مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية
المجلد (10)، العدد (2) (ديسمبر-2024)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

DOI: https://doi.org/10.59743/jmset.v10i2.216

التقييم المكمني للصخور الكربوناتية اعتمادًا على بيانات السجلات البئرية في شرق حوض سرت الرسوبي، ليبيا

عبد السلام مفتاح علي*، محمد بلعيد حويج، و عبد الحكيم محمد كشلوط

قسم الجيولوجيا والاستكشاف البحري، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا.

*البريد الإلكتروني: a.almshiky@asmarya.edu.ly

Reservoir Evaluation of Carbonate Rocks Using Well-Log Data in the Eastern Sirte Sedimentary Basin, Libya

Abdulsalam M. Ali*, Mohamed B. Haweej, and Abdelhakim M. Kashloot

Department of Geology and Marine Exploration, Faculty of Marine Resources, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya.

Received: 15 September 2024; Revised: 09 December 2024; Accepted: 21 December 2024.

الملخص

تهدف هذه الورقة إلى دراسة الخصائص البتروفيزيائية لتكوين ليدام في البئر X3 في شرق حوض سرت الرسوبي، وتشمل هذه الخصائص المسامية الفعالة والنفاذية وهما يتأثران بالتركيب المعدني والمحتوي الطفلي وتؤثران على قدرة التخزين وإنتاج الموائع (النفط، الغاز، الماء) في المكامن النفطية، وبالتالي تكمن أهمية دراستهما في تقدير القيمة الانتاجية للخزانات النفطية. استخدمت الدراسة بيانات سرود الآبار للتقييم المكمني وذلك من خلال معادلات ومخططات شلمبرجير Schlumberger مع تطبيق برنامج (FlexInLog) وذلك للوصول إلى التقييم الأمثل لتكوين ليدام. أثبتت الدراسة ان نتائج التقييم للخصائص البتروفيزيائية بتقنيات سرود الآبار تتوافق مع بيانات العينات اللبية لتكوين ليدام، وقد بين التقييم المكمني للتكوين في منطقة الدراسة بأنه يتألف بشكل أساسي من الحجر الجيري والدولومايت وقليل من الأنهيدرايت ومحتوي طفلي لا تتجاوز نسبته (30%) ومسامية فعالة متوسطة قيمتها (6%) ومسامية ثانوية متوسطة قيمتها (0.71%)، أما نسبة التشبع النفطي فهي أكثر من 65%، وأكثر من 60 % من هذه النسبة تمثل التشبع النفطي المتحرك. وهذا يشير إلى أن الصخور الكربوناتية عبارة عن نطاق نفطي ذو إنتاجية عالية أن وضع Zones parameters تساعد في دراسة المناطقة المجاورة التي تحتوي على صخور ذات نفس الخصائص البتروفيزيائية.

الكلمات الدالة: التقييم المكمني، الخصائص البتروفيزيائية، الصخور الكربوناتية، تكوين ليدام، حوض سرت، سرود الابار.

Abstract

This study aims to investigate the petrophysical properties of the Lidam Formation in Well X3, located in the eastern Sirte Sedimentary Basin, Libya. These properties include effective porosity and permeability, which are influenced by mineral composition and shale content and play a significant role in determining the storage capacity and productivity of reservoir fluids (oil, gas, and water). Therefore, evaluating these properties is essential for assessing the production potential of hydrocarbon reservoirs. The study utilized well-log data for reservoir evaluation using Schlumberger equations and interpretation charts, in conjunction with FlexInLog software, to achieve an optimal assessment of the Lidam Formation. The results demonstrated a strong agreement between the petrophysical parameters derived from well-log analysis and those obtained from core sample data. Reservoir evaluation revealed that the formation is composed mainly of limestone and dolomite, with minor amounts of anhydrite and a shale content not exceeding 30%. The formation exhibits an average effective porosity of 6% and an average secondary porosity of 0.71%. Oil saturation exceeds 65%, with more than 60% of this value

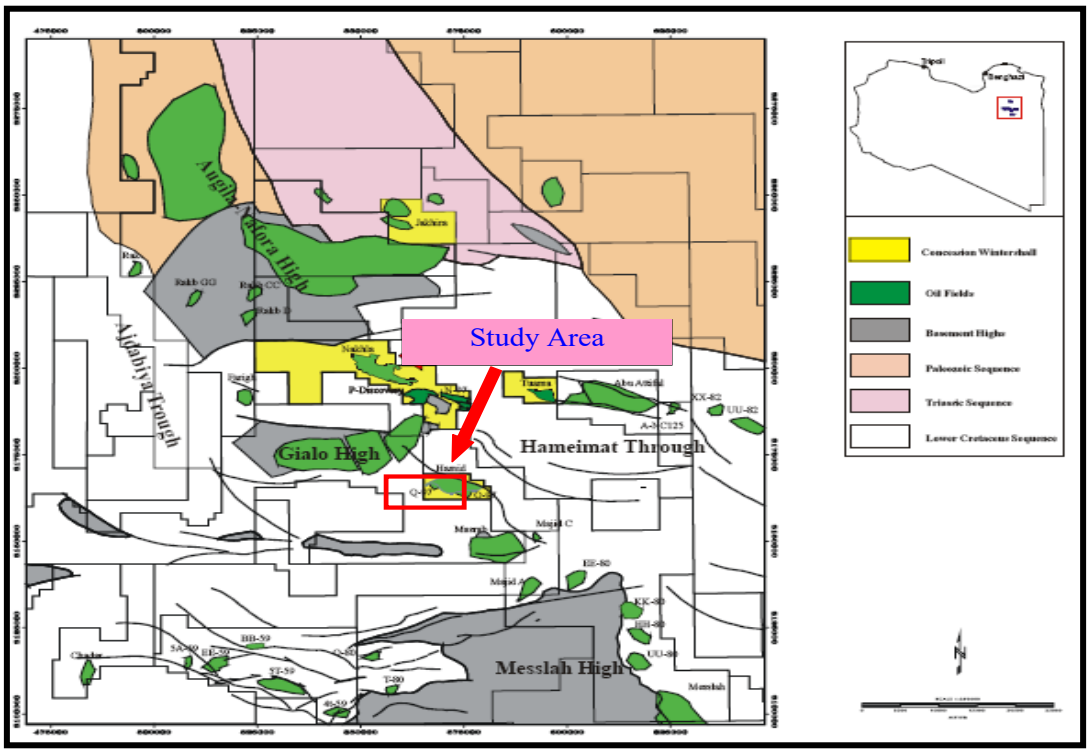
ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

representing movable oil saturation. These findings indicate that the carbonate reservoir interval constitutes a highly productive oil-bearing zone. Furthermore, the established zone parameters can serve as a valuable reference for evaluating neighboring areas containing rocks with similar petrophysical characteristics.

