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

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

تكامل المعطيات السيزمية و الجيولوجية
لمنطقة جنوب سرحيت في منخفض الفرات بهدف تحديد المكامن النفطية البنيوية

((دراسة أعدت لنيل درجة الإجازة في الهندسة البترولية))

إعداد

الطالب :خالد حسين حميد

إشراف

الدكتور: محمد السوقي

العام الدراسي:2016 م/1437 هـ

شكروتقدير..

انطلاقاً من قوله تعالى: ﴿وَمَنْ يَشْكُرُ فَـإِنـمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ﴾ومن قول الرسولﷺ:(لايَشْكر الله من لايشكر الناس).

وإيماناً بفضل الاعتراف بالجميل وتقديم الشكر والامتنان لأصحاب المعروف فإني أتقدم بالشكر الجزيل والثناء العظيم لكل من ساعد في إنجاز هذا المشروع وأخص بالذكر أستاذي ومشرفي الفاضل الذي تجرعت من بحر علمه وتعلمت في ضوء أخلاقة.

الدكتور

محمد السوقي

رئيس قسم التفسيرات في الشركة السورية للنفط **SPC** الذي تكرم علينا بالإشراف على هذا المشروع وكانت لتوجيهاته وملاحظاتة خلال أيام تدريسه لنا الأثر الاكبر في إخراج هذه الدراسة على أكمل وجه.

كما واتقدم بالعرفان والتقدير للكادرالتدريسي والأداري في كلية هندسة البترول عميداً وأساتذةً الذين زودونا بالعلم والمعرفة وشكري الاكبر لجامعتي الفاضلة "جامعة القيمSPU " التي حققنا من خلالها أهدافنا.

وشكري موصول إلى كل من أثر بحياتي لو بهمسه.

واللهولي التوفيق

.....

خالد حميد

الفهرس

الفصل	المحتوى	الصفحة
كلمة شكر		1
مقدمة		4
	مقدمة	4
	هدف المشروع	4
	الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة	5
الفصل الاول		6
	المسح الجيولوجي	7
	المسح الجيولوجي الطبقي	7
	المسح السيزمي الانعكاسي والانكساري	8
	الطريقة الانعكاسية والانكسارية	8
	تصنيف انواع الاستكشاف السيزمي الانعكاسي	9
	المسائل التي يتم حلها بالمسح السيزمي 3D	11
	التسجيلات السيزمية في الآبار	11
	مبدأ الطريقة السيزمية الانعكاسية	12
	طبيعة الانعكاسات	12
	الانعكاسات وتغير الممانعة الصوتية	18
	التداخلات Interferences	19
	الدقة الشاقولية Vertical Resolution	22
	الدقة الأفقية Horizontal Resolution	25
الفصل الثاني		30
	مقدمة	31
	الوضع الجيولوجي السطحي	31
	الوضع البنيوي لمنخفض الفرات	31

	العمود الطبقي لمنطقة منخفض الفرات	34
	العمودالستراتيغرافي لمنطقة الدراسة	35
	التشكيلات الجيولوجية	36
الفصل الثالث		41
	الدراسة السيزموجيولوجية لمنطقة الدراسة	42
	التفسيروالتحليل السيزمي	46
	سيزموغرام صنعي	47
	تحديد أماكن المصائد البنيوية	48
	المشهد الهيدروكربوني في منطقة الدراسة	51
	مقطع سيزمي	52
	انعكاسية ڤيترانيت Vitrinite Reflectanc	53
النتائج والمقترحات		54
المصطلحات العلمية		55
المراجع		58

مقدمة

تشكل منطقة الفرات عصب الاقتصاد الوطني نظراً لغناها بالثروة النفطية, لذلك تركزت معظم الدراسات الجيولوجية و الجيوفيزيائية في هذه المنطقة المهمة من أجل استكشاف ما تبقى من المصائد النفطية البنيوية والسترتيغرافية واستثمارها.

ينتج أغلب النفط في سوريا من منطقة الفرات من تشكيلة الرطبة الرملية (RU) و التي يعتبر سطحها العلوي سطح عدم التوافق لقاعدة الكريتاسي العلوي (BKU). و من تشكيلة سرجلو أو المولوسا (MUF) العائدة إلى أواخر الترياسي و بدايات الكريتاسي و يمثل سطحها العلوي سطح عدم التوافق لقاعدة الكريتاسي السفلي (BKL) و ينتج أيضاَ النفط من تشكيلات أعمق كتشكيلة مرقدة أو الضبيات (Doubayat) العائدة إلى الحقب الأول- فترة الكربوني.

لقد اكتشفت في السنوات الأخيرة معظم المصائد النفطية ذات الحجم الكبير أو ما تسمى بالمصائد النفطية ذات الأمل الأول, أما في الوقت الحاضر يتركز الجهد من أجل استكشاف المصائد النفطية الصغيرة وتحديدها (المصائد النفطية ذات الأمل الثاني) في التشكيلات الخازنة الرطبة و المولوسا F (السيرجلو) في منطقة جنوب سرحيت. حيث قمنا بجمعٍ وإعدادٍ للخرائط الزمنية و المقاطع الزمنية لمنطقة الدراسة من الشركة السورية للنفط, كما قمنا بتدقيق مواقع أعالي التشكيلات الجيولوجية على المعطيات السيزمية 3D و2D بالاستفادة من معطيات checkshot أو vsp للآبار المحفورة , وبعد ذلك تم تحديد التراكيب أو المصائد النفطية وتشخيصها.

هدف المشروع

يهدف المشروع الى توضيح البنى الجيولوجية و التكتونية تحت السطحية بغية تحديد المصائد النفطية البنيوية المحتملة في التشكيلات الخازنة (تشكيلة الرطبة الحطامية) من خلال جمع كل المعطيات السيزمية و الجيولوجية (المعطيات السيزمية المفسرة 2D,3D في منطقة جنوب سرحيت الواقعة ضمن منخفض الفرات و المعطيات الجيولوجية و التكتونية لمنخفض الفرات). و يتضمن المشروع إعداد الخرائط الزمنية وإنشائها وتحديد الفوالق المحددة للمصائد البنيوية.

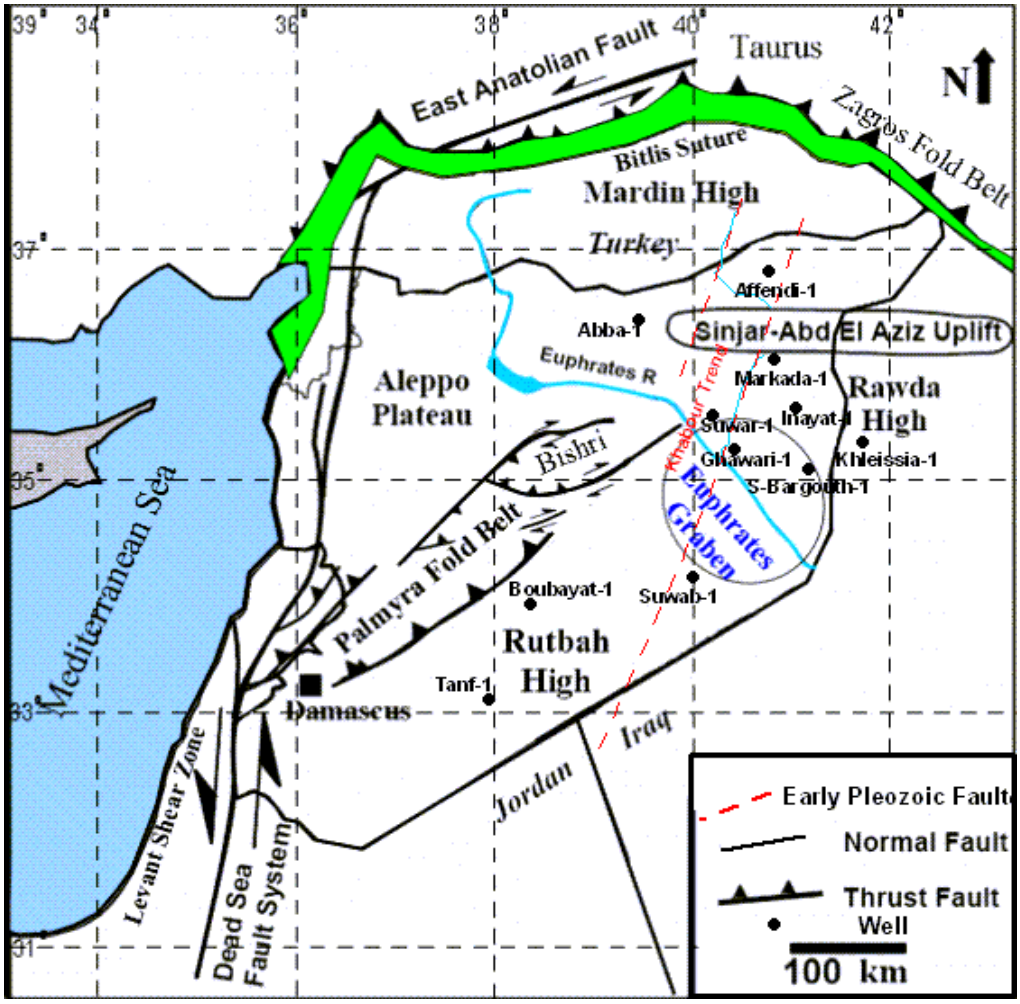
وفي هذه الدراسة تم تناول ثلاثة فصول تضمنت مايأتي:

الفصل الاول تضمن المسح الجيولوجي والطبقي ، تصنيف طرائق التنقيب السيزمي بانواعها ، وصف مبدا الطريقة الانعكاسية. **الفصل الثاني** تضمن الوضع البنيوي والعمود الطباقي لمنخفض الفرات.**الفصل الثالث** تضمن الدراسة السيزموجيولوجية لمنطقة الدراسة ،التفسيروالتحليل السيزمي، تحديد أماكن المصائد البنيوية والمشهد الهيدروكربوني في منطقة الدراسة.

الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة (جنوب سرحيت) شرق حقل الجيدو و جنوب حقل شديها في منخفض الفرات الواقعة أقصى جنوب شرق سورية ضمن شمال الصفيحة العربية وعلى ارتفاع تقديري 200- 230 متر فوق سطح البحر (الشكل(1). تتوضع أغلب منطقة الدراسة على رصيف الورد و أيضاً ضمن منخفض الجيدو. كما تقع ضمن حدود خطوط إحداثيات لامبير التالية:

X1: 610000, Y1: 310000 X2: 64000, Y2: 350000



شكل(1): الخارطة التكتونية لسوريا حيث تظهر حزام الطي الزغروسي و درز بيتلس بالإضافة إلى الوحدات التكتونية الرئيسية في سوريا كما تظهر موقع منخفض الفرات Alsouki and Taifour (2015)

الفصل الأول

1.1. المسح الجيولوجي

2.1. تصنيف طرائق التنقيب السيزمي

3.1. مبدأ الطريقة السيزمية الانعكاسية

1.1. المسح الجيولوجي

يعد المسح الجيولوجي أول مراحل التنقيب و الاستكشاف النفطي وأهمها. تهدف عمليات المسح الجيولوجي الذي تستخدم فيه أدوات الاستشعار عن بعد، كالصور الجوية الرادارية والتصوير بالأقمار الصناعية، إلى جانب الدراسات الميدانية الى تحديد العناصر الجيولوجية الرئيسة في مناطق معينة، وأنواع صخورها، وامتدادها السطحي وتراكيبها المتنوعة، ورسم خرائط جيولوجية لها، وتقدير احتمالات تكون البترول في طبقات رسوبية معينة، وترتيبها وأعماقها وثخانة الطبقات الخازنة المحتملة، وبعض خصائص المصائد البترولية. يلي مرحلة المسح الجيولوجي, المسح الجيوفيزيائي الاولي و يشمل المسح الجاذبي والمغناطيسي و المسح الجيوفيزيائي التفصيلي و يتضمن المسح السيزمي أو الاهتزازي.

- **المسح الجيولوجي الطبقي**

في أوائل القرن العشرين كانت مناطق التنقيب عن البترول هي التي تظهر فيها شواهد بترولية مثل البقع البتيومينية، وتسربات الغازات، وبعض الصخور الأسفلتية التي تكشفها عوامل التعرية. ثم بدأ الاعتماد على أجهزة قياس المغناطيسية الأرضية لتحديد الاختلافات الصغيرة أو الطفيفة في المجالات المغناطيسية للتراكيب الصخرية، حتى يمكن الاستدلال على بنية الطبقات ومعرفة نوعيات التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية، وإنشاء خطوط تساوى الأعماق تحت السطحية، وتحديد مناطق الطيات الصخرية المحدبة والمقعرة، وسماكة بعض الطبقات الرسوبية فيها. وبتطور تكنولوجيات التنقيب عن البترول يجري حاليا قياس المغناطيسية الأرضية عن طريق المسح الجوي، الذي يتيح تغطية مساحات كبيرة، والوصول إلى مناطق صعبة طبوغرافياً.

2.1. المسح السيزمي (الاهتزازي) بنوعيه (الانكساري والانعكاسي)

يعتبر المسح الجيوفيزيائي السيزمي من أهم الطرائق الجيوفيزيائية التي تقدم معلومات تفصيلية و بأبعاد صغيرة عن الجيولوجيا التحت سطحية وتنفذ الطريقة السيزمية على عدة مراحل هي :

1- حصاد المعطيات السيزمية انظر الى الشكل(1-1).

2- معالجة المعطيات

3- تفسير المعطيات حيث يتم هنا تحويل المعطيات السيزمية الى معلومات جيولوجية.

تتضمن الطريقة السيزمية طريقتين هما الانكسارية و التي تستخدم عموماً لأغراض جيوهندسية،و الطريقة الانعكاسية المستخدمة بشكل واسع في الصناعة النفطية.

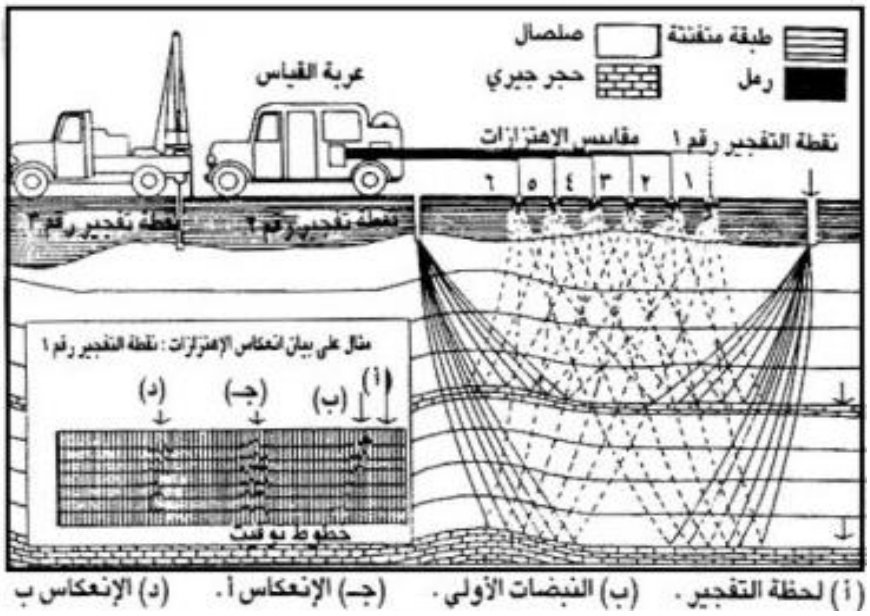
1.1.1. الطريقة الانكسارية : Refraction Seismology

وهذه الطريقة تعتمد على دراسة أزمنة الالتقاط الأولية للأمواج. و تستخدم هذه الطريقة في حساب سماكة طبقة التجوية ليتم أخذها بعين الاعتبار في التصحيحات الستاتيكية في مرحلة معالجة المعطيات السيزمية.

2.1.1. الطريقة الانعكاسية : Reflection Seismology

يُعتبر المسح السيزمي الانعكاسي من أهم الطرق الجيوفيزيائية في استكشاف النفط والغاز, نظراً لدقة تحديدها الشكل البنيوي للتشكيلات الجيولوجية تحت سطح الأرض والكشف عن خصائص تلك التراكيب, وإيجاد المصائد النفطية والغازية داخلها.

يعتمد المسح السيزمي وهو أحد الطرائق الجيوفيزيائية المستخدمة بشكل واسع في الاستكشاف النفطي أساساً على انتشار الأمواج المرنة المولدة صناعياً والمنتشرة في باطن الأرض والعائدة إلى خط القياس حيث يتم التقاطها.



الشكل(1-1): يوضح مبدأ عمل الطريقة السيزمية و تسجيل المعطيات

إن الهدف الأساسي للتنقيب الاهتزازي كان وما يزال هومعرفة البنى والمصائد ذات الأهمية الاقتصادية وتحديدها, فالمسح الاهتزازي هو طريقة جديدة نسبياً تزداد دقتها يوماً بعد يوم وخاصة بعد دخول الأسلوب الرقمي لتسجيل المعطيات ومعالجتها.

نعرف الطريقة السيزمية بأنها أسلوب رياضي فيزيائي يطبق بهدف جيولوجي, وحقلياً يعتمد تنفيذها على وجود منبع صنعي (رجاج - تفجير...) لتوليد أمواج مرنة تنتشر في باطن الأرض ضمن الصخور الجيولوجية وتسير بسرعة تتناسب مع نوعية تلك الصخور وشكل طبقاتها حيث تنعكس على سطوحها أو تنكسر أو تنتثر

تبعاً لشروط معينة مرتبطة بها وبالوسط المنتشرة فيه لتعود إلى سطح الأرض بحيث يتم التقاطها بوساطة أجهزة خاصة ثم تقويتها ثم تسجيلها رقمياً لتعالج الكترونياً من خلال مراحل معينة, وفي المرحلة الأخيرة يتم تفسيرها و تحويلها الى معطيات جيولوجية.

تمتاز الطريقة السيزمية عن غيرها من الطرائق الجيوفيزيائية بقدرتها على تحديد أشكال الطبقات التي انعكست أو انكسرت عليها وبالتالي معرفة تفاصيل البنية الجيولوجية التي انتشرت فيها.

بالطبع للطريقة السيزمية عيوب ومميزات كبقية الطرائق الجيوفيزيائية الأخرى يمكن تلخيص هذه المميزات و المساوئ بمايأتي:

- **مميزات هذه الطريقة:**

أنها تعطينا تصـوراً عما هو موجود تحت سـطح الأرض وبذلك نسـتطيع من خلالها تحديد العمود الطباقي للمنطقة ولكونها تعتمد على انتشـــار الموجات في الصـــخور وحيث إن انتشـــار هذه الموجات يعتمد على معاملات المرونة للصـخر فإننا نستطيع ومن حيث المبدأ تحديد هذه المعاملات وأيضـا نستطيع الكشف عن الهيدوركربونات بوساطة هذه الطريقة .

- **مساوئ هذه الطريقة:**

أنها مكلفة جداً مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى ويتطلب تحليل البيانات المستخلصة بهذه الطريقة وقتاً طويلاً بالإضافة إلى حاجة المحللين إلى أجهزة حاسوبية متطورة تكلف مبالغ طائلة.أيضاً الأجهزة المستخدمة في تجميع البيانات مكلفة جداً وأغلى من الأجهزة المستخدمة في الطرائق الجيوفيزيائية الأخرى.

- **تصنيف أنواع الاستكشاف السيزمي الانعكاسي:**

يمكن تقسيم أعمال الاستكشاف السيزمي الحديث بموجب دلائل أساسية إلى عدد من الاتجاهات :

1- حسب أبعاد التسجيلات المستخدمة في دراسة الوسط:

أ - المسح السيزمي أحادي البعد 1D

ب - المسح السيزمي ثنائي الأبعاد 2D

ج - المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد 3D

د - المسح السيزمي رباعي الأبعاد 4D

ينفذ المسح 1D في الأبحاث البئرية حيث يتم وضع منبع الطاقة أو اللواقط على خط يسمى البروفيل العمودي ينطبق على محور البئر. يتمثل هدف هذه التسجيلات في دراسة توزع بارامترات الوسط على طول البروفيل (محور البئر) .

كذلك فإن المسح السيزمي 2D يعتمد على إجراء التسجيلات على طول البروفيلات حيث يتم توزع المنابع واللواقط على سطح الأرض أو بالقرب منها في آبار سطحية أما هدف الدراسة فيتمثل في تحديد هندسية الحدود الفاصلة وتوزع خصائص الوسط في مستوى وكأنه عمودي على السطوح العاكسة ويمر من خط التسجيل (البروفيل) ويسمى هذا المستوى بالمستوى الشعاعي لأنه يضم المسارات الشعاعية لانتشار الأمواج . عند تسجيل الأمواج بشكل متصالب مع امتداد مستوى سطح الانعكاس أو الانكسار المغطى بوسط متجانس فإن هذا المستوى يكون عمودياً ويشكل مستوياً لمقطع سيزمي، وفي غير هذه الحالة فإن المقطع الناتج يكون شبه عمودي فقط.

يعتمد مبدأ المسح السيزمي 3D على تنفيذ نظام التسجيل المساحي، ويستعمل عادة التوزع المساحي للواقط على سطح الأرض ويتوافق مع ذلك عدد من نقاط التوليد المتوضعة على المساحة المدروسة , يتمثل هدف الدراسة في هذه الحالة في تحديد البنية الحجمية ثلاثية الأبعاد للوسط : الهندسية الفراغية للحدود العاكسة والتوزع الحجمي للخصائص الفيزيائية للوسط .

المسح السيزمي رباعي الأبعاد 4D أو ما يسمى المراقبة السيزمية : هو نفسه المسح ثلاثي الأبعاد يضاف اليه بعد رابع الزمن. ويتمثل في الدراسة الدورية زمنياً (مكررة زمنياً) يتراوح من عدة شهور أو سنوات وتخصص مثل هذه الدراسة لمعرفة تغيرات الخزانات النفطية (تغير سطح تماس الموائع كالغاز والنفط، النفط والماء ...وغيره).

2- أنواع الأمواج *:*

آ- الأمواج الطولية P

ب- الأمواج العرضية S

ج- الأمواج السطحية(رايلي ولوف) R,L

3- مجال تردد الأمواج المستعملة :

آ- أقل من 20 HZ المسح السيزمي باستخدام الترددات المنخفضة .

