الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

الجامعة السورية الخاصة

كلية الهندسة البترولية



تحديد خواص التشكيلات الخازنة
في حقل تل مرمر
باستخدام القياسات الجيوفيزيائية البئرية

Determining The Properties of Reservoir Formations In The Tel Marmar Field Using Well Geophysical Measurements

مشروع تخرج أعد لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إعداد الطالب :

أمير عبد الباقي

إشراف الدكتور:

د. محسن سعيد

2024/4/20

العام الدراسي 2023-2024

الاهداء:

- عندما يكون الإهداء ليدٍ نهضت بي وبحلمي عند كل لحظةِ ركود ..
الحبيبة وظِلُّ قلبي في كل طريقٍ أمشيه .. لكلّ لحظةٍ وثقتِ فيها بحلمي ، لكِ الحلم والإنجاز..
إليكِ أمّي...

- الجناح الآمن الذي حلّق بنا مع كلّ صوتٍ نادى "أبي"
إلى الجبهة ذات النور والبركة..
من وصَل طريقنا بالرضى والامتنان حدَّ فخرنا بأنهُ الوالد والسند..
إليكَ أبي..

- رفيقة أيامي منذ علمتُ أن قطعة سكّر سكنت بيتنا ..
قمرُ ليلي عندما يغيب في السماء قمرٌ..
الزاوية الأحنّ في يومي وشغفي..
أختي المهندسة هديل..

- من يردّ على حلمي أنّ لا مستحيل طالما الكتفان متعاضدان ..
وارفُ المحبّة وملبّي النداء متى ما شاء صوتي أن ينادي باسمه..
أخي ريان..

- إلى روحٍ حلّت علينا ضيفاً كحمامة سلامٍ ..
ذهبت وبقي صدى دعواتها لنا بأن نكون أفضل من أمس لنليق بغدٍ .
إلى من ذهبت لجوار الرحمن وذكراها في قلوبنا..
إلى روح الحبيبة خالتي أمل...

- إلى من نصّبوا للوفاء سنيناً كُثُر .. ومواقفاً أكثر..
رفاق لحظاتٍ ما كانت لتصبوا لنتيجةٍ تُرى لولا أثرهم فيها..
إلى زملائي وعزوتي الغاليين ..

- قدوة كل طالب علمٍ وسورُ حلمه .. الأيدي المرشدة، المخلصة،
الناصحة والمقدّرة دائماً .. مُشرِفو الخطوة وقادتها..
دكاترتي الأفاضل..

شكر:

إلى من أفاضَ عليَّ من السخاء بالعلم والإرشاد..
من أحسنَ صنيعاً بالإشراف والمتابعة على خطواتٍ تشذّبت بين يديه..
الفاضل دائماً ..
الأمين وصاحب اليد المملوءة عطاءً..
كل شكري وامتناني الى الدكتور الفاضل **محسن سعيد**

الذي وافق على الاشراف على هذا البحث وقدم لي كل التوجيهات والدعم والنصائح العلمية الضرورية التي كان لها الأثر الكبير في إتمام هذا البحث واسأل الله تعالى أن يجزيه خير الجزاء.

المحتويات:

- مقدمة
- معلومات عامة
- منخفض الفرات
  - التشكيلات النفطية في منخفض الفرات
- أهداف الدراسة
- منطقة الدراسة
  - الوضع الجيولوجي والخريطة الجيولوجية للمنطقة
  - المعطيات الليثولوجية للتركيب
  - تشكيلة الرطبة وخواصها
- الخواص البتروفيزيائية
  - المسامية
  - النفاذية
  - الإشباعات
  - أنواع الغضار وتأثيرة
- القياسات البئرية المستخدمة وآليات القياس
  سوابر الليثولوجيا، السوابر البتروفيزيائية، سوابر الإشباعات
- حقل تل مرمر
  أسس التفسير، تسلسل خطوات التفسير
- النتائج

.....

- **المقدمة (Introduction):**

تناول هذا المشروع دراسة الخواص والصفات العامة لتشكيلة الرطبة الرملية في حقل تل مرمر، بشكل عام تتميز غالبية التشكيلات الرملية بمواصفات بتروفيزيائية تؤهلها لتكون صخور خازنة بامتياز، وبشكل عام لا تكون التشكيلات الرملية نقية 100%، حيث تختلط بنسب غضارية، حيث تلعب هذه النسبة دورا سلبيا في التأثير على المواصفات الخزنية ،ويتغير هذا التأثير حسب نسبة الغضار ونوعه ونمط توضعه.

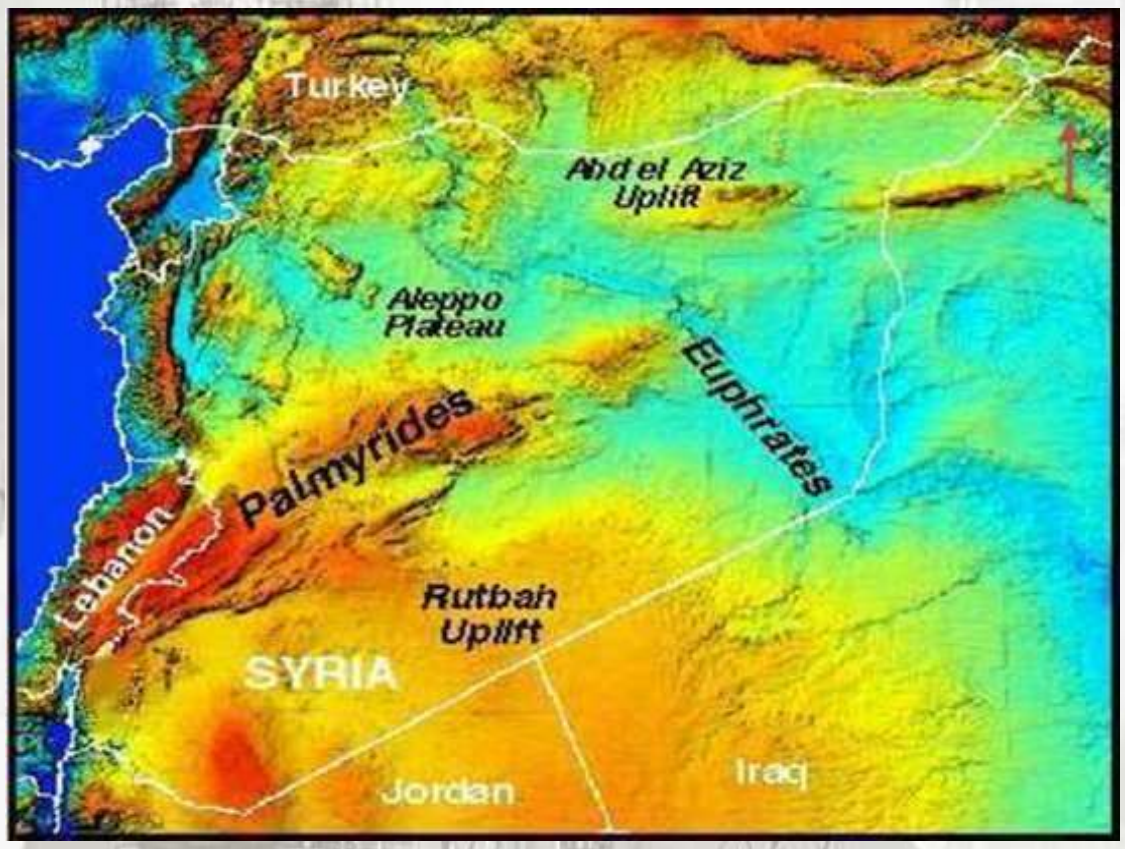
تمت دراسة تشكيلة الرطبة ذات الليثولوجيا الرملية من خلال معطيات أربعة أبار، حفرت في حقل تل مرمر، وهي مثال واقعي على دراسة تأثير الغضار على المواصفات الخزنية للتشكيلات الرملية الخازنة، وتم تسليط الضوء على دور الغضار والتغيرات التي تؤثر على الجودة الخزنية والقدرة الانتاجية للتشكيلة الرملية المذكورة.

يمكن أن تدرس الصخور المخترقة في الآبار، بطرائق مباشرة عن طريق الشرائح المجهرية المأخوذة من اللبابات الصخرية (Cores)، وتكون نتائجها دقيقة وواقعية، ولكن لا تتوفر الامكانيات دائما 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 اشعاعي.... إلخ)، والتي تمكننا من تحديد الخواص الخزنية للتشكيلات المدروسة، فيما تلعب دقة المفسر ومعرفته بطبيعة المنطقة الدور الأساسي بدقة 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 تعقيدا 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 انخفاضا.

- **منخفض الفرات** (Euphrates Graben)

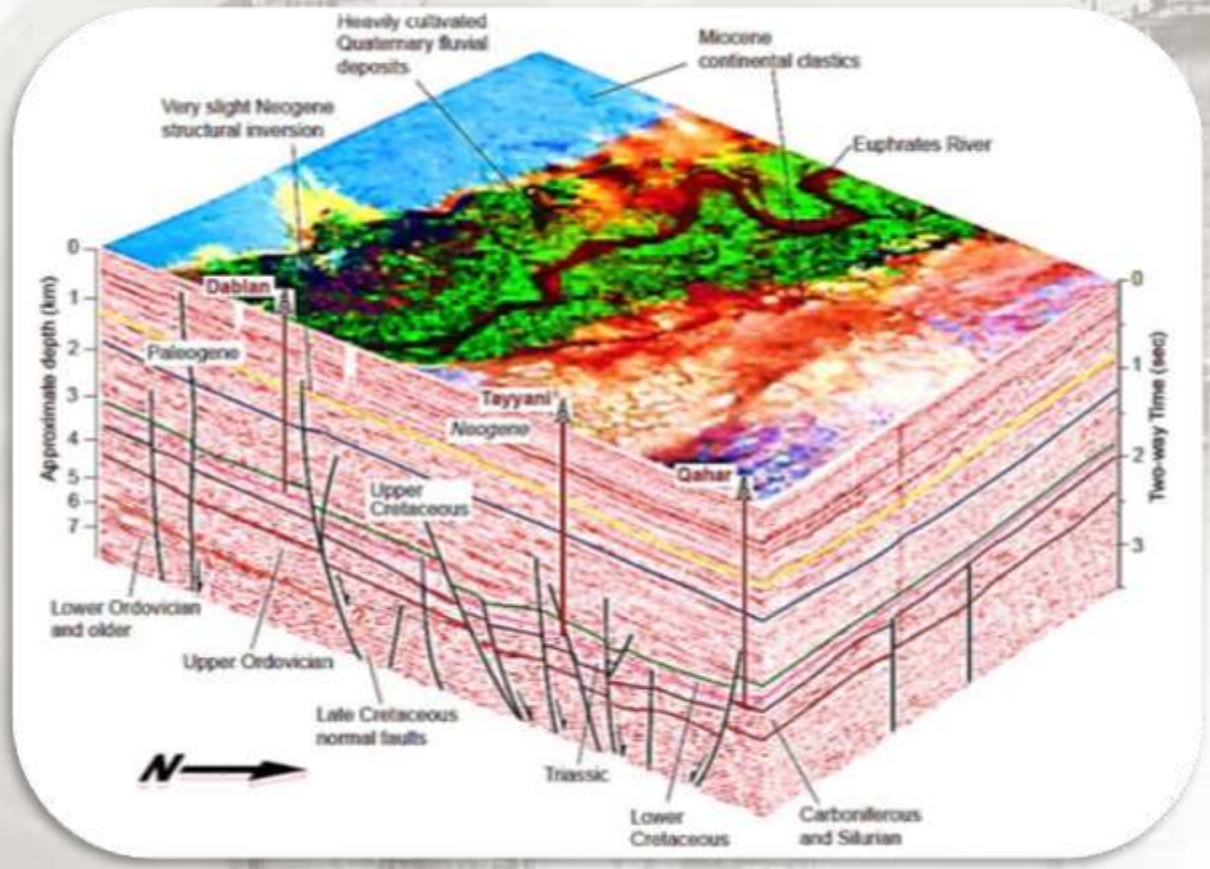
تقع منطقة تل مرمر ضمن منخفض الفرات، الذي يعتبر من الأحواض الأنخفاسية في سوريا، وهو عبارة عن بنية ضمن قارية ذات اتجاه (شمال غرب–جنوب شرق)، تتشكل في الجزء الشمالي من الصفيحة العربية.

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 بعض 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

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 ليثولوجيا وسحنيا. وتعد تشكيلة 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 غالبا 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 الزمن 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 المقلوبةTitled 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 نفطيا في سوريا، ويحوي على الكميات الأهم من الهيدروكربون في سورية، ولم يكن معروفا قبل الثمانينات، ويُعد حقل التيم هو أول حقل مكتشف في عام 1985.

بدأ الاستثمار في حوض الفرات عام1987 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 حقول(تل مرمر_ وشرق تل مرمر)، أي تتواجد في المناطق التي تحتوي على سماكات هامة من صخور المنشأ، العائدة إلى الكريتاسي العلوي (مثل تشكيلات رماح والأرك والشيرانيش السفلي).

