الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية العلوم

قسم الجيولوجيا

دراسة التباين في الخصائص البتروفيزيائية لبعض التشكيلات الخازنة في حقل الرتكة وتأثيرها على الإنتاج.

The contrast in reservoir Properties for some of reservoir formations in AlRatka field and its impact on production

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في الجيوفيزيائية التطبيقية

إعداد

ولاء أناره

إجازة جامعية في الجيوفيزياء التطبيقية

بإشراف

الدكتور: عـــلي العجي

2016-2015

إهداء

إلى النور الذي ينير لي درب النجاح ..... أبي

وإلى من علمتني الصمود مهما تبدلت الظروف ..... أمي

وإلى من دعمني ووقف بجانبي دائماً ..... أخوتي

وإلى أصدقائي جميعاً .....

وإلى كل من علمني حرفاً أصبح سنا برقه يضيء الطريق أمامي.

شكر

أشكر الله تعالى وأحمده فهو المنعم والمتفضل قبل كل شيء، أشكره أن حقق لي ما أصبو إليه في استكمال درجة الماجستير في الجيولوجيا.

كل شكري وامتناني إلى الدكتور **علي العجي** الذي وافق على الإشراف على هذا البحث وقدم لي كل التوجيهات والدعم والنصائح العلمية الضرورية التي كان لها الأثر الكبير في اتمام هذا البحث واسأل الله تعالى ان يجزيه خير الجزاء.

وأتقدم بخالص شكري لجميع العاملين في جامعة دمشق وشركة الفرات للنفط الذين قدموا لي كل التسهيلات اللازمة للبحث.

وأشكر الأستاذ مروان قاسمية الذي ساهم بشكل كبير في تعليمي على برنامج التفسير البتروفيزيائي والذي أغنى رسالتي.

أخيراً لا يسعني إلا أن أتقدم بعمق شكري وامتناني لكل من أسهم في إظهار هذا العمل .

المحتويات:

ملخص.....1

الفصل الأول: معطيات عامة. 5

أولاً: الوضع الجيولوجي العام لسورية. 5

ثانياً: منخفض الفرات 6

٢-١- مقدمة عامة حول منخفض الفرات. 6

٢-٢- تشكل منظومة منخفض الفرات. 7

٢-٣- مراحل تشكل منخفض الفرات..... 8

٢-٤- العمود الطبقي لمنخفض الفرات. 10

٢-٥- المأمولية الهيدروكربونية في منطقة منخفض الفرات. 12

٢-٦- التشكيلات النفطية. 14

ثالثاً: الدراسات والأعمال السابقة. 15

رابعاً: منطقة الدراسة. 16

خامساً: أهمية وأهداف الدراسة. 21

سادساً: منهجية الدراسة. 21

الفصل الثاني: الأسس النظرية للقياسات البئرية. 23

أولاً: مقدمة. 23

ثانياً: القياسات المستخدمة في حقل الرتكة.....23

١- قياس قطر البئر (Caliper log). 23

٢- قياس الإشعاع الطبيعي (GR). 24

٣- تسجيلات المسامية: قياس الكثافة- القياس النيتروني – القياس الصوتي..... 26

٤- قياسات المقاومية (Resistivity Log). 30
٥- قياس الاختبار الطبقي (RFT). 32

الفصل الثالث: الصخور الخازنة وخواصها البتروفيزيائية. 33

أولاً: تمهيد. 33

ثانياً: التمييز بين الصخور الخازنة. 33

١- الصخور الخازنة الحطامية.....33
٢- الصخور الكربوناتية..... 35

ثالثاً: الخواص البتروفيزيائية للصخور الخازنة. 36

❖ ١- المسامية: 36
١-١- المفهوم العام. 36
١-٢- تأثير توزع الغضار على المسامية. 38
١-٣- كيفية حساب المسامية. 39
❖ ٢- الإشباع: 41
٢-١- المفهوم العام. 41
٢-٢- حساب الإشباع. 42
٢-٣- حساب مقاومية المياه الطبقية لحقل الرتكة. 43
❖ ٣- النفاذية: 47
٣-١- المفهوم العام. 47
٣-٢- طرائق تحديد النفاذية. 48
٣-٣- تقدير النفاذية ضمن حقل الرتكة. 49

الفصل الرابع: تفسير القياسات البئرية وتطبيقاتها في دراسة تشكيلة الأرك.

أولاً: تحديد الحدود الطبقية. 51

ثانياً: تحديد الليثولوجيا. 54

٢-١- ملاحظات على الفتات الصخري. 54
٢-٢- العرض التقاطعي بين الكثافة والنيوترون..... 55
٢-٣- تفسير القياسات البئرية. 58
ثالثاً: احتمالية وجود الهيدروكربون. 65
رابعاً: المسامية الكلية والفعالة. 67
خامساً: المسامية الأولية والثانوية. 70
سادساً: حجم الغضار. 70
سابعاً: توزع الغضار ضمن تشكيلة الأرك. 73
ثامناً: الإشباع المائي والهيدروكربوني. 76

الفصل الخامس: تفسير القياسات البئرية وتطبيقاتها في دراسة تشكيلة الرطبة.

أولاً: تحديد الحدود الطبقية. 78
ثانياً: تحديد الليثولوجيا. 81
٢-١- ملاحظات على الفتات الصخري. 81
٢-٢- العروض التقاطعية بين الكثافة والنيوترون. 82
٢-٣- تفسير القياسات البئرية. 84
ثالثاً: احتمالية وجود الهيدروكربون. 90
رابعاً: المسامية الكلية والفعالة. 91
خامساً: حجم الغضار. 94
سادساً: توزع الغضار ضمن تشكيلة الرطبة. 97
سابعاً: الإشباع المائي والهيدروكربوني. 100

الفصل السادس: المضاهاة وحساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة.

أولاً: المضاهاة. 102

- ١- تمهيد. 102
- ٢- المناقشة..... 102
- ٣- المقارنة مع نتائج شركة الفرات. 104

ثانياً: حساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة. 106

- ١- تمهيد. 106
- ٢- أنواع الاحتياطي. 106
- ٣- طرائق حساب حجم الهيدروكربون. 107
- ٤- استخدام الطريقة الحجمية لحساب المخزون النفطي. 108
  - **٤-١- تحديد الحد الفاصل (OWC).** 108
  - **٤-٢- حساب حجم المكمن GRV.** 111
  - **٤-٣- الخواص البتروفيزيائية للصخور.** 112
- ٥- حساب المخزون النفطي. 116

الفصل السابع: النتائج والتوصيات. 117

المراجع العلمية :

باللغة العربية – وباللغة الأجنبية 120

قائمة الجداول:

رقم الجدول	اسم الجدول	الصفحة
1-3	قياسات الاختبار الطبقيRFT للبئر103 محدداً عليه الملاحظات على النفاذية.	49
2-3	قياسات الاختبار الطبقي RFT للبئر102 محدداً عليه الملاحظات على النفاذية.	50
1-4	الحد العلوي والسفلي إضافة إلى سماكة تشكيلة الأرك في آبار منطقة الدراسة.	52
2-4	معدل المسامية الفعالة والكلية ومعدل المسامية ضمن السماكة الصافية لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.	67
3-4	معدل المسامية الأولية والمسامية الثانوية لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.	70
4-4	معدل حجم الغضار لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.	71
5-4	معدل الإشباع المائي والهيدروكربوني لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.	76
1-5	الحد العلوي والسفلي وسماكات تشكيلة الرطبة ضمن آبار منطقة الدراسة.	79
2-5	معدل المسامية الكلية والفعالة لتشكيلة الرطبة.	92
3-5	معدل حجم الغضار لتشكيلة الرطبة لآبار منطقة الدراسة.	95
4-5	معدل الإشباع المائي والإشباع المائي ضمن السماكة المنتجة ومعدل الإشباع الهيدروكربوني لتشكيلة الرطبة.	100
1-6	مقارنة بين القيم المحسوبة حالياً والدراسات السابقة للرطبة.	106
2-6	معدل السماكة الكلية والصافية والنسبة بينهما لتشكيلة الرطبة ضمن آبار منطقة الدراسة.	115
3-6	سماكة القسم المسامي والمشبع بالهيدروكربون وسماكة الغضار ضمن ابار الدراسة.	116
3-6	البارامترات المستخدمة لحساب الاحتياطي النفطي.	113

قائمة الأشكال:

رقم الشكل	اسم الشكل	الصفحة
1-1	خارطة سوريا محدد عليها الوحدات التكتونية الأساسية في سورية. المناطق الأكثر ارتفاعاً تظهر باللون الأحمر الغامق مع التدرج باللون حتى اللون الأزرق الذي يمثل المناطق الأكثر انخفاضاً.	5
2-1	منطقة منخفض الفرات ومحدد عليه حقول المنطقة.	7
3-1	مقطع 3D ثلاثي البعد لمنخفض الفرات، السطح مأخوذ من صور ارضية و ما تحت السطح مأخوذ من قياسات سيزمية.	8
4-1	مقاطع عرضية تخطيطية توضح التطور بألية تشكل منخفض الفرات، حيث المناطق الداكنة تمثل الرسوبات الاحدث عمرا في كل حالة.	10
5-1	العمود الطبقي لحوض الفرات محدد عليه منطقة الدراسة.	11
6-1	موقع حقل الرتكة بالنسبة للحقول المجاورة.	17
7-1	خريطة تظهر حقل الرتكة محدد عليها أهم البلوكات الموجودة والآبار المحفورة.	18
1-2	منطقة الطاقة العالية ، ومنطقة الطاقة المنخفضة	27
1-3	المساميات الفعالة والمؤثرة.	37
2-3	أشكال توزع الغضار ضمن الصخر.	38
3-3	مخطط (Picket plot) للبئر103 الذي يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.	45
4-3	مخطط (Picket plot) للبئر102 الذي يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.	46
5-3	مخطط (Picket plot) للبئر101 الذي يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.	46
6-3	مخطط (Picket plot) للبئر101s الذي يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.	47
1-4	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر103.	52
2-4	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر102.	53
3-4	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر101.	53
4-4	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر101S.	54

5-4	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر 103.	56
6-4	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر 102.	57
7-4	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر 101.	57
8-4	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر 101s.	58
9-4	التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 103 حسب برنامج IP، ويظهر فيه المسامية الفعالة والكلية إضافة للإشباع الهيدروكربوني.	60
10-4	التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 102 والمسامية الكلية والفعالة والإشباع الهيدروكربوني.	62
11-4	التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 101 مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.	63
12-4	التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 101 جنوبي والمسامية الفعالة والكلية والإشباع.	65
13-4	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر 103 ضمن تشكيلة الأرك.	68
14-4	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر 102.	68
15-4	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر 101.	69
16-4	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر 101s.	69
17-4	قياس الإشعاع الطبيعي محدد عليه القيمة الدنيا والعليا التي استخدمت لحساب حجم الغضار إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر 103 ضمن تشكيلة الأرك.	71
18-4	قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر 102.	72
19-4	قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر 101.	72
20-4	قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر 101S.	73
21-4	عرض تقاطعي ضمن البئر 103 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية ومقارنته مع مخطط (Thomas-Stieber) الذي يظهر أشكال توزع الغضار.	74

22-4	عرض تقاطعي ضمن البئر102 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.	74
23-4	عرض تقاطعي ضمن البئر101 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.	75
24-4	عرض تقاطعي ضمن البئرS101 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.	75
25-4	قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني للبئر103.	76
26-4	قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني للبئر102.	77
1-5	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر103.	79
2-5	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر102.	80
3-5	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر101.	80
4-5	الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئرS101.	81
5-5	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر103 ضمن تشكيلة الرطبة.	82
6-5	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر102.	83
7-5	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئر101.	83
8-5	مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيوترون للبئرs101.	84
9-5	التفسير المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر103 حسب برنامجIP، مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.	86
10-5	التفسير المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر102 حسب برنامجIP، مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.	87
11-5	التفسير المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر101 حسب برنامجIP، مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.	88
12-5	التفسير المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئرS101 حسب برنامجIP، مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.	90
13-5	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر103 ضمن تشكيلة الرطبة.	92
14-5	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر102.	93
15-5	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر101.	93

16-5	علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر101s.	94
17-5	قياس الإشعاع الطبيعي محدد عليه القيمة الدنيا والعليا التي استخدمت لحساب حجم الغضار إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر103 ضمن تشكيلة الرطبة.	95
18-5	قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر102.	96
19-5	قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر101.	96
20-5	قياس الاشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر101S.	97
21-5	عرض تقاطعي ضمن البئر103 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية ومقارنته مع مخطط (Thomas-Stieber) الذي يظهر أشكال توزع الغضار.	98
22-5	عرض تقاطعي ضمن البئر102 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.	98
23-5	عرض تقاطعي ضمن البئر101 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.	99
24-5	عرض تقاطعي ضمن البئر101S بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.	99
25-5	قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني للبئر103.	100
26-5	قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني للبئر101.	101
1-6	مقطع للمضاهاة، تظهر فيه التشكيلات الخازنة ضمن حقل الرتكة.	104
2-6	حد الماء- نفط لتشكيلة الرطبة، ضمن البئر 101، من خلال قياس المقاومية العميقة.	110
3-6	قياس RFT الضغط الطبقي للبئر103 محدد عليه أعالي التشكيلات والضغوط الناتجة عن القياس والحد الفاصل بين النفط والماء OWC.	111
4-6	خريطة تركيبية لتشكيلة الرطبة لتحديد حجم الصخور المكمنية.	112

ملخص

تم اختيار هذا الموضوع بالتعاون مع شركة الفرات للنفط، وذلك ضمن إطار التعاون العلمي مع جامعة دمشق. يعود هذا الاختيار إلى المشاكل المتعلقة بحقل الرتكة، إضافة إلى تعقيد بنية الحقل وعدم توفر لباب صخري يُسّهل عملية التفسير، كما أنه ومنذ عام٢٠٠٥ لم تتم إعادة دراسة هذا الحقل، على الرغم من أن الاطار التخطيطي لشركة الفرات يتضمن إعادة دراسة حقول المنخفض بشكل دوري، وذلك لتدقيق النتائج السابقة، والمحاولة للوصول إلى فهم نهائي للحقل.

يتميز حقل الرتكة ببنية معقدة، إضافة إلى عدم وجود لباب صخري يُساعد بعملية فهم البنية النسيجية للتشكيلات ضمن الحقل، كما أن معظم الدراسات التي أجريت لم تكن تحاكي بعضها بشكل كافي، وتحوي العديد من الأخطاء، وفي سبيل ذلك جاءت هذه الدراسة، حيث تمت محاولة جمع الدراسات السابقة وتدقيق المعلومات الجيولوجية مع بعضها، إضافة إلى إعادة التفسير البتروفيزيائي لآبار الرتكة.

تم الاعتماد على القياسات البئرية المنفذة من قبل شركة شلمبرجير لصالح شركة الفرات ضمن حقل الرتكة، وبنيت الدراسة على استجابة السوابر البئرية وتفسيرها ضمن برنامج التفسير البتروفيزيائي Interactive Petrophysics V3.5 (Ip). ونُفذت هذه الدراسة على أربعة آبار هي: (Rat101،102، 103، 101south)، وضمن تشكيلتي الارك والرطبة.

إذ تم تحديد الحدود الطبقية للتشكيلتين ضمن آبار الدراسة اعتماداً على قياس الاشعاع الطبيعي (GR) وقياسات المسامية (Neutron، Density،Sonic). وباستخدام جميع القياسات تم تحديد الليثولوجيا الغالبة على التشكيلتين، وتبين أن الحجر الكلسي هو الغالب ضمن تشكيلة الأرك مع قلة من الدولوميت والغضار، بينما تبين أن تشكيلة الرطبة مكونة من تعاقب الحجر الرملي مع الغضار.

تمت دراسة الخواص البتروفيزيائية لتشكيلتي الأرك والرطبة، حيث استخدمت قياسات المسامية، لتحديد المسامية الكلية والفعالة والثانوية. واتضح أن المسامية الأولية، هي المسامية الغالبة على تشكيلة الأرك الكربوناتية، مع قلة المسامية الثانوية. واستخدم قياس المقاومية التحريضية العميقة Deep Induction (بعد تحديد مقاومية المياه الطبقية باستخدام مخططات شلمبرجير)، في حساب قيم الإشباع المائي من خلال علاقة آرشي وتحديد الإشباع الهيدروكربوني. وقد تبين أن تشكيلة الأرك ذات مواصفات خزنية ضعيفة، وتحتوي كميات

متوسطة من النفط ومتفاوتة بين الآبار. أما تشكيلة الرطبة فكانت ذات مواصفات خزنية ممتازة ضمن بئر الرتكة 103 بشكل أساسي. لكنها ذات مواصفات أقل جودة ضمن باقي الآبار. كذلك تم تحديد الحد الفاصل بين الماء والنفط (Oil Water Contact) باستخدام قياس المقاومية التحريضية العميقة وقياس الاختبار الطبقي(RFT). وحُسب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة باستخدام الطريقة الحجمية بعد الاستعانة بحجم صخور المكمن المحسوب من قبل شركة الفرات، فوجد أن كمية المخزون النفطي تساوي (24.24) مليون برميل.

Abstract:

This topic has been chosen in cooperation with Al-Furat Petroleum Company, and within the framework of scientific cooperation with Damascus University. The choice has been made due to problems related to Ratka field and the field-structure complexity, as well as the lack of cores, which make process of interpretation easier. In spite of the planning framework for the Euphrates company, which includes re-examine the fields of the graben regularly to check the previous results and try to reach a final understanding of the field this field has not been re-examine since 2005. Al-Ratka field is characterized by a complex structure, in addition to the lack of cores, which helps to understand the process of histological structure of the formations within the field. Moreover most of the studies that have been made in this reward were either inconsistent or contained many errors. Hence came the need for this study. We have re-examined previous studies, checked geological information and gave a petrophysical re-interpretation of Al-Ratka wells. In Ratka field We relied on borehole measurements that were implemented by Schlumberger company in favor of the Al-Furat company. The study is built on the response and interpretation of borehole logging by using the" Interactive Petrophysics" program "IP". This study is implement on four wells: (Rat 101 ،Rat 102, Rat 103 ،Rat 101 south). The stratigraphic borders of the formation within the studied wells have been determined depending on the measure of the Natural Radiation (GR) and the measurements of porosity (Sonic, Density, Neutron). The lithology which is dominant by the two formations have

been identified by using all the measurements. It was found that limestone is mostly within Al-Erek formation with a lack of dolomite and clay and Al-Rutbah formation consist of sequence of sandstone with clay. Petrophysical properties of the two formations: Erek and Rutbah were used to determine the total , secondary and effective porosity. It was found that the initial porosity is dominant by the carbonate Erek formation with little secondary porosity. Deep induction resistivity measurement was used (after determining stratigraphic water resistivity using Schlumberger Charts) to calculate water saturation values by Archie relationship and determine hydrocarbon saturation. . It was found that the Erek formation has weak reservoir properties and it contains medium amounts of oil which is varied between wells. On the other side, Al-Rutbah formation has excellent reservoir properties mainly within the Ratka-103 Well, but it has Lower quality reservoir properties within the rest of the wells. As well, the Oil- Water contact (OWC) was identified by using deep induction resistivity measurement and measurement of the formation test (RFT).The Oil reserves was calculated by volumetric method for the Rutbah formation after using the bulk of Reservoir rocks which is calculated by the Euphrates company, so it was found that the amount of oil stocks equals to (24.24) million barrel.

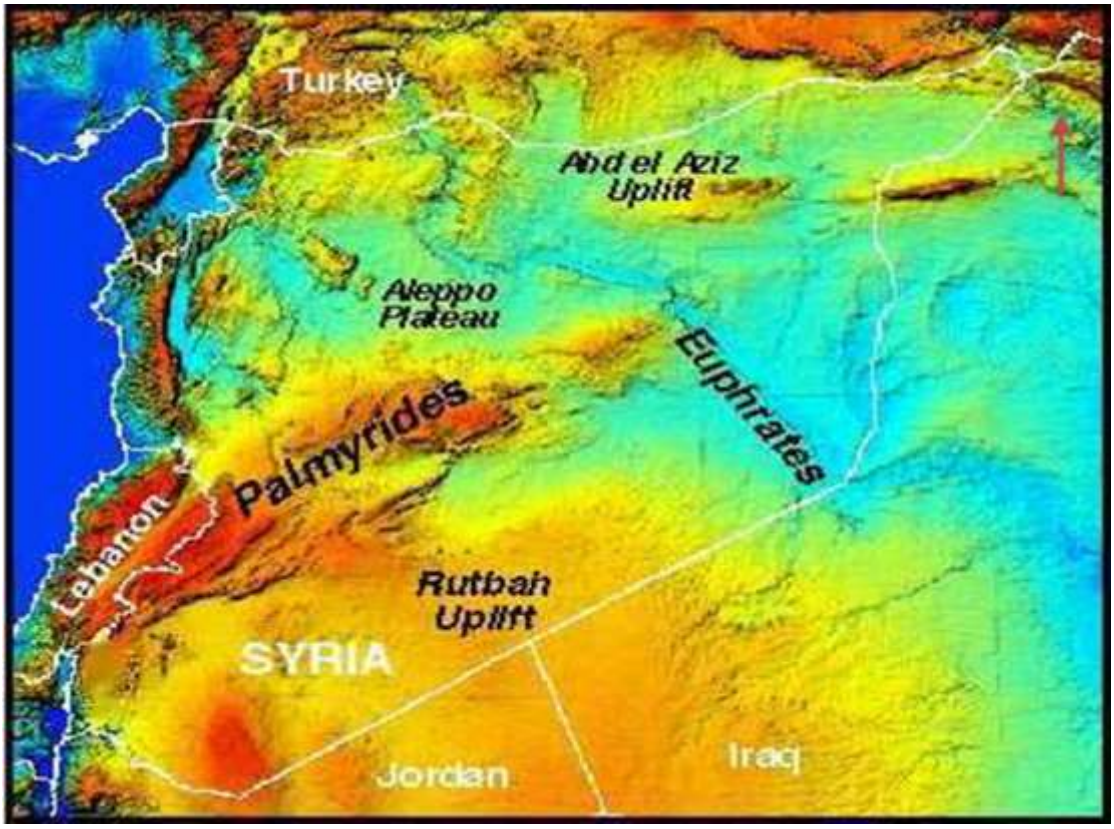
الفصل الأول

معطيات عامة

أولاً: الوضع الجيولوجي العام لسورية.

تقع معظم أراضي الجمهورية العربية السورية، ضمن الجزء الأكبر من الصفيحة العربية ويتمفصل جزء صغير منها مع نطاق الطي الألبي. **(الشكل 1-1)** .

بينت الدراسات الجيوفيزيائية إضافة إلى أعمال الحفر، إلى أن الركيزة في سورية تغوص بالاتجاه الشمالي الشرقي ويصل عمقها إلى ١٠كم في شمال العراق، وهي ذات سطح متعرج بتضاريس صاعدة وهابطة، تكثر فيها الفوالق التي يصل بعضها للغطاء الرسوبي.



شكل (1-1): خارطة سورية محدد عليها الوحدات التكتونية الأساسية في سورية. المناطق الأكثر ارتفاعاً تظهر باللون الأحمر الغامق مع التدرج باللون حتى اللون الأزرق الذي يمثل المناطق الأكثر انخفاضاً (Brew et al,1999).

نميز في سورية جزئين بنيوين مختلفين في نشاطهما هما: جزء داخلي مستقر ذو بنية معقدة، ويضم: نهوض الأردن، منخفض جبل العرب، نهوض الرطبة. وجزء خارجي غير مستقر ذو بنية أشد تعقيداً من سابقه، وتقع فيه أهم المكامن النفطية في شمال شرق سوريا ويشتمل على: نهوض حلب، ونطاق الطي التدمري، والمنخفضات التي تضم مقدمة حوض ما بين النهرين، وحوض الفرات. (**Brew et al,1999**)

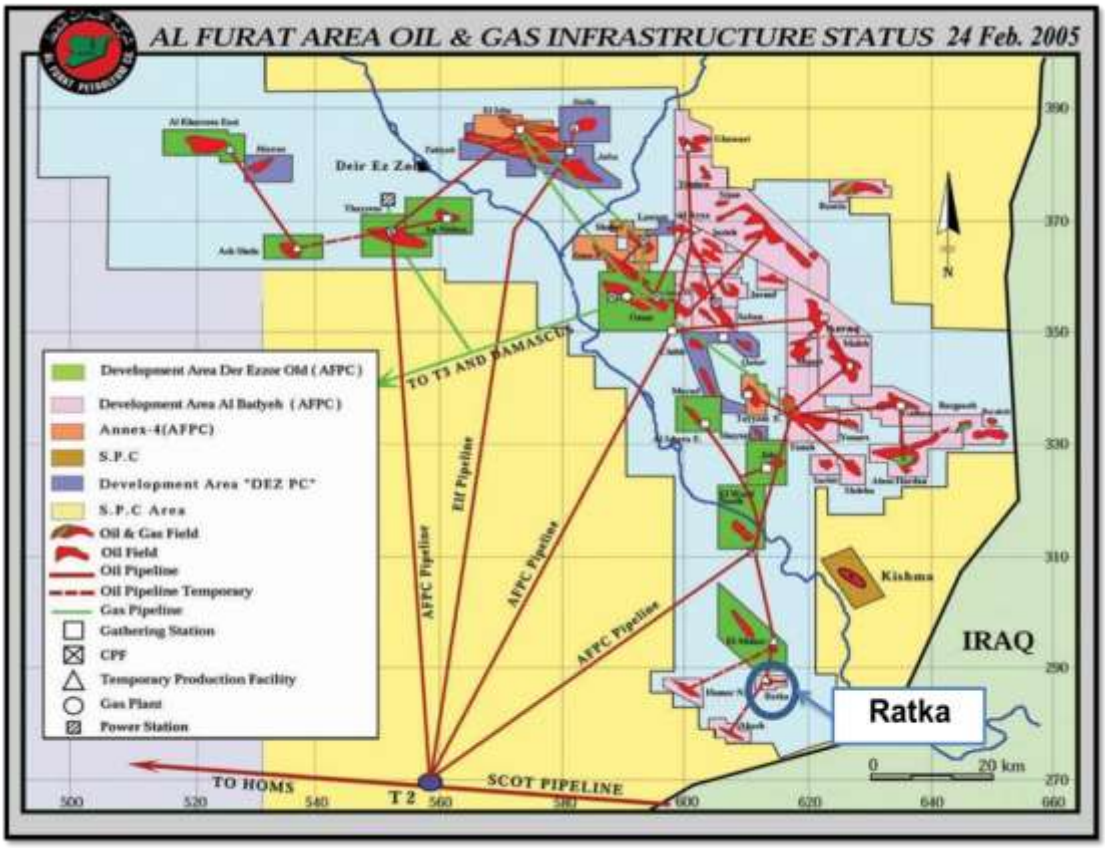
ثانياً: منخفض الفرات.

٢ – ١ – مقدمة عامة حول منخفض الفرات:

منخفض الفرات هو إحدى البنيات الجيولوجية الرئيسية الأربعة المشكلة لجيولوجية سورية. يقع هذا المنخفض في الجزء الشرقي من أراضي الجمهورية العربية السورية، ويشكل جزءاً هاماً من حوض الفرات، الذي يمتد على مساحة واسعة من أراضي الجمهورية العربية السورية، بدءاً من الحدود السورية التركية في الشمال الغربي وحتى الحدود السورية العراقية في الجنوب الشرقي. (**الشكل 1-2**).

يقع الجزء السوري من منخفض الفرات في الجزء غير المستقر من الصفيحة العربية، وهو حوض انهدامي. ويتميز بسيطرة الفوالق العادية ويتجه (شمال غرب– جنوب شرق).

تعود التشكيلات الجيولوجية الموجودة في منخفض الفرات إلى أعمار مختلفة، التي تمتد من الأوردوفيشي وحتى الميوسين. ومن أهم التشكيلات الحاملة للهيدروكربون في منخفض الفرات بشكل رئيسي تشكيلتي الملوسة F والرطبة. وهما تشكيلتان محصورتان بين تشكيلات رسوبية كربوناتية، تعرضت للإجهادات والتصدع. يُلاحظ في منخفض الفرات وجود عدم توافق بين جزئين رئيسين، يقع الأول منهما بين الكربوني والترياسي المتأخر، أما الثاني فيفصل بين العصرين الترياسي المتأخر والكريتاسي المبكر، حيث يغيب الجوراسي تماماً في منخفض الفرات (Litak et al,1998).

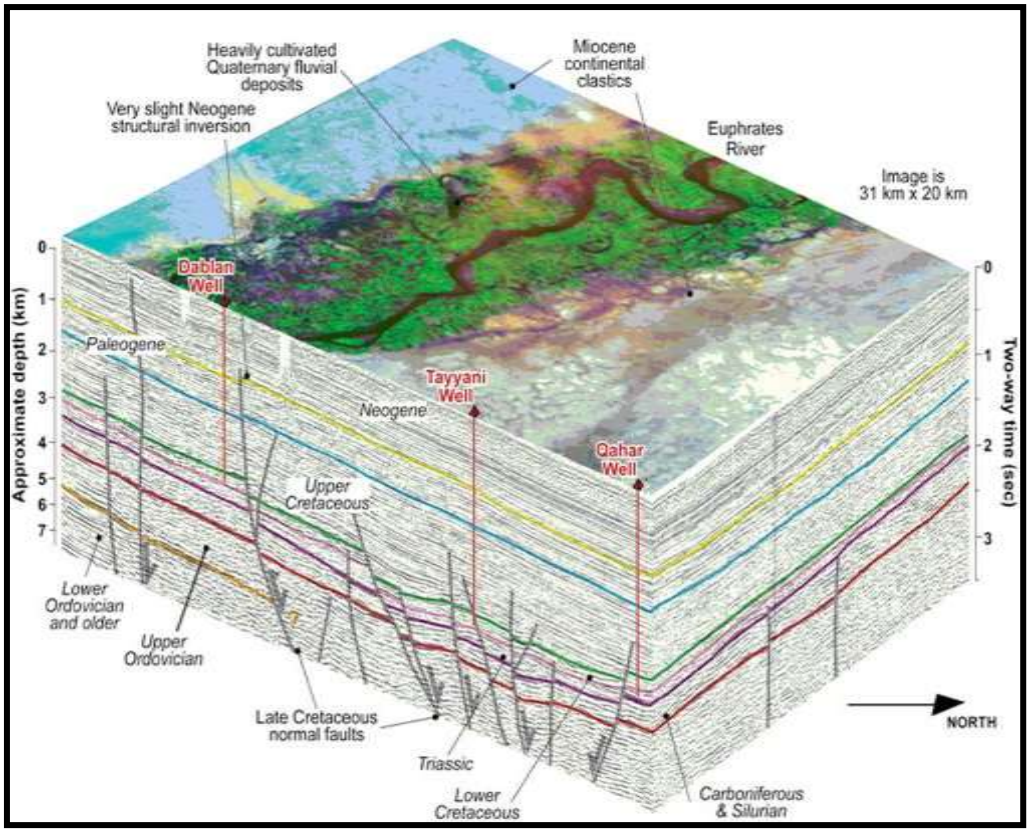


شكل (1-2): منطقة منخفض الفرات ومحدد عليه حقول المنطقة.(شركة الفرات)

٢-٢- تشكيل منظومة منخفض الفرات:

منخفض الفرات انفطار غير كامل محدد بالفوالق (fault bounded failed rift)، وتعكس اتجاهات الفوالق المختلفة أطواراً مختلفة من حركات التكتونيك العميق، التي حدثت خلال (الميزوزوي – السينوزوي) ضمن الجزء الشمالي من الصفيحة العربية والصفائح المجاورة. تطور هذا التصدع غير المكتمل غالباً، خلال الكريتاسي المتأخر، وشكّلت المنطقة المتصدعة عدداً من المنخفضات والمرتفعات والكتل المائلة. (**Brew et al,2001**) (**الشكل 1-3**)

بيّن ليتاك (Litak,1998) من خلال دراسة منظومة صدوع الفرات، أنها تنتمي إلى منطقة شد قليلة التشوه، وتمتد من الحدود العراقية في الجنوب الشرقي حتى الحدود التركية في الشمال الغربي، وتتضمن منخفض الفرات. كما انتشر عدم التوافق من عمر توروني – كونياسي انتشاراً واسعاً، ومن المحتمل أنه يدل على ارتفاع حصل قبل الانفطار(Pre Rift uplift). ويبدو أن الحجر الكلسي الواقع تحته تعرض لعمليات الحت والدلمتة. كما أن الشد المرتبط بالانفطار توقف في الماستريخت.



شكل (1–3): مقطع 3D ثلاثي البعد لمنخفض الفرات، السطح مأخوذ من صور جوية و ما تحت السطح مأخوذ من القياسات السيزمية، تظهر البنى التحت سطحية المعقدة أكثر من السطح، بسبب كثرة الفوالق العادية (Brew et al,2001).

وصل ترسيب الكربونات المرافقة للانفطار إلى أوجه خلال الكامباني والماستريختي المبكر وذلك بترسيب حتى ٢٣٠٠م من الحجر الكلسي المارلي في المنخفض. تعرضت منظومة صدوع الفرات إلى انضغاط انزلاقي يميني ضعيف بالإضافة إلى إعادة تنشيط خلال النيوجين.

استمر الانفطار خلال فترة توضع رسوبيات الديرو والرماح والأرك والشيرانيش السفلى. في الكريتاسي العلوي والباليوسين السفلي بدأ الانفطار بالانتهاء دون تكوين القشرة المحيطية.

٢–٣– مراحل تشكل منخفض الفرات:

تكوّن منخفض الفرات في الماستريختي المتأخر واستمر تشكله حتى السينوزوي. وفيما يلي مراحل تشكل المنخفض وعلاقته بتشكل الصخور الخازنة والمولدة للهيدروكربونات فيه حسب (Litak et al,1998). **(الشكل 1–4)**

- المرحلة الأولى: تم خلال هذه المرحلة التي تعود إلى الكريتاسي الأسفل، ترسيب تشكيلة الرطبة التي تشكل أهم الصخور الخازنة في حقول الميزوزي.

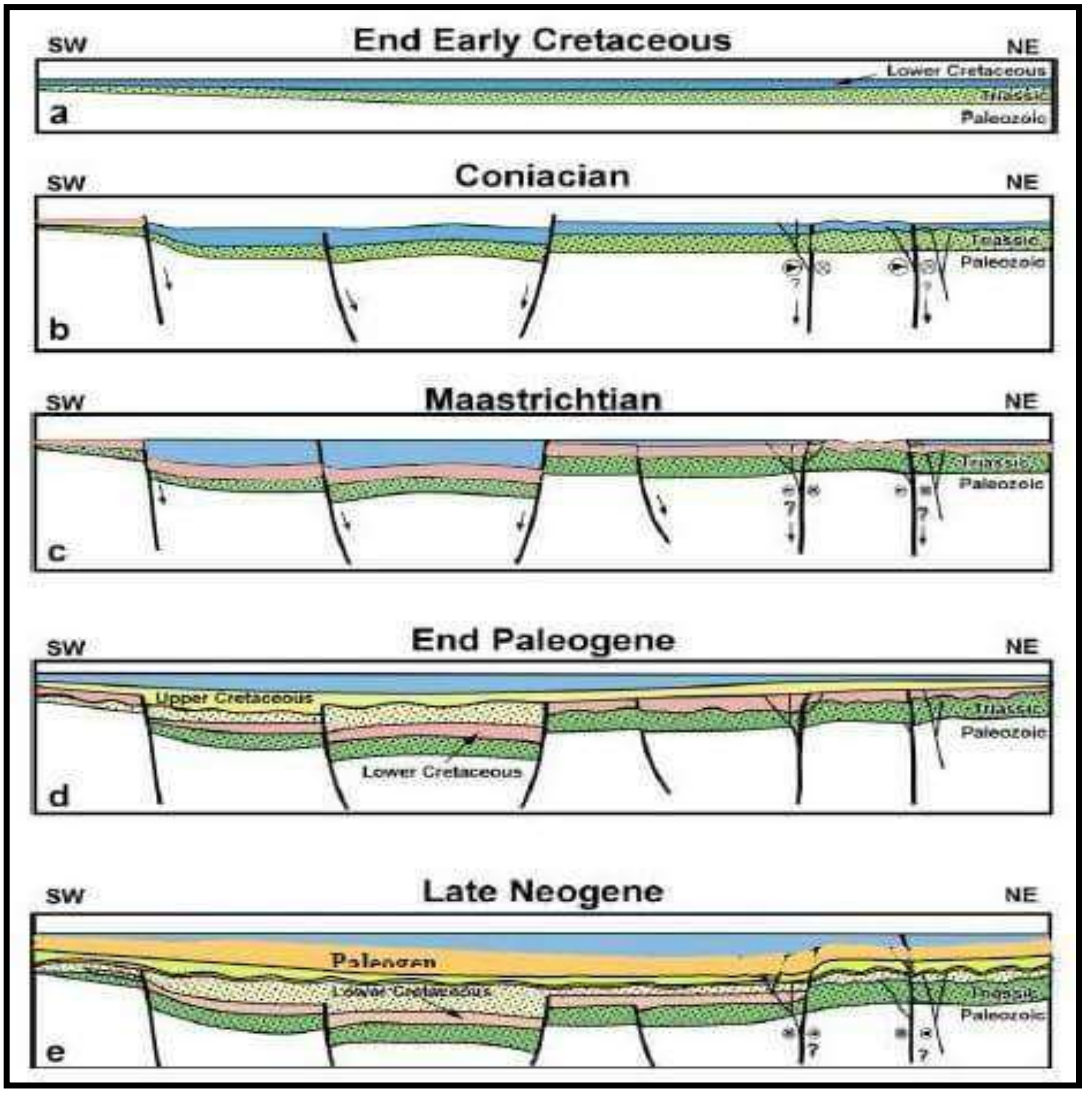
- المرحلة الثانية: بدأ في هذه المرحلة الانفطار وذلك خلال الكونياسي، مع تشكل كتل فالقية وسطح عدم توافق إقليمي، وترسيب محدود لحطاميات قارية مثل تشكيلة ديرو.

- المرحلة الثالثة: تعتبر هذه المرحلة مرحلة التشوه الرئيسي، وقد حدثت خلال الكامباني – ماستريختي وذلك بتشكل صدوع عادية واسعة الانتشار أدت إلى تشكل المنخفض.

- المرحلة الرابعة: توضعت في هذه المرحلة رسوبيات، تمثّلت فيما بعد بالصخور المولدة (تشكيلة الشيرانيش والرماح)، والتي بلغت سماكات كبيرة، كما هو بالنسبة لتشكيلة الشيرانيش التي وصلت سماكتها إلى ١٤٠٠م في مركز الحوض.

- المرحلة الخامسة: استمر في هذه المرحلة تطور المنخفض في بيئة بحرية حيث توقف النشاط الفالقي في نهاية الكريتاسي، ودفن النطاق المتحرك والمنخفض والمناطق المتاخمة له تحت متوالية(Sequence) رسوبية سميكة (أكثر من ١٠٠٠ م) متوضعة بشكل مسطح نسبياً.

يُمكن القول وبشكل مبسط، أنه حدثت عمليات شد، ثم تكسر الكتل الفالقية، نتيجة الفوالق وإعادة توضعها، وخلال هذه العملية كان يحصل ترسيب لبعض التشكيلات بسماكات مختلفة حسب المكان الذي وجدت فيه. وبعد انتهاء تشكل انهدام الفرات تكونت تشكيلات بسماكات جيدة شبه منتظمة (نهاية الكريتاسي)، حيث توجد تشكيلات توضعت قبل الانهدام (Pre Rift) وتشكيلات توضعت أثناء الانهدام (Syn Rift) وتشكيلات توضعت بعد الانهدام (Post Rift).



شكل (1-4): مقاطع عرضية تخطيطية توضح التطور بألية تشكل منخفض الفرات، حيث المناطق الداكنة تمثل الرسوبات الأحدث عمراً في كل حالة (Litak et al,1998).

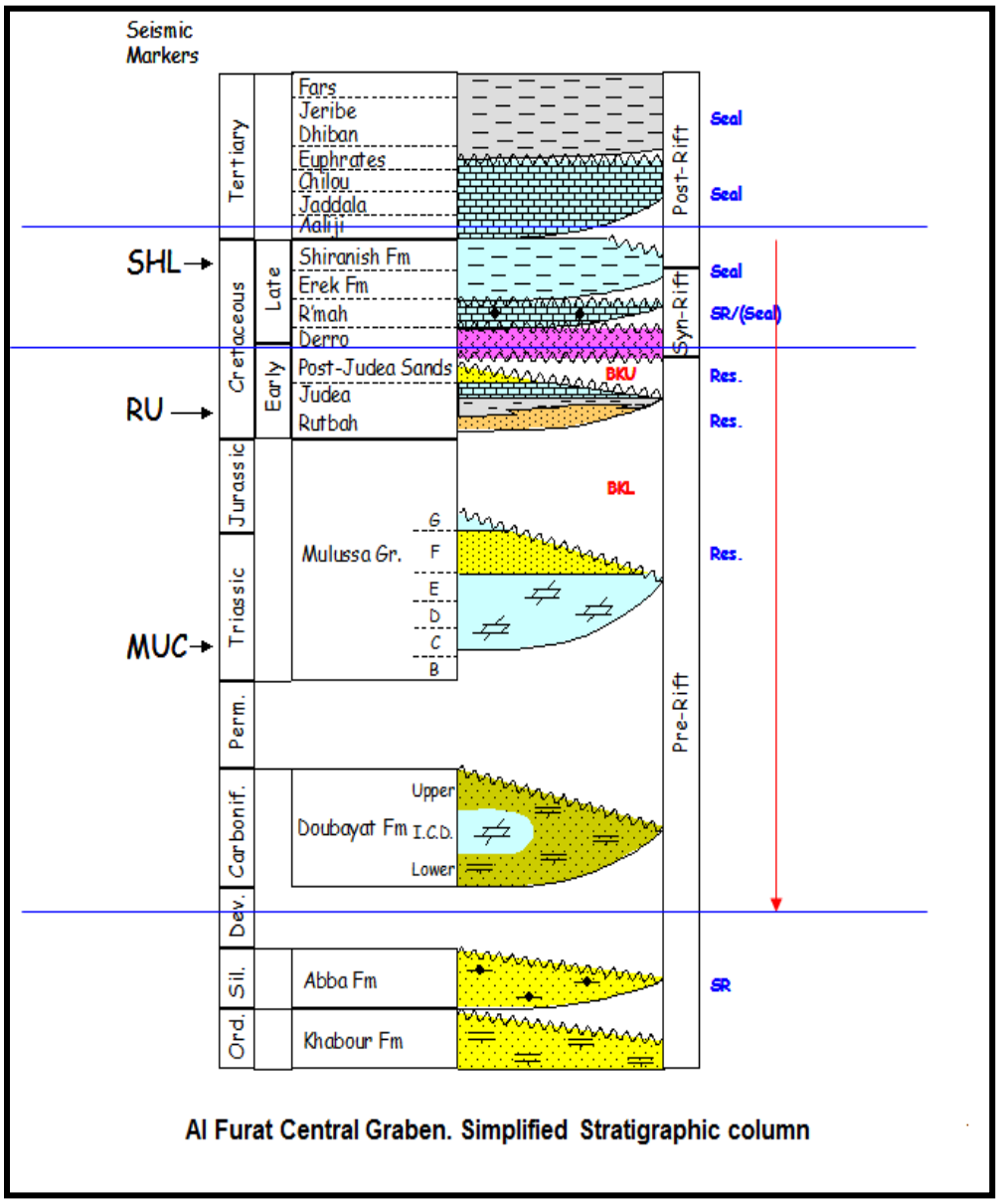
٢-٤- العمود الطبقي لمنخفض الفرات:

نُوضح من خلال (**الشكل 1-5**)، العمود الطبقي لمنخفض الفرات بشكل مفصل مع التشكيلات التي وجدت ضمن كل عمر جيولوجي حسب تقرير أعد ضمن شركة الفرات للنفط.

- **صخور ما قبل الكامبري والركيزة البريكامبرية:**

تتوضع في منطقة الفرات على عمق ٩ كم (**Brew et al,1999**)، لم تخترق في أي بئر من آبار المنطقة، بالإضافة إلى أنها، لا تشكل عاكساً سيزمياً جيداً، لذلك فإن أي معلومة حول

الركيزة، تعتبر استنتاج من خليج العقبة في الاردن أو من المجن العربي في السعودية، وتتضمن هذه الصخور غضاراً صفحياً متحولاً (Shale)، وكوارتزيت، وغرانيت متحول، ورخام.



شكل (1-5): العمود الطبقي لحوض الفرات محدد عليه منطقة الدراسة (شركة الفرات للنفط).

- **الباليوزوي Paleozoic:**

تصل سماكة رسوبيات الباليوزوي لأكثر من ٤ كم، يعود أغلبها للكامبري – سيلوري (**Brew et al,1999**). وتتميز توضعات الباليوزوي بسيطرة الرسوبيات الفتاتية (الكلاستية)، وهي رسوبيات بحر ضحل مكونة، من حجر رملي وغضار صفحي. ويزداد عمق رسوبيات الباليوزوي بالاتجاه نحو الشمال والشمال الشرقي، وأيضاً باتجاه نطاق المدبة (Madabe)، وتغيب رسوبيات

الديفوني في سورية بشكل عام، مشيرة إلى عدم توافق ناتج عن شد أقليمي. أما التشكيلات الرئيسية العائدة إلى هذا العمر فهي:

تشكيلة الخابور Khabour، تشكيلة العبا، تشكيلة الضبيات Doubayat (المولوسا A).

- **الميزوزوي Mesozoic:**

تتكشف صخور هذا الحقب في سورية في قسم المحدبات وكذلك في مراكزها، وفي محاور الفوالق وفي المناطق الساحلية، إضافة لتواجدها في معظم آبار منخفض الفرات. وتتألف صخور هذه المنطقة من مواد كربوناتية ومارل ولا تعرف سماكة محددة لتشكيلات الميزوزوي في منخفض الفرات وذلك بسبب ترسبها المرافق لعمليات الانفطار التي تعرض لها الحوض، فبعض المناطق كانت عبارة عن بلوكات ناهضة حصل لها عمليات حت في الوقت الذي كانت فيه هذه التشكيلات تترسب في سفوح هذه البلوكات، فلذلك يمكن أن تغيب تشكيلاته في أي منطقة، أو تتغير سماكته حسب الموقع ، الذي كانت تتخذه أثناء الترسيب. (**Brew et al,1999**)

تشكيلات الميزوزوي في منخفض الفرات هي:

مجموعة المولوسا(Mulussa): مكونة من تشكيلات الملوسة (A،B،C،D،E،F)، تشكيلة الرطبة Rutba، تشكيلة الجوديا Judea و تشكيلة رمال الجوديا PJS، تشكيلة ديرو Dero، تشكيلة الرماح R'mah، تشكيلة الأرك Erek ،تشكيلة الشيرانيش Shiranish.

- **السينوزوي Cenozoic:** يضم هذا الحقب التشكيلات التالية: (**Brew et al,1999**)
تشكيلة العليجة Aaliji، تشكيلة الجدالة Jaddala، تشكيلة الشيلو Chilou، تشكيلة الفرات Euphrates، تشكيلة الديبان Dhiban، تشكيلة الجريبة Jeribe، تشكيلة الانتقال من الفارس السفلي للجريبة، تشكيلة الفارس الأسفل Lower Fares، تشكيلة الفارس العلويUpper Fares.

٢-٥- المأمولية الهيدروكربونية في منطقة منخفض الفرات:

ما زالت عمليات الاستكشاف النفطي جارية، منذ أكثر من ثلاثة عقود في منخفض الفرات من قبل الشركة السورية للنفط وشركة الفرات للنفط والشركات الأجنبية الأخرى، لتحديد واستكشاف جميع المصايد المتوفرة. فقد تم خلال تلك الفترة استكشاف معظم المصايد النفطية البنيوية الرئيسة المكونة من بنيات تركيبية مختلفة الاحجام والأشكال (البلوكات الفالقية المقلوبة

Titled blocks، المرتفعات Horsts، والمحدبات Anticlines)، التي تشكلت نتيجة لعمليات التصدع Syn–rift التي حدثت أثناء الكريتاسي الأوسط والأعلى. (**Brew et al,2001**)

يُعد منخفض الفرات من المناطق الغنية نفطياً في سورية، حيث بدأ الاستثمار فيها عام1987 من قبل شركة الفرات للنفط، وذلك من خلال حفر عدد كبير من الآبار على امتداد المنخفض، ابتداءً من شرق وجنوب شرق مدينة دير الزور، وانتهاءً بالحدود السورية العراقية. ويُعد حقل التيم أول حقل مكتشف في عام 1985.