ب- 10 - 100 HZ المسح السيزمي باستخدام الترددات المتوسطة .

ج- 100 - 1000 HZ المسح السيزمي باستخدام الترددات العالية .

د- اكبرمن10 KH المسح السيزمي باستخدام الأمواج الصوتية.

1.2.1.1. المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد 3D

يتمثل هدف الأعمال الاستكشافية في إظهارمكامن النفط والغازواكتشافها أو إظهار التوضعات الجديدة في الحقول المكتشفة سابقاً وكذلك اختيار التراكيب اللاحقة.

يكون استخدام المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد 3D في مراحل الاستكشاف مناسباً لتحقيق هدف إيجاد التراكيب المعقدة جيولوجياً وتحضيرها للحفر الاستكشافي أو لتحديد امتداد المصائد المكتشفة . بموجب ذلك يكون من المناسب والمنطقي تنفيذ هذه الأعمال التفصيلية بطريقة المسح السيزمي 3D في تلك المناطق التي اكتشفت فيها تجمعات الغاز والنفط ومدروسة بشكل كافٍ بالطريقة السيزمية 2D .

1.1.2.1.1. المسائل التي يتم حلها بالمسح السيزمي 3D . طرق حل هذه المسائل ومراحلها:

يستخدم المسح السيزمي 3D في مجال النفط والغاز لحل المسائل الثلاثة الرئيسية التالية :

1- البحث عن مكامن توضع النفط والغاز وتحديد امتدادها .

2- تقييم الاحتياطي للمكامن من الفحوم الهيدروجينية .

3- دراسة ديناميكية المكمن خلال عملية استثماره (مثل مراقبة خط التقاء الغاز – النفط أو النفط – الماء) .

إن حل هذه المسائل مبني على حل المسائل الجزئية الخاصة التالية :

1- تشكيل الصورة الحجمية للوسط، والتي تحدد الوضع الفراغي للجسم المدروس، الطبقات، الكتل، الفوالق، وغير ذلك من أشكال البنى الجيولوجية .

2- الحصول على معطيات عن الخصائص الفيزيائية للجسم المدروس، أي التوزع الفراغي للمعاملات (البارامترات) الفيزيائية في الوسط الجيولوجي .

3- دراسة المحتوى المادي للتشكيلات الجيولوجية، خصائصها الخزنية ومحتواها من النفط والغاز .

4- الحصول على معطيات عن اتجاهات الانتظام الفراغي لعناصر النظام (الشقوق ، الطبقات ، الفوالق ، مناطق الإجهاد العالية " الضغط العالي " ...) ، مركبات الوسط الجيولوجي والخصائص الكمية لهذا النظام .

3.1.1. التسجيلات السيزمية في الآبار:

يتم تنفيذ التسجيلات السيزمية في الآبار منذ عشرات السنين وأصبحت هذه التسجيلات جزءاً مهماً من مجموع الأعمال التي يتطلبها المسح السيزمي تستخدم هذه التسجيلات وبشكل أساسي لقياس زمن انعكاس الأمواج السيزمية من أعالي التشكيلات الجيولوجية ليتم ربطها مع المعطيات السيزمية السطحية المسجلة زمنياً بغية معرفة موقع الخزان النفطي عليها. كما تستخدم هذه التسجيلات لقياس سرعة الامواج السيزمية في الصخور .

4.1.1. المبدأ الرياضي و الفيزيائي للانعكاس السيزمي

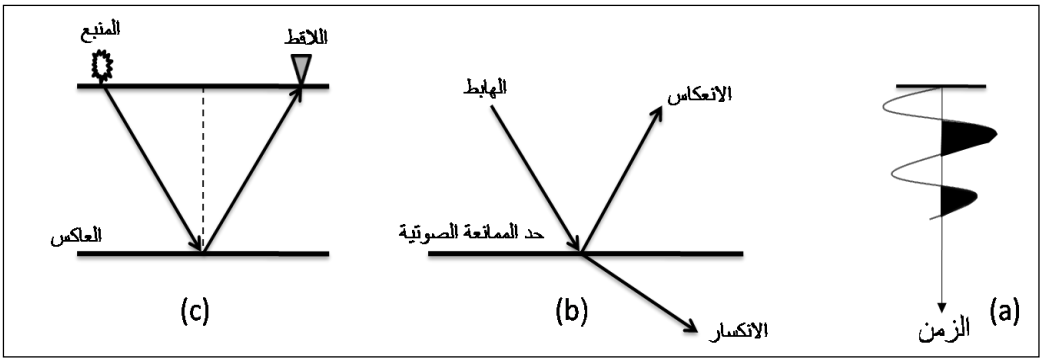
1.4.1.1. نظرية انعكاس الموجة السيزمية

تلخص النظرية الأساسية للطريقة السيزمية بما يأتي: و هو قياس أزمنة انتقال الأمواج السيزمية ضمن الصخور باستخدام الخصائص الفيزيائية للصخور و معامل المرونة التي تحدد سرعة انتشار الأمواج السيزمية.

طبيعة الانعكاسات:

تبدأ الطريقة الانعكاسية بإحداث ضربة عنيفة (كالتفجير) إما داخل حفرة في الأرض أو تحت سطح الماء ، حيث ينتج عنها أمواج طولية مرنة تنتشر داخل الطبقات المختلفة للأرض و من ثم تنعكس عند الحدود الفاصلة للطبقات، وتلتقط و تسجل عبر اللاقط السيزمي Geophone. حيث يمكن أن يشاهد هذا الانعكاس على شكل نبضة سيزمية Seismic Pulse تمتد لفترة معينة من الزمن تصل إلى عدة عشرات من أجزاء الثانية. حيث تسمى النبضة الناتجة عن منبع السيزمي قبيل انعكاسها عن السطوح الفاصلة للطبقات بموجة المنبع Source Pulse أو Wavelet.

يمكن تلخيص ما قلناه عن النبضة السيزمية و العناصر الأساسية لطريقة الانعكاس السيزمي بالشكل (2-1) .



الشكل(2-1): العناصر الأساسية لطريقة الانعكاس السيزمي.(a) موجة المنبع. (b) الانعكاس و الانكسار عند حد الممانعة الصوتية.(c) الشكل الهندسي للانعكاس لأجل عاكس أفقي.

عندما تنتقل النبضة السيزمية إلى الأرض، فسوف تنتشر عبر الصخر كموجة مرنة و تنقل الطاقة عبر حركة الذرات المؤلفة للصخور. إن أبعاد الموجة السيزمية المرنة كبير جداً إذا ما قورنت إلى انزياح الذرات المؤلفة للصخرأو اهتزازها، و مع ذلك، يمكن أن التعرف عن حركة الموجة السيزمية باستخدام مصطلح سرعة الذرة و ضغطها الناتج عن الاهتزازات المحرضة عبر انتقال الموجة. إن من يحدد سرعة الموجة السيزمية

هي حركة الذرة الناقلة للطاقة السيزمية، فهي تختلف من صخر لآخر. فعندما يُصدم الصخر بالموجة السيزمية فانه يبدي رد فعل تظهر عبر حركة الذرة واهتزازها و بالتالي عبر سرعة مميزة لمرورها.

تعرف الخصائص الصوتية للصخر بممانعتها الصوتية Z و التي هي عبارة عن جداء سرعة الصخر V بكثافته، تعتبر السرعة المتغير الأكثر أهمية من متغير الكثافة في العلاقة الرياضية المذكورة أعلاه .

فعلى سبيل المثال تؤثر تغيرات المسامية أو محتوى المائع المالئ له (محتوى الغاز في مسام الحجر الرملي) في السرعة أكثر منه في الكثافة الصخر.

يمكن تشبيه العلاقة بين سرعة الذرة، و ضغط الذرة و الممانعة الصوتية بالتيار الكهربائي (Anstey1977) من خلال العلاقتين التاليتين:

في الطاقة الكهربائية: الفول تاج = التيار X المقاومة.

بالمقابل في الطاقة السيزمية: الضغط = سرعة الذرة X الممانعة الصوتية.

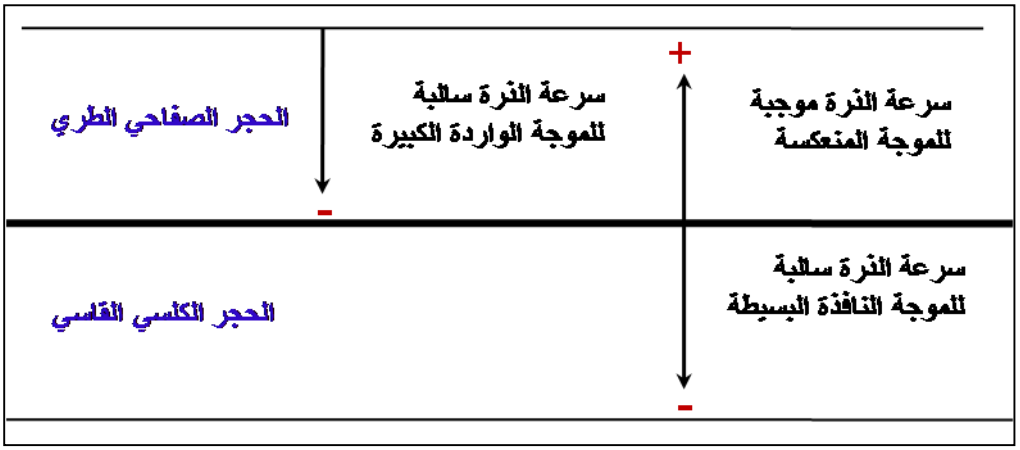
في الطاقة الكهربائية: القوة = الفول تاج X التيار.

بالمقابل في الطاقة السيزمية: الشدة الصوتية = سرعة الذرة X الضغط.

تمثل الشدة الصوتية الطاقة المتدفقة عبر وحدة المساحة في وحدة الزمن.

لقد شبه Anstey (1977) الممانعة الصوتية بالقساوة الصوتية، فالصخور القاسية مثل الغرانيت و الحجر الكلسي و البازلت... لديها ممانعة صوتية عالية Acoustic Impedance، بينما الصخور الطرية كالغضار و الرمال القابلة للعصر تملك ممانعة صوتية منخفضة نسبياً. من هنا يمكن القول إن الضغط سيعطي سرعة كبيرة للذرات (نواسان كبير للذرات) في الصخر ذات الممانعة الصوتية المنخفضة، بينما في الصخر ذات الممانعة الصوتية العالية فإن نواسان الذرات سوف تكون قليلة.

بالعودة الآن إلى النبضة السيزمية، تنتقل الموجة المتشكلة بعد عملية التفجير إلى داخل الأرض بسرعة ثابتة طالما ليس هناك أي تغير في الممانعة الصوتية. من المعروف أن الصخور الرسوبية تتألف من طبقات ليتولوجية متتابعة ذات ممانعات صوتية مختلفة، وبالتالي ستتولد انعكاسات مختلفة عند مرور الموجة السيزمية من حدود هذه الطبقات. لكن ليس دائماً يؤدي اختلاف ليتولوجيا الصخور إلى تباين في الممانعة الصوتية. فمثلاً يملك الحجر الغضاري و الحجر الرملي ذو المسامية العالية الممانعة الصوتية نفسها على الرغم من اختلاف تركيبهما الليتولوجي. على أية حال، عندما تصادف موجة سيزمية ما أثناء انتشارها في طبقة صخرية ما طبقة أخرى تختلف عنها في الممانعة الصوتية، فان مقدمة هذه الموجه سوف تنقسم عند الحد الفاصل للطبقتين، جزء منها ينعكس عائداً إلى السطح و يتم تسجيله بواسطة اللاقط و جزء أخر ينفذ و يستمر في رحلته إلى الأسفل (الاشكال 2-1و3-1).



الشكل(3-1): يمثل استمرارية سرعة الذرة عند السطح الفاصل بين الصخرين القاسي و الطري. تشير الأسهم إلى مسار شعاع الموجة.

تعتمد الطريقة السيزمية الانعكاسية على قياس جميع الانعكاسات من الحدود الفاصلة وتسجيلها. لذلك من المهم فهم كيفية نشوء الانعكاسات وظهورها و ماهية المعلومات التي تحملها.

فعلى سبيل المثال: إذا كان لدينا موديل جيولوجي مؤلف من طبقة غضارية ثخينة متوضعة بشكل أفقي على طبقة الحجر الكلسي، فإننا نتوقع أن تسبب الموجة السيزمية المنتشرة في الطبقة العلوية إلى نواسان كبير في ذرات الغضار، بينما تسبب عند انتشارها في الطبقة السفلية إلى نواسان أقل لذرات الحجر الكلسي.

إذا افترضنا أن معظم طاقة الموجة نفذت و انتقلت إلى الحجر الكلسي عندئذ سوف تكون سرعة نواسان الذرات كبيرة في طبقة الغضار(يقصد بسرعة نواسان الذرات هو مقدار انزياح الذرات)، ولكن على الجانب الآخر للحد الفاصل ستكون سرعة النواسان الذرات أقل.

إذا كان هناك فصل أو عزل للطبقتين في الموديل الجيولوجي السابق فإننا نتوقع عدم حدوث انعكاس بسبب الاختلاف الهائل في سرعة نواسان الذرات بين الطبقة العلوية و طبقة الهواء (الفراغ). الفصل أو العزل على طول حدود الطبقات في أعماق الأرض في الحقيقة مستحيل الحدوث، بسبب وجود الصخور المغطية، حيث ضغط هذه الصخور أكبر بكثير من ضغط الذرات المؤلفة للصخور.

يسبب انتشار الموجة السيزمية في طبقة ما إلى نواسان و اهتزاز ذرات هذه طبقة و عند انتقالها إلى طبقة أخرى ذات ممانعة صوتية مختلفة فسوف تواجه وسطاً مختلفاً يكون فيه مقدار نواسان الذرات مختلف تماماً عن الطبقة الأولى. لاشك سوف تبدي الموجة السيزمية عند انتقالها إلى الطبقة الثانية رد فعل - نتيجة لتغير ظروف انتشارها- تتمثل بانعكاس جزء من طاقتها عند الحد الفاصل الشكل (3-1).

بالعودة إلى المثال السابق (الموديل الجيولوجي): ليس كل طاقة الموجة الواردة من الحجر الغضاري يمكن أن تنفذ إلى طبقة الحجر الكلسي و لكن جزء منها سوف ينعكس لكي تحدث توازناً في سرعة نواسان الذرات على طرفي الحد الفاصل للطبقتين. من هنا ، فإنه من البديهي القول بإنه لا يوجد طاقة مفقودة عند

حدود الممانعة الصوتية و إن مجموع الطاقة النافذة و المنعكسة تعادل الطاقة الواردة. حيث يعبر عن الطاقة النافذة T بالعلاقة الرياضية التالية:

$$T = \frac{2\rho 1V1}{\rho 1V1+\rho 2V2}$$

ρ: تمثل كثافة الطبقة

V تمثل سرعة الطبقة.

إن قوة العاكس يجب إن تكون مرتبطة بشكل مباشر بتباين الممانعة الصوتية للطبقات. فكلما كان هذا التباين شديداً كان هناك حاجة أكبر للانعكاس من أجل إيجاد التوازن بين الوسطين.

يمكن حساب قوة العاكس المتولد أو ما يسمى بعامل الانعكاس (Reflection Coefficient) عند الحد الفاصل من أجل الورود الطبيعي بالعلاقة التالية:

$$RC = \frac{Z2 - Z1}{Z2 + Z1}$$

حيث RC عامل الانعكاس، Z1 الممانعة الصوتية للطبقة العلوية، Z2 الممانعة الصوتية للطبقة السفلية. يمكن أن يكون عامل الانعكاس موجباً إذا كانت الصخور الطرية تتوضع فوق الصخور القاسية. أو سالباً إذا كانت الصخور القاسية تتوضع فوق الصخور الطرية.

في الواقع، نحن لا نقيس التباين في الممانعة الصوتية بشكل مباشر عبر الحد الفاصل للطبقات، لكن نستنتجها من سعة الانعكاس المسجل.

فكلما كانت السعة كبيرة، كان الانعكاس أقوى و بالتالي فإن تباين الممانعة الصوتية أشد. تسجل اللواقط Geophones المزروعة على اليابسة سعة سرعة الذرات بينما تسجل اللواقط Hydrophones المزروعة على المياه سعة ضغط الصوت. يمكن تعريف عامل الانعكاس بأنه نسبة سعة الموجة المنعكسة إلى سعة الموجة الواردة. لنعطِ مثالاً:

إذا كانت سعة الموجة المنعكسة ثلث سعة الموجة الواردة، فإن مقدار عامل الانعكاس سيكون 0.33، طبعاً المقدار الأخير لعامل الانعكاس نسبياً كبيرً. تكون عادة مقداراً أقل بكثير. و لحسن الحظ، تتناسب الطاقة المنعكسة تقريباً مع مربع عامل الانعكاس. بالعودة إلى المثال السابق، فالعاكس الذي لديه عامل انعكاس 0.33 فإن جزءاً من الطاقة وليكن $\frac{1}{9}$ تعكس و الباقي أي $\frac{8}{9}$ تنفذ و تستمر بالانتشار إلى الأسفل. يمكن القول عموماً إن الطاقة المنعكسة لا تشكل إلا جزءاً بسيطاً من الطاقة الواردة. و لحسن الحظ فان معظم الطاقة الواردة تقريباً تنفذ و تكون كافية لتوليد انعكاسات جديدة عن الحدود الفاصلة للطبقات العميقة.

على كل حال تعطينا تسجيل سعات الانعكاس القدرة على تخمين مقدار تباين الممانعة الصوتية المسببة للانعكاس. تحمل الانعكاسات المسجلة معنى جيولوجياً و هو يشكل هدف الرئيس للمعطيات السيزمية.

وسيكون لهذه الانعكاسات فائدة أكبر إذا استطعنا أن نحدد فيما إذا كان عامل الانعكاس موجباً أو سالباً و نستنتج فيما إذا كان التغير في الممانعة الصوتية ناتجاً عن عبور الموجة من صخر طري إلى صخر قاسٍ أو بالعكس.

على اليابسة، يسجل اللاقط الواقع في مستوى المنبع الحركة الأولية للموجة الصاعدة Upgoing (سرعة الذرة الموجبة). و الهيدروفون المزروع في المياه يسجل الضغط الموجب.

أما في الحالة التي يكون فيها اللاقط متوضعاً تحت نقطة المنبع، عندئذ اللاقط سيسجل سرعة الذرة السالبة لأن الحركة الأولية للموجة هي موجة هابطة Downgoing. أما الهيدروفون سيسجل ثانية الضغط الموجب. يسجل اللاقط المزروع على اليابسة الموجة المنعكسة و يستجيب لسرعة الذرة السالبة (أي أن الحركة الأولية هي باتجاه الأسفل). بالاستفادة من مثال الموديل الجيولوجي السابق لطبقة الغضار المتوضع فوق طبقة الحجر الكلسي، فإن سرعة الذرة في طبقة الغضار أثناء انتشار الموجة فيها تكون كبيرة نسبياً و لكي تتوازن مع سرعة الذرة المنخفضة في الحجر الكلسي عند انتقال الموجة إليه يجب أن يكون للانعكاس سرعة الذرة موجبة (أي أن الحركة الأولية يجب أن تكون باتجاه الأعلى) شكل (3-1).

يستجيب الهيدروفون في المياه إلى الضغط. يوضح الشكل (4-1)كيف يجب أن يُضاف الضغط الصغير الموجب للشعاع الوارد إلى استجابة الضغط الموجب الأكبر في حالة الانعكاس عن الحجر الكلسي.

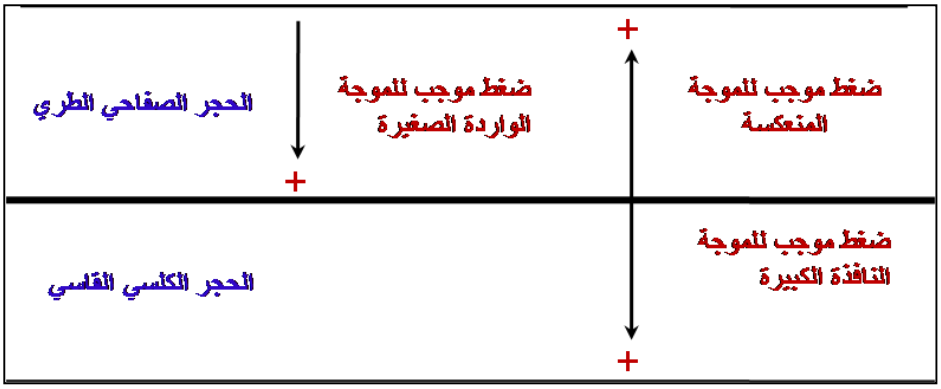
ستسجل الجيوفونات و الهيدروفونات في كلا الحالتين الانعكاس الموجب الحاصل من التباين بين الغضار و الحجر الكلسي.

نلاحظ أن هناك فرقاً بين الحالة على اليابسة حيث بدأنا بإشارة ذات دخل سالب الداخلة Negative Input (الحركة الأولية باتجاه الأسفل). بينما في المياه، الإشارة الداخلة هي موجبة. أما في حالة الموديل الجيولوجي المعاكس للموديل المذكور آنفاً أي طبقة الحجر الكلسي تتوضع فوق الحجر الغضاري فإن الجيوفونات و الهيدروفونات سوف تسجل الانعكاس السالب.

وبذلك يمكن استنتاج أن الانعكاس المقاس بالجيوفون أو بالهيدروفون سوف يكون له الاستجابة نفسها. إذا كانت Z1<Z2 (صخراً طرياً فوق صخر قاسٍ) فالانعكاس سيكون موجباً. أما إذا كانت Z1>Z2 (صخراً قاساً فوق صخر طري) فالانعكاس سيكون سالباً.

مما سبق، يمكننا تسجيل قوة الانعكاسات وقياسها من خلال قياس سعتها و أيضا تحديد فيما إذا كان الانعكاس ناتجاً عن سطح فاصل ذي عامل انعكاس سالب أو موجب.

كل ذلك سوف يفيدنا في الحصول على معطيات عن ليتولوجية الطبقات تحت السطحية.



