الجمهورية العربية السورية
SYRIAN ARAB REPUBLIC

الجمهوريّة العربيّة السّوريّة

وزارة التّعليم العالي و البحث العلمي

الجّامعة السّوريّة الخاصة

كلية هندسة البترول

نمذجة ثلاثيّة الأبعاد وتقييم هندسي واقعي لمكمن غاز محتمل في المياه الإقليميّة السّوريّة ضمن حوض ليفانت

3D Reservoir Modeling and Realistic Engineering Assessment of a Potential Gas Accumulation in Syrian Territorial Waters Within the Levant Basin

مشروع تخرج أُعدّ لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إعداد الطّالبين:

محمّد عمّار هشام دهمان أحمد رضوان منصور

إشراف:

د.م أيمن أحمد شقوف – مشرف هندسي

م.ج يوسف مصطفى رضوان – مشرف جيولوجي

دمشق

الفصل الدّراسي الأول

للعام الدراسي 2025/2026 م

الموافق لعام 1447 هـ

المُلخّص

Abstract

يُعدّ هذا المشروع دراسة هندسية جيولوجية متكاملة تهدف إلى تحديد موقع و تقييم مكمن غازي محتمل ضمن المياه الإقليمية السورية في الجزء الشرقي من البحر الأبيض المتوسط، وذلك ضمن حوض ليفانت الذي يُعد من أهم الأحواض الرسوبية في المنطقة.

اعتمدت منهجية العمل على الدمج بين التحليل الجيولوجي الإقليمي والدراسات الطبقية والبيانات الزلزالية والآبار الاستكشافية البرية، لتحديد موقع مكمني واقعي يتميز بخصائص بنيوية واعدة هيدروكربونياً.

تم تحديد موقع البنية المستهدفة على امتداد سلسلة جبال اللاذقية في عرض البحر، حيث أظهرت الدراسات وجود مؤشرات مباشرة على تراكمات غازية، مثل البقع المسطحة والانبعاثات الغازية، مما عزز منطقية تبنيها كنموذج للدراسة.

و باستخدام برامج متخصصة جرى بناء نموذج مكمني ثلاثي الأبعاد، شمل تمثيل التراكيب الطبقية و توزيع الخواص الفيزيائية للصخور مثل المسامية والنفوذية و درجة التشبع بالماء و الغاز، وصولًا إلى تقدير أولي للاحتياطي الجيولوجي القابل للإنتاج.

ورغم صعوبة الوصول للبيانات البحرية المباشرة، فقد أُنجز هذا العمل بالاعتماد على أوراق علمية منشورة وخرائط إقليمية حقيقية، ليشكّل نموذجًا بحثيًا واقعيًا يمكن تطويره مستقبلًا ليكون مؤشراً أولياً لأي دراسة استكشافية أو استثمار فعلي ضمن المياه الاقليمية السّورية.

يؤكد هذا المشروع أهمية الجمع بين المنهج العلمي الدقيق والرؤية الوطنية الطموحة، في سبيل فتح آفاق جديدة للبحث والاستثمار في مجال الغاز الطبيعي، وترسيخ مكانة سورية كبلد واعد في قطاع الطاقة شرق المتوسط.

المحتويات

Table of Contents

الموضوع	الصفحة
المُلخّص	**1**
الفهرس	**2**
الفصل الأول: المقدمة العامة	**5**
1-1 لمحة عن الغاز الطبيعي	**5**
1-2 الاكتشافات الحديثة في شرق البحر المتوسط	**5**
1-3 أهمية البحث في السياق السوري	**6**
1-4 أهداف البحث	**6**
1-5 المنهجية العامة المعتمدة	**7**
1-6 بنية المشروع	**7**
الفصل الثاني: الدّراسة الجيولوجية المتكاملة لحوض ليفانت و السّاحل السّوري	**8**
2-1 المقدمة	**8**
2-2 الوصف العام للحوض	**9**
2-3 تاريخ نشوء الحوض	**10**
2-4 الإطار البنيوي و التاريخ الرسوبي لحوض ليفانت	**1**
2-5 التسلسلات المرافقة لانفتاح الحوض	**12**
2-6 تسلسلات ما بعد انفتاح الحوض	**12**
2-7 الفوالق النامية و الملوحة	**12**
2-8 التكتونيك الحديث	**13**
2-9 الخصائص الليثولوجية للحوض	**13**
2-10 التراكمات الهيدروكربونية و الخصائص الرئيسية للخزات في حوض ليفانت	**14**
2-11 الخريطة الاقليمية للتراكمات البترولية في حوض ليفانت	**15**
2-12 الامتداد الجيولوجي لحوض ليفانت ضمن الساحل السّوري	**17**
2-13 الخصائص البنيوية للساحل السّوري	**17**
2-14 الخصائص الطبقية و الرسوبية للساحل السّوري	**18**
2-15 البنية التكتونية و النشاط الحديث ضمن السوحل السّوري	**19**
2-16 الأهمية المكمنية و الارتباط مع حوض ليفانت	**20**
2-17 خلاصة الفصل الثاني	**21**

الفصل الثالث: اختيار الموقع المكمني المقترح ضمن حوض ليفانت على امتداد السّاحل السّوري	**22**
3-1 مقدمة	**22**
3-2 العلاقة مع الدراسة الجيولوجية السّابقة لكل من حوض ليفانت و السّاحل السّوري	**23**
3-3 المنهجية العامة لاختيار الموقع المكمني	**25**
3-4 الابتعاد عن الانضغاطات الملحية	**26**
3-5 التركيبة البنيوية و النموذج المكمني المفترض في الموقع المختار	**27**
3-6 التطور البنيوي للبنية المختارة	**33**
3-7 تحديد نوع الصخور الخازنة و الغطاء المحتملين في البنية المختارة	**35**
3-8 خلاصة الفصل الثالث	**37**
الفصل الرابع: التقييم البنيوي و الطبقي و تعيين الخواص البتروفيزيائية للبنية المختارة ضمن حوض ليفانت	**38**
4-1 المقدمة	**38**
4-2 تحديد العمر و العمق و الترابط الطبقي-المكمني للبنية المختارة	**38**
4-3 تعيين الخواص البتروفيزيائية للبنية المدروسة	**42**
4-4 خلاصة الفصل الرابع	**43**
الفصل الخامس: بناء النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Petrel	**44**
5-1 المقدمة	**44**
5-2 إعداد النموذج المكمني الرقمي	**44**
5-3 إنشاء الشبكة المكمنية	**46**
5-4 تحويل الهيكل الشبكي الى سطوح فعلية	**48**
5-5 إدخال النقاط الهيكلية لبناء البنية المحدبة	**49**
5-6 إنشاء السطوح البنيوية للبنية المحدبة	**51**
5-7 تقسيم النموذج الى نطاقات و طبقات	**53**
5-8 إدخال الخواص الفيزيائية باستخدام المعادلات الرياضية	**55**
5-8-1 إدخال المسامية في النطاق الخازن	**55**
5-8-2 إدخال المسامية في النطاق الانتقالي	**56**
5-8-3 إدخال المسامية في النطاق الكتيم	**57**
5-8-4 إدخال النفوذية الأفقية الأولى في النطاق الخازن	**58**
5-8-5 إدخال النفوذية الأفقية الأولى في النطاق الانتقالي	**59**
5-8-6 إدخال النفوذية الأفقية الأولى في النطاق الكتيم	**60**

5-8-7 إدخال النفوذية الأفقية الثانية للبنية كاملة	**61**
5-8-8 إدخال النفوذية العمودية للبنية كاملة	**62**
5-9 التمثيل النهائي ثلاثي الأبعاد للنموذج المكمني	**63**
5-10 خلاصة الفصل الخامس	**69**
الفصل السادس: تقدير الاحتياطي الجيولوجي و الاحتياطي الغازي القابل للإنتاج للمكن الأفتراضي ضمن حوض ليفانت	**70**
6-1 المقدمة	**70**
6-2 تعيين المساحة الأولية للبنية المدروسة	**71**
6-3 تعيين السماكة المنتجة	**71**
6-4 تعيين المسامية	**72**
6-5 تعيين درجة التشبع بالغاز و الماء	**72**
6-6 تعيين عامل حجم الغاز	**72**
6-7 حساب الاحتياطي الجيولوجي	**73**
6-8 تعيين معامل الاستخلاص	**74**
6-9 حساب الاحتياطي القابل للإنتاج	**74**
6-10 خلاصة الفصل السادس	**74**
الفصل السابع: المناقشة العامة	**75**
7-1 المقدمة	**75**
7-2 دمج النتائج الجيولوجية و الهندسية	**75**
7-3 قوة المنهجية المعتمدة و تشابهها مع ممارسات الصناعة النفطية	**76**
7-4 ريادة المشروع و تميّزه الوطني	**76**
7-5 خلاصة الفصل السابع	**77**
النتائج و المقترحات	**78**
أولاً- النتائج	**78**
ثانياً- المقترحات	**80**
الخاتمة النهائية للمشروع	**82**
المراجع الأجنبية	**83**
المراجع العربية	**84**

الفصل الأول

المُقدمة العامة

General Introduction

1–1 لمحة عن الغاز الطبيعي و دوره العالمي

(An Overview of Natural Gas and Its Global Role)

يُعد الغاز الطبيعي (Natural Gas) أحد أهم مصادر الطاقة في القرن الحادي و العشرين، إذ يشكّل الرّكيزة الأساسية للتحول نحو منظومة طاقة اكثر نظافة و استدامة مقارنة بالنفط و الفحم، فقد ارتفع الطلب العالمي عليه خلال العقدين الأخيرين نتيجة كفاءته الحرارية العالية و انخفاض انبعاثاته الكربونية، مما جعله يحتل ما يزيد عن 23% من مزيج الطاقة العالمي و ذلك وفقاً لتقارير وكالة الطاقة الدولية.

كما اصبح الغاز الطبيعي عنصراً محورياً في سياسات أمن الطاقة للدول الصناعية و النامية على حدّ سواء و ذلك نظراً لدوره المزدوج كمصدر طاقة أساسي و كوقود انتقالي نحو مستقبل أقل انبعاثات.

1–2 الاكتشافات الحديثة في شرق البحر المتوسط

(Recent Discoveries in the Eastern Mediterranean)

شهد شرق البحر المتوسط في السنوات الاخيرة تحولاً استراتيجياً لافتاً بعد سلسلة من الاكتشافات الغازية الكبرى في أعماق مياهه الإقليمية، مثل حقول: ليفياثان و تمّار (Leviathan and Tamer) المكتشفان في المياه الاقليمية لفلسطين المحتلة و ظهر (ZOHR) في المياه الاقليمية المصرية، و قد اثبتت هذه الاستكشافات أن الحوض الجيولوجي الاقليمي المعروف باسم حوض ليفانت (Levant Basin) يمتلك مقومات جيولوجية واعدة تجعله من أهم الاحواض الغازية البحرية العالمية في العالم.

هذا الواقع الجيولوجي المشترك يشير بوضوح الى امكانية امتداد الأنظمة البترولية المنتجة باتجاه المياه الاقليمية السورية، التي لا تزال الى يومنا هذا منطقة غير مستكشفة بشكل كافٍ رغم موقعها ضمن الإطار البنيوي ذاته للحوض.

1-3 أهمية البحث في السياق السوري
(The Importance of Research in the Syrian Context)

تنبع أهمية هذا العمل من كونها تسعى إلى تقديم أول نموذج هندسي مكمني ثلاثي الأبعاد يُبنى استنادًا إلى مراجع علمية منشورة وبيانات زلزالية متاحة، وذلك ضمن نطاق المياه الإقليمية السورية بهدف تقييم الخواص المكمنية والاحتياطي الغازي المحتمل ضمن بنية غازية واقعية، وذلك باستخدام منهجية هندسية مشابهة لتلك التي تعتمدها كبرى الشركات العالمية خلال مراحل الاستكشاف والتقييم المبكر.

منذ مطلع عام 2025، بدأت العديد من التقارير العربية و العالمية بالحديث عن وجود احتياطات غازية محتملة في الجزء السوري من حوض ليفانت، وقد قدرت بعض تلك التقارير الكميات الممكنة بحوالي 15 تريليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي، و أشار أحد خبراء منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (OAPEC) في تصريحات نُشرت خلال العام نفسه إلى أهمية المؤشرات الزلزالية والجيولوجية في هذه المنطقة، مما يعزز الفرضية بوجود تراكيب خازنة واعدة تحت السّاحل السّوري. من هذا المنطلق استُلهمت فكرة هذا المشروع كمحاولة علمية منهجية للبحث والتحليل في مدى واقعية تلك التقارير، ودراسة هذا الاحتمال اعتمادًا على المعطيات العلمية المتوفرة.

1-4 أهداف العمل
(Research Objectives)

يهدف هذا العمل إلى تحقيق جملة من الأهداف العلمية والهندسية، يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- استكشاف مكمن غازي محتمل ضمن المياه الاقليمية السّورية من خلال دراسة جيولوجية و هندسية متكاملة تعتمد على تحليل البيانات الزلزالية و المراجع العملية عن حوض ليفانت.

2- بناء نموذج مكمني ثلاثي الأبعاد للبينة المختارة باستخدام برنامج Petrel، بهدف تمثيل البنية رقمياً و إظهار خصائصها البنيوية و الطّبقية.

3- توصيف الخواص البتروفيزيائية الأساسية للبنية المدروسة وتقييم سلوكها المكمني.

4- إجراء تقدير أولي للاحتياطي الجيولوجي الغازي و الاحتياطي القابل للإنتاج، بما يقدّم تصوراً أولياً لإمكانات التطوير المستقبلية في المنطقة

1-5 المنهجية العامة المعتمدة
(The General Methodology Adopted)

تم تنفيذ المشروع وفق مسار عمل متكامل (Integrated Workflow) يبدأ بالدراسة الجيولوجية لحوض ليفانت والسّاحل السّوري، مرورًا بمرحلة اختيار الموقع المكمني المقترح، ثم التقييم البنيوي والطبقي للبنية المختارة، فبناء النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد، وصولًا إلى التقييم الهندسي وتقدير الاحتياطي.

و يُعتبر هذا المسار ترجمة علمية دقيقة للمنهج الذي تتّبعه شركات النفط والغاز في العالم عند دراسة المكامن البحرية.

1-6 بنية المشروع (Project Structure)

يتألف هذا المشروع من سبع فصول رئيسة تغطي مختلف الجوانب الجيولوجية والهندسية للمشروع، بدءاً من الإطار الجيولوجي الإقليمي، مروراً ببناء النموذج المكمني، وانتهاءً بالتقييم الهندسي والتحليل النهائي للنتائج، ليقدّم رؤية متكاملة عن الإمكانات الغازية المحتملة ضمن المياه الإقليمية السورية.

الفصل الثاني

الدراسة الجيولوجية المتكاملة لحوض ليفانت و السّاحل السّوري

Integrated Geological Study of the Levant Basin and the Syrian Coastal Zone

2–1 المقدمة (Introduction)

يهدف هذا الفصل إلى تقديم دراسة جيولوجية متكاملة لحوض ليفانت والسّاحل السّوري، تمهيدًا لفهم الإطار البنيوي والترسيبي الذي تتحكم به المنطقة المدروسة.

يُركّز الفصل على تحليل الخصائص البنيوية و الترسيبية للحوض وربطها مع الامتداد الجيولوجي للساحل السّوري، الّذي يُمثّل الحدود الشمالية الشرقية للحوض.

تُعدّ هذه الدراسة الأساس العلمي ليس فقط لاختيار الموقع المكمني المقترح في الفصول اللاحقة، بل أيضًا لفهم تاريخ تطور حوض ليفانت من حيث نشأته البنيوية (Structural Evolution) وتطور تاريخه الترسيبي (Depositional History) عبر الزمن الجيولوجي.

فالإلمام بهذه التفاصيل يُتيح تفسيرًا دقيقًا للعوامل التي أسهمت في تشكّل المصائد البترولية وتوزّع الصخور الخازنة والغطائية ضمن القطاع البحري السوري.

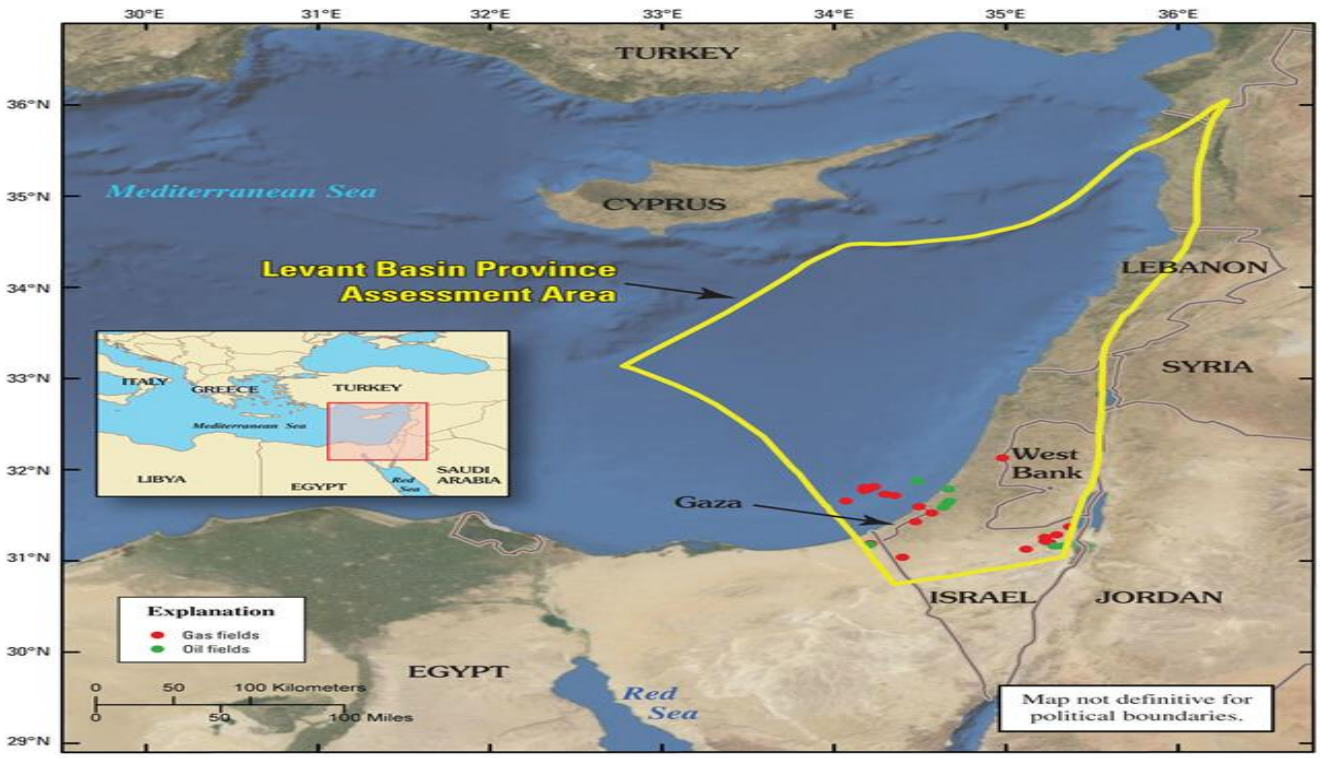
2-2 الوصف العام لحوض ليفانت وحدوده الجيولوجية
(General Description of the Levant Basin and Its Geological Boundaries)

يُعد حوض ليفانت (Levant Basin) أحد أهم الأحواض الرسوبية في شرق البحر الأبيض المتوسط، ويتخذ شكلاً إسفينياً مميزاً، يمتد من السّاحل السّوري واللّبنانية شمالاً حتى المياه الإقليمية لفلسطين المحتلة و قبرص جنوباً.

يحدّ الحوض من الشرق صدع البحر الميت التحويلي (Dead Sea Transform Fault) الذي يمثل الحد الفاصل بين الصفيحة العربية و الأفريقية.

في حين يحدّه من الغرب صدع قبرص القوسي (Cyprus Arc Fault) الذي هو نطاق تصادم و انحناء قوسي للصفيحة العربية مع الصفيحة الاوراسية (الأناضولية)، و انغرازها تحت هذا الصدع، و يوصف بأنه صدع تحويلي مركب بسبب تغير طبيعة الحركة على امتداده و يُعتبر الامتداد البنيوي الطبيعي لحزام جبال طوروس.

تلعب هذه الصدوع دوراً مهماً في تحديد الإطار البنيوي للحوض، إذ تؤثر على نمط التصدّع الدّاخلي و تشكل فوالق ثانوية ضمن الحوض نفسه، الأمر الذي يُسهم في فهم آليات تطوره البنيوي وطبيعة البيئات الترسيبية التي ترافقت مع تشكّله.



الشكل2.1: موقع حوض ليفانت (Levant Basin Province) في شرق البحر الأبيض المتوسط، كما حُدّد ضمن تقييم هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS, 2010)

2-3 تاريخ نشوء حوض ليفانت و تقسيمه البنيوي
(Levant Basin Evolution and Structural Zonation)

تشكل حوض ليفانت في أواخر العصر الباليوزوي، حيث شهد منذ ذلك الحين عملية تطوّر جيولوجي نموذجي انعكست على ترسّب الطبقات و تعقيد الموضع التّكتوني للحوض، تُعد هذه المرحلة الزمنية نقطة انطلاق لتاريخ تطور الحوض كمجال رسوبي نشط خضع لتأثيرات تكتونية و اقليمية متعاقبة.

و يمكن تقسيم الحوض الى ثلاث نطاقات رئيسية بناءً على خصائصه البنيوية و الجغرافية:

– الحافة الشمالية (Northern Margin):

و تمتد على طول السواحل السورية اللبنانية، و تتميز بخصائص تكتونية و بنيوية مرتبطة بصدع البحر الميت التحويلي (Dead Sea Transform Fault)، و تعد هذه الحافة الأقرب جغرافياً الى نطاق الدراسة في هذا المشروع، ما يجعلها ذات أهمية خاصة في تحديد موقع النموذج المكمني لاحقاً.

– مركز الحوض (Central Trough):

و يمثل أعمق نقطة رسوبية في الحوض (Depocenter) و هو نطاق غني بالرسوبيات الكربوناتية و الحُطامية، و يتميز بخصائص مكمنية ملحوظة.

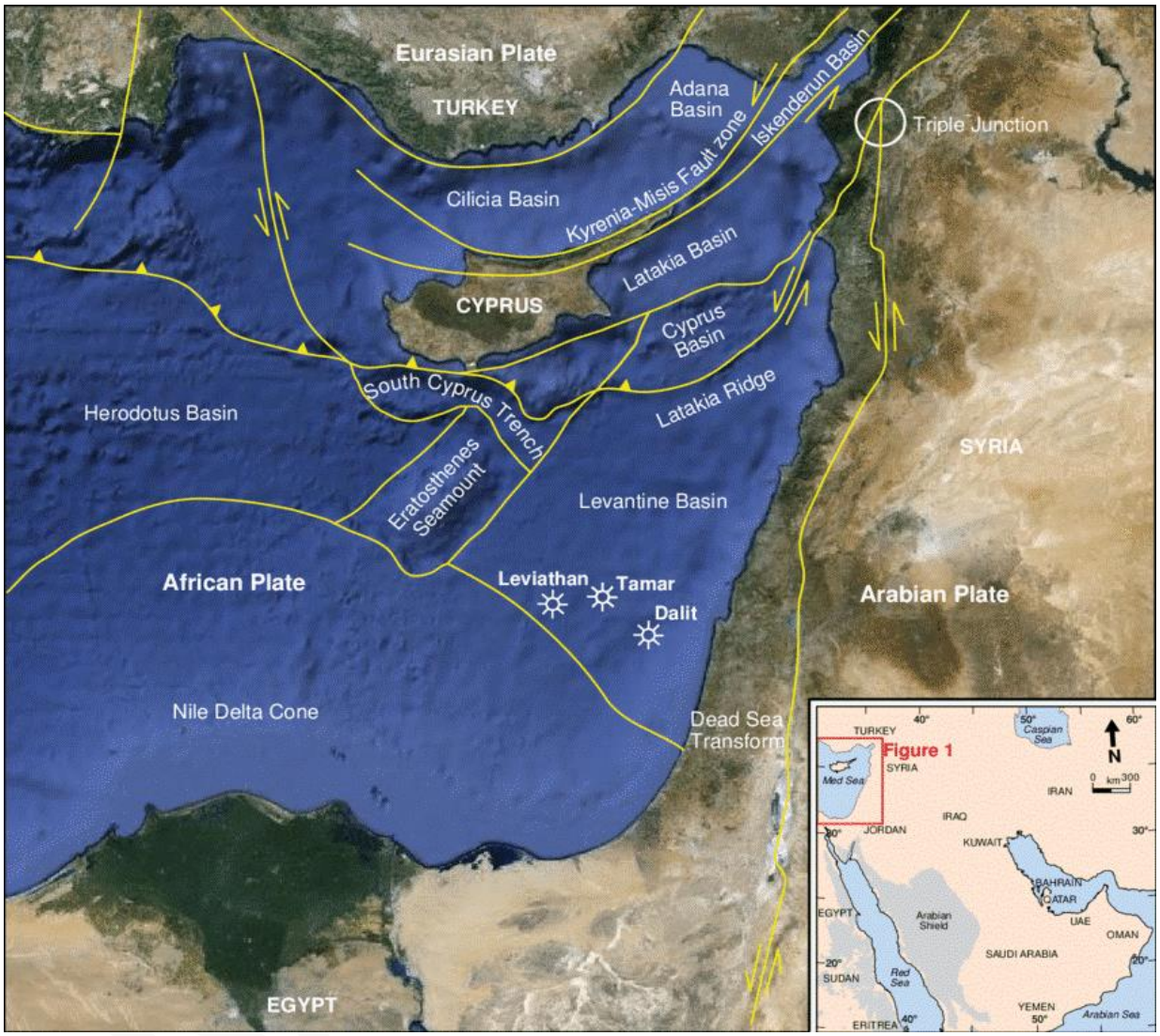
– الحافة الجنوبية الغربية (Southwestern Margin):

و التي تمتد باتجاه السّاحل الفلسطيني المحتل، و تظهر بناءً تركيبياً مغاير نسبياً، و تعد أقل أهمية مباشرة بالنسبة لنطاق نموذجنا الحالي.

يساعدنا هذا التقسيم البنيوي في اختيار موقع مكمني منطقي و واقعي لبناء نموذج ثلاثي الأبعاد ضمن نطاق الدراسة، بحيث يتوافق مع المعطيات البنيوية و الجغرافية للحوض و يعزز من واقعية النموذج.

2-4 الإطار البنيوي والتاريخ الرسوبي لحوض ليفانت

:(Structural Framework and Stratigraphic Sequences)



الشكل2.2: الخريطة التكتونية لشرق المتوسط تُظهر موقع حوض ليفانت وعلاقته بالصدوع الإقليمية الرئيسية

يحد الحوض من الشمال صدع البحر الميت التحويلي (Dead Sea Transform Fault)، و من الغرب صدع قبرص القوصي (Cyprus Arc Fault)، و هما من أبرز الصدوع النشطة في المنطقة، و قد أدى تبادل التأثير التّكتوني بين هذين النظامين الى تكوين مقعر تكتوني واسع (Tectonic Depocenter) ضمن الحوض، شكل بيئة مثاليّة لتراكم كميات ضخمة من الرسوبيات الثّخينة و المتنوعة عبر ملايين السنين.

يشكّل هذا المقعر أحد العناصر البنيوية الأساسية في فهم تاريخ تطور الحوض الرسوبي

(Sedimentary Basin Evolution)، كما يُعدّ مؤشرًا مباشرًا على أهمية المنطقة كموقع واعد لتراكمات هيدروكربونية نتيجة لزيادة ثخانة الرسوبيات واستمرارية الأنظمة الطبقية فيها.

2-5 المتتاليات المرافقة لانفتاح الحوض (Syn Rift Sequences)

ترافقت مراحل انفتاح الحوض مع تمدد القشرة في الجوراسي المتأخر والكريتاسي المبكر حيث ان رسوبيات هذه المرحلة قد أظهرت ميلاً ميكانيكياً مع تشكّل ثغرة ستراتيغرافية بسبب الحركات التكتونية التي أثرت عليها، وقد ترافقت هذه المرحلة مع ترسيب صخور كربوناتية، حجر رملي و مارل في بيئات بحرية ضحلة و عميقة.

لذلك يمكن للطبقات التي تشكلت في هذه المرحلة أن تُشكل صخوراً خازنة او حاجزة.

2-6 متتاليات ما بعد انفتاح الحوض (Post Rift Sequences)

تراكمت الرواسب في هذه المرحلة بشكل أفقي نسبياً فوق قاع الحوض خلال الفترة الممتدة من الباليوسين حتى الوقت الرّاهن، و شملت طيفاً واسعاً من الصخور الكتلية و الطينية و العضوية.

تّظهر العديد من هذه الطبقات خصائصاً بترولية، بما في ذلك غنى بعضها بالمواد العضوية و يمكن ان تشكل صخور مصدر مولدة للمواد الهيدروكربونية، و تكمن الفائدة هنا ان الطبقات المترسبة في هذه المرحلة هي أساسية لفهم النطام البترولي.

2-7 الفوالق النامية و التكتونيك الملحي (Growth Faults and Salt Tectonic)

تشير الدراسات الإقليمية إلى احتمال وجود قباب ملحية (Salt Domes) وفوالق شدّية تمددية (Extensional Faults) داخل حوض ليفانت، ناتجة عن صعود الملح من الطبقات الملحية مخترقاً العمود الرسوبي.

تعود هذه الطبقات إلى فترة الميسينيان (Messinian) حين انغلق البحر الأبيض المتوسط جزئيًا نتيجة النهوض التكتوني لقوس قبرص وانعزال الحوض عن المحيط الأطلسي، ما أدى إلى تبخّر واسع النطاق لمياهه وتحوله إلى بحيرة مغلقة، نتج عنها ترسّب كميات ضخمة من الأملاح التّبخرية.

ورغم أن هذه البُنى الملحية قد تُسهم في تكوين مصائد هيدروكربونية فعّالة (Effective Hydrocarbon Traps)، إلا أنها تتسبب بتعقيد نماذج الحوض.

لذلك، ابتعدنا قدر الإمكان عن المناطق المتأثرة بالانضغاطات الملحية (Compressed Salt Zones) لضمان واقعية النموذج المكمني وثباته البنيوي أثناء النمذجة الرقمية.

2-8 التّكتونيك الحديث الحديثة (Recent Tectonics):

إن حوض ليفانت ما زال نشط تكتونياً أي ان الحركات الجيولوجية كالصدوع، الانزلاقات و الارتفاعات ما زالت متسمرة حتى وقتنا الحاضر و المصدر الاساسي لهذا النشاط التيكتوني هو صدع البحر الميت التحويلي (Dead Sea Transform Fault)، و نتيجة لهذه الحركات ازداد توسع الحوض، بالاضافة لحدوث الانزياحات مستمرة بالصخور و الطبقات مع امكانية حدوث نشاط زلزالي في بعض المناطق.
نظراً أن الحوض ما زال نشط تكتونياً يمكن أن نبرر لاحقاً وجود انقطاعات او فوالق او تغيرات في الطبقات عند بناء نموذجنا المكمني.

2-9 الخصائص الليثولوجية لحوض ليفانت

(Lithological Characteristics of the Levant Basin):

يمتاز حوض ليفانت بتنوع ليثولوجي كبير (Lithological Diversity)، ناتج عن التعقيد التكتوني وتنوّع البيئات الرسوبية التي مرّ بها الحوض خلال تاريخه الجيولوجي.
يعكس هذا التنوع تطوراً شاقولياً في أنظمة الترسيب البحرية، من الضحلة إلى العميقة، مما أدى إلى تشكيل عمود رسوبي متكامل.
تتضمن التتابعات الصخرية في الحوض مزيجًا من:

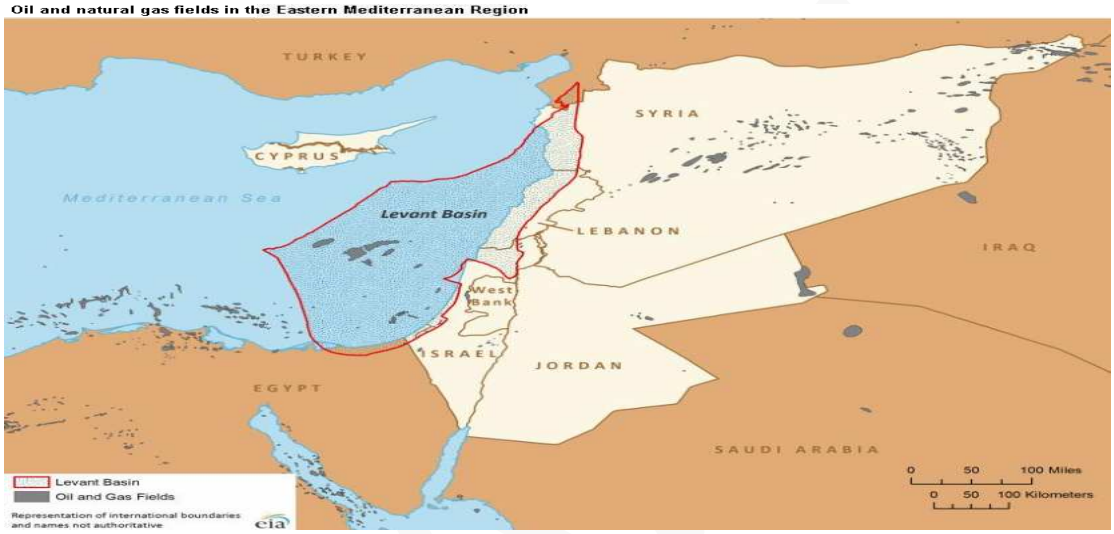
- الرمل (Sand)
- الحجر الرملي (Sandstone)
- الطَفل أو الشيل (Shale)
- الحجر الجيري (Limestone)

تُعد الصخور الكربوناتية (Carbonate Rocks) ، التي تشكلت في الأعماق خلال العصر الكريتاسي (Cretaceous) هي الأكثر شيوعًا.
أما في المتتاليات العليا، وخلال فترتي الباليوجين والنيوجين (Paleogene–Neogene)، فتزداد نسبة الصخور الحطامية (السيليكاتية) خاصة الحجر الرملي (Sandstone) والشيل (Shale) ،مما يعكس تحولات بيئية وترسيبية مهمة عبر الزمن الجيولوجي.
تُظهر هذه المتتاليات خصائصاً مكمنيةً واعدة، حيث يتميز الحجر الرملي بمسامية (Porosity) ونفوذية

(Permeability) جيدة، مما يجعله هدفًا رئيسياً في عمليات الاستكشاف الهيدروكربوني.