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 (ترياسي علوي) خزانا نفطيا هاما 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 وامداد الهيدروكربون لجميع حقول المنطقة، تُعد تشكيلة الشيرانيش العلوية أفضل الصخور المولدة للنفط، وخاصة القسم العلوي منها كما أشارت الدارسات الجيوكيميائية 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.

- صخر الغطاء:

كونت تشكيلات (الرماح والأرك والشيرانيش) المؤلفة من الحجر الكلسي المارلي، والتي ترسبت أثناء الكريتاسي العلوي، بالتزامن مع عمليات التصدع، صخورا 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.

كماُ شكل الحجر الغضاري المسمى (Waste zone) المتوضع أسفل التشكيلات المغطية المذكورة أعلاه، صخرا مغطيا جيدا أيضاً في بعض حقول النفط من المنطقة، خصوصا 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 claystone sand) مع سحنات مختلفة بين بيئات قارية وشاطئية.

- الخزان الثاني هو تشكيلة الملوسة F (الترياسي العلوي): بسماكة (500m–200) ويتألف من تباينات من الحجر الرملي والغضار heterogeneous sandstone and Claystone العائدين لبيئة ترسيب هي غالبا 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.

- **أهداف الدراسة:**

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد خصائص ومواصفات التشكيلة الخازنة في حقل تل مرمر بالاستعانة بمعطيات القياسات الجيوفيزيائية البئرية.

وتميز الخصائص الليتولوجية لتشكيلة الرطبة في تل مرمر، وكذلك الخصائص الخزنية التي تختلف من بئر لأخر، كما يتم تحديد حجوم الغضار، وأنواعها وأنماط توضعها وتغيرات نسبها في الحقل، وتأثيراتها على تغير الاشباعات.

- **منطقة الدراسة:**

يقع حقل تل مرمر كما هو موضح في الشكل (3) في الجهة الشرقية من خريطة أراضي الجمهورية العربية السورية في الزاوية الجنوبية –الشرقية من منخفض الفرات، وفي الجزء الجنوبي من منطقة انهدام الفرات، حيث يقع التركيب إلى الشرق من حقل عكاش، المنتج للنفط من تشكيلة مرقدة

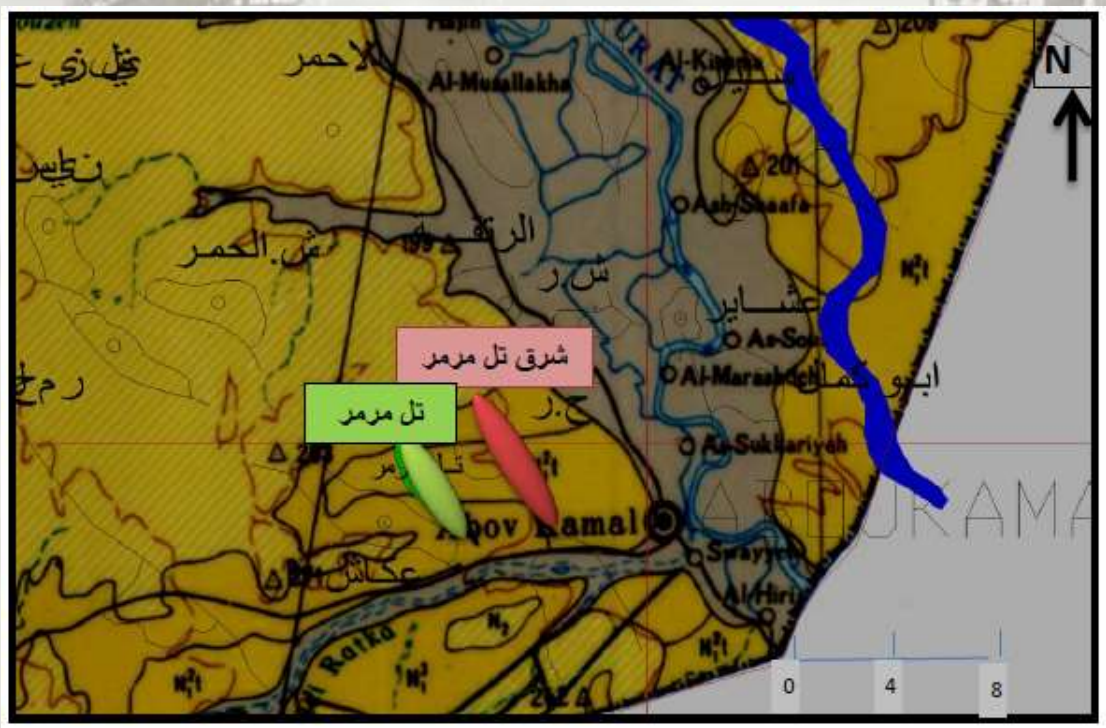
(الكربوناتية)، وجنوب حقل الرتكة الذي ينتج من تشكيلة الرطبة(الرملية)، والى الغرب من مدينة أبو كمال 15.5 كم.



الشكل (3): موقع منطقة الدراسة بالنسبة لخريطة الجمهورية العربية السورية

- **الوضع الجيولوجي والخريطة الجيولوجية للمنطقة:**

تتكشف في المنطقة تشكيلات بأعمار جيولوجية مختلفة والشكل (4) يوضح الخارطة الجيولوجية للمنطقة والتي تبين الليثولوجيا المسيطرة في تلك المنطقة وأعمار كل منها.



الشكل (4): الخريطة الجيولوجية للمنطقة والتكشفات السطحية

تظهر الخريطة الجيولوجية توزع أنواع الليثولوجيا المختلفة، حيث يقع ضمن توضعات الميوسين الأعلى تشكيلة الفارس الأسفل وهي رسوبيات تتألف من المتبخرات (جص وانهدريت) وغضار على شكل تناوبات مع احتمال وجود الملح في أسفل التشكيلة.

يبين الجدول التالي التتابع الستراتغرافي والعمود الليثولوجي للتشكيلات المتوقع اختراقها أثناء عمليات الحفر.

العمر	التشكيلة	الليثولوجيا
ميوسين أعلى	فارس أسفل	غضار وانهدريت مع وجود نطاق ملحي في الجزء السفلي من التشكيلة
ميوسين أوسط	انتقالية	انهدريت وكربونات وغضار
ميوسين أوسط	جريبة	حجر كلسي مع وجود طبيقات انهدريت
	فرات	حجر كلسي غضاري مع احتمال وجود رمل
باليوجين	شيلو	حجر كلسي و حجر كلسي مارلي
	جدالا	حجر كلسي وحجر كلسي غضاري ومارل مع وجود عقد أو رقائق من الصوان في أسفل التشكيلة
باليوجين أسفل	كيرماف	مارل وحجر كلسي غضاري
كريتاسي علوي	شيراتيش	حجر كلسي و حجر كلسي مارلي و غضار
	ارك مارل	حجر كلسي وحجر كلسي مارلي
	رماح +جوديا	دولوميت وحجر كلسي
كريتاسي أسفل	رطبة	غضار وحجر رملي مع طبيقات من الكربونات
ترياسي أعلى	سيرجيلو	حجر رملي و غضار و شيل و كربونات
كربوني	مرقدة	غضار وحجر رملي وكربونات

= المعطيات الليثولوجية للتركيب

تتكون بنية حقل تل مرمر حسب تقارير الشركة السورية للنفط من تركيب على شكل بلوك فالقي يتضمن إغلاق بنيوي محدد بفالق من جهة الغرب، وفي هذا الحقل تم التركيز على دراسة تشكيلة الرطبة كونها الأهم ضمن هذا التركيب وذلك نظرا لامتدادها الكبير وبشكل خاص ضمن منخفض الفرات إضافة للسماكة الهامة

لرسوبياتها الرملية ذات المواصفات الخزنية الجيدة، ولذلك كانت موضع اهتمام معظم الدراسات.

- **تشكيلة الرطبة وخواصها:**

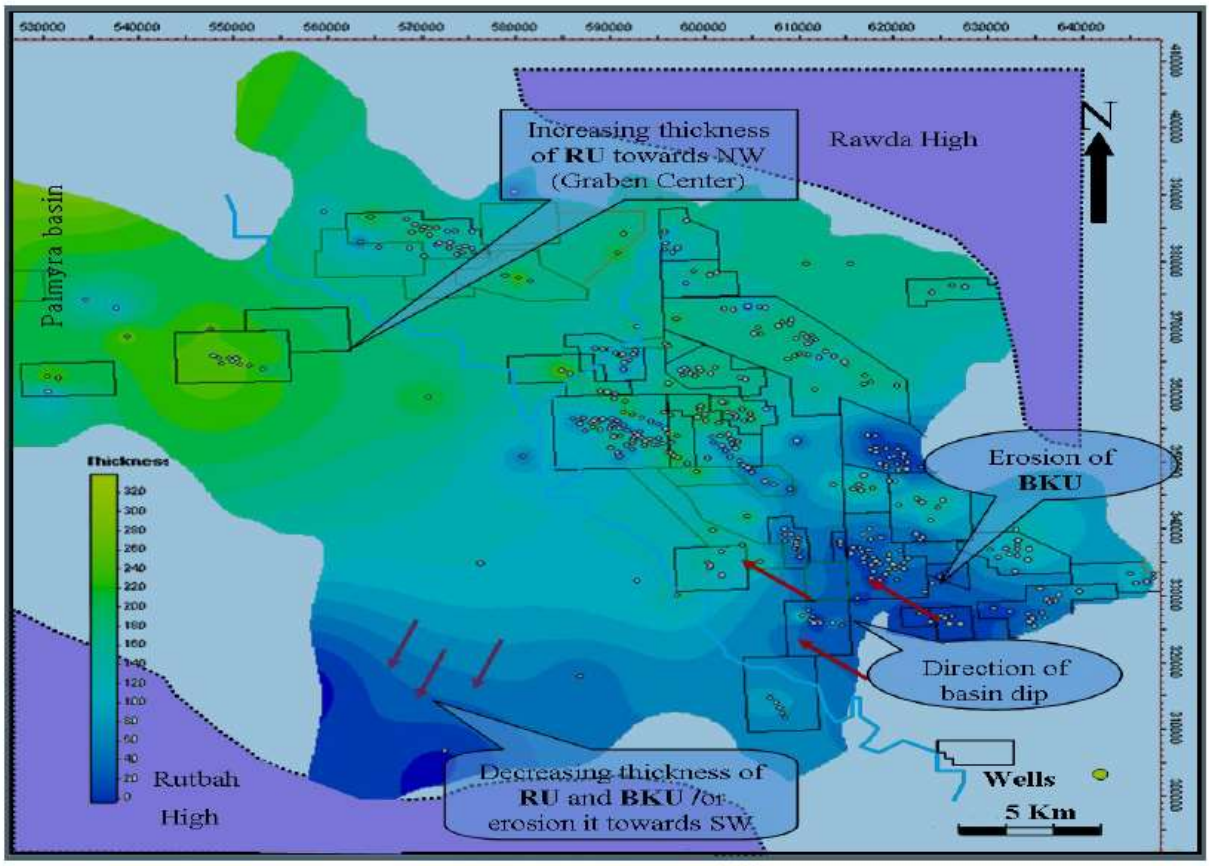
تعد تشكيلة الرطبة من أهم التشكيلات المنتجة للهيدروكربون في سورية، والتي تمتد بشكل كبير في حوض الفرات، وقد تم تنفيذ مجموعة من الدراسات عليها، لتحديد دقيق للمواصفات البتروفيزيائية والبترولوجية لهذه التشكيلة.

تم تقسيم التشكيلة من الناحية البترولوجية إلى قسمين علوي وسفلي وبالدراسات الأكثر تفصيلا تم تقسيمها كذلك إلى وحدات وتحت وحدات، حيث يحوي القسم السفلي من التشكيلة على ثلاث وحدات، بينما يحوي القسم العلوي على وحدتين فقط وذلك اعتمادا على التباينات الليثولوجية ضمن التشكيلة.

. تعد تشكيلة الرطبة هي التشكيلة الخازنة الرئيسية التي تنتشر في جنوب شرق وشرق ووسط القطر ضمن خزان منخفض الفرات، وتعتبر الهدف الرئيسي للحفر التنقيبي في منطقة الفرات ومرتفع الروضة.

تتألف تشكيلة الرطبة من سحنات رملية وغضارية نهرية في جنوب منخفض الفرات تصل مساميتها إلى 15% أحياناً، ثم تتدرج إلى سحنات بحرية هامشية ضحلة لتصبح بحرية أعمق في شمال المنخفض حسب تقارير الشركة السورية للنفط.

واعتمادا على معطيات الآبار المحفورة في كامل مساحة المنخفض تبين أن سماكة تشكيلة الرطبة تبدأ بقيم منخفضة (1 متر) في أقصى الجنوب والجنوب الشرقي، وتزداد بشكل كبير لتصل إلى (300) في الزاوية الشمالية الغربية من منخفض الفرات، وكانت السماكة الكبرى للرطبة ضمن المنخفض في حقل التييم كما في هو مبين في الشكل (5) .