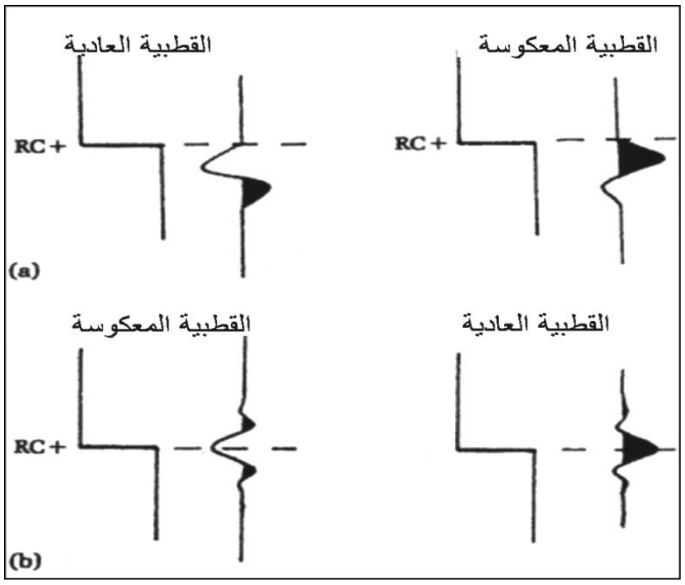
الشكل(4-1): يمثل استمرارية ضغط الذرة عند السطح الفاصل للصخرين القاسي و الطري. تشير الأسهم إلى مسار شعاع الموجة.

يمكننا قياس زمن انتقال الموجة السيزمية (two way time) من المنبع إلى السطح العاكس و عودتها ثانية إلى سطح الأرض. و إذا كانت سرعة الموجة السيزمية في الصخور معروفة و زمن انتقال الموجة معروفاً من خلال تسجيله، عندها يمكن حساب عمق سطح العاكس عبر العلاقة الرياضية التالية:

$$\text{العمق} = \frac{\text{زمن انتقال الموجة ذهاباً و إياباً} \times \text{السرعة}}{2}$$

سوف نُقحم الآن مفهوما أو مصطلح القطبية، بدلاً من شرح الانعكاسات بأنها سالبة أو موجبة. لقد عرف تجمع جيوفيزيائيي الاستكشاف Society of Exploration Geophysicists القطبية الطبيعية بهذه الطريقة:

- تنتج الإشارة السيزمية الموجبة ضغطاً صوتياً على الهيدروفون في المياه أو حركة أولية صاعدة نحو(الأعلى) على الجيوفون في اليابسة.
- تسجل الإشارة السيزمية الموجبة كرقم سالب على الشريط، يعني انعكاساً سالباً و تظهر (انعكاساً نحو الأسفل) على الشاشة، و تراف Trough على المقطع السيزمي. يظهر العاكس على الأثر السيزمي كتراف إذا كان Z2>Z1 و يظهر كبيك Peak إذا كان Z1>Z2. حيث يعرض الشكل(1-5) القطبية العادية و المعكوسة لكلا النبضتين الطور الصفري و الأصغري Minimum and Zero Phase.

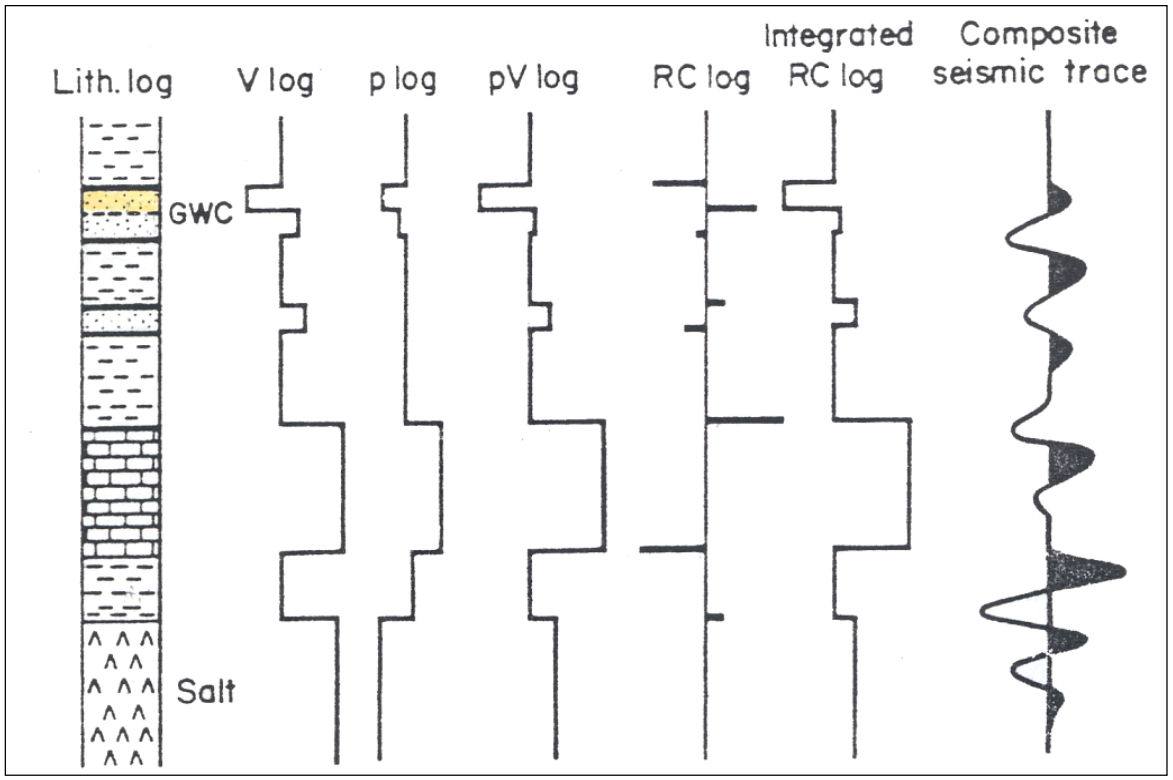


الشكل (5-1): مثال عن القطبية العادية و المعكوسة المثالية. (a) موجة منبع ذات الطور الأصغري عند حد الممانعة الصوتية و ذو عامل انعكاس موجب. (b)موجة منبع الطور الصفري عند حد الممانعة الصوتية و ذو عامل انعكاس موجب.

1.4.1.1. الانعكاسات وتغيرالممانعة الصوتية(Reflections and Acoustic Impedance)

تتوضع الصخور الرسوبية كما هو معروف بشكل طبقات متعاقبة. حيث تنعكس الأمواج السيزمية و تتشكل الانعكاسات عند فواصل هذه الطبقات بسبب تغيرات في الممانعة الصوتية الناتجة عن التغير الليتولوجي. فأي تغير في الممانعة الصوتية سوف ينتج عنه تسجيل عاكس على أجهزة القياس و التسجيل السيزمي. يوضح الشكل(6-1)مجموعة من قياسات السرعة و الكثافة و الممانعة الصوتية مقابل سلسلة من الطبقات الرسوبية المعروفة بتباينها في الممانعة الصوتية. حيث يلاحظ من خلال هذا الشكل حدين هامين تظهر العلاقة جلياً بين السرعة و الكثافة و الممانعة الصوتية. يشاهد تغير حاد في الممانعة الصوتية عند الحد الفاصل بين الغاز والماء في طبقة الرمل. و هذا التغير في الممانعة الصوتية حدث ليس بسبب التغير الليتولوجي وإنما نتيجة تغير مائع الطبقة. إن وجود الغاز في مسامات الطبقة الرملية يخفض بشكل كبير سرعة الموجة السيزمية و بالتالي يخفض من مقدار الممانعة الصوتية. أما الحد الأخر المهم فهو الحد الفاصل بين الغضار و الطبقة الملحية، حيث يشير تسجيل السرعة إلى تزايد قيم السرعة بشكل واضح عند قمة الملح. هنا إذا اعتمدنا على متغير السرعة باعتباره المؤثر الوحيد على مقدار الممانعة الصوتية ، عنده سوف نتوقع حدوث انعكاس قوي عند الحد الفاصل بين الغضار و الملح. و لكن نشاهد حالة معاكسة، حيث يكون الانعكاس عند ذلك الحد أضعف مما نتوقع. و يعود سبب ذلك إلى انخفاض قيم الكثافة في الصخور الملحية .

و لما كانت الممانعة الصوتية هي عبارة عن ضرب قيم كثافة الصخر بسرعة الموجة فيه، فإن التغيرات في السرعة و الكثافة لإحدى الطبقتين تلغي إلى حد كبير كلاً منهما الآخر لتعطي تغيراً بسيطاً في الممانعة الصوتية عند قمة الملح. و بالتالي سينتج انعكاس أضعف بكثير من توقعاتنا المستندة إلى حقيقة أن قوة الانعكاس تعتمد على زيادة السرعة. يشاهد على الجانب الأيمن من الشكل(6-1) الاستجابة السيزمية على احد الآثار السيزمية الناتجة عن تغيرات الممانعة الصوتية لسلسلة الطبقات الرسوبية.



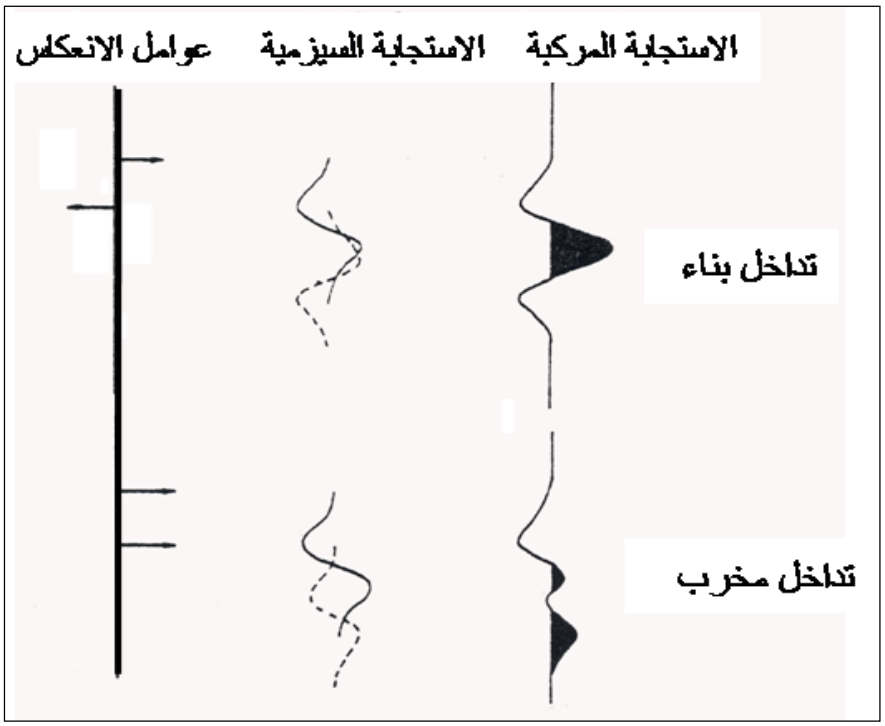
الشكل (6-1): يمثل مجموعة من التسجيلات البئرية السرعة و الكثافة و الممانعة الصوتية و عامل الانعكاس المقاسة مقابل عدد من التشكيلات الرسوبية. حيث يحوي بعضها سوائلَ مثل الماء و الغاز.

1.4.1.1. التداخلات Interferences

إن من أهم المشاكل التي تواجهها الطريقة السيزمية هو تداخل الاستجابات السيزمية الناشئة عند الحدود الفاصلة للطبقات أو الموائع.

يتألف الأثر السيزمي في الشكل (6-1) من مجموعة استجابات سيزمية تشكلت نتيجة تباين الممانعات الصوتية للطبقات المختلفة. فلا يمكن تفسير هذا الأثر ببساطة لأنه ليس كل استجابة سيزمية فيه منفصلة عن الاستجابات الأخرى، لكون الاستجابة السيزمية أطول من الفصل بين حدود هذه التباينات في الممانعة الصوتية مما يؤدي إلى حدوث التداخل. تحدث التداخلات دائماً عندما تتراكب الانعكاسات الناتجة عن عواكس مختلفة فوق بعضها

البعض. و يعبر عن التداخل بطول النبضة السيزمية بـالميلي ثانية و المسافة بين حدود الممانعة الصوتية بالزمن التي هي تابع للسرعة المجالية. فيمكن أن يكون التداخل بناء أو مخرباً شكل (7-1) .



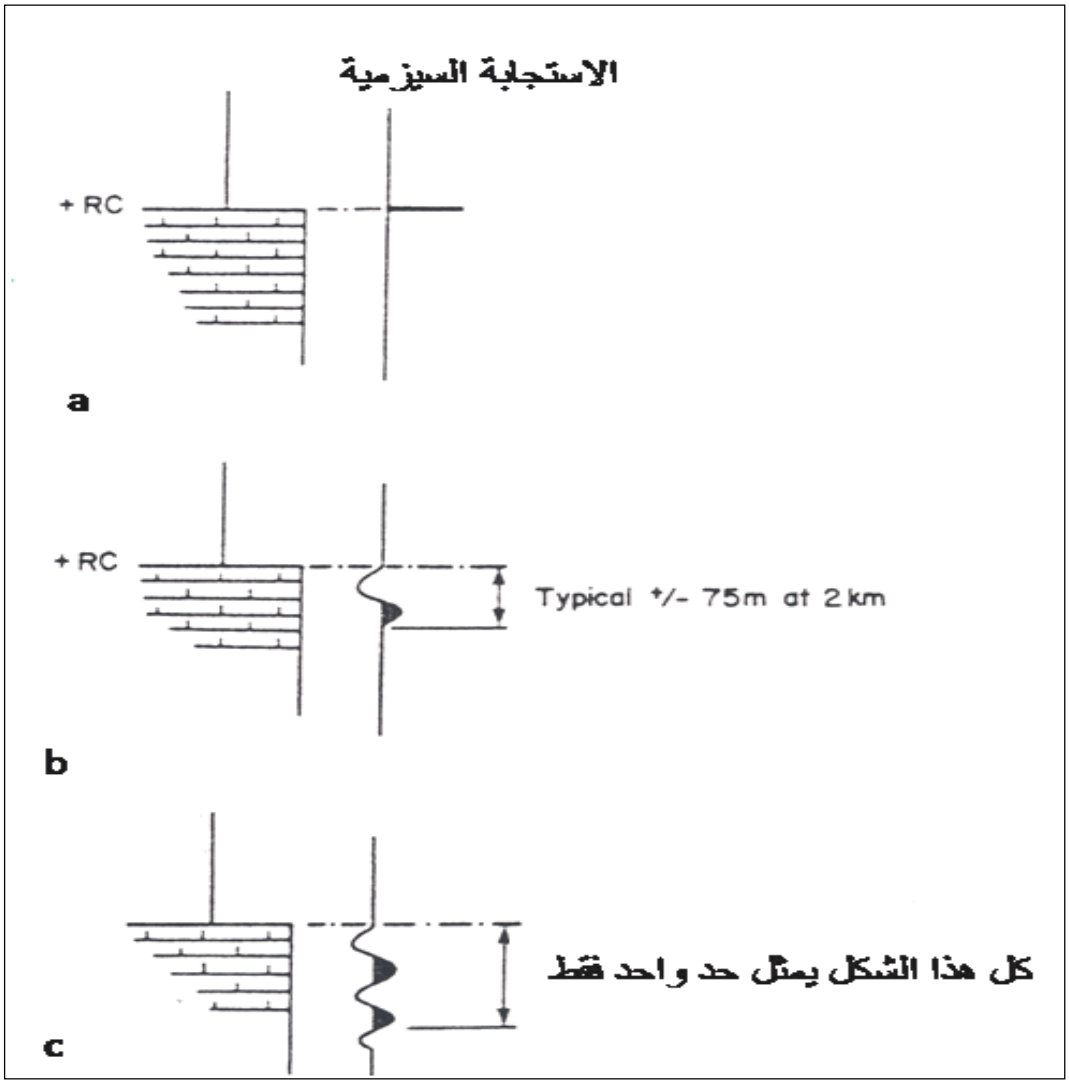
الشكل(7-1): الشكل المعبر عن التداخلات البناءة و المخربة

تتألف الإشارة السيزمية من واحد أو اثنين من البيك Peak و واحد أو اثنين من التراف Trough و يكون لها امتداد زمني 20-100 ميلي ثانية شكل (8-1) b. في الحقيقة تتألف مويجة المنبع Wavelet من عدة دورات بدلاً عن سبايك المرغوبة Spike ، يعني أن عاكساً واحداً يستطيع أن يخلق انعكاساً مؤلف من موجة أولية متبوعة بواحدة أو أكثر من أنصاف الدورات شكل (8-1) c . و هذا قد يعطي انطباعاً كاذباً عن عدد الطبقات.

يمكن أن تصنف النبضة السيزمية المعروضة على المقطع السيزمي إلى نوعين رئيسين الطور الصفري Zero Phase و الطور الأصغري Minimum Phase شكل (5-1) .

تتركز الطاقة في النبضة السيزمية ذات الطور الأصغري Minimum Phase عند بدايتها أو مقدمتها ، حيث يمثل بداية انحرافها الحد الفاصل بين الطبقتين أو بين المائعين. في هذا النوع لا يحتاج البيك أو التراف لأن يكون لديه سعة أعظمية. تتألف النبضة السيزمية ذات الطور الصفري Zero Phase من بيك مركزي ذات سعة أعظمية و ترافين صغيرين. حيث يمثل البيك المركزي الذي تتركز فيه الطاقة الحد الفاصل بين طبقتين مختلفتين. يعتبر هذا النوع من النبضة السيزمية نظرياً و ليس طبيعياً أو واقعياً لأن الذرات تحتاج لأن تبدأ بالحركة قبل أن تصل مقدمة الموجة إلى السطح الفاصل. إن لهذا النوع من النبضات السيزمية منافع عدة:

- تمتاز النبضة السيزمية ذات الطور الصفري بقصرها و كبر سعتها إذا ما قورنت مع النبضة ذات الطور الأصغري. لهذا تكون $\frac{S}{N}$ أكبر في النبضة ذات الطور الصفري.
- تتطابق دائماً السعة العظمى للنبضة ذات الطور الصفري مع سبايك النظري (عامل الانعكاس Reflectivity Spike). بينما تؤخر السعة العظمى في النبضة ذات الطور الأصغري عند إعادتها إلى حالة سبايك Spike (عامل الانعكاس).

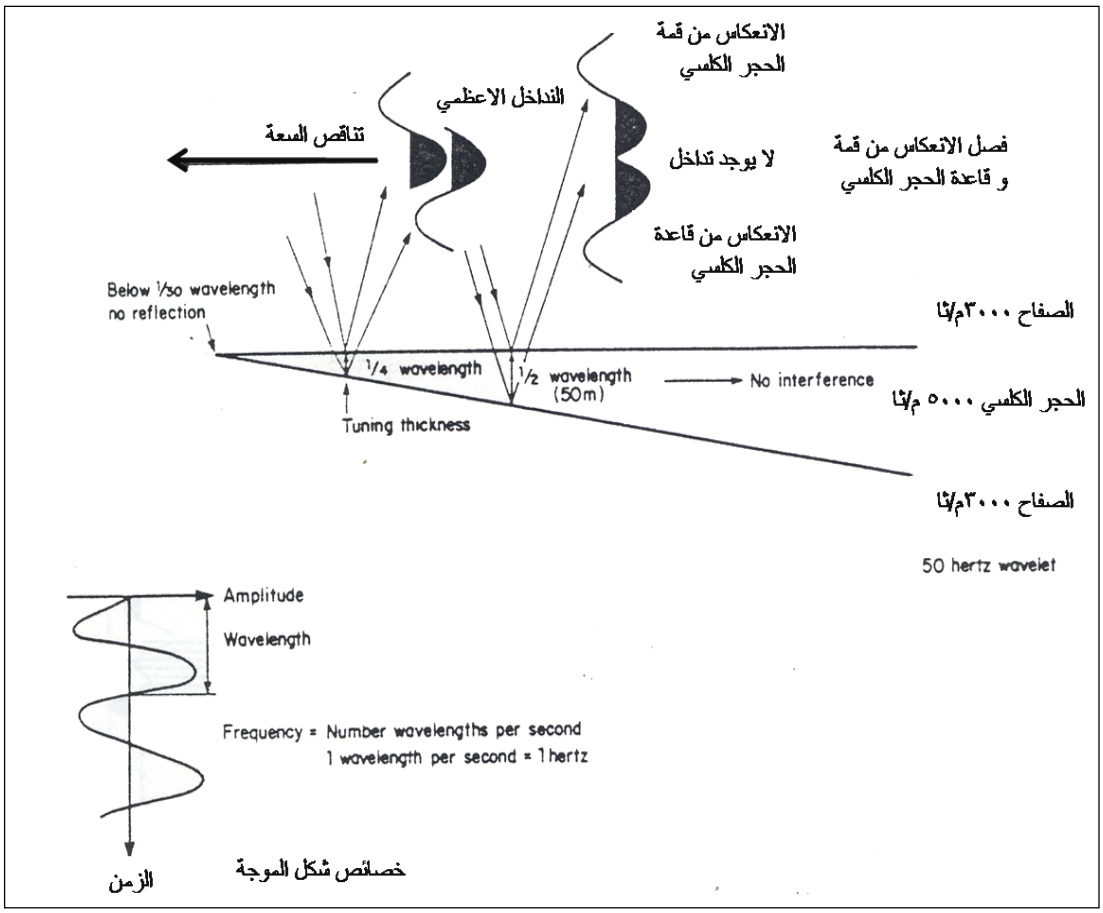


الشكل (8-1): الاستجابة السيزمية عند حد الليتولوجي الموجب (الممانعة الصوتية). (a): الحالة المثالية حيث الاستجابة هي عبارة عن سبايك عند الحد الليتولوجي. (b) الاستجابة السيزمية للقطبية الموجبة العادية ذات الطور الأصغري. (c) الانعكاس السيزمي يتألف من عدة دورات من حد ليتولوجي وحيد.

