الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

دراسة الخصائص البتروفيزيائية لبعض التشكيلات الخازنة في حقل الرتكة – منخفض الفرات

مشروع تخرج أعد لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إعداد الطلاب

عبد الرحمن محمود النويلاتي محمد مضر وائل حمدون

إشراف

الدكتور محسن سعيد

2025-2024


بسم الله الرحمن الرحيم

عبد الرحمن محمود نويلاتي

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى:
(يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ)
[سورة المجادلة: 11]

وقال رسول الله ﷺ:
« مَن سلك طريقاً يلتمس فيه علماً، سهّل الله له به طريقاً إلى الجنة »
[رواه مسلم]

في بداية هذا المشروع، أتوجه بخالص الحمد والشكر لله تعالى، الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله وكرمه تنال الغايات.

إلى من كان دعاؤها سر نجاحي، ومعنى الحب والحنان والتفاني، إلى بوصلة الحياة وسر الوجود، أمي الغالية **رشا رياض دياربكرلي**، وجودي في الحياة فداء لها، ملاكي في الحياة، رمز التضحية والصبر... وستظل كل خطواتي في هذه الحياة موجهة نحو سعادتها، وسأجعل من نجاحي وسيرتي في هذه الدنيا شاهداً على أن ابنها لم ينسَ، ولن ينسى يوماً ما قدمته من عمرها لأجله

ولا أنسى أن أترحم على روح والدي الطاهرة **محمود عبدالغني نويلاتي**، الذي غيّبه الموت عني جسداً، لكنه باقٍ في قلبي وذاكرتي، حاضر في كل خطوة ونجاح، وأسأل الله أن يجعل هذا العمل نوراً يُهدى إلى قبره، ورفعةً في درجاته، وصدقةً جارية في ميزان حسناته

إلى شريكي في حلمي وطموحاتي منذ الطفولة، وكان لي عوناً في حياتي، وجوده حولي مصدر الطمأنينة والقوة، أخي الغالي **عبد الله محمود نويلاتي**

وإلى أختي العزيزة التي كانت دائماً بجانبي، بكلماتها الطيبة وقلبها الكبير، ودعاؤها لي كان عزائي في أوقات التعب، أختي حبيبتي **غالية محمود نويلاتي**

إلى عماد عائلتي، المرحوم **رياض ديار بكرلي**، الذي ترك في قلبي إرثاً من الحكمة والعدل الذي أعتزّ به ... ليتك كنت بجانبي

إلى جدتي الغالية لكنتي دوماً القلب الذي ينبض بعائلتي، وكانت شخصيتك القوية وحضورك المهيب وساماً نعتز به، بنا لنا قوة الشخصية والثبات والإصرار... جدتي الغالية **رويدا الجراح**

ولا يفوتني أن أذكر بكل محبة وإخلاص أصدقائي وزملائي الذين شاركوني هذه المرحلة بكل تفاصيلها، فكنا معاً عوناً وسنداً لبعضنا البعض، وأسأل الله أن يوفقنا جميعاً في مستقبلنا القادم

كما أتوجّه بالشكر والتقدير إلى أساتذتي الأفاضل في الجامعة السورية الخاصة، الذين كان لهم فضل بعد الله في تعليمي وتوجيهي، فلكم مني كل الاحترام والعرفان والتقدير.

مضر وائل حمدون

* عندما يكون الإهداء ليدٍ نهضت بي وبحلمي عند كل لحظة ركود.. الحبيبة وظل قلبي في كل طريق أمشيه.. لكل لحظة وثقت فيها بحلمي لك الحلم والإنجاز..

إليكِ أمّي

* الجناح الآمن الذي حلق بنا مع كل صوتٍ نادى «أبي» إلى الجبهة ذات النور والبركة.. من وصل طريقنا بالرضى والامتنان حدّ فخرنا بأنه الوالد والسند..

إليك أبي

* رفيقة أيامي منذ علمت أن قطعة سكر سكنت بيتنا..

إلى أختي إيلين

قمر ليلي عندما يغيب في السماء قمرٌ

إلى أختي نجاح

الزاوية الأحن في يومي وشغفي..

إلى أختي ربا

* إلى غيمة تظللني وتقيني دون رغبة بردّي لجميلها..

إلى الأيدي التي تمد لي العون عندما أتعثر وتدفعني للمقاومة كل هذه الأشياء التي تستدعي للسقوط..

إلى عائلتي

* إلى روح حلّت علينا ضيفاً كحمامة سلام.. ذهبت وبقي صدى دعواتها لنا بأن نكون أفضل من أمس لنليق بغد.. إلى من ذهب لجوار الرحمن وذكراهم في قلوبنا..

إلى روح (جدي وليد، جدي سليمان، تيتة سعاد، عمي باسل، خالي علي)

* إلى رفاق الخطوة الأولى والخطوة ما قبل الأخيرة.. إلى من كانوا خلال السنين العجاف سحاباً ممطراً، أنا ممتن..

إلى أصدقاء العمر (زكريا مكتبي، عبد الكريم بدور، محمد السواح، بشار سكر، محمد سكر، محمود هبج، حمادة هبج، هادي كناكري، مهدي كتابي، علي عيسى، علي سعود، علي حويجة، حمزة سعود، عبد الرحمن نويلاتي، شوكت حيدر، يزن المرعي، دانا أتاسي، شام حمشو، ديانا الجي).

* قدوة كل طالب علمٍ وسور حلمه.. الأيدي المرشدة المخلصة.. الناضجة والمقدرة دائماً.. مشرفو الخطوة وقادتها..

إلى دكاتري الأفاضل

شكر وعرفان

﴿ربي أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت عليّ وعلى والدي وأن أعمل صالحاً ترضاه وأدخلني برحمتك في عبادك الصالحين﴾

[سورة النمل:19]

الحمد لله الذي يسّر لي البدايات وأكمل لي النهايات وبلغني الغايات ما انتهى درب ولا ختم جهد ولا تم سعي إلا بفضل الله فالحمد لله عند البدء والختام.

من لا يشكر الناس لا يشكر الله، إذا كان لا بد من الشكر فإننا لا نبالغ إن قلنا أن الكلمات لا تكفي مهما ثقلت معانيها، فمن باب العرفان بالفضل أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير إلى دكتوري الفاضل:

الدكتور: محسن سعيد

الذي كان عوناً وسنداً لي في كل أطوار مسيرتي الجامعية ولم يبخل عليّ بنصائحه وإرشاداته وتوجيهاته السديدة، وكذلك صبره وحرصه الدائم لإتمام هذه المناقشة في أحسن الظروف، كما أحيي فيه روح التواضع والمعاملة الجيدة، أطال الله في عمره وجعله في ميزان الحسنات ودوام الصحة والعطاء.

المحتويات

- المقدمة 2
- معلومات عامة 3
- الفصل الأول: منخفض الفرات 4-8
  - التشكيلات النفطية في منخفض الفرات. 6-8
- الفصل الثاني: 9-15
  - أهداف الدراسة 9
  - منطقة الدراسة 9
  - الوضع الجيولوجي والمعطيات الليثولوجية للتركيب 10
  - التشكيلات الخازنة في حقل الرتكة 12-13
  - تشكيلة الأرك الكربوناتية 12
  - تشكيلة الرطبة الرملية 12-15
- الفصل الثالث: الصخور الخازنة وخواصها البتروفيزيائية. 16-21
- الفصل الرابع: الخواص الخزنية للصخور الخازنة. 22-28
  - المسامية. 22-24
  - النفاذية. 24-26
  - الإشباعات. 26-28
- الفصل الخامس: القياسات البئرية المستخدمة وآليات القياس. 29-34
- الفصل السادس: حقل الرتكة: أسس التفسير، تسلسل خطوات التفسير 35-50
- النتائج. 51-52

المقدمة (Introduction)

تناول هذا المشروع دراسة الخواص البتروفيزيائية والصفات العامة للتشكيلات الخازنة في حقل الرتكة. تم التركيز على تشكلتي الأرك والرطبة حيث استخدمت نتائج القياسات البئرية المنفذة من قبل شركة شلمبرجير لصالح شركة الفرات للنفط ضمن حقل الرتكة كما استخدمت أيضاً معطيات ونتائج التفسير البتروفيزيائي IP Interactive Petrophysicis V. 3.5 للآبار المحفورة في الحقل . بشكل عام تتميز بعض التشكيلات بمواصفات بتروفيزيائية تؤهلها لتكون صخور خازنة بامتياز، سواء كانت تشكيلات الرملية أو كربوناتية تختلط أحياناً بنسب غضارية، حيث تلعب هذه النسبة دوراً سلبياً في التأثير على المواصفات الخزنية، ويتغير هذا التأثير حسب نسبة الغضار ونوعه ونمط توضعه.

تمت دراسة تشكيلتي الأرك والرطبة من خلال معطيات أربعة آبار، حفرت في حقل الرتكة، وتم تسليط الضوء على دور الغضار والتغيرات التي تؤثر على الجودة الخزنية والقدرة الإنتاجية للتشكيلات المذكورة.

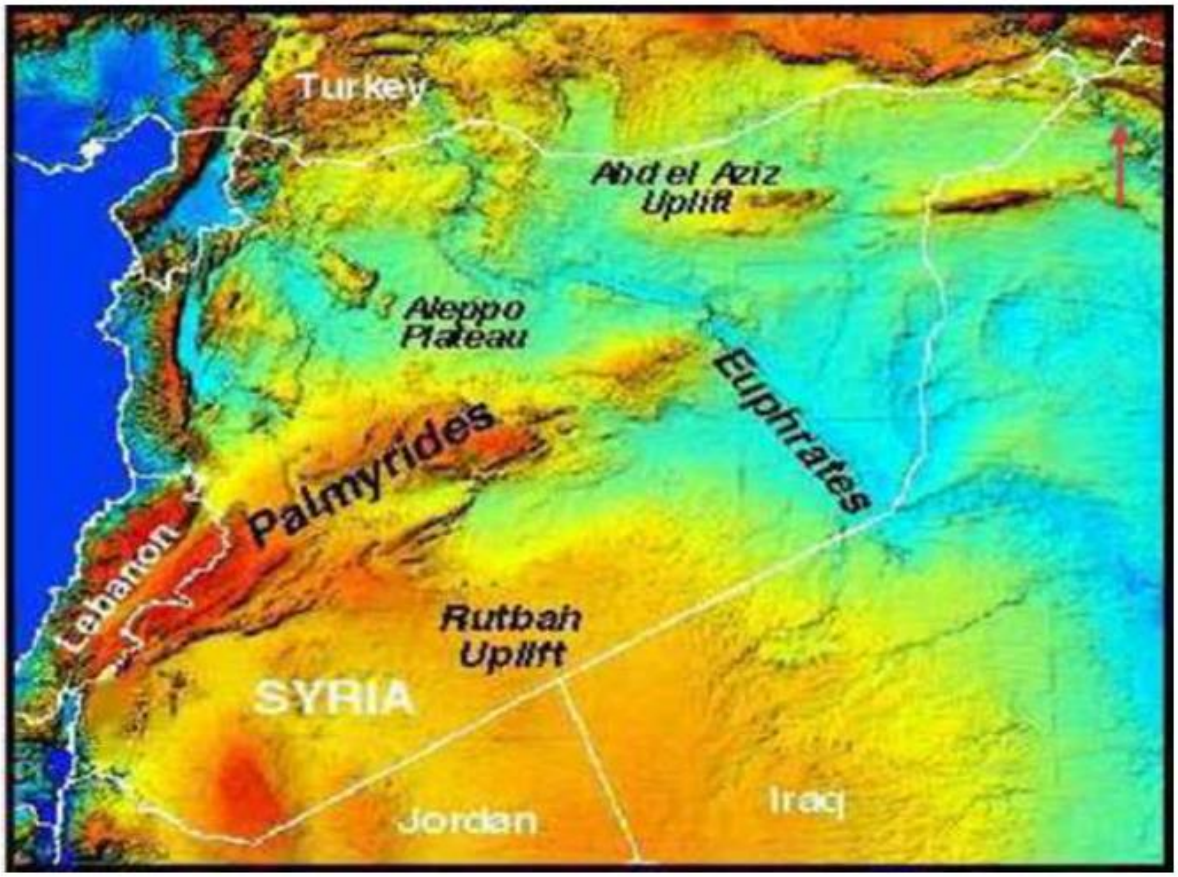
كما يمكن أن تدرس خواص الصخور المخترقة في الآبار، بطرائق مباشرة عن طريق الشرائح المجهرية المأخوذة من اللبابات الصخرية (Cores)، وتكون نتائجها دقيقة وواقعية، ولكن لا تتوفر الإمكانيات دائماً لأخذ اللبابات من البئر أثناء الحفر، وبسبب كلفة هذه الطريقة مقارنة مع كلفة طريقة القياسات الجيوفيزيائية البئرية يتم اللجوء إلى طريقة القياسات الجيوفيزيائية البئرية كطريقة أسرع وأشمل وأكثر اقتصادية.

تعتمد هذه الطريقة على تحديد مواصفات التشكيلة عن طريق قياس بعض الخصائص الفيزيائية (مقاومية – كثافة – نشاط إشعاعي... إلخ)، والتي تمكننا من تحديد الخواص الخزنية للتشكيلات المدروسة، فيما تلعب دقة المفسر ومعرفته بطبيعة المنطقة الدور الأساسي وصحة نتائج التفسير.

معلومات عامة

تظهر خارطة الجمهورية العربية السورية وجود جزئين بنيويين مختلفين في سوريا هما: الجزء الداخلي المستقر وهو ذو بنية معقدة، ويضم نهوض الأردن، منخفض جبل العرب، نهوض الرطبة.