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

(حسب تقارير شركة الفرا ت للنفط)

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

ويعود هذا إلى الحت الحاصل بسبب عمليات النهوض الإقليمي الذي حدث قبيل عمليات التصدع الرئيسي في المراحل الأولى من الكريتاسي العلوي مما أدى لتراجع وانسحاب البحر وتشكل سطح عدم التوافق .

يلاحظ في هذه التشكيلة وجود تناوبات من الحجر الرملي الكوارتزي والغضاري والرمال الغضارية والسلتية، وتتواجد هذه الرسوبيات مختلطة مع بعضها وأحياناً نقية.

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 قاسيا، وأحيانا يكون قليل القساوة، وأحيانا يكون رمليا وأحيانا طينيا وأحيانا كلسيا بشكل قليل.

يكون الحجر الرملي بنيا خفيفا إلى أسمر رمادي، شفاف وأحيانا يكون قليل القساوة، ويكون الملاط كلسيا وأحيانا غضاريا.

- **المكون السفلي:** تقع رسوبياته أيضاُ في الكريتاسي السفلي وتتكون بشكل رئيسي من الحجر الرملي وقليل من الحجر الغضاري.

يتبدل لون الحجر الرملي من بني خفيف إلى أبيض مسمر وهو قليل القساوة، يكون الملاط سيليسيا وأحيانا غضاريا، كما تتواجد فيه شقوق مجهرية.

يتغير لون الحجر الغضاري من رمادي إلى بني إلى بني خفيف ويكون في الوسط قليل القساوة وأحيانا كتلي طيني وأحيانا رملي، ويحتوي على الفحم.

- **الخواص البتروفيزيائية**

المسامية

ما هو مفهوم المسامية Definition of Porosity:

المسامية هي النسبة المئوية (%) التي تشكلها فراغات الصخر بالنسبة للحجم الكلي للصخر.

$$\Phi = \frac{V_r - V_s}{V_r} = \frac{\text{حجم الفراغات الكلية للصخر}}{\text{حجم الصخر الكلي}}$$

حيث: V_r : حجم الصخر الكلي

V_s : حجم المادة الصلبة للصخر

تعتمد المسامية porosity عموما على الفراغات بكافة أنواعها سواء أكانت أولية أو ثانوية.

وهناك العديد من أنواع المسامية نذكر منها:

المسامية الكلية ($t\Phi$): هي نسبة الحجم الذي تشغله كل فراغات الصخر بجميع أنواعها بالنسبة للحجم الكلي للصخر، وبالتالي المسامية الكلية تساوي مجموع المسامتين الأولية والثانوية.

نصنف المسامية من الناحية الخزنية إلى:

مسامية فعالة، ومسامية غير فعالة

المسامية الفعالة: تعود للمسامية المتصلة التي تستطيع الموائع من خلالها الجريان ضمن الصخر وبالتالي يسهل استخراجها من الصخر.

المسامية غير الفعالة: تعود للمسامية غير المتصلة حيث تجعل من جريان الموائع خلالها أمراً صعباً وبالتالي يصعب استخراجها من الصخر.

وأحيانا يستخدم مصطلح آخر هو المسامية المنتجة بدل المسامية الفعالة هي تمثل نسبة حجم الفراغات المتصلة ببعضها البعض فقط إلى حجم الصخر الكلي.

النفوذية

المفهوم العام:

النفاذية هي قياس لقدرة الوسط المسامي على إمرار الموائع، واحدته الدارسي Darcy، وهي قيمة كبيرة لذا يتم القياس بالميلي دارسي MD.

تتراوح قيم النفوذية بين صفر وألف ميللي دارسي، حيث تكون:

- النفاذية ضعيفة: إذا كانت قيمها بين صفر وعشرة ميللي دارسي.
- النفاذية متوسطة: إذا كانت قيمها بين عشرة ومئة ميللي دارسي.
- النفاذية جيدة: إذا تجاوزت قيمتها المئة ميللي دارسي.

حتى يكون الصخر نفوذا يجب أن تتوافر فيه مسامات متصلة، وتتوافق عادة المسامية المرتفعة مع النفاذية العالية، ولكن الوضع لا يسير على هذا دائما، لأن حجم المسامات وشكلها واتصالها ببعضها البعض، إضافة إلى مقدار المسامية نفسها، تؤثر جميعا في نفاذية الطبقة الصخرية.

إذ يمكن أن تكون المسامية متصلة وعالية في بعض الرمال ولكن تبقى المسامات صغيرة جدا فتصبح بنتيجتها ممرات المسامية محدودة جدا ومتعرجة.

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

يمكن مثلا للحجر الكلسي أن يحتوي على شقوق صغيرة ولكن مساميته ضعيفة على حين تكون نفاذيته عالية جدا.

إضافة لذلك لا تأخذ النفاذية قيما 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 جدا والناتجة عن تحطم الفلزات على إغلاق أجزاء من الفراغات الدقيقة معيقة بذلك حركة الموائع ضمنها.

إن مجال النفاذية في الطبقات المنتجة واسع جدا وهو يتراوح بين

(10- 10000 ميلي دارسي).

تكون نفاذية صخر معين ثابتة تجاه جريان مائع وحيد ومتجانس بشرط أن لايتفاعل المائع مع الصخر، وتسمى النفاذية المحددة لمائع وحيد متجانس بالنفاذية المطلقة.

أما النفاذية النسبية Kr، فهي نسبة النفاذية الفعالة إلى النفاذية المطلقة.

الاشباعات

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%، فهو نسبة حجم المائع إلى حجم الفراغي للصخر.

- الإشباع المائي Sw وهي قيمة مهمة جدا تعبرعن الجزء أو النسبة المئوية من الحجم المسامي الحاوي على **المياه الطبقية**، وقيمته لا تصل للصفر لأنه لا يوجد نطاق حاوي على النفط بشكل تام في الطبقة دون بقاء كمية من الماء المحجوز فيها (مثلا الماء المرتبط شعريا) ، ويسمى الإشباع المائي الغير قابل للانقاص وقد يصل الإشباع إلى100%.
- الإشباع بالهيدروكربون **Sh** ويعرف بحجم المسامات المملوءة بالنفط والغاز.

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

إذا كان الإشباع بالماء أقل من 100% هذا يعني: الإشباع بالهيدروكربون يساوي ما تبقى من 100% (أي نطرح منها قيمة الإشباع بالماء)

$$S_h=1-S_w$$

هناك الاشباعات القابلة للانتاج: تكون الموائع قابلة للحركة بين الحبات الصخرية.

الاشباعات الغير قابلة للإنقاص: وهي الاشباعات التي تبقى ضمن الطبقة ولا يمكن ازاحتها أو استخراجها.

يحسب الاشباع في القطاع النظيف من خلال علاقة أرشي التي تربط بين المسامية والمقاومية وثوابت أخرى تتعلق بالليتولوجيا حسب العلاقة:

(Archie)

$$Sw=\left[\frac{a * Rw}{\phi^{m} * Rt}\right]^{\frac{1}{n}}$$

حيث أن

sw الإشباع المائي في القطاع غير المجتاح uninvited zone.

Rw مقاومية المياه الطبقية resistivity of water

Rt المقاومية الحقيقة للمنطقة غير المجتاحة true resistivity

ϕ مسامية التشكيلة formation porosity

m ثابت السمنتة cementation factor

n ثابت الإشباع ويأخذ عادة القيمة 2 في الصخور الكربونائية .

كما أن حساب الإشباع في القطاع المغسول invaded zone تحسب من خلال العلاقة التالية :

(Archie) $$S_{xo} = \left[\frac{a}{\Phi^m} \times \frac{R_{mf}}{R_{xo}} \right]^{1/2}$$

حيث أن :

Sxo الإشباع المائي في النطاق المغسول flushed zone.

Rxo مقاومية النطاق المغسول .

Rmf مقاومية راشح الحفر .

- **أنواع الغضار وتأثيره على الخصائص الخزنية**

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

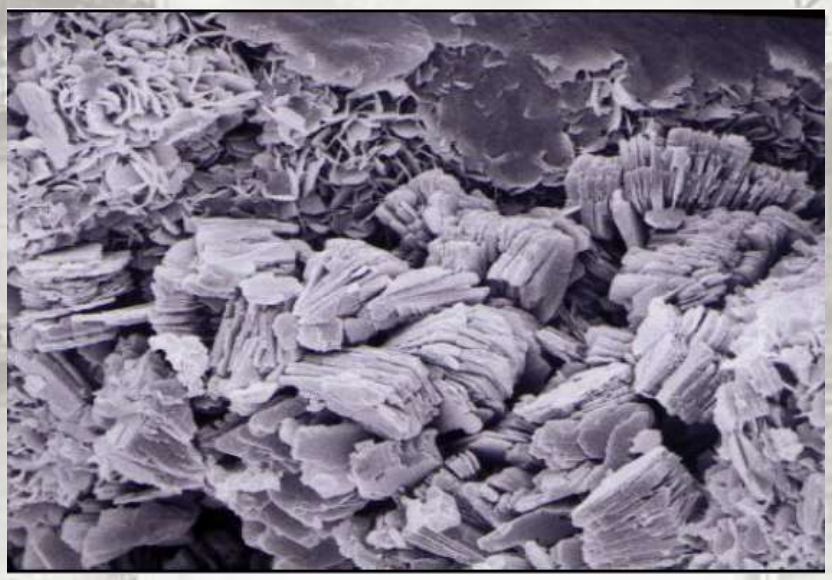
من أنواع الغضار نذكر:

الكاولينيت، الايليت، المونتموروبللونيت..

- **الكاولينيت:**

يتكون من صفائح وكل صفيحة مؤلفة من شريحتين، ترتبطان مع بعضهما بذرات الأوكسجين وترتبط مع الشرائح المجاورة بروابط هيدروجين قوية (H-O).

أن هذا الترابط لا يسمح للماء الحر بالدخول إلى الشبكة البلورية ويبقى الماء خارج الشبكة بحيث يتغلغل بين الشرائح من الأسفل والأعلى، يبين 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

- **المونتموروييللونيت:**

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 المونتموروييللونيت 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.

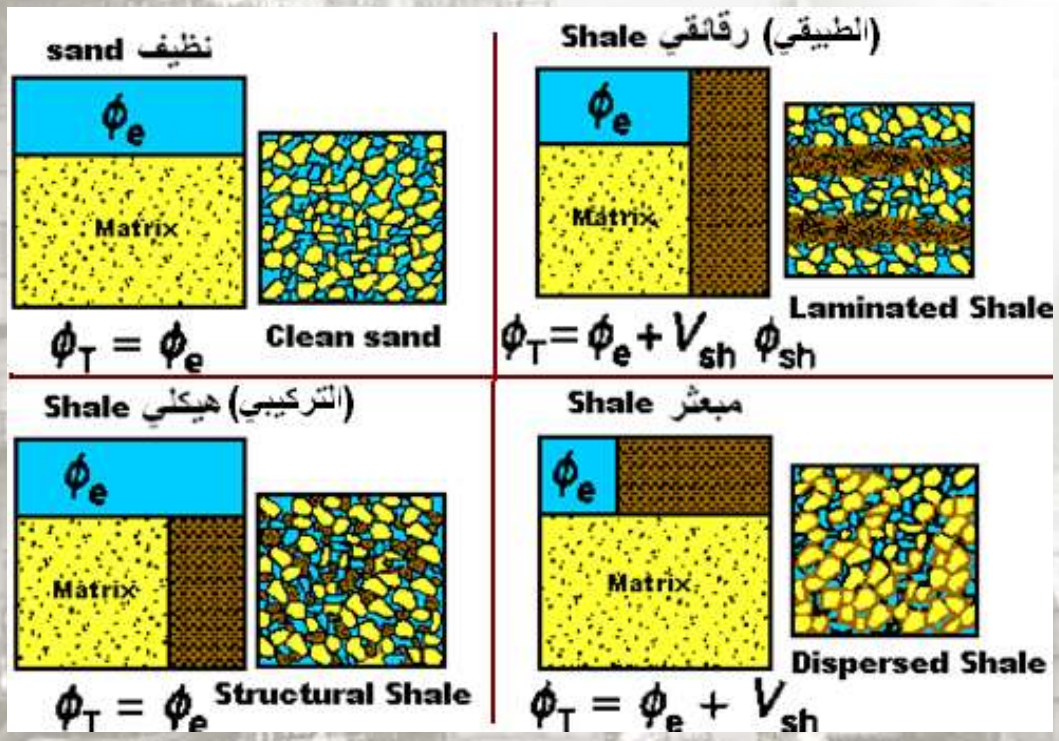
تشكل الفلزات الغضارية حواجز للنفوذية بسبب انتفاخ الغضار نتيجة لدخول جزيئات الماء بين صفائح الغضار، وذلك خلال عملية الحقن بالماء لزيادة طاقات الاستثمار والتعويض الثانوي للهيدروكربون وبالتالي تغيير ملحوظ في صفات الصخر الخازن.

بشكل عام لوحظ أن زيادة نسبة الفلزات الغضارية حتى لو كانت بسيطة القيمة تتجلى عموماً بتناقص في مسامية ونفوذية الصخر الخازن، وهناك بعض المكامن الغير منتجة بسبب وجود حواجز للنفوذية نتجت من ازدياد نسبة الغضار في المستوى الخازن مما أدى إلى احتجاز الهيدروكربون بهذه المكامن.

