين (clay content) في المناطق أو الطبقات المختلفة حول البئر (V_{clay}) .
- المسامية (porosity) للتكوينات المختلفة (ϕ) .
- درجة التشبع بالماء (S_w) في المنطقة غير المفزوة .
- درجة التشبع بالماء (S_{xo}) في المنطقة المفزوة إذا كان تسجيل (R_{xo}) متوفراً .
- كثافة الحشو (ρ_{ma})
- المسامية الثانوية أو دليل المسامية الثانوية (المسامية المتكهفة) (vugular) أو المسامية المتشققة (Fracture) .

يقوم البرنامج بتحويل صفات التكوين المقاسة بواسطة التسجيلات المختلفة الى صفات مكمنية ذات اهمية اقتصادية مثل المسامية والتشبع بالهيدروكربون وغيرها من الصفات . وايضا يقوم البرنامج في بعض الاحيان بحساب النفاذية إذا كانت هنالك نماذج من لباب الصخور ، وقد قيست النفاذية لهذه اللباب بحيث يتمكن من استعمال المعادلة الخاصة لايجاد النفاذية للتكوينات المختلفة في الآبار المختلفة .

تمثل هذه النتائج الصفات المكمية للمستويات المختلفة حول البئر والتي تبعد عن بعضها بقدم او متر واحد . هنالك صفات غير متغيرة تقريبا ويقوم الكمبيوتر بحسابها لكل منطقة (Zone) من المناطق المحيطة بالبئر . هذه الصفات تشمل على :

- (R_w) او المقاومة النوعية لماء التكوين .
- وتشمل صفات الطفل على .
 ρ_{bclay} , ϕ_{Nclay} , R_{clay}
 GR_{clay} , t_{clay}
- كثافة الهيدروكربون (ρ_h) .
 (ρ_h)

الخطوات المستعملة في برنامج (CORIBAND) تشمل على :

- (1) ادخال المعلومات او البيانات من التسجيلات المختلفة ومن بيانات البئر (Input data) .
- (2) مرحلة قبل التفسير (Pre-interpretation) .
- (3) تحديد الصفات الاساسية للتكوينات بواسطة التسقيط او الرسوم البيانية (Determination of interpretation parameters by cccsplots)
- (4) تحليل التكوينات او ايجاد الصفات المكمية بالتفصيل (Detailed interpretation)

اي ان برنامج (CORIBAND) يشمل على سلسلة من البرامج المختلفة والتي يمكن تجزئتها الى المراحل الاربعة المذكورة اعلاه . نصف باختصار هذه المراحل المختلفة :

(1) مرحلة ادخال المعلومات (Input-data) :

- الحد الادنى من التسجيلات الضرورية لادخالها في (CPI) يشمل على :
- تسجيلات المقاومة العميقة (IL or LL) .
- تسجيل الكثافة (FDC) .
- تسجيل النيوترون (CNL or SNP) .

تكون هذه التسجيلات الاساسية مرافقة مع قياس اشعة كاما (GR) و/ او (SP) والتي تعطي معلومات مفيدة حول نسب الطفل والمقاومة النوعية لماء التكوين .

تسجيلات اضافية محبذة ولكن ليست ضرورية وهي تسجيل السرعة (sonic log) وتسجيل المقاومة الدقيقة (micro-resistivity). تسجيل السرعة مفيد في تحديد :

- (1) الصفات اللثولوجية او الصخرية للمكان عن طريق استعمال مخططات (M-N or MID).
 - (2) تحديد الطفل.
 - (3) حسابات المسامية الثانوية.
 - (4) حسابات المسامية الاولية في الآبار المتكهفة او غير المنتظمة بحيث تتأثر تسجيلات الكثافة والنيوترون تحت هذه الظروف.
 - (5) مفيد في عمليات الترابط الجيوفيزيائي (geophysical correlation).
- تسجيل المقاومة الدقيقة مفيد في :

- (1) تصحيح تسجيل المقاومة العميقة لتأثير الغزو.
- (2) تصحيح تسجيلات الكثافة والنيوترون لتأثير الهيدروكربونات.
- (3) في حساب حجم الهيدروكربون المتحرك (movable oil).
- (4) في حساب كثافة الهيدروكربونات.

بالاضافة الى ادخال المعلومات في التسجيلات ، فإن بيانات البئر ايضا تدخل في الكمبيوتر منها حجم مثقاب الحفر (bit size) ، درجة الحرارة السطحية ودرجة حرارة قاع البئر (bottom hole temperature) ، العمق الكلي للبئر (total depth) ، نوع طين الحفر ووزنه ، المقاومة النوعية لراشح الطين والمقاومة النوعية لماء التكوين ان وجدت .

يجب ان تكون التسجيلات المختلفة صالحة للاستعمال داخل الكمبيوتر وذلك بتحويل المعلومات من التسجيلات الى اشرطة مغناطيسية كما ذكرنا سابقا في موضوع تسجيل البيانات . كذلك ان وجدت معلومات الصفات اللثولوجية للطبقات للمنطقة وملوحة ماء التكوين وكثافة الهيدروكربون تكون مفيدة لادخالها في الكمبيوتر للحصول على نتائج دقيقة .

(2) مرحلة قبل التفسير (Pre-interpretation) :

يقوم الكمبيوتر بتصحيح القياسات من التسجيلات المختلفة لتأثيرات ظروف البئر بواسطة برنامج خاص . هذه التصحيحات مشابهة للتصحيحات المعمولة عن

طريق المخططات البيانية (charts). تستعمل التأثيرات التالية في التصحيحات :
 اختلاف قطر البئر ، اختلاف سمك القشرة الطينية ، المقاومة النوعية لطين الحفر
 ووزن طين الحفر ، واختلافات درجة الحرارة . تصحح تسجيلات المقاومة العميقة
 لتأثير الغزو بواسطة معادلات خاصة تدخل في البرنامج . اذا كان تسجيل المقاومة
 نوعين (IL,LL) فان الكمبيوتر يختار النوع الذي يعطي نتائج صحيحة بناءً على
 قيمة (R_{xo}) اذا كانت اكثر او اقل من (R_t) .

في نهاية المرحلة ، تكون جميع بيانات التسجيلات مصححة لتأثيرات البئر
 وتكون قيمة (R_t) محسوبة امام كل مستوى داخل البئر . تكون ايضا قيم المسامية
 التقريبية (ϕ_{cp}) ، كثافة الحشو التقريبية (ρ_{ma}) ، (R_{wa}) ، (R_{mfa}) ، (d_i)
 محسوبة امام كل مستوى للاعماق المختلفة . يبين شكل (3-14) . نتائج الكمبيوتر
 بعد نهاية مرحلة (Pre-interpretation) والتي تستعمل بعد ذلك من قبل محلي
 تسجيلات الآبار (log analysts) . نجد في شكل (3-14) حساب المساميات
 المختلفة (ϕ_s) ، (ϕ_N) ، (ϕ_D) ، (ϕ_R) . تساعد الاختلافات بين هذه المساميات
 في الكشف عن هايدروكربونات بصورة سريعة وخاصة اذا كانت غازية وكذلك
 اكتشاف مناطق مائية . كذلك نستطيع من هذه النتائج التعرف على التركيب
 المعدني للتكوين بصورة تقريبية . يساعد وجود تسجيل (GR) و (cal) على تحديد
 الطبقات الطفلية .

(3) مرحلة تحديد الصفات الاساسية للتكوينات بواسطة التسقيط او الرسوم
 البيانية المختلفة

(Parameter Determination by crossplots)

تحديد الصفات الاساسية للتكوينات والتي لا تتغير بين اعماق معينة بصورة
 اوتوماتيكية بواسطة برنامج يسمى (DET) . وتغير ايضا تسجيلات النيوترون
 والكثافة لتكون نتائجها مطابقة مع نتائج التسجيلات الأخرى .

تجزاً في بداية المرحلة التسجيلات الى مناطق (zones) حسب المعلومات
 المأخوذة من التسجيلات او من لباب الصخور . تدخل لكل منطقة المعلومات التالية
 في البرنامج :

(1) الصفات اللثولوجية او الصخرية . هذه الصفات مبنية على افتراض كل
 منطقة او تكوين يحتوي على احدى المعادن التالية او مزيج منها :

(1) رملية (كثافة الحشو 2.65 gm/cc) نقية .

- (2) رملية (كثافة الحشو 2.68 gm/cc) نقية .
- (3) كلسية (كثافة الحشو 2.71 gm/cc) نقية .
- (4) دولومايت (كثافة الحشو 2.87 gm/cc) نقية .
- (5) مزيج من معادن رملية كلسية .
- (6) مزيج من كلسية ودلومايت .
- (7) مزيج من كلسية وبعض الدولومايت .
- (8) مزيج من دولومايت وبعض الكلس .
- (9) مزيج من الرملي والدولومايت .

يتم اختيار الصفات اللثولوجية (نوع الحشو) او الكثافة التقريبية للحشو الكميني من المخططات البيانية (Crossplots) المرسومة من قبل الكمبيوتر من بيانات تسجيلات الآبار المصححة لكل منطقة من المناطق ذات الصفات اللثولوجية المعينة . ايضا تحدد من هذه المخططات البيانية المناطق المائية والمناطق الهايدروكربونية وايضا المناطق النقية وغير النقية من الطبقات الكمينية . تساعد هذه المخططات البيانية محلي تسجيلات الآبار (log analysts) على التأكد من صلاحية اجهزة القياس وايجاد التغيرات او الصفات الاساسية للطفل والتي تستعمل بعد ذلك في العمليات الحسابية . المخططات البيانية تشمل على :

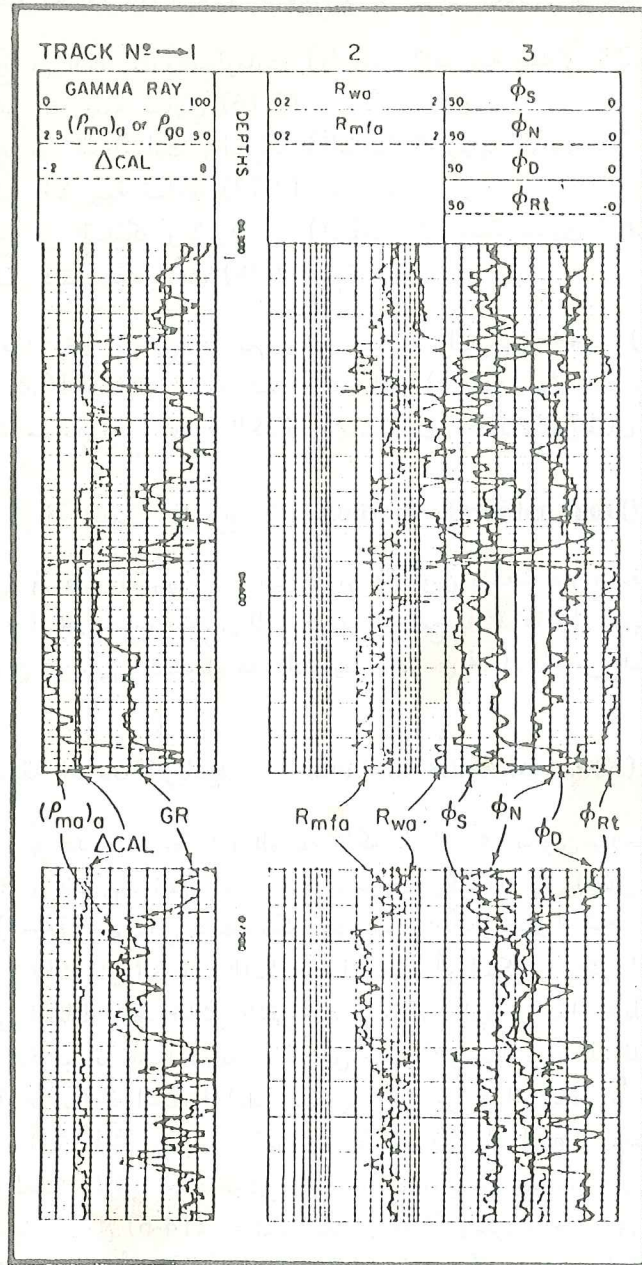
(1) مخطط بياني لتسجيلات النيوترون ، الكثافة والسرعة مع بعضها ومع بيانات

$$1 / \sqrt{R_{x0}} , 1 / \sqrt{R_t}$$

(2) مخطط بياني من قيم (M) و (N) لتحديد الصفات اللثولوجية للمناطق المختلفة من التكوينات . المخطط البياني شكل (59-12) شبيه بهذا المخطط .

(3) تسقط بيانات (GR) و (SP) مع لوغاريتم (R_{x0}/R_t) لعمل مخطط بياني .

سنبين في الامثلة التالية فوائد هذه المخططات . يمثل شكل (4-14) مخطط بياني من بيانات النيوترون والكثافة . تحدد في هذا المخطط الخطوط اللثولوجية او خطوط الحشو للمعادن الكمينية الرئيسية وهي الكوارتز والكليت والدولومايت باستعمال المعادلات الخاصة بهذه التسجيلات . المخططات البيانية (charts) شكل (15-9) و (19-9) شبيهة لهذا المخطط . تسقط جميع النقاط على هذا المخطط بواسطة الكمبيوتر . يفترض عند سقوط نقاط على خطوط الحشو النقية ان الطبقة المعينة تتكون من الحشو المثل لخط الحشو في المخطط اي اذا سقطت نقاط على خط الحشو الرملي فان التكوين يتألف من معادن رملية ويفترض



شكل (3-14) مثال حقيقي لنتائج الكمبيوتر بعد مرحلة (Pre-interpretation) (شركة شلمبرجر)

في هذا المخطط بأن التكوين او المنطقة نقية ومشبعة بالماء . اذا سقطت نقاط بين خطوط الحشو المختلفة فان التكوين يحتوي على مزيج من المعادن المكمية التالية :

- (1) مزيج من الكلسيت والدولومايت (المسامية التقريبية تساوي 10.2% وكثافة الحشو التقريبية تساوي (2.76) غم / سم³ . او
- (2) مزيج من الدولومايت والسليكا (المسامية التقريبية تساوي 10.7% وكثافة الحشو التقريبية تساوي (2.77) غم / سم³ . او
- (3) مزيج من السليكا والانهدريت (المسامية التقريبية تساوي 11.6% وكثافة الحشو التقريبية تساوي (2.78) غم / سم³ .

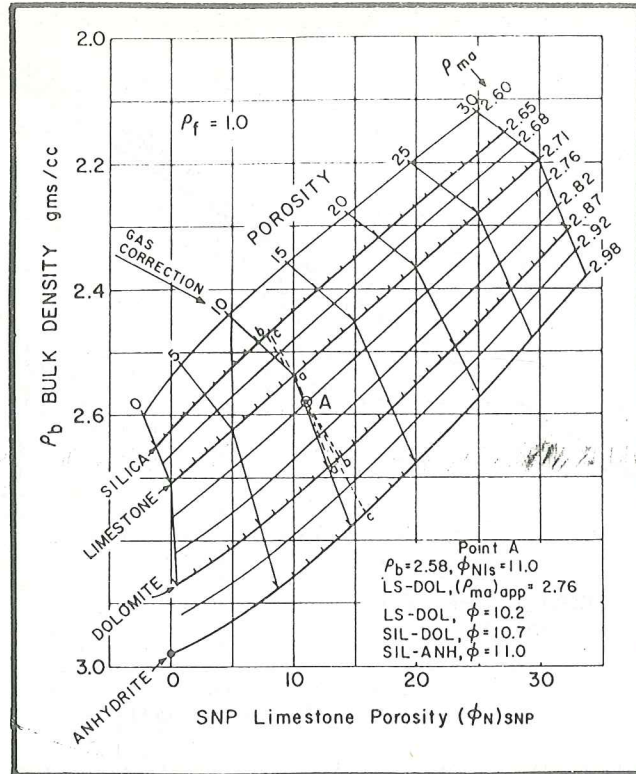
اذن مهما تغير تركيب المزيج فان المسامية التقريبية لنقطة (A) تساوي $10.6 \pm 0.4\%$ وكثافة الحشو التقريبية تساوي (2.76) غم / سم³ . نقطة (A) تمثل قراءة معينة من تسجيل الكثافة والنيوترون . هنالك طريقتان للتخيل :

(أ) طريقة المعدن المزدوج (Dual minerals method)

يفترض في هذه الطريقة ان المكنن او التكوين يتألف من معدنين رئيسيين فقط . يجب ادخال صفات هذين المعدنين في البرنامج بالاضافة الى نسب الطفل ان كان التكوين غير نقي . تستعمل هذه الطريقة فقط في تحليل المكامن البسيطة .

(ب) طريقة المعادن الرباعية (Four minerals method):

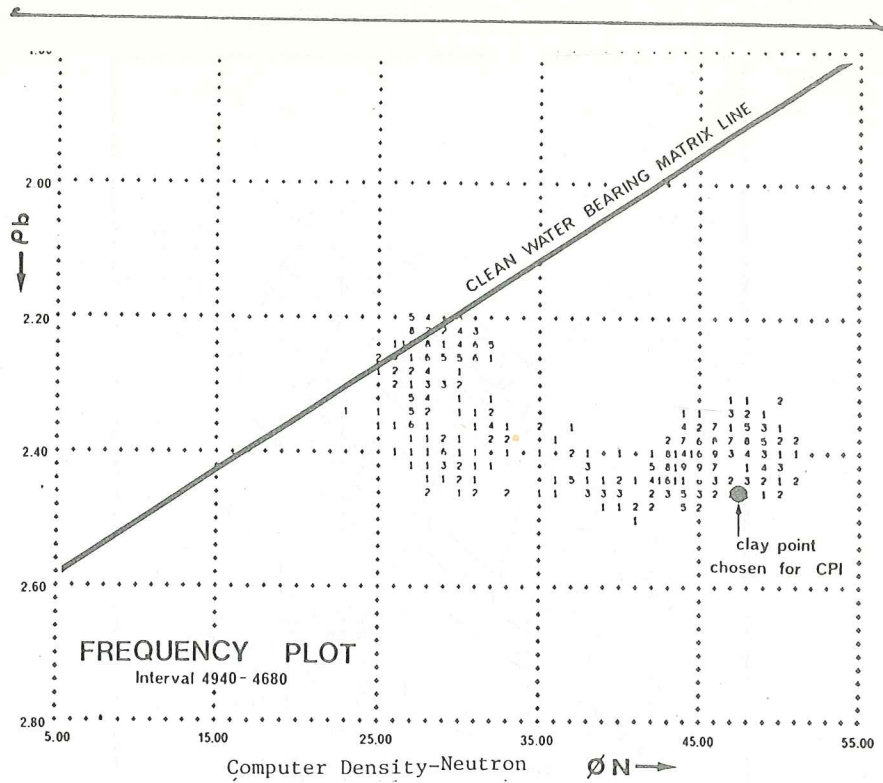
يفترض في هذه الطريقة أن الطبقة المكمية او أي تكوين يتألف من مزيج من : الرمل ، الكلس ، الدولومايت ، الانهدريت بالاضافة الى الطفل او الطين ، يمثل شكل (5-14) رسم بياني بواسطة الكومبيوتر من بيانات تسجيل الكثافة والنيوترون لتحديد نوع الحشو او الصفات اللثولوجية للمنطقة أو التكوين . يمثل الخط المرسوم خلال أعلى النقاط خط الحشو النقي المشبع بالماء . أي في هذا المخطط البياني ، لا يستعمل الكومبيوتر النقاط الممثلة لمناطق هيدروكاربونية ، وكذلك للتأكد من أن الخط المائي يمر بنقطة الحشو للطبقة المكمية ونجد من هذا المخطط بأن الحشو يمثل السليكا او أن الطبقة رملية . لا تمثل النقاط الساقطة اسفل هذا الخط مزيجا من السليكا والمعادن الرئيسية الاخرى وانما تمثل طبقات او مناطق غير نقية . يشبه المخطط البياني شكل (6-14) المخطط شكل (5-14) ولكن ادخلت في هذا المخطط بيانات اشعة كاما للتأكد من أن النقاط الساقطة نحو الاسفل تمثل طبقات غير نقية حيث الارقام الصغيرة تدل على كمية واطئة من الاشعاع او نسبة قليلة من المعادن



شكل (14-4) مخطط بياني من النيوترون والكثافة في عظمى معين .

الطينية . تدل الارقام الكبيرة في الاسفل على النسب العالية من الطفل . تمثل النقطة المكبرة في المخطط شكل (14-5) نقطة الطفل او نقطة الطين .

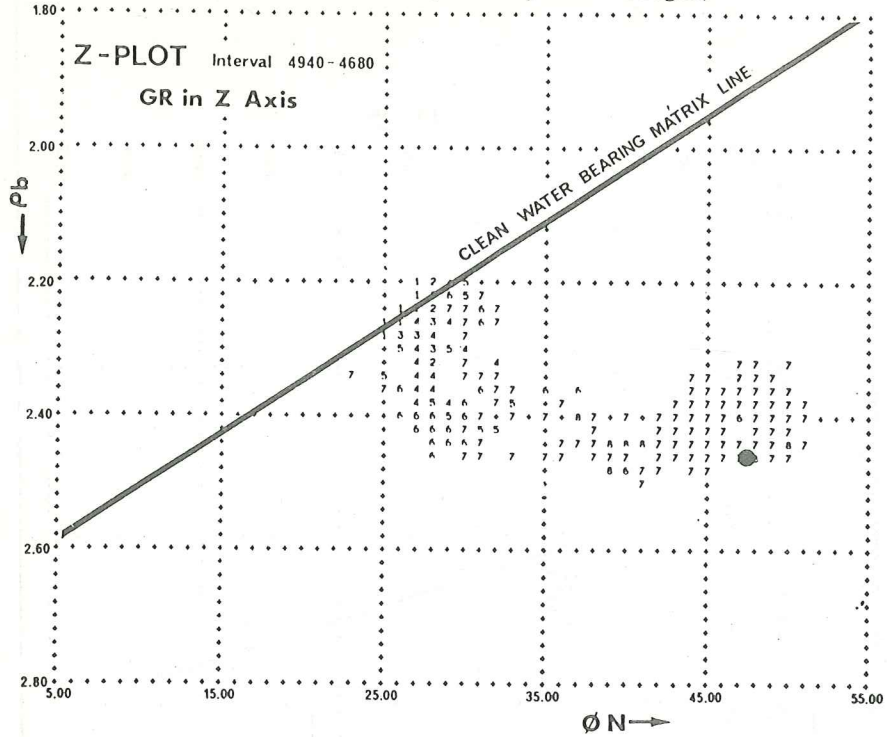
تستعمل مخططات اخرى مثل مخطط (M,N) للتعرف على نوع التكوين او تحديد الصفات الشلوجية . . يبين شكل (14-7) مخطط (M,N) ونلاحظ انتشار النقاط حول معدن الكليت مع نقاط متجهة للاسفل نحو منطقة الطفل وهو دليل على زيادة نسبة الطفل في هذه الطبقات المكمية . الطبقة المذكورة حاوية على الماء للتخلص من تأثير الهيدروكربون في المخطط البياني . يمثل المخطط البياني شكل (14-8) قيم الكثافة مع السرعة لنفس الطبقة المكمية . نلاحظ في المخطط سقوط النقاط على خط الحشو النقي لمعدن الكليت . يؤكد هذا المخطط نتائج التحليل في المخطط شكل (14-7) أي أن الطبقة المكمية كلسية وتسقط بعض النقاط اسفل



شكل (14-5) مخطط بياني من بيانات تسجيل الكثافة والنيوترون (لشركة شلمبرجر).

الخط وهي تمثل نسب قليلة من الدولومايت . لايجاد المقاومة النوعية لماء التكوين (R_w) في هذه المرحلة من برنامج (CORIBAND) ، يستعمل مخطط بياني آخر مثل مخطط بياني $(P_b - 1 / \sqrt{R_t})$ يمثل شكل (14-9) مخطط بياني من هذا النوع بواسطة الكمبيوتر لنفس الطبقة المكمنية . نلاحظ في هذا المخطط النقاط الساقطة نحو الاعلى تكون خطا مستقيما وهو الخط الذي يمثل خط التشبع بالماء (100%). تقاطع هذا الخط مع محور الكثافة يؤكد أن نوع الحشو في الطبقة المكمنية هو كلسي . هنالك نقاط ساقطة نحو الاعلى وهي تحتوي على نسب قليلة من الدولومايت . لحساب (R_w) من هذا المخطط تستعمل معادلة (Archie) المعروفة . ففي هذا المثال قيمة (R_w) المحسوبة تساوي (0.046) اوم . م . هنالك طرق مختلفة للتأكد من قيمة (R_w) ذكرت سابقا تستعمل من قبل الكمبيوتر .

Computer Density-Neutron Z Plot (courtesy Schlumberger)

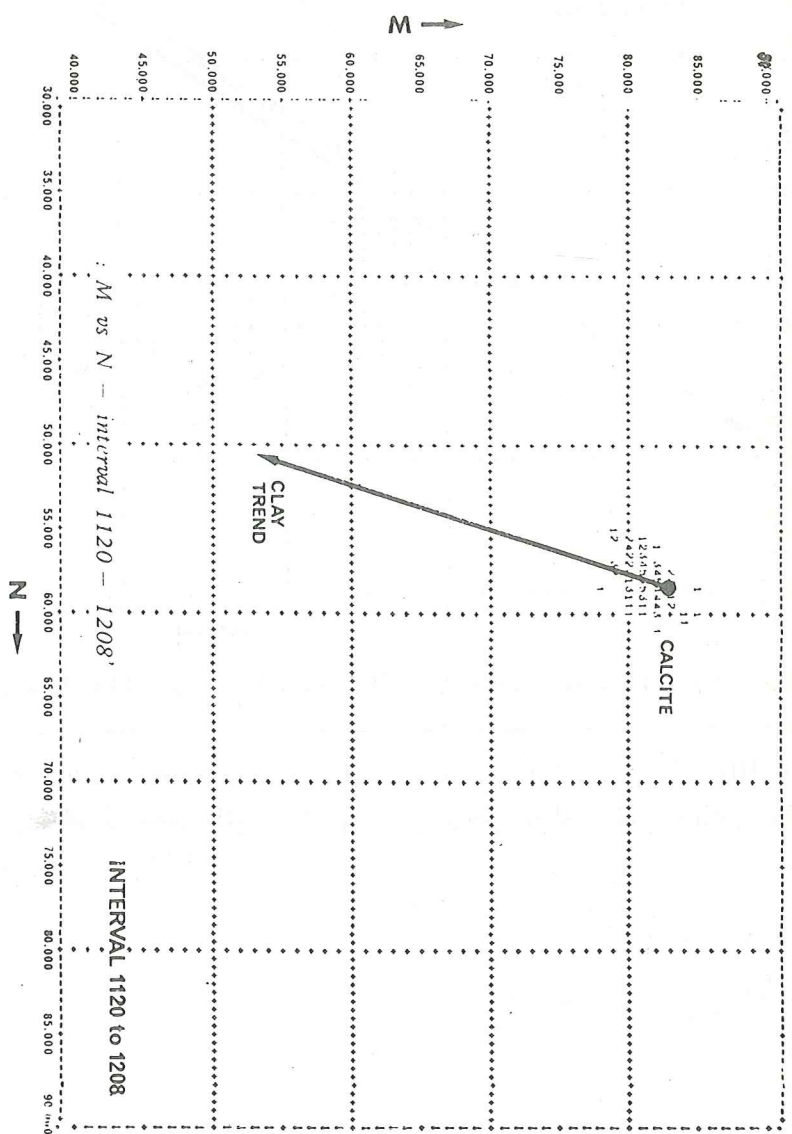


شكل (14-6) مخطط بياني من بيانات تسجيل الكثافة والنيوترون واسعة كاما (لشركة شلمبرجر).

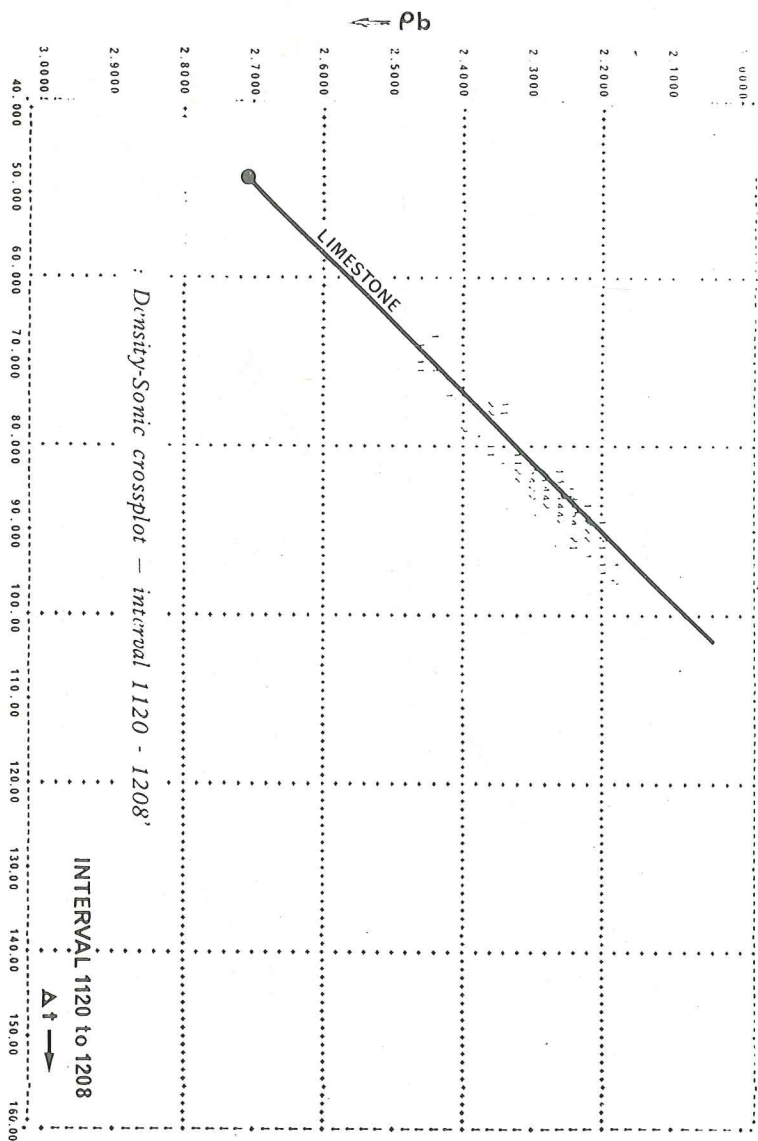
لايجاد الصفات الطفلية تستعمل أيضا مخططات بيانية . يمثل شكل (14-10) نوع من المخطط الحظلي لقيم $(\rho_b, \Delta t)$. نلاحظ نقطة الطين (clay-point) تتحدد بالصفات التالية :

$$\rho_{b_{cl.}} = 2.46 \text{ gm/cc}$$

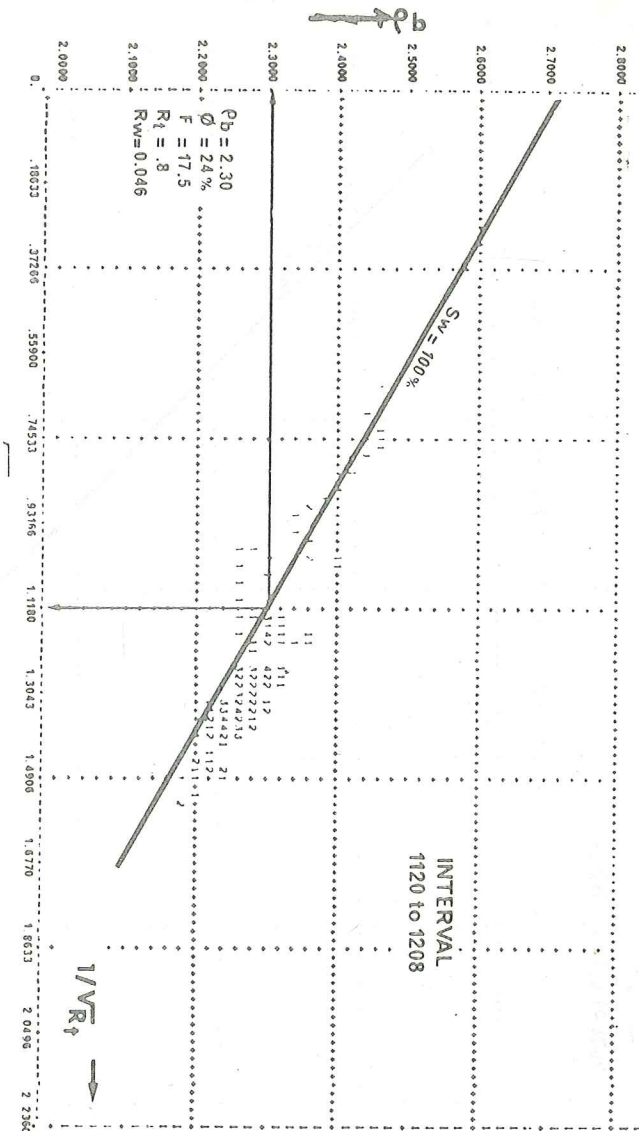
$$\Delta t_{cl.} = 110 \text{ M}_{sec}/ft$$



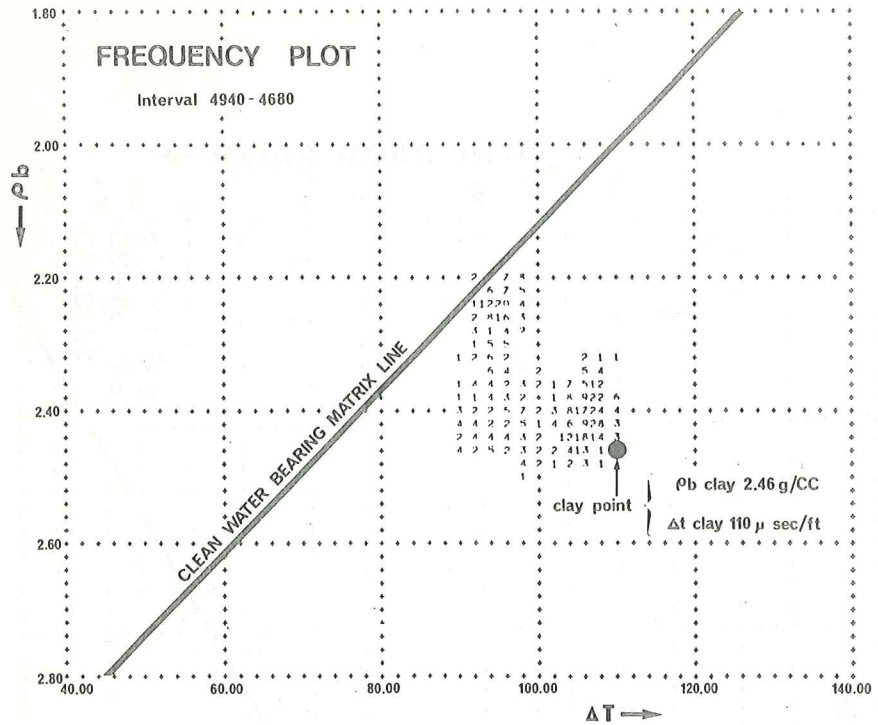
شكل (14-7) مخطط ينافي من (M₁N) بواسطة الكورميوتير (شركة شلمبرجر).



