تطبيق تقنية التنقيب الجيوميكروبيولوجي عن الغاز في حقل زملة المهر-السلسلة التدمرية الشمالية.

الباحث المهندس نضال رمضان _ كلية الهندسة الكيميائية والبترولية .

المشرف الأساسي : أ.د.عودي صالحة ، المشرف المشارك: د. محمد بكداش

الملخص :

قمنا بتطبيق أسلوب جديد في الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي غير المباشر لأول مرة في حقول الغاز في الجمهورية العربية السورية ، وذلك في حقل زملة المهر التابع للسلسلة التدمرية الشمالية ، بهدف تأكيد وجود المصيدة الغازية بالتكامل مع طرائق الاستكشاف الأخرى المُنفذة في الحقل.

اعتمدت الدراسة على استنبات وزراعة وعزل البكتيريا المؤكسدة لغاز الميثان المُنشأ من التكسير الحراري (Methanotrophs) في ثلاثة عينات مأخوذة من التربة السطحية من حقل زملة المهر، وتم اكتشاف شذوذ عالي في عدد هذه البكتيريا فوق المكمن الغازي فقط والذي يشير بشكل مباشر إلى احتمال وجود مصيدة هيدروكربونية (غازية) في منطقة الدراسة.

بنتيجة هذا البحث توافق الشذوذ الميكروبي العالي (2.3×10^7 CFU/ml) المُقاس في العينة المأخوذة بالقرب من بئر (زملة المهر-١) مع الشذوذ الكهرومغناطيسي العالي في نفس المنطقة ، وكذلك ضمن حدود الحقل توافق الشذوذ الميكروبي المتوسط (5×10^6 CFU/ml) في العينة المأخوذة بالقرب من بئر (زملة المهر -٢) مع الشذوذ الكهرومغناطيسي المتوسط المُقاس ، أما خارج حدود الحقل لم نجد أي شذوذ ميكروبي وهذا يتوافق مع حدود التركيب المُحددة سايزمياً وفقاً للخريطة الزمنية (TWT) لتركيب زملة المهر ، وهذا ما يؤكد أن هذه التقنية يمكنها وبشكل فعّال تأكيد وجود مصيدة هيدروكربونية وأنها تقنية قابلة للتطبيق وفعّالة.

الكلمات المفتاحية : الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي ، التنقيب الجيوميكروبيولوجي ، البكتيريا المؤكسدة للهيدروكربونات ، شذوذ سطحي.

Application of gas geomicrobiological exploration technology in the Zimlit Al-Mahr field - the northern Palmyra chain.

Summary

We applied a new approach in the indirect surface geochemical exploration, this method is applied for the first time in the gas fields of the Syrian Arab Republic in the Zimlit al-Mahr field of the Northern Palmyra chain. We aimed to confirm the presence of the gas trap in integration with the exploration methods implemented in the field.

This study based on the enrichment , cultivation and isolation of methane-oxidizing bacteria from thermal cracking, called (Methanotrophs), in three samples taken from the surface soil of the Zimlit Al-Maher field, it showed the discovery of a high anomaly in the number of these bacteria above the gas reservoir only, which directly indicates the presence of a hydrocarbon (gas) trap in the study area.

As a result of this research, the high microbial anomaly (2.3×10^7 CFU/ml) measured in the sample taken near the well (Zimlit Al-Mahr-1) is agreed with the high electromagnetic anomaly in the same area, Also within the field limits the average microbial anomaly (5×10^6 CFU/ml) in the sample taken near the well (Zimlit Al-Mahr-٢) agreed with the average electromagnetic anomaly measured, otherwise outside the field boundaries, we did not find any microbial anomalies, which corresponds to the compositional boundaries determined seismically according to the time map (TWT) of the structure of Zimlit al-Mahr , which confirms that this technique can effectively confirm the presence of a hydrocarbon trap and that it is a viable and effective technique.

Keywords: Surface geochemical exploration, geomicrobiological exploration, hydrocarbon oxidizing bacteria, surface anomaly.

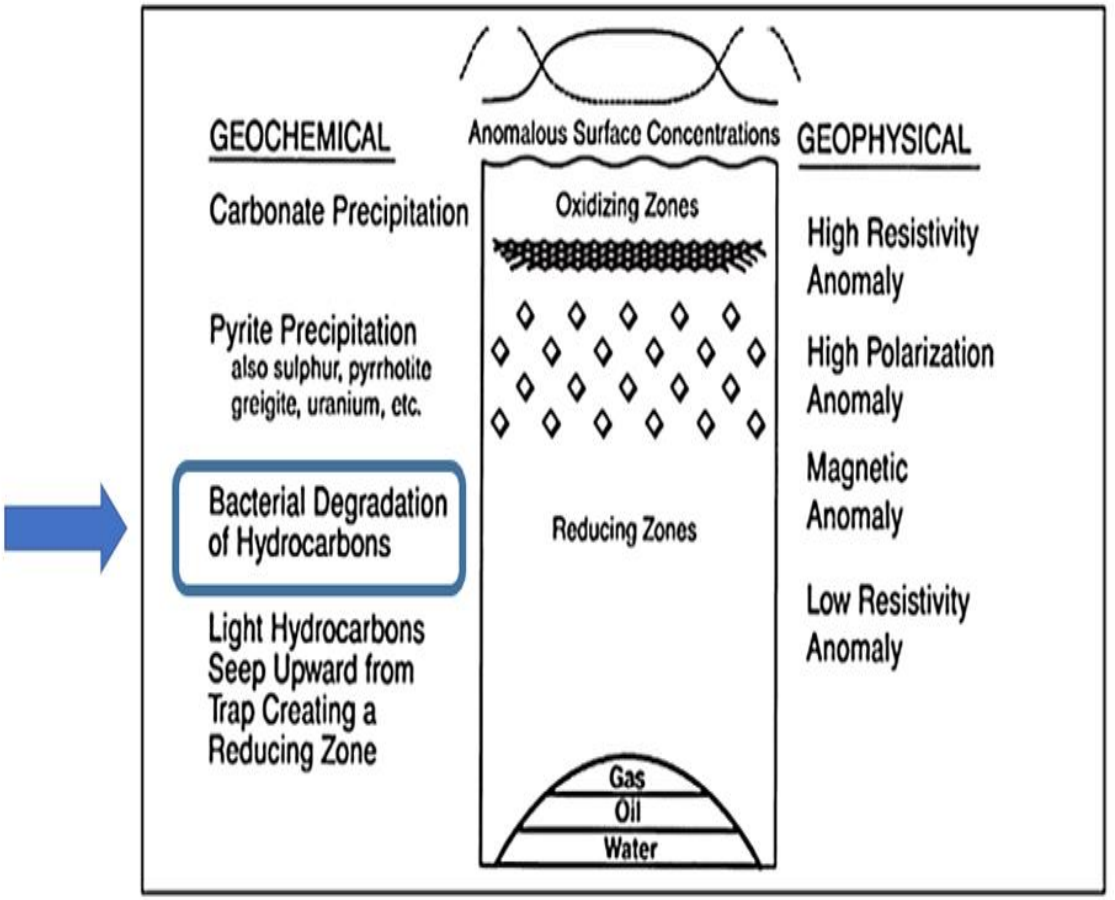
المقدمة :

يُعرّف الاستكشاف الجيوكيميائي عن النفط والغاز بأنه "عملية البحث عن تواجد الهيدروكربونات السطحية أو القريبة من السطح القابلة للتحديد كيميائياً ونواتج تغييرها ، والتي تكون بمثابة أدلة على مواقع تراكمات النفط والغاز غير المكتشفة " ، حيث تفترض جميع الطرائق الجيوكيميائية السطحية أن الهيدروكربونات المتولدة والمتراكمة في المصائد تتسرب وتهاجر عمودياً إلى السطح بكميات (تراكيز) متفاوتة والتي يمكن اكتشافها على السطح من خلال التحاليل والتجارب المخبرية ، ويمكن التمييز بين شكلين لهذه التسربات هما "التسرب المرئي Macro-seeps" وذلك في نقاط سطحية موضعية للغاية تتمثل بشذوذ قممي وتحتوي على تراكيز كبيرة من الهيدروكربونات الخفيفة وعالية الوزن الجزيئي _ إن وجدت _ حيث تكون تراكيز الغاز الإجمالية تزيد عن ppm ١٠٠٠٠٠ ، و " تسرب غير مرئي Micro-seeps" وهو يمثل تواجد التراكيز العالية من الهيدروكربونات المتطايرة أو شبه المتطايرة القابلة للكشف تحليلياً في التربة السطحية أو الرواسب الضحلة وتمثل شذوذ على شكل هالة وتكون تراكيز الغاز الإجمالية أقل من ppm ١٠٠٠٠ .