في المقابل، تلعب طبقات الشيل دور صخور غطاء (Seal Rocks) التي تمنع تسرب الهيدروكربون إلى السطح، مما يساهم في إنشاء مصائد بترولية فعالة (Effective Traps).

10–2 التراكمات الهيدروكربونية والخصائص الرئيسية للخزانات في حوض ليفانت
(Hydrocarbon Accumulation and Reservoir Characteristics in the Levant Basin)



الشكل2.3 موقع حوض ليفانت محدد عليه الحقول الغازية و النفطية التي تم اكتشافها.

يُعد حوض ليفانت من الأحواض الرسوبية النشطة (Active Sedimentary Basins) في شرق البحر المتوسط، حيث تجمّعت فيه كافة العناصر المكونة لنظام بترولي متكامل (Petroleum System)، ابتداءً من صخور المصدر الغنية بالمادة العضوية، مروراً بخزانات فعالة (Effective Reservoirs) وصخور غطاء (Seal Rocks) ثم وصولاً إلى مصائد تركيبية واضحة المعالم (Structural Traps).

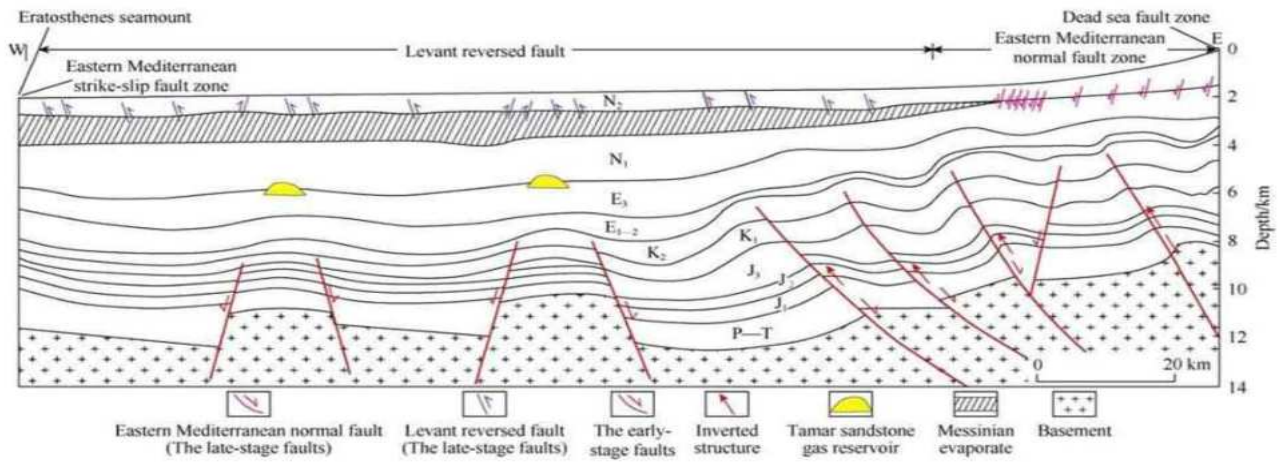
ساهمت الظروف الجيولوجية للحوض في تكوين بيئة ملائمة لتراكم الغاز الطبيعي، مما يجعله من أبرز المناطق الواعدة اقتصادياً في الاستكشافات الهيدروكربونية.

و تشكّل مكمن تمار الرملي (Tamar Sandstone Play)، ضمن رسوبيات تعود إلى الأوليغوسين والميوسين الأسفل (Oligocene–Lower Miocene).

يبلغ ثخانة هذا المكمن حوالي (140 مترًا)، وتتميز طبقاته بـ مسامية (Porosity) تقارب (25%) و نفاذية (Permeability) متوسطة إلى عالية تصل إلى (100-20 ملي دارسي) حسب البيانات المنشورة، مما يدل على جودة خزنية ممتازة.

يتوضع المكمن على عمق حوالي (3 كيلومترات)، ضمن طية محدبة (Anticline Structure)، أي أنه يُصنف ضمن المصائد التقليدية (Conventional Traps).

11-2 الخريطة الاقليمية للتراكمات البترولية في حوض ليفانت
(Regional Distribution of Petroleum Accumulations in the Levant Basin)



الشكل2.4: تظهر خريطة تراكم البترول في حوض ليفانت في شرق البحر الأبيض المتوسط

تظهر الخريطة الاقليمية لتراكمات البترول في شرق البحر المتوسط أن حوض ليفانت يعد من اكثر الاحواض البحرية الواعدة في المنطقة من حيث امكانات توليد و تراكم الهيدروكربون.

يُلاحظ من خلال البيانات الجيولوجية والإقليمية وجود تدرّج بنيوي من الأسفل نحو الأعلى، حيث في الأعماق تم التعرف على كتل صدعية مائلة (Tilted Fault Blocks) تعود إلى الميزوزي (Mesozoic Era) و تعلوها طيات محدبة مصدعة (Faulted Anticlines) يعود بعضها للميزوزي أيضاً، حيث أدّت الحركات الانضغاطية الإقليمية اللاحقة إلى طيّ الطبقات الكربوناتية والرملية و تشكيل محدّبات مصدّعة (Faulted Anticlines) فعّالة في احتجاز الغاز.

يتضح من المقطع أن أغلب هذه المصائد تتوزع على أعماق تتراوح بين 4 و 8 كيلومترات، وهي أعماق نموذجية لعمليات توليد وتراكم الغاز.

كما يظهر أن تأثير الصدوع العكسيّة و العادية قد لعب دوراً أساسياً في إعادة تنشيط الطبقات الكريتاسية وتهيئة المسارات الرأسية لهجرة الهيدروكربونات باتجاه المصائد البنيوية.

تنسجم هذه المشاهدات بشكل مباشر مع النموذج المكمني المقترح في هذا المشروع من ناحية الأعماق و

نوع البنية المكمنية و عمرها.

خضع الحوض منذ العصر الكريتاسي، لترسيب هامشي غير فعّال

(Passive Margin Sedimentation) من الكربونات والمارل والطين، وقد تأثرت هذه الصخور في مراحل لاحقة بقوى انضغاطية إقليمية أدت الى تكوّن شقوق وصدوع ومقعّرات، مما ساهم في تشكيل المسارات الشّاقولية لهجرة الهيدروكربون.

أما في الأوليغوسين والميوسين (Oligo-Miocene) ، فقد شهد الحوض ترسيب رمال توربيّ (Turbiditic Sandstones) بالإضافة الى المارل و الشيل، شكلت صخور غطاء في مكان و كانت كخزانات عالية الجودة في مكان اخر.

2-12 الامتداد الجيولوجي لحوض ليفانت ضمن السّاحل السّوري
(The Geological Extension of the Levant Basin along the Syrian Coast)

وانطلاقًا من كون الساحل السوري تمثّل الامتداد الشمالي الشرقي لحوض ليفانت (Levant Basin) لذلك من الضروري تحليل خصائصها الجيولوجية بتفصيل دقيق لفهم تطوّر المتتاليات الرسوبية والأنظمة البترولية المتصلة بالحوض البحري.

يُعدّ هذا السّاحل من المناطق الجيولوجية الحيوية في شرق البحر الأبيض المتوسط، إذ تشكّل نقطة التقاء رئيسية بين البنى البحرية لحوض ليفانت والمكونات التكتونية القارية لشمال بلاد الشام.

يمتدّ الساحل السوري بطولٍ يقارب 180كم بين الحدود اللبنانية جنوبًا والحدود التركية شمالًا، وتتميّز بقدرٍ عالٍ من التعقيد الجيولوجي الناتج عن تاريخ تكتوني طويل ومتنوع، انعكس في متتالياتها الرسوبية وبُناها، ما يجعل دراستها خطوة أساسية لفهم استمرارية الأنظمة البترولية من البحر نحو اليابسة.

2-13 الخصائص البنيوية للساحل السّوري
(Structural Features of the Syrian Coastal Zone)

يتأثر الساحل السّوري بعدد من الصدوع الرئيسية والفرعية التي تلعب دورًا محوريًا في تحديد إطار البنية تحت السطحية (Subsurface Structural Framework) ، كما تسهم في التحكم بتوزيع الطبقات الرسوبية وبتطور المصائد البترولية المحتملة.

ومن أبرز هذه الصدوع:

- **صدع البحر الميت التحويلي (Dead Sea Transform Fault)**

  يُعد أحد أهم العناصر التكتونية في المنطقة، إذ يمتد من خليج العقبة جنوبًا حتى الساحل التركي شمالًا مرورًا بالأراضي السورية، ويؤثر على البنى الساحلية من خلال فوالق فرعية مائلة وجانبية (Oblique and Strike-slip Faults) تفرّعت عنه، مسببةً تشوّهات بنيوية محلية واضحة في التتابعات الساحلية.

- **صدع القوس القبرصي أو متن اللاذقية (Cyprus Arc / Latakia Ridge)**

  صدع قوسي الشكل يفصل بين الصفيحة الإفريقية والصفيحة الأناضولية، ويمتد قبالة السّاحل السّوري مكوّنًا أحد أبرز مناطق الانضغاط (Compression) و النهوض البنيوي في شرق المتوسط.

  يُعتبر هذا الصدع عنصرًا أساسيًا في تشكيل الهامش القاري السّوري (Syrian Continental Margin)، وله دور مباشر في نشوء البنى التركيبية من نمط المحدّبات (Anticlines) المنتشرة في المنطقة البحرية.

- **منطقة فالق اللاذقية الجانبي (Latakia Fault Zone)**

يُعدّ صدعًا محليًا يُحتمل وجوده استنادًا إلى تغيرات طبقية وزلزالية لوحظت في المنطقة الغربية من محافظة اللاذقية، وفق دراسات مغناطيسية وسيزمية إقليمية.

تشير هذه المؤشرات إلى انزلاقات جانبية خفيفة (Minor Strike-slip Movements) كان لها أثر في إعادة تنشيط بعض البنى الساحلية القديمة خلال العصور المتأخرة.

إن تداخل هذه الصدوع الإقليمية والمحلية جعل من السّاحل السّوري منطقة تكتونية نشطة نسبياً، تتدرّج فيها الضغوط من شدٍّ خفيف في الشرق إلى انضغاط قوي في الغرب باتجاه البحر، وهو ما يفسّر تنوّع التراكيب البنيوية الملاحظة وارتباطها المباشر ببنى حوض ليفانت البحرية.

14–2 الخصائص الطبقية والرسوبية للسواحل السورية
(Stratigraphy and Sedimentation for Syrian Coast)

تُظهر البيانات الزلزالية والإقليمية (Seismic and Regional Data) أن المتتاليات الرسوبية تحت السّاحل السّوري تتألف من متتابعات رسوبية (Sedimentary Successions) تعود في معظمها إلى العصور الكريتاسية والسينوزويّة، ويُبيَّن أهمها فيما يلي:

- **العصر الكريتاسي (Cretaceous)**

تُعدّ الصخور الكربوناتية من حجر جيري ومارل (Limestone and Marl) المكوّن الرئيس لمتتابعات هذا العصر، وتمتاز بتطوّر بيئات ترسيب ضحلة (Shallow Marine Environments) على الهامش القاري.

تُظهر بعض البنى المحلية إمكانات مكمنية محدودة (Local Reservoir Potential)
خاصة في الطبقات الكربوناتية العليا المتشققة أو المتولدة ثانوياً نتيجة عمليات الدياجينيز.

- **العصر الباليوجيني والنيوجيني (Paleogene–Neogene)**

يتألف هذا التتابع من حجر رملي طفلي وطين(Silty Sandstone and Claystone)
مع مؤشرات على وجود صخور مصدر عضوية، خصوصًا ضمن تكوينات مماثلة
لمجموعة Mt.Scopus Group الموثقة في شرق المتوسط.

وتمثّل هذه الطبقات انتقالًا من بيئات بحرية ضحلة إلى أكثر انفتاحًا مع ازدياد معدّل الترسيب العضوي.

- **العصر الرباعي (Quaternary)**

تغطّي الصخور غير المتماسكة (Unconsolidated Sediments) شريط الساحل مباشرة، وتشمل رواسب بحرية ونهرية حديثة (Recent Marine and Fluvial Deposits) لا تمتلك أهمية مكمنية، لكنها تعكس الأنشطة الترسيبية الحديثة (Recent Sedimentary Activity) التي ما زالت تؤثر في شكل الساحل وتطوره.

بصورة عامة، تَظهر المتتالية الطبقية تماسكًا واضحًا مع المتتابعات المسجَّلة في حوض ليفانت البحري، ما يدعم فرضية الامتداد الرسوبي المتصل

(Continuous Sedimentary Extension) بين اليابسة والبحر، ويؤكّد وحدة التطور الجيولوجي للحوض بكامله.

15-2 البيئة التكتونية والنشاط الحديث للسواحل السورية (Tectonic Context for Syrian Coast)

يقع الساحل السّوري ضمن هامش قاري سلبي (Passive Continental Margin) خضع لانضغاطات معتدلة إلى قوية نتيجة تصادم الصفيحة العربية مع الصفيحة الأناضولية.

أدى هذا التفاعل التكتوني إلى تطوير مجموعة من البنى التركيبية المميزة، من أهمها:

- **طيات (Folds)** تمثل مواقع محتملة لتشكل المصائد البترولية، خصوصاً عند ترافقها مع صخور خازنة كربوناتية.
- **صدوع عكسية (Reverse Faults)** تسببت بحدوث اختلالات محلية في المتتابعات الرسوبية، وأثّرت على انتظام الطبقات في بعض المواقع الساحلية.
- **احتمال وجود قباب ملحية صغيرة أو مدفونة (Buried Salt Domes)**، مشابهة لتلك الموثّقة في جنوب قبرص ولبنان، مما يشير إلى نشاط ملحي قديم قد يكون ساهم في تشكيل بعض المصائد التركيبية الثانوية.

تعكس هذه التراكيب مجتمعة حالة تكتونية نشطة نسبيًا على طول الساحل السوري، وتوضح الترابط البنيوي القوي بينه وبين البنى العميقة لحوض ليفانت البحري

16–2 الأهمية المكمنية والارتباط مع حوض ليفانت

(Reservoir Significance and Correlation with the Levant Basin)

يشير الميل العام للطبقات نحو الغرب إلى أن السّاحل السّوري تمثّل الامتداد الشرقي المباشر للخزانات الغازية المكتشفة في عرض البحر، مثل حقلي تمار (Tamar) و ليفياثان (Leviathan) في الجزء الجنوبي من الحوض.

وبناءً على النموذج البنيوي والترسيبي المتكامل، يُرجَّح أن الطبقات العميقة تحت الساحل السّوري قد تحتوي على:

- **صخور مكمنية ذات جودة جيدة (Good Reservoir Rocks)** متمثلة أساسًا في كربونات الكريتاسي العلوي المتشققة.
- **صخور غطائيّة فعّالة (Seals)** تتألف من الطين والشيل، قادرة على حفظ التراكمات الغازية ضمن المصائد التركيبية.
- **صخور المصدر المحتملة (Potential Source Rocks)** عند أعماق تتراوح بين 3.5 و 4 كم تقريبًا، وهي الأعماق المثلى لتوليد الغاز الرطب ضمن النظام البترولي للحوض.

تؤكد هذه المؤشرات أن السّاحل السّوري لا تمثل منطقة انتقالية فحسب، بل تشكّل جزءًا فعّالًا ومتكاملًا من النظام البترولي الإقليمي لحوض ليفانت، ما يجعلها ذات أهمية خاصة في أي دراسات مستقبلية للتنقيب البحري ضمن المياه الإقليمية السورية.

17–2 خُلاصة الفصل الثّاني (Conclusion of Chapter Two):

تناول هذا الفصل دراسة جيولوجية متكاملة لكل من حوض ليفانت والسّاحل السّوري، بهدف تحليل الخصائص البنيوية والطبقية والترسيبية التي تحدد طبيعة هذا النظام الجيولوجي الإقليمي المعقّد.

أظهرت نتائج التحليل أن السّاحل السّوري تمثّل الامتداد الشرقي البنيوي والرسوبي لحوض ليفانت البحري، وأن التطور التكتوني والطبقي في الجانبين متصل زمنياً ومكانياً منذ العصور القديمة حتى العصور الحديثة.

كما تبين أن البيئات الترسيبية السائدة في الساحل والبحر متشابهة إلى حد كبير، وتضم وحدات كربوناتية وطفلية ومارلية ذات إمكانات مكمنية متفاوتة، تغطيها طبقات من الشيل والمارل فعّالة كصخور غطاء.

تُبرز هذه النتائج أهمية الساحل السوري بوصفه حلقة الوصل بين اليابسة والحوض البحري، وتؤكد أن التطور البنيوي والرسوبي في المنطقة أوجد ظروفًا جيولوجية مناسبة لتشكل تراكمات غازية ونفطية محتملة على امتداد سلسلة جبال اللاذقية داخل المياه الإقليمية السورية.

وبناءً على ما تم التوصل إليه في هذا الفصل، سيُخصص الفصل التالي لتحليل الموقع المكمني المقترح وتبرير اختياره علمياً وهندسياً كنموذج تطبيقي ضمن مشروع النمذجة المكمنية ثلاثية الأبعاد.

الفصل الثالث

اختيار المَوقع المكمني المُقترح ضمن حوض ليفانت على امتداد السّاحل السّوري

Selection of the Proposed Reservoir Site within the Levant Basin along the Syrian Coastal Zone

3–1 المقدمة (Introduction):

يُعد حوض ليفانت الواقع في شرق البحر الأبيض المتوسط، من أبرز الأحواض الرسوبية التي أثارت اهتمام الأوساط الجيولوجية و الطاقوية في العقود الأخيرة، نظراً لما يتمتع به من خصائص بنيوية و ترسيبية تؤهله ليكون موطناً لتراكمات هيدروكربونية ضخمة، لا سيما الغاز الطبيعي.

و في هذا المشروع ذس العنوان:

"نمذجة ثلاثيّة الأبعاد و تقييم هندسي واقعي لمكمن غاز محتمل في المياه الاقليميّة السّوريّة: دراسة حالة ضمن حوض ليفانت"

تم التركيز على تحليل الخصائص الجيولوجية و المكمنية لهذا الحوض ضمن نطاق المياه الإقليمية السورية بهدف تحديد موقع مناسب يبنى عليه النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد يحاكي واقع تراكمات الغاز في المنطقة.

يهدف هذا الفصل الى توثيق المبررات العلمية و الهندسية لاختيار الموقع النهائي للنموذج المكمني، و ذلك بالاعتماد على نتائج الدراسة الجيولوجية المفصلة التي أجريت سابقاً، إضافة الى تحليل مُعمّق لتقارير عالمية تابعة لجهات حكومية–دولية موثوقة (مثل: USGS) و دراسات علمية دقيقة تحوي على مقاطع سيزمية ناتجة عن مسوحات قامت بها شركات عالمية مثل شركة (GGS-Spectrum) الفرنسية، كما تم الاستناد الى بيانات آبار استكشافية حقيقية حفرت في مدينة اللاذقية على اليابسة، و هي تمثل الامتداد البنيوي نفسه للموقع المختار ضمن سلسلة جبال اللاذقية، حيث وجد فيها شواهد غازية و نفطية تعزّز مصداقية النموذج المقترح.

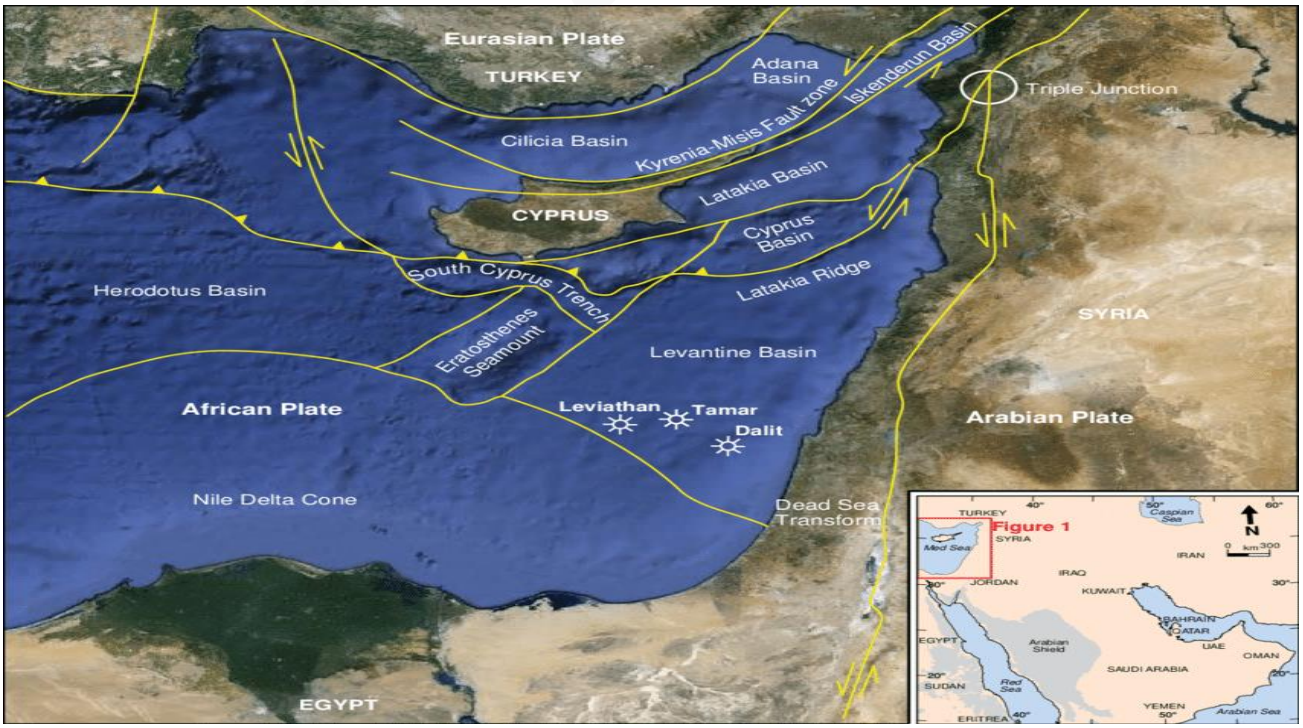
يُناقش هذا الفصل العوامل الأساسية التي تم اخذها بعين الاعتبار أثناء اختيار الموقع، مع التركيز على الوضع البنيوي (Structural Setting)، ليثولوجية الخزانات الرسوبية (Reservoir Lithology)، و استبعاد مناطق الانضغاطات الملحية المعقدة (Salt-Related Deformation Zones).

و قد تم في النهاية اعتماد الموقع المكمني بناءً على تحليل جيولوجي متكامل لكامل المعطيات السّابقة، و بالارتباط الوثيق بالفصل الذي قبله.

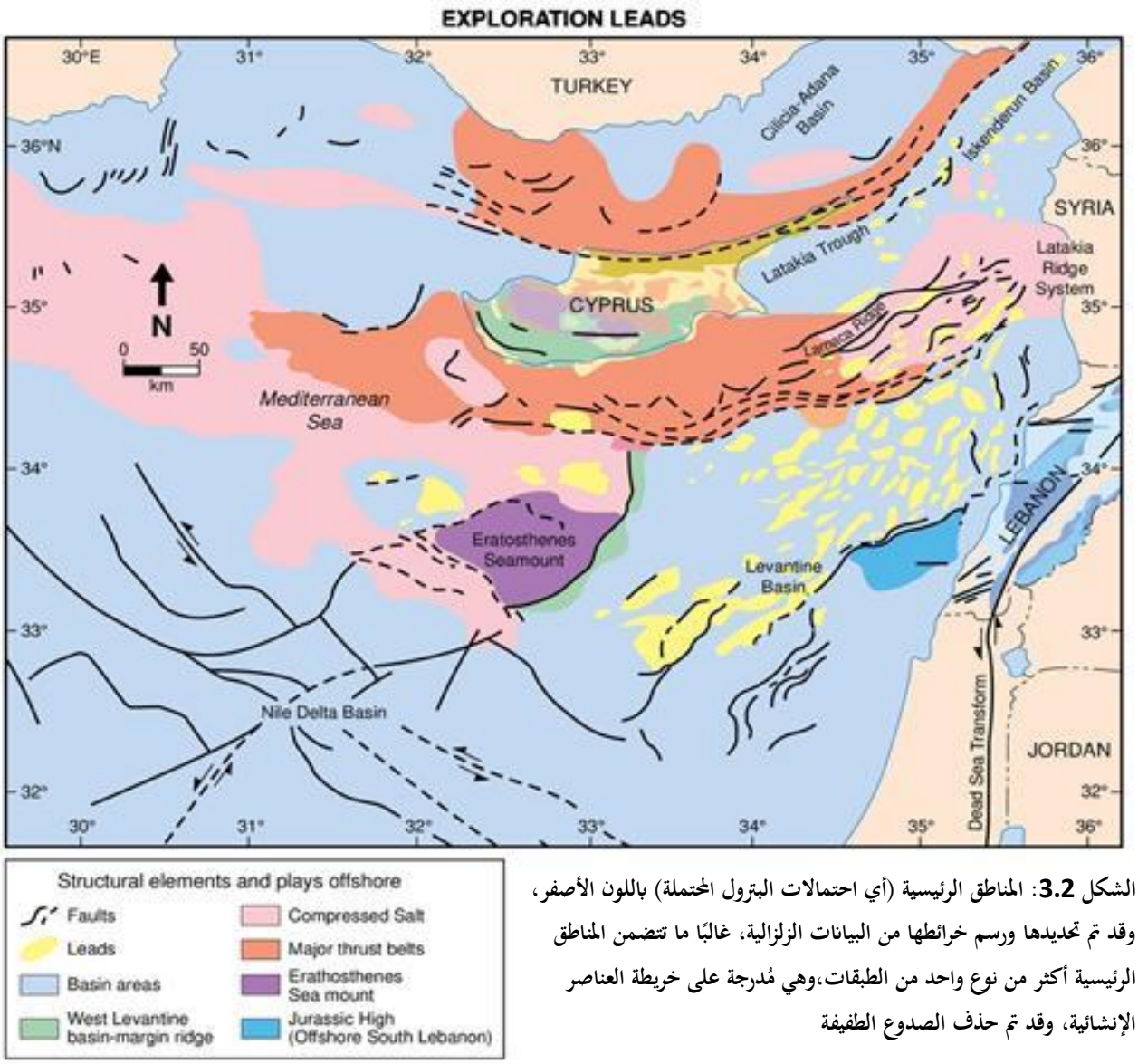
3-2 العلاقة مع الدراسة الجيولوجية السابقة لكل من حوض ليفانت والسّاحل السوريّ (Relation to the Previous Geological Study of the Levant Basin and the Syrian Coastal Zone)

يُعد هذا الفصل امداداً مباشراً للدراسة الجيولوجية المفصّلة التي أجريت سابقاً على كل من حوض ليفانت و السّاحل السّوري، والتي تضمّنت تحليلاً دقيقاً لكل من التّراكيب البنيويّة (Structural Features) و البيئات الترسيبية (Depositional Environments)، و أنظمة الخزانات المحتملة (Potential Reservoir Systems) ضمن المنطقة المدروسة.

و قد خلُصت الدراسة الى تحديد نطاق محدد يقع على امتداد متن اللّاذقية (Latakia Ridge) كمنطقة واعدة لتراكم الغاز الطبيعي، حيث تمتد سلسلة جبال اللاذقية من اليابسة السورية حتى عرض البحر في المياه الاقليميّة السوريّة (الشكل 3.1)، مدعوماً بأدلة جيولوجية ظهرت في الخرائط الاقليمية (الشكل 3.2)، إضافة الى تحليل شذوذات ملحية و وجود مؤشرات بنيويّة تدعم تشكل المصائد البنيوية (Structural Traps) ضمن هذا الجزء من الحوض.



الشكل 3.1: الخريطة الإقليمية امتداد سلسلة جبال اللاذقية من اليابسة السورية الى داخل البحر



الشكل 3.2: المناطق الرئيسية (أي احتمالات البترول المحتملة) باللون الأصفر، وقد تم تحديدها ورسم خرائطها من البيانات الزلزالية، غالبًا ما تتضمن المناطق الرئيسية أكثر من نوع واحد من الطبقات،وهي مُدرجة على خريطة العناصر الإنشائية، وقد تم حذف الصدوع الطفيفة

3-3 المنهجية العامة لاختيار الموقع المكمني
(General Methodology and Selection Criteria):

تم تحديد الموقع النهائي للنموذج المكمني بعد دمج نتائج الدراسة الجيولوجية الإقليمية مع مراجعة علمية لمصادر دولية و حكومية موثوقة، و على رأسها تقارير هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS.

وقَد استندت منهجية الاختيار الى مجموعة من المعايير العلمية و الفنية التي تضمن واقعية النموذج و سلامة الأساس الجيولوجي الذي بُني عليه، و شملت ما يلي:

– الموقع الجغرافي المناسب (Appropriate Geographic Location):

يقع الموقع المختار الى الغرب من مدينة طرطوس و يمثّل الامتداد الطبيعي في عرض البحر لمتن اللاذقيّة (Latakia Ridge)، ما يجعله ضمن الإطار البنيوي نفسه الذي أثبتت الدراسات وجود مؤشرات هيدروكرونية فيه.

– الابتعاد عن مناطق الانضغاطات الملحية (Avoidance of Compressed Salt Zones):

تم استبعاد المناطق التي تظهر فيها مظاهر انضغاط او تشوه ملحي ناتجة عن القبب المحلية (Salt Domes) لتجنّب التعقيدات البنيوية التي قد تؤثر على دقة النمذجة أو تفسير البيانات الزلزالية.

– وجود تراكيب بنيوية واعدة (Presence of Structural Traps):

تم التركيز على مناطق يُحتمل فيها وجود فوالق (Faults) و محدبات (Anticlines)، تشّكل مصائد بنيوية محتملة لتراكم الغاز الطبيعي.

– احتمالية وجود صخور خازنة (Potential Reservoir Rocks):

تم ترجيح وجود صخور خازنة ضمن تشكيلات الكريتاسي العلوي و الباليوجين استناداً الى الأدلة الجيولوجية في الدراسات المنشورة و المقاطع الزلزالية المتاحة.

– قابلية النمذجة الرقمية (Modeling Feasibility):

تم اختيار موقع يتميّز بانتظام التّشكيلات الرسوبية و قلة التّشوهات البنيوية، بما يتيح إنشاء نموذج مكمني ثلاثي الأبعاد واقعي باستخدام برنامج Petrel، مع وجود مصائد واضحة و بنية جيولوجية يمكن تمثيلها رقمياً بدقة.

استناداً لهذه المعايير، تم تثبيت الموقع المكمني المختار في المياه الاقليمية السورية.

تَجدر الإشارة الى ان تم تحديده بناءً على تحليل نوعي للمراجع العلمية المنشورة، و التي اشارت ان البنية المكمنية المختارة تقع على امتداد سلسلة جبال اللاذقية تحت البحر ضمن المياه الاقليمية السورية، و بعيدة عن نطاقات الانضغاطات الملحية.

كما بينت الدراسات وجود عدة بُنى على شكل محدّبات في هذا الجزء من الحوض، مما يبرر اعتماد هذا الموقع بشكل تقديري كنموذج واقعي محتمل لتراكم الغاز.

3-4 الابتعاد عن الانضغاطات المحلية (Avoidance of Compressed Salt):

يُعد وجود الانضغاطات البنيوبة الناتجة عن الحركات الملحية من العوامل التي تُربك في نمذجة المكامن، إذ ان تمثيل القبب الملحية (Salt Domes) ضمن النماذج الستاتيكية يعّد معقداً و غير ممكن بالوسائل الحالية، كما انه يُضعف دقة توزيع الخواص المكمنية و استقرار النموذج.

أظهرت الدراسات الأقليمية، بما في ذلك تقرير USGS (2010) و المسوحات السيزمية، ان أجزاء واسعة من الحوض المقابل للسواحل السورية تتأثر بانضغاطات ملحية عميقة (الشكل 3.2).

و بناءً عليه، تم اختيار موقع النموذج المكمني ليقع خارج هذه الانضغاطات، مع بقائه ضمن حدود المياه الإقليمية السورية، بما يحقق توازناً بين الواقعية الجيولوجية و السّيادة الجغرافية.

إضافة الى ذلك، تم التركيز على المناطق التي تحتوي مصائد بنيوية تقليدية (Conventional Structural Traps) مثل المحدّبات (Anticlines)، انسجاماً مع التوجهات الفعلية في الصناعة البترولية، التي تعطي الأولوية لمثل هذه التراكيب لسهولة تصويرها زلزالياً و ارتفاع فرص النجاح في استثمارها مقارنة بالمصائد المعقدة كالقبب الملحية.

3-5 التركيبة البنيوية و النموذج المكمني المفترض في الموقع المختار

(Structural Configuration and the Proposed Reservoir Model at the Selected Site)

تم في هذا المشروع اقتراح مصيدة بنيوية واقعية تقع ضمن حوض ليفانت، تحديداً في عرض البحر الى الغرب من مدينة طرطوس حيث الامتداد الطبيعي لسلة جبال اللاذقية ضمن البحر، و قد تم دعم فرضية وجود نموذج مكمني فعّال استناداً الى دمج علمي دقيق لنتائج دراستين مستقلتين لكل من (Bowman and Roberts)، تضمنتا على مقاطع سيزمية ثنائية الابعاد أجرتها شركات متخصصة مثل (GGS-Spectrum)، و أظهرتا مؤشرات بنيوية و جيوفيزيائية تعزز وجود نظام بترولي فعّال (Active Petroleum System) في الموقع المقترح.