Keywords: *Petrophysical Properties, Reservoir Evaluation, Carbonate Rocks, Well Logs, Lidam Formation, Sirte Basin, Libya.*

1. المقدمة

يعتبر تكوين ليدام من أهم المكامن النفطية الموجودة في حوض سرت الرسوبي، ترسب تكوين ليدام في حقبة الحياة المتوسطة في العصر الطباشيري العلوي وهو يتألف من الصخور الجيرية بشكل أساسي ونسبة من الطفلة والأنهيدرايت (Hallet, 2002). كما يطلق على الخواص الفيزيائية والكيميائية للصخور بالخصائص البتروفيزيائية ومن أمثلتها المسامية والنفاذية وهما يؤثران على القدرة التخزينية للصخور المكمنية وتقاس هذه الخصائص بالبيانات البئرية (سرود الآبار أو تحليل العينات اللُبية) وهي تعتبر من الأدوات الحاسمة عند التقييم المكمني للخزانات النفطية. لذلك اعتمدت الدراسة على طريقة تفسير بيانات سرود الآبار باستخدام العلاقات الرياضية والبيانية، وأيضا برنامج (FlexInLog) لدراسة الخواص البتروفيزيائية للمكمن النفطي وذلك لغرض وضع Zones parameters للصخور الكربوناتية. وتقع منطقة الدراسة في الجزء الشرقي من حوض سرت الرسوبي والمبينة في شكل (1). ويتحدد هدف الدراسة في معرفة الخصائص البتروفيزيائية للصخور الكربوناتية في تكوين الليدام مع إمكانية إيجاد طريقة من خلال مخططات شلمبرجير Schlumberger وبرنامج (FlexInLog) للاستفادة من هذه التقنيات في عملية تقييم المكمن والمكامن النفطية المجاورة المشابهة له.



شكل 1. موقع منطقة الدراسة Wintershall Oil Company (2002)

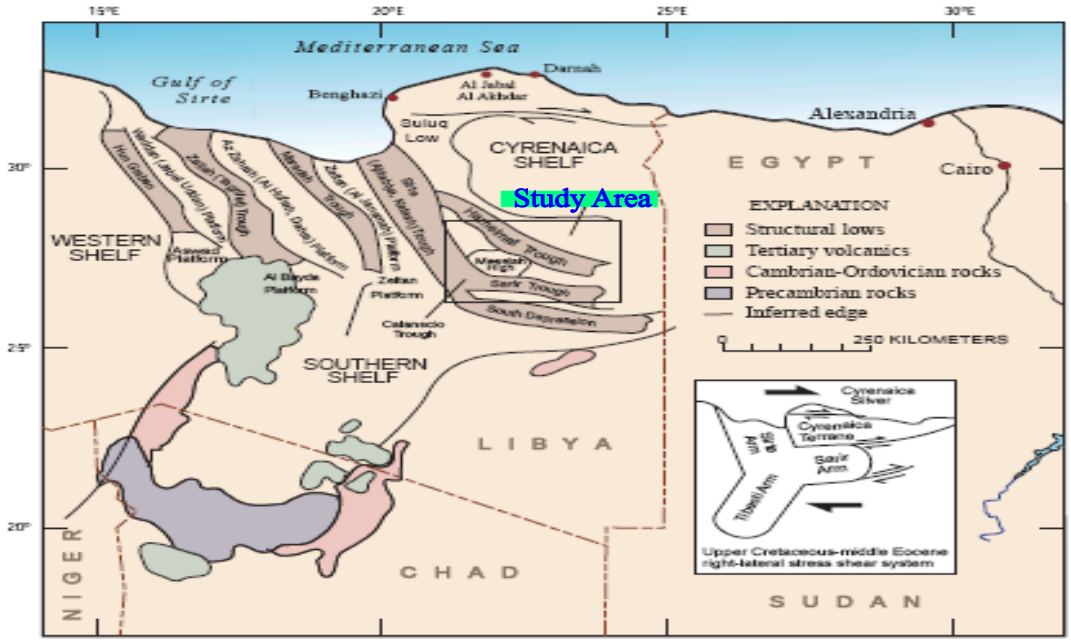
ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

2. الإطار الجيولوجي لمنطقة الدراسة

1.2. الوضع التركيبي لمنطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في جنوب منخفض الحميمات في الجزء الجنوب الشرقي من حوض سرت الرسوبي، الشكل (2) يبين التراكيب الأساسية (المنخفضات والمرتفعات) لحوض سرت الرسوبي. في هذا الجزء من الحوض تتلاقي ثلاثة تراكيب تختلف في الاتجاه، ولكنها تتوافق مع اتجاهات الانقسام الثلاثي الأذرع والتي كانت نشطة خلال فترة الترياسي/الجوراسي. ويطلق على هذه الأذرع بذراع السرير (Sarir Arm) الذي يأخذ اتجاه WNW–ESE، وذراع سرت (Sirte Arm) الذي يأخذ اتجاه NNW–SSE وذراع تيبستي (Tibisti Arm) الذي يأخذ اتجاه SSW – NNE Wintershall Oil Company (2002)

كما أن منطقة الدراسة تأثرت بالوضع التكتوني والتركيبي لحوض سرت الرسوبي وتبعا لذلك أثرت علي سمك الرواسب في هذه المنطقة، وعليه فإن سمك الرواسب في المرتفعات أقل بكثير من سمك الرواسب في المنخفضات. وقد تأثر خزان ليدام الكربوناتي العميق بواسطة هذه التكتونية والانهدام لحوض سرت. الوضع التركيبي لمنطقة الدراسة هو عبارة عن طية محدبة تأخذ اتجاه غرب – شرق بمحاذاة فالق عادي كبير (المشخي وآخرون، 2022).



شكل 2. التراكيب الأساسية لحوض سرت Wintershall Oil Company (2002)