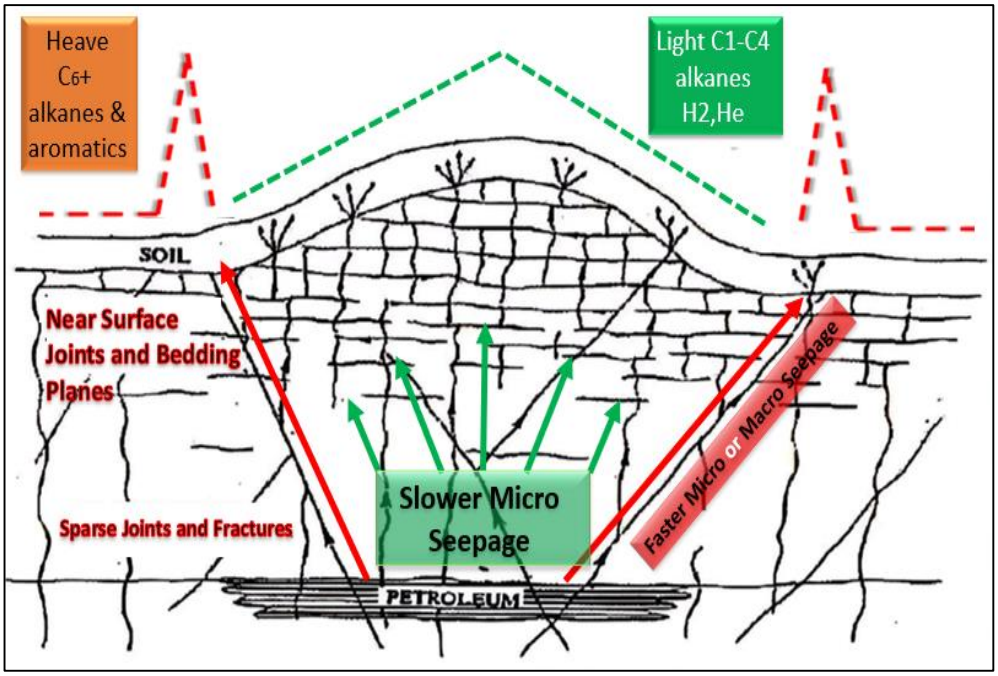
ومن جهة أخرى تُقسم تقنيات الاستكشاف الجيوكيميائي إلى مباشرة و غير مباشرة ، حيث تحلل التقنيات المباشرة تسربات الهيدروكربونات التي تحدث في مسام التربة ، والتي يتم

امتصاصها على الجزء الدقيق من التربة ، أو التي يتم دمجها في ملاط التربة ، في حين تكشف التقنيات الجيوكيميائية غير المباشرة عن التغيرات التي تسببها التسربات الهيدروكربونية في التربة السطحية أو الرواسب الضحلة أو الغطاء النباتي. [1]

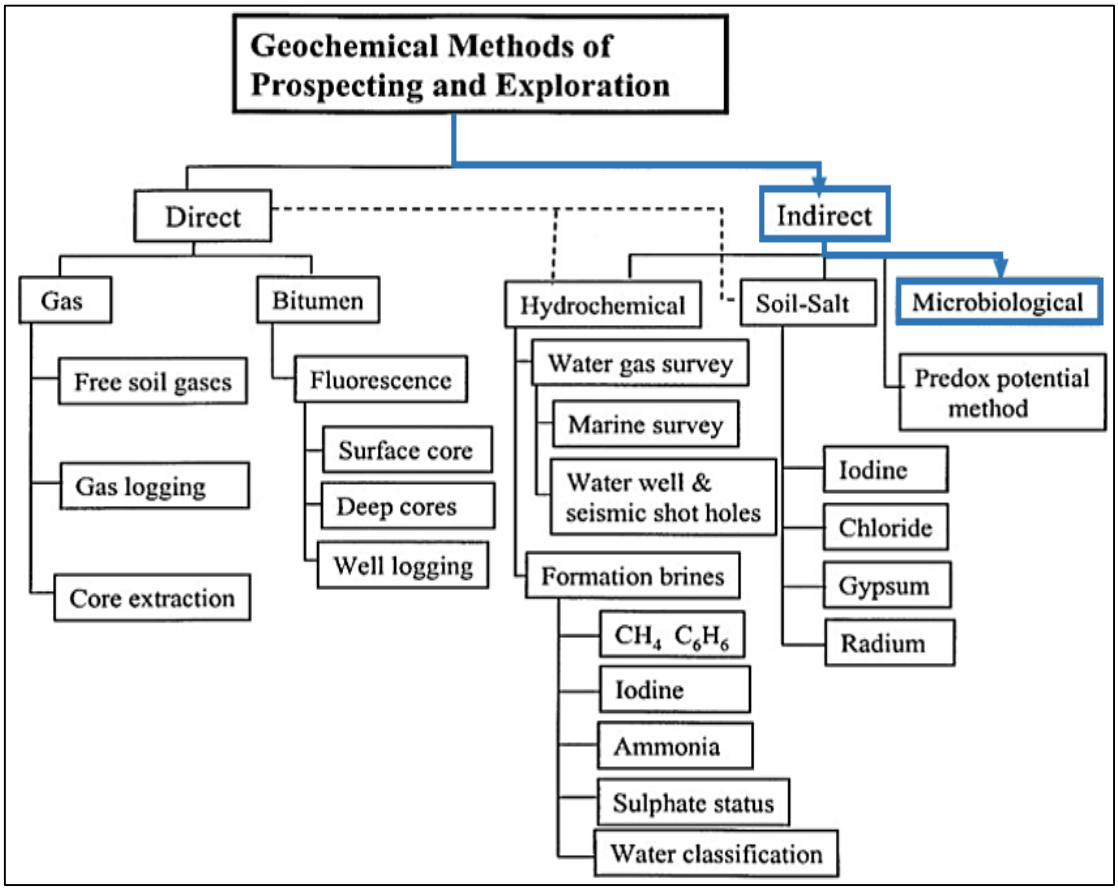
تلعب البكتيريا والميكروبات الأخرى دوراً عميقاً في أكسدة الهيدروكربونات المهاجرة ، وتُعتبر أنشطتها مسؤولة بشكل مباشر أو غير مباشر عن العديد من المظاهر السطحية المتنوعة لتسرب البترول . تؤدي هذه الأنشطة إلى جانب الهجرة طويلة الأجل للهيدروكربونات ، إلى تطوير مناطق أكسدة وإرجاع بالقرب من السطح والتي تؤدي إلى تكوين هذا التنوع من التغيرات الكيميائية والمعدنية . إلا أن هذا التغيير الناجم عن التسرب معقد للغاية ، وقد أدت تعبيراته السطحية المتنوعة إلى تطوير عدد متنوع بنفس القدر من تقنيات الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي ويوضح الشكل (١) نموذجاً عاماً للتأثيرات التي يسببها الهيدروكربون على التربة السطحية والرواسب الضحلة ، والشكل (٢) يمثل أشكال تسرب الهيدروكربونات من المصائد إلى السطح ، والشكل (٣) تقنيات الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي القائمة على التفاعلات الحاصلة نتيجة هجرة الهيدروكربونات إلى السطح .



الشكل (١) الموديل العام لهجرة الهيدروكربونات من التراكمات الجوفية إلى التربة السطحية والرواسب الضحلة وتأثير وجود الهيدروكربونات فيها . [2]



الشكل (٢) أشكال تسرب الهيدروكربونات من المصائد إلى السطح. [3]

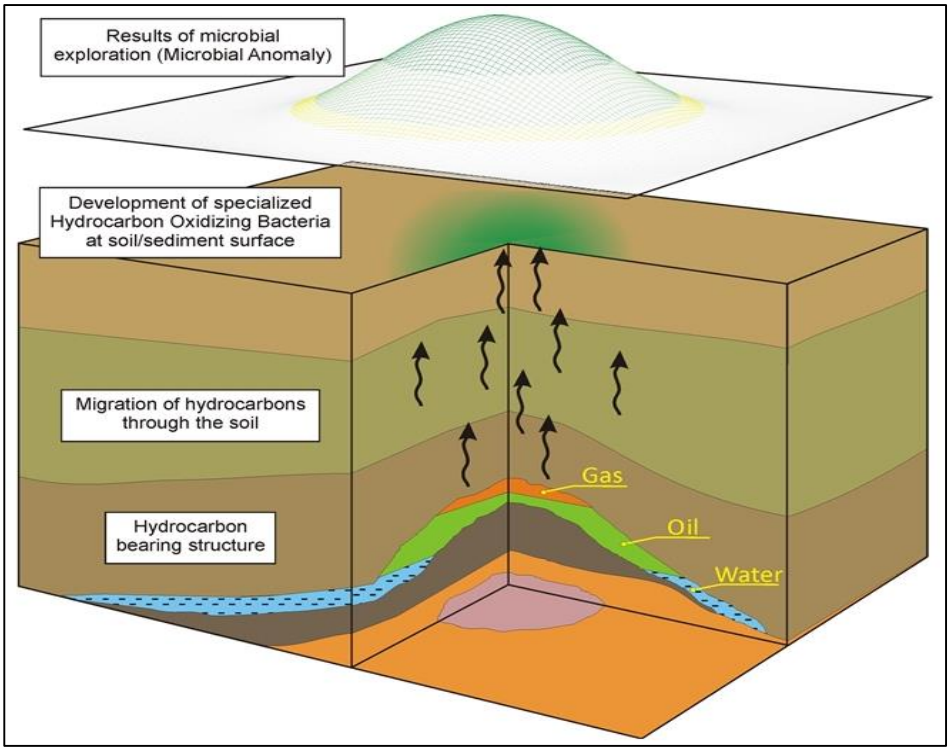


الشكل (٣) تصنيف تقنيات الاستكشاف الجيوكيميائية السطحية . [4]

تندرج تقنية التنقيب الجيوميكروبيولوجي عن النفط والغاز Geo-microbiological prospection for oil and gas (MPOG) ضمن نهج الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي غير المباشر في الكشف عن تسربات الهيدروكربونات ، حيث يشكل توزيع البكتيريا في كل مكان وقدرتها العالية على التكيف للنمو على مصادر المغذيات المختلفة أساس التنقيب الجيوميكروبيولوجي ، وهذه البكتيريا المؤكسدة للهيدروكربونات الخفيفة المُنشأة بواسطة عمليات التكسير الحراري Thermogenic Hydrocarbon-Oxidizing

Bacteria والمهاجرة عمودياً من المصائد التركيبية العميقة إلى السطح ، مثل جميع أنواع البكتيريا الأخرى ، في جميع البيئات _ على اليابسة وفي البيئات البحرية _ أينما يمكن أن يوجد مصدر التغذية تتواجد وتنمو وتتكاثر فعندما تتواجد تسربات دقيقة للهيدروكربونات الخفيفة (microseepages) مهاجرة باستمرار بشكل عمودي من التراكمات الموجودة في باطن الأرض ضمن حالة فيزيوكيميائية معينة من خلال منظومة المسامات والشقوق والمسارات بين الطبقات التي تعلو المصائد الهيدروكربونية إلى التربة السطحية خلال فترة زمنية معينة ، فإنها تتغذى على الكربون الموجود في هذه التسربات الهيدروكربونية كمصدر وحيد للنمو والطاقة وهذا يؤدي إلى زيادة كبيرة (شذوذ) في عدد ونشاط الخلايا البكتيرية في العينات المأخوذة من التربة القريبة من السطح فوق المصائد الحاملة للهيدروكربونات والتي تمثل دليل مباشر على وجود المصائد الهيدروكروبونية الجوفية ، بالتالي من خلال التجارب والاختبارات الخاصة بالاستنبات والعزل لهذه البكتيريا يمكن الكشف الدقيق عن تواجدها في العينات المأخوذة من الحقل المدروس وبناءاً على تعداد المستعمرات البكتيرية في كل عزلة مفردة يمكن الحصول على مؤشر مباشر عن تواجد المصيدة الهيدروكربونية.