بينت عمليات الاستكشاف السابقة، أن أغلب المصايد النفطية، تتمركز في أماكن المنخفضات (المركزية والفرعية). أي في وسط وجنوب شرق منخفض الفرات، أي تتواجد في المناطق التي تحتوي على سماكات هامة من صخور المنشأ، العائدة إلى الكريتاسي العلوي (تشكيلات رماح والأرك والشيرانيش السفلي). (**Brew et al, 2001**)

يحوي منخفض الفرات على الكميات الأهم من الهيدروكربون في سورية، ولم يكن معروفاً قبل الثمانينات، وتقدر الاحتياطيات القابلة للاستخراج في منطقة الفرات أكثر من ١ مليار برميل من النفط الخفيف، ويقدر انتاجها يومياً أكثر من (٤٠٠٠٠٠ برميل من الخام الخفيف تقريباً) من أصل المتوسط الوطني ٥٤٠٠٠٠ برميل (Oil & gas journal December 2000).

يُستخرج معظم الإنتاج الهيدروكربوني، من تشكيلة الرطبة الرملية العائدة للكريتاسي السفلي وهي تشكيلة شاطئية أو بشكل أدق دلتاوية ذات مواصفات خزنية جيدة، مكونة من (Sand stone – clay stone). وتعد تشكيلة الملوسة F (ترياسي علوي)، خزاناً نفطياً هاماً، إضافة إلى سحنات مختلفة من بيئات شاطئية إلى قارية.

يضم منخفض الفرات أربعة مناطق نفطية رئيسة منتشرة من الشمال إلى الجنوب كما يلي:

١–منطقة حقل التيم: وتضم تراكيب، الشولا، شمال الخراط، النيشان، التييم، العزبة.

٢– منطقة حقول العمر: وتضم تراكيب، العمر، شمال العمر، الغواري، يمكن، سجان، جرنوف، جزية، سعبان، شاهل، علايا.

٣– منطقة حقول التنك: وتضم تراكيب، المالح، غلبان، شرق الطياني، التنك، شمال التنك، الازرق، شدها، أبو حردان، برغوث.

٤– منطقة حقول الورد: وتضم تراكيب، شمال الورد، جيدو، الأحمر، رتكة، عكاش، شرق الاشارة.

شملت عمليات الحفر جميع التراكيب السابقة الذكر وبأعماق مختلفة بهدف إنتاج أكبر كمية من النفط والغاز وذلك من الخزان الرئيسي فيها، إذ تعتبر تشكيلتا الرطبة والمولوسا بمثابة الخزان الرئيس في منخفض الفرات، حيث تكون تشكيلة الرطبة العليا سقفه.

٢-٦- التشكيلات النفطية:

٢-٦-١- الصخر الأم أو صخر المنشأ:

يوجد العديد من التشكيلات المولدة للهيدروكربون في منطقة منخفض الفرات، كتشكيلات الرماح والشيرانيش العائدة للكريتاسي العلوي وتشكيلة التنف السيلورية، التي أسهمت بشكل واسع في شحن وإمداد الهيدروكربون لجميع حقول المنطقة.

لقد توصلت الدراسات الجيوكيميائية، إلى نتائج جيدة للمضاهاة التي أجريت بين النفط المنتج من الرطبة والملوسة F وبين العينات المأخوذة من صخور المنشأ لتشكيلات رماح والأرك والشيرانيش. حيث توافقت درجة نضج النفط للتراكيب النفطية المختلفة مع مستويات الإنضاج لصخور المنشأ. وتعتبر تشكيلة الرماح الصخر الرئيس المولد للهيدروكربون. كما تُساهم أيضاً التشكيلات الأخرى في شحن وإمداد الصخور الخازنة في معظم حقول النفط الموجودة في منخفض الفرات.

تُعد تشكيلة الشيرانيش العلوية أفضل الصخور المولدة للنفط، وخاصة القسم العلوي منها إلا أن درجة نضجها، كما أشارت الدراسات الجيوكيميائية ضعيفة في منطقة الفرات. تكون تشكيلتا الرماح والشيرانيش (كريتاسي علوي)، مع بعضهما سماكة (800m)، كلاهما مكونان من حجر كلسي غضاري ومارن صواني (argillaceous limestone and cherty marls) الذين يمثلان سحنات بحر عميق.

٢-٦-٢- صخر الغطاء:

كونت تشكيلات (الرماح والأرك والشيرانيش) المؤلفة من الحجر الكلسي المارلي، والتي ترسبت أثناء الكريتاسي العلوي، بالتزامن مع عمليات التصدع، صخوراً مغطية عمودياً وجانبياً للصخور الخازنة الرئيسي (الرطبة والملوسة F)، وخاصة في المناطق الشرقية والجنوبية والمركزية من منخفض الفرات، والتي ملأت كل مناطق المنخفضات وغطت كل بنيات المنطقة.

كما يُشكل الحجر الغضاري لطبقة الديرو أو الطبقة الحمراء Redbed المسماة (Waste zone) المتوضعة أسفل التشكيلات المغطية المذكورة أعلاه، صخراً مغطياً جيداً في بعض حقول النفط من المنطقة، خصوصاً عندما تتجاوز سماكتها ١٠٠ متر، كما في منطقة الشبلي. كذلك فقد لعبت الطبقة الرملية الغضارية لتشكيلة الرطبة العلوية دور الصخر الكتيم والمغطي جانبياً وعمودياً للصخور الخازنة.

٢-٦-٣- أهم التشكيلات الخازنة:

- الخزان الأول هو تشكيلة الرطبة (كريتاسي سفلي): بسماكة تقريبية (180-250m) مكونة من الرمل والحجر الرملي والغضار (sandstone and claystone sand) مع سحنات مختلفة بين بيئات قارية وشاطئية.

- الخزان الثاني هو الملوسة F (الترياسي العلوي): بسماكة (200-500m) ويتألف من تباينات من الحجر الرملي والغضار (heterogeneous sandstone and claystone). العائدين لبيئة ترسيب هي غالباً قارية، وتختلف بين البحيرات ومنعطفات الأنهار (meandering valley).

- الخزان الثالث رمال الجودية (Post-Judea Sandstone) (كريتاسي علوي): بسماكة حوالي 100m، وتتكون من طبقات من الحجر الرملي والغضار، وتعود لسحنات بحرية ضحلة.

ثالثاً: الدراسات والأعمال السابقة.

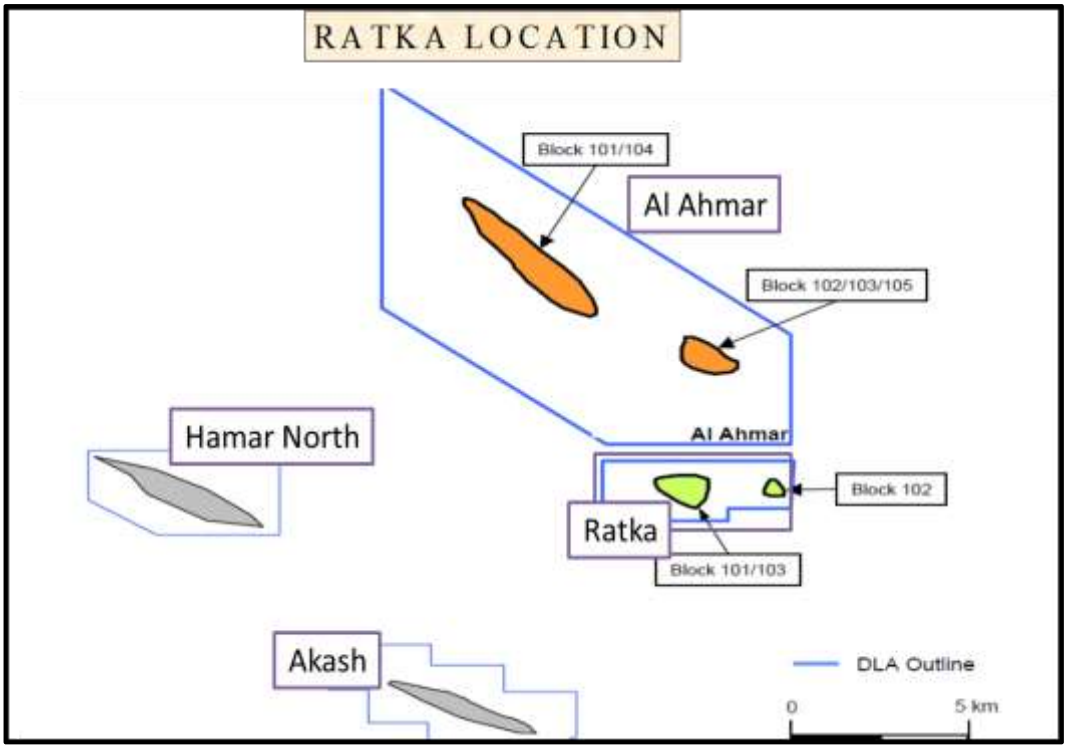
فيما يلي أهم الدراسات المنجزة في منطقة الدراسة:

- (Sawaf et al, 1998): التطور البنيوي والبترولوجي لمنخفض الفرات جنوب شرق.
- عام 2001 قامت جامعة كورنل بدراسات عديدة حول التطور الجيولوجي والتكتوني لسورية (Brew et al).
- عام 2009-2008: دراسة ترسيبية بتروفيزيائية لتشكيلة الرطبة في منخفض الفرات في سورية- المنعكسات النفطية التي أعدت من قبل الطالب رامي محمد.

- عام 2001–2000: تم دمج معطيات سايزمية 3D لحقل الرتكة مع حقل الأحمر وإعادة معالجتها من قبل شركة (Spectrom –uk) من أجل تحسين الفهم العام للبنية المعقدة لحقل الرتكة والأحمر، وإيجاد فرص حفر أفضل.
- عام 2008–2007: قامت شركة الفرات بدراسة لحقل الأحمر القريب من منطقة الدراسة وكانت بعنوان استخدام المعطيات البتروفيزيائية في إنشاء نموذج ديناميكي لحقل الأحمر من أجل تطوير انتاجه.
- وأجريت قياسات بئرية لحقل الرتكة وتتمثل بقياسات المقاومية وقياسات المسامية وقياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى قياس الاختبار الطبقي (RFT).
- تقارير شركة الفرات للنفط، والتي تناولت التفسيرات الأولية المنفذة على القياسات البئرية في الآبار ودراسة الخواص الخزنية للتشكيلات الخازنة، إضافة إلى حساب حجم المكمن وباقي البارامترات اللازمة لحساب الاحتياطي.
- دراسة جمعت بين حقل الرتكة والحقول المجاورة (الأحمر والحمار والعكاش).

رابعاً: منطقة الدراسة.

تتمثل منطقة الدراسة بحقل الرتكة (Ratka)، ويقع هذا الحقل في منطقة عقد الشام الاستثماري بين البوكمال والميادين، حوالي ٩كم جنوب حقل الأحمر، و٢٥ كم جنوب حقل الورد. وهو عبارة عن نهوض اتجاهه شمال غرب–جنوب شرق (NW– SE). يحده من الشرق الفالق المحدد لمنخفض الورد، ومن الغرب الفالق المحدد لمنخفض المدبة، حيث يتقارب الفالقان باتجاه الجنوب الشرق SE. ويقع الحقل بجانب عدة حقول مهمة وهي العكاش والأحمر والحمّار. **(الشكل 1–6)**



(الشكل 1-6): موقع حقل الرتكة بالنسبة للحقول المجاورة.(شركة الفرات للنفط، 1988)

تتكون بنية حقل الرتكة حسب تقارير أُعدت في شركة الفرات للنفط من كتلتين منفصلتين أساسيتين، على جانبي الفالق المحدد لنهوض الرتكة إضافة لعدة كتل فالقية ثانوية.(**الشكل 1-7**)

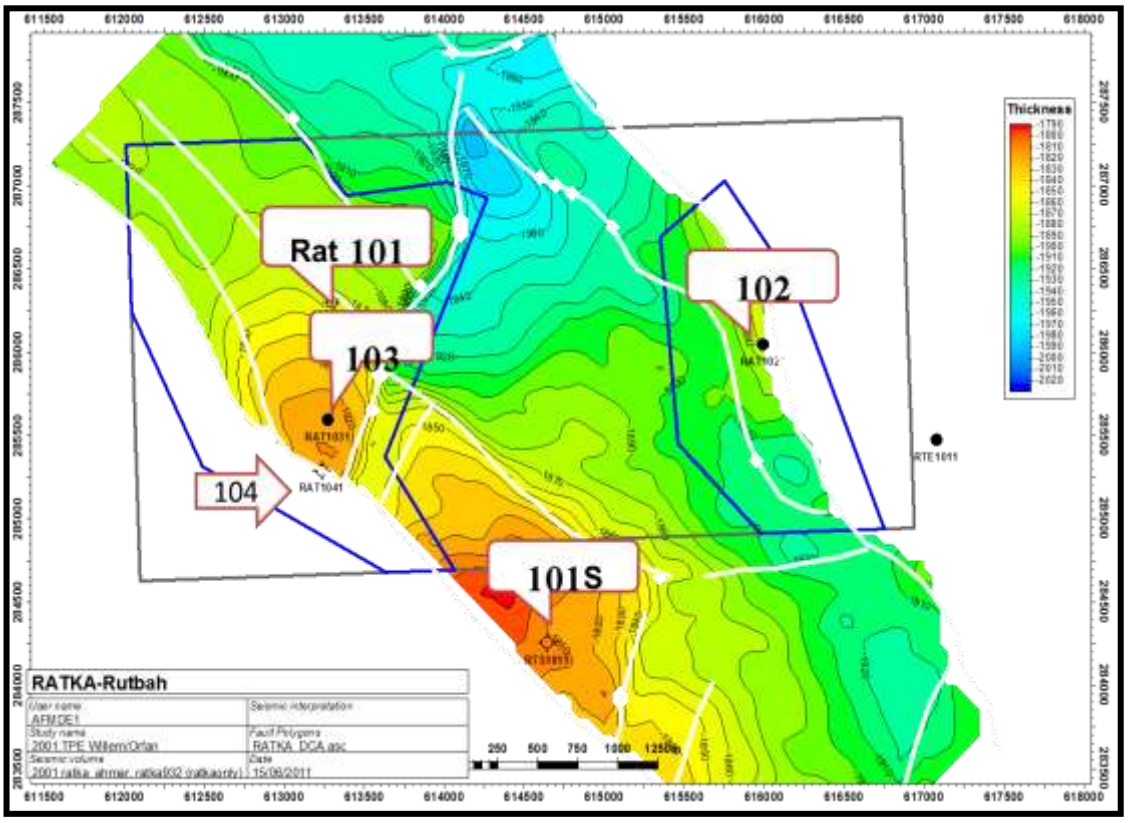
تقع الكتلة الأولى الغربية في الجنوب الغربي من الحقل، وتم اكتشافها من خلال حفر البئر (101) في نيسان عام ١٩٨٨، وبعدها حُفرت بئر الرتكة (103) عام ١٩٨٩. تقع البئر (103) بقمة (crest) البلوك حيث يكون أكبر تجمع للنفط. يُنتج البئر 103 النفط ضمن الشروط المطلوبة بدعم من الضغط القوي لنظام المياه الجوفية التي كانت تعمل على زيادة الضغط ولكن فيما بعد وضعت مضخة تسمى (Esp) للمساعدة في الإنتاج. الخزان المنتج في بئر 103 هو تشكيلة الأرك والرطبة وبشكل خفيف الملوسة. النفط خفيف، مع نسبة الغاز للنفط (GOR of 360 scf/bbl).

أما الكتلة الثانية الشرقية تقع في الشمال الشرقي من الحقل، وتم اكتشافها من خلال حفر البئر (102) في شهر نيسان ١٩٨٩. وكان الخزان المنتج فيه هو تشكيلة الأرك الكربوناتية ولكن بشكل متقطع بسبب ارتفاع نسبة الغاز فيه. حيث عند ارتفاع نسبة (GOR) أي نسبة الغاز على النفط واقتراب ضغط الخزان من ضغط الإشباع (bubble point)، تتشكل الفقاعات الغازية بمعنى ينفصل الغاز عن النفط وهذا يؤدي لانخفاض الضغط داخل الخزان، لذلك في هذه

الحالة يتم إغلاق هذه البئر لفترة معينة حتى يزداد ضغط الخزان تدريجياً ثم يعود إنتاج البئر الطبيعي من جديد.

يشغل البلوكين مع بعضهما مساحة (1.75 km²)، وبامتداد (2.5 km)، ويحتويان على نفط خفيف. إضافة إلى بلوك جانبي على طرف البلوك الأول وحُفرت فيه البئر104. وتم حفر بئرين (101 جنوبي وشرقي) لمعرفة حدود حقل الرتكة.

تعد تشكيلتي الرطبة (الكريتاسي المبكر)، والملوسة F (ترياسي متأخر) الهدف الأساسي الخزني ضمن الحقل، أما الهدف الثانوي فهو تشكيلة الأرك المغلقة من قبل تشكيلة الشيرانيش التي اعتبرت بعد دراسة المنطقة جيولوجياً من قبل شركة الفرات، إغلاقاً فالقياً شاقولياً وعرضياً فعالاً.



شكل (1-7): خريطة تظهر حقل الرتكة وأهم الكتل الموجودة والآبار المحفورة. (شركة الفرات).

وفي هذا الحقل تم التركيز على دراسة التشكيلات التالية:

أ- تشكيلة الأرك الكربوناتية Erek:

توضعت مباشرة فوق تشكيلة رماح في ظروف ترسيبية بحرية ضحلة وبالتحديد في القسم الضحل من الشاطئ (Lower shore face). تتغير سماكة تشكيلة الأرك بشكل كبير في حوض الفرات، وذلك بسبب ترسبها بالتزامن مع ميل ودوران البلوكات الفالقية الناجمة عن الحركات التكتونية المولدة للتصدعات. تتواجد في الكريتاسي العلوي واستمرت حوالي ١٠ مليون سنة، وتتكون من الحجر الكلسي الذي يكون بلون خفيف والحجر الكلسي البلوري مع وجود الدلوميت في أسفل الطبقة، حيث الحجر الكلسي ذو لون رمادي أسمر إلى أبيض مائل للصفرة، إلى رمادي خفيف وذو قساوة جيدة وتوضعات غضارية خفيفة. أما الحجر الكلسي البلوري، فهو ذو لون رمادي خفيف إلى أسمر وذو قساوة جيدة ونادراً ما يتواجد فيه الغضار.

ب- تشكيلة الرطبة الرملية:

تُعد تشكيلة الرطبة العائدة لمنخفض الفرات من التشكيلات الجيولوجية الهامة نظراً لامتدادها الكبير وبشكل خاص ضمن منخفض الفرات إضافة للسماكة الهامة لرسوبياتها الرملية ذات المواصفات الخزنية الجيدة، ولذلك كانت موضع اهتمام معظم الدراسات.

تتألف هذه التشكيلة من تناوبات من الحجر الرملي الكوارتزي والغضاري والرمال الغضارية والسلتية، وتتواجد هذه الرسوبيات مختلطة مع بعضها أو نقية. تتوضع مباشرة فوق (BKL سطح عدم التوافق أو السطح الحتي) مع عدم ترسب الجوراسي.

قسمت تشكيلة الرطبة إلى مكونين هما: الرطبة العلوية والرطبة السفلية. تأثر هاذان المكونان جزئياً أو كلياً بالسطح الحتي (BKU)، الذي أدى لتغيرات كبيرة في السماكة ضمن منخفض الفرات. يتوضع المكون السفلي (Lower Rutbah RUL)، مباشرة فوق تشكيلة الملوسة (F1). وتعتبر خزاناً جيداً مع نسبة الصافي/الكلي (N/G) نموذجيا حوالي (٧٠%). ويتوضع المكون العلوي (Upper Rutbah RUU)، فوق المكون السفلي دون انقطاع ترسيبي. ويتكون من تتابعات من الغضار والحجر الرملي مع قيمة منخفضة حوالي أقل من (٢٠%) من (N/G).

أمكن تمييز ثلاثة أنواع من السحن المنتشرة على كامل التشكيلة وهي أرينيت مكون من حبات كوارتزية ناعمة إلى متوسطة الخشونة وأحياناً خشنة، جيدة التراص، متوسطة إلى جيدة الفرز الحبي ويختلط معها نسبة من الغضاريات التي تشكل ملاطاً سيليسياً. أما السحنة الثانية

تتمثل بالسحنات الغضارية التي تشكل الجزء الرئيسي من المكون العلوي للتشكيلة، وهي عبارة عن حجر رملي غضاري ناعم إلى متوسط الخشونة وقاسي تقريباً. ويتخلل السحنتين السابقتين سحنة ثالثة سلتية جيدة التماسك، وجيدة الفرز والمادة اللاحمة فيها هي الغضار.

إن التغيرات الكبيرة في سماكات وتوزع نطاقات الرطبة والملوسة (قبل التصدع)، هي نتيجة حدثين هامين للحت هما: عدم توافق قاعدة الكريتاسي العلوي(BKU)، وقاعدة الكريتاسي السفلي(BKL). حُدد (BKL) بين قمة التریاسي للملوسة وقاعدة الكريتاسي السفلي لمجموعة الرطبة، أما (BKU) فقد أثر كلياً أو جزئياً وبشكل أساسي على وحدات الكريتاسي السفلي ((PJS رمال الجودية) وجوديا والرطبة)، ووحدات التریاسي (الملوسة).

تتغير سماكة الرطبة الرملية بشكل ملحوظ في منخفض الفرات، حسب الآبار المخترقة لها، وقد تصل إلى أكثر من ٣٠٠ متر كما في الشمال الغربي للمنخفض، وكانت السماكة الكبرى للرطبة ضمن المنخفض، في حقل التييم (300m).

كما لوحظ تأكل وحت طبقات الرطبة تماماً باتجاه الجنوب الشرقي، لتتوضع تشكيلتي الأرك ورماح مباشرة فوق المولوسا F. يعود سبب عمليات الحت إلى النهوض الإقليمي الذي حدث قبيل عمليات التصدع الرئيسي في المراحل الأولى من الكريتاسي العلوي مما أدى لتراجع وانسحاب البحر، وتشكل سطح عدم التوافق BKU. أما بيئة الترسيب، تعتبر الدلتا والسحنات الشاطئية الضحلة السحنات الرئيسية ضمن وحدات الرطبة.

تكمل رسوبيات المكون العلوي ذات الصفة التجاوزية، رسوبيات المكون العلوي ذات الصفة الإنحسارية، لتجعل من التشكيلة ككل دورة ترسيبية (Cycle) ضخمة، توضعت موادها نتيجة ترسيب بطيء ومستمر في حوض ذي طاقة متغيرة. هذا وقد استمر ترسيب تشكيلتي الرطبة العلوية والسفلية حوالي ٣٥ مليون سنة.

ويمكن إيجاز خصائص كل من مكوني تشكيلة الرطبة كما يلي:

- **المكون العلوي:** تنتمي رسوبياته إلى الكريتاسي السفلي، وتتكون من الحجر الغضاري وقليل من الحجر الرملي. يكون الحجر الغضاري، رمادي اللون إلى رمادي مخضر إلى رمادي مائل إلى البني والصخر قاس، وأحياناً يكون قليل القساوة، وأحياناً يكون رملياً وأحياناً طينياً وأحياناً كلسياً بشكل قليل. ويكون الحجر الرملي، بنياً خفيفاً إلى أسمر رمادي، شفاف وأحياناً يكون قليل القساوة، والحبيبات صافية جداً، ويمكن فرزها وتصنيفها، من شبة الزاوية إلى شبة المدورة، وأحياناً مدورة وأحياناً يكون الملاط كلسياً أو غضارياً.

- **المكون السفلي:** تقع رسوبياته في الكريتاسي السفلي وتتكون بشكل رئيسي من الحجر الرملي وقليل من الحجر الغضاري. يكون الحجر الرملي، من بني خفيف إلى أبيض مسمر وهو قليل القساوة وأحياناً هش متقصف، حبيباته صافية جداً ونادراً ما تكون خشنة نوعاً ما، ويمكن فصلها وتصنيفها من مدوره إلى شبة مدوره إلى شبه زاوية. يكون الملاط سيليسياً وأحياناً غضارياً، كما تتواجد فيه شقوق مجهرية. يكون الحجر الغضاري، من رمادي إلى بني إلى بني خفيف، ويكون في الوسط قليل القساوة وأحياناً قابل للغسل، وهو شبه كتلي طيني وأحياناً رملي، ويحتوي على الفحم.

خامساً: أهمية وأهداف الدراسة.

تكمن أهمية هذه الدراسة في تسليط الضوء على الدور الكبير للتسجيلات البئرية، في تحديد وتقدير الكثير من المتغيرات في خواص الصخر والموائع الذي يحتويها. إضافة إلى تدقيق المعلومات الجيولوجية والبتروفيزيائية لحقل الرتكة، نتيجة وجود العديد من المشاكل في دراسة هذا الحقل.

وتهدف هذه الدراسة إلى:

- دراسة الخواص البتروفيزيائية وتباينها لتشكيلتي الأرك و الرطبة في حقل الرتكة وتأثيرها على الإنتاج باستخدام القياسات البئرية المختلفة.
- إجراء مضاهاة لآبار حقل الرتكة، لتبيان تغيرات السماكة والتغيرات بالخصائص البتروفيزيائية ومقارنة النتائج بمعلومات شركة الفرات.
- حساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة الرملية في حقل الرتكة وفق معطيات نتائج هذه الدراسة والمعلومات المتوفرة من قبل شركة الفرات للنفط.

سادساً: منهجية الدراسة.

تم العمل في هذه الرسالة على برنامج التفسير البتروفيزيائي Ip (Interpretation Petrophysics V3.5)، حيث يتطلب البرنامج إدخال القياسات المسجلة رقمياً، بشكل ملف رقمي بصيغة لاس (Las). ويتم اختيار السوابر المراد عرضها والعمل عليها، مفردة أو متعددة، لإجراء الحسابات وتنفيذ نموذج جيولوجي معين مناسب لكل تشكيلة مدروسة، ورسم المخططات

التقاطعية التي توضح خواص التشكيلة. وبالتالي يساعد هذا على تحديد الخواص البتروفيزيائية لكل بئر من الآبار وهذا يعتمد بشكل كبير على خبرة المفسر، في فهم السوابر البئرية المنفذة واستجاباتها.

شملت منهجية الدراسة على المراحل التالية:

أولاً: استخدام القياسات البئرية في دراسة الخواص البتروفيزيائية:

- حساب المسامية الكلية والفعالة من خلال قياسات المسامية (تسجيلات السوابر الصوتية والنيترونية والكثافة) ، وتحديد المسامية الثانوية، إضافة إلى تحديد تأثير توضع الغضار على المسامية الفعالة وبالتالي على الإنتاج.
- تحديد الليثولوجيا من خلال مخططات التقاطع المعدة من قبل شركة شلمبرجير، بين استجابة تسجيلات الكثافة والنيوترون، ومن خلال تفسير استجابة قياس التسجيل الطيفي الطبيعي (NGS)، وقياسات المسامية، إضافة إلى تدقيق الملاحظات المعدة على الفتات الصخري.
- تحديد قيمة مقاومية المياه الطبقية Rw، من خلال مخططات (picket plot) التي تربط بين قيم المسامية الفعالة وقياس المقاومية العميقة وقيم الاشعاع الطبيعي لكل بئر ضمن برنامج Ip.
- تحديد الإشباع المائي والهيدروكربوني من خلال تطبيق معادلة آرشي بالاستعانة بقياسات المقاومية التحريضية العميقة وقياس الاشعاع الطبيعي(GR).
- تحديد خط تماس ماء– نفط (OWC) عن طريق قياس المقاومية التحريضية العميقة في البئر101، ومن خلال قياسات الاختبار الطبقي ضمن البئر103.

ثانياً: إجراء مقطع للمضاهاة بين الآبار المدروسة ضمن الرتكة ومقارنة النتائج مع نتائج شركة الفرات.

ثالثاً: حساب احتياطي المخزون النفطي لتشكيلة الرطبة في حقل الرتكة باستخدام الطريقة الحجمية حيث تم حساب:

- حساب نسبة السماكة الصافية إلى الكلية (N/G).
- حساب وسطي الإشباع المائي.
- حساب وسطي المسامية.

الفصل الثاني

الأسس النظرية للقياسات الجيوفيزيائية البئرية

أولاً: مقدمة.

التسجيلات البئرية: هي تسجيلات مستمرة بالعلاقة مع العمق للخواص الفيزيائية للتشكيلات الصخرية المخترقة بالبئر مع السوائل داخله. وتعد القياسات البئرية التقانة الأساسية في صناعة استكشاف واستثمار النفط والغاز، ولا يمكن الاستغناء عنها عند التوجه نحو استكشاف الثروات الباطنية. وكان للأخوين شلمبرجير السبق الأول في ولادة التسجيلات الجيوفيزيائية البئرية، وتم تطوير العديد من سوابر التسجيل البئري الجديدة وتحسين الموجودة ووضعها موضع الاستخدام.(Schlumberger،1989)

أما الخواص التي تُعنى بها القياسات البئرية فهي قسمين: خواص الصخر (المسامية والنفاذية والليثولوجيا)، وخواص المائع (نوع المائع والإشباع أو كميته)، إضافة للضغوط الطبقية ويُستفاد من هذه الخواص في تحديد الاحتياطي النفطي في المكان، وانشاء نماذج للحقل.

ثانياً: القياسات المستخدمة في حقل الرتكة.

نُفذت ضمن حقل الرتكة القياسات التالية: قياس الاشعاع الطبيعي GR (Gamma Ray) وقياس التسجيل الطيفي (NGS)، وقياس قطر البئر (Caliper)، وقياسات المقاومية التحريضية العميق (Induction Resistivity) ، وقياس الكثافة (LDT Density)، وقياس النيوترون (CNL Neutron)، وقياس السرعة الصوتية (Sonic)، وقياس الاختبار الطبقي(RFT). وفيما يلي موجز لاستخدامات كل من هذه القياسات:

١- قياس قطر البئر (Caliper log):

هو تسجيل للتغير في قطر البئر مع العمق، ويتم قياسه من خلال سوابر الكثافة والمقاومية الدقيقة، حيث تكون السابرة مؤلفة من ذراعين مضغوطين باتجاه جدار البئر ليتحسس التغيرات فيه. (Schlumberger, 1989)

يعتمد تفسير تسجيل قطر البئر على المقارنة مع قياس قطر رأس الحفر (Bit)، فإذا كان قياس قطر البئر، أكبر من قطر رأس الحفر (Bit) فهذا دليل على التكهف (Wash out)، وبالتالي يمكن القول أن التشكيلة مفككة وانهارت أثناء الحفر، أو تعرضت للحت نتيجة دوران سائل الحفر مثل الغضار غير متماسك. كذلك تتأثر القياسات وخاصة الكثافة والمقاومية الدقيقة بتواجد التكهف، مما يؤدي إلى قلة الدقة في القياسات ، لأن الوسادة لا تنطبق تماماً على جدار البئر في هذه الحالة. وإذا تماثل القياسين فهذا يدل على أن التشكيلة كتيمة. أما إذا كان قياس قطر البئر أقل من قطر رأس الحفر فهذا يدل على وجود كعكة طينية، وبالتالي يعتبر هذا القياس أفضل مؤشراً على الطبقات النفوذة التي تسمح بتشكيل الكعكة الطينية(Mud Cake). والمقياس المستخدم لهذا التسجيل هو غالباً(in "16-6). **(Rider, 2002)**

٢- <u>قياس الإشعاع الطبيعي (GR Gamma-ray log):</u>

يُمثل هذا التسجيل مقياساً للإشعاعية الطبيعية للصخور، ويُظهر محتوى الصخور الرسوبية من الغضار وذلك بسبب ميل بعض العناصر المشعة للارتكاز في الغضار، بينما الصخور النظيفة غير مشعة (الرملية او الكربوناتية) الخالية من الغضار تكون العناصر المشعة فها قليلة جداً إلا إذا وجد فيها بعض الملوثات المشعة مثال الرماد البركاني. (Schlumberger,1989)

تُعد أشعة غاما انبثاقات لأمواج كهرومغناطيسية عالية الطاقة تصدرها بعض العناصر المشعة (K^{40}، TH ،U). ويُصدر كل من هذه العناصر اشعاعات غاما يتميز عددها والطاقة التي تحملها حسب كل عنصر. تصطدم اشعاعات غاما أثناء مرورها بالمادة وبشكل متتابع مع ذرات المادة الصخرية حسب تناثر كومبتون وتخسر من طاقتها في كل اصطدام إلى أن يتم امتصاصها بعد أن فقدت ما يكفي من الطاقة من قبل ذرة من المادة بواسطة الظاهرة الكهرضوئية. ولكن وتيرة الامتصاص تتفاوت حسب كثافة الطبقة حيث تبدي طبقتان صخريتان تحويان نفس الكمية من المادة المشعة في وحدة الحجوم ولكن تختلفان في الكثافة، سويتين متفاوتين من النشاطية الاشعاعية لتظهر الطبقة الأقل كثافة على أنها أعلى نشاطية بقليل.

تحوي السابرة غاما كاشفاً اشعاعياً، يقيس اشعاعات غاما المتولدة في حجم الطبقة القريب من السابرة، وتستخدم حالياً عدادات الوميض (Scintillation counters) للقيام بهذه القياسات وهي أكثر فعالية من عدادات غايغر ميلر.

يتم التعبير عن منحني GR بوحدات {(API(American petroleum institute)}، حيث تتراوح قيم النشاط الاشعاعي في الصخور الرسوبية، بين بضع وحدات API في الانهدريت والملح الصخري، و200 أو أكثر مقابل الغضار. حيث أن الاشعاعية العالية تدل على الغضار، أما الحجر الرملي فله قيم منخفضة جداً ولكن أحياناً، يعطي الحجر الرملي قيماً عالية للإشعاعية وذلك في حال اختلاطه مع الفلدسبار والميكا الغنيين بالبوتاسيوم أو وجود مواد ثقيلة فيه وتكون غنية بالثوريوم أو تكسرات صخرية حاوية على الغضار. أما الكربونات عموماً فلها قيم منخفضة أيضاً من الاشعاعية.

أهم تطبيقاته: يعتبر مؤشر لليثولوجيا حيث أنه يستخدم للتمييز بين الطبقات الغضارية (المولدة و الغطاء) والطبقات غير غضارية (الخازنة)، وفي حساب حجم الغضار وفي تحديد السطوح الفاصلة بين الطبقات، ويستخدم في عمليات المضاهاة (Correlation) بين الآبار.

من أهم تطويراته: قياس التسجيل الطيفي (NGS) وهو يقيس كما هو الحال في تسجيل GR النشاطية الاشعاعية الاجمالية للطبقة الصخرية، إضافة إلى طاقة كل من العناصر التالية: البوتاسيوم المشع و الثوريوم واليورانيوم (K^{40}، TH ،U)، وبالتالي يحدد تراكيزها ضمن صخور الطبقة، ويستفاد من هذا القياس في تحديد الليثولوجيا، وفي تحديد بيئات الترسيب، حيث يعبر كل عنصر عن بيئة ترسيب مختلفة، ويمكن تحديد نوع الغضار من خلال هذه التراكيز.

يدخل عنصر البوتاسيوم في تركيب الصفاح والغضار الحاوي على الميكا (ايليت illite) بينما يقل تركيزه او ينعدم في الكاولينيت، ولكن بشكل عام فإن الغضار يكون عبارة عن خليط من مواد غضارية وتتراوح قيمة البوتاسيوم بشكل عام في الغضار بين (2–3.5%)، ويتواجد أيضاً في الفلدسبار ولذلك في حال وجود خليط من الغضار والرمال فإن البوتاسيوم عندها لا يُؤخذ كمؤشر لوحده عن الغضارية. وكذلك الثوريوم الذي يدخل في الغضار والمعادن الثقيلة، ولكن نسبة وجوده في الغضار غير مفهومة، إلا أنه يتمتع بقيم ثابتة تقريباً في الغضار، وفي حال وجود خليط من الغضار والرمل، عندها يُعتبر الثوريوم مؤشراً جيداً للغضار لأنه لا يتواجد في الرمل. **(Rider, 2002)**

أما اليورانيوم فيوجد في المواد العضوية، أي يدل على الصخر المولد وفي الفوسفات ويتواجد في الصخور النارية. أما إذا تواجد الغضار ولكن مع نسبة جيدة من اليورانيوم، فهذا ممكن أن يدل على الصخر الأم (Source). وبشكل عام، فإن العلاقة بين المواد العضوية ووجود اليورانيوم ليست سهلة الفهم، فأحياناً وجود مواد عضوية، بشكل وفير لا يدل بالضرورة على وفرة اليورانيوم، لذلك فإن اليورانيوم، لا يعتبر مؤشراً للغضار، لهذا يُفيد القياس الطيفي(NGS) في

تصحيح قياس (GR) لمعرفة محتوى الصخر من الغضار (Clay content). تم وضع المقياس التالي للعناصر(U: 0–10، Th: 0–25 ، 0.025–(0.005–) :K)

استخدم القياس الطيفي(NGS) في هذه الدراسة للتمييز بين الطبقات الخازنة وغير الخازنة، وفي حساب حجم الغضار وتحديد تراكيز اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم، أما قياس غاما المصحح (Corrected Gamma Ray) (CGR) هو القياس المحسوب الخالي من اليورانيوم ويحدد تركيز الثوريوم والبوتاسيوم فقط وبالتالي فصل اليورانيوم وفي إجراء المضاهاة في الآبار.

٣– تسجيلات المسامية:

- **تسجيلات الكثافة (Density log):**

تتكون السابرة من منبع موجود في مزلقة مضغوطة إلى جدار البئر، يُرسل المنبع أشعة غاما ذات الطاقة المتوسطة نحو الصخر المحيط. تصطدم الاشعة بإلكترونات التشكيلة وتخسر أشعة غاما جزء من طاقتها في كل اصطدام وليس طاقتها بأكملها، وتتابع الاشعة سيرها بطاقتها المتناقصة. يسمى هذا التفاعل بتناثر كومبتون (Compton scattering)، يقوم بعد ذلك الكاشف بتسجيل عدد الأشعة التي عادت نتيجة الاصطدام، التي تتناسب مع كثافة الالكترونات، والتي تعبر عن الكثافة الاجمالية للصخر، وبالتالي فإن العامل المقيس هو كثافة الالكترونات في واحدة الحجم للتشكيلة (تشمل الأجزاء الصلبة من التشكيلة وكذلك كثافة المائع).

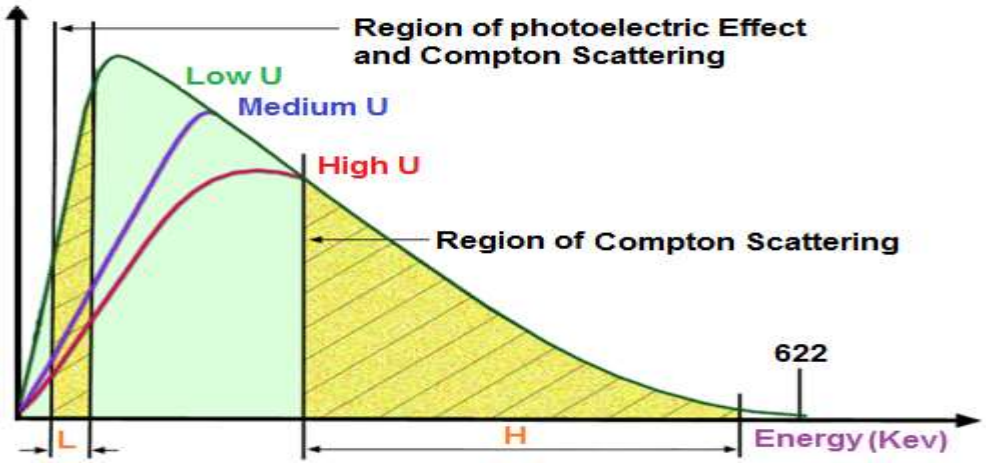
تقاس الكثافة بواحدة القياس غرام/سم^{٣} ويرمز لها بالرمز(ρ)، وبمقياس (1.95–2.95 g/cm^3). يُعطي القياس قيم الكثافة الاجمالية للصخر، ولكن يجب أن يكون معلوماً لدينا كثافة الهيكل الصخري التي تحسب من اللباب الصخري، أو تؤخذ القيم القياسية المحددة من قبل شركة شلمبرجير ونحتاج أيضاً كثافة راشح الحفر، وتحسب المسامية من خلال قانون المسامية. إن أكثر ما يخفض فعالية هذا القياس هي التكهفات، لأن القياس يتأثر كثيراً بقطر البئر، حيث أن هذا القياس ضحل جداً، ويجب أن تكون السابرة مضغوطة على جدار البئر. إن قيم الكثافة الاجمالية للكالسيت بحدود ٢,٧، وللدولوميت ٢,٨ وما فوق، وللرمل ٢,٦٥، وتتفاوت بالنسبة للغضار بين ٢,٢و ٢,٦٥ حسب الطبقة الصخرية والموقع، ولكن عملياً تختلف هذه القيم عن الواقع حيث أنه لا يوجد فعلياً صخر نقي وخالي من الشوائب. (**Schlumberger, 1989**)

يعد الهدف الأساسي لقياس الكثافة هو حساب المسامية الكلية، أما الهدف الثانوي لها فهو تحديد الليثولوجيا وذلك بالترابط مع القياسات النيترونية. و يمكن أن تكون دليلاً على وجود الغاز

وذلك بالتشارك مع القياسات النيترونية. لأن الكثافة المنخفضة للغاز، تؤدي إلى مسامية ظاهرية أكبر من المسامية الحقيقية في النطاقات الحاملة للغاز.

يُمثل تسجيل الكثافة الصخرية (Litho-Density Log) شكلاً محسناً وموسعاً للتسجيل الكثافي المعوض FDC، تقيس فيه السابرة إضافة إلى الكثافة الاجمالية، دليل الامتصاص الكهرضوئي ((Photoelectric absorption (Pe) الخاص بالطبقة الصخرية. وتُعطى قيم الامتصاص بوحدة البارن (barn) للإلكترون. حيث يرتبط الامتصاص الكهرضوئي بتركيب الصخر، على حين تستجيب قياسات الكثافة الاجمالية ρb للمسامية بالدرجة الأولى وللهيكل الصخري والمائع المسامي بالدرجة الثانية. **(Schlumberger, 1989)**

قياس الامتصاص الكهرضوئي Pe: يُعتبر البصمة الالكترونية للتشكيلة، وهو يترافق مع قياس الكثافة، ويستخدم هذا القياس لتحديد الليثولوجيا في حال وجود نوع واحد من التشكيلة، ولكن هذا القياس يتأثر أيضاً في حالة التكهفات أو عدم الانتظام في جدار البئر. تستجيب قياسات Pe بالدرجة الأولى لهيكل الصخر، ولكن تأثير المسامية عليها يكون بحده الأدنى. يتحدد دليل الامتصاص الكهرضوئي بمقارنة عدد أشعة غاما في منطقة الطاقة العالية (تناثر كومبتون)، ومنطقة الطاقة المنخفضة (الظاهرة الكهرضوئية)، استخدم مقياس الامتصاص الكهرضوئي ضمن الدراسة هو (٠-٢٠). **(الشكل 2-1)**



شكل (2-1): منطقة الطاقة العالية ، ومنطقة الطاقة المنخفضة .

استخدم قياس الكثافة في الدراسة بالتشارك مع القياس النيتروني لتحديد المسامية الكلية وبشكل ثانوي لتحديد الليثولوجيا. أما قياس الامتصاص الكهرضوئي فكان له أثر في المساعدة في تحديد الليثولوجيا.

- **القياسات النيترونية (Neutron log):**

مبدأ القياس: تتكون السوابر بشكلها البسيط من منبع يصدر نيوترونات عالية السرعة ومكشافين ، وتختلف بعضها عن بعض تبعاً لأنواع المكاشيف وتباعدها عن المنبع.

النيوترونات هي جسيمات محايدة كهربائياً، كتلة كل منها مماثلة تقريباً لكتلة ذرة الهيدروجين. تقذف النيوترونات ذات الطاقة العالية باستمرار من منبع كيميائي موضوع في السابرة لتصطدم بنوى مادة الطبقة الصخرية. يمكن اعتبار الاصطدام مرناً ويخسر النيوترون بسبب الاصطدام جزءاً من طاقته، ويعتمد مقدار الخسارة بالطاقة عند كل اصطدام على كتلة النوى التي يصطدم بها النيوترون. تكون الخسارة عالية عندما تكون كتلة النواة التي تصطدم بها النيوترونات مساوية عملياً لكتلة الهيدروجين. لذا تستجيب السابرة، بالدرجة الأولى لكمية الهيدروجين في الطبقة الصخرية. وتقيس السابرة زمن الإبطاء النيوتروني المرتبط بدليل الهيدروجين. **(Schlumberger, 1989)**

يتم حسب نوع السابرة النيوترونية عد إشعاعات غاما أو النيوترونات المرتدة نفسها بواسطة المكشاف الموجود في السابرة. كما تتباطأ النيوترونات بشدة، ويتم التهامها خلال مسافة قصيرة جداً، إذا كانت تراكيز نوى الهيدروجين في المادة المحيطة بالمنبع النيوتروني عالية، على حين ترتحل بالمقابل النيوترونات لمسافات أبعد عن المنبع، قبل أن يتم التهامها إذا كان تركيز الهيدروجين قليل. أي تزداد وتائر العد في المكشاف، كلما تناقص تركيز الهيدروجين والعكس بالعكس.

يُؤثر وجود الغضار على القياس النتروني، حيث يتواجد الهيدروجين بكثرة ضمن الغضار بسبب وجود المياه المرتبطة، وبالتالي يعطي قيم مسامية كلية عالية أعلى من الحقيقية ولكنها غير فعالة. **(Schlumberger, 1989)**

يُعطي القياس النيوتروني قيم المسامية مباشرة، وبالتالي يُستخدم بشكل رئيس لتعيين الطبقات المسامية وتحديد قيم مساميتها، و يُظهر التسجيل النيوتروني مقدار المسامية الكلية المملوءة بالموائع في الطبقات التي يملأ مساماتها، الماء أو النفط. وبالترابط مع قياس الكثافة يمكن تحديد الليثولوجيا، إضافة لتحديد النطاقات الغازية حيث أن دليل الهيدروجين في الغاز منخفض وبالتالي يعطي قراءة منخفضة جداً للمسامية ، أما دليل الهيدروجين للماء والنفط تقريباً يساوي الواحد، ولذلك فإن هذا القياس يحدد الغاز بشكل أدق بالترابط مع الكثافة. أما المقياس المستخدم في القياس النيوتروني فهو (0.15-/0.45).

الترابط بين الكثافة والنيترون: إن قياسي النيترون والكثافة هما قياسان مهمان، ويؤدي استخدامهما بشكل مشترك لإعطاء مسامية أكثر دقة ومعلومات أكثر عن التشكيلة (Selly 1998;)، وبالتالي ومن خلال الترابط بين القياسين يتم تحديد نوعية الليثولوجيا. كما يساعد بتحديد أعالي التشكيلات (Formation tops)، وفي تحديد نوعية المائع، وخصوصاً في الحجر الرملي أي عند معرفة نوعية مائع التشكيلة (Fluid type)، وفي حساب المسامية الكلية.