والجزء الخارجي غير المستقر 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.



الشكل (1): خارطة سورية محدد عليها الوحدات التكتونية الأساسية في سورية، تظهر المناطق الأكثر ارتفاعاً باللون الأحمر الغامق مع التدرج باللون حتى اللون الأزرق الذي يمثل المناطق الأكثر انخفاضاً.

(بحسب الشركة السورية للنفط)

الفصل الأول

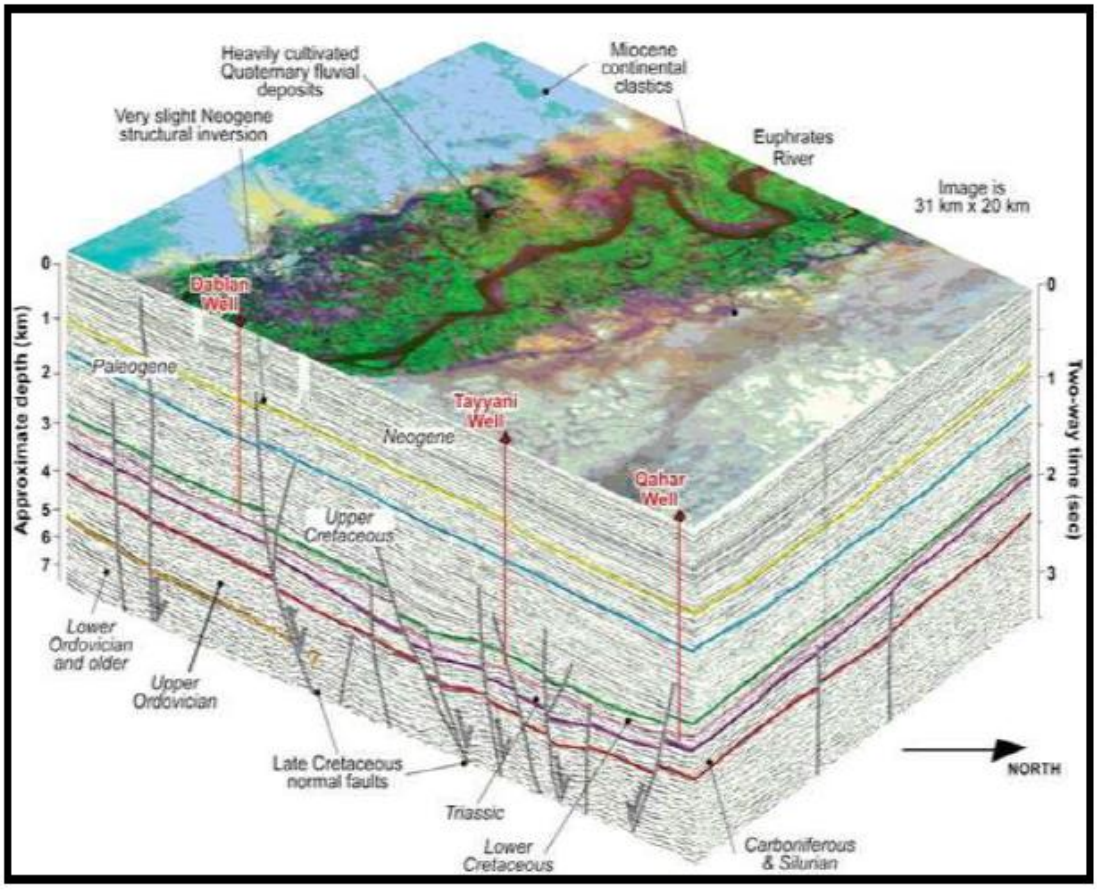
منخفض الفرات (Euphrates Graben)

تقع منطقة الرتكة ضمن منخفض الفرات، الذي يعتبر من الأحواض الانخفاسية في سوريا، وهو عبارة عن بنية ضمن قارية ذات اتجاه (شمال غرب – جنوب شرق)، تتشكل في الجزء الشمالي من الصفيحة العربية.

يمتد منخفض الفرات بطول 160 كم، وبعرض ما بين 90 – 120 كم، وتصل سماكة الغطاء الرسوبي فيه إلى عدة كيلومترات، ويتضمن عدة تشكيلات خازنة للهيدروكربون، مما يعطيه أهمية بالغة من الناحية الاقتصادية.

يجاور هذا المنخفض من الجنوب نهوض الرطبة (المستقرة)، ونهوض الروضة الذي يقع إلى الشمال الشرقي منه، نشأ هذا المنخفض نتيجة النشاط التكتوني في الفترة الممتدة ما بين الكريتاسي الأوسط إلى الكريتاسي المتأخر (الأعلى). ينتشر في هذا المنخفض مجموعة كبيرة من الفوالق العادية، تختلف رمية كل منها حسب النشاط التكتوني الذي تعرضت له، يزداد عمق المنخفض بالاتجاه الشمالي الغربي أي بعيداً عن نهوضي الروضة والرطبة، ويتكون من مجموعة من الكتل (البلوكات) المنفصلة عن بعضها البعض بفوالق (شمال غرب – جنوب شرق)، تتميز برميات كبيرة في القسم الجنوبي الشرقي.

وتبين الدراسات السيزمية المتعددة التي نفذت في هذا المنخفض بعد ربط المعطيات على شكل نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) تناوب الطبقات والفوالق التي تضرب المنطقة بكثافة وباتجاهات عديدة، والتي كان لها الدور الرئيسي بتشكيل المصايد النفطية كما في الشكل (2).



الشكل (2): نموذج ثلاثي الأبعاد للبنية تحت السطحية لمنخفض الفرات.

(بحسب الشركة السورية للنفط)

يعد منخفض الفرات أحد أهم البنيات الجيولوجية الهامة من الناحية الاقتصادية في أراضي الجمهورية العربية السورية، والذي تميز كما ذكرنا بشبكة من الفوالق أدت إلى تشكيل الحقول والمصايد النفطية الفالقية، بحيث تتوزع الخزانات النفطية في مجموعة من التشكيلات تختلف فيما بينها ليثولوجياً وسحنياً. وتعد تشكيل الرطبة بخواصها البتروفيزيائية وامتدادها في معظم حوض الفرات من أهم التشكيلات الخازنة والمنتجة للنفط في تلك المنطقة، والتي تشكل بجزئيها السفلي الناتج عن انسحاب (انحسار) بحري والعلوي ناتج عن تجاوز (طغيان) متوالية رسوبية تبدأ بشكل رئيسي برسوبات من الحجر الرملي، وتنتهي بمواد غضارية مع تداخل نسب مختلفة من مواد أخرى والتي غالباً ما يكون لها تأثيراً سلبياً على إنتاجية التشكيلة من الهيدروكربون.

التشكيلات النفطية في منخفض الفرات:

إن معظم الاكتشافات النفطية الهامة في منخفض الفرات وجدت ضمن مصايد بنيوية Structural traps (محدبات Horst وبلوكات فالقية متطاولة Fault) باتجاه شمال غرب – جنوب شرق وباتجاه شرق – غرب تشكلت أثناء فترة التصدع الأولي لمنخفض الفرات في بداية الكريتاسي العلوي، ونجم عن التصدعات مصائد ذات أشكال هندسية معقدة مضروبة بالفوالق من كل الاتجاهات.

كانت أعمال الاستكشاف النفطي جارية في منخفض الفرات لمدة تزيد عن ثلاثة عقود من قبل الشركة السورية للنفط وشركة الفرات للنفط والشركات الأجنبية الأخرى، وذلك لتحديد واستكشاف جميع المصايد النفطية المتوفرة في المنطقة، فقد تم خلال تلك الفترة استكشاف معظم المصايد النفطية البنيوية الرئيسة المكونة من بنيات تركيبية مختلفة الأحجام والأشكال (البلوكات الفالقية المقلوبة Titled blocks، المرتفعات Horsts، والمحدبات Anticlines)، التي تشكلت نتيجة لعمليات التصدع Syn-rift التي حدثت أثناء الكريتاسي الأوسط والأعلى.

من الناحية النفطية يُعد منخفض الفرات من المناطق الغنية نفطياً في سوريا، ويحوي على الكميات الأهم من الهيدروكربون في سورية، ولم يكن معروفاً قبل الثمانينات، ويُعد حقل التيم هو أول حقل مكتشف في عام 1985.

بدأ الاستثمار في حوض الفرات عام 1987 من قبل شركة الفرات للنفط حيث تم حفر عدد كبير من الآبار على امتداد المنخفض، ابتداء من شرق وجنوب شرق مدينة دير الزور، وانتهاء بالحدود السورية العراقية.

بينت عمليات الاستكشاف أن أغلب المصايد النفطية تتمركز في أماكن المنخفضات (المركزية والفرعية)، أي في وسط وجنوب شرق منخفض الفرات كما هو الحال في حقل الرتكة ، أي تتواجد في المناطق التي تحتوي على سماكات هامة من صخور المنشأ، العائدة إلى الكريتاسي العلوي (مثل تشكيلات رماح والآرك والشيرانيش السفلي).

يُستخرج معظم الإنتاج الهيدروكربوني من تشكيلة الرطبة الرملية العائدة للكريتاسي السفلي وهي تشكيلة شاطئية ذات مواصفات خزنية جيدة مكونة من (Stand stone – clay stone)، وتعد تشكيلة (ترياسي علوي) خزاناً نفطياً هاماً أيضاً إضافة إلى تشكيلات أخرى ذات سحنات مختلفة من بيئات شاطئية إلى قارية.

أهم التشكيلات النفطية في منطقة منخفض الفرات هي:

- الصخر الأم أو صخر المنشأ:

يوجد العديد من التشكيلات المولدة للهيدروكربون في منطقة منخفض الفرات، كتشكيلات الرماح والشيرانيش العائدة للكريتاسي العلوي وغيرها من التشكيلات، التي أسهمت بشكل واسع في شحن وإمداد الهيدروكربون لجميع حقول المنطقة، تُعد تشكيلة الشيرانيش العلوية أفضل الصخور المولدة للنفط، وخاصة القسم العلوي منها كما أشارت الدراسات الجيوكيميائية في منطقة الفرات.

تكون تشكيلتا الرماح والشيرانيش (كريتاسي علوي)، مع بعضهما سماكة (800m)، كلاهما مكونات من حجر كلسي غضاري ومارن صواني (argillaceous limestone and Cherty marls) الذين يمثلان سحنات بحر عميق.

- صخر الغطاء:

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

كما شُكل الحجر الغضاري المسمى (Waste zone) المتوضع أسفل التشكيلات المغطية المذكورة أعلاه، صخراً مغطياً جيداً أيضاً في بعض حقول النفط من المنطقة، خصوصاً عندما تتجاوز سماكته 100 متر، كما في منطقة الشبلي.

- التشكيلات الخازنة:

- الخزان الأول هو تشكيلة الرطبة (كريتاسي سفلي): بسماكة تقريبية (180-250m) مكونة من الرمل والحجر الرملي والغضار (sandstone and clay stone sand) مع سحنات مختلفة من بيئات قارية وشاطئية (القاضي 1994).

- الخزان الثاني هو تشكيل الملوسة F (الترياسي العلوي): بسماكة (50-200m) ويتألف من تباينات من الحجر الرملي والغضار sandstone and Claystone العائدين لبيئة ترسيب هي غالباً قارية.

- الخزان الثالث هو رمال الجودية (Post-Judea Sandstone) التي تعود إلى الكريتاسي العلوي بسماكة حوالي 100m، وتتكون من طبقات رملية غضارية، وتعود لسحنات بحرية ضحلة.

الفصل الثاني

- أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى:

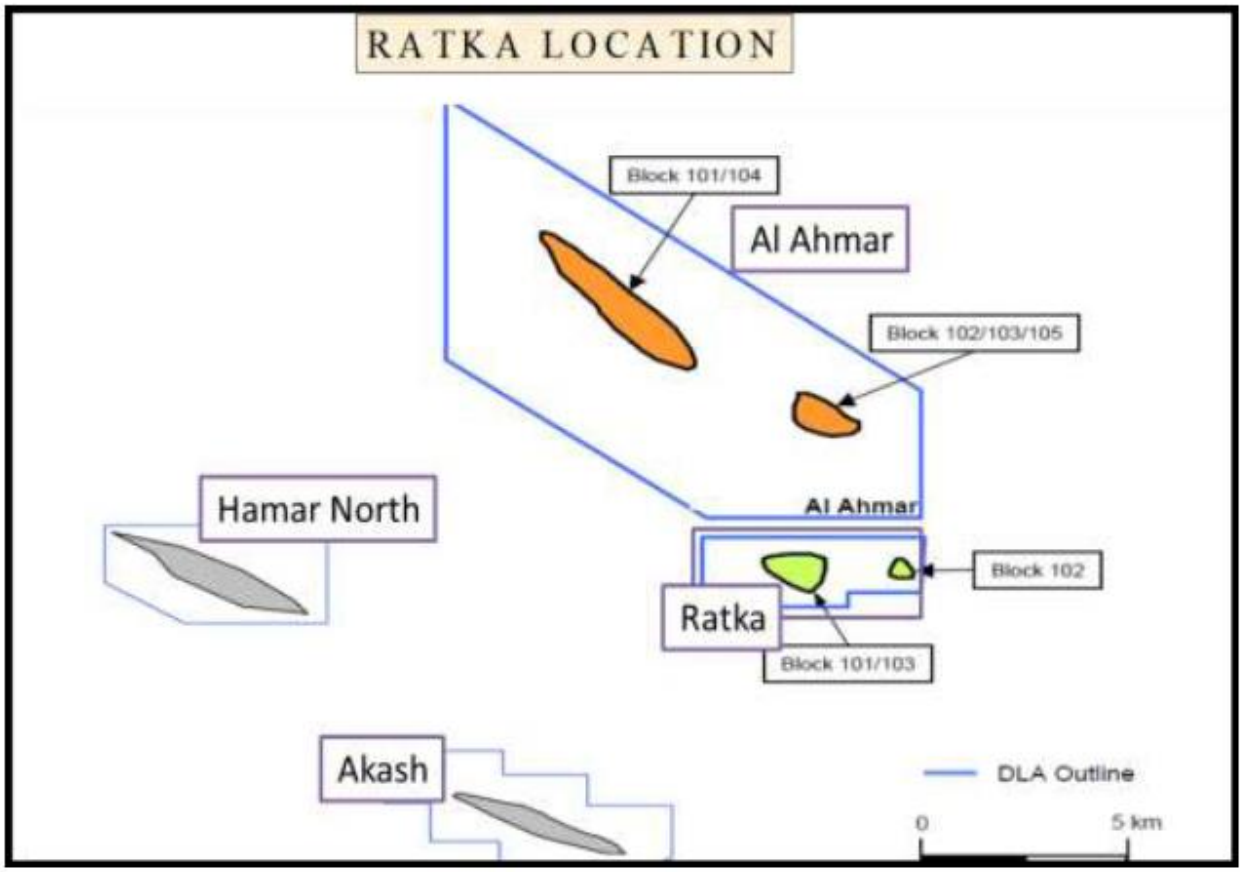
- دراسة الخواص البتروفيزيائية وتباينها لتشكيلتي الأرك والرطبة في حقل الرتكة وتأثيرها على الإنتاج باستخدام القياسات البئرية المختلفة.
- إجراء مضاهاة لآبار حقل الرتكة لرصد التباين بالخصائص البتروفيزيائية.