أولاً – الدراسة الأولى:

(Bowman, Regional seismic interpretation of the hydrocarbon prospectivity of Offshore Syria)

اعتمدت هذه الدراسة على تفسير خطوط زلزالية ثنائية البُعد ضمن القطاع البحري السّوري، وأظهرت وجود بنية محدبة واضحة (Anticline) ضمن نطاق Block 2 (الشكل 3.3) في عرض البحر على امتداد متن جبال اللاذقية، و قد تميزت هذه البنية بعدة مؤشرات قوية، من أبرزها:

- ظهور ما يعرف بالبقعة المسطحة (Flat Spot) واضح في منتصف البنية تقريبا (الشكل 3.4)، وهي إشارة مباشرة لاحتمال تواجد الغاز، يعتبر ظهور البقعة المسطحة (Flat Spot) من اقوى المؤشرات الزلزالية المباشرة

  (Direct Hydrocarbon Indicator-DHI) على وجود تلامس بين غاز و مائع آخر نتيجة اختلاف الكثافة بين المائعين، و غالباً ما يدل على وجود غاز حر في قمة المصيدة.
- تسجيل وجود مداخن غاز (Gas Chimneys) ممتدة من الأعماق حتى قاع البحر (الشكل 3.5)، مما يدل على وجود حركة غازية نشطة تؤكد فعالية النظام البترولي في الموقع، رغم احتمالية حصول تسرب جزئي لاحق نتيجة ضعف الغطاء او تجدد نشاط بنيوي.
- تغيّر هندسة البنية و تقّعرها (Concave-up Geometry) ما يدل على أن البنية قد خضعت لتشوهات انضغاطية لاحقة أثّرت على تشكيلات الكريتاسي المتأخر.

ثانياً – الدراسة الثانية:

(Robert, Hydrocarbon plays and prospectivity of the Levantine Basin, offshore Lebanon and Syria from modern seismic data)

هذه الدّراسة ركّزت على تحليل الإمكانات البترولية (Petroleum Prospectivity) لحوض ليفانت، موثّقة أنماط المصائد البترولية المنتشرة ضمنه، و أكدّت وجود محدّبات مترافقة مع فوالق تمتد من الساحل السوري جنوبًا إلى المياه الإقليمية اللبنانية والمصرية و ذلك على امتداد متن اللاذقية ضمن البحر (Latakia Ridge Offshore Extension) (الشكل 3.2).

ما يُميز هذه الدراسة هو أنها تُظهر مقطعاً زلزالياً (الشكل 3.6) لبنية مشابهة من حيث الشكل و العمر و التوضع الجيولوجي، مما يُعزز موثوقية فرضية هذا البحث.

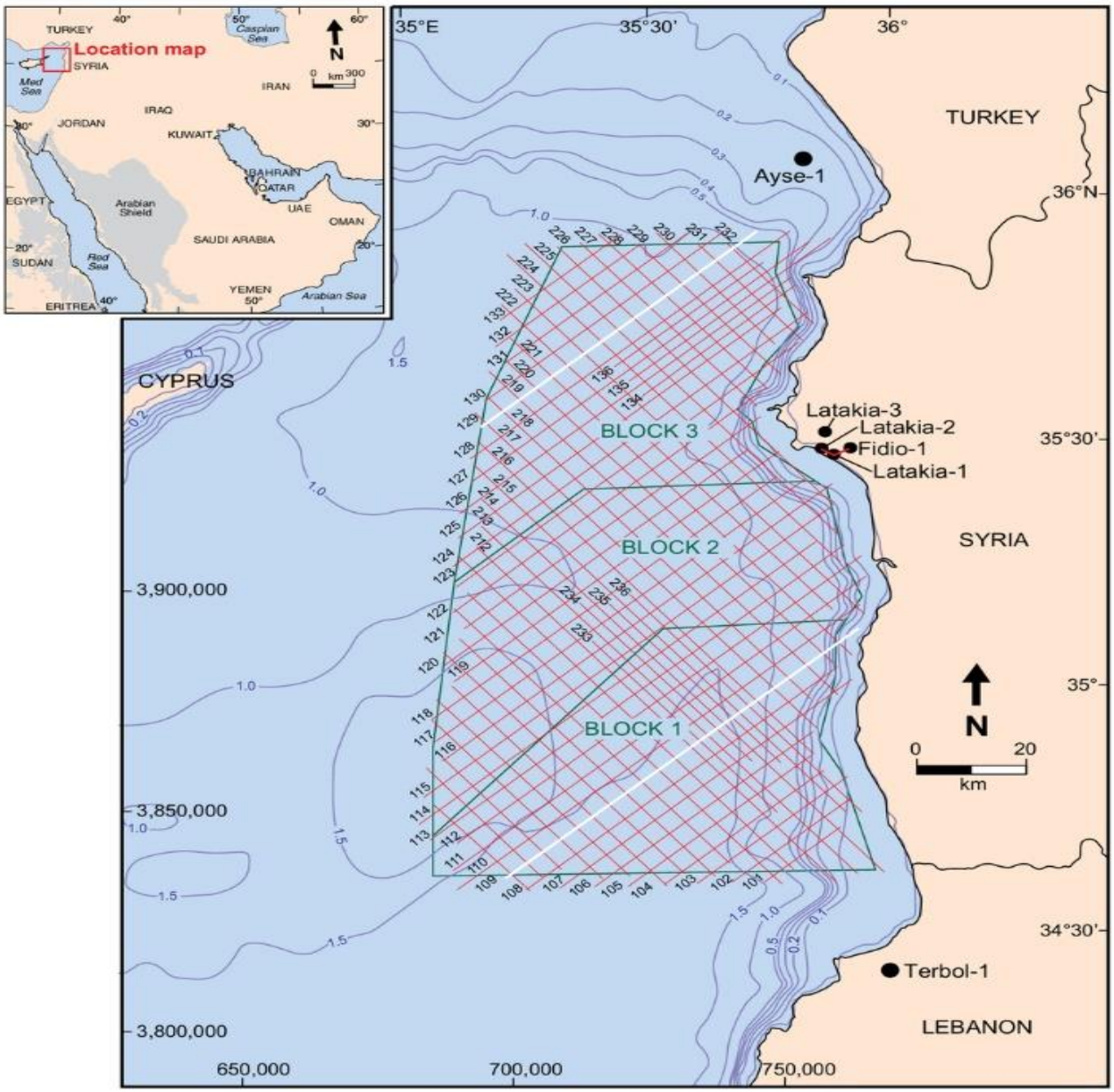
كما أشارت الدراسة الى أن الامتداد البحري لسلسلة جبال اللاذقية يُعد من أكثر المناطق ترشيحاً لاحتضان مكامن غازية بنيوية محدّبة (Anticline)، وهي نفس السلسلة التي تم اعتمادها كأساس لاختيار الموقع الحالي.

ثالثاً – الدمج بين الدراستين و تكوين النموذج المقترح:

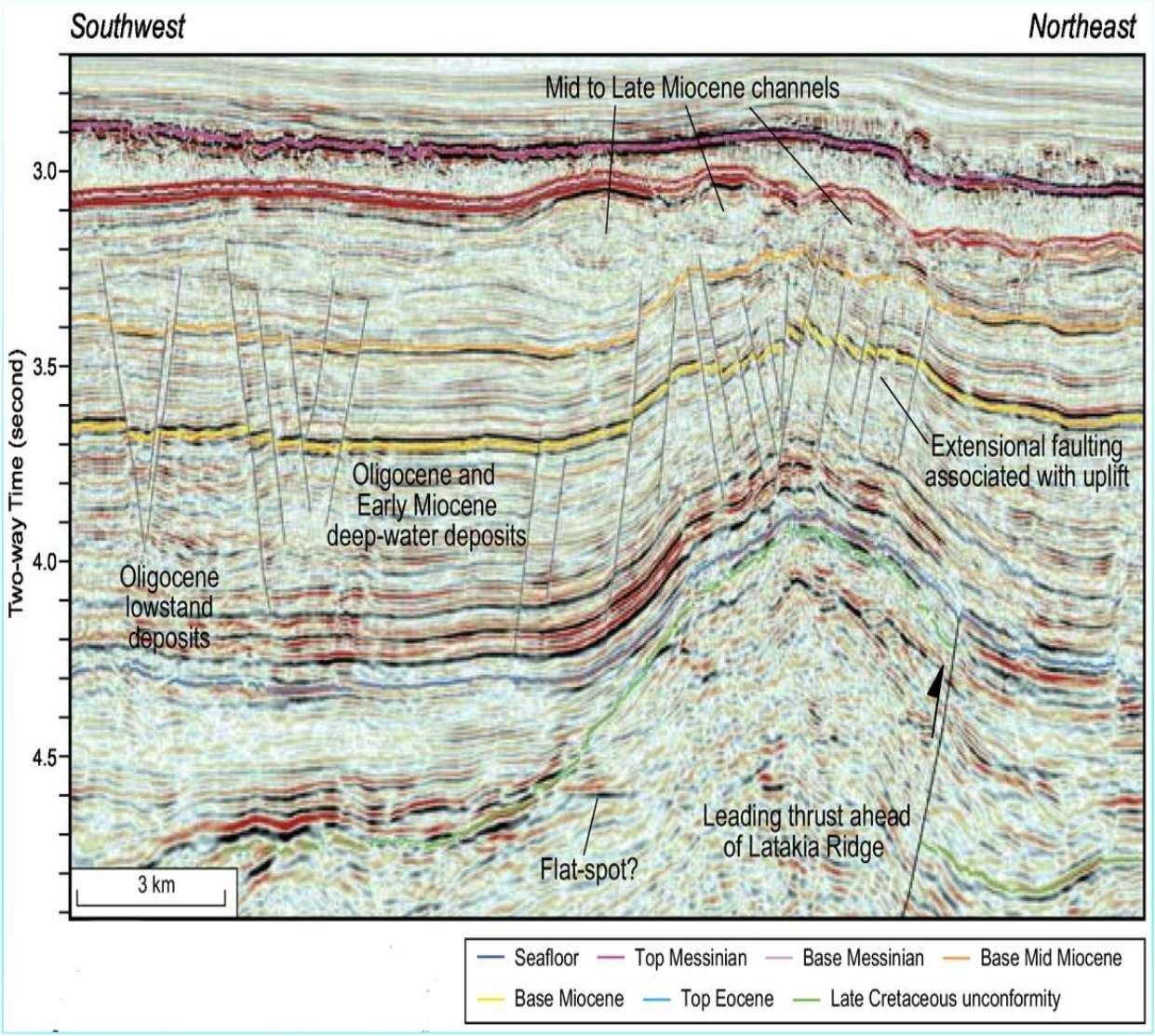
إن الدمج المنهجي بين الدراستين السابقتين يُعزز منطقية اختيار الموقع المقترح، حيث تمّ اعتماد المقطع السيزمي ثنائي الأبعاد الوارد في الدراسة الاولى كنموذج تركيبي سيتم محاكاته لاحقًا داخل برنامج Petrel.

في المقابل تُعد الدراسة الثانية بمثابة دليلاً إقليمياً داعماً يثبت أن البنية المختارة ليست حالة منفردة، بل تمثّل جزءًا من نمط تكتوني واسع الانتشار ضمن الحوض.

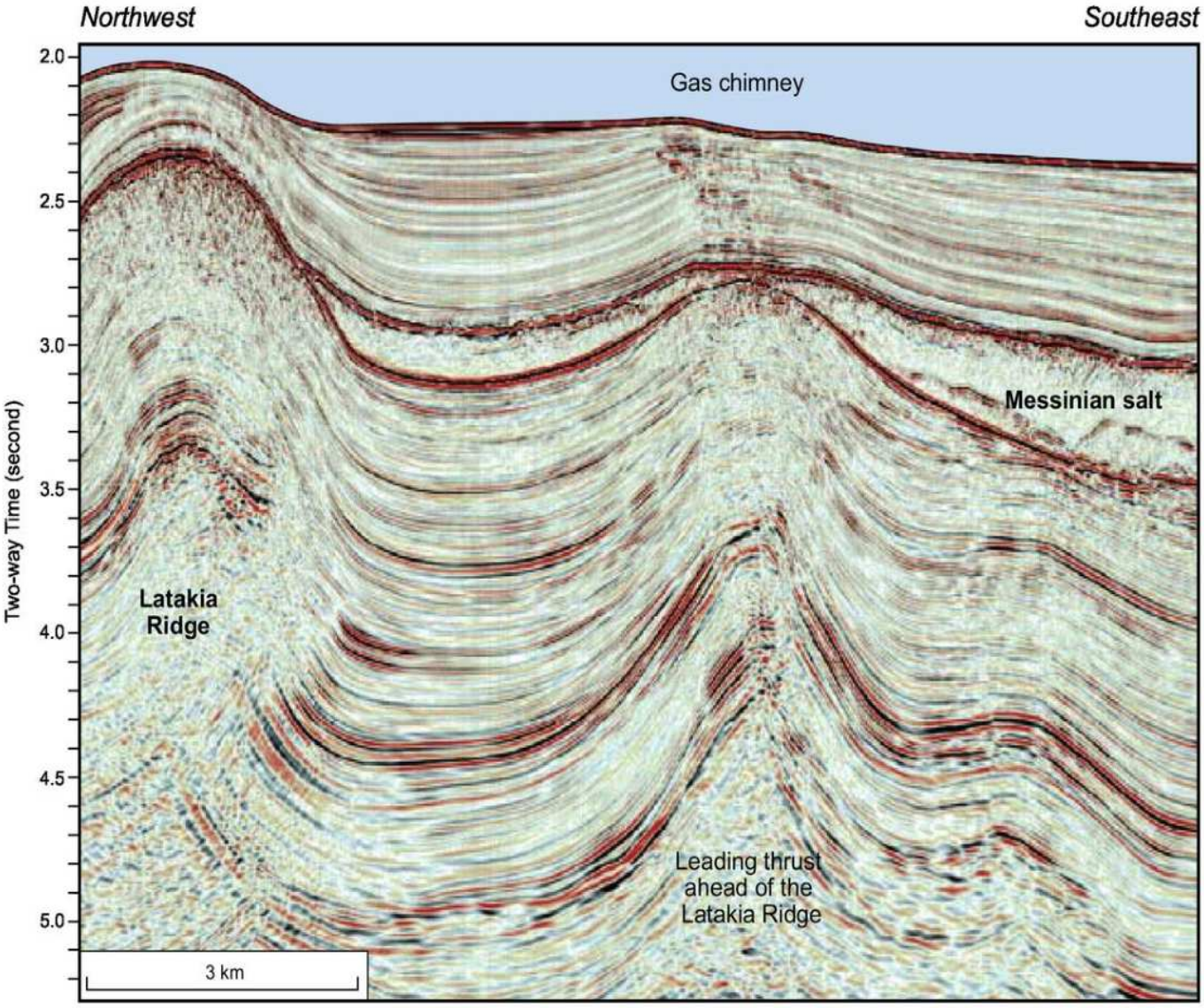
و سيتم في فقرة لاحقة ضمن التقرير مناقشة التراكيب الطبقية المحتملة ضمن هذه البنية، بالاستناد الى مضاهاة مع بيانات آبار برية مجاورة.



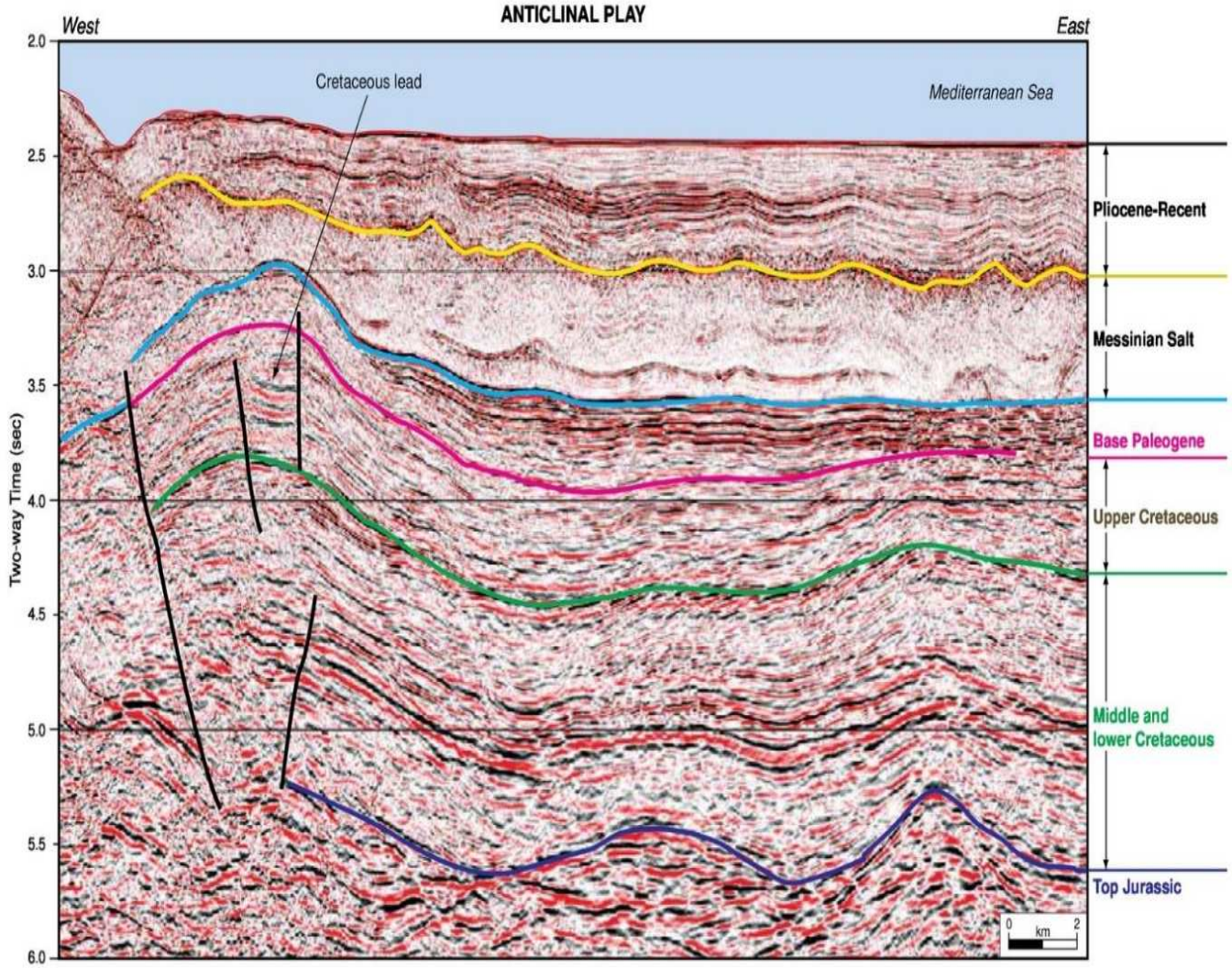
الشكل 3.3: قاعدة بيانات شركة CGGVeritas الفرنسية للبيانات الزلزالية ثنائية الأبعاد في المياه الإقليمية السورية، تم الحصول عليها عام ٢٠٠٥، عمق المياه مُبين بالكيلومتر.



الشكل3.4: مقطع زلزالي ثنائي الأبعاد يظهر مُحدّب (Anticaline) تقع ضمن Block 2 قبالة الساحل السوري، تلاحظ بوجود مؤشرات بترولية مباشرة أبرزها بقعة مسطّحة "Flat Spot" ضمن البنية.



الشكل3.5: مقطع زلزالي ثنائي الأبعاد يظهر مداخن غاز **Gas Chimney** فوق النّهوض الرئيسي لمتن اللّاذقية.



الشكل3.6: مقطع زلزالي ثنائي الأبعاد بعرض 3km تقريباً يظهر وجود بنى مشابهة لبنيتنا المختارة على امتداد متن اللاذقية، في عرض البحر

3-6 التطور البنيوي للبنية المختارة و تفسيرها الزلزالي
(Structural Evolution and Seismic Interpretation of the Selected Prospect):

تُظهر البيانات الزلزالية المنشورة ضمن الدراسة الأولى وجود بنية محدبة (Anticline) واضحة على امتداد متن سلسلة جبال اللاذقية، تقع في نطاق مأمول بترولياً وفق (الشكل 3.1) هذه البنية.

تُعدّ هذه مصيدة تركيبية (Structural Trap)، يرجّح ان يعود عمرها الى الكريتاسي العلوي، و هي مرحلة شهد فيها الحوض ترسيباً هامشياً الهادئاً (Passive Margin Sedimentation) مكوناً لبيئات كربوناتيّة و ماريّة و طينيّة، وَقد تم تأكيد هذا ضمن الدراسة الجيولوجية السّابقة للحوض من خلال تحليل و دراسة المقاطع السيزميّة المنشورة، و أكّد على صحة هذا التحليل من خلال بيانات الآبار البرية المحفورة في القسم البري لحوض ليفانت على الامتداد الطبيعي لمتن سلسلة جبال اللاذقية ضمن محافظة اللاذقية، و هي:

1- **بئر فيديو-1 (Fideo-1)**: وصل الى عمق يقارب (4112 م)، و اخترق كربونات الترياسي مع وجود كربونات في الكريتاسي العلوي حتى الأيوسين، وقد تم العثور على كميات ضئيلة غير تجارية من الغاز بالتحديد ضمن كربونات الكريتاسي السفلي و المتمثّل بحجر كلسي (Limestone) مما يدل على وجود نظام بترولي فعّال على هذا الامتداد.

2- **بئر اللاذقية – 1 (Latakia-1)**: بلغ عمقه (4237 م)، مخترقاً لكربونات العصر الجوراسي السفلي و الترياسي، تم تسجيل مؤشرات غازية ضمن كربونات الكريتاسي العلوي و الحقب الثالث السفلي (باليوجين)، لكن يعتقد ان المياه الجوفية غمرت بعض هذه المصائد، و ايضاً عثر على طبقة رملية تحوي على شواهد نفطية تعود الى الكريتاسي السفلي مغطاة بطبقة من الشيل.

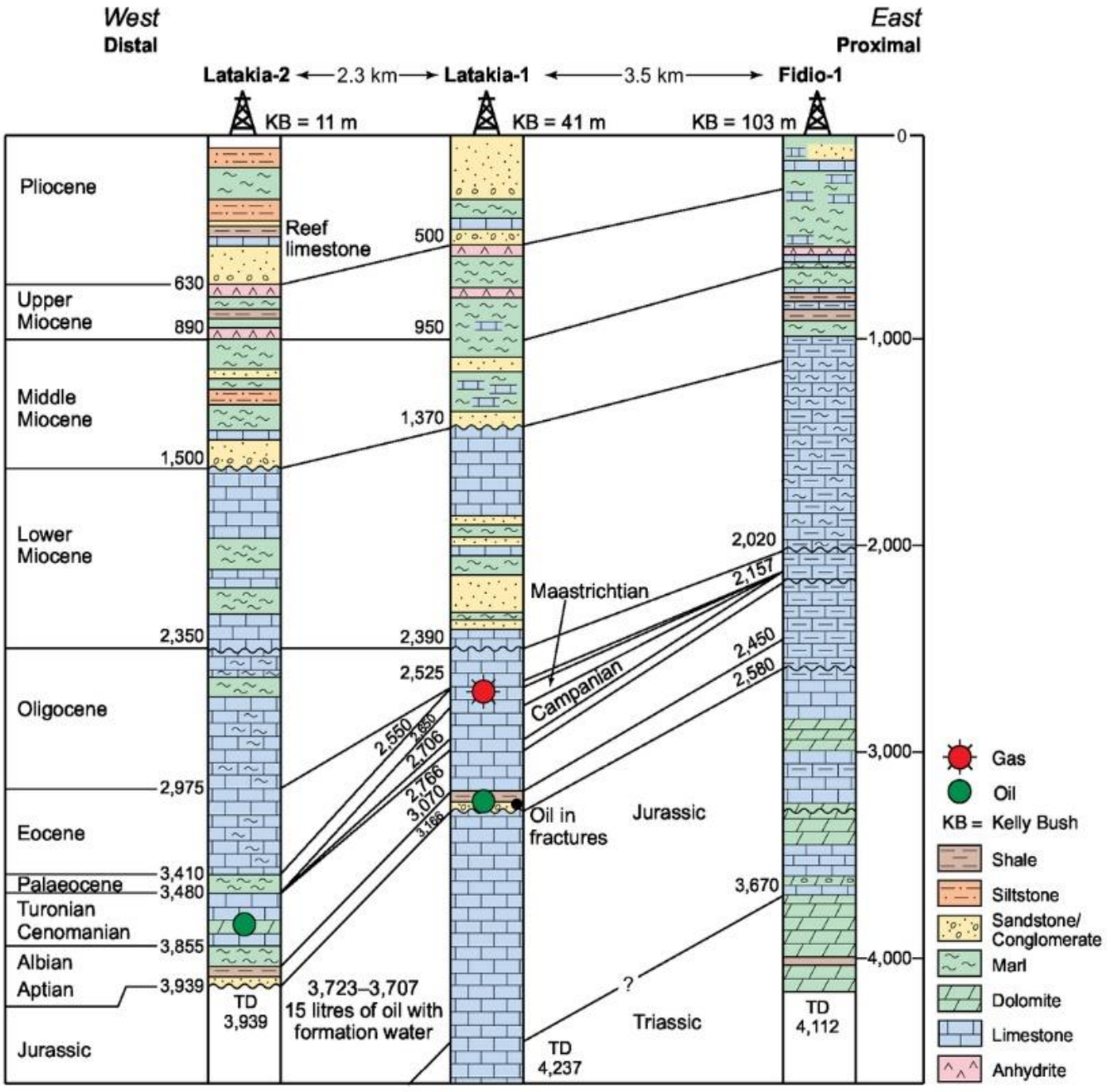
3- **بئر اللاذقية – 2 (Latakia-2)**: وصل الى عمق (3939 م)، اخترق طبقة رملية مفتتة تتوافق بالمضاهاة مع الطبقة الحاملة للنفط في البئر السّابق، كما تم خروج غاز قابل للاحتراق من كربونات العصرين الأيوسيني و الأوليغوسيني، و عثر ايضاً فيه على مواقع غازية في كربونات العصر الكريتاسي العلوي و فوقها طبقة من المارل.

تشير هذه النتائج مجتمعة لوجود مكمن كربوناتي فعّال ضمن تكوينات الكريتاسي العلوي في البنية المختارة، مغطى بطبقات من المارل و الشيل التي تُعدّ صخور غطاء فعّالة.

و في مراحل لاحقة من التطور الجيولوجي للحوض تعرضت المنطقة لإجهادات انضغاطية اقليمية (Regional Compressional Stresses) أدت الى إعادة تنشيط الصدوع (Fault Reactivation) و تشكل البنية الحالية و باقي البُنى المشابهة في المنطقة.

و قد اظهرت التفسيرات الزّلزاليّة وجود شواهد مميزة لوجود الهيدروكربونات ضمن الطية (Direct Hydrocarbon Indicator-DHI) مثل: البقعة المسطّحة (Falt Spot) و وجود مداخن غاز (Gas Chimneys)، مما يعزّز فرضيّة وجود تراكمات غازيّة فعّالة في هذه المنطقة و هذه البنيّة تحديداً.

ان الجمع بين العمر البنيوي، و تاريخ التطور التكتوني، و وجود المؤشرات الزلزالية المباشرة، مدعوماً ببيانات آبار حقيقية، يعزز منطقية اختيار هذه البنية كهدف رئيس للنمذجة المكنية ثلاثية الأبعاد في هذا المشروع.



الشكل3.7: مضاهاة بين آبار اللاذقية–1، واللاذقية–2، وفيديو–1، على امتداد سلسلة جبال اللاذقية ضمن البر، انظر الشكل 3 للموقع.

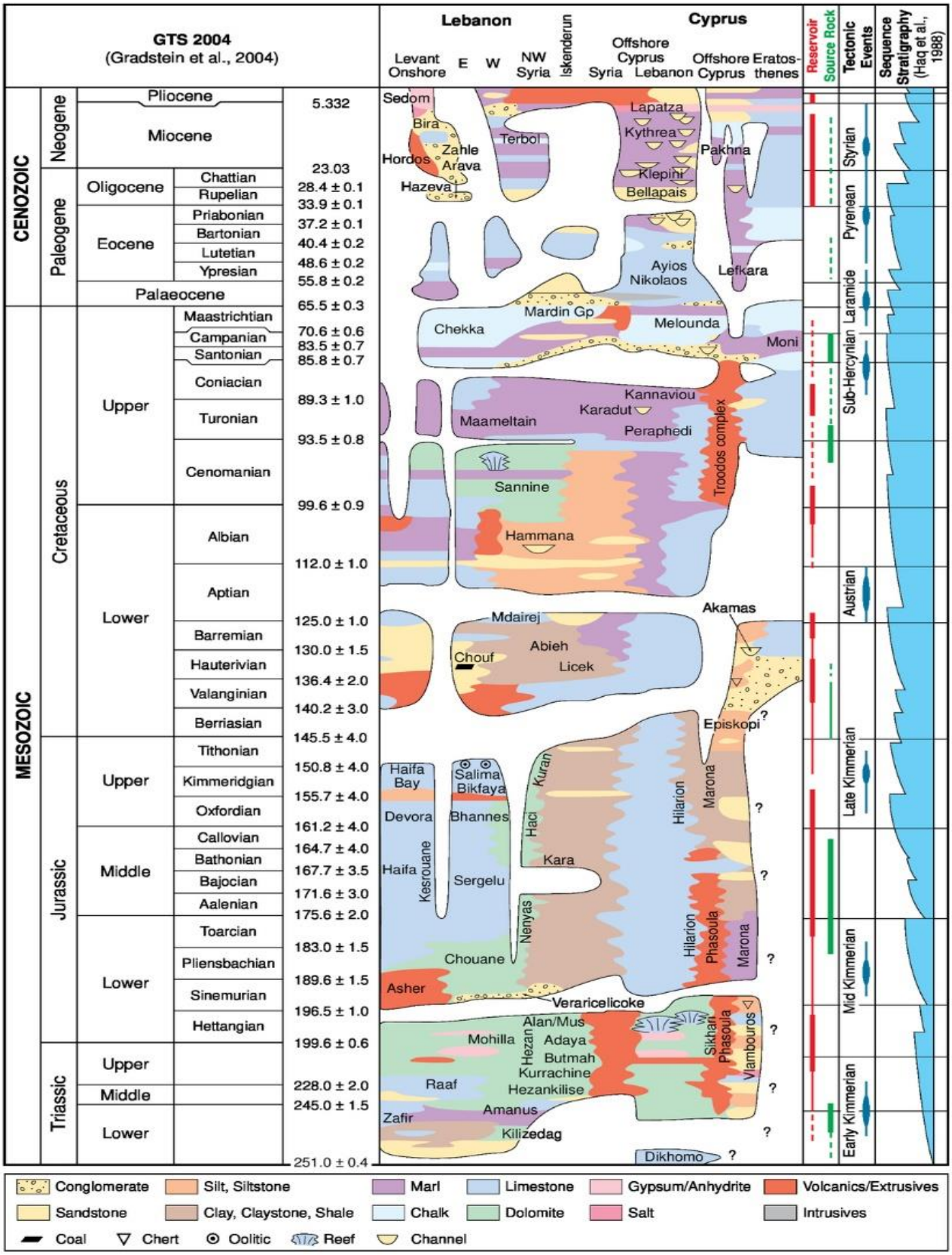
3-7 تحديد نوع الصخور الخازنة و الغطاء المحتملين في البنية المختارة
(Identification of Potential Reservoir and Seal Lithologies in the Selected Structure)

استناداً التحليل البنيوي و الجيوكيميائي للموقع المكمني المختار، و بالاعتماد على الدراسة الجيولوجية للحوض و السّاحل السّوري التي أعدت سابقاً، إضافة الى بيانات الآبار الأستكشافية المحفورة على اليابسة ضمن الامتداد البنيوي لسلسلة جبال اللاذقية، تم تحديد نوع الصخور الخازنة و الغطاء المحتملين في البنية المدروسة.

تشير نتائج المضاهاة الليثولوجية بين الآبار البرية الثلاثة (فيديو-1، لاذقية-1، لاذقية-2) (الشكل 3.7) الى تواجد واضح لصخور كربوناتية "حجر كلسي و حجر دولوميتي" (Dolomite/Limestone) ضمن الكريتاسي الأعلى، و هي صخور معروفة بقدرتها على تخزين الهيدروكربونات، خاصة عند تحسن نفوذيتها بفعل التشققات او التحلل الجزيئي للمعادن، كما أظهرت البيانات وجود طبقات من المارل و الشيل في الميوسين الأوسط يمكنها ان تشكل صخور غطاء فعّالة تمنع هروب الهيدروكربونات من المصيدة.

و يدعم المقطع الجيولوجي (الشكل 3.8) المنشور ضمن الدراسة الثانية، الخاص بالجزء الشمالي من حوض ليفانت قبالة السواحل السوريّة و اللبنانيّة و القبرصيّة هذا التفسير، حيث يُظهر المقطع بوضوح توزع الصخور الكربوناتية "حجر كلسي و حجر دولوميتي" (Dolomite/Limestone) ضمن الكريتاسي العلوي، مغطاة بطبقات من المارل و الشيل تعود للميوسين و الأوليغوسين، مما يعزز موثوقية افتراضنا لنوع الصخور الخازنة و الغطاء للبنية المختارة.

ان توافق هذه النتائج جميعها مع ما خلُصت إليه الدّراسة الجيولوجية للحوض من حيث تاريخ الترسيب الهامشي للكربونات و الرمل و الطين منذ العصر الكريتاسي، يعزز منطقية النموذج المكمني المقترح و يدعم واقعية تمثيله ضمن برمجيات النمذجة المكمنية.



الشكل3.8: يُشار إلى طبقات الجزء الشمالي من حوض ليفانت في العمود أسفل ساحل قبرص/سوريا/لبنان، حيث تُشير الصخور المختلفة إلى العلاقة بين ترسب الجرف والحوض.