- **التسجيل الصوتي (Sonic log):**

مبدأ القياس: تتوضع المرسلات واللواقط ضمن السابرة ، ويتم إرسال أمواج صوتية من المنبع لتنتقل عبر التشكيلات، لتعود إلى اللاقط ، و يقوم بتسجيل أزمنة الارتحال المجالية (Interval transit time) ، وهو الزمن اللازم لانتقال الموجات من المنبع إلى اللاقط بعد مروها بالتشكيلة، وتقاس ب ميكرو ثانية/قدم (micro second/feet). فكلما كان الزمن المسجل قليل، كانت سرعة الأمواج الصوتية كبيرة، ويدل ذلك على كتامة التشكيلة وانخفاض مساميتها، والعكس صحيح. **(Schlumberger, 1989)**

يعد قياس مهم للتفسيرات السيزمية حيث تعطي قيم السرعات اللازمة لحساب الممانعة الصوتية، بعد أخذ قيم الكثافة من القياس الكثافي وذلك لإنشاء السيسموغرام الصنعي. **(Rider, 2002)**

يُستخدم القياس الصوتي لتحديد المسامية لأن الأمواج تعبر خلال الفلزات المكونة بشكل أسرع منه خلال السوائل أو الغازات، حيث أنه حساس تجاه النسيج الصخري. ولذلك فإن حساسيته للصخور تجعله القياس الأقل دقة للمسامية ويعطي قيمة المسامية الأولية، حيث لا يتأثر بوجود التشققات والكسور ولكنه مهم لتحديد الليثولوجيا (Selly,1998). ولكن يجب الانتباه إلى أنه يحدث للسرعة تغييرات كثيرة في النوع الواحد ويحدث تماثل أحياناً بين الصخور. وبشكل عام فإن السرعات العالية تترافق مع الكربونات والمتوسطة مع الحجر الرملي والغضار، أما المنخفضة فمع الغضار. وفي حال وجود الغاز سيؤثر على لقياس الصوتي كثيراً ويعطي قراءات عالية وقيم مسامية عالية، ويجب الانتباه لها وتصحيحها وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة غياب الدورة (Cycle skipping). **(Schlumberger, 1989)**

استخدم القياس الصوتي في هذه الدراسة كمساعد في تحديد الليثولوجيا وتحديد المسامية الأولية، وبالتالي حساب المسامية الثانوية بعد الحصول على المسامية الكلية من النيترون والكثافة.

٤- قياسات المقاومية (Resistivity logs):

وهي تقيس مقاومية التشكيلات الصخرية لمرور التيار الكهربائي ويمكن أن تقيس الناقلية، ويتم تحويل قيمها إلى مقاومية، وتسجل بمنحني لوغارتمي بوحدة قياس (Ohm/m). وتعتبر الدلالة الأساسية لحساب الإشباع بالمواد الهيدروجينية، حيث أن معظم الصخور هي عازلة للتيار، ولكن السوائل المائية المشبعة بفراغات الصخر ناقلة. ولكن إذا وجد الهيدروكربون فهو سائل عازل للتيار وبالتالي مقاوم، حيث إذا وجدت تشكيلة مسامية وحاوية على الماء المالح عندها نحصل على مقاومية منخفضة، ولكنها إذا احتوت هيدروكربون أو ماء عذب فإنها ستعطي مقاومية عالية. ويجب الانتباه إلى الاجتياح لفهم مقاومية الصخر ضمن البئر، حيث أن الهدف الأساسي للدراسة هو حساب مقاومية الطبقة العذراء، أي الطبقة التي لم تتأثر بالاجتياح (Rt) والتي تستطيع السوابر العميقة قياسها والاستفادة منها في حساب الإشباع.

أما بالنسبة لعلاقة المسامية بالمقاومية، فكلما تناقصت المسامية زادت المقاومية وذلك في حال ثبات باقي البارامترات. لا يمكن لقياسات المقاومية أن تعطي معلومات عن ليثولوجيا الصخر، لأن المقاومية ليس لها حد معين لكل صخر، وذلك بسبب تأثر قياسات المقاومية بمحتوى السائل وبطبيعته وحرارته. (**Schlumberger, 1989**)

هناك ثلاثة أنواع من قياسات المقاومية: (Selly,1985)

- القياسات الكهربائية التقليدية (Electrical survey ES):

تعد التسجيلات الكهربائية الوحيدة التي كانت تستخدم في بداية تنفيذ القياسات البئرية. وبعدها تم تطوير العديد من السوابر لقياس مقاومية القطاع المغسول (Rxo)، ومقاومية الطبقة الحقيقية النظيفة (Rt) حيث أنها تتأثر كثيراً بقطر البئر وبالطبقات المجاورة. يعتمد مبدأ القياس على إرسال التيار الكهربائي بواسطة مساري التيار، ويقاس فرق الكمون بين مسريي الكمون (مساري القياس)، ويزود فرق الكمون هذا كل سابرة بالقدرة على تحديد المقاومية.

- القياسات الموجهة (Laterlog):

تتأثر القياسات التقليدية كثيراً بظروف البئر والطبقات المجاورة، ولذلك تم استخدام قياس يعتمد على التيارات الموجهة (Focused currents) وتشمل السوابر الموجهة عرضياً (Later Log LL) والموجهة كروياً (SFL Spherical focused log).

تُعطي قراءات جيدة إذا كان الفرق بين مقاومية الطبقة و مقاومية سائل الحفر كبيراً. وتميز الطبقات الرقيقة أو معتدلة السماكة بشكل جيد. وتُعطي هذه السوابر قراءة ضحلة للطبقة المحيطة بجدار البئر (Rxo) وقراءة متوسطة وقراءة عميقة للطبقة العذراء (Rt).

- القياسات التحريضية (Induction log):

طُورت هذه القياسات لقياس مقاومية الطبقات الصخرية في الآبار الحاوية على سوائل حفر ذات الأساس النفطي (OBM Oil Based Mud)، ومع ذلك فهي تعمل في سوائل الحفر المائية وتتفوق بذلك على التسجيلات التقليدية، ولا تستطيع قراءة مقاوميات عالية للتشكيلة. تتكون السابرة من عدة وشائع للإرسال والاستقبال، ويتم إرسال تيار متناوب عالي التردد ذو شدة ثابتة، يُحرض الحقل المغناطيسي المتناوب الناشئ عنه تيارات ثانوية في الصخر المحيط بالبئر. تجري هذه التيارات على شكل دوامات، تتمحور مع وشيعة الإرسال، وتتسبب بدورها بحقل مغناطيسي ثانوي، يحرض في وشيعة الاستقبال كموناً كهربائياً. (**Schlumberger, 1989**)

تتناسب شدة التيارات الدوامية الناشئة في الطبقة الصخرية، مع ناقلية هذه الطبقة للتيار الكهربائي. يتناسب الكمون المتحرض في وشيعة الاستقبال طرداً مع شدة التيارات الدوامية، بالنتيجة مع ناقلية الطبقة.

يسجل هذا القياس الناقلية والمقاومية الحقيقية (Rt)، وهي تمثل مقاومية النطاق غير المجتاح . إن قراءة المقاومية العميقة (Rt) تتناسب عكساً مع الإشباع المائي (Sw)، وعكساً مع الملوحة والنفاذية.

إن القياس الذي استخدم ضمن حقل الرتكة فهو قياس المقاومية التحريضية، وتم الاستفادة من قياس المقاومية التحريضية العميقة، ضمن هذه الدراسة بما يلي:

١- تحديد النطاقات الحاملة للهيدروكربون، حيث تتغير مقاومية الصخور تغيراً كبيراً، تتميز الصخور القاسية الكتيمة بمقاومية عالية، وكذلك الحال مع الصخور المسامية المشبعة بالنفط أو الغاز أو الماء العذب. أما الغضار والصخور المشبعة بالماء المالح، فإنها تتميز بمقاومية قليلة. ولكن لم يتم الاستفادة من قياس المقاومية المتوسطة وذلك لان سائل الحفر نفطي وبالتالي فإن الفرق بين التحريضية العميقة والمتوسطة لا يعبر عن الحركية.

٢- تحديد المستوى الفاصل بين النفط و الماء (OWC: Oil Water contact).

٣- حساب الإشباع المائي من علاقة آرشي.

٥- قياس (RFT) قياسات اختبار الطبقة:

تُوفر سابرة (Repeat Formation Tester Tool) اختباراً قصيراً للإنتاج، عندما تضغط سداداتها إلى جدار البئر. ويوجد عازل يعزل الطبقة عن البئر، ليفتح صمام في داخلها تدخل منه موائع الطبقة المتدفقة إلى حجرة العينات في سابرة الاختبار. بعد أخذ العينة وقياس الضغط الأولي، يتم الانتظار بعدها لفترة زمنية، حتى تبني التشكيلة ضغطها من جديد وتسمى عودة الضغط (Build up) فتعيد توازنها بإعادة السوائل للمسامات التي سحبت منها العينة. ويتفاوت زمن عودة الضغط عكساً مع النفاذية. ويتفاوت حجم حجرة العينة من (١٠سم^{٣}) فقط لكل من حجرات الاختبار الأولي، وحتى الحجرات النظامية التي تتسع إلى ٤-١٠ ليترات المتوفرة في جميع السوابر الحديثة. (**Schlumberger, 1989**)

يتم تسجيل الضغط باستمرار طوال فترة الجريان، وفي الفترة التي تلي امتلاء حجرات المعاينة، من أجل الحصول على معطيات نهوض الضغط. ويمكن بهذه التقنية، تقدير النفاذية من معطيات هبوط الضغط(Draw Down) خلال جريان المائع، ومن معطيات نهوض الضغط اللاحقة التي تسجل بعد توقف الجريان. وفي هذه الدراسة استفيد من قياس اختبار الطبقة في تقدير قيمة النفاذية وفي تحديد الحد الفاصل بين الماء والنفط.

الفصل الثالث

الصخور الخازنة وخواصها البتروفيزيائية

أولاً: تمهيد.

الصخور الخازنة: هي الصخور التي تحتوي في بنيتها على فراغات على شكل مسامات، أو شقوق متصلة ببعضها أو اقنية تسمح بانتقال واختزان الموائع. وتقسم الصخور الخازنة إلى قسمين: الصخور الخازنة الحطامية (رمال وصخور رملية)، الصخور الكربوناتية (الحجر الكلسي والدولوميت).(**القاضي،2003**). لذلك وبسبب أهمية هذه الصخور سيتم في هذا الفصل التمييز بين الصخور الرملية والكربوناتية ومن ثم عرض الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة بشكل عام وعرض القوانين اللازمة لحساب تلك الخواص.

ثانياً: التمييز بين الصخور الرملية و الكربوناتية.

- **١- الصخور الخازنة الحطامية:**

وتتمثل بالرمال والصخور الرملية، الصخور الغضارية، الكونغلوميرا، بيوكلاست.

تُعد الصخور الرملية الصخور الأكثر أهمية في تجمعات الفحوم الهيدروجينية. وتُشكل 20% من الصخور الرسوبية، و تعود أهميتها كون هذه الصخور محتوية على كميات هائلة من النفط والغاز، وسهولة اكتشافها بالمقارنة مع الصخور الكربوناتية. حيث يتشكل هذا النوع ضمن مجموعة واسعة من الأوساط الرسوبية بينما الصخور الكربوناتية تتطلب شروط خاصة، ولا تتأثر مركباتها بعد الترسب كثيراً كما في الصخور الكربوناتية التي تتأثر بالحوادث الفيزيائية والكيميائية والتي تؤدي لتغيير المسامية. (**القاضي،2003**)

تتشكل الصخور الحطامية نتيجة تعرض الصخور للحت والتعرية ثم النقل لمسافات بعيدة أو يمكن أن تتوضع في مكانها، ثم تترسب على شكل طبقات تتعرض للتصلب والضغط وحادثة اللحام. وتختلف بالتالي هذه الصخور عن بعضها من حيث أبعاد العناصر وأشكالها وأنماط توزعها وطبيعة الملاط. وتتشكل في أنواع مختلفة من بيئات الترسيب وتتضمن: البيئات النهرية،

البحرية، جليدية، ريحيه، شاطئية. العنصر الأكثر تواجداً ضمن هذه الصخور هو الكوارتز Sio2 ويُشكل ثلثي الصخر، ويترافق مع الكوارتز نسب مختلفة من عناصر أخرى (بركانية أو غضارية أو ميكا أو كالسيت أو.....).

وتتلخص خواصها كالتالي: المسامية تزداد بازدياد نعومة الحبات، حيث تأخذ قيماً عالية جداً في الرمال الشديدة النعومة (Silt) وفي الغضاريات غير المتماسكة. ومن الناحية الإنتاجية فإن لأبعاد الحبات تأثير كبير على خصائص الصخر أي أن السطح النوعي للفراغات يزداد عندما تزداد نعومة الحبات. حيث تؤدي الفراغات الدقيقة، إلى زيادة قوى الالتصاق للسوائل المبللة (الماء)، وبالتالي إلى زيادة كمية المياه البينية بالمقارنة مع حجم النفط الصخر. أي أن كمية النفط المحتجزة في الصخر والغير قابلة للاستثمار تزداد بازدياد نعومة الفراغات، ويتوقف الإنتاج عندما تصبح أبعاد الحبات في حدود السلت. أما النفوذية فهي على علاقة وثيقة بأبعاد الحبات حيث ترتبط مباشرة بأبعاد القنوات التي تتحرك فيها الموائع. وتزداد النفاذية مع ازدياد قطر الحبات. كذلك فإن درجة الاستدارة، لها تأثير لا يمكن إهماله في تحديد الخواص البتروفيزيائية، حيث تزداد المسامية حسب درجة التراص، ويمكن القول أن المسامية تزداد بازدياد درجة زاوية الحبات، أما النفاذية فيعتقد أنها تزداد مع اتجاه توجيه الحبات. (**القاضي،2003**)

تبلغ المسامية قيمها العظمى في الرمال المتجانسة الحبيبات، بينما سيؤدي وجود أي مواد ناعمة ضمنها إلى تناقص المسامية. وتزداد المسامية مع تحسن الفرز في حين تأثير التجانس على النفاذية أمر معقد. وبالنسبة للملاط فإنه من الممكن أن يكون سيليسياً (كوارتز– ملاط– كالسيدونيت)، أو كربوناتياً (كالسيت – دولوميت)، أو غضارياً. ولكن الملاطات الأكثر انتشاراً هي السيليس والكربونات، والسيليس هو الأكثر ثباتاً. تتوضع هذه الفلزات بين الحبات مغلقة بذلك جزئياً أو كلياً الفراغات بينها، وهذا يؤدي إلى تناقص في المسامية والنفاذية ويكون هذا التأثير كبيراً، حين تكون أبعاد الحبات صغيرة ، حيث تنعدم النفاذية.

- تأثير الغضاريات: (**القاضي،2003**)

الغضاريات هي صخور مكونة من جزيئات صغيرة مبلورة، تنتمي إلى عدة مجموعات فلزية، تعرف باسم الفلزات الغضارية (كاولينيت – ايليت – مونتيموريلونيت)، وتحتوي على عنصر البوتاسيوم بشكل عالي. ويمكن لهذه الفلزات أن تتواجد بنسب مختلفة في كافة الصخور الرسوبية. وتشكل الغضاريات صخوراً مغطية، و تتواجد الفلزات الغضارية في معظم الصخور الخازنة، مهما كان نوعها حطامية كانت أو كربوناتية. وذلك على شكل أسرة بين الطبقات، أو

عدسات قليلة السماكة، أو على شكل عناصر مبعثرة بين الفلزات الأخرى أو على شكل حبات. ويمكن لها أن تملأ كامل الفراغات في أنواع معينة من الصخور الخازنة.

تبعاً لخصائصها فإن تأثيرات الفلزات الغضارية على الخصائص الخزنية يلخص بما يلي:

- تؤدي الأبعاد الصغيرة للجزيئات الغضارية إلى ازدياد كبير في السطوح النوعية للفراغات وتتحكم هذه الجزيئات في الخصائص الشعرية للصخور مؤدية إلى حجز الموائع في السويات الخازنة منها. إن قدرة ادمصاص الغضاريات للماء تحد من التصريف والإنتاج المائي. حيث أن كميات قليلة من الغضار، يمكن أن تزيد من حجم الماء المحجوز في الفراغات. ويمكن للرمال الغضارية أن تنتج نفط خالي من الماء حتى لو كانت درجة الإشباع المائي تزيد عن 65%.
- حوادث تبادل الشوارد بين الفلزات الغضارية و الموائع الموجودة في الصخور الخازنة، يمكن أن تقود إلى تغييرات هامة في خصائص الصخر الخازن، كظهور حواجز للنفاذية، بسبب انتفاخ الغضاريات.
- كذلك، يمكن الغضار أن يؤثر على الإنتاج، حيث لوحظ أن ارتفاع نسبة الغضاريات في سوية خازنة، ينعكس أثره بانخفاض قيم المسامية والنفاذية. وهناك العديد من الحقول التي تحدد أسباب اصطياد المواد الهيدروكربونية فيها إلى تواجد حواجز للنفاذية، تنجم عن ارتفاع محتوى الغضار فيها.

- **٢- الصخور الكربوناتية:**

هي الصخور التي يدخل عنصر الكربون فيها بنسبة لا تقل عن 50% مهما كان الشكل الذي يدخل فيه هذا العنصر في الصخر، إما على صيغة كربونات الكالسيوم Caco3 (الحجر الكلسي)، أو كربونات مضاعفة للكالسيوم والمغنزيوم (الصخور الدولوميتية CaMgCo3). وخلافاً للصخور الحطامية تتصف الصخور الكربوناتية بأنها تتألف من أنواع مختلفة من الحبات ومعظمها مستحاثات يربط بينها ملاط كربوناتي. (**القاضي،2003**)

تتصف هذه الصخور من الناحية البتروفيزيائية بعدم التجانس الكبير في مساميتها ونفاذيتها، عدم التجانس هذا ناتج عن أوساط الترسيب: حيث تبدو الصخور على شكل كتل ذات فجوات وشقوق كبيرة عندما تكون رصيفيه، أو ناعمة التنضد عندما تكون متوضعة خلف الأرصفة وفي الأوساط الضحلة. وتوصف المسامية من عالية إلى ضعيفة حسب درجة التبلور.

المسامية الأولية في هذه الصخور هي مسامية بين حبيبية وهي مختلفة جداً بسبب اختلاف اقطار وأشكال الحبات. وتختلف المسامية بزيادة طاقة وسط الترسيب. وإن عدم التجانس الناتج عن حوادث الدياجينيز يسبب نشوء مسامية ثانوية، فالدلمتة خاصة يمكن أن تؤدي إلى زيادة في حجم الفراغات في الصخور الكلسية المتراصة. أو يمكن أن تؤدي إلى تغيير بسيط في هندسة حجم الفراغات في حالة الصخور الرصيفية. **(القاضي،2003)**

يمكن أن تؤدي عملية الدلمتة إلى تقليل قيم النفاذية، يُسبب نشوء شبكة بلورية كثيفة، نتيجة احلال فلز الكالسيت محل فلز الدولوميت بعملية إزالة الدلمتة. أما الشقوق والتكسرات، فيمكن أن تؤدي لخلق نفاذية جيدة في الصخور الكتيمة.

يتم تصنيف الصخور الكربوناتية حسب درجة التبلور(تصنيف فولك 1961) وحسب نسيجها (تصنيف دونهام 1963). ومن أنواع الصخور الخازنة الكربوناتية: الصخور الخازنة الرصيفية – الصخور الخازنة الحوارية– الصخور الدولوميتية – الصخور المشققة. **(القاضي،2003)**

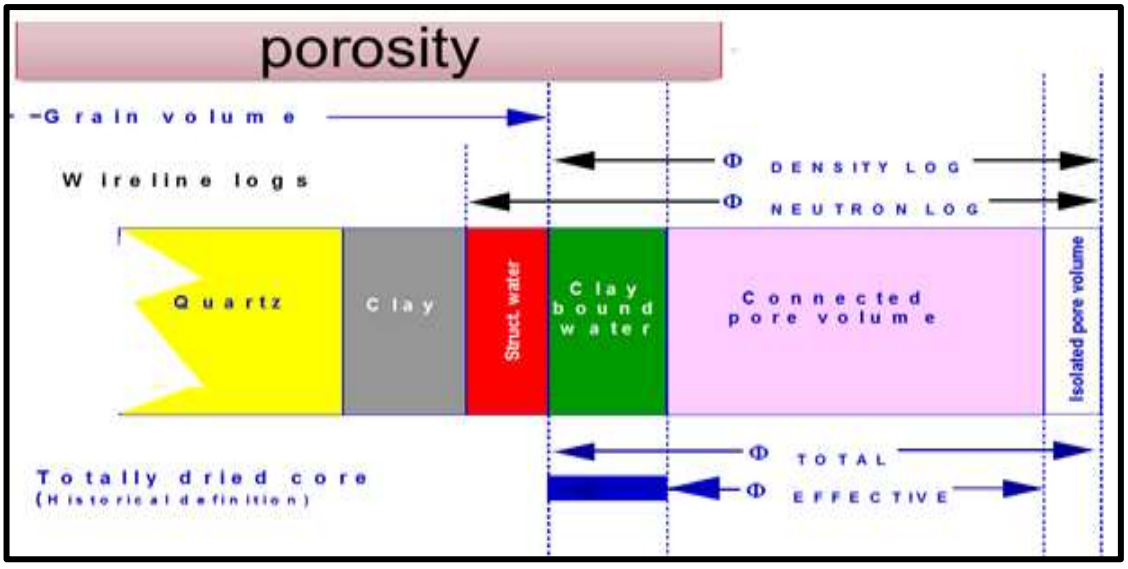
ثالثاً: الخواص الخزنية للصخور الخازنة.

المسامية ، النفاذية ، الإشباع.

- **١- المسامية Porosity:**

١-١- المفهوم العام: وهي حجم الفراغات في واحدة الحجوم من الطبقة الصخرية، حيث تقترب في الصخور الكربوناتية والتبخرية من الصفر. بينما تتفاوت في الحجر الرملي المتماسك بين ١٠-١٥%، أما الصفاح فتتجاوز مساميتها(40%)، وذلك حسب مدى تماسكه ولكن مساماته صغيرة جداً. يتم التعبير عن المسامية كنسبة مئوية، ولكن عند الحسابات تكتب على شكل عدد عشري. **(Schlumberger, 1989)**

المسامية الكلية: وهي نسبة حجم الفراغات الموجودة في الصخر إلى الحجم الكلي لهذا الصخر. وتُصنف المسامية إنتاجياً إلى: مسامية متصلة (Effective)، ومسامية غير متصلة (Ineffective)، وهي التي تحجز المياه الغير قابلة للتخفيض. **(الشكل 3-1)**



شكل (3-1): المساميات الفعالة والمؤثرة (Schlumberger, 1989).

المسامية الفعالة (effective porosity): وهي المسامية التي تمثل الفراغات المتصلة ببعضها البعض، أي حجم الفراغات التي تتمتع بالقدرة على الامتلاء بالموائع. وسميت فعالة لأنها فعالة في حركة الموائع عبر الصخر.

تبلغ قيمة المسامية المتصلة (20-25%) من قيمة المسامية الكلية، وقد تصل إلى (50%)، وترتفع هذه النسبة مع ازدياد نعومة الحبات. ولكن الفرق بين المسامية الكلية والفعالة في الصخور الرملية يعتبر معدوماً حيث تصبح المساميتان متساويتان. وفي المواد الضعيفة أو متوسطة التماسك فتكون المساميتان متقاربتان (Øe ≈ ØT)، بينما تكون المسامية الفعالة في المواد المتماسكة مثل الصخور الكربوناتية أقل من المسامية الكلية Øe < ØT.

تصنف المسامية حسب المنشأ إلى: مسامية أولية (Primary porosity) وهي التي تكونت عادة مع نشوء الصخر عند ترسبه، ومسامية ثانوية (Secondary) تكون على شكل شقوق (Fracture) وفجوات ناتجة عن فعل المياه الطبقية، أو قوى تكتونية، أثّرت على الصخر بعد ترسبه، وعادة ما تكون ضعيفة القيمة.

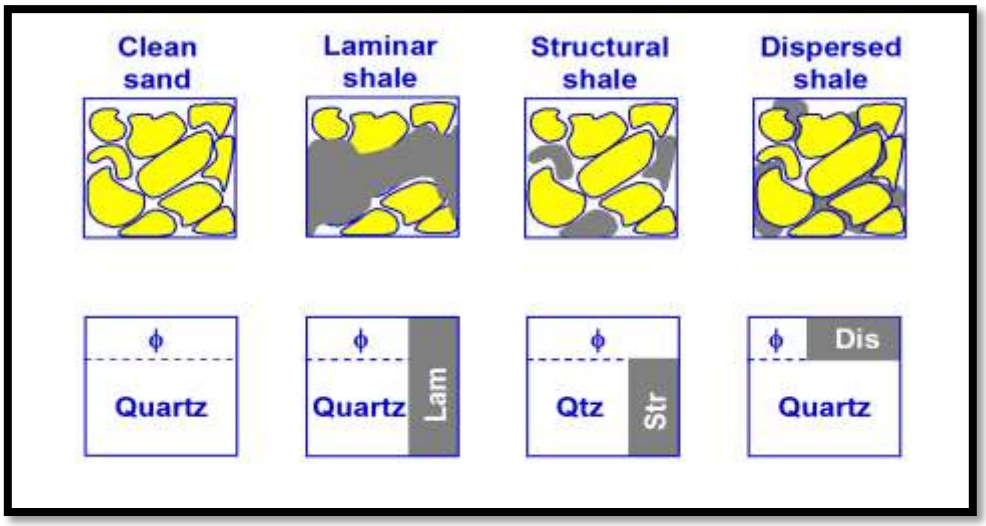
يجب الانتباه إلى أن قيم المسامية لا تعطي معلومات عن حجم المسامات أو توزعها أو درجة اتصالها، ولذا فإن الصخور التي تتمتع بنفس المسامية يمكن أن تختلف بشكل جيد في الصفات الفيزيائية مثال: حجر كلسي وحجر رملي كلاهما مثلاً له مسامية (0.2)، ولكن

الكربونات مساماتها تكون غير متصلة، وبالتالي فإن نفاذيتها ستكون أقل من نفاذية الحجر الرملي.

أما العوامل المؤثرة على المسامية فهي: شكل الحبات، عمق التوضع، التراص، ضغط المسام، وتوزع الملاط. حيث أن المسامية تتناقص مع ازدياد عمق التوضع، أي بارتفاع الحرارة والضغط. تزداد المسامية مع ازدياد طاقة الوسط ومع قلة المدة اللاحمة. ويمكن تقسيم الصخور حسب مساميتها إلى الأنواع التالية: رديئة: مساميتها أقل من 5%، فقيرة : مساميتها بين (5-10%)، جيدة: ذات مسامية (10-20%)، جيدة جداً: مساميتها أكثر من 20%.

١-٢-تأثير توزع الغضار على المسامية:

يتواجد الغضار ضمن الحجر الرملي المشوب به بأبعاد هندسية معينة ويتوضح ذلك في الشكل (3-2)، حيث يمكن أن يُصادف الغضار على شكل رقائق داخل الحجر الرملي (Laminar) وهذا الشكل سيؤثر على الهيكل الصخري ويقلل من المسامية. أو يكون على شكل عدسات ضمن البنية الهيكلية للحجر الرملي (Structure). أو يكون الغضار مبعثر ضمن الفراغ المسامي على شكل تجمعات ملاصقة للحبيبات الرملية (Dispresed). وهذا النوع يعتبر الاخطر حيث يعمل على تقليل المسامية بشكل كبير.



شكل(3-2): أشكال توزع الغضار ضمن الصخر(Schlumberger).

١-٣- كيفية حساب المسامية:

يمكن حساب المسامية بالطرق المباشرة من اللباب الصخري أو غير المباشرة من التسجيلات البئرية. ونظراً لعدم توافر أي لباب صخري من التشكيلة المدروسة في حقل الرتكة فقد تم حسابها من التسجيلات البئرية كالتالي:

١) النيترونية ØN: القياسات النيترونية تعطي قيم المسامية الكلية مباشرة.

٢) تسجيلات الكثافة ØD: يُعطي قياس الكثافة قيمة الكثافة الإجمالية ρb، ويتم حساب قيمة المسامية من العلاقة التالية:

$$\emptyset = \frac{\rho ma - \rho b}{\rho ma - \rho f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-1)$$

حيث:

(ρma): كثافة الصخر، وتحسب إما من اللباب الصخري أو من القيم القياسية وتم في هذه الدراسة استخدام القيم التالية التي وضعت من قبل شركة الفرات:

للحجر الرملي: $\rho ma = 2.65\ g/cm3$، الحجر الكلسي: $\rho ma = 2.71\ g/cm3$ الدولوميت $\rho ma = 2.87\ g/cm3$.

(ρf): كثافة سائل الحفر، بسبب عدم توافر اللباب الصخري استخدمت قيمة $0.8\ g/cm3$ من أجل سائل حفر نفطي.

ولحساب قيمة المسامية الكلية $\emptyset T$ التي تدخل بحسابات الاحتياطي، يتم الاعتماد على قيمتي المسامية النيترونية ØN والمسامية من قياس الكثافة ØD كما يلي:

$$\emptyset T = \frac{\emptyset N + \emptyset D}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-2)$$

أما المسامية الفعالة Effect porosity فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\emptyset e = \emptyset t - Vsh \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-3)$$

حيث: Øe : المسامية الفعالة. Vsh: حجم الغضار.

وهي القيمة التي تستخدم من أجل حساب الإشباع المائي، وذلك للتخلص من تأثير الغضار والحصول على قيمة الإشباع المائي الحقيقي.

إذا كان الغضار رقائقي (Laminar shale) أي أنه عبارة عن طبقات متعاقبة من الرمل والغضار، وبالتالي فإن الغضار يحتل مكاناً ضمن المسامية والهيكل الصخري، وعندها تحسب المسامية الفعالة بالشكل التالي:

$$\emptyset e = \emptyset t - Vsh * \emptyset sh. \quad \text{.....(3-4)}$$

حيث أن: $\emptyset sh$: مسامية الغضار.

- ويتم حساب حجم الغضار كالتالي:

من الأفضل أن يتم حساب حجم الغضار من تسجيل (CGR) حتى لا تتضمن نسبة اليورانيوم. وتم حساب حجم الغضار لكل تشكيلة على حدا.

<u>قانون حساب حجم الغضار</u>:

$$IGR = \frac{GRlog - GRmin}{GRmax - GRmin} . \quad \text{.....(3-5)}$$

حيث:

GR_{log} : قراءة السابرة. وتقرأ من خلال التسجيل المصحح (CGR).

GR_{min}: أقل قيمة من التسجيل وهي تطبق على كامل التشكيلة الواحدة.

GR_{max}: أعلى قيمة من التسجيل وهي أيضاً ثابتة على كامل التشكيلة.

٣) التسجيلات الصوتية:

تُعطى المسامية الأولية فقط باستخدام معادلة Welly:

$$\emptyset S = \frac{\Delta t\ log - \Delta t\ ma}{\Delta t\ f - \Delta t\ ma} \quad \text{.....(3-6)}$$

حيث أن:

$\Delta t\ log$: أزمنة الارتحال المسجلة أثناء القياس.

$\Delta t\ ma$: أزمنة ارتحال الأمواج الصوتية ضمن نوع معين من التشكيلة، وتحسب من اللباب الصخري، أو يتم أخذ قيم محددة لها من الجداول، وتم في هذه الدراسة استخدام القيم التالية التي وضعت من قبل شركة الفرات:

الحجر الرملي: $\Delta t\ ma = 55.5\ ms/f$، الحجر الكلسي: $\Delta t\ ma = 49\ ms/f$، الدولوميت: $\Delta t\ ma = 44\ ms/f$.

Δtf: وتمثل أزمنة الارتحال ضمن سائل الحفر، وهي محددة بقيم، وغالباً ما تؤخذ بقيمة 189.

عندما تحسب المسامية الصوتية للكربونات مع وجود شقوق أو كسور من خلال صيغة ويلي، فإن قيم المسامية ستكون منخفضة جداً، وهذا يحدث بسبب أن القياسات الصوتية تسجل مسامية الهيكل بدلاً من المسامية الثانوية للشقوق والفجوات.

- **حساب دليل المسامية الثانوية SPI:**

يتم طرح قيمة المسامية الصوتية الأولية $\emptyset s$ من قيمة المسامية الكلية ($\emptyset T$) المحسوبة من قياس النيترون والكثافة، وتحسب المسامية الثانوية للطبقات الكربوناتية الحاوية على شقوق أو فجوات من خلال العلاقة (3-7):

$$SPI = \emptyset T - \emptyset s \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-7)$$

- **٢- الإشباع (Saturation):**

٢-١- المفهوم العام:

يعبر عن كمية المائع الموجودة في المسام. ويُعبر عنه بنسبة مئوية. يجب أن تكون قيم الإشباعات المختلفة الموجودة في الصخر مساوية ل 100%. الإشباع المائيSw وهي قيمة مهمة جداً ولكن قيمته لا تصل للصفر لأنه لا يوجد نطاق حاوي على النفط بشكل تام في الطبقة دون بقاء كمية من الماء المحجوز فيها (مثلاً الماء المرتبط شعرياً) ويسمى الإشباع المائي الغير قابل للانقاص ((Irreducible water saturation (Swirr). وقد يصل الإشباع إلى 100%.

أنواع الإشباعات:

١- الإشباعات القابلة للإنتاج: حيث تكون قابلة للحركة بشكل حر بين الحبات الصخرية.

٢- الإشباعات الغير قابلة للإنقاص: وهي الإشباعات التي تبقى ضمن الطبقة ولا يمكن إزاحتها، حيث تزداد قيمتها في الصخور ذات الحبات الصغيرة (مسامات ضيقة) وبالمقابل تقل بالصخور ذات الحبات الكبيرة. ينطبق هذا الأمر على الماء والهيدروكربونات، ودليل ذلك الطبقات الحاملة للنفط والحاوية على المياه الغير قابلة للانقاص، يتم الإنتاج منها نفطاً خالياً من الماء، وكذلك في الطبقات المنتجة للنفط، فيستحيل تخليص الطبقة من كامل المواد الهيدروجينية وتبقى محجوزة ضمن المسامات، وتسمى الإشباع النفطي المتبقي (Residual ROS).

ولا يكون الانتقال من الإشباع المائي إلى الإشباع الهيدروكربوني، ضمن الطبقة حاداً بل يكون تدريجياً، حيث يتشكل نطاق انتقالي ابتداءً من طبقة مشبعة بالماء، ثم تتناقص كمية الماء على حساب النفط حتى نصل للإشباع النفطي. يعتمد النطاق الانتقالي (Transition Zone) على نفاذية الطبقة (Permeability) وعلى عنق المسام (Pore throat). حيث كلما كانت النفاذية قليلة كان النطاق الانتقالي اكبر.

٢-٢- حساب الإشباع:

يُحسب الإشباع المائي من خلال علاقة آرشي، حيث نحصل من هذه العلاقة على الإشباع المائي الحقيقي (Sw) في القطاع العميق الغير مجتاح.

$$Sw = n\sqrt{\frac{a*Rw}{\emptyset^m*Rt}} \quad \text{.....(3-8)}$$

حيث أن:

الثوابت:

a ثابت يتم تحديده تجريبياً من اللباب الصخري أو توضع بقيمة ثابتة (a=1).

m عامل السمنتة (Cementation): ويحدد من اللباب الصخري وفي حال عدم توفرها تؤخذ القيم القياسية وغالباً تساوي (m=2).

ضمن هذه الدراسة وعلى حسب معطيات شركة الفرات تم استخدام m بقيمة تساوي 2 ضمن تشكيلة الأرك الكربوناتية، وبقيمة تساوي 1.7 ضمن تشكيلة الرطبة الرملية.

n (Saturation exponent) أس الإشباع: يُحسب من اللباب الصخري ولكن يمكن الاستغناء عنها، وأخذ القيم القياسية حيث (n=2).

وبحسب معطيات شركة الفرات فلقد استخدمنا القيم التالية: ضمن تشكيلة الأرك استخدمت قيمة تساوي 2، وضمن تشكيلة الرطبة الرملية تساوي 1.67.

المسامية: تحسب قيم المسامية الكلية ثم قيم المسامية الفعالة من أجل إبعاد تأثير حجم الغضار وبالتالي التخلص من المسمية الغير فعالة في الحسابات.

Rt المقاومية الحقيقية: تُقرأ من قياس المقاومية التحريضية العميقة (ILD)، وتعطي قيمة مقاومية الطبقة الحقيقية.

Rw: مقاومية المياه الطبقية.

ويحسب بعدها الإشباع الهيدروكربوني Sh من خلال العلاقة التالية:

$$Sh=1-Sw \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3-9)$$

ولقد تم اختيار علاقة آرشي باعتبارها أفضل العلاقات حيث تدخل قيم المسامية الفعالة ضمن العلاقة وبالتالي نحصل على قيمة الإشباع المائي الحقيقي. بينما علاقة اندونيسيان فهي تطبق فقط في حال وجود ماء عذب ضمن التشكيلة الخازنة، كما أن باقي العلاقات تحتاج لقيم المسامية الكلية وبالتالي سنحصل في هذه الحالة على قيمة الإشباع المائي الكلي، وتتطلب تلك العلاقات بعض البارامترات التي لا نستطيع تحديدها ضمن هذه الدراسة بسبب قلة المعلومات المتوفرة ضمن حقل الرتكة.

٢-٣- حساب مقاومية المياه الطبقية في حقل الرتكة Rw:

المياه الطبقية: هي المياه الغير ملوثة براشح الحفر التي تملأ الطبقة الصخرية المسامية. وتُعد المقاومية الكهربائية لمياه الطبقة متغيراً هاماً في عملية التفسير لأنها مطلوبة من أجل حساب قيمة الإشباع من معطيات التسجيلات البئرية. لذلك سيتم في هذا الفصل تحديد قيمة مقاومية المياه الطبقية ضمن كل بئر مدروس في هذه الرسالة.

هناك عدة مصادر للمعلومات حول مقاومية المياه الطبقية تشمل جداول المياه والتحاليل الكيميائية ومنحني الكمون الذاتي والحسابات المتنوعة للمقاومية والمسامية والعروض المتقاطعة المتعلقة بها.

وفي حال عدم توافر عينات مائية، فتحسب من التسجيلات البئرية من خلال مخطط (Picket plot) حيث يتم اختيار تشكيلة مشبعة 100% بالماء ضمن البئر وبمواصفات محددة، إذ يجب أن تكون مقاوميتها منخفضة ومساميتها عالية وقيمة الإشعاع الطبيعي GR منخفضة، وتُقرأ القيمة من منحني المقاومية العميقة، وتسجل Ro ثم يتم تطبيق القانون التالي، لحساب قيمة Rw، وتطبق على كامل البئر.

$$Rw = Ro * (\emptyset^m) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-9)$$

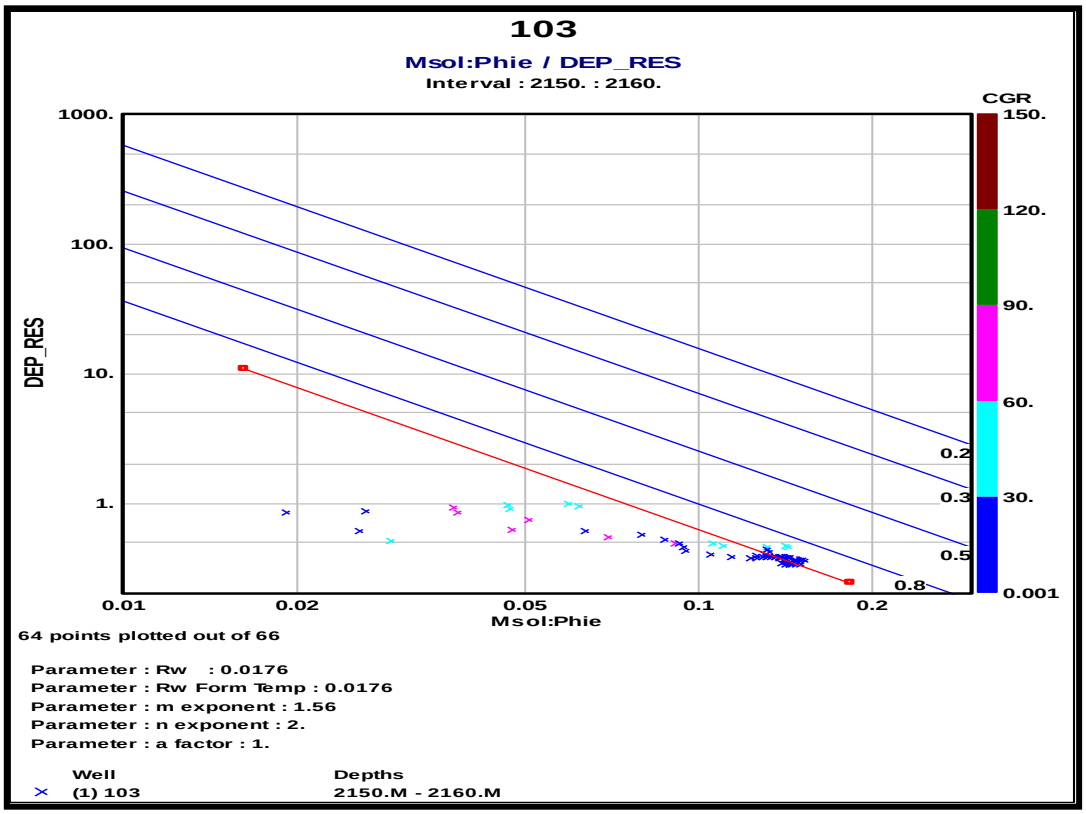
تم في هذه الدراسة تحديد قيمة مقاومية المياه الطبقية بدقة وذلك للحصول على نتائج صحيحة وذات موثوقية من خلال برنامج IP حساب قيمة Rw بالتطبيق على مخطط (Picket plot)، الذي يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والإشعاع الطبيعي لكل بئر على حدا، حيث تم البحث ضمن كل بئر على نطاق حامل للماء مشبع 100% في التشكيلة الخازنة المدروسة، وبمسامية عالية وإشعاع طبيعي منخفض، وفي حال عدم تواجد نطاق مائي ضمن التشكيلة الخازنة، يتم اللجوء إلى أقرب تشكيلة مجاورة حاملة للماء. وتُظهر الأشكال (3-(3, 4, 5, 6)) قيم مقاومية المياه الطبقية لكل بئر تمت دراسته في حقل الرتكة.

- **البئر103:** تم حساب قيمة Rw ضمن تشكيلة الضبيات الكربوناتية الحاوية على الماء، والتي تتألف في منخفض الفرات من طبقة علوية حاوية على الغضار مع تداخلات رملية وطبقة كربوناتية دولوميتية وطبقة سفلية غضارية مع تداخلات رملية ودولوميت. وكانت قيمة المقاومية للماء مساوية ل (0.0176 ohm.m). **(الشكل 3-3)**

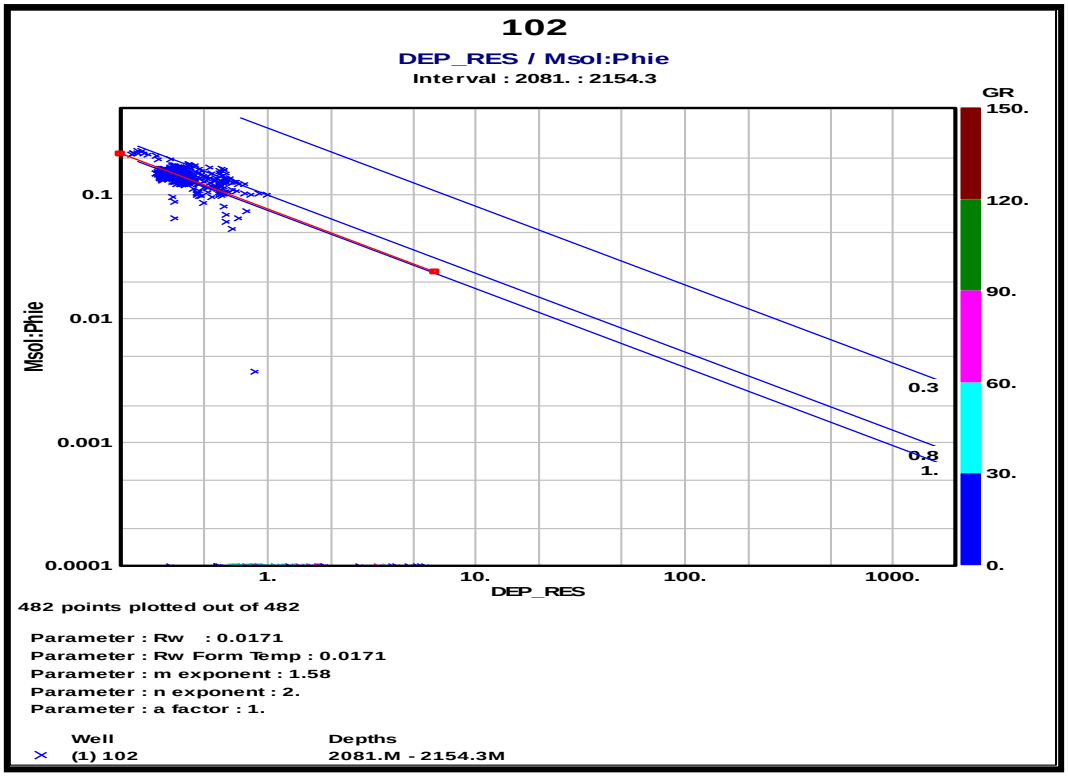
- **البئر102:** حُسبت قيمة Rw مقاومية المياه الطبقية ضمن تشكيلة الرطبة التي أصبحت مائية ضمن هذه البئر وكانت القيمة تساوي (0.017 ohm.m). **(الشكل 3-4)**

- **البئر101:** تم حساب القيمة من خلال تشكيلة الرطبة حيث كان الجزء الأكبر منها واقعاً ضمن النطاق المائي. وكانت قيمة المقاومية للمياه الطبقية تساوي (0.034 ohm.m). **(الشكل 3-5)**

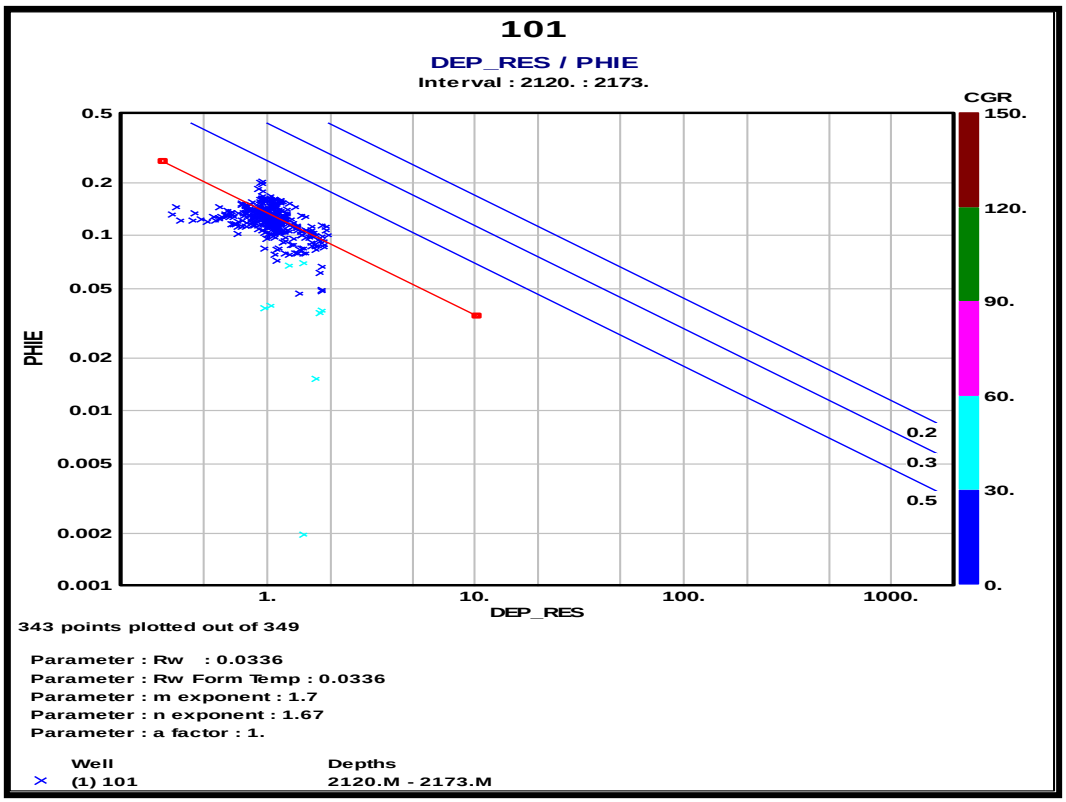
- **البئر101S:** حُسبت من خلال تشكيلة الأرك الكربوناتية المشبعة بالماء، وكانت قيمة مقاومية المياه الطبقية تساوي (0.014 ohm.m). **(الشكل 3-6)**



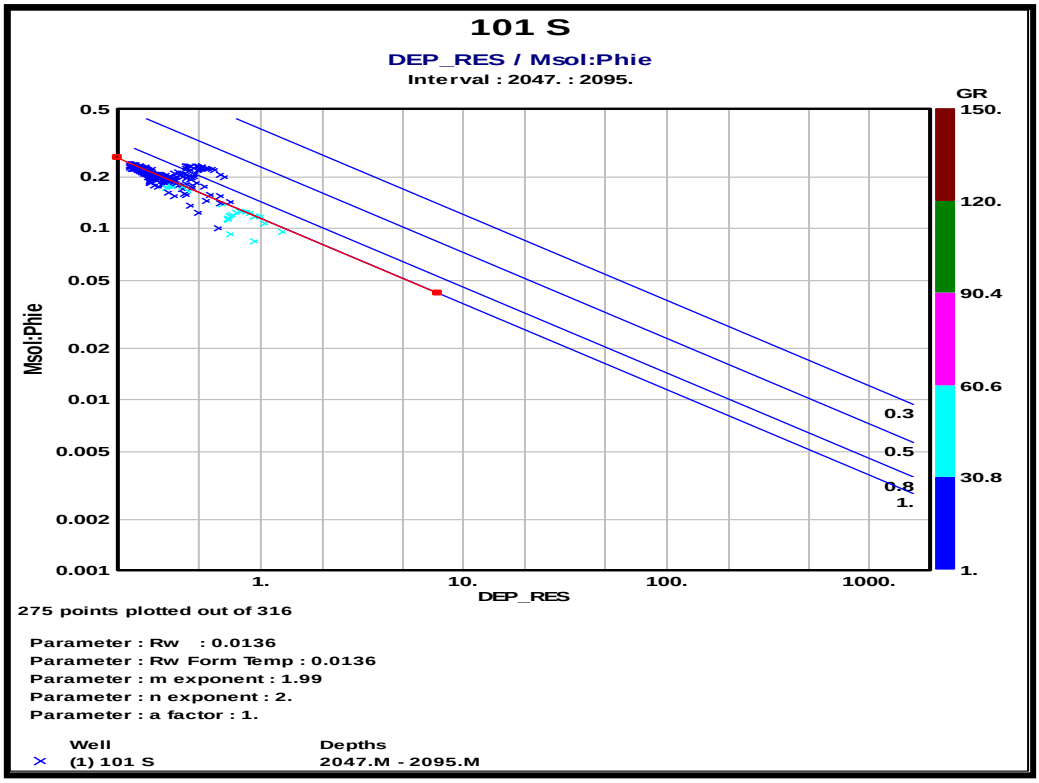
شكل (3-3): مخطط (Picket plot) للبئر103 يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.