- منطقة الدراسة:

يقع حقل الرتكة في الجهة الشرقية من خريطة أراضي الجمهورية العربية السورية في الزاوية الجنوبية – الشرقية من منخفض الفرات، وفي الجزء الجنوبي من منطقة انهدام الفرات

تتمثل منطقة الدراسة بحقل الرتكة (Ratka)، وجغرافياً يقع هذا الحقل في منطقة بين البوكمال والميادين، يبعد حوالي 9 كم جنوب حقل الأحمر، و25 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 الشرقي SE. ويقع الحقل بجانب عدة حقول مهمة وهي العكاش والأحمر والحمّار، (الشكل 3).

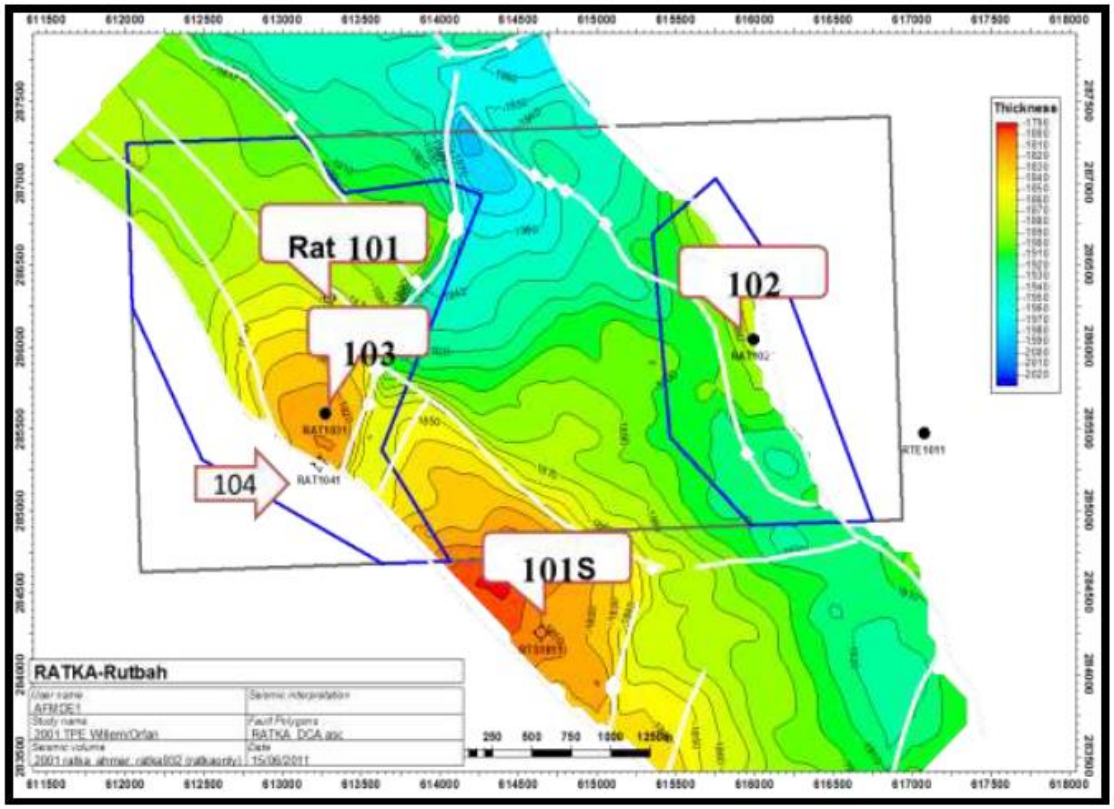


الشكل (3) : موقع حقل الرتكة بالنسبة للحقول المجاورة

(بحسب الشركة السورية للنفط)

- الوضع الجيولوجي :

تتكون بنية حقل الرتكة حسب تقارير شركة الفرات للنفط من كتلتين منفصلتين أساسيتين، على جانبي الفالق المحدد لنهوض الرتكة إضافة لعدة كتل فالقية ثانوية. (الشكل 4).



(الشكل 4) : خريطة تظهر حقل الرتكة وأهم الكتل الموجودة والآبار المحفورة (بحسب شركة الفرات)

تقع الكتلة الأولى الغربية في الجنوب الغربي من الحقل، وتم اكتشافها من خلال حفر البئر (101) في نيسان عام 1988، وبعدها حُفرت بئر الرتكة (103) عام 1989. تقع البئر (103) بقمة (crest) البلوك حيث يكون أكبر تجمع للنفط.

الخزان المنتج في بئر 103 هو تشكيلة الأرك والرطبة وبشكل خفيف الملوسة.

أما الكتلة الثانية الشرقية تقع في الشمال الشرقي من الحقل، وتم اكتشافها من خلال حفر البئر (102) في شهر نيسان 1989. وكان الخزان المنتج فيه هو تشكيلة الأرك الكربوناتية ولكن بشكل متقطع بسبب ارتفاع نسبة الغاز فيه.

يشغل البلوكين مع بعضهما مساحة ($1.75\ km^2$) وبامتداد (2.5 km)، إضافة إلى بلوك جانبي على طرف البلوك الأول وحُفرت فيه البئر 104.

تعد تشكيلتي الرطبة (الكريتاسي)، والملوسة F (ترياسي) الهدف الأساسي الخزني ضمن الحقل، أما الهدف الثانوي فهو تشكيلة الأرك.

التشكيلات الخازنة في حقل الرتكة :

تم التركيز في هذا الحقل على دراسة التشكيلات التالية:

أ – تشكيلة الأرك الكربوناتية Erek:

توضعت مباشرة فوق تشكيلة رماح في ظروف ترسيبية بحرية ضحلة، 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 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 – تشكيل الرطبة الرملية:

تعد تشكيلة الرطبة من أهم التشكيلات المنتجة للهيدروكربون في سورية، والتي تمتد بشكل كبير في حوض الفرات، وقد تم تنفيذ مجموعة من الدراسات عليها، لتحديد دقيق للمواصفات البتروفيزيائية والبترولوجية لهذه التشكيلة.

تُقيم تشكيلة الرطبة مع التشكيلات الجيولوجية الهامة نظراً لامتدادها الكبير ضمن منخفض الفرات إضافة للسماكة الهامة لرسوبياتها الرملية ذات المواصفات الخزنية الجيدة، ولذلك كانت موضع اهتمام معظم الدراسات، وتعتبر الهدف الرئيسي للحفر التنقيبي في منطقة الفرات ومرتفع الروضة.

تتألف تشكيلة الرطبة من سحنات رملية وغضارية في جنوب منخفض الفرات تصل مساميتها إلى 15% أحياناً حسب تقارير الشركة السورية للنفط.

تتألف هذه التشكيلة من تناوبات من الحجر الرملي الكوارتزي والغضاري والرمال الغضارية والسلتية، وتتواجد هذه الرسوبيات مختلطة مع بعضها.

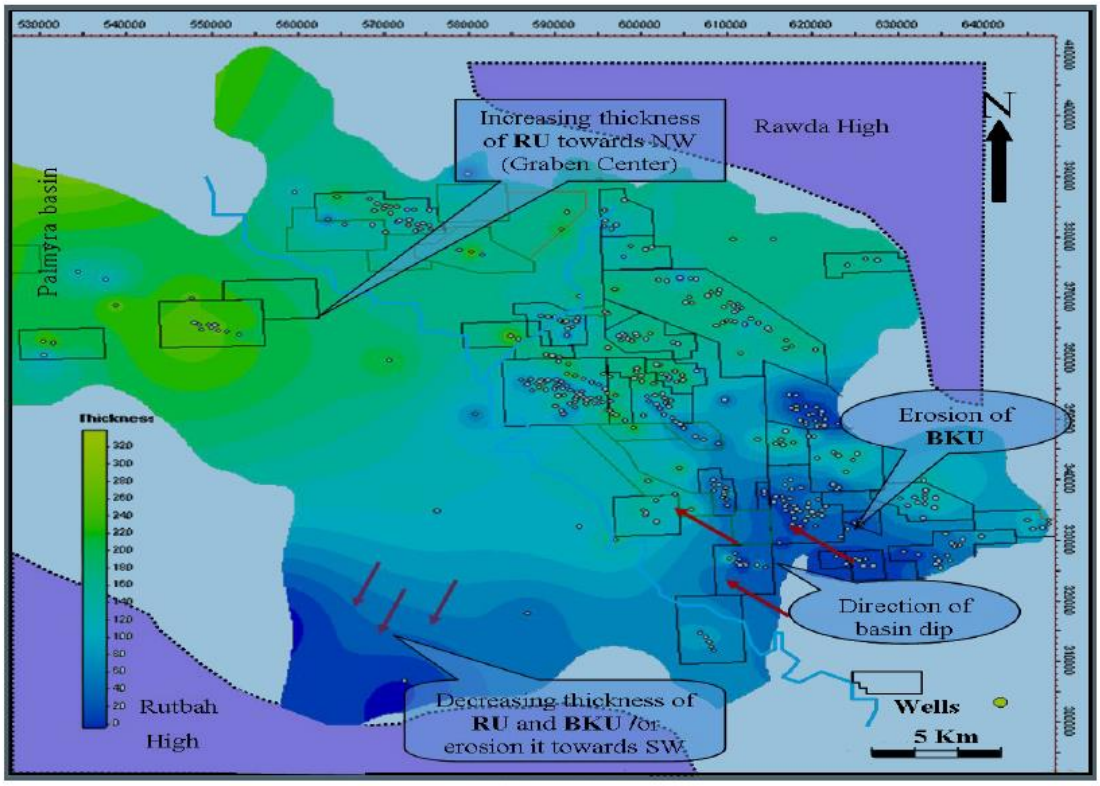
قسمت تشكيلة الرطبة إلى مكونين هما: الرطبة العلوية والرطبة السفلية.

يتوضع المكون السفلي (Lower Rutbah RUL)، مباشرة فوق تشكيلة الملوسة (F1)، وتعتبر خزاناً جيداً، ويتوضع المكون العلوي (upper Rutbah RUU)، فوق المكون السفلي دون انقطاع ترسيبي. ويتكون من تتابعات من الغضار والحجر الرملي.

تتمثل السحنات الغضارية التي تشكل الجزء الرئيسي من المكون العلوي للتشكيلة، وهي عبارة عن حجر رملي غضاري ناعم إلى متوسط الخشونة وقاسي تقريباً.

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

تتناقص السماكة باتجاه الجنوب الغربي باتجاه نهوض الرطبة أو تختفي بالكامل، الشكل (5) كما لوحظ تآكل وحت طبقات الرطبة بشكل تام باتجاه الجنوب الشرقي لتتوضع تشكيلات الأرك ورماح مباشرة فوق المولوسا F.



الشكل (5) : خارطة توزع سماكات تشكيلة الرطبة في منخفض الفرات

(حسب تقارير شركة الفرا ت للنفط)

ويمكن إيجاز خصائص كل من مكوني تشكيلة الرطبة كما يلي:

- **المكـون العلـوي:** تنتمـي رسـوبياته إلـى الكريتاسـي السـفلي، وتتكـون مـن الحجـر الغضاري وقليل من الحجر الرملي. يكون الحجر الغضاري رمادي اللون إلى رمادي مخضـر إلـى رمـادي مائـل إلـى البنـي والصـخر قـاس، وأحيانـاً يكـون قليـل القسـاوة، 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 شبه الزاوية إلى شبه المدورة، وأحياناً مدورة وأحياناً يكون الملاط كلسياً أو غضارياً.

- **المكـون السـفلي:** تقـع رسـوبياته فـي الكريتاسـي 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 مدورة إلى شبه مدورة إلى شبه زاوية. يكون الملاط سيليسياً وأحياناً غضارياً، كما تتواجد فيه شقوق مجهرية. يكون الحجر الغضاري، من رمادي إلى بني إلى بني خفيف،

الفصل الثالث

الصخور الخازنة وخواصها البتروفيزيائية

الصخور الخازنة : هي الصخور التي تحتوي في بنيتها على فراغات على شكل مسامات، أو شقوق متصلة ببعضها أو أقنية تسمح بانتقال واختزان الموائع.