3.4.1.1. الدقة الشاقولية Vertical Resolution

يمكن أن يتبادر إلى الذهن سؤال، ما ثخانة الطبقة أو رمية الفالق التي يمكن تمييزها و تحديدها على المقاطع السيزمية ؟ و ما المتغيرات التي تؤثر في ذلك ؟

لنأخذ المثال التالي في الشكل (8-1) و هو عبارة عن موديل جيولوجي يتألف من طبقة من الصخور الكلسية و تغلفها طبقات من الحجر الغضاري ذات السرعة الأقل. تم إرسال موجة سيزمية ذات طور أصغري Minimum Phase حيث انعكست عند قمة الحجر الكلسي، محافظة على قطبيتها. ثم انعكست عند قاعدة الحجر الكلسي مع انقلاب لقطبية الموجة الناتجة عن انتقال الموجة إلى وسط منخفض الممانعة الصوتية. الموجتان المنعكستان من قمة طبقة الحجر الكلسي ومن قاعدته لهما قطبيتان مختلفتان. ستظهر هاتان الموجتان منفصلتين على المقطع الزمني طالما أن سماكة الحجر الكلسي مساوية أو أكبر من نصف طول الموجة السيزمية. أو بعبارة أخرى، هناك إمكانية لفصل أو تمييز قمة طبقة الحجر الكلسي وقاعدته طالما أن السماكة أكبر من نصف طول الموجة.



الشكل (9-1): تأثير تداخل الموجة السيزمية من قاعدة طبقة الحجر الكلسي المترققة تدريجياًومن قمته. حيث يشاهد التداخل أعظمياً عند السماكة المساوية لربع طول الموجة (سماكة التناغم).

أما إذا كانت ثخانة طبقة الحجر الكلسي أقل من ذلك، عندها الموجتان المنعكستان المختلفتان في القطبية سوف تبدآن بالتراكب و التداخل فيما بينهما الشكل(9-1).

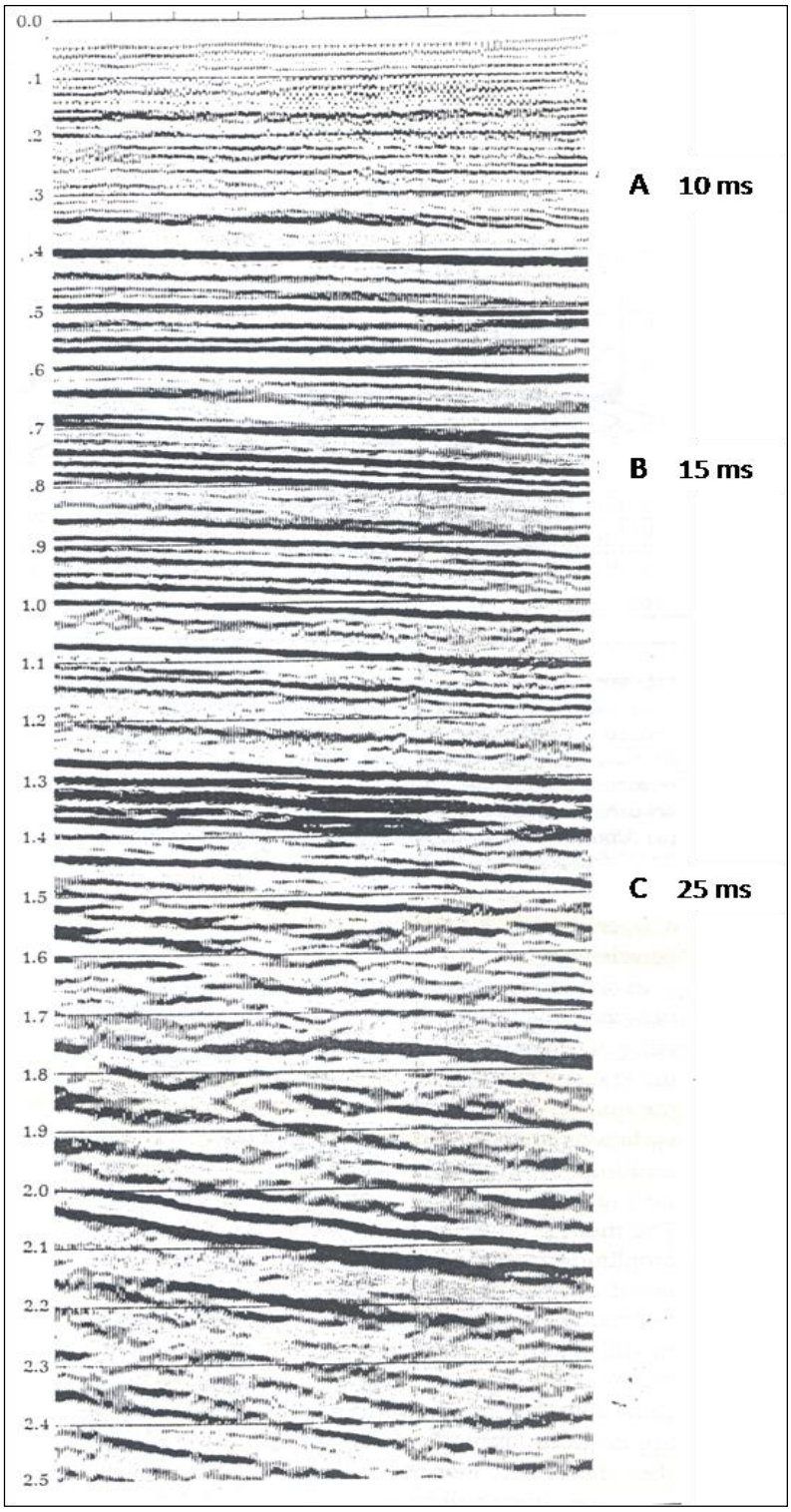
و في حال أصبحت الثخانة مساوية إلى ربع طول الموجة، عندئذ فإن الموجتين سوف تتداخلان مع بعضهما البعض بشكل بناء و سوف تشكلان موجة واحدة ذات سعة كبيرة و واضحة جداً، عندها تدعى هذه السماكة بـ Tuning (سماكة التناغم). و لتوضيح ذلك نعطي مثالاً عددياً، لنفرض سرعة الحجر الكلسي في الموديل الجيولوجي السابق هو 5000 م/ثا و أن تردد الموجة هو 50 هرتز، عند ذلك تكون سماكة التناغم Tuning المساوية لربع طول الموجة ($\frac{\lambda}{4}$) أو التداخل البناء هو 25 م حسب العلاقات التالية

$$V=F.\ \lambda$$

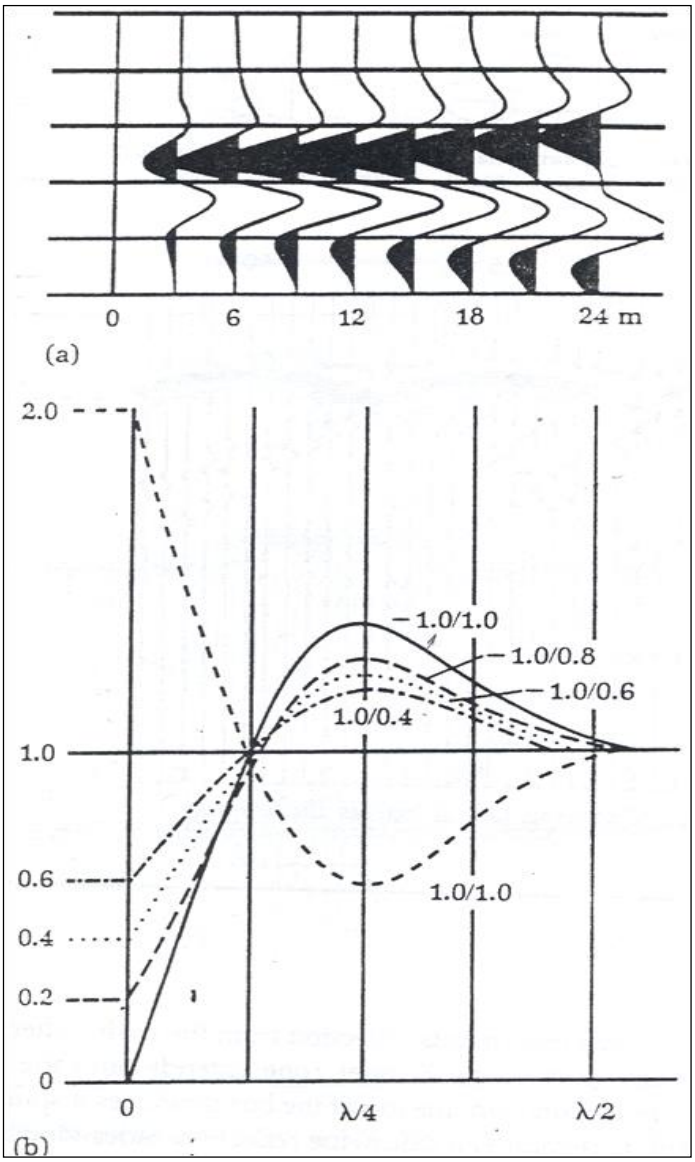
و $\lambda=\frac{V}{F}$ ← λ =100.

عندما تترقق سماكة الحجر الكلسي إلى أقل من سماكة التناغم، عندئذ تتناقص السعة الكبيرة غير العادية التي ظهرت سابقاً بسبب تراكب الانعكاسات الحاصلة عن قمة الحجر الكلسي وقاعدته.

ومع استمرار ترقق الطبقة تتحول إلى إشارة سيزمية واحدة ناتجة عن انعكاس واحد فقط. مثال آخر: لنفرض أن تردد الإشارة السيزمية في المثال السابق هو 20 هرتز ، عندها تكون سماكة الطبقة الكلسية القابلة للتمييز هي 125 م المساوية إلى نصف طول الموجة. في الطبقات الضحلة، تكون السرعات عادة منخفضة، و الترددات عالية و طول الموجة تقريباً 40 م عند ذلك يمكن تشخيص الطبقات التي سماكتها في حدود 10 م. بينما في الطبقات الأعمق تزداد سرعة الطبقات و تنخفض تردد الأمواج السيزمية نظراً لتخامدها وامتصاصها. لذلك تنخفض قدرة التمييز السيزمي للطبقات قليلة السماكة بسبب كبر طول الموجة. من الصعب حساب طول الموجة السيزمية مقدرة بالمتر على الأثر السيزمي (نظراً لقياسه بالميلي ثانية). لذلك يتم حسابها عن طريق حساب الدور الزمني لها Period و السرعة السيزمية المجالية للطبقة ذات العلاقة، (طول الموجة = الدور× السرعة). و يتم حساب دور الموجة السيزمية على المقطع السيزمي عند عمق محدد و ذلك باختيار عاكس خال ٍ من تأثير التداخلات و أمواج الضجيج الشكل(10-1). تستخدم تقنيات حديثة لتحديد سماكة الطبقات الأقل من ربع طول الموجة، و هي تعتمد على علاقة سعة الانعكاسات بالسماكات. يمكن أن تحدد سماكة الطبقات الرقيقة الأقل من ربع طول الموجة نظرياً من خلال رصد تغيرات سعة الانعكاس. يظهر الشكل(11-1)مخططاً لعلاقة السعة عند السماكة المساوية إلى ربع طول الموجة. يلاحظ أن حجم السعة أعظمياً عند السماكة المساوية إلى ربع طول الموجة ، ثم لا تلبث أن تتناقص عند السماكات الأقل من ربع طول الموجة. لكن المشكلة في هذه التقنية أو المخطط هو الحاجة إلى مرجع للسعة (عادة يؤخذ من القياسات البئرية).



الشكل (10-1): تحديد التردد المسيطر للانعكاسات الواقعة عند أعماق مختلفة في المقطع السيزمي.
الانعكاس A: التردد 83 هرتز. الانعكاس B: التردد 67 هرتز. الانعكاس C: التردد 40 هرتز.



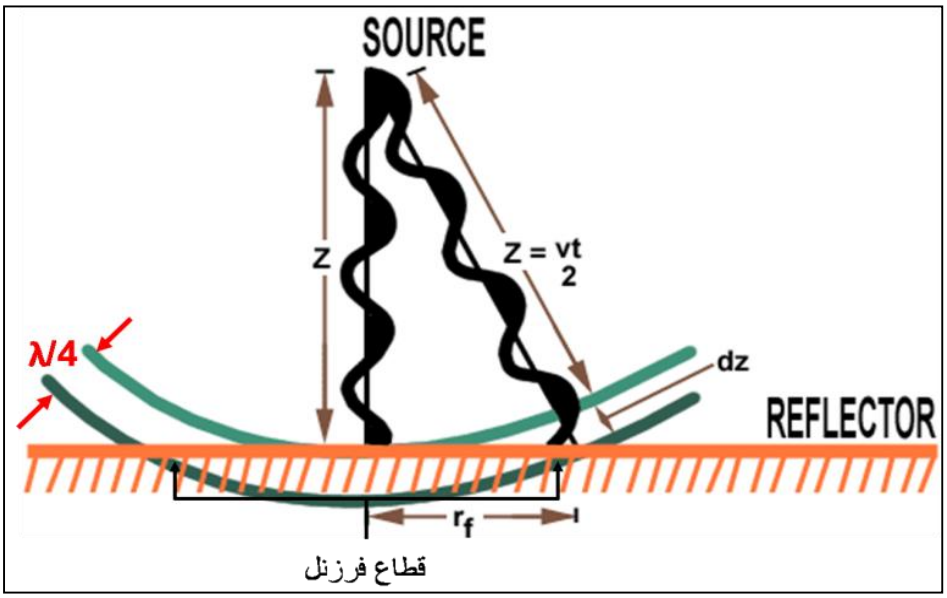
الشكل (11-1): الانعكاسات الناتجة عن قمةٍ و قاعدةٍ لطبقةٍ تتناقص سماكتها تدريجياً. (a) تمثل شكل موجة الانعكاس، حيث تعطى ثخانة الطبقة بالأمتار وسرعة 1525 م/ثا. (b) السعات العظمى البيك الى تراف، حيث الانعكاسية عند قمة و قاعدة الطبقة هي 1/1 (الظروف للبقع الضعيفة عند ربع طول الموجة)، 1/-1، 1/0.8-، 1/0.6-، 1/0.4-. يطبق المنحني 1/1- إلى الطبقة في a. تعطى السماكة بقياس طول الموجة السيزمية.

4.4.1.1. الدقة الأفقية Horizontal Resolution

لقد مثلت الانعكاسات السيزمية سابقاً كأشعة منفردة تنبثق من نقطة شكل(2-1)و ذلك لتبسيط فهم عملية الانعكاس. أما في الواقع، تحدث الانعكاسات الفعلية نتيجة تفاعل مقدمة الموجة السيزمية (ذات لشكل نصف كروي) مع السطوح الفاصلة للطبقات. عندما تصطدم مقدمة الموجة بالسطح الفاصل فإنه يحدث انعكاس من مساحة أو قطاع معتبر من سطح الانعكاس و ليس من نقطة واحدة كما تدل الأشعة الآنفة الذكر. ينشأ في الحقيقة

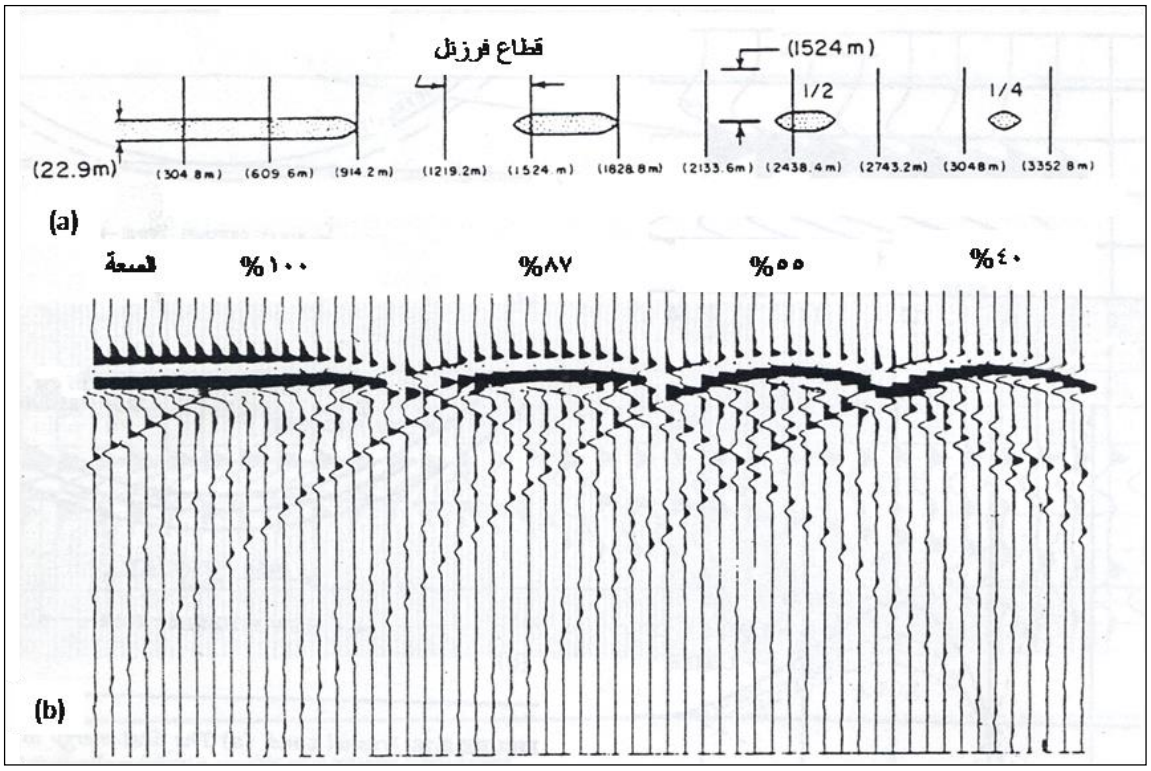
هذا الانعكاس من قطاع دائري ذي قطر كبير يُعرف بقطر فرنل Fresnel Zone (نسبة إلى العالم الألماني فرنل) و هو يمثل جزءاً من العاكس الذي انعكست عنه الطاقة عائدة إلى اللاقط السيزمي الموجود على السطح ضمن نصف دائرة (أي ربع طول الموجة) بعد بداية الانعكاس الشكل(12-1). تحدد الدقة الأفقية على المقطع السيزمي غير المهجر Unmigrated section من خلال حجم قطاع فرزنل. حيث يعرض الشكل(13-2) موديل لتأثيرات فرزنل. فهو يوضح استمرار الطبقة إلى اليسار مع ثلاثة وحدات مفصولة ذات امتداد جانبي معبر عنها بمصطلح قطاع فرزنل. يشير الموديل إلى الملاحظات التالية:

- تترافق ظاهرة الانتثار مع أطراف الطبقة.
- تتلاشى سعة أمواج الانتثار بسرعة عند ابتعادها عن الذروة.
- تظهر أمواج الانتثار مقلوبة القطبية على الجوانب المتقابلة لطرف الطبقة.
- تُموه الفجوات بين الوحدات المذكورة أعلاه بواسطة أمواج الانتثار.λ
- تعطي الوحدة التي تساوي نصف قطاع فرنل استجابة سيزمية غير قابلة للتمييز بسبب أمواج الانتثار. حتى مع تلك الوحدة المساوية لقطاع فرنل فمن الصعب تمييزها.



قطاع فرزنل

الشكل (12-1): يمثل قطاع فرزنل الناتج عن اصطدام مقدمة الموجة بسطح العاكس.مساحة العاكس الذي يولد الانعكاس محدود بالمساحة التي تصنعها مقدمة الموجة- ربع طول الموجة الأخيرة من الدورة مع العاكس.



الشكل (13-1): الانعكاسات من عواكس ذات امتداد جانبي متغير. (a) المقطع العرضي للموديل: تفصل الأحجام المختلفة لقطاع فرزنل بالخطوط العمودية. (b) المقطع السيزمي فوق الموديل. سعات البيك للانعكاسات الأربعة هي على التوالي 100%، 87%، 55%، و 40%.

يمكن حساب نصف قطر قطاع فرزنل من خلال العلاقة التالية:

$$rf=\frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{f}}$$

حيث rf: يمثل نصف قطر قطاع فرزنل

V:السرعة الوسطى للطبقة

t : زمن مسير الموجة ذهاباً وإيابا

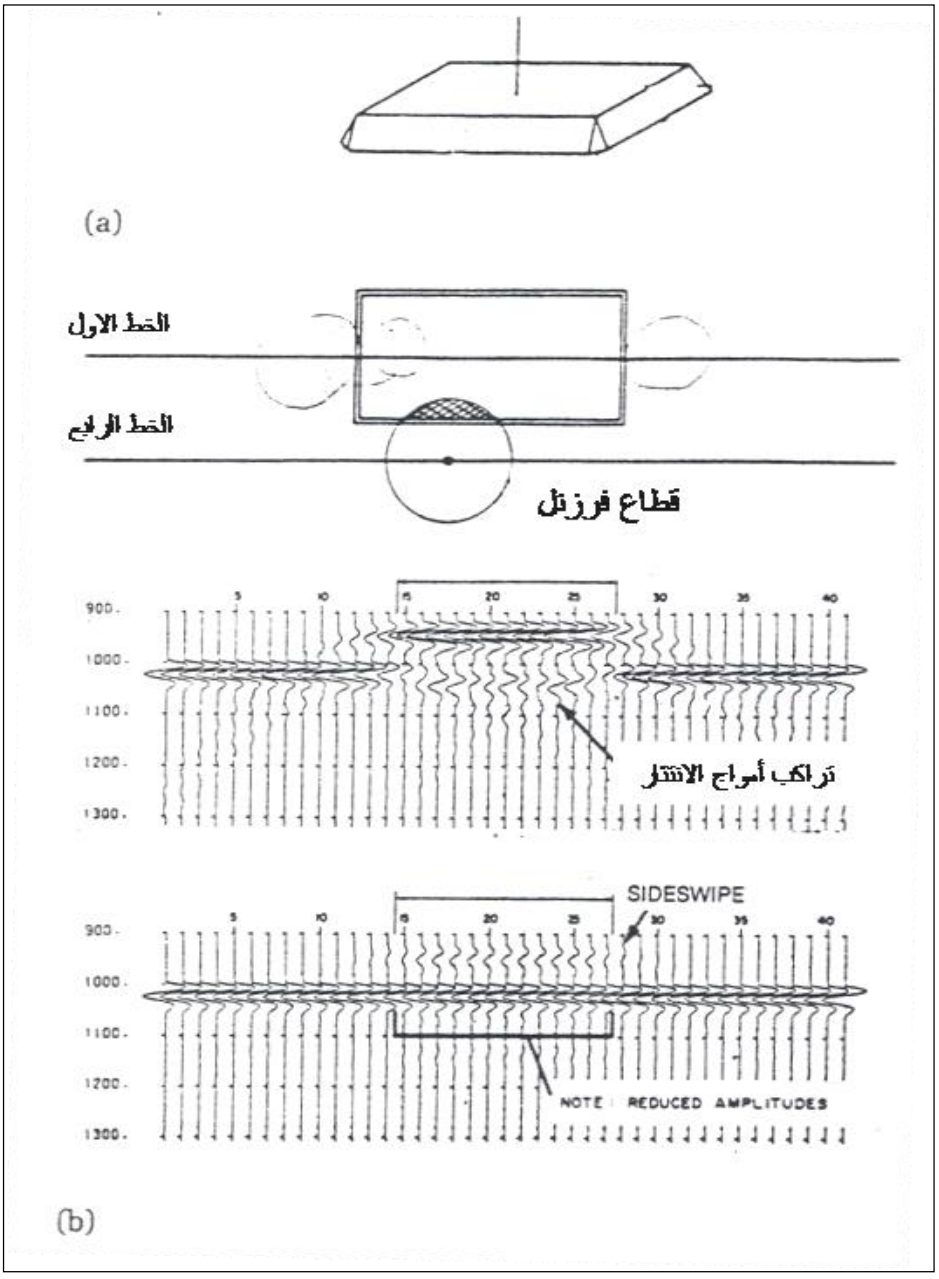
(TWT) مقدرة بالثواني و*f* التردد المسيطر مقدراً بـ هرتز.