شكل (3-4): مخطط (Picket plot) للبئر 102 يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.



شكل (3-5): مخطط (Picket plot) للبئر 101 يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.



شكل(3-6):مخطط (Picket plot) للبئر 101S يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي.

- **٣- النفاذية Permeability:**

٣-١- المفهوم العام:

النفاذية هي قياس لقدرة الوسط المسامي على إمرار الموائع، واحدته الدارسي Darcy. وهي قيمة كبيرة لذا يتم القياس بالميلي دارسي MD، وتؤخذ قيمها بين صفر وألف ميللي دارسي، حيث تكون النفاذية ضعيفة، إذا كانت قيمها بين صفر وعشرة ميللي دارسي، ومتوسطة إذا كانت قيمها بين عشرة ومئة ميللي دارسي، وجيدة إذا تجاوزت قيمتها المئة ميللي دارسي. وحتى يكون الصخر نفوذاً يجب أن تتوافر فيه مسامات متصلة. وتتوافق عادة المسامية المرتفعة مع النفاذية العالية. ولكن الوضع لا يسير على هذا الوضع دائماً، لأن حجم المسامات وشكلها واتصالها ببعضها البعض، إضافة إلى مقدار المسامية نفسها، تؤثر جميعاً في نفاذية الطبقة الصخرية. إذ يمكن أن تكون المسامية متصلة وعالية في بعض الرمال ولكن تبقى المسامات صغيرة جداً فتصبح بنتيجتها ممرات المسامية محدودة جداً ومتعرجة. **(القاضي، 2003)**

كذلك تُبدي الغضاريات المكونة بدرجة كبيرة من جزيئات دقيقة، مسامية عالية جدا ولكن بسبب صغر المسامات تكون معظم الغضاريات ذات نفاذية معدومة. ويمكن مثلاً للحجر الكلسي أن يحتوي على شقوق صغيرة ولكن مساميته ضعيفة على حين تكون نفاذيته عالية جداً.

إضافة لذلك، لا تأخذ النفاذية قيماً ثابتة في الصخر، حيث ثبت أن النفاذية، تتناقص بشكل بطيء تحت تأثير جريان الموائع في الصخر، وذلك بسبب تحطم بعض مركبات الصخر حيث تعمل الجزيئات الناعمة جداً والناتجة عن تحطم الفلزات على اغلاق أجزاء من الفراغات الدقيقة معيقة بذلك حركة الموائع ضمنها. إن مجال النفاذية في الطبقات المنتجة واسع جداً وهو يتراوح بين (٠,١-١٠٠٠٠ ميلي دارسي). وتعتمد القيمة الدنيا للنفاذية للبئر المنتجة تجارياً على عدة عوامل، أهمها: سماكة القطاع المنتج وكون الإنتاج نفطياً أم غازياً ولزوجة المنتج، وضغط الطبقة وقيمة الإشباع بالماء وأسعار النفط والغاز وعمق البئر وغيرها.

تكون نفاذية صخر معين ثابتة تجاه جريان مائع وحيد ومتجانس بشرط أن لا يتفاعل المائع مع الصخر، وتسمى النفاذية المحددة لمائع وحيد متجانس بالنفاذية المطلقة. أما النفاذية النسبية Kr، فهي نسبة النفاذية الفعالة إلى النفاذية المطلقة Ke/K. (**القاضي، 2003**)

يوجد نوعان من النفاذية: ١) الأفقية: تعبر عن جريان الموائع بشكل مواز للتطبق. ٢) العمودية : تعبر عن جريان الموائع بشكل عامودي على مستوى التطبق. والنفوذية العمودية عموما أقل من النفوذية الأفقية ويعود ذلك إلى تواجد فلزات مثل الغضار. تتوضع في معظم الصخور الخازنة بشكل مواز للتطبق مشكلة بذلك حواجز للنفوذية.

٣-٢- طرائق تحديد النفاذية:

بشكل عام توجد عدة طرائق تحسب منها النفاذية وهي:

١- العينات اللبابية (Cores): وهي أدق طريقة حيث تعطي القيم الحقيقة للنفاذية النسبية على عكس باقي الطرائق التي تقدر مجال للنفاذية فقط.
٢- عن طريق قياس المقاومية (Resistivity): وذلك في حالة استخدام سائل حفر ذو أساس مائي (WBM)، وهي لا تعطي قيماً للنفاذية بل تقدر وجود نفاذية جيدة أو غير جيدة.
٣- قياسات سابرة الرنين النووي المغنطيسي NMR: (Nuclear Magnetic Resonance).

٤- قياسات الضغط الطبقي (RFT formation test). وضمن منطقة الدراسة، أُخذت قيم النفاذية من قياسات الضغط الطبقي.

٣-٣- تقدير النفاذية ضمن حقل الرتكة:

يُعطي قياس الضغط الطبقي (RFT) مؤشراً للحركية (mobility) التي تتناسب مع النفاذية. حيث يُراقب مهندس المخزون الضغط ويعطي حركية السوائل. يقوم مبدأ القياس على أخذ عينة وقياس الضغط الاولي ثم يُترك وقت للتشكيلة حتى تبني الضغط من جديد (build up) وتستعيد توازنها بإعادة السوائل للمسامات التي سحبت منها العينة. هذا الزمن (build up) يتناسب عكساً مع النفاذية K، حيث الزمن الكبير يدل على نفاذية منخفضة. وفي حقل الرتكة تمت دراسة النفاذية من قبل مهندسي المخزون عن طريق دراسة الضغط الناتج عن قياسات RFT ضمن بئري الرتكة (102،103).

- **البئر103:**

تمت القياسات ضمن تشكيلة الرطبة، ودلت الملاحظات على قياس RFT أن النفاذية جيدة إلى ممتازة ضمن التشكيلة، ولكن في نهايتها أصبحت ضعيفة جداً. قُدرت النفاذية بحدود ٢٠٠٠ميلي دراسي (2000 MD)، والجدول (3-1) يحدد الضغوط المأخوذة عند أعماق معينة والملاحظات التي استنتجت من خلال العينات المأخوذة.

جدول(3-1): قياسات الاختبار الطبقيRFT للبئر 103، محدد عليه الملاحظات على النفاذية (شركة الفرات،1989).

العمق/ Depth mbdf	الضغط / Pressure Psia	ملاحظات على النفاذية Permeability
2059	3250.50	ممتازة
2063.5	3255.60	جيدة
2067	3259.10	ممتازة
2074	3266.80	منخفضة جداً
2083	----	اختبار فاشل
2088	3282.40	منخفضة جداً

- **البئر102:**

تم إجراء قياس ضمن تشكيلتي الأرك والرطبة، وفشلت معظم العينات ضمن تشكيلة الأرك، وذلك لأن التشكيلة كتيمة. وأشارت الملاحظات على العينات أن النفاذية ضعيفة إلى متوسطة، بينما ضمن تشكيلة الرطبة فهي ضعيفة إلى جيدة. والجدول (3-2) يوضح العينات المأخوذة من البئر102 على أعماق معينة والملاحظات على قيم النفاذية المقابلة.

جدول(3-2): قياسات الاختبار الطبقيRFT للبئر 102 محدد عليه الملاحظات على النفاذية (شركة الفرات،1989).

ملاحظات على النفاذية	الضغط	Depth
ضعيفة	3174.70	2017.2/ الارك
منخفضة	3184.20	2019.5/ الارك
جيدة	3265.70	2085/ الرطبة
جيدة	3312	2115/ الرطبة
ضعيفة	1916.6	2140/ الرطبة

الفصل الرابع

تفسير القياسات البئرية وتطبيقاتها في تشكيلة الأرك

أجريت القياسات الجيوفيزيائية البئرية المذكورة سابقاً (الفصل الثاني) ضمن حقل الرتكة، وتمت عملية تفسير النتائج من خلال القراءة المباشرة للقياس، ورسم الأشكال والمرتسمات التي توضح الخواص البتروفيزيائية من خلال برنامج (IP). وذلك وفقاً لما يلي:

- **أولاً: تحديد حدود التشكيلة.**

لتحديد الحدود الفاصلة لتشكيلة الأرك في آبار الدراسة المختلفة لحقل الرتكة، تم الاستعانة بنتائج قياسات السوابر التالية:

١- سابرة المقاومية التحريضية العميقة:

الحد العلوي: يُلاحظ من خلال قياس المقاومية العميقة أن المقاومية تزداد قراءتها عند حدود التماس العليا للتشكيلة، إما لأن التشكيلة خازنة كما في البئرين (102،103)، أو لأن التشكيلة كتيمة في باقي الآبار (101،101s).

الحد السفلي: يُمثل بداية تشكيلة الرطبة، ففي البئر 103 يحصل زيادة في المقاومية، أما البئرين 101 والبئر 101S، فيلاحظ تناقص المقاومية في نهاية التشكيلة. كذلك في البئر102 يحصل تناقص بقيم المقاومية في نهاية التشكيلة، بسبب وجود الماء، حتى نصل لبداية تشكيلة الديرو التي تبدأ بزيادة في المقاومية.

٢- سوابر المسامية:

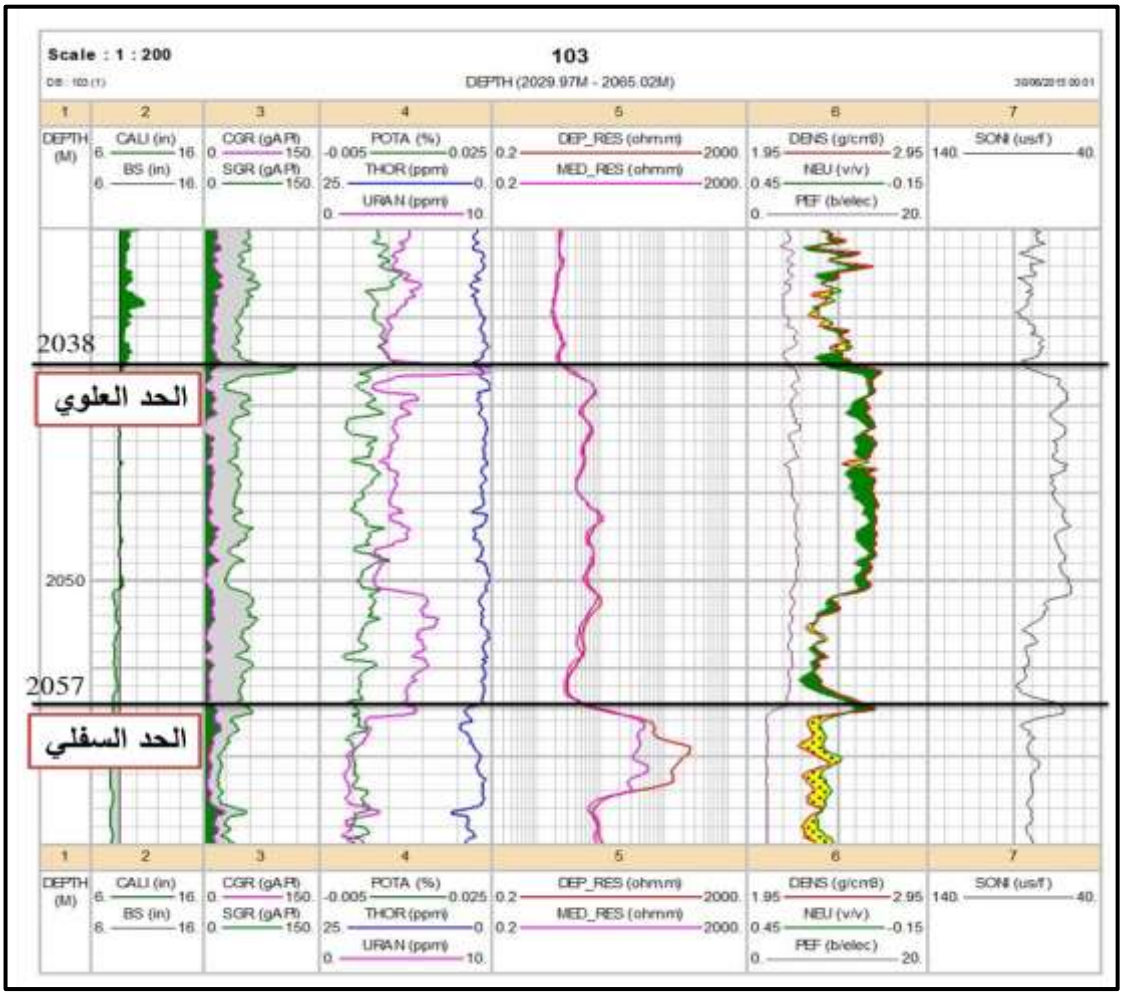
الحد العلوي: يُبدي منحني القياس الصوتي، انخفاضاً في قيم أزمنة الارتحال، مع انخفاض قيم المسامية النيترونية، وزيادة بقيم الكثافة.

الحد السفلي: يُلاحظ في الآبار انقلاب قياسي الكثافة والنيترون وبالتالي دليل على ظهور تشكيلة جديدة. مع زيادة في أزمنة الارتحال.

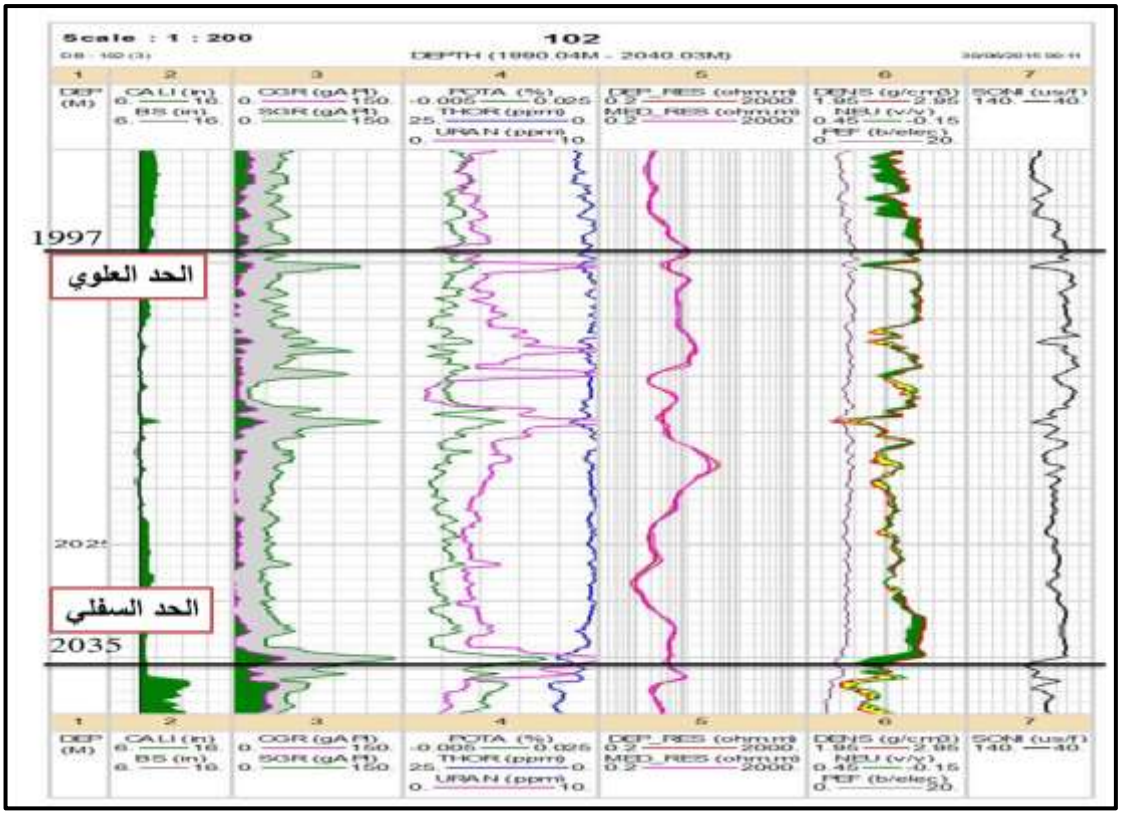
توضح الأشكال (4-(1, 2, 3, 4)) الحدود العليا والسفلى لتشكيلة الأرك ضمن الآبار المدروسة التي حُددت من خلال تفسير استجابة السوابر البئرية تجاه الطبقات. والجدول (4-1) يوضح الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك إضافة للسماكة الكلية في كل بئر ضمن حقل الرتكة.

جدول(4-1): الحد العلوي والسفلي إضافة إلى سماكة تشكيلة الأرك في آبار منطقة الدراسة.

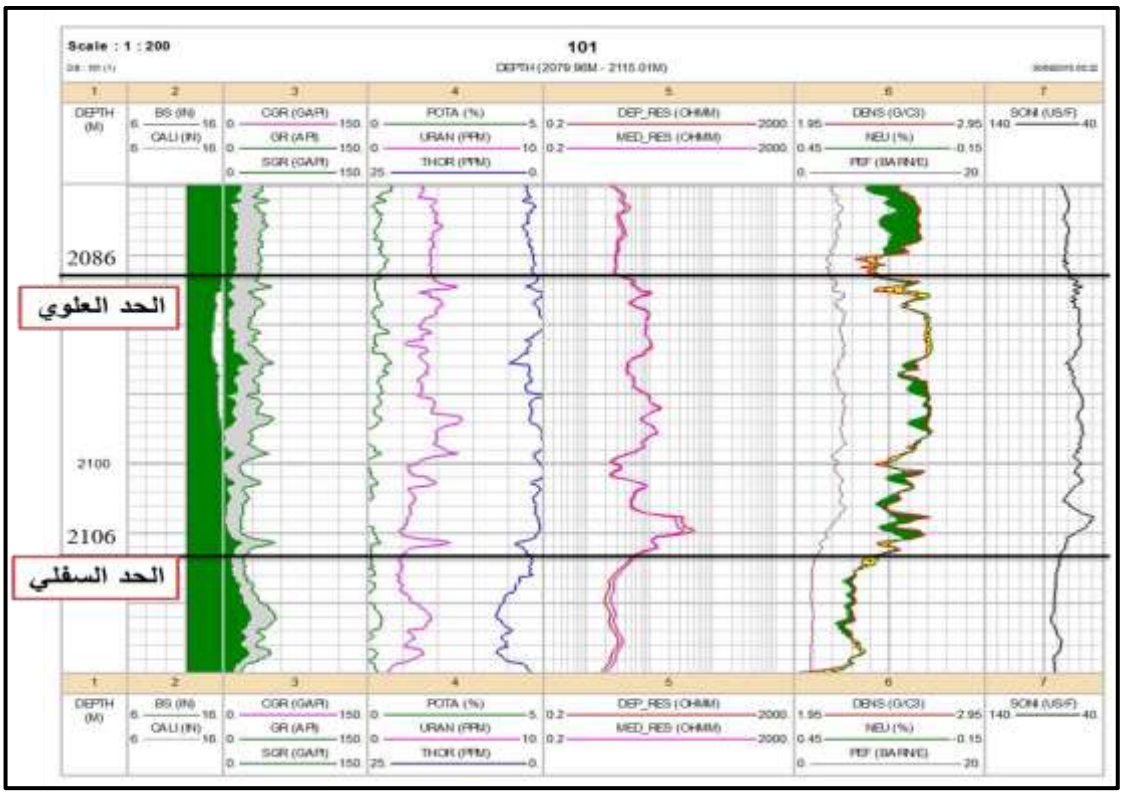
رقم البئر Well No.	الحد العلوي Top(m)	الحد السفلي Bottom(m)	السماكة Thickness(m)
RAT103	2038.5	2057	18.5m
RAT102	1997	2035	38 m
RAT101	2086	2106	20 m
RAT101S	2017	2047	30 m



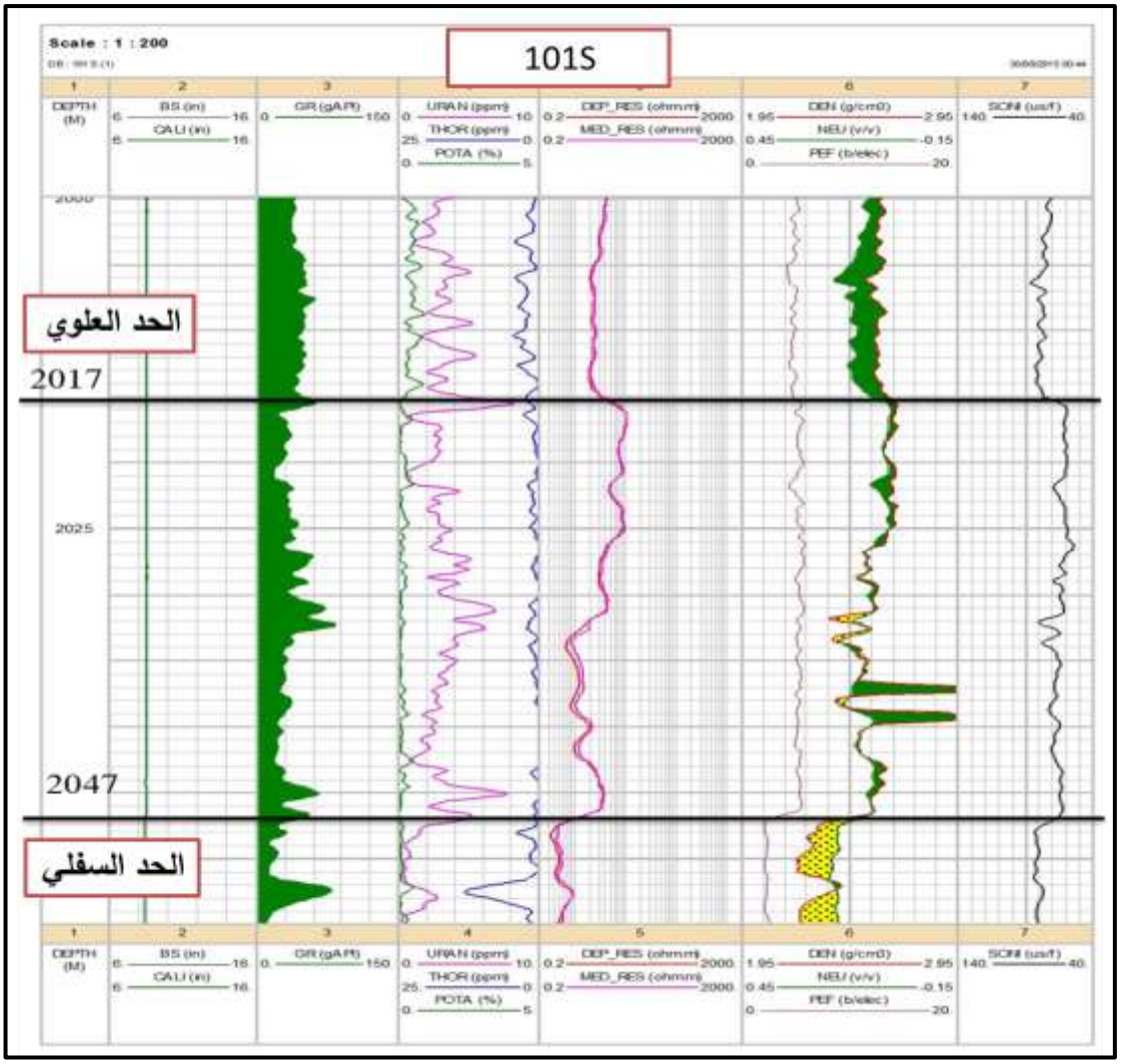
شكل(4-1): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر103.



شكل(4-2): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر102.



شكل(4-3): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر101.



شكل(4-4): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الأرك ضمن البئر101S.

- **ثانياً: تحديد الليثولوجيا.**

إن تحديد نوع التركيب الصخري يُعتبر من المهام الأساسية في التفسير وسيتم تحديده ضمن هذه الدراسة من خلال تفسير التسجيلات البئرية، ومن خلال مخططات التقاطع التي تربط بين هذه التسجيلات، كما تم الاستعانة ببعض الملاحظات المتوفرة من الفتات الصخري.

١- ملاحظات على الفتات الصخري:

الفتات الصخري عبارة عن الحبات الصخرية التي تستخرج أثناء الحفر حيث تصعد لسطح الأرض مع سائل الحفر، ويقوم جيولوجي الحقل بوضع ملاحظاته عليها لمعرفة تغير التركيب الصخري أثناء الحفر.

- البئر103: تبين من خلال تقرير الحفر أن تشكيلة الأرك عبارة عن حجر كلسي مبلور كتيم، لا يحوي تشققات إلا في الجزء السفلي من التشكيلة مع وجود شواهد نفطية.

- البئر102: أظهر تقرير الحفر أن تشكيلة الأرك عبارة عن حجر كلسي مبلور وحجر كلسي غير مبلور (Pack/Grain stone). حيث أن المبلور منه تميز بلونه (البني الفاتح– الرمادي)، ومتوسط إلى قاسي، ناعم التبلور ثم يصبح خشن التبلور مع ندرة الغضار. أما الحجر الكلسي الغير مبلور فلونه بني خفيف، وقساوته ضعيفة.

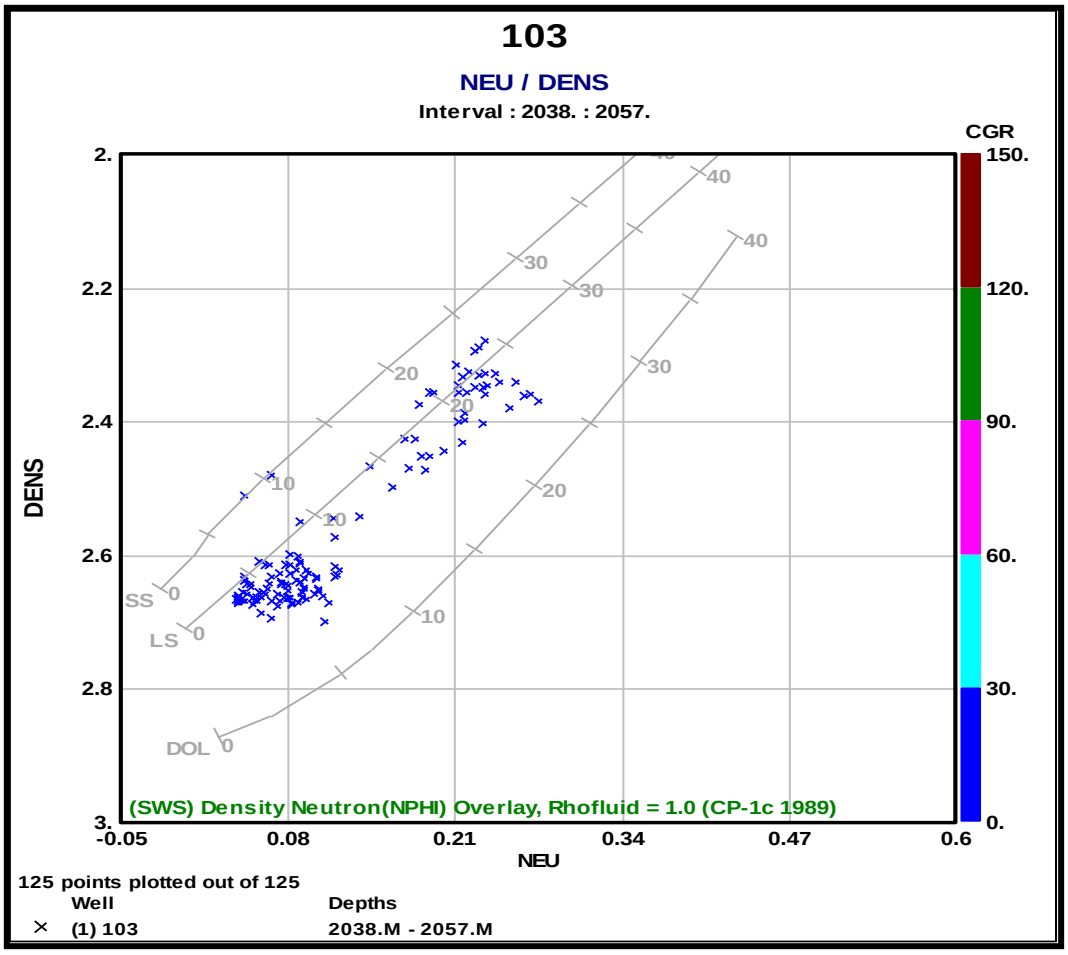
- البئر101: تبين من تقرير الحفر وجود حجر كلسي ودولوميت مبلور، حيث أن الحجر الكلسي كان مبلور إلى معاد تبلوره (Wack stone)، ولونه أبيض متسخ، ناعم التبلور إلى ناعم جداً، بمسامية بين بلورية بين (0–5%). أما الدولوميت لونه أبيض، تبلوره ناعم إلى متوسط، ومسامية بين بلورية (5–10%).

- البئر101 جنوبي: أظهر تقرير الحفر أن تشكيلة الأرك عبارة عن حجر كلسي (Mud/Wack stone)، ولا توجد فيه مؤشرات على وجود تشققات (Fractures) أو أي أدلة على وجود النفط. لذا اعتبرت التشكيلة كتيمة بنوعية خزنية ضعيفة.

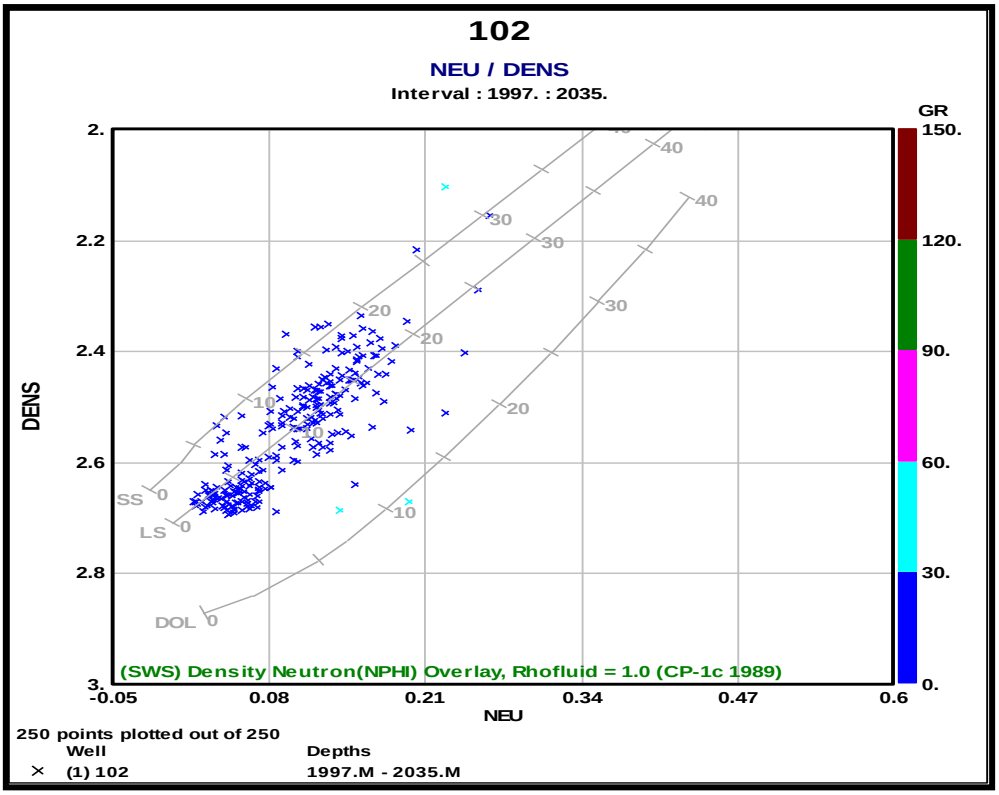
٢– العروض التقاطعية بين الكثافة والنيوترون:

تتأثر سوابر الكثافة والنيترون بالتركيب الصخري وبالمسامية وبنوع الإشباع. تستخدم عادة هذه القياسات بشكل مترابط، بدلاً من استخدامها بشكل منفرد وذلك للحصول على معلومات أوفر وأدق. ويجب الانتباه إلى تأثير الغضار على العروض التقاطعية، حيث يتسبب وجود الغضار بانزياح موقع النقاط باتجاه ما يسمى: نقطة الغضار على المخطط. وهي تقع بشكل عام في الربع الجنوبي الشرقي. بينما في حال وجود الغاز فإن النقاط سوف تنحرف نحو الربع الشمالي الغربي من العرض التقاطعي.

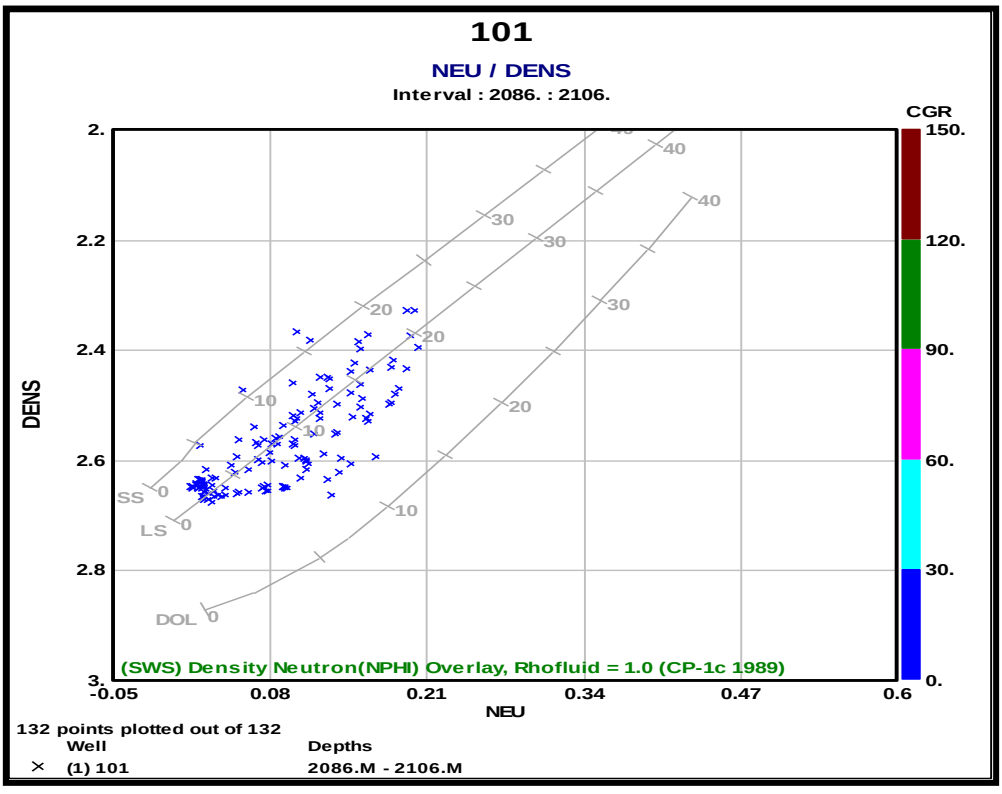
تم انشاء مخطط تقاطعي باستخدام برنامج IP، حيث يُمثل المحور X القياس النيوتروني والمحور Y يُمثل القياس الكثافي. أما المحور z فهو يدل على قياس التسجيل الطيفي الإشعاعي (SGR). حيث يُلاحظ من خلال الأشكال (4-(5, 6, 7, 8)) أن أغلب النقاط تقع ضمن نطاق الحجر الكلسي مع تداخلات بسيطة من الدولوميت، وتداخلات قليلة من الحجر الرملي. مع إشعاعية قليلة وبالتالي التشكيلة نظيفة. كما أن قيم المسامية منخفضة مع زيادتها قليلاً في بعض النطاقات. أما قيم الكثافة فتتراوح بين ($2.7-2.3\ g/cm^3$).



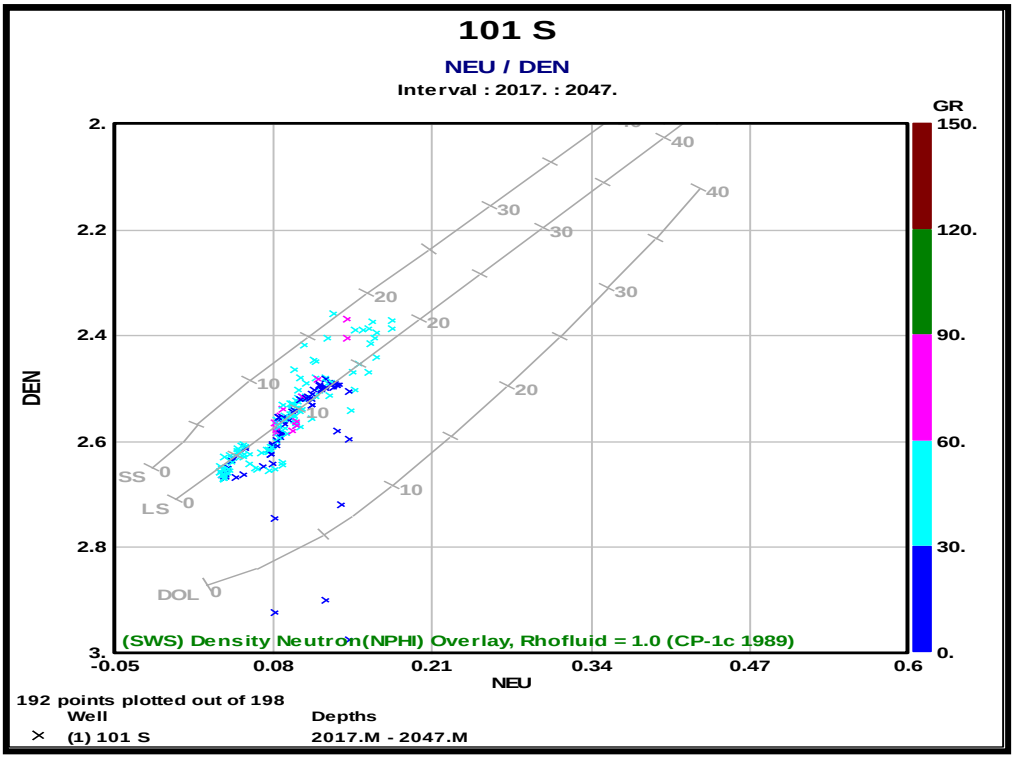
شكل (4-5): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر 103.



شكل (4-6): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر 102.



شكل (4-7): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر 101.



شكل (4-8): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر101S.

٣-تفسير القياسات البئرية:

- **البئر103:**

تم تفسير تغير الاستجابات للقياسات المنفذة أمام الطبقات بشكل مفصل في حقل الرتكة ضمن البئر103 بالاستعانة ببرنامج تفسير القياسات IP كما هو موضح في (**الشكل 4-9**) على النحو التالي:

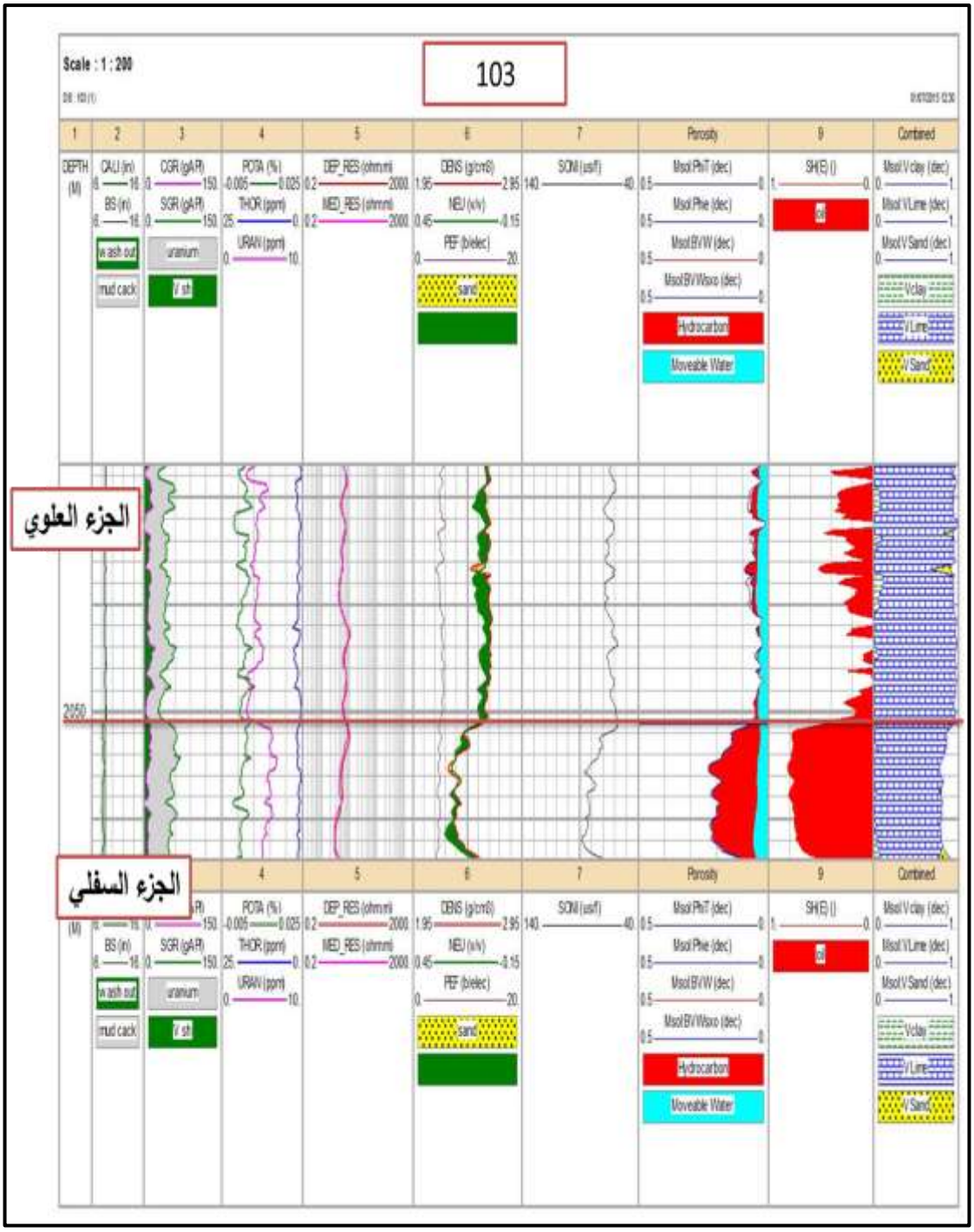
- قياس قطر البئر(Caliper): يُشير إلى عدم وجود تكهف، وبالتالي يمكن أن تكون التشكيلة كتيمة أو قاسية، لكن يُلاحظ وجود كعكة طينية في قسمها السفلي، أي أنها أصبحت تشكيلة خازنة وسيتم مقارنتها مع باقي القياسات.
- قياس التسجيل الطيفي الطبيعي (SGR): يُشير إلى إشعاعية قليلة بحدود (3-10API) وهذا دليل على عدم وجود الغضار إلا بنسب قليلة جداً، حيث يُلاحظ أن نسبة البوتاسيوم قليلة جداً، وبالتالي فإن التشكيلة نظيفة، أما اليورانيوم فيتواجد بنسب بين (3-

4 PPM)، مع ازدياد النسبة إلى (6 PPM) في الجزء السفلي ويمكن أن يكون ذلك نتيجة لوجود مسامية ثانوية.

- قياسات المسامية: تصل قيم الكثافة إلى ($2.7g/cm^3$) مع تأثرها بوجود الغضار. أما قيم السابرة النيترونية فتعطي مسامية معدومة تقريباً، مع زيادتها في الجزء السفلي إلى(20%)، وبالتالي فإن الجزء العلوي من التشكيلة كتيم. والتعاكس بين قياسي الكثافة والنيترون يدل على وجود الحجر الكلسي. أما قيم أزمنة الارتحال في القياس الصوتي فتُظهر تجانس التشكيلة وعدم وجود شواذات ضمنها وبقاء قيمها ضمن مجال الحجر الكلسي، في حين يُلاحظ في الجزء السفلي زيادة في القيم نتيجة زيادة المسامية.
- قياس الامتصاص الكهرضوئي (Pef): يُعطي قيماً أكبر من (4 Barn) وبقيم متجانسة مما يدل على أن التشكيلة تقع ضمن نطاق الكربونات في الجزء العلوي والسفلي منها.

ووفق كل ما ذكر يمكن القول أن تشكيلة الأرك في البئر103 هي عبارة عن حجر كلسي حاوي على الغضار بنسب قليلة جداً، ومساميته قليلة نوعاً ما ولا يحتوي على تشققات.

وبسبب الاختلاف بين قيم المسامية، تم في هذه الدراسة تقسيم تشكيلة الأرك إلى قسمين: علوي كتيم غير نفوذ وغير خازن، وسفلي خازن وبمسامية جيدة. وكان التقسيم كالتالي: العلوي (2038.5 – 2050.5m) وبسماكة 12m، والسفلي (2050.5 – 2057m) وبسماكة 6.5m. وتم من خلال برنامج التفسير البتروفيزيائي رسم نموذج جيولوجي ممثل للتشكيلة، مع حساب قيم الإشباع النفطي والمسامية الكلية والفعالة.