أنماط توضع الغضار ضمن التركيبات:

يتواجد الغضار في الصخور الرملية بثلاث أشكال، لكل منها تأثيراته على الانتاج.

يوضح الشكل (8) أنماط توضع الغضار بين الحبات الرملية، وتأثر المسامية بهذه الأنماط، كما يظهر الشكل تغير قيم المسامية الكلية حسب أنماط تواجد الغضار في التشكيلات الرملية .



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

- **القياسات البئرية المستخدمة وآلية القياس:**

نفذت ضمن حقل تل مرمر عدد من القياسات الجيوفيزيائية البئرية نذكر منها: قياس الاشعاع 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 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 تماما 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 مؤشرا على الطبقات النفوذة التي تسمح بتشكيل الكعكة الطينية (Mud Cake) ، والمقياس المستخدم لهذا التسجيل هو غالبا (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 اوالكربوناتية)

الخالية من الغضار تكون العناصر المشعة فيها قليلة جدا ، إلا إذا وجد فيها بعض الملوثات المشعة مثال الرماد البركاني.

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

تصطدم اشعاعات 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 متفاوتين من النشاطية الاشعاعية لتظهر الطبقة الأقل كثافة على أنها أعلى نشاطية بقليل.

تحوي سابرة غاما كاشفا اشعاعياً، يقيس اشعاعات غاما المتولدة في نطاق الطبقة القريب من السابرة، وتستخدم حاليا 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 جدا ولكن أحيانا، يعطي الحجر الرملي قيما 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 عموما فلها قيم منخفضة أيضا من الاشعاعية.

- 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 الاشعاعية الاجمالية للطبقة الصخرية، إضافة إلى طاقة كل من العناصر التالية: البوتاسيوم المشع والثوريوم واليورانيوم، 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 الصفائح والغضار الحاوي على الميكا، 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 (2-5.3%)، ويتواجد أيضا في الفلدسبار، ولذلك في حال وجود خليط من الغضار والرمال فإن البوتاسيوم عندها لا يؤخذ كمؤشر لوحده عن الغضار.

وكذلك الثوريوم الذي يدخل في الغضار والمعادن الثقيلة، إلا أنه يتمتع بقيم ثابتة تقريبا في الغضار، وفي حال وجود خليط من الغضار والرمل، عندها يُعتبر الثوريوم مؤشرا جيدا للغضار لأنه لا يتواجد في الرمل.

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، فأحيانا وجود مواد عضوية بشكل وفير لا يدل بالضرورة على وفرة اليورانيوم، لذلك فإن اليورانيوم لا يعتبر مؤشرا للغضار، لهذا يُفيد القياس الطيفي (NGS) في تصحيح قياس (GR) لمعرفة محتوى الصخر من الغضار (Clay content).

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 (CGR)(Corrected Gamma Ray) هو القياس المحسوب الخالي من اليورانيوم ويحدد تركيز الثوريوم والبوتاسيوم فقط وبالتالي فصل اليورانيوم وفي إجراء المضاهاة في الآبار.

- 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 الأشعة سيرها بطاقتها المتناقصة.

يقوم بعد ذلك الكاشف بتسجيل عدد الأشعة التي عادت نتيجة الاصطدام، التي تتناسب مع كثافة الالكترونات، والتي تعبر عن الكثافة الإجمالية 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^3 ويرمز لها بالرمز(ρ)، يُعطي القياس قيم الكثافة الإجمالية للصخر، ولكن يجب أن يكون لدينا معلومات كثافة الهيكل الصخري التي تحسب من اللباب الصخري، أو تؤخذ القيم القياسية المحددة من قبل شركة شلمبرجير ونحتاج أيضا 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 جدا، ويجب أن تكون السابرة مضغوطة على جدار البئر.

يعد الهدف الأساسي لقياس الكثافة هو حساب المسامية الكلية، أما الهدف الثانوي لها فهو تحديد الليثولوجيا وذلك بالترابط مع القياسات النيترونية، ويمكن أن تكون دليلا على وجود الغاز وذلك بالتشارك مع القياسات النيترونية، لأن الكثافة المنخفضة للغاز، تؤدي إلى مسامية ظاهرية أكبر من المسامية الحقيقية في النطاقات الحاملة للغاز.

استخدم قياس الكثافة في الدراسة بالتشارك مع القياس النيتروني لتحديد المسامية الكلية وبشكل ثانوي لتحديد الليثولوجيا.

القياسات النيترونية(Neutron log):

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

تقذف النيوترونات ذات الطاقة العالية باستمرار من منبع موضوع في السابرة لتصطدم بنوى مادة الطبقة الصخرية، يمكن اعتبار الاصطدام مرنا ويخسر النيوترون بسبب الاصطدام جزءا 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 عمليا لكتلة الهيدروجين، لذا تستجيب السابرة بالدرجة الأولى لكمية الهيدروجين في الطبقة الصخرية، وتقيس السابرة زمن الإبطاء النيوتروني المرتبط بدليل الهيدروجين.

يتم عد إشعاعات غاما أو النيوترونات المرتدة نفسها بواسطة المكشاف الموجود في السابرة، كما تتباطأ النيوترونات بشدة، ويتم التهامها خلال مسافة قصيرة جدا، 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 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.

يُعطي القياس النيوتروني قيم المسامية مباشرة، وبالتالي يُستخدم بشكل رئيسي لتعيين الطبقات المسامية وتحديد قيم مساميتها، ويُظهر 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 جدا للمسامية، أما دليل الهيدروجين للماء والنفط تقريبا يساوي الواحد، ولذلك فإن هذا القياس يحدد الغاز بشكل أدق بالترابط مع الكثافة.

الترابط بين الكثافة والنيترون: إن قياسي النيترون والكثافة هما قياسان مهمان، ويؤدي استخدامهما بشكل مشترك لإعطاء مسامية أكثر دقة ومعلومات أكثر عن التشكيلة، وبالتالي من خلال الترابط بين القياسين يتم تحديد نوعية الليثولوجيا. كما يساعد بتحديد أعالي التشكيلات (Formation tops)، وفي تحديد نوعية

المائع، وخصوصا في الحجر الرملي أي لمعرفة نوعية مائع التشكيلة(Fluid type)، وفي حساب المسامية الكلية.

ـالتسجيل 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 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.

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

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. ولكن يجب الانتباه إلى أنه يحدث للسرعة تغيرات كثيرة في النوع الواحد ويحدث تماثل أحيانا بين الصخور.

وبشكل عام فإن السرعات العالية تترافق مع الكربونات المتوسطة مع الحجر الرملي والغضار، أما المنخفضة فمع الغضار، وفي حال وجود الغاز سيؤثر على القياس الصوتي كثيرا ويعطي قراءات عالية وقيم مسامية عالية.

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.

- **قياسات المقاومية (Resistivity logs):**

وهي تقيس مقاومية التشكيلات الصخرية لمرور التيار الكهربائي ويمكن أن تقيس الناقلية، ويتم تحويل قيمها 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.

يجب 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 ازدت المقاومية وذلك في حال ثبات باقي البارامترات، لا يمكن لقياسات المقاومية أن تعطي معلومات عن لثيولوجيا الصخر، لأن المقاومية ليس لها حد معين لكل صخر، وذلك بسبب تأثر قياسات المقاومية بمحتوى السائل وبطبيعته وحرارته.

هناك ثلاثة أنواع من قياسات المقاومية:

- 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 كثيرا 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 كثيرا 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 كبيرا، وتميز الطبقات الرقيقة أو معتدلة السماكة بشكل جيد، وتُعطي هذه السوابر قراءة ضحلة للطبقة المحيطة بجدار البئرRxo 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 .
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 كمونا كهربائيا.

تتناسب شدة التيارات الدوامية الناشئة في الطبقة الصخرية، مع ناقلية هذه الطبقة للتيار الكهربائي، يتناسب الكمون المتحرض في وشيعة الاستقبال طردا 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 عكسا مع الإشباع المائي (Sw)، وعكسا مع الملوحة والنفاذية.

- **قياس (RFT) قياسات اختبار الطبقة:**

تُوفر سابرة (Repeat Formation Tester Tool) اختبارا قصيرا 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 عكسا مع النفاذية.

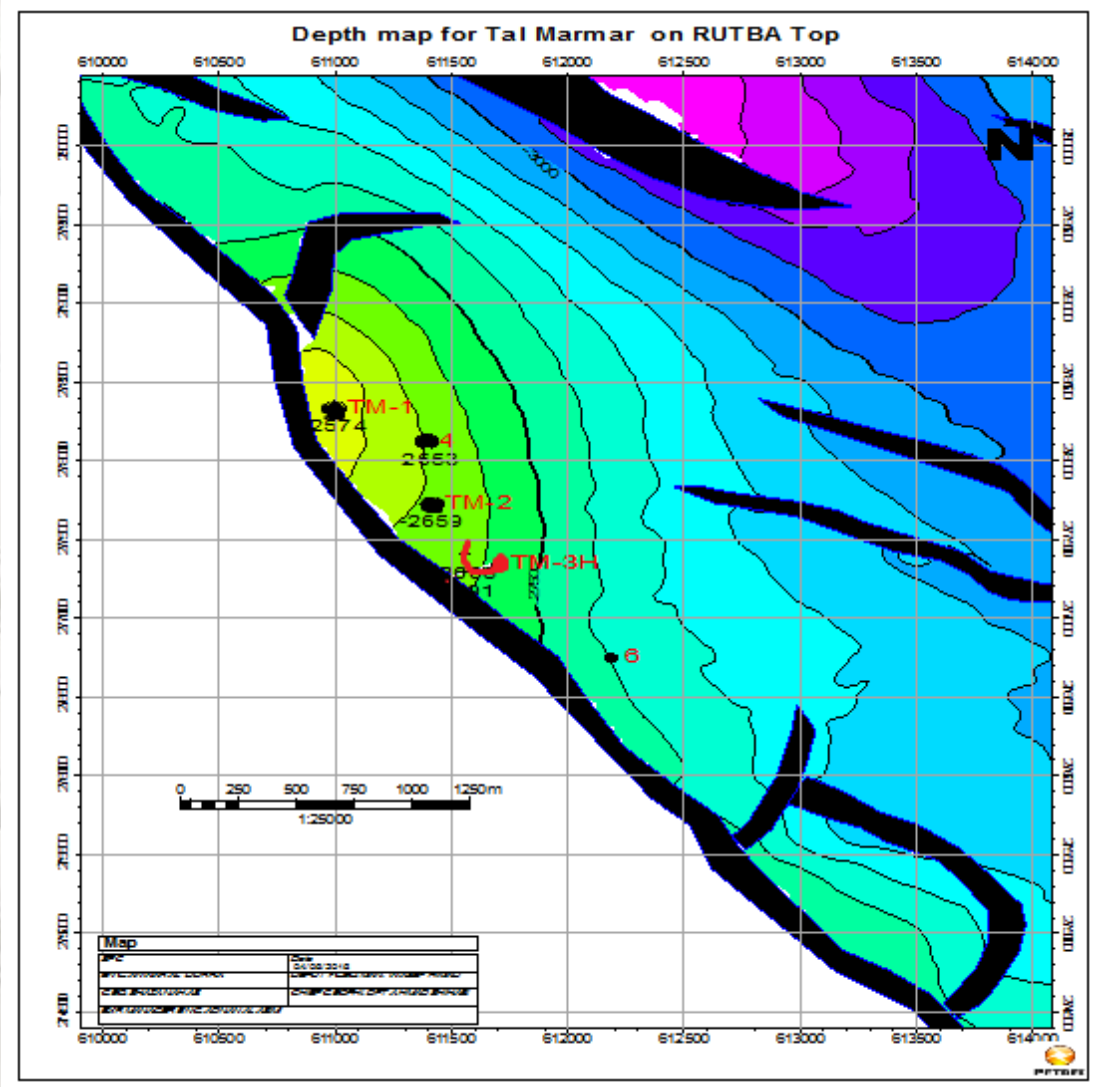
يتم تسجيل الضغط باستمرار طوال فترة الجريان، وفي الفترة التي تلي امتلاء حجرات المعاينة، من أجل الحصول على معطيات نهوض الضغط. ويمكن بهذه التقنية، تقدير النفاذية من معطيات هبوط الضغط (Draw Down) خلال جريان المائع، ومن معطيات نهوض الضغط اللاحقة التي تسجل بعد توقف الجريان.

وفي حقل مرمرتم الاستفادة من قياس اختبار الطبقة في تقدير قيمة النفاذية وفي تحديد الحد الفاصل بين الماء والنفط.

حقل تل مرمر

تم في هذا الحقل حفر أربعة آبار اختيرت مواقع حفرها وفق المناطق الأعلى لتشكيلة الرطبة.

حيث حفر البئر رقم (1) في أعلى نقطة من الحقل ، تلاها البئر رقم (4) ، كما تم لاحقا حفر البئر رقم **(5)** دون أن يتم إجراء قياسات بئرية لها ، وكذلك تم توقيع مكان لحفر البئر رقم (6) كما هو موضح في الشكل **(9)**.