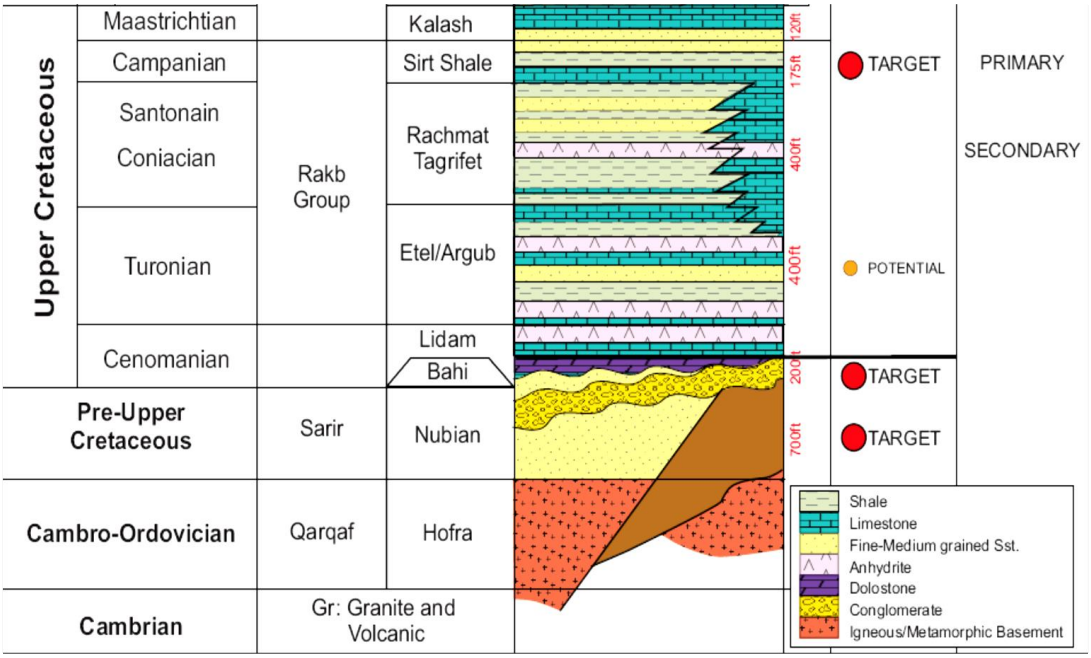
2.2. التتابع الطبقي لمنطقة الدراسة

تعتبر مجموعة القرقاف (تكوين الحفرة) أقدم الرواسب في منطقة الدراسة وهو يتألف من الكوارتزيت وترسب في عصر كامبري/أوردوفيشي، بينما الأحدث عمراً هو تكوين ديبه، ويتألف من الحجر الرملي وترسب في عصر أوليجوسين، كما هو مبين في الشكل (3).

وأطلق اسم الليدام من قبل Barr and Weegar (1972) على التكوين الصخري المتصلب ذو اللون البنى الفاتح إلى الرصاصي الفاتح، ويتألف من الدولوميت وخليط من الكلس والطباشير (كربونات الكالسيوم)، وأحياناً يحتوي الجزء السفلي

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

من التكوين على بعض الرقائق من الحجر الرملي، والذي يتوضع لا توافقيا فوق تكوين السرير الرملي. وترسب تكوين ليدام في بيئة بحرية ضحلة في العصر الكريتاسي العلوي (السينومينين) في أجزاء متفرقة من حوض سرت، ويتواجد فقط وبشكل أساسي في حوض سرت الرسوبي (المشخي وآخرون، 2022).



شكل 3. التتابع الطبقي في منطقة الدراسة.Wintershall Oil Company (2002)

3. منهجية الدراسة

استخدمت الدراسة السرود البئرية الأساسية للبئر (X3) في الجزء الشرقي من حوض سرت الرسوبي، وهذه السرود هي: سرود المقاومية الكهربائية، وسرد أشعة جاما، وسرود المسامية (سرد الكثافة، سرد النيترون والسرد الصوتي). وقد تم تطبيق مخططات شلمبرجير Schlumberger (1994) ومعادلات أرشي وبرنامج (FlexInLog) بشكل أساسي، كما تم استخدام بعض المخططات الأخرى في تحليل وتفسير السرود البئرية للوصول إلى معرفة الخصائص البتروفيزيائية لتكوين ليدام، وهي حجم ونوعية المسامية والصفة الصخرية والتركيب المعدني والتشبع بالمياه وتحديد حجم ونسبة الطفل في الصخر، وأخيراً مقارنة نتائج الطريقتين للوصول إلى التقييم الأمثل للخزان النفطي. (الملحق يبين المعادلات المستخدمة).

4.النتائج والمناقشة

تقع قمة تكوين ليدام في البئر (X3) على عمق 9,922.0 قدم، بينما يتواجد قاعه على عمق 10,006.0 قدم أي بسمك 84.0 قدم. وتم تقييم هذه الأعماق باستخدام بيانات سرود الآبار؛ حيث استخدمت أشعة جاما في تحديد المحتوي الطفلي وسرد الكثافة وسرد النيوترون وسرد الصوتي في حساب المسامية، وتحديد التركيب المعدني والصفة الصخرية وسرود المقاومية النوعية في تحديد سوائل الخزان. ومن خلال نتائج التقييم المتحصل عليها من المعادلات الرياضية ومخططات شلمبرجير Schlumberger التي تم استخدامها في دراسة الخواص البتروفيزيائية لتكوين ليدام أمكن اعطاء تفسيرات نوعية وكمية وفق التالي:

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

1.4. تحليل نتائج العلاقات الرياضية والبيانية

1.1.4. تعيين المحتوي الطفلي:

يعتبر من أهم عناصر المعاملات البتروفيزيائية لأنه يحدد النطاقات المنفذة والغير منفذة، وبالتالي يمكن استبعاد الأعماق الغير منفذة من برنامج التقييم والتركيز على النطاقات المنفذة، وعلى هذا المنوال تم الاعتماد على سجل أشعة جاما في تحديد المحتوي الطفلي، ووجد أن كمية المحتوي الطفلي في الصخور الكربوناتية متفاوتة من عمق إلى آخر، ومع ذلك لا تتعدي 30%. ولكن للحصول على قيم دقيقة للمسامية خالية من تأثير الطفل أجريت تصحيحات لقراءات المسامية.

2.1.4. التشبع:

من متطلبات تحديد كمية ونوعية التشبع (ماء، نفط، غاز) داخل الطبقة هو حساب مقاومية ماء التكوين وكذلك معامل التكوين والذي بدوره يُحتاج لحساب المسامية الفعالة. ومقاومية ماء التكوين R_w هي واحدة من أهم المعاملات الأساسية التي لها تأثير على حساب التشبع المائي والنفطي، وعلى هذا الأساس استخدمت طريقتين لتحديد قيمة R_w، وكانت نتائجهما مبينة في الجدول (1). واللتان كانتا متقاربتان مع بعضهما البعض لقيمة R_w.

1.2.1.4. طريقة تركيز كلوريد الصوديوم في الماء:

يحتاج استخدام هذه الطريقة معرفة تركيز كلوريد الصوديوم في ماء التكوين وأيضا معرفة درجة حرارة التكوين، وبمعلومية درجة حرارة السطح أو العمق يمكن تحديد درجة حرارة التكوين باستعمال مخطط (Gen-6) الذي يمثل تغير درجة الحرارة مع العمق، الشكل (4.أ) ثم الدخول في المخطط (Gen-9)، الشكل (4.ب) وذلك من معلومية درجة ملوحة المياه والتي كانت (160,000 ppm) ودرجة حرارة التكوين المصححة (T_F= 230 F°) أمكن الحصول على قيمة (R_w= 0.018 Ωm).