3-8 خُلاصة الفصل الثّالث (Conclusion of Chapter Three)

يقدّم هذا الفصل خُلاصة الجّهود العلمية والهندسية التي أُجريت لاختيار الموقع المكمني المقترح ضمن حوض ليفانت على امتداد سلسلة جبال اللاذقية، و ذلك بالاعتماد على دمج وتحليل بيانات زلزالية إقليمية منشورة، ودراسات علمية متخصصة و (Bowman, 2011 and Roberts, 2007) ، إضافة الى بيانات آبار استكشافية محفورة على اليابسة السورية و دراسة جيولوجية مفصلة للحوض أُعدت مسبقاً.

أظهرت نتائج التحليل وجود بنية محدّبة واضحة مدعومة بمؤشرات هيدروكربونية مميزة، من بينها ظهور البقعة المسطحة (Flat Spot) و مداخن غازية (Gas Chimney)، مما يعزز من احتمالية وجود تراكمات هيدروكربونية في المنطقة.

ورغم محدودية البيانات البحرية المباشرة، فإن الاعتماد على بيانات مشابهة من مناطق مجاورة ونتائج الآبار البرية أتاح وضع أساس علمي قوي لتفسير الخصائص البنيوية والطبقية للموقع، مما يجعل النتائج لا تستند إلى افتراضات نظرية فحسب، بل إلى دلائل جيولوجية وهندسية داعمة.

يعد هذا الفصل خطوة أساسية تمهّد للمرحلة التالية من المشروع، والمتمثلة في بناء نموذج مكمني ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Petrel، والذي آتاح إجراء تقديرات أولية للاحتياطي الجيولوجي، ما مهّد الطريق لمزيد من الدراسات المتقدمة والتقييمات الاقتصادية المستقبلية.

الفصل الرّابع

التّقييم البنيوي و الطّبقي و تعيين الخواص البتروفيزيائية للبنية المُختارة ضمن حوض ليفانت

Structural, Stratigraphic, and Petrophysical Evaluation of the Selected Structure within the Levant Basin

4–1 المقدمة (Introduction)

يهدف هذا الفصل إلى تقديم عرض تحليلي متكامل للخصائص البنيوية والطباقية والبتروفيزيائية للبنية المكمنية المختارة ضمن حوض ليفانت قبالة الساحل السوري، و يتضمن ذلك تحديد العمق والعمر الجيولوجي للبنية و تعيين كل من (النفوذية، المسامية، سماكة الطبقة المنتجة، و درجة التشبع بالماء و الغاز) مع ربطها بالدلائل المستقاة من الآبار الاستكشافية البرية، إضافةً إلى توصيف نوعي الصخور الخازنة والغطاء، كما يُعرض ملخص للخصائص البتروفيزيائية المعتمدة في النمذجة المكمنية.

ويُعد هذا الفصل امتداداً داعمًا للفصل السابق الذي تناول مبررات اختيار الموقع المكمني، حيث يركّز هنا على توصيف الخواص الداخلية التي تحدد السلوك المكمني للبنية المدروسة.

4–2 تحديد العمر و العمق و الترابط الطبقي – المكمني للبنية المختارة (Age, Depth, and Reservoir – Seal Correlation of the Selected Structure)

يُظهر المقطع السيزمي المعتمد للبنية المكمنية المدروسة (الشكل3.4) انعكاسًا واضحًا باللون الأخضر تم تحديده ضمن المقطع نفسه على أنه يمثّل قمة الكريتاسي الأعلى ضمن البنية المدروسة.

ونظرًا لغياب بيانات الحفر البحرية المباشرة، فقد تم اعتماد مضاهاة بنيوية—طبقية بين هذا السطح الزلزالي والبيانات الطبقية من الآبار البرية المحفورة على امتداد سلسلة جبال اللاذقية، لكونها تمثل الامتداد البنيوي والرسوبي الطبيعي للمنطقة البحرية. ويُعد هذا الأسلوب من الطرائق العلمية المعتمدة في الدراسات الإقليمية عند توفر بيئات ترسيب متصلة جيولوجياً، كما هو الحال في الساحل السوري الذي يربط رسوبياً بين اليابسة والحافة القارية.

بمقارنة هذا السطح مع المعلومات المتوفرة من الآبار الاستكشافية على اليابسة في منطقة اللاذقية، تبيّن أن تم الوصول إلى قمة الكريتاسي على أعماق تراوحت بين نحو (2700 م) في أحد الآبار و(3400 م) في آبار أخرى.

واستنادًا إلى هذا الترابط، تم تقدير العمق المتوقع لقمة البنية البحرية المختارة عند حوالي (3200 م) تحت

قاع البحر (Subsurface Depth Below Seafloor) ومع الإشارة إلى أن هذا العمق يُمثّل المسافة تحت قاع البحر، في حين يُقدّر عمق عمود الماء في هذا الجزء من الساحل السوري بنحو (1300م) وفق (الشكل3.3) من الفصل الثالث المستند إلى دراسة Steven A. Bowman، ما يجعل العمق الكلي من سطح البحر يقارب (4500 م) تقريبًا.

كما يُظهر المقطع السيزمي (الشكل3.4) انعكاسًا لبقعة مسطحة (Flat Spot) متموضعة تقريباً في الربع السفلي من الطيّة، يُفسَّر كواجهة تماس بين الغاز والماء (GWC) بعمق مرجعي يقارب (3330 م).

وبتحليل موقع هذه البنية وتوافقها في العمق والعمر مع بيانات الآبار البرية المجاورة، يمكن إسناد السطح الزلزالي إلى المتتاليات الكربوناتية العائدة للعصر الكريتاسي الأعلى، والتي تمثلها إقليمياً تشكيلة شيرانيش (Shiranish Formation) المعروفة بخصائصها المكمنية وامتدادها الواسع في مختلف مناطق سوريا (الشكل 4.1).

ويعزز هذا الإسناد ما أثبتته الدراسات الجيولوجية الإقليمية من أن كامل الأراضي السورية كانت مغمورة بالبحر خلال أواخر الكريتاسي (الشكل 4.2)، مما أدى إلى ترسيب متتاليات كربوناتية ومارلية متجانسة على امتداد السطيحة من الشرق حتى السّاحل، وهو ما يثبت الاستمرارية الرسوبية والطبقية بين اليابسة والبحر.

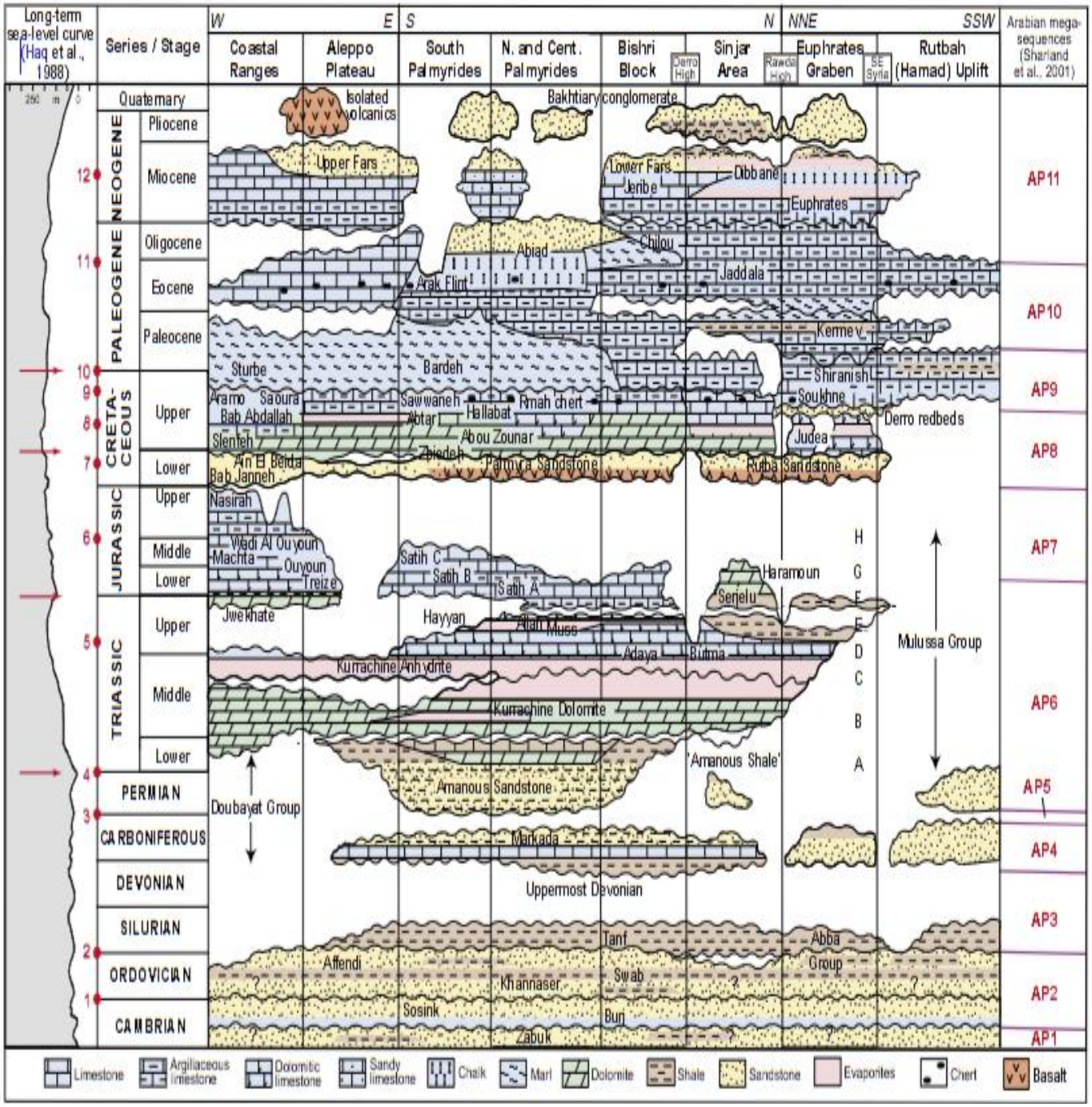
ويُظهر هذا النظام الطبقي–المكمني استمرارية جيولوجية متكاملة من اليابسة إلى البحر، مدعومة بالخرائط الإقليمية، التي تؤكد أن هذه المنطقة كانت بيئة ترسيب هامشية هادئة إلى متوسطة مناسبة لتشكل الصخور الكربوناتية والمارلية والطينية كما تم ذكر ذلك في الدراسة الجيولوجية التي أُعدت لكل من حوض ليفانت و السّاحل السّوري.

إن تشكيلة شيرانيش موجودة كتشكيلة خازنة إقليمياً عبر مختلف أنحاء سوريا من الشرق الى الوسط و حتى السّاحل، غير أن تواجد الهيدروكربون فيها يرتبط بسلامة المصيدة والتاريخ التكتوني.

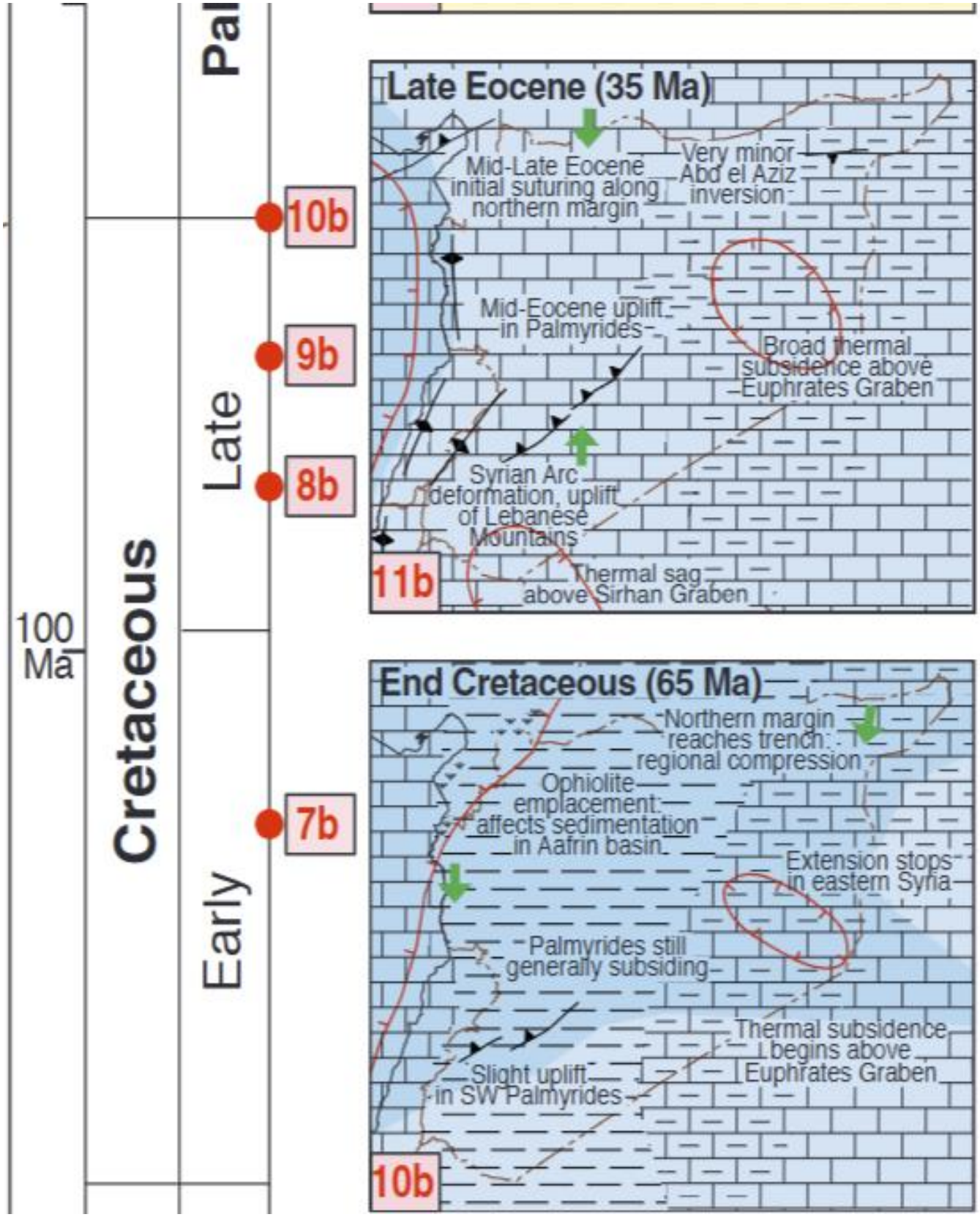
ففي بعض المناطق و خصوصاً ضمن الآبار التي حفرت ضمن حوض ليفانت لكن في الجزء الواقع على اليابسة ضمن مدينة اللاذقية، تم التحقق من وجود خزانات غازيّة تابعة لنفس العمر لكن بكميات غير تجارية لأنه يعتقد أن هذه الخزانات قد غُسلت بالمياه الطبقية (Water Flushing) نتيجة ضعف كفاءة الغطاء أو إعادة تنشيط الصدوع، مما أدى إلى فقدان الشحن الهيدروكربوني، اما في المنطقة الشرقية تعد من التشكيلات الخازنة و المنتجة كحقل سازابا النفطي على الحدود السّورية التركيّة.

ورغم ذلك، تُظهر البنية المختارة مؤشرات سيزمية قوية مثل الـ(Flat Spot) ، تؤكد وجود هيدروكربون محفوظاً داخل المصيدة وعدم تعرضها لعمليات غسل مائي واسعة، مما يعزز منطقية اعتمادها كبنية محددة لمكمن غازي محتمل.

أما الغطاء المكمني فيُفترض أن تؤمّنه وحدات مارلية—شيلّية تابعة للباليوسين، تعلو الشيرانيش فوق سطح عدم توافق إقليمي يميّز نهاية الكريتاسي، وتظهر هذه الطبقات المارلية بوضوح فوق تشكيلة شيرانيش من المنطقة الوسطى في سوريا حتى الساحل السوري (الشكل 4.1).



الشكل4.1: الطبقات الصخرية في سوريا استنادًا إلى التكشفات السطحية وسجلات الحفر



الشكل4.2: خريطة سوريا اثناء التجاوز البحري خلال العصر الكريتاسي مما شكّل بيئة ترسيبية هادئة على كامل امتدادها الجغرافي الحالي

3–4 تعيين الخواص البتروفيزيائية للبنية المدروسة

(Determination of Petrophysical Properties of the Studied Structure)

نظرًا لعدم توفر بيانات مباشرة من الآبار البحرية، تم اعتماد طريقة الاستقراء الجيولوجي (Geological Extrapolation Method) لتقدير الخصائص البتروفيزيائية للبنية المختارة، وذلك من خلال إسقاط الخصائص المقاسة في الحقول البرية السورية الواقعة شرقًا على امتداد المتتاليات الطبقية نفسها – وتحديدًا في حقل سازابا المنتج من تشكيلة الشيرانيش (Shiranish Formation) ، الذي يُعد نظيراً جيولوجياً مباشِراً للبنية المدروسة.

أظهرت البيانات المنشورة من حقل سازابا أن **المسامية** (ϕ) في النطاقات الخازنة تتراوح بين **18–22%** بمتوسط يقارب **20%**، بينما تنخفض إلى حدود **2–8%** في الوحدات المارلية الكتيمة. أما **النفاذية (k)** فتراوحَت بين **1–70 ملي دارسي** بمتوسط يقارب **35** ملي دارسي، وهي قيم نموذجية لتكوينات كربوناتية مطوّرة بالشقوق والتكهفات.

باستخدام هذا النهج الاستقرائي، تم تقدير أن العمود المكمني في البنية البحرية يتألف من ثلاث نطاقات رئيسية:

- نطاق خازن فعّال بسمك يقارب **90 م**.
- نطاق انتقالي بسمك يقارب **40 م**، حيث تزداد درجة التشبع بالماء تدريجيًا وصولًا إلى تماس الغاز–الماء (GWC) المحدد زلزاليًا عند الربع السفلي للبنية.
- نطاق كتيم بسمك **30–35 م** يحتوي مياه طبقية فقط.

اعتمادًا على هذا التقسيم، تم تحديد **صافي الثخانة المنتجة (90 m)** مقابل **سمك إجمالي (Gross Thickness ≈ 180 m)** بنسبة **(≈ 0.5)** .

كما أظهرت الدراسة أن تشبع النفط بلغ (~76%) في المكامن البرية لذلك تم اعتماد **تشبع غازي (Sg ≈ 76%)** مقابل **تشبع مائي (Sw ≈ 24%)** ، وهي نسب منطقية هندسيًا لبيئة مكمنية بحرية متطورة.

إن موقع البنية الأعمق (~3000 م تحت قاع البحر) وارتفاع الضغط الحراري النسبي في هذا الجزء من الحوض، يشيران إلى أن النضج الحراري (Thermal Maturity) كان كافيًا لتوليد الغاز الطبيعي مع نسبة محدودة من المكثفات، ويؤكد هذا التفسير ما لوحظ في الآبار البرية المجاورة على نفس امتداد سلسلة جبال اللاذقية، التي أظهرت شواهد غازية حقيقية في طبقات الشيرانيش لكنها كانت غير اقتصادية بسبب غسلها بالمياه الطبقية، و هو ما يُرجَّح عدم حدوثه في البيئة البحرية الأعمق حيث استُمر حفظ

الغاز بدليل ظهور البقعة المسطّحة (Flat Spot) بشكل واضح ضمن المقطع السيزمي.
كما أن ظهور المدخنة الغازية Gas Chimney . الممتدة على طول سلسلة جبال اللاذقية ضمن البحر يشكل دليلاً زلزالياً مباشراً إضافياً على وجود نشاط غازي فعلي في هذا الجزء من الحوض.

4-4 خُلاصة الفصل الرابع (Conclusion of Chapter Four)

استعرض هذا الفصل الخصائص البنيوية والطبقية والبتروفيزيائية للبنية المكمنية المختارة ضمن حوض ليفانت، معتمداً على تكامل الأدلة السيزمية المنشورة — مثل ظهور بقعة مسطحة و مدخنة غازية مع بيانات الآبار المحفورة على اليابسة في منطقة اللاذقية، بالإضافة إلى المقارنات الإقليمية مع المتتاليات الكريتاسية في باقي أنحاء سوريا.
بيّن التحليل أن تشكيلة الشيرانيش تُعد احدى أهم المتتاليات الخازنة في المنطقة، إذ أظهرت سلوكاً خزانياً نفطياً في الحقول البرية (سازابا، بدران، عودة)، بينما يُرجَّح أن التحول الحراري والضغط العالي في البيئة البحرية الأعمق أدّيا إلى تطور نظام غازي أكثر نضجاً في المصائد البحرية.
كما أوضح الفصل أن الموقع المدروس يتميز بوجود مصائد بنيوية محدبة مترافقة مع فوالق انغراز تعلوها طبقات مارلية–غضارية صفحية كتيمة وعمود مائي عميق، وهي عوامل مؤاتية لحفظ الغاز ومنع تسربه أو غسله بالمياه الطبقية كما ظهر في بعض الآبار على اليابسة في مدينة اللاذقية، مما يجعل هذا الموقع أكثر واقعية ومنطقية كنموذج لمكمن غازي متكامل ضمن المياه الإقليمية السورية.

الفصل الخامس

بناء النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Petrel

3D Reservoir Model Construction Using Petrel Software

5–1 المقدمة (Introduction)

يهدف هذا الفصل إلى توثيق الخطوات العملية التي تم من خلالها بناء النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد للبنية المكمنية المختارة ضمن حوض ليفانت، باستخدام برنامج Petrel 2018 من شركة Schlumberger، والمخصص لأعمال النمذجة الجيولوجية والهندسية للمكامن الهيدروكربونية.

تم تنفيذ جميع مراحل العمل داخل البرنامج من قِبَل معدّي مشروع التخرج هذا، استنادًا إلى المعطيات البنيوية والطبقية والبتروفيزيائية المستخلصة من الفصول السابقة، مع الاستعانة بمراجع علمية منشورة وصور سيزمية حقيقية كأساس لتصميم النموذج.

يهدف هذا النموذج إلى تمثيل البنية المكمنية الواقعية ثلاثي الأبعاد، وتقدير الخصائص الخازنة والاتصالية داخل المصيدة الغازية، بما يتيح في الفصول اللاحقة إجراء التقييم الكمي للاحتياطي الجيولوجي (OGIP) وتقدير معامل الاستخلاص (Recovery Factor).

تم اتباع تسلسل عملي يبدأ من إعداد المشروع (Project Setup) وتهيئة الإحداثيات والبيانات المدخلة، مرورًا ببناء الإطار البنيوي (Structural Framework) والطبقات (Stratigraphic Layers)

وانتهاءً بإدخال الخواص البتروفيزيائية والمائع وتحديد تماس الغاز–الماء (GWC) وصولًا إلى عرض النموذج النهائي المكمني.

5–2 إعداد النموذج المكمني الرقمي (Reservoir Model Setup)

تم إنشاء النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج (Petrel.2018)، بالاعتماد على البيانات المستخلصة من التفسير السيزمي والتحليل البنيوي للبنية المحددة ضمن الحافة الغربية لحوض ليفانت.

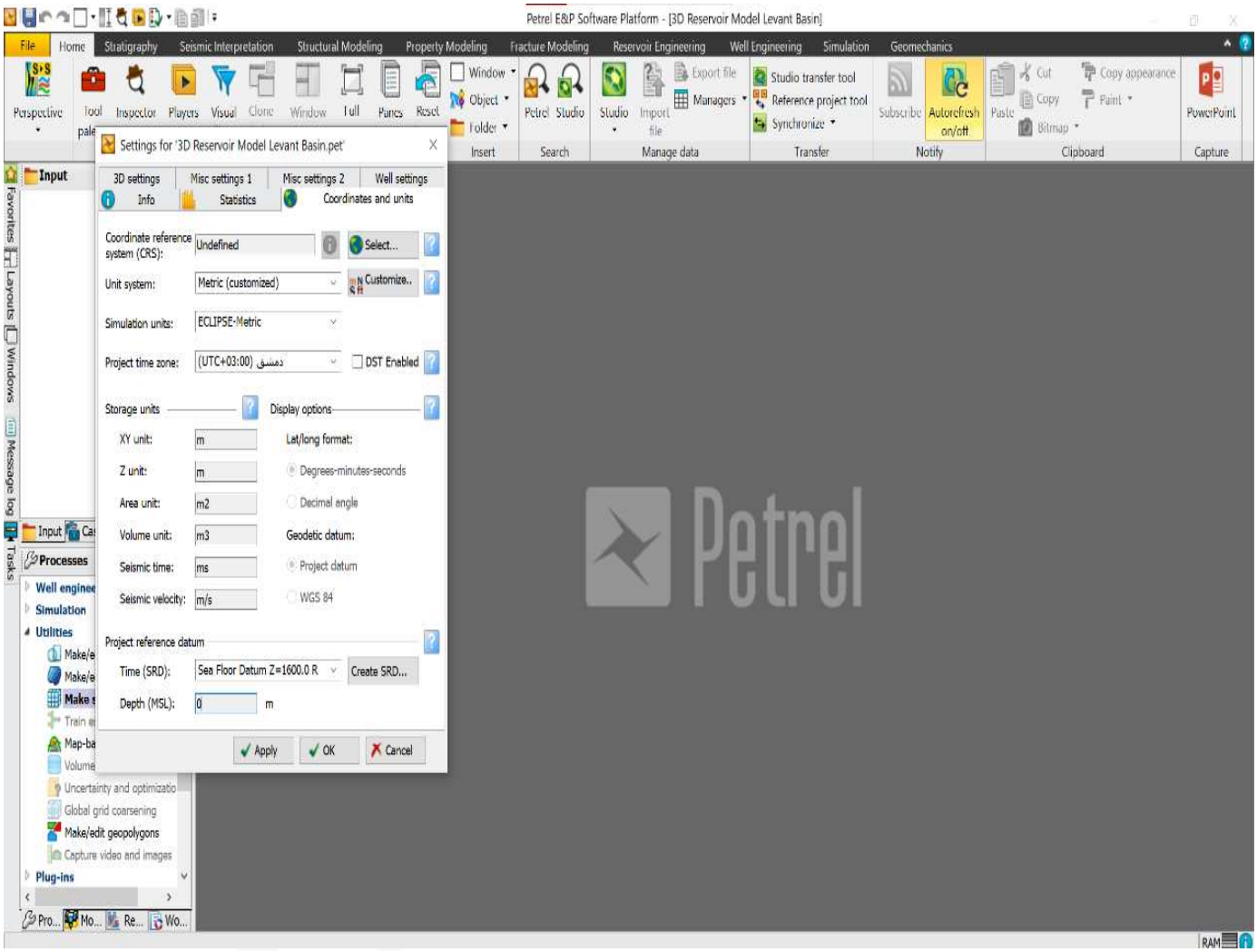
تم تحديد حدود النموذج (Model Boundaries) وفق الإحداثيات الجغرافية المعتمدة سابقاً، بحيث يغطي نطاقًا مناسباً يمثل أبعاد البنية التركيبية مع هامش أمان يتيح التمثيل الواقعي للمصيدة الغازية.

في أثناء إعداد النموذج، تم اعتماد **قاع البحر (Seafloor)** كنقطة مرجعية للعمق (Depth Reference = 0 m)، بحيث تُقاس جميع الأعماق تحت هذه النقطة، أي أن عمق قمة البنية الذي يقارب 3200م تحت قاع البحر يعادل فعلياً نحو 4500م تحت مستوى سطح البحر.

وقد تم توضيح هذا الإجراء لضمان الاتساق في التفسير البنيوي، إذ يُعد اختيار المرجعية بالنسبة لقاع

البحر مقبولًا علمياً في حالات النمذجة البحرية عندما تكون أعماق المياه ثابتة نسبياً ويُراد التركيز على البنية تحت القاع مباشرة.

يُظهر الشكل (1-5) صورة من واجهة البرنامج أثناء إعداد النموذج، موضحةً الحدود المكانية العامة للبنية المختارة ضمن بيئة العمل في Petrel 2018.



الشكل(1-5): واجهة برنامج Petrel 2018 أثناء تحديد حدود النموذج المكمني المقترح ضمن البنية الواقعة ضمن الحافة الغربية لحوض ليفانت، مع اعتماد قاع البحر كنقطة مرجعية للعمق(Depth Reference = Seafloor)

5–3 إنشاء الشبكة المكمنية (Grid Construction)

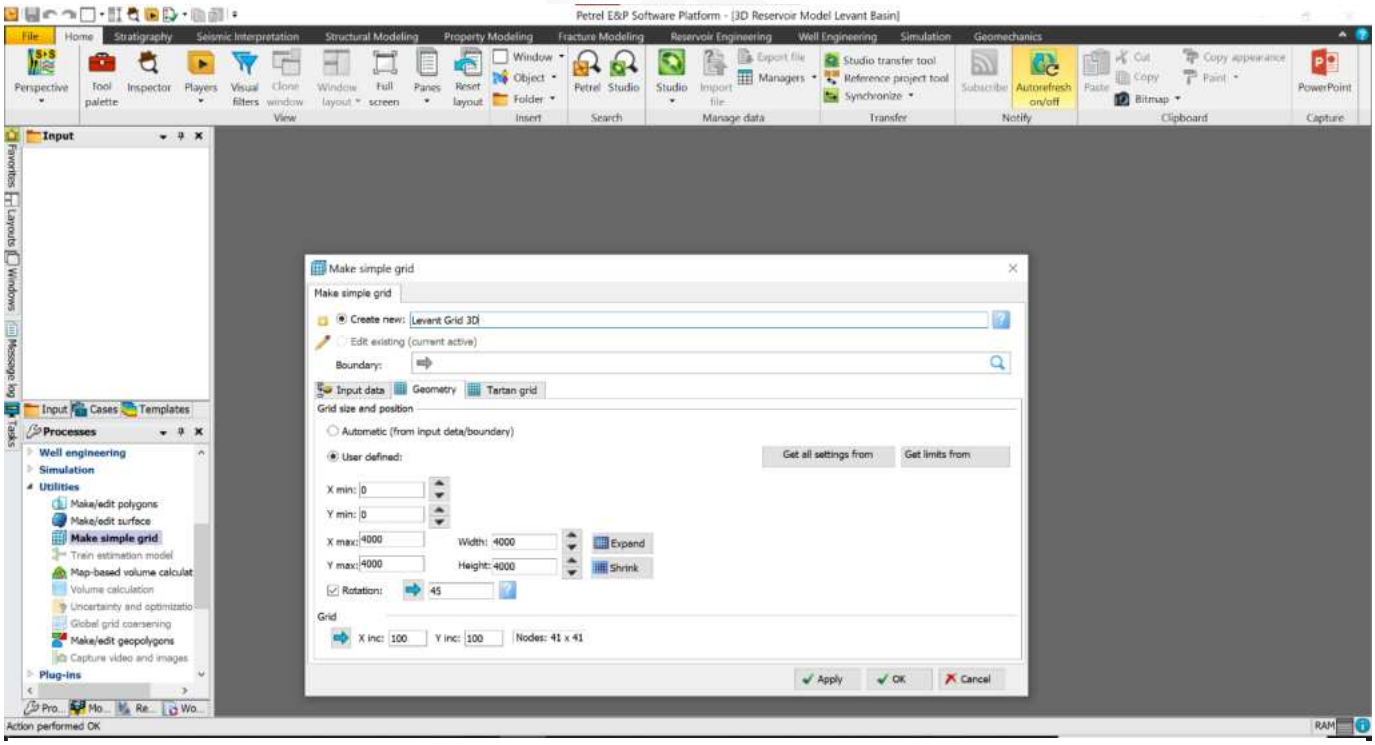
تم في هذه المرحلة إنشاء الشبكة الأساسية للنموذج المكمني باستخدام أداة Make Simple Grid في برنامج Petrel 2018، والتي تُعد الخطوة الأولى لتقسيم النموذج إلى خلايا ثلاثية الأبعاد (Grid Cells) تمهيداً لإسناد الخصائص البتروفيزيائية إليها لاحقًا.