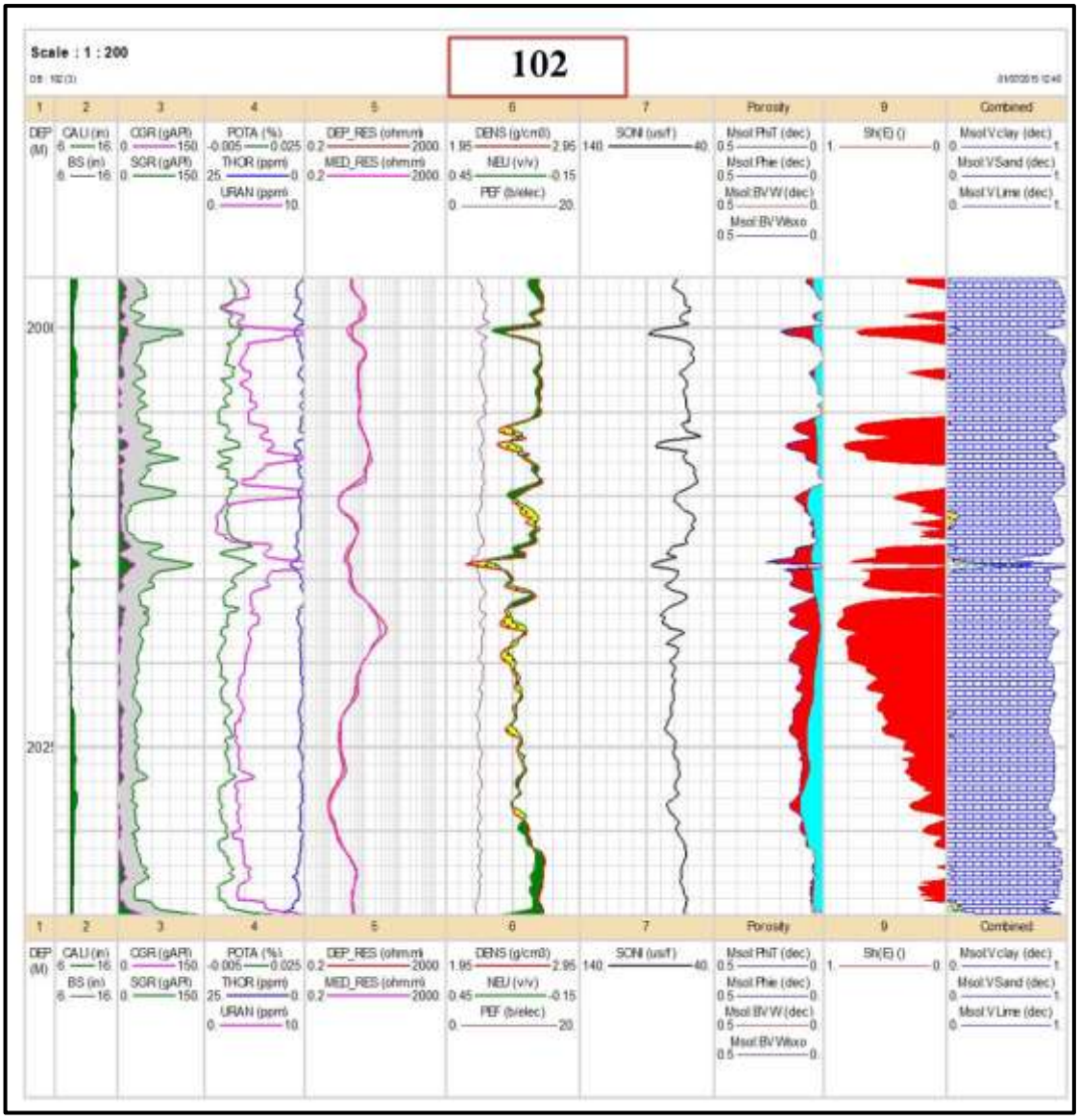


شكل (4-9): التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 103 حسب برنامج IP، ويظهر فيه المسامية الفعالة والكلية إضافة للإشباع الهيدروكربوني.

- **البئر102:**

تم تفسير تغير الاستجابات للقياسات المنفذة أمام الطبقات بشكل مفصل في حقل الرتكة ضمن البئر102 بالاستعانة ببرنامج تفسير القياسات IP كما هو موضح في (**الشكل 4-10**) على النحو التالي:

- قياس قطر البئر متجانس نوعاً ما، ويدل على تشكيلة كتيمة. أما قياس التسجيل الطيفي (SGR) فيُظهر تماثلاً بالاستجابة مع البئر103 مع وجود بعض النطاقات التي ترتفع فيها القيمة إلى (20 API)، بسبب زيادة نسبة الغضار التي تتضح من خلال نسبة البوتاسيوم التي تزداد مقابل تلك النطاقات، أما اليورانيوم فيُسجل زيادة في القراءة تدل على وجود نطاقات مشققة.
- قياسات المسامية: تتماثل قيم أزمنة الارتحال مع قيم البئر السابقة. إلا أن تذبذب قيم القياس دليل على زيادة قيم المسامية قليلاً واحتواء التشكيلة على بعض الشوائب. أما قراءات قياسي الكثافة والنيترون فقد دلت أيضاً على احتمال وجود الحجر الكلسي ولكن مع زيادة قيم المسامية، ومع وجود طبيقات من الحجر الرملي الملاحظ من خلال انعكاس القياسين.



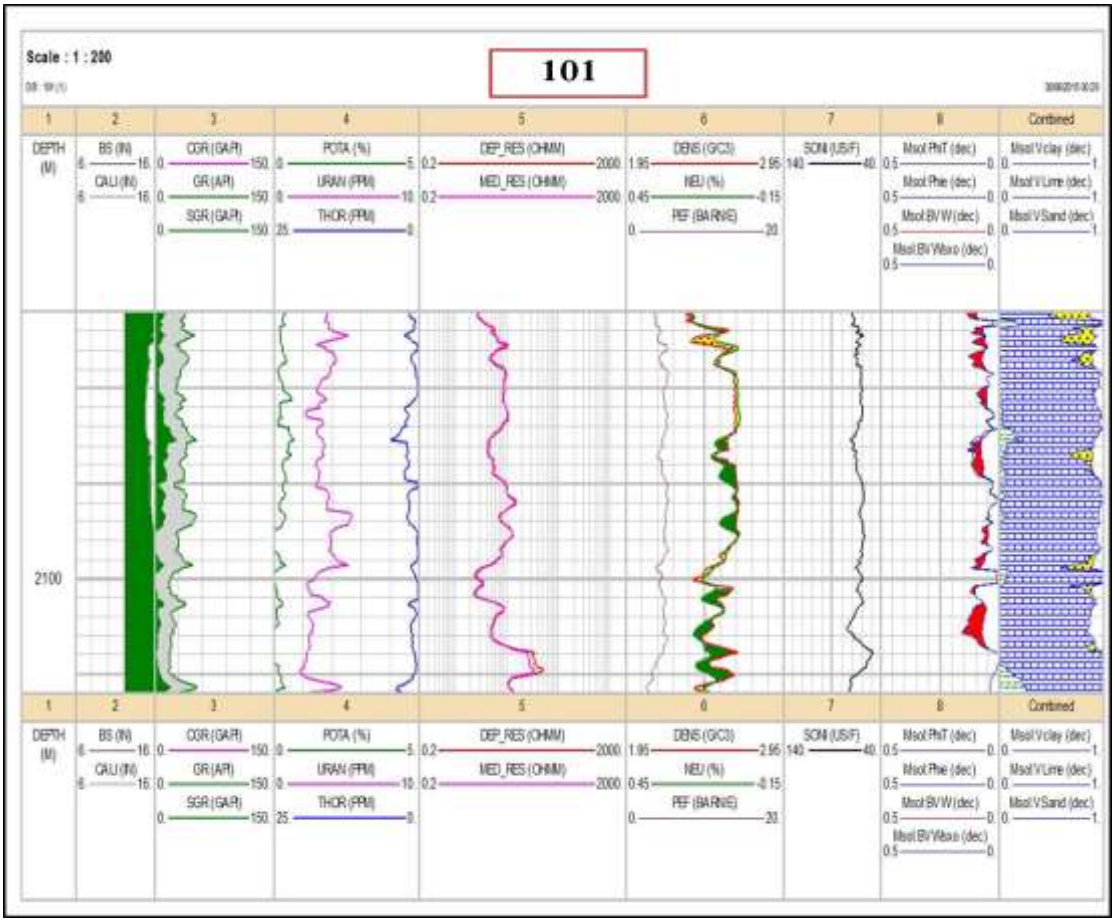
شكل (4-10): التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 102 والمسامية الكلية والفعالة والإشباع الهيدروكربوني.

- **البئر101:**

تم تفسير تغير الاستجابات للقياسات المنفذة أمام الطبقات ضمن البئر101، كما هو موضح في (**الشكل 4-11**) على النحو التالي:

تعتبر البئر101 البئر الاستكشافية الأولى، ولكن هناك تهدم كبير في جدار البئر نتيجة الحفر واختيار سوائل حفر غير مناسبة، ولذلك فإن معظم القياسات تفتقر للدقة وتعطي قيماً أعلى من القيم الحقيقية.

- قياس التسجيل الطيفي (SGR) يُعطي قيماً عالية تصل إلى (30 API) أو أعلى وهذا الارتفاع نتيجة وجود اليورانيوم، حيث أن قيم البوتاسيوم منخفضة وبالتالي فالتشكيلة نظيفة، ولكن يُلاحظ اختلاف بالقياس عن باقي الآبار حيث لزم الأمر تكبير المقياس لاستيعاب القيم.
- إن قيم الكثافة تدل على وجود حجر كلسي وفي بعض النطاقات الحجر الكلسي الدولوميتي بسبب زيادة الكثافة، ويُلاحظ وجود الحجر الرملي مع تأثر القياسات بوجود الغضار. أما قياس النيترون فيعطي قيماً مسامية قليلة جداً في بداية التشكيلة، وتزداد قليلاً في نهايتها وتنعدم في بعض النطاقات. ويجب الانتباه إلى أن قياس الكثافة هو أكثر تأثراً بالتكهفات. بينما تدل قيم أزمنة الارتحال على وجود الكربونات وتكون تقريباً بنفس التجانس مع باقي الآبار، إلا أنها تنخفض مع انخفاض المسامية وبشكل خاص في أسفل التشكيلة، حيث تنعدم المسامية ضمن أحد النطاقات. كذلك فإن قيم الامتصاص الكهرضوئي أعلى من (3 Barn) وهي قيم الكربونات. (Rider, 2002)

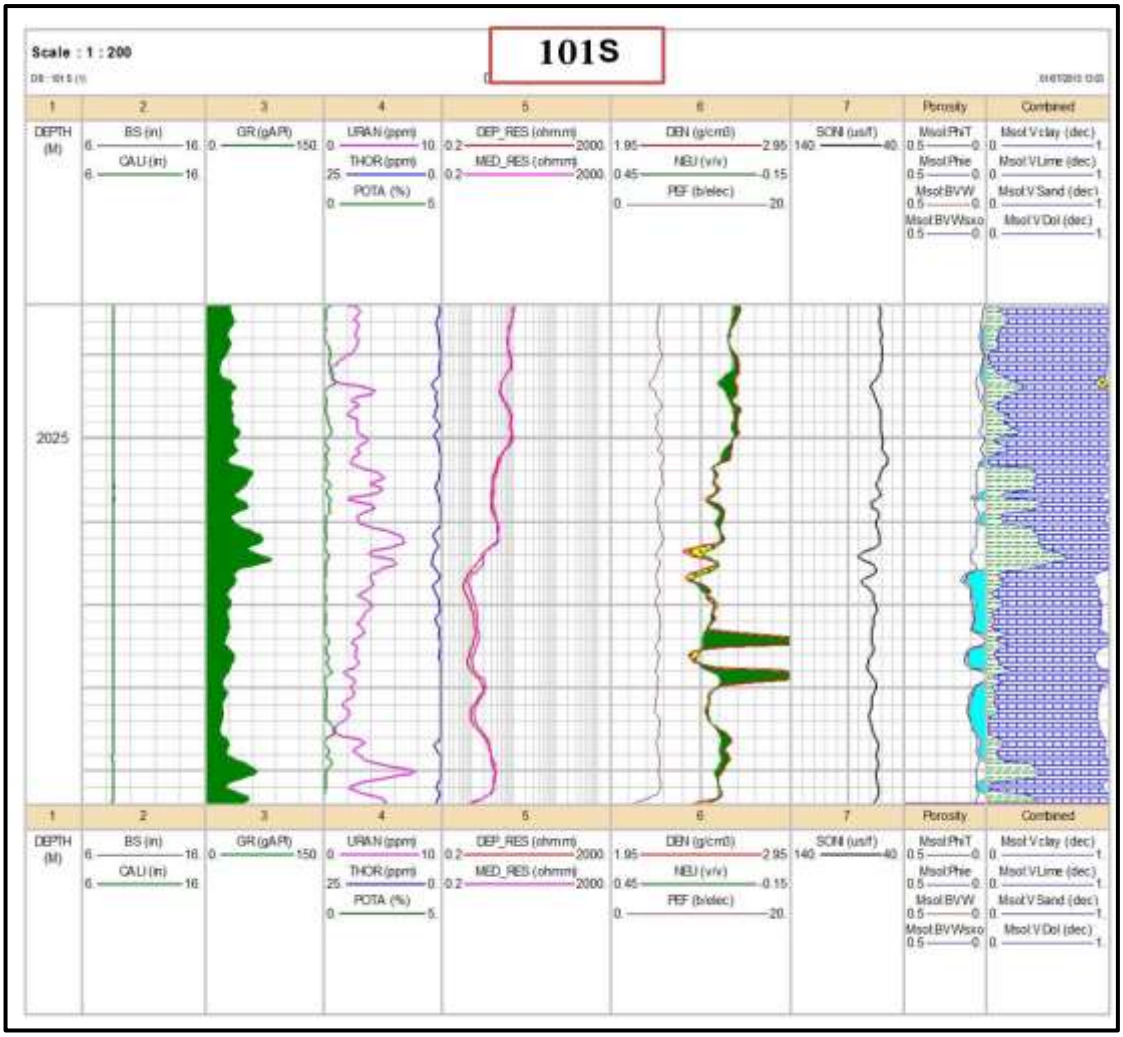


شكل (4-11): التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر 101 مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.

- **البئرS101:**

تم تفسير تغير الاستجابات للقياسات المنفذة أمام الطبقات ضمن البئرS101، كما هو موضح في (**الشكل 4-12**) على النحو التالي:

- قياس قطر البئر لا يدل على وجود أي تكهف أو وجود كعكة طينية مما يشير إلى وجود تشكيلة كتيمة. أما قياس الاشعاع الطبيعي(GR) يُشير إلى وجود اشعاعية جيدة ولكنها تحتوي على قياس اليورانيوم، أما قياس البوتاسيوم يُلاحظ عدم تأثره بالتشكيلة وبالتالي لم يتم الاعتماد عليه في التفسير.
- قياسات المسامية: من خلال قيم الكثافة وقيم المسامية النيترونية نلاحظ احتمال وجود الحجر الكلسي ولكن بمسامية معدومة وهذا دليل على أن التشكيلة كتيمة في الجزء العلوي منها، وتزداد كلما اتجهنا نحو الأسفل، مع ملاحظة نطاقين من الدولوميت حيث تزداد قيم الكثافة وتصل ل ٢,٨غ/سم^{٣}، مع احتمال وجود طبيقات من الرمل. أما قيم أزمنة الارتحال في القياس الصوتي فهي تُبدي تماثلاً في الاستجابة مع باقي آبار المنطقة وزيادة قيم التسجيل في بعض النطاقات التي تزداد فيها المسامية. وقياس الامتصاص الكهرضوئي يعطي قيماً فوق (3 Barn) وهي قيم تقابل الكربونات.



شكل (4-12): التفسير المناسب لتشكيلة الأرك ضمن البئر101 جنوبي والمسامية الفعالة والكلية والإشباع.

- **ثالثاً: احتمالية وجود الهيدروكربون.**

تم تفسير استجابات كل من قياسات المقاومية التحريضية العميقة، إضافة إلى استجابات تسجيلات الكثافة والصوتية والمسامية النيترونية من خلال الأشكال (4-(9, 10, 11, 12)، لتحديد احتمالية وجود الهيدروكربون، ضمن تشكيلة الأرك لكل بئر من آبار الرتكة. وبما أن سائل الحفر المستخدم ضمن الحقل كان ذو أساس نفطي، بالتالي فإن التباعد بين قياسي المقاومية التحريضي العميق والمتوسط لا يدل على حركية النفط. بينما في البئر101 كان السائل ذو أساس مائي وبالتالي يمكن الاستدلال على الحركية. (**Schlumberger,1989**)

- البئر 103:

إن قيم المقاومية التحريضية العميقة مرتفعة نوعاً في هذه البئر وتصل إلى (10 Ohm.m) مما يدل على احتمال وجود الهيدروكربون. ومن خلال ملاحظة استجابة قياسي الكثافة والنيوترون وُجد أن التباعد بين القياسين ليس كبيراً كفاية كما في النطاقات الغازية، وقيمة المسامية لم تكن مساوية للصفر. أما أزمنة الارتحال فلم تُعط قيماً عالية تدل على ظاهرة غياب الدورة (Cycle skipping) في النطاقات الغازية.

- البئر 102:

إن قيم المقاومية التحريضية العميقة في هذه البئر تدل أيضاً على قيم مرتفعة تزداد بمنتصف التشكيلة، لكنها تنخفض كثيراً في نهايتها. والتباعد بين الكثافة والنيترون غير كبير كما أنه يتناقص كثيراً في نهاية التشكيلة دالاً على وجود الماء، وبالتالي فالتشكيلة في هذه البئر حاوية على النفط مع بداية ظهور الماء في نهايتها.

- البئر101:

إن قيم المقاومية العميقة في هذه البئر تعطي قيماً عالية ناتجة عن انعدام المسامية ضمن التشكيلة، مع احتمال وجود النفط الغير قابل للحركة في بعض النطاقات، وذلك بسبب تماثل قيم المقاومية التحريضية العميقة مع المتوسطة.

- البئرS 101:

يُلاحظ في هذه البئر وجود قيم عالية للمقاومية في أعلى التشكيلة نتيجة انعدام المسامية الملاحظ من خلال القياس النتروني، بينما في الجزء السفلي فإن المقاومية تعطي قيماً منخفضة جداً دليل على وجود الماء.

نتيجة لكل ما ذكر سابقاً وُجد أن تشكيلة الأرك يغلب عليها الحجر الكلسي مع وجود الدولوميت والحجر الرملي في بعض الأجزاء ولكن بشكل قليل، ومع احتوائها على الغضار. وتعتبر تشكيلة كتيمة عموماً. كما أن التشكيلة مشبعة بالنفط ضمن البئر(102،103)، ومشبعة بالماء ضمن باقي الآبار بسبب انعدام المسامية.

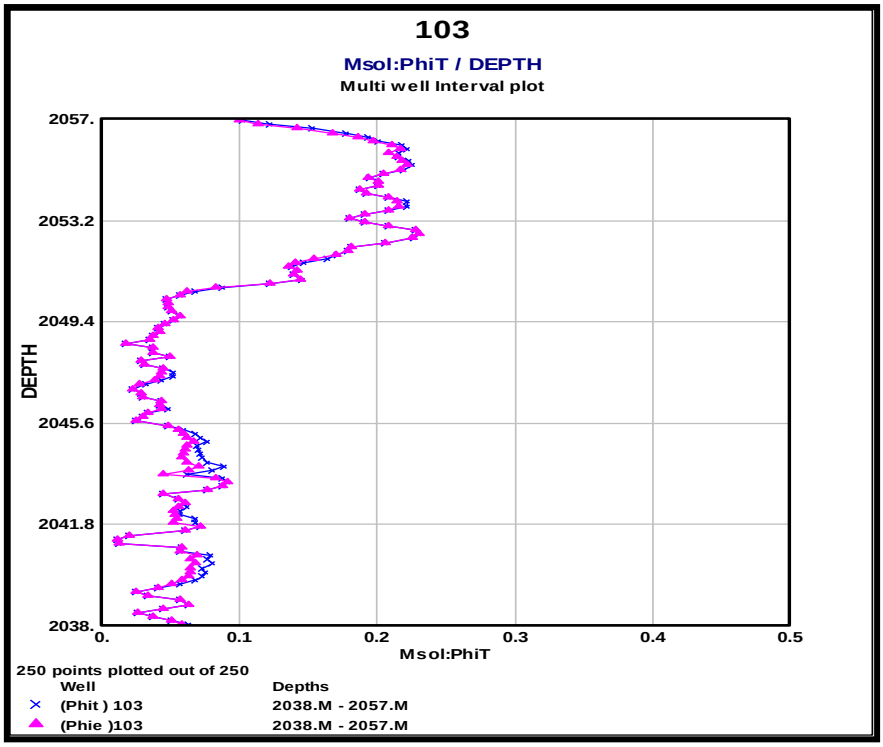
- **رابعاً: المسامية الكلية والفعالة.**

حُسبت قيم المسامية الكلية والفعالة من خلال برنامج IP، من خلال العلاقات الفيزيائية (3-3)(2-3) التي ذكرت ضمن الفصل الثالث من هذه الدراسة. ويجدر الذكر أنه تم في البئر101 الاعتماد على قيم المسامية الأولية المحسوبة من قياس السرعة الصوتية باعتبارها المسامية الكلية، وذلك لأن البئر يعاني من عدم الدقة في القياسات نتيجة التهدم الكبير، حيث أن السرعة الصوتية تكون أكثر دقة من باقي القياسات في هذه الحالة.

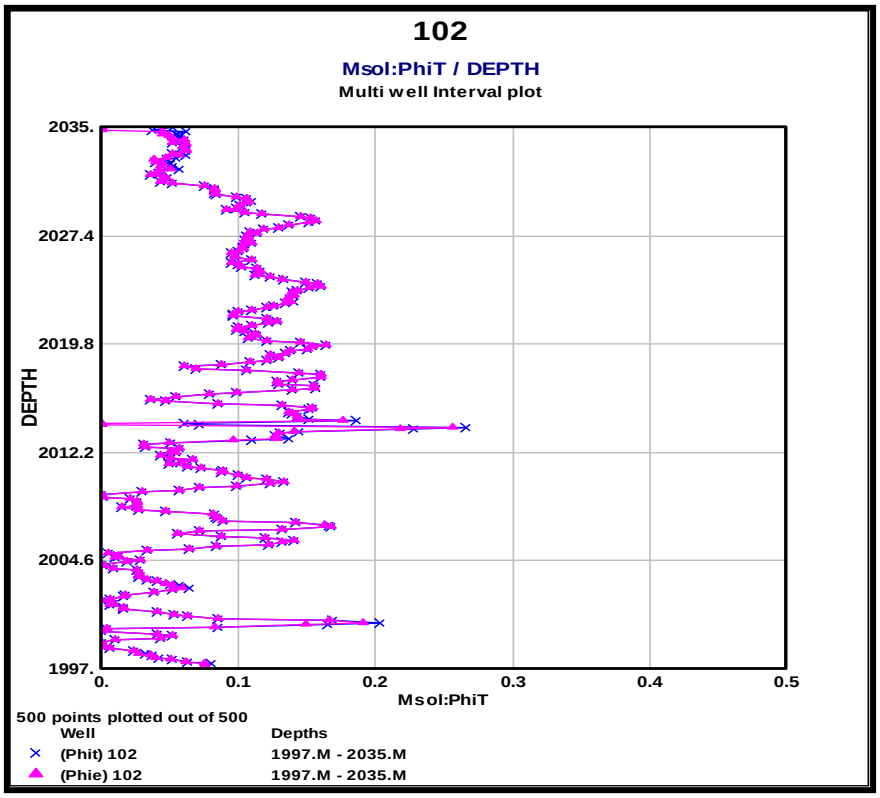
تُظهر الأشكال (4-(13, 14, 15, 16) قيم المسامية الفعالة والكلية (محورX)، مع العمق (محورY) ضمن برنامجIP، حيث يُلاحظ في معظم الآبار أن المسامية الكلية ضمن تشكيلة الأرك تماثل تقريباً المسامية الفعالة وتكون المسامية جيدة في الجزء السفلي من البئر103 بينما تكون فقيرة إلى رديئة في باقي الآبار.

جدول(4-2): معدل المسامية الفعالة والكلية ومعدل المسامية ضمن السماكة الصافية لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.

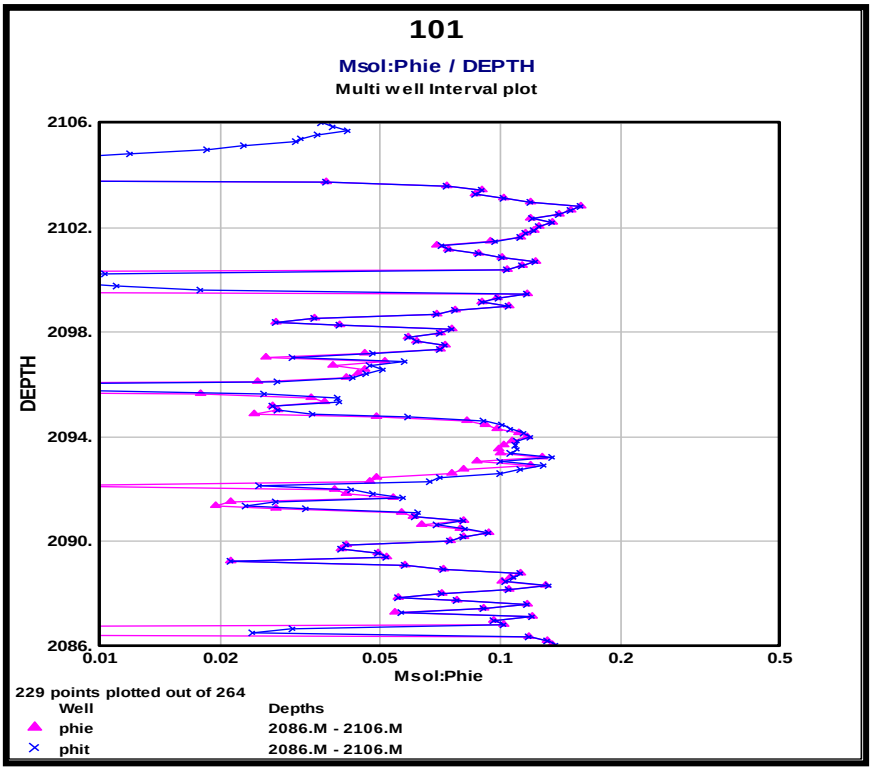
رقم البئر Well No.	معدل المسامية الكلية Total Porosity	معدل المسامية الفعالة Effect Porosity	معدل المسامية الفعالة ضمن السماكة الصافية
RAT 103 الجزء العلوي	0.056	0.052	0.061
103 الجزء السفلي	0.19	0.188	0.18
RAT 102	0.085	0.0835	0.094
RAT 101	0.069	0.064	-----
RAT 101s	0.060	0.034	-----



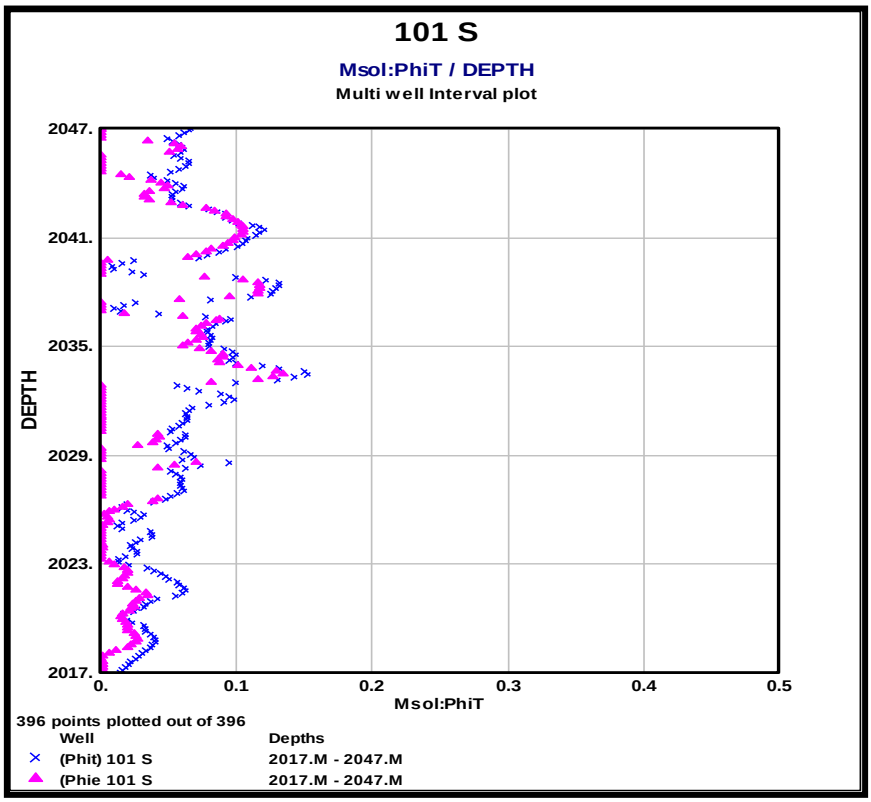
شكل (4-13): علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر103 ضمن تشكيلة الأرك.



شكل (4-14): علاقة المسامية الفعالة والكلية مع العمق للبئر102.



شكل (4-15): علاقة المسامية الفعالة والكلية مع العمق للبئر 101.



شكل (4-16): علاقة المسامية الفعالة والكلية مع العمق للبئر 101s.

- **خامساً: المسامية الأولية والثانوية.**

حُسبت المسامية الثانوية من خلال طرح قيمة المسامية الصوتية الأولية المحسوبة من قيمة المسامية الكلية.

يُلاحظ أن المسامية الأولية في جميع الآبار تقارب إلى حد ما المسامية الكلية، وهي المسامية الغالبة على التشكيلة، بينما المسامية الثانوية قليلة جداً مع ازدياد قيمها عند الجزء السفلي من البئر103.

وبالتالي يُمكن القول أن المسامية الثانوية قليلة جداً في تشكيلة الأرك ويمكن أن يعزى ذلك إلى أن عمليات الاذابة والدلمتة كانت قليلة التأثير على الحقل. ويبين (الجدول 4-3) قيم معدل المسامية الأولية والثانوية لآبار الرتكة ماعدا بئر101.

جدول(4-3): معدل المسامية الأولية والمسامية الثانوية لتشكيلة الأرك ضمن أبار منطقة الدراسة.

رقم البئر	معدل المسامية الأولية	معدل المسامية الثانوية
103 الجزء العلوي	0.032	0.024
103 الجزء السفلي	0.13	0.06
102	0.075	0.01
101 جنوبي	0.041	0.019

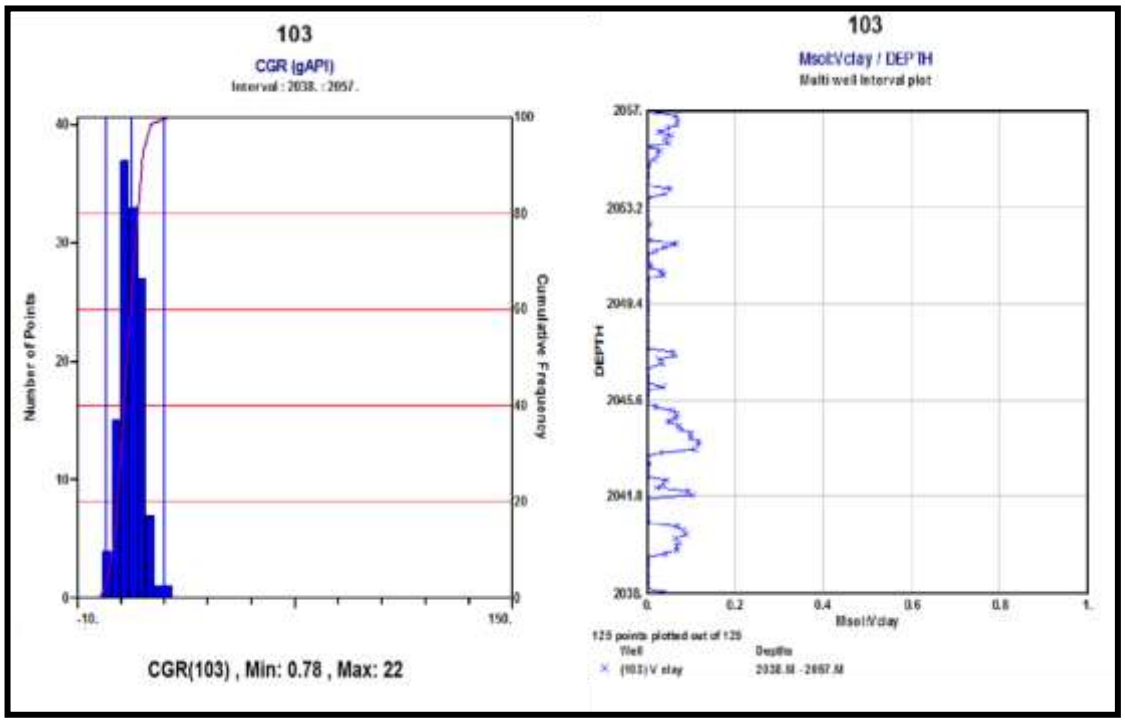
- **سادساً: حجم الغضار.**

تم من خلال القانون رقم (5-3) الذي ذُكر ضمن الفصل الثالث، حساب حجم الغضار لكل الآبار، ضمن كامل التشكيلة وضمن القسم المنتج أو السماكة الصافية (Net) من التشكيلة. وتُظهر الأشكال (4-(17, 18, 19, 20)) القيم العليا والدنيا في قياس الإشعاع الطبيعي (GR) والتي استعين بها لتطبيق القانون ضمن كل الآبار(الشكل على اليسار)، إضافة إلى قيم حجم الغضار المحسوبة مع العمق ضمن البرنامج لتشكيلة الارك وضمن القسم المنتج. ومن خلال النتائج يبدو أن حجم الغضار قليل ضمن التشكيلة وبالتالي التشكيلة نظيفة، ولكن في

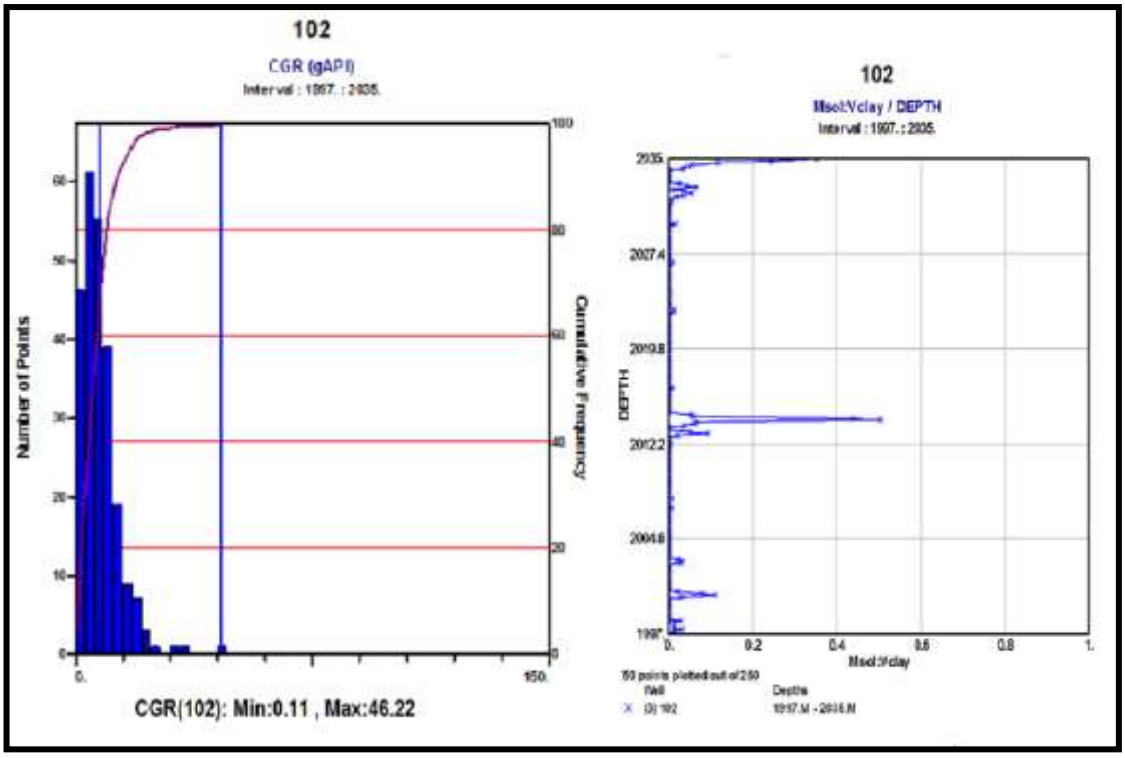
البئر101S يُلاحظ قيماً عالية نتيجة الاعتماد فيه على قياس الاشعاع الطبيعي الإجمالي (GR) بسبب عدم كفاءة قياس التسجيل الطيفي (SGR).

جدول(4-5): معدل حجم الغضار لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.

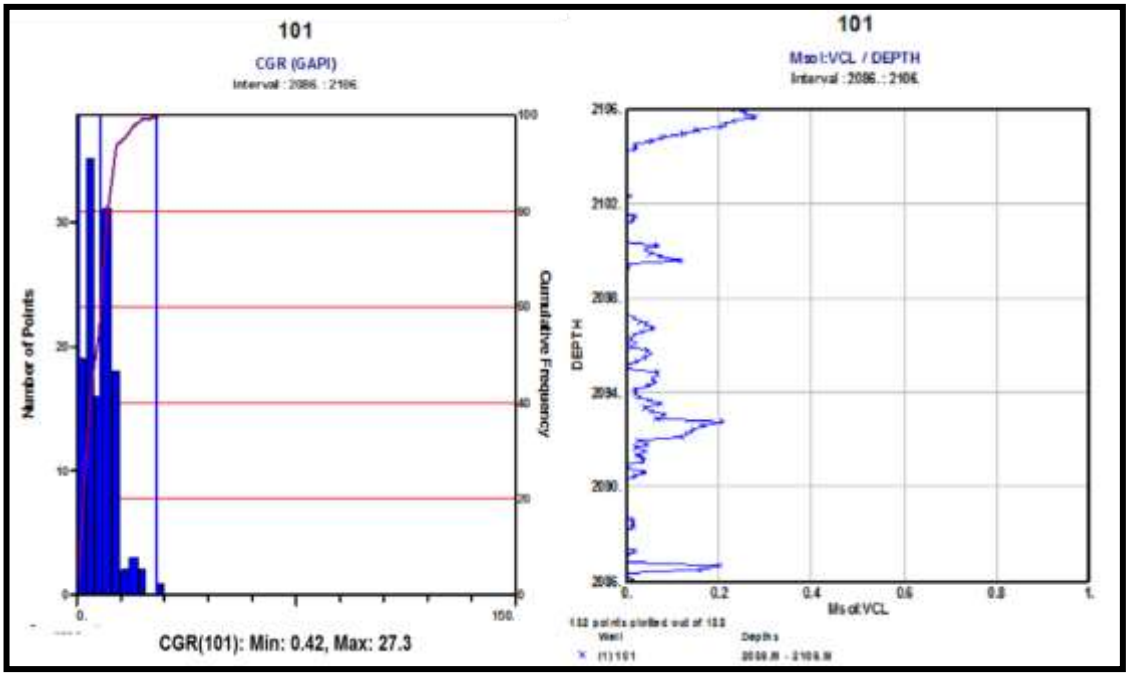
رقم البئر Well No	103 الجزء العلوي	103 الجزء السفلي	102	101	101 S
حجم V clay الغضار للتشكيلة	0.021	0.014	0.013	0.037	0.176
حجم الغضار للسماكة الصافية	0.037	0.019	0.007	-----	-----



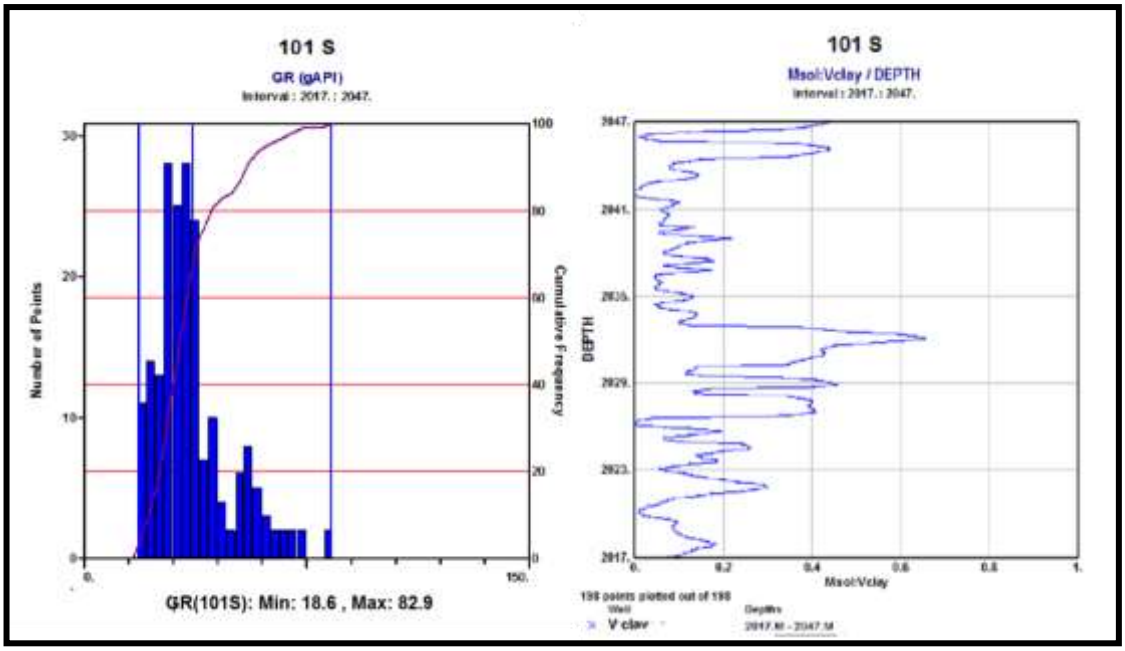
شكل (4-17): قياس الإشعاع الطبيعي محدد عليه القيمة الدنيا والعليا التي استخدمت لحساب حجم الغضار إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر103 ضمن تشكيلة الأرك.



شكل (4-18): قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر102.



شكل (4-19): قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر101.

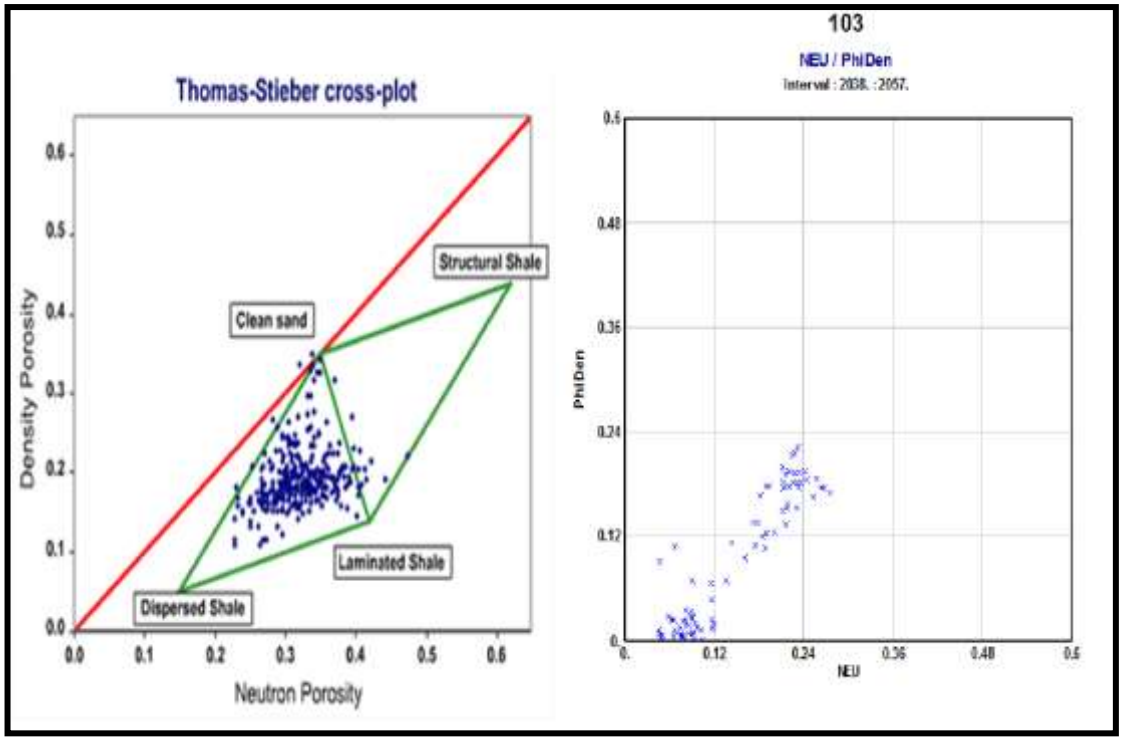


شكل (4-20): قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر101S.

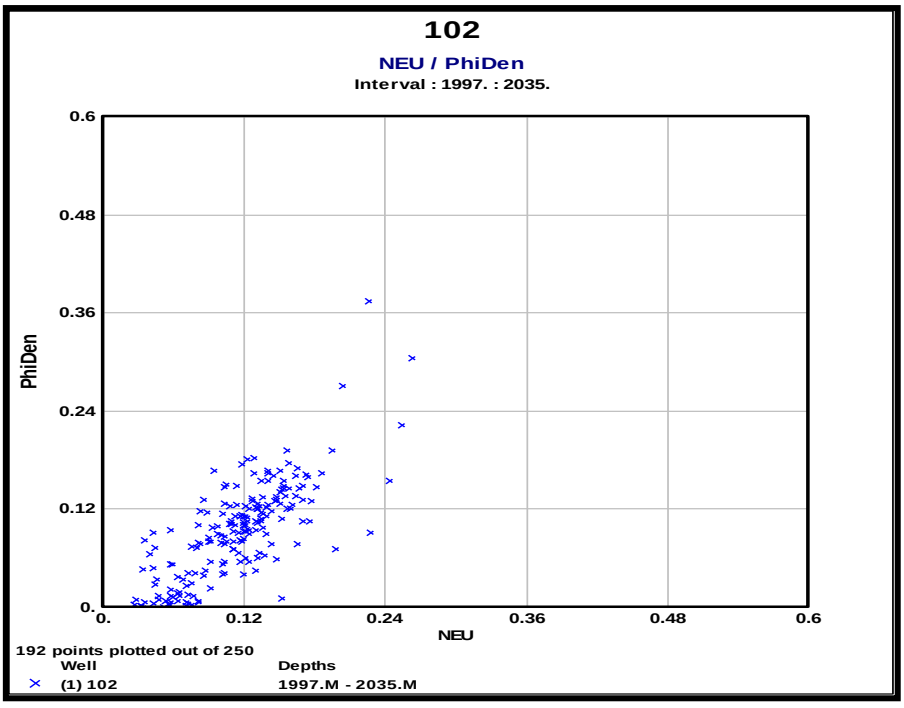
- **سابعاً: توزع الغضار ضمن تشكيلة الارك.**

كما ذكر سابقاً يتوزع الغضار بأشكال مختلفة، إما رقائقي أو بنيوي أو مبعثر ضمن الجزء المسامي. ولهذا التوزع تأثير على المسامية الفعالة. تم في هذه الدراسة تحديد أشكال توزع الغضار ضمن التشكيلة من خلال مخطط (Thomas-Stieber) والذي هو عبارة عن مخطط تقاطعي يربط بين المسامية النيترونية (محورX) والمسامية الكثافية (محورY) ومن خلاله يتم الفصل بين أنماط توضع الغضار المختلفة.