الشكل (9): مواقع آبار حقل تل مرمر (SPC 2010)

- **أسس التفسير، تسلسل خطوات التفسير**

بسبب تشابه خطوات التفسير المنفذة على كل بئر في هذا الحقل، ومنعا للتكرار سوف نكتفي بعرض بعض خطوات التفسير المنفذة على البئر رقم (4) وشرحها مع ذكر المعادلات الرياضية الهامة المستخدمة في عملية 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

interactive petrophysices (IP) تابع لشركة (Senergy)،

يستخدم برنامج (IP) في تفسير القياسات البئرية وتقييم الخواص البتروفيزيائية والخزنية للتشكيلات الخازنة .

من أهم خطوات التفسير:

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

.....

البئر رقم (4):

عمق البئر: 3105 متر

قطر رأس الحفر: 8.5" Inch

وحظت دلائل هيدروكربونية على شكل فقاعات غازية في الاعماق بين:

(2905 - 2918) m

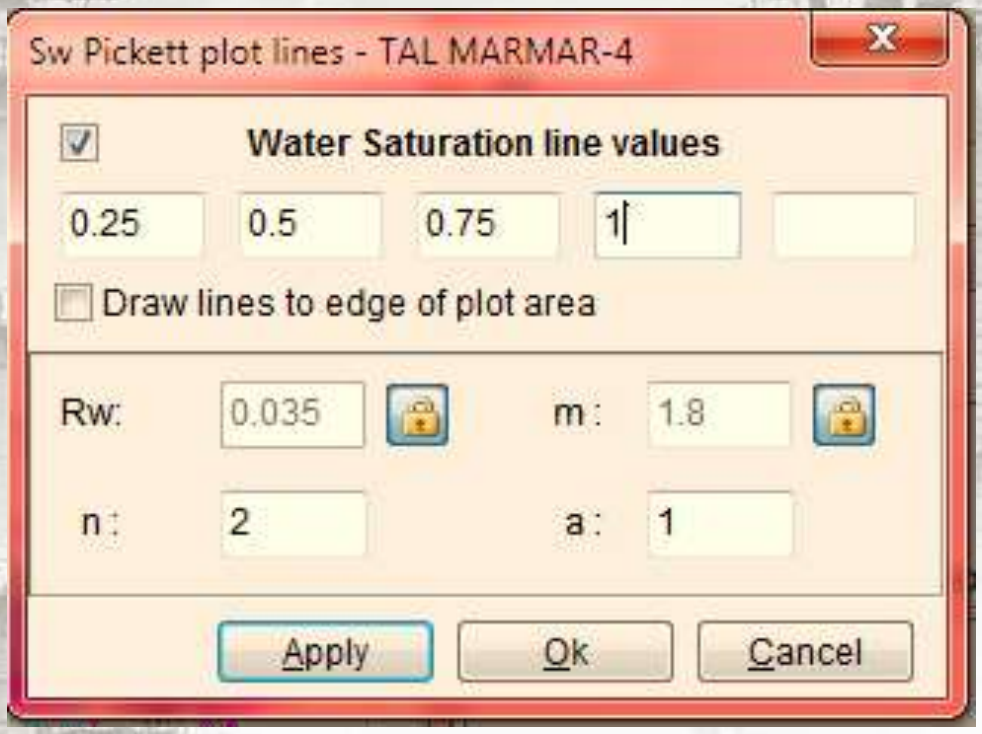
كمؤشرات وشواهد على تواجد الهيدروكربون.

- **تحديد مقاومية المياه الطبقية Rw:** يتم تحديد مقاومية المياه الطبقية بدقة من أجل الحصول على نتائج صحيحة وذات موثوقية عالية. تم تحديد قيمة مقاومية المياه الطبقية من طريقة (PickettPlot) . وهي طريقة يستخدم فيها مخطط بياني، تتوزع فيه القيم لتقاطع ثلاث قياسات بئرية وهي:
  - القياس النيتروني CNCM والذي يمثل وفق المحور X
  - المقاومية العميقة Rdeep والذي يتم تمثيلة على المحور Y
  - النشاط الاشعاعي المصحح KTH يمثل على المحور الثالث Z

يستخدم مقياس لوغاريتمي لتمثيل كل من قيم المقاومية العميقة والقياس النيتروني.

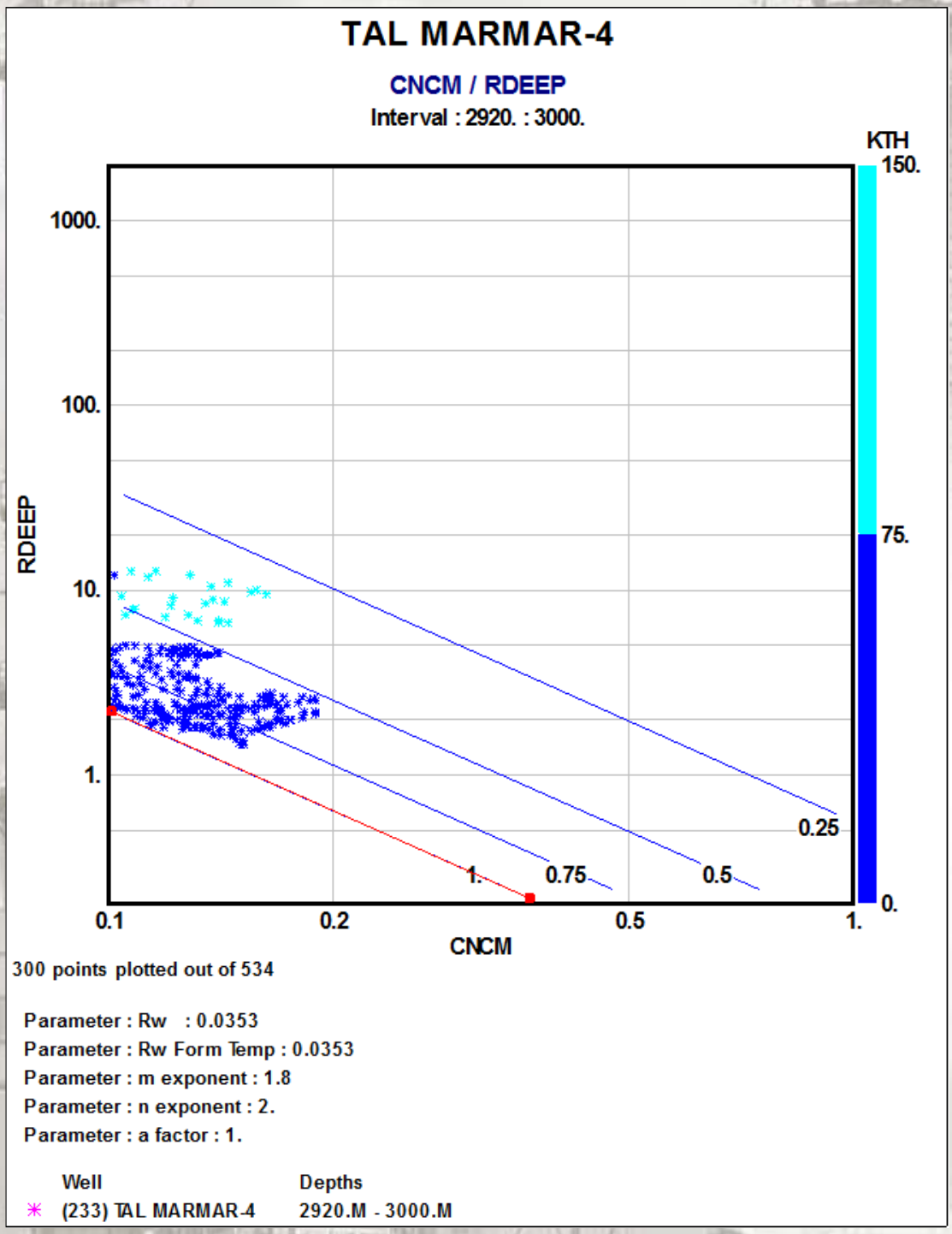
تدخل هذه القيم من أجل العمق الموافق للنطاق الحامل للماء في التشكيلة الخازنة المدروسة، ولكن في حال عدم وجودها، كما هو الحال في البئر (4) فإننا نبحث عن أقرب تشكيلة مجاورة حاملة للماء وقد تم اختيار تشكيلة السيرجللو التي تقع مباشرة أسفل تشكيلة الرطبة حيث لوحظ فيها طبقة حاملة للماء.

بعد ذلك يتم إدخال قيمة أس السمنتة (m) المعتمد، وقيمة الثابت (a) ، وأس الاشباع (n) كما في الشكل (10) .



الشكل (10): مدخلات تحديد المقاومية الطبقية المائية (Rw)

يدل القسم العلوي قي الشكل على نسب الاشباعات المائية (Sw) والتي تمثل وفق خطوط، ومن ثم يتم إزاحة الخطوط والتعديل على قيمها حتى وصول خط الإشباع المائي ذو القيمة **(1)** لأول مجموعة من القيم الممثلة في المخطط، وفي هذه الحالة تكون قيمة Rw هي قيمة مقاومية المياه الطبقية، كما في المخطط **التالي (11).**



المخطط **(11):** مخطط PickettPlot لتحديد قيمة مقاومية المياه الطبقية Rw

يبين المخطط المذكور توزع نقاط القياس وقيم الاشباع المائي المعبر عن كل محور، فيما يدل اللون الأحمر على قيمة (طول) أس السمنتة بحيث يمكن من خلال تحريك المحور تعديل قيمه من أجل الحصول على القيم الصحيحة.

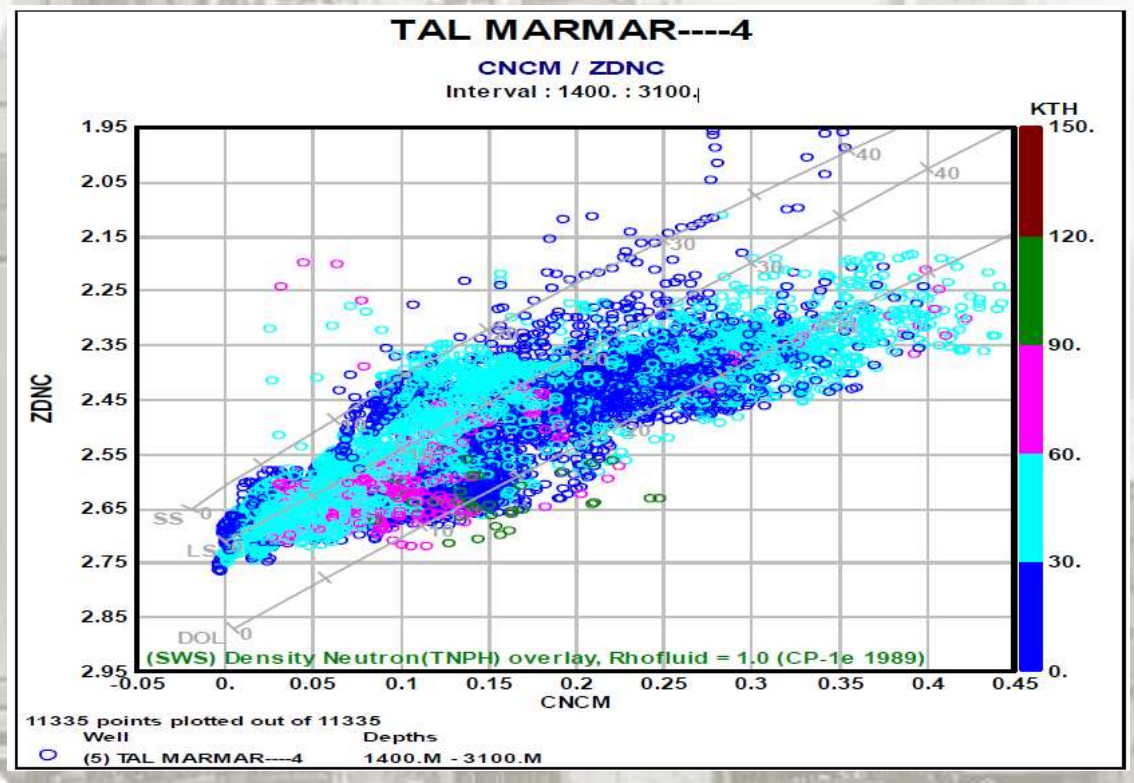
تعطى في أسفل المخطط قيمة مقاومية المياه الطبقية Rw والتي تساوي

(0.035 Ω.m) التي سوف تعتمد من أجل باقي آبار الحقل، ويتضح أسفلها قيم العوامل المدخلة المتمثلة بالثوابت (a , n , m).

- **وضع مخططات ومدرجات تكرارية (هيستوغرامات) توضيحية.**

تهدف هذه الخطوة إلى الحصول على معطيات أولية عن التشكيلات المخترقة، ومعلومات تساعد في عمليات التفسير للخواص الخزنية.