تقسم الصخور الخازنة إلى قسمين:

- الصخور الخازنة الحطامية (رمال وصخور رملية)
- الصخور الكربوناتية (الحجر الكلسي والدولوميت).

التمييز بين الصخور الخازنة الرملية والصخور الخازنة الكربوناتية:

1 – الصخور الخازنة الرملية والحطامية

تتمثل الصخور الحطامية بالرمال والصخور الرملية والصخور الغضارية، والكونغلوميرا.

تُعد الصخور الرملية الصخور الأكثر أهمية في تجمعات الفحوم الهيدروجينية، وتشكل 20% من الصخور الرسوبية، وتعود أهميتها كونها صخور محتوية على كميات هائلة من النفط والغاز، وسهولة اكتشافها بالمقارنة مع الصخور الكربوناتية.

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.

العنصر الأكثر تواجداً ضمن الصخور الرملية هو عنصر 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. 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.

تبلغ المسامية قيمها العظمى في الرمال المتجانسة الحبيبات، بينما سيؤدي وجود أي مواد ناعمة ضمنها إلى تناقص المسامية. وتزداد المسامية مع تحسن الفرز. وبالنسبة للملاط فإنه من الممكن أن يكون سيليسياً أو كربوناتياً 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:

يعتبر الغضار أحد أنواع الصخور الحطامية التي تتكون من سيليكات الألمنيوم المائية التي لا تزيد أبعادها عن 2 ميكرومتر، ويتوضع وفق عدة أنماط وله عدة أنواع.

تنتمي هذه الجزيئات الصغيرة إلى عدة مجموعات فلزية، تعرف باسم الفلزات الغضارية (كاولينيت – إيليت – مونتيموريللونيت)، وتحتوي على عنصر البوتاسيوم بشكل عالي. ويمكن لهذه الفلزات أن تتواجد بنسب مختلفة في كافة الصخور

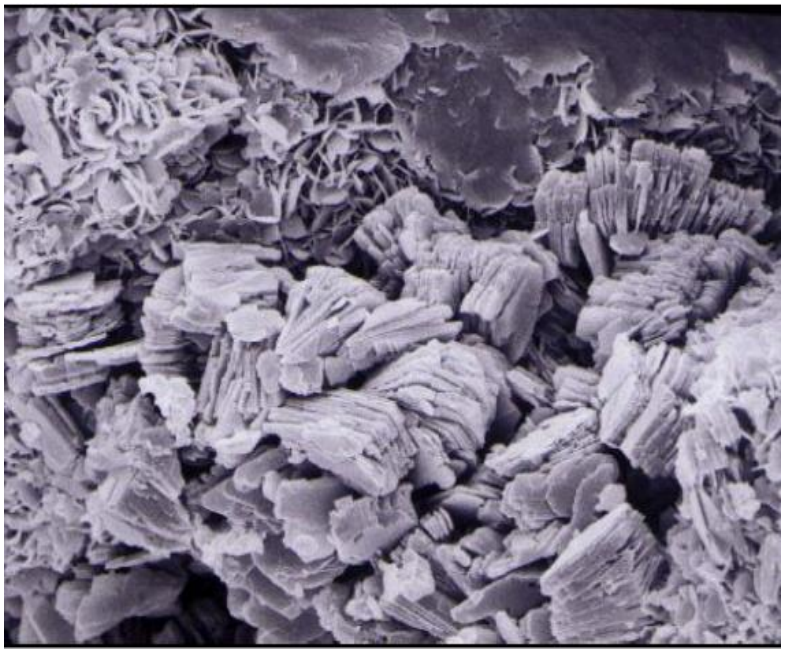
الرسوبية. وتشكل الغضاريات صخوراً مغطية، وتتواجد الفلزات الغضارية في معظم الصخور الخازنة مهما كان نوعها حطامية كانت أو كربوناتية.

من أنواع الغضار نذكر:

الكاولينيت، الإيليت، المونتموروبللونيت.

- **الكاولينيت:**

يتكون من صفائح وكل صفيحة مؤلفة من شريحتين، ترتبطان مع بعضهما بذرات الأوكسجين وترتبط مع الشرائح المجاورة بروابط هيدروجين قوية (H-O). إن هذا الترابط لا يسمح للماء الحر بالدخول إلى الشبكة البلورية ويبقى الماء خارج الشبكة بحيث يتغلغل بين الشرائح. ويبين الشكل (6) البنية الصفائحية للكاولينيت



الشكل (6) : صورة مجهرية لبنية صفائح الكاولينيت

يتميز الكاولينيت بأن الرابط بين الصفائح قوي بالتالي فإن بعثرته في الماء ضعيفة، يمكن نزع الرابطة بين الشرائح بفعل ميكانيكي قوي (الخلط) إلا أنها يمكن أن تتجمع من جديد لأنها تبقى محافظة على تكافؤ ذري وتعمل على امتصاص ذرات أخرى موجودة في المحلول.

الإيلليت:

تمتاز فلزات هذه المجموعة بقدرتها الضعيفة على الانتفاخ، وبنية هذه المجموعة مشابهة لبنية المونتموريللونيت ولكن قابلية هذه الصفائح للتبعثر صعبة جداً ،

كما يمكن ان تتواجد على شكل بنى ليفية وهي الأخطر على التشكيلات الخازنة من ناحية تأثيرها السلبي على الخواص الخزنية .



الشكل (7) : صورة مجهرية لبنية الإيلليت

المونتموروليلونيت:

مؤلف من صفائح وكل صفيحة مؤلفة من ثلاث شرائح الشريحتان العلوية والسفلية عبارة عن اتحاد رباعيات الوجوه السيليكاتية ، أما الشريحة الوسطى فهي مؤلفة من اتحاد ثمانيات الوجوه الألومينية تقوم بعملية ربط الشريحتين السفلية والعلوية.

يتميز المونتموروبللونيت بأن التجاذب بين صفائحه ضعيف، وينتج عن ذلك سهولة تبعثرها في الماء. وبالتالي يمكن للماء والموائع أن تدخل بسهولة بين الصفائح مما يؤدي إلى تباعدها عن بعضها وانتفاخها .

تبعاً لخصائص هذه الفلزات الغضارية فإن تأثيرات 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.
- حوادث تبادل الشوارد بين الفلزات الغضارية والموائع 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.

2 – 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 $CaCO_3$ (الحجر الكلسي)، أو كربونات مضاعفة للكالسيوم والمغنيزيوم (الصخور الدولوميتية $CaMgCO_3$).

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، وتوصف المسامية من عالية إلى ضعيفة حسب درجة التبلور.

المسامية الأولية في هذه الصخور هي مسامية بين حبيبية وهي مختلفة جداً بسبب اختلاف أقطار وأشكال الحبات.

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.

الفصل الرابع

الخواص الخزنية للصخور الخازنة

المسامية، النفاذية، الإشباع.

1 – المسامية Porosity:

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 10–15%، 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.

المسامية الكلية: هي نسبة حجم الفراغات الموجودة في الصخر إلى الحجم الكلي لهذا الصخر.

وتُصنف المسامية إنتاجياً إلى: مسامية متصلة (Effective)،

ومسامية غير متصلة (Ineffective).

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.

تصنف المسامية حسب المنشأ : (العجي ، رماح 2011)

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.

أما العوامل المؤثرة على المسامية فهي: شكل الحبات، عمق التوضع، التراص، ضغط المسام، وتوزع الملاط.

ويمكن تقسيم الصخور حسب مساميتها إلى الأنواع التالية:

رديئة: مساميتها أقل من 5%،

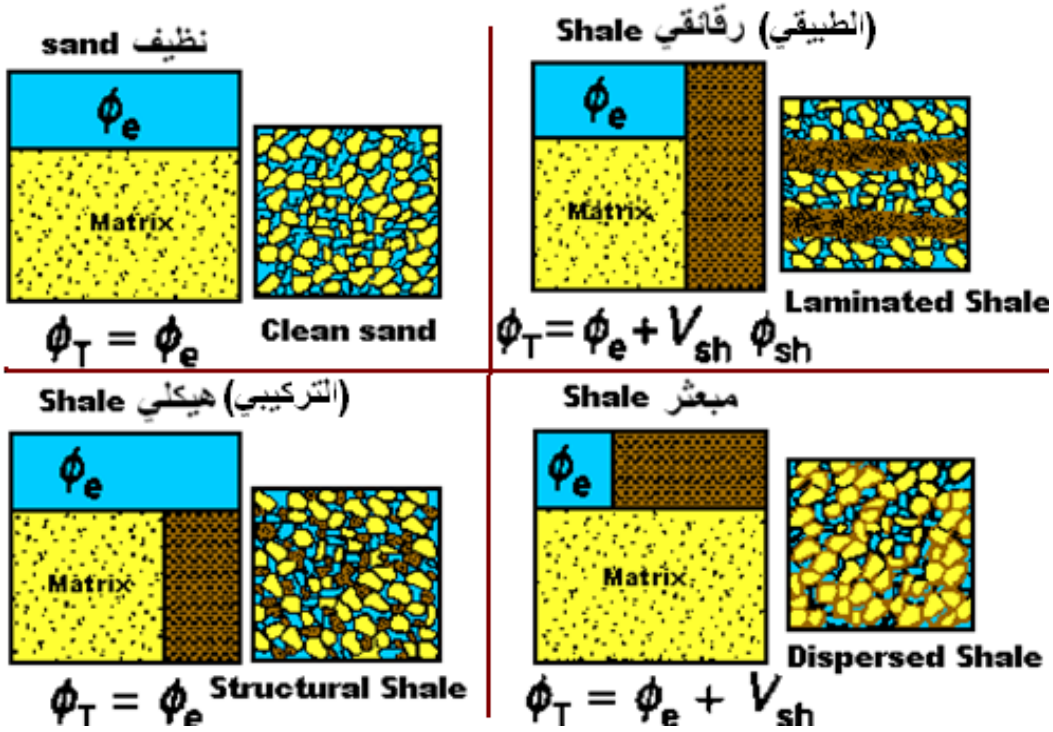
فقيرة: مساميتها بين (5 – 10%)،

جيدة: ذات مسامية (10–20%)،

جيدة جداً: مساميتها أكثر من 20%.

تأثير توزع الغضار على المسامية:

يتواجد الغضار ضمن الحجر الرملي المشوب به بأبعاد هندسية معينة ويتوضح ذلك في الشكل (8)، حيث يمكن أن يُصادف الغضار على شكل رقائق داخل الحجر الرملي (Laminar) وهذا الشكل سيؤثر على الهيكل الصخري ويُقلل 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 الأخطر حيث يعمل على تقليل المسامية بشكل كبير.



الشكل (8) : أنماط تواجد الغضار في التشكيلات الرملية .

النفوذية Permeability :

هي مقياس لسهولة جريان الموائع خلال الطبقة الصخرية، وتبقى ثابتة بالنسبة لعينة صخرية معينة وأي مائع متجانس، بشرط أن لا يتفاعل المائع مع الصخر نفسه.

تعد قيمة النفوذية مساوية لـ (1 Darcy) دارسي عندما يجتاز (1) سم^3 من سائل لزوجته 1 سنتيبواز عينة صخرية مقطعها (1) سم^3 وطولها (1) سم، خلال ثانية واحدة وبتأثير ضغط متباين بين طرفي العينة قيمته (1) ضغط جوي.

ونظراً لأن الدارسي وحدة كبيرة فقد استخدمت عموماً وحدة الميلي دارسي والتي تساوي (1/1000) من الدارسي.

تتراوح نفوذية أغلب الصخور بين 1000 – 0 ميلي دارسي، ويعتمد السلم التالي لتحديد قيم النفوذية:

- نفوذية ضعيفة أو معدومة 10 – 0 ميلي دارسي
- نفوذية متوسطة 100 – 10 ميلي دارسي
- نفوذية جيدة 1000 ميلي دارسي

مواصفات الطبقة الحاملة للنفط أو الغاز	قيمة عامل النفاذية بالميلي دارسي MD
عالية الإنتاجية	أكبر من 1000
متوسطة الإنتاجية	من 1000 – 100
ضعيفة الإنتاجية	من 100 – 10
غير منتجة عملياً	أصغر من 10

حتى يكون الصخر نفوذاً يجب أن تتوافر فيه مسامات متصلة، وتتوافق عادة المسامية المرتفعة مع النفاذية العالية، ولكن الوضع لا يسير على هذا المنوال 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.

كذلك تُبدي الغضاريات مسامية عالية جداً ولكن بسبب صغر المسامات تكون معظم الغضاريات ذات نفاذية معدومة.

يمكن للحجر الكلسي أن يحتوي على شقوق صغيرة ولكن مساميته ضعيفة في 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 إغلاق أجزاء من الفراغات الدقيقة معيقة بذلك حركة الموائع ضمنها.

إن مجال النفاذية في الطبقات المنتجة واسع جداً وهو

يتراوح بين (10 – 10000 ميلي دارسي).

طرائق تحديد النفاذية:

بشكل عام توجد عدة طرائق تحسب منها النفاذية وهي:

1. العينات اللبابية (Cores): وهي أدق طريقة حيث تعطي القيم الحقيقية للنفاذية على عكس باقي الطرائق التي تقدر مجال للنفاذية فقط.
2. 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.
3. قياسات سابرة الرنين النووي المغنطيسي NMR.
4. قياسات الضغط الطبقي (RFT formation test). وضمن منطقة الدراسة، أُخذت قيم النفاذية من قياسات الضغط الطبقي

3- الإشباع Saturation

يعبر عن كمية المائع الموجودة في المسام. ويُعبر عنه بنسبة مئوية. يجب أن تكون قيم الإشباعات المختلفة الموجودة في الصخر مساوية لـ 100%.