وقد ثبت أن الحالات الشاذة الميكروبية في الحقول البترولية هي مؤشرات موثوقة لتسربات النفط والغاز من باطن الأرض ، حيث يضيف اكتشاف التسرب الجزئي للهيدروكربونات قيمة إلى المسح السايزمي ثنائي وثلاثي الأبعاد من خلال تحديد التراكيب الحاوية للهيدروكربونات وفق الشذوذ الميكروبي المقاس على السطح ، ويمكن أن تكون التراكمات البترولية تحت السطح معقدة ؛ بالتالي التكامل الصحيح مع البيانات الجيولوجية والجيوفيزيائية ، يمكن أن يساهم في نجاح الاستكشاف ويساعد في الحد من مخاطر الآبار الجافة و نظراً لأن عمليات الحفر مكلفة ، فمن الضروري استخدام طرائق استكشافية مناسبة وفعالة وقليلة التكلفة ، سواء منفردة أو مجتمعة ، من أجل تقليل تكلفة حفر الآبار الجافة وكذلك الآبار الاستكشافية مع الاسترداد غير المربح.



الشكل (٤) يبين مبدأ تقنية التنقيب الجيوميكروبيولوجي. [5]

الدراسات والأبحاث السابقة :

يعود الفضل في اكتشاف هذه التقنية إلى العالم الروسي Mogilevskii في ثلاثينيات القرن الماضي ، حيث كان الاستخدام المبكر للبكتيريا التي تؤثر على نباتات التربة كوسيلة للكشف عن تسرب الغازات تطوراً ناجماً عن مسوحات غازات التربة التي أجراها في الاتحاد السوفياتي ، وقد أثبت Mogilevskii أنه من بين ٢٠ حالة شاذة جرثومية ، تم إثبات ١٦ من خلال الحفر الناجح وقد أثارت هذه التحقيقات اهتمام علماء جيولوجيا البترول في جميع أنحاء العالم . [6]

واعتمدت الدراسات والأبحاث اللاحقة على تطوير نهج التنقيب الجيوميكروبيولوجي ليشمل النقاط التالية :

١) القياس غير المباشر (باستخدام الغاز) لوجود الكائنات الدقيقة المستهلكة للهيدروكربونات عن طريق قياس كمية الغاز الهيدروكربوني المُستهلك من قبل هذه الكائنات الدقيقة . [7],[8], [9],[10]

٢) القياس المباشر لمجموع الكائنات الحية الدقيقة المستهلكة للغازات الهيدروكربونات. [11], [12],[13],[14],[15]

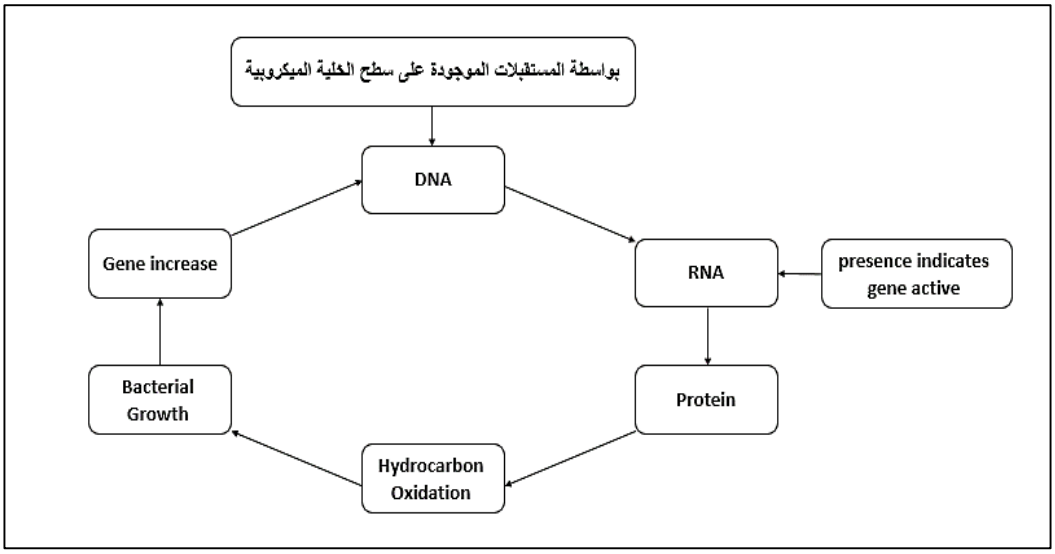
٣) قياس المنتجات الأيضية (منتجات التمثيل الغذائي) للكائنات الدقيقة المستهلكة للغازات الهيدروكربونية.[16],[17]

٤) الكشف عن وجود الجينات التي تشفر البروتين (الأنزيم) القادر على استقلاب الهيدروكربونات.[18],[19],[20],[21],[22]

المبدأ الأساسي للأكسدة الميكروبية للهيدروكربونات:

يتم الكشف عن التجمعات الميكروبية في التربة السطحية والرواسب الضحلة الناتجة عن التسربات الهيدروكربونية من المكامن النفطية والغازية الجوفية عن طريق الكشف عن وجود الجينات التي تشفر البروتينات القادرة على استقلاب الهيدروكربونات حيث يوصف البروتين (الأنزيم) بأنه قادر على استقلاب الهيدروكربون ، فهذا يعني أن البروتين له نشاط في تسهيل أو التسبب في تفاعل كيميائي على الهيدروكربون ضمن ظروف جسم الكائن الحي ، ففي البداية يتم الكشف عن وجود الهيدروكربون في البيئة المحيطة بميكروب معين (على وجه الخصوص البكتيريا) بواسطة الخلية الميكروبية عبر عدد من الآليات و بشكل أساسي عبر المستقبلات الموجودة على سطح الخلية حيث يؤدي اكتشاف وجود الهيدروكربونات إلى إعطاء أمر من DNA في نواة الخلية بزيادة مستوى نسخ mRNA الذي يشفر بروتيناً

(أنزيماً) قادراً على استقلاب الهيدروكربون ثم يتم ترجمة البروتين بدوره والتعبير عنه داخل الخلية حيث يؤكسد هذا الأنزيم على النحو الواجب الهيدروكربون ليطلق الطاقة وينتج عنه نمو وتكاثر الخلية ثم يؤدي تكاثر الخلية إلى زيادة عدد الجينات التي تشفر بروتينات التمثيل الغذائي للهيدروكربونات في تلك المنطقة ، أي زيادة في تركيز هذه الجينات وهو جوهر تقنية التنقيب الجيوميكروبيولوجي كما هو موضح في الشكل (5).



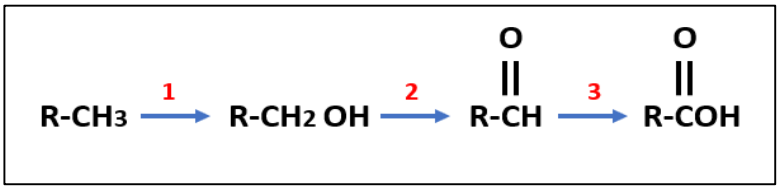
الشكل (٥) يوضح المبدأ الأساسي للتمثيل الغذائي للبكتيريا المؤكسدة للهيدروكربونات [23] .

التمثيل الغذائي (الأيضي) للبكتيريا المؤكسدة للهيدروكربونات :

الاستقلاب (الأيض) Metabolism بالتعريف : هو مجموعة من التفاعلات الكيميائية في خلايا الكائن الحي من أجل المحافظة على حياته ، الهدف من هذه التفاعلات هو هضم وتحويل الغذاء إلى طاقة تشغيل حيوية من أجل العمليات الخلوية المختلفة وكذلك تحويل

الغذاء إلى وحدات بناء للبروتينات والدهون والأحماض النووية وبعض السكريات وأيضاً إزالة الفضلات الأيضية النتروجينية.

تمتلك جميع الكائنات الحية مسارات التمثيل الغذائي المسؤولة عن خصائصها الغذائية والنمو حيث تتطلب مسارات التمثيل الغذائي هذه إنزيمات مختلفة تحفز التفاعلات الجزيئية اللازمة لاستخدام العناصر الغذائية المطلوبة من أجل النمو والتكاثر والمحافظة على التركيب الخلوي والاستجابة للبيئة والقدرة على استمرار البقاء على قيد الحياة ، وفي حالة الكائنات الدقيقة المستهلكة (المؤكسدة) للهيدروكربونات ، فإن المسار الأيضي لتحلل أكسدة الهيدروكربونات الأليفاتية يسير على النحو المبين في الشكل (٦).