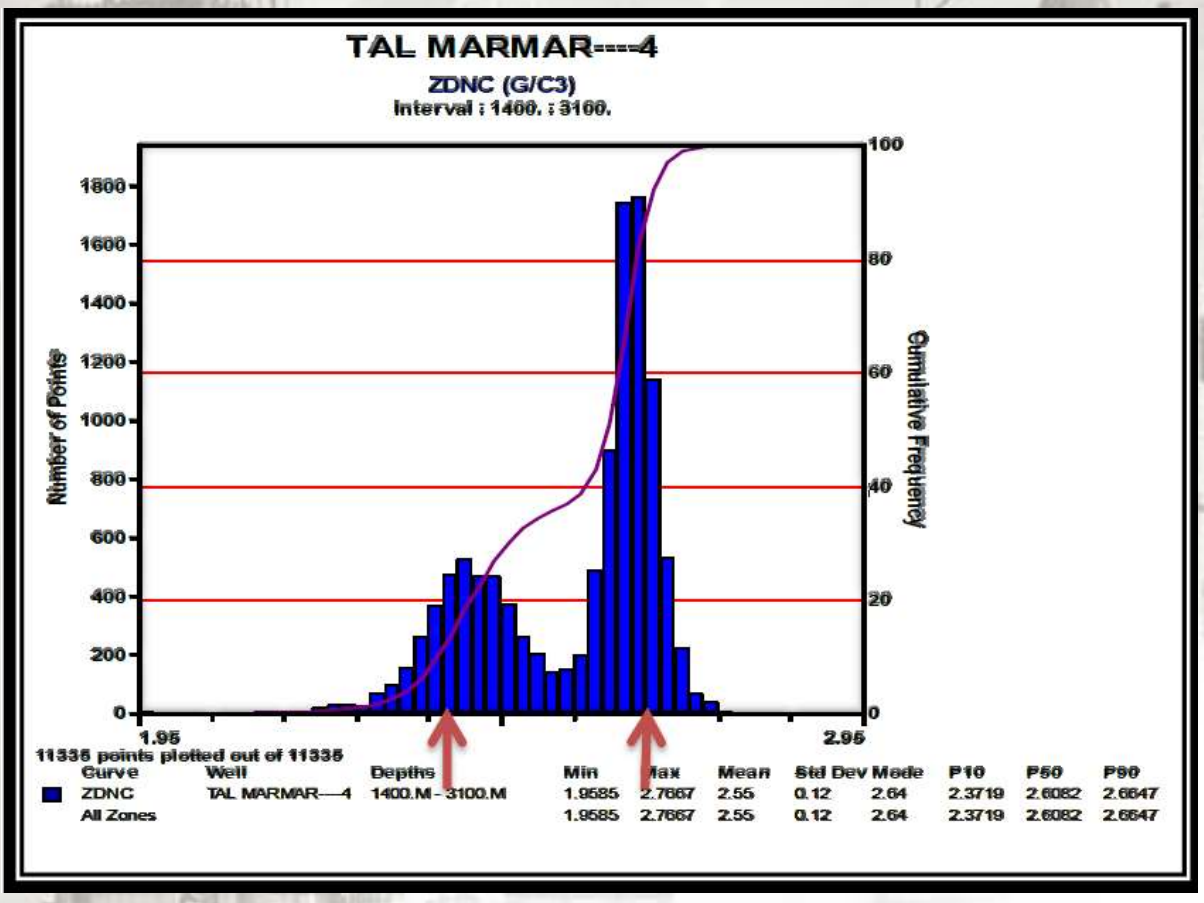
يتم تمثيل قيم القياسات الكثافية والنيترونية والاشعاعية كل منها على محور معين موافق للمخططات التي وضعت من قبل شلمبرجير للتفسيرات البئرية وليس اختيار عشوائي للمحاور، ليعطينا توزع قيم القياس على خطوط ضمن المخطط ، كل خط منها يدل على نوع ليثولوجيا معينة، كما يتم تحديد أعماق معينة لتمثيل القيم المقيسة، كما في المخطط التالي (12) :



المخطط **(12):** مخطط توزع قيم قياسات نيترونية –كثافية –اشعاعية للبئر رقم **(4)**

يتبن لنا ان الليثولوجيا السائدة بين العمق **(1400- 3100 m)** تتراوح بين الصخور الكربوناتية كالحجر الكلسي والدولوميت والحجر الرملي وفق القيم الممثلة ، كما يمكن من خلال الألوان، التي تدل على النشاط الاشعاعي أن نميز بين الغضار والصخور الأخرى ،فمثلا يدل (اللون الأزرق الفاتح والقاتم) على قياسات ذات نشاط اشعاعي أقل من **(**API 60 **)** ، التي تمثل مجموعة غير غضارية، ومجموعة قليلة إلى حد ما من الصخور الغضارية (اللون الزهري الأخضر والبني **)** ، وذلك حسب التوزع لقيم النشاط الإشعاعي (المحور Z **)** ، نلاحظ أن معظم القيم ذات نشاط إشعاعي منخفض(أقل من API 60) ، وكذلك من خلال قيم القياس الكثافي **(المحور y)** والقياسات النيترونية **(المحور x)** ، التي بمجملها تعطينا دلالات مبدئية عن الوصف الليثولوجي للتشكيلات المخترقة.

يمكن رسم مدرجات تكرارية لقياس معين، كتمثيل توزع قيم القياسات الكثافية وتمثيلها بشكل أعمدة، حيث المحور **(x)** يمثل قيم الكثافية، ويمثل المحور **(y)** عدد مرات القياس ذات القيم المتماثلة كما في المدرج التكراري التالي (هستوغرام) الشكل (13).



المدرج التكراري **(13):** توزع قيم القياس الكثافي البئر رقم **(4)**

يظهر في المدرج التكراري أعلاه توزع قيم الكثافية **حسب** (المحورX) للعمق المحدد بين **(1400- 3100 m)** ، حيث يبين عدد مرات القياس (المحور Y) .

يظهر أن القياسات الكثافية (قياس كل**10** cm) تتوزع على مجموعتين لهما قيم كثافية مختلفة :

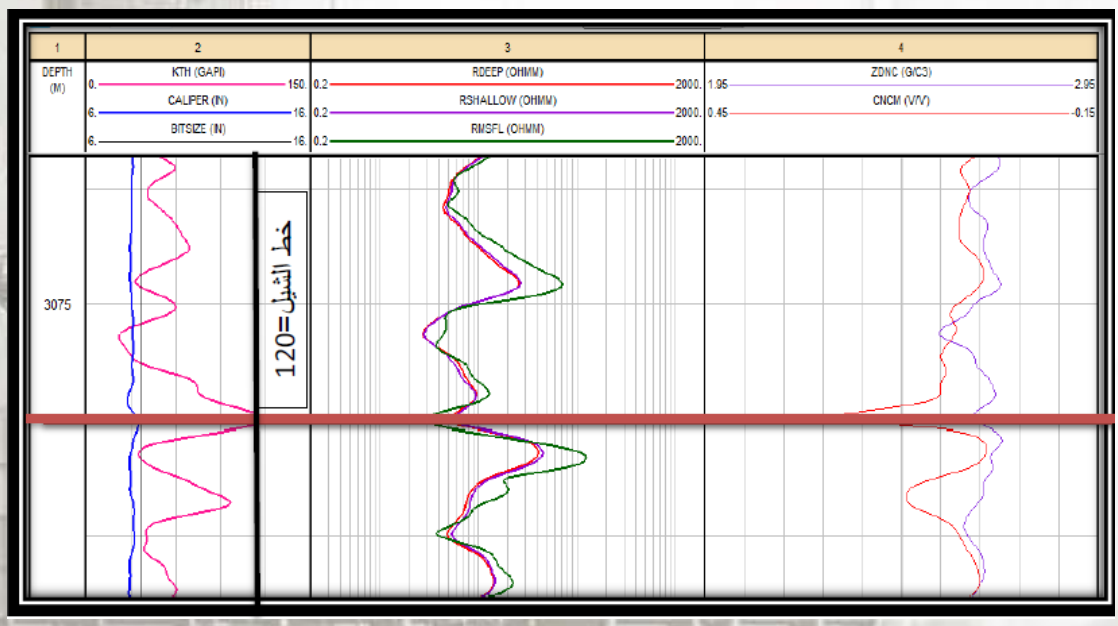
المجموعة الأولى: ذات كثافة متوسطة 2.40 g/cm3

المجموعة الثانية: ذات كثافة متوسطة 2.62 g/cm3

- **تحديد عوامل التفسير المتعلقة بالغضار:**

يقصد بذلك تحديد خط الشيل الذي يدل على تشكيلة مكونة من غضار **100** % من خلال القيمة العظمي للقياس الاشعاعي المصحح KTH أو الكلي GR، وكذلك تحديد مسامية الغضار في البئر المدروسة، ومتوسط كثافته، تؤخذ هذه القراءات من الطبقات الغضارية ضمن التشكيلة الخازنة أو القريبة منها، وذلك من أجل تحديد قيمة النشاط الاشعاعي للشيل $GRsh$ وهي القيمة التي توافق القيمة الأعلى ($GRmax$) في منحني النشاط الاشعاعي المسجل امام الخزان.

وبالجهة المقابلة نحدد من نفس منحني القياس أقل قيمة مسجلة للإشعاع (GRmin) والتي تعبر عن تشكيلة رملية نظيفة.



الشكل **(14):** قراءات تشكيلة الغضار وتحديدي خط الشيل القاعدي للبئر رقم **(4)**

عند البدء بالتفسير نحدد عوامل الغضار كما في الشكل **أعلاه** الذي يبين مجموعة منحنيات مسامية ومقاومية ومنحني النشاط الاشعاعي مقابل نطاق غني بالغضار ضمن التشكيلة.

تم اختيار هذا النطاق كونه يحوي على أعلى قيمة نشاط اشعاعي في التشكيلة الخازنة، كما يمكن أخذ هذه القراءات من الطبقات الغضارية القريبة من التشكيلة الخازنة وذلك من أجل تحديد قيمة النشاط الاشعاعي للشيل $GRsh$ وهي القيمة التي توافق القيمة الأعلى $GRmax$(خط الشيل) في منحني النشاط الاشعاعي المسجل أمام الخزان.

من الملاحظ أنها تسجل قيمة: $GRsh= 120$

في المرحلة الأولى:

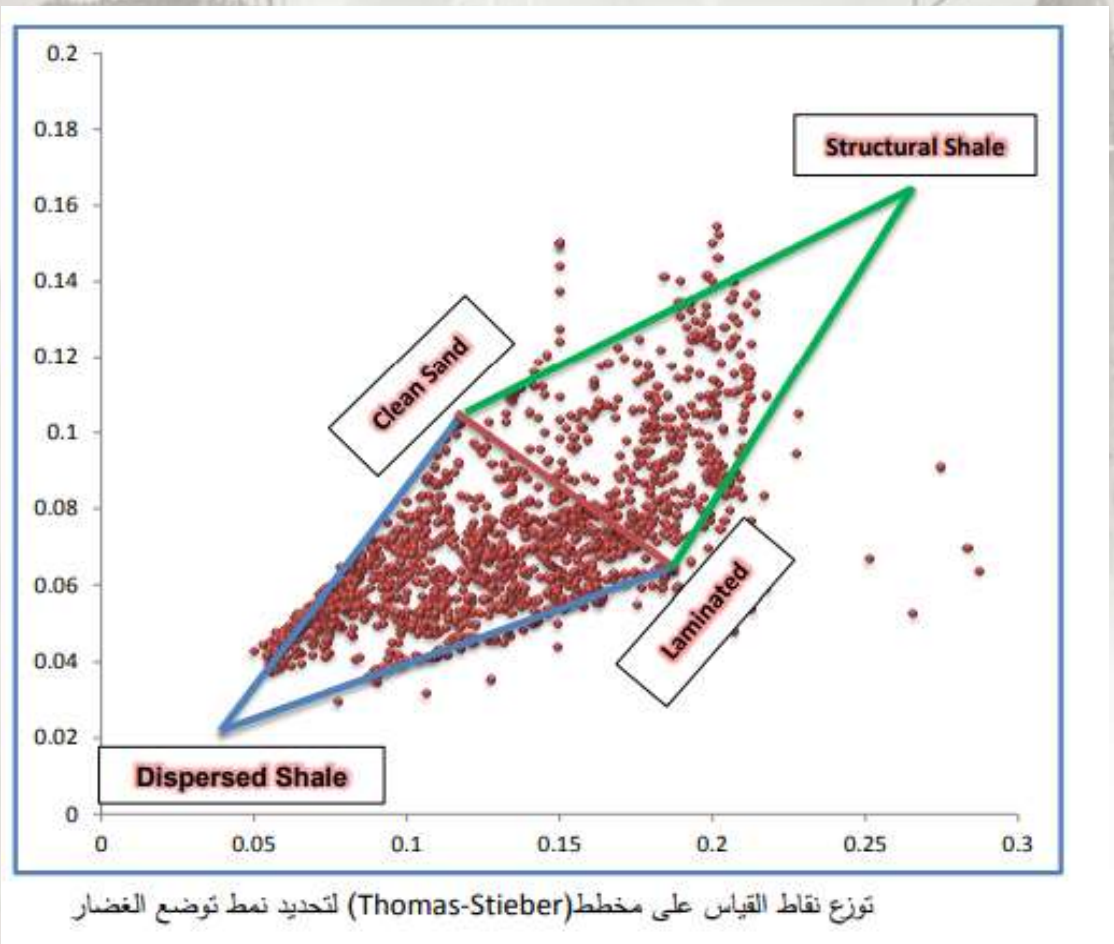
تحدد قيمة النشاط الاشعاعي للحجر الرملي (خط الرمل) بأخذ أقل قيمة للإشعاع التي تصادف أمام التشكيلة الخازنة، أي التي تمثل نطاق مكون **100%** من الحجر الرملي، حيث قدرت قيمتها: $GRSt = 15$

نلاحظ قيم منخفضة للمقاومية وكذلك تطابق كافة منحياتها (العميقة المتوسطة والضحلة) مقابل التشكيلات الغضارية فهو دليل على وجود الشيل في هذا النطاق.