تم تحديد أبعاد النموذج بحيث تغطي كامل نطاق البنية البنيوية المدروسة، مع اعتماد القيم التالية:

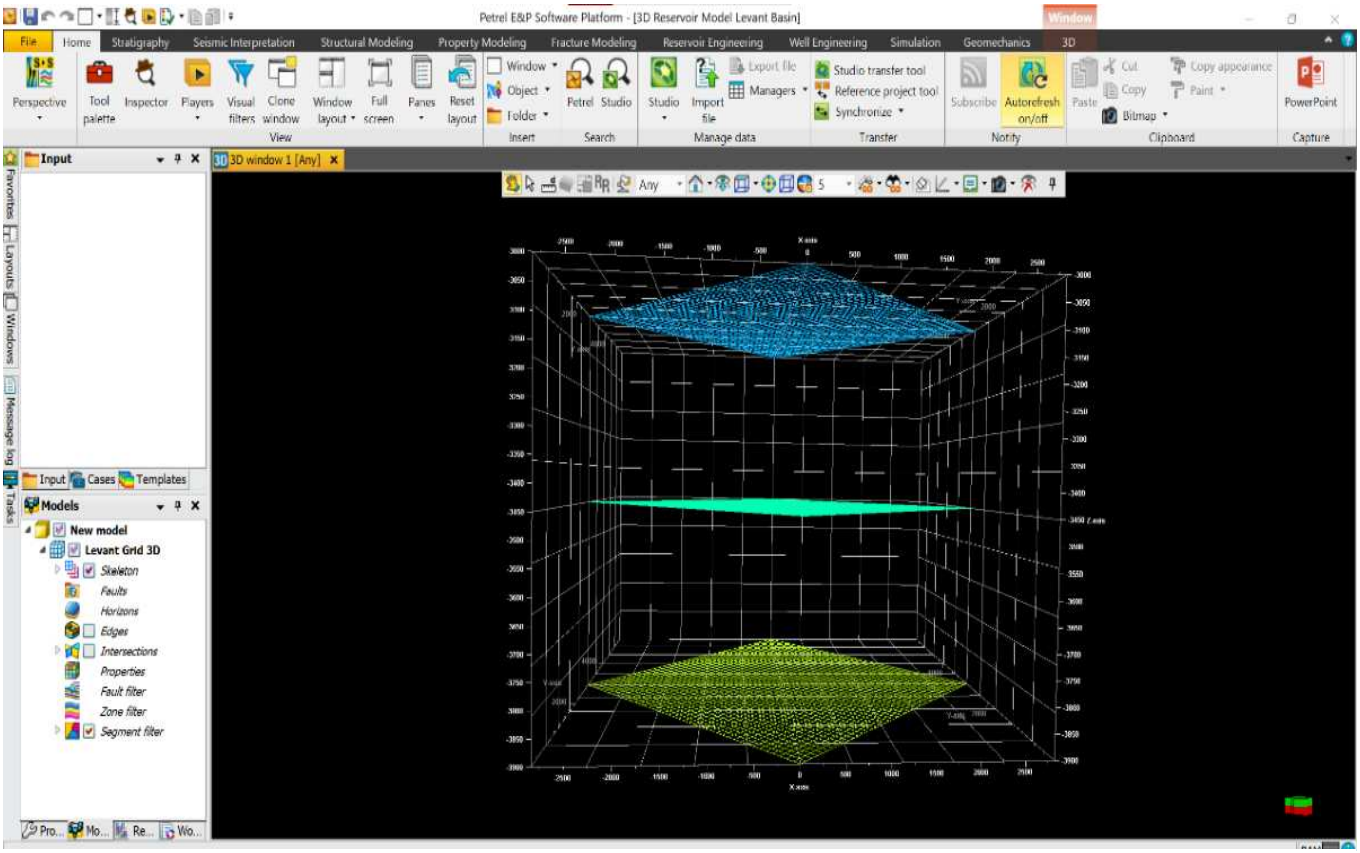
- طول الامتداد الأفقي (X-Direction) ≈ **10,000 m**
- عرض الامتداد الجانبي (Y-Direction) ≈ **5,000 m**
- الارتفاع الرأسي (Z-Direction) ≈ **3,200 m** (يمثل العمق الكلي للبنية تحت قاع البحر)

تم تقسيم هذه الأبعاد إلى شبكة منتظمة تتألف من 100خلية في الاتجاه X ، و 45 خلية في الاتجاه Y ، و 40 طبقة رأسية (Layers) في الاتجاه Z ، بحيث يحقق ذلك توازنًا بين دقة التمثيل وسرعة المعالجة الحسابية ضمن بيئة البرنامج.

تُظهر الصورة (الشكل2-5) الإعدادات المستخدمة ضمن واجهة البرنامج أثناء تعريف الشبكة المكمنية، حيث تم اعتماد النظام المتري الموحد (Metric System) لتوحيد الوحدات بين جميع مراحل النمذجة.



الشكل(2-5): إعداد أبعاد الشبكة المكمنية (Grid Dimensions) ضمن واجهة برنامج Petrel 2018 باستخدام أداة Make Simple Grid، حيث تم تحديد امتداد النموذج واتجاهات الخلايا وفق النظام الإحداثي المعتمد.



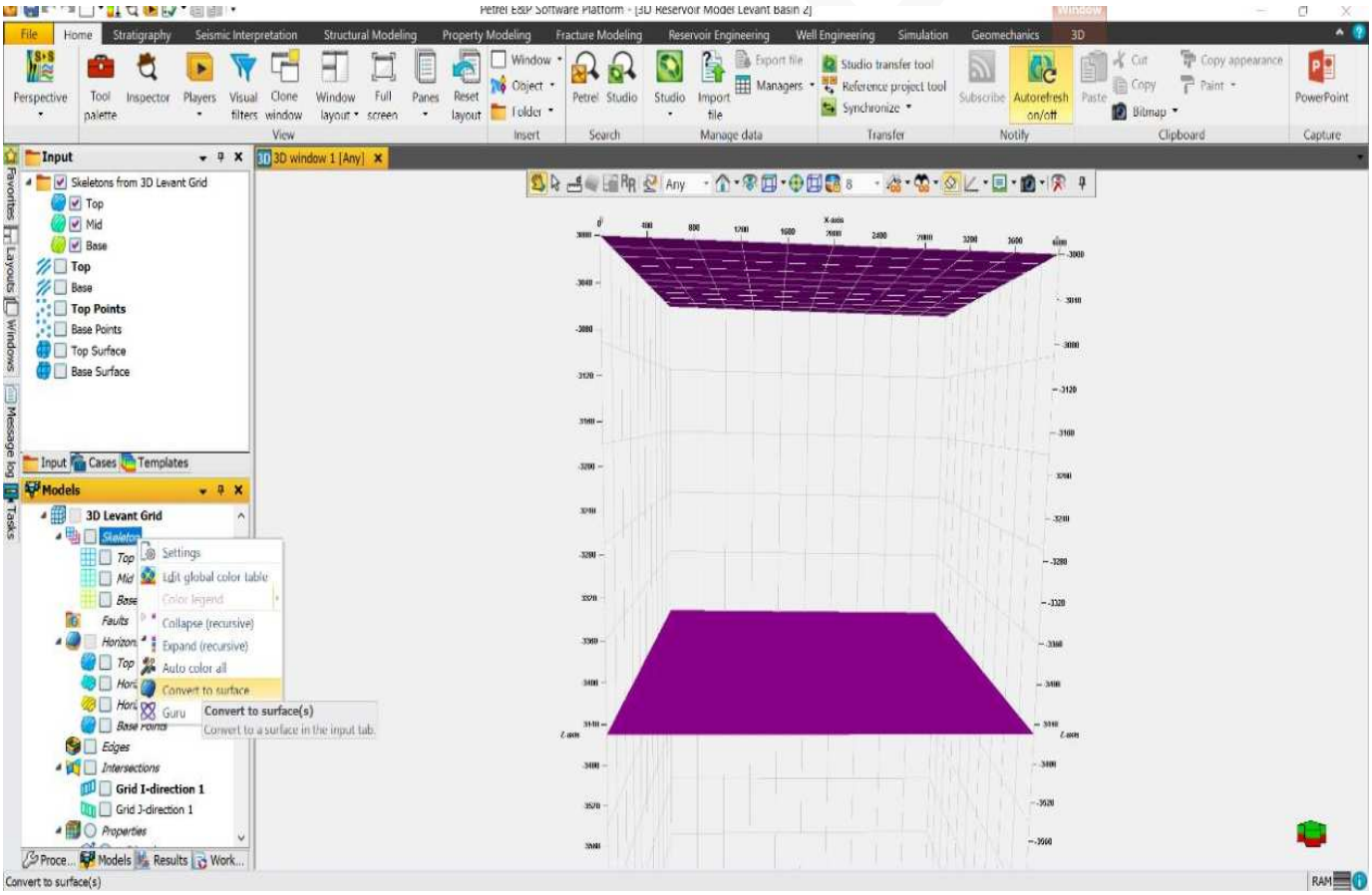
الشكل(3-5): المشهد الثلاثي الأبعاد للشبكة المكمنية (Grid Skeleton) ضمن برنامج Petrel 2018 بعد تعريف السطوح العلوية والسفلية (Top & Base)، والتي تُظهر الامتداد البنيوي الأولي للبنية المختارة ضمن حوض ليفانت.

5-4 تحويل الهيكل الشبكي إلى سطوح فعلية
(Conversion of Skeleton to Surfaces)

بعد الانتهاء من إنشاء الشبكة المكمنية ثلاثية الأبعاد (3D Grid Skeleton) وتحديد السطوح العلوية والسفلية الممثلة لحدود المكمن، تم تنفيذ عملية تحويل الهيكل الشبكي إلى سطوح فعلية (Convert to Surfaces)، وهي خطوة محورية في بناء النموذج المكمني.

تُتيح هذه العملية الانتقال من نموذج شبكي افتراضي إلى سطوح جيولوجية ثلاثية الأبعاد يمكن التعامل معها مباشرة ضمن بيئة برنامج Petrel 2018، مما يتيح لاحقًا تطبيق عمليات التشويه البنيوي (Structural Deformation) لتشكيل البنية المحدبة (Anticline Structure) التي تمثل المصيدة الغازية المقترحة.

وقد جرى التأكد من انتظام السطوح وتوافقها العمقي بما يتناسب مع القيم المرجعية المعتمدة في الدراسة السابقة (3200– 3400 م تحت قاع البحر)، قبل الانتقال إلى المرحلة اللاحقة من النمذجة البنيوية.



الشكل(4-5): عملية تحويل الهيكل الشبكي (Grid Skeleton) إلى سطوح فعلية (Convert to Surface) ضمن برنامج Petrel 2018 تمهيدًا لبدء بناء التركيب البنيوي للبنية المحدبة (Anticline)

5-5 إدخال النقاط الهيكلية لبناء البنية المحدبة

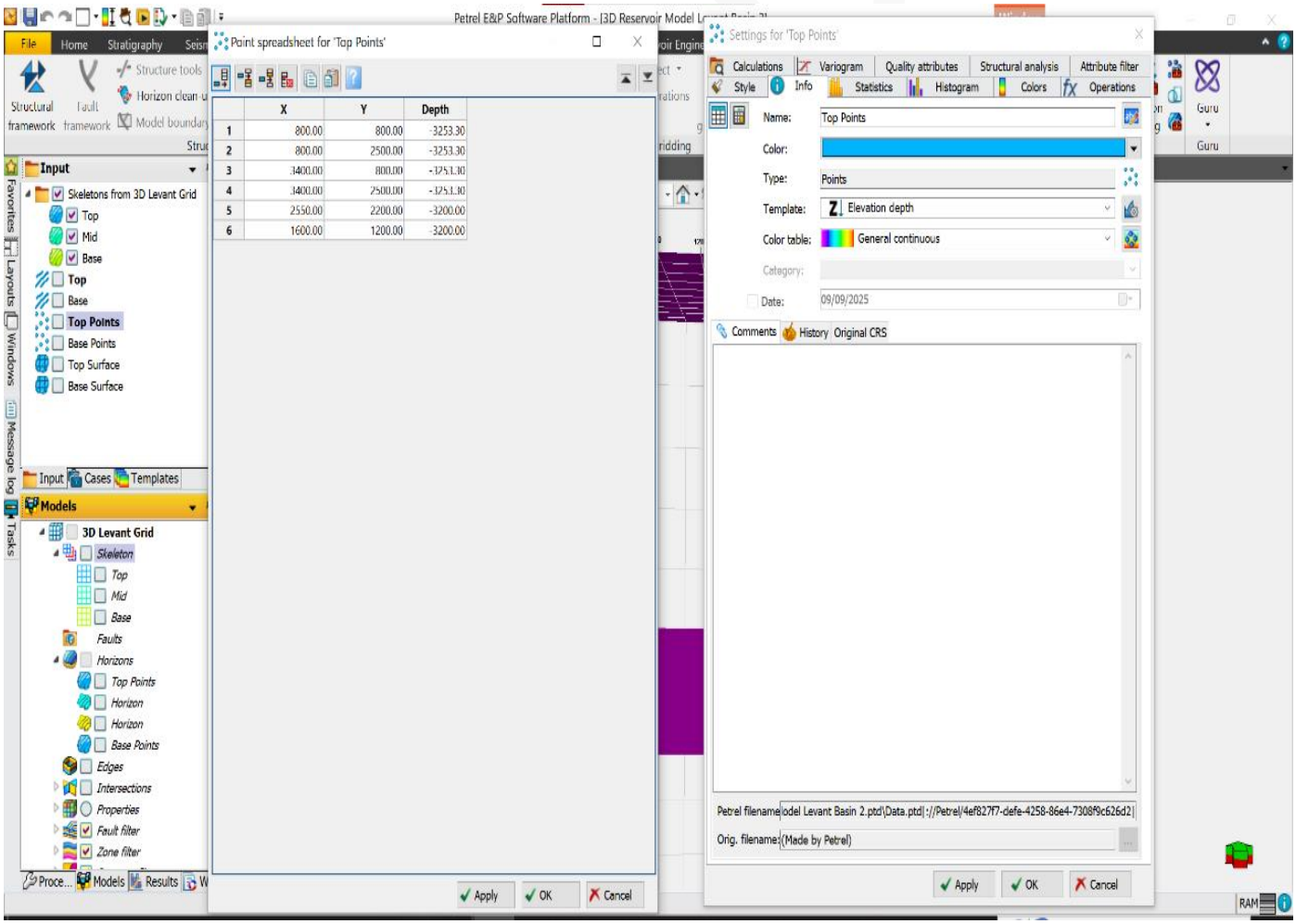
(Defining Structural Points for Anticline Formation)

في هذه المرحلة تم إدخال مجموعة من النقاط المرجعية (Structural Points) تمثل القيم العمقية الرئيسة التي ستُستخدم لاحقًا لتوليد السطوح البنيوية العليا والسفلى (Top & Base Horizons).

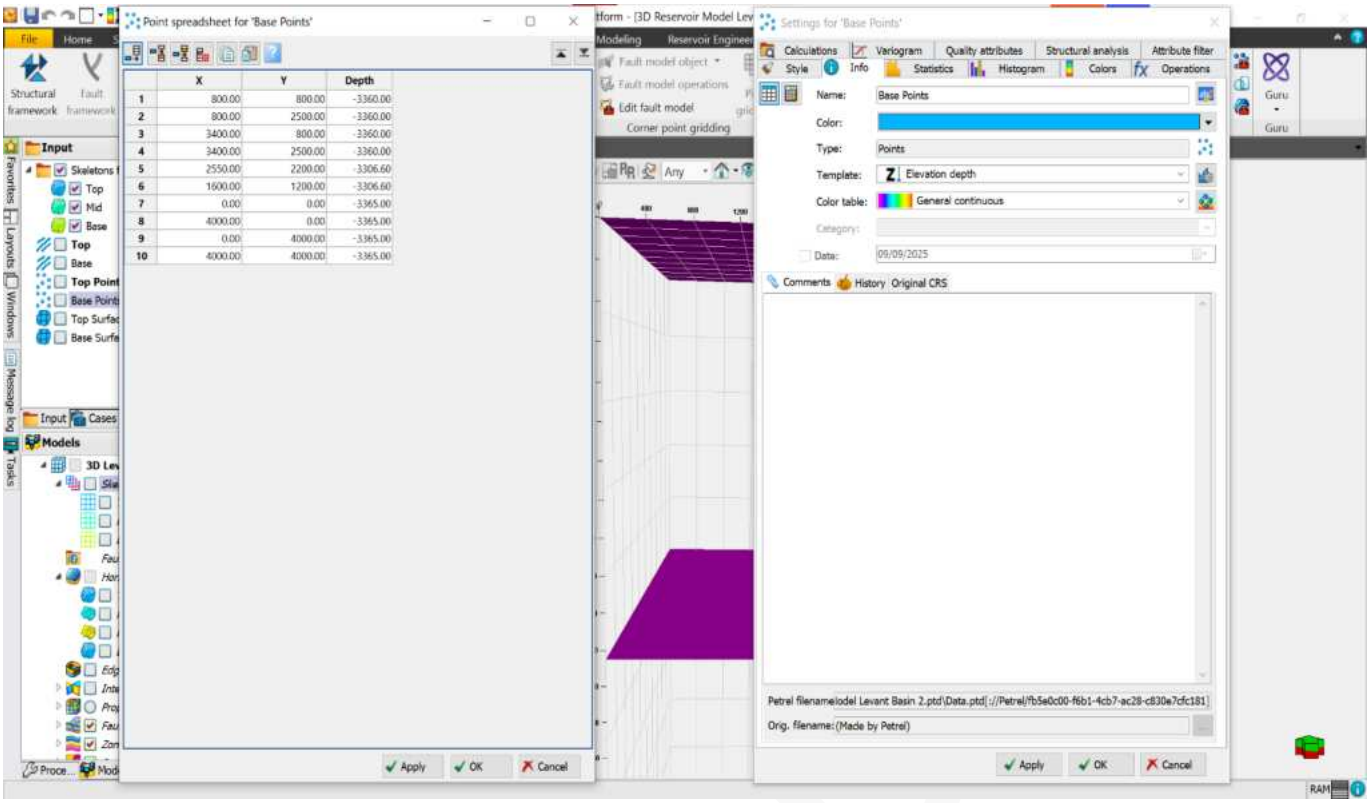
تم تعيين 6 نقاط للبنية العلوية (Top Points) و 10 نقاط للبنية السفلية (Base Points) لتشكيل الهيكل العام للمصيدة المحدبة (Anticline) .

تعكس إحداثيات النقاط قيم (X, Y, Z) حيث يُمثّل المحور Z العمق تحت سطح البحر، في حين تُعبّر المحاور X,Y عن الامتدادين الأفقيين الشرقي والغربي ضمن نطاق النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد.

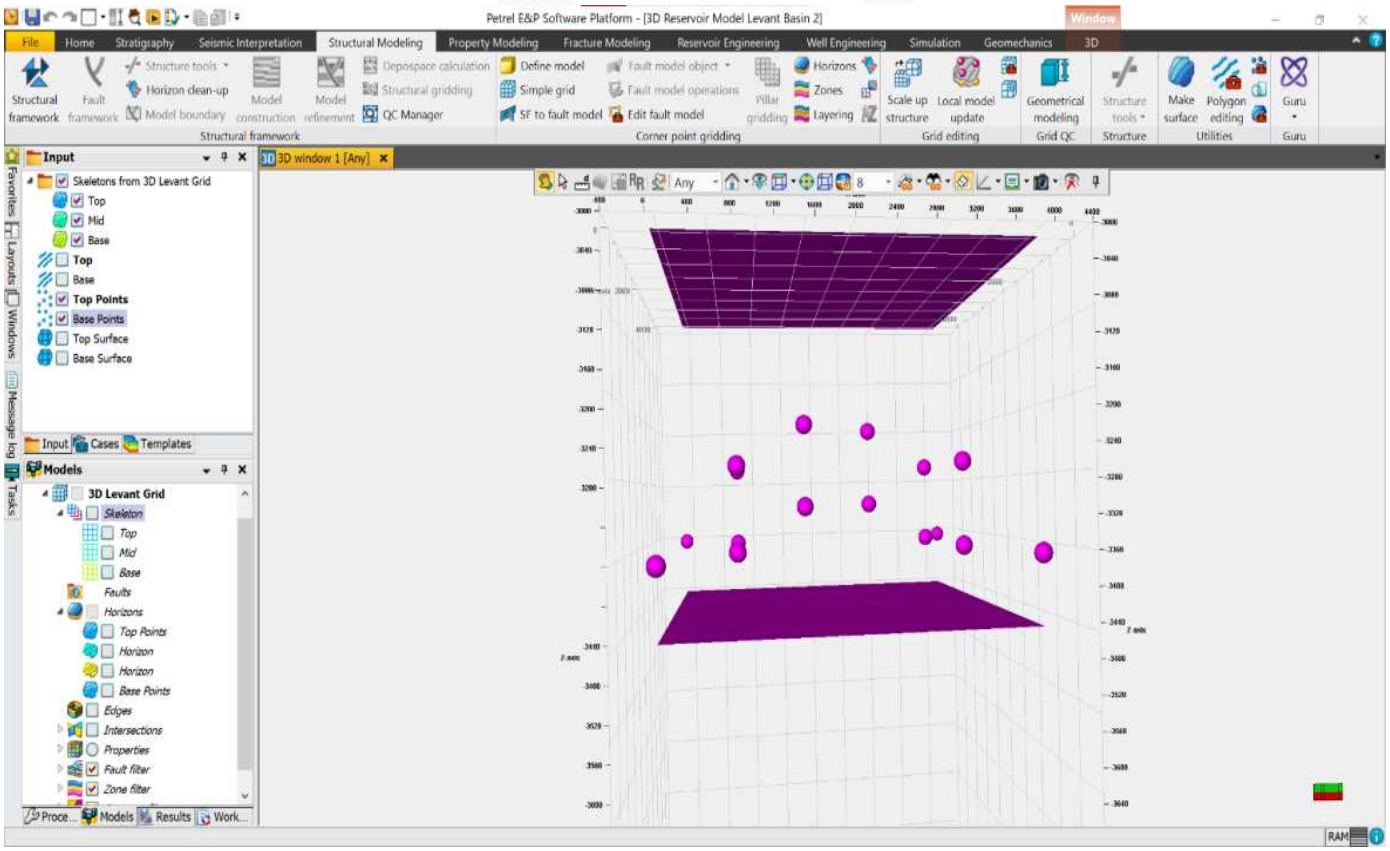
وقد تم تحديد أعلى نقطتين عند عمق يقارب 3200 متر تحت قاع البحر، لتمثل قمة المحدب (Crest of the Anticline)، في حين تنحدر باقي النقاط تدريجياً نحو الأجنحة، بما يتيح تكوين انحناء بنيوي واقعي متوافق مع الشكل المحدب الملاحظ في المقاطع الزلزالية.



الشكل(5-5):إدخال النقاط الستّ الممثلة للسطح العلوي (Top Points) ضمن بيئة العمل في برنامج Petrel 2018 لتشكيل البنية المحدبة المكمنية



الشكل(6-5): إدخال النقاط العشر الممثلة للسطح القاعدي (Base Points)ضمن بيئة العمل في برنامج Petrel 2018 لتشكيل البنية المحدبة المكمنية.



الشكل(7-5): توزيع النقاط البنيوية (Top & Base Points) بعد إدخالها ضمن النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد، حيث تُظهر الصورة المواقع الـ 16 التي تحدد الشكل العام للبنية المحدبة قبل تحويلها إلى سطوح فعلية داخل برنامج Petrel 2018.

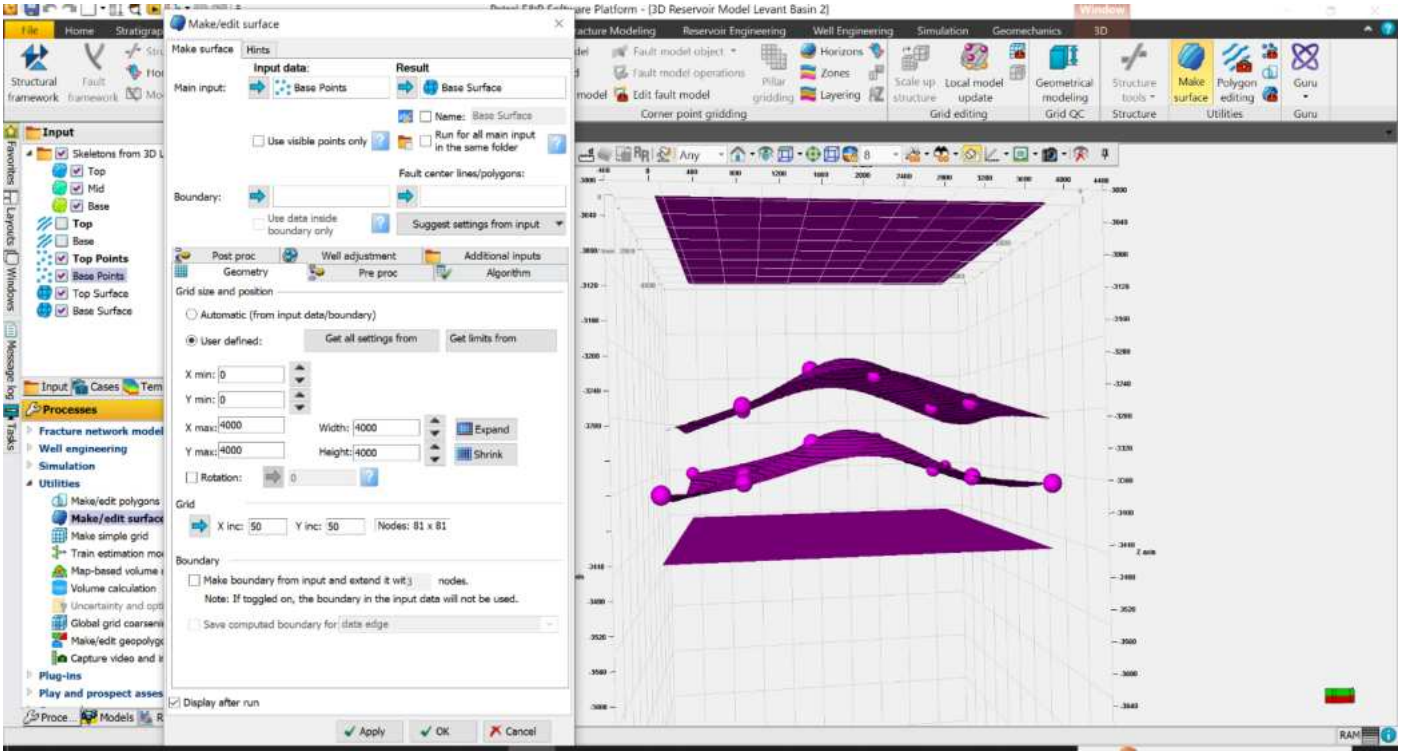
5-6 إنشاء السطوح البنيوية للبنية المحدبة
(Creating Structural Surfaces for the Anticline)

بعد تحديد النقاط الهيكلية العلوية والسفلية، تم استخدام أداة Make/Edit Surface ضمن البرنامج لتوليد السطوح البنيوية ثلاثية الأبعاد للبنية المحدبة.

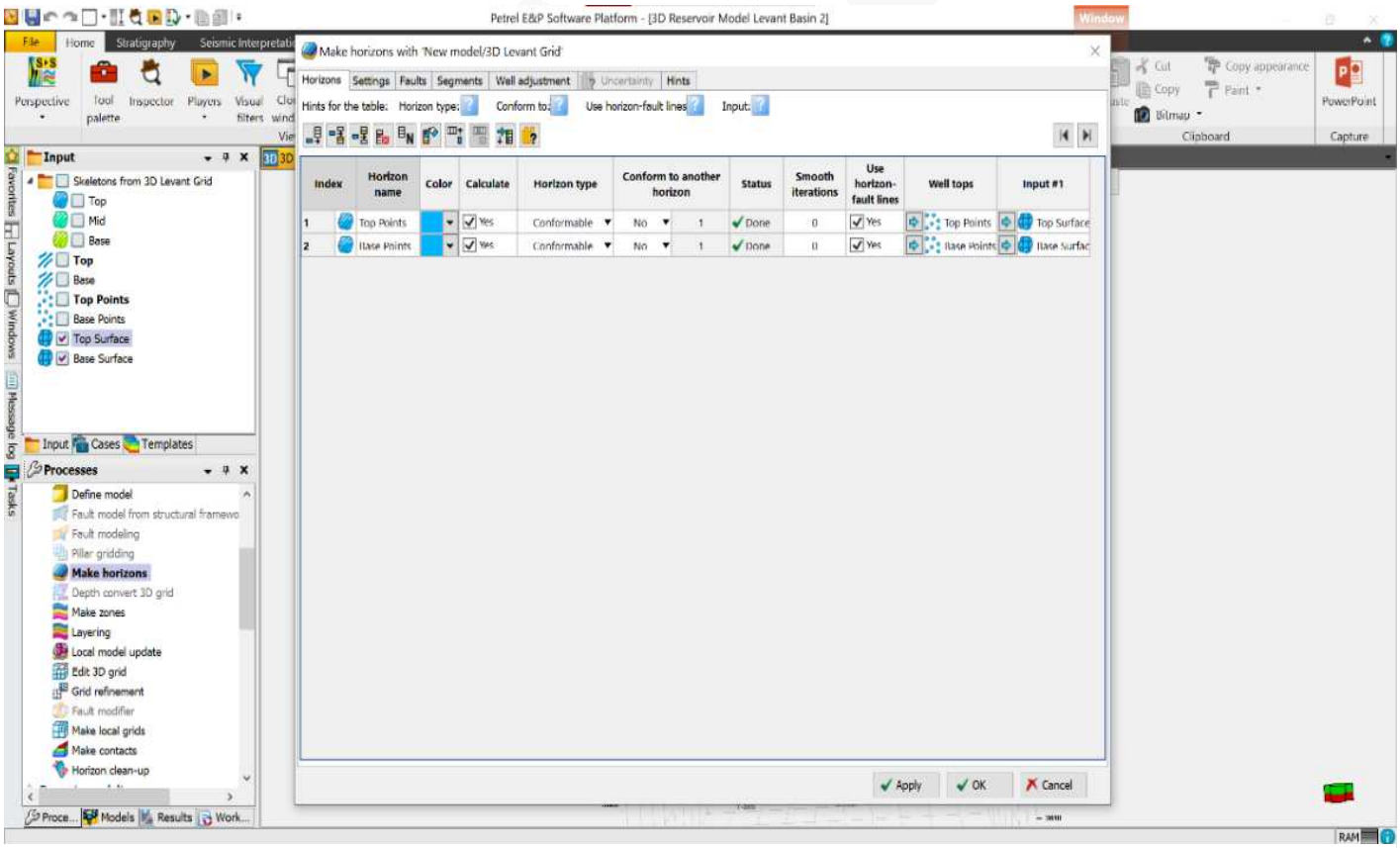
بدأت العملية بإنشاء السطح السفلي (Base Surface) اعتماداً على النقاط السفلية (Base Points) ثم السطح العلوي (Top Surface) اعتماداً على النقاط العلوية (Top Points)، مع ضبط مجال الشبكة (Grid Size and Position) لتغطية كامل الامتداد البنيوي للبنية بحدود (4×4 كم) (الشكل5-8)

نتج عن هذه العملية تشكيل تحدّب بنيوي واقعي يعكس الشكل المحدب المستنتج من المقاطع الزلزالية الأصلية، حيث تمثل قمة البنية عند عمق يقارب 3200 م تحت قاع البحر.

لاحقاً (الشكل5-9)، جرى استخدام أداة Make Horizons لدمج السطحين البنيويين والتحقق من اتساقهما البنيوي، عبر تعريف كل منهما كـ Horizon Type: Conformable ضمن الإعدادات البنيوية للنموذج، مما أتاح اعتماد السطحين كأساس رئيسي في بناء الجسم المكمني (Reservoir Body) لاحقاً.



الشكل(8-5): توليد السطحين البنيويين (Top & Base Surfaces) للبنية المحدبة ضمن برنامج Petrel 2018 باستخدام النقاط المرجعية المحددة سابقاً.



الشكل(9-5): تعريف السطحين البنيويين داخل أداة Make Horizons وتثبيتهما كأسطح متوافقة (Conformable) ضمن النموذج المكمني الثلاثي الأبعاد.

5-7 تقسيم النموذج إلى نطاقات و طبقات (Zonation and Layering)

استنادًا إلى التوصيف المكمني المفصل في الفصل السابق، تم تقسيم الجسم البنيوي داخل برنامج Petrel 2018 إلى ثلاثة نطاقات رئيسية (Zones) تمثل النظام الطبقي للمكمن (الشكل10-5)، وذلك باستخدام أداة Make zones ضمن وحدة Structural Modeling.

الزونات الثلاثة تمثل النطاقات التالية:

1. **النطاق الخازن (Reservoir Zone)** بسمك يقارب 90 مترًا، وهو النطاق الفعّال الذي يحتوي على الغاز.
2. **النطاق الانتقالي (Transition Zone)** بسمك يقارب 40 مترًا، حيث تزداد درجة التشبع بالماء تدريجيًا وصولًا إلى تماس الغاز–الماء (GWC).
3. **النطاق الكتيم (Seal/Tight Zone)** بسمك يقارب 35 مترًا، وهو مكوَّن من صخور مارلية وغضارية صفحية ذات نفاذية منخفضة جدًا.

تم تطبيق نمط البناء (Build from Base Horizon) مع تصحيح تناسبي Proportional Correction واعتماد أسلوب Vertical Thickness (TVT) للحفاظ على التوزيع الواقعي للسماكات عبر القمة والأجنحة.

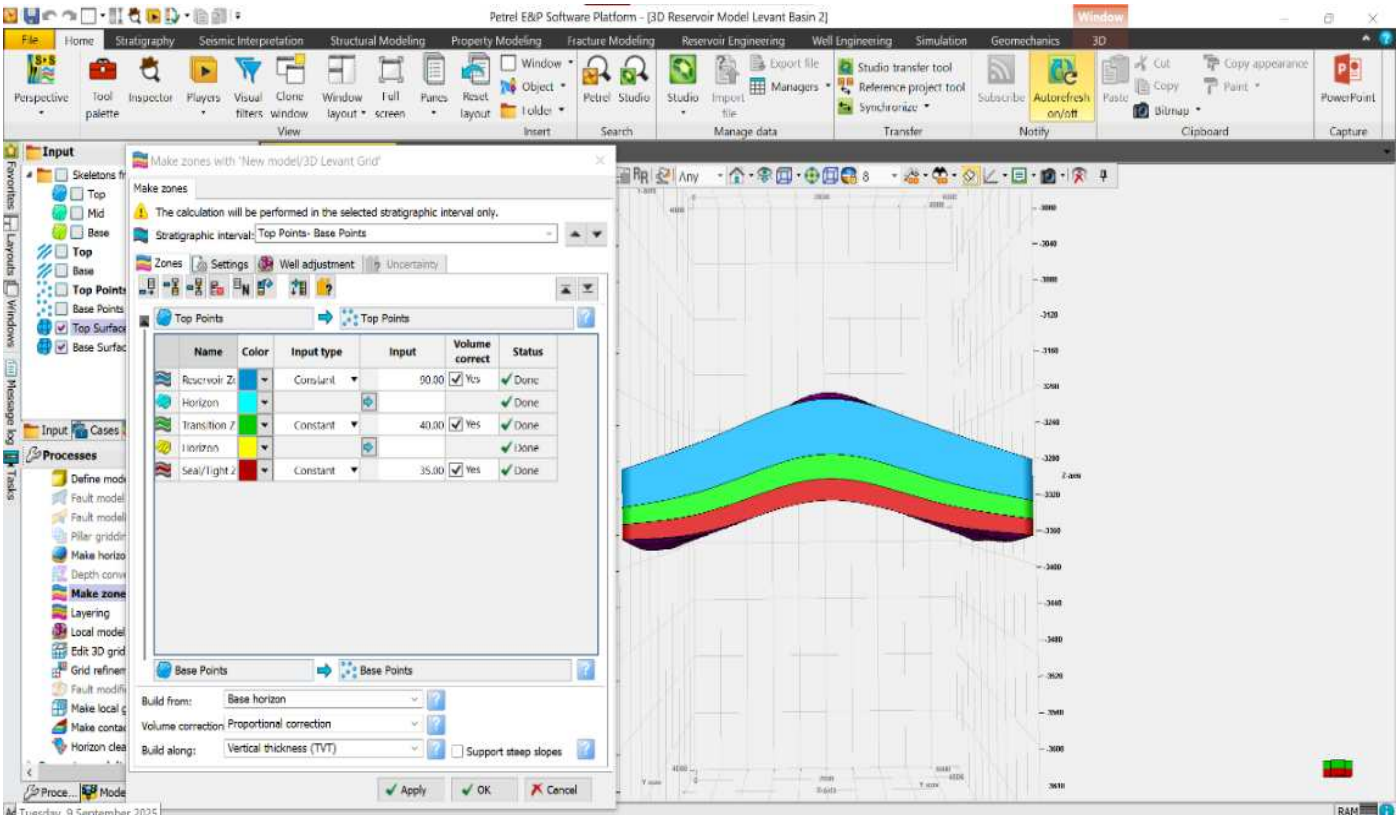
بعد تحديد النطاقات، جرى تنفيذ عملية Layering باستخدام أداة Make Layers لتقسيم كل Zone إلى عدد مناسب من الطبقات الدقيقة (الشكل11-5)، بما يسمح بتمثيل تدرّج الخواص البتروفيزيائية (المسامية، النفاذية، درجة التشبع بالماء) بشكل منطقي ومتدرج.