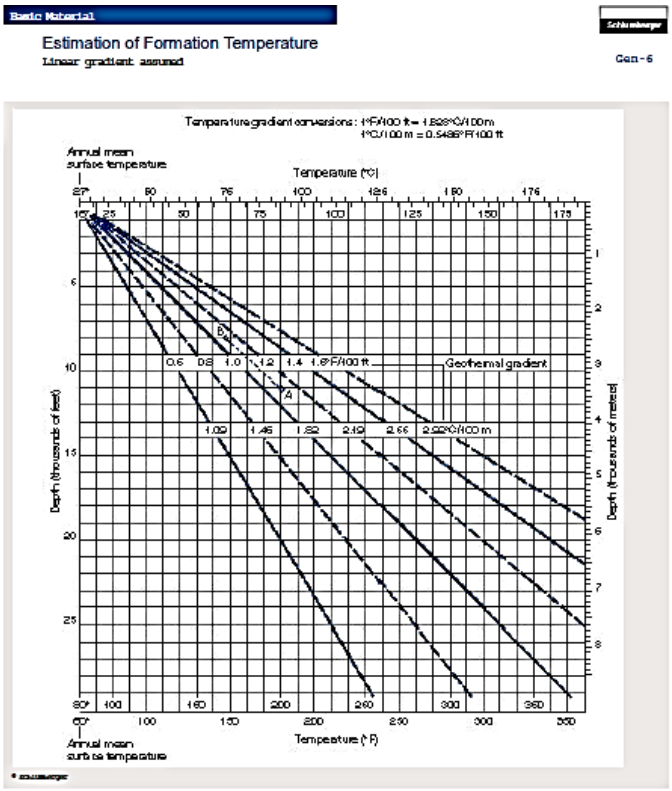
2.2.1.4. طريقة علاقة المقاومية النوعية مع المسامية:

الطريقة الثانية لتحديد قيمة R_w فهي العلاقة بين المسامية والمقاومية والتي تسمي Pickett plot والموضحة في الشكل (5).

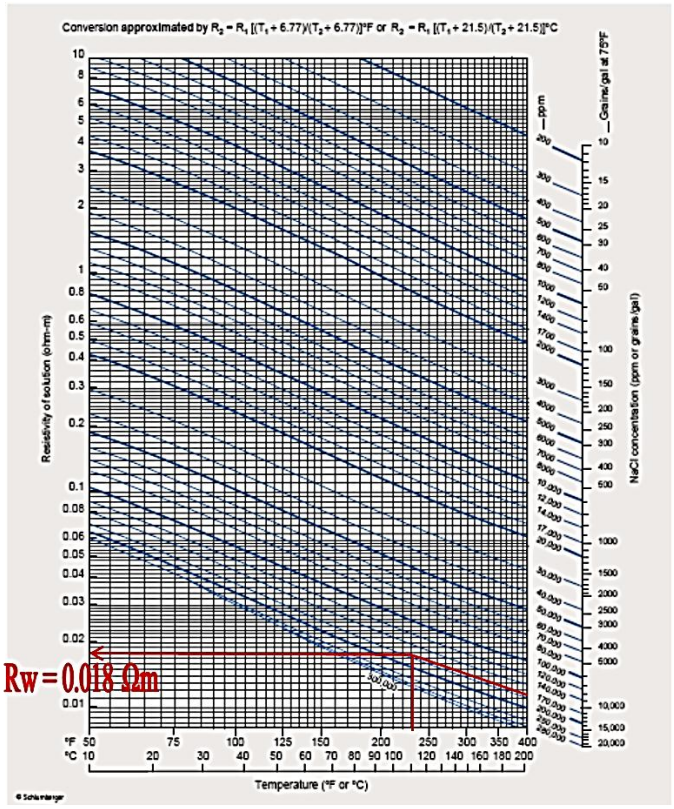
جدول 1. قيم مقاومية ماء التكوين (R_w) المحسوب للبئر (X3)

القيمة	Pickett plot	Water Salinity (ppm)
R_w (Ωm)	0.016	0.018

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

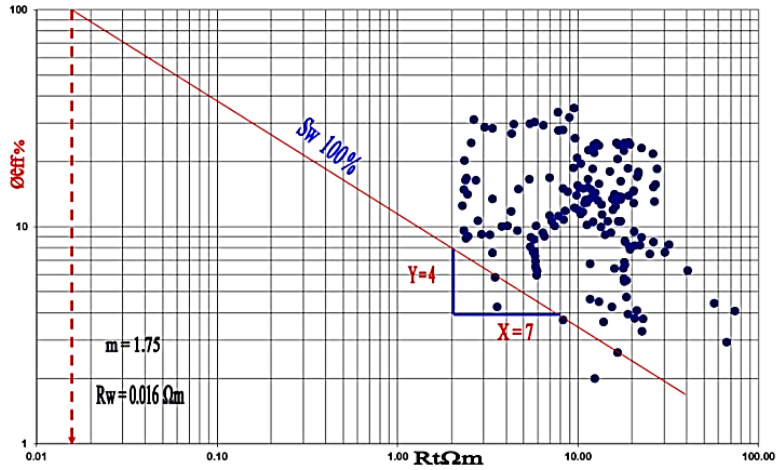


شكل 4.أ. علاقة درجة الحرارة مع العمق



شكل 4.ب. حساب R_w من مخطط الملوحة لتكوين ليدام.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966



شكل 5. علاقة Pickett plot في البئر (X3)

3.1.4. المسامية:

المسامية هي العنصر الثاني من المعاملات البتروفيزيائية التي تتحكم في توزيع الموائع داخل الطبقة، لذا من الضروري تحديد كمية ونوعية المسامية وخاصة الفعالة منها، ومن المعروف أن المسامية المستنتجة من سجلات الكثافة والنيوترون تمثل مسامية كلية والتي تشمل كل من مسامية الصخر الأصلي وكذلك المسامية الثانوية، أما السجل الصوتي يستخدم في الغالب للحصول علي المسامية الأولية، ومن طرح قيم المسامية الأولية من تلك الكلية نتحصل علي المسامية الثانوية، ولأننا نتعامل مع صخور كربوناتية، ومن المعروف بأنها ذات مسامية غير منتظمة لذا استخدمت أكثر من طريقة لحساب المسامية.

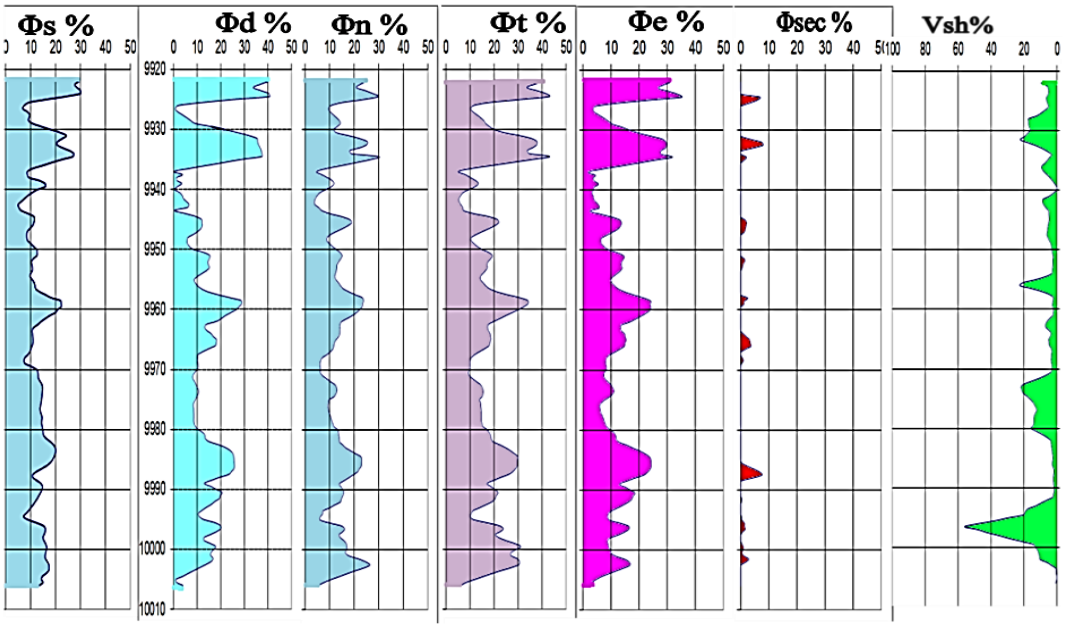
1.3.1.4. الطريقة الأولى:

تم فيها استخدام المعادلات الخاصة بحساب أنواع المسامية المختلفة والشكل (6) يبين أنواع المسامية المختلفة وتغيرها مع العمق للبئر (X3)، وكان متوسط النتائج كما هي موضحة في الجدول (2). من خلال نتائج المعادلات المختلفة لحساب المسامية لوحظ أنها أعطت قيم متقاربة جداً لمعظم التكوين باستثناء بعض الأعماق التي تُظهر وجود مؤشر مسامية ثانوية تبلغ قيمتها كمتوسط 0.71% وتعتبر قيمة جيدة شكل (6). ومن خلال العلاقة بين المسامية الفعالة والنفاذية يتضح أنها علاقة خطية وهذا مؤشر جيد علي جودة المكمن النفطي (الشكل 7).

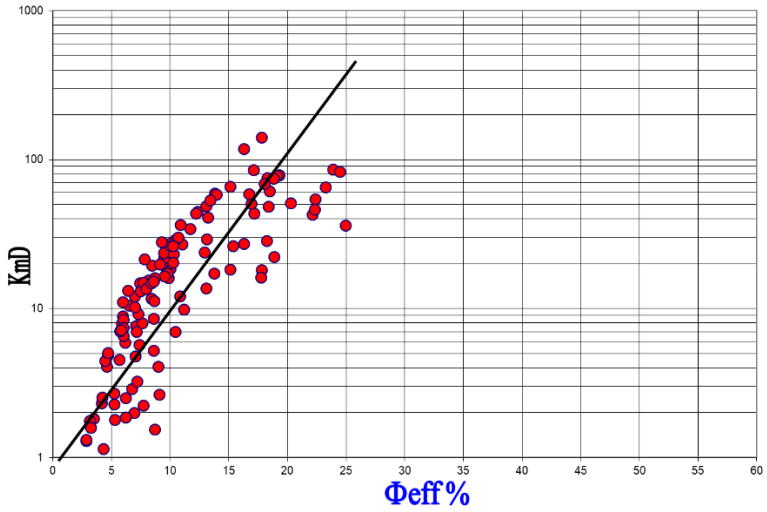
جدول 2. متوسط قيم المسامية بطريقة المعادلات بالنسبة المئوية للبئر (X3).

أنواع المسامية	(%) $ø_t$	(%) $ø_{sec}$	(%) $ø_{eff}$	(%) $ø_n$	(%) $ø_d$	(%) $ø_s$
متوسط قيم المسامية	14.20	0.71	14	14.4	13.1	14

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966



شكل 6. أنواع المسامية المختلفة لتكوين ليدام للبئر (X3)



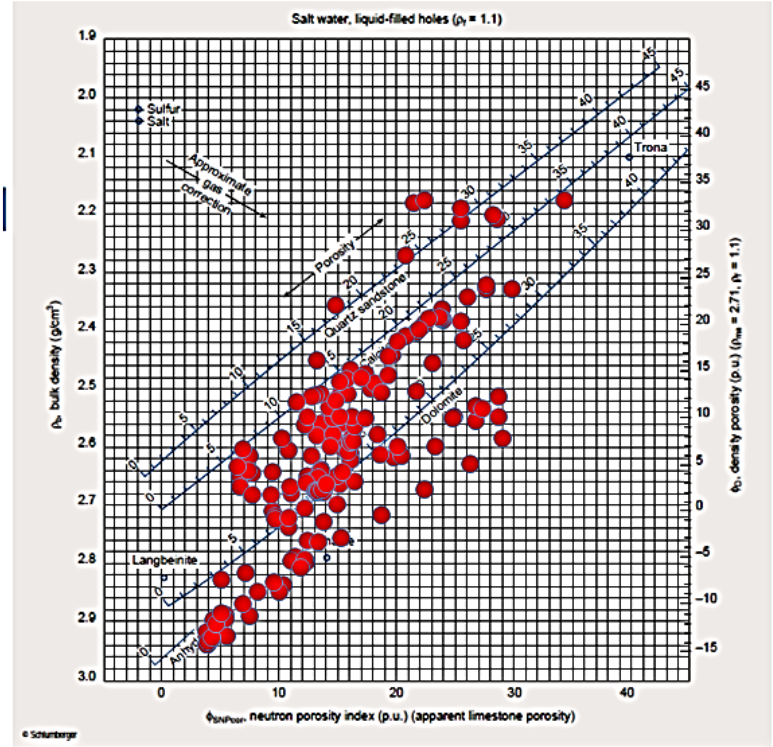
شكل 7. العلاقة بين النفاذية والمسامية الفعالة لتكوين ليدام للبئر (X3)

2.3.1.4. الطريقة الثانية:

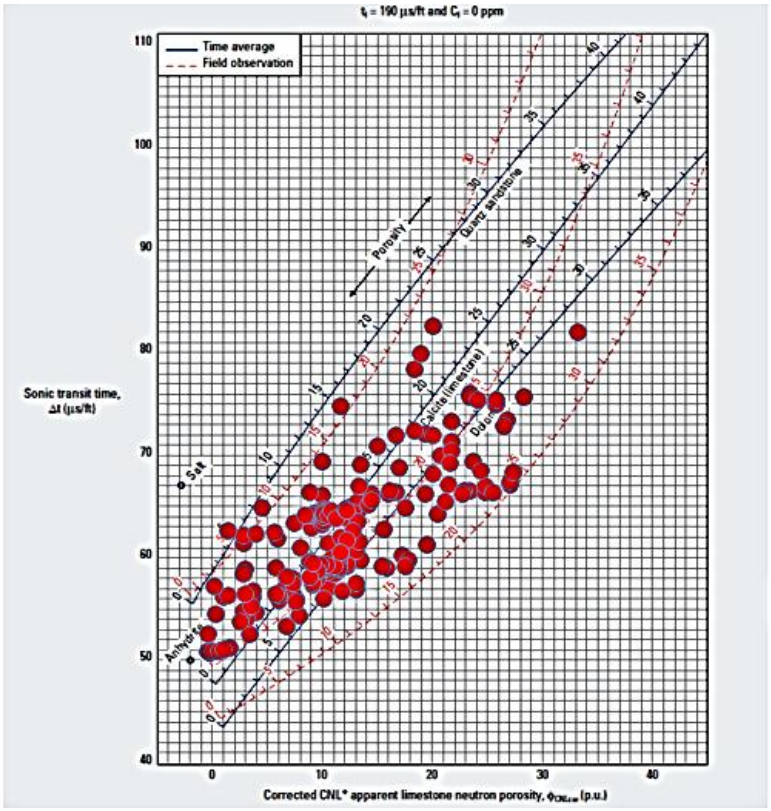
تم فيها استخدام العلاقات البيانية لأكثر من سرد في آن واحد وهذه العلاقات موضحة بالشكلين (8 و9)، والملاحظ من العلاقات البيانية بين سرود المسامية (سرد الكثافة مع سرد النيوترون وسرد الكثافة مع سرد الموجات الصوتية) أن قيم المسامية تتراوح ما بين (5–25%) وهي تعتبر مسامية جيدة. كما تشير العلاقات مثل علاقة Bassiouni (1994) وعلاقة M-N إلى وجود نسبة من الغاز في أعلى الخزان النفطي بسمك أقل من 10 أقدام (الشكلان 10 و11).