شكل (14-8) مخطط بياني من قيم الكثافة والسرعة بواسطة الكمبيوتر (شركة شلمبرجير).



شكل (14-9) مثال خطي بياني من قيم $(S_b - 1 / r_t)$.



شكل (14-10) مثال حقل لخط بياني من $(\rho_b, \Delta t)$

وتستعمل مخططات مشابهة لايجاد الصفات الاخرى للطفل . يقوم الكومبيوتر في هذه المرحلة أيضا بمعايرة تسجيلات النيوترون والكثافة والتسجيلات الاخرى . وقد ذكرنا سابقا طريقة للمعايرة . باستعمال المخططات البيانية ممكن التأكد من سلامة القياسات المختلفة ، فمثلا يدل المخطط البياني شكل (14-5) على أن المعايرة لتسجيلات النيوترون والكثافة صحيحة ، حيث أن خط الحشو (matrix line) النقي والحاوي على الماء يمر من اعلى النقاط في المخطط مارا بنقطة الحشو (matrix point) المتحللة بالطبقة الرملية او السليكا . نجد في المخطط المذكور ارقام لكل نقطة وتمثل هذه الارقام عدد المرات او (frequency) التي تقع كل نقطة في المخطط . للتأكد من أن القياسات المسجلة صحيحة بدون شك يجب أن تتم المعايرة في طبقات حاوية على الماء ونقية والتي تحتوي على نوع واحد من الحشو . يمثل شكل (14-11) مخطط بياني للمعايرة تستعمل فيه طريقة الرقص

او (cut-off) للقيم التي تزيد عن الحد المطلوب ، أي اذا كانت قيم اشعة كاما اعلى من (60 API) فإن البرنامج لا يستقطها في المخطط واذا زادت المقاومة عن (1.0) اوم . م . بهذه الوسيلة تتأكد من أن المعاييرة تتم في طبقات نقية وحاوية على الماء . يستعمل المخطط المذكور لمعايرة تسجيل النيوترون .

تحسب في هذه المرحلة من برنامج (CORIBAND) كثافة الهيدروكربون للمناطق الحاوية على هيدروكربونات من الطبقات المكنية . طريقة حساب الكثافة للهيدروكربون شبيهة بالمخطط شكل (9-22) ويمكن حساب كثافة الهيدروكربون (ρ_h) من المعادلات التالية :

$$\rho_{fa} = \rho_{ma} - \frac{\phi_D}{\phi_e} (\rho_{ma} - \rho_{mf}) \quad \dots (14-1)$$

$$\rho_{fa} = (\rho_{mf})(S_w) + \rho_h(1 - S_w) \quad \dots (14-2)$$

حيث :

ρ_{fa} - تمثل كثافة المائع الظاهرية .

ρ_{ma} - كثافة الحشو .

ϕ_D - المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة .

ϕ_e - المسامية الصحيحة حسب معادلة Gaynard

ρ_{Gf} - كثافة راسح الطين .

(Sw) - درجة التشبع بالماء في المنطقة غير المغزوة .

ρ_h - كثافة الهيدروكربون .

نلاحظ في المخطط شكل (9-22) محور (S_{hr}) ، يمكن أن تعوض في المعادلة (14-2) (S_{x0}) محل (S_w) . وتعطي نتيجة صحيحة أيضا حيث تحسب بهذا التعويض الكثافة في المنطقة المغزوة من الطبقة . اذا توفر تسجيل المقاومة (R_{x0}) ، من الممكن حساب (S_{hr}) واذا لم يتوفر فإن العلاقة التجريبية التالية تستعمل :

$$S_{x0} = (S_w)^{0.2} \quad \dots (14-3)$$

وتحسب منها (S_{hr}) . بعد حساب (S_{hr}) ، يقوم البرنامج بحساب (ρ_h) لكل نوع من انواع كثافة الحشو المفروضة . اذا كان التكوين فقط يحتوي على نوعين من الحشو ، فإن البرنامج سيحسب فقط قيمتين من كثافة الهيدروكربون (ρ_{h2}) و (ρ_{h1}) . اذا كانت الطبقة المكنية حاوية على منطقة غازية ونفطية فإن البرنامج سيحسب كثافة الهيدروكربون للغاز والسائل ويحدد مستوى تماس الغاز مع النفط

في المكنن . عند نهاية مرحلة (DET) ، نتائج (R_w) و (ρ_h) وتسجل الصفات الأساسية للطفل ومقدار تصحيح تسجيلات النيوترون او الكثافة للمعايرة .

(4) تحليل التكوينات او ايجاد الصفات المكننية بالتفصيل (مرحلة التقييم) (Detailed interpretation)

يبين شكل (12-14) جميع المراحل المتبعة في برنامج (CORIBAND) لتحليل الطبقات المكننية . هنالك معادلات مستعملة في بعض الاحيان لايجاد نسب المكونات في أي تكوين او منطقة وهي تشمل على :

$$\rho_b = \phi(\rho_f) + \rho_{ma1} V_1 + \rho_{ma2} V_2 + \rho_{ma3} V_3 \quad \dots (14-3)$$

$$\phi_N = \phi(\phi_N)_f + \phi_{Nma1} V_1 + \phi_{Nma2} V_2 + \phi_{Nma3} V_3 \dots (14-4)$$

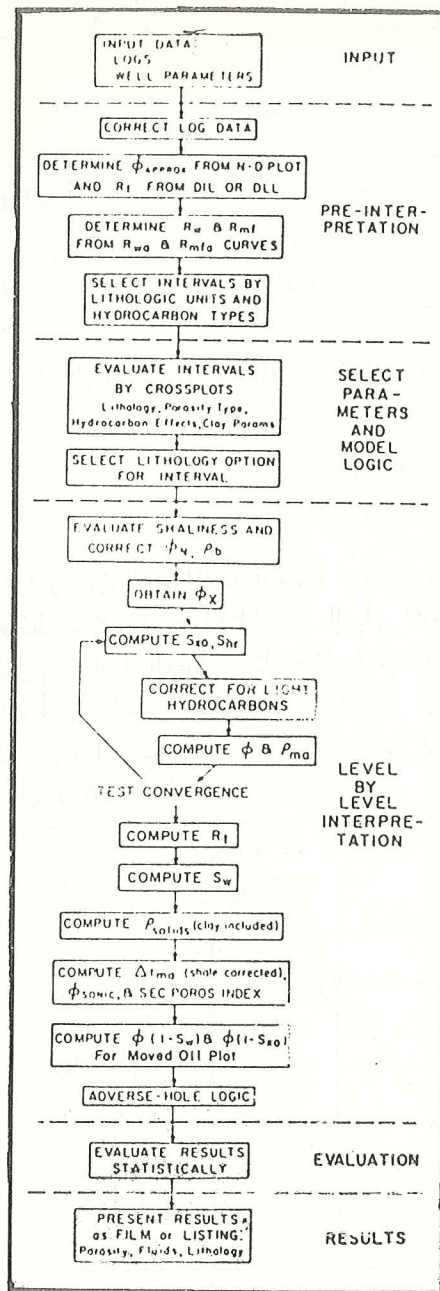
$$\Delta t = \phi(t_f) + \Delta t_{ma1} V_1 + \Delta t_{ma2} V_2 + \Delta t_{ma3} V_3 \quad \dots (14-5)$$

$$1 = \phi + V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots (14-6)$$

حيث : تمثل هذه المعادلات استجابة تسجيل الكثافة والنيوترون والسرعة لانواع مختلفة من المكونات التي تفترض عند حساب المسامية من هذه التسجيلات . عن طريق هذه المجموعة من المعادلات الجبرية الآتية ممكن حساب النسب الحجمية المختلفة لهذه المكونات المفروضة (V_1, V_2, V_3) وحساب المسامية (ϕ) لكل مستوى من المستويات داخل البئر ، يقوم البرنامج بالعمليات التالية :

- (1) تصحيح المسامية لتأثير الطفل .
- (2) حساب المسامية الصحيحة .
- (3) حساب درجات التشبع (S_w) و (S_{xo}) .

(1) لحساب المسامية المصححة لتأثير الطفل ، يجب ايجاد نسب الطفل (V_{clay}) او الطين في المستويات المختلفة من الطبقات . تستعمل الطرق او الدلائل التالية لايجاد هذه النسب .



شكل (14-12) مخطط انسيابي (Flow-chart) لبرنامج (CORIBAND) (لشركة شلمبرجر)

جدول (14-1)

Single clay indicator	Two - clay indicators
SP Resistivity Neutron GR	Density / Neutron Density / Sonic Sonic / Neutron

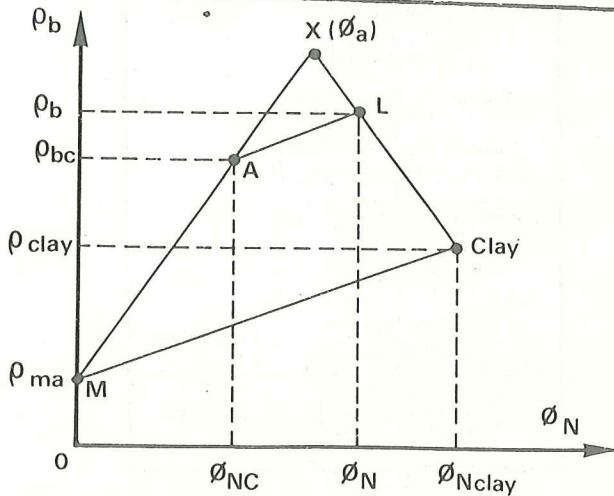
بعد ايجاد نسب الطفل ، تصحيح قراءات الكثافة والنيوترون لتأثير الطفل باستعمال المعادلات :

$$\phi_{NC} = \phi_N - (V_{cl.})(\phi_{NCL.}) \quad \dots (14-7)$$

$$\rho_{bc} = \rho_b + (V_{cl.})(\rho_{ma} - \rho_{cl.}) \quad \dots (14-8)$$

حيث : يمثل $(\phi_{NCL.})$ و $(\rho_{bc.})$ قراءات الكثافة والنيوترون امام طبقات طفلية (100%). يمثل المخطط شكل (14-13) الحل (7) البياني للمعادلات لحساب المسامية المصححة لتأثير الطفل والمسامية الفعالة . تمثل المسامية (ϕ_x) عند نقطة (X) مسامية الجزء النقي من التكوين . المسامية عند نقطة (L) تمثل قراءة تسجيل النيوترون والكثافة بدون تصحيح . المسامية عند نقطة (A) تمثل المسامية الفعالة حيث :

$$\phi = (\phi_x)(1-v_{cl.}) \dots (14-9)$$



شكل (14-13) مخطط بياني لتصحيح قراءات النيوترون والكثافة لتأثير الطفل

إن المسامية الفعالة (ϕ) تمثل مسامية التكوين بعد التصحيح ، إذا كان التكوين او المنطقة المعينة مشبعة بالماء فإن (ϕ) تمثل المسامية الصحيحة لهذه المنطقة . إذا كانت المنطقة حاوية على هيدروكربونات فإن المسامية يجب أن تصحح .

(2) تصحيح المسامية لتأثير الهيدروكربون :

لتصحيح هذا التأثير ، يبدأ البرنامج بإدخال قيمة المسامية المصححة لتأثير الطفل (ϕ_x) ، ثم يحسب قيم (S_{xo}) و (S_{hr}) كما موضح في المخطط الانسابي شكل (14-12) . تدخل هذه القيم في معادلات تصحيح المسامية لتأثير الهيدروكربون . تحسب هذه القيم من تسجيل (R_{xo}) ، وإذا لم يتوفر هذا التسجيل فإن قيم (S_{xo}) تحسب بصورة تقريبية من معادلة (14-3) . بعد حساب قيمة (S_{xo}) تحسب قيمة (S_{hr}) وتدخل هذه القيمة في معادلة التصحيح (7) .

$$\Delta\rho_b = 1.07 (\phi) (S_{hr}) [(1.11 - 0.17 P_{mf}) \rho_{mf} - 1.15 \rho_h] \dots (14 - 10)$$

حيث :

- $\Delta\rho_b$ - مقدار التصحيح لتسجيل الكثافة .
- ϕ - المسامية المصححة لتأثير الطفل او (ϕ_x) .
- S_{hr} - مقدار التشبع بالهيدروكربون المتبقي .
- P_{mf} - ملوحة راسخ الطين بوحدات جزء لكل وحدة او ($10^{-6} \times$ ppm) .
- ρ_{mf} - كثافة راسخ الطين .
- إذا كانت كثافة الهيدروكربون :

$$\rho_h \geq 0.8 \text{ gm / cc}$$

فإن $\Delta\phi_N = 0$ أي لا يحتاج تصحيح لتسجيل النيوترون إذا كانت كثافة الهيدروكربون :

$$\rho_h < 0.8 \text{ gm / cc}$$

في هذه الحالة يصحح تسجيل النيوترون بالمعادلة التالية (7) :

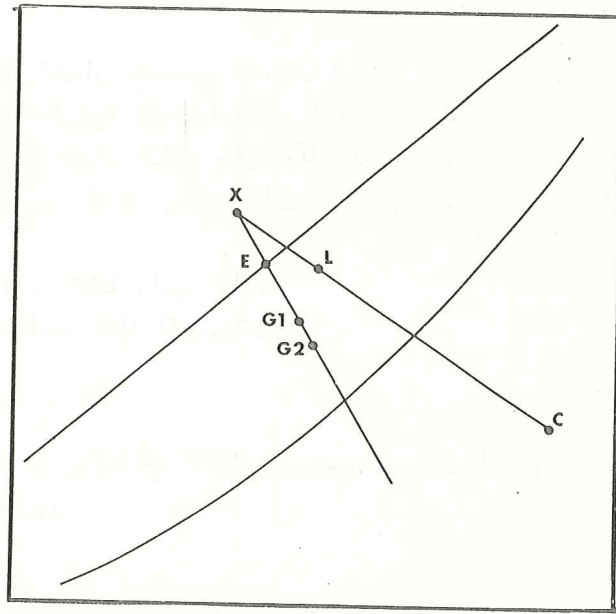
$$\Delta\phi_N = \frac{\rho_{mf} (1 - \rho_{mf}) - (1.5) \rho_h + 0.20}{\rho_{mf} (1 - \rho_{mf})} \dots (14 - 11)$$

بعد اجراء تصحيح على المسامية لتأثير الهيدروكربون على المسامية (ϕ) وعلى كثافة الحشو (ρ_{ma}). بعد هذه المرحلة يقوم الكمبيوتر باجراء فحص التقارب ويسمى (Convergence test) أي إيجاد مدى التقارب بين قيم (ϕ) و (ρ_{ma}) المحسوبة والمفروضة والتقريبية عند ادخال المعلومات الاساسية للتكوين. هذه الطريقة مبينة في شكل (14-14). نجد في هذا الشكل أن نقطة (X) ممثلة بمسامية معينة وكثافة حشو معينة. نجد بعد اجراء التصحيح المسامية ممثلة بنقطة (G_1) وأيضاً كثافة الحشو في هذه النقطة ممثلة بنقطة (G_2). الفحص تكون بالشكل التالي:

$$\text{If } (\rho_{ma})_{G_1} - (\rho_{ma})_x \leq 0.01 \text{ gm / cc}$$

and

$$(\phi)_{G_1} - (\phi)_x \leq 1 \text{ p.u.}$$



شكل (14-14) مخطط بياني لتصحيح المسامية لتأثير الطفل والهيدروكربون

اي اذا كان الفرق بين المسامية المحسوبة سابقا والمسامية المحسوبة حالياً بعد اجراء التصحيحات اقل من (1%) إن عملية التصحيح تنتهي عند هذا الحد وإن الفرق بين كثافة الحشو المحسوبة حالياً والمفروضة سابقا اقل من (0.01 gm / cc) فإن العملية تنتهي عند هذا الحد . اذا كان الفرق أكثر من (0.01 gm / cc) او فرق المسامية أكثر من (1%) فإن العملية الحسابية تعاد مرة اخرى الى أن يحصل عند الفحص تقارب بين القيم المحسوبة أو تقارب بالحدود المطلوبة . تحسب المسامية الصحيحة أخيراً من :

$$\phi = \phi_a (1 - V_{clay})$$

تحسب بعد هذه المرحلة درجات التشبع بالماء (S_w) و (S_{x0}) باستعمال المعادلات التالية (7) :

$$\left(1 - \frac{V_{cl.}}{2} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \left[\frac{V_{cla}}{\sqrt{R_{cl.}}} + \frac{\phi^{m/2}}{\sqrt{aR_w}} \right] S_w^{n/2} \quad \dots (14-12)$$

$$\left(1 - \frac{V_{cl.}}{2} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{R_{x0}}} = \left[\frac{V_{cl.}}{\sqrt{R_{cl.}}} + \frac{\phi^{m/2}}{\sqrt{aR_{mf}}} \right] S_{x0}^{n/2} \quad \dots (14-13)$$

قيم a تفرض 1.0 في المكامن الكلسية
0.8 في المكامن الرملية
 $m = 2.0$
ويمكن حسابها من

$$m = 1.87 + \frac{1.9}{\phi}$$

في المكامن الكلسية ذات المسامية الواطئة .
يستعمل المخطط البياني شكل (14-15) لايجاد درجات التشبع (S_w) بالماء في المنطقة غير المفزوة من الطبقات وايجاد (S_{x0}) أي درجات التشبع بالماء في المناطق المفزوة ، يعتبر حل بياني للمعادلات (14-12) و (14-13) .

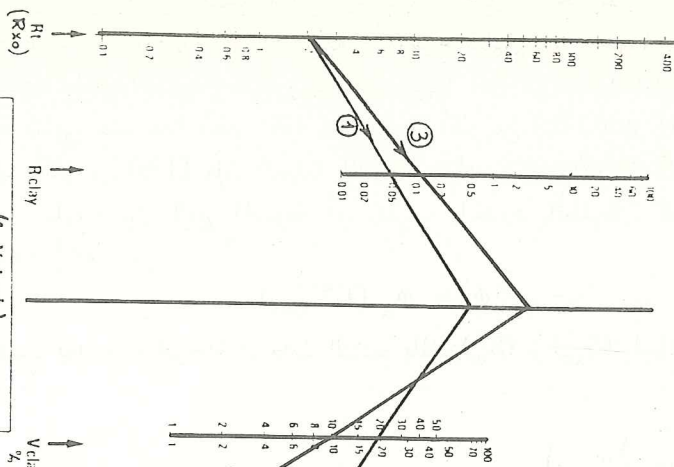
$$A = \phi \sqrt{\frac{R_t}{R_w}}$$

(R_{mf})

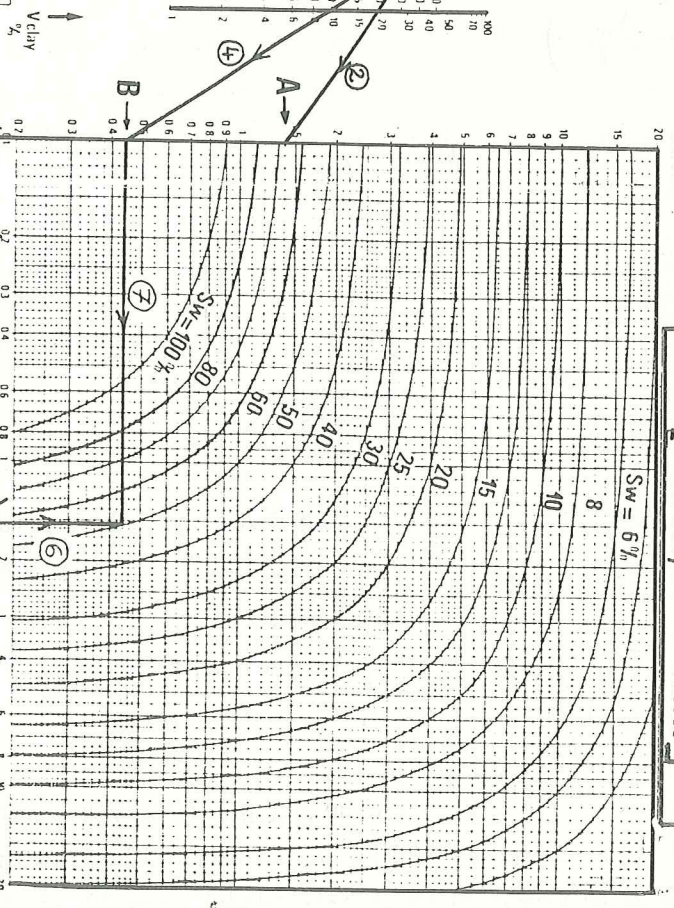
R_w

ϕ
 A, B

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \left[\frac{V_{clay}(1-V_{clay}/2)}{\sqrt{R_{clay}}} + \frac{\phi}{\sqrt{aR_w}} \right] S_w$$



$$B = V_{clay} \sqrt{\frac{R_t}{R_{clay}}}$$



شکل (14-15) عطف بیانی حساب (S_w) و (S_{xo}) (شرکت شلیپرجر)

بعد حساب درجات التشبع بالماء (S_w) و (S_{xo}) يقوم الكمبيوتر بحساب المسامية الثانوية او دليل المسامية الثانوية (Secondary porosity index) لكل مستوى من المناطق المختلفة ان وجدت ، حيث

$$SPI = \phi - \phi_s \quad \dots (14-14)$$

ϕ_s - تمثل المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة .
 ϕ - تمثل المسامية الكلية الحقيقية .

يقوم الكمبيوتر في نهاية العمليات الحسابية بتدقيق القياسات أو البيانات التي تأثرت بأحوال غير طبيعية للبئر . التسجيلات التي تتأثر بدرجة كبيرة هي تسجيلات (R_{xo}) ، النيوترون نوع (SNP) والكثافة . تسبب البيانات المتأثرة زيادة في المسامية المحسوبة وزيادة في كثافة الحشو (ρ_{ma}) المحسوبة ، تستعمل الطرق التالية للتأكد من سلامة القياسات :

(1) طريقة المسامية :

$$\phi \leq \phi_{max} (1 - V_{cl.})$$

اي أن المسامية المحسوبة ، في أي عمق يجب أن لاتزيد عن المسامية القوى الفعالة ، تحدد المسامية القوى ايضا بواسطة المخططات البيانية المذكورة سابقا .
 المسامية القصوى تحدد في المناطق النقية أو التي فيها نسب طفلة قليلة جدا .

(2) طريقة (ϕ_s) :

يجب أن لاتزيد في الاجزاء المتأثرة او المتكهفة من البئر قيمة المسامية المحسوبة عن المسامية المحسوبة بواسطة تسجيل السرعة . أي :

$$\phi \leq \phi_s$$

(3) استعمال العلاقة بين درجات التشبع ، اي :

$$S_w \leq S_{xo} \leq S_w^{v-1}$$

(4) طريقة كثافة الحشو المحسوبة :

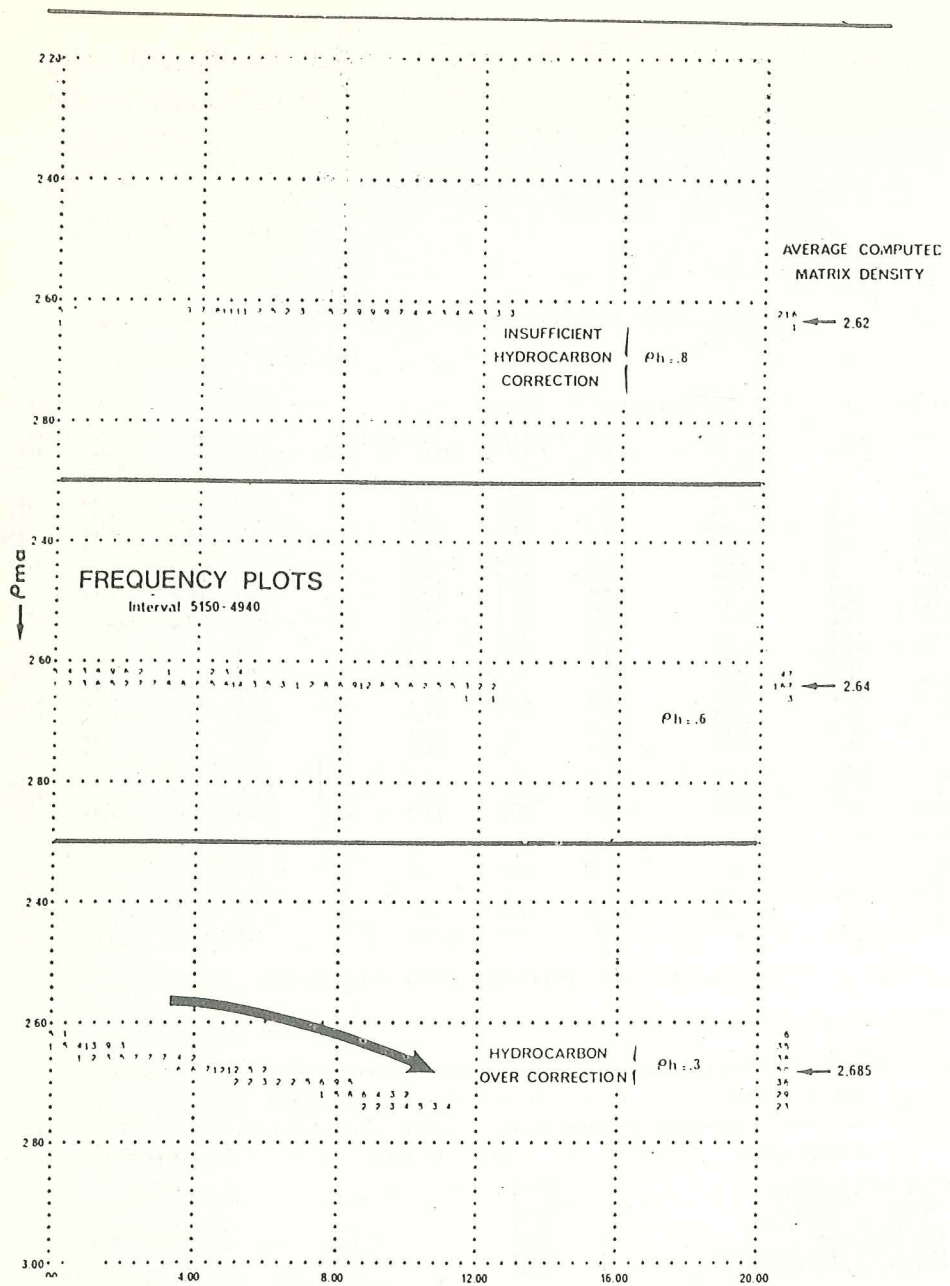
إذا كانت الصفة اللشولوجية للمنطقة أو المكمن معروفة من دلائل دراسة لباب الصخور
 فإن كثافة الحشو المحسوبة يجب أن تكون :

$$\rho_{ma1} \leq \rho_{ma} \leq \rho_{ma2}$$

إذا كانت الكثافة المحسوبة اعلى من ρ_{ma2} فهذا دليل على ان المسامية (ϕ_N) كانت عالية وهذا يحدث إذا كان تسجيل النيوترون نوع (SNP). إذا كانت كثافة الحشو المحسوبة (ρ_{ma}) اقل من ρ_{ma1} ، هذا دليل على ان نسبة الطفل (V_{cl}) المحسوبة كانت عالية فتسبب عند ادخالها في المعادلات الخاصة نقصان في كثافة الحشو المحسوبة .

تستعمل مخططات بيانية خاصة للتأكد من النتائج ، يمثل شكل (14-16) مخطط بياني من قيم كثافة الحشو (ρ_{ma}) وحجم الهيدروكربون المتبقي (residual hydrocarbon) أو (ϕXS_{hr}). نلاحظ في هذا المخطط البياني عند استعمال كثافة غير صحيحة للهيدروكربون نحصل على كثافة حشو غير صحيحة ايضاً لان المسامية وكثافة الحشو نحصل عليهما بعد التصحيح لتاثير الهيدروكربون ويتطلب هذا معرفة كثافة أهيدروكربون . في المثال الحقيي نجد كثافة الهيدروكربون إذا كانت (0.3) أو (0.8) نحصل على كثافات حشو اما قليلة او عالية . كثافة الحشو الصحيحة هي (2.64) غم / سم³ وهي ممثلة لطبقة ممكنية رملية نقية . نلاحظ وجود خطأ كبير في الكثافات المحسوبة عند استعمال كثافة هيدروكربون تساوي (0.3) غم / سم³ . نستنتج من هذا ايضاً ان الهيدروكربون هو سائل ومن نوع خفيف اي ذات درجات عالية من (API) .