وقد تم تحديد عدد الطبقات بما يتناسب مع سماكة كل نطاق كما يلي:

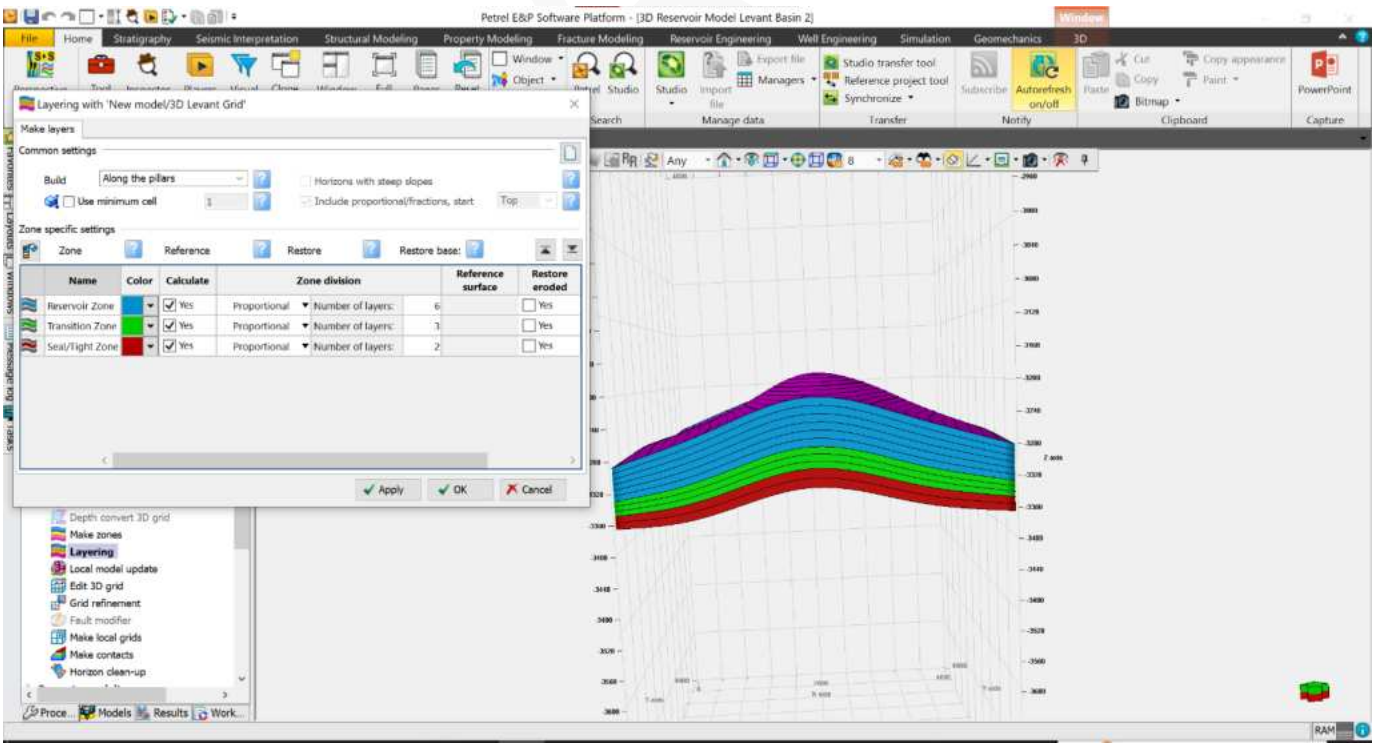
- **6 طبقات** للنطاق الخازن (90 م)
- **3 طبقات** للنطاق الانتقالي (40 م)
- **2 طبقة** للنطاق الكتيم (35 م)

أي بمجموع 11 طبقة تمثل التدرج البنيوي والخواص المكمنية الواقعية عبر النموذج.

يتيح هذا التقسيم لاحقًا إدخال قيم مختلفة للمسامية والنفاذية ضمن كل نطاق بدلاً من قيمة واحدة ثابتة، مما يعزز من دقة النموذج وواقعيته في المراحل اللاحقة من التحليل.



الشكل(10-5): واجهة Make Zones في برنامج Petrel تُظهر تقسيم الجسم البنيوي إلى ثلاثة نطاقات رئيسية (Reservoir – Transition – Seal) بسماكات 35/40/90 متراً.



الشكل(11-5): واجهة Layering ضمن Petrel بعد تحديد عدد الطبقات لكل نطاق (6، 3، 2) بما يتناسب مع سماكة كل Zone وتوزيع الخواص المكمنية بشكل متدرج واقعي.

5–8 إدخال الخواص الفيزيائية باستخدام معادلات رياضية
Property Population via Mathematical Rules

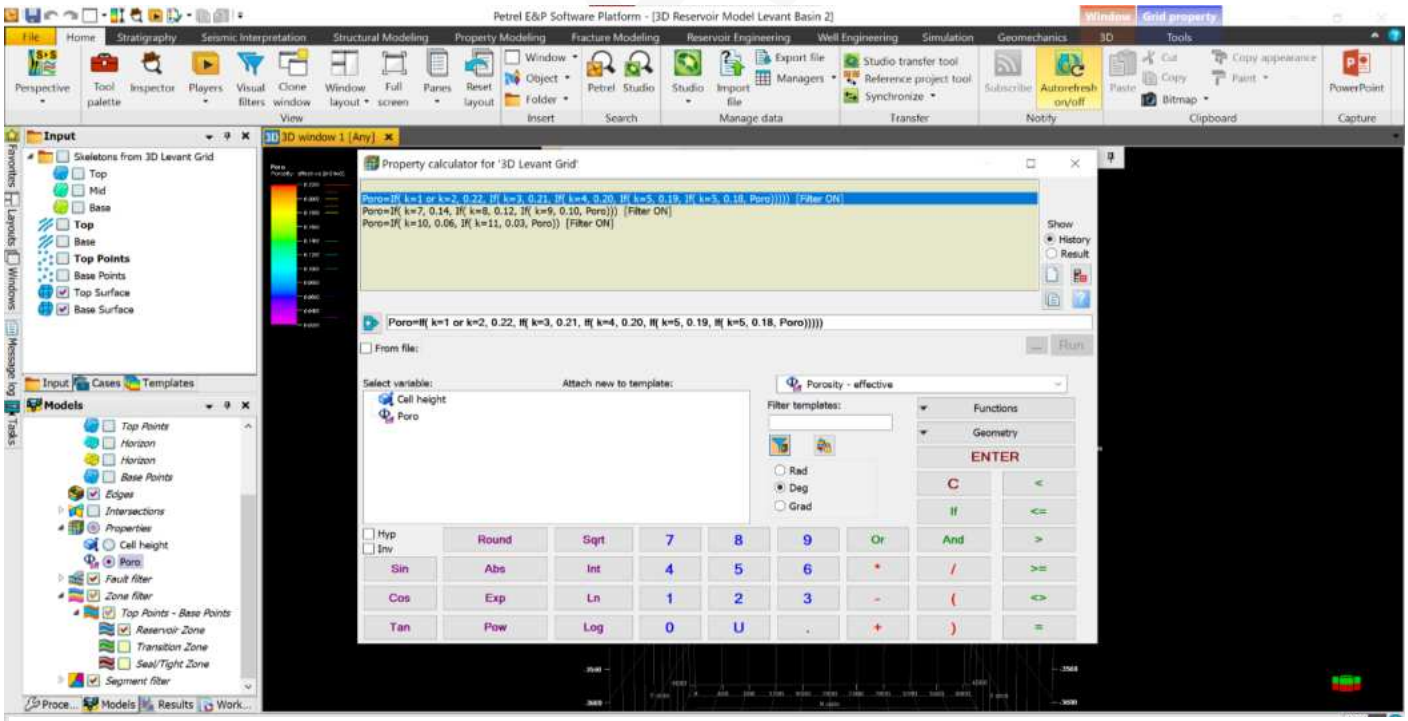
5–8–1 المسامية في النطاق الخازن (Zone 1 – Porosity)

لاسناد المسامية بشكل واقعي ومتدرّج ضمن **النطاق الخازن (90 m / 6 Layers)** ، تم استخدام **Property Calculator** مع تفعيل **Zone filter = Reservoir Zone** وتوزيع ϕ طبقياً وفق قاعدة قطع–جزئية (Rule-based / Piecewise) (الشكل12-5) :

Poro = If(k = 1 or k = 2, 0.22, If(k = 3, 0.21, If(k = 4, 0.20, If(k = 5, 0.19, If(k > 5, 0.18, Poro)))))

تُعبّر هذه المعادلة عن تطبيق قاعدة شرطية تعتمد على رقم الطبقة (k) ضمن الخزان، بحيث يتم تعيين قيمة المسامية لكل نطاق فرعي من الأعلى للأسفل وفق تسلسل منطقي ومتدرج (22% إلى 18%).
هذا التدرّج في المسامية يعكس ازدياد المسامية قرب القمة وتناقصها باتجاه الأجنحة/القاعدة، وهو سلوك متوافق مع المكامن الكربوناتية المتشققة، حيث تم تطبيق القاعدة داخل Petrel بخط شرطي (IF statements) كما يظهر في الواجهة.

ملاحظة أكاديمية: أبقينا على قيمتي **0.18** لآخر طبقتين لضمان استقرار سلوكي في قاعدة المكمن وعدم المبالغة في الهبوط، بما يتوافق مع أدلتنا من الفصل الرابع.



الشكل(12-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج المسامية باستخدام أداة Property Calculator ضمن النطاق الخازن (Reservoir Zone)

2-8-5 المسامية في النطاق الانتقالي (Zone 2 – Porosity)

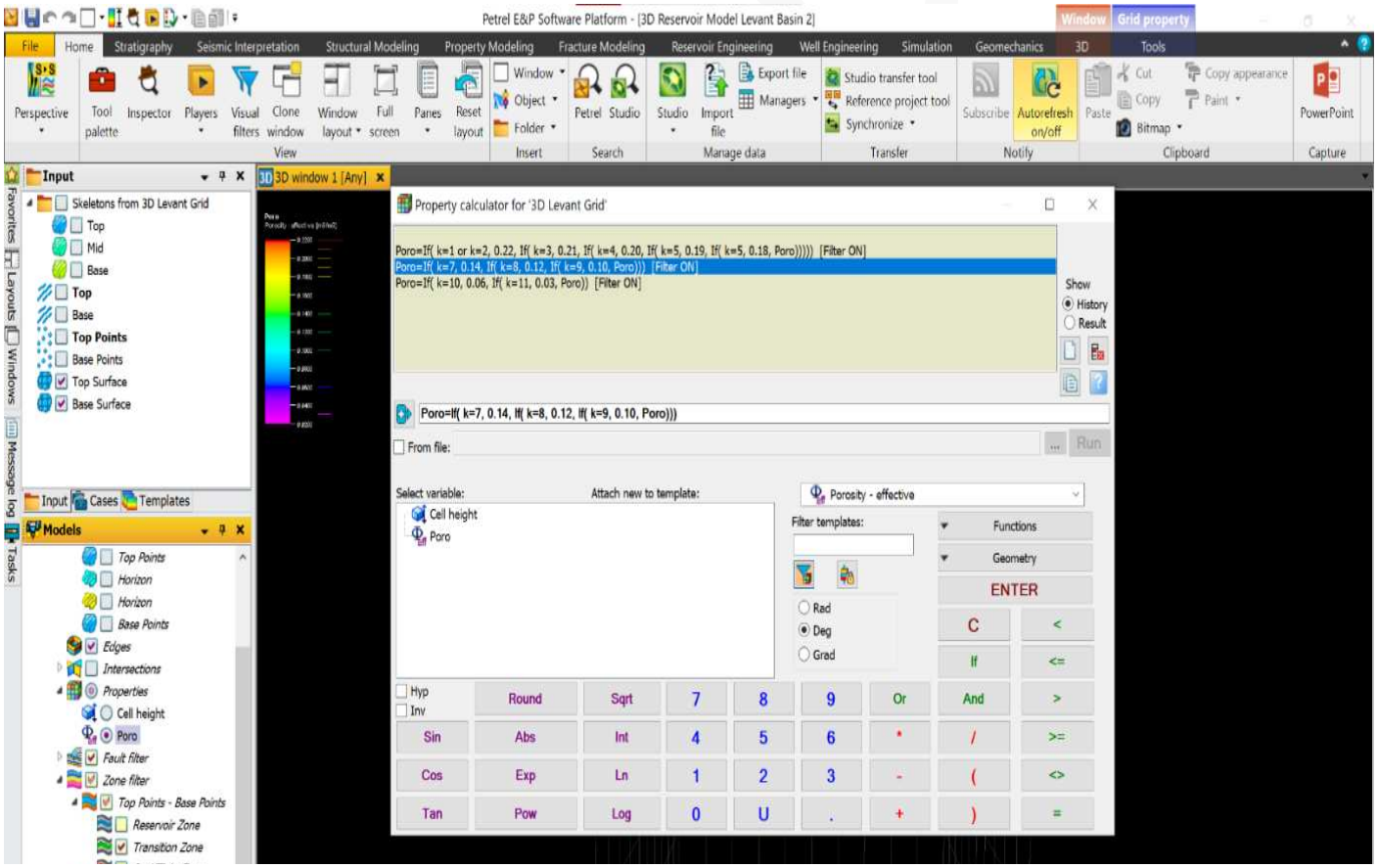
تم في هذه المرحلة إدخال قيم المسامية (Porosity) الخاصة بالنطاق الانتقالي (Transition Zone) باستخدام معادلة منطقية داخل بيئة Petrel، بحيث يتم تمثيل التدرج الواقعي لانخفاض المسامية مع ازدياد العمق، بما يتوافق مع القيم التجريبية المستخلصة من الدراسات الحقلية في التشكيلات الكربوناتية المشابهة.

وقد استُخدمت المعادلة التالية لتوزيع القيم ضمن هذا النطاق:

Poro=If(k=7,0.14, If(k=8, 0.12, If(k=9, 0.10, Poro)))

حيث تعبّر k عن رقم الطبقة (Layer number) داخل النطاق، وتم تطبيق العلاقة بشكل تدريجي من أعلى النطاق نحو الأسفل ليُظهر تناقصًا طبيعيًا في قيم المسامية من (0.14) إلى (0.10)

(الشكل13-5) هذا التوزيع يعكس واقع الطبقات الانتقالية بين المكمن الرئيسي والغطاء الكتيم، ويضمن تمثيلًا مكمنياً أكثر واقعية عند إجراء الحسابات الحجمية لاحقًا.



الشكل(13-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج المسامية باستخدام أداة Property Calculator ضمن النطاق الانتقالي (Transition Zone)

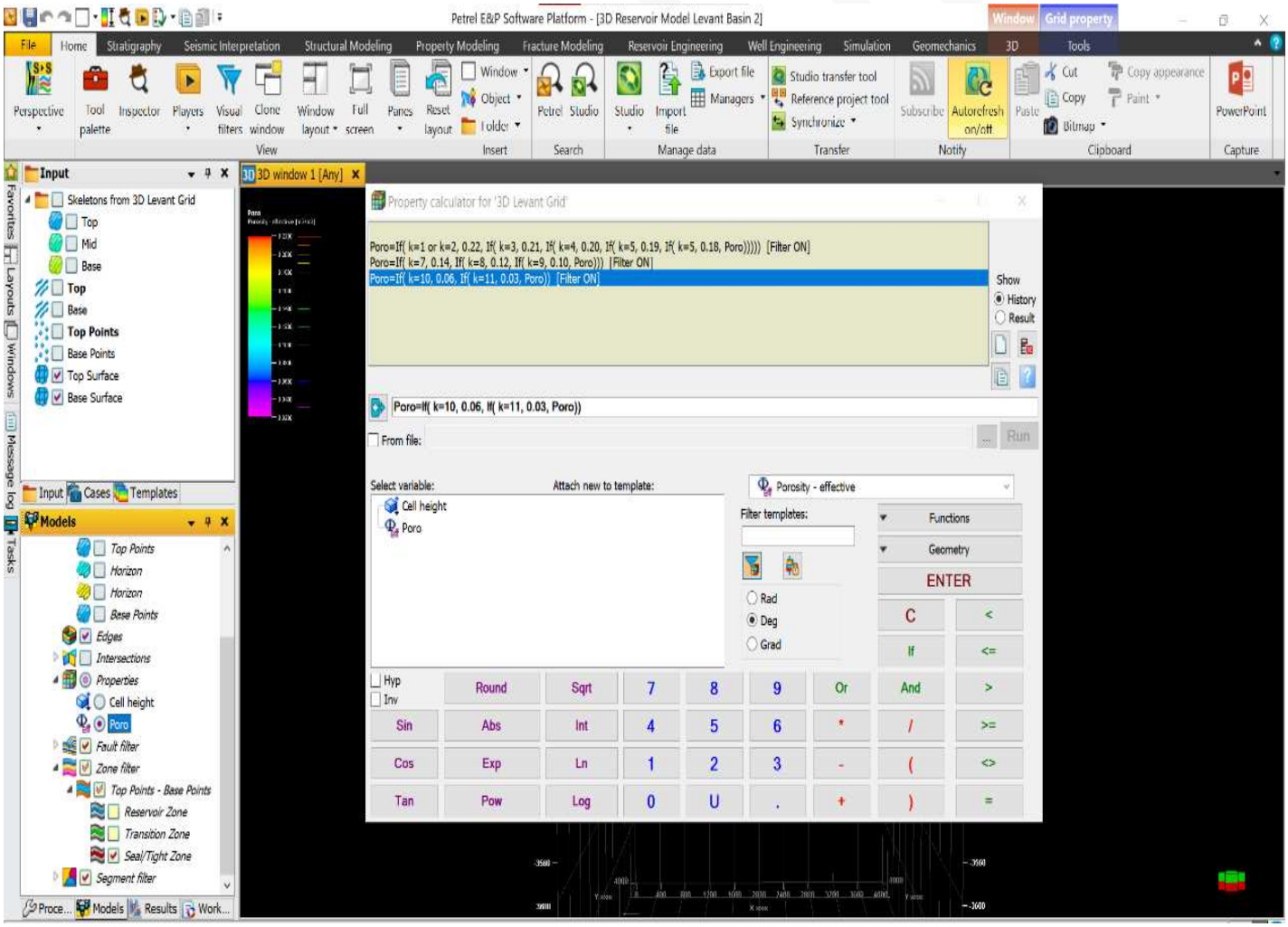
3-8-5 المسامية في النطاق الكتيم (Zone 3 – Porosity)

في المرحلة الأخيرة من إدخال الخواص البتروفيزيائية، تم حساب قيم المسامية (Porosity) للنطاق الكتيم (Seal/Tight Zone) الذي يشكّل الغطاء المكمني للبنية، باستخدام المعادلة التالية ضمن بيئة Petrel:

Poro=If(k=10, 0.06, If(k=11, 0.03, Poro))

يُظهر هذا التدرج انخفاضًا حادًا في قيم المسامية من (0.06) إلى (0.03)، ما يعكس طبيعة الصخور الكربوناتيّة غير المتشققة التي تميّز قاعدة الشيرانيش.

هذا التوزيع المدروس للمسامية يضمن تمثيلاً فيزيائياً واقعيًا للانتقال من الصخور الخازنة إلى الصخور الكتيمة (الشكل14-5)، الأمر الذي يعزز دقة الحسابات الحجمية (Volumetric Calculations) في المراحل اللاحقة من التقييم المكمني.



الشكل(14-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج المسامية باستخدام أداة Property Calculator ضمن النطاق الكتيم (Sea Zone)

4-8-5 إدخال النفوذية الأفقية الأولى في النطاق الخازن

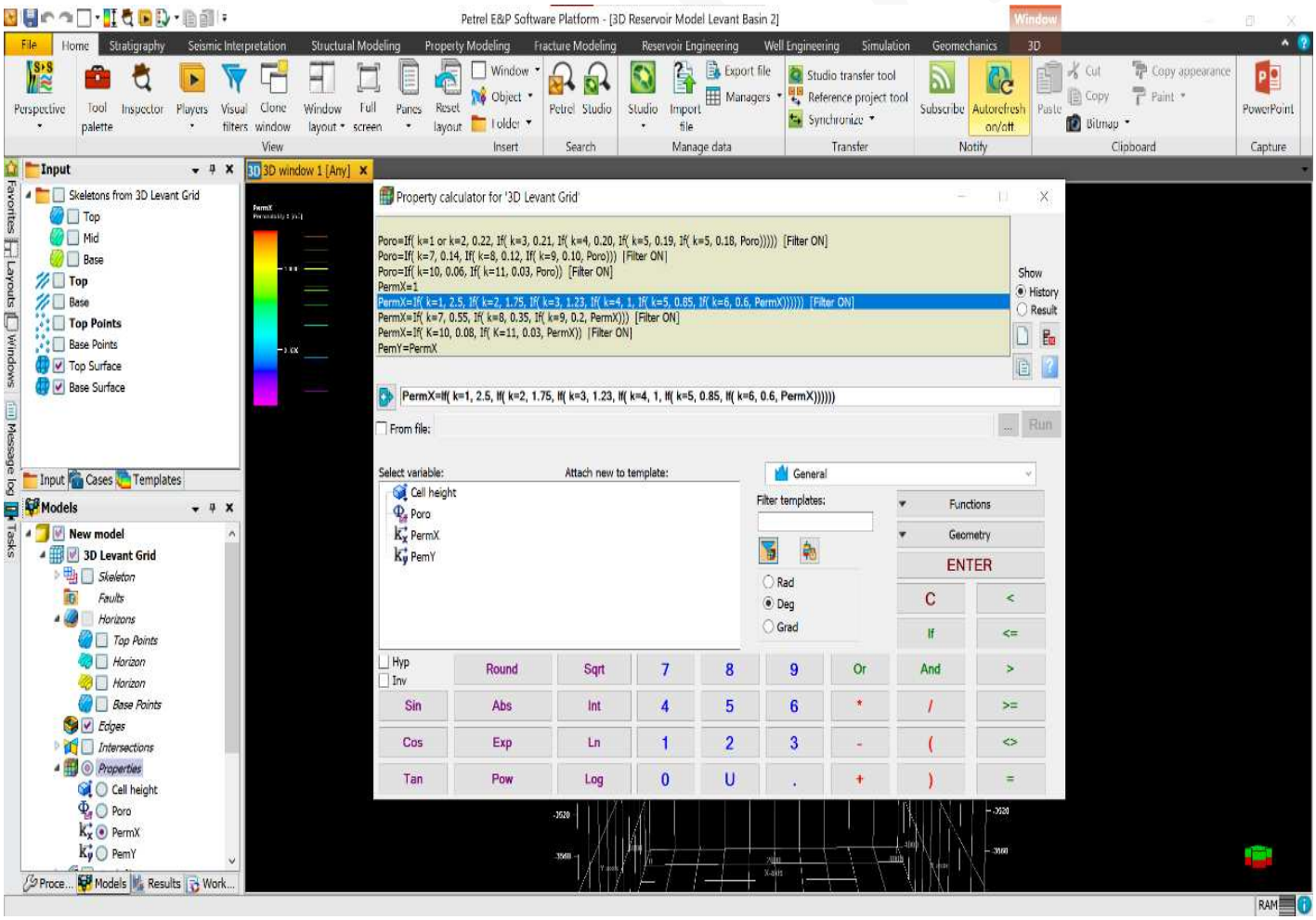
(Calculation of Horizontal Permeability (PermX) for Reservoir Zone)

تم تحديد التدرج الأفقي للنفوذية ضمن المنطقة الخازنة الأولي (Reservoir Zone) بالاعتماد على القيم الطبقية الناتجة عن عملية التطبق (Layering).

تم إدخال العلاقة الرياضية التالية داخل أداة Property Calculator لتوزيع النفوذية أفقيًا بشكل متناقص تدريجيًا مع العمق، بما يعكس السلوك الطبيعي للصخر الخازن (بواحدة الميلي دارسي md):

PermX = If(k=1, 2.5, If(k=2, 1.75, If(k=3, 1.23, If(k=4, 1.0, If(k=5, 0.85, If(k=6, 0.6, PermX))))))

يعكس هذا التدرج تناقص النفوذية من الطبقات العليا نحو السفلى ضمن المنطقة الخازنة نتيجة ازدياد الانضغاط وتناقص حجم المسامات الفعالة (الشكل15-5).



الشكل(15-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج النفوذية العمودية باستخدام أداة Property Calculator ضمن النطاق الخازن (Reservoir Zone)

5-8-5 إدخال النفوذية الأفقية الأولى في النطاق الانتقالي

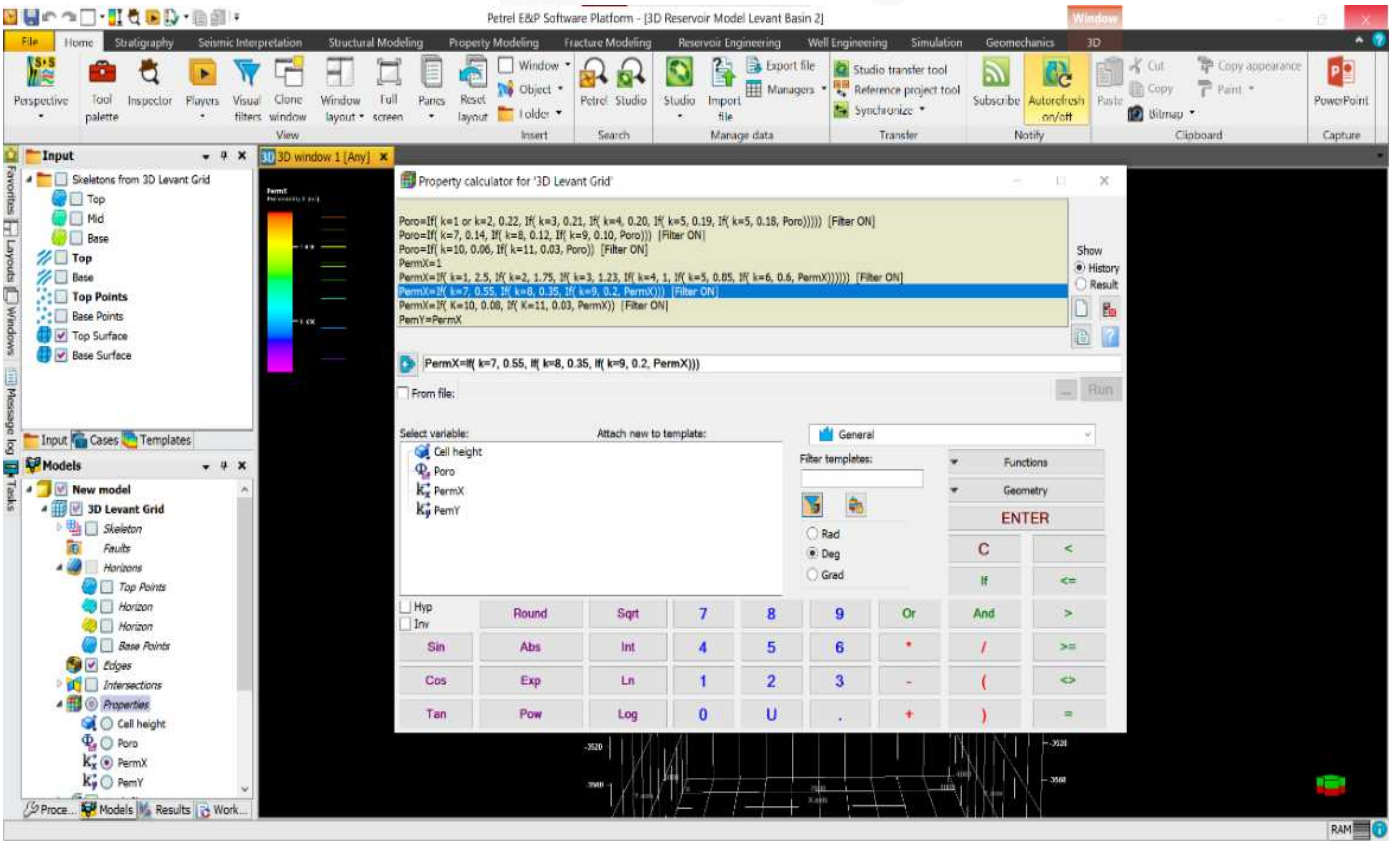
(Calculation of Horizontal Permeability (PermX) for Transition Zone)

تم حساب قيم النفوذية الأفقية للمنطقة الانتقالية (Transition Zone) باستخدام أداة Property Calculator ضمن برنامج Petrel، وذلك وفق علاقة رياضية تدرّجية تُمكّن من تمثيل الانخفاض التدريجي في النفوذية مع العمق.

اعتمد التدرج الطبقي (Layer index) الناتج عن عملية Layering كأساس لتمييز الخلايا ضمن نطاق المنطقة الانتقالية، وفق المعادلة التالية (بواحدة الميلي دارسي md):

PermX = If(k=7, 0.55, If(k=8, 0.35, If(k=9, 0.2, PermX)))

يمثل هذا التدرج الانخفاض الطبيعي في النفوذية عند الانتقال من المنطقة الخازنة نحو المنطقة الانتقالية، نتيجة ازدياد نسبة المعادن الطينية وانخفاض الاتصال المسامي بين الحبيبات (الشكل16-5).



الشكل(16-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج النفوذية الشاقولية باستخدام أداة Property Calculator ضمن النطاق الانتقالي (Transition Zone)

6-8-5 إدخال النفوذية الأفقية الأولى في النطاق الكتيم

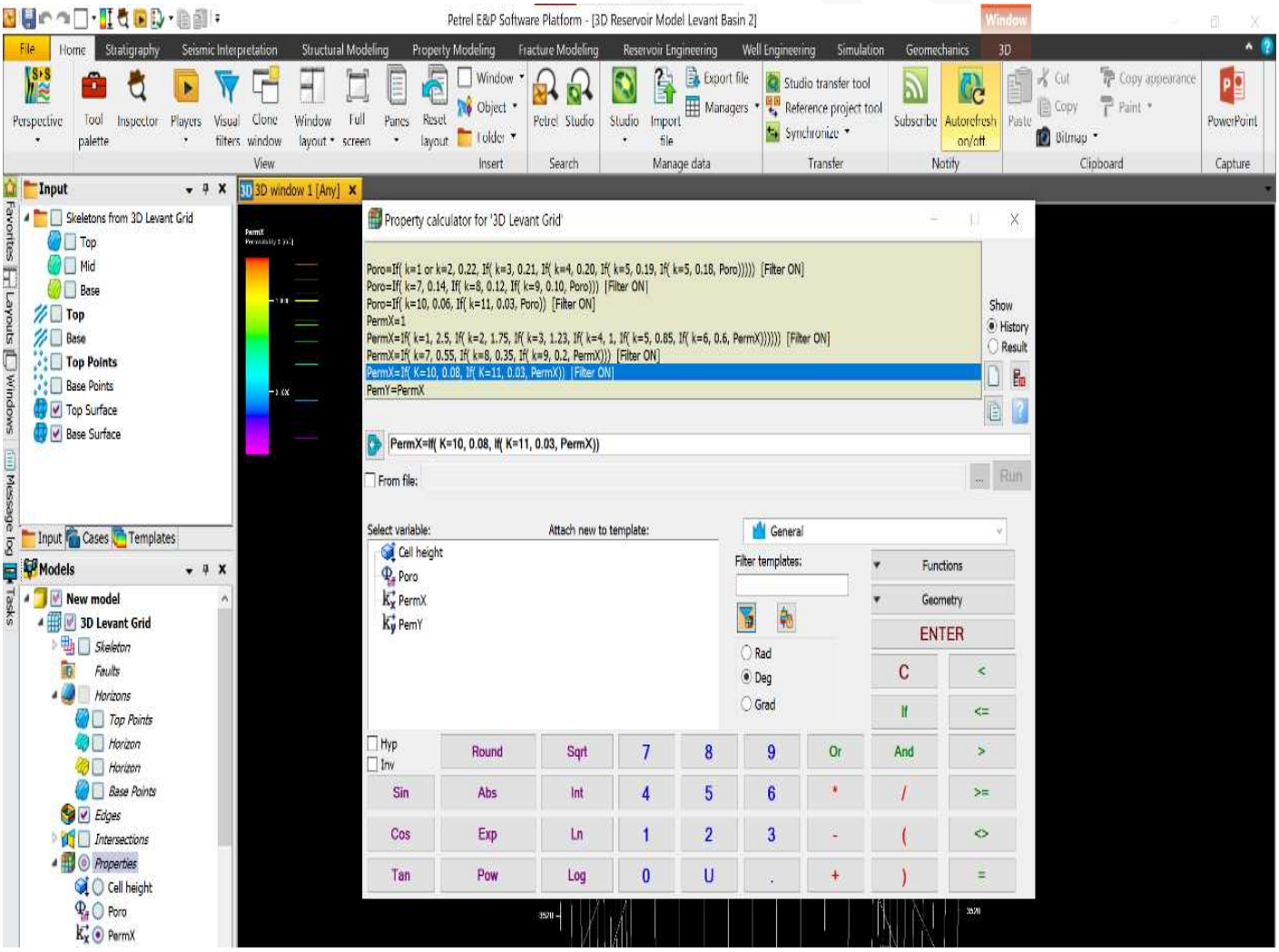
(Calculation of Horizontal Permeability (PermX) for Seal Zone)

تم إدخال القيم الخاصة بالمنطقة الثالثة (Seal/Tight Zone) ضمن أداة Property Calculator لتمثيل الانخفاض الحاد في النفوذية ضمن الطبقات الكتيمة التي تشكّل الغطاء البنيوي للمكمن.