في المرحلة الثانية:

يمكن تحديد حجم الشيل الأعظمي **(**Shale Cut–off) الذي من الممكن أن تنتج عنده تشكيلة الرطبة الرملية من مخطط معين تحدد فيه المسامية الكلية تمثل على (المحور**Y**) للتشكيلة والنشاط الاشعاعي يمثل على (المحور **X**) وقد قدرت هذه القيمة ب 27 % .

كما تم تحديد شكل تواجد الغضار ضمن التشكيلة وذلك من المساميتين النيترونية (المحور X) والكثافية (المحورY) ،بتمثيلها لتشكيلة الخازنة والتشكيلة المجاورة القريبة منها لاحظ الشكل (15) :



توزع نقاط القياس على مخطط(Thomas-Stieber) لتحديد نمط توضع الغضار

الشكل (15): توزع نقاط القياس لتحديد نمط توضع الغضار

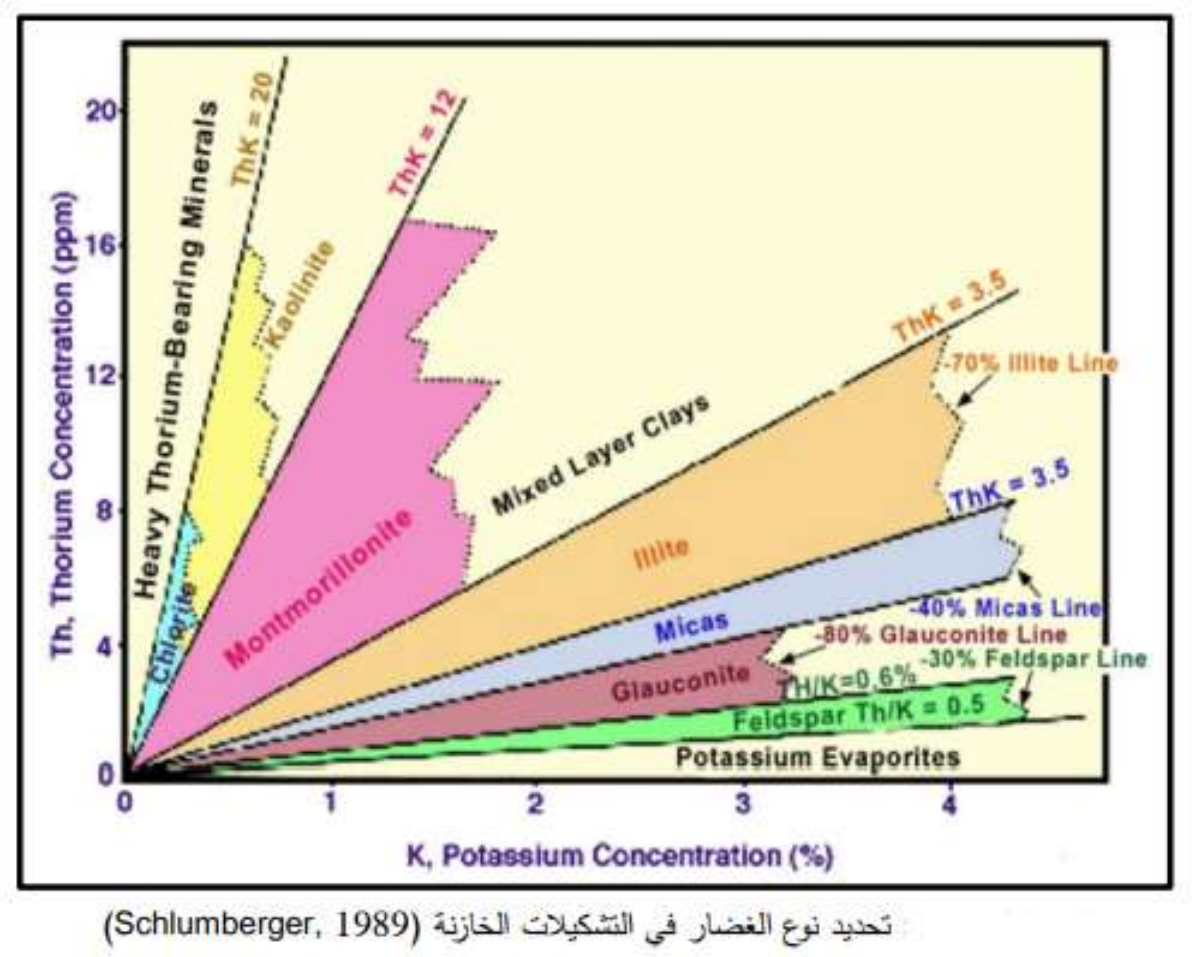
يتم تحديد أنماط توضع الشيل على أساس إسقاط القيم المسامية النيترونية-الكثافية ومقارنة أماكن الإسقاط، حسب المحاور المعبرة عن كل نوع من أنواع الغضار، حيث تعبر المسامية النيترونية عن المسامية الكلية والتي يؤثر الشيل بها، وكذلك قيم المسامية الكثافية التي تكون بمثابه تصحيح لهذا التأثير، لذا تم إسقاطهما معا على نفس المخطط. تتحدد المسامية بدقة والتي تعبر عن تباين المسامية الكلية والفعالة، وبالتالي تعيين شكل توضع الغضار الذي تعتمد درجة تأثيره على المسامية وعلى نمط وجودة في التشكيلة الرملية الخازنة.

لقد تبين أن الغضار يتواجد في التشكيلة على شكلين، حسب تموضع النقاط على المحور الذي يعبر عن نوعه، كما في المخطط.

تبين لنا من خلال تمثيل القيم أن النقاط تتوزع بين الخط الممثل للشيل المبعثر (Dispersed Shale) والخط الممثل للشيل الطبيقي (Lamination Shale) وهما يمثلان القسم الأكبر، وجزء قليل يمثل الشيل التركيبي(Structural Shale) .

تحديد نوع الغضار المسيطر في التشكيلة الخازنة:

يمكن تحديد نوع الغضار المتواجد في التشكيلة الرملية من خلال مخططات خاصة مصممة من قبل شركة Schlumberger كما في المخطط (16) .

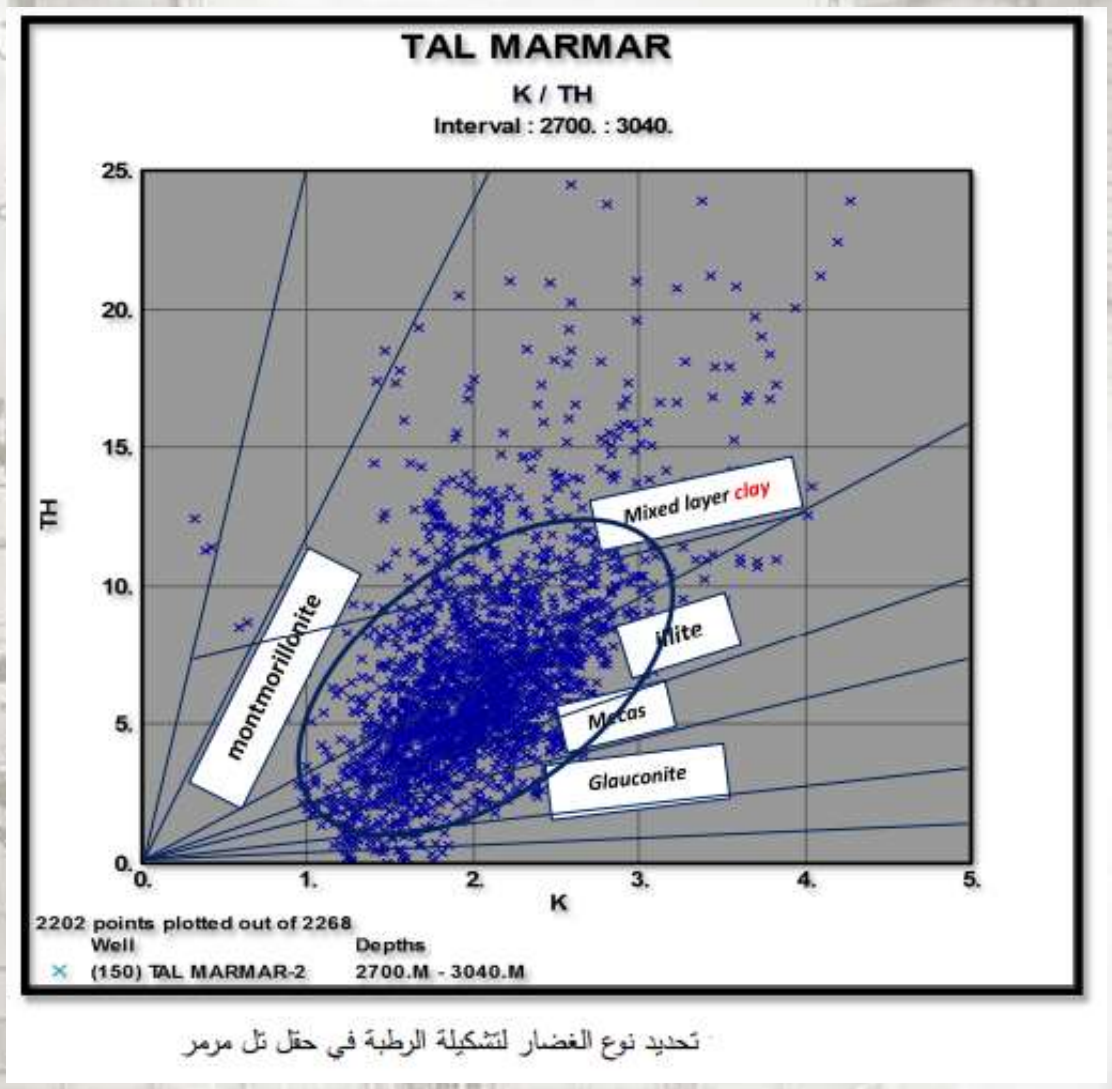


تحديد نوع الغضار في التشكيلات الخازنة (Schlumberger, 1989)

الشكل (16): مخطط Schlumberger لتحديد نوع الغضار

لتحديد نوع الغضار المنتشر في التشكيلة المدروسة، تم إجراء تحليل للقياس الإشعاعي، كل مركبة على حدى (U , TH , K) وإجراء تقاطع لقيم النشاط الإشعاعي الناتج عن مركبة البوتاسيوم وتمثيله على المحور (X)،مركبة الثوريوم وتمثيل قيمها على المحور(Y) .

تعطينا أماكن توزع هذه القراءات على محاور الغضار المختلفة فكرة عن نوع الغضار الموجود بسبب تميز كل نوع بنسب مركبات إشعاع مختلفة عن الأخر كما في المخطط (17).



تحديد نوع الغضار لتشكيلة الرطبة في حقل تل مرمر

المخطط (17): تحديد نوع الغضار في تشكيلة الرطبة في حقل تل مرمر

يتبين لنا من المخطط (17) أن أنو اع الغضار المتوضع ضمن تشكيلة الرطبة في حقل تل مرمر تنتشر على عدة محاور، يمثل كل محور نوع مختلف، وهي بشكل رئيسي من المونتموريللونيت وايليت مع وجود نسبة قليلة من الميكا.

لكل نوع من أنواع الغضار تأثيره على الصفات الخزنية لتشكيلة الرطبة وبتكامل هذه النتائج مع نتائج التي تحدد نمط توزع الغضار وحجمه، يمكن توقع تصرف هذه التشكيلة من ناحية الإنتاج الهيدروكربوني.