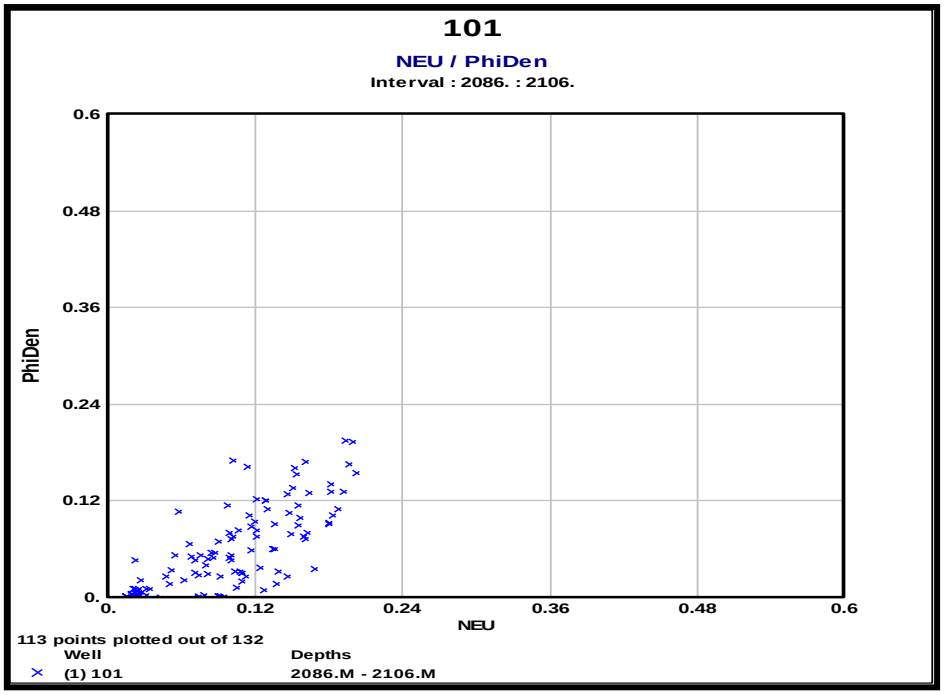
تبين من خلال المقارنة مع مخطط (Thomas-Stieber) أن معظم الغضار مبعثر إلى رقائقي، وبالتالي فإن وجود الغضار كان له أثر في تخفيض قيم المسامية الفعالة وبالتالي تأثير على الإنتاج. وبالرغم من ذلك فإن هذا التأثير ضعيف وذلك لأن حجم الغضار قليل ضمن التشكيلة. **الأشكال (4-(21, 22, 23, 24)).**



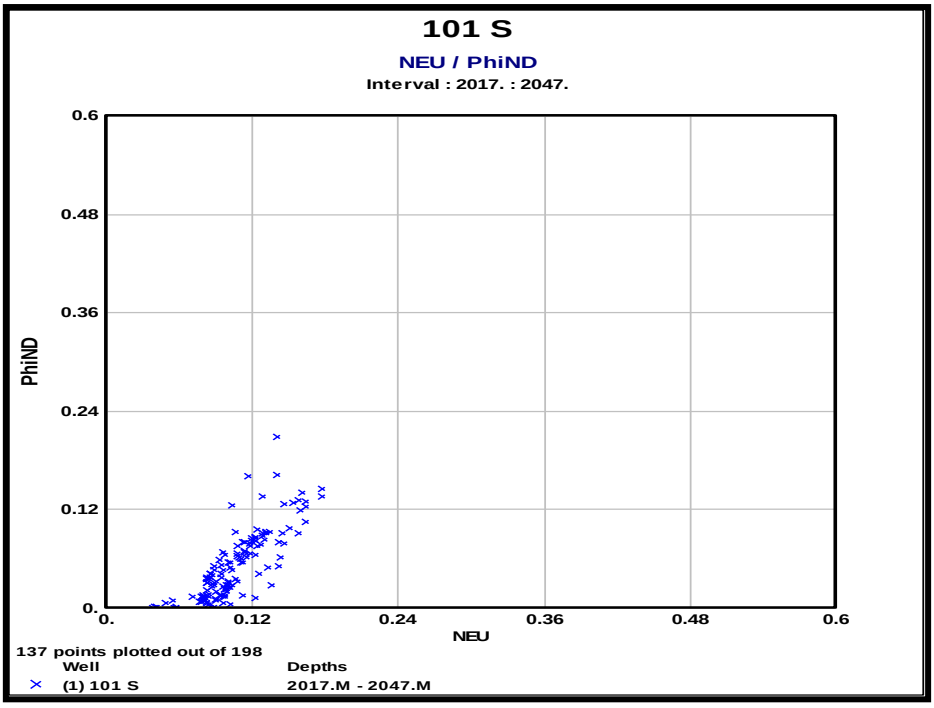
شكل(4-21): عرض تقاطعي ضمن البئر103 بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية ومقارنته مع مخطط (Thomas-Stieber) الذي يظهر أشكال توزع الغضار ضمن تشكيلة الأرك.



شكل(4-22): عرض تقاطعي ضمن البئر102 بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.



شكل(4-23): عرض تقاطعي ضمن البئر 101 بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.



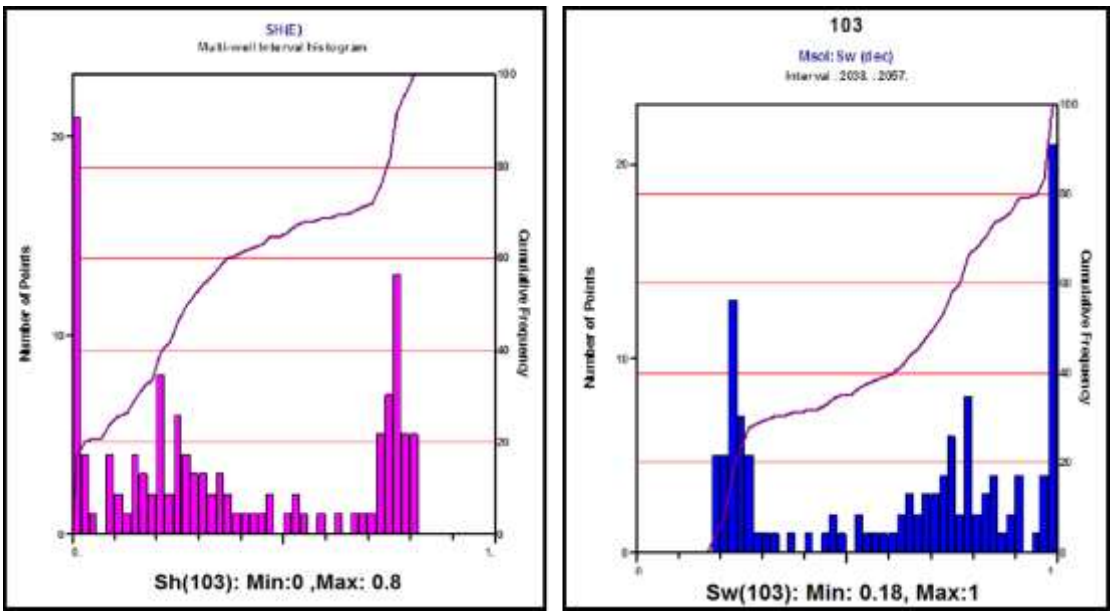
شكل(4-24): عرض تقاطعي ضمن البئر 101S بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.

- **ثامناً: الإشباع المائي والهيدروكربوني.**

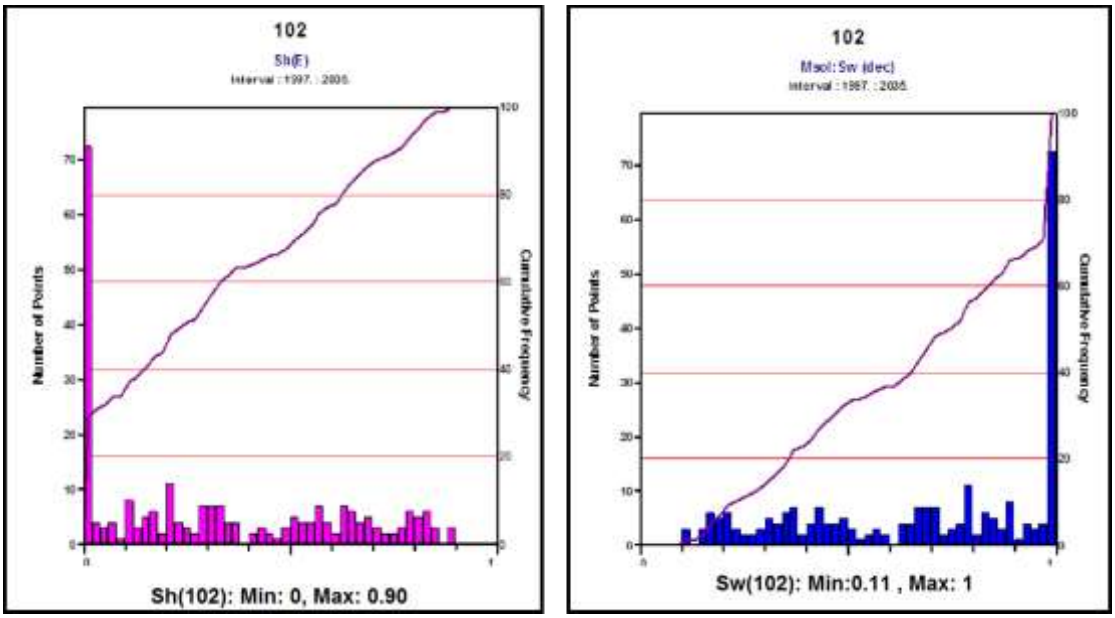
استخدمت معادلة آرشي لحساب قيم الإشباع ضمن تشكيلة الأرك. ويُبين (الجدول 4-5) معدل الإشباع المائي والهيدروكربوني لتشكيلة الأرك ضمن القسم المنتج المسامي أي السماكة الصافية Net. ويُلاحظ أن الإشباع الهيدروكربوني جيد في البئر103 وخاصة في جزئه السفلي، وكذلك في البئر102 بينما في البئر101 فالنفط غير قابل للحركة وبالتالي فإن البئر غير منتجة، والبئر101S تُعتبر بئراً جافة. والأشكال (4-(25, 26)) تُظهر مخطط بياني لكمية الإشباع النفطي والمائي ضمن البئرين103،102.

جدول(4-5): معدل الإشباع المائي والهيدروكربوني لتشكيلة الأرك ضمن آبار منطقة الدراسة.

Well No. رقم البئر	Sw معدل الإشباع المائي	Sh معدل الإشباع الهيدروكربوني
103 الجزء العلوي	0.683	0.317
103 الجزء السفلي	0.248	0.752
102	0.545	0.455
101	0.73	----
101 S	1	-----



شكل (4-25): قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني للبئر103.



شكل (4-26): قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني للبئر102.

- **الخلاصة:** تم من خلال الآبار التي عولجت معطياتها باستخدام برنامج (IP) دراسة تشكيلة الأرك التي تبين أنها تشكيلة كربوناتية كلسية مع وجود الدولوميت بشكل قليل. والتشكيلة خازنة للنفط في البئرين(102،103). وتم تقسيمها إلى قسمين مختلفين بالمسامية ضمن البئر103. والتشكيلة عموماً ذات مواصفات خزنية ضعيفة حيث المسامية الكلية (0.091) والمسامية الفعالة قدرها(0.082)..

الفصل الخامس

تفسير القياسات البئرية وتطبيقاتها ضمن تشكيلة الرطبة

تُعتبر تشكيلة الرطبة من أهم التشكيلات الخازنة ضمن منخفض الفرات، لذلك تمت دراستها ضمن هذا الفصل باستخدام القياسات التي أجريت ضمن حقل الرتكة، وشرح أهم تطبيقات هذه القياسات من خلال الأشكال وتطبيقات القوانين التي توضح خواص التشكيلة الرطبة ضمن الآبار المدروسة.

❖ أولاً: تحديد حدود التشكيلة.

لغرض تحديد الحدود الفاصلة لتشكيلة الرطبة في آبار الدراسة المختلفة تم الاستعانة بالسوابر البئرية و دراسة سلوكها كالتالي:

الحدود العليا: بداية التشكيلة حُدد في فصل تشكيلة الأرك حيث أن الحدود العلوية للرطبة تمثل الحدود السفلية لتشكيلة الأرك. أما في البئر102 فبداية تشكيلة الرطبة هي نهاية تشكيلة الديرو حيث يحصل تناقص في قيم المقاومية، وقيم الاشعاعية.

أما الحد السفلي فقد حُدد من خلال الاستعانة بالسوابر التالية:

٣- **سابرة المقاومية التحريضية العميقة:** الحد السفلي يُمثل بداية تشكيلة الملوسة، حيث يحصل تناقص قليل في المقاومية.
أما في البئرين 102 والبئر 101S: ففي نهاية التشكيلة يحصل تزايد في قيم المقاومية.

٤- **سوابر المسامية:** يُلاحظ زيادة تدريجية في قيم المسامية النيترونية وقيم الكثافة والزمن في القياس الصوتي.

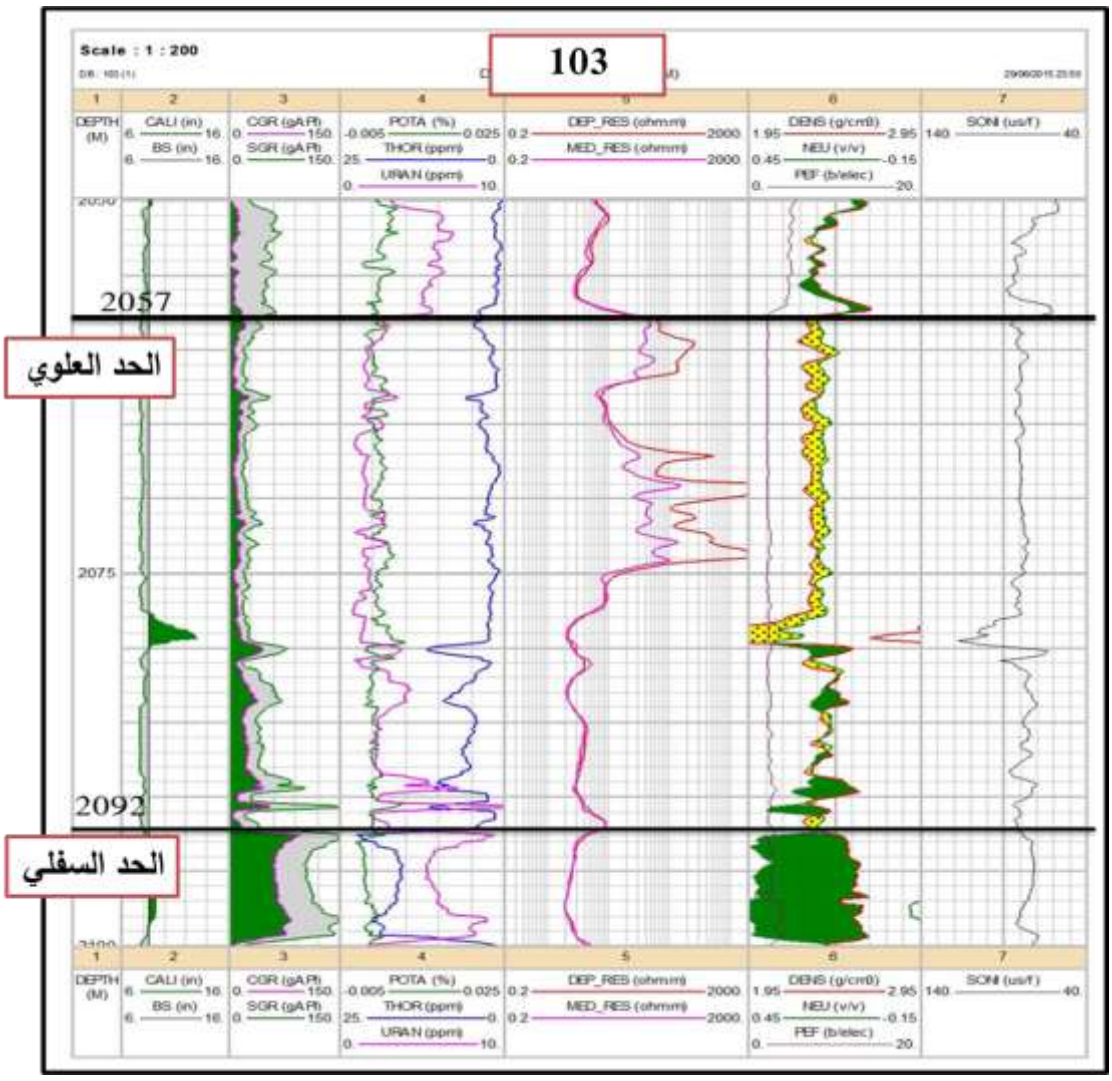
٥- **سابرة الإشعاع الطبيعي Gr:** يُلاحظ زيادة ملحوظة في قيمها حيث يبدأ الانتقال من تشكيلة رملية إلى تشكيلة غضارية رملية.

تُوضح الأشكال (**5-(1 ,2 ,3 ,4**)) التي أعدت ضمن هذه الدراسة، الحدود العليا والسفلى لتشكيلة الرطبة ضمن الآبار المدروسة التي حُددت من خلال تفسير استجابة السوابر البئرية تجاه الطبقات. والجدول (5-1) يوضح الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة، إضافة للسماكة

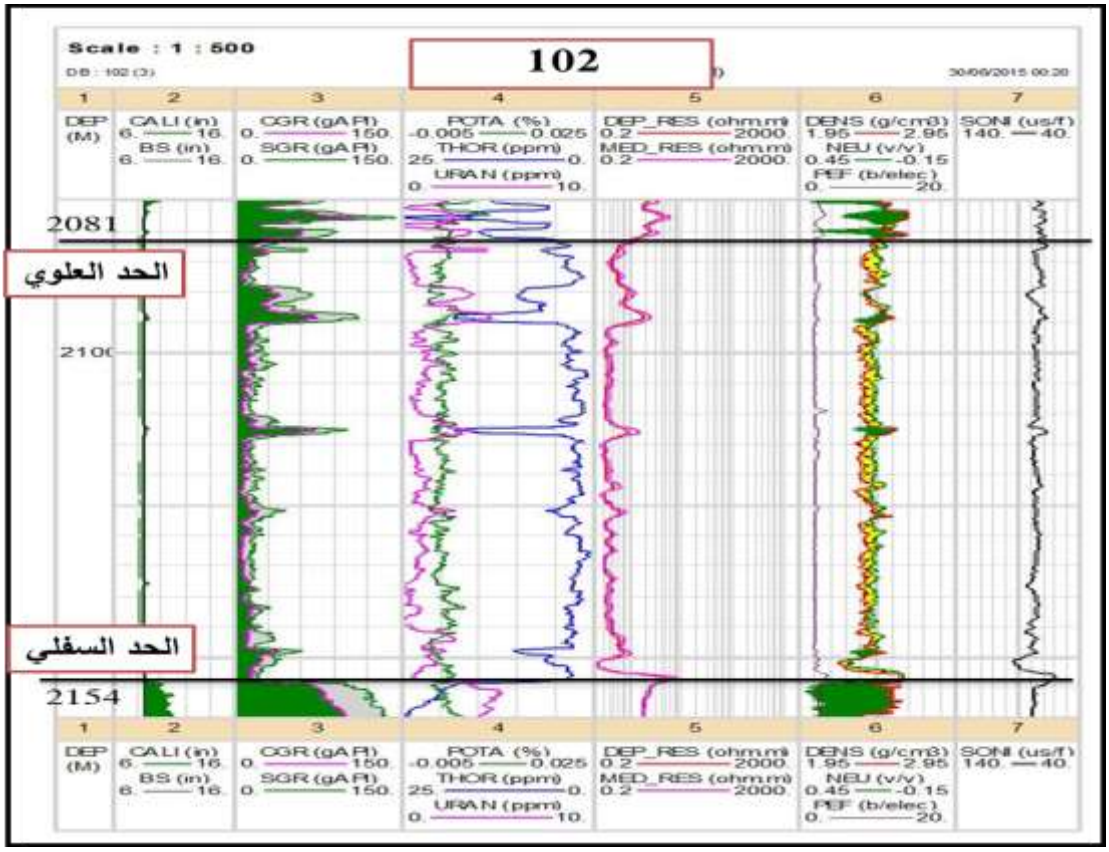
الكلية في كل بئر ضمن حقل الرتكة، حيث يُلاحظ أن أكبر سماكة للتشكيلة كانت في البئرين(102،101).

جدول(5-1): الحد العلوي والسفلي وسماكة تشكيلة الرطبة ضمن آبار منطقة الدراسة.

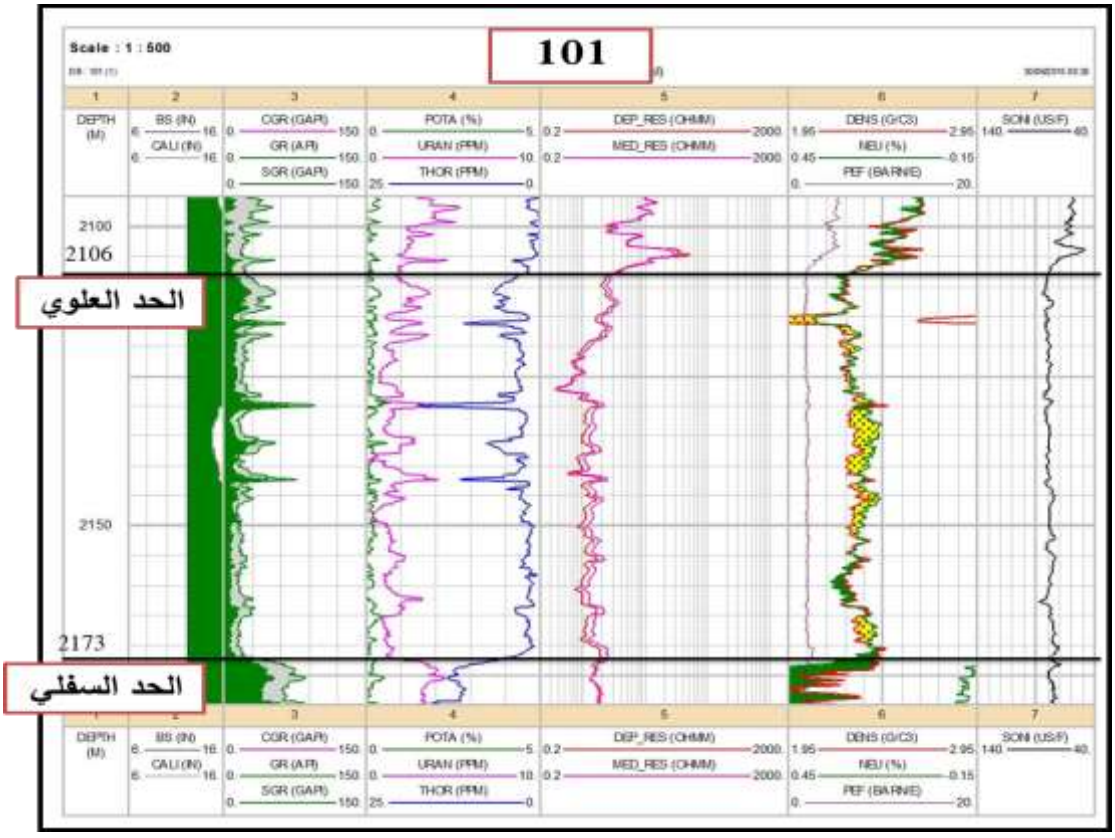
رقم البئر Well No.	الحد العلوي Top(m)	الحد السفلي Bottom(m)	السماكة Thickness(m)
RAT103	2057	2092	35 m
RAT102	2081	2154	73 m
RAT101	2106	2173	67 m
RAT101S	2047	2095	48 m



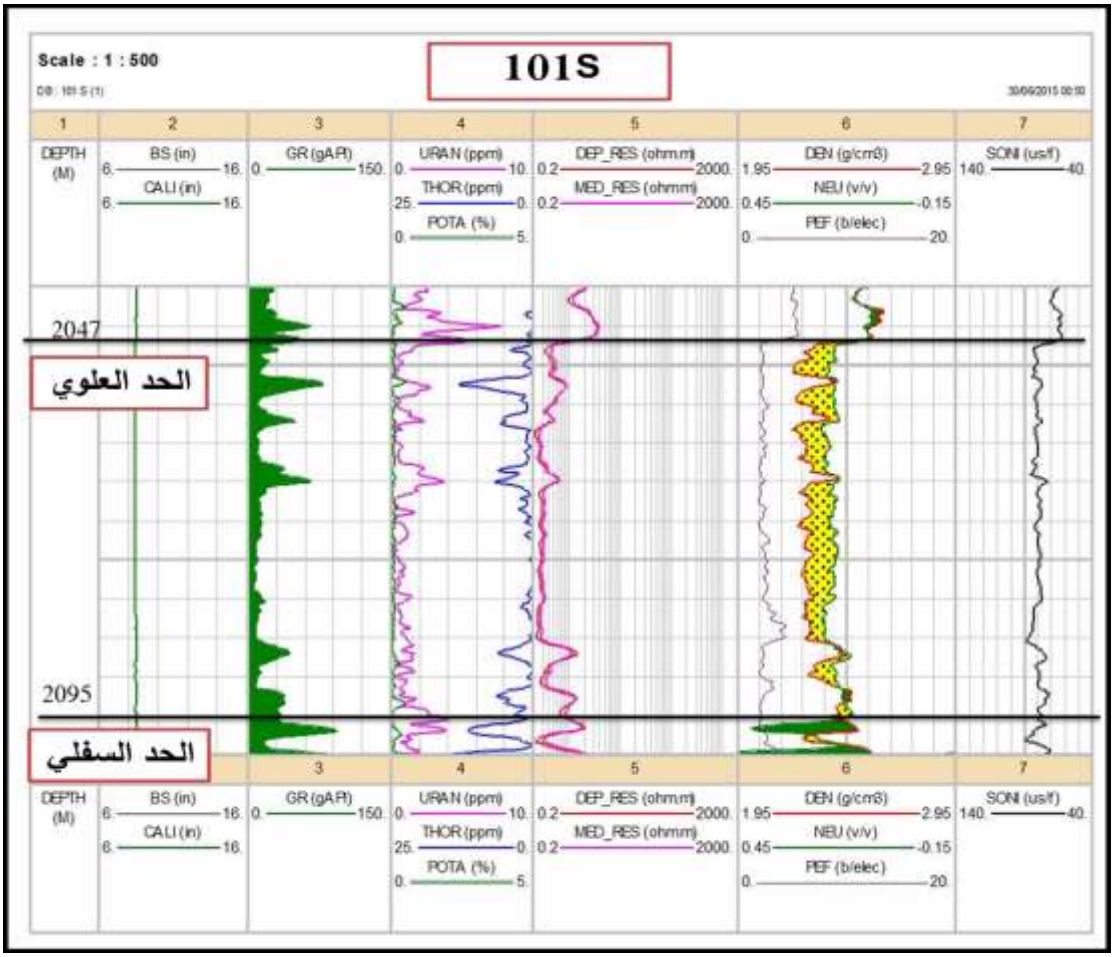
شكل(5-1): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر103.



شكل(5-2): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر102.



شكل(5-3): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر101.



شكل(5-4): الحد العلوي والسفلي لتشكيلة الرطبة ضمن البئر101S.

- **ثانياً: تحديد الليثولوجيا.**

سيتم تحديد الليثولوجيا ضمن هذه الدراسة من خلال تفسير التسجيلات البئرية، ومخططات التقاطع التي تربط بين هذه التسجيلات، كما تم الاستعانة ببعض الملاحظات المتوفرة من الفتات الصخري.

١- الملاحظات على الفتات الصخري:

- البئر103: تبين من خلال تقرير الحفر أن تشكيلة الرطبة عبارة عن حجر رملي نظيف مع وجود شواهد نفطية.

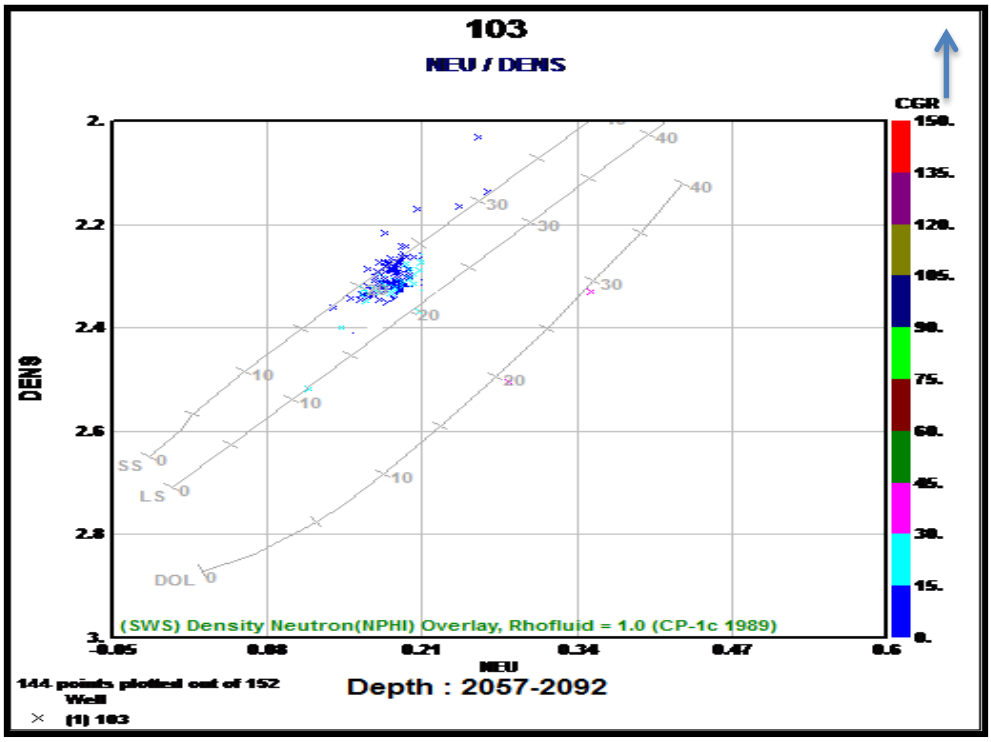
- البئر102: تبين من خلال تقرير الحفر أن تشكيلة الرطبة ضمن هذا البئر عبارة عن حجر رملي أبيض نظيف مع وجود غضار بملاط سيليسي، ضعيف إلى متوسط القساوة، متوسط إلى ناعم الحبات، الحبات تحت مدورة، ولا يوجد شواهد نفطية.

- البئر 101: أظهر تقرير الحفر أن تشكيلة الرطبة عبارة عن حجر رملي ناعم إلى متوسط الحبات مع وجود خشونة احياناً، الحبات مدورة مع وجود غضار أبيض (كاؤولينيت).

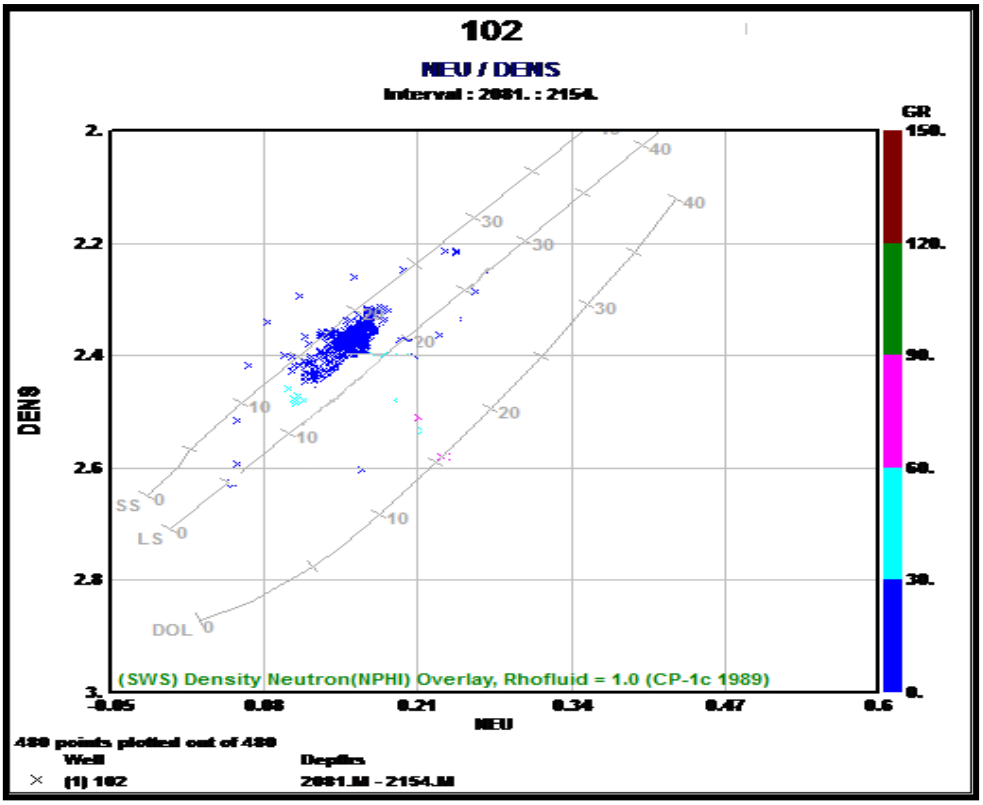
- البئر 101S: تشكيلة حاملة للماء تحتوي بشكل أساسي على الرمل وبشكل ثانوي على الغضار.

٢- العروض التقاطعية بين الكثافة والنيترون:

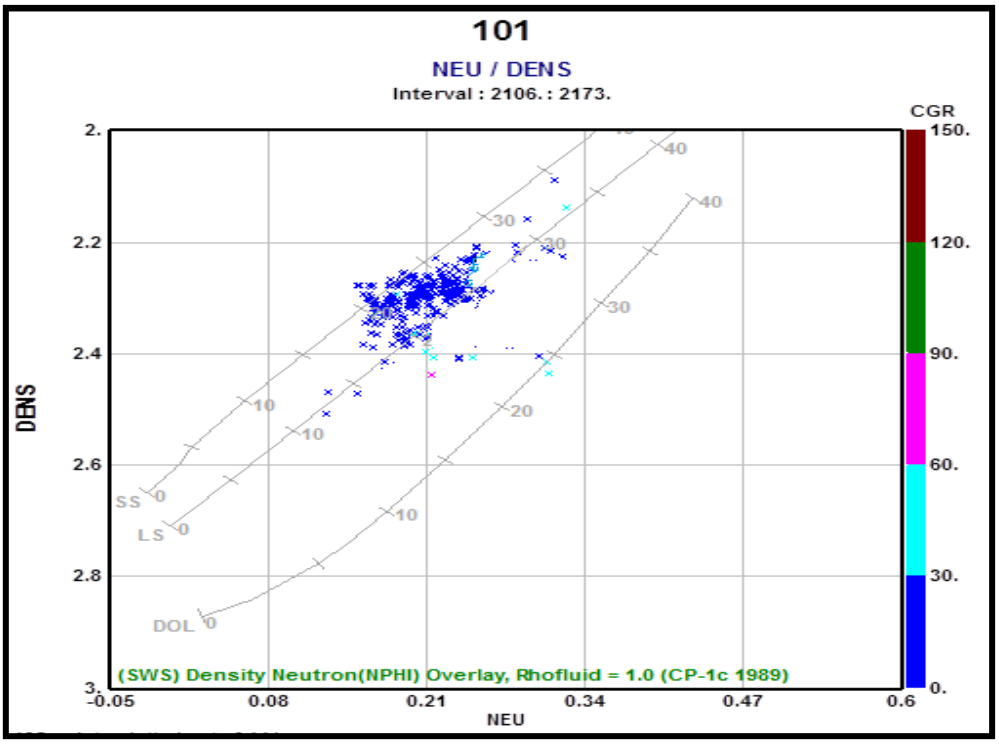
من خلال الأشكال (4-5) ((8, 7, 6, 5)) المعدة ضمن برنامج التفسير البتروفيزيائي (IP) في هذه الدراسة، يُلاحظ أن أغلب النقاط تقع ضمن نطاق الحجر الرملي، مع تأثرها بشكل كبير بوجود الغضار حيث تنحرف النقاط نحو الربع الجنوبي الشرقي. ولكن يُلاحظ في البئر 101 بعض الاختلاف وذلك بسبب انخفاض دقة القياسات. أما قيم المسامية فهي جيدة تصل عموما إلى 20%، مع زيادتها قليلاً في بعض النطاقات. وبكثافة تتراوح بين ($2.56-2.2\ g/cm^3$) وذلك بسبب وجود الغضار.



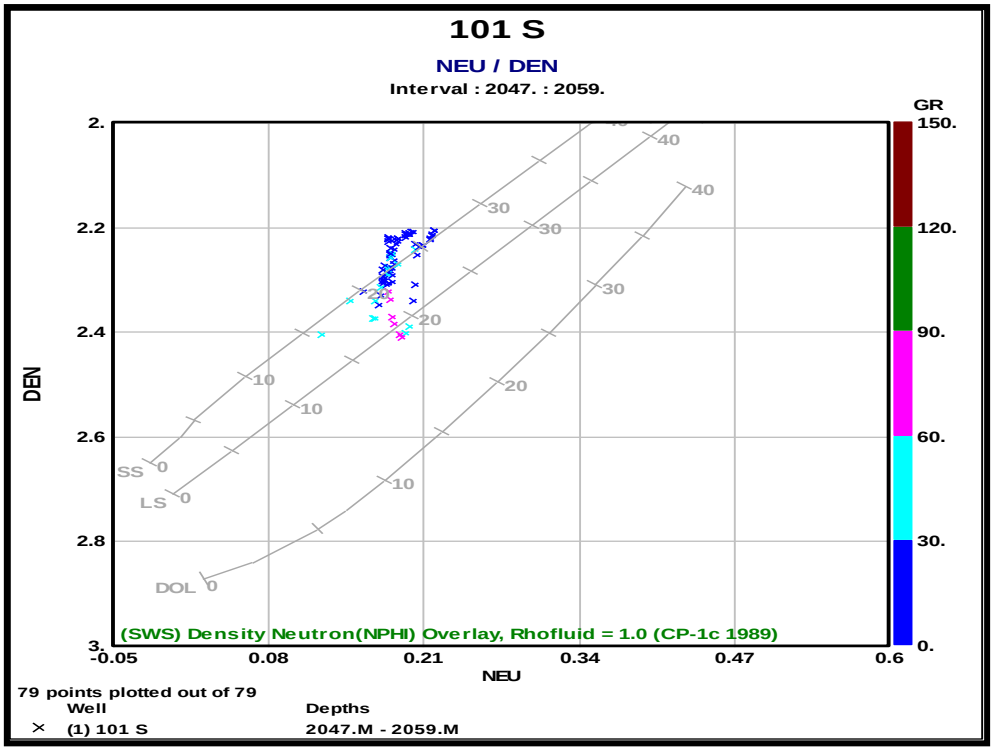
شكل (5-5): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر 103 ضمن تشكيلة الرطبة.



شكل (5-6): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر102.



شكل (5-7):مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر101.



شكل (5-8): مخطط التقاطع بين قياسي الكثافة والنيترون للبئر101S.

٣-تفسير القياسات البئرية:

- **البئر103:**

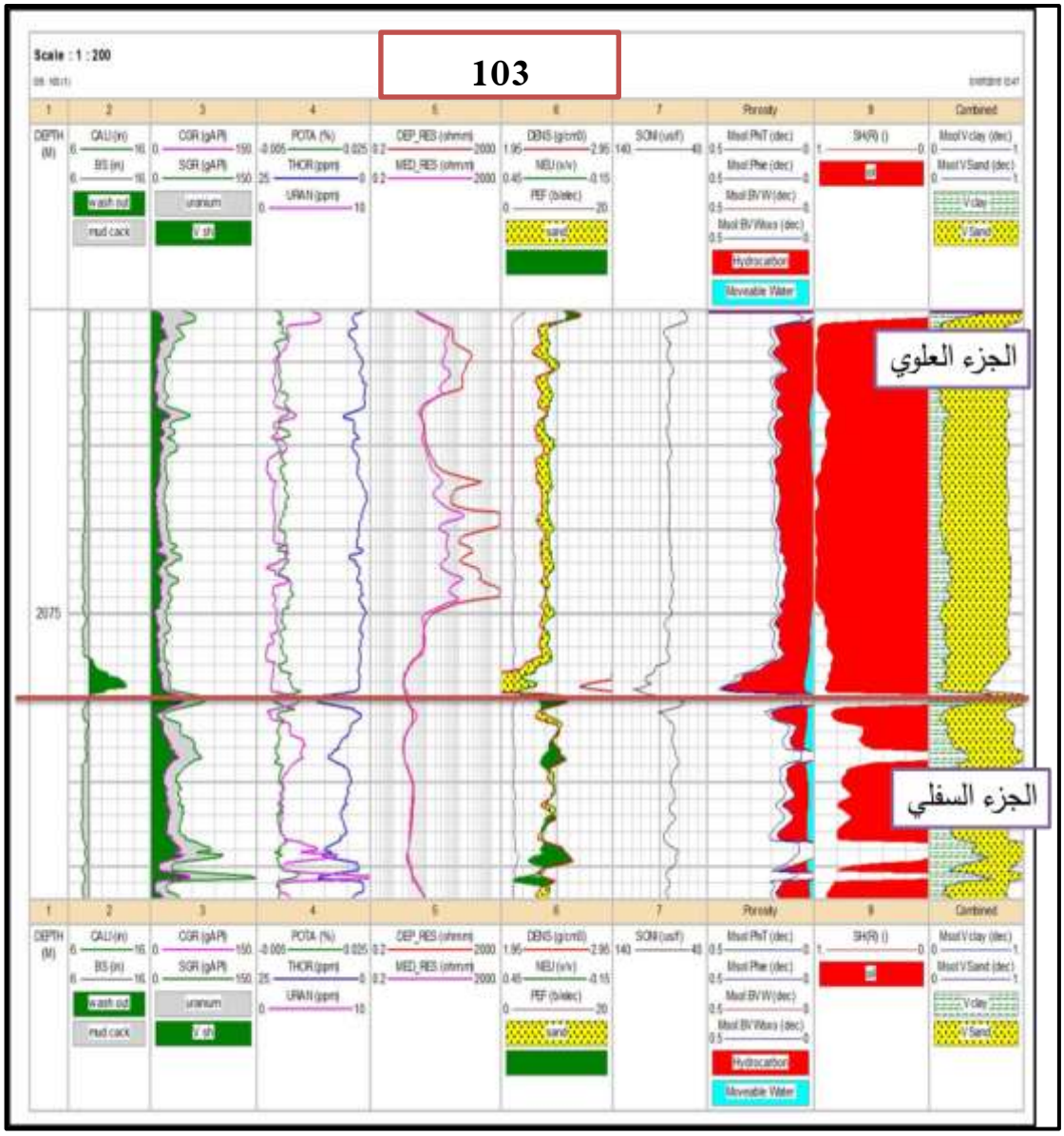
تم تفسير تغير استجابات القياسات المنفذة أمام الطبقات بشكل مفصل في حقل الرتكة ضمن البئر103 بالاستعانة ببرنامج تفسير القياسات IP كما هو موضح في (**الشكل 5-9**) بالشكل التالي:

- قياس قطر البئر(Caliper): يُلاحظ وجود كعكة طينية وبالتالي التشكيلة خازنة.
- قياس التسجيل الطيفي الطبيعي(SGR): يُشير إلى إشعاعية قليلة بحدود (3-10 API)، مع ملاحظة زيادة قيمة الإشعاعية في إحدى النطاقات وبالتالي دليل على وجود الغضار. ويُستدل على ذلك من خلال تزايد قيم البوتاسيوم والثوريوم ضمن الجزء السفلي. مع ملاحظة أن قيم اليورانيوم قلية جداً. وبالتالي فإن التشكيلة خازنة نظيفة مع وجود نطاقات من الغضار في الأجزاء السفلية منها.

- قياسات المسامية: التعاكس بين قيم النيترون والكثافة (Den&Neu) يدل على وجود طبقة رملية نظيفة في الجزء العلوي من التشكيلة، ولكن في الجزء السفلي منها يظهر تعاقب طبيقات من الرمل والغضار، كما أن قيم المسامية الكلية جيدة مع زيادتها في الجزء السفلي نتيجة وجود الغضار الذي يزيد من قيم المسامية الغير فعالة. أما أزمنة الارتحال في القياس الصوتي فهي أعلى من التشكيلة السابقة (تشكيلة الأرك)، وتتميز بنفس التجانس ضمن الجزء العلوي، إلا أن هناك تغير قليل في الجزء السفلي دالاً على وجود الغضار فيه.
- قياس الامتصاص الكهرضوئي (Pef): تصل قيمته إلى 2 أو أقل، وهي استجابات خاصة بالحجر الرملي. (Rider, 2002)

وبالتالي فإن تشكيلة الرطبة عبارة عن حجر رملي في الجزء العلوي منها، بينما هي في الجزء السفلي تعاقب للرمال مع الغضار الرملي.

وبناءً على التفسير السابق تم تقسيم تشكيلة الرطبة إلى قسمين: علوي رملي (2057– 2080m) بسماكة 23m، وسفلي رملي غضاري (2092m – 2080) بسماكة 12m.



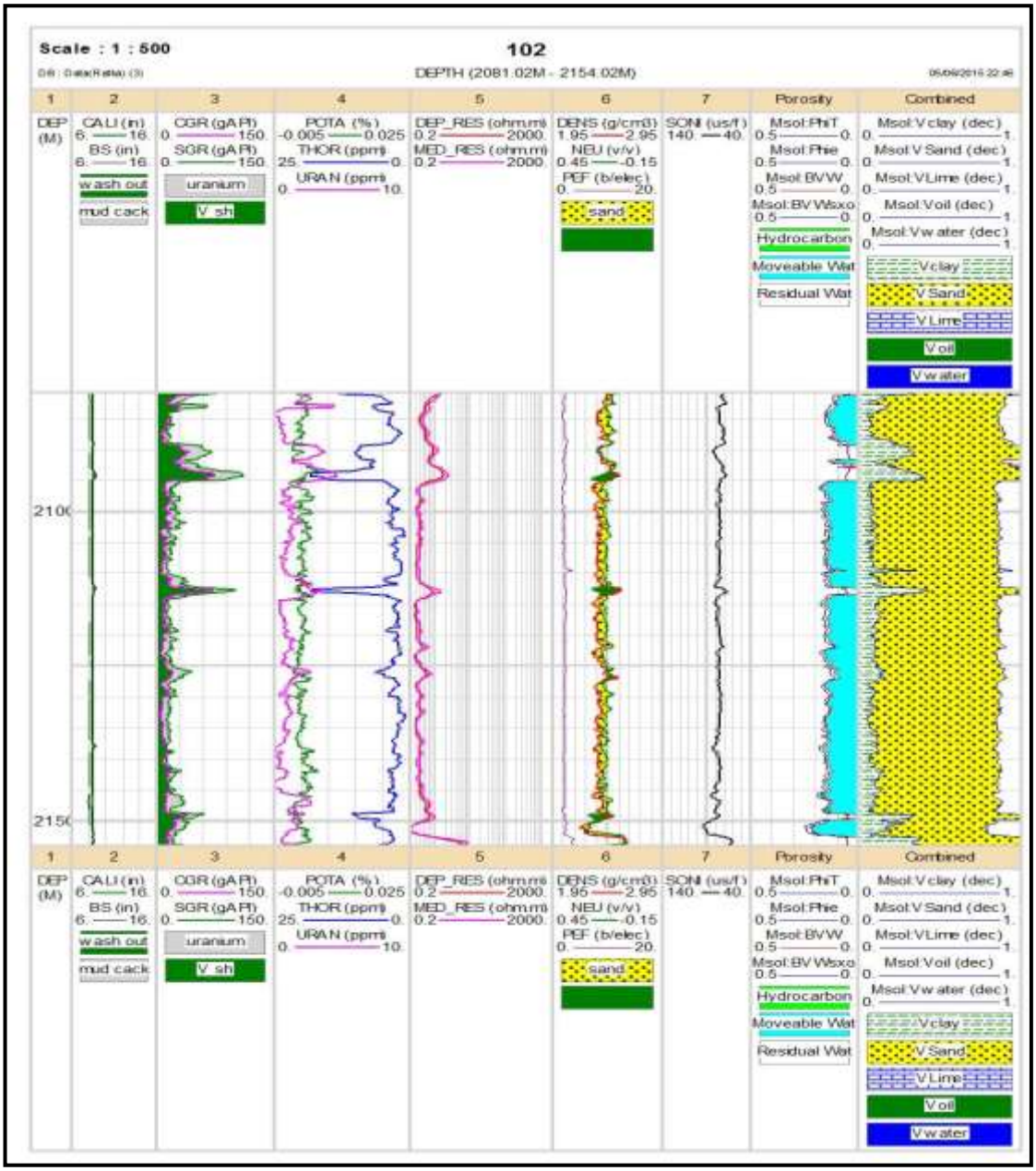
شكل (5-9): التفسير المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر103 حسب برنامجIP، مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.

- **البئر102:**

تم تفسير تغير استجابات القياسات المنفذة باستخدام برنامج IP كما هو موضح في **(الشكل 4-10)** على النحو التالي:

- قياس قطر البئر: يُشير هذا القياس إلى وجود كعكة طينية أي تشكيلة خازنة. أما التسجيل الطيفي الطبيعي: يُظهر قيماً منخفضة في معظم أجزاء التشكيلة مع وجود طبقات تزداد فيها الاشعاعية، ويُلاحظ ذلك من خلال نسب العناصر المشعة، أي أن التشكيلة خازنة ونظيفة إلا في بعض النطاقات الحاوية فيه على الغضار.

- إن التعاكس بين قياسي النيترون والكثافة يدل على وجود طبقات رملية نظيفة في معظم التشكيلة مع تعاقب لطبقات من الغضار مقابل مجالات تزايد الاشعاعية الطبيعية. وتصل قيم المسامية إلى 15%. أما قيم أزمنة الارتحال فهي تتماثل مع قيم البئر السابق 103، وتكون متجانسة على كامل التشكيلة. بينما تتماثل قيم قياس الامتصاص الكهرضوئي مع قيم البئر103 أي بحدود (2 Barn).