أُستخدم المؤشر الطبقي (k-index) لتوزيع القيم وفق العلاقة الرياضية التالية (بواحدة الميلي دارسي md):

PermX = If(k=10, 0.08, If(k=11, 0.03, PermX))

تُظهر هذه العلاقة انخفاض النفوذية إلى قيم شبه معدومة، بما يتوافق مع طبيعة الصخور الكلسية غير المتشققة (الشكل17-5).



الشكل(17-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج النفوذية العمودية باستخدام أداة Property Calculator ضمن النطاق الكتيم (Seal Zone)

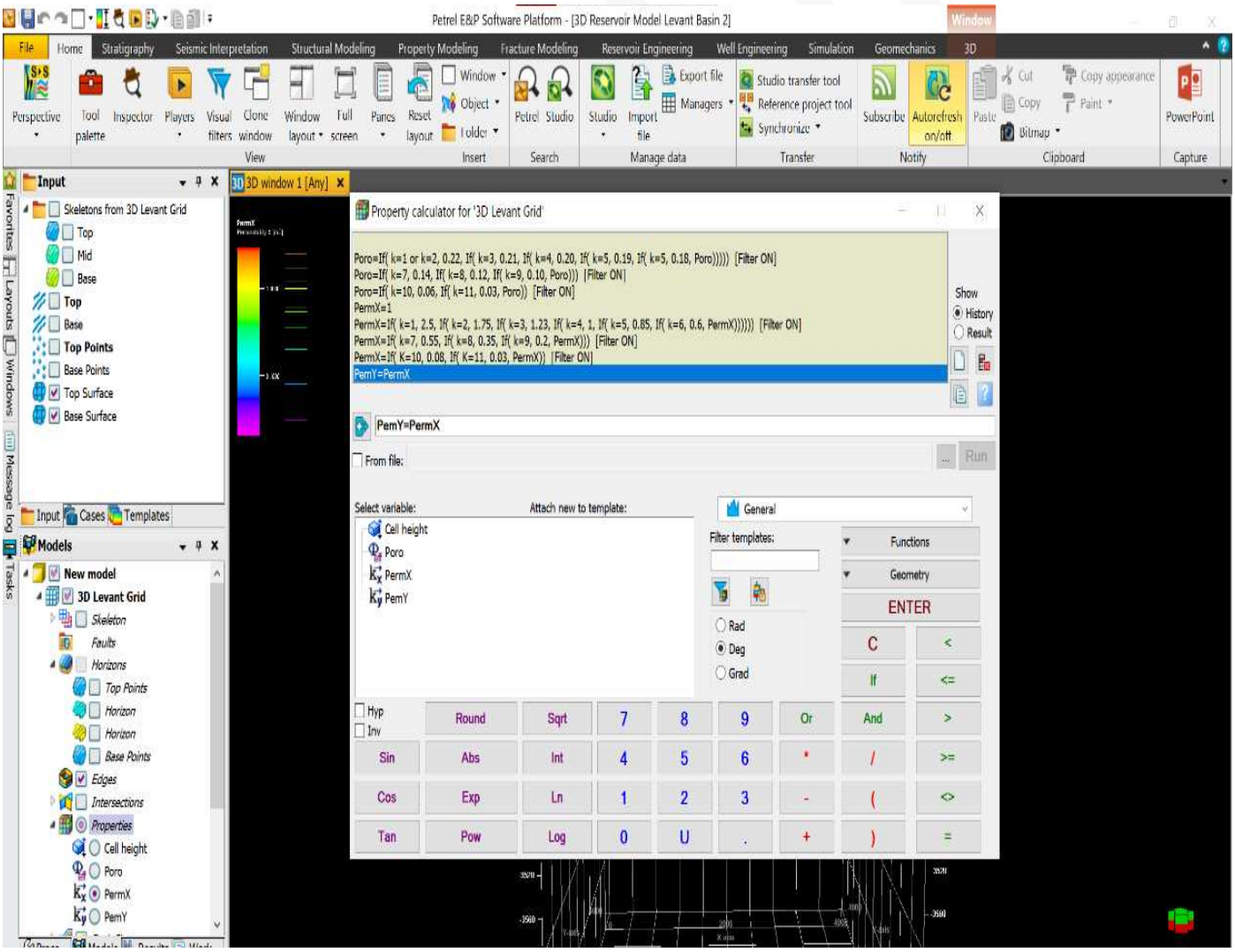
7-8-5 إدخال النفوذية الأفقية الثانية للبنية كاملة

(Calculation of Transverse Horizontal Permeability (PermY) for All Zones)

تم اعتماد تماثل أفقي داخل البنية (quasi-isotropic bedding)، ولذلك جرى إسناد النفوذية الأفقية باتجاه Y مساوية تمامًا للنفوذية الأفقية باتجاه X في الزونات الثلاثة. نُفِّذ ذلك في أداة Property Calculator بالمعادلة المباشرة (بواحدة الميلي دارسي md):

PermY= PermX

حيث تم اعتماد المنطق الهندسي: غياب دليل على توجّه تورّق/شقوق مهيمنة أو جهود اتجاهية قوية، مع انتظام رسوبي جانبي، يجعل افتراض PermY = PermX مناسبًا لمرحلة النموذج الستاتيكي الأولى، مع الإبقاء على إمكانية تحديثه لاحقًا عند توافر بيانات آبار/اختبارات أعمق (الشكل18-5).



الشكل(18-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج النفوذية Y باستخدام أداة Property Calculator للبنية كاملة.

5-8-8 إدخال النفوذية العمودية للبنية كاملة

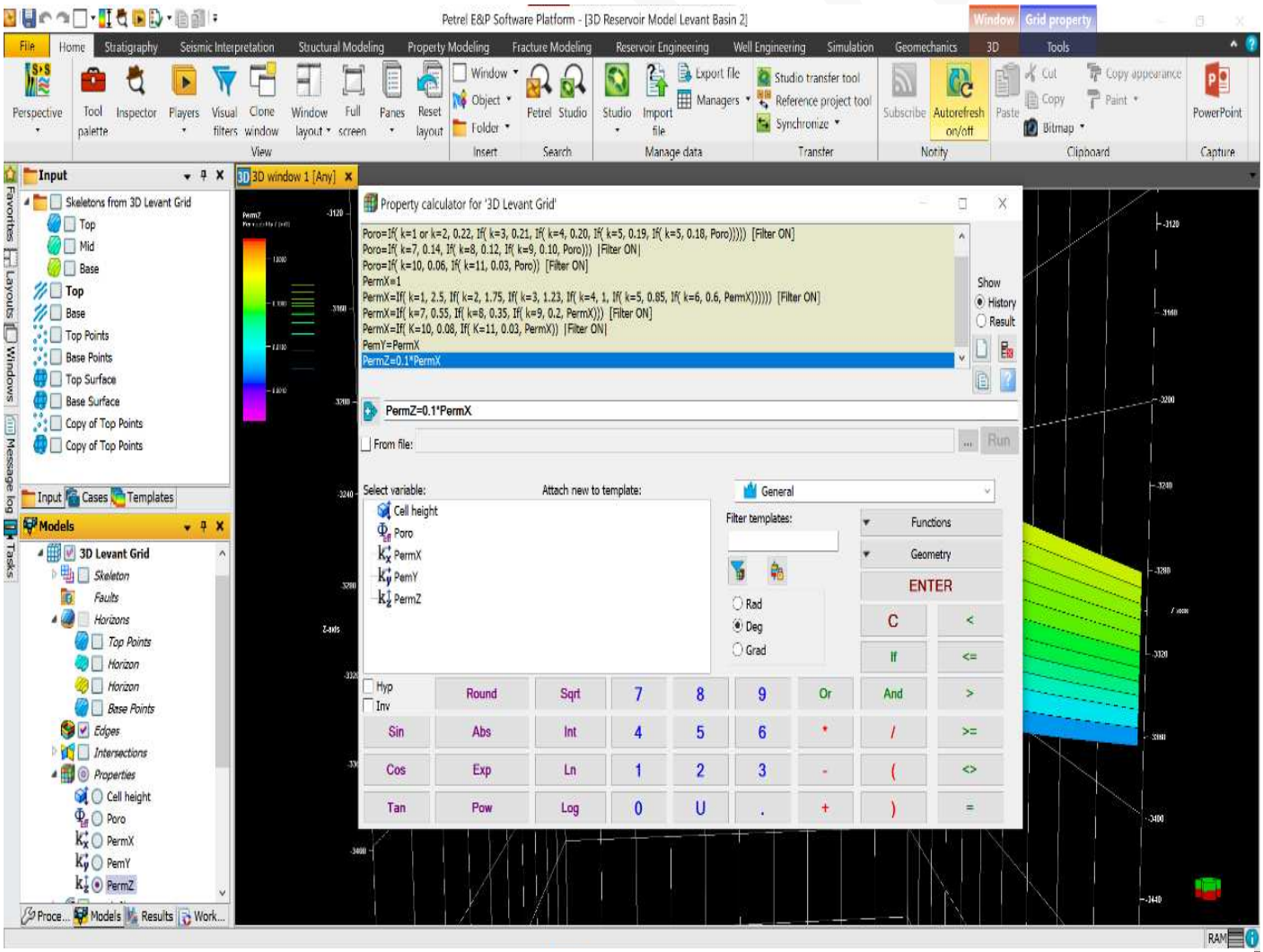
(Calculation of Vertical Permeability (PermZ) for All Zones)

بسبب البنية الطبقية الدقيقة وتراصف الشرائط المارلية/الشيل داخل التتابعات الكربوناتية وتأثير الانضغاط العمودي، تم افتراض تخفيض منتظم للنفوذية العمودية مقارنة بالأفقية.

لذلك ثُبّتت PermZ لكل الخلايا وجميع الزونات ككسر من PermX :

PermZ= 0.10*PermX

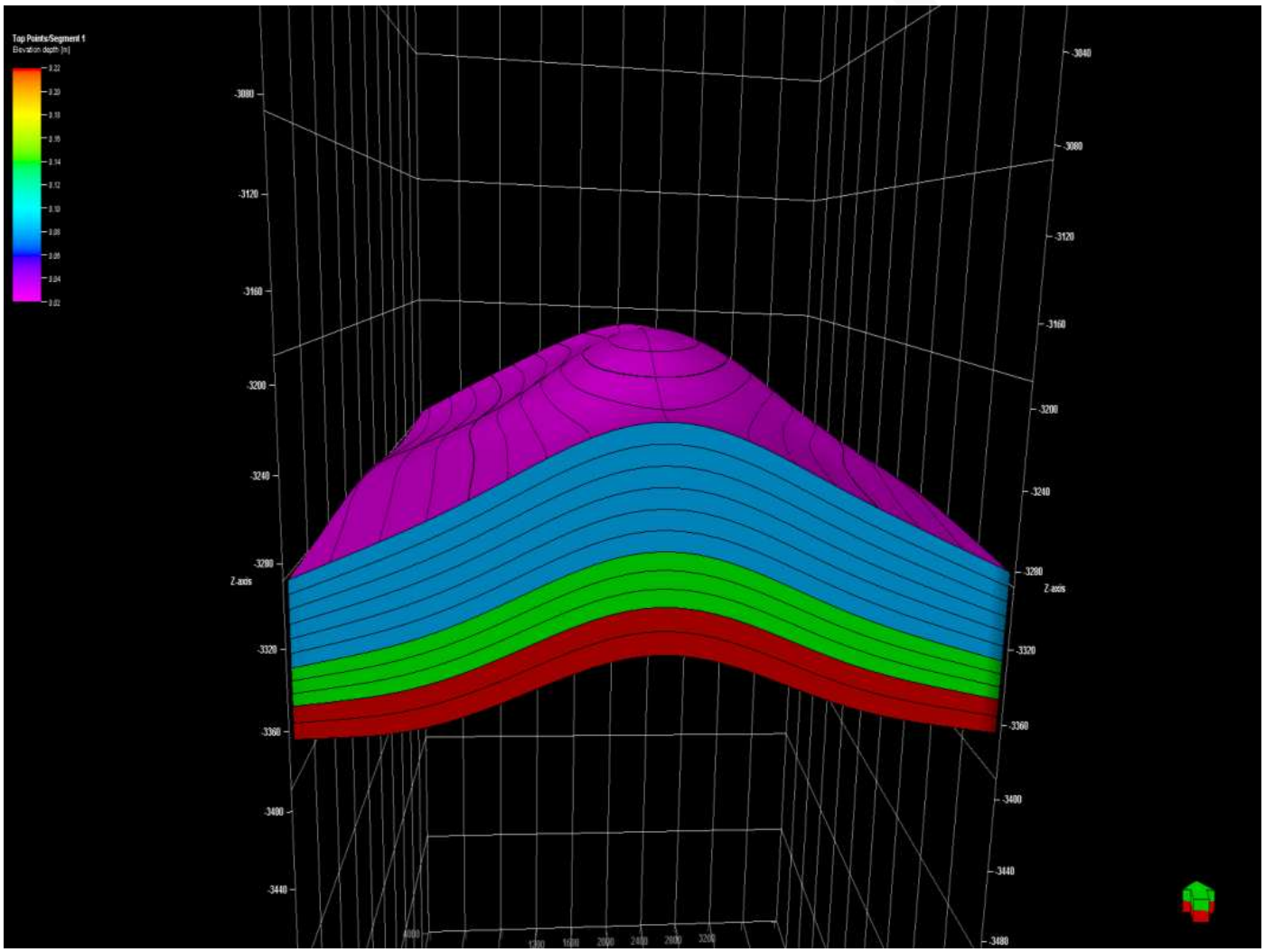
هذا الافتراض يعكس سلوكًا مكمنيًا واقعيًا في الصخور الكربوناتية—المارلية حيث تكون المسارات الرأسية مقيدة نسبيًا، وهو مناسب لمرحلة النموذج الستاتيكي الأولي، مع إمكانية تعديل النسبة لاحقًا عند توافر بيانات كور/اختبارات ضغط—إنتاج (الشكل19-5).



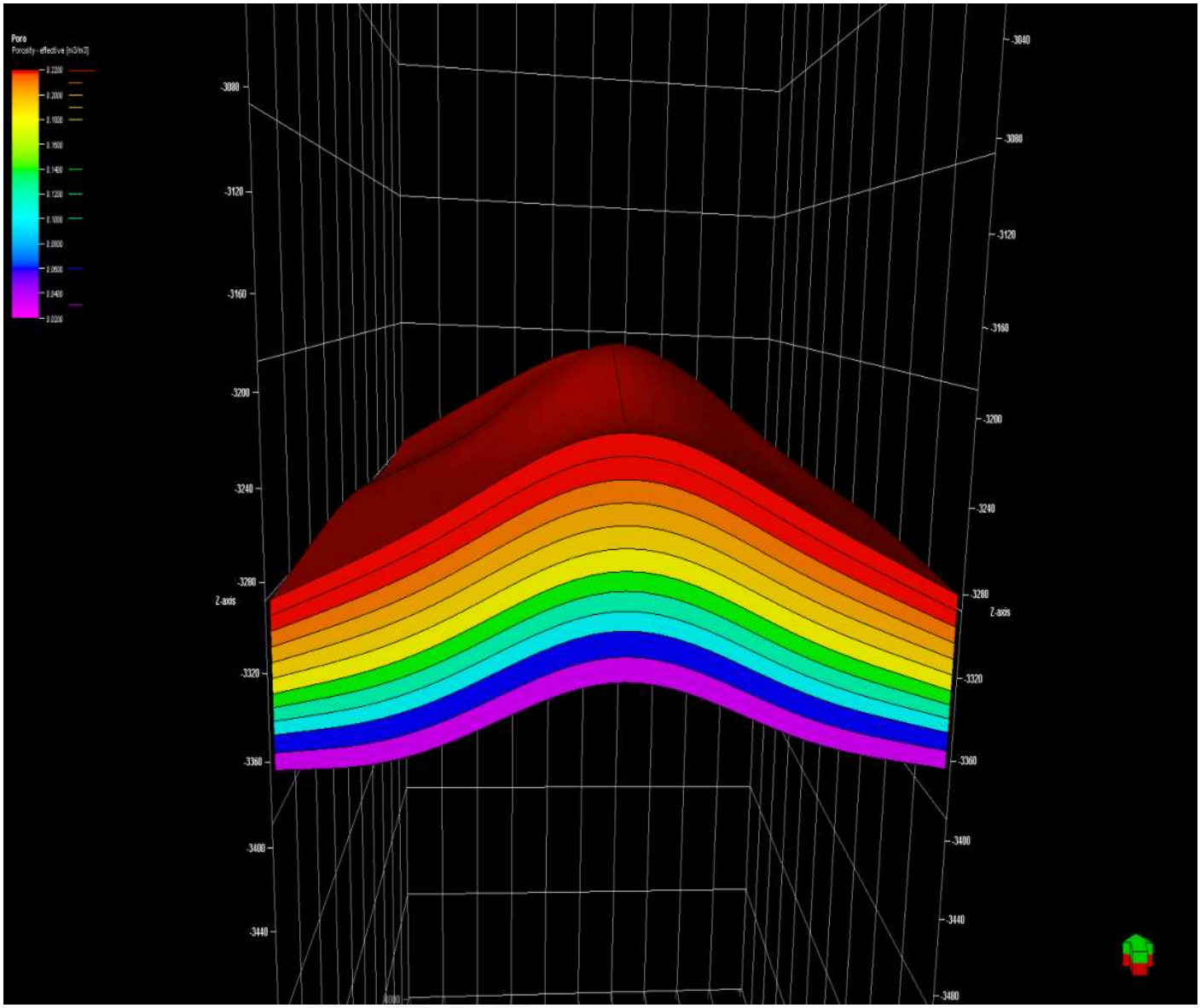
الشكل(19-5): واجهة برنامج Petrel أثناء إدخال المعادلة الخاصة بتدرج النفوذية العمودية Z باستخدام أداة Property Calculator للبنية كاملة.

5-9 التمثيل النهائي ثلاثي الأبعاد للنموذج المكمني
(Final 3D Reservoir Model Representation)

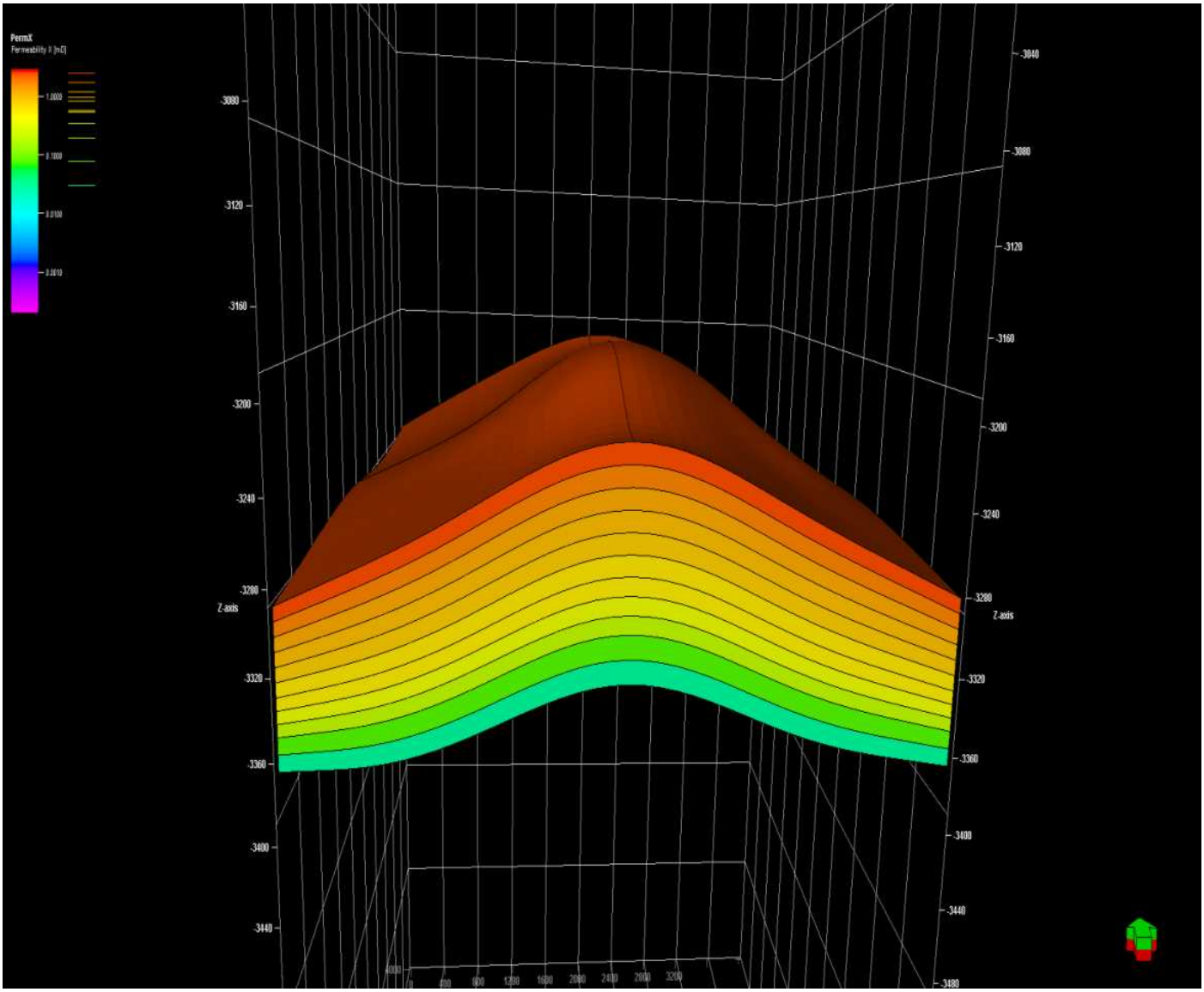
تم في هذا الجزء عرض الشكل النهائي للنموذج المكمني بعد إدخال جميع الخصائص البتروفيزيائية (المسامية والنفوذية بمكوناتها الثلاثة). تظهر الصور التالية التوزع المكاني لهذه الخصائص ضمن البنية المطوّرة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج Petrel، بما يعكس تدرجات الخواص الفيزيائية عبر نطاقات المكمن المختلفة.



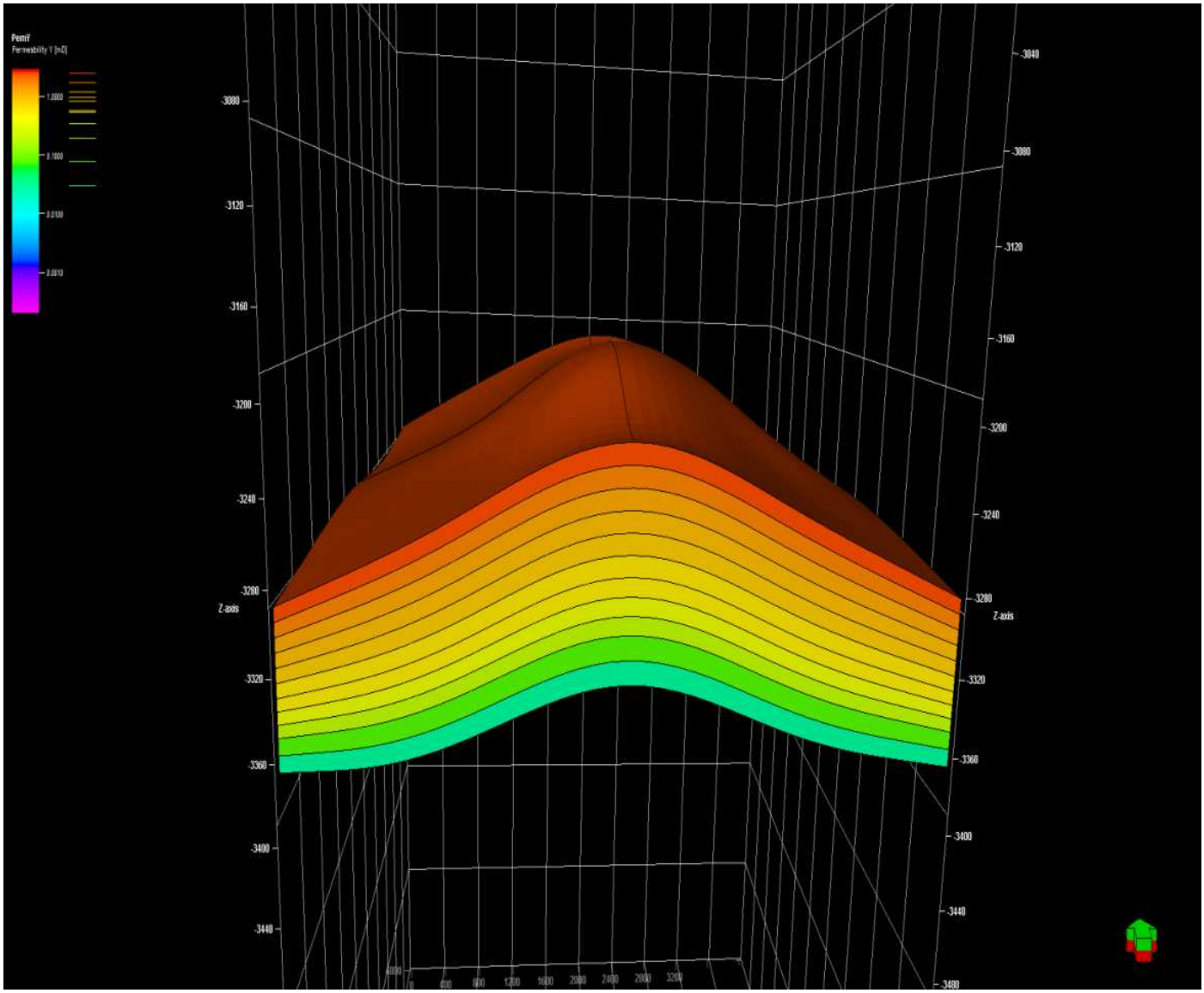
الشكل(5-20): النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد بشكله النهائي في برنامج Petrel، يظهر سطح البنية و النطاقات الثلاثة التي تم تقسيمها (خازن–انتقالي–كتيم).



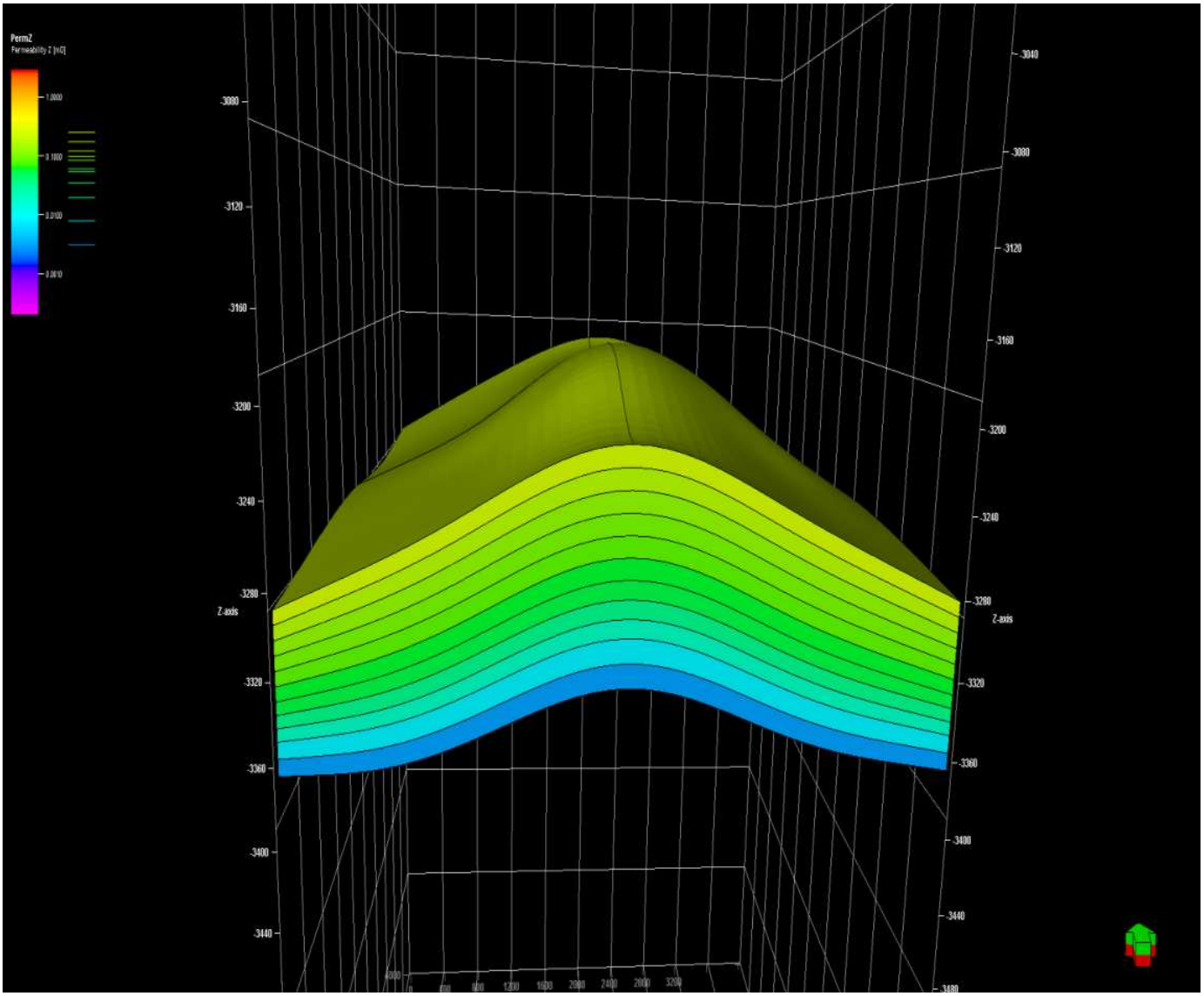
الشكل(21-5): النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد بشكله النهائي في برنامج Petrel، يظهر التوزع الفراغي للمسامية عبر نطاقات البنية المختلفة، مع وضوح التدرج التنازلي للمسامية من قمة البنية نحو قاعدتها تبعاً للتغيرات اللّيثولوجية و العمق.



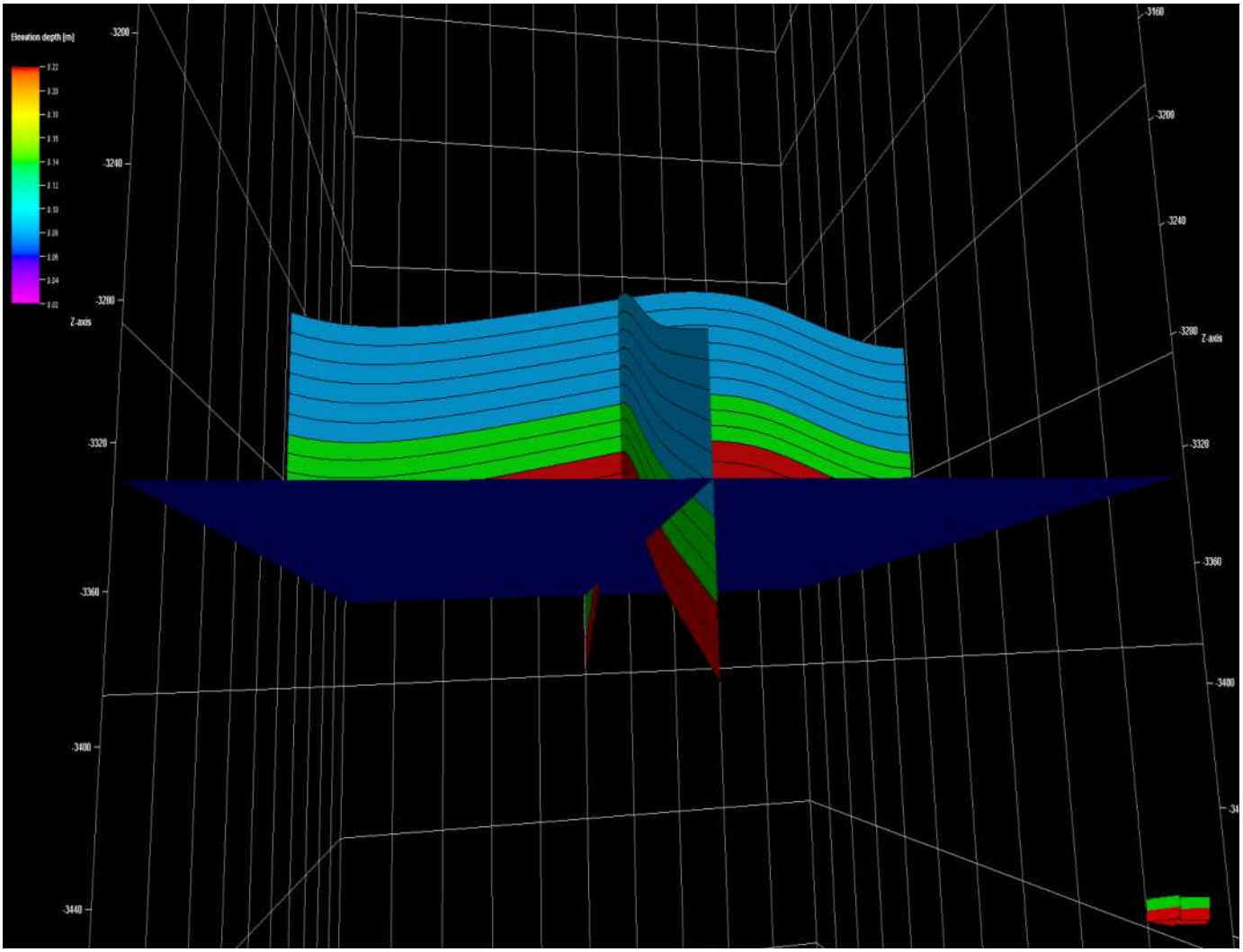
الشكل(22-5): النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد بشكله النهائي في برنامج Petrel، يظهر التوزع الفراغي للنفوذية الأفقية X عبر نطاقات البنية المختلفة مع وضوح التدرج التنازلي للنفوذية من قمة البنية نحو قاعدتها، تبعا للتغيرات الليثولوجية و العمق.