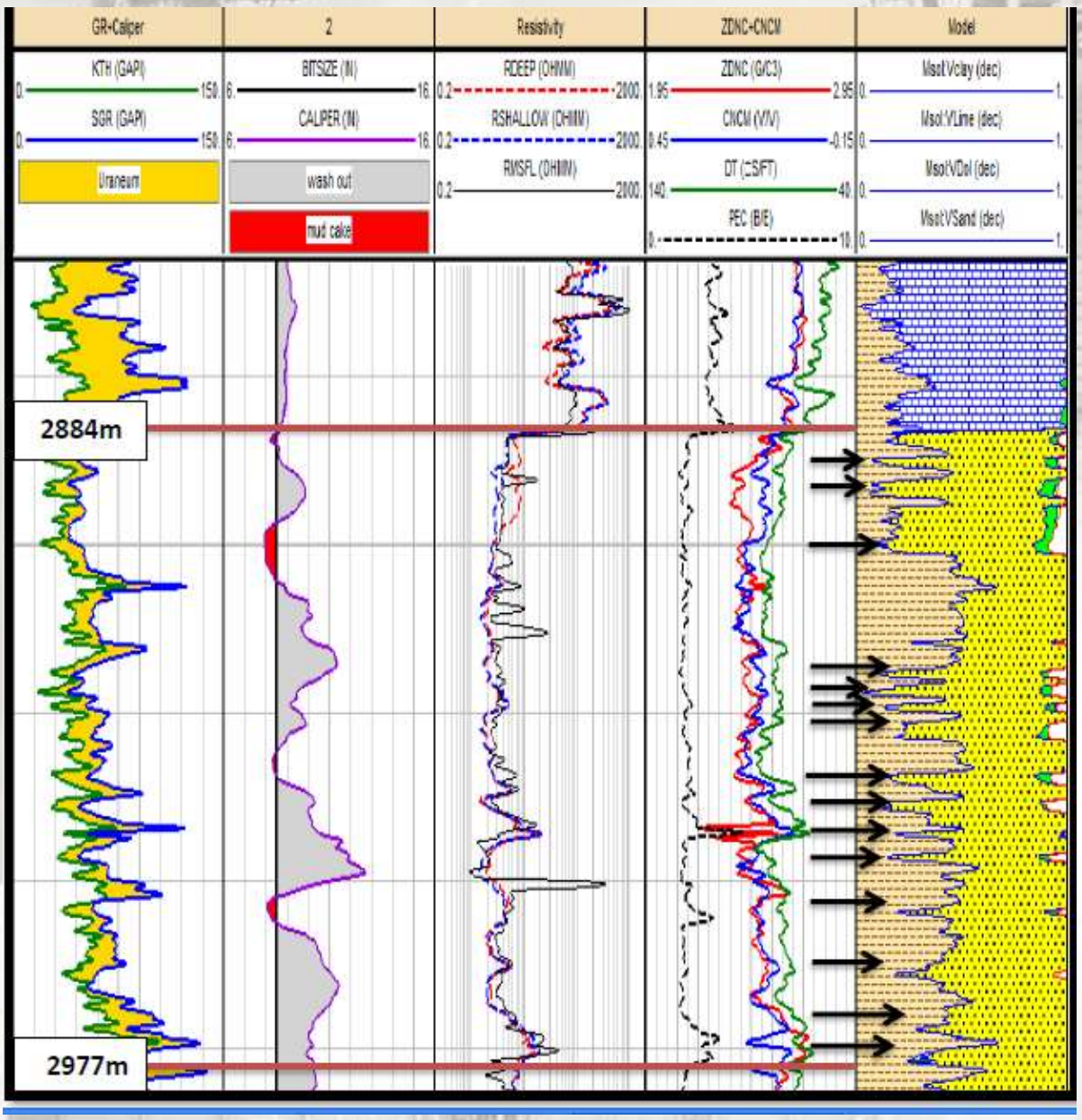
- **تحديد مواصفات نطاقات تشكيلة الرطبة:**

يبين الشكل (18) امتداد كامل لتشكيلة الرطبة أمام القياسات المسامية والإشعاعية والمقاومية بحيث أمكن تقسيم التشكيلة إلى نطاقات خازنة وأخرى غير خازنة.

بعد تعيين حدود التشكيلة الخازنة تم حساب حجم الغضار في كل نطاق تم تحديده، وتحديد فيما إذا كان نطاقًا قابلا للاستثمار (أي يحوي نسبة غضار أقل من 27 % المحددة أعلاه) وذلك حسب العلاقة التالية:

$$V_{sh} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

وبالتالي تقسم التشكيلة الخازنة إلى عدة نطاقات منتجة وأخرى غير منتجة اعتمادا على نسبة الغضار الأعظمية التي تسمح للتشكيلة الخازنة بإعطاء الهيدروكربون.



الشكل (18): كامل سماكة تشكيلة الرطبة والنطاقات المنتجة في البئر رقم (4)

قسمت هذه التشكيلة إلى 15 نطاقا خازنا (الأسهم السوداء في الشكل تدل عليها) بسماكات مختلفة وبنسب غضارية مختلفة وعدد مماثل لنطاقات غير منتجة.

تطبق العلاقات والمعادلات على النطاق الأول ومن ثم تطبق ذات العلاقات على باقي النطاقات، كما في العلاقة التالية:

$$v_{sh} = \frac{36 - 15}{120 - 15} = 20\%$$

ومن ثم يتم تحديد المسامية . وبشكل عام فإن قيم المسامية غير متماثلة في كامل التشكيلة بل تتميز بتغيرها في نطاقات معينة ضمن التشكيلة الخازنة، بحيث يؤخذ في النهاية قيمة متوسطة تمثل المسامية في التشكيلة.

كما يجب أن يتم حذف قيمة المسامية الناتجة عن الغضار التي تكون عديمة الفائدة كونها تشكل مسامية غير فعالة، هذا وتؤخذ ايضاً قيمة المسامية الكلية من قياس السابرة النيترونية.

نحدد قيمة المسامية الحقيقية والتي تساوي مجموع المسامية النيترونية والمسامية الكثافية مقسمة على العدد 2 .

وتقرأ المسامية النيترونية مباشرة من منحني القياس النيتروني والتي تساوي:

$$\Phi_N = 9.3$$

أما المسامية الكثافية فتحدد من علاقة المسامية الكثافية من العلاقة:

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

لدى حساب المسامية الكثافية تبين أنها تساوي:

$$\Phi_D = \frac{2.65 - 2.524}{2.65 - 1.16} = 8.45$$

ولدي حساب المسامية الحقيقية:

$$\Phi_{N-D} = \frac{9.3 + 8.45}{2} = 8.875$$

تم بعدها حساب المسامية الكلية التي حددت:

$$\emptyset_{Total} = 11.3\%$$

نقوم بعدها بحساب المسامية الفعالة، وذلك بحذف المسامية الغضارية من المسامية الكلية كما في العلاقة التالية:

$$\emptyset_e = \emptyset_T - \emptyset_{sh}$$

$\emptyset_{sh}$: المسامية الناتجة عن وجود الغضار.

$\emptyset_T$: المسامية الكلية (النيترونية).

$\emptyset_e$: المسامية الفعالة.

نظمت النتائج بعد حساب جميع ما سبق من أجل كافة النطاقات المنتجة، وتنظيمها في جدول كالتالي:

مساميات وحجوم الغضار وسماكات النطاقات الخازنة في البئر رقم(4)

رقم النطاق Zone No.	السماكة Thickness (m)	حجم الغضار Vclay (%)	المسامية الكلية $\emptyset_T$	مسامية الغضار $\emptyset_{sh}$	المسامية الفعالة $\emptyset_e$
1	2.3	20.0	11.1	1.9	9.2
2	1.8	10.8	11.8	1.6	10.2
3	2.9	13.6	13.7	2	11.7
4	7.4	11.9	13.5	1.8	11.7
5	0.4	25.8	11.2	3.8	7.4
6	1.4	11.3	13.8	1.7	12.1
7	1.8	14.1	14.1	2.1	12
8	1.2	12.7	12.4	1.9	10.5
9	2.5	22.1	15.0	3.3	11.7
10	1.8	16.2	15.8	2.1	13.7
11	2	16.0	14.3	2.4	11.7
12	0.8	19.6	2.9	2.9	5.8
13	1	15.1	16.0	2.2	13.8
14	0.7	19.8	13.7	3	10.4
15	1	18.8	9.5	2.8	6.7
المتوسط Average	1.93	16.5	12.5	2.44	10.0

- **حساب الإشباعات في كل نطاق:**

تملأ الموائع الموجودة في فراغات الصخر كل المسام أو معظمه، بحيث يتكون هذا المائع من خليط ماء ونفط بنسب متباينة ولحساب هذه الاشباعات، نقوم بحساب

الاشباع المائي من علاقة آرشي كون الماء وسطًا ناقلا للتيار الكهربائي بعكس النفط الذي يعتبر وسط عازل.

يتم حساب الاشباعات المائية، من علاقة آرشي للإشباع

$$S_w^n = \frac{a}{\phi^m}\frac{R_w}{R_t}$$

نحصل من هذه العلاقة على الإشباع المائي الحقيقي Sw في القطاع العميق (غير المجتاح) وللحصول على الاشباع الهيدروكربوني Shc نقوم بطرح الاشباع المائي من كامل الاشباع **100 %** كما في العلاقة التالية:

$$S_{hc} = (100 - S_w)$$

من العلاقة السابقة نحصل على الاشباع الهيدروكربوني الكلي في التشكيلة، ولكن نظراً لكون النفط لا يتم إنتاجه بشكل كامل من التشكيلة أي يبقى جزء منه ملتصق بحواف الحبات الصخرية وهو ما يسمى النفط غير قابل للإنتاج (المتبقي) فإنه يمكن حسابه من خلال تحاليل مخبرية للعينات لتحديد لزوجتها والخواص البتروفيزيائية لمعرفة خواصها الحركية .

يمكن من خلال القياسات البئرية –قياسات المقاومية الكهربائية أن نحدد بشكل تقريبي حجم النفط القابل للحركة من خلال حساب حجم الماء الموجود في القطاع المجتاح و مقارنته بحجمه في القطاع النظيف، وذلك عند حساب الإشباع المائي في القطاع المغسول Sxo من علاقة آرشي، إنما بتبديل المقاومية الحقيقية Rt بالمقاومية في القطاع المغسول Rxo وتبديل مقاومية المياه الطبقية Rw بمقاومية راشح الحفر Rmf لتصبح علاقة آرشي على الشكل التالي:

$$S_{xo} = \frac{a.R_{mf}}{\emptyset^m R_{xo}}$$

ويكون الفارق بين الإشباع المحسوب في القطاع العميق والمحسوب في القطاع المغسول هو

$$S_{hc(movable)} = S_{xo} - S_w$$

أي الماء الذي أدى إلى إزاحة النفط إلى داخل التشكيلة تحت تأثير ضغط عمود سائل الحفر هو الزيادة في إشباع الماء في القطاع المجتاح عنه في القطاع النظيف.

يبين الجدول التالي قيم الاشباعات المختلفة لكل نطاق وكذلك حساب متوسط هذه القيم في أسفل الجدول.

إشباعات النطاقات في البئر رقم(4)

رقم النطاق Zone No.	الاشباع المائي في القطاع النظيف $S_w(\%)$	الإشباع المائي في القطاع المجتاح $S_{xo}(\%)$	الاشباع الهيدروكربوني الكلي $S_h(\%)$ (Total)	الإشباع الهيدروكربوني القابل للحركة $S_h(\%)$ (Movable)
1	55.2	55.2	44.8	0
2	39.7	49.4	60.3	9.7
3	37.1	48.9	62.9	11.8
4	43.3	51.2	56.7	7.9
5	82.5	82.5	17.5	0
6	77.1	77.1	22.9	0
7	57.8	57.8	42.2	0
8	53.6	54.5	46.4	0.9
9	83.1	83.1	16.9	0
10	57.8	57.8	42.2	0
11	84.5	84.5	15.5	0
12	32.7	79.9	67.3	47.2
13	66.0	66.0	34.0	0
14	46.8	46.8	53.2	0
15	100	100	0	0
المتوسط	61.2	66.3	38.7	5.2

يمكن توضيح طبيعة توزع الاشباعات في التشكيلة ونسبها من خلال الشكل (19) الذي يبين نسبة الإشباع المائي إلى الإشباع النفطي.



الشكل (19): نسبة الإشباع المائي والإشباع النفطي ضمن التشكيلة

النتائج:

- تظهر دراسة نمط توضع الغضار في التشكيلة الخازنة (الرطبة)، بالنسبة لحقل تل مرمر أن الغضار يتوضع على شكل غضار مبعثر بين الحبات الرملية، وعلى شكل طبيقات (رقائقي) بسماكات متفاوتة من بضع سنتيمترات إلى عدة أمتار بنسب متقاربة، وكذلك وفق النمط التركيبي، ولكن بنسبة أقل.
- أن تحديد أنواع الغضار الموجودة في تشكيلة الرطبة في حقل تل مرمر بين أن الغضار المسيطر هو المونتموريللونيت والإيلليت بنسب متساوية بمعظم التشكيلة، وهذا ما يفسر الخواص الخزنية السيئة في بعض نطاقات هذه التشكيلة في هذا الحقل بسبب التأثير السلبي لوجود المونتموريللونيت في التشكيالت الرملية، الذي يتكون من صفائح ضعيفة الترابط قابلة بشكل كبير للإنتفاخ، وهذا يؤدي إلى إضعاف المسامية بشكل كبير.
- بشكل عام يتبين أن السماكة الكلية لتشكيلة الرطبة في حقل تل مرمر، كذلك بالنسبة للخواص الخزنية فقد تميز حقل تل مرمر بصفات خزنية، ونسب إشباعات جيدة مكنته من القدرة على إنتاج الهيدروكربون.

المراجع References

- التقارير النهائية لحقلي تل مرمر وشرق تل مرمر، 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 .