على سبيل المثال: لوحظ عاكس على المقطع السيزمي عند الزمن 1.7 ثانية وقدر التردد عند ذلك العمق الزمني بـ 35 هرتز، و كانت السرعة الوسطية لهذا العاكس 2500 م/ثا، احسب نصف قطر و مساحة قطاع فرزنل عند ذلك العاكس:

$$rf=\frac{2500}{2}\sqrt{\frac{1.7}{35}}=275\ m$$

أما مساحة قطاع فرزنل= $\pi r.^2$ ←Km^2 0.237

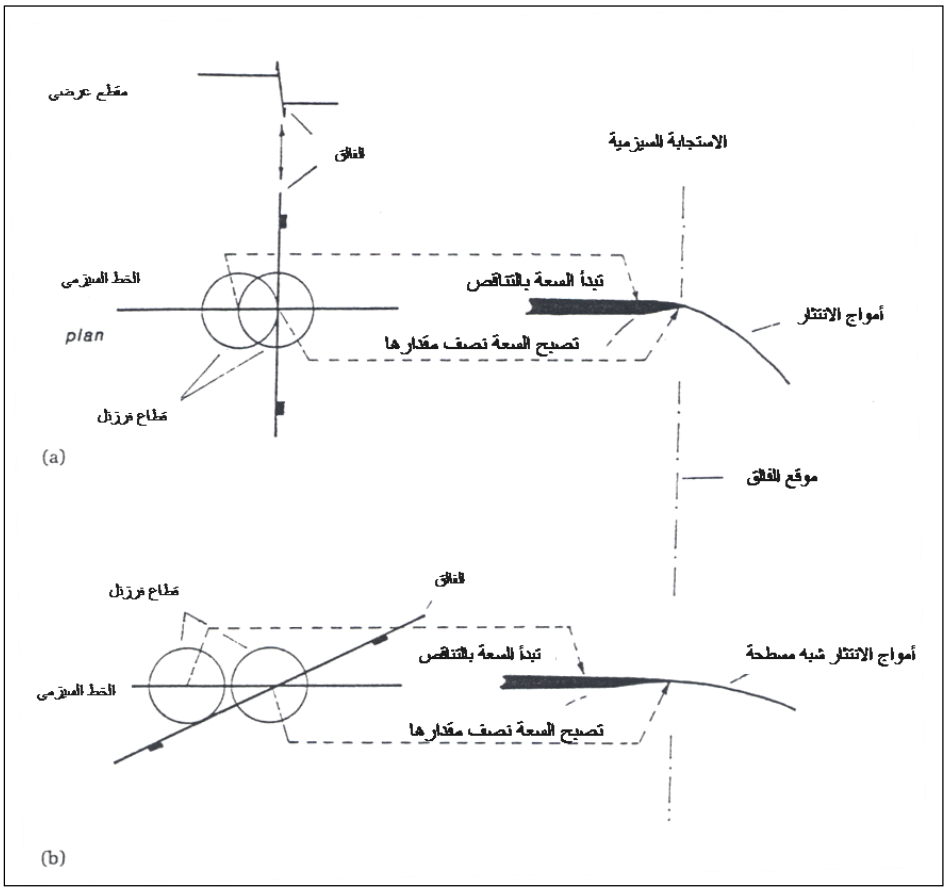
تتناقص الدقة الأفقية مع تزايد العمق و السرعة و مع تناقص ترددات الأمواج. إذن كل الظواهر أو البنيات الجيولوجية الموجودة في الأعماق (ريف، فوالق ذات الرميات الصغيرة نسبياً، العدسات الرملية...) لا يمكن مشاهدتها على المقاطع السيزمية ما لم تكن أكبر حجماً من قطاع فرزنل لأن الأمواج السيزمية سوف تجتازها من دون أن يحدث أي انعكاس عنها.



الشكل (14-1):الانعكاسات من موديل صندوقي. (a) الموديل الصندوقي، حيث نسب الطول :العرض: الارتفاع: العمق هي على التوالي 10:5:1:10 .(b) أبعاد قطاع فرزنل نسبة إلى أبعاد الصندوق. الخط الأول يمر فوق الصندوق. و الخط الرابع يمر بجانب الصندوق.

مثال آخر عن تأثير قطاع فرزنل. و ليكن لدينا موديل صندوقي كما في الشكل(14-1)و الذي يمكن أن يمثل هذا الصندوق ريف قبابي Pinnacle Reef. يبين الخط السيزمي المقاس على جانب الصندوق انعكاساً جزئياً من الصندوق (بالإضافة إلى الانعكاس المستمر من العاكس الرئيسي) بسبب التأثير الجزئي لقطاع فرزنل على الصندوق. حيث ينتج الانعكاس الحاصل من طرف الصندوق حدثاً كاذباً كما هو موضح على الخط 4 من الشكل(14-1). والجدير بالذكر يهدف تطبيق الهجرة على معطيات المسح السيزمي ثنائي البعد إلى إصلاح الأضرار الناجمة عن تأثيرات قطاع فرزنل (في الدقة الأفقية)، إلا أنها سوف تفشل في إعادة توضع العواكس إلى مواقعها الحقيقية في حال وقع الخط السيزمي على جانب الصندوق لأنه لا يمكن نقل نقاط الانعكاس المسجلة إلى مواقع انعكاسها الحقيقية. إذن المسح الجانبي للظواهر الجيولوجية كالريف يسبب أضراراً كبيرة بسبب تأثيرات قطاع فرزنل.

غالباً ما تشاهد تأثيرات قطاع فرزنل بجوار الفوالق، حيث يعرض الشكل(15-1)كيفية تناقص سعة العاكس الواقع في جوار الفالق بسبب توافر جزء بسيط من قطاع فرزنل لتوليد العاكس.



الشكل (15-1): تأثير قطاعات فرزنل على سعة الانعكاس القريب من الفالق.(a) الفالق عمودي على الخط السيزمي. حيث تكون سعة الانعكاس ثابتة حتى يمر قطاع فرزنل فوق الفالق. تتناقص سعة الانعكاس و تصل إلى نصف قيمتها السابقة عندما يتطابق مركز قطاع فرزنل مع الفالق. (b) الفالق مائل على الخط السيزمي. يتوسع التناقص في سعة الانعكاس فوق جزء كبير من الخط السيزمي

الفصل الثاني

1.2. مقدمة

2.2. الوضع الجيولوجي السطحي

3.2. الوضع البنيوي لمنخفض الفرات

4.2. العمود الطباقي لمنخفض الفرات

1.2. مقدمة

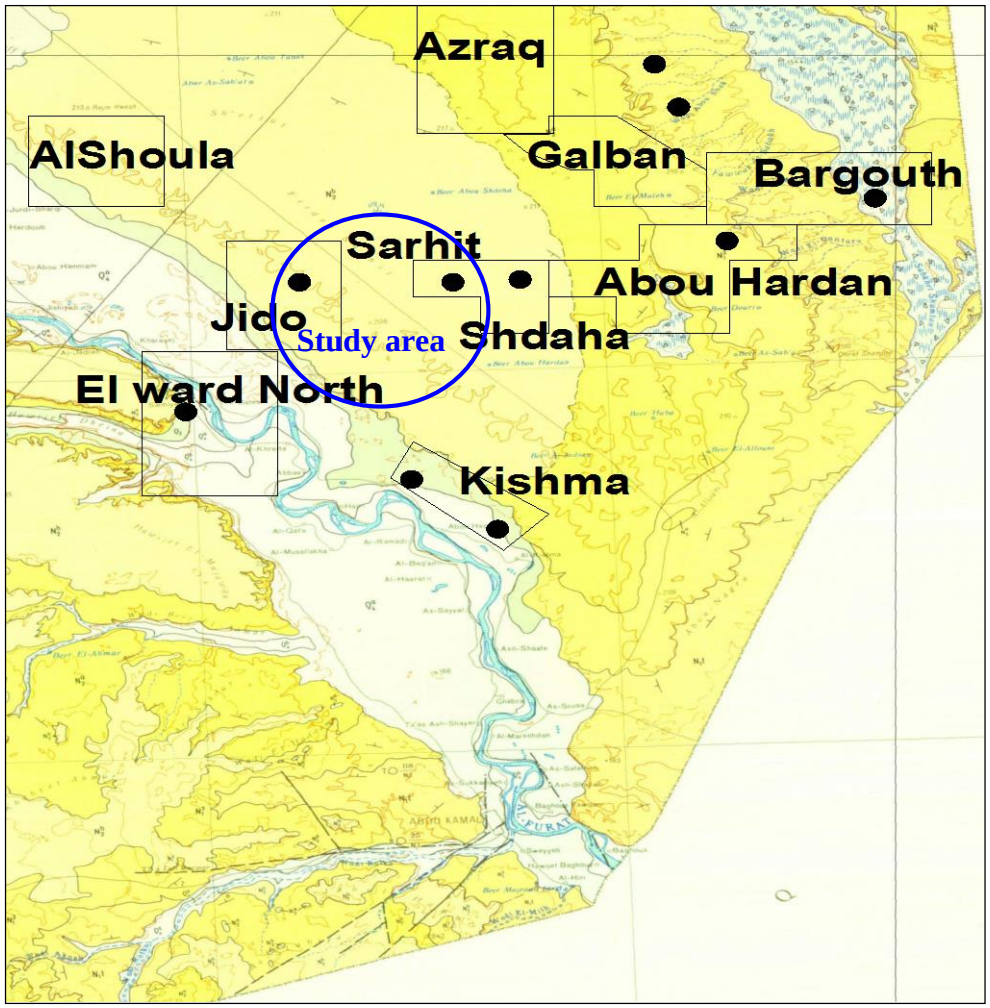
بدأت أعمال التنقيب و الاستكشاف بشكل تفصيلي بعد توقيع عقد شركة الفرات وهي عبارة عن شركة مشتركة بين الشركة السورية للنفط ومجموعة شركات عالمية (بكتن, شل) في حوض منخفض الفرات في أوائل الثمانينات من القرن الماضي. و نفذت مسوحات جيولوجية و جيوفيزيائية (سيزمية بصورة خاصة) واسعة في المنطقة, حفر على إثر ذلك أول بئر تنقيبية في حقل التيم (بئرالتيم-1) عام 1983 حيث تم العثور على النفط التجاري - ولأول مرة في القطر - من خزان الرطبة (كريتاسي أسفل) , كما تم العثور على النفط التجاري من خزانات ميوسينية (دبانة , فرات) , ثم توالت عمليات الاستكشاف والتنقيب حتى الوقت الحاضر .

2.2. الوضع الجيولوجي السطحي للمنطقة

تتكشف صخور تشكيلة الفارس العلوي الكلسية و الرملية و الكونغلوميرا القارية العائدة إلى فترة النيوجين-البليوسين على السطح في منطقة الدراسة كما تشير الخارطة الجيولوجية لمنطقة البوكمال شكل(1-2) تتكشف هذه الصخور و التشكيلات في المنطقة وتعكس الوضع التكتوني الجيولوجي العام تحت السطح. تتكشف صخور الفارس العلوي أو السفلي البليوسيني نتيجة لتآكل الصخور العلوية الرباعي الأحدث في المناطق الناهضة تكتونيا (نهوض صخور الباليوزويك العميقة, الميزوزويك و السينوزويك). في حين تغطي صخور التشكيلات الرباعية الأحدث المناطق الهابطة تكتونيا الناتجة عن هبوط البلوكات أو الصخور تحت السطحية. أي بعبارة أخرى يمكن معرفة المناطق الهابطة و الناهضة في منطقة الدراسة من خلال تحديد عمر الصخور المتكشفة على السطح و بالتالي تحديد أولي لمناطق المصائد النفطية البنيوية.

3.2. الوضع البنيوي لمنخفض الفرات

يشكل منحفض الفرات منظومة تصدعية شدية ذات اتجاه غرب– شرق و شمال غرب- جنوب شرق داخل كراتون intracratonic (منطقة مستقرة من قشرة الأرض مؤلفة من ركيزة متبلورة قديمة تشمل الدروع القديمة البروتروزوية) واقعة ضمن الجزء الشمالي من السطيحة العربية مفصولة عن نهوض الرطبة جنوبا و عن نهوض الروضة شمال شرق الشكل(1)



شكل(1-2): الخارطة الجيولوجية لمنطقة البوكمال في منخفض الفرات تظهر منطقة الدراسة القريبة من الحقول التابعة لشركة الفرات

نشـأ منخفض الفرات نتيجة لتصـدعات شـديدة و هبوطات عبر الأزمنة الجيولوجية المختلفة. حيث بدأ طور التصدع الأولي فيها أثناء توضع صخور الديرو (Redbed (Derro مترافقاً مع اندفاعات مغماتية بركانية في بدايات الكريتاسي العلوي. استمر هذا الطور و لكن بشدة أقل إلى زمن توضع تشكيلة رماح. ثم اتبع بطور تصدعي متأخر في زمن توضع تشكيلات أرك و الشيرانيش السفلي.

في أثناء الباليوسـين أدى الهبوط الواسـع في المنطقة الى حدوث تكسـر و طي محلي على امتداد الخطوط المفصلية النشطة وعلى طول البلوكات الموجودة شكل(2-3). و لكن الحدث الأشد و الأقوى حدث في أواخر الميوسين, حيث سببت القوى التكتونية الانضغاطة الناشئة (شمال-جنوب) الى تشكل نهوض فوالق ذات منحى شـمال شـرق- جنوب غرب في المنطقة التدمرية, أثر هذا الحدث فقط في الأطراف الغربية من منخفض الفرات.

يمكن تقسيم منظومة تصدع الفرات استناداً إلى درجة التشوه Deformation degree وشكلها الهندسي البنيوي (GeometryStructural) و إلى عدة وحدات بنيوية :

- وحدة المنخفض المركزي الأعمق (Deep central graben).
- مجموعة منخفضات مجاورة محيطة بالمنخفض الفرات المركزي (Peripheral grabens).
- أرصفة (Platforms) مستقرة و مرتفعة نسبياً بالإضافة الى مصاطب أو مناطق مرتفعة مسطحة محيطة (Peripheral Terraces) الشكل(2-2).

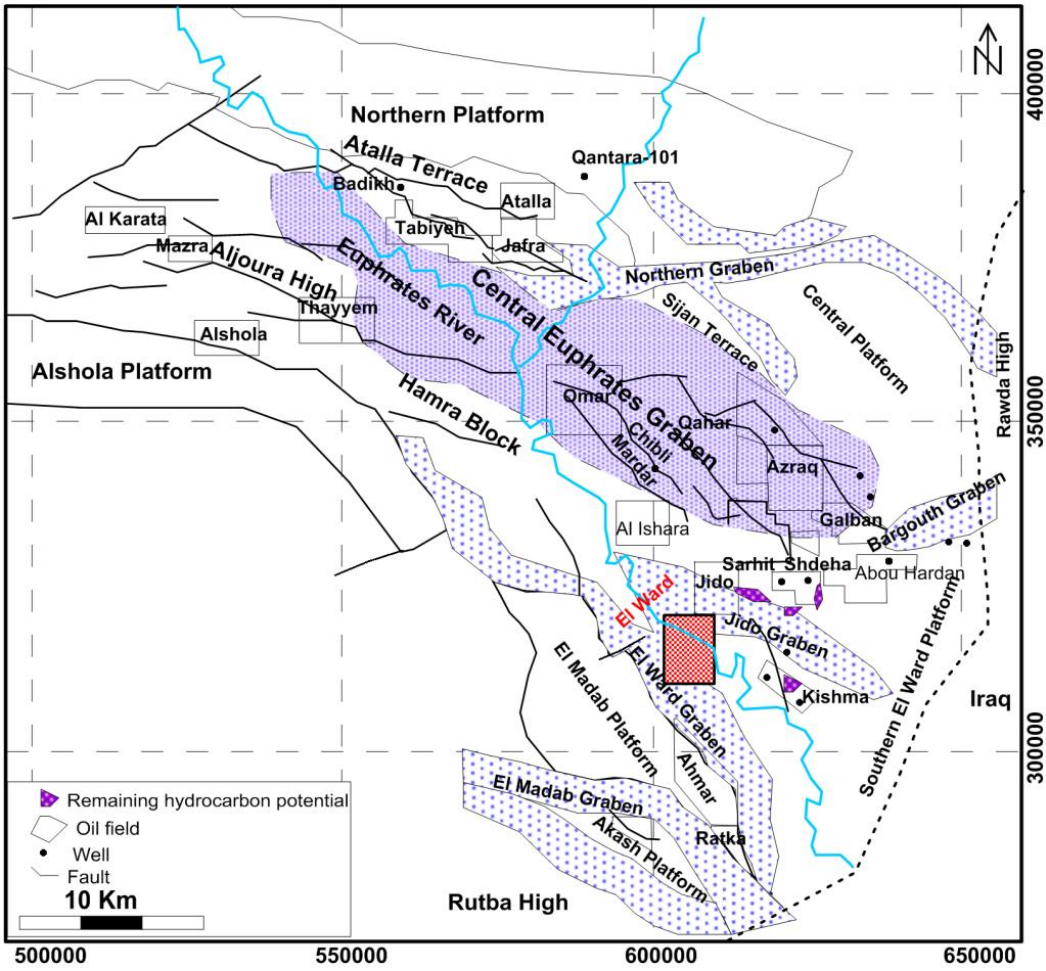
يشكل منخفض الفرات المركزي ذو الامتداد شمال غرب–جنوب شرق الجزء الأعمق في حوض الفرات التصدعي Rift basin حيث يزداد العمق باتجاه الشمال الغربي, إي بعيداً عن نهوضي الرطبة و الروضة الواقعين في الجنوب و الجنوب الشرقي.

تركزت القوى التكتونية الشدية أثناء الكريتاسي العلوي (التصدع) في منخفض الفرات المركزي مما أدى الى نشوء بلوكات مقلوبة مفصولة Rotated blocks عن بعضها بفوالق ذات رميات كبيرة NW-SE, و لاتميل هذه البلوكات باتجاه محور المنخفض المركزي بل تميل بعيدة عنه.

يتفرع عن منخفض الفرات المركزي إلى الجنوب و الجنوب الشرقي منخفضات صغيرة جانبية Peripheral Grabens مثل منخفضات المادب و البرغوث و الجيدو و الورد الشكل(2-3). أما الى جهة الشمال و الشمال الشرقي تتوضع منخفضات سيجان و الطياني و الشمالية. تتميز هذه المنخفضات بضيقها و عمقها الكبير وكما يحدها فوالق ذات رميات كبيرة جداً. يملأ قسم كبير من هذه المنخفضات برسوبيات قارية تمثل طبقة ديرو حيث نتجت من تجوية الصخور البركانية الاندفاعية أثناء مرحلة التصدع.

يفصل بين هذه المنخفضات في الحوض التصدعي أرصفة مستقرة و مرتفعة نسبياً platforms Peripheral مثل الرصيف المركزي في شمال شرق المنخفض المركزي و بلوك سيجان الى الشمال و الرصيف الجنوبي و الورد و المادب وعكاش الى الجنوب و الجنوب الشرقي الشكل(2-2) (et al., Sawaf 1993).