درجة التشبع بالماء Sw هي 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 للإنقاص وقد يصل الإشباع إلى 100%.

يرمز للإشباع بالحرف S يضاف إليه حرف ثانوي يستخدم للدلالة على نوعية درجة التشبع.

(S_w: درجة التشبع بالماء، S_o: درجة التشبع بالنفط، و S_h: درجة التشبع بالهيدروكربون).

- يعرف **درجة التشبع بالهيدروكربون** بحجم المسامات المملوءة بالنفط والغاز.

يمكن أن يملأ الفراغ المسامي بالغاز، النفط، أو الماء، ويجب أن يكون حاصل جمع هذه الإشباعات معاً في الصخر 100%.

$$S_h + S_w = 1.$$

$$S_h = 1 - S_w$$

أنواع الإشباعات:

1. الإشباعات القابلة للإنتاج: حيث تكون قابلة للحركة بشكل حر بين الحبات الصخرية.
2. 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.

حساب الإشباع Saturation calculation:

يتم حساب الإشباع بواسطة برنامج IP الذي يقدم العديد من الخيارات لحساب الإشباع مثل معادلة آرشي Archie أو أندونيسيان Indonisian.

علاقة آرشي للإشباع من أكثر العلاقات ملائمة في الخزانات الكربوناتية.

يحسب الإشباع من خلال علاقة آرشي التي تربط بين المسامية والمقاومية وثوابت أخرى تتعلق بالليتولوجيا.

من خلال علاقة آرشي نحصل على الإشباع المائي الحقيقي (Sw) في القطاع العميق الغير مجتاح.

$$Sw = \sqrt[n]{\frac{a \times R_w}{\emptyset^m \times R_t}}$$

حيث أن الثوابت:

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

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

m: (Saturation exponent) أس الإشباع: يُحسب من العينات الأسطوانية ولكن يمكن الاستغناء عنها، وأخذ القيم القياسية حيث (m = 2). وبحسب معطيات شركة الفرات فقد استخدم 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.

R_t: المقاومية الحقيقية: تُقرأ من قياس المقاومية التحريضية العميقة.

R_w: مقاومية المياه الطبقية.

ويحسب بعدها درجة التشبع بالهيدروكربون Sh من خلال العلاقة التالية:

$$Sh = 1 - Sw \qquad (3-9)$$

وقد تم اختيار علاقة آرشي باعتبارها أفضل العلاقات حيث تدخل قيم المسامية الفعالة ضمن العلاقة وبالتالي نحصل على قيمة درجة التشبع بالماء الحقيقي. بينما علاقة أندونيسيان فهي تطبق فقط في حال وجود ماء عذب ضمن التشكيلة الخازنة.

الفصل الخامس

القياسات البئرية المستخدمة وآليات القياس

نفذت ضمن حقل الرتكة عدد من القياسات الجيوفيزيائية البئرية نذكر منها: قياس الإشعاع الطبيعي GR (Gamma Ray)، وقياس التسجيل الطيفي (NGS)، وقياس قطر البئر (Caliper)، وقياسات المقاومية التحريضية العميقة (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:

1 – 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.

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 إن 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 مؤشر على الطبقات النفوذة التي تسمح بتشكيل الكعكة الطينية (Mud Cake)، والمقياس المستخدم لهذا التسجيل هو غالباً (6 – 16" in).

2 – قياس الإشعاع الطبيعي (GR Gamma-ray log):

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 أو الكربوناتية) الخالية من الغضار تكون العناصر المشعة فيها قليلة جداً، إلا إذا وجد فيها بعض الملوثات المشعة مثال الرماد البركاني.

تُعد أشعة غاما انبثاقات لأمواج كهرومغناطيسية عالية الطاقة تصدرها بعض العناصر المشعة U, TH, K^{40}، ويُصدر كل من هذه العناصر إشعاعات غاما يتميز عددها والطاقة التي تحملها حسب كل عنصر.

تصطدم إشعاعات غاما أثناء مرورها بالمادة مع ذرات المادة الصخرية وتخسر من طاقتها في كل اصطدام إلى أن يتم امتصاصها، ولكن وتيرة الامتصاص تتفاوت حسب كثافة الطبقة حيث تبدي طبقتان صخريتان تحويان نفس الكمية من المادة المشعة في واحدة الحجوم ولكن تختلفان في الكثافة، سويتين متفاتتين من النشاطية الإشعاعية لتظهر الطبقة الأقل كثافة على أنها أعلى نشاطية بقليل.

تحوي سابرة غاما كاشفاً إشعاعياً، يقيس إشعاعات غاما المتولدة في نطاق 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 الإشعاعي في الصخور الرسوبية بين بضع وحدات API في الأنهدريت والملح الصخري، و 200 أو أكثر مقابل الغضار، حيث أن الإشعاعية 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 الإشعاعية.

– أهم تطبيقاته: يعتبر مؤشر لليثولوجيا حيث أنه يستخدم للتمييز بين الطبقات الغضارية (المولدة والغطاء) 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 الإشعاعية الإجمالية للطبقة الصخرية، إضافة إلى طاقة من العناصر التالية: البوتاسيوم المشع والثوريوم والبوارنيوم، وبالتالي لها تراكيزها ضمن صخور الطبقة ويستفاد من هذا القياس في تحديد الليثولوجية.

3–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 الأشعة بإلكترونات التشكيلة وتخسر أشعة غاما جزء من طاقتها في كل اصطدام وليس طاقتها بأكملها، وتتابع الأشعة سيرها بطاقتها المتناقصة.

– 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.

تقذف النيوترونات ذات الطاقة العالية باستمرار من منبع 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.

التسجيل الصوتي (Sonic log):

مبدأ القياس: تتوضع المرسلات واللواقط ضمن السابرة، ويتم إرسال أمواج صوتية من المنبع لتنتقل عبر التشكيلات، لتعود إلى اللاقط، ويقوم بتسجيل أزمنة الارتحال المجالية (Interval transit time)، وهو الزمن اللازم لانتقال الموجات من المنبع إلى اللاقط بعد مرورها بالتشكيلة، وتقاس بـ ميكرو ثانية/قدم (Micro second/feet).

4- قياسات المقاومية (Resistivity logs):

وهي تقيس مقاومية التشكيلات الصخرية لمرور التيار الكهربائي ويمكن أن تقيس الناقلية، ويتم تحويل قيمتها إلى مقاومية، وتسجل بمنحني لوغاريتمي 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.

- القياسات الموجهة (Laterlog):

تتأثر القياسات التقليدية كثيراً بظروف البئر والطبقات المجاورة، ولذلك تم استخدام قياس يعتمد على التيارات الموجهة (Focused currents).

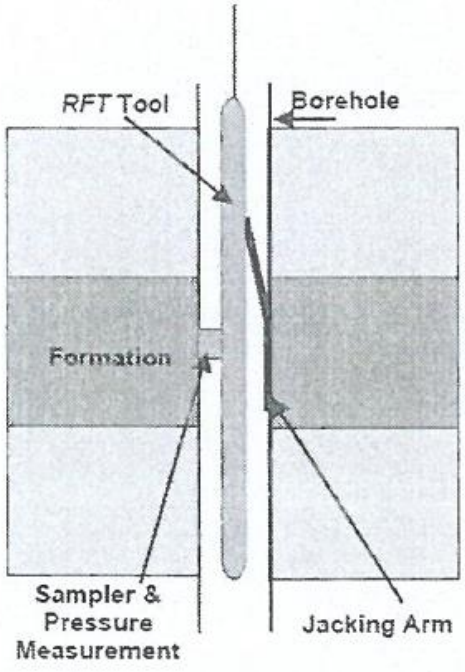
تُعطي هذه القياسات قراءات جيدة إذا كان الفرق بين مقاومية الطبقة ومقاومية سائل الحفر كبيراً، وتميز الطبقات الرقيقة أو معتدلة السماكة بشكل جيد، وتُعطي هذه السوابر قراءة ضحلة للطبقة المحيطة بجدار البئر R_{xo} وقراءة متوسطة وقراءة عميقة للطبقة العذراء (R_t).

- **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. تتكون السابرة من عدة وسائل للإرسال والاستقبال، ويتم إرسال تيار متناوب عالي التردد ذو شدة ثابتة، يُحرض الحقل المغناطيسي المتناوب الناشئ عنه تيارات ثانوية في الصخر المحيط بالبئر.

5- قياس اختبار الطبقة RFT:

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.



الشكل (9) : **سابرة اختبار الطبقة RFT**

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.

يتم تسجيل الضغط باستمرار طوال فترة الجريان، وفي الفترة التي تلي امتلاء حجرات المعاينة، من أجل الحصور على معطيات نهوض الضغط.

من معطيات هبوط الضغط خلال جريان المائع، ومن معطيات نهوض الضغط اللاحقة التي تسجل بعد توقف الجريان يتم تقدير قيمة النفاذية.

الفصل السادس

حقل الرتكة : أسس التفسير، تسلسل خطوات التفسير

عند القيام بعملية التفسير يتم تحميل القياسات البئرية المسجلة في الآبار على شكل ملفات بصيغ معينة على برنامج التفسير، وهذه البرامج متعددة تبعاً للشركات المنفذة.

من أهم هذه البرامج هو برنامج: (IP) interactive petrophysices تابع لشركة (Senergy). يستخدم برنامج (IP) في تفسير القياسات البئرية وتقييم الخواص البتروفيزيائية والخزنية للتشكيلات الخازنة.

أهم خطوات التفسير:

- تحديد مقاومية المياه الطبقية Resistivity Water.
- وضع مخططات ومدرجات تكرارية توضيحية Histograms & Plotts.
- تحديد عامل التفسير المتعلقة بالغضار – parameters Shale.
- تحديد الحد العلوي والسفلي للتشكيلة (ينفذ من أجل كل بئر في الحقل).
- تحديد مواصفات النطاقات ضمن التشكيلة الخازنة (ينفذ من أجل كل بئر في الحقل).
- حساب الإشباعات في كل نطاق (ينفذ من أجل كل بئر في الحقل).

حساب مقاومية المياه الطبقية في حقل الرتكة Rw:

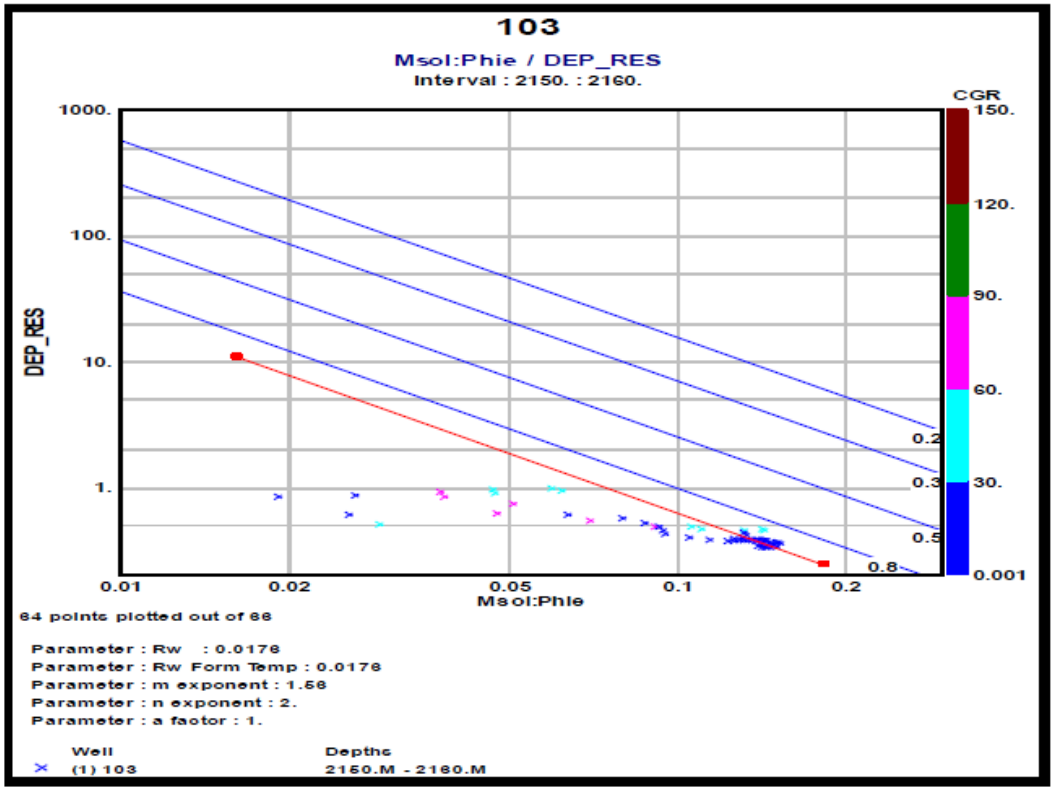
المياه الطبقية: هي المياه الغير ملوثة براشح الحفر التي تملأ الطبقة الصخرية المسامية. وتُعد المقاومية الكهربائية لمياه الطبقة متغيراً هاماً في عملية التفسير لأنها مطلوبة من أجل حساب قيمة الإشباع من معطيات التسجيلات البئرية. لذلك سيتم في هذا الفصل تحديد قيمة مقاومية المياه الطبقية ضمن كل بئر .

هناك عدة مصادر للحصول على مقاومية المياه الطبقية تشمل :

- جداول المياه والتحليل الكيميائية
- منحني الكمون الذاتي
- الحسابات المتنوعة للمقاومية والمسامية والعروض المتقاطعة المتعلقة بها.