الشكل(23-5): النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد بشكله النهائي في برنامج Petrel، يظهر التوزع الفراغي للنفوذية الأفقية الثانية Y عبر نطاقات البنية المختلفة مع وضوح التدرج التنازلي للنفوذية من قمة البنية نحو قاعدتها، تبعا للتغيرات الليثولوجية و العمق.



الشكل(24-5): النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد بشكله النهائي في برنامج Petrel، يظهر التوزع الفراغي للنفوذية العمودية Z عبر نطاقات البنية المختلفة مع وضوح التدرج التنازلي للنفوذية من قمة البنية نحو قاعدتها، تبعا للتغيرات الليثولوجية و العمق.



الشكل(25-5): النموذج المكمني ثلاثي الأبعاد موضحًا فيه سطح التلامس الافتراضي بين الغاز والماء (Gas–Water Contact, GWC) باللون الازرق النيلي، حيث يمثل الحد الفاصل بين المنطقة الغازية العلوية والمناطق المشبعة بالماء في الأسفل، بما يعكس السلوك المكمني الواقعي للمصيدة البنيوية.

10–5 خُلاصة الفصل الخامس (Conclusion of Chapter Five)

تم في هذا الفصل، بناء النموذج المكمني الثلاثي الأبعاد للبنية المقترحة ضمن حوض ليفانت باستخدام برنامج Petrel 2018، ابتداءً من إنشاء الهيكل البنيوي العام للبنية المحدبة (Anticline Structure) مرورًا بتقسيمها إلى ثلاث مناطق مكمنية رئيسية (خازنة، انتقالية، وكتيمة)، وانتهاءً بإدخال الخصائص البتروفيزيائية (المسامية والنفوذية بكِلا مركبيها الأفقي و الشاقولي).

اقتصر النموذج الرقمي المنفّذ على عملية النمذجة الستاتيكية فقط، بهدف تمثيل البنية المكمنية بصورة رقمية واقعية تُظهر شكلها الهندسي، تتابع سطوحها البنيوية، و تقسيماتها الطّبقية، إضافة الى توزيع الخواص البتروفيزيائية داخلها، بما يتيح فهماً أوضح للبنية الرئيسية للمكمن و سلوكه الجيولوجي.

و يُعد هذا النوع من النماذج (Static Reservoir Model) خطوة جوهرية في الدّراسات المكمنية الحديثة إذ يمكّن من فهم السلوك البنيوي و الفيزيائي للمكمن قبل الانتقال الى مرحلة المحاكاة الحركية (Dynamic Simulation).

وتعتمد الشركات البترولية على مثل هذه النماذج في مراحل التقييم الأولى لأي حقل جديد، لما توفره من أساس علمي لتقدير الاحتياطي الجيولوجي، وتحديد أماكن الحفر المثلى، وتقييم جدوى التطوير والإنتاج.

بذلك يُعتبر النموذج الذي تم تطويره ضمن هذا المشروع تمثيلاً واقعياً ومتكاملاً لبنية غازية محتملة ضمن الساحل السّوري ، ويشكل قاعدة هندسية متينة للمرحلة التالية من التقييم.

الفصل السادس

تقدير الاحتياطي الجيولوجي والاحتياطي الغازي القابل للإنتاج للمكمن الافتراضي ضمن حوض ليفانت

Estimation of Geological and Producible Gas Reserves for the Hypothetical Fields within the Levant Basin

6–1 المقدمة (Introduction)

تجدر الإشارة إلى أن جميع القيم والنتائج الواردة في هذا التقرير تمثل تقديرات هندسية–جيولوجية أولية مبنية على تحليل المقطع الزلزالي المتاح للمنطقة المختارة، والذي استُخدم لتحديد أبعاد البنية المكمنية وخصائصها العامة.

ونظرًا لغياب بيانات استكشافية ميدانية مباشرة (مثل قياسات الآبار أو اختبارات الإنتاج)، فقد تم الاعتماد على منهجيات تحليل نوعي وكمّي مدعومة بأدوات الذكاء الاصطناعي لتقدير الخصائص المكمنية (المساحة، الثخانة، المسامية، درجة التشبع) وفق القيم المرجعية المنشورة لبنى مشابهة ضمن حوض ليفانت.

وبالتالي تُعد النتائج المحسوبة – بما في ذلك قيم OGIP والاحتياطي القابل للإنتاج – تقديرات تقريبية تهدف إلى بناء نموذج واقعي أكاديمي يعكس منهجية هندسية متكاملة، دون الادّعاء بأنها تمثل بيانات حقلية مؤكدة.

6–2 تقدير المساحة الأولية للبنية المدروسة

(Preliminary Areal Delineation of the Studied Structure)

تم تقدير المساحة السطحية للمكمن اعتمادًا على المقطع السيزمي المرفق كما يلي:

المقياس الأفقي في أسفل المقطع يوضح أن طول الشريط = 3 كم.

إنّ امتداد الانغلاق البنيوي الظاهر بالقياس المباشر في المقطع يقارب 2.5 × طول الشريط و منه نجد ان العرض ≈ 7.5 كم.

تم افتراض طول محافظ على امتداد خط المضرب يعادل تقريبًا ضعفي العرض اعتمادًا على الامتداد البنيوي الظاهر في سطوح العواكس الفاصلة بين الطبقات واتجاه الطيّة و بذلك يكون الطول ≈ 15 كم.

الناتج: **A ≈ 7.5 × 15 = 112 km (27700 acre)**

هذا الرقم وُضع بالمقارنة مع التراكيب البنيوية الموثقة في الحوض الشرقي للمتوسط (Levant Basin) حيث أن البنى الصغيرة والمتوسطة في المنطقة تراوح مساحتها بين 80-30 كم^2، في حين تتجاوز البنى الأكبر 300-100 كم^2. وبالتالي فإن القيمة المقدّرة (112كم^2) تقع ضمن المجال المنطقي لبنية متوسطة الحجم، مما يدعم واقعيتها كمكمن افتراضي في هذه الدراسة.

6–3 تقدير السّماكة المنتجة

(Determination of the Effective Thickness)

تم اعتماد السماكة المنتجة للخزان بناءً على ارتفاع العمود الغازي المحدد فوق مستوى تماس الغاز—الماء (GWC).

إذ تبيّن من النموذج البنيوي أن عمود الغاز الحر يمتد حتى عمق يقارب 90 متر فقط، وهو الجزء المشبع بالغاز بشكل رئيسي.

أما المنطقة الانتقالية تحت الـ GWC فقد تم إهمالها في هذا التقدير الأولي، نظرًا لانخفاض تشبع الغاز فيها وصعوبة احتسابه بدقة في غياب بيانات اختبار آبار (well test)، وعليه، تم تثبيت:

$$\mathbf{h = 90\ m = 295\ ft}$$

هذا الإجراء يتماشى مع الممارسات المتبعة في الحسابات الحجميةرالأولية للاحتياطي (First-Pass Volumetrics)، حيث يُعتمد العمود الغازي الحر فقط لضمان واقعية النتائج وتقليل المبالغة.

6–4 تقدير المسامية (Determination of Porosity)

تم اعتماد المسامية **(φ=0.2)**، حيث يأخذ متوسط سماكي ضمن عمود الغاز فقط، و هو القسم الخازن فقط من تكشيلة شيرانيش الذي يحوي فقط على غاز حر، مع وجود تدرّج خطي من 22% عند قمة الخزان إلى 18% باتجاه قاعدة هذا القسم.

و قد تم إهمال مسامية القسم الانتقالي نظراً لانخفاض تشبع الغاز في هذه المنطقة و ازدياد تشبع الماء على حساب الغاز، و اعتماداً على منهجية الحسابات الحجمية الأولية (First-Pass Volumetrics).

6–5 تقدير درجة التشبع بالغاز و الماء
(Determination of Water and Gas Saturation Levels)

تم اعتماد تشبع الماء الأولي 24% استنادًا إلى دراساتنا السابقة و تحديد الخواص البتروفيزيائية الموضوعة للنموذج المكمني، حيث يمثل المقابل له تشبعاً غازياً بحدود 76% مع وجود مكثفات.

وعليه فإن معامل **(1–Swi)** المستخدم في حسابات OGIP يساوي **0.76** .

6–6 تقدير عامل حجم الغاز
(Determination of Gas Formation Volume Factor)

يمثّل عامل حجم الغاز نسبة حجم الغاز في المكمن إلى حجمه القياسي على السطح؛ وبسبب قابلية الغاز العالية للانضغاط تكون قيمة هذا العامل دائماً صغيرة.

و من أجل نموذجنا البحري الواقع في شرق المتوسط و بالاعتماد على تقارير عالمية وجدنا انه يتم اعتماد مقياس محدد لكل من الضغط و التدرج الحراري، و بالاعتماد على ذلك لاعماق تتراوح 3000 متر تحت قاع البحر نجد أن الضغط يتراوح حوالي (3000-3500 psi≈)، و درجة الحرارة تتراوح (170-190 F≈)

و بناءً على ذلك تم تحديد عامل حجم الغاز (Bg≈ 0.0033-0.0047 rb/scf).

و تم اعتماد قيمة محافظة من أجل استخدامها في حساب الاحتياطي الجيولوجي (Bg= 0.0035 rb/scf).

6-7 حساب الاحتياطي الجيولوجي
(Calculation of the Original Gas in Place (OGIP))

يتم حساب الاحتياطي الجيولوجي باستخدام القانون التالي:

$$OGIP=7758\times A\times h\times \varphi\times(1-Swi)/Bg$$

و بتثبيت جميع المعطيات التي تم تعيينها :

(A=27.700acre, H=295 ft, φ=0.20, (1-Sw)=0.76, Bg=0.0035 rb/scf)

و منه نجد:

OGIP≈2.8Tcf (Trillion cubic feet)

أسفرت الحسابات المكمنية الأولية عن قيمة **OGIP ≈ 2.8 Tcf** تريليون قدم مكعب قياسي.

هذه النتيجة تقع ضمن المجال المنطقي لتراكيب متوسطة الحجم في الحوض الشرقي للمتوسط، وذلك للأسباب التالية:

- توافق مع أبعاد التركيب: المساحة السطحية المقدّرة (≈112 كم^2) والسماكة المنتجة (≈90 م) مع مسامية وتشبّع غازي محافظين تقود طبيعياً إلى احتياطي جيولوجي في حدود عدة تريليونات قدم^3، ما يدعم واقعية الرقم.
- مقارنة إقليمية:
  - أكبر من تراكيب صغيرة—متوسطة مثل Tanin (~1.1–1.2 Tcf) و Karish (~1.4–1.7 Tcf) .
  - أصغر بكثير من الحقول العملاقة مثل Tamar (~10 Tcf) و Leviathan (~22 Tcf) .
  - قريب من حجم حقل Aphrodite (~3.5–4.5 Tcf)

وبذلك فإن قيمة **(2.8 Tcf)** تُمثل تقديراً واقعياً ومقنعاً لتركيب متوسط الحجم، وتؤكد أن النتائج ضمن المجال المتوقع للبنى الجيولوجية المشابهة في المنطقة.

ملاحظة حول منهجية الحساب: لم يتم إجراء حسابات الاحتياطي الجيولوجي باستخدام برنامج Petrel رغم قدرتنا على ذلك، بل بالمنهجيّة الموضحة أعلاه و ذلك لضمان الشفافية الأكاديمية و دقة العرض الحسابي.

كما أن بعض الحسابات غير متوفرة بدقة كافية داخل النسخة الاكاديمية من البرنامج بل تحتاج الى تصاريح إضافية، مما يجعل الاعتماد على الحساب اليدوي وفق المعادلة القياسية المعتمدة خياراً أكثر وضوحاً و مرونة و أقرب الى المنهج التعليمي الصحيح، و يتم اعتماد هذا الأسلوب أثناء عمليات

الاستكشاف و التقديرات الأولية للاحتياطي إلى يومنا هذا، حيث من خلال هذا الأسلوب يمكن متابعة كل خطوة حسابية بدقة أكبر و تفسير النتائج بشكل مباشر.

6–8 تقدير معامل الاستخلاص

(Determination of the Recovery Factor (RF))

تم اعتماد معامل استخلاص للغاز (RF=0.70) كقيمة محافظة ضمن النطاق المرجعي الشائع للغاز البحري (0.65–0.80)، يأتي هذا الاختيار اتساقًا مع طبيعة الغاز الذي له حركية مرتفعة مع مراعاة احتمالية هبوط الكفاءة المحلية بسبب تكاثف السوائل قرب البئر في حالة الغاز—مكثفات و عدم وجود بيانات آبار.

6–9 حساب الاحتياطي القابل للإنتاج

(Calculation of Recoverable Reserves)

$$G_{rec} = OGIP \times RF \quad G_{rec} \approx 2.8 \times 0.70 \approx 1.96 \text{ Tcf} (\approx 55 \text{ Bcm})$$

حساسية سريعة:

- RF=65% ⇒ 1.82 Tcf (≈51.6 Bcm)
- RF=75% ⇒ 2.10Tcf(≈59.5 Bcm)
- RF=80% ⇒ 2.24Tcf(≈63.5 Bcm)

أسفر الاختيار المحافظ لمعامل الاستخلاص (RF=0.70) عن احتياطي قابل للإنتاج يقارب 1.95Tcf (~54.6 Bcm)، وقد أُدرجت حساسية لتغطية عدم التيقن في غياب محاكاة ديناميكية.

6–10 خُلاصة الفصل السادس (Conclusion of Chapter Six)

يُعد هذا الفصل المرحلة الختامية في بناء النموذج الستاتيكي، إذ جرى فيه الانتقال من التمثيل البنيوي والبتروفيزيائي إلى مرحلة التقييم الكمي للاحتياطي الغازي.

تم حساب المساحة والسماكة المنتجة والمسامية وتشبعات الموائع بالاعتماد على بيانات النموذج الرقمي المولّد في برنامج Petrel، ومن ثم تطبيق المعادلات الإحصائية القياسية لتقدير الاحتياطي الجيولوجي (OGIP) ومعامل الاستخلاص، وصولًا إلى حساب الاحتياطي القابل للإنتاج.

تكمن أهمية هذا الفصل في أنه يُحوّل النموذج من كيان هندسي افتراضي إلى أداة تحليلية كمية يمكن من خلالها تقدير الإمكانات الإنتاجية لأي تركيب مماثل ضمن المياه الإقليمية السورية، مما يجعله خطوة علمية أساسية قبل الانتقال إلى النمذجة الديناميكية أو دراسات الجدوى الاقتصادية المستقبلية.

الفصل السابع

المناقشة العامة
General Discussion

7–1 المقدمة (Introduction)

يهدف هذا الفصل إلى مناقشة النتائج المتحصل عليها من خلال المراحل السابقة من المشروع، وتحليلها ضمن سياق علمي وهندسي متكامل، بما يضمن ربطها بالإطار الجيولوجي العام لحوض ليفانت والسّاحل السّوري.

تركّز المناقشة على تقييم المنهجية المتبعة في تحديد الموقع المكمني وبناء النموذج الستاتيكي، ومدى توافقها مع الأسس العلمية التي تعتمدها شركات النفط والغاز في دراساتها الاستكشافية.

كما تتناول موثوقية النتائج المستخلصة من الحسابات المكمنية والاحتياطية، وتُبرز القيمة الأكاديمية والهندسية للمشروع بوصفه أول دراسة من نوعها على نطاق المياه الإقليمية السورية.

7–2 دمج النتائج الجيولوجية والهندسية
Integration of Geological and Engineering Results

شكّل هذا المشروع نموذجًا تطبيقيًا لدمج المعطيات الجيولوجية والهندسية ضمن إطار واحد متكامل، حيث جرى في المراحل الأولى تحليل شامل للبنية الإقليمية لحوض ليفانت والسّاحل السّوري، بالاعتماد على خرائط بنيويّة ومقاطع سيزمية منشورة، إضافةً إلى مقارنة التتابعات الطبقية بين الشرق السوري وسواحله استنادًا إلى مراجع ونظريات جيولوجية عالمية أثبتت الترابط الطّبقي والاستمرارية الرسوبية بين المنطقتين.

اعتمادًا على هذا الربط الجيولوجي، تم الانتقال إلى مرحلة النمذجة المكمنية باستخدام برنامج petrel حيث جرى تحويل المعطيات التفسيرية إلى تمثيل رقمي ثلاثي الأبعاد يعكس البنية الواقعية للمكمن.

مع إدخال الخصائص البتروفيزيائية المشتقة من التحليل السابق مثل المسامية، النفوذية، وتشبع الموائع.

بهذا الدمج بين المعالجة الجيولوجية الوصفية والنمذجة الهندسية الكمية، تم تحقيق توازن علمي دقيق بين فهم التطور الجيولوجي للبنية وتمثيلها الرقمي كخزان محتمل، ما مكّن من الحصول على نتائج واقعية ومدعومة بأساس علمي متين، تُشكّل قاعدة لتحليلات أكثر تقدماً في الدراسات المستقبلية.

7–3 قوة المنهجية المعتمدة وتشابهها مع ممارسات الصناعة النفطية

Strength of the Applied Methodology and Its Alignment with Petroleum Industry Practices

ارتكز المشروع على منهجية عمل متسلسلة ومتكاملة تُحاكي المراحل الفعلية التي تتبعها شركات النفط العالمية خلال مرحلة الاستكشاف الأولي بدءًا من التحليل الجيولوجي الإقليمي ووصولًا إلى بناء النموذج المكمني الرقمي.

تم تنفيذ العمل ضمن إطار علمي منضبط، تدرّج من تفسير المقاطع السّيزمية لتحديد الموضع البنيوي مروراً بتعيين الطبقات الخازنة والغطاء استنادًا إلى الترابط الليثولوجي والبيئات الترسيبية، وصولًا إلى النمذجة البتروفيزيائية المكمنية ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج petrel لتوصيف الخواص البتروفيزيائية (المسامية، النفوذية و درجة التشبع) و بناء النموذج الستاتيكي.

تتميّز هذه المنهجية بكونها مبنية على تكامل الجيولوجيا مع الهندسة، و ربط منطقي بين المعطيات النوعية والوصفية من جهة، والمعالجات العددية والكمية من جهة أخرى، ما يعكس الأسلوب المتّبع في أقسام التقييم المبكر (Appraisal Departments) لدى شركات الطاقة الكبرى.

إن اعتماد هذا النمط المنهجي المتكامل في مشروع أكاديمي يمنحه بعداً تطبيقياً واقعياً ويجعله متوافقاً مع المعايير الصناعية العالمية في تحليل وتقييم المكامن الغازية المحتملة.

7–4 ريادة المشروع وتميّزه الوطني

Project Leadership and National Significance

يُعدّ هذا المشروع من أوائل الدراسات الأكاديمية في سوريا التي تناولت النمذجة المكمنية الرقمية (3D Reservoir Modeling) لمنطقة بحرية سورية، معتمداً على بيانات واقعية منشورة ومراجع علمية دولية موثوقة

وقد تميّز المشروع بدمجه بين التحليل الجيولوجي الإقليمي والتطبيق الهندسي الرقمي ضمن منهجية واحدة متكاملة، مما منحه طابعاً ريادياً مماثلاً للدراسات التي تنفذها الشركات الوطنية في مراحل الاستكشاف الأولي.

أمّا على الصعيد الوطني، يُعتبر هذا العمل خطوة جريئة غير مسبوقة في طرق أبواب المياه الإقليمية السّورية، تلك المنطقة التي لَربما لم يسبق لأي دراسة أكاديمية أن تعرضّت لها أو تناولتها بهذا العمق العلمي والهندسي، مما يمنحه بعداً استراتيجياً يتجاوز حدود البحث الجامعي التقليدي.

وعلى الرغم من وجود مشاريع مماثلة في جامعات دولية مرموقة في النرويج وكندا وماليزيا، تتبع منهجيات متكاملة تجمع بين التحليل الجيولوجي والنمذجة الرقمية، إلا أن هذا المشروع يُعدّ الأول من نوعه في سوريا الذي يصل إلى هذا المستوى من الواقعية والاحتراف العلمي في توصيف مكمن بحري باستخدام تقنيات النمذجة الحديثة.

كما يُبرز المشروع الإمكانات الكامنة في السّاحل السّوري ضمن حوض ليفانت الغازي، مسلطًا الضوء على ثروات بحرية لم تُستكشف بعد، وممهّدًا الطريق أمام الجهود البحثية المستقبلية لاستثمارها علمياً واقتصادياً.

ويمثل هذا العمل نموذجاً رائدًا يمكن البناء عليه لاحقاً في مشاريع مماثلة داخل الجامعات السورية، إذ يقدم إطارًا علميًا وهندسيًا متكاملًا لتوصيف المكامن البحرية اعتمادًا على أدوات النمذجة الحديثة ومفاهيم الجيولوجيا التطبيقية.

7–5 خُلاصة الفصل السابع (Conclusion of Chapter Seven)

تناول هذا الفصل المناقشة العامة لنتائج المشروع من منظور علمي وهندسي متكامل، حيث جرى تحليل مخرجات النمذجة المكمنية وربطها بالأسس الجيولوجية والإقليمية للحوض المدروس. وقد تم توضيح منهجية الدمج بين المعلومات السيزميّة، والبيانات الحقلية، والنماذج الرقمية ثلاثية الأبعاد بما يضمن واقعية التفسير ودقته.

أظهر النقاش أن الجمع بين المنهج التحليلي الأكاديمي وأسلوب العمل التطبيقي المعتمد في الشركات البترولية أتاح الوصول إلى نتائج ذات مصداقية عالية، تُظهر قابلية تطوير هذا المشروع إلى دراسة تطبيقية في حال توفر بيانات ميدانية إضافية. كما برزت أهمية المشروع في طرح نموذج وطني واقعي ضمن نطاق لم يُستكشف بعد، ما يعزز قيمته العلمية والبحثية على المستوى المحلي.

يُختتم هذا الفصل بإبراز أن ما تم التوصل إليه يشكّل أساساً علمياً يمكن البناء عليه في الفصول التالية التي تتناول النتائج النهائية والتوصيات المستقبلية الهادفة إلى تطوير الدراسات اللاحقة في مجال الاستكشاف البحري السوري.

النّتائج و المُقترحات

Final Results and Recommendations

أولاً: نتائج العمل (Results)

1- تحديد وجود نظام بترولي فعّال محتمل ضمن المياه الاقليمية السّورية:

إذ أكدت الأدلة السيزمية (Flat Spot – Gas Chimney) الى جانب بيانات الآبار البرية وجود مؤشرات مباشرة على تجمّع للمواد الهيدروكربونية، ما يعزز منطقية وجود غاز حر في قمة البنية المختارة.

2- تأكيد وجود بنية محدبة (Anticline) مناسبة لتجمع الهيدروكربونات:

تبيّن من خلال تحليل المقاطع السيزمية المنشورة وجود بنية محدبة تتموضع ضمن حدود المياه الاقليمية السورية، و هي من أكثر المصائد شيوعاً و فاعلية في تراكم الغاز.

3- تأكيد الاستمرارية الطبقية من اليابسة الى البحر:

إذ بيّن الترابط الطّبقي مع بيانات الآبار السّورية على اليابسة ان تشكيلة شيرانيش الكربوناتية تمتد من اليابسة الى البحر بشكل مستمر، و تشكل الخزان الأساسي للكريتاسي الأعلى، في تؤمن وحدات المارل و الغضار الصفحي التابعة للباليوسين صخور غطاء فعّالة تمنع تسرب المواد الهيدروكربونية.

4- تحديد نوع الصخور الخازنة و الغطاء بشكل علمي واضح:

تم اثبات وجود خزانات كربوناتية ضمن الكريتاسي الأعلى و يتوضع فوقها غطاء مارلي – غضاري فعّال، و هو ذات النظام المنتج في عدة مواقع بالمنطقة.

5- تحديد العمق المرجّح للبنية البحرية بطريقة مبررة علميا:

تم تقدير عمق قمة المكمن نحو 3200 متر تحت قاع البحر بالاعتماد على التدرج البنيوي و مضاهاة الآبار المجاورة.

6- بناء نموذج مكمني ثلاثي الأبعاد و متكال و واقعي:

تمثّل النموذج بسطحين رئيسين (Top-Base)، و ثلاث نطاقات ممثلة للتشكل الحقيقي حيث يقسّم الى:

1- النطاق الخازن (Reservoir Zone): بسمك فعال نحو 90 متراً.

2- النطاق الانتقالي (Transition Zone): بسمك يقارب 40 متراً.

3- النطاق الكتيم (Seal Zone): بسمك نحو 35 متراً.

7- تحديد الخواص البتروفيزيائية اعتماداً على بيانات حقيقية:

حيث بُنيت المسامية و النفوذية على أساس القياسات المنشورة من حقل "سازابا"، ثم وزّعت تدريجياً داخل النموذج بما يعكس السلوك الطبيعي للصخور.

8- تقدير أولي واقعي للاحتاطي الجيولوجي الغازي:

أظهرت الحسابات اليدوية المعتمدة على المعايير الهندسية رقماً يقارب (2.8 TCF) كـ احتياطي جيولوحي أولي، و هو رقم متناغم مع سلوك البنية و خصائصها.

9- صلاحية المشروع ليكون مرجعاً اولياً لأي نشاط استكشافي في المستقبل:

إذ جُمعت فيه معلومات جيولوجية و سيزمية و بتروفيزيائية متكاملة و غير موجودة ضمن مصدر واحد سابق، مما يجعله قاعدة بيانات أولية للمياه الإقليمية السّورية.

ثانياً: المقترحات (Recommendation)

1– إجراء مسوحات سيزمية ثلاثية الأبعاد (3D Seismic Surveys):

وذلك خصوصًا على امتداد سلسلة جبال اللاذقية داخل البحر (Lattakia Ridge)، بهدف تحديد موقع البنية بدقة عالية وتأكيد أبعادها الحقيقية.

2– التحليل الموسّع للخواص البتروفيزيائية (Extended Petrophysical Analysi):

يوصى بإجراء تحليل تفصيلي للخواص البتروفيزيائية لتشكيلة شيرانيش و ذلك عبر التعاون مع احدى الدول المنتجة من الحوض ذاته (مثل: لبنان، قبرص او حتى مصر) بهدف الحصول على لبابات صخرية من آبارها للتشكيلة المذكورة.

3– اقتراح موقع أولي لحفر بئر استكشافي (Proposed Exploration Well Location):

تمّ تحديد إحداثيات تقريبية للبنية المكمنية ضمن هذا المشروع استنادًا إلى التحليل السيزمي والدراسات السابقة، إلا أن تحديد الموقع النهائي للبئر الاستكشافي بدقة يتطلّب إعادة تنفيذ المسوحات السيزمية الحديثة أو الحصول على كامل بيانات المسح السابقة من الشركة التي نفّذتها، لضمان تحديد موقع البنية بدقة ضمن المياه الاقليمية السّورية.

بعد ذلك يمكن حفر أول بئر استكشافي عند قمة البنية (Crest of the Anticline) باستخدام المنصة البحرية المناسبة للعمق المائي المدروس.

4– تعزيز التعاون البحثي والمؤسساتي (Academic and Institutional Collaboration):

من الضروري تعزيز قنوات التعاون بين الجامعات السورية والهيئات النفطية الوطنية (مثل الشركة السّورية للنفط و الشركة السّورية للبترول التي أستحدثت موخراً بقرار رئاسي) لضمان استمرارية البحث العلمي في مجال استكشاف الغاز البحري، وتحويل هذا المشروع إلى قاعدة معرفية وطنية لدعم المشاريع اللاحقة.

5– إدراج الجانب الاقتصادي والتنموي (Economic Evaluation Perspective):

في مراحل لاحقة، يُستحسن إدراج دراسة اقتصادية مبدئية تربط بين حجم الاحتياطي القابل للإنتاج وكلفة الحفر والإنتاج، لتقييم الجدوى الاستثمارية المحتملة وتشجيع دخول شركاء استثماريين في مرحلة الاستكشاف والتنمية المستقبلية.

تمثّل هذه التوصيات خطة عمل متكاملة للانتقال من مرحلة النمذجة الأكاديمية إلى مرحلة التطبيق العملي، وتُعد بمثابة خارطة طريق لأي مشروع استكشافي مستقبلي ضمن المياه الإقليمية السورية كما أنها تؤكد أن النتائج المحققة ضمن هذا البحث لا تقتصر على الجانب النظري، بل تشكّل منصة انطلاق علمية وهندسية لأي جهود مستقبلية في مجال استكشاف الغاز البحري في سوريا.

M.A.DH

الخاتمة النهائية للمشروع

Final Conclusion of the Project

ها نحن اليوم نضع بين أيدي الوطن ثمرة جهدٍ علميٍّ امتزج فيه الحلم بالعلم، والطموح بالانتماء، في مشروعٍ حمل على عاتقه مسؤولية استكشاف ما تخبّئه أعماق البحر السوري من كنوزٍ طاقوية كامنة، ضمن الجزء السوري من حوض ليفانت، أحد أغنى الأحواض الغازية في شرق المتوسط.

لقد كان هذا المشروع أكثر من مجرد دراسة أكاديمية؛ بل رحلة استكشافٍ هندسية وجيولوجية حقيقية، اعتمدت على تحليلٍ علميٍّ دقيق، ودمجٍ منهجيٍّ بين البيانات الزلزالية والمكمنية، واستخدام أدوات النمذجة الرقمية المتقدمة لتجسيد أول نموذجٍ مكمنيٍّ ثلاثي الأبعاد واقعيٍّ للمياه الإقليمية السورية.

ورغم التحديات التي واجهت هذا العمل، من محدودية البيانات وصعوبة الوصول إلى المصادر الأصلية، إلّا أن الإصرار على بلوغ الحقيقة العلمية، والإيمان بقدرة العقل السوري على الإبداع رغم الصعاب، كانا الدافع الأكبر لإنجاز هذا العمل.

فجاءت نتائجه لتؤكد وجود نظامٍ بتروليٍّ فعّال، يمكن أن يشكل قاعدةً علميةً مستقبلية لأي مشروع استكشافي حقيقي في مياهنا الوطنية.

إن هذا المشروع يفتح آفاقًا جديدة أمام البحث العلمي في سورية، و يؤسس لنهجٍ هندسيّ وطنيّ يجمع بين الفكر و العمل، و بين التّحليل الأكاديمي و الرؤية التطبيقية.

لم يكن هذا العمل مُجرد دِراسة، بلْ رِحلةُ وَعي و انتماء، حَملت في طياتها إيماناً بأنَّ في كُل حجرٍ على أرض سورية يَروي قِصّة، وَ في أعماق مِياهها وَعداً و قِصصاً لم تُكتشف و تُروى بعدْ.

إلى سورية... أرض العُقولْ و الكُنوزْ، و مَهد الحضارات و الحلم الّذي لا ينطفئ، نَضع هذا العمل شاهِداً على قدرة أبنائها و إيمانُهم بأن المُستقبل يُكتب هنا، على أرضِها، و بسواعدِ أبنائها الّذين لا يَعرفون المستحيل.

لَعلَّ ما بَدأناه اليوم يَكونْ الشّرارة الأولى لِنهضةٍ علميّةٍ تُعيد للعلم مكانه، و للوطن مَجدُه.

وَ ما تَوفيقي إلّا بالله، عَليه تَوكلت و إليه أُنيب، فَلهُ الحمد أولاً و أخِراً، ظَاهِراً و باطِناً.

المراجع

Refrences

First: English Refences

Bowman, S. A. (2011). Regional seismic interpretation of the hydrocarbon prospectivity of offshore Syria. GeoArabia, 25(1), 1–36.

Roberts, G., & Peace, D. (2007). Hydrocarbon plays and prospectivity of the Levantine Basin, offshore Lebanon and Syria from modern seismic data. GeoArabia, 20(3), 99–132.

Brew, G., & Barazangi, M. (2001). Tectonic and Geological Evolution of Syria. GeoArabia, 6(4), 573–616.

Liu, X., & Zhang, G. (2017, August). Structural characteristics and petroleum exploration of the Levant Basin in the Eastern Mediterranean. ScienceDirect.

U.S. Geological Survey (USGS). (2020). Assessment of Undiscovered Conventional Oil and Gas Resources in the Eastern Mediterranean Area. U.S. Department of the Interior.

U.S. Geological Survey (USGS). Satelite imagery, geological maps, and seismic survey data for the Levant Basin and offshore Syria.

Syrian Petroleum Company (SPC). (n.d.). Well data reports for onshore wells: Vido 1, Lattakia 1, Lattakia 2. Internal technical documents.

Schlumberger. (2018). Petrel E&P Software Platform, Version 2018 User Guide. Schlumberger Limited.

Google Earth Pro. (2025). Satellite imagery for offshore Syria and surrounding regions.

ثانياً: المراجع العربية

د.أيمن شقوف (بدون تاريخ). حقل سازابا النفطي. الجامعة السورية الخاصة – كلية هندسة البترول.

علاء صقر عبد الله، محمد القاضي. (2015). دراسة بتروجيولوجية وترسيبية لتشكيلة الشيرانيش العائدة للكريتاسي الأعلى في منطقة حقول سازابا النفطية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية.

د.عماد نوفل (بدون تاريخ). الطرق الحرارية لزيادة عامل المردود النفطي في مكامن النفط الثقيل: دراسة تطبيقية حقل سازابا النفطي. الجامعة السورية الخاصة – كلية هندسة البترول.

M.A.DH