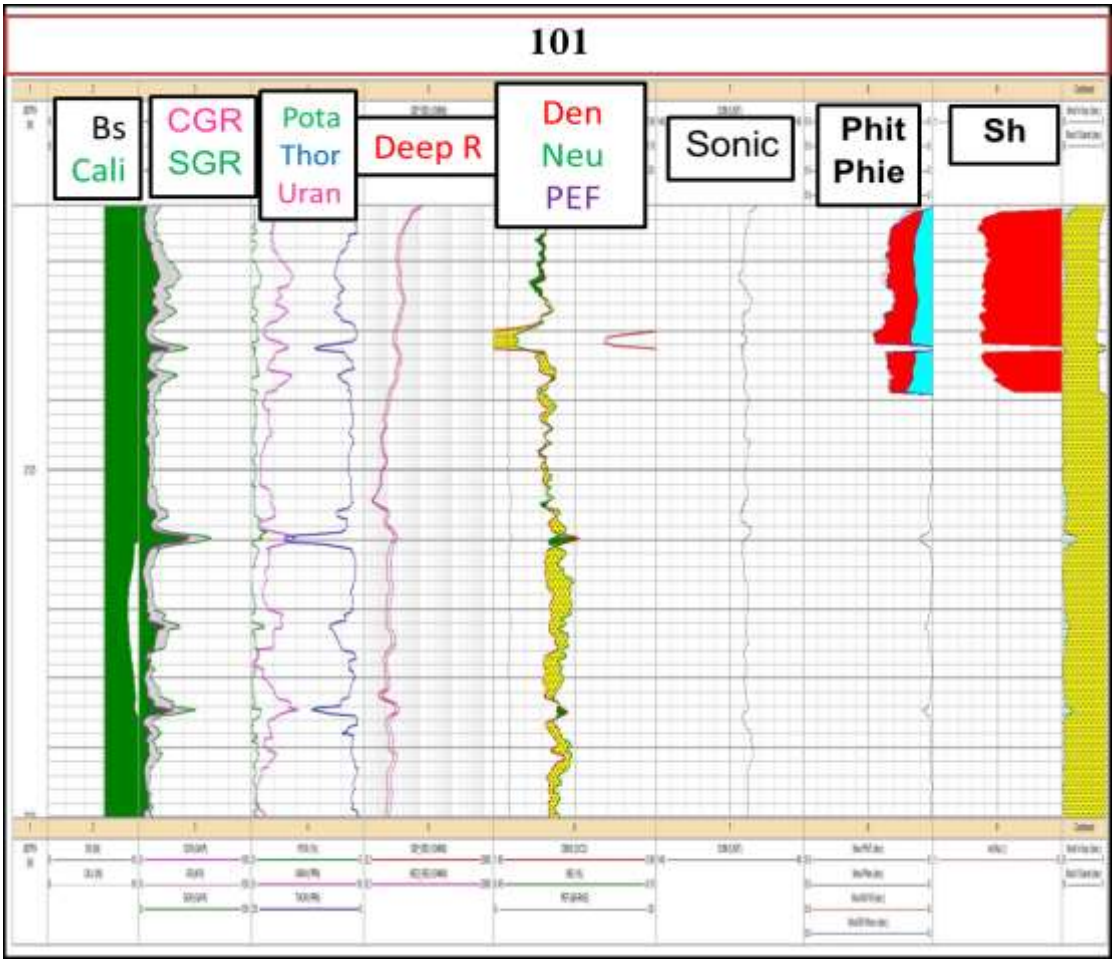


شكل (5-10): التفسير المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر102 مع المسامية الفعالة والكلية والإشباع الهيدروكربوني.

- **البئر 101:**

تم تفسير تغير استجابات القياسات المنفذة أمام الطبقات ضمن البئر 101، كما هو موضح في (**الشكل 5-11**) على النحو التالي:

- قياس قطر البئر: يُظهر وجود تهدم كبير في جدار البئر. لذلك فإن معظم القياسات تفتقر للدقة وتعطي قيم أعلى من القيم الحقيقية.
- قياس التسجيل الطيفي الطبيعي: يُعطي قيماً قليلة للإشعاعية مع تزايد القيم عند نطاقات معينة. ويتوضح ذلك من خلال نسب العناصر المشعة. أي أن التشكيلة نظيفة مع وجود طبيقات من الغضار.
- التعاكس بين قياسي الكثافة والنيترون يدل على وجود الحجر الرملي النظيف مع تعاقب الغضار والحجر الرملي في نهاية التشكيلة. أما أزمنة الارتحال تُظهر وجود تجانس لكامل التشكيلة وبشكل مشابه لباقي الآبار.

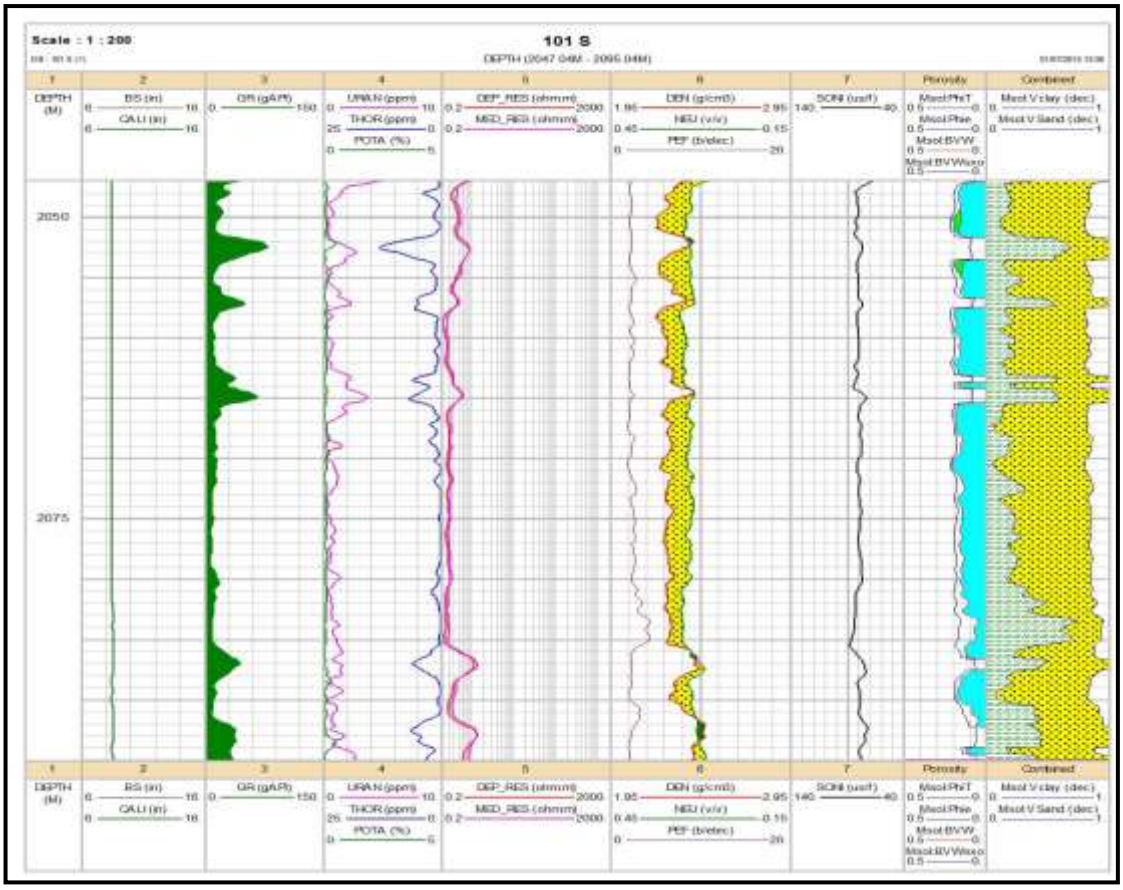


شكل (5-11): التفسير الجيولوجي المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر 101 مع المسامية الفعالة والكلية و الإشباع الهيدروكربوني.

- البئر 101s:

تم تفسير تغير استجابات القياسات المنفذة أمام الطبقات ضمن البئر101s، كما هو موضح في (**الشكل 5-11**) على النحو التالي:

- قياس قطر البئر: لا يعطي أي مؤشر. أما قياس الاشعاع الطبيعي فيُسَّجِل قيماً منخفضة تزداد في بعض النطاقات لتصل إلى (60API) وبالتالي دالة على وجود الغضار بشكل نطاقات ضمن التشكيلة النظيفة. ويجدر الإشارة إلى أن قياس البوتاسيوم لا يُبدي تأثراً مقابل التشكيلة.
- يُشير التعاكس بين قياسي الكثافة والنيوترون إلى وجود الرمل وبمسامية جيدة مع وجود تداخلات من الغضار. أما قيم أزمنة الارتحال فتُبدي تماثلاً على كامل التشكيلة. في حين أن قياس الامتصاص الكهرضوئي يُعطي قيماً مماثلة لباقي الآبار، أي قيم الرمل.



شكل (5-12): التفسير الجيولوجي المناسب لتشكيلة الرطبة ضمن البئر101S مع المسامية الفعالة والكلية والإشباع الهيدروكربوني.

- **ثالثاً: احتمالية وجود الهيدروكربون.**

تم تفسير استجابات كل من قياسات المقاومية الكهربائية العميقة، إضافة إلى استجابات تسجيلات الكثافة والمسامية النيترونية والصوتية من خلال الأشكال (5-(9, 10, 11, 12))، لتحديد احتمالية وجود الهيدروكربون، ضمن تشكيلة الرطبة لكل بئر من آبار حقل الرتكة.

- البئر103:

يلُاحظ أن قيم المقاومية التحريضية العميقة مرتفعة جداً وهذا دليل على وجود الهيدروكربون، كما أن التباعد بين قياسي الكثافة والنيوترونية ليس كبيراً كفاية كما في النطاقات الغازية. كما لم يعطي القياس الصوتي قيماً عالية تدل على ظاهرة غياب الدورة في النطاقات الغازية.

- البئر102:

يُلاحظ أن قيم المقاومية التحريضية منخفضة جداً، وبالتالي دليل على وجود الماء المالح، أي أن التشكيلة مائية.

- البئر101:

تظهر المقاومية التحريضية قيماً مرتفعة نوعاً ما في الجزء العلوي من التشكيلة فقط. ولكنها تصبح منخفضة جداً في باقي التشكيلة. اي أن التشكيلة حاوية على النفط في الجزء العلوي منها فقط والباقي تشكيلة مائية.

- البئر101s:

تظهر المقاومية التحريضية العميقة بقيم منخفضة، وهي دليل على وجود الماء وبالتالي التشكيلة مشبعة بالماء.

من خلال كل ما ذكر يمكن القول أن تشكيلة الرطبة ضمن حقل الرتكة، عبارة عن حجر رملي مع وجود نطاقات من الغضار وبمساميات جيدة، أي أنها ذات مواصفات خزنية جيدة عموماً، مع وجود التهدم في البئر 101الذي يقلل من دقة القياسات كثيراً. كما أن التشكيلة أو أجزاء منها مشبعة بالنفط ضمن البئر103، والبئر101.

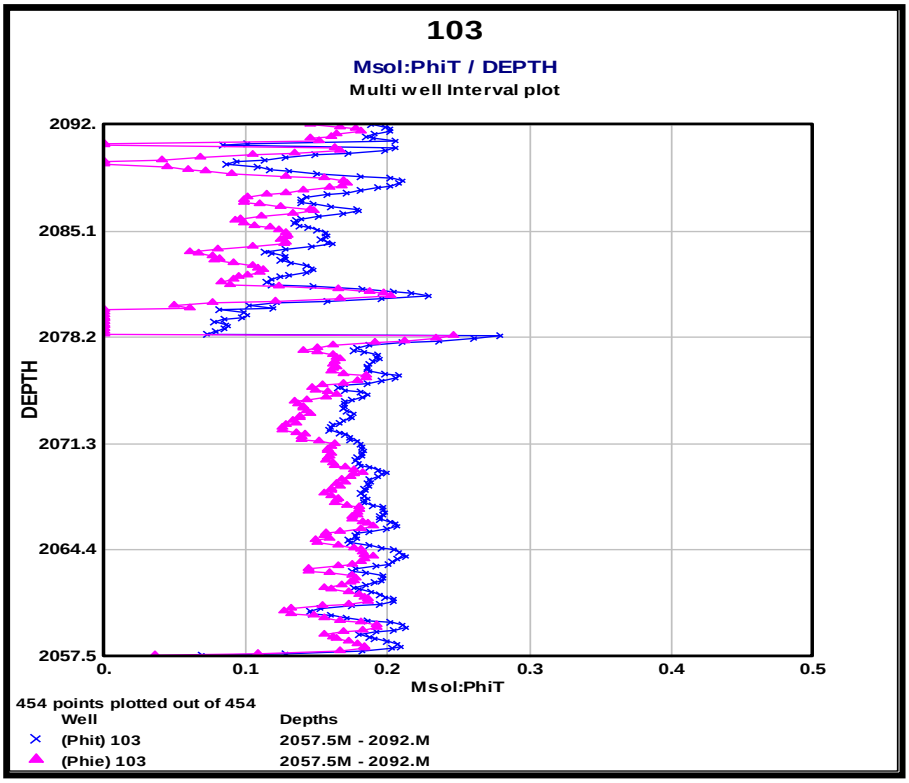
- **رابعاً: المساميات الفعالة والكلية.**

حُسبت قيم المسامية الكلية والفعالة من خلال برنامج IP، من خلال العلاقات الفيزيائية (3-3)(2-3) التي ذكرت ضمن الفصل الثالث من هذه الدراسة. وتُظهر الأشكال (15, 16, 13, 14)) اختلاف المساميات مع العمق. كما يظهر الجدول (5-2) متوسط المساميات ضمن الآبار المدروسة. وتعتبر المسامية جيدة حين تصل قيمها إلى (0.18).

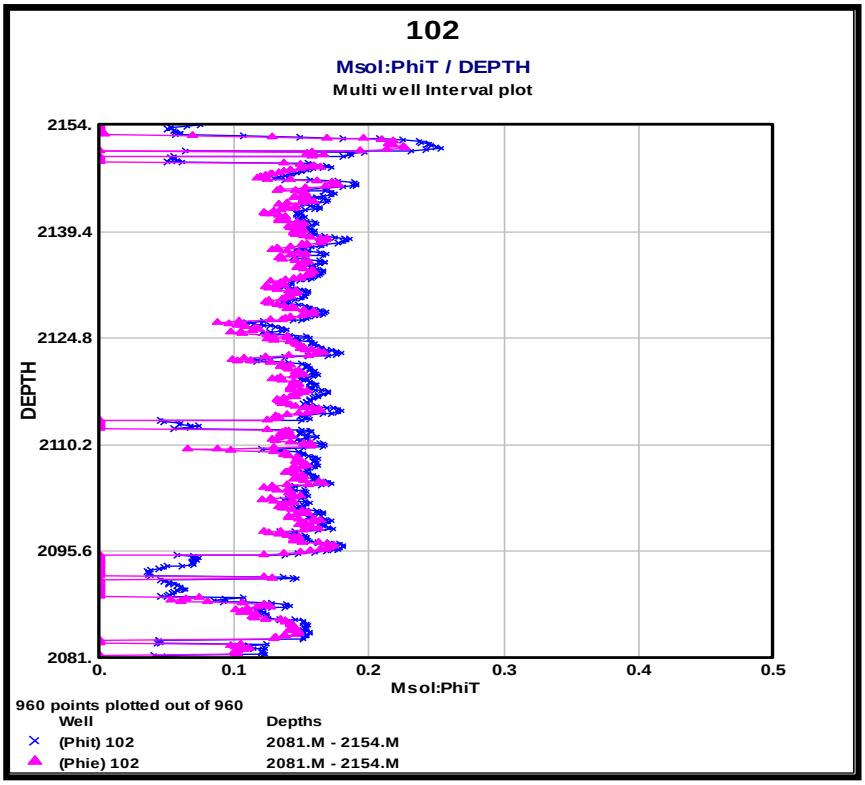
ويُلاحظ وجود فرق بين المسامية الكلية والفعالة وذلك بسبب وجود الغضار الذي يؤدي إلى إغلاق المسامات.

جدول(5-2): معدل المسامية الكلية والفعالة لتشكيلة الرطبة.

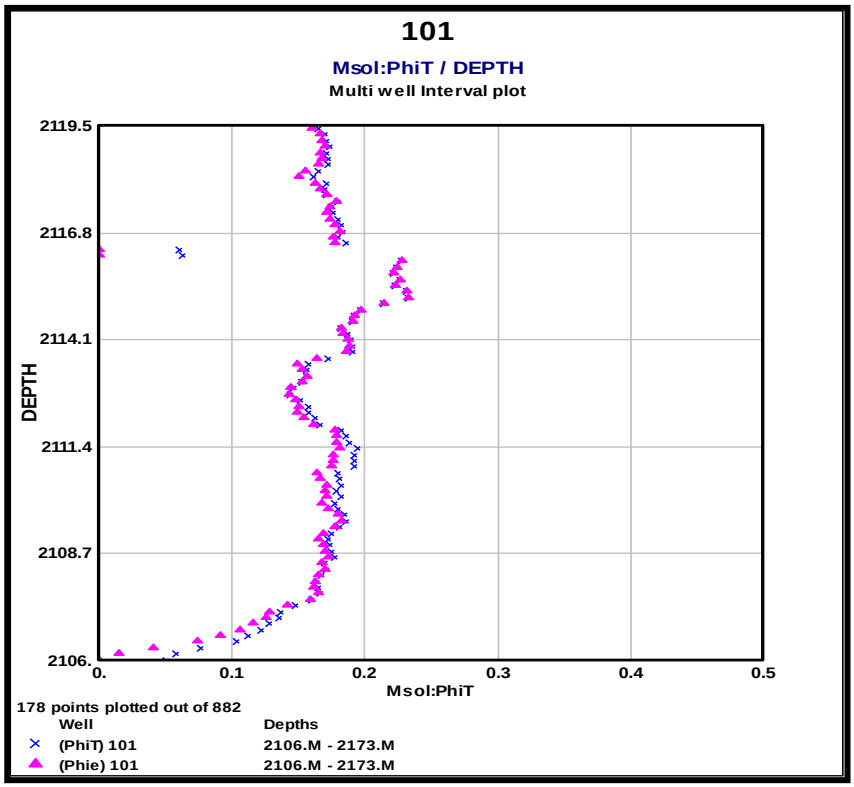
رقم البئر	103 الجزء العلوي	103 الجزء السفلي	102	101	101S	
المسامية الكلية	0.18	0.154	0.14	0.17	0.17	0.15
المسامية الفعالة	0.147	0.11	0.12	0.16	0.13	0.13



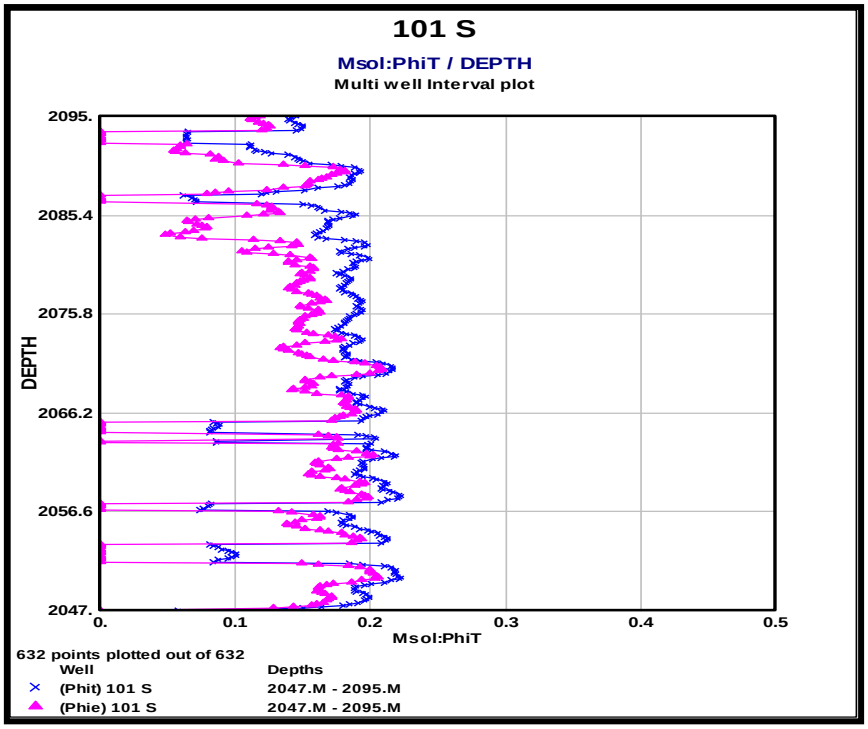
شكل (5-13): علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر103 ضمن تشكيلة الرطبة.



شكل (5-14): علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر102.



شكل (5-15):علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر101.



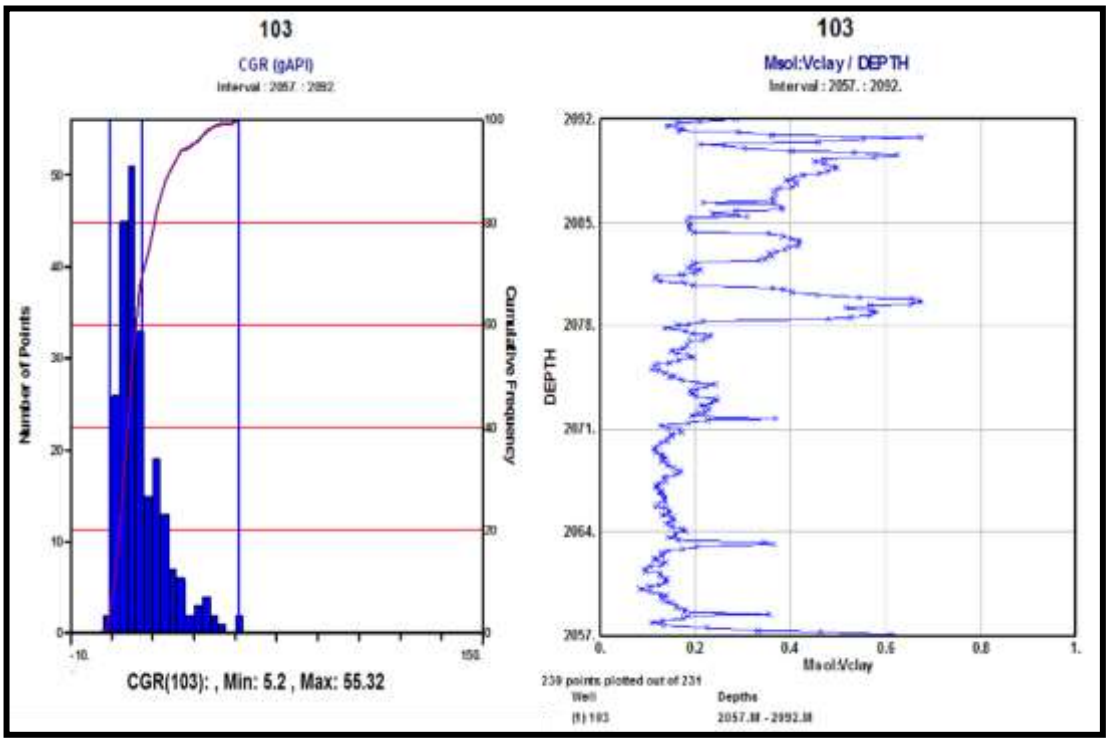
شكل (5-16): علاقة المسامية الكلية والفعالة مع العمق للبئر101S.

- **خامساً: حجم الغضار.**

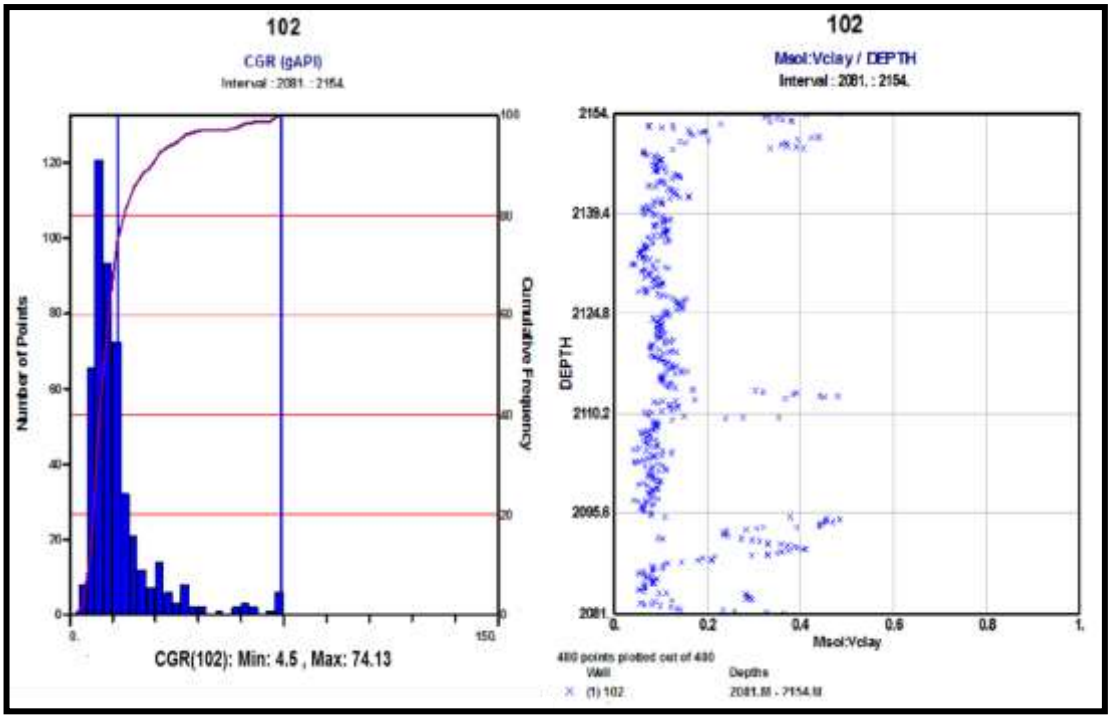
تم من خلال القانون رقم (5-3) الذي ذُكر ضمن الفصل الثالث، حساب حجم الغضار لكل الآبار، حيث يُظهر الجدول (5-3) قيم حجم الغضار ضمن التشكيلة وضمن القسم المنتج منها. وتُظهر الأشكال (5-(17, 18, 19, 20)) القيم العليا والدنيا في قياس الإشعاع الطبيعي (GR) والتي استعين بها لتطبيق القانون ضمن كل الآبار، إضافة إلى قيم حجم الغضار المحسوبة مع العمق ضمن البرنامج لتشكيلة الرطبة وضمن القسم المنتج المسامي (net). يُلاحظ أن قيم حجم الغضار جيدة إذ أن تشكيلة الرطبة مكونة من الحجر الرملي والغضار الذي تزداد نسبته بشكل خاص في الجزء السفلي من التشكيلة في البئر103.

جدول(5-3): معدل حجم الغضار لتشكيلة الرطبة لأبار منطقة الدراسة.

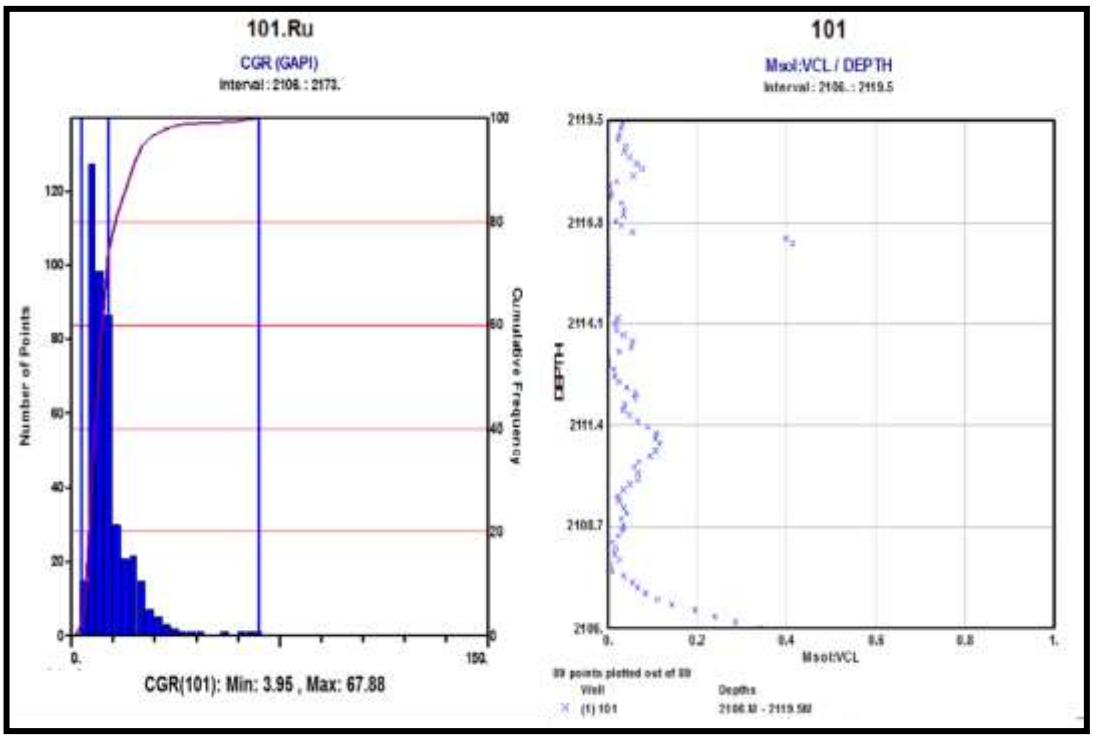
رقم البئر Well No.	103 الجزء العلوي	103 الجزء السفلي	102	101	101 S
V clay حجم الغضار لكامل التشكيلة(Gross)	0.20	0.27	0.12	0.05	0.27
V clay حجم الغضار ضمن السماكة الصافية	0.187		-------	0.04	-----



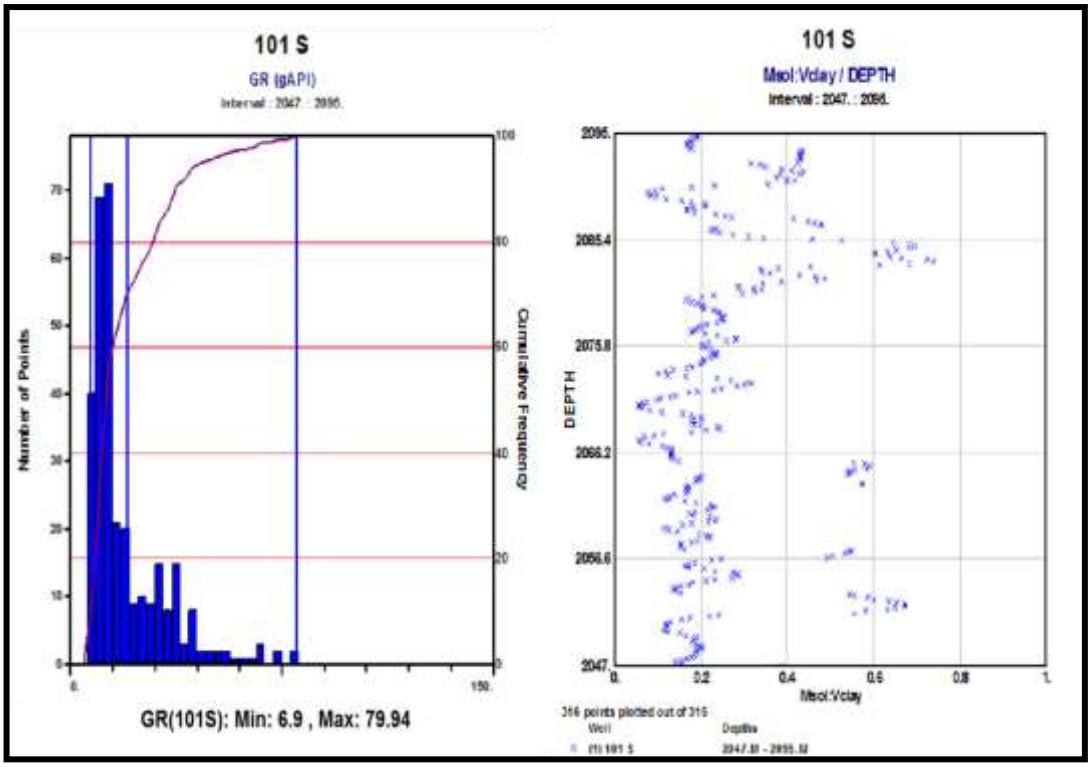
شكل(5-17): قياس الاشعاع الطبيعي محدد عليه القيمة الدنيا والعليا التي استخدمت لحساب حجم الغضار إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر103 ضمن تشكيلة الرطبة.



شكل(5-18): قياس الاشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر102.



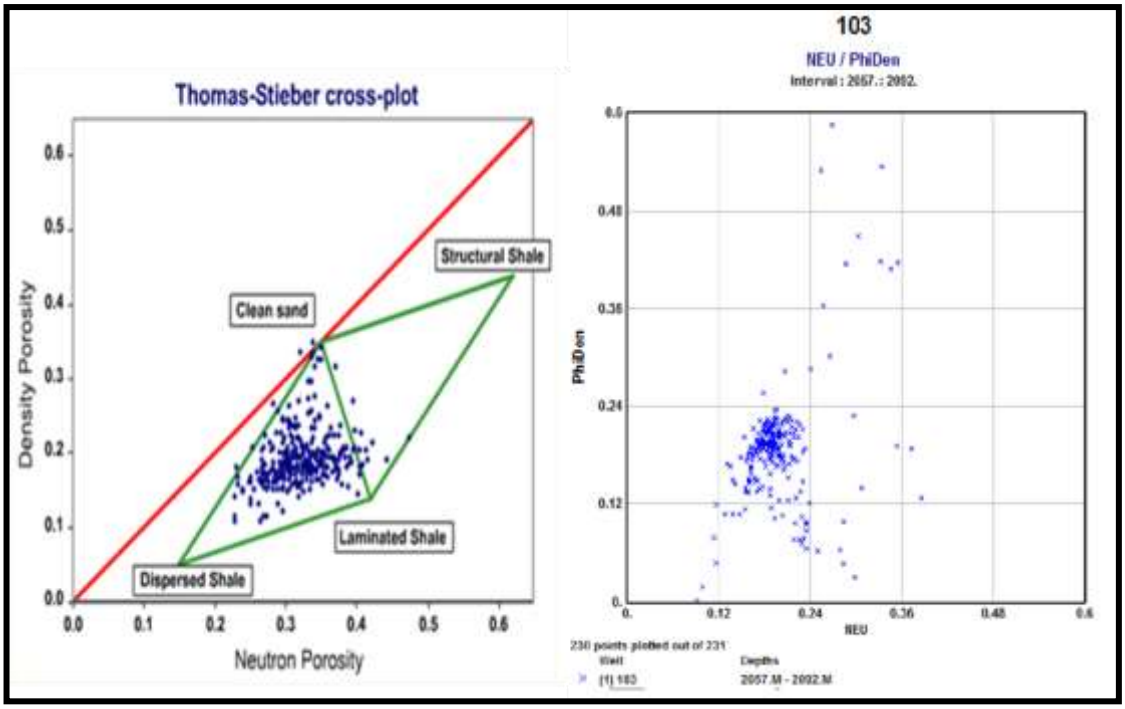
شكل (5-19): قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر101.



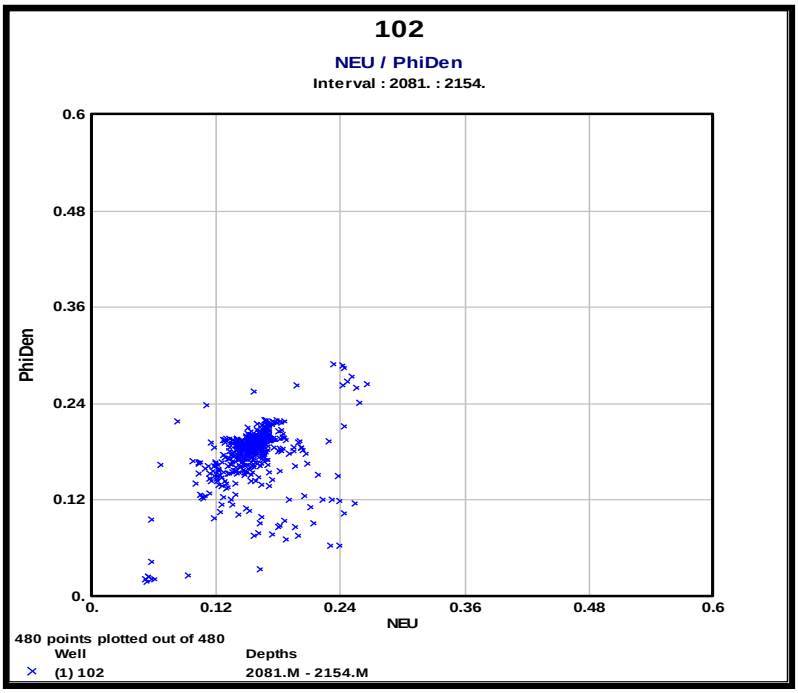
شكل (5-20): قياس الإشعاع الطبيعي إضافة إلى علاقة حجم الغضار مع العمق للبئر101S.

- **سادساً: توزع الغضار ضمن تشكيلة الرطبة.**

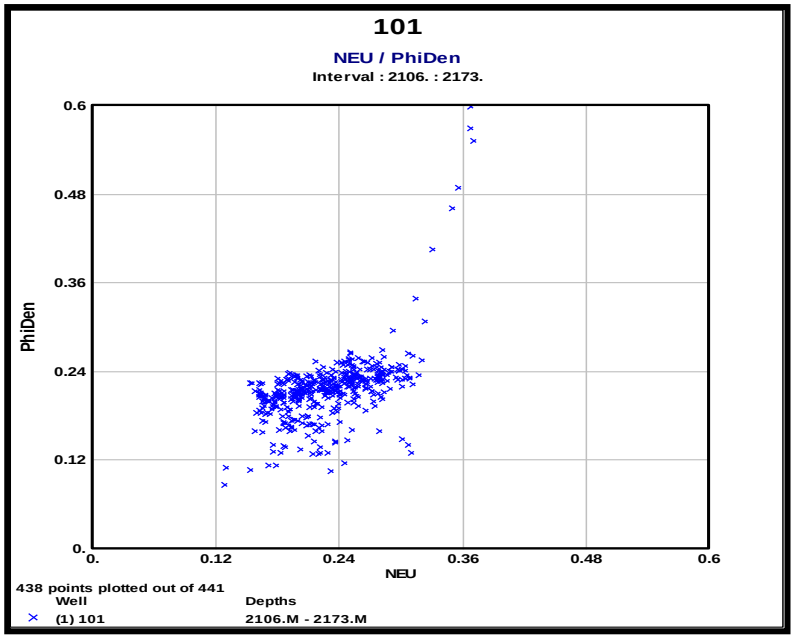
تم إنشاء مخططات تربط بين المسامية النيترونية (محورX) والمسامية الكثافية (محورY) من أجل تحديد شكل توزع الغضار، ومقارنتها مع مخطط (Thomas-Stieber)، وذلك من أجل معرفة تأثير تواجد الغضار على المسامية. وتُبين الأشكال (5-(21, 22, 23, 24)) أن معظم الغضار يتوضع بشكل رقائقي إلى مبعثر، وهذا التوضع له تأثير على المسامية حيث يؤدي إلى تناقص المسامية الفعالة بسبب توضع حبات الغضار داخل الفراغ المسامي ضمن بعض النطاقات، وبالتالي تناقص الإنتاج فيها.



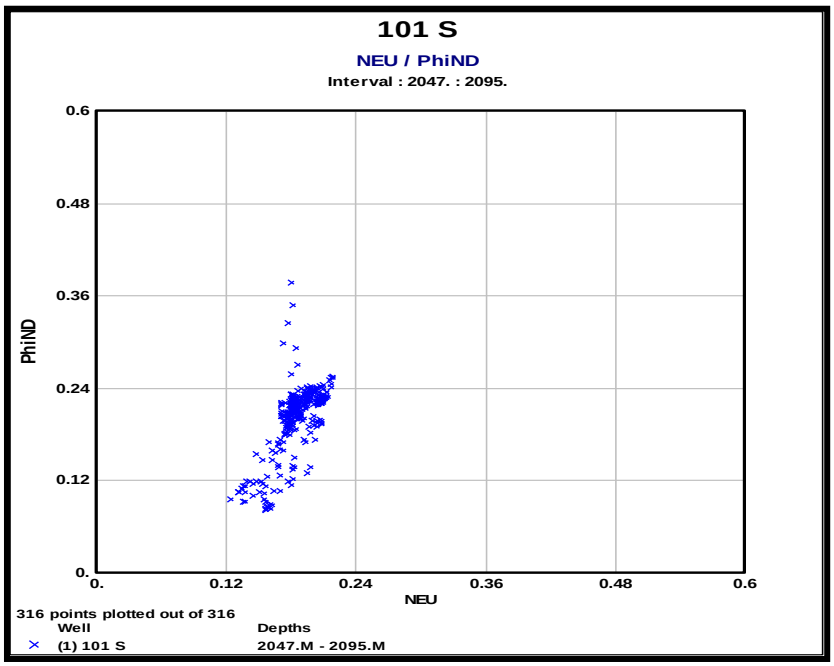
شكل(5-21): عرض تقاطعي ضمن البئر103 بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية ومقارنته مع مخطط (Thomas-Stieber) الذي يظهر أشكال توزع الغضار.



شكل(5-22): عرض تقاطعي ضمن البئر102 بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.



شكل(5-23): عرض تقاطعي ضمن البئر101 بين المسامية النيوترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.



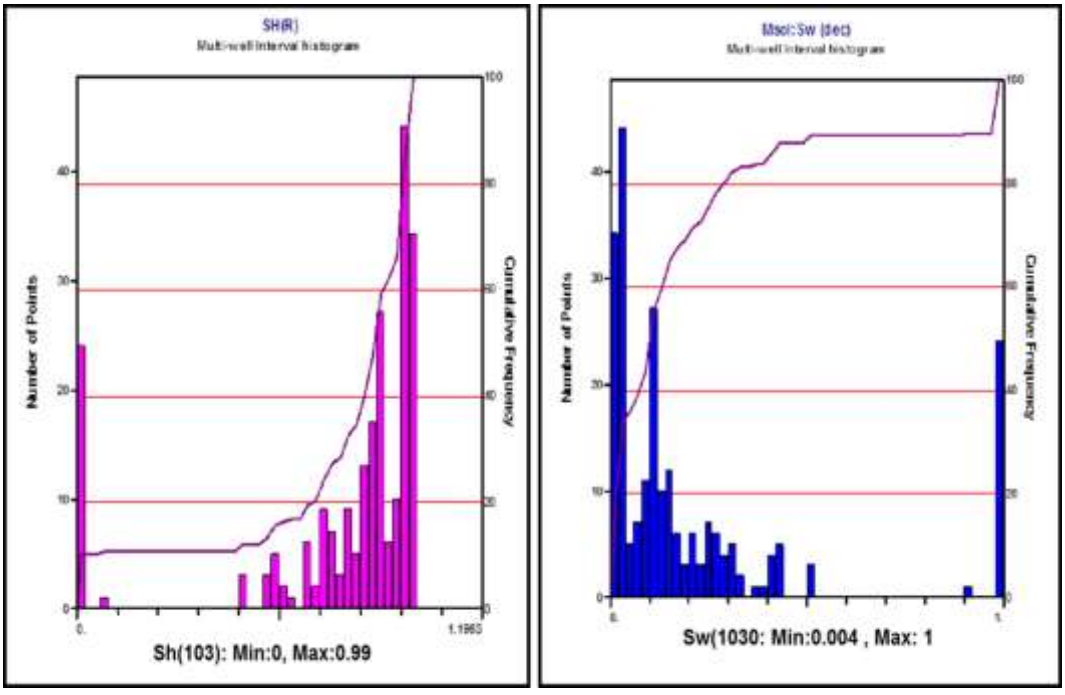
شكل(5-24): عرض تقاطعي ضمن البئر101S بين المسامية النيترونية والمسامية الكثافية، ويظهر فيه توزع الغضار الرقائقي والمبعثر.

- **سابعاً: الإشباع المائي والهيدروكربوني.**

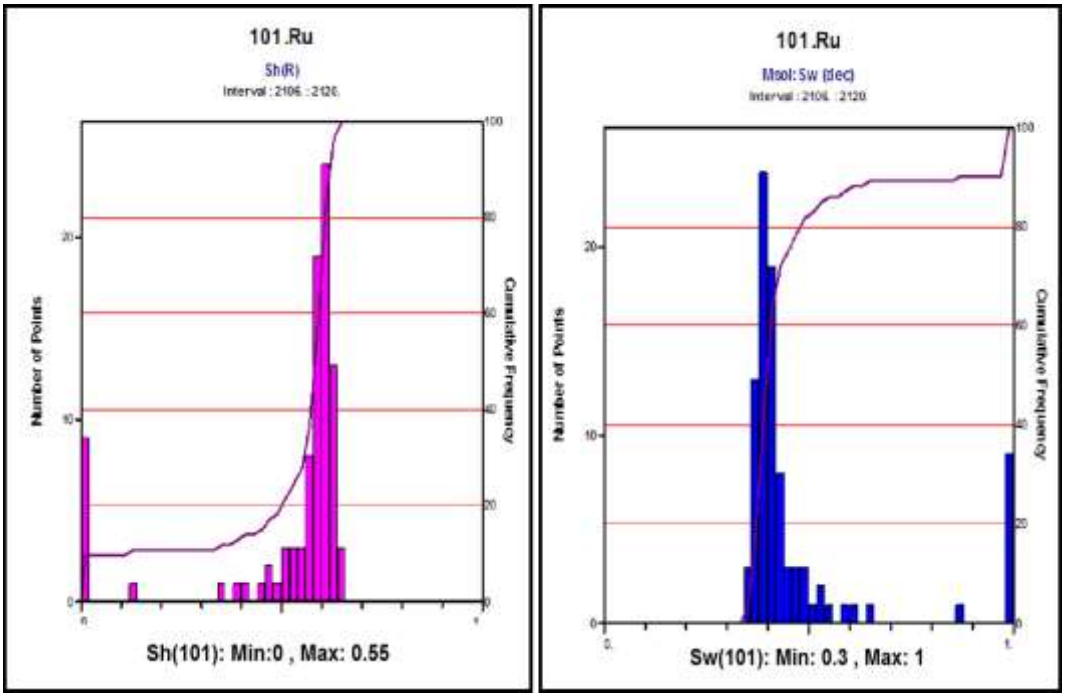
تم حساب الإشباع المائي من خلال علاقة آرشي، كما وضحنا ذلك بالتفصيل ضمن الفصل الثالث من هذه الدراسة، ويُوضح الجدول (5-4) قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني ضمن تشكيلة الرطبة في القسم المنتج المسامي، حيث يُلاحظ أن كمية الإشباع النفطي ضمن البئر103 ممتازة، وأقل ضمن البئر101. كما أن التشكيلة مشبعة بالماء ضمن باقي الآبار. تُظهر الأشكال (5-(25, 26)) تغير قيم الإشباع (محورX) مع العمق (محورY).

جدول(5-4): معدل الإشباع المائي والإشباع المائي ضمن السماكة المنتجة ومعدل الإشباع الهيدروكربوني لتشكيلة الرطبة.

Well No. رقم البئر	Sw الإشباع المائي	Sw ضمن نطاق السماكة الصافية	Sh الإشباع الهيدروكربوني
103 الجزء العلوي	0.147	0.113	0.887
103 الجزء السفلي	0.345		
102	1	------	------
101	0.44	0.415	0.585
101 S	1	-----	------



شكل (5-25): علاقة الإشباع المائي والهيدروكربوني مع العمق للبئر103.



شكل (5-26): علاقة الإشباع المائي والهيدروكربوني مع العمق للبئر 101.

- **الخلاصة:** تم من خلال معالجة معطيات الآبار من خلال برنامج (IP) دراسة تشكيلة الرطبة التي تبين أنها تشكيلة رملية غضارية خازنة للنفط في البئرين (101, 103)، وحاوية على الماء في الآبار الأخرى. وقُسمت إلى قسمين مختلفين بالمسامية والغضارية ضمن البئر103. وكانت التشكيلة عموماً ذات مواصفات خزنية جيدة حيث المسامية الكلية جيدة وتساوي (0.15)، أما المسامية الفعالة تساوي (0.13)، والإشباع النفطي عالٍ في البئر 103 وأقل في البئر 101 بينما كانت التشكيلة مائية في باقي الآبار.