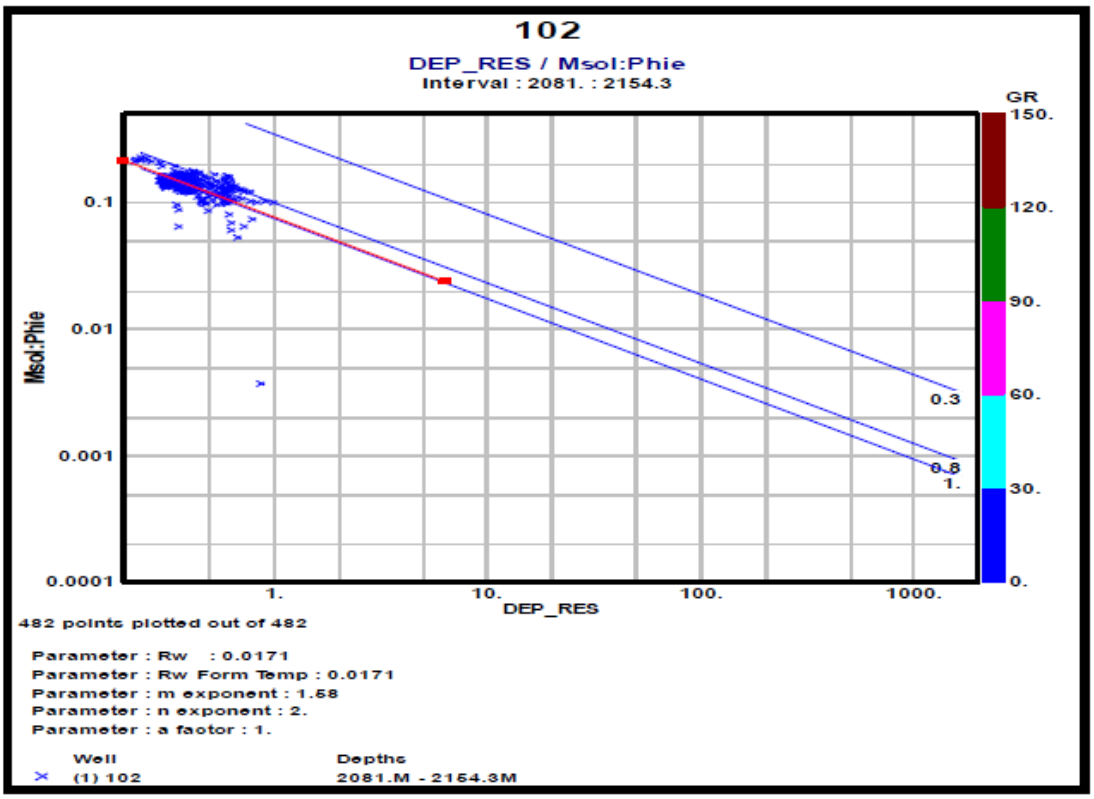
وفي حال عدم توافر عينات مائية، فتحسب من التسجيلات البئرية من خلال مخطط (Picket plot) حيث يتم اختيار تشكيلة مشبعة 100% بالماء ضمن البئر وبمواصفات محددة، إذ يجب أن تكون مقاوميتها منخفضة ومساميتها عالية وقيمة الإشعاع الطبيعي GR منخفضة، من خلال برنامج IP يتم حساب قيمة Rw بالتطبيق على مخطط (Picket plot)، الذي يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والإشعاع الطبيعي لكل بئر على حدا.

- **البئر 103:** تم حساب قيمة Rw وكانت قيمة المقاومية للماء مساوية لـ (0.0176 ohm.m) الشكل (10).



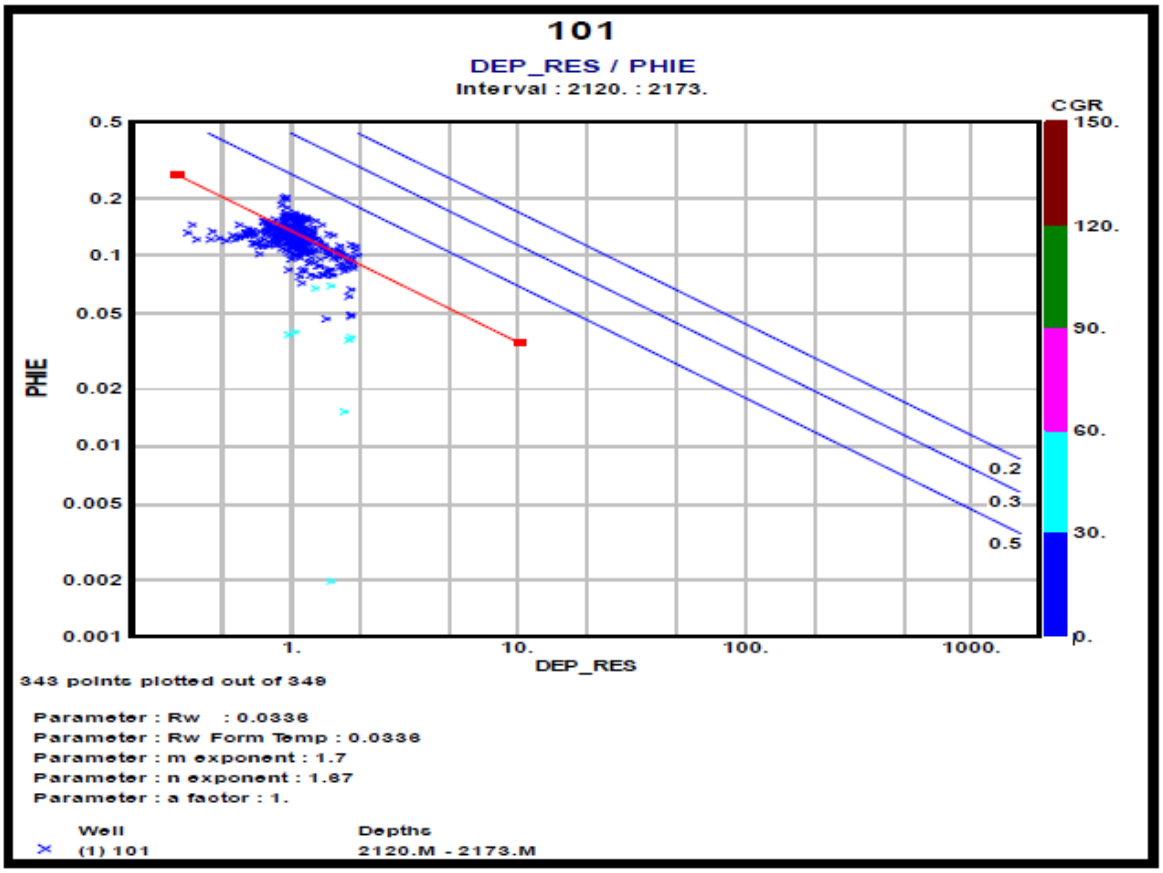
الشكل (10) : **مخطط (Picket plot) للبئر 103 يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي**

- **البئـر 102:** حُسبت قيمـة Rw مقاوميـة الميـاه الطبقيـة ضـمن تشـكيلة الرطبـة التي أصبحت مائية ضمن هذه البئر وكانت القيمة تساوي (0.017 ohm.m). الشكل(11) .



الشكل (11) : **مخطط (Picket plot) للبئر 102 يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والاشعاع الطبيعي**

- البئر **101:** تم حساب القيمة من خلال تشكيلة الرطبة. وكانت قيمة المقاومية للمياه الطبقية تساوي (0.034 ohm.m). الشكل(12).



الشكل (12) : **مخطط (Picket plot) للبئر 101 يجمع بين المسامية والمقاومية العميقة والإشعاع الطبيعي**

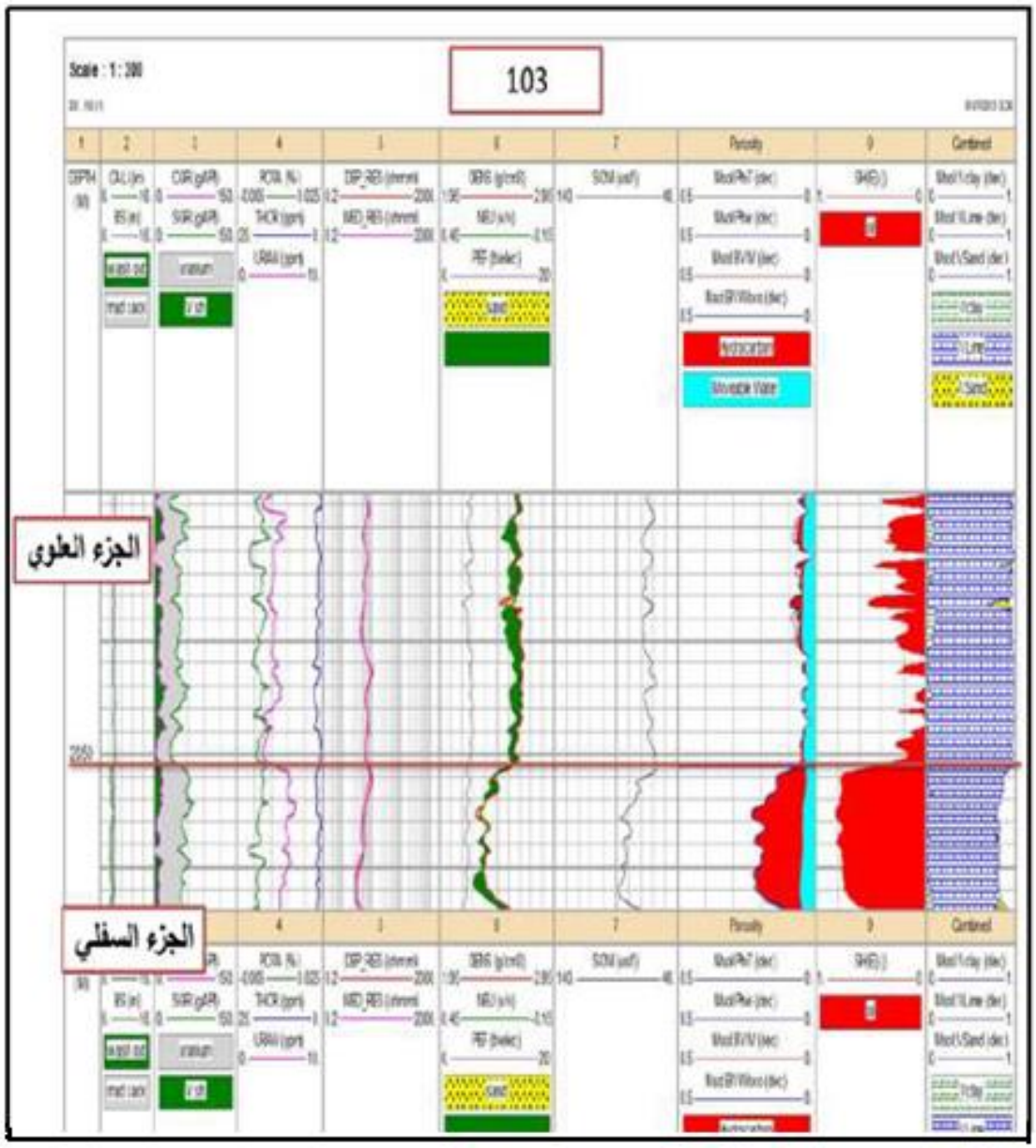
تحديد الليتولوجيا :

يعتبر تحديد نوع التركيب الصخري من المهام الأساسية في التفسير – لهذا الغرض تستخدم مخططات تقاطعية بين التسجيلات البئرية .

تشير معطيات التفسير للآبار (101، 102 ، 103) أن **تشكيلة الأرك** هي تشكيلة كربوناتية عبارة عن حجر كلسي بعض نطاقاته مبلورة لونه أبيض وقساوته ضعيفة ، يتحول أحياناً إلى حجر كلسي مدلمت تتغير مساميته بين (5–10 %) .

وبسبب الاختلاف في المسامية تم تقسيم تشكيلة الأرك في البئر 103 إلى قسمين :

- قسم علوي: (2038–2050 m) سماكة 12 متر وهو قسم كتيم غير نفوذ وغير خازن
- قسم سفلي: (2050–2057 m) سماكة 7 متر وهو قسم خازن ومسامية جيدة الشكل (13) .