تطبع نتائج التحليل على شكل جداول أو على شكل تخطيط يسجل على افلام . يمثل جدول رقم (2-14) نتائج التحليل بواسطة الكومبيوتر على شكل جدول . يشمل عمود رقم (1) على الاعماق التي تمت فيها الدراسة . يشمل عمود رقم (2) على كمية الطفل أو الطين المحسوبة في الاعماق المذكورة . يمثل عمود رقم (3) معدل كثافة الحشو او (average matrix density) (غم / سم³) . يمثل رقم (4) درجات التشبع بالماء (S_w) في المنطقة غير المغزوة . ويشمل عمود رقم (5) على درجات التشبع بالماء (S_{xo}) في المنطقة المغزوة من الطبقات . ويمثل عمود رقم (6) المسامية الكلية . ويمثل عمود رقم (7) المسامية الثانوية . يمثل عمود رقم (8) حجم الهيدروكربون الكلي . ويمثل عمود رقم (9) حجم الهيدروكربون المتنقل (movable hydrocarbon) وهذا الحجم يساوي (ϕS_{xo}) . يمثل عمود رقم (10) و (11) عملية تكامل (integration) لعدد الاقدام أو الامتار من المسامية (POR-FT) وعدد الاقدام أو الامتار من الهيدروكربون (HCFT) في الطبقة الممكنية . يبين القسم السفلي من الجدول خلاصة لصفات المكن reservoir (summary) وتشمل هذه على السمك الكلي للمنطقة ، السمك الحقيقي للمنطقة (فوق تماس النقط مع الماء) ، معدل مسامية المنطقة ، حجم الهيدروكربون داخل المسام ، حجم المسامات الكلية ، معدل درجة التشبع بالهيدروكربون للمنطقة



شكل (14-16) مخططات بيانية من قيم كثافة الحشو (ρ_{ma}) وحجم الهيدروكربون (ϕX_{Shr})

وحجم الهيدروكربون المتبقي . يمثل شكل (14-17) تسجيل (CPI) لتحليل الطبقات الكمنية بواسطة برنامج (CORIBAND) . تشمل تسجيلات الآبار المستعملة في البرنامج على تسجيلات (DLL) شكل (14-18) ، (ML مع MLL) شكل (14-19) وتسجيل (FDC ، CNL) شكل (14-20) وتسجيل (السرعة مع اشعة كاما) شكل (14-21) .

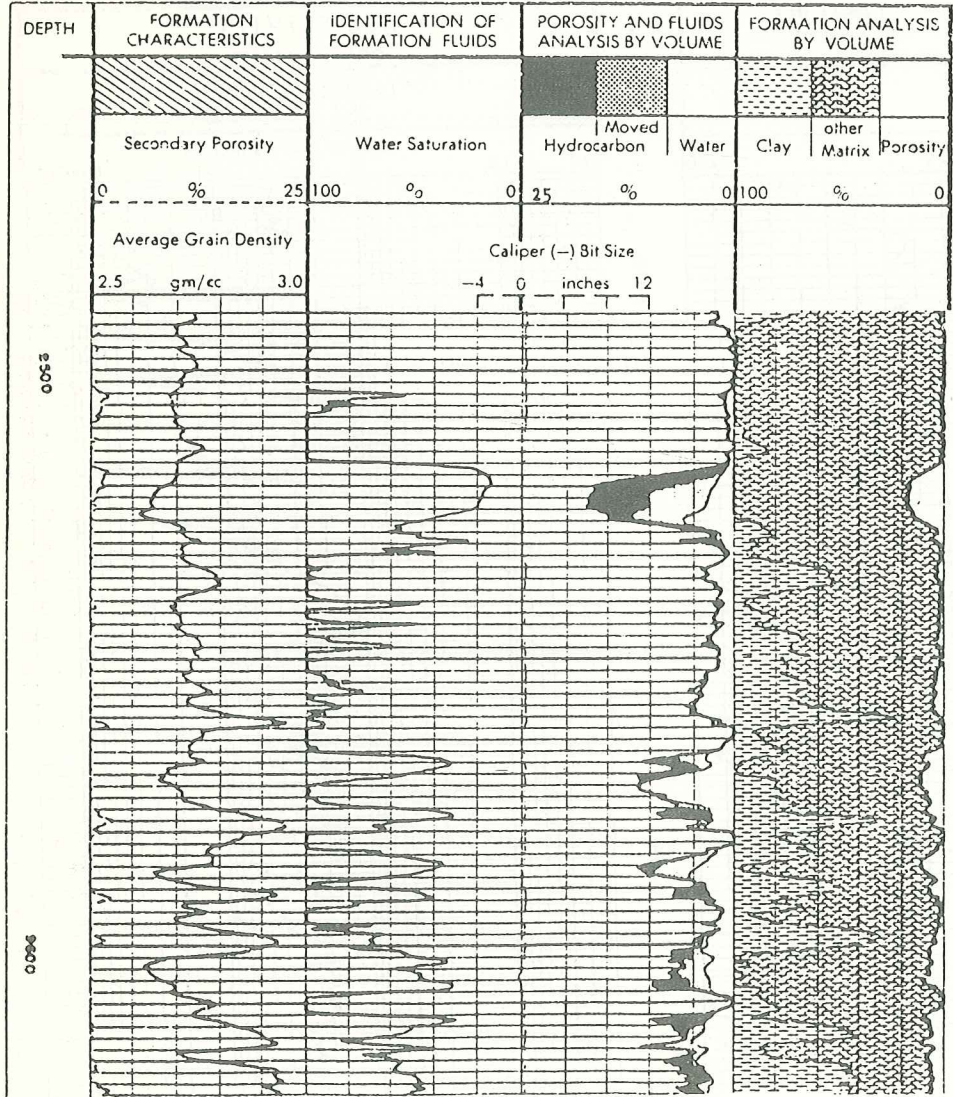
جدول (14.2) نتائج التحليل بواسطة الكمبيوتر

WELL IDENT			RESERVOIR EVAL			ZONES			PAGE 2		
DEPTH FEET	CLAY CONTENT %	AVERAGE MATRIX DENSITY G/CC	DRAIN VOLUME ZONES (X)	SATURATION ZONES	PORE TOTAL X	SECONDARY X	HYDROCARBON TOTAL X	MOVABLE X	CUMULATIVE INTEGRATION PDA-FT	MC-FT	
00096	2	2.66	7.0	62.1	26.1	0	24.2	14.3	5.50	4.63	
00097	0	2.66	6.0	55.6	27.4	0	25.5	13.3	5.77	4.09	
00098	1.5	2.67	7.1	55.2	26.6	0	24.7	12.8	6.04	5.14	
00099	7.4	2.69	7.1	45.8	24.9	0	23.1	9.6	6.29	5.37	
00100	0	2.67	6.0	46.4	27.0	0	25.1	11.2	6.56	5.69	
00101	5.4	2.68	7.6	56.7	26.3	0	24.3	12.9	6.83	5.87	
00102	3.0	2.65	9.8	75.1	26.9	0	23.4	16.0	7.08	6.10	
00103	5.2	2.69	14.5	84.8	24.5	0	20.9	17.2	7.33	6.32	
00104	21.0	2.70	27.0	72.2	15.6	0	10.8	6.6	7.51	6.48	
00105	45.5	2.74	98.7	98.7	1.9	0	0	0	7.67	6.69	
00106	53.4	2.83	92.8	92.8	1.7	0	0	0	7.89	6.89	
00107	41.3	2.74	48.5	56.6	7.6	0	3.0	0	7.83	6.89	
00108	17.5	2.71	22.9	99.3	19.5	0	19.0	7.1	7.79	6.89	
00109	10.8	2.69	17.4	61.8	23.3	0	19.3	10.3	8.02	6.81	
00110	11.3	2.69	10.7	60.8	23.1	0	19.3	10.2	8.25	7.00	
00111	20.9	2.70	20.3	60.4	16.9	0	15.1	7.5	8.45	7.16	
00112	43.3	2.74	33.7	99.2	11.7	0	7.0	4.2	8.88	7.20	
00114	24.2	2.72	34.2	59.6	17.4	0	11.4	4.4	8.80	7.20	
00115	28.2	2.72	26.8	27.2	23.6	0	16.0	0.1	9.02	7.80	
00116	3.5	2.68	22.7	28.5	30.9	0	23.0	1.8	9.31	7.79	
OIL-WATER CONTACT											
00117	52.6	2.79	38.2	47.0	15.2	0	10.3	2.2	9.82	7.91	
00120	57.4	2.78	51.8	60.7	9.2	0	4.8	0	9.76	8.09	
00121	41.2	2.73	91.0	98.1	6.0	0	0	0	9.82	8.09	
00122	58.5	2.77	72.2	99.9	6.2	0	1.2	1.2	9.89	8.09	

A LEVEL IS NOT LISTED IF ITS CLAY CONTENT IS GREATER THAN 60.0 %

POROSITY CUT-OFFS			5.0 %	0.0 % (ONLY LEVELS ABOVE 3/4 CONTACT)
RESERVOIR SUMMARY				
			00060 TO 00130	FEET
TOTAL ZONE THICKNESS	70.00			FEET
TOTAL NET THICKNESS	61.00	87.00		FEET
AVERAGE ZONE POROSITY	19.37			FEET
HYDROCARBON VOID VOLUME	8.13	7.07		HYDROCARBON-111
ZONE VOID VOLUME	0.00	0.46		PORE VOLUME
ZONE HYDROCARBON SATURATION	82.30	83.36		%
RESIDUAL HYDROCARBON VOLUME	4.02	3.92		HYDROCARBON-111
OIL-WATER CONTACT AT			00119	FEET

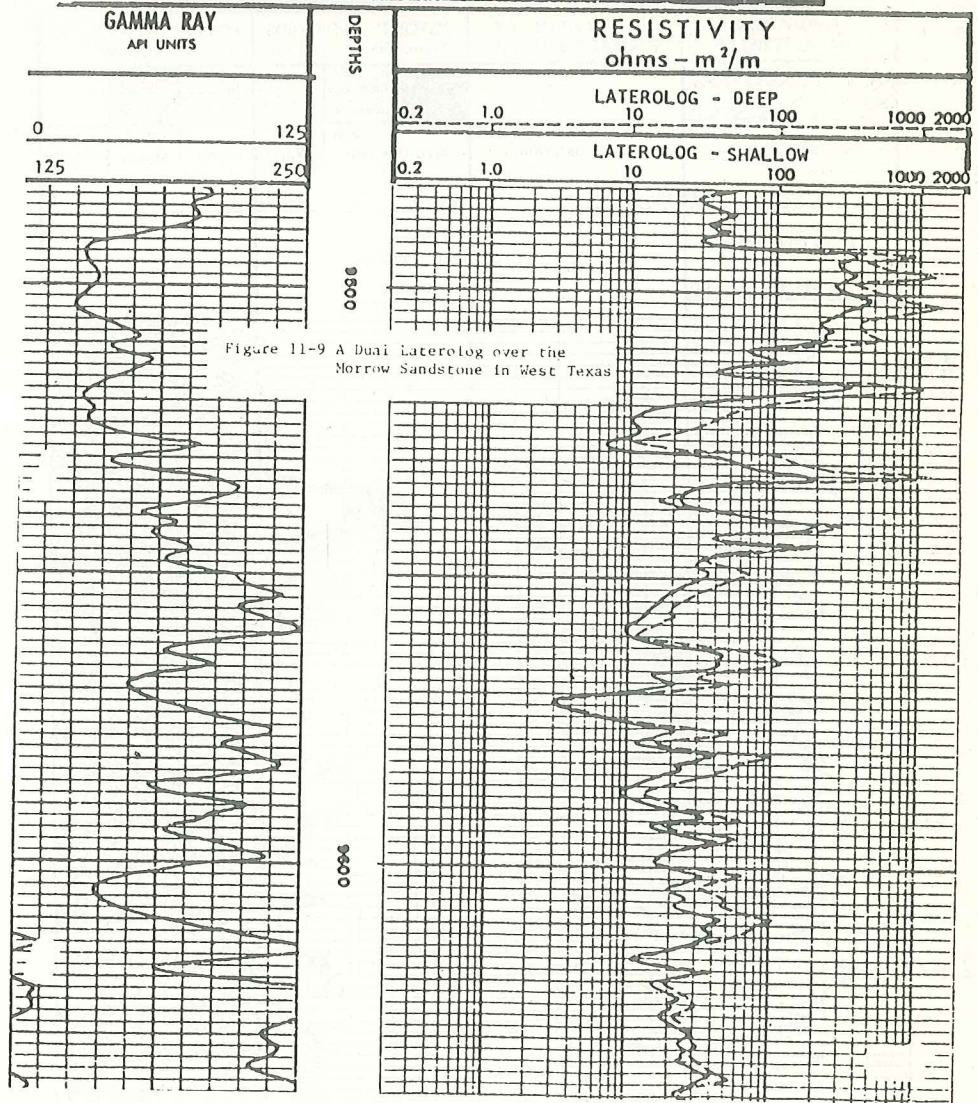
نلاحظ في تسجيل (CPI) الاعماق مسجلة في الجزء الايسر من (CPI) . صفات
التكوين مبينة في المسار رقم (1) وتظهر فيها حسابات المسامية الثانوية ومعدل
كثافة الحبيبات أو الحشو . تتراوح كثافة الطبقات بين (2.65-2.7) غم / سم³ .
الطبقات الطفلية لها كثافة عالية في هذا المثال تصل الى (3.0) غم / سم³ . يشمل



شكل (14-17) مثال حقلي لتسجيل (CPI) (لشركة شلمبرجر) .

Schlumberger

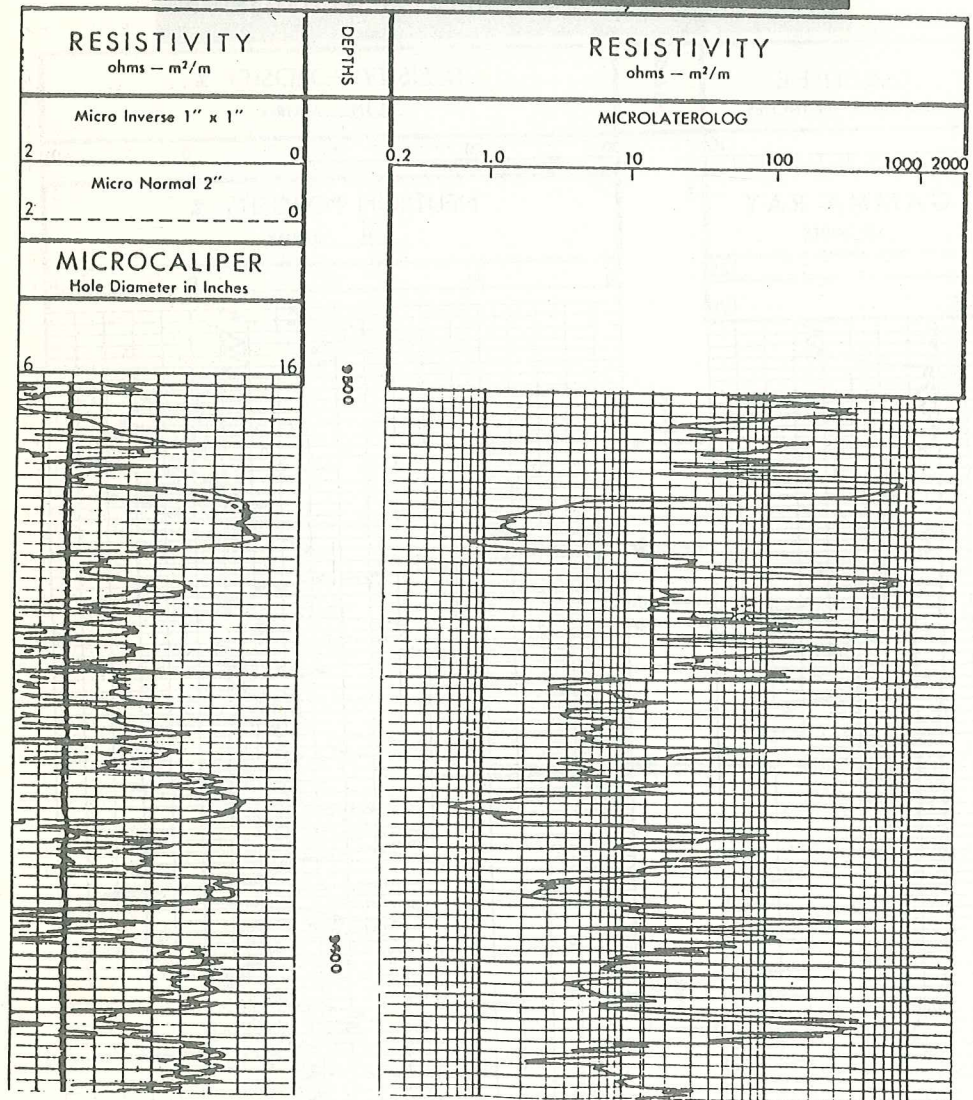
DUAL LATEROLOG



شكل (14-18) مثال حقلي لتسجيل (DLL) (لشركة شلمبرجر).

MICROLATEROLOG-MICROLOG

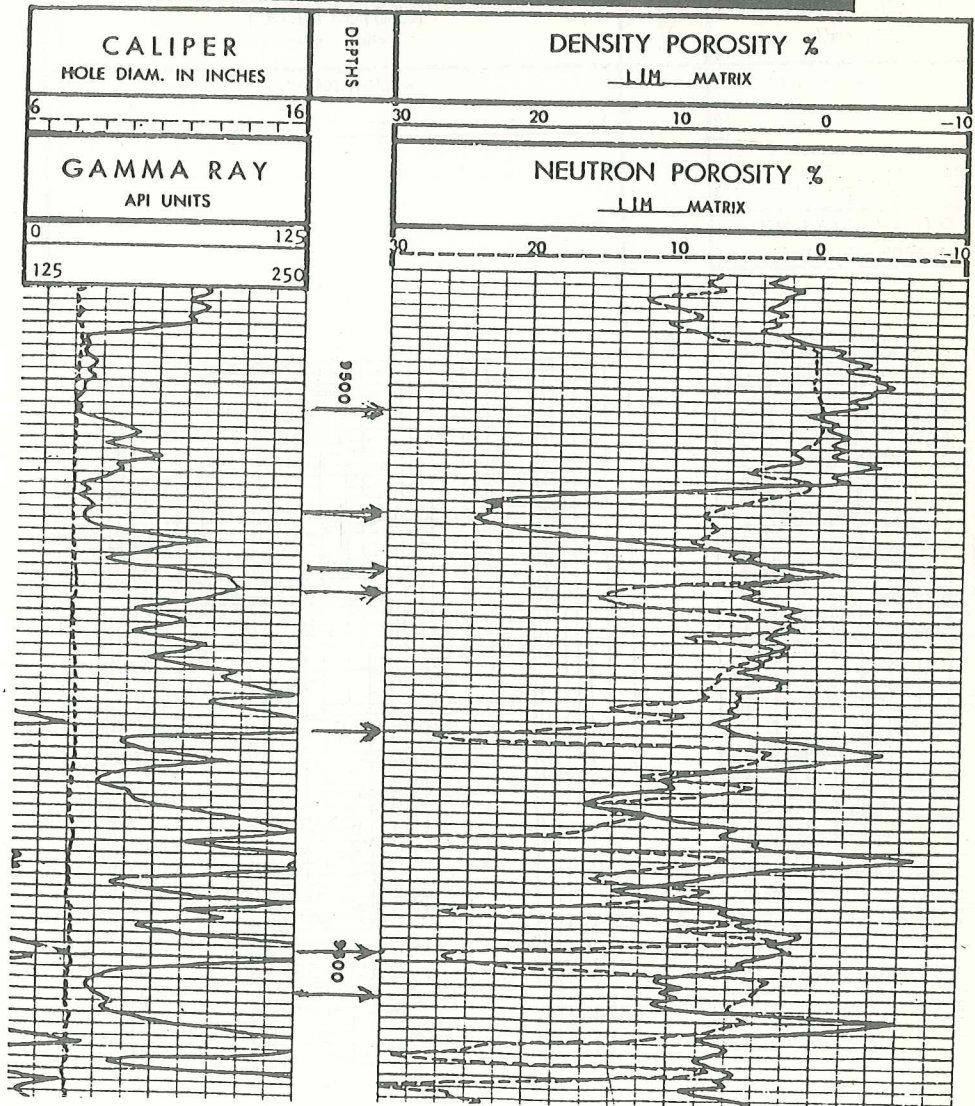
(WITH CALIPER)



شكل (14-19) مثال حقلي لتسجيل (MLL, ML) (شركة شلمبرجر).

Schlumberger

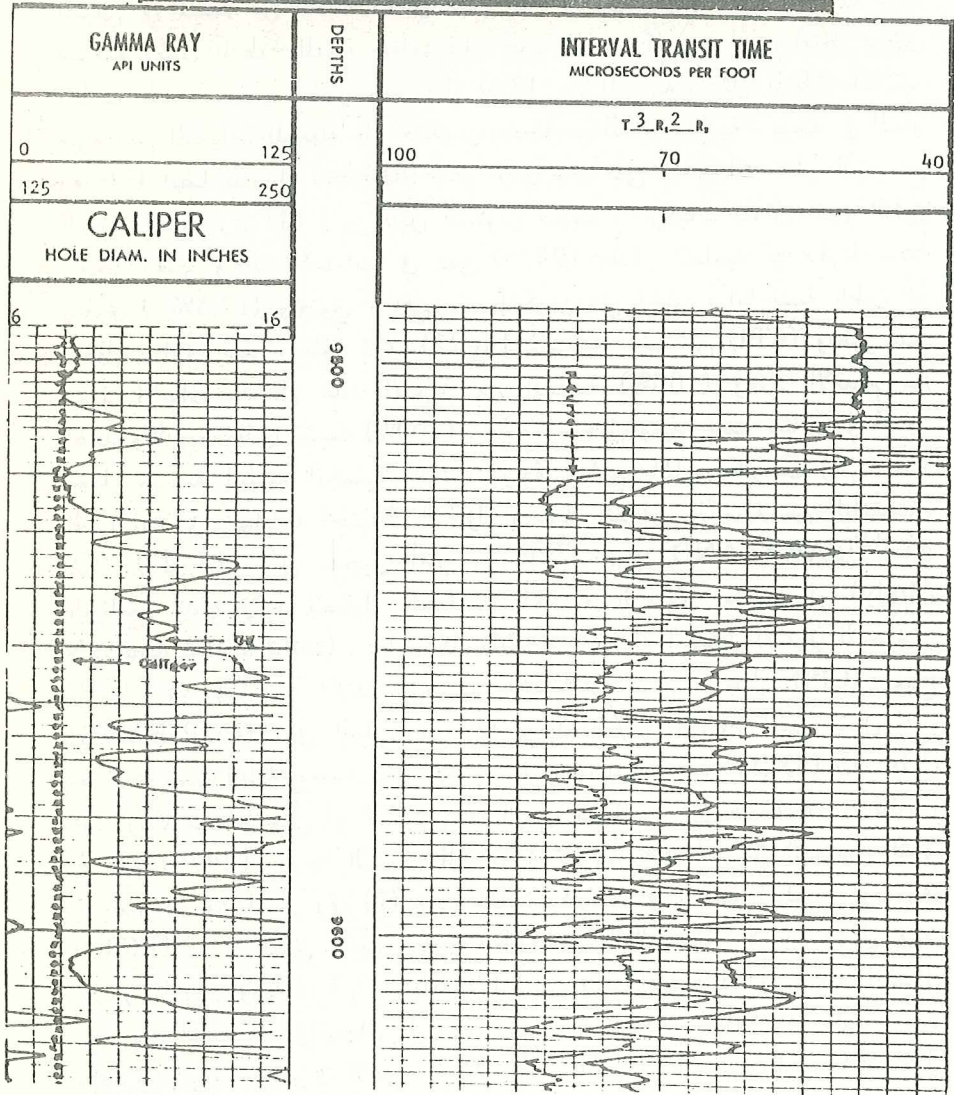
COMPENSATED NEUTRON- FORMATION DENSITY



شكل (14-20) مثال حقلي لتسجيل (FDC, CNL) (لشركة شلمبرجر).

Schlumberger

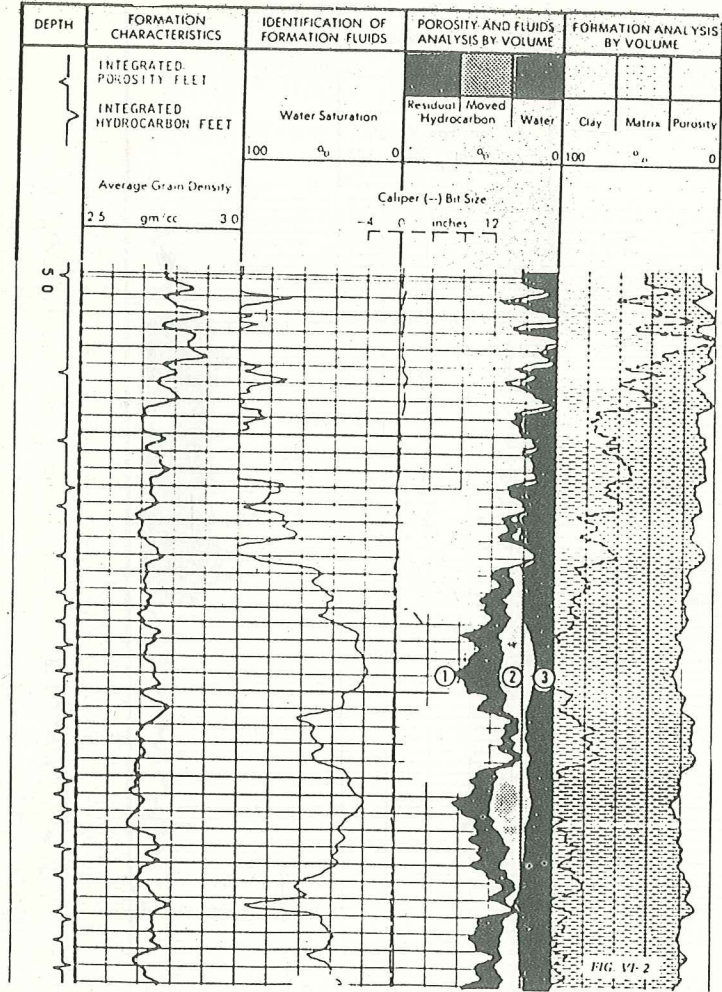
BOREHOLE COMPENSATED
SONIC LOG GAMMA RAY



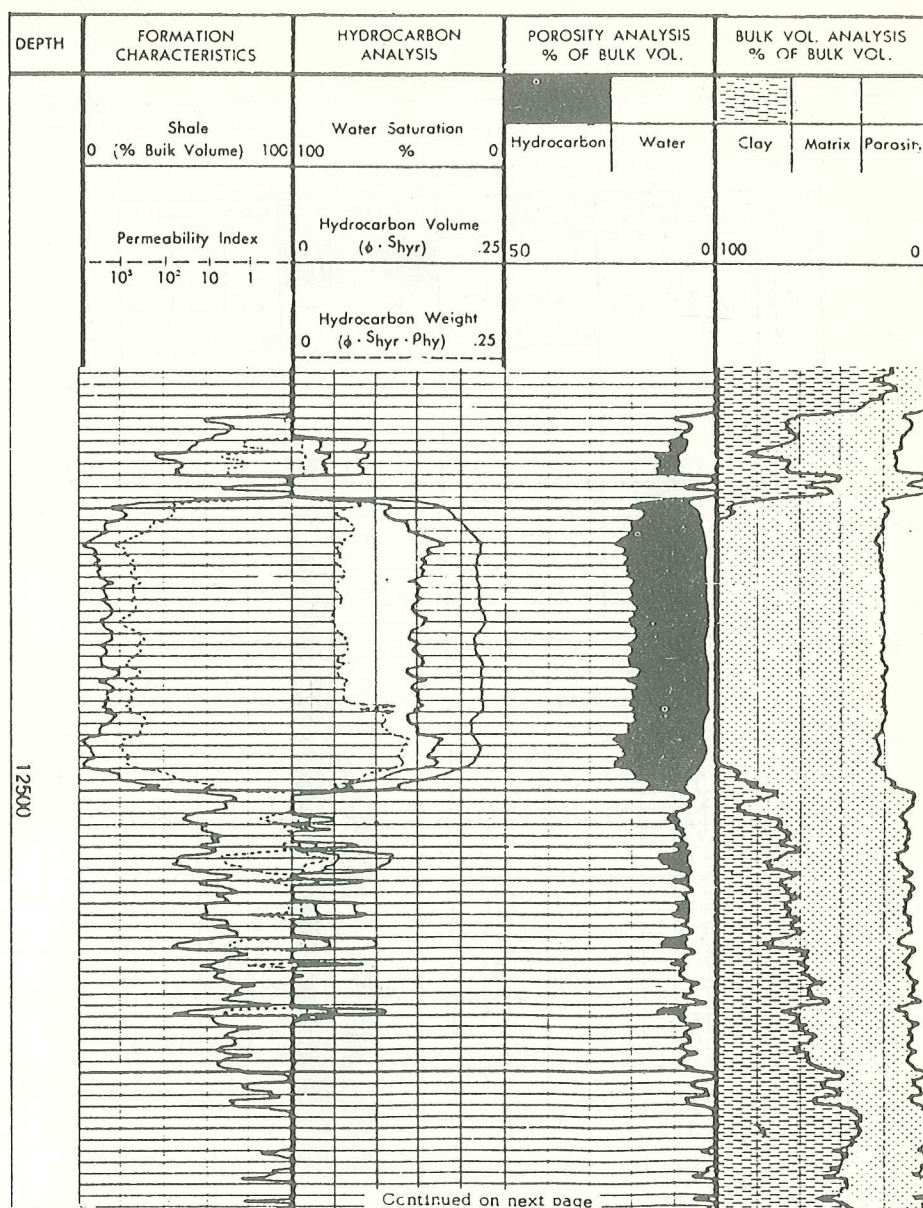
شكل (14-21) مثال حقلي لتسجيل (BHC مع GR) (لشركة شلمبرجير).

مسار رقم (2) على حسابات درجات التشبع بالماء (S_w) . يبين المسار رقم (3) نتائج تحليل المسامية وانواع المواع . نجد المسامية الكلية المحسوبة في عمق (9525) قدم تساوي (17.5%) . يمثل الجزء الممثل باللون الاسود مقدار الهايدروكربون المتبقي في المنطقة من الطبقة داخل المسامات ، يساوي الحجم الذي يشغله (7.5%) مسامية . تدل المنطقة المثلثة بنقاط على حجم الهايدروكربون الذي انتقل داخل الطبقة النفاذة بفعل الغزو وهو يمثل (7%) من المسامية . تمثل المنطقة المتبقية جزءاً من المسامات المشغولة بماء التكوين ويتمثل بـ (3%) مسامية . يوجد في المسار رقم (3) ايضاً تسجيل (caliper) وهو الذي يدل على اختلافات قطر البئر مع العمق . المسار رقم (4) يمثل تحليل التكوين حجماً . المركبات تتمثل بحجم الطين وحجم الحشو وحجم المسامات في عمق (9525) مقدار المسامية كما ذكرنا سابقاً يساوي (17.5%) ويحتوي الباقي من التكوين على الحشو ، اما نسبة الطين أو الطفل يساوي صفر . يمثل شكل (14-22) تسجيل آخر من (CPI) ويظهر على عمود الاعماق تسجيل عدد الاعماق من المسامية (100%) وعدد الاقدام من الهايدروكربون الذي تشبعه (100%) . هذا التسجيل مفيد حيث يساعد في تحديد معدل مسامية الطبقة المكمنية ومعدل درجة التشبع بالهايدروكربون وتفيد هذه الدراسات في حسابات احتياط البترول وتحديد المناطق المكمنية من الطبقات . شكل (14-23) يمثل تسجيل آخر من (CPI) نوع (SARABAND) (3) أي البرنامج الذي يقوم بتحليل الطبقات المكمنية الرملية الطفلية او (Shaly sand stone analysis) . يمثل شكل (14-24) تكملة التحليل للاعماق الاخرى . نلاحظ في المسارات المختلفة وجود اختلاف عن تسجيل (CPI) نوع (CORIBAND) . في المسار رقم (1) توجد صفات التكوين التي تشمل على حسابات نسبة الطفل وحساب النفاذية او دليل النفاذية . مسار رقم (2) يمثل تحليل الهايدروكربون المنحني أو التسجيل نحو اليمين من المسار يمثل درجة التشبع بالماء . في عمق (12470) درجة التشبع بالماء تساوي تقريباً (13%) . يمثل التسجيل الثاني او الاوسط من المسار رقم (2) حجم الهايدروكربون في المنطقة المكشحة ويساوي (ϕX_{Shr}) . في العمق المعين يساوي (16%) . اما التسجيل الاخير فيمثل وزن الهايدروكربون ويساوي ($\phi X_{Shr} X \rho_H$) . نلاحظ في هذه المنطقة وجود انفصال كبير بين التسجيلين وانفصال قليل في الجزء الاسفل من المنطقة وهو دليل وجود هايدروكربون خفيف في الاعلى اي غاز وتماس الغاز مع النقط واضح في التسجيل عند العمق 12486 . في المسار رقم (3) نجد تحليلاً للمسامية وانواع السوائل داخل المسامات . المسامية المحسوبة في المنطقة فوق عمق 12500 قدم تساوي تقريباً 22% وتساوي المسامية المملوءة بالماء 2% والباقي من المسامية الكلية 20% مملوءة بالهايدروكربون 20% . يشمل مسار رقم (4) على تحليل التكوين الى النسب

الحجمية من المسامات ، الحشو ونسب الطفل ، نوع الحشو في هذه الحالة يتمثل بالرمل .