وباستخدام معادلات أرشي (Archie) تم حساب قيم التشبعات S_{xo} & S_w ومنها تم حساب التشبع بالنفط Sh الساكن منه (Sh_r) والمتحرك (Sh_m)، ويلاحظ أن التشبع بالنفط للصخور الكربوناتية يعتبر جيد حيث تبلغ قيمته في البئر (X3) أكثر من 65% كمتوسط حسب معادلة أرشي.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

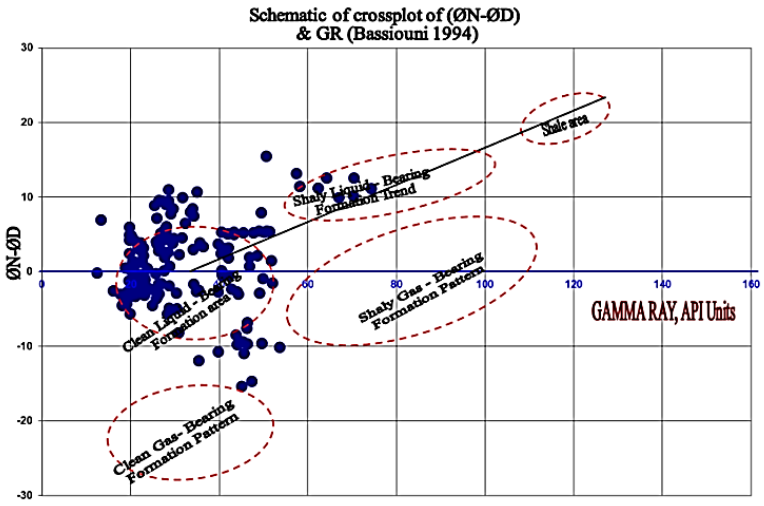


شكل 8. العلاقة بين سجل الكثافة وسجل النيترون في البئر (X3).

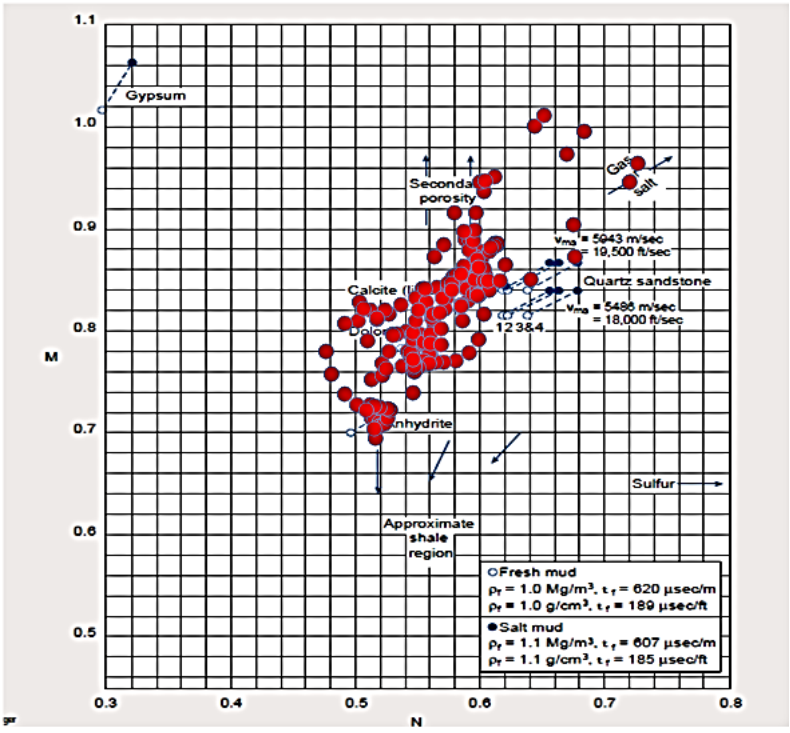


شكل 9. العلاقة بين السجل الصوتي وسجل النيترون في البئر (X3)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966



شكل 10. علاقة Bassiouni, (1994) في البئر (X3)



شكل 11. علاقة M-N في البئر (X3)

4.1.4. التركيب الصخري والمعدني:

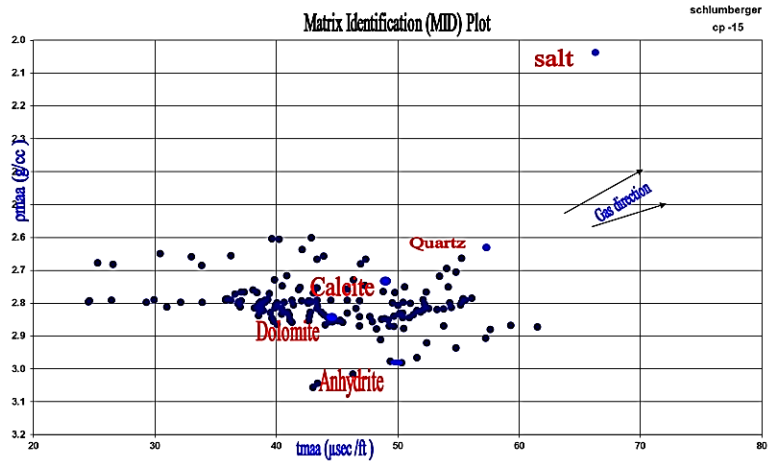
تم استخدام عدة علاقات بيانية في هذه الدراسة لتحديد نوع المحتوي الصخري والمعدني لتكوين ليدام. بالنسبة لنوع المحتوي الصخري تشير كل هذه العلاقات إلى أن نوعية الصخر هي عبارة عن حجر جيري (Limestone) مع وجود نسبة من الحجر الدولوميت (الشكل 12)، ربما تكون نتيجة عملية الدلمتة ونسبة قليلة من الأنهيدرايت. أما التركيب المعدني للصخر حسب العلاقة M-N وعلاقة Asquith & Gibson (1983)، الشكلان (13 و14) فهو يحتوي على معدن الكالسيت والدولومايت