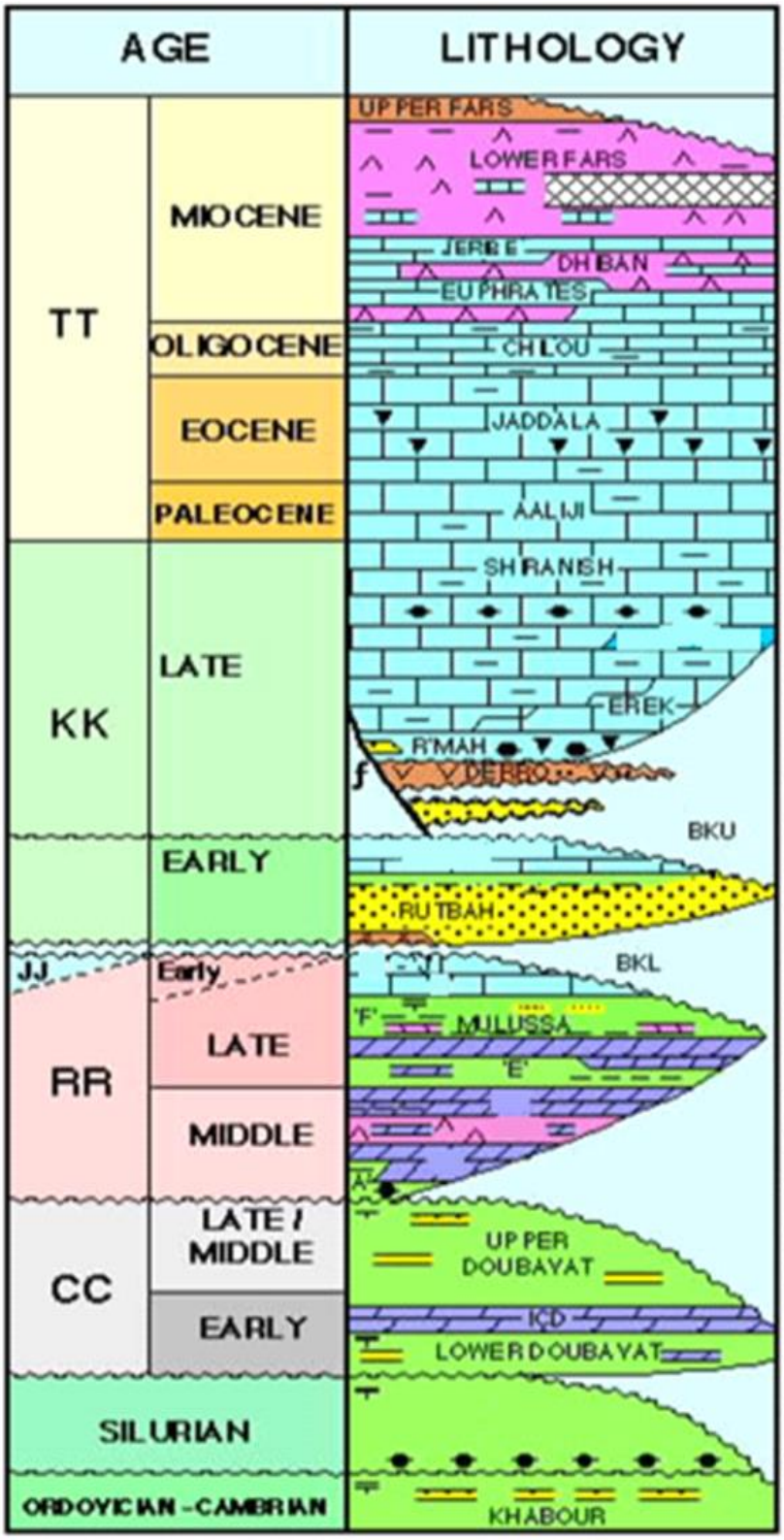
يميل معظم هذه الأرصفة باتجاه المحور المركزي لمنظومة التصدع. ميول بعض الأرصفة platforms ربما بدأ قبل المراحل المبكرة للتصدع, و لكن أغلبها حدث في أثناء مرحلة التصدع وبعدها, أي أثناء مرحلة الهبوط الواسع في زمن توضع الشيرانيش العلوي و في زمن الباليوجين.



شكل (2-2): الخارطة التكتونية لمنخفض الفرات لفترة قاعدة الكريتاسي الأعلى, تظهر الوحدات البنيوية المحلية المنخفض المركزي الأعمق, و مجموعة منخفضات مجاورة محيطة (Peripheral grabens) و أرصفة مستقرة و مرتفعة نسبياً (Platforms) و مصاطب مرتفعة مسطحة محيطة (Peripheral Terraces)

4.2. العمود الطبقي لمنطقة منخفض الفرات

يُشير العمود الطبقي لشمال الصفيحة العربية التي يُشكل منخفض الفرات جزءاً منها إلى تأثره بشكل كبير وواضح بمجموعة من العوامل المختلفة كالحوادث التكتونية وتغييرات المناخ، وتغير منسوب البحار العالمي(Eustacy) ، الذي حدث في الحقبة الأولى والثانية والثالثة (الشكل3-2) , وبالتالي كان لهذه العوامل دور مهم في توزع الهيدروكربون في منطقة الصفيحة العربية عموماً، ومنطقة الفرات خصوصاً (Brew et al., 2001).



شكل(3-2) العمود الستراتيغرافي لمنطقة الدراسة في منخفض الفرات يظهر التشكيلات الرسوبية الرئيسة.

يتألف العمود الستراتيغرافي في منخفض الفرات عموماً و منطقة الدراسة خصوصاً من مجموعة من التشكيلات الجيولوجية و هي كالتالي من الأعلى الى الأسفل:

I. تشكيلة الفارس الأعلى :

- الليتولوجيا : عبارة عن تداخلات من الحجر الغضاري الطيني والجص والإنهدريت مع وجود تداخلات رقيقة من الحجر السلتي.
- الجص : أبيض إلى أبيض مصفر هش , وغالبا رديء أو عديم التبلور.
- الحجر الغضاري الطيني : ذو لون قرنفلي إلى بني محمر ، هش ضعيف القساوة , متوسط إلى غني بالكلس .
- العمر : بليوسين.
- بيئة الترسيب : قاري (لا توجد شواهد نفطية ولا غازية بالتشكيلة) .

II. تشكيلة الفارس السفلى

- العمر : ميوسين أعلى .
- بيئة الترسيب : قريب من الشاطئ – لاغون–
- الليتولوجيا : عبارة عن تداخلات من الإنهدريت والجص والملح والحجر الغضاري الطيني مع وجود تداخلات رقيقة من الحجر الكلسي أو الدولوميتي .
- الحجر الكلسي : ذو عدة ألوان رمادي أزرق أو بني مبرقش , غير قاسٍ .
- الانهدريت : أبيض ونصف شفاف وأحيانا رمادي فاتح إلى الكريم ، ذو قساوة متوسطة ومتبلور, كما يحتوي على توضعات غضارية ذات محتوى عضوي ، والانهدريت يتدرج بزيادة من قمة هذه التشكيلة حتى أسفلها.
- الصخور الملحية : وجود الصخور الملحية يدل على زيادة نسبة الكلوريد في الطين .
- الحجر الكلسي الدولوميتي : صخور سمراء مصفرة بتدرج نحو الرمادي ومبرقشة ، قاسية نوعا ما ، هشة سريعة الانكسار ، جرى عليها إعادة التبلور ، غنية بالأصداف والقواقع البحرية وبقايا المستحاثات وهي ذات مسامات غير متصلة

III. تشكيلة الدبانة

- الليتولوجيا : عبارة عن تداخلات من الحجر الكلسي الغضاري وأحيانا تحتوي على سماكات كبيرة من الملح وحجر كلسي دولوميتي .
- العمر الجيولوجي : ميوسين أدنى .

- بيئة الترسيب : قرب شاطئية ، لاغونية .

IV. تشكيلة الفرات

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر كلسي وحجر كلسي غضاري وأحيانا مدلمت وتعتبر هذه التشكيلة أحد الخزانات المنتجة للنفط في منطقة منخفض الفرات .
- الحجر الكلسي الغضاري : أبيض ضارب إلى الصفرة إلى رمادي فاتح ، قساوته ضعيفة , ذو حبيبية ناعمة جدا يحوي أحيانا بقايا مستحاثية.
- الحجر الكلسي المدلمت : بني إلى رمادي ناعم جدا ، جيد التبلور أحيانا يحتوي على اندساسات انهدريتية
- العمر الجيولوجي : ميوسين أدنى .
- بيئة الترسيب : بحري ضحل .

V. تشكيلة الشيلو

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر كلسي غضاري وهي عبارة عن نطاقين النطاق الأول أعلى الشيلو والثاني أسفل الشيلو حيث يفصلهما نطاق انهدريت بسماكة قليلة
- الحجر الكلسي الغضاري : بني إلى أبيض مصفر رمادي ذو قساوة قليلة إلى متوسطة ، عموما أرجيلي يحوي شظايا منخربات ، ذو ملاط غالب عليه الطابع الحواري يحوي بيريت بنسبة خفيفة وأحيانا شواهد هيدروكربونية .
- العمر الجيولوجي : أعلى الإيوسين – أو ليغوسين – أسفل الميوسين .
- بيئة الترسيب : بحري عميق .

VI. تشكيلة الجدالة

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر كلسي طيني أو غضاري تحتوي على آثار من الغلوكونيت والشيرت .
- الحجر الكلسي الطيني : رمادي فاتح إلى بني قليل القساوة وأحيانا قاسٍ جدا ، ذو تبلور ناعم مع حبيبات ناعمةجدا كربونية طينية وغلوكونية وذو مسامية واضحة.
- الشيرت : برتقالي إلى بني غامق.
- العمر الجيولوجي : إيوسين .
- بيئة الترسيب : بحري عميق .

VII. تشكيلة العليجي

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر كلسي طيني آرجيلي كتيم .

- الحجر الكلسي الطيني : رمادي بني فاتح إلى قاتم غالبا متوسط القساوة، أحيانا يكون غالب عليه الصفة الآرجيلية وأحيانا دولوميتي يحوي على قليل من الصخور الأم حيث لوحظ بعض الشواهد النفطية في العينات الجانبية والفتاتية المأخوذة من أسفل التشكيلة .
- العمر الجيولوجي : باليوسين
- بيئة الترسيب : بحري عميق

VIII. تشكيلة الشيرانيش

- العمر الجيولوجي : كريتاسي أعلى .
- تتألف هذه التشكيلة من ثلاث نطاقات :
- أ-الشيرانيش الأعلى :
- الليتولوجيا : حجر كلسي أرجيلي رمادي فاتح إلى بني داكن متوسط القساوة مع حبيبات ناعمة جدا أحيانا عضوية أرجيلية غلوكونية بيريتية ويحوي مستحاثات .
- ب- تيارات :
- الليتولوجيا : حجر كلسي رمادي فاتح إلى بني فاتح جدا , متوسط القساوة , جزئيا طرأ عليه إعادة تبلور وأحيانا يحوي بكثرة حبيبات كلسية ناعمة مع وجود منخربات .
- ج- الشيرانيش الأسفل :
- الليتولوجيا : حجر كلسي طيني رمادي بني إلى بني قاتم , متوسط القساوة , وأحيانا غضاري يحوي حبيبات ناعمة جدا أو منخربات , وتعتبر تشكيلة الشيرانيش مصدراً رئيساً لتوليد النفط في منطقة منخفض الفرات .

IX. تشكيلة الأراك

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر كلسي طيني , رمادي بني , متوسط إلى شديد القساوة وأحيانا أرجيلي , يحتوي أحيانا على آثار حبيبات بيضاء وأحيانا بلانكتوني ويعد صخراً أما إذا كان غنيا بالمادة العضوية .
- العمر الجيولوجي : كريتاسي أعلى .
- بيئة الترسيب : بحري .

X. تشكيلة رماح

- الليتولوجيا : عبارة عن تداخلات من الحجر الكلسي مع الصوان وحجر كلسي دولوميتي .
- الحجر الكلسي : بني رمادي قاتم متوسط إلى شديد القساوة , هش أحيانا, متدرج نحو الأرجيلي غني المواد العضوية , وأحيانا ذو مظهر سيليسي وأحيانا بيريتي .

- الصوان : رمادي فاتح إلى بني قاتم , أحيانا شفاف , قاس ٍ جدا .
- الحجر الكلســي الدولوميتي : يوجد في الجزء الأســفل من التشــكيلة , أبيض مائل إلى الصــفرة إلى رمادي بني فاتح , متوسط القساوة , ذو تبلور دقيق أحيانا أرجيلي .
- يوجد في هذه التشكيلة شواهد نفطية .
- العمر الجيولوجي : كريتاسي أعلى .
- بيئة الترسيب : بحري عميق جدا .

XI.صخور الديرو

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر مسامي بركاني متوضع داخل الحجر الكلسي, دولوميت متبلور, بازلت متعر ٍ.
- الحجر البركاني المســامي والحجر الكلســي البركاني المســامي ذو لون أبيض إلى بني معتدل, بني رمادي مبرقش بألوان مختلفة , متوســط إلى شــديد القســاوة مع اندســاســات من الدولوميت والفلدســبار والكوارتز والكلوريت, ويوجد حبيبات رملية بنية مصفرة غير قاسية مع أسمنت سيليسي ناعم جداً .
- الدولوميت المبلور أبيض إلى أبيض مصفر مع مظهر مبرقش كثير الصلابة .
- البازلت المتعري يوجد في القسم الأسفل من التشكيلة , هذه الصخور البازلتية ذات لون أحمر بني مع اندساسات حديدية مغنزيومية قاتمة وفلدسبار معدني متوسط القساوة .
- العمر الجبولوجي : كريتاسي أعلى .
- بيئة الترسيب : قارية .

XII. تشكيلة الجوديا

- الليتولوجيا : عبارة عن حجر دولوميتي متبلور .
- دولوميت متبلور : ذو لون أبيض إلى أبيض مصفر إلى رمادي بني متوسط القساوة , ذو بنية ناعمة التبلور ويحوي آثاراً من البيريت والرمل .
- العمر الجيولوجي : كريتاسي أعلى .
- بيئة الترسيب : بحري ضحل .

XIII. تشكيلة الرطبة

- الليتولوجيا: عبارة عن تداخلات من الحجر الرملي والرمل مع الغضــار وأحيانا يحتوي أســفل هذه التشكيلة على صخور بركانية

- حجر رملي: رمل فاتح شفاف وأحيانا رمادي فاتح إلى أبيض, ذو ملاط ضعيف إلى متوسط القساوة حبيبي ناعم إلى متوسط الحبيبية وأحيانا خشن ,بيريتي ذو بنية مسامية .
- الغضار: رمادي أحيانا بني محمر متوسط القساوة, غالبا بركاني مسامي وأحيانا طيني وأحيانا فقير بالبيريت , تعتبر هذه التشكيلة الخزان الرئيسي المنتج للنفط في منطقة منخفض الفرات مع تشكيلة الملوسا .
- العمر الجيولوجي: كريتاسي أسفل .
- بيئة الترسيب: بحري شاطئي .

XIV. تشكيلة المولوسا

- الليتولوجيا : عبارة عن تداخلات غضار متطبق وحجر رملي ودولوميت متبلور .
- الغضار : كثير الألوان , بني محمر , رمادي مخضر, أحيانا مبرقش , متوسط القساوة وأحيانا متشقق وأحيانا طيني أو رملي و أحيانا بركاني مسامي .
- الحجر الرملي : أبيض صاف ٍ إلى أبيض مصفر , رمادي وأحيانا بني فاتح ذو ملاط ضعيف إلى متماسك , عادة بيريتي وأحيانا ذو ملاط كلسي .
- دولوميت متبلور : رمادي , بني , شديد القساوة ذو تبلور ناعم .
- العمر الجيولوجي : ترياسي أعلى .بيئة الترسيب : شاطئية

الفصل الثالث

1.3. الدراسة السيزموجيولوجية لمنطقة جنوب سرحيت

2.3. لتفسير و التحليل السيزمي و الخرائط الزمنية لمنطقة الدراسة

3.3. تحديد أماكن المصائد البنيوية

4.3.المشهد الهيدروكربوني في منطقة الدراسة(جنوب سرحيت)

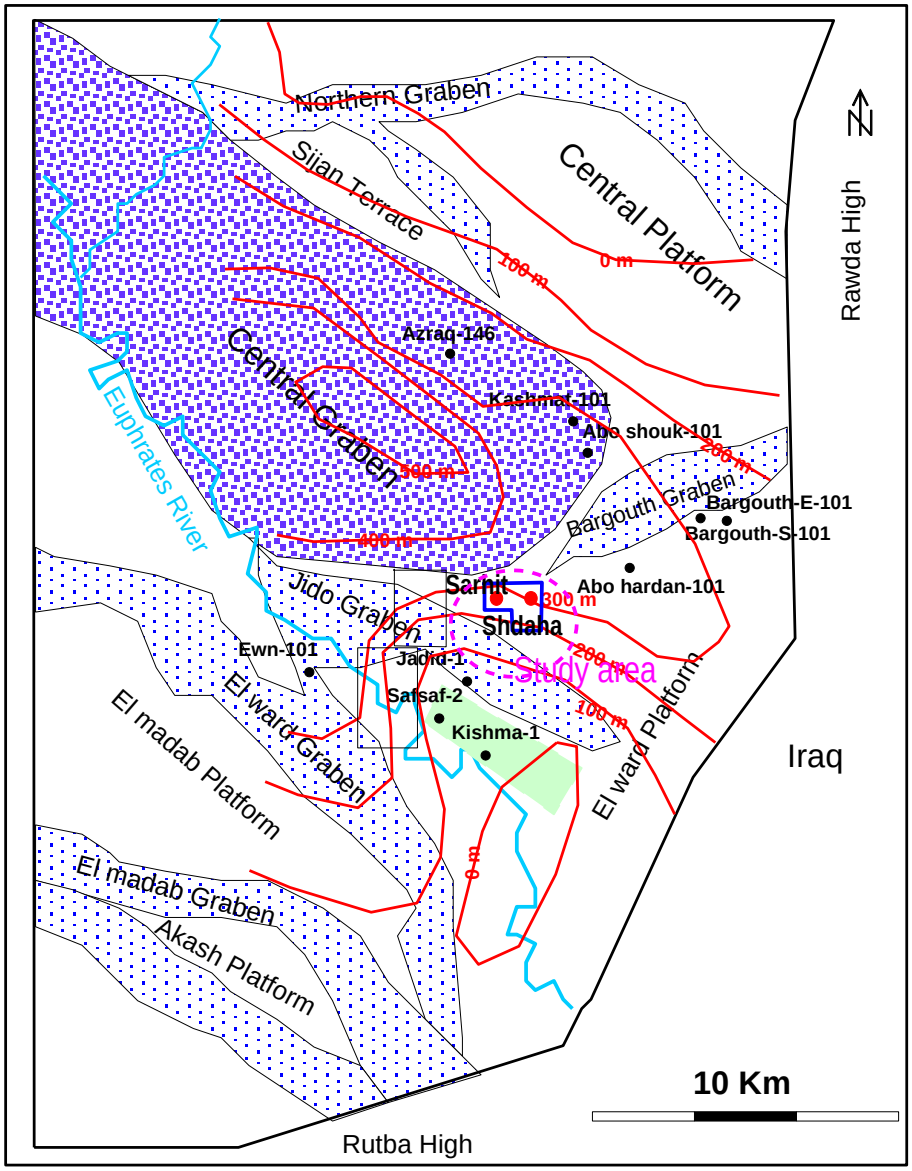
1.3. الدراسة السيزموجيولوجية لمنطقة جنوب سرحيت

تشير معطيات الآبار المحفورة في منطقة الدراسة و البالغة أكثر من 15 بئرا و المعطيات السيزمية إلى وجود تشكيلات جيولوجية مختلفة تعود إلى زمن الاوردفيسي, السيلوري, الكربوني ,الترياسي, الكريتاسي, البالوجين و النيوجين الشكل(3-2). لكن سوف نركز في دراستنا فقط على تشكيلات الخازنة المخترقة بواسطة الآبار نظرا لأهميتها الهيدروكربونية.

وصل أعماق بعض الآبار في منطقة الدراسة (مثل البئرSarhit-1) إلى أكثر من 3790 متراً من مستوى سطح الأرض اخترقت تشكيلات الباليوزويك العميقة. حيث وصلت إلى الصخور الحطامية السيلورية (تشكيلات العبا أو التنف), المتوضعة فوق تشكيلة الخابور الرملية العائدة إلى عمر الاوردفيسي. تتوضع فوق مجموعة العبا تشكيلات الضبيات أو ما تسمى (مرقدة) المؤلفة من ضبيات علوي و سفلي و كربوناتي. تتألف هذه التشكيلات من صخور رملية و طبقات ارجيلية و صخور دولوميتية كتلية. تكتسب تشكيلة مرقدة أهمية كبيره نظراً لاكتشاف الهيدروكربون/الغاز/ في طبقاتها الدولوميتية DOC في حقل الكشمة القريبة من منطقة الدراسة و الواقعة الى الجنوب منها.

لهذا يعتبر تفسير طبقات الضبيات ومتابعتها في المنطقة المدروسة ذات أهمية استكشافية كبيرة. و الجدير بالذكر أن توضعات البرمي و الترياسي السفلي و الأوسط غائبة تماماً عن منطقة الدراسة بسبب إما انقطاع في الترسيب أو تآكلها بفعل الحت الشديد.

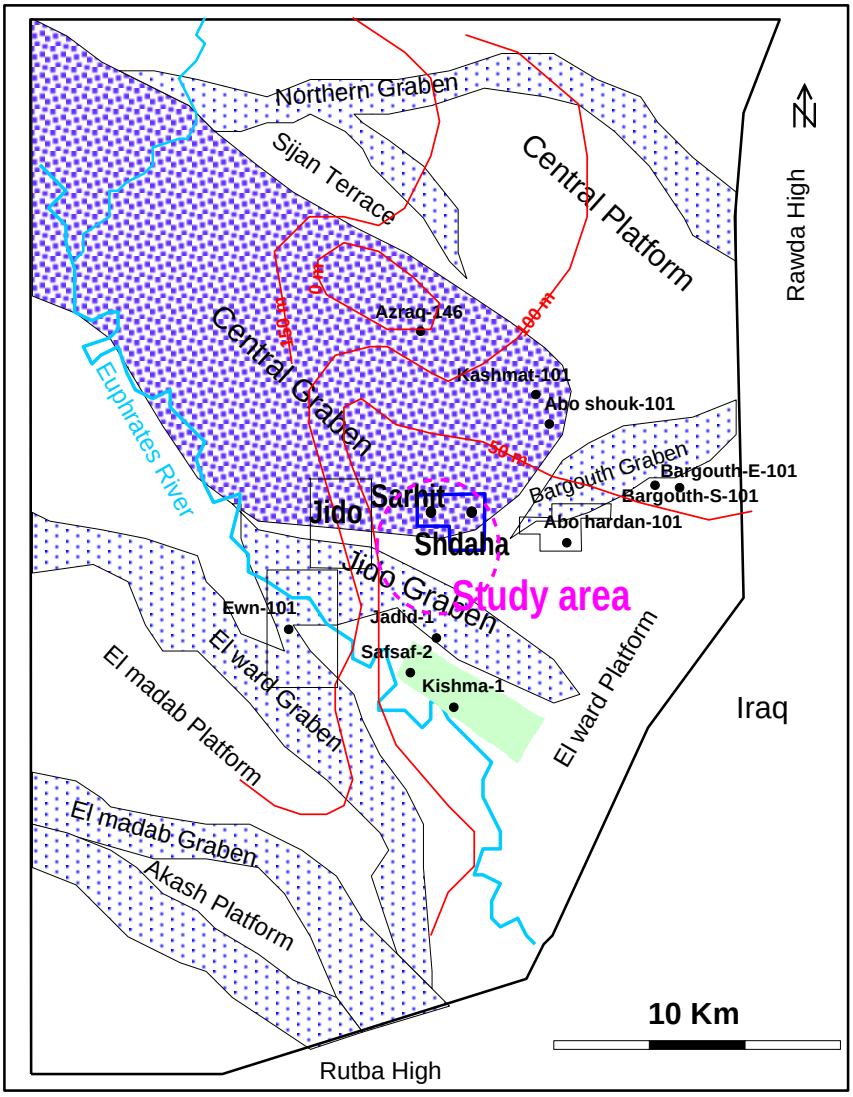
تتوضع تشكيلة المولوسا E فوق تشكيلات الضبيات أو مرقدة حيث بلغت سماكتها كما أشار البئر Sarhit-101 الى أكثر من 65 متراً. يليها تشكيلة المولوسا F (سيرجلو) العائدة إلى الترياسي العلوي المؤلفة من الفضار الصفاحي والرمل مع طبقات من الدولوميت والحجر الرملي. تشكل قمة هذه التشكيلة سطح عدم التوافق لقاعدة الكريتاسي السفلي BKL. تتغير سماكتها بين 100 م في Sarhit-105 إلى أكثر من 360 م كما Sarhit-103 وShdaha-102 الشكل(1-3) تعتبر هذه التشكيلة الهدف الأول لعمليات الاستكشاف نظرا لاعتبارها الصخر الرئيسي الخازن للهيدروكربون في أبارحقول سرحيت وشديها.