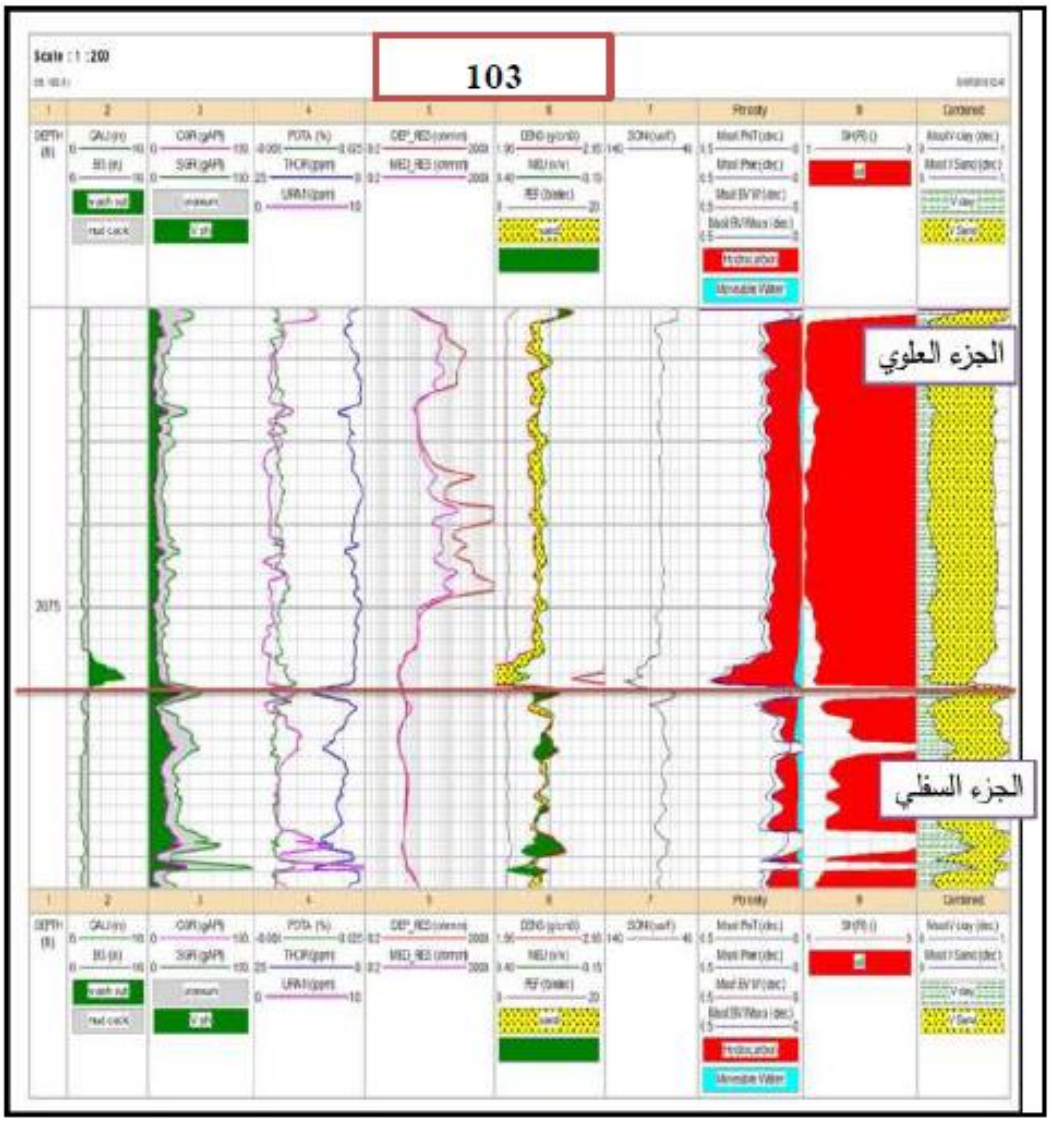


الشكل (13) : معطيات التسجيلات للبئر 103 **لتشكيلة الأرك**

أما معطيات التفسير **لتشكيلة الرطبة** للآبار (101، 102 ، 103) فهي تدل أن تشكيلة الرطبة هي تشكيلة رملية مؤلفة من حجر رملي مع وجود غضار بملاط سيليسي ، ضعيف إلى متوسط القساوة ناعم الحبيبات ... بناء عليه تم تقسيم تشكيلة الرطبة في البئر 103 ألى قسمين :

- قسم علوي : حجر ملي (2057–2080 متر) سماكة 23 متر
- قسم سفلي : حجر رملي غضاري (2080 –2092 متر) سماكة 12 متر

حسب الشكل (14) .



الشكل (14) : معطيات التسجيلات للبئر 103 **لتشكيلة الرطبة**

تقدير النفاذية ضمن حقل الرتكة:

يُعطي قياس الضغط الطبقي (RFT) مؤشراً للحركية (mobility) التي تتناسب مع النفاذية.

تدل القياسات المنفذة ضمن **تشكيلة الرطبة** في البئر 103 ، أن النفاذية جيدة إلى ممتازة ضمن التشكيلة، ولكن في نهايتها تصبح ضعيفة جداً.

قُدرت النفاذية بحدود 2000 ميلي دارسي (2000 MD)، والجدول (1) يحدد الضغوط المأخوذة عند أعماق معينة والملاحظات على النفاذية التي استنتجت من اختبارات **RFT** .

جدول (1) : قياسات الاختبار الطبقي RFT للبئر 103. محدد عليه الملاحظات على النفاذية (حسب شركة الفرات).

ملاحظات على النفاذية Permeability	الضغط/ Pressure Psia	العمق/ Depth m
ممتازة	3250.50	**2059**
جيدة	3255.60	**2063**
ممتازة	3259.10	**2067**
منخفضة جداً	3266.80	**2074**

أما القياسات ضمن **تشكيلتي الأرك والرطبة** في البئر **102** ، فقد أشارت الملاحظات على أن النفاذية ضمن تشكيلة الأرك ضعيفة إلى متوسطة، بينما ضمن تشكيلة الرطبة فهي ضعيفة إلى جيدة. والجدول (2) يوضح ا الضغوط المأخوذة عند أعماق معينة والملاحظات على النفاذية للبئر **102** .

جدول (2): قياسات الاختبار الطبقي RFT للبئر 102 محدد عليه الملاحظات على النفاذية (حسب شركة الفرات)

العمق/التشكيلة m	الضغط Psia	ملاحظات على النفاذية Permeability
2017.2/ الأرك	3174.70	ضعيفة
2019.5/ الأرك	3184.20	منخفضة
2085/ الرطبة	3265.70	جيدة
2115/ الرطبة	3312	جيدة
2140/الرطبة	1916.6	ضعيفة

المساميات الفعالة والكلية:

حُسبت قيم المسامية الكلية والفعالة من خلال برنامج IP ، يظهر الجدول (3) متوسط المساميات ضمن الآبار المدروسة حيث يُلاحظ وجود فرق بين المسامية الكلية والفعالة وذلك بسبب وجود الغضار الذي يؤدي إلى إغلاق المسامات.

جدول (3): معدل المسامية والفعالة لتشكيلة الرطبة

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

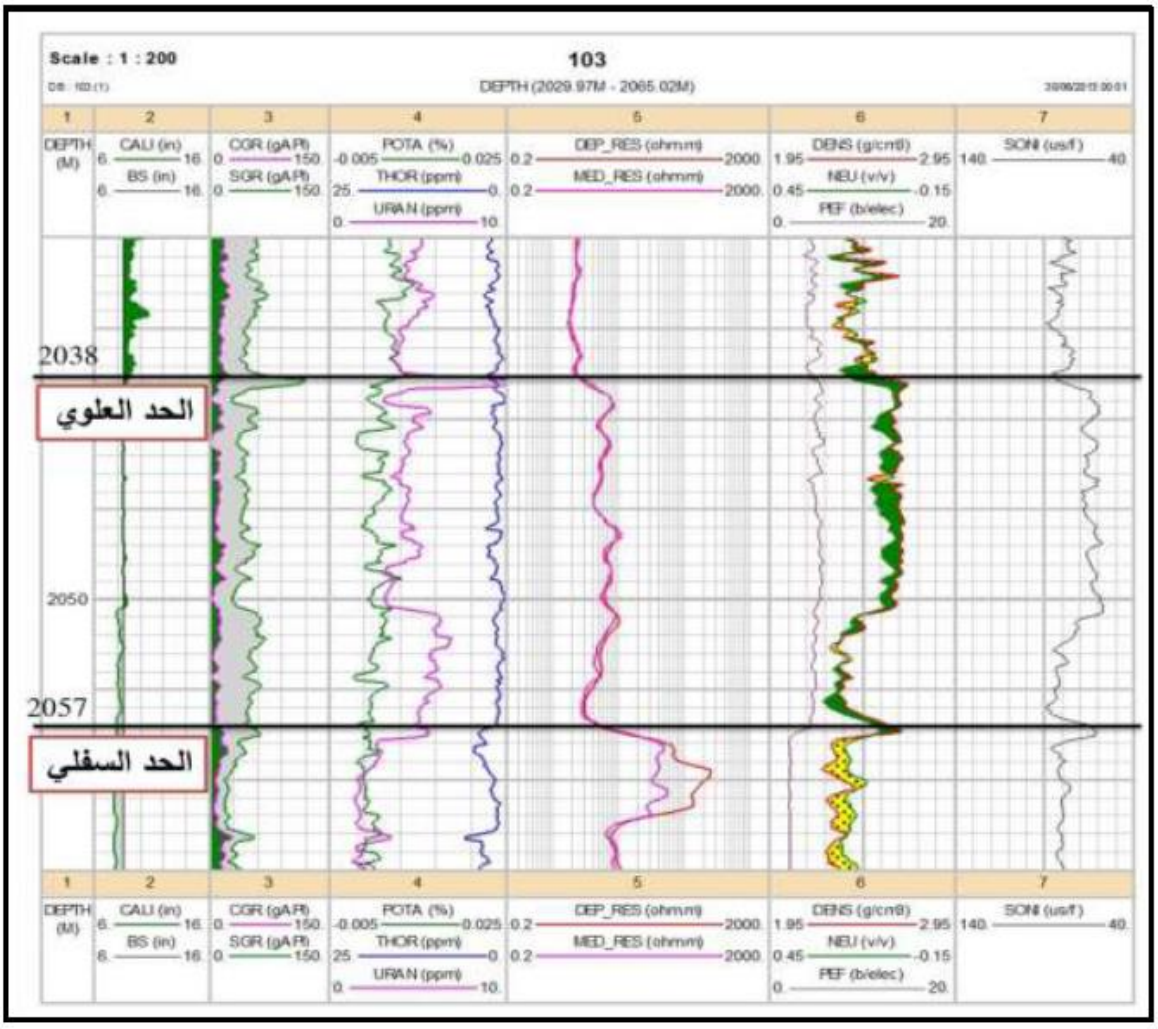
كما يظهر الجدول (4) معدل حجم الغضار لتشكيلة الرطبة ضمن آبار المنطقة .

جدول (4): معدل حجم الغضار لتشكيلة الرطبة لآبار منطقة الدراسة

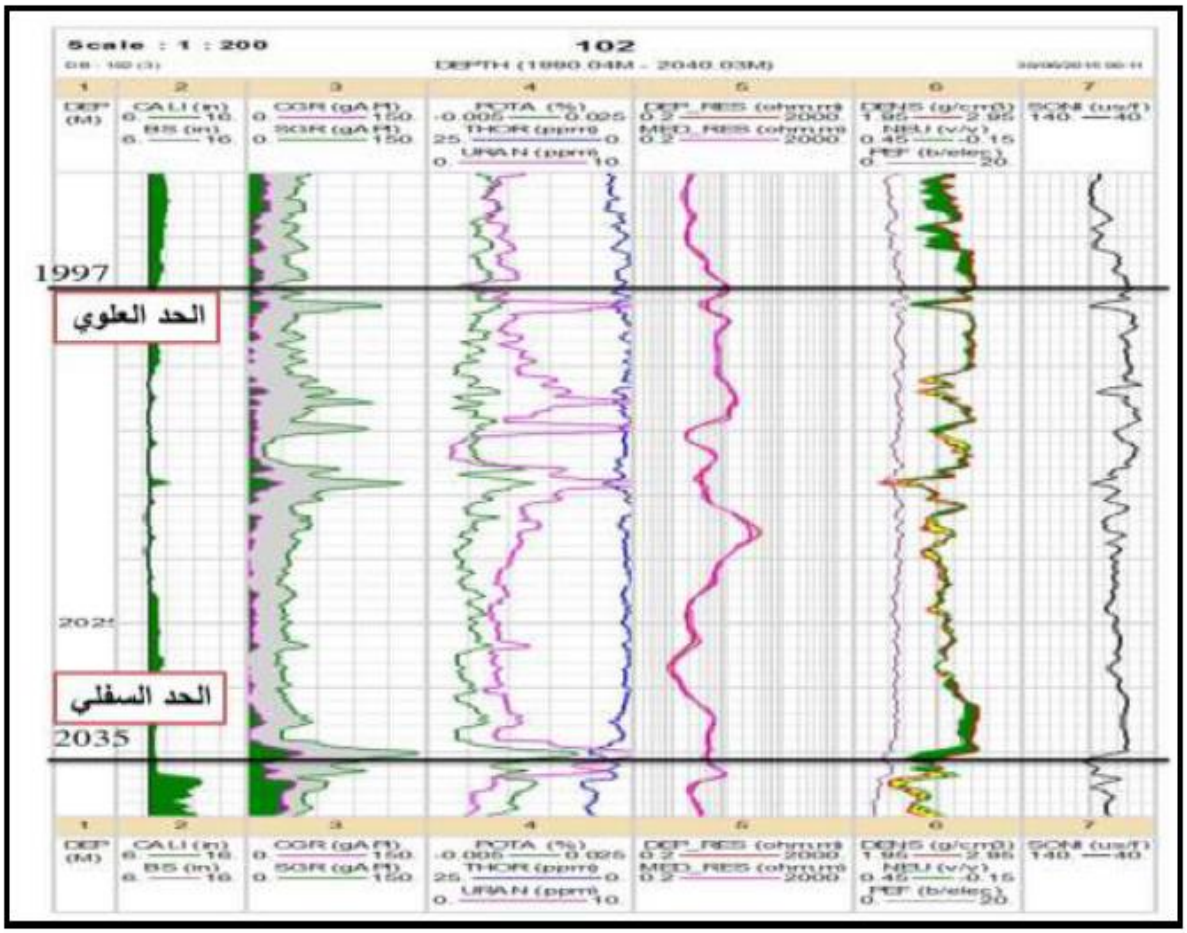
رقم البئر	103 الجزء العلوي	103 الجزء السفلي	102	101	101S
حجم V clay الغضار لكامل التشكيلة	0.20	0.27	0.12	0.05	0.27

تحديد حدود التشكيلة :