الشكل (٦) يمثل المسار الأيضي الأساسي للأكسدة الميكروبية للهيدروكربونات الأليفاتية.

الإنزيم الذي يحفز أكسدة الهيدروكربون الأليفاتي إلى كحول في الخطوة الأولى (المرحلة الأولى من الاستقلاب) هو أنزيم mono–oxygenase والإنزيم الذي يحفز أكسدة الكحول إلى ألدهيد في الخطوة الثانية (المرحلة الثانية من الاستقلاب) هو أنزيم alcohol dehydrogenase وإن الإنزيم الذي يحفز أكسدة الألدهيد إلى حمض كربوكسيلي في الخطوة الثالثة (المرحلة الثالثة من الاستقلاب) هو أنزيم aldehyde dehydrogenase وفي النهاية يتم استقلاب الحمض الكربوكسيلي إلى مركب acetyl–CoA ، وأخيراً إلى CO_2 و H_2O والتي تعتبر المركبات الغذائية الضرورية التي تستوعبها الخلايا البكتيرية المؤكسدة من أجل نموها وزيادة عددها ، إلا أن بعض أنواع البكتيريا المؤكسدة للهيدروكربونات تمتلك مسار أيضي فرعي من هذا المسار الأساسي وقد تحتاج إلى أنزيمات

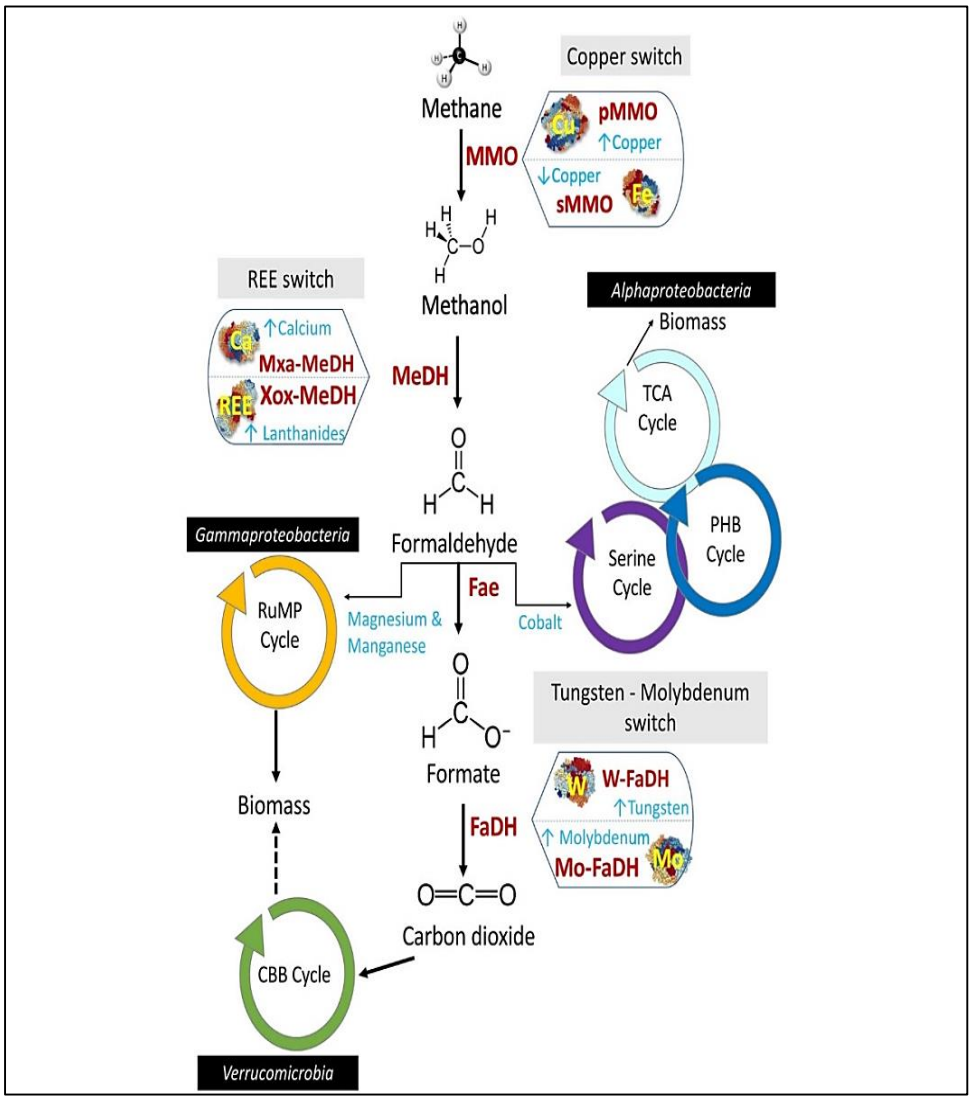
إضافية بالتالي مراحل أكسدة إضافية للوصول إلى المركبات الغذائية التي تحتاجها من أجل النمو والتكاثر . [18]

عملية الأكسدة الهوائية للميثان بواسطة بكتيريا (Methanotrophs) :

إن المسارات التي تستخدمها هذه الميكروبات في الحصول على الطاقة من خلال أكسدة الميثان تشمل تحويل الميثان أولاً إلى ميثانول عن طريق أنزيم methane monooxygenase (MMO) والذي يتأكسد بعد ذلك إلى فورم ألدهيد formaldehyde بواسطة أنزيمmethanol dehydrogenase (MeDH) ، ويمكن بعد ذلك تحويل فورم ألدهيد إلى فورمات إما عن طريق مسار رباعي هيدروفولات tetrahydrofolate أو رباعي هيدرات الميثانوبترين tetrahydromethanopterin ومن ثم يمكن أن يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون عن طريق أنزيم formate dehydrogenase.

تمتص معظم بكتيريا Methanotrophs الهوائية الكربون على مستوى الفورم ألدهيد إما من خلال دورة الريبولوز أحادي الفوسفات (ribulose monophosphate) فئة Gammaproteobacteria أو دورة السيرين (serine) فئة Alphaproteobacteria ، في حين لا تستخدم بعض أجناس Methanotrophs أياً من المسارين لامتصاص الكربون و بدلاً من ذلك ، تقوم بعض هذه الأجناس بإصلاح ثاني أكسيد الكربون عبر دورة Calvin–Benson Bassham (CBB) فئة Verrucomicrobia ، ومن الجدير بالذكر أن جميع الأنزيمات التي تنتجها بكتيريا methanotrophs في مراحل الأكسدة المختلفة تعتمد على أيونات معادن محددة في تحفيز عملها حيث تعتبر جزءاً لا يتجزأ من الأنشطة الأيضية في بكتيريا methanotrophs الهوائية ، وتشير التقديرات إلى أن حوالي ربع إلى ثلث أي بروتينات خلوية تتطلب أيونات معدنية لدعم وظائفها Methanotrophs ، أي تعتمد على عوامل التبادل الأيوني "metal switches" المختلفة ، حيث يتم التحكم في التعبير الجيني عن طريق توافر المعادن ، وخاصة النحاس والحديد والكالسيوم والعناصر

الأرضية النادرة ، ويوضح الشكل (٧) حيث يتم تمثيل الإنزيمات التي تعدل التفاعل بخط أحمر، والمعادن باللون الأزرق والخطوط الصفراء، و تشير الأسهم الرأسية الصغيرة ذات اللون الأزرق الفاتح بجوار كل أيون معدني إلى تأثيرها على تعبير و / أو نشاط الإنزيمات.

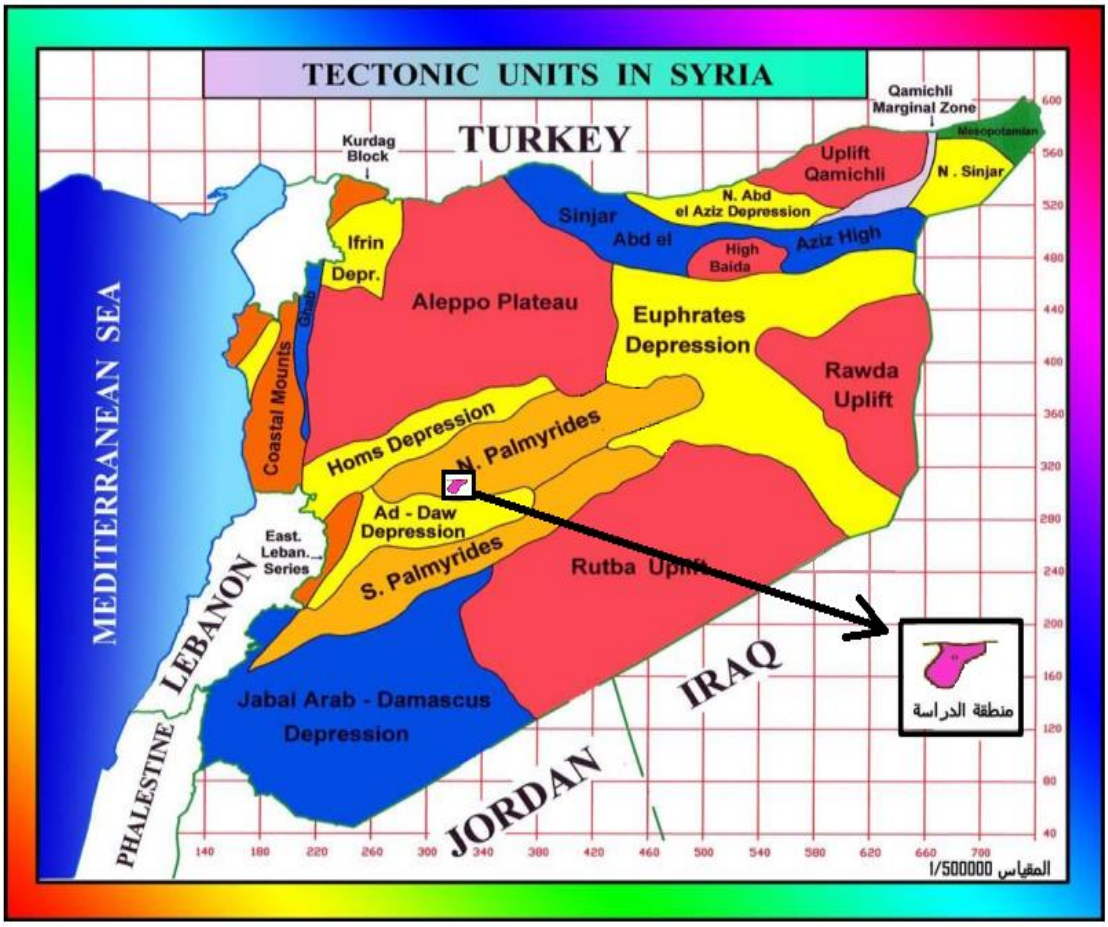


الشكل (٧) أكسدة الميثان بواسطة methanotrophs الهوائية والعوامل المعدنية المساعدة للإنزيمات.[24],[25]