الشكل(1-3): يوضح توزع تشكيلة سماكات مولوسا F (سيرجلو) في وسط و جنوب منخفض الفرات.

تلي التشكيلة السابقة تشكيلة الرطبة الرملية, العائدة الى الكريتاسي السفلي التي تعتبرمن أهم التشكيلات الخازنة للنفط في منطقة الفرات نظراً لوجود معظم النفط في هذه التشكيلة.

ألا أن هذه التشكيلة غائبة تماماً في منطقة الدراسة باستثناء البئرSarhit-105 الذي يحوي سماكة قدرها 36 متر الشكل(2-3) يتميز عاكس تشكيلة الرطبة بالممانعة الصوتية القليلة ,نظراً لانخفاض كثافة صخور الرطبة الرملية الطرية وانخفاض سرعتها, مقارنة مع نظيرتها في صخور الأرك الكربوناتية القاسية التي تعلوها في منطقة الدراسة.. لهذا يمكن تمييزه على المقطع السيزمي بالتراف Trough. و نظراً لقلة سماكة هذه التشكيلة في المنطقة المدروسة والتي تشكل أقل من ربع طول الموجة فقد اندمجت مع تشكيلة المولوسا F ليشكلان التراف نفسه و الذي يظهر باللون الأزرق الشكل-7 و8.

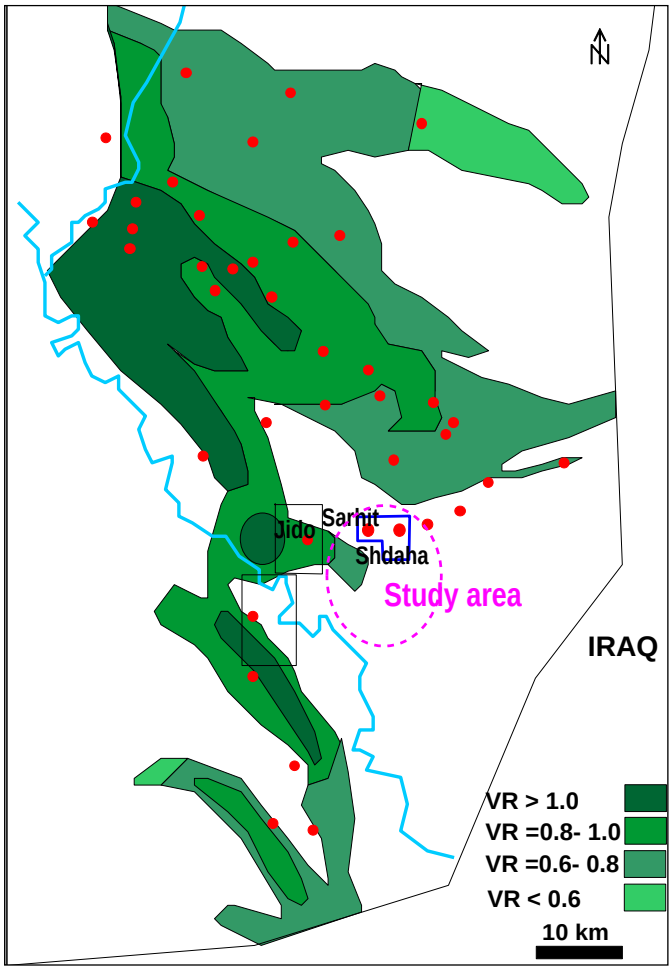


الشكل(2-3): يوضح توزع سماكات تشكيلة الرطبة في وسط و جنوب منخفض الفرات.

يلي تشكيلة الرطبة تشكيلة الجوديا الكربوناتية الغائبة في منطقة الدراسة كما أشارت أبار سرحيت و شديها بسبب تآكلها بعمليات الحت الشديدة في قاعدة الكريتاسي العلوي BKU.

أما تشكيلة الجوديا الرملية التي من المفترض أنها متوضعة فوق تشكيلة الجوديا الكربوناتية فهي غائبة أيضاً كما تشير معطيات الآبار بسبب عدم ترسبها في منطقة الدراسة. دلت الأبار أيضاً الى غياب توضعات الديرو في منطقة الدراسة فهي تتوزع بعيداً في القسم الشمالي و المركزي من منخفض الفرات.

إن سماكة تشكيلة رماح المتوضعة فوق السيرجلو أو الرطبة و المؤلفة من الحجر الكلسي الصواني البلاجي قليلة جداً فهي تتراوح بين 1 متر في Sarhit-106 الى 37 متراً في Sarhit-103. هذه التشكيلة مهمة جداً من الناحية الهيدروكربونية في منخفض الفرات نظراً لاعتبارها المصدر الرئيس لتوليد الهيدروكربونية حيث بلغت درجة نضجها الى أكثر من 0.8 حسب انعكاسية فنترانيت الشكل(3-3).



الشكل(3-3): يوضح توزع درجة نضج تشكيلة رماح (صخر منشأ) في وسط و جنوب منخفض الفرات.

تنتشر تشكيلة الارك ER المتوضعة فوق تشكيلة رماح والعائدة إلى الكريتاسي العلوي والمؤلفة من الدولوميت والحجر الكلسي والمارل الكلسي في معظم آبار سرحيت و شديها, حيث تتراوح سماكتها بين 12 م في البئر Sarhit-106 إلى 37 م في البئر Sarhit-104 .

تتوضع تشكيلة الشرانيش التي تتألف من الشيرانيش العلوي Upper Shiranish و الشرانيش السفلي Lower Shiranish فوق تشكيلة الأرك, وتنتشر في كل منطقة الفرات. حيث يظهر عاكسا التشكيلتين بشكل جلي على المكعب السيزمي seismic cube و يعود وضوح هذا العاكس إلى الاختلاف الشديد في الممانعة الصوتية بين صخور الشرانيش و الصخور العلوية والسفلية. و يعزى الاختلاف الشديد في الممانعة الصوتية إلى التغير الفجائي في خصائص الكثافة و السرعة للصخور. حيث تتألف صخور الشرانيش العلوي من صخور الحجر الكلسي المبلور و الغلوكوني قليل الكثافة و المترسب في أوساط بحرية عميقة بالمقارنة مع صخور الشرانيش السفلي المؤلفة من الصخور الكلسية الغضارية والأرجيليت الأكثر كثافة و المترسبة في بيئة بحرية ضحلة.

حيث تتراوح ثخانة الشرانيش العلوي بين 214 متراً في Shdeha-106 إلى أكثر من 234 متراً كما في البئرSarhit-104. أما سماكة الشيرانيش السفلي تتغير بين 214 متراًفي البئر Sarhit-106 و 378 متراً في البئرSarhit-105.

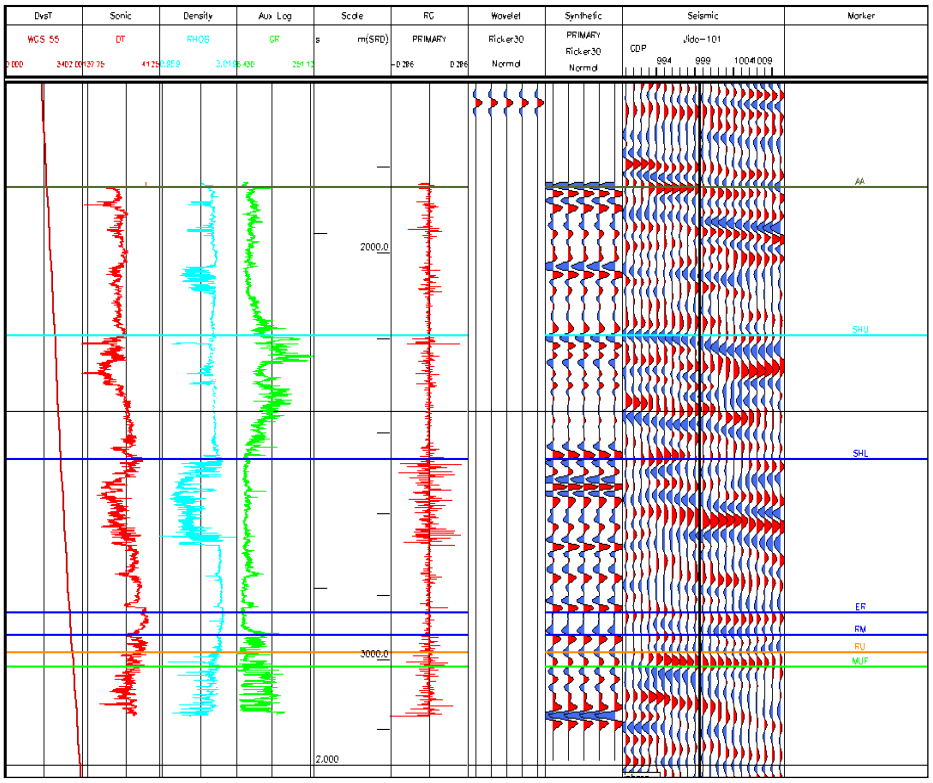
يمكن تمييز قمة الشيرانيش العلوي من المعطيات البئرية و بالتحديد من معطيات التسجيلات الصوتية (السرعة) sonic و إشعاعات غاما بارتفاع قيم GR وانخفاض قيم السرعة للتسجيلات الصوتية كما تشير المعطيات المسجلة في البئرين Jido-101 و Sarhit-2 الأشكال(4-3)(5-3). تتوضع تشكيلة العليجة (كيرماف) الباليوسينية المؤلفة من صخور كلسيه وشيلية وأرجيليت فوق صخور الكريتاسي العلوي بعدم توافق . تليها تشكيلة الجدالة الايوسينية المولفة من صخور الدولوميت و الصخور الكلسية و المتوضعة فوق تشكيلة العليجة في منطقة الدراسة.

تتوضع تشكيلات النيوجين شيلو, ديبانه, الفرات, جريبة و الفارس العلوي و السفلي فوق توضعات تشكيلة الجدالة و هي مؤلفة بشكل عام من صخور الحجر الكلسي الغضاري و الدولوميت و صخور المتبخرات.

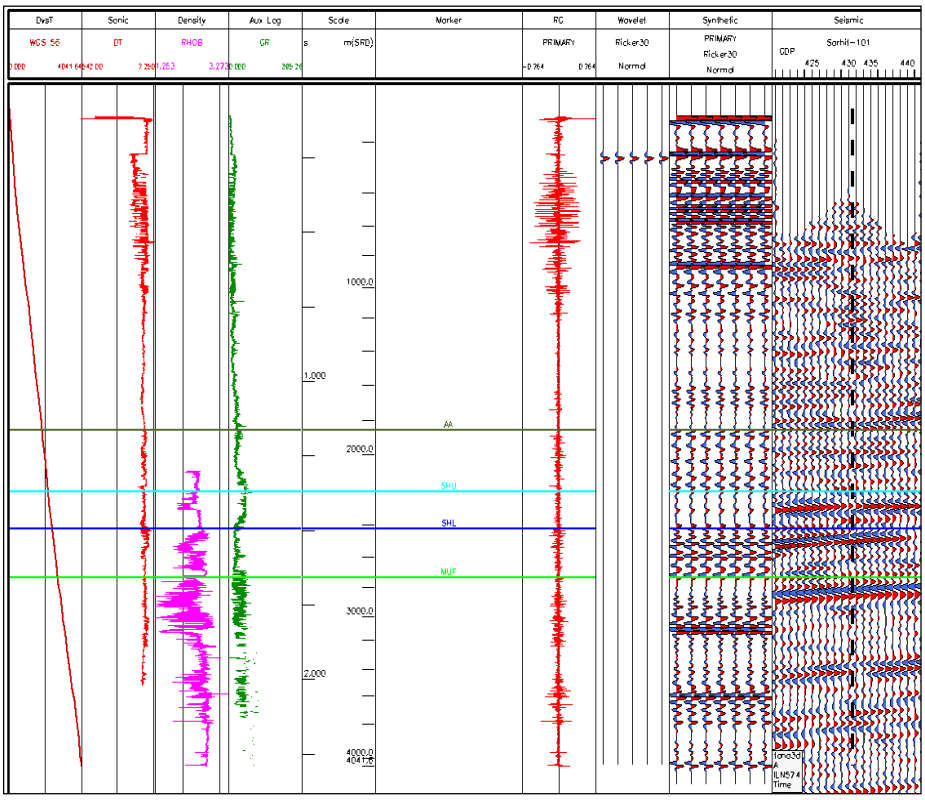
2.3. التفسير و التحليل السيزمي و المأمولية الهيدروكربونية في منطقة الدراسة

قد فسرت منطقة الدراسة بالاعتماد على مجموعة من المعطيات السيزمية ثلاثية الأبعاد (التنك و البرغوث و العشارة) و ثنائية الأبعاد (برامج PS و غيره). كما تم تحديد أعالي التشكيلات الشرانيش, الارك, الرطبة و الضبيات و غيرها في منطقة الدراسة انطلاقاً من معطيات VSP أو check shot لآبار ,Jido-101 Jadid-1,Sarhit-101,Shdeha-102 الواقعة ضمن حقول سرحيت و الجيدو وشديها و أيضاً تم التأكد من الاختيار الصحيح العواكس المطابقة لأعالي التشكيلات marker بواسطة إنشاء سيزموغرام صنعي في البئرين Jido-101 و Sarhit-101. فقد حدد أعلى تشكيلة BKU (رطبة أو سيرجلو) بدقة على تراف Trough الذي يظهر باللون الأزرق نظراً لمرور الموجة السيزمية من طبقات قاسية تمثل الحجر الكلسي القاسي الممثل لتشكيلة الارك و رماح الى طبقات الحجر الرملي الأقل قساوة لتشكيلة الرطبة أو السيرجلو كما يظهر في الشكل(4-3) و الشكل(5-3).

توضح الخارطة الزمنية لأعلى التشكيلة الخازنةBKU في منطقة الدراسة (شكل(6-3) و(7-3) الى تغيير عمقها, حيث يقل باتجاه الشرق و الجنوب الشرقي نظراً لاقترابها من نهوض الروضة بينما يزداد عمقها الى الغرب و إلى الجنوب الغربي بسبب وقوعها ضمن منخفض الجيدو. كما يقل عمق هذه التشكيلة باتجاه الشمال بسبب توضعها فوق رصيف الورد المرتفع الشكل(2-2). حيث تتوضع المصائد البنيوية النفطية لسرحيت و شديها.



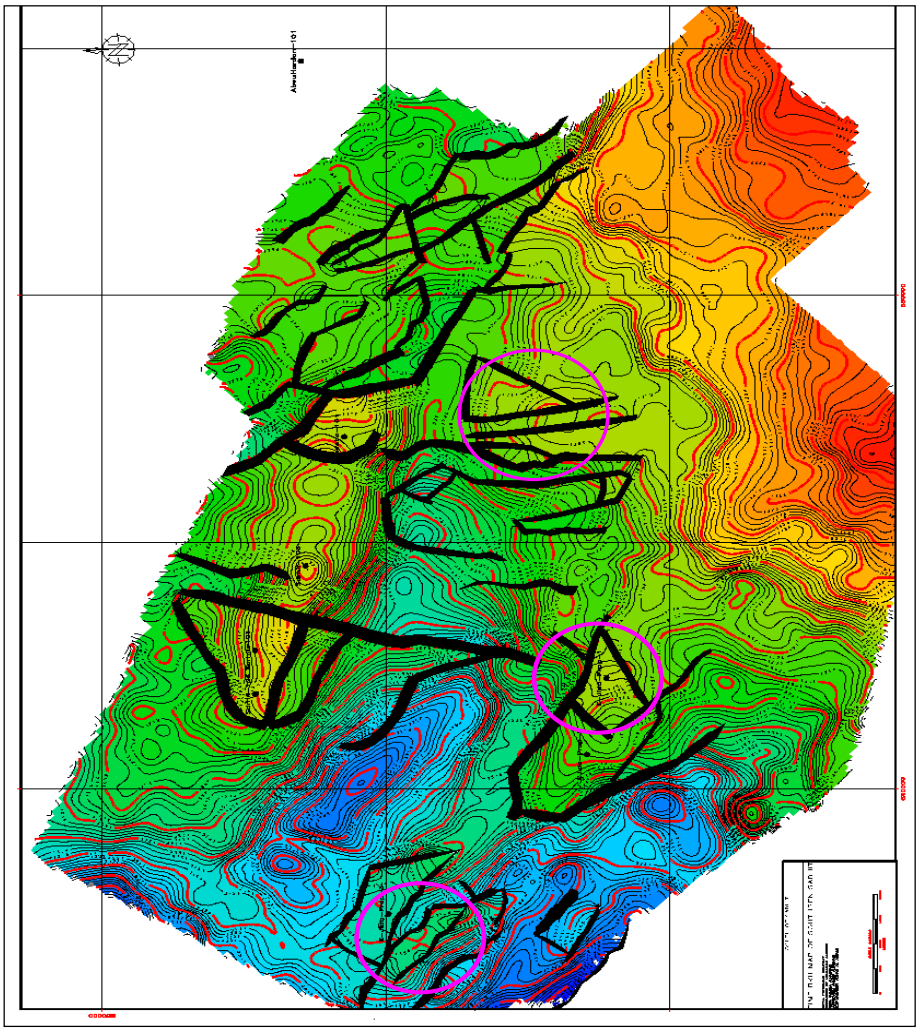
شكل(3-4):سيزموغرام صنعي في البئر Jido-1 يظهر تطابق أعالي التشكيلات مع العواكس المتعلقة بها.



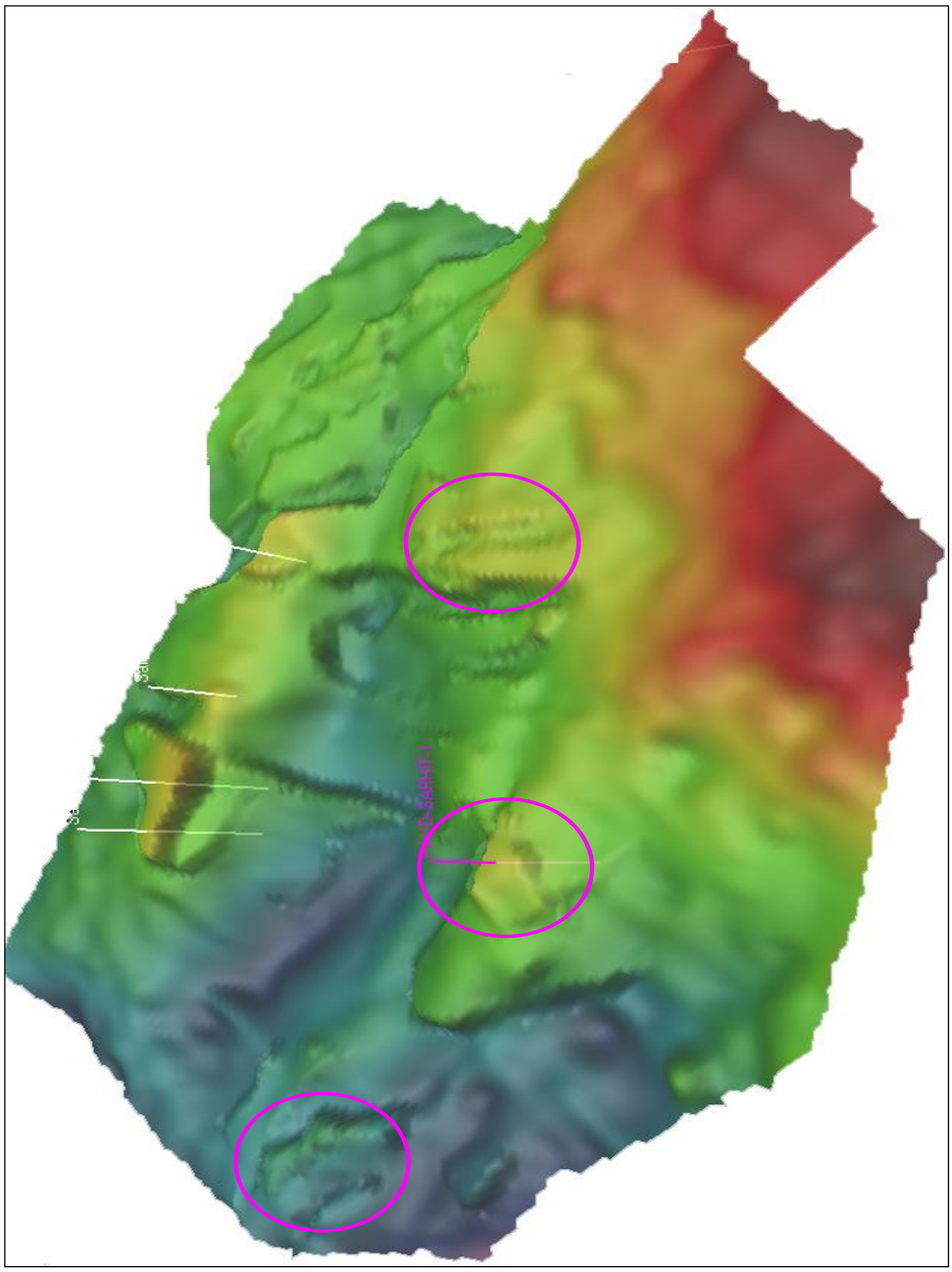
شكل(3-5) : سيزموغرام صنعي في البئر Sarhit-1 يظهر تطابق أعالي التشكيلات مع العواكس المتعلقة بها.