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

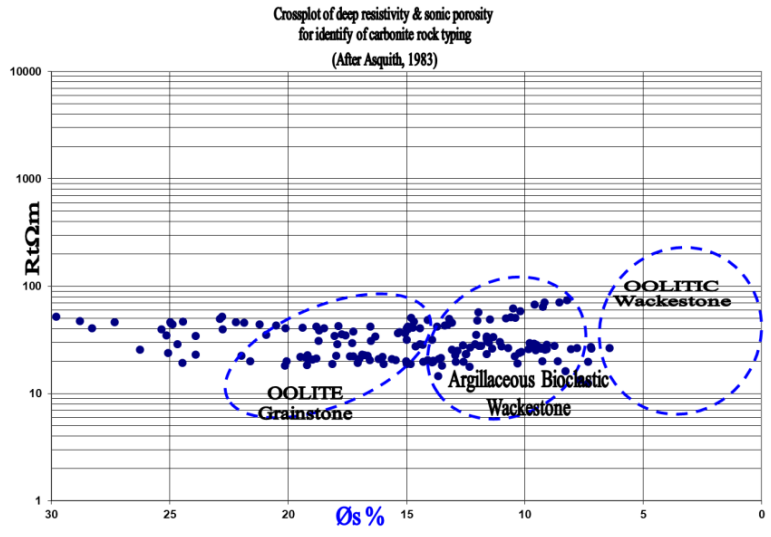
(Bioclastic Wackestone و Oolite Grainstone). والجدول (3) يبين متوسط نسب المحتوي الصخري لتكوين ليدام حسب العلاقات البيانية للبئر (X3).

جدول 3. متوسط نسب المحتوي الصخري لتكوين ليدام حسب العلاقات البيانية للبئر (X3).

الصفة الصخرية	$ø_s$ & $ø_n$	$ø_n$ &$ø_d$
حجر حجيري (Calcium carbonate)	% 40 -30	% 40 -30
حجر حجيري دولوميتي (Dolomitic limestone)	% 50 - 40	% 50 - 40
الأنهيدرايت(Anhidrotic limestone)	% 10 -5	% 10 -5

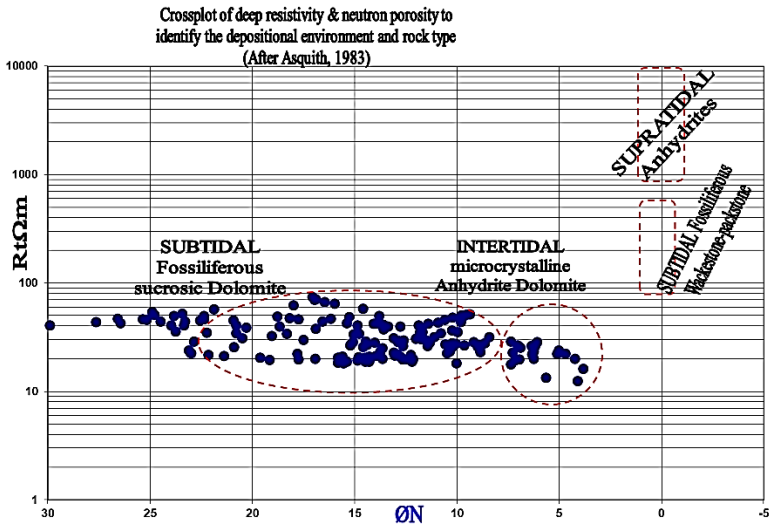


شكل 12. علاقة MID لتحديد الصفة الصخرية في البئر (X3)



شكل 13. يوضح العلاقة بين المقاومية الحقيقية والسرد الصوتي في البئر (X3)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966



الشكل 14. العلاقة بين سجل المقاومية الحقيقية ومسامية النيوترون للبئر X3))

2.4. تحليل نتائج برنامج (FlexInLog)

بعد إدخال السرود البئرية الأساسية (أشعة جاما وسرد الكثافة وسرد النيوترون وسرود المقاومية) في هذا البرنامج تم الحصول على نماذج تمثل توزيع كل من الخصائص البتروفيزيائية مع العمق. وبعد وضع (Zone parameters) للصخور في تكوين ليدام جدول (4) وإدخال السرود في البرنامج تم الحصول على Strip log والمبينة في الشكل (15) والذي يوضح النتائج النهائية للتركيب الصخري وتوزيع الموائع داخل التكوين.

جدول 4. نطاق المعاملات البتروفيزيائية لتكوين ليدام للبئر (X3) في منطقة الدراسة.

Name	Δt (µs/ft)		GR (API)		NPHI		ρ_b(gm/cm³)	
Mineral or lithology type	**Mean**	**Range**	**Mean**	**Range**	**Mean**	**Range**	**Mean**	**Range**
Total Porosity	189	185 230	0.0714	00 5.0	0.973	0.90 1.0	1.0341	**0.90** **1.2**
Dolomite	43	42 50	10	11.5 45	0.0056	-0.02 0.025	2.87	**2.87** **2.9**
Calcite	41	40 51	20	10 62	-0.112	-0.05 0.02	2.71	**2.68** **2.78**
Anhydrate	60	53 56.6	00	00	0.0063	0.0063 -0.005	3.04	**2.98** **3.16**
Shale	57	63 85	100	35 220	0.259	0.10 0.43	2.527	**2.30** **2.74**
Value of Theoretical	**65**		**31**		**0.140**		**2.55**	
Value from log.	**64**		**31**		**0.142**		**2.553**	

بالنسبة لمتوسط قيم الخصائص البتروفيزيائية للبئر (X3) فهي موضحة بالجدول (5) أما الشروط المحددة للـــ Cutoff فقيمها مبينة كما يلي (Wintershall Oil Company, 2022):