لمحلة عن منطقة الدراسة :

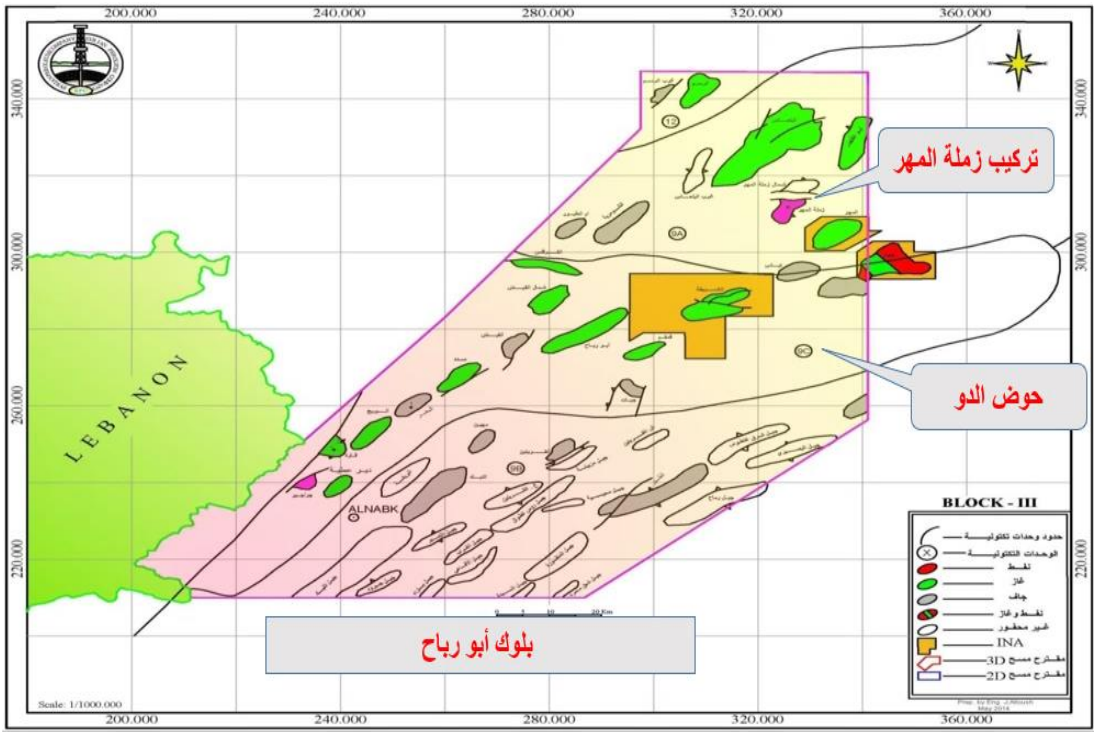
تعد السلسلة التدمرية إحدى أهم البنى الجيولوجية في سوريا ، وتقسم بنيوياً إلى سلسلة تدمرية شمالية و جنوبية و بينهما حوض الدو ، وتعود أهمية السلسلة التدمرية إلى طريقة تشكلها و تطورها خلال الزمن الجيولوجي، و كذلك إلى احتوائها على مجموعة من التراكيب الحاملة للنفط و الغاز ومن أهمها تركيب زملة المهر الذي يتبع للسلسلة التدمرية الشمالية ويقع في الجزء الجنوبي الغربي منها ، وبنية زملة المهر تمتد بين تركيبي المهر والبلعاس المنتجين للغاز حيث تبعد بحدود ١٢ كم عن تركيب المهر ضمن نشاط الشركة السورية للنفط في بلوك أبو رباح وهي منطقة ذات مأمولية اكتسبت أهميتها على ضوء النتائج الإيجابية التي تم الحصول عليها من اكتشاف الغاز في تشكيلة الكوراشينا دولوميت في تركيبي المهر والبلعاس المجاورة .

كذلك تأتي الأهمية البترولية لتركيب زملة المهر كونه يقع ضمن منطقة عالية المأمولية تعرضت لنفس مراحل التطور الجيولوجي للتراكيب المجاورة المنتجة مثل تراكيب المهر والبلعاس ، والتي أدت إلى تجمع الهيدروكربونات فيها بالإضافة إلى تواجد الصخور المولدة والخازنة والغطائية ضمن العمود الستراتغرافي المتوقع اختراقه في منطقة التركيب .



الشكل (٦) موقع منطقة الدراسة ضمن خريطة الوحدات التكتونية الرئيسية في سوريا.

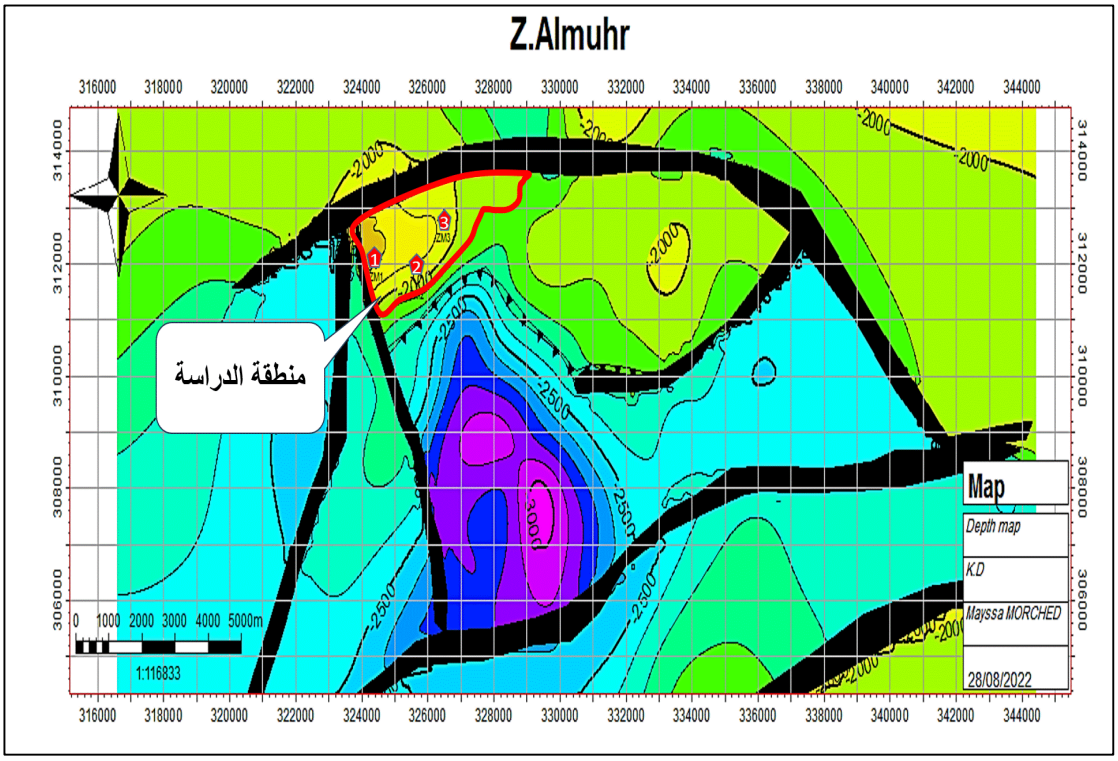
الشكل (٧) موقع تركيب زملة المهر في بلوك أبو رباح بين تركيبي المهر والبلعاس.



يظهر تركيب زملة المهر على الخارطة الزمنية (2D) لعاكس الكوراشينا دولوميت على شكل إغلاق بنيوي متطاول له اتجاه شمال شرق – جنوب غرب يغلق على فالق عادي من جهة الشمال الغربي له اتجاه محور الطي ويفصله عن الامتداد الجنوبي لجناح طية البلعاس ، ويشكل الانحدار التركيبي لبنية التركيب من جهة الجنوب الإغلاق والعزل الجيد له مع بنية المهر .