3.3. تحديد أماكن المصائد البنيوية

تحتوي منطقة الدراسة على العديد من المصائد البنيوية الفالقية المرتفعة التي من المحتمل أن تكون حاملة للهيدروكربون, خصوصاً أن هذه التراكيب واقعة ضمن منخفض الجيدوأو القريبة منه و التي على الأرجح سوف تزيد المأمولية الهيدروكربونية بسبب احتمال تزايد ثخانة الصخور المولدة للهيدروكربون ونضجها كتشكيلة الرماح و الشيرانيش السفلي فيها التي تعتبر المصدر الرئيس للهيدروكربون في منخفض الفرات.

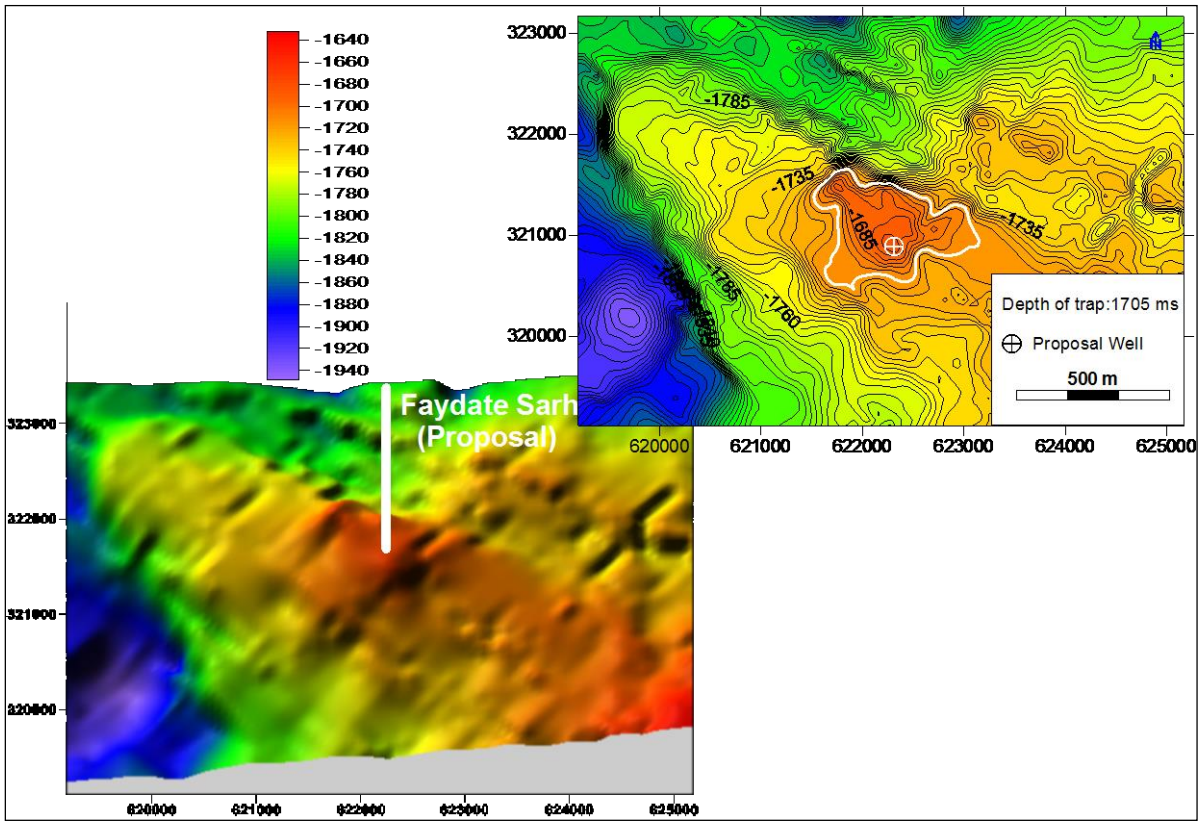


شكل(3-6) : الخارطة الزمنية BKU تبين موقع البنيات و المصائد النفطية .



شكل(7-3): مجسم لـ BKU تبين موقع البنيات و المصائد النفطية .

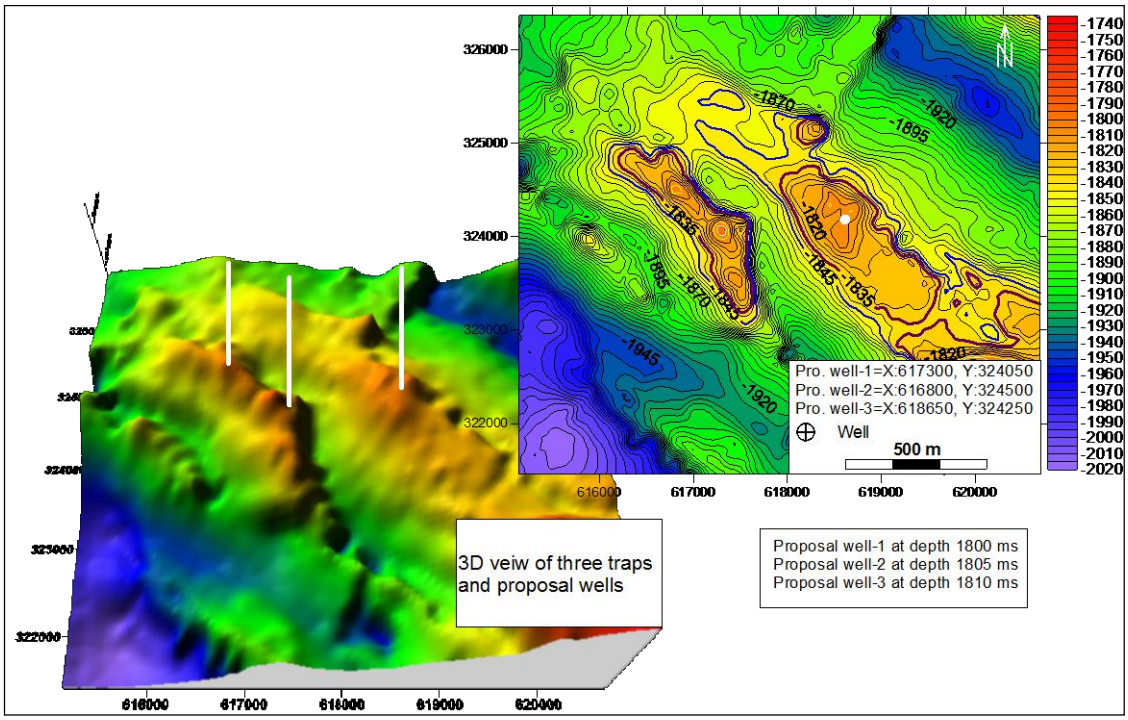
تقع المصيدة الأولى إلى الجنوب من منطقة الدراسة و تحديداً في فيضة سرحيت, و هذه المصيدة عبارة عن تركيب فالقي مرتفع مثلث الشكل, تقع على امتداد سلسلة مرتفعة باتجاه شمال غرب- جنوب شرق انظر (شكل(6-3) و(7-3). تقع التركيب على عمق زمني 1705 ميلي ثانية حيث تقدر مساحة هذه المصيدة النفطية حوالي 1.1 كم^2 الشكل(8-3). يتوقع أن يكون الصخر الخازن الرئيس الحامل للهيدروكربون هو تشكيلة المولوسا F و (السيرجلو) و لاسيما أن المنطقة تحتوي على آبار منتجة من تشكيلة المولوسا F الواقعة الى الشمال من موقع المصيدة المقترحة.



شكل(3-8) خارطة BKU الزمنية لمصيدة فيضة سرحيت مع مجسمها تبين موقع البئر المقترح .

أما التركيب الآخر المهم في هذه الدراسة فيقع الى الشرق من حقل الجيدو. و هذه المصيدة بالواقع عبارة عن تركيبين فالقيين مرتفعين ومتطاولين باتجاه شمال غرب- جنوب شرق انظر(الاشكال(3-6) و(3-7). يفصل بينهما منخفض صغير نسبياً. كما يحيط بالتركيبين المذكورين منخفضان كبيران. تتوضع قمم هذه المصائد على أعماق زمنية تقريبية 1800 و1805 و 1810 ميلي ثانية كما تشير الخارطة شكل(3-9).

أما المصيدة الثالثة تقع إلى الشرق من منطقة الدراسة. وهذه المصيدة عبارة أيضاً عن بنية فالقية مرتفعة متطاولة باتجاه شمال-جنوب انظر الشكل(3-6)و (3-7). إلا أن هذا التركيب يحتاج لمزيد من الدراسة بسبب وجود غموض و عدم وضوح في الجهة الشرقية منه.

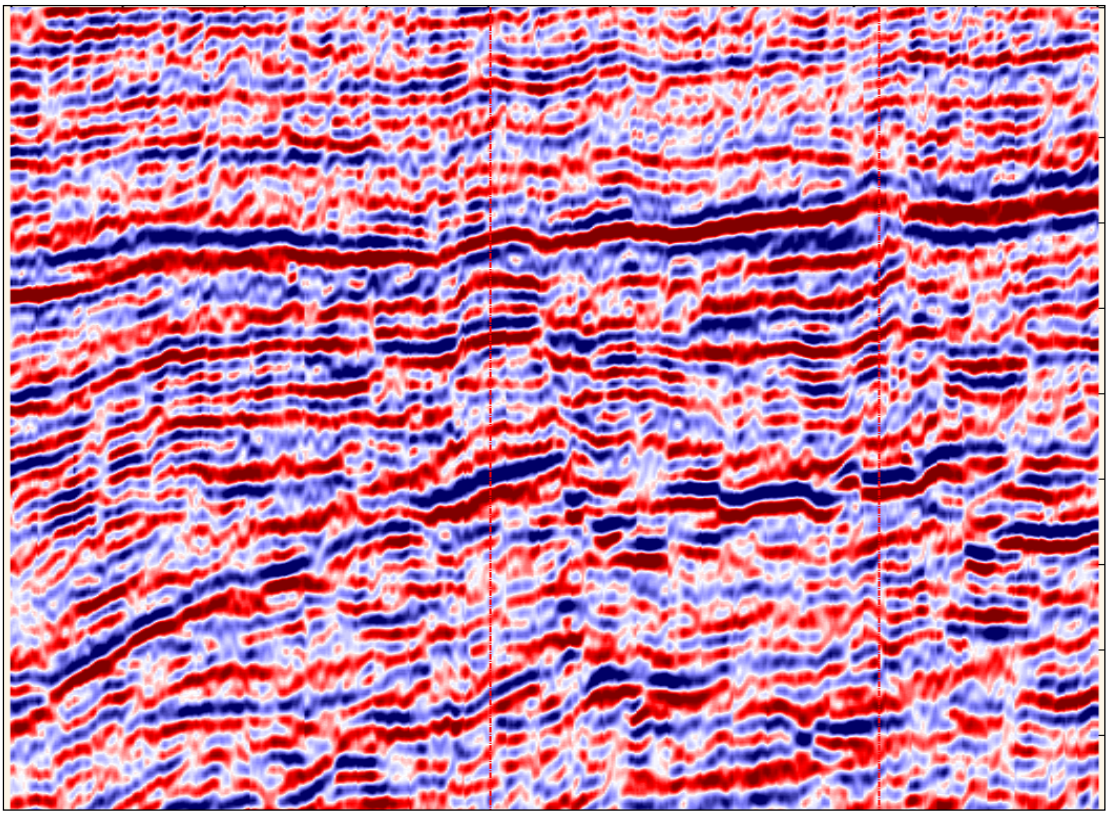


شكل(9-3) : خارطة BKU الزمنية لمصيدة شرق الجيدو مع مجسمها تبين موقع الأبار المقترحة.

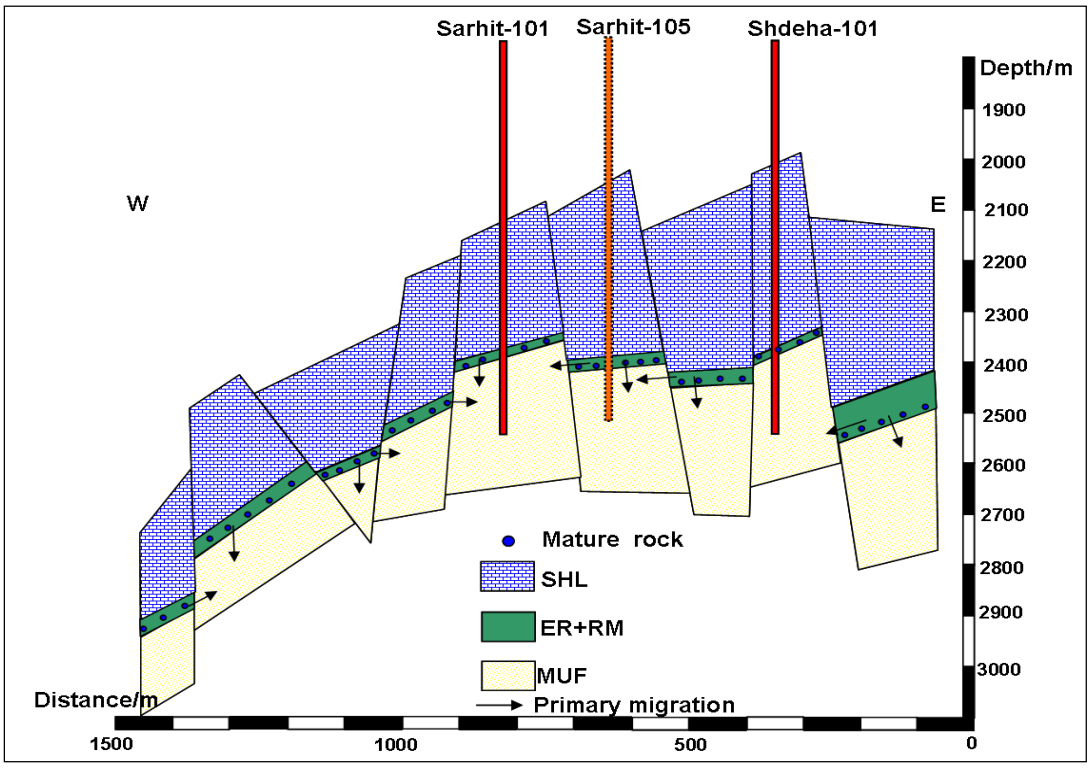
4.3. المشهد الهيدروكربوني في منطقة الدراسة

تعتبر تشكيلة السيرجلو الترياسية و تشكيلة الرطبة العائدة الى الكريتاسي السفلي الذي يغلب عليها السحنة الحطامية الرملية و المترسبة في فترة ما قبل عمليات التصدع الأولي في أعلى الكريتاسي Pre-rift الهدف الرئيس لعمليات البحث والاستكشاف و خاصة البلوكات الناهضة منها. إن سماكة تشكيلة السيرجلو الخازنة كما أشارت آبار سرحيت و شديها الى أكثر من 300 متر و خاصة في المناطق المنخفضة منها الشكل(10-3-آ-ب). كما بلغت نسبة Net/Gross لهذه التشكيلة حوالي 30% و معدل مساميتها 15-20% كما أكدتها الدراسات البتر وفيزيائية و هذا ما يجعلها صخراً ذا خواص خزنيه جيدة.

تشكل تشكيلات الشيرانيش السفلي و الارك و رماح صخور غطاءاً محكماً في الاتجاهين الأفقي و العمودي للصخور الخازنة المتوضعة أسفلها كما يظهر في الشكل(10-3-آ-ب). لقد لعبت التصدعات و الفوالق التي حدثت في الكريتاسي العلوي دوراً هاماً في وضع طبقات الصخور الخازنة السيرجلو و الرطبة مقابل طبقات الصخور المولدة للنفط الرماح و الشيرانيش السفلي. هذا ما أدى الى شحن الهيدروكربون وهجرته الى الصخور الخازنة (الهجرة الأولية) بشكل جانبي و عمودي. لقد أظهرت الدراسات الجيوكيميائية أن مقدار المادة العضوية (TOC) في صخورالرماح حوالي 1.1 و درجة نضجها تتراوح بين 0.6-0.8% =VR حسب مؤشر انعكاسية فيترانيت (Vitrinite Reflectance) وهي كافية لأن تعتبر هذه التشكيلة جيدة جداً لتوليد الهيدروكربون جدول(1-1).



الشكل(10-3-آ): مقطع سيزمي زمني يمر من الأبار Sarhit-101,Sarhit-105, Shdeha-101.



الشكل(10-3-ب): مقطع جيو-سيزمي (المقطع السيزمي العلوي) يوضح التشكيلات الخازنة و المغطية و الأم .

جدول(1-3) يوضح مؤشر انعكاسية ڤيترانيت (Vitrinite Reflectance) لمعرفة درجة نضج صخور المنشأ في توليدها للهيدروكربون.

<0.5	غير ناضج
%0.7-0.5	توليد نفط
%0.7-1.3	توليد غاز
%1.3-3	توليد غاز جاف

جدول(1-3) انعكاسية ڤيترانيت

النتائج و المقترحات

تبين الدراسة الجيوفيزيائية و الجيولوجية للمنطقة المدروسة إلى وجود ثلاث بنى فالقية مرتفعة بنيتان منها يمكن استكشافهما.

و بناءً على ذلك نقترح مايأتي:

1. حفر بئر استكشافي وفق الإحداثيات التالية:

X=622186 و Y= 3210348

في حقل فيضة سرحيت الواقعة إلى الجنوب منطقة الدراسة.

2. حفر ثلاثة آبار استكشافية على الأقل في منطقة شرق الجيدو وفق الإحداثيات الآتية:

X=617300 و Y= 324050

X=616800 و Y= 324500

X=618650 و Y= 324250

3. يقترح تغطية الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة بالمسوحات السيزمية ثلاثية الأبعاد و خاصة بعد الحصول على نتائج إيجابية من حفر أحد الآبار المقترحة أعلاه نظراً لتزايد المأمولية الهيدروكربونية لمنطقة الدراسة.

4. كما يقترح حفر بئر استكشافي في مرحلة لاحقة في الجزء الشرقي من المنطقة المدروسة الواقعة تحديداً جنوب حقل شديها. مع العلم أن حقل شديها ما زال ينتج أكثر من الاحتياطي المحسوب. ربما يكون هناك اتصال بين هذا الحقل و المنطقة المقترح حفر بئر ضمنها.

توضح الدراسة التكتو- ستراتيغرافية للمنطقة أن الآبار المحفورة في التراكيب الموجودة في المنخفضات كمنخفض الجيدو و المركزي ...وغيره في منطقة الفرات أكثر نجاحاً, نظراً لتوافر سماكات هامة من تشكيلات الرماح و الشيرانيش-العائدة الى الكريتاسي العلوي-المولدة للنفط. حيث من المحتمل أن تتناقص فرص نجاح الآبار في المناطق القريبة من المناطق المرتفعة كنهوض الروضة نظراً لتناقص تشكيلات الكريتاسي العلوي المولدة للهيدروكربون أو لغيابها. توضح أيضاً الدراسة التكتونية تعرض منطقة الدراسة عبر الفترات الجيولوجية المختلفة إلى أكثر من نهوض و هذا ما يفسر حتاً و تآكلاً في أجزاء كبيرة من تشكيلات مرقدة و الرطبة وربما تشكيلة الخابور عدا عن ذلك تآكل كل تشكيلات الجوديا الكربوناتية و الرملية.

المصطلحات العلمية		
Engliesh		**عربي**
2D TWO DIMENSION		ثنائي البعد
3D THREE DIMENSION		ثلاثي البعد
DEFORMAION DEGRRE		درجة التشوه
Structural		بنيوي
Geometry		هندسي
Deep central graben		المنخفض المركزي الأعمق
Peripheral grabens		منخفض الفرات
Platforms		أرصفة
Rift basin		حوض تصدعي
Rotated blocks		بلوكات مفصولة مقلوبة
Geophone		اللاقط السيزمي
Seismic Pulse		نبضة سيزمية
Wavelet		موجة المنبع

Acoustic Impedance		ممانعة صوتية
Reflection Coefficient		عامل الانعكاس
Hydrophones		اللواقط المزروع على المياه
Upgoing		الصاعدة
Downgoing		هابطة
Negative Input		دخل سالب
two way time		الزمن ذهاباً وإياباً
Minimum and Zero Phase		الطور الصفري والأصغري
Interferences		التداخلات
Vertical Resolution		الدقة الشاقولية
Tuning		تناغم
Period		الدور
Horizontal Resolution		الدقة الأفقية
Fresnel Zone		قطر فرنل
Unmigrated section		مقطع غير مهجر
Pinnacle Reef		ريف قبابي
Upper Shiranish		الشرانيش العلوي

Lower Shiranish		الشرانيش السفلي
seismic cube		المكعب السيزمي
Marker		أعالي التشكيلات
Vitrinite Reflectance		انعكاسية فيترانيت
Refraction Seismology		الطريقة الانكسارية
Reflection Seismology		الطريقة الانعكاسية

المراجع

المراجع الانكليزية

References:

1. Alsouki M, and Taifour (2015). The tectono-depositional evolution of the Syrian EuphratesGraben Area using the 3D seismic data. Arab J Geosci (2015) 8:7577–7587.

2.Anstey, N. A., 1977, Seismic interpretation; The physical aspects: IHRDC.

3.Brew G, Barazangi M, Al-Maleh AK, Sawaf T (2001) Tectonic and geologic evolution of Syria. GeoArabia 6:573–616.

4.Sawaf T, Al-Saad D, Gebran A, Barazangi M, Best JA, Chaimov T(1993) St ructure and st ratigraphy of eastern Syria across the Euphrates depression. Tectonophysics 220(1–4):267–281.

المراجع العربية

5. التقرير النهائي لعقد الشام

6.التقرير النهائي لعقد دير الزور