الفصل السادس

المضاهاة وحساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة

يُعد هذا الفصل خلاصة للتفسيرات التي أجريت ضمن الفصول السابقة، وتتويجاً للدراسات الجيولوجية والبتروفيزيائية والجيوفيزيائية. تم تقسيم هذا الفصل إلى قسمين، الأول يُعنى بإجراء المضاهاة بين آبار حقل الرتكة ومناقشة نتائج الدراسة مع نتائج شركة الفرات، والثاني يهتم بحساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة فقط نظراً لأهميتها الخزنية.

❖ أولاً: المضاهاة بين آبار الرتكة (Correlation).

١-١- تمهيد:

يُعد الربط بين الطبقات المتكافئة من بئر لأخرى أحد الاستخدامات الأولى للتسجيلات الجيوفيزيائية البئرية، ولا يزال يمثل حتى الآن أحد أكثر استخداماتها أهمية. حيث تجري المقارنة بين مجالات معينة من التسجيل البئري قيست في آبار مختلفة لملاحظة تشابهها، أو وجود استجابات مميزة تجاه معالم معينة من التشكيلة.

تتفوق التسجيلات البئرية على العينات اللبابية، لأنها تزوِّد بتسجيل مستمر عبر كامل البئر دون غياب مقاطع عمقية معينة. وحتى الآن يتم استخدام كل قياسات الآبار الغير مكسوة وخاصة التي تقيس الصفات الصخرية التي لا تتغير كثيراً من بئر لأخرى مجاورة. وتعد تسجيلات المقاومية والكمون الذاتي والإشعاع الطبيعي، أكثر التسجيلات البئرية استخداماً لتنفيذ المضاهاة، فيمكن ملاحظة التغيرات في السماكة وفي الخواص الخزنية من بئر لأخر.

١-٢- المناقشة:

تم اجراء مقطع للمضاهاة بعد تفسير البيانات على برنامج IP، حيث تمثل هذه المضاهاة جميع آبار الرتكة (103،102،101،101s) الواقعة ضمن كتلتين مختلفين، أظهر هذا المقطع تغير السماكات لتشكيلتي الأرك والرطبة بين الآبار. **(الشكل 6-1)**

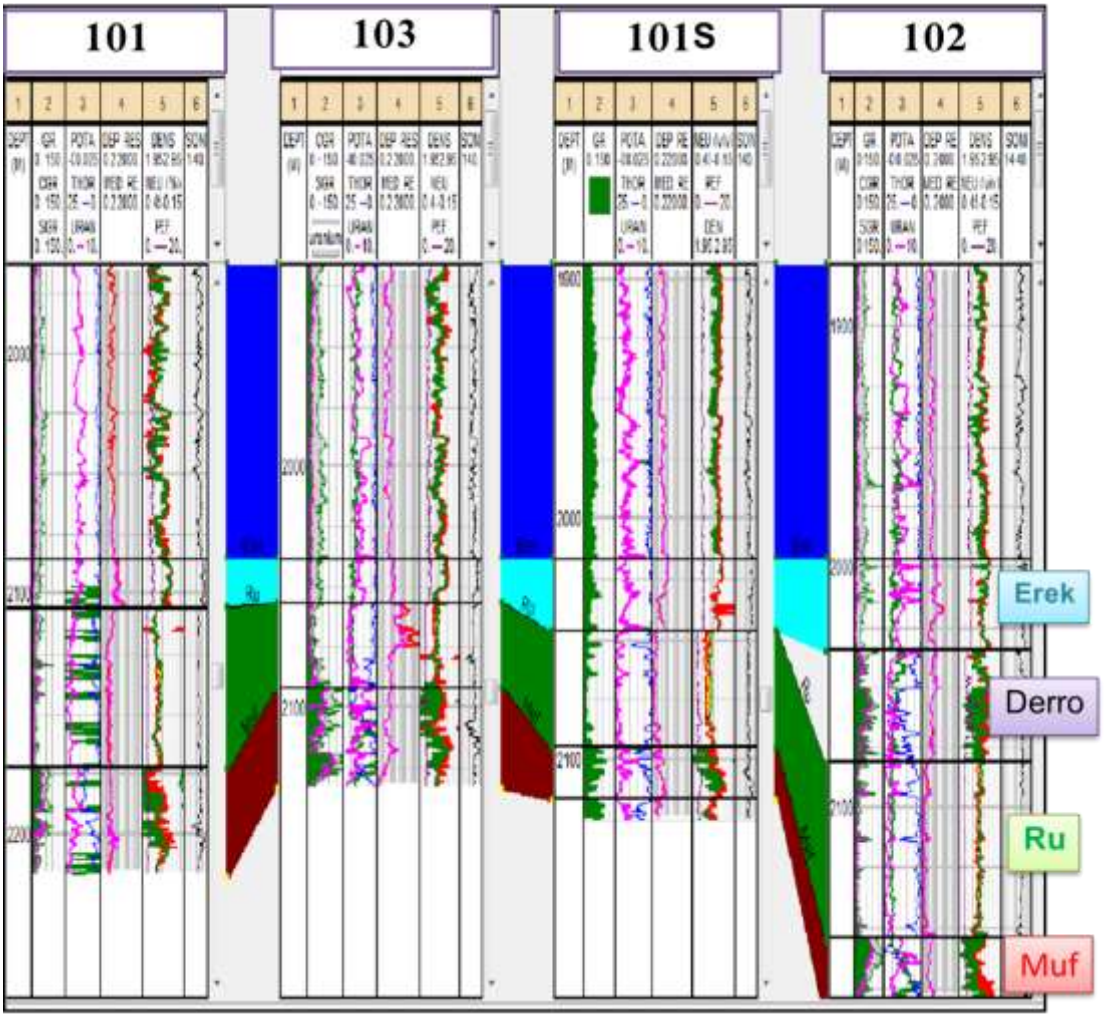
من خلال الشكل (6-1) تبين أن تشكيلة الديرو الموضحة موجودة فقط ضمن البئر102 في الجزء الشرقي من نهوض الرتكة وتفصل بين تشكيلة الأرك والرطبة الرملية.

تشكيلة الأرك: يُلاحظ تناقص في سماكة التشكيلة التجاوزية على طول حد الانقطاع BKU. وتظهر باللون الأزرق الفاتح ضمن الآبار، حيث أن أكبر سماكة للتشكيلة كانت في البئر102 مساوية تقريباً إلى (38m)، وتتماثل تقريباً مع البئر الجنوبي. ولكن تنخفض السماكة في الكتلة الغربية حيث تصل إلى (20m) ضمن البئر101، وتستمر بالانخفاض باتجاه البئر103. وبالتالي فإن السماكة في الكتلة الشرقية أكبر من الكتلة الغربية.

وفيما يتعلق بالخواص البتروفيزيائية فإن قيم المسامية تكون منخفضة ضمن تشكيلة الأرك ولكنها ترتفع كثيراً في الجزء السفلي ضمن البئر 103 لتصل ل (18%). يعتبر حجم الغضار قليلاً ضمن تشكيلة الأرك. أما بالنسبة للإشباع تعتبر البئر102 البئر الخازنة للنفط ويصل الإشباع المائي فيها إلى (32%) ضمن تشكيلة الأرك، بينما الجزء العلوي من البئر103غير خازن، أما الجزء السفلي فهو قسم خازن ويصل الإشباع المائي فيه إلى (25%). في حين أن باقي الآبار إما جافة أو غير منتجة وذلك نتيجة المواصفات الخزنية الضعيفة.

تشكيلة الرطبة: تظهر باللون الأخضر ضمن الشكل (6-1)، ويُلاحظ أن سماكتها ضمن البئر102 عالية تصل ل (73 m) بينما تتناقص في البئر الجنوبي إلى (48 m). وتكون في الكتلة الغربية متفاوتة ففي البئر101 تصل ل (67 m)، وتنخفض في البئر103 كثيراً لتصل إلى (35 m)، وذلك بسبب ازدياد عمليات الحت النشطة ضمن سطح الانقطاع BKU نتيجة لموقع البئر في أعلى المحدب (Crestal).

يُلاحظ أن قيمة المسامية ضمن تشكيلة الرطبة تكون عموماً جيدة بمعدل (16%)، ولكن أفضلها كانت ضمن البئر103 حيث تصل ل (18%) و النفاذية فيها ممتازة. وبالتالي تعتبر تشكيلة الرطبة ضمن البئر103 ذات مواصفات جيدة أفضل من باقي الآبار. كما أن التشكيلة خازنة للنفط بشكل جيد ضمن البئر103 بإشباع نفطي (0.887)، ويقل الإشباع في البئر101، ولكنها تصبح مائية ضمن باقي الآبار. حجم الغضار له قيم أعلى مقارنة بتشكيلة الأرك حيث أن تشكيلة الرطبة تتميز باحتوائها على طبقات من الرمل المتعاقبة مع الغضار ببعض النطاقات، والذي يتوضع بشكل مبعثر إلى رقائقي وبالتالي كان له تأثير على الإنتاج حيث أدى إلى تناقص المسامية الفعالة. وبالتالي تعتبر تشكيلة الرطبة ذات مواصفات خزنية جيدة مقارنة بتشكيلة الأرك الضعيفة خزنياً.



شكل (6-1): مقطع للمضاهاة، تظهر فيه التشكيلات الخازنة ضمن حقل الرتكة.

١-٣- المقارنة مع نتائج شركة الفرات:

يُمكن القول إن اختلاف التفسير من شركة لأخرى، سيؤدي لاختلاف النتيجة وذلك حسب اختلاف رؤية المفسر، ولكن يشترط أن يكون التفسير منطقياً، ولا يغفل عن نقاط مهمة في الحقل حتى تكون النتائج متقاربة إلى حد ما أو تتمتع بنفس الموضوعية.

تمت مقارنة بعض النتائج مع الدراسات السابقة المنفذة من قبل شركة الفرات للنفط، كما هو موضح بالجدول (6-1)، ويجدر الإشارة إلى أن البرنامج الذي استخدم للدراسة ضمن شركة الفرات للنفط هو برنامج التفسير البتروفيزيائي (Techlog) بينما ضمن هذه الدراسة، وكما ذكر سابقاً استخدم برنامج Interactive Petrophysics V3.5 (IP) .

جدول(6-1): مقارنة بين القيم المحسوبة حالياً والدراسات السابقة لتشكيلة الرطبة.

تشكيلة الرطبة	الدراسة الحالية	الدراسات السابقة
المسامية الإجمالية للبئر101	0.168	0.19
المسامية الإجمالية للبئر103	0.157	0.18
الإشباع النفطي في البئر101	0.585	0.23
الإشباع النفطي في البئر103	0.887	0.81
N/G للبئر101	0.959	0.96
N/G للبئر103	0.96	0.931
الحد العلوي في البئر102	2081m	2096.23m

يفسر اختلاف قيم المسامية والإشباع نتيجة لاختلاف رؤية المفسر وتدقيق بعض القيم، وخصوصاً في البئر101. ويجدر ذكر أنه تم في هذه الدراسة الاعتماد على المسامية المأخوذة من القياسات الصوتية لأنها تعتبر الأدق في حال وجود التكهفات. وبالنسبة لحدود التشكيلة ضمن البئر102 فلقد تم تدقيق القيم مع التسجيلات البئرية حيث وجد اختلاف بينها وبين نتائج شركة الفرات.

❖ ثانياً: حساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة.

٢-١- تمهيد:

يُعرّف الاحتياطي بأنه إجمالي الكميات المتجمعة في مسامات الصخور الخازنة. ويتم عادة بحساب المخزون النفطي للمكمن قبل البدء بإنتاج الحقل، لذا يُعرف بالمخزون النفطي الاصلي (Oil in place) أو المخزون فقط، ويُمثل حجم الهيدروكربونات الأصلية التي تشغل المكمن قبل بدء المكمن بالإنتاج (Garb, 1995). ويُعتبر الاحتياطي خلاصة كل التفسيرات التي أجريت ضمن المنطقة، ولكنه يفتقر أيضاً للدقة نوعاً ما، وذلك بسبب الاخطاء التي تقع فيها التفسيرات الجيولوجية أو الجيوفيزيائية أو البتروفيزيائية.

٢-٢- أنواع الاحتياطي:

اقترحت تعريفات حديثة بشكل مترابط من قبل كل من جمعية مهندسي البترول ومؤسسة البترول الامريكية واتحاد جيولوجي البترول الامريكي لتقسيم الاحتياطات إلى مراتب عدة (Selley, 1985) وهي:

أ- الاحتياطي المثبت أو المؤكد (Proved reserves): وهو مقدار الهيدروكربونات التي تستخرج بدءاً من تاريخ أول الإنتاج فصاعداً، ويتحدد بتعميم واستكمال معطيات الآبار وتفسير المقاطع السيزمية بشكل دقيق، ويمكن أن تصل امكانية تقدير هذا النوع من الاحتياطي إلى(80%).

وهي تقسم إلى:

*احتياطي مطور ثابت Proved developed reserves وهي تلك الاحتياطات التي يتوقع استخراجها من الآبار الموجودة المحفورة.

* الاحتياطي المثبت الغير المطور Proved undeveloped reserves وهي تلك الاحتياطيات الإضافية التي يتوقع استخراجها من: الحفر المستقبلي للآبار، تعميق الآبار الموجودة إلى طبقات صخرية مختلفة.

ب- الاحتياطي المحتمل: هذا الاحتياطي يُقيّم باستكمال المعطيات اعتباراً من بئر واحدة في المساحة قيد الدراسة، وباستخدام المعطيات الجيوفيزيائية لبنية واحدة أو عدة بنيات

جيولوجية، وهي تقريبية غير أنها تعطي بعض الدلائل عن القيمة الاقتصادية للمنطقة، وبالتالي امكانية تقدير هذا النوع من الاحتياطي تتراوح بين (40-80%).

ت- الاحتياطي النظري: ويعني الحجم الغير متكشف والمقدر اعتماداً على معايير جيولوجية إقليمية بالمقارنة مع الاحتياطي المؤكد لأقاليم نفطية معروفة. وتبقى امكانية تقدير هذا النوع من الاحتياطي أقل من40%، ويمكن أن تتضاءل ايضاً، تبعاً للتصورات إلى (5-10%).

يمكن أن نميز بين نوعين مختلفين من الاحتياطي، حسب المعايير التقنية والاقتصادية:

- الاحتياطي العام: ويقصد به الحجم الكلي للفحوم الهيدروجينية المتراكمة في المنطقة والتي يمكن استثمارها جزئيا. ويرتبط هذا النوع بالمعرفة الجيولوجية للمنطقة وخاصة بهندسة المصيدة وبالحجم المشبع فيها وبالخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة، أي بتوزع الفحوم الهيدروجينية في الصخر وبالخصائص الفيزيائية والكيميائية للموائع.

- الاحتياطي القابل للاستثمار: وهو كمية الفحوم الهيدروجينية القابلة للاستخراج خلال مرحلة زمنية معينة، أو بتعبير آخر مجموع الكميات المتوقع إنتاجها خلال فترة تتراوح بين ١٠-٢٠سنة. ويرتبط هذا النوع من الاحتياطي بالمتغيرات التالية: الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة (وبخاصة النفاذية) وخصائص المائع، وطرائق الاستثمار، والنواحي الاقتصادية.

٢-٣- طرائق حساب حجم الهيدروكربونات للحقل النفطي:

هناك طرق عديدة لحساب الاحتياطي النفطي ومنها ما يتم قبل الحفر وبشكل تقريبي إلى الحسابات الأكثر تعقيداً بعد الحصول على المعطيات اللازمة، ومن أهم الطرائق المستعملة:

١. الطريقة الحجمية Volumetric method.
٢. طريقة موازنة المادة Material balance method،
٣. طريقة انخفاض الإنتاجية Production decline method.

تُستخدم الطريقة الأولى بعد استكشاف وتطوير الحقل، أما الطرائق الأخرى فتستعمل بعد مرور فترة زمنية على الإنتاج وتوفر بيانات عن تغيير ضغط المكمن مع الزمن، وتوفر بيانات كافية عن خواص الموائع المكمنية وبيانات الإنتاجية. (Selly, 1985).

٢-٤- استخدام الطريقة الحجمية لحساب المخزون النفطي:

تعتمد على حساب حجم المكمن بوساطة خرائط كنتورية تركيبية وخرائط السماكة، وباستعمال معادلات خاصة تمثل حجم المكمن وسماكته ومساميته ودرجة تشبعه بالماء ومعامل التقلص الحجمي للنفط. يُحسب المخزون النفطي الأصلي في المكان باستخدام المعادلة التالية:

$$STOIIP = GRV * \frac{N}{G} * \emptyset * (1 - Sw) * \left(\frac{1}{Bo}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6-1)$$

حيث أن:

STOIIP: Stock tank Oil Initially in Place (M^3)، ولحساب المخزون بالبراميل يتم ضرب النتيجة بـ (6.28).

GRV: حجم الصخور الكلية.

N/G: معدل السماكة الصافية إلى السماكة الكلية.

Sw: الإشباع المائي ضمن السماكة الصافية.

(1-Sw): قيمته تساوي الإشباع الهيدروكربوني Sh.

Ø: مسامية النطاق الهيدروكربوني ضمن السماكة الصافية للخزان.

Bo: معامل التكوين أو التقلص الحجمي للنفط (Reservoir barrel/ stock). لأن النفط يكون بصفات معينة عند ضغط وحرارة المكمن، وتتغير هذه الصفات عند انتقال الهيدروكربون إلى السطح نتيجة لانخفاض الحرارة والضغط، مما يؤدي لقلص حجم النفط وزيادة حجم الغاز.

تم حساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة في حقل الرتكة ضمن البئرين المنتجين (101،103)، وذلك لأن باقي الآبار كانت غير خازنة للنفط ضمن تشكيلة الرطبة. حيث تم حساب كل متغير من المعادلة على حده كما يلي:

- تحديد الحد الفاصل بين الماء والنفط (OWC oil water contact):

يُعد حد تماس النفط – الماء ويرمز له (OWC) المستوى الاعمق للنفط القابل للإنتاج. وتكون الحدود الفاصلة بين الماء والنفط حادة أو انتقالية. وتدل سطوح التماس المفاجئة على وجود مكامن نفوذة، في حين تدل الحدود التدريجية على نفاذية قليلة مع ضغط شعري عال (Selly, 1985). ويُحدد كما يلي:

- عن طريق قياسات المقاومية:

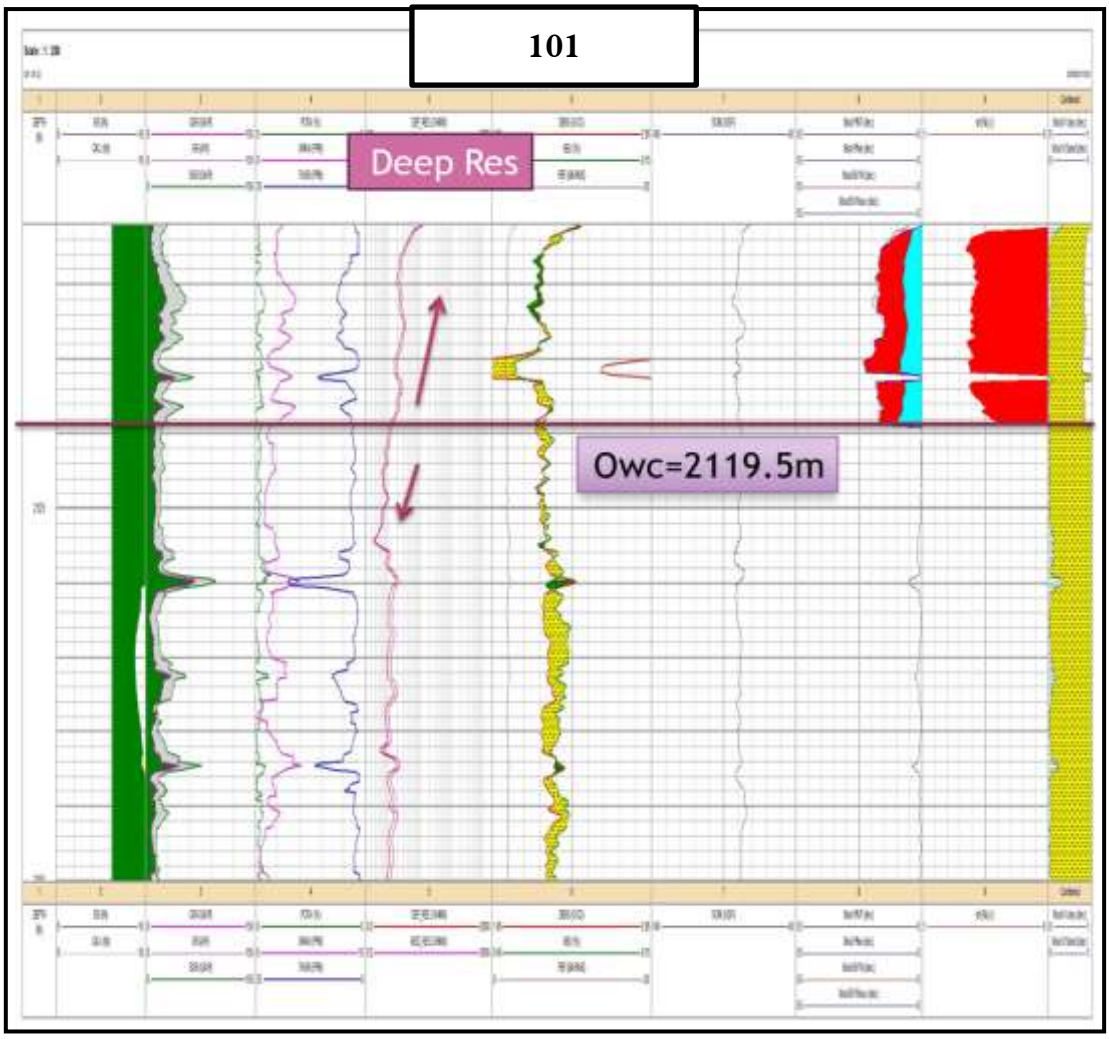
يتم الاعتماد على قراءة المقاومية العميقة التي تعطي قراءة سوائل الطبقة، عموماً القيم المنخفضة تدل على وجود الماء. والقيم العالية تدل على وجود الهيدروكربون أو الماء العذب.

- عن طريق قياسات الضغط الطبقي (RFT):

تعتمد على مبدأ أخذ عينات بمسافة 3m تقريباً، بأماكن إشعاعية (GR) منخفضة ومسامية أعلى ما يمكن ضمن طبقة الخزان (ضمن مناطق مأمولة بالنفط). حيث تؤخذ 3 عينات ضمن النفط و3 عينات ضمن الماء، ثم يتم رسم تدرج الضغط مع العمق الشاقولي الحقيقي أي الارتفاع عن سطح البحر(TVD True vertical depth). وتكون هناك قيمة معروفة لتدرج الماء ولتدرج النفط التي تتناسب مع كثافة السوائل، وبالتالي كلما زاد الميل دل على زيادة الكثافة. أي النقاط التي لها نفس الميل يكون لها وضع هيدروديناميكي واحد، أي نفس السائل. وبهذه الطريقة يتم تحديد مستوى الماء الحر (FWL Free water level) أعلى مستوى يكون فيه الماء بنسبة ١٠٠% وبدون وجود النفط. وفوق هذا الحد يبدأ ظهور النفط. وتتم مقارنة النتيجة مع قياس الإشعاعية الطبيعية GR والترابط بين النيترون والكثافة (N&D) للتأكد من وجود النفط أو الغاز. علماً أنه في بعض الاحيان يكون من الصعب تحديد الحد الفاصل بين النفط والماء نتيجة وجود طبقة غضار بينهما مثلاً، ولا تؤخذ ضمنها عينات وبالتالي يمكن أن يدل هذا على النطاق الانتقالي بين النفط والماء. أي أنه من خلال قياس الاختبار الطبقي (RFT) يمكن تحديد مستوى الماء الحر (FWL) والنطاق الانتقالي.

تم تحديد OWC حد التماس بين النفط و الماء في هذه الدراسة لتشكيلة الرطبة في بئري (101،103) على النحو الاتي:

<u>البئر 101:</u> تم تحديد خط التماس في تشكيلة الرطبة بشكل حدي من خلال قياس المقاومية التحريضية العميقة حيث يُظهر القياس قراءات عالية أمام الإشباعات الهيدروكربونية، وهبوط مفاجئ عند مستوى النفط – الماء لتأخذ قيماً منخفضة أسفل هذا المستوى مع ازدياد قيم التشبع المائي، وحدد المستوى على عمق يساوي (Depth=2119.5m =1878mss). (**الشكل 6-2**)



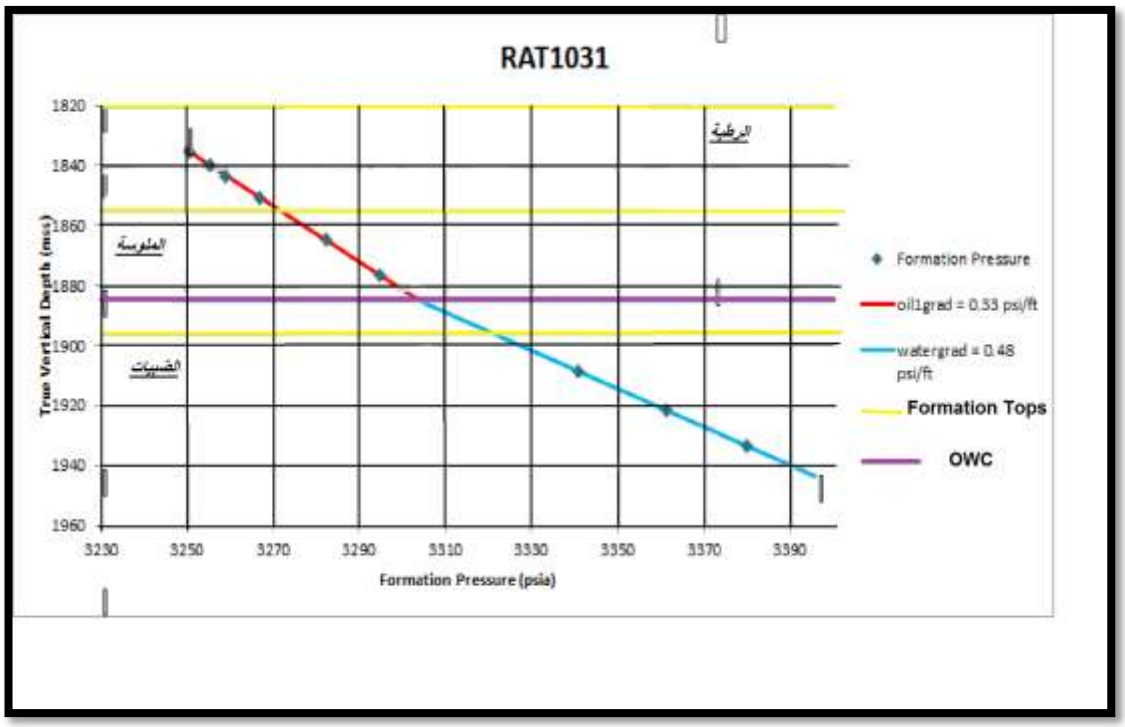
شكل (6-2): حد الماء- نفط لتشكيلة الرطبة ضمن البئر 101، من خلال قياس المقاومية العميقة.

البئر103: من خلال قياس الاختبار الطبقي (RFT)، حيث قامت شركة الفرات بتنفيذ هذا الاختبار وذلك بأخذ عينات من تشكيلة الرطبة والملوسة وكانت بتدرج نفط حوالي (0.33= Psi/ft)، وضمن تشكيلة الضبيات كانت بتدرج مائي حوالي (0.47 Psi/ft=)، وبالتقاطع بين تدرج النفط والماء يمكن الحصول على مستوى الماء الحر (FWL). **(شركة الفرات)**

من خلال الشكل(6-3) يتضح التقاطع بين تدرج النفط والماء ويمكن القول أن مستوى الماء الحر كان على عمق (Depth=2124.5m=1885.5mss) ضمن طبقة الملوسة الغضارية الرملية التي تتوضع تحت طبقة الرطبة الرملية، وبالتالي الخزان الموجود تحت هذا العمق يحتوي على الماء فقط، أما فوقه فيبدأ ظهور النفط ضمن الماء وتدريجيا تقل نسبة الماء (النطاق الانتقالي). كما أنه لم يُلاحظ وجود حد يفصل بين الماء والنفط ضمن تشكيلة الرطبة.

تمت مقارنة النتيجة مع استجابات السوابر البئرية، فوجد من خلال قياس المقاومية العميقة ارتفاع تدريجي في القيمة فوق هذا الحد وتناقص تحته. أما قياس الاشعاعية الطبيعيةGR وترابط الكثافة والنيوترون يُظهر وجود طبقة غضارية كتيمة فوق هذا الحد، لذلك لا يمكن تحديد الحد الفاصل بين الماء والنفط ضمنها بل يمكن القول أنه يوجد نطاق انتقالي فوق مستوى الماء الحر.

وبالمقارنة بين البئرين (101،103)، تم اختيار مستوى الماء والنفط (القيمة الوسطية) على عمق (Depth=2119.5m =1878mss).

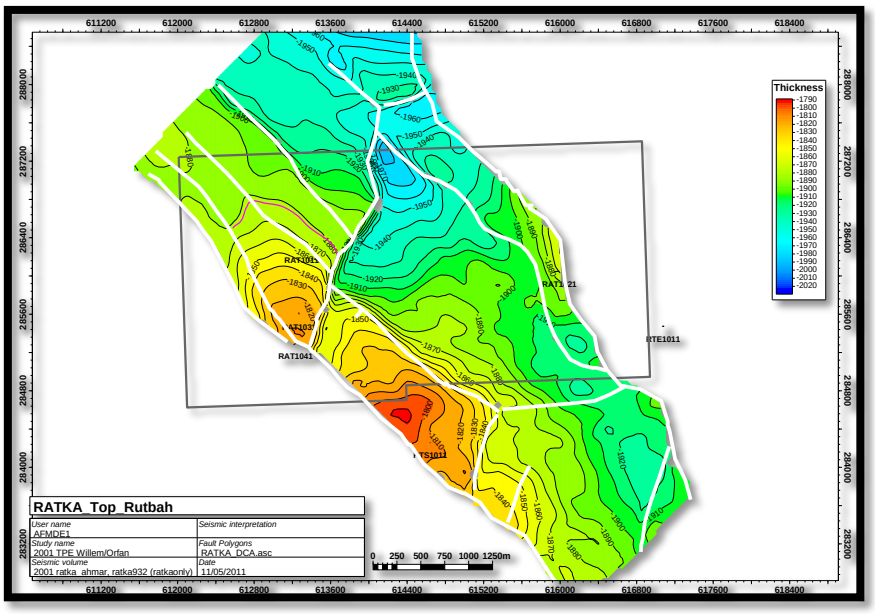


شكل (6-3): قياس RFT الضغط الطبقي للبئر103، محدد عليه أعالي التشكيلات والضغوط الناتجة عن القياس والحد الفاصل بين النفط والماء OWC.

- حساب حجم المكمن GRV:

لحساب حجم المكمن يتم بناء خرائط جيولوجية تركيبية، وتستخدم معادلات خاصة لحساب حجم المكمن ومنها معادلة (Simpson) وقاعدة شبه المنحرف وقاعدة الهرم، ويتم رسم خرائط السماكة بعد توفر المعلومات الكافية عن اختلاف السماكة الحقيقية لصخور المكمن من قياسات الآبار. يتم رسم الخرائط بعد توفر بيانات عن أعماق السطح العلوي والسفلي للطبقة عن سطح البحر. تُرسم الخرائط الكونتورية لطبقة ما بحساب ارتفاعها بالنسبة لسطح البحر في الآبار المختلفة.

تم حساب حجم الصخور الخازنة من قبل شركة الفرات للنفط حيث رُسمت خرائط كنتورية لتشكيلة الرطبة وعن طريق جهاز البلانوميتر حُسبت المساحة بين أعلى التشكيلة ولحد خط تماس ماء–نفط (OWC) المساوي إلى (Depth=2119.5m=1878mss) لآبار منطقة الدراسة. وتم استخراج حجم الصخور الحاوية على النفط ضمن الرطبة فوجد أنه مساوي إلى (GRV= 32.647×10^6 m^3) لآبار منطقة الدراسة في حقل الرتكة. **(الشكل 6–4)**



شكل (6–4): خريطة تركيبية لتشكيلة الرطبة لتحديد حجم الصخور المكمنية (شركة الفرات).

- **الخواص البتروفيزيائية للصخور:**

بغية استكمال حساب بقية المتغيرات المطلوبة لحساب الاحتياطي النفطي يجب معرفة المستوى الحدي (cut off) للمسامية والإشباع وحجم الغضار، ومعرفة السماكة الكلية إلى الصافية (N/G)، وحساب المعدل الوسطي للمسامية والإشباع المائي.

- المسامية الحدية (Cut off): هي أقل قيمة للمسامية ضمن التشكيلة الخازنة التي تسمح للنفط بالحركة خلالها، وما دونها لا يمكن للتشكيلة أن تصنف منتجة، حتى في حال كانت خازنة للنفط.

- القيمة الحدية للإشباع المائي: يؤثر وجود الماء ضمن مسامات التشكيلات الخازنة للنفط على الإنتاج وذلك بسبب حركية الماء. لذلك يتم تحديد قيمة حدية لكل تشكيلة بما يتوافق مع المواصفات الخزنية للتشكيلة وللنفط الموجود بمساماتها.

إن تحديد قيمة المسامية الحدية والقيمة الحدية للإشباع المائي تتطلب اجراء قياسات للنفاذية والمسامية على اللباب الصخري ولكن ضمن منطقة الدراسة لم يتم أخذ قياس على اللباب. ولذلك لم يتم تحديد قيمة حدية ضمن شركة الفرات لهذا الحقل.

- أما القيمة الحدية لحجم الغضار: وهي أقل قيمة لحجم الغضار والتي تسمح للتشكيلة الحاوية على الغضار بإنتاج النفط. وهي تعتمد على كيفية توضع الغضار حيث أن الغضار الرقائقي له تأثير على المسامية الفعالة، أما الغضار المبعثر فله التأثير الأعظمي حيث يعمل على تقليل المسامية بشكل كبير ويحد من استخراج النفط. ولقد تم الاعتماد في هذا الدراسة على الحد 50% المحدد من قبل شركة الفرات للنفط ضمن حقل الرتكة. وبالتالي إذا كانت الطبقة حاوية على نسبة الغضار أكثر من (50%)، لا يتم احتسابها من السماكة الصافية للخزان.

أولاً: تحديد السماكة الصافية إلى الكلية (Net/Gross).

(Gross) السماكة الكلية: وهي كامل سماكة التشكيلة الخازنة، أي المسافة العمودية من قمة الخزان النفطي إلى مستوى تماس النفط – الماء وقد يتغاير هذا السمك من متر واحد إلى مئات الامتار وليس بالضرورة أن تتكون كل السماكة الكلية من خزان منتج، لذلك يتم تمييز السماكة الكلية (Gross) عن السماكة الصافية (Net).

(Net) السماكة الصافية: هي مجموع سماكات النطاقات الحاملة للنفط ضمن التشكيلة الخازنة، أي السماكات النفوذة والمسامية الحاوية على الهيدروكربون، لأن معظم التشكيلات تحوي ضمنها نطاقات لا تتمتع بصفات بتروفيزيائية تؤهلها لأن تكون خازنة، كما هو الحال إذا احتوت التشكيلات الرملية على نطاقات غضارية. وفي العديد من الحقول تكون السماكة الصافية أقل بشكل ملموس من السماكة الكلية. ويعزى الفرق بينهما إلى عاملين هما المسامية الأولية التي ترسب بها الصخر والعمليات اللاحقة التي أثرت على المسامية الأولية (Selly, 1985). كما أن زيادة نسبة الغضار ضمن التشكيلة يؤدي لانخفاض نسبة السماكة الصافية لأن الغضار

غير خازن وبالتالي فإن قياس الإشعاعية الطبيعية (GR) يساعد في تحديد السماكة الصافية بمعرفة سماكة المستويات الغضارية.

تم في هذه الدراسة من خلال برنامج IP، بعد تحديد مستوى تماس ماء – نفط، حساب السماكة الكلية ومعدل السماكة الصافية إلى الكلية (N/G) لتشكيلة الرطبة المنتجة ضمن بئري الرتكة (103، 101). **(الجدول 6-2)**

جدول(6-2) معدل السماكة الكلية والصافية والنسبة بينهما لتشكيلة الرطبة ضمن أبار منطقة الدراسة.

رقم البئر	السماكة الكلية Gross(m)	السماكة الصافية Net pay(m)	السماكة الصافية إلى الكلية (N/G)
البئر 103	35	33.61	0.96
البئر101	13.5	12.95	0.959
الوسطي Average			0.96

ثانياً: حساب المعدل الوسطي للمسامية والإشباع المائي.

يتم حساب المعدل الوسطي المسامية والإشباع المائي اعتماداً على قيمها المحسوبة من السوابر البئرية. إذ يتم حساب المعدل الوسطي للمسامية تبعاً **للسماكة** حسب المعادلة التالية:

$$\emptyset \text{ average} = (\sum \emptyset i * hi)/\sum \emptyset i \quad \text{.....(6-2)}$$

حيث أن:

$\emptyset$ average: المعدل الوسطي للمسامية.

$\emptyset i$: المسامية المحسوبة من السوابر.

hi: السماكة الصافية.

أما وسطي الإشباع المائي لآبار منطقة الدراسة تم ضمن البرنامج لكل بئر ضمن السماكة الصافية من خلال المعادلة التالية :

$$\text{Sw average} = \frac{\sum \text{Øi} * \text{hi} * \text{Swi}}{\sum \text{Øi} * \text{hi}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6-3)$$

حيث أن:

Sw average: المعدل الوسطي للإشباع المائي.

Swi: الإشباع المائي المحسوب من التفسير البئري.

من خلال برنامج التفسير البتروفيزيائي IP تم حساب المعدل الوسطي للمسامية لبئري منطقة الدراسة ضمن السماكة الصافية لتشكيلة الرطبة باستخدام المعادلة (3-6)، فكان المعدل الوسطي للمسامية للبئر 103 مساويا إلى (0.157)، وضمن البئر 101 مساوياً إلى (0.168)، وبالتالي المعدل العام الوسطي للمسامية ضمن تشكيلة الرطبة يساوي (0.16).

كذلك حُسب الإشباع المائي لبئري المنطقة، حيث كان وسطي الإشباع المائي للبئر 101 يساوي (0.415)، وللبئر 103 يساوي (0.113). ولكن تم استخدام قيمة الإشباع المائي للبئر 103 باعتبار أن قيمته تمثل تشكيلة الرطبة ضمن الحقل وتساوي (0.113) أي أن الإشباع النفطي يساوي (0.887). وبسبب أن البئر 101 يفتقر إلى الدقة نوعاً ما.

يُبين الجدول(6-3) سماكة النطاقات المسامية والمشبعة بالنفط ضمن كل بئر حيث يوضح المواصفات الخزنية ضمن البئر 103، التي تعتبر أفضل من البئر 101.

جدول(6-3): سماكة القسم المسامي والمشبع بالهيدروكربون وسماكة الغضار ضمن آبار الدراسة.

رقم البئر Well No.	السماكة الصافية Net(m)	سماكة الجزء المسامي Phi*H (m)	سماكة القسم المشبع بالنفط PhiSo*H(m)	سماكة الغضار Vcl*H(m)
البئر 103	33.61	5.29	4.7	6.27
البئر 101	12.95	2.18	1.27	0.53

٢-٥- حساب المخزون النفطي:

تم حساب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة السفلية في حقل الرتكة لبئري (101،103). وذلك بعد معرفة الصخور الحاوية على النفط ومعدل السماكة الصافية إلى الكلية، ومتوسط المسامية ومتوسط الإشباع المائي (**جدول 6-4**). أما معامل التقلص الحجمي للنفط (Bo) فكان مساوياً إلى (1.2). وقد تم تطبيق المعادلة (1-6) لحساب الاحتياطي النفطي الأصلي في المكان فكان مساوي ل (24.247) مليون برميل.

جدول(6-4): البارامترات المستخدمة لحساب الاحتياطي النفطي في تشكيلة الرطبة.

Stoiip	Bo	معدل الإشباع النفطي	معدل المسامية	N/G	GRV
24.247	1.2	0.887	0.16	0.96	32.647*10^6

الفصل السابع

النتائج والتوصيات

❖ تشكيلة الأرك:

- بالاعتماد على القياسات البئرية والملاحظات على الفتات تبين أن تشكيلة الأرك عبارة عن تشكيلة كربوناتية مع سيادة الكالسيت وقلة الدولوميت، وذلك يدل على قلة تأثير عملية الدلمتة، وهي تعتبر تشكيلة كتيمة ذات مواصفات خزنية ضعيفة بشكل عام، حيث المسامية قليلة إلى معدومة إضافة إلى سيادة المسامية الأولية وقلة المسامية الثانوية، وهذا يدل على قلة العمليات المؤثرة على الصخر بعد تشكله مثل الدلمتة أو الانحلال.

- وجود الغضار يعتبر قليل ضمن التشكيلة وبشكل رقائقي إلى مبعثر، وبالتالي كان له أثر في تخفيض المسامية الفعالة.

- بالاعتماد على القياسات تم تقسيم تشكيلة الأرك إلى قسمين في البئر103، حيث القسم السفلي يتميز بمسامية أكبر من القسم العلوي، أما في باقي الآبار فلا يوجد اختلاف في التشكيلة.

- المسامية الكلية الإجمالية حوالي (0.09) والمسامية الفعالة (0.08)، وحجم الغضار(0.052).

- تُعتبر التشكيلة في البئر102 خازنة للنفط ولكن بمواصفات خزنية ضعيفة بمسامية فعالة (0.08) وبإشباع نفطي يصل ل (68%) وبنسبة الصافي إلى الإجمالي حوالي(96%). أما في البئر103 فهي أيضاً ذات مواصفات خزنية سيئة، ولكنها تتحسن في الجزء السفلي بمسامية تصل إلى (0.19)، ويلاحظ زيادة قيمة المسامية الثانوية ضمن هذا النطاق وبإشباع نفطي يصل ل (75%)، أما في البئرين101 والبئر 101S فهي تشكيلة غير خازنة للنفط وبمواصفات سيئة.

❖ **تشكيلة الرطبة:**

- تشكيلة رملية غضارية بمواصفات خزنية جيدة حيث أنها تتمتع بنفاذية ممتازة، وبمسامية كلية جيدة تصل إلى (0.15)، وبمسامية فعالة (0.13)، ويتواجد الغضار بنسبة(0.19%). كما أن توضع الغضار كان بشكل مبعثر إلى رقائقي وبالتالي أثر على الإنتاج نتيجة تناقص المسامية الفعالة.

- بناءً على التفسيرات البئرية تم تقسيم التشكيلة ضمن البئر103 إلى قسمين علوي وسفلي يختلفان بكمية الغضار، حيث أن الجزء السفلي ازدادت فيه نسبة الغضار والمسامية الغير فعالة وأصبحت ذات مواصفات خزنية أقل.

- التشكيلة تعتبر خازنة في البئر103 وبسماكة تصل إلى (35m) وبمواصفات ممتازة الإشباع النفطي فيها (0.887) ضمن كامل التشكيلة، المسامية فعالة ضمن منطقة الخزان (0.157)، نسبة (N/G) الصافي إلى الإجمالي 96%. وفي البئر101 تعتبر ذات مواصفات خزنية جيدة ولكن نسبة الإشباع النفطي أقل وتصل إلى (60%)، كما أن سماكة التشكيلة تصل إلى (67m) ولكن فقط الجزء العلوي منها حاوي على النفط. بينما في البئرين 102 والبئر101S فكانت التشكيلة مائية.

❖ تشكيلة الرطبة ضمن الرتكة تعتبر تشكيلة خازنة وبمواصفات ممتازة وباحتياطي جيد ضمن البئر 103 بشكل أساسي بينما تشكيلة الأرك فهي تعتبر ذات مواصفات خزنية ضعيفة.

❖ ضمن الآبار الخازنة والتي حسبت منها نسبة الاحتياطي لتشكيلة الرطبة كان المعدل الوسطي للمسامية حوالي (0.15). والمعدل الوسطي للإشباع المائي حوالي (0.113). ونسبة السماكة الصافية إلى الكلية الإجمالية كانت (0.96).

❖ تم تحديد خط تماس ماء – نفط (OWC) من خلال قياس المقاومية ضمن تشكيلة الرطبة في البئر101 بحدود (2119.5 m)، بينما في البئر103 فتم من خلال قياس RFT الاختبار الطبقي تحديد مستوى الماء الحر (FWL) الحد الذي لا يوجد بعده نفط وكان بحدود

(Depth=2124.5m=1885.5mss) ضمن تشكيلة الملوسة. وبالتالي اعتمد على الحد (2119.5 m) على أنه حد تماس ماء– نفط ضمن الرطبة.

❖ تم حساب قيمة المقاومية المائية (Rw) لكل بئر من خلال مخططات Picket plot التي تربط بين المسامية الفعالة والمقاومية العميقة وقيم الاشعاع الطبيعي، وتم استخدام القيمة (Rw= 0.016) كقيمة ممثلة للآبار بينما في البئر 101 استخدمت القيمة (0.033).

❖ حُسب الاحتياطي النفطي لتشكيلة الرطبة الخازنة ضمن البئرين (103، 101)، وكان حوالي 24.24 مليون برميل.

التوصيات:

❖ إجراء دراسة لإمكانية تحويل البئر 101 إلى بئر حقن للبئر 103، وذلك بسبب وجود البئر 103 في قمة المحدب، وبالتالي هذا سوف يسهل عملية الحقن.

❖ دراسة جيولوجية بتروفيزيائية تربط تركيب الرتكة مع الحقول المحيطة به لدراسة امكانية حفر آبار أخرى في المنطقة المحيطة. مع التأكيد على محاولة تجنب المشاكل التي وجدت ضمن حقل الرتكة، والتي تمثلت بعدم وجود أكوار تساهم بدعم المعلومات، إضافة إلى وجود أخطاء في اختيار سائل الحفر، والذي أدى إلى وجود تهدم كبير في أحد الآبار وعدم دقة القياسات.

References – المراجع

المراجع العربية:

١- التقارير النهائية لحقل الرتكة، شركة الفرات للنفط، دمشق.

٢- رماح. سليمان، والعجي. علي. 2011. "القياسات الجيوفيزيائية البئرية". جامعة دمشق.

٣- شلمبرجير .1991. "تفسير التسجيلات البئرية ، مبادئ وتطبيقات" (فارس سلوم شقير، مترجم).

٤- القاضي. محمد، (2003). "جيولوجية النفط". جامعة دمشق.

٥- محمد. رامي، 2009. "دراسة ترسيبية وبتروفيزيائية لتشكيلة الرطبة في منخفض الفرات". جامعة دمشق.

المراجع الأجنبية (English References):

1-Brew. G, Litak. R, Barazangi. M, & Sawaf. T. 1999. " Tectonic Evolution of Northeast Syria: Regional Implication and Hydrocarbon Prospect ".GeoArabia, (Vol.4, No.3). Gulf Petrolink, Bahrain.

2-Brew.G, Barazengi. M, Al-Maleh. KH, Sawaf. T, 2001. "Tectonic and Geologic Evolution of Syria". GeoArabia, (Vol.6, No. 4). Gulf Petrolink, Bahrain.

3-Garb. F. A, 1985. "Oil and Gas reserves, classification, estimation and evaluation".

4-Litak. R, Barazengi. M, Brew. G, Sawaf. T, Al- imam. A, And Al-Yousef. W. 1998. ""Structure and Evolution of the Petroliferous Euphrates Graban System, Southeast Syria". GeoArabia, (V. 82, No. 6).

5-Rider. M. 2002. "The geological interpretation of well logs". (2^{nd} ed).

6-Selley. R. C. 1985. "Elements of petroleum Geology". W. H. Freeman, New York.

7-Shaban. F. N. R, 2008. " Reservoir characterizations of the cretaceous upper Qamchuqa formation in Taq Taq oil field, Kurdistan Region, Northeast Iraq".

8- Schlumberger. 1989. "Interpretation principle/ Application".