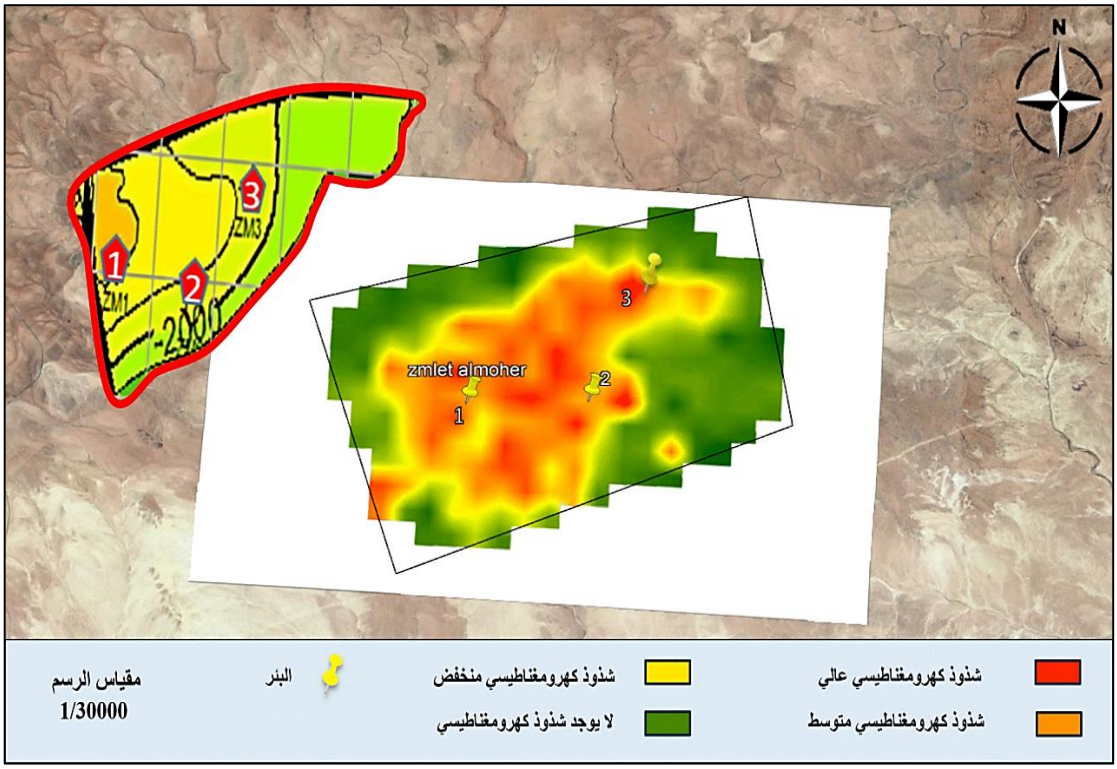
وقد أظهرت الدراسات السايزمية لمنطقة التركيب وما حولها وجود مصيدة بنيوية ملائمة للحفر الاستكشافي هي على تماس مع أحواض رسوبية محلية من جهة الجنوب وهذا التماس تحقق بفعل الحركات الجيولوجية وهو يشكل عاملاً جيداً يساهم في عمليات تراكم وتجمع الهيدروكربونات يضاف إلى ذلك وجود انتشار واسع للطبقات الخازنة والغطائية والمولدة

ضمن المقطع الرسوبي للمنطقة ، وهذا ما دفعنا لتطبيق تقنية التنقيب الجيوميكروبيولوجي في هذا الحقل بين عامي (٢٠٢٣-٢٠٢٤) كأداة استكشافية تُطبق لأول مرة في حقول الجمهورية العربية السورية ، وهي ذات قيمة مضافة تؤكد بشكل مباشر وفعلي على وجود المصيدة الهيدروكربونية في هذه المنطقة ونهدف من خلال هذه الدراسة إلى تطوير نهج الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي في الكشف الدقيق عن المصائد الهيدروكربونية في الحقول السورية في المستقبل .



الشكل (8) موقع تركيب زملة المهر على الخارطة الزمنية (TWT) لعاكس الكوراشينا دولوميت.

ضمن الدراسة المرجعية الاستكشافية بينت نتائج المسح الكهرومغناطيسي المُطبق من قبل شركة بيتروسيرف الروسية في حقل زملة المهر شكل التركيب بالتوافق مع بيانات المسح السايزمي ويظهر الشكل (٩) خريطة المسح الكهرومغناطيسي بالتوافق مع شكل التركيب من الخارطة الزمنية (TWT) لعاكس الكوراشينا دولوميت .



الشكل (٩) خريطة المسح الكهرومغناطيسي بالتوافق مع شكل التركيب من الخارطة الزمنية (TWT) لعاكس الكوراشينا دولوميت .[26]

أهمية البحث :

الحاجة إلى تطبيق تقنية استكشاف سطحي فعالة وذات نتائج سريعة وإيجابية وتكلفة اقتصادية قليلة تؤكد بشكل مباشر وحاسم على وجود الغاز في التراكيب الجيولوجية المُحددة بنيوياً بواسطة المسوحات الاستكشافية الأخرى مما يقلل مخاطر الحفر غير المؤكد.

هدف البحث :

توثيق وتأكيد وجود المصيدة الغازية في تركيب زملة المهر من خلال دمج بيانات المسح الجيوميكروبيولوجي مع نتائج المسح الكهرومغناطيسي المُطبق من قبل شركة بيتروسيرف الروسية.

مواد وطرائق البحث :

حقلياً :

١) معدات أخذ العينات من التربة السطحية.

٢) عبوات معقمة حافظة ذات درجة حرارة $5\ C°$.

مخبرياً :

١) الوسط المؤكسد وهو عبارة عن وسط أملاح النترات المعدنية المخففة والذي يتألف من اتحاد فوسفات أحادية الصوديوم مع فوسفات ثنائية الصوديوم $NaH2PO4-$ $(Na2HPO4)$ معاير إلى درجة $(PH=5.5-7)$

٢) غاز الميثان $CH4$.

٣) غاز ثاني أوكسيد الكربون $CO2$.

٤) معدات حقن الغازات ومعدات التخفيفات التسلسلية .

٥) أجار.

٦) أطباق بتري .

٧) جهاز تعداد المستعمرات البكتيرية colony counter.

طريقة العمل :

١) الإجراءات الحقلية :

تمثلت بجمع ثلاثة عينات من التربة السطحية من حقل زملة المهر (اثنتين ضمن حدود الحقل وعينة خارج حدود الحقل للمقارنة) وتعبئة وحفظ العينات وتخزينها بدرجة حرارة منخفضة في عبوات خاصة معقمة مسبقاً مع مراعاة صحة الإجراءات المتبعة لأخذ العينات من التربة السطحية لأن عملية أخذ العينات مهمة جداً وحساسة في هذا النوع من التنقيب السطحي وبالتالي صحة نتائج الاختبار تعتمد إلى حد كبير على الطريقة التي يتم بها أخذ العينات ، ثم تم نقلها إلى مخبر البحث العلمي في كلية العلوم في جامعة البعث حتى تمت إجراءات الاستنبات والعزل والتعداد البكتيري .

٣) الإجراءات المخبرية :

بالنسبة للعينات الثلاثة المأخوذة قمنا بالخطوات التالية :

١- استنبات البكتيريا المؤكسدة لغاز الميثان (Methanotrophs):

بكتيريا Methanotrophs الهوائية هي بكتيريا فريدة من نوعها من الناحية الأيضية قادرة على استخدام غاز الميثان كمصدر وحيد للطاقة والنمو ، حيث أن السمة المميزة لهذه الكائنات هي استخدام إنزيمات methane monooxygenase (MMO) لتحفيز أكسدة غاز الميثان إلى الميثانول ، بالتالي فإن النهج الانتقائي لزراعة هذه البكتيريا يتم وفق استخدام الوسائط المعدنية المحفزة لعملية الأكسدة مع إضافة غاز الميثان كركيزة نمو ، حيث يحدد تكوين الوسط المعدني وظروف الحضانة بشكل كبير النتيجة المراد الحصول عليها

من إجراء هذه الزراعة ، وتبعاً لنوع البيئة التي تنمو فيها هذه البكتيريا (في هذا البحث تتمثل بالتربة شبه الصحراوية في حقل زملة المهر) لذلك قمنا بتحضير الوسط المعدني الأنسب وهو وسط أملاح النترات المعدنية المخففة (Dilute nitrate mineral salts medium) ضمن شروط معينة في مخبر الكيمياء التحليلية في كلية العلوم في جامعة البعث ، مع إضافة غاز الميثان الذي حصلنا عليه من الشركة العامة لمصفاة حمص بنسبة 40 ml إلى مجموع 15 ml معلق التربة (الذي تم تحضيره بكمية ١٠٠g من التربة إلى ١٠٠ mlماء مقطر) و ٢٠ ml من وسط أملاح النترات المعدنية المخففة كركيزة نمو بالإضافة إلى نسبة قليلة من غاز ثاني أوكسيد الكربون ٥ ml بهدف تحفيز نمو بكتيريا methanotrophs المستهدفة والذي يشارك في التمثيل الغذائي الأولي والمتوسط لهذه البكتيريا ، وذلك ضمن قوارير مغلقة ومعقمة بواسطة الأوتوغلاف حتى يتم التفاعل بشكل جيد ومحكم ضمن حاضنة جرثومية بدرجة حرارة ٣٧C° لمدة ٧-١٠ أيام.

٢- التخفيفات التسلسلية (Serial Dilutions) :

تهدف التخفيفات التسلسلية إلى زيادة عزل بكتيريا Methanotrophs من المزارع المستنبتة ، وتشمل تلقيح القارورة الأولى (تحتوي 9 ml من الوسط المؤكسد) بعزلة من قشرة النمو التي حدثت نتيجة استهلاك بكتيريا Methanotrophs لغاز الميثان المحقون ، ثم أخذ (1ml) من هذه القارورة وحقنها في القارورة الثانية (تحتوي 9 ml من الوسط المؤكسد) وهكذا قمنا بأربع تخفيفات تسلسلية بناءاً على الرؤية المجهرية حتى حصلنا على خلايا موحدة شكلياً تناسب عملية الانتشار والتوزيع على وسط الزراعة.

٣- الانتشار/الطلاء على وسط صلب (Spread Plating) :

قمنا بإعداد أطباق بتري باستخدام خليط من وسط (DNMS) والأجار بنسبة معينة ونشر عزلة عينة من معلق خلوي مأخوذة من التخفيف المتسلسل الرابع على الألواح ، ثم تحضينها

في وعاء مغلق يحتوي على 100 ml غاز ميثان و 20 ml غاز ثاني أكسيد الكربون لمدة أسبوعين.

٤- التعداد البكتيري :

من خلال جهاز تعداد المستعمرات البكتيرية المنتشرة على أطباق بتري من خلال العلاقة التالية:

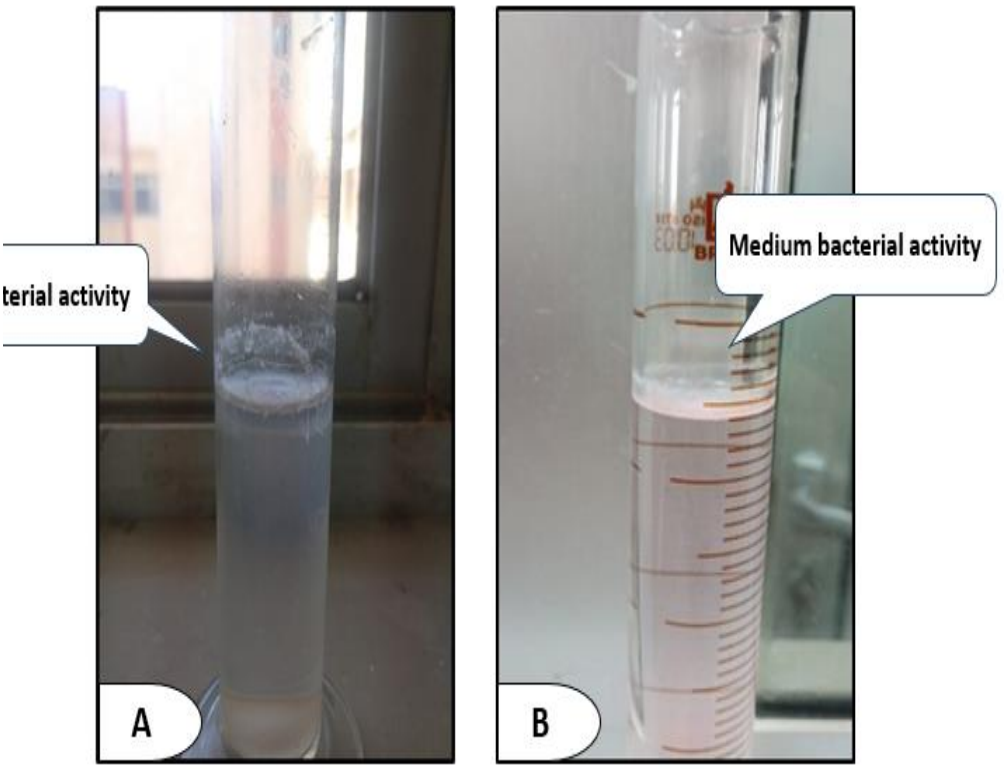
Number of Colonies forming units (CFUs) = No. of colonies × total dilution factor /volume of culture plated in ml (0.1ml)

ويوضح الشكل (١٠) الإجراءات الحقلية والمخبرية التي قمنا بها في هذا البحث.

الشكل (١٠) الإجراءات الحقلية والمخبرية حيث يمثل : A) عملية أخذ العينات من التربة السطحية ،B) ثلاثة عينات من التربة السطحية ضمن عبوات حافظة معقمة ، C) وزن 100 غرام من كل عينة من أجل تحضير معلق التربة ، D) تعقيم الوسط المؤكسد (DNMS) في الأوتوغلاف ، E) الحصول على غاز CH_4 و CO_2 ، F) حقن الغاز ضمن خليط (معلق التربة مع الوسط المؤكسد) ، G) احتضان القوارير الثلاثة في حاضنة جرثومية بدرجة حرارة $37\ C°$ ،H) جهاز التعداد البكتيري .

النتائج :

١) كنتيجة إيجابية أولية تشكلت قشرة بكتيرية في أنابيب الاختبار على سطح الوسط المعدني ومعلق التربة بعد عملية حقن غازي CH_4 و CO_2 (بالنسبة للعينة المأخوذة بالقرب من بئر زملة المهر–١ تشكلت قشرة بكتيرية واضحة جداً نتيجة النشاط البكتيري العالي أما بالنسبة للعينة المأخوذة بالقرب من بئر زملة المهر–٢ تشكلت قشرة بكتيرية متوسطة أقل وضوحاً من العينة الأولى نتيجة النشاط البكتيري المتوسط ، في حال لم نجد أي تشكل لهذه القشرة البكتيرية في العينة المأخوذة خارج حدود المكمن) ، وهذا يدل على وجود عملية أكسدة لغاز الميثان من قبل المجموعات البكتيرية المستهدفة (Methanotrophs) في هذه العينات كما هو موضح في الشكل (١١).



الشكل (١١) تشكل قشرة بكتيرية نتيجة استهلاك غاز الميثان ضمن أنابيب الاختبار A) تشكل قشرة بكتيرية واضحة جداً نتيجة النشاط البكتيري العالي بالنسبة للعينة المأخوذة بالقرب من بئر زملة المهر–١ ، B) تشكل قشرة بكتيرية أقل وضوحاً نتيجة النشاط البكتيري المتوسط بالنسبة للعينة المأخوذة بالقرب من بئر زملة المهر–٢

٢) بعد القيام بالتخفيفات التسلسلية على أربعة مراحل ثم حضانة أطباق البتري الحاوية على المستعمرات البكتيرية المستهدفة ، وبناءاً على التصنيف المُعتمد لتحديد الشذوذ الميكروبي فوق حقول النفط والغاز من قبل الجمعية الأمريكية لعلماء جيولوجيا البترول (AAPG) American Association of Petroleum Geologists وجمعية علماء الجيوفيزياء الاستكشافية Society of Exploration Geophysicists (SEG) ، حيث يتمثل هذا

التصنيف في ثلاثة مستويات حسب عدد المستعمرات البكتيرية Colony (CFU) Forming Units في ml واحد كما يلي :

_ في حال $10^6 <$ CFU/ ml ; فإن ذلك يدل على شذوذ بكتيري عالٍ.

_ في حال ١٠٣ ~ CFU/ ml _ 10^6 ; فإن ذلك يدل على شذوذ بكتيري متوسط.

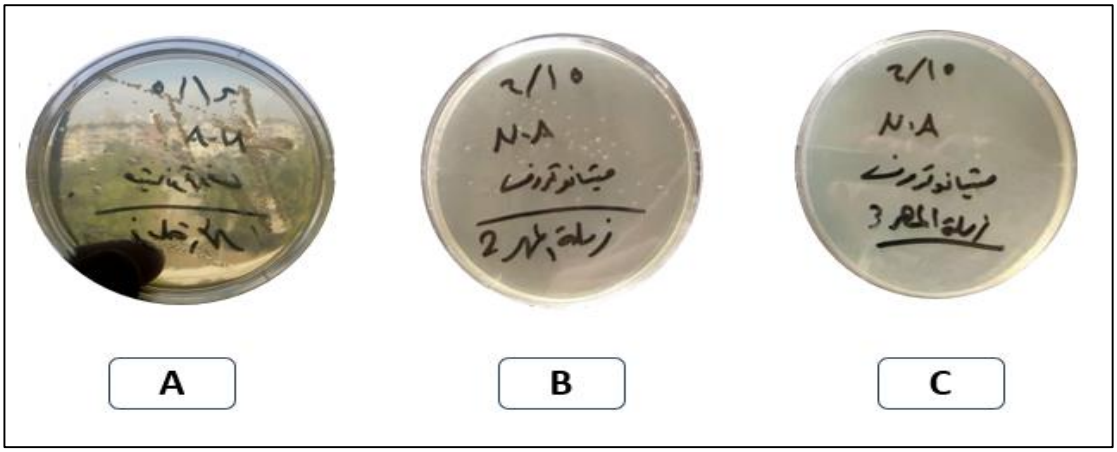
_ في حال $10^3 >$ CFU/ ml ; فإن ذلك لا يدل على وجود البكتيريا المستهدفة .[27]

اعتماداً على هذا التصنيف قمنا بعدّ هذه المستعمرات البكتيرية وحصلنا على النتائج التالية :

_ العينة الأولى المأخوذة بالقرب من بئر زملة المهر-١ تحتوي على $2.3x10^7$ CFU/ml وهذا يمثل شذوذ ميكروبي عالي الشكل (12-A).

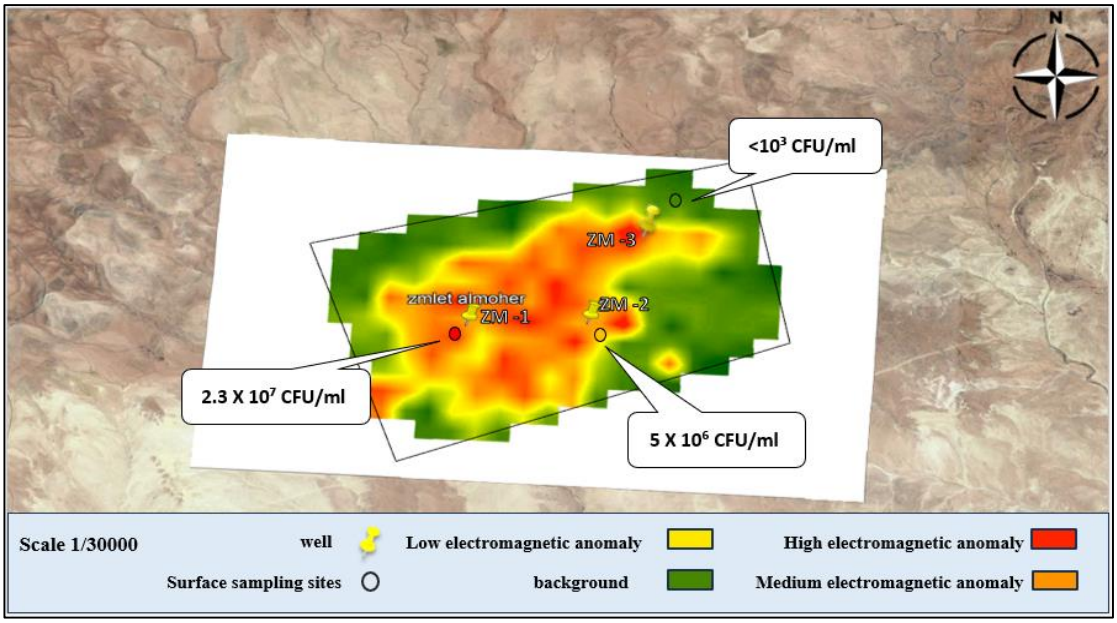
_ العينة الثانية المأخوذة بالقرب من بئر زملة المهر-2 تحتوي على $5 X 10^6$ CFU/ml وهذا يمثل شذوذ ميكروبي متوسط الشكل (12-B).