Volume Shale : 0.26 حجم الطفل

Effective Porosity: 0.01 المسامية الفعالة

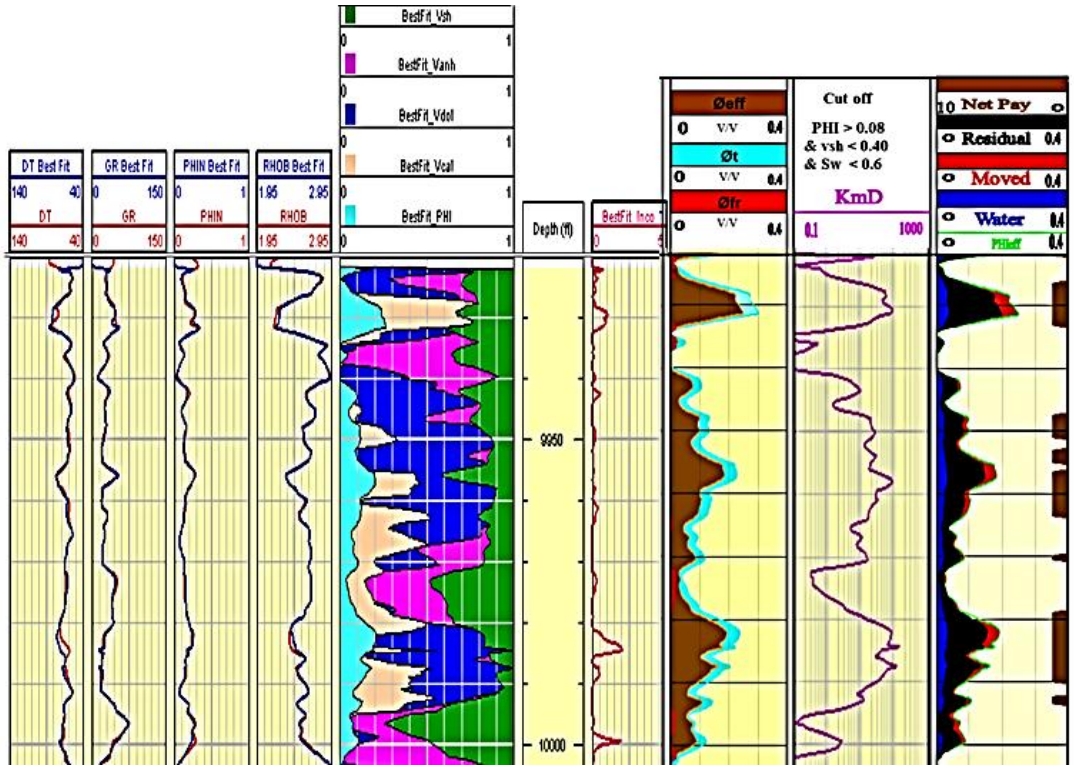
Permeability : 0.1 md النفاذية

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

التشبع المائي 0.70 : Water Saturation

جدول 5. متوسط قيم الخواص البتروفيزيائية من برنامج (FlexInLog) للبئر (X3).

الخاصية	نوع الخاصية	متوسط القيم
1	السمك الكلي	84.0 قدم
2	حجم الطفل	%10.18
3	المسامية الفعالة	%8.7
4	التشبع بالماء	%22.51
5	التشبع بالنفط	%77.49
6	التشبع بالنفط المتحرك	%17.34
7	التشبع بالنفط الساكن	%60.16
8	النفاذية	18.6ملي دارسي
9	Net Pay	74.0قدم



شكل 15. الخواص البتروفيزيائية لتكوين ليدام باستخدام برنامج FlexInLog للبئر (X3)

5. الاستنتاجات

تم تقييم ودراسة تكوين ليدام باستخدام سجلات الآبار الخاصة بالمقاومية والكثافة والنيوترون والتسجيل الصوتي وسجل أشعة جاما لتعيين المعاملات البتر وفيزيائية لتكوين ليدام. حيث تم تحديد المسامية الفعالة ومتوسط قيمها حوالي 6% وهي متماثلة مع قراءات العينات اللُبية، أي كلما زادت قيمة المسامية المقاسة للعينات اللُبية ارتفعت قيم المسامية الفعالة المحسوبة من سجلات الآبار والمسامية الثانوية ومتوسط قيمها حوالي 0.71% وحجم الطين لا يتعدي 30% لتكوين ليدام. كذلك تم تحديد التشبعات بالماء

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

والنفط الساكن منه والمتحرك. كما أمكن أيضا التعرف على نوعية الصخور الخاصة بتكوين ليدام من تطبيق العلاقات بين سجل الكثافة وسجل النيترون وبين السجل الصوتي وسجل النيترون وبين M-N والتي أثبتت أن تكوين ليدام مكون أساساً من الحجر الجيري وبعض الدولومايت والأنهيدرايت. وبهذا يعتبر تكوين ليدام ذو إنتاجية عالية حيث تصل نسبة التشبع النفطي إلى أكثر من 65% وأكثر من 60 % من هذه النسبة تمثل التشبع النفطي المتحرك. كما تم بعد دراسة الخصائص البتروفيزيائية للصخور الكربوناتية وضع Zones parameters، وهذا يساعد في دراسة المناطقة المجاورة التي تحتوي على صخور ذات نفس الخصائص البتروفيزيائية.

المراجع

أولاً: مراجع باللغة العربية

المشخي، عبد السلام؛ الهيلي، عبدالله؛ بن قمو، محمد؛ أبو جبيرة، عبد السلام؛ و شاماطه، نوح (2022). دراسة مسامية الصخور الكربوناتية (تكوين ليدام) باستخدام السرود البئرية، حقل الحميد، بحوض سرت الرسوبي، ليبيا. *مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية*، 8(1)، A. 1-16.

ثانياً: مراجع باللغة الإنجليزية

Asquith, G. B. & Gibson, C. R. (1983). *Basic Well Log Analysis for Geologists*. Amer. assoc. Petroleum. Geol., Tulsa, Oklahoma.

Barr, F T. and Weegar, A. A. (1972). *Stratigraphic Nomenclature of the Sirt Basin*. Libya the Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli, Libya.

Bassiouni, Z. (1994). *Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs*. Society of Petroleum Engineers, USA.

Schlumberger (1994). *Log interpretation charts*. Schlumberger Well Services.

Hallet, D. (2002). *Petroleum geology of Libya*. Elsevier.

Wintershall Oil Company (2002). *Core Analysis Study of the Lidam formation of the Study Area*. Tripoli branch of Libya, internal report.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

الملحق (المعادلات المستخدمة)

كثافة المسامية (*Density Porosity*): $\emptyset_d = \frac{\rho_{b\,log} - \rho_{bma}}{\rho_{bf} - \rho_{bma}}$

المسامية الكلية (*Total Porosity*): $\emptyset_t = \sqrt{\frac{\emptyset_{d\,corr}^2 + \emptyset_{n\,corr}^2}{2}}$

المسامية الفعالة (*Effective Porosity*): $\emptyset_e = \frac{1.65\emptyset_{d\,corr} + \emptyset_{n\,corr}}{2.65}$

المسامية الصوتية (*Sonic Porosity*): $\emptyset_S = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f l - \Delta t_{ma}}$

المسامية الثانوية (*Secondary Porosity*): $\emptyset_{sec} = \emptyset_t - \emptyset_S$

النفاذية (*Wyllie & Rose, 1950*): $K^{0.5} = \frac{250\emptyset^3}{S_{wirr}}$

حيث أن S_{wirr}: *Saturation of irreducible water*

$$S_{wirr} = \sqrt{\frac{F}{2000}}$$

تعيين المحتوي الطفلي والصخري (*Schlumberger. 1972; 1994*):

$$V_{sh} = \frac{GR_{sh} - GR_{log}}{GR_{sh} - GR_{cl}}$$

$$\rho_{maa} = \frac{\rho_{b\,log} - \emptyset_t \rho_f}{1 - \emptyset_t}$$

$$\Delta t_{maa} = \frac{\Delta t_{log} - \emptyset_t \Delta t_f}{1 - \emptyset_t}$$

$$N = \frac{\emptyset_{nf} - \emptyset_n}{\rho_b - \rho_f}$$

$$M = \frac{\Delta t_f - \Delta t_{log}}{\rho_b - \rho_f} \times 0.01$$

حساب التشبعات بالماء والنفط:

معامل التكوين: $F = \frac{1}{\emptyset^2}$

التشبع بالماء (*Archite*): $S_w = \sqrt{\frac{F.R_w}{R_t}}$

التشبع بالنفط: $Sh = 1 - S_w$

التشبع بالسائل في النطاق المغزو: $S_{xo} = \sqrt{\frac{F.R_{mf}}{R_{xo}}}$

النفط الساكن: $Shr = 1 - S_{xo}$

النفط المتحرك: $Shm - Sh - Shr$