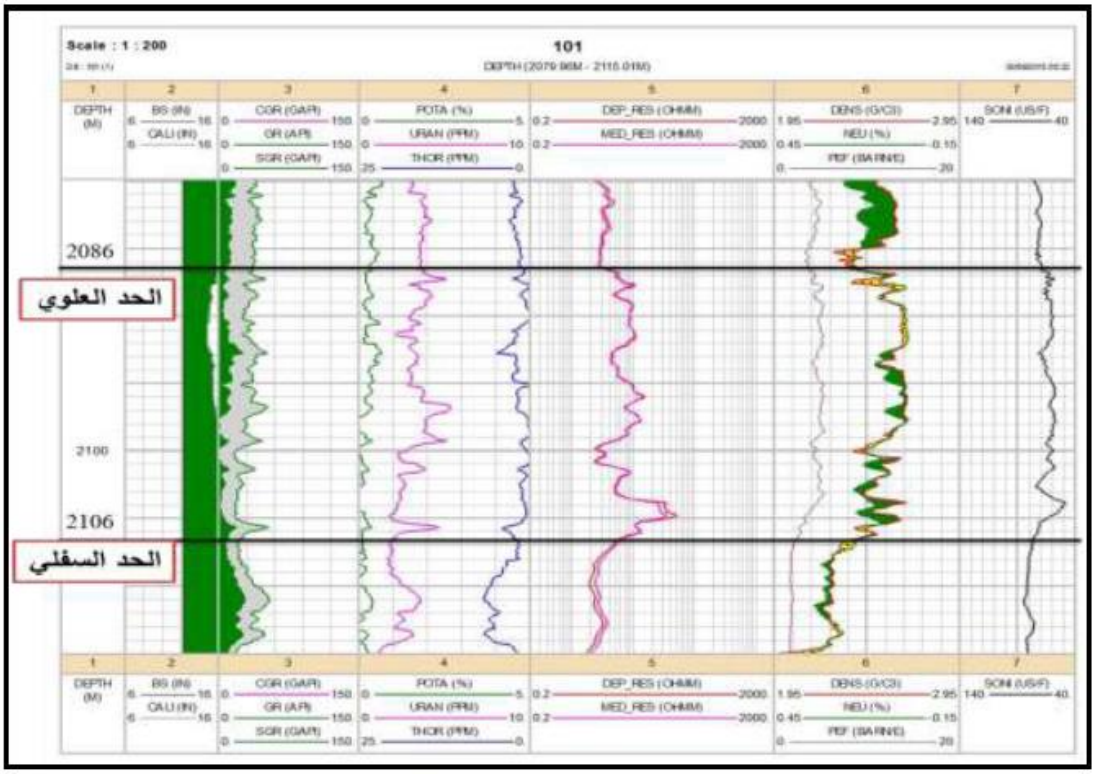
لتحديد الحدود الفاصلة لتشكيلة الأرك في آبار حقل الرتكة تم الاستعانة بالقياسات البئرية . توضح الأشكال (15 ، 16 ، 17) الحدود العليا والسفلى لنشكيلة الأرك ضمن الأبار المدروسة .



الشكل (15) : الحد العلوي والسفلي **لتشكيلة الأرك ضمن البئر 103**



الشكل (16) : الحد العلوي والسفلي **لتشكيلة الأرك ضمن البئر 102**



الشكل (17) : الحد العلوي والسفلي **لتشكيلة الأرك ضمن البئر 101**

الجدول (5) يلخص الحد العلوي والسفلي **لتشكيلة الأرك** اضافة إلى السماكة الكلية في كل بئر ضمن حقل الرتكة .

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

والجدول (6) يلخص الحد العلوي والسفلي **لتشكيلة الرطبة** اضافة إلى السماكة الكلية في كل بئر ضمن حقل الرتكة

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

حجم الغضار

يتم حساب حجم الغضار لكل الأبار ضمن القسم المنتج من التشكيلة بالاعتماد على قياس الاشعاع الطبيعي (GR) .

يبين الجدول (7) معدل حجم الغضار لتشكيلة الآرك ضمن آبار المنطقة المدروسة .

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

من خلال النتائج يبدو أن حجم الغضار قليل ضمن التشكيلة ، وبالتالي التشكيلة نظيفة باستثناء قيم البئر 101 S يلاحظ قيماً عالية نسبياً.

كما يبين الجدول (8) معدل حجم الغضار لكامل تشكيلة الرطبة ضمن آبار المنطقة المدروسة .

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

يلاحظ أن قيم حجم الغضار جيدة اذ أن تشكيلة الرطبة مكونة من الحجر الرملي والغضار الذي تزداد نسبته بشكل خاص في الجزء السفلي من التشكيلة في البئر 103 وفي البئر 101 S .

توزع الغضار ضمن التشكيلة :

يتوزع الغضار ضمن الفراغ المسامي بأشكال مختلفة :

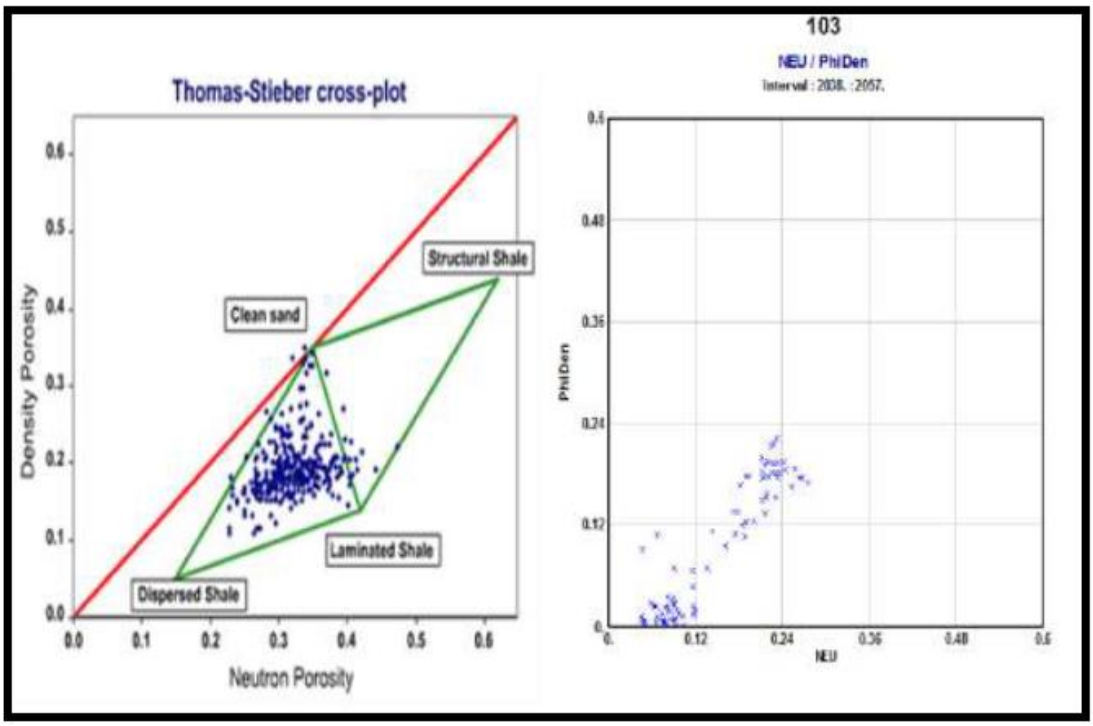
- رقائقي
- بنيوي
- مبعثر

ولهذا التوزيع تأثير مباشر على المسامية الفعالة .

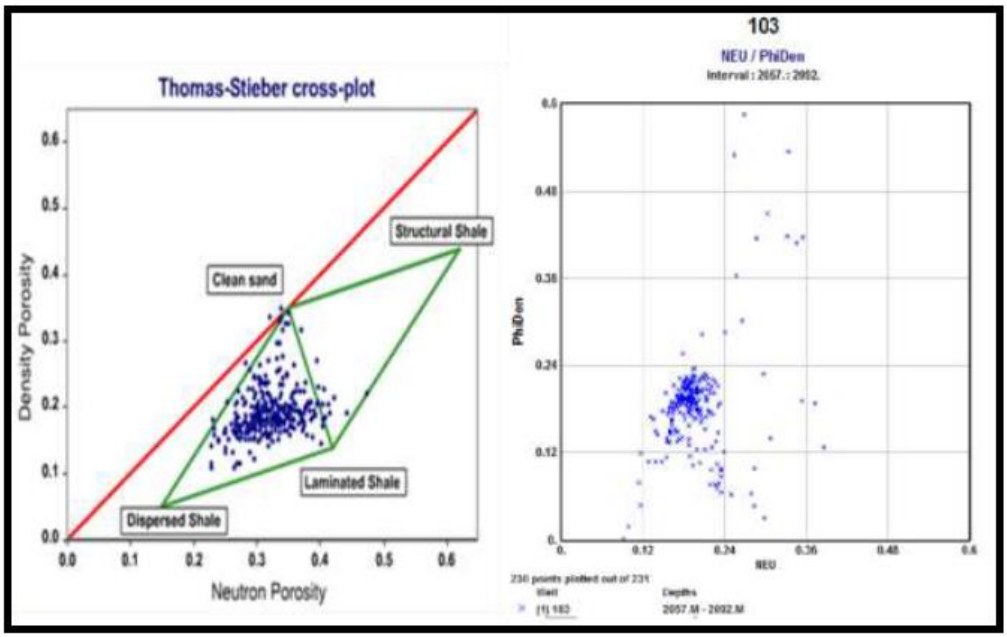
تم إنشاء مخططات تربط بين

المسامية النيترونية (محور X) **والمسامية الكثافية** (محور Y) من أجل تحديد شكل توزع الغضار، ومقارنتها مع مخطط **(Thomas – Stieber)**، وذلك من أجل معرفة تأثير تواجد الغضار على المسامية.

يُبين الشكل (18) 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 .



الشكل (18) : عرض تقاطعي ضمن البئر 103 بين المسامية النترونية والمسامية الكثافية ومقارنته مع مخطط (Thomas – Stieber) الذي يظهر أشكال توزع الغضار ضمن **تشكيلة الأرك** .



الشكل (19) : عرض تقاطعي ضمن البئر 103 بين المسامية النترونية والمسامية الكثافية ومقارنته مع مخطط (Thomas – Stieber) الذي يظهر أشكال توزع الغضار ضمن **تشكيلة الرطبة** .

الاشباع المائي والهيدروكربوني

تم حساب الإشباع المائي من خلال علاقة آرشي . يُوضح الجدول (9) قيم الإشباع المائي والهيدروكربوني ضمن **تشكيلة الرطبة** في القسم المنتج المسامي، حيث يُلاحظ أن كمية الإشباع النفطي ضمن البئر **103** ممتازة، وأقل ضمن البئر 101. كما أن التشكيلة مشبعة بالماء ضمن باقي الآبار.

جدول (9) : معدل الإشباع المائي 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	-----	------

أما معدل الإشباع المائي والهيدروكربوني **لتشكيلة الأرك** ..فيلاحظ أن معدل الأشباع الهيدروكربوني جيد في البئر 103 وخاصة في الجزء السفلي ، وكذلك في البئر 102 بيمنا في البئر 101 فالنفط غير قابل للحركة وبالتالي فإن البئر غير منتجة .. والبئر 101 S تعتبر جافة .

جدول (10) : معدل الإشباع المائي ومعدل الإشباع الهيدروكربوني لتشكيلة الأرك

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	---- بئر غير منتج
101 S	1	----- بئر جافة

النتائج

- بعد معالجة وتفسير معطيات القياسات الجيوفيزيائية البئرية للآبار المدروسة في حقل الرتكة تم التوصل للنتائج التالية :
- تبين أن **تشكيلة الآرك** هي تشكيلة كربوناتية كلسية 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 ، بينما **تشكيلة الرطبة** هي تشكيلة رملية غضارية بمواصفات خزنية جيدة حيث أنها تتمتع بنفاذية ممتازة، وبمسامية كلية جيدة تصل إلى (0.15)، وبمسامية فعالة (0.13) .
- يوجود الغضار بنسب متفاوتة ضمن **تشكيلة الآرك وتشكيلة الرطبة** وبشكل رقائقي إلى مبعثر، وهذا كان له أثر واضح في تخفيض المسامية الفعالة.
- تعتبر تشكيلة **الآرك** في البئر 102 خازنة للنفط ولكن بمواصفات خزنية ضعيفة وبإشباع نفطي يصل إلى (68%).أما في البئر 103 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 لـ (75%)، أما في البئرين 101 والبئر 101S فهي تشكيلة غير خازنة للنفط وبمواصفات سيئة.
- تعبر تشكيلة الرطبة خازنة في البئر 103 وبسماكة تصل إلى (35m) وبمواصفات ممتازة ويصل الإشباع النفطي فيها (0.88) ضمن كامل التشكيلة، وفي البئر 101 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 والبئر 101S فكانت التشكيلة مائية.

بشكل عام يمكن القول إن تشكيلة الرطبة ضمن حقل الرتكة تعتبر تشكيلة خازنة وبمواصفات ممتازة ونسب إشباعات جيدة مكنته من القدرة على إنتاج الهيدروكربون، وباحتياطي جيد ضمن البئر 103 بشكل أساسي، بينما تشكيلة الأرك فهي تعتبر ذات مواصفات خزنية ضعيفة.

المراجع References

- التقارير النهائية لحقلي تل مرمر والرتكة 2011 ،الشركة السورية للنفط، دمشق.
- القاضي. م، 1994 ،جيولوجيا النفط، منشورات جامعة دمشق
- العجي. ع، رماح. س، 2011 ،القياسات الجيوفيزيائية البئرية 1 منشورات جامعة دمشق.
- انارة ولاء ، 2015 : دراسة التباين في الخصائص البتروفيزيائية لبعض التشكيلات الخازنة في حقل الرتكة وتأثيرها على الأنتاج