_ العينة الثالثة المأخوذة خارج تركيب زملة المهر تحتوي على أقل من 10^3 CFU/ml وهذا لا يمثل أي شذوذ ميكروبي أو تواجد فعلي كبير لهذه البكتيريا الشكل (12-C).



الشكل (١٢) توزع المستعمرات البكتيرية على أطباق بتري بالنسبة للعينات الثلاثة .

٣) توافق الشذوذ الميكروبي العالي (2.3×10^7 CFU/ml) المُقاس في العينة المأخوذة بالقرب من بئر (زملة المهر -١- منتج للغاز) مع الشذوذ الكهرومغناطيسي العالي في نفس المنطقة ، وكذلك ضمن حدود الحقل بالقرب من بئر (زملة المهر -٢- جاف) توافق الشذوذ الميكروبي المتوسط (5×10^6 CFU/ml) مع الشذوذ الكهرومغناطيسي المتوسط المُقاس ، أما خارج حدود الحقل لم نجد أي شذوذ ميكروبي وهذا ما توافق مع حدود التركيب المستهدف وفقاً للمسح الكهرومغناطيسي وللخريطة الزمنية لتركيب زملة المهر (TWT) كما هو موضح في الشكل (١٣).



الشكل (١٣) توافق نتائج المسح الجيوميكروبيولوجي مع نتائج المسح الكهرومغناطيسي المنفذ في حقل زملة المهر.

المقترحات:

١) إعادة إحياء آبار زملة المهر (٢ ، ٣) والعمل على إصلاح الأخطاء الحاصلة بالإضافة إلى وجوب وضرورة تكامل الدراسات الجيوفيزيائية والجيولوجية والدراسات الأخرى مع نتائج الشذوذ الميكروبي السطحي وذلك للتمييز بين الشذوذ الناتج عن تسرب غاز الميثان إن كان منشأهُ التكسير الحراري أو من عمليات التحلل البيولوجي.

٢) الاستفادة من هذه النتائج التي توصلنا لها في هذا الحقل كتجربة أولية ناجحة وإمكانية تطبيق هذا النهج من الاستكشاف الجيوكيميائي السطحي على شكل شبكة عينات سطحية

ورسم الشذوذ الميكروبي المقاس في كل عينة ، بالتالي الحصول على خريطة تبين حدود المصيدة الهيدروكربونية الجوفية ، حيث كانت تكلفة التجربة على العينة الواحدة بحوالي 700,000 ليرة سورية ولتغطية كامل هذا التركيب الذي قُدرت أبعادهُ بـ 3x2.6 كم يجب أخذ ٣٥ عينة تقريباً أي بتكلفة حوالي 2,500,000 ليرة سورية ، وفي المستقبل يمكن تطبيق هذه التقنية في الحقول الغازية السورية غير المستكشفة بهدف تقليل تكاليف المسح وتوجيه عمليات الاستكشاف والحفر اللاحقة نحو المناطق ذات المأمولية الهيدروكربونية الأعلى .

٣) اللجوء إلى تقنيات البيولوجيا الجزيئية الحديثة مثل تفاعل البوليميراز المتسلسل polymerase chain reaction (PCR) الذي يحدد وبدقة مطلقة البكتيريا المؤكسدة لغاز الميثان المُنشأ من التكسير الحراري وبذلك يتم نفي حالة وجود غاز ميثان من منشأ آخر ضمن منطقة الدراسة .

الخاتمة :

تشير نتيجة الشذوذ الميكروبي المقاس في العينات السطحية إلى أنه يوجد في منطقة الدراسة إمكانيات كبيرة من الغاز ، وذلك نتيجة الهجرة العمودية لغاز الميثان من المصيدة الموجودة إلى السطح ، وهذا ما يؤكد أن هذه التقنية يمكنها تقييم إمكانيات المصيدة الهيدروكربونية والتنبؤ بخصائص الخزان وأنها تقنية قابلة للتطبيق وفعالة.

المراجع الأجنبية:

[1] Schumacher, D. “Deet.” (2000). Surface geochemical exploration for oil and gas: New life for an old technology. The Leading Edge, 19(3), 258–261. doi:10.1190/1.1438582 .

[2] Schumacher, D., 1996, Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments, *in* D. Schumacher and M.A. Abrams, eds., Hydrocarbon Migration and Its Near-Surface Expression: AAPG Memoir 66, p. 71–89.

[3] Saunders, D.F., K.R. Burson, and C.K. Thompson, 1999, Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations: AAPG Bulletin, vol. 83, p. 170–185.

[4] Jones VT, Matthews MD, Richers DM (2000) Light hydrocarbons for

petroleum and gas prospecting. In: Hale M (ed) Handbook of

exploration geochemistry, vol 7, pp 133–212.

[5] Rasheed M.A., Lakshmi M., and Dayal A.M (2011). Bacteria as indicators for finding oil and gas reservoirs: A Case Study of Bikaner-Nagaur Basin, Rajasthan, India. Petroleum Science Journal. Volume 8, Number 3, 264-268.

[6] Mogilewskii, G. A., 1940, The bacterial method of prospecting for oil and natural gases: Razvedka Nedr, v.12, p. 32–43.

[7] Abrams, M.A. (2020) Microseepage vs. Macroseepage: Defining Seepage Type and Migration Mechanisms for Differing Levels of Seepage and Surface Expressions, Search and Discovery, 42542.

[8] Rosaire, E. E., 1939, The handbook of geochemical prospecting: Houston, Texas, Gulf Publishing Co., 61 p.

[9]Taggart, M. S., 1941, Oil prospecting method: U. S. Patent 2,234,637.

[10] Taggart, M. S, 1944, Oil prospecting method: U. S. Patent 2,349,472.

[11] Updegraff, D. M., and H. H. Chase, 1954, Microbiological prospecting method: U. S. Patent 2,861,921.

[12] Davis, J. B., 1956, Geomicrobial prospecting method for petroleum: U. S. Patent 2,777,799.

[١٣] Strawinski, R. J. 1954 Prospecting. U. S. Patent 2,665, 237.

[١٤] Rosenfeld,W.D.,1960 , Petroleum Prospecting Method : U. S Patent 2,921,003.

[١٥] Hitzman,D.O.,1959 , Prospecting for Petroleum deposits : U .S Patent 2,880,142.

[١٦] Michaels ,G.B., Riese ,W.C.,1991, Geomicrobiological Methods Of Ore And Petroleum Exploration : U.S.Patent 5,055,397.

[17] Severn ,.S.R., Rodriguez ,H.T., Danesin ,R.A., Imber,B.E.,1991, Method And Apparatus Useful In Geochemical Exploration For Petroleum Oils : U.S.Patent 5,015,586.

[١٨] Gonzales-Prevatt ,V., Munnecke,D.M.,1992, Microbiological Oil Prospecting : U.S.Patent 5,093,236.

[١٩] Ashby ,M.,2004, Methods For The Survey And Genetic Analysis Of Populations :U .S. Patent US 2004/0110183 A 1.

[٢٠] Kotlar ,H., Rueslatten,H., Ramstad,M., Brakstad,O.,2006, Methods Detecting Characterising And Monitoring Hydrocarbons Reservors :U.S .Patent 2006/0154306 A1.

[21] Mansour,S.,2005 , Analysis And Statistical Process Control Using Multitargeted Screening Assays , PCT/US2005/013047 , WO 2005/103284 A2.

[22] Aaron ,R.B., Amelia ,R.C., Lucie ,N.A,2013, Method To Determine Location, Size And In Situ Condition In Hydrocarbon

Reservoir With Ecology, Geochemistry, And Biomarkers : PCT/US2013/021258 , WO 2013/119350 A1

[23] Sleat ,R., Hatton ,R.,2010, A Microbiological Detection Method , PCT/GB2010/000531 , WO 2010/109173 A1.

[24] Khmelenina VN, Murrell JC, Smith TJ, Trotsenko YA. Physiology and Biochemistry of the Aerobic Methanotrophs. In: Rojo F (editor) Aerobic Utilization of Hydrocarbons, Oils and Lipids. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer; Cham; 2018;1–25. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39782- 5_4-1.

[25] Waldron KJ, Robinson NJ. How do bacterial cells ensure that metalloproteins get the correct metal? Nat Rev Microbiol. 2009;7(1):25–35. https://doi.org/10.1038/nrmicro2057.

[27] Wagner, M., Wagner, M., Piske, J. and Smit, R., 2002, Case histories of microbial prospection for oil and gas. AAPG Studies in Geology 48 and SEG Geophysical References Series, vol. 11, pp. 453–479.

المراجع العربية:

[26] الشركة السورية للنفط ، مديرية الاستكشاف (٢٠٢٢) – المذكرة التبريرية لبئر زملة المهر–١ ، دراسة غير منشورة ، دمشق ، سورية