شكل (14-22) مثال حقلي لتسجيل (CPI) (الشركة شلمبرجر) .



شكل (14-23) مثال حقلي لتسجيل (CPI) (الشركة شلمبرجر).

نتائج التحليل من الكمبيوتر :

يفضل استعمال التسجيلات الاصلية عند دراسة النتائج من الكمبيوتر . يجب التأكد من نتائج المسامية في المناطق التي يكون قطر البئر غير اعتيادي اي المناطق التي تتكشف نتيجة تفاعل جدار البئر مع سائل الحفر او تهدم اجزاء من الجدار . يجب في هذه المناطق التأكد من صحة التصحيحات . يمكن التأكد من تسجيل (caliper) الذي يدل على هذه المناطق ، فاذا كانت المسامية المحسوبة عالية في هذه المناطق ، يعني هذا ان التصحيحات لم تكن كافية . تظهر في بعض الاحيان مناطق ذات مسامية عالية ولكنها في الحقيقة تمثل مناطق غير ممكنية او طفلية .

يجب التأكد من قيمة (R_w) المستعملة في الحسابات . تطبق طرق التسقيط او الخططات البيانية المختلفة وطريقة (SP) و (R_{wa}) للحصول على نتائج متقاربة لقيمة (R_w) ومقارنتها مع (R_w) المستعملة في الكمبيوتر . اخطاء في حسابات كثافة الحشو التي لا تتفق مع القيمة الحقيقية للتكوين مما تسبب اخطاء القيم المسامية المحسوبة . تأكد من تسجيلات الكثافة والنيوترون في المناطق الحاوية على هيدروكربونات غازية . اذا كانت استجابة تسجيلات النيوترون والكثافة بالنسبة للغاز بشكل متعاكس فان المسامية المحسوبة بالمعادلة الخاصة تكون صحيحة . اذا لم تكن الاستجابة متعاكسة فانه دليل على ان تسجيل الكثافة يقرأ ضمن المنطقة المغزوة من الطبقة بينما يقرأ تسجيل النيوترون (CNL) اعمق وهذه الحالة ممكن حدوثها اذا كان الغزو متوسطا بين (14-24 in.) . اي تسجيل النيوترون يكون متأثرا بالغاز بينما تسجيل الكثافة غير متأثر بالدرجة نفسها . في هذه الحالة يكون التسجيلان متوازيان تقريبا وتكون المسامية المسجلة بواسطة تسجيل النيوترون اقل من تسجيل الكثافة . يستحسن في هذه الحالة استعمال المسامية من تسجيل الكثافة فقط . اذا كانت الطبقة المكنية الحاوية على الغاز طفلية اي غير نقية فان تأثير الطفل سيظهر على المسامية المحسوبة بحيث الاستجابة تكون معكوسة . في هذه المناطق بالنسبة لتسجيل النيوترون والكثافة للغاز . اذن يجب اجراء تصحيحات كافية على المسامية المحسوبة من النيوترون والكثافة في هذه المناطق .

يفضل ان تطلب الشركات الوطنية من شركات مسح الآبار نسخا من الخططات البيانية (crossplots) وطرق المعالجة للبيانات المستعملة لاجل التأكد من صحة النتائج ويجب مقارنة النتائج في بعض المناطق من الطبقات المكنية مع نتائج الدراسات المختبرية لنماذج اللباب ، وكذلك التأكد من ان معايرة اجهزة التسجيلات المختلفة صحيحة . ويجب مقارنة نتائج الكمبيوتر في بعض المناطق مع

النتائج التي نحصل عليها من تحليل تسجيلات الآبار بدون استعمال الكومبيوتر ،
فمثلا تفرض شركات الكومبيوتر عند تحليل بعض المكامن قيا لاس المسامية
(porosity exponent) او اس التسميت وكذلك تفرض قيا لاس التشبع
(saturation exponent) للمكمن المعين . ان الاختلافات بين هذه الثوابت
المحسوبة مختبريا او المفروضة كقيمة معدلة من قبل الشركة تجعل اختلافات كبيرة في
نتائج المسامية ودرجات التشبع بالماء (S_w) . التصحيحات التي تجرى على
التسجيلات المختلفة قد لا تكون كافية كمثال على ذلك تصحيح تأثير الغزو على التسجيلات
المتلفة قد لا يكون كافيا مما قد يؤدي الى قياسات غير صحيحة في بعض الاعماق .
كذلك الطرق المستعملة لحساب نسب الطفلية في الطبقات المكمنية قد لا تعطي
نتائج صحيحة دائما وخاصة اشعة كاما في بعض المناطق لاتفيد في حسابات النسب
المتلفة للطفل ، اذا كانت هناك معادن مشعة اخرى تؤثر على الاشعاع غير
المعادن او العناصر الموجودة في المعادن الطينية . ذكر هذا الموضوع بالتفصيل في
الفصول السابقة . اذن يجب التأكد من النتائج التي يقدمها تسجيل (CPI) وكما
تذكر الشركات في اعلى هذه النتائج بانها غير مسؤولة عن اي خطأ يحدث في
التفسيرات .

مسائل :

(1) يمثل شكل (14-23) تسجيل (CPI) للطبقات المكمية في احدى المناطق البترولية . تسجيلات (IES) و (CNL) و (FDC) مبينة في شكل (13-17) استعملت للتحليل بواسطة الكمبيوتر المطلوب :

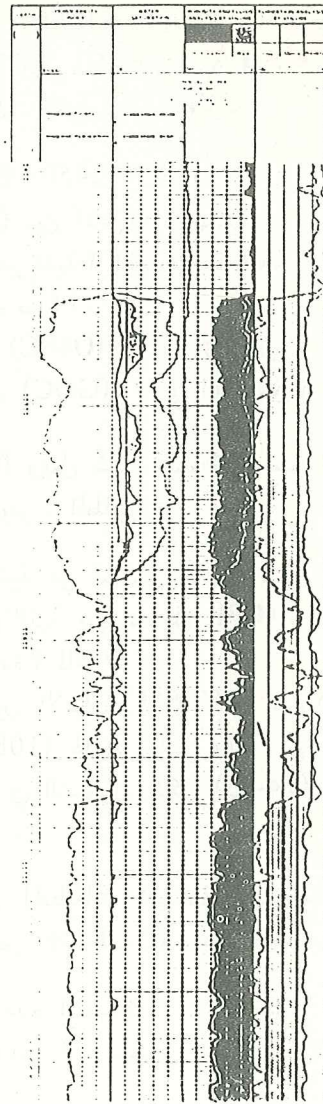
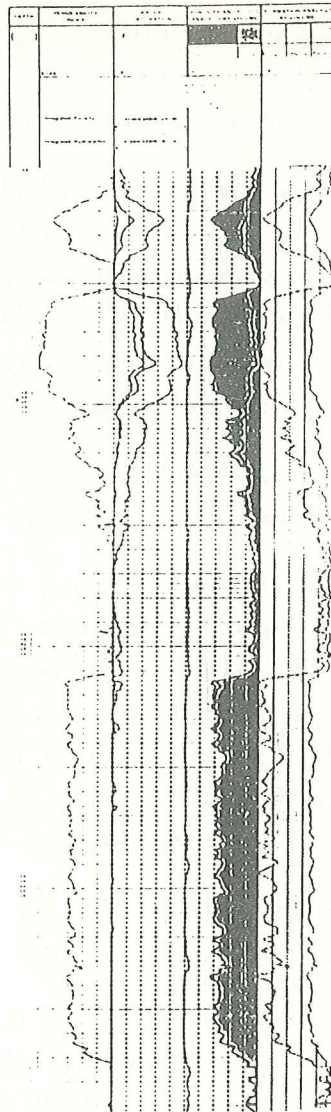
- (1) حساب المسامية بين عمق (12450-12500) قدم .
 - (2) حساب درجة التشبع بالماء (S_w) بين الاعماق نفسها .
 - (3) هل ان الطبقة المكمية نقية او غير نقية ؟ كيف تثبت صحة جوابك ؟
 - (4) ماهو نوع الهيدروكربون (ان وجد) ؟
 - (5) هل يوجد تماس النقط مع الماء (OWC) ؟ في اي عمق ؟
 - (6) هل يوجد تماس الغاز مع النفط (GOC) ؟ في اي عمق ؟
- (2) يمثل شكل (14-24) تسجيل (CPI) ويمثل شكل (14-25) تسجيلات الآبار المستعملة للتحليل بواسطة الكمبيوتر . المطلوب :

- (1) تحديد الطبقات النفاذة او المكمية من تسجيل (CPI) .
 - (2) تحديد المناطق الهيدروكربونية والمائية من تسجيل (CPI) .
 - (3) هل ان جميع المناطق المائية نفاذة ؟ لماذا ؟
 - (4) ما هو نوع الانتاجية المتوقعة بين الاعماق (452-558) قدم ؟
 - (5) ان المنطقة بين الاعماق (108-118) لها قراءات عالية من اشعة كاما وقراءات واطئة من المقاومة كما مبينة في التسجيل شكل (14-25) ماهو نوع الانتاجية المتوقعة لهذه المنطقة ؟
- (3) يمثل شكل (14-26) مجموعة من المخططات البيانية المستعملة من قبل الكمبيوتر لاجل الوصول الى بعض المتغيرات الاساسية في الحسابات :

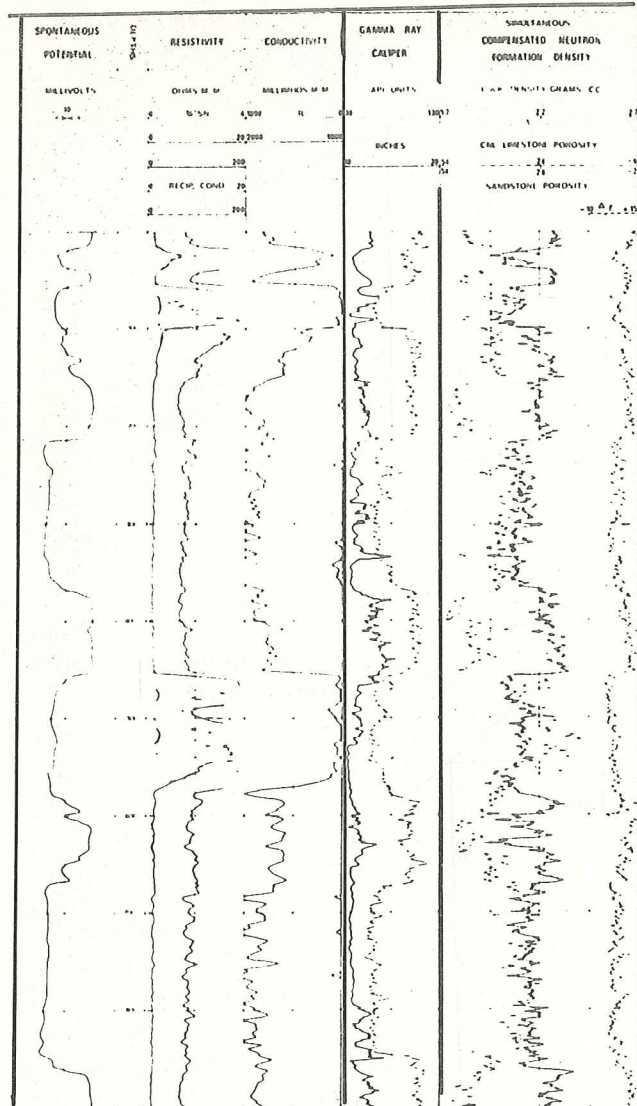
- (1) مانوع المتغيرات المستحصلة من هذه الاشكال ؟
- (2) كيف تتوصل الى قيم هذه المتغيرات اذا علمت ان النقاط تمثل مناطق مشبعة بالماء ؟

(4) نتائج (CORIBAND) مبينة في شكل (14-27) على تسجيل (CPI) المطلوب :

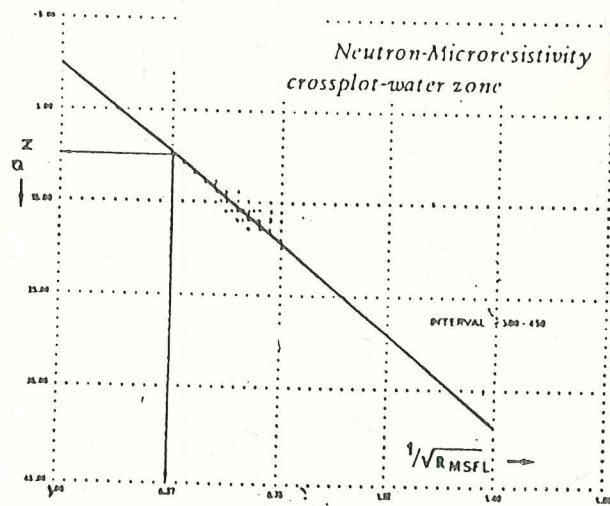
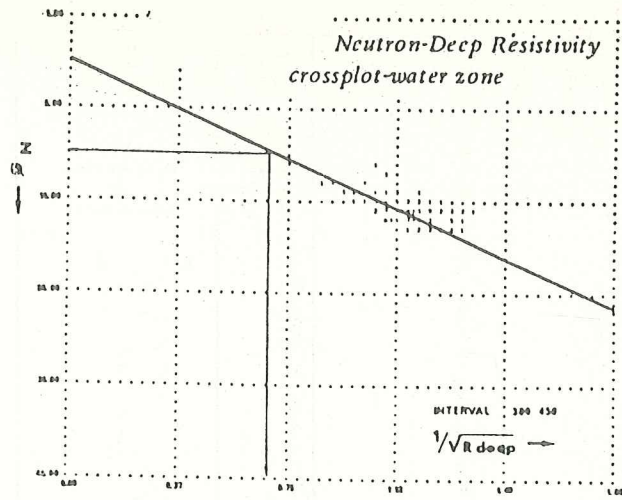
- (1) تحديد نوع الطبقة المكمية (كثافة الحشو) .
- (2) سمك المنطقة الهيدروكربونية ان وجدت .



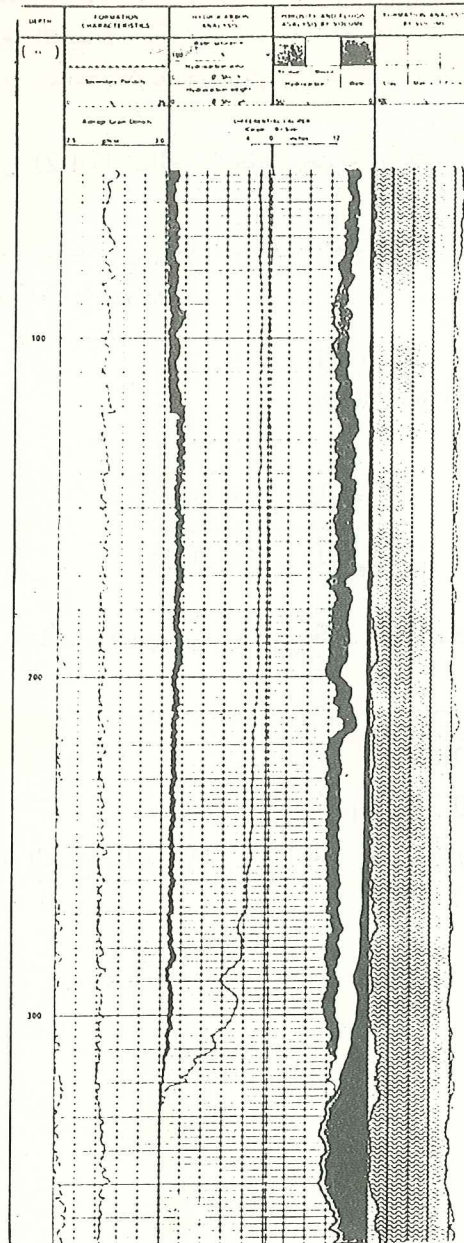
شكل (14-24) مثال حقلي لتسجيل (CPI) (الشركة شلمبرجر)



شكل (14-25) مثال حقلي لتسجيل الحث ، والنيوترون ، والكثافة (IES) ، (FDC, CNL) مع (SP) و caliper و (GR) (لشركة سلميبرجر)



شكل (14-26) مخططات بيانية مستعملة في برنامج (CORIBAND)
(لشركة شلمبرجر)



شكل (14-27) مثال حقلي لتسجيل (CPI) الكومبيوتر (شركة شلمبرجر)

- (3) نوع الهيدروكربونات المكتشفة وعمق التماس .
 (4) هل تعتبر الطبقات المكمية نقية ام غير نقية ؟ لماذا ؟
 (5) هل توجد مسامية ثانوية في بعض المناطق من الطبقة المكمية او لا توجد اطلاقا ؟
 (5) يمثل جدول (14-2) نتائج التحليل لطبقة مكمية بواسطة الكمبيوتر . المطلوب :
 (1) ايجاد معدل المسامية (ϕ_{avg}) للطبقة المكمية فوق التماس (OWC) ، اذا علمت ان معدل المسامية يساوي :

$$\phi_{avg} = \frac{POR - PT}{\text{Total net thickness}}$$

$$\text{او معدل } \phi = \frac{(\text{عدد اقدام مسامية})}{(\text{السلك الكلي الحقيقي})} \quad \text{الجواب (19.37)}$$

- (2) معدل درجة التشبع بالهيدروكربون (S_{oavg}) . اذا علمت معدل (S_o) يساوي :

$$(S_{oavg}) = \frac{HC - FT}{POR - FT}$$

الجواب (82.30)

- (3) معدل درجة التشبع بالماء (D_e) في المنطقة الهيدروكربونية .
 الجواب (17.7)

اكتشاف مكان من مُشَقَّقٍ بِوَاسِطَةِ سِجِّلِ الْآبَارِ

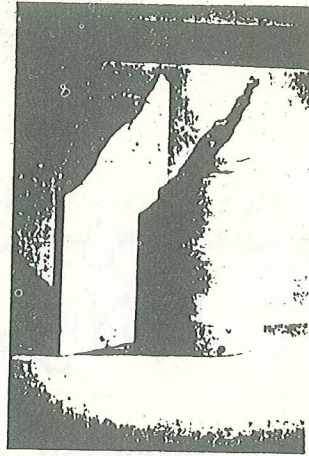
(Fracture detection with logs)

تتصف الطبقات المكمنية وخاصة الكلسية منها ، في كثير من الحقول البترولية بوجود تشققات او شقوق (Fractures) كجزء من المسامية الثانوية للصخرة . تتواجد الشقوق ايضاً في طبقات رملية وطبقات طفلية .

يبين شكل (1-15) نماذج⁽¹⁾ من صخور مكمنية رملية وكلسية ومن الدولومايت فيها شقوق . مثال للصخور المكمنية المتشققة طبقة (الالبكر Ellenburger) ، (اربكل Arbuckle) ، (اوستن جوك Austin Chalk) في حقول امريكا وهذه الطبقات كلها كلسية متشققة . في العراق الطبقة المكمنية يمثل في حقل كركوك ايضاً هذا النوع من الصخور المكمنية . تتمثل الصخور المكمنية الرملية بطبقة (سبرايري Spraberry) المتشققة في امريكا .

الطبقات الطفلية المتشققة تتمثل بطبقة (Monterrey) في حقل من حقول ولاية كاليفورنيا . وجود هذا النوع من المسامية مهم من الناحية الانتاجية حيث الشقوق تعتبر قنوات تساعد على جريان السوائل من خلالها .

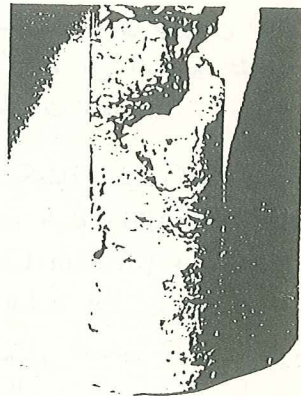
الحقول في الشرق الاوسط تحتوي على مكان كلسية متشققة . مثل حقل كركوك وعين زالة وبطمة وحقول ايران . في هذه المكان ، المسامية غير متجانسة



(a) Fractured Yates sand,
West Texas, New Mexico



(b) Devonian fractured dolomitic limestone, Alberta, Canada



(c) Fractured and vuggy
Ellenburger limestone.

شكل (15-1) مثال حقلي لنهاج من صخور مكمنية متشققة ...

والنفاذية قليلة جداً ، وفي كثير من الحالات اقل من (1.0) ملداسي بينما تصل نفاذية الشقوق الى عشرات من الداسي . وهذه الشقوق متصلة مع بعضها داخل المكامن مما تساعد على انتاجية عالية .

لا يمثل حجم الشقوق بالنسبة الى حجم المكمن الكلي الا نسبة ضئيلة من الحجم او من المسامية الكلية للمكمن . اكتشاف نسبة عالية من الشقوق لا يضمن انتاجية المكمن دائماً ولكن تزيد من احتمالية المنطقة للانتاج .

للحصول على انتاجية يجب ان تكون الشقوق متصلة مع المسامية الاولى المشبعة بالهيدروكربون داخل المكمن .

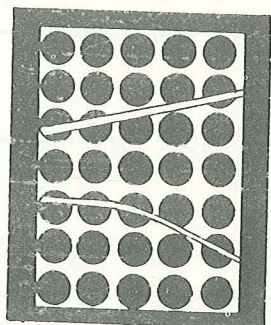
يبين شكل (2-15)⁽²⁾ حالات مختلفة من توزيع المسامية في المكامن المتشققة . تمثل الحالة (1) نموذج من صخرة مكمية ، النسبة العالية من الهيدروكربون مخزونة داخل المسامات الاولى ونسبة قليلة داخل الشقوق .

تمثل الحالة (2) نموذج له طاقة خزن للهيدروكربون متساوية في النوعين من المسامات . في هذا النوع من المكامن تتوقع ان تكون نفاذية الحشو قليلة .

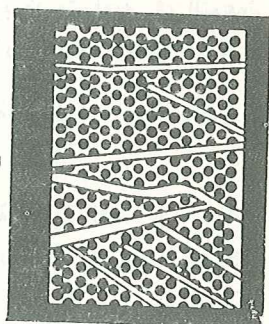
في هذا النوع من المكامن ، تمثل الشقوق النفاذية العالية ، وهذا المثال مشابه لمكامن شرق الاوسط .

تمثل الحالة (3) طبقة مكمية ليست فيها مسامية اولية فقط بل ايضاً ثانوية متمثلة بالشقوق . تمثل هذه الحالة مكامن نفطية تبدأ بالانتاج العالي ولكن بعد مرور فترة زمنية قصيرة يهبط الضغط المكميني الى الحد الأدنى المسموح . هناك بعض المكامن تشذ عن هذه الحالة وهي المكتشفة في حقول تنتج من صخور القاعدة المتشققة .

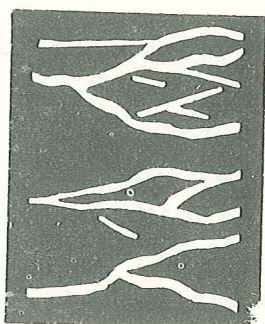
تكون الشقوق التي تكتشفها من لباب الصخور طبيعية او اصطناعية . تتكون الشقوق الاصطناعية (induced fractures) نتيجة الحفر وتكون شاقولية بصورة عامة . يمكن ان نميز هذه الشقوق عن الطبيعية كونها لا تحتوي على اثار او بقع من هيدروكربونات او على بلورات او ترسبات معدنية وتكون الشقوق الاصطناعية عمودية على اتجاه الشقوق الطبيعية في اغلب الاحيان . هذه الشقوق ممكن ان تساعد على الانتاجية ان كانت متصلة مع الشقوق الطبيعية . تكون الشقوق الطبيعية اما مفتوحة او مغلقة اي مملوءة بالرواسب المعدنية . الشقوق المفتوحة لها اهمية بالنسبة لمرور السوائل الهيدروكربونية او زيادة انتاجية المكمن . تكون الشقوق الطبيعية باتجاهات معينة تتولد من اجهادات نتيجة الحركات التكتونية او البنيوية للتراكيب المختلفة .



A

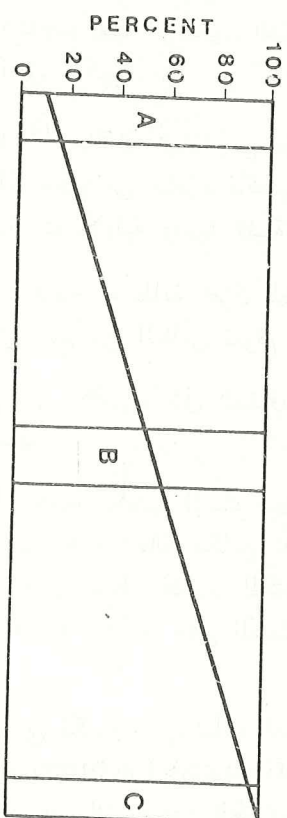


B



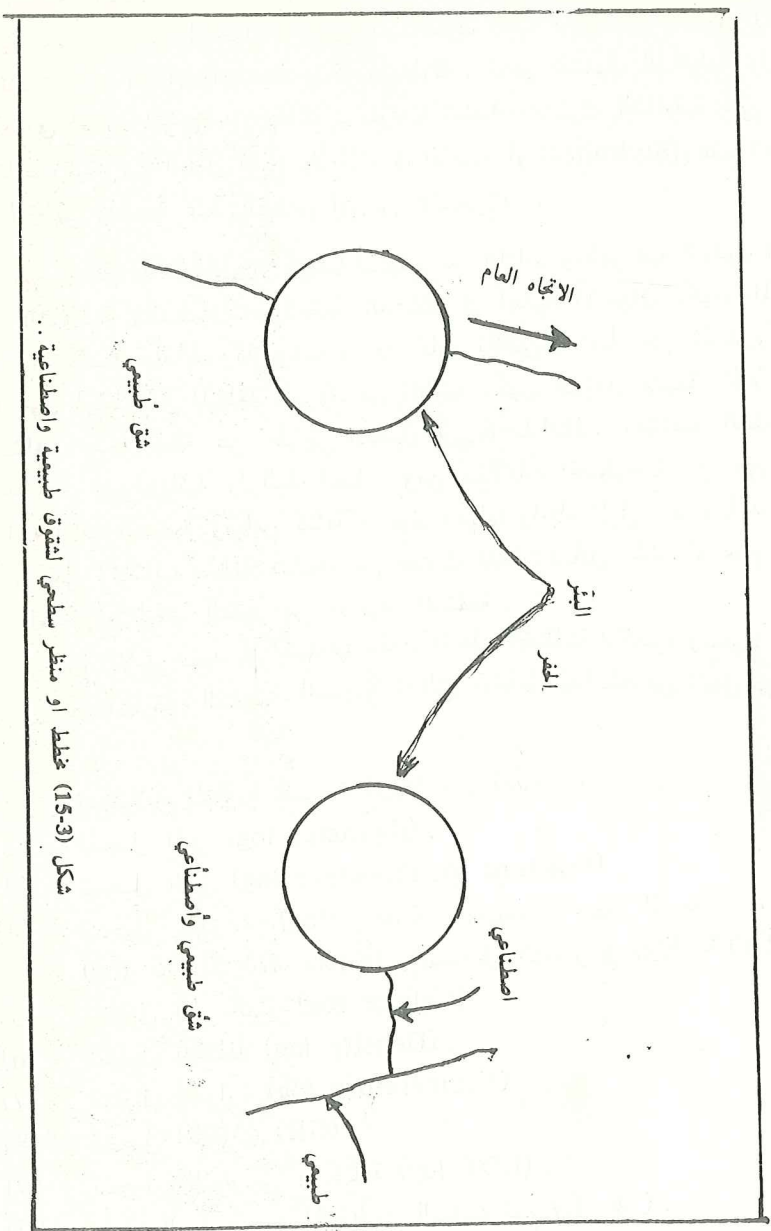
C

PERCENT RESERVOIR POROSITY IN FRACTURES



شكل (15-2) مخطط يبين توزيع المسامية في صخور مكثبية مختلفة

بين شكل (15-3) الاختلاف بين هذه الأنواع من الشقوق .



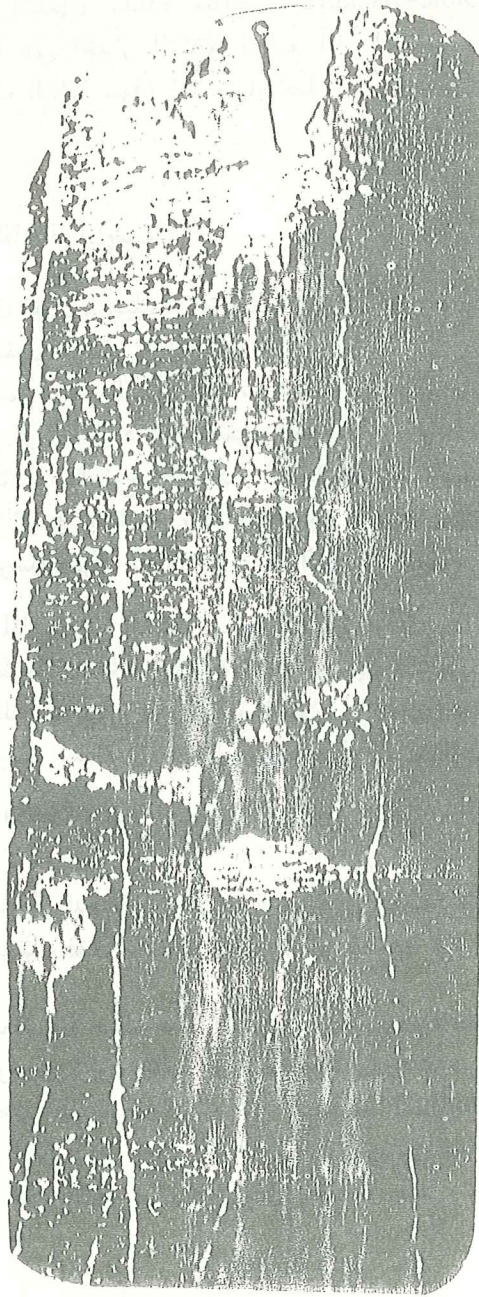
شكل (15-3) غطط او منظر سطحي لشقوق طبيعية واصطناعية ..

الشقوق الطبيعية تكون أيضاً شاقولية ، مائلة او افقية . تكون شاقولية او قريبة منها في اغلب الاحيان . ان وجدت شقوق افقية فانها تتأثر بضغط التحميل (overburden - pressure) وتكون مغلوقة . تظهر الشقوق الشاقولية والافقية مائلة في الآبار الموجهة او المائلة . يتوقف امتداد الشقوق الشاقولية على وجود طبقات رقيقة من الطفل الذي يملأ الشقوق الافقية او (Stylolites) وهذه الطبقات قد لا تظهر واضحة عند الفحص او من التسجيلات .

يبين شكل (4-15) مثلاً حقلياً لنموذج من اللباب وتظهر فيه الشقوق القريبة من الشاقولية والتطبيقات الافقية الدقيقة في اغلب الاحيان تكون المسامات الاولية مشبعة بالهايدروكربونات ، اذا كان المكن حاوياً على الهيدروكربون والشقوق أيضاً . في المنطقة المغزوة من الطبقة تكون الشقوق مشبعة بالماء . يمكن اكتشاف هذه الحالة عن طريق تسجيل (DLL-R_{xo}) . تكتشف الشقوق من معلومات جيوفيزيائية زلزالية أيضاً ، ومن معلومات جيولوجية اي عن طريق دراسة لباب الصخور وقياس كثافة الشقوق وميلها واتجاه الميل . قد تساعد بيانات الحفر على اكتشاف منطقة متشققة من حدوث فقدان لسائل الحفر او عدم التمكن من استخراج لباب الضور من الاعماق المتشققة .

تسجيل الابار مفيد في اكتشاف شقوق داخل الطبقات المكنية وبعضها يفيد في تحديد اتجاهات هذه الشقوق . التسجيلات التي تستعمل لهذا الغرض تشمل على : -

- (1) تسجيلات المقاومة النوعية (Resistivity logs) .
 - (2) تسجيل الميل (dipmeter log) .
 - (3) تسجيل الشق (Fracture identification log) .
 - (4) تسجيل السرعة (Sonic log) وتسجيل سعة الموجات التضاغية (Shear amplitude log) والتسجيل الفوتغرافي (ATV log) .
 - (5) تسجيل قطر البئر (Caliper log) .
 - (6) تسجيل الكثافة (Density log) .
 - (7) تسجيل الحرارة (Temperature log) .
 - (8) تسجيل (SP) و (GR) .
 - (9) تسجيل اللثولوجي والكثافة (LDT log) .
 - (10) طرق التسقيظ او المخططات البيانية لقيم (R-φ) .
 - (11) تسجيل اختلاف الكثافة (VDL) .
 - (12) طريقة استعمال كاميرات تلفزيونية داخل البئر .
- (هذه الطريقة مكلفة ومحدودة وغير اقتصادية) .



شكل (4-15) مثال حقيقي لنموذج من الباب تظهر فيه الشقوق الطبيعية

(13) طريقة استنفال سدادة مطاطية (inflatable-packers) . عند ضغط السدادة على الجدار المشقق تنطبع آثار الشقوق عليها .
في الصفحات التالية سوف اشرح باختصار مع الامثلة الحقلية لكل طريقة من الطرق .

(1) تسجيل المقاومة النوعية: (6)

تأثير الشقوق على تسجيلات المقاومة ، يتوقف على :

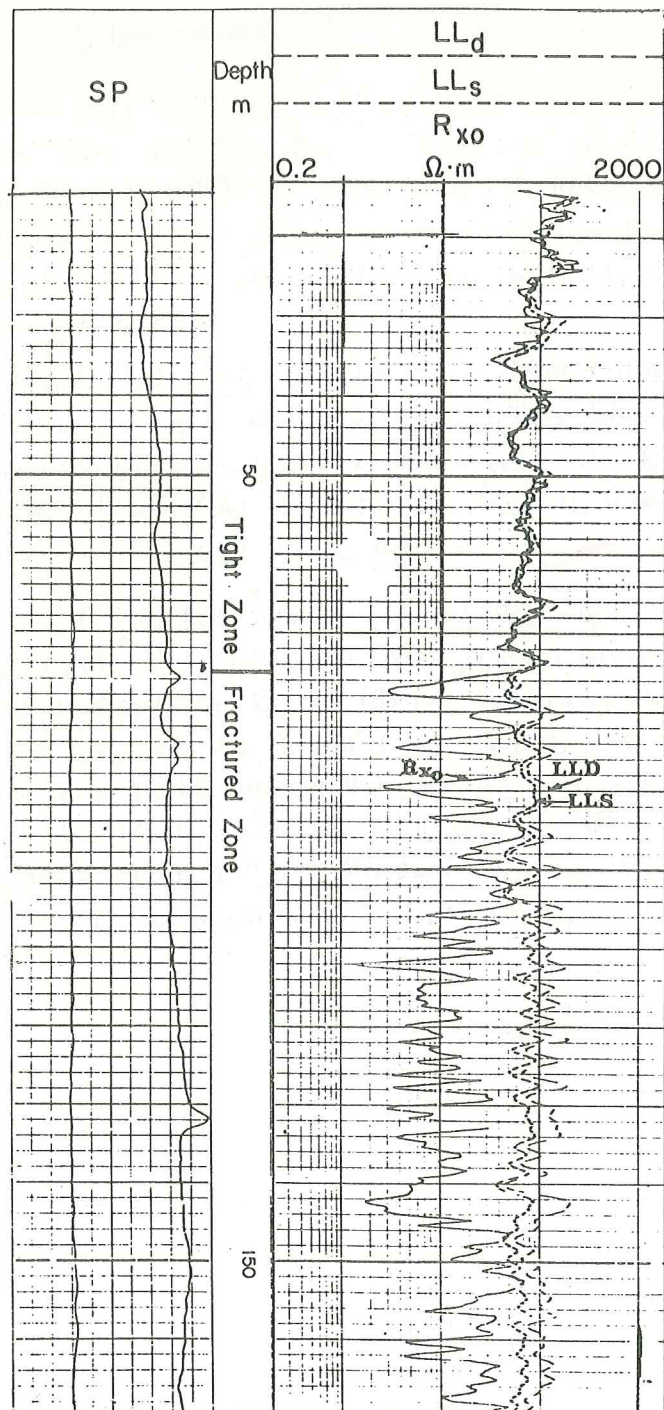
- 1 - اتجاه الشقوق (شاقولية او افقية) .
 - 2 - حجم وطول هذه الشقوق (الامتداد الافقي والشاقولي حول البئر) .
 - 3 - نوع المائع او السائل داخل الشقوق (طين الحفر او ماء او هيدروكربون) .
- تسجيل المقاومة نوع (الحث) (Induction) لا يستجيب بوجود الشقوق الشاقولية او الافقية المملوءة بالهيدروكربون ، بينما يستجيب للشقوق الافقية المشبعة بالماء الموصل ويولد شذوذاً في درجة التوصيل المسجلة عند هذه الاعماق .
- يتأثر تسجيل المقاومة نوع (DLL) بوجود الشقوق وذلك بتسجيل مقاومة واطئة من قبل تسجيل الضحل (RXO) ومقاومة عالية من قبل تسجيل المقاومة العميق (LLd) و (LLs) ، وذلك بسبب وجود راسح الطين في الشقوق وعدم وجوده في المناطق غير المشققة وهذه الحالة تؤدي الى الفصل في التسجيلات .

يمثل شكل (5-15) هذا النوع من التسجيل الحقلي . المناطق المشققة موضحة في التسجيل .

تسجيل المقاومة الدقيقة لا يكتشف الشقوق في الطبقة المكمنية حيث يتأثر هذا النوع من التسجيل فقط بالمنطقة المجاورة او القريبة من جدار البئر

يتأثر في بعض الاحيان هذا التسجيل بالشقوق ونلاحظ شذوذاً في التسجيل لان درجة التوصيل تكون عالية في منطقة الشقوق لان درجة التشبع بالماء تكون (100%) في هذه المناطق . كذلك اس التسميت (cementation exponent) يكون اقل من (2.0) او حوالي (1.4) وهذا يعني ان معامل التمسج يكون قليلا مما يساعد على نقل التيار . قيمة (R_{xo}) المحسوبة عند وجود الشقوق تساوي :

$$R_{xo} = \frac{R_{mf}}{\phi^{1.4}} \quad \dots (15-1)$$



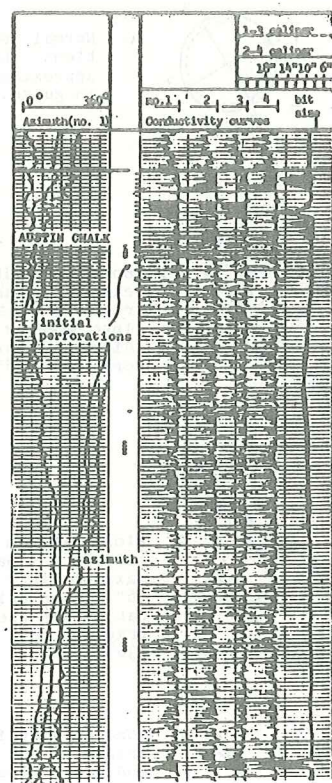
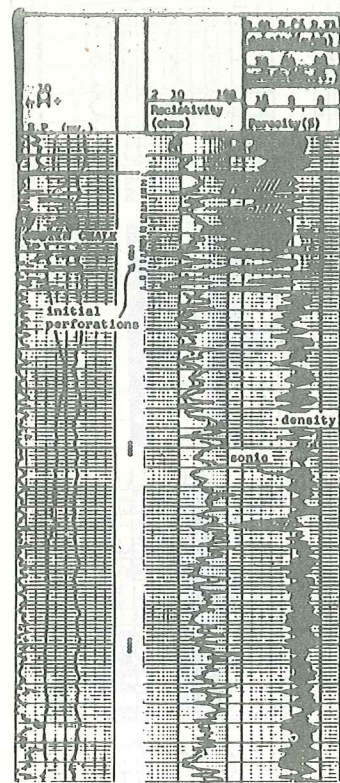
شکل (5-15) مثال حقلي لتسجيل (Dual-laterolog) ($DLL-R_{x0}$) .

(2) تسجيل الميل (dipmeter log) (6)

يحتوي هذا النوع من التسجيل على اربعة اقطاب لقياس درجة التوصيل الدقيقة هذه الاقطاب موزعة في مستوى واحد باتجاهات مختلفة حول البئر . تساوي الزاوية بين كل قطبين (90°) . عند القياس يسجل اتجاه القطب رقم (1) من الشمال الجغرافي . تسجيل الاتجاه مفيد حيث الاقطاب المتأثرة بالشقوق يكون اتجاهها موازيا لاتجاه الشقوق . يظهر تأثير الشقوق على تسجيل الميل وذلك بزيادة غير طبيعية في درجة التوصيل .

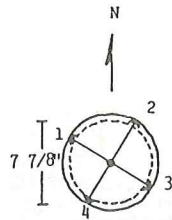
يمثل شكل (6-15) تسجيل الميل لطبقة مكمنية (Austin Chalk) التي تتصف بالنفاذية واطئة جدا . فلاحظ وجود شقوق في القسم العلوي من الطبقة المكمنية ووجود انفصال بين تسجيل السرعة والكثافة ووجود زيادة في قطر البئر في هذه المنطقة . الشقوق الافقية إن وجدت ، يظهر تأثيرها على الاقطاب الاربعة ويكون مقدار الشذوذ في درجة التوصيل قليلا .

يبين شكل (7-15) الحالات المختلفة من تسجيل الميل امام الطبقة المكمنية الممثلة في شكل (6-15) . نلاحظ في حالة (A) عدم وجود الشقوق ونلاحظ مقطع البئر اعتيادي دائري الشكل . تمثل حالة (B) وجود الشقوق وهي باتجاه الاقطاب (1,3) نلاحظ تسجيل قطر البئر (Caliper) يبين انفصال في مناطق الشقوق . في مقطع البئر نلاحظ استطالة (elongation) باتجاه الشق . تبين حالة (C) وجود شقوق ايضا ولكن الاقطاب المتأثرة هي (2,4) . تمثل حالة (D) تشققات دقيقة فقط عند الاقطاب (3,4) . لا تمثل حالة (E) شقوقا ولكن تسجيل قطر البئر يبين توسعا في قطر البئر من جميع الاتجاهات او حدوث تكهف في البئر كما في طبقات الطفل .

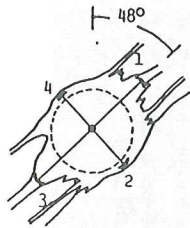


شكل (6-15) مثال حقلي لتسجيل الميل وتسجيل الحث و (SP) وتسجيل السرعة والكثافة في احدى الآبار البترولية.

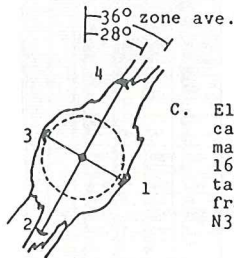
BOREHOLE CROSS SECTIONS



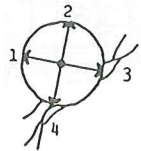
A. Normal conditions. Hole approximately in gauge.



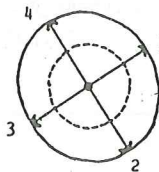
B. Borehole width elongation and rugosity breaks into steeply dipping fractures oriented N48°E.



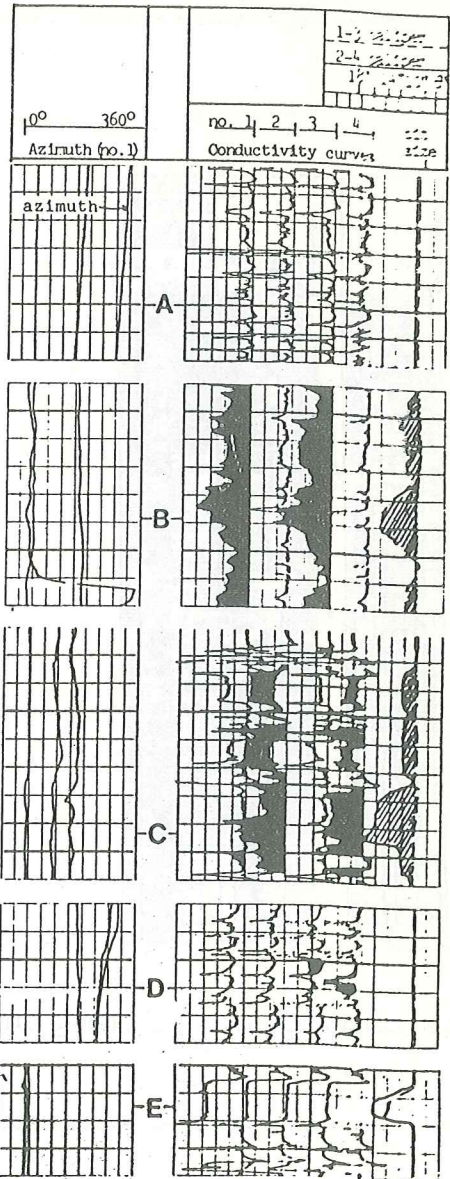
C. Elongation on caliper 2-4 has maximum width of 16". Mean orientation for the fracture zone is N36°E.



D. Conductivity increase on one pad and gauge hole indicates minor fracturing.



E. Borehole washout in shale bed.



شكل (15-7) مثال حقلي لتسجيل الميل مع مقاطع لبئر الحفر.

(3) تسجيل الشق (Fracture identification log): (6)

هذا النوع من التسجيل بالحقيقة هو تسجيل الميل ولكن يشمل الاختلاف على تسجيل قياسات كل قطبين في تخطيط مشترك .

في المناطق التي تظهر فيها الشقوق نجد انفصال في تسجيل اي زوج من الاقطاب .

يمثل شكل (8-15) تسجيل (FIL) ونجد في هذا التسجيل تأثير الشقوق على الاقطاب رقم (2,2,3,4,4) من الاسفل الى اعلى البئر .

يمثل شكل (9-15) تسجيل (FIL) .

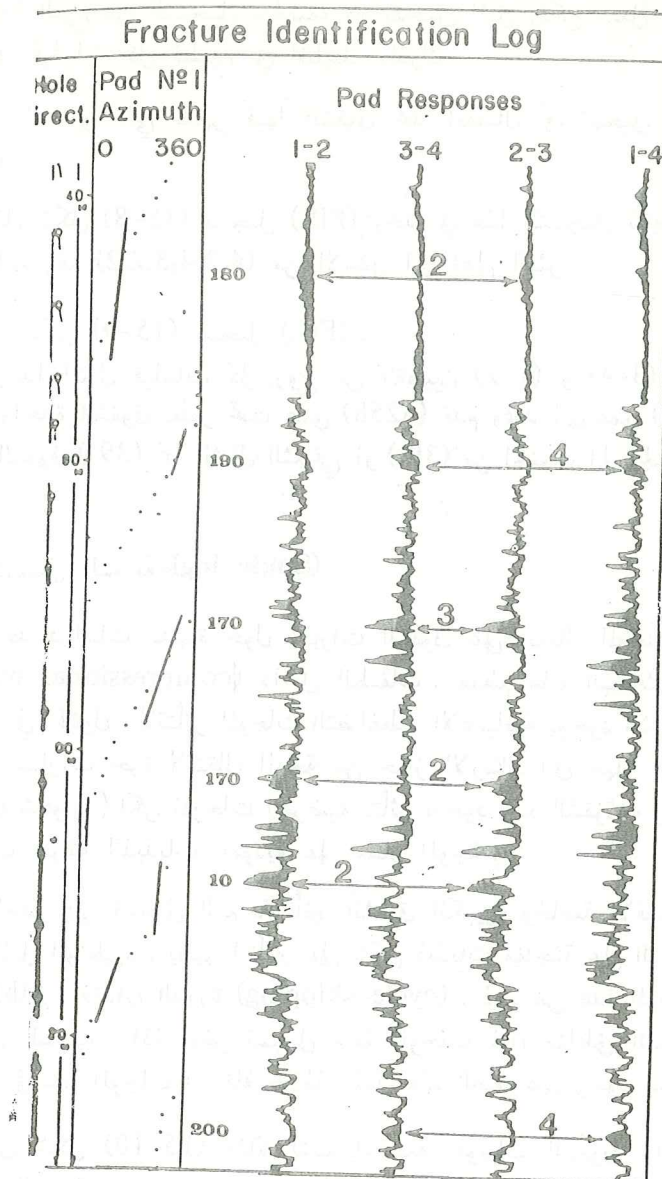
في هذا المثال قياسات كل زوج من القطبين (1-2) و (3-4) ، مسجلة في مسار واحدة الشقوق تظهر تحت عمق (6258) قدم وتمتد الى عمق (6275) قدم . اتجاه الشقوق (39°) نحو الشمال الشرقي او (39°) من الجنوب الى الجنوب الغربي .

(4) تسجيل السرعة (Sonic log)

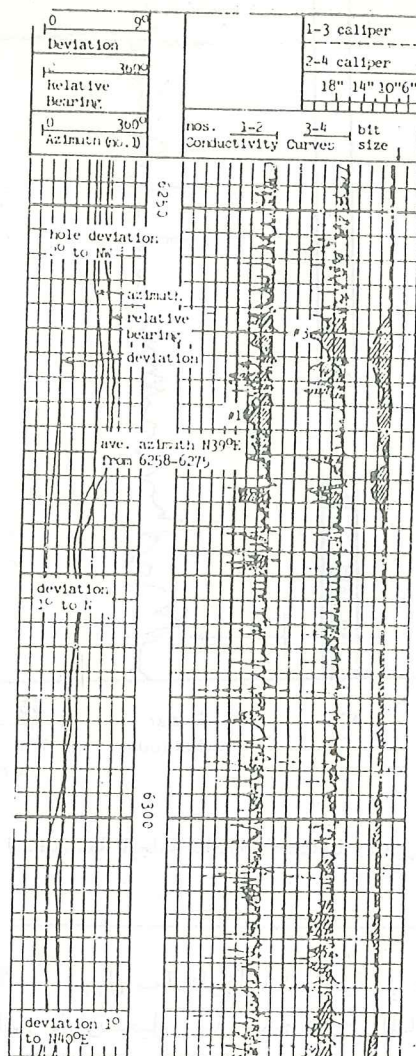
توجد دراسات عديدة حول تأثيرات الشقوق على انتقال الموجات التضاغية (compressional waves) داخل الطبقات . معظم هذه البحوث نظرية وغير مطبقة في الحقول . لانتأثر الموجات التضاغية الاعتيادية بوجود الشقوق اذا كانت هنالك مسارات حرة لانتقال الموجة من جهاز الارسال الى جهاز الالتقاط (نوع الشقوق شاقولية) لكن الموجات العرضية تتأثر بوجود هذه الشقوق ، وتكون في هذه الموجات حركة الذبذبات عمودية على مسار الموجة .

نلاحظ على تسجيل السرعة تأثير الشقوق الكبيرة وخاصة الافقية او الشقوق ذات الميل الواطيء . يظهر التأثير على شكل ذبذبات مفاجئة على التسجيل وتسمى هذه الظاهرة فقدان الدورة (cycle-skipping) . ذكر عن هذا الموضوع في فصل تسجيل السرعة . اذا توفر تسجيل سعة الموجات فإن مناطق التشققات تسبب هبوطا في سعة الموجات المنتقلة خلالها . تدل هذه الصفة على وجود الشقوق ايضا .

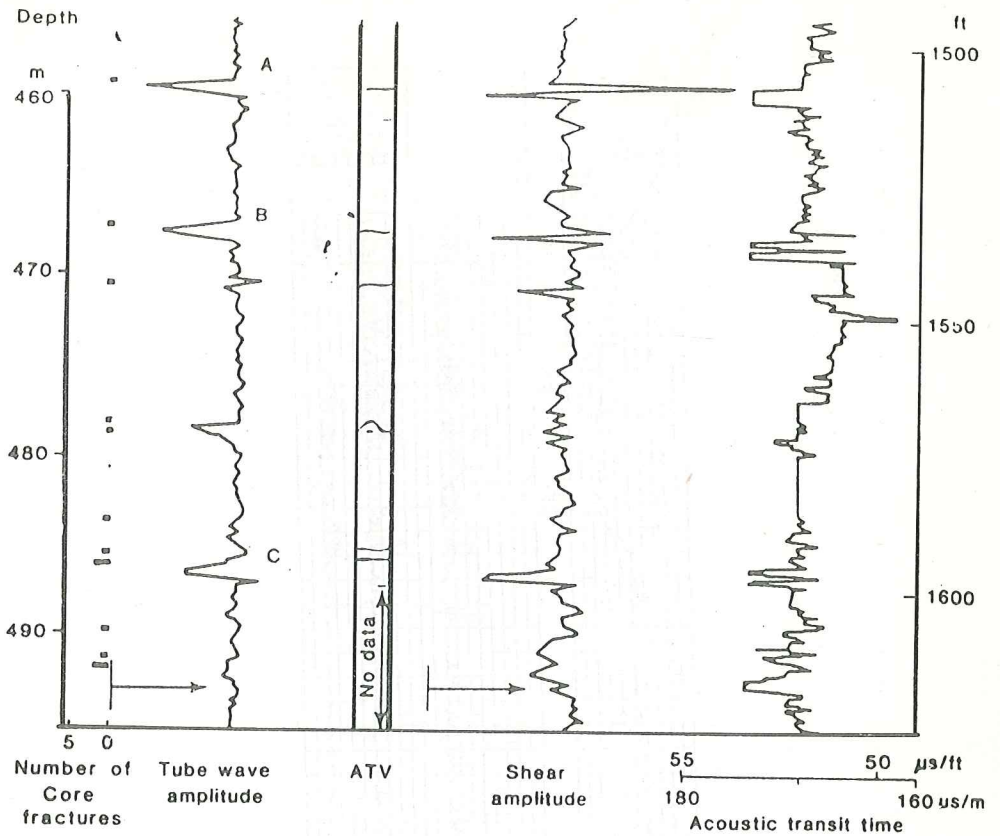
يبين شكل (10-15) مثالا لتسجيل سعة الموجات الثانوية (العرضية) مع تسجيل السرعة داخل بئر بين عمق (460-490) متر . نلاحظ انخفاضات متعددة مع العمق للموجات الثانوية . وقد تبينت من دراسة لباب الصخور بأن هذه المناطق تحتوي على شقوق .



شكل (15-8) مثال حقلي اتسجيل (EIL) (Fracture Identification log).



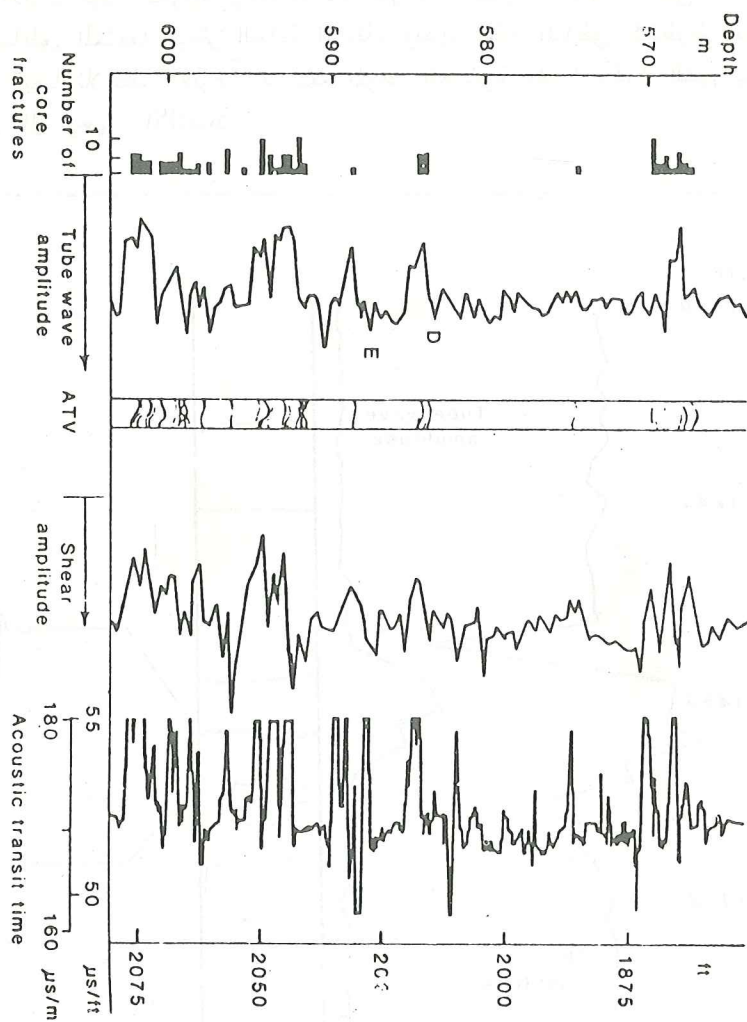
شکل (5-9) مثال حفلی لتسجيل (FIL) (Fracture Identification log)



شكل (10-15) مثال حقيقي لتسجيل سعة الموجات الثانوية الاصطناعية وتسجيل (Acoustic telerelwer) (ATV) تسجيل السرعة.

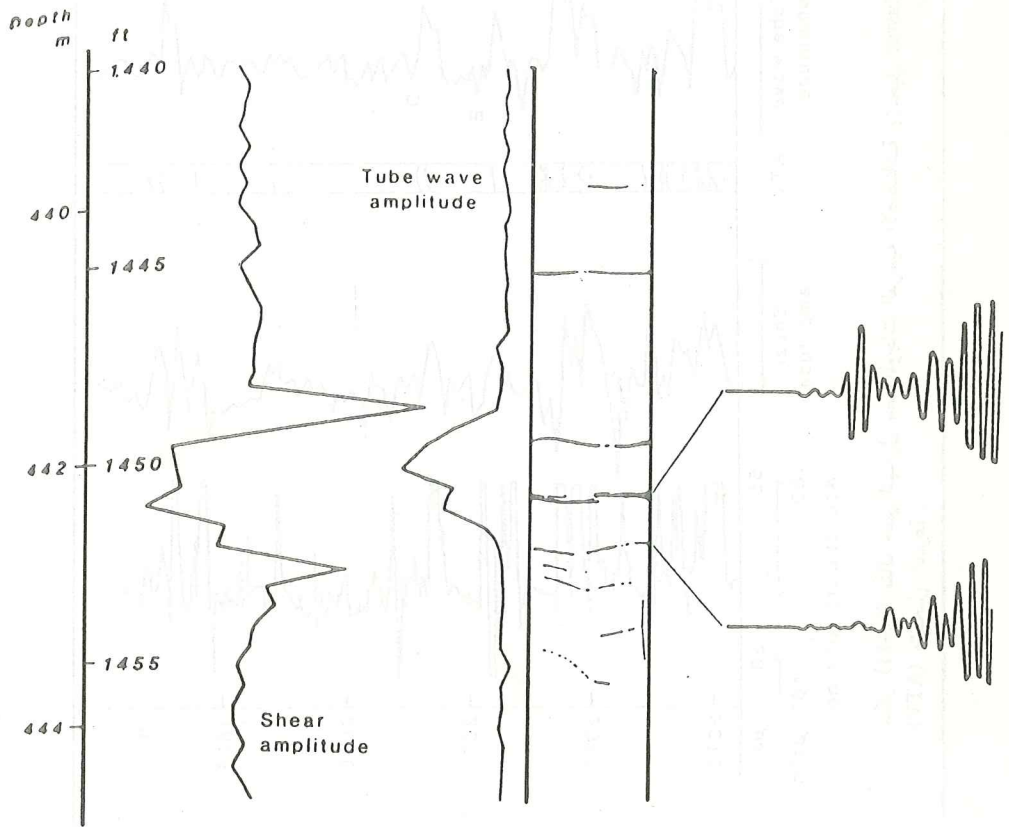
يمثل شكل (11-15) تسجيل سعة الموجات العرضية في اعماق اخرى . نلاحظ توافقا بين تسجيل السرعة وتسجيل سعة الموجات في المناطق التي تحتوي على شقوق . يبين تسجيل السرعة ظاهرة فقدان الدورة في مناطق الشقوق .

يبين تسجيل (ATV) صورة لجدار البئر وفيها مناطق الشقوق متمثلة بالخطوط السوداء (7) وتوافق آخر موجود بين دراسة التشققات من لباب الصخور والتسجيلات المختلفة .



شكل (15-11) مثال حقل لتسجيل سعة الموجات الرضوية الاصطناعية وتسجيل Aconustic televiewer (ATV) وتسجيل السرعة.

شكل (15-12) يمثل سعة الموجات العرضية وتسجيل الموجات المختلفة (التضاغطية والعرضية) لمنطقة داخل البئر فيها شقوق عند عمق (442) متر . نلاحظ انخفاضاً في السعة للموجات العرضية في منطقة الشق . أيضاً تظهر صورة فوتوغرافية للشقوق داخل البئر وصورة بجهاز (ATV) (Acoustic televiewer) يستعمل ذبذبات فوق الصوتية (1.3MHz) للموجات الصوتية المنعكسة على جدار البئر . المناطق المتشققة تبعثر الطاقة المنتقلة وتظهر هذه المناطق كخطوط على التصوير . أيضاً نلاحظ انخفاضاً في سعة الموجة العرضية عندما يكون الشق بين جهاز الإرسال وجهاز الالتقاط .



شكل (15-12) مثال حقيقي لتسجيل سعة الموجات العرضية ، وتسجيل الموجات المختلفة وصور فوتوغرافية لجدار البئر (ATV) .

ايضا ممكن اكتشاف شقوق من تسجيل السرعة وذلك بحساب دليل المسامية الثانوية (Secondary porosity index) .

$$SPI = \phi_1 - \phi_{sonic}$$

حيث :

ϕ - تمثل المسامية الكلية المحسوبة من تسجيلات الكثافة او النيوترون
 ϕ_{sonic} - تمثل المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة ، وهذه الطريقة مبنية على اساس استجابة تسجيل السرعة للمسامية الاولى فقط . اذن الفرق بين المسامية الكلية والمسامية من تسجيل السرعة يدل على وجود مسامية ثانوية داخل الطبقة .

(5) تسجيل قطر البئر (Caliper log)⁽⁶⁾:

المناطق المتشققة تؤدي الى نقصان في قطر البئر في بعض الاحيان وذلك بسبب وجود القشرة الطينية ، ولكن في اغلب الاوقات نلاحظ استطالة قطر البئر باتجاه الشق أي أن مقطع البئر الدائري يتحول الى شكل بيضوي .

يبين شكل (7-15) اختلافات مقاطع البئر في الاعماق المختلفة . من المقاطع أيضا نستطيع تحديد اتجاه الشقوق . تستعمل دلائل اخرى من التسجيل وهي الحركة الدورانية للاقطاب حيث تقل سرعة الدوران عند وجود شقوق على جدار البئر ويمكن التأكد من ذلك ملاحظة اختلافات اتجاه القطب رقم (1) .

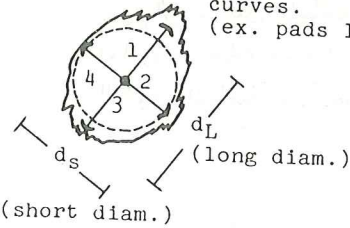
في الاحيان دوران الجهاز يتوقف لبضعة اقدم لنتيجة تتبع احد الاقطاب لاثار الشق .

يبين شكل (9-15) ثبوت اتجاه القطب رقم (1) تقريبا في مناطق الشقوق ، وهذا دليل على وجود الشقوق في هذه المنطقة .

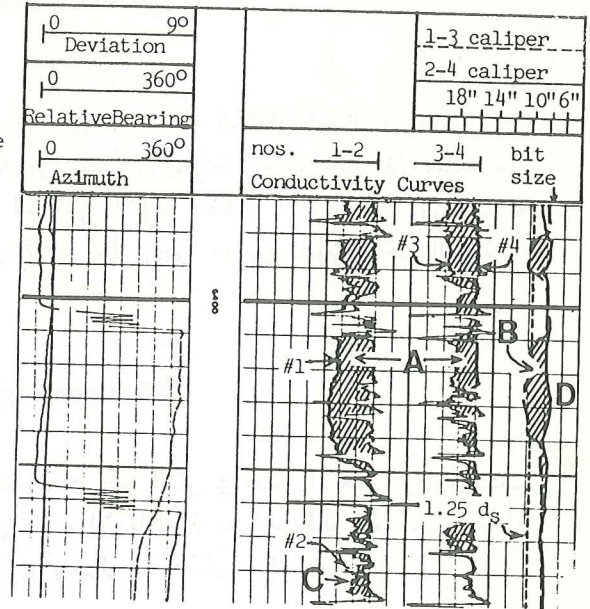
يمثل شكل (13-15) (FIL) مسجل أمام طبقة مكنية متشققة نلاحظ اختلاف في قطر البئر عن حجم المثقاب فوق العمق (6400) قدم ومقدار استطالة قطر البئر في اتجاه الشق يساوي (1.25) أي ان القطر الاكبر اطول من القطر الاصغر بمقدار (1.25) . الاقطاب (1,3) المتأثرة بالشقوق حيث نلاحظ شذوذاً في درجة التوصيل أيضا في هذه المناطق .

Fracture evaluation parameters

- A. Low conductivity on opposite curves.
(ex. pads 1-3)



- B. Borehole width elongation
($d_L \geq 1.25 d_s$).
C. Low conductivity on 1
curve only (ex. pad 2).
D. Maximum borehole ellipticity
(d_s/d_L).



شكل (15-13) مثال حقلي لتسجيل (FIL) مع تسجيل قطر البئر (Caliper log).

(6) تسجيل الكثافة (Density log)

تولد الشقوق في اغلب الاحيان انحرافات سالبة لتسجيل الكثافة وأيضا على تسجيل التصحيح للكثافة. لكن هذه التأثيرات تختفي عند اجراء تصحيحات على نوعية التسجيل. لاجل اكتشاف هذا الشذوذ يجب استعمال سرعة التسجيل بحيث يكون ثابت الزمن صغيرا عند التسجيل ولكن في هذه الطريقة تكون نوعية التسجيل غير جيدة أي اكتشاف الشقوق يكون على حساب النوعية لتسجيل الكثافة.

(7) تسجيل الحرارة (Temperature log)

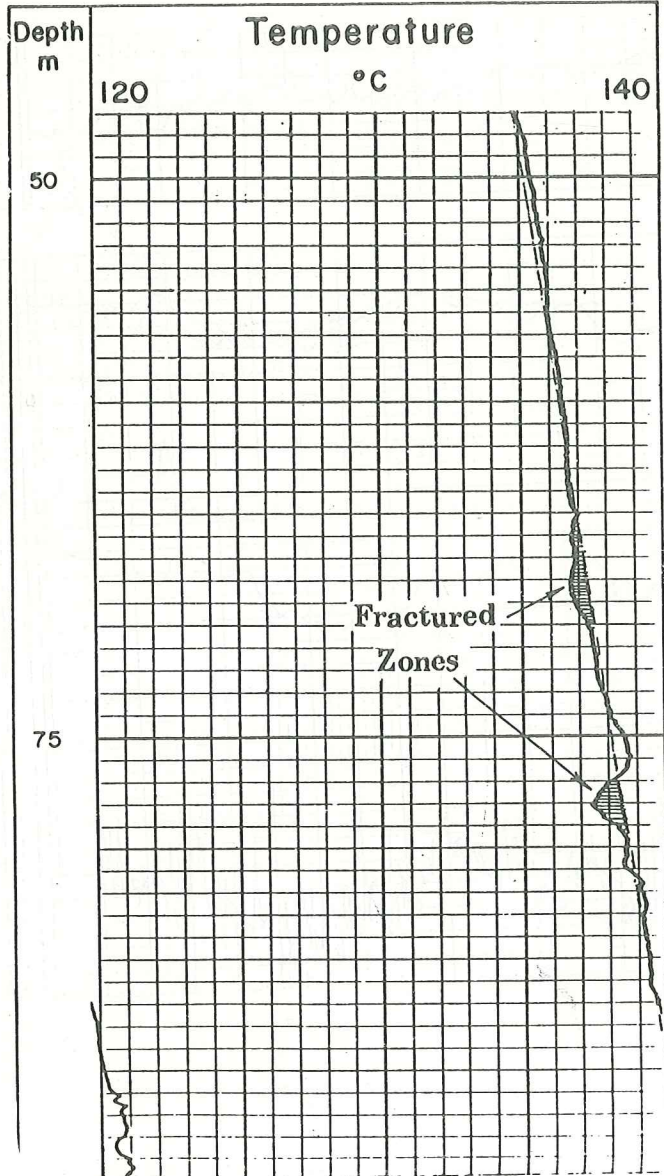
تمتأ الشقوق المفتوحة بالطين نتيجة الغزو في هذه المناطق. امام هذه الشقوق نلاحظ شذوذا في الحرارة المسجلة، أي انخفاض في الحرارة المسجلة.

يبين شكل (15-14) هذا التأثير لتسجيل الحرارة. المناطق المتشققة مثبتة من

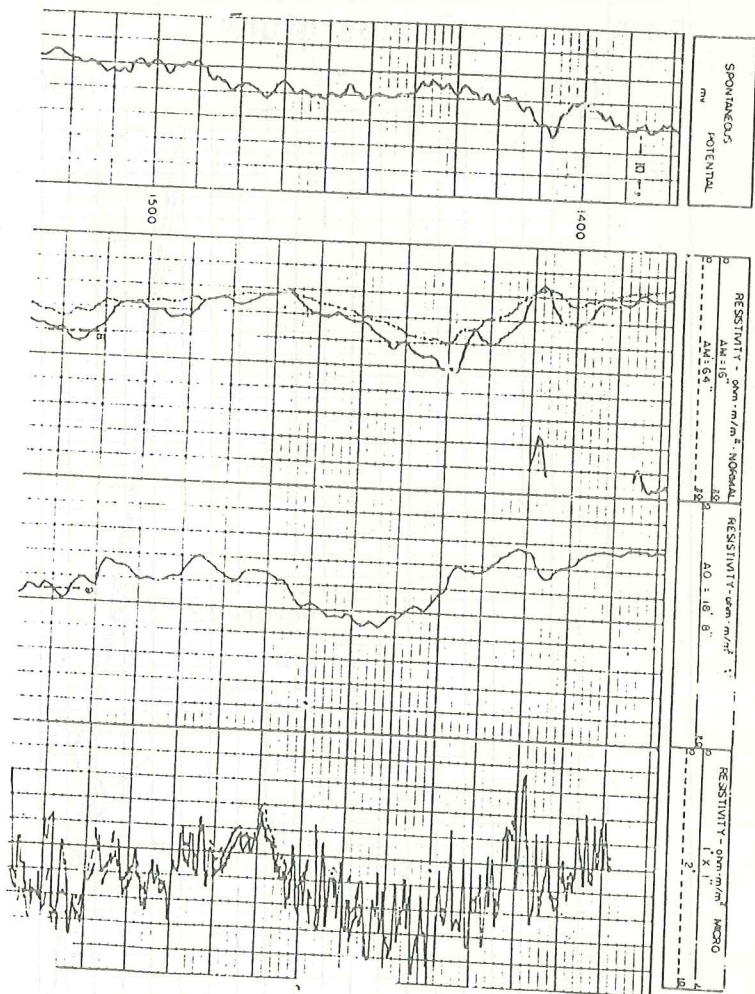
مصادر اخرى.

(8) تسجيل (SP) و (GR): (1)

يتأثر تسجيل (SP) في المناطق المتشققة من الطبقات المكنية في بعض الاحيان وتظهر الانحرافات غير طبيعية امام هذه المناطق نتيجة حدوث الجهد الحركي ، مما يسبب ارتفاعات مفاجئة في تسجيل (SP) .



شكل (14-15) مثال حثلي لتسجيل الحرارة .



شكل (15-15) مثال حثلي لتسجيل (SP) امام طبقة مكمنية كلية مشبعة .

اذن بنفس الطريقة ممكن أن نكتشف الشقوق ، حيث تكون هذه المناطق قنوات لانتقال الماء وترسيب املاح اليورانيوم .

(9) تسجيل (LDT) او اللثولوجي والكثافة (6):

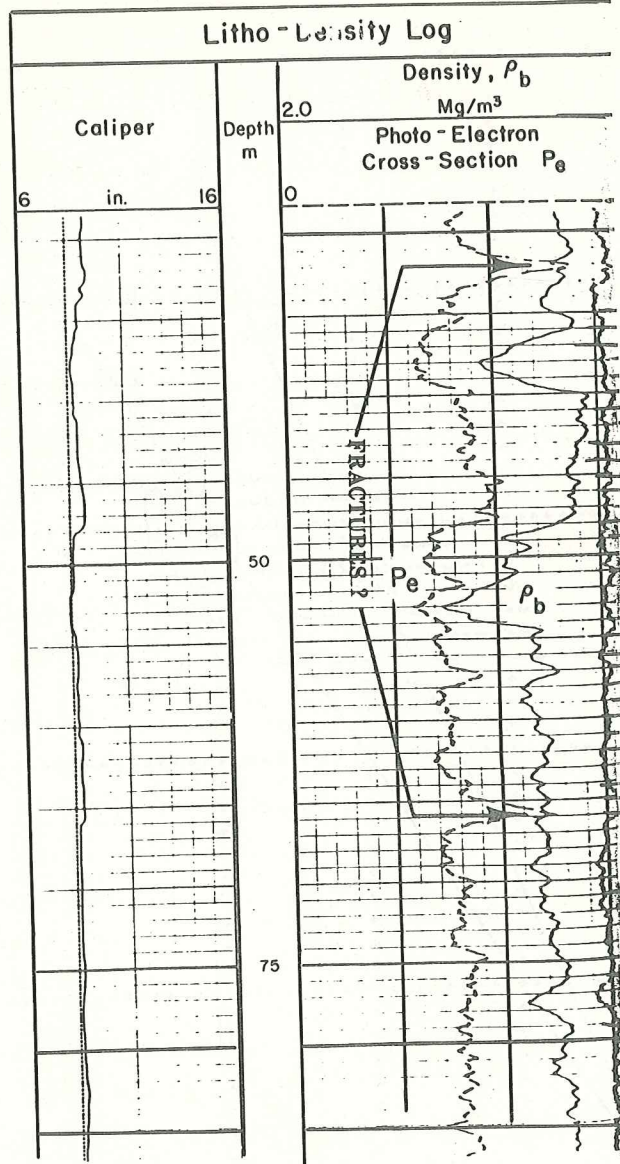
التطبيقات الحقلية لهذا التسجيل مذكورة في الفصل الثاني عشر ، ممكن أن يفيد هذا النوع من التسجيل في تحديد مواقع الشقوق داخل الطبقة المكمية لو كان البئر مملوءا بطين يحتوي على معدن الباريت (barite) . حيث لهذا المعدن مقطع امتصاص للالكترونات عالي (267) بينما الطبقة المكمية الكسيلية لها مقطع واطيء (5) و (3) ، اذا كانت الطبقة المكمية من الدولومايت . اذن يبين تسجيل (LDT) انحرافات كبيرة امام المناطق المتشققة .

يمثل شكل (15-17) تسجيل (LDT) ومؤشر فيه مناطق الشقوق من الانحرافات (P_e) وتأثير الشقوق أيضا مبين على تسجيل (ρ_{fb}) .

(10) طريقة التسقيط البياني لقيم $(\phi-R)$ (6): (Cross-plot method)

بينما سابقا بأن اس السمييت يكون اقل من (2.0) في المناطق المائية المتشققة وتساوي تقريبا (1.4) . طريقة اكتشاف الشقوق تم بعد عمل مخطط بياني لوغرتمي من قيم معامل التكوين (F) مع المسامية (ϕ) . قيمة الاس تمثل ميل خط المستقيم الذي يمر خلال النقطة $\phi = 1.0$. ممكن حساب العامل (F) من تسجيل المقاومة النوعية السميقة اذا كانت المنطقة مشبعة بالماء . في حالات اخرى ممكن استعمال تسجيل المقاومة الدقيقة (micro-resistivity log) مثل تسجيل (MLL, MSFL) .

في المناطق غير المتشققة ، تكون قيمة (m) عالية اذا وجدت هيدروكربونات في المنطقة المتشققة قيمة (m) تكون اقل .
يمثل شكل (15-18) مخطط بياني لوغرتمي من قيم (R_{MSFL}) و (ϕ) . نلاحظ سقوط أكثر النقاط في المناطق ذات النفاذية الواطئة في اعلى الخط المستقيم الذي يساوي ميله (2) بسبب وجود التشبع بالغاز المتبقي في المنطقة المغزوة . تسقط النقاط الاخرى بين الخطين واسفل الخط الذي ميله يساوي (1.4) . الاتجاه الذي يحدده الخط $(m = 1.4)$ يمثل تشققات من المناطق المثلثة بالنقاط .



شكل (15-17) مثال حقلي لتسجيل (LDT) مع تأثير الشقوق على التسجيل .

تتراوح قيم (m) في المكان المشتقة بين (1.1-1.4) .
 بينا سابقا المعادلة المثلة لخط المستقيم في المخطط البياني .
 اس التسميت (m) المثلة للمكان المشتقة أيضا يسمى اس المسامية المزدوجة
 (double porosity exponent) للتمييز مع اس المسامية الأولية ، اي أن
 الطبقات الكمينة تحتوي على نوعين من المسامية (أولية وثانوية) .

يمثل شكل (15-19) طريقة التسقيط أو المخطط البياني اللوغارتمي لقيم
 $(\Delta t \cdot \Delta t m)$ مع (R_{LL8}) . تسقط النقاط المختلفة على خط مستقيم ميله يساوي
 $[m=1.3]$. هذا الاس يمثل اس المسامية المزدوجة . ممكن الحصول على اس
 المسامية الأولية وذلك بتسقيط هذه القيم للمناطق المحتوية فقط على مسامية محبة
 (intergranular) .

وأيضا ممكن الحصول على أس المسامية الأولية من تحليل لباب الصخور الحاوية
 على هذا النوع من المسامية في المختبر. للفصل بين النوعين من الاس يفضل استعمال
 الرموز التالية : -

اس المسامية الأولية - m_b
 اس المسامية المزدوجة - m
 أيضا ممكن الحصول على قيمة (m) من المعادلة : -

$$m = -\log \left[\frac{1}{V(\phi) - (1 - V) / \phi_b^{-m_b}} \right] \log \phi \quad \dots (15.2)$$

حيث : -

m - اس المسامية المزدوجة .
 m_b - اس المسامية الأولية (الحشوية matrix) .
 V - النسبة المئوية من المسامات الكلية المشغولة بالشقوق .
 ϕ - المسامية الكلية .
 ϕ_b - المسامية الأولية (الحشوية) .
 المسامية الكلية المثلة للطبقة الكمينة المشتقة تساوي : -

$$\phi = \frac{\phi_b}{1 - V(1 - \phi_b)} \quad \dots (15-3)$$

مسامية الشقوق تساوي : -
 $\dots (15-4)$

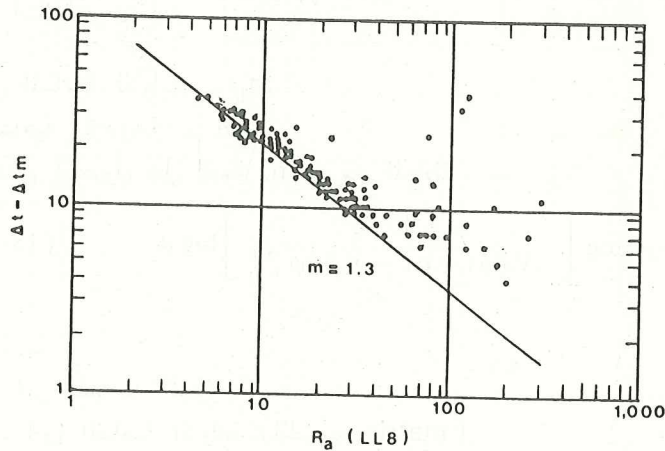
$$\phi_f = \phi - \phi_b$$

طريقة حساب (v) مذكورة في الفصول السابقة .
للحصول على درجة التشبع الكلية للطبقة المكنية المتشققة نستعمل
المعادلة : -

$$S_w = \left[\frac{R_w}{\phi^m R_t} \right]^{1/n} \quad \dots (15-5)$$

حيث : -

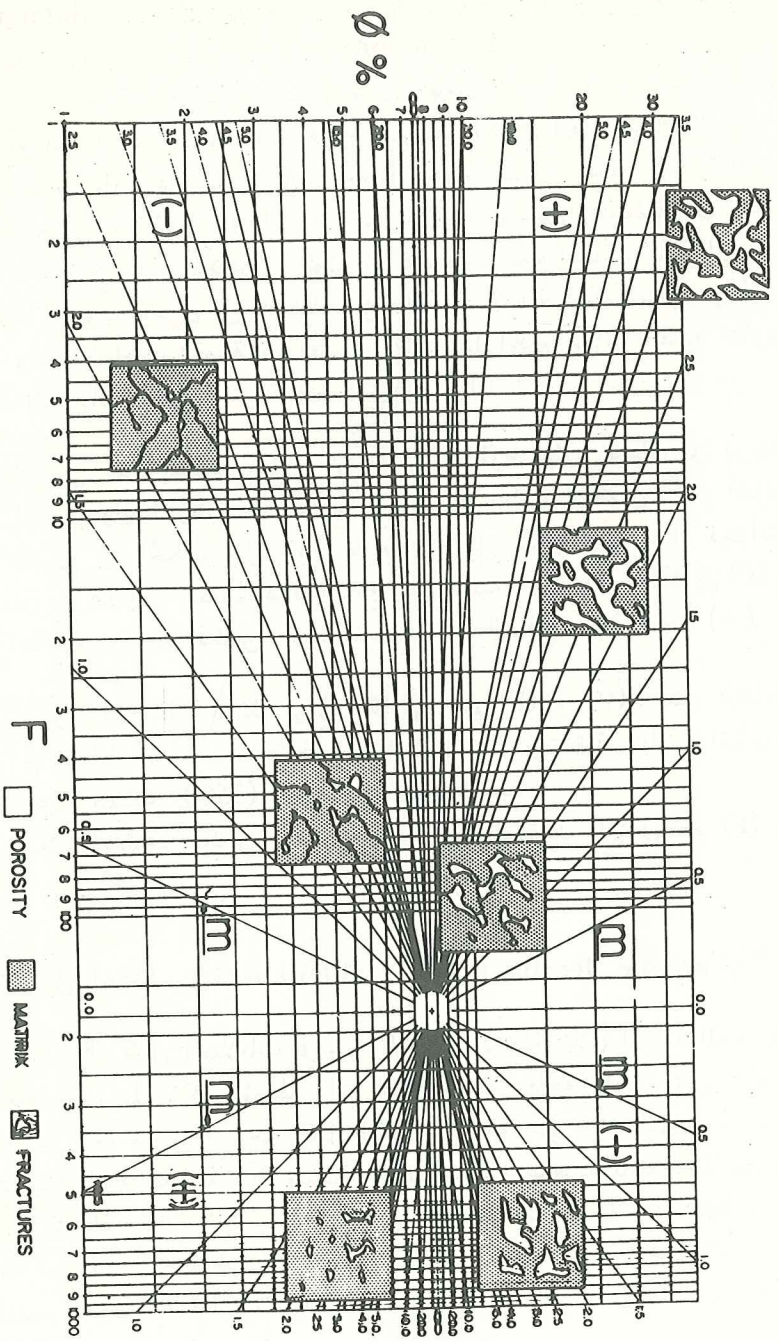
- ϕ - في هذه المعادلة تمثل المسامية الكلية .
- m - اس المسامية المزدوجة .
- n - اس درجة المشبع بالماء .
- قيمة (n) تفرض مساوية لقيمة (m) بناءً على الدراسات الحقلية للمكامن الحبيبة (intergranular) ، ولكنها غير مساوية في المكامن ذات المسامية المزدوجة .



شكل (15-19) مثال لمخطط بياني من قيم $(\Delta t - \Delta t_m)$ و (RLL_g) .

يمكن اكتشاف شقوق في المكامن عن طريق التسقيط البياني لقيم (F) و (ϕ) على ورقة لوجرتمية . لقد ذكرنا في فصل فيزياء الصخور عن العلاقة بين (F) و (ϕ) .

شكل (15-20) يمثل مخططا بيانيا لوجرتميا من قيم (F) و (ϕ) .



شكل (15-20) مخطط بياني لوزني لقيم (F) و (φ) وفانج مختلفة من التوزيع السامي للصخور الكمية.

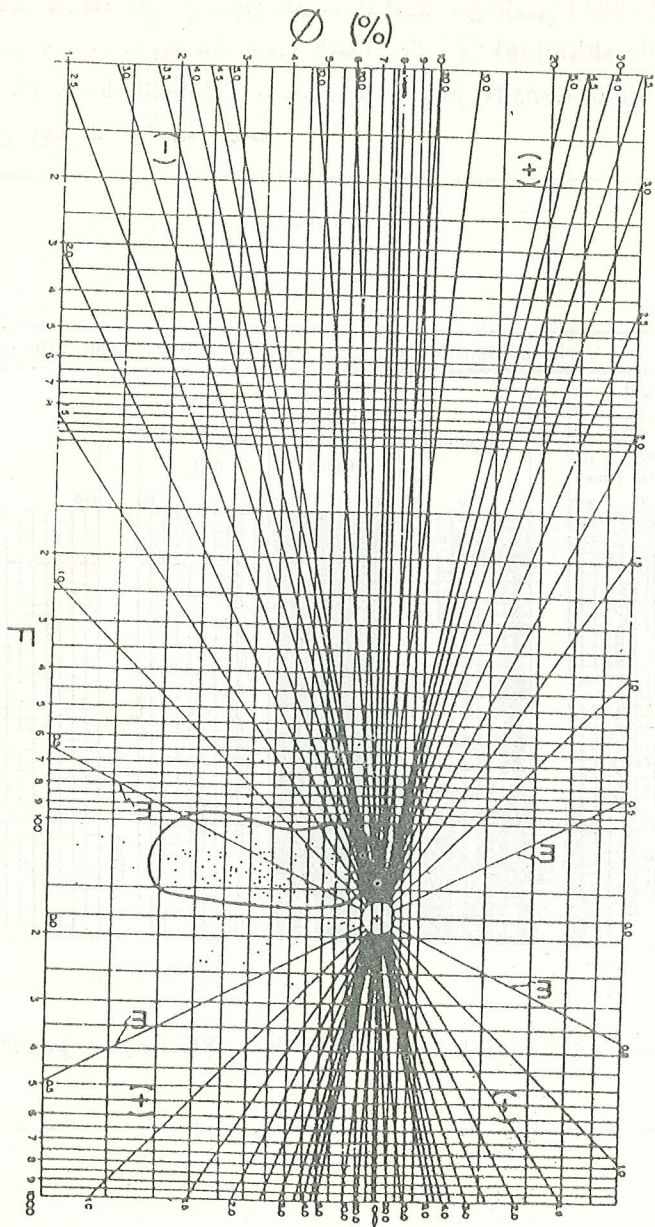
الجزء الشمال الغربي يشمل على نماذج من صخور مكمنية ذات مسامية اولية (intergranular). الانتقال من اقصى الشمال الغربي نحو مركز تقاطع الخطوط المستقيمة يعني زيادة في عملية التسميت (cementation) مما تؤدي هذه الزيادة داخل المسامات نقصان في المسامية وزيادة في معامل التكوين (F). يكون اس التسميت أو اس المسامية (m) لهذه النماذج بالموجب (+). الجزء الشمال الشرقي من المخطط يشمل نماذج لها مسامية عالية ومعامل تكوين عالية. تتصف هذه النماذج بالمسامات المعزولة مما تؤدي الى انخفاض نفاذية هذه الصخور المكمنية اي إننا لانتوقع انتاجية من هذه المكامن. يكون اس التسميت لهذه المكامن سالباً (-). يشمل الجزء الجنوب الغربي من المخطط على صخور مكمنية ذات مسامية واطئة متشقة. وهذه المسامات متصلة مع بعضها. يمثل هذا الجزء مكامن كلسية متمتزة تتوقع انتاجية عالية منها. اس التسميت يكون سالباً (-).

الانتقال من هذه المنطقة نحو مركز تقاطع الخطوط يمثل نقصان في درجة الاتصال المسامي وايضاً زيادة في المسامية وزيادة في معامل التكوين (F). الجزء الجنوب الشرقي من المخطط يمثل نماذج لها مسامية على شكل تكهفات او فجوات غير متصلة مع بعضها. تتصف هذه النماذج بقيم عالية من معامل التكوين (F). لانتوقع انتاجية من هذه المكامن. اس التسميت لهذه النماذج يكون موجباً (+).

يمثل شكل (21-15) مخطط بياني لوجاريتمي لقيم (F) و (ϕ). تمثل النقاط المنتشرة في المخطط طبقة مكمنية ذات مسامية واطئة ومتشقة. بلغت انتاجية البئر من هذه الطبقة (3500) برميل في اليوم الواحد. إذن ممكن اكتشاف مكامن متشقة عن طريق التسقيط البياني لقيم (F) و (ϕ).

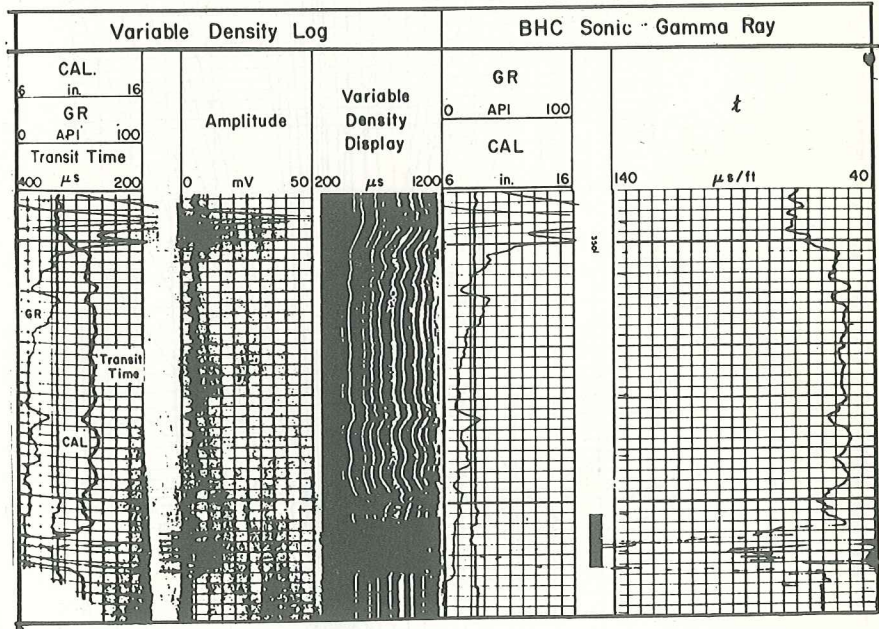
(11) تسجيل اختلاف الكثافة (VDL) (Variable density log)⁽⁶⁾

يبين هذا التسجيل اختلافات في سعة الموجات المنتقلة خلال الطبقة المكمنية. الاختلافات تمثل على شكل اشربة ذات الوان غامقة وفاحة اللون. تمثل الالوان الغامقة اعلى سعة موجبة للموجة. تمثل الالوان الفاتحة اعلى سعة للموجة السالبة. عند تسجيل طبقة مكمنية غير متشقة وذات صفات صخرية ثابتة، نلاحظ في التسجيل اشربة طويلة ثابتة. عند تسجيل منطقة متشقة نلاحظ انقطاعاً في الاشربة او حدوث اضطراب في التسجيل عند مناطق التشققات. يجب التأكد من هذا التفسير حيث اختلافات لثولوجية في الطبقة او اختلافات في المسامية، ممكن ايضاً ان تعطي نفس النتيجة.



شكل (15-21) مخطط بياني لوزني لقيم (F) و (ϕ) لطبقة مكمنية كلية.

يمثل شكل (15-22) تسجيل (VDL) مع تسجيل السرعة (BHC) و (GR) اشعة كاما المنطقة المشققة تقع في اسفل الطبقة المكنية بين العمق (376-381) متر ، تسجيل السرعة يبين شذوذاً على صورة (فقدان الدورة) (cycle skipping) في هذه المنطقة كما نلاحظ انقطاعاً في تسجيل (Variable density log VDL) عند نفس العمق وهبوطاً في سعة الموجة .



شكل (15-22) مثال حقلي لتسجيل (VDL) ، (BHC) و (GR) امام طبقة مكنية فيها شقوق .

مسائل :

(1) يمثل المثال الحقل (15-23) تسجيل (DLL-R_{xo}) مع تسجيل (FIL) امام طبقة مكنية ذات مسامية واطئة . نسبة ($\frac{LLd}{LLs}$) تساوي (2.0) تقريباً وفي مناطق اخرى النسبة اعلى (في المناطق المغزوة بعمق) . يبين تسجيل (R_{xo}) شذوذاً في مناطق مختلفة . المطلوب : -

- 1- تحديد المناطق المتشققة من الطبقة المكنية .
- 2- هل ان تسجيل (R_{xo}) مفيد في تحديد الشقوق في جميع المناطق ؟ كيف ؟
- 3- هل هناك توافق بين تسجيل (R_{xo}) و (FIL) في المناطق المختلفة ؟
- 4- ماهو نوع الشقوق المكتشفة ؟

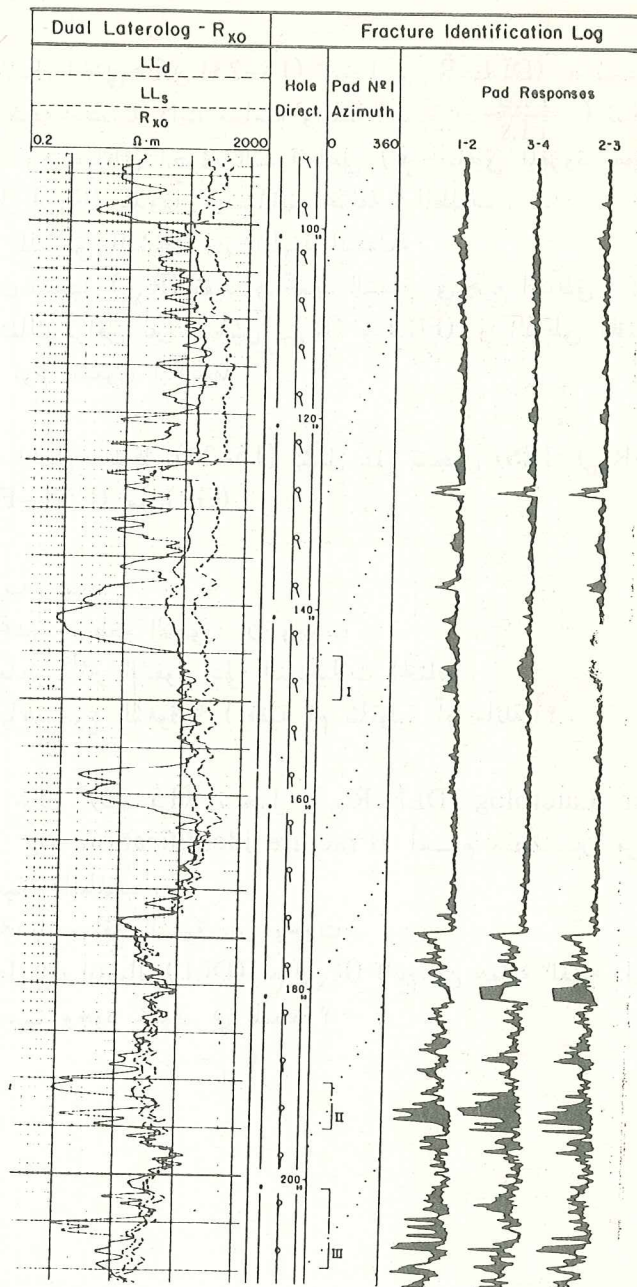
(2) المثال الحقل ، شكل (15-24) يشمل على تسجيل (IES) (DLL-R_{xo}) و (CNL-FDC) مع (GR) .

المطلوب : -

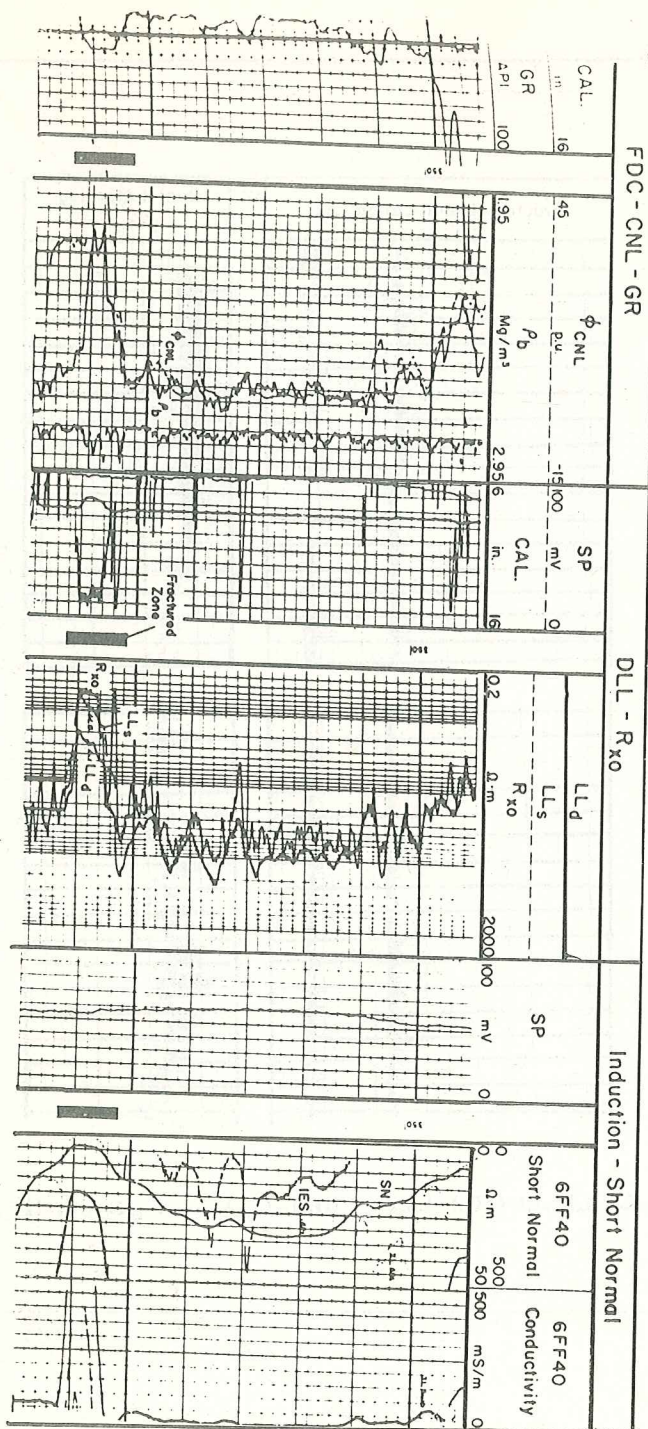
- 1- تحديد منطقة الشقوق ان وجدت .
- 2- ماهو تأثير الشقوق على التسجيلات المختلفة .
- 3- ماهو نوع الشقوق ؟ (افقية ام شاقولية او مائلة) ؟ .

(3) يمثل شكل (15-25) تسجيل (Dual Laterolog DLL-R_{xo}) مع (Fracture identification log FIL) أمام منطقتين من الطبقة المكنية . المطلوب : -

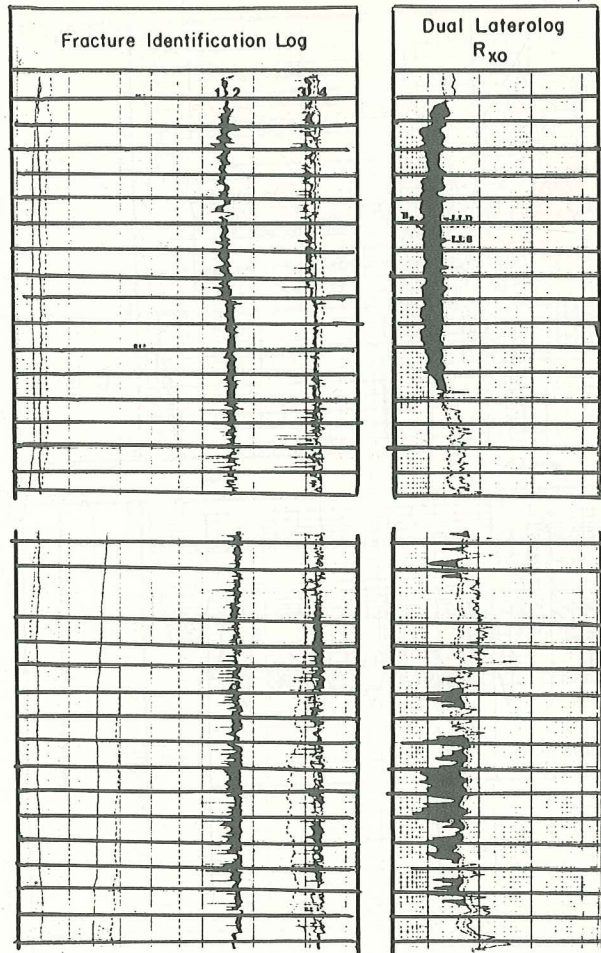
- 1- تحديد مواقع الشقوق ان وجدت .
- 2- هل ان انفصال (DLL) مع (R_{xo}) ناتج عن عملية الغزو داخل الطبقة ام بسبب وجود شقوق في المنطقة ؟



شكل (15-23) مثال حقلي لتسجيل ($DLL-R_{xo}$) مع (FIL) امام طبقة مكنية كلسية .



شکل (15-24) مثال حثی لتجیل (IES) و (DLL-R_{xo}) مع (FDC-CNL-GR).



شكل (15-25) مثال حقلي لتسجيل (DLL-R_{x0}) مع تسجيل (FIL) امام طبقة مكننية .

الرموز:

a_0 و a_1 , a_2 - - - a_n	المساحات المحصورة داخل الخطوط الكونتورية
A	مساحة التصريف او مساحة المقطع
Ae	مساحة المقطع الفعالة
A_1 , A_2 , A_0	اقطاب التيار
A , B	اقطاب التيار او عوامل تناسب في معادلة (GR)
A, B	ثوابت في المعادلة الأسية
AO	المسافة بين قطبي التيار ومنتصف قطبي الجهد
e (A)	ثابت في معادلة (F - ϕ)
a_1 , a_2	فعالية محلولين
a_{mf} , a_w	فعالية راشح الطين والماء
A, B, C, D	معاملات تجريبية في معادلة النفاذية
A	الزاوية بين جهاز الارسال والالتقاط
API	وحدة قياس اشعة كاما (الوزن النوعي للنفط الخام)
16"N	المسافة في اجهزة قياس المقاومة النوعية
64"N	المألوفة
188"	
B	عامل تحويل في حساب حجم الهيدروكربون
B_{cp}	معامل الانضغاط
B	درجة التوصيل المعادلة للأيون الموجب
B_0	عامل التكوين الحجمي للنفط
b	ثابت يساوي (2.0) او (1.0) في معادلة حساب النسبة الطيفية
C	درجة التوصيل (ثابت في معادلة الانضغاط)
C_p	معامل الأنضغاط
C_{ps}	عد / ثا
CEC	قابلية التبادل بالايونات الموجبة
C	ثابت في معادلة اختلاف المسامية مع العمق
c.u.	وحدة امتصاص
C_1 , C_2	تركيز محلولين
C_w , C_{mf}	تركيز الاملاح في الماء وراشح الطين
C_m , C_{xo} , C_i^- , C_t	درجة توصيل الطين

	المنطقة المكتسحة ، المنطقة المغزوة
	ودرجة توصيل التكوين الصحيحة
d, d_h	قطر البئر
d_i	قطر الغزو
$dt \text{ MA}$	زمن انتقال الموجة خلال الحشو
$dt \text{ FL}$	زمن انتقال الموجة خلال المائع
dt_1, dt_2	فرق الزمن المقاس
ΔT	فرق الزمن المقاس
$g \text{ (G.F.)}$	عامل هندسي
C_m, G_{xo}	عامل هندسي للطين والمنطقة المكتسحة
G_i, G_t	عامل هندسي للمنطقة المغزوة والتكوين
g	ثابت الجاذبية
G	تدرج حراري
$(e) E$	فرق الجهد
$e.v.$	الكثرون فولت
$E_d (E_{ij})$	الجهد الانتشاري
$E_M (E_{sh})$	الجهد الحاجزي
$E_k (E_s)$	الجهد الحركي
E_{mc}	جهد القشرة الطينية
E_o	الجهد الكهروكيميائي
F	معامل المقاومة النوعية للتكوين
F	ثابت فرداي (96540) كولب
F_{xo}	معامل التكوين الظاهري للمنطقة المكتسحة
F_{deep}	معامل التكوين الظاهري العميق
F_{D-N}	معامل التكوين الحقيقي
F_s	معامل التكوين المحسوب في تسجيل السرعة
$F_1 \text{ cps}$	عد / ثا لجهاز الالتقاط البعيد
h	سمك الطبقة (المنطقة) أو ارتفاع السائل في
	الأنبوب الشعري
H	المسافة السمكية (سمك العمود الهيدروكربوني)
H_w	دليل هيدروجين الماء
H_g	دليل هيدروجين الغاز

H_o	دليل هيدروجين النفط
$i(I)$	مقدار التيار
I	دليل المقاومة النوعية
I_G	دليل اشعة كاما
I_t	شدة (كثافة) النيوترونات في اي زمن
I_o	شدة (كثافة) النيوترونات بعد زمن الصفر
$L(di)$	عامل هندسي ظاهري
k_1, k_2	ثوابت في معادلة (SP)
K	ثابت رئيسي في معادلة (SP)
$K(k)$	نفاذية المكنم او الطبقة
K	10^3
K	ثابت الجهاز
L	طول النموذج
L_o	الطول الفعال للنموذج
$L_{p.u.}$	وحدات مسامية كلسية
$m(M)$	عامل التسميت (اس المسامية)
m_b	اس المسامية الاولية (الحشوية)
mv	ملفولت
M	قطب الجهد المتحرك
M, N	متغيرات لتحديد الصفات اللثولوجية
$Mev.$	مليون الكترون فولت
$M_1 M_2$	اقطاب الجهد
N	قطب الجهد الثابت
N	حجم الهيدروكربون
$n(N)$	اس التشيع
n^*	اس التشيع لنموذج رملي طفلي
n	عدد الانابيب الشعرية (او تكافؤ)
N_{cps}	عد / ثا لجهاز الالتقاط القريب
N	عدد (كثافة) النيوترونات في اي زمن بعد الاطلاق
N_o	عدد (كثافة) النيوترونات بعد زمن الصفر
p	ضغط مكمني
p_C	ضغط شعري

ppm	وحدة تركيز (جزء / مليون جزء)
p_{mI}	تركيز الاملاح في راسح الطين $10^{-6}X$
p_e	مقطع من امتصاص المادة لأشعة كاما
pH	قاعدية المحلول
Q_I	سرعة الجريان الحجمية
Q_v	التركيز الحجمي للأيونات الموجبة
R	المقاومة النوعية
r	المقاومة
R_{xo}	المقاومة النوعية للمنطقة المكتسحة
R_j	المقاومة النوعية للمنطقة المغروية
R_t	المقاومة النوعية الحقيقية للتكوين
R_o	المقاومة النوعية لنموذج صخري مشبع بالماء
R_w	المقاومة النوعية للماء
R_{wa}	المقاومة النوعية الظاهرية للماء
R_{mf}	المقاومة النوعية لراسح الطين
R_{mfa}	المقاومة النوعية الظاهرية لراسح الطين
R_z	المقاومة النوعية للماء المتزجج
R_a	المقاومة النوعية الظاهرية للتكوين
R_s	المقاومة النوعية للطبقة المجاورة
R_m	المقاومة النوعية للطين
R_{mc}	المقاومة النوعية للقشرة الطينية
R_{mfe}	المقاومة النوعية لراسح الطين المكافئة
R_{we}	المقاومة النوعية للماء المكافئة
R_{wF}	المقاومة النوعية للماء الحر
K_{wB}	المقاومة النوعية للماء غير الحر
R_{max}	المقاومة النوعية القصوى
R_{min}	المقاومة النوعية الدنيا
R_{ixi}	المقاومة النوعية الدقيقة الضحلة
R_2''	المقاومة النوعية الدقيقة العميقة
$R_{sh} (R_{cl})$	المقاومة النوعية للطفل
R_{fa}	المقاومة النوعية الظاهرية للمائع
R	ثابت في معادلة (SP) يساوي (8.31) Joule
S	نسبة الغاز المذاب في النفط

S_v	السطح النوعي لوحدة حجم من الذرة
S_w	درجة التشبع بالماء
S_{wi}	ادنى درجة للتشبع بالماء
S_{xo}	درجة التشبع بالماء في المنطقة المكتسحة
S_{xi}	درجة التشبع بالماء في المنطقة المغزوة
S_o	درجة التشبع بالنفط
$S_{wavg.}$	معدل درجة التشبع بالماء
Sh	درجة التشبع بالهيدروكربون
$S_{or} (ROS)$	درجة التشبع بالنفط المتبقي
S_g	درجة التشبع بالغاز
S_e	درجة التشبع بالسائل
S_{WT}	درجة التشبع بالماء الكلية
S_{WB}	درجة التشبع بالماء غير الحر
S_{WF}	درجة التشبع بالماء الحر
S_{wa}	درجة التشبع بالماء الظاهرية
S_{pu}	وحدات مسامية رملية
T_o	معدل درجة الحرارة السطحية
$T_r (FT)$	درجة حرارة التكوين
T_{BH}	درجة حرارة قاع البئر
T_s	درجة الحرارة السطحية
$T_{Grad.}$	التدرج الحراري
t_{mo}	سمك القشرة الطينية
t	معامل التمعج
t	زمن انتقال الموجة خلال التكوين
t_f	زمن انتقال الموجة خلال المائع
t_{me}	زمن انتقال الموجة خلال الحشو
$t_{log} (\Delta t_{log})$	زمن انتقال الموجة من تسجيل السرعة
$t_{avg.}$	معدل زمن انتقال الموجة
t_p	زمن انتقال الموجة الكهرومغناطيسية خلال السائل
t_{pma}	زمن انتقال الموجة الكهرومغناطيسية خلال الحشو
t_{pmf}	زمن انتقال الموجة الكهرومغناطيسية خلال راسح الطين
t_{sn}	زمن انتقال الموجة خلال الطفل
$T_{int.}$	زمن تلاشي النيوترونات الحقيقي

$T_{\text{meas.}}$	زمن تلاشي النيوترونات المقاس
T_{log}	زمن تلاشي النيوترونات المسجل بواسطة (TDT)
$T_{\text{sec.}}$	زمن تلاشي النيوترونات (ميكرو ثا)
Σ_{abs}	مقطع امتصاص المادة للنيوترونات
Σ_{app}	مقطع امتصاص المادة للنيوترونات الظاهري
$(\Sigma_{\text{meas}}) \Sigma_{\text{log}}$	مقطع امتصاص المادة للنيوترونات المسجل بواسطة (TDT)
Σ_{c}	مقطع امتصاص المادة للنيوترونات الصحيح
Σ_{w}	مقطع امتصاص الماء للنيوترونات
$\Sigma_{\text{o}}(\Sigma_{\text{h}})$	مقطع امتصاص النفط للنيوترونات
Σ_{g}	مقطع امتصاص الغاز للنيوترونات
Σ_{ma}	مقطع امتصاص الحشو للنيوترونات
$\Sigma_{0.0}$	مقطع الامتصاص عند درجة التوصيل المساوية صفراً
Σ_{50}	قيمة (Σ) عند المسامية (50%)
	كثافة
ρ_{b}	الكثافة الكلية المسجلة للتكوين
ρ_{f}	كثافة المائع
ρ_{h}	كثافة الهيدروكربون
ρ_{g}	كثافة الغاز
ρ_{me}	كثافة الحشو
ρ_{maa}	كثافة الحشو الظاهرية
ρ_{w}	كثافة الماء
$\Delta \delta$	فرق الكثافة
ρ_{fa}	كثافة المائع الظاهرية
ρ_{a}	الكثافة الظاهرية
ρ_{mf}	كثافة راسح الطين
ρ_{e}	كثافة الالكترونات
ϕ_{a}	المسامية الظاهرية
ϕ_{c}	المسامية المصححة
ϕ_{cp}	المسامية التقريبية من مخططات بيانية
ϕ_{o}	المسامية عند السطح (الاصلية)
ϕ_{N}	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون
ϕ_{D}	المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة
ϕ_{ND}	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون والكثافة

ϕ_{NC}	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون المصححة
ϕ_{DC}	المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة المصححة
ϕ_b	المسامية الحشوية (مسامات الحشو)
ϕ_{R_t}	المسامية المحسوبة من المقاومة
ϕ_t	المسامية الكلية (او الحقيقية)
ϕ_{ta}	المسامية الكلية الظاهرية
ϕ_{max}	المسامية القصوى الفعالة
ϕ_e	المسامية الفعالة
ϕ_{avg}	معدل المسامية
ϕ_s	المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة
ϕ_{sc}	المسامية المحسوبة من تسجيل السرعة المصححة
ϕ_1	المسامية الاولى
ϕ_2	المسامية الثانية
ϕ_{pns}	المسامية الظاهرية المحسوبة من (TDT)
ϕ_{SNP}	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون (SNP)
ϕ_{CNL}	المسامية المحسوبة من تسجيل (CNL)
ϕ_{DS}	المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة بوحدات مسامية رملية
ϕ_{CNL_s}	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون (CNL)
ϕ_{CNL_C}	بوحدات مسامية رملية
ϕ_{SNP_c}	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون
ϕ_{Dsh}	المسامية المحسوبة من تسجيل الكثافة امام الطفل
$\phi_{CNL_{sh}}$	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون
$\phi_{N_{sh}} (O_{NCl})$	نوع (CNL) المصححة
$\phi_{N_{mf}}$	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون امام الطفل
ϕ_{Nh}	استجابة تسجيل النيوترون لراشح الطين
ϕ_{Nex}	استجابة تسجيل النيوترون للهيدروكربون
ϕ_{Nme}	تأثير الغاز على تسجيل النيوترون
ϕ_x	استجابة تسجيل النيوترون للحشو
ϕ_{EPT}	مسامية الجزء النقي من التكوين
γ	المسامية المحسوبة بواسطة جهاز (EPT)
	الشدة السطحي

γg	الوزن النوعي للغاز
α	عامل تقليل انحراف (Sp)
θ	زاوية التماس
η	التردد
Δ	الفرق
$\eta_{cec.}$	ميكروثا
Ω	اوم
$\frac{\Omega m^2}{m} (\Omega m)$	اوم - متر
λ	طول الموجة الصوتية
U_{maa}	مقطع الامتصاص الحجمي للمادة الظاهرية
$U_1, U_2, U_3 --$	مقاطع الامتصاص الحجمية للمادة
u	سرعة انتقال الايونات الموجبة
V_m	سرعة انتقال الموجة خلال الحشو
V_f	سرعة انتقال الموجة خلال المائع
V_s	حجم الماء الموجود داخل المسامات الثانوية
V_t	الحجم الكلي للماء المضخ
V_t	سرعة انتقال الموجة خلال التكوين
$V_{sh} (V_{cl.})$	النسبة الحجمية للطفل
v	سرعة انتقال الايونات السالبة
v	فرق الجهد
v	سرعة النيوترونات
V	حجم الهيدروكربون
V_o	حجم المكمن الكلي للنفط
V	نسبة المسامات الكلية المشغولة بالشقوق
W	عرض الشق

المختصرات

GR Gamma ray	اشعة كاما
GR _{sh} (GR _{cl}) shala gamma ray	تسجيل اشعة كاما امام الطفل
GR _{max} maximum gamma ray	اقصى قراءة لاشعة كاما
GR _{min} minimum gamma ray	ادنى قراءة لاشعة كاما
GR _{clear} gamma rag clean	تسجيل اشعة كاما امام طبقات نقية
GR FACT gamma rag factor	عامل اشعة كاما
SP Self potential	تسجيل الجهد التلقائي
SSP static SP	تسجيل الجهد التلقائي الاستاتيكي
PSP Pseudo-SP	تسجيل الجهد التلقائي غير الحقيقي امام طبقة رملية طفلية سميكة
IES I nduction electic suivey	تسجيل الحث مع المسح الكهربائي
ES (S.N , L.N , lat. + SP) Electie saivey	تسجيل المسح الكهربائي
Conventional oesistioitlog	(المقاومة النوعية المألوفة)
IND Induction	تسجيل الحث
ISF Induction spheically	تسجيل الحث مع تسجيل المقاومة الموجهة كرويا
IL _d Induction logdeep focused	تسجيل الحث العميق
IL _m Induction log medium	تسجيل الحث المتوسط العمق
IL8 Laterolog-8	تسجيل المقاومة الموجهة الضحلة
	تسجيل الحث العميق ومتوسط العمق وتسجيل المقاومة الموجهة الضحلة
DIL Dual induction latero log	
IL7 Latero log-7	تسجيل المقاومة الموجهة العميقة نوع (LL7)
IL3 Latero log-3	تسجيل المقاومة الموجهة العميقة نوع (IL3)
DLL Dual Latero log	تسجيل المقاومة الموجهة العميقة والضحلة
LLd Latero log deep	تسجيل المقاومة الموجهة العميقة
LL _s Latr log shallow	تسجيل المقاومة الموجهة الضحلة
SPL Spherically focused log	تسجيل المقاومة الموجهة كرويا
	تسجيل المقاومة الموجهة كرويا الدقيقة
MSPI. Micros pherically focused log	
S.N. short normal	تسجيل المقاومة النوعية المألوفة الضحلة
L.N. Long normal	تسجيل المقاومة النوعية المألوفة منوسطة العمق

Lat. Lateral	تسجيل المقاومة النوعية المألوفة العميقة
FDC Gamma ray density compensated	تسجيل الكثافة (المصححة لتأثير البئر)
GNT Gamma ray neutron thermalized (GNT)	تسجيل النيوترون نوع
SNP Sidewall neu tron porosity (SNP)	تسجيل النيوترون نوع
CNL Compensated neutron log (CNL)	تسجيل النيوترون نوع
SON Sonic log	تسجيل السرعة
ATV Acoustic televiwer	جهاز تسجيل صورة فوتغرافية للشق
BHC Borehole compensated	جهاز تسجيل الصورة او السرعة (المصححة لتأثير البئر)
TDT thermal decay dime log	تسجيل زمن تلاشي النيوترونات
CBL Cement-bond log	تسجيل درجة تماسك الاسمنت
VDL Variable density log	تسجيل اختلاف الكثافة
FIL Fracture idenlification log	تسجيل الشق
ML micro-log	تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة
MLL micro-laterolog	تسجيل المقاومة النوعية الموجهة الدقيقة
Cal Caliperlog	تسجيل قطر البئر
PL proximity log	تسجيل المقاومة الموجهة الدقيقة العميقة
NGS Nataral gamma spectroscopy	تسجيل التحليل الطبيعي لاشعة كاما
EPT Electromagnetic: propagation tool	تسجيل انتقال الموجات الكهرومغناطيسية
LDT hillo-deusity tool	تسجيل اللثولوجي والكثافة
Q.L quick looke	طرق سريعة
CPI Computer processed interpret	تسجيل التحليل بواسطة الكومبيوتر
CORIBAND Complex reserupir	اسم برنامج خاص بتحليل المكامن المعقدة
SARBAND Sandstone inerpreti	اسم برنامج خاص بتحليل المكامن الرملية
reseruoir analysis hy neutron density	الطفلة
RHO MF density mud filtrate	كثافة راسح الطين
RHO-MA ρ . matrix	كثافة الحشو
ROMAMIN minimum matrix density	ادنى قيمة لكثافة الحشو

PHI-N-S porosity from neutron-Sonic	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون والسرعة
PHI-N-D porosity from neutron-density	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون والكثافة
PHI DS porosity from density in spu.	مسامية رملية
PHI NS porosity from neuton in spu.	المسامية المحسوبة من تسجيل النيوترون بوحدات مسامية رملية
PHI E effectiue porosity	المسامية الفعالة
PDC-4100	نوع جهاز الميكرو كومبيوتر
P.I. productivity index	دليل الانتاجية
R.I. resistivity index	دليل المقاومة النوعية
G.G. (T _{Gred.}) goothermal gradient	التدرج الحراري
T.D. total doph	العمق الكلي للبئر
BHT bottom-hole temperature	درجة حرارة قاع البئر
T _{Rmf} tenyerature of mud filtrate resistivity	درجة الحرارة عند قياس المقاومة النوعية لراشح الطين
TFORM formation teuperature	درجة حرارة التكوين
SPI Scondary porosity index	دليل المسامية الثانوية
MID matrix identification	مخطط بياني لتحديد نوع الحشو (التركيب المعدني)
OWC oil-water contact	تماس النفط مع الماء
GOC gas-oil contact	تماس الغاز مع النفط
GWC gas-water contact	تماس الغاز مع الماء
HC-F _t hydro carbon feet	عدد الاقدام من الهيدروكربون
POR-F _t porosity feet	عدد الاقدام من المسامية
dol. dolomite	دولومايت
s.s. sandstone	رملي
l. _s limestone	كلسي
m.s.l. mean sea level	معدل مستوى سطح البحر
MINV micro inveose (1'X1')	تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة
MNOR micro normal (2'')	تسجيل المقاومة النوعية الدقيقة

الفصل الاول والثاني

- 1- Archie, G.E.- The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, JPT, Jan. 1942.
2. Tixier, M.P. —“Evolution of permeability from electric log resistivity gradients O and G J. June 1949.
3. Wyllie, M.R.J. and rose W.D. “Some theoretical considerations related to the quantitative evaluation of the physical characteristics of reservoir rock from electric log data”, JPT, Vol. 189. 1950.
- 4- Archie, G.E.—, Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical considerations' AAPG. Feb. 1952.
- 5- Terry, R.D., and Chilingar, G.V.- Visual estimation of porcentage composition JSP, 1955
- 6- Hili, J.H. and Milburn, J.D. Effect of clay and water solinity on electrochemical behavior of reservoir rocks, JPT, March, 1956.
- 7- Classification of carbonate rocks-symposium pub. by AAPG, memoir (1) 1962.
- 8- Pirson, S.J. Handbook of well log analysis, 1963.
- 9- Robinson, R.B., Classification of reservoir rocks by surface texture, AAPG. Mar. 1966.
- 10- Harris, J.F, Carbonate rock charactersistics and effect on oil accumulation in mid-continent area.
AAP G” Sept., 1968.

- 11- Schlumberger-log interpretation principles, vol. I 1972.
— log interpretation charts, 1979.
- 12- Magara K. Water expulsion from clastic sediments during compaction, AAPG, 1976.
- 13- Hilchie, D.W. - Applied openhole log interpretation 1978.
- 14- Gromez, R.O.,— A practical method for determining cementation exponents and some other parameters, Log analyst, Sept. 1976.
- 15- Gomez., R.O.— Simplifying log evaluation in complex reservoirs' World Oil, Aug. 1978.
- 16- Roekmann, A. and Friedman, G.M.-' exploration for carbonate petroleum reservoirs' 1982.
- 17- Garb, F.A.- Oil and gas reserves, classification, estimation and evaluation. JPT. 1985
- 18- Core sample resistivity measurement apparatus-Core-laboratory, U.S.A.

الفصل الثالث

1. Mounce, W.D. and Rust W.M.J.- 'Natural potentials in well logging'
Trans. AIME vol. 155, 1944
2. Doll, H.G.- 'The SP log: Theoretical analysis and principles of interpretation' Trans. AIME vol. 179, 1948.
3. Wyllie, M.R.J.- 'A quantitative analysis of the electrochemical component of SP curve' JPT, vol.1, 1949.
- 4- Doll, H.G.- 'The SP log in shaly sands' Trans. AIME vol. 189, 1950.
5. Wyllie, M.R.J.- 'An investigation of the electro-kinetic component of self potential curve' Trans. AIME vol . 192, 1951.

- 11- Schlumberger-log interpretation principles, vol. I 1972.
— log interpretation charts, 1979.
- 12- Magara K. Water expulsion from clastic sediments during compaction, AAPG, 1976.
- 13- Hilchie, D.W. - Applied openhole log interpretation 1978.
- 14- Gromez, R.O.,— A practical method for determining cementation exponents and some other parameters, Log analyst, Sept. 1976.
- 15- Gomez., R.O.— Simplifying log evaluation in complex reservoirs' World Oil, Aug. 1978.
- 16- Roeckmann, A. and Friedman, G.M.-' exploration for carbonate petroleum reservoirs' 1982.
- 17- Garb, F.A.- Oil and gas reserves, classification, estimation and evaluation. JPT. 1985
- 18- Core sample resistivity measurement apparatus-Core-laboratory, U.S.A.

الفصل الثالث

1. Mounce, W.D. and Rust W.M.J.- 'Natural potentials in well logging'
Trans. AIME vol. 155, 1944
2. Doll, H.G.- 'The SP log: Theoretical analysis and principles of interpretation' Trans. AIME vol. 179, 1948.
3. Wyllie, M.R.J.- 'A quantitative analysis of the electrochemical component of SP curve' JPT, vol.1, 1949.
- 4- Doll, H.G.- 'The SP log in shaly sands' Trans. AIME vol. 189, 1950.
5. Wyllie, M.R.J.- 'An investigation of the electro-kinetic component of self potential curve' Trans. AIME vol . 192, 1951.

6. Gondouin, M. and seala C.- 'Streaming potential and the SP log' JPT Aug. 1958.
7. Wyllie, M.R.J, de Witte A.J. and Warren, J.E.-' On the streaming potential problem Trans. AIME vol, 213, 1958.
8. Hiil, H.J. and Anderson, A.E, -- 'Streaming potential phenomena in S log interpretation' Trans" AIME vol. 216, 1959.
9. Segesman, F. and Tixier, M.P-- 'Some effects of invasion on SP curve', JPT, June, 1959.
10. Gondouin, M. Hill, H.J., and Waxman, M.H,
-- 'An electro-chemical component of the Sp curve', JPT, Mar. 1962.
11. Pied, B. and Poupon, A.-- 'SP base line shifts in Algeria' Spwla symp. may, 1966.
12. Schlumberger — Log interpretation principles vol. I
- Log interpretation charfs-1979

الفصل الرابع

1. Schlumberger, G. and M. and leonardon, E.G.-- 'Some observations concerning electrical measurements in anisotropic media and their interpretation' Electrical coring— a method of determining bottom hole data by electrical measurements 'Trans. AIME, 1934.
2. Pirson , S.J., 'Handbook of well log analysis' 1963.
3. Doll, H.G-- 'The microlog' Trans . AIME Vol. 189, 1950
4. Doll, H.G.-- 'The microlaterolog', JPT, jan. 1953.
5. Doll, H.G. and martin, M-- 'suggestions for better electric log combinations and improved interpretations geophy Aug 1960.
6. Pirson, S.J.-- 'Handbook of well log analysis' 1963.
7. Schlumberger-- 'Log interpretation principles ' vol (I) 1972. °

1. Doll, H.G.-- 'Introduction to Induction logging' JPT, June, 1949.
2. Dumanoir, J.L., Tixier, M.P. and martin, M. 'Interpretation of the Induction-- Electrical log in fresh mud', JPT, july 1957.
3. Moran, J.H. and kunz, K.S.-- 'Basic theory of Induction logging' gwophy. Dec. 1962
4. Schlumberger, well surveying corporation 'Induction log correction chart' 1962.
5. Tixier, M.P., Alger, R.P., Biggs, W.P. and Carpenter, B.N-- 'Combined logs pinpoint reservoir resistivity' Pet, Eng., Mar. 1965.
6. Blakeman, E.R.— 'A method of analyzing electrical logs recorded on an logarithmic scale' JPT, Aug. 1962.
7. Hilchie, D.W.— Applied open-hole log interpretation, 1979
8. Schlumberger — log interpretation principles — 1972 log interpretation chorts — 1979

1. Doll, H.G. — 'The Laterolog', JPT, Nov. 1951.
2. The dual Latorolog 'Schlumberger 1970.
3. Suou, J.et at — 'The dual Laterolog — R_{xo} ' SPE paper No. 4018, 1972.
4. Wood houso, R. — 'The Laterolog Groningen phantom can cost money' SPWLA symp. 1978.
5. Schlum berger — log interpretation principles — 1972 — log interpretation chorts — 1979

الفصل السابع

- 1- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R. and Gardener, G.H.F. --, Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media' geophy. Jan. 1956.
- 2- Whillie, M.R.J., Gregory, A.R. and Gardener, G.H. --' An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media' geophy. July, 1958.
- 3- Tixier, M.P., Alger, R.P. and Doh, C.A.--' Sonic logging' JPT, May, 1959.
- 4- Pickett, G.R. --' Acoustic character logs and their applications in formation evaluation, JPT, June, 1963.
- 5- Pirson S.J.-' Hand book of well log analysis'-1963.
- 6- Morris, R.L. Grine, D.R. and Arkfeld, T.E.--' Using compressional and shear acoustic amplitudes for location of fractures', JPT, June 1964.
- 7- Schlumberger-Log Interpretation principles-1972.
- 8- Hilchine, D.W. --, Applied openhole log interpretation'-- 1978.
- 9- Raymer, L.L. and Hunt, E.R. and Gardner, J.S.--' An improved sonic transit time to porosity transform' SPWLA symp. July 1980.

الفصل الثامن

1. Alger, R.P., Raymer, L.L., Hoyle, W.R. and Tixier, M.P.' Formation density log applications in liquid filled holes' JPT, Mar. 1963.
2. Wahl, J.S., Tittman, J, and Johnstone, C.W.--' The dual spacing formation density log' JPT, Dec. 1964.
3. Tittman, J, and Waho, J.S.--' The physical foundations of formation density logging, geophy, Apr. 1965.

4. Caymord, R. and Poupon, A. --, R esponse of Neutron and Formation Density logs in hydrocarbon bearing formations', The log analyst. Sept. 1968.
5. Schlumberger-log, interpretation pirciples-1972
6. Hilchie, D.W.--' Applied openhole log interpretation 1978.

الفصل التاسع

1. Tittle, C.W.--' Theory of neutron logging' geophy, 1961.
2. Pirson,S.J.- Haadbook of well log analysis'-1963
3. Tittman, J. Sherman, H., Nagel, W.A., and Alger, R.P.--' The sidewall epithermal neutron porosity log, JPT, Oct., 1966
4. Alger, R.P., Locke, S.Nagel, W.A. and Sherman, H.--, The dual spacing N log-CNL', SPE paper No. 3565.
- 5 Gaymord, R. and Poupon A. --, Response of Neutron and Formation density logs in hydrocarbon bearing formations, Log analyst, Sept, 1968.
6. Poupon A. Clavier, C. Dumanoir, J., Gaymard, R. and Misk. A.--' Log anaiysis of sand-shale sequences-A Systamatic approach', JPT, July, 1971.
7. Schlumberger-Log interphetation ninciples-1972.

الفصل العاشر

1. Youmens, A.H., Hopkinson, E.C., Bergan, R.AZ and Oshry, H.L.--, Neutron liferime a new nuclear log', JPT, Mar. 1964.
2. Allen, L.S., Mills, W.R. and Caldwell, R.L.-- 'The effects of fluid invasions in pulsed neutron logging' geophy, June, 1965.
3. Hilohie, D.W., Mills, W.R. Dennis, C.I., and Givens, W.N.--, Some aspects of pulsed neutron logging, SPWLA symp., June, 1968.

4. Wahl, J.S., Nelligan, W.B., Frentrop, A.H. Johnstone, C.W. and Schwartz, R.J.--, 'The thermal neutron decay time log' Soc. Pet. Eng. Dec. 1970.
5. Clavier, C.Hoyle, W. and Meunier, D.--'Quantitative Interpretation of thermal decay time logs', JPT, June, 1971.
6. Schlumberger-log interpretation principles'-1972.
7. Dewan, J.T., Johnstone, C.W., Jacobson, L.A., Wall, W.B. and Alger, R.P.--' Thermal neutron decay time logging using dual detection' log analyst, Sept. 1973.
8. Schlumberger-log interpretation vol. II - applications-1974.
9. Well evaluation conference-Arabia-1975.
10. Schlumberger-log interpretation clasts-1984.

الفصل الحادي عشر

1. Pardue, G.H, Morris, R.L. and Gollwitzer, L.H.--' cement bond log interpretation of cement and casing variables', JPT, May, 1963.
2. Morris, R.L., Grine, D.R. and Arkfeld, T.E, --' Use of compressional and shear acoustic amplitudes for location of fractures', JPT, June, 1964.
3. Brown, H.D., Grijalva, V.E. and Raymer, L.L., New developments in sonic wave
4. Schlumberger-'Well evaluation conference Iran'-1976

الفصل الثاني عشر

1. Archie, G.E. -- ' The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics' JPT, 1942.

2. Doll, H.G. and Martin, M.-- ' How to use electric log data to determine maximum producible oil index in a formation 'O. and DG.J. July, 1954.
3. Tixier, M.P.--' Electric log analysis in Rooky Mountains 'D. and G.J. June, 1949.
4. Tixier, M.P.--' Porosity balance verifies water saturation determined from logs' JPT, July , 1958.
5. Raymer, L.L. and Bggs, W.P.--' Matrix characteristics defined by porosity computations' SPWLA symps 1963.
6. Lindley, R.H.--' The use of differential sonic-resisti- Vity plots to find movable oil,' JPT, Aug. 1961.
7. Baird, D.E.--' Evaluation of Middle East reservoirs with complex lithology' SPWLA symp, 1968.
8. Schlumberger-Well evaluation conference, Middle East, Nov, 1967.
9. Burke, J.A, and Campbell, R.L. and Schmidt, A.W.--' The Litho-porosity crossplot 'SPWLA, Dec. 1969.
10. Poupon, A Hoyle, W.R. and Schmidt, A.W.--' Log analysisin formations with complex Lithologies 'JPT, Aug. 1971.
11. Schlumberger--' The essentials fo log interpretation practice' 1972.
12. Schlumberger--Well evaluation conference North Sea, 1974.
13. Schlumberger-Log interpretation, vol. (II) Applications-1974.
14. Gardner, J.S. and Dumanoir, J.L.--' Litho -density log interpretotion' SPWLA, symp. 1980.
15. Hilchie, D.W.-Applied openhole log interpretation 1978.
16. Samuel Glasstone-Sourcebook on atomic energy. 1958

1. Doll, H.G.- 'The SP log in shaly sands' Trans, AIME vol, 189 1950.
2. Poupon, A., Hcy, M.E, and Tixier, M.P.- 'A contribution to electrical log interpretation in shaly sands', JPT, June, 1954.
3. Simandoux, P.- 'Electric measurements in porous media and applications to shaly formations' Institute Francais due Petrole. 1963.
4. Waxman, M.H. and Smits, L.J.M.- 'Electrical conductivities in oil bearing shaly sands' Soc. Pet. Eng. June, 1968.
- 5 Schlumberger- 'Log interpretation principles' -1969
6. Poupon, A. and Gaymard R,- 'The evaluation of clay content from logs' SPWLA symp, 1970.
7. Schlumberger- 'Log interpretation- Vol. I. -principles' 1972
8. Poupon, A, and hevaux, I.- 'Evaluation of water Saturation in shaly formations' SPWL A, 1971
9. de Witteih. Relation between resistivities and fluid contents of porous rocks' Oand G, J, 1950
10. Poupon, A., Clavier, C. Dumanoir, J, Gaymard, R. and Misk, A.-- 'Log analysis of sand-shale sequences -A systematic approach', JPT, July 1970.
11. Waxman, M.H. and Thomas, E.C.- 'Electrical conductivities in shaly sands -The relation between hydrocarbon saturation and resistivity index' JPT, Feb. 1974.
12. Schlumberger -Log interpretation- applications vol. II. 1974
13. Clavier, C., Coates, G. and Dumanoir j.- 'The Theoretical and experimental bases for the' Dual water 'Model for interpretation of shaly sands' SPE, 1977

14. Serra, O. Baldwin, J. and Quirein, J.- 'Theory, interpretation and practical applications of natural gamma ray spectroscopy' SPWLA, symp. 1980.

الفصل الرابع عشر

1. Eaton, F. M1/2 and Decker, G.J.- 'Digital transmission of well logs by radio and telephone' JPT, Feb., 1966.
2. Burke, J.A., Curtis, M.R. and Cox, J.T.- 'Computer processing of log data enables better production in Chaveroo field', JPT, July, 1967.
3. Ratliff, J.R., Williams, F.G., Throop, With and Hall, J.D.- 'Application of SARABAND sand-shale, technique in N. America', SPWLA Symp. 1971.
4. Schmidt, A.W., Hand, A.G., Yumker, J.D. and Kilgore, E.C.- 'Applications of the CORIBAND Technique in complex lithologies' SPWIA sump. 1971.
5. Schlumberger.' Well evaluation conference, Nigeria, 1974.
6. Schlumberger --' Log interpretation, vol, II Applications' 1974.
7. Schlumberger --' Well evaluation conference, Arabia' 1975.

الفصل الخامس عشر

1. Plrson, S.J.--' handbook of well log analysis' 1963.
2. Aguilera, R.--' analysis of naturally fractured reservoirs from conventional well logs' JPT, July, 1976.
3. G.omez,R O.—' F- ϕ -m cross plot-a new approach for detecting netural fractures in complex reservoir rock by well log analysis', SPWLA, 1978.
4. Aguilera, R.--' The uncertainty of evaluating original oil in place in naturally fractured reservoirs' SPWLA symp. 1978.

5. John N.S.--' A practical method of well evaluation and acreage development for the naturally fractured Austin chalk formation' SPWLA, symp., June, 1979.
6. Suau, J.Gartner, J.--' fracture detection from well logs' Log analyst, 1980.
7. Paillet, F.L.--' Acoustic propagation in the vicinity of fractures which intersect a fluid-filled borehole' / SPWLA, symp, 1980.

Substance	Chemical Composition	Resistivity ohm-m	Travel Time		Density		Log Density gm/cc.	Neutron App. Ls. Por. %	Gamma Ray API U.	Σma () *
			microsec./ft. avg.	range	gm/cc. avg.	range				
COMMON ROCK										
Anhydrite	CaSO_4	$10^4 - 10^{10}$	50		2.96	2.9-3.	2.98	0	0-30	12 (18-21)
Dolomite	$\text{CaMg} \cdot 2\text{CO}_3$	10^8	43.5		2.86	2.8-3.0	2.87	1-3	5-20	4.7 (8-12)
Halite	NaCl	$10^4 - 10^{14}$	67		2.16		2.03	-2	0	760
Limestone	CaCO_3	$10^7 - 10^{12}$	47.5		2.71		2.71	0	0-5	7.5 (8-12)
Sandstone	SiO_2	$10^{12} - 10^{17}$	55.5	47-55	2.65	2.65-2.7	2.65	-2	10-30	4.3 (8-12)
Shale	clays +	.3-100		70-150		2.2-2.8		25-75	80-140	20-50
OTHER SOLIDS										
Aluminum	Al	3×10^{-8}	49 61(1)		2.70		2.60			14
Aragonite	CaSO_4		53		2.94		2.95			8
Barite	BaSO_4		77		4.45	4.3-4.6	4.05			19
Basalt	Al+Fe+ ? + SiO_3	$10^3 - 10^5$	53	50-58		2.8-3.0			15-30	5
Bauxite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$10^2 - 10^6$			2.55					
Biotite	$\text{H}_2\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})$	$10^{14} - 10^{15}$	60	60-80	2.9	2.6-3.0	2.85			25
Calcite	$\text{Al}(\text{SiO}_4)_3$ CaCO_3	$10^7 - 10^{12}$	47.5		2.71		2.71			7.5 (8-10)
Carnallite	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		78		1.61		1.57		200	370

جداول المصنفات الفيزيائية والكيميائية لبعض الصخور والمعادن

Substance	Chemical Composition	Resistivity ohm-in	Travel Time		Density		Log Density gm/cc	Neutron App. ls. Por. %	Gamma Ray API U.	Σ ma
			avg. microsec./ft.	range	avg. gm/cc	range				
Cement	CaCO_3		95	83-95	1.99	2.-2.5	2.71		10-30	13-17
Chalk			47.5		2.71		2.71			7.5 (8-10)
Chert	SiO_2	10^6	55.5		2.65	2.6-2.7	2.65			(8-12)
Chlorite	$(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_{12}(\text{Si}, \text{Al})_8$		62		2.74	2.6-3.2	2.77			18
Cinnabar	HgS	10^6-10^{10}			8.1	8.-8.2	6.99			
Coal (Anthr)	C	$10^{-4}-10^{-2}$	105	90-120		1.4-1.8	1.4-	>50		1
Coal (Bitu)	C	$10-10^6$	120	110-140		1.3-1.5	1.3-	>50		1.5
Copper	Cu	2×10^{-8}	60		8.9		8.5			320
Dawsonite	$\text{NaAl}(\text{OH})_2\text{CO}_3$				2.35-2.42					
Diabase		10^3-10^4	44.5	44-46		2.8-3.2	2.78-3.15			17
Dunite			38	35-41	3.28		3.31			17
Feldspar (Ortho)	KAlSi_3O_8	10^8		53-82	2.57	2.5-2.6	2.54			16
Feldspar (plag.)	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	10^8		46-53	2.69	2.6-2.8	2.65			7
Gabbro	$\text{NaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	10^3-10^5	42.4	42-48	2.98	2.8-3.1	2.96			
Galena	Pbs	$10^{-2}-10^{-5}$			7.5		6.38			

Substance	Chemical Composition	Resistivity ohm-m	Travel Time		Density		Log Density gm/cc	Neutron App. Ls. For. %	Gamma Ray API U.	Σma
			avg.	range	avg.	range				
Glauconite	$KMg(FeAl)(SiO_3)3H_2O$	10^2-10^4	45		2.2-2.9		2.8			17
Gneiss	$AlFe^{++}+SiO_3$	10^3-10^6	51		2.6-3.0					5
Granite		10^3-10^6	53		2.5-3.0		2.47-3.0	49		11
Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	10^6	53		2.3-2.4		2.35			19
Hematite	Fe_2O_3	$10^{-3}-10^6$	43		5.26	4.2-5.3	5.2			100
Illite	$KAlSi_7O_{20}(OH)_4$	10^{11}			2.7-2.9		2.64-2.89		100	40
Iron	Fe	10^{-7}	57(1)		7.87		7.71			215
Kainite	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$				2.16		2.19	45	225	
Kaolinite	$(OH)_8Al_4Si_4O_{10}$	10^{11}		77-210	2.64	2.4-2.7	2.69			13
Kernite	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$				1.91		1.87			13000
Langbeinite	$K_2Mg_2(SO_4)_3$		52		2.83		2.82	0	275	
Lead	Pb	2×10^{-8}	140		11.34		9.4			6
Lignite	C	10^2-10^6		140-170	1.1	.7-1.5	1.1	>50		

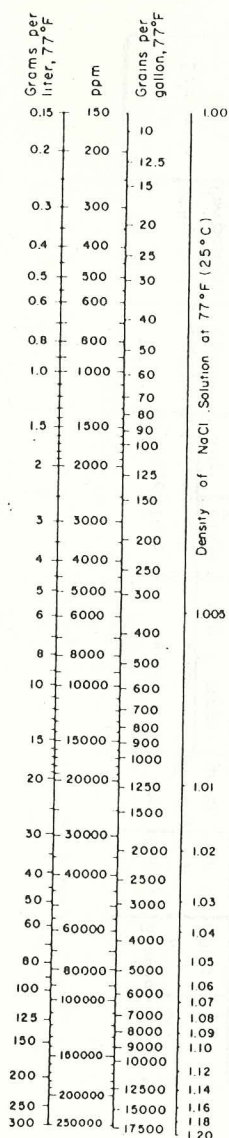
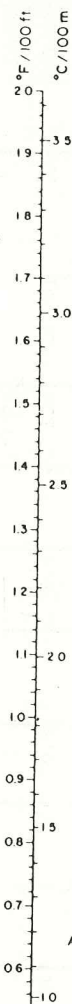
Substance	Chemical Composition	Resistivity ohm-m	Travel Time		Density		Log Density gm/cc	Neutron Appx. Ls. Por. %	Gamma Ray API U.	Σma
			microsec. avg.	range	gm/cc avg.	range				
Lucite			115		1.2					
Magnetite	Fe_3O_4	10^{-2} - 10^{-4}	39		5.17	5.-5.4	5.09			100
Mica	$\text{KMg}(\text{OH})_2$	10^8 - 10^{12}	64			2.7-3.2	3.14	300NLT	60-70	
	$\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$									
Montmorillonite	$(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\text{H}_2\text{O}$	10^{11}			2.35	2.-2.5	2.33			9
Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{OH})_2\text{O}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	10^{11}		38-73	2.93	2.8-3.1	2.94			
Nahcolite	NaHCO_3				2.2		2.12			
Polynalite	$2\text{CaSO}_4\text{MgSO}_4\text{K}_2\text{SO}_4$		58		2.78		2.79		180	21
Potash	$\text{K}_2\text{CO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$				2.04		2.02			40
Pyrite	FeS_2	10^{-1} - 10^{-6}	43		5.06	4.9-5.2	4.4	CNL +4 SNP 0		90
Pyrrhotite	Fe_7S_6	10^{-4} - 10^{-5}	65		4.55		4.5			91
Quartz	SiO_2	10^{12} - 10^{17}	55.5	50-56	2.65	2.6-2.7	2.65			4.3
Rubber			190		1.					
Siderite	Fe_2CO_3	10 - 10^3			3.88	3.-3.9	3.8			70

Substance	Chemical Composition	Resistivity ohm-m	Travel Time microsec./ft.		Density gm/cc		Log Density gm/cc.	Neutron App. ls. Por. %	Gamma Ray API U.	Σ ma
			avg.	range	avg.	range				
Spatelite	ZnS	10^5-10^7	57 (1)		4.0		3.85			38
Steel										19
Sulfur	S	10^9-10^{16}	122		2.07		2.03	0		570
Sylvite	KCl	10^{14}	74		1.99		1.87		500	
Irona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{CO}_3\text{H}_2\text{O}$		65		2.13		2.11	40		16

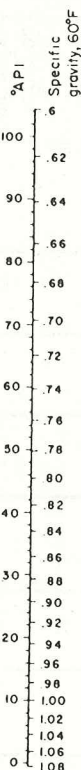
() * calculated insitu

dwt

CONVERSIONS AND EQUIVALENTS

CONCENTRATION
of
NaCl SOLUTIONSTEMP. GRADIENT
CONVERSION

OIL GRAVITY



$$1^\circ\text{F}/100\text{ ft} = 1.822^\circ\text{C}/100\text{ m}$$

$$1^\circ\text{C}/100\text{ m} = 0.5488^\circ\text{F}/100\text{ ft}$$

USEFUL EQUIVALENTS

LENGTH

1 foot (ft)	30.48 cm
1 inch (in.)	2.540 cm
1 meter (m)	3.281 ft
"	39.37 in.

VOLUME

1 acre-foot	7,538 bbls
"	43,560 cu ft
1 barrel (bbl) of oil	42 U.S. gal
"	5.6154 cu ft
"	158.98 liters
1 cubic foot (cu ft)	7.481 U.S. gal
"	28.32 liters
1 U.S. gallon (gal)	231.00 cu in.
"	0.1337 cu ft
"	3.785 liters
1 imperial gallon (England, Canada, Australia, etc.)	1.2009 U.S. gal
"	4.5460 liters
1 liter (1000 cc)	0.03532 cu ft
"	0.2642 U.S. gal

MASS

1 grain	0.0001429 (or 1/7000 lb)
"	0.6480 g
1 pound (lb) avoirdupois	0.4536 kg
1 metric ton (1000 kg)	2205 lb

DENSITY, SPECIFIC GRAVITY, etc.

1 gram per cubic centimeter (g/cc)	62.43 lb/cu ft
"	8.345 lb per U.S. gal
1 U.S. gallon of liquid weighs	(in pounds avoirdupois) 8.345 multiplied by density in g/cc
1 imperial gallon of water at 62°F weighs	10 lb
1 barrel of oil weighs	(in pounds avoirdupois) 350 multiplied by density of oil in g/cc

Oil gravity in degrees API is computed as:

$$^\circ\text{API} = \frac{141.5}{\text{Spec. Grav. } 60/60^\circ\text{F}} - 131.5$$

where "Spec. Grav. 60/60°F" means specific gravity of oil at 60°F referred to water at 60°F

PRESSURE

1 atmosphere (atm)	14.70 psi
"	1.0332 kg/sq cm
1 kilogram per square centimeter pressure (kg/sq cm)	14.22 psi
1 pound per square inch (psi)	0.07031 kg/sq cm
"	0.06805 atm

Pressure Gradient

$$\text{psi/ft.} = 0.433 \times \text{g/cc}$$

$$= \text{lb/ft}^3 / 144$$

$$= \text{lb/gal} / 19.27$$

$$\text{kg/sq cm/meter} = 0.1 \times \text{g/cc}$$

$$= \text{psi/ft} \times 0.231$$

TEMPERATURE CONVERSIONS

$$^\circ\text{F} = 1.8^\circ\text{C} + 32$$

$$^\circ\text{C} = 5/9(^\circ\text{F} - 32)$$

$$^\circ\text{R(Rankine)} = ^\circ\text{F} + 459.69$$

$$\text{K(kelvins)} = ^\circ\text{C} + 273.16$$

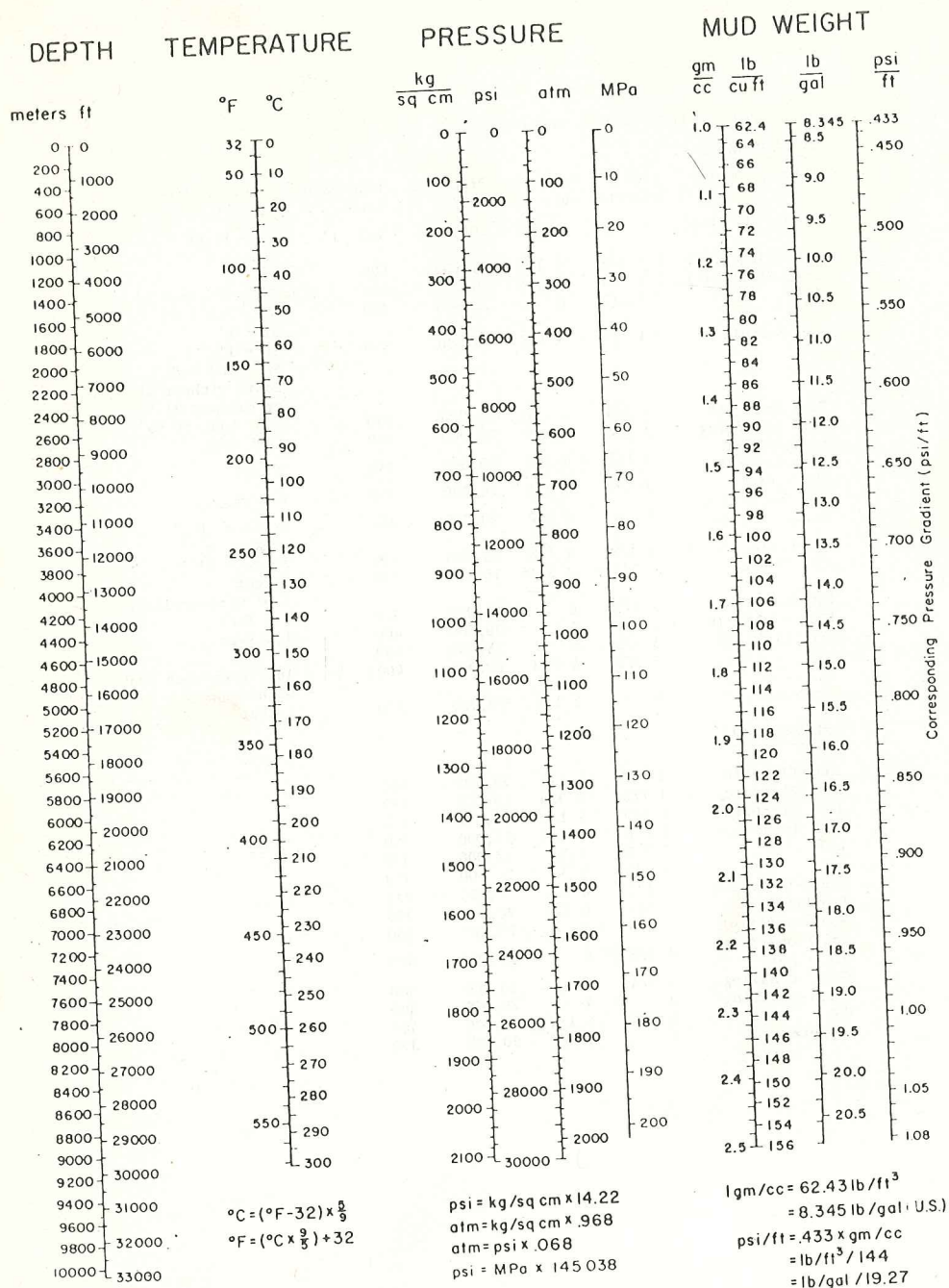
CONCENTRATION

1 grain/U.S. gallon	0.017118 g/liter
1 grain/U.S. gallon	17.118 divided by the density in g/cc
1 gram/liter	58.417 grains/gal
1 gram/liter	1000 divided by the density in g/cc

SOME OPENHOLE LOGGING TOOL SPECIFICATIONS

Logging Device	Tool	Diameter	Hole Size	Pressure	Temperature	First Reading
SCHLUMBERGER						
Ind. Elect.	(HI T) 3 3/8	4 7/8	25,000	500	Ind. = 1', SN = 1'	
Ind. Elect.	(HI T) 2 3/4	4 1/4	20,000	400	Ind. = 7.5'	
ISF					Ind. SP, SN = 6'	
ISF + Sonic	3 5/8	5 1/8	20,000	350	SFL, Ind = 8'	
Dual Ind. LL8	3 3/8	4 7/8	20,000	350	Sonic without CR	
Proximity or	3 5/8	4 3/4	20,000	350	or caliper 31.5'	
Micro Laterolog	5 1/2	6 1/2	20,000	350	LL8, Ind, SP = 6'	
BHC Sonic	3 5/8	5 1/8	20,000	350	2 feet	
BHC Sonic with	4				6 feet	
caliper & SP	3 3/8	4 7/8	25,000	500	Sonic = 10'	
BHC Sonic (HI T)	1 11/16	3 3/16	16,500	350	caliper = 4'	
Slim Sonic	4 7/8	5 1/2	20,000	350	Sonic = 6'	
FDC Density	4 5/8	6	20,000	350	5.5' w/centralizer	
FDC Density (HI T)	4 5/8	6	20,000	350	1.5 feet	
Slim HI T FDC	3 1/2	5	23,000	400	1 foot	
CNL	3 3/8	4 7/8	20,000	400	16.5 feet when run	
Dipmeter	4	5 1/2	20,000	350	1 foot	
DRESSER ATLAS						
Ind. Electric	3 3/8	4 1/2	25,000	400		
Ind. Electric	3 7/8	5 3/4	18,000	350		
Dual Induction	2 3/4	4 1/4	12,000	350		
LL3	3 3/8	5 3/4	18,000	350		
LL7	3 3/8	5 3/4	18,000	350		
Micro-Laterolog	5 1/2	5 3/4	20,000	350		
Proximity	5 1/2	6 1/2	20,000	375		
BHC Acoustilog	5 3/4	6 3/4	20,000	300		
BHC Acoustilog	4 1/4	6	20,000	300		
v/caliper	4 5/8	6	20,000	400		
Comp. Densilog	4 3/4	6	20,000	400		
Comp. Densilog	3 3/4	6	20,000	400		
CNL	4 5/8	5 1/2	20,000	400		
Dipmeter	3 5/8	4 1/2	20,000	400		

CONVERSIONS



SOME OPENHOLE LOGGING TOOL SPECIFICATIONS

SCHLUMBERGER

Logging Device	Tool Diameter	Minimum Hole Size	Pressure Rating PSI	Temperature Rating °F	First Reading From TD Feet
Induction Elect.	3 7/8	5 3/8	20,000	350	SP = 1', SN = 1' Ind. = 7.5'
Ind. Elect. (Hi T)	3 3/8	4 7/8	25,000	500	
Ind. Elect. (Hi T)	2 3/4	4 1/4	20,000	400	Ind, SP, SN = 6'
ISF	3 1/2	5	20,000	350	SFL, Ind = 8'
ISF + Sonic	3 5/8	5 1/8	20,000	350	SP = 1' SP = 1' SFL, Ind = 8'
Dual Ind. LL8	3 3/8	4 7/8	20,000	350	Sonic without GR
Dual Laterolog	3 5/8	4 3/4	20,000	350	or caliper 31.5'
Proximity or Microlaterolog	5 1/2	6 1/2	20,000	350	LL8, Ind, SP = 6'
BHC Sonic	3 5/8	5 1/8	20,000	350	12.5 feet
BHC Sonic with caliper & SP	4	5 1/2	20,000	350	2 feet
BHC Sonic (Hi T)	3 3/8	4 7/8	25,000	500	6 feet
Slim Sonic	1 11/16	3 3/16	16,500	350	Sonic = 10' caliper = 4'
FDC Density	4 5/8	6	20,000	350	Sonic = 6'
FDC Density (Hi T)	4 5/8	6	20,000	400	2 feet
Slim Hi T FDC	3 1/2	5	23,000	400	5.5' w/centralizer
CNL	3 3/8	4 7/8	20,000	400	1.5 feet
Dipmeter	4	5 1/2	20,000	350	1.5 feet

DRESSER ATLAS

Ind. Electric	3 3/8	4 1/2	25,000	400	
Ind. Electric	3 7/8	5 3/4	18,000	350	
Ind. Electric	2 3/4	4 1/4	12,000	350	
Dual Induction	3 5/8	5 3/4	18,000	350	
LL3	3 3/8	5 3/4	18,000	350	
LL7	3 3/8	5 3/4	20,000	350	
Micro-Laterolog	5 1/2	6 1/2	20,000	375	
Proximity	5 3/4	6 3/4	20,000	300	
BHC Acoustilog	4 1/4	6	20,000	300	
BHC Acoustilog w/caliper	4 5/8	6	20,000	400	
Comp. Densilog	4 3/4	6	20,000	400	
Comp. Densilog	3	4	20,000	400	
CNL	3 5/8	4 1/2	20,000	400	
Dipmeter	4	5 1/2	20,000	350	

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ٥١٤ لسنة ١